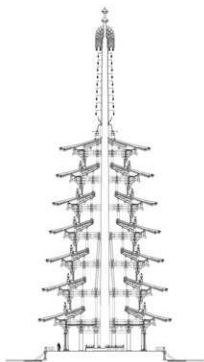


奈良文化財研究所学報第104冊

東大寺東塔の復元研究

[図版・資料編]



2024

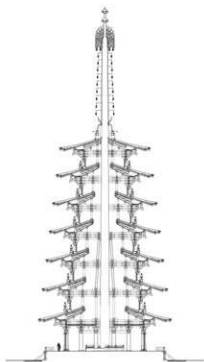
独立行政法人 国立文化財機構
奈良文化財研究所

本書に掲載した画像、イラスト、文書、資料などすべてのコンテンツは著作権の対象となっています。著作権は日本国の著作権法、国際条約により保護されています。これら著作物を著作権者の許諾なく、著作権法に定められている私的利用の範囲を超えて利用することはできません。

奈良文化財研究所学報第104冊

東大寺東塔の復元研究

[図版・資料編]



2024

独立行政法人 国立文化財機構
奈良文化財研究所

表紙・扉：奈良時代創建の東大寺東塔 復元原案 断面図 1：750

裏表紙：鎌倉時代再建の東大寺東塔 復元原案 断面図 1：750

(左：重源の構想を想定した案 右：栄西の構想を想定した案)

本書は〔本文編〕と〔図版・資料編〕の2分冊からなる。〔本文編〕には検討の過程や研究成果の解説を、〔図版・資料編〕には復元原案と既往の復元案の図面、検討のために収集した史資料、構造解析の資料をそれぞれ収録した。

東大寺東塔の復元研究

[図版・資料編]

目 次

図 版

復元原案

天平塔	第 1～15 図
鎌倉塔	第 16～19 図

参考資料

既往の復元案	第 20～30 図
発掘調査成果	第 31 図
絵画資料	第 32～43 図
類例建物	第 44～77 図
文献史料	第一～一五 図

※ 参考資料の末尾から

図版出典目録

構造解析資料

例 言	(1)
天平塔 復元原案	(5)
興福寺五重塔	(119)
天平塔 内部柱検討案	(191)

報告書抄録

版 图

図版一覽

復元原案

天平塔

- 第 1 図 天平塔 立面図
- 第 2 図 天平塔 断面図
- 第 3 図 天平塔 隅行断面図
- 第 4 図 天平塔 初重平面図・初重見上図
- 第 5 図 天平塔 二重平面図・二重見上図
- 第 6 図 天平塔 三重平面図・三重見上図
- 第 7 図 天平塔 四重平面図・四重見上図
- 第 8 図 天平塔 五重平面図・五重見上図
- 第 9 図 天平塔 六重平面図・六重見上図
- 第 10 図 天平塔 七重平面図・七重見上図・七重屋根伏図
- 第 11 図 天平塔 初重・二重断面詳細図
- 第 12 図 天平塔 三重～五重断面詳細図
- 第 13 図 天平塔 六重・七重断面詳細図
- 第 14 図 天平塔 相輪詳細図
- 第 15 図 天平塔 組物詳細図

鎌倉塔

- 第 16 図 鎌倉塔重源案 立面図
- 第 17 図 鎌倉塔重源案 断面図
- 第 18 図 鎌倉塔栄西案 立面図
- 第 19 図 鎌倉塔栄西案 断面図

参考資料

既往の復元案

- 第 20 図 天沼案関連資料「東大寺西七重塔模型設計図」 東大寺所蔵
- 第 21 図 天沼案関連資料「東大寺東塔及西塔計画図」 奈良県所蔵
- 第 22 図 2016年9月案 A・C・E案（全高23丈余り） 東大寺所蔵
- 第 23 図 2016年9月案 B・D・F案（A案塔身高×1.3+相輪高） 東大寺所蔵
- 第 24 図 2016年9月案 G案（全高33丈余り） 東大寺所蔵
- 第 25 図 2016年11月案 A～C案（全高23丈余り） 東大寺所蔵
- 第 26 図 2016年11月案 D～F案（総高33丈余り） 東大寺所蔵
- 第 27 図 2016年11月案 G～I案（総高33丈余り） 東大寺所蔵
- 第 28 図 2016年11月案 J～L案（総高33丈余り） 東大寺所蔵
- 第 29 図 2016年報道発表案 シルエットのもとになった立面図 東大寺所蔵
- 第 30 図 2016年報道発表案 33丈案 復元透視図（北野陽子描画） 東大寺所蔵

発掘調査成果

- 第 31 図 東大寺東塔跡 土層断面図

絵画資料

- 第 32 図 「絹本着色東大寺縁起」伽藍幅 東大寺所蔵
第 33 図 「絹本着色東大寺縁起」伽藍幅（東西塔部分） 東大寺所蔵
第 34 図 「東大寺寺中寺外惣絵図并山林」 東大寺所蔵
第 35 図 「東大寺寺中寺外惣絵図并山林」（伽藍中心部分） 東大寺所蔵
第 36 図 「東大寺寺中寺外惣絵図并山林」（東西塔部分） 東大寺所蔵
第 37 図 「紙本着色信貴山縁起」尼公巻（東大寺大仏殿部分） 朝護孫子寺所蔵
第 38 図 「絹本着色行基菩薩行狀絵伝」第三幅 家原寺所蔵
第 39 図 「絹本着色行基菩薩行狀絵伝」第三幅（東大寺大仏殿部分） 家原寺所蔵
第 40 図 「興福寺建築諸図」「興福寺金堂五拾歩一之地割」 東京国立博物館所蔵
第 41 図 「興福寺建築諸図」「興福寺金堂式拾歩一之地割」 東京国立博物館所蔵
第 42 図 「興福寺建築諸図」「興福寺五重塔式拾歩一之地割」 東京国立博物館所蔵
第 43 図 「南都元興寺大塔式拾歩一図」 奈良県所蔵

類例建物

- 第 44 図 法隆寺五重塔 立面図・断面図
第 45 図 海龍王寺五重小塔 立面図・断面図
第 46 図 元興寺榎葉坊五重小塔 立面図・断面図
第 47 図 室生寺五重塔 立面図・断面図
第 48 図 室生寺五重塔（復原） 立面図・断面図
第 49 図 醍醐寺五重塔 立面図・断面図
第 50 図 興福寺五重塔 立面図・断面図
第 51 図 教王護国寺五重塔 立面図・断面図
第 52 図 法起寺三重塔 立面図・断面図
第 53 図 薬師寺東塔 立面図・断面図
第 54 図 薬師寺東塔（復原） 立面図・断面図
第 55 図 当麻寺東塔 立面図・断面図
第 56 図 当麻寺東塔（明治修理前） 断面図 奈良県所蔵
第 57 図 当麻寺西塔 立面図・断面図
第 58 図 当麻寺西塔（大正修理前） 立断面図 奈良県所蔵
第 59 図 一乗寺三重塔 立面図・断面図
第 60 図 浄瑠璃寺三重塔 立面図・断面図
第 61 図 向上寺三重塔 立面図・断面図
第 62 図 唐招提寺金堂（復原） 梁行断面図

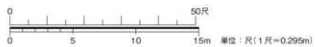
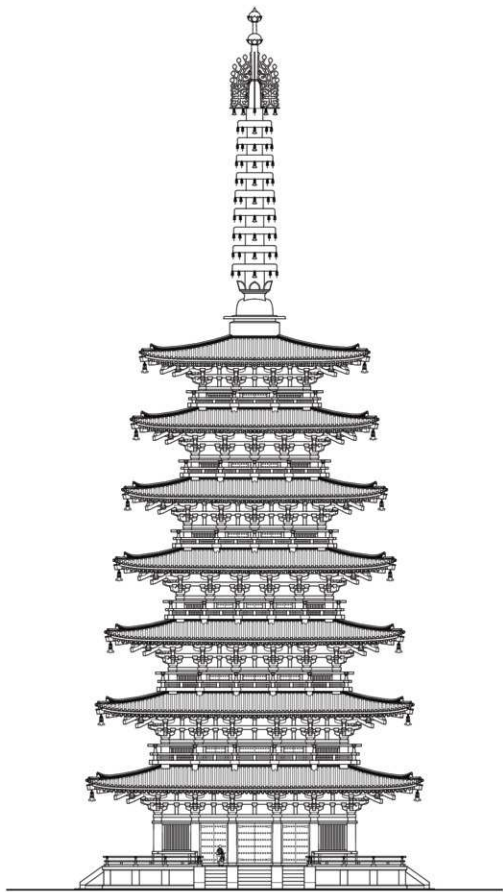
- 第 63 図 仏光寺東大殿 (中国) 梁行断面図
- 第 64 図 喜光寺本堂 梁行断面図
- 第 65 図 金峯山寺本堂 梁行断面図
- 第 66 図 教王護国寺金堂 梁行断面図
- 第 67 図 東大寺転害門 梁行断面図 文化庁所蔵
- 第 68 図 東大寺南大門 平面図・見上図 文化庁所蔵
- 第 69 図 東大寺南大門 南立面図・桁行断面図 文化庁所蔵
- 第 70 図 東大寺南大門 西立面図・梁行断面図 文化庁所蔵
- 第 71 図 東大寺南大門 組物断面詳細図 文化庁所蔵
- 第 72 図 東大寺南大門 小屋組断面詳細図 文化庁所蔵
- 第 73 図 東大寺鐘樓 平面図・見上図
- 第 74 図 東大寺鐘樓 南立面図・桁行断面図
- 第 75 図 東大寺鐘樓 東立面図・梁行断面図
- 第 76 図 東大寺鐘樓 桁行断面詳細図
- 第 77 図 東大寺鐘樓 梁行断面詳細図

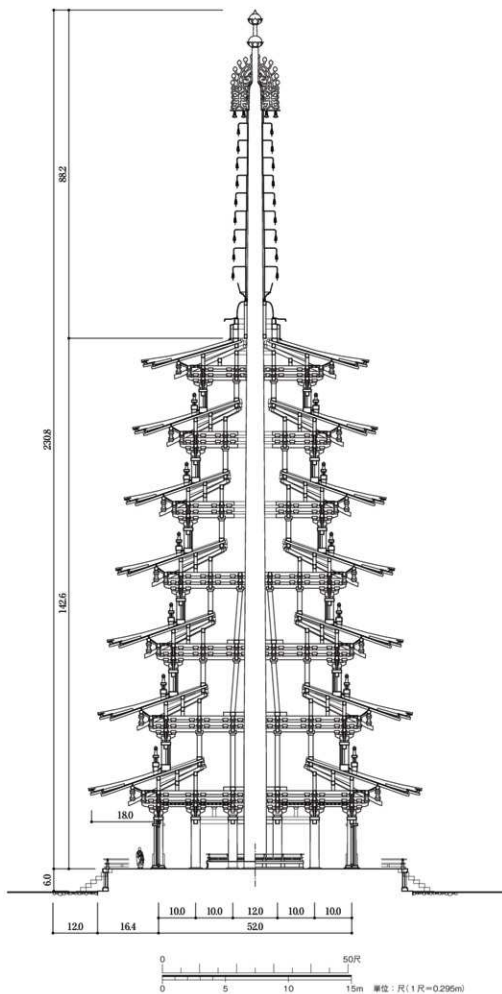
文献史料 ※ 参考資料の末尾から

- 第一 図 醍醐寺本『東大寺要録』巻二緣起章第二「大仏殿碑文」(部分) 醍醐寺所蔵
- 第二 図 東大寺本『東大寺要録』巻四講院章第四「東塔院」・「西塔院」 東大寺所蔵
- 第三 図 東大寺本『東大寺要録』巻七雜事章第十「東大寺権別当実忠二十九箇条事」(部分) 東大寺所蔵
- 第四 図 三条西家旧蔵本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」
国文学研究資料館所蔵
- 第五 図 業室家旧蔵本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」
宮内庁書陵部所蔵
- 第六 図 豊宮崎文庫旧蔵本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分)
神宮文庫所蔵
- 第七 図 東山御文庫本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 宮内庁所蔵
- 第八 図 紅葉山文庫旧蔵本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分)
国立公文書館内閣文庫所蔵
- 第九 図 伴信友校訂本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分)
東京国立博物館所蔵
- 第一〇 図 林崎文庫旧蔵本・甲『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分)
神宮文庫所蔵
- 第一一 図 林崎文庫旧蔵本・乙『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分)
神宮文庫所蔵
- 第一二 図 林崎文庫旧蔵本・丙『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分)
神宮文庫所蔵
- 第一三 図 金勝院本『扶桑略記』(抄本 孝謙天皇 部分) 天理大学附属天理図書館所蔵
- 第一四 図 新井白石旧蔵本『扶桑略記』抄節本二 (孝謙天皇 部分) 宮内庁書陵部所蔵
- 第一五 図 教王護国寺親智院旧蔵本『七大寺日記』「東大寺」(部分) 奈良国立博物館所蔵

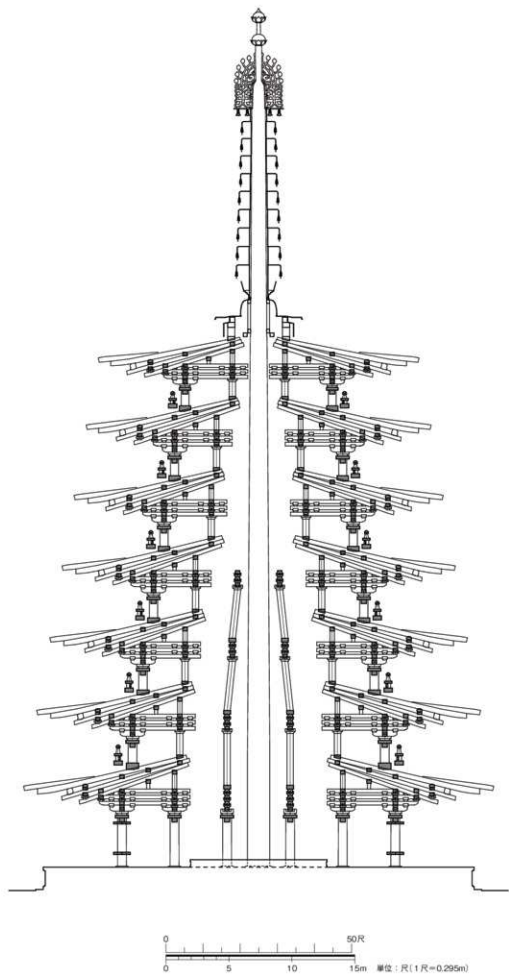
復元原案

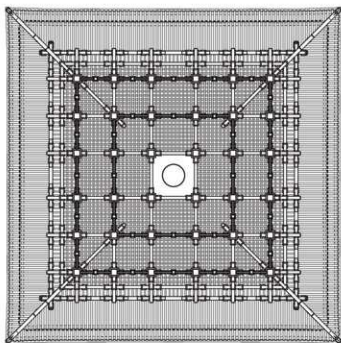
天平塔



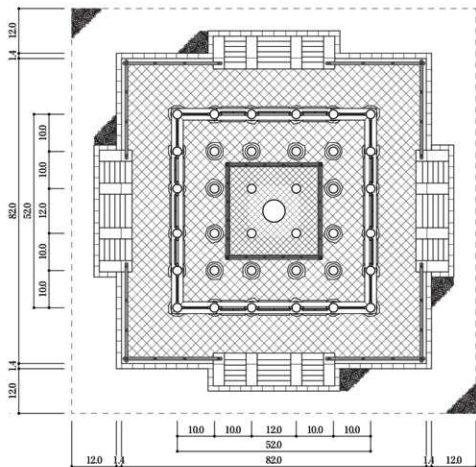


第2図 天平塔 断面図 1:300

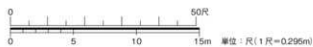


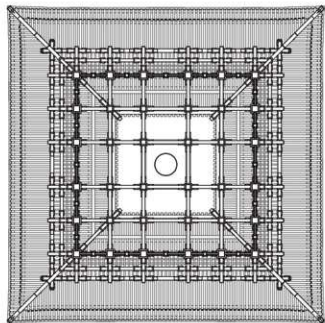


初重見上図

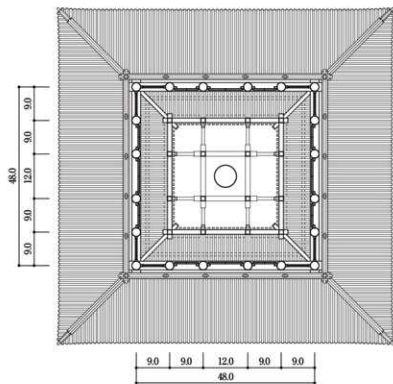


初重平面図

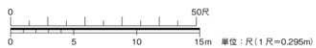


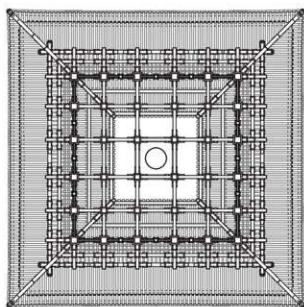


二重見上図

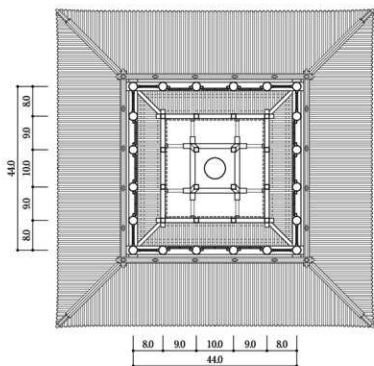


二重平面図

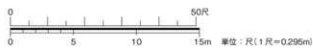


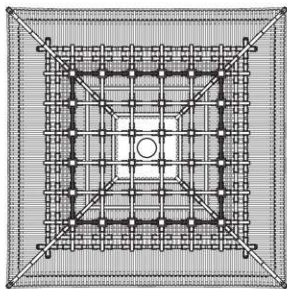


三重見上図

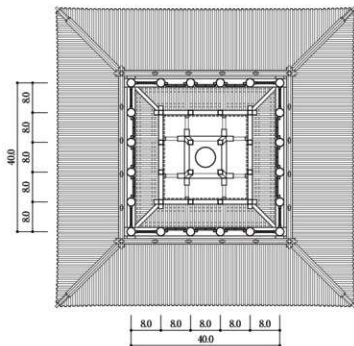


三重平面図

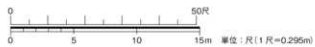


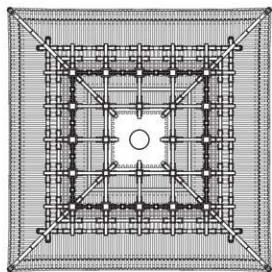


四重見上図

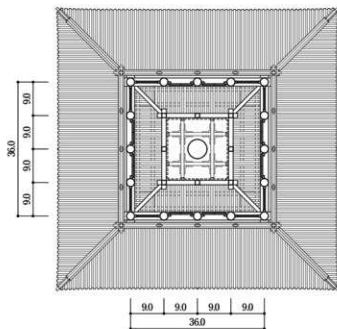


四重平面図

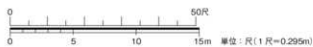


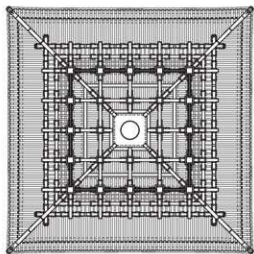


五重見上図

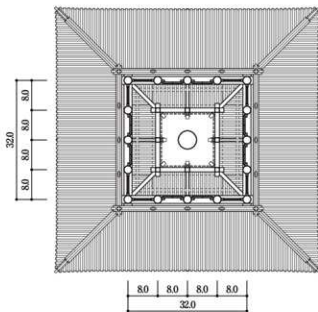


五重平面図



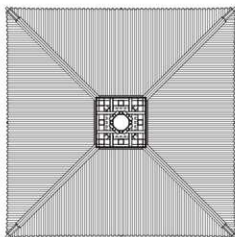


六重見上図

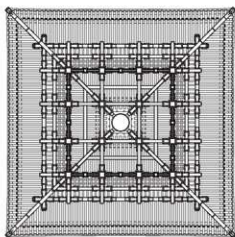


六重平面図

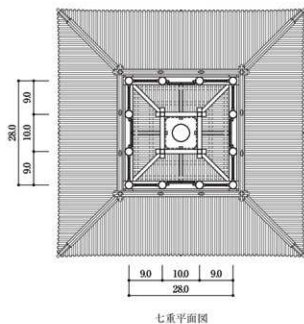




七重屋根伏図

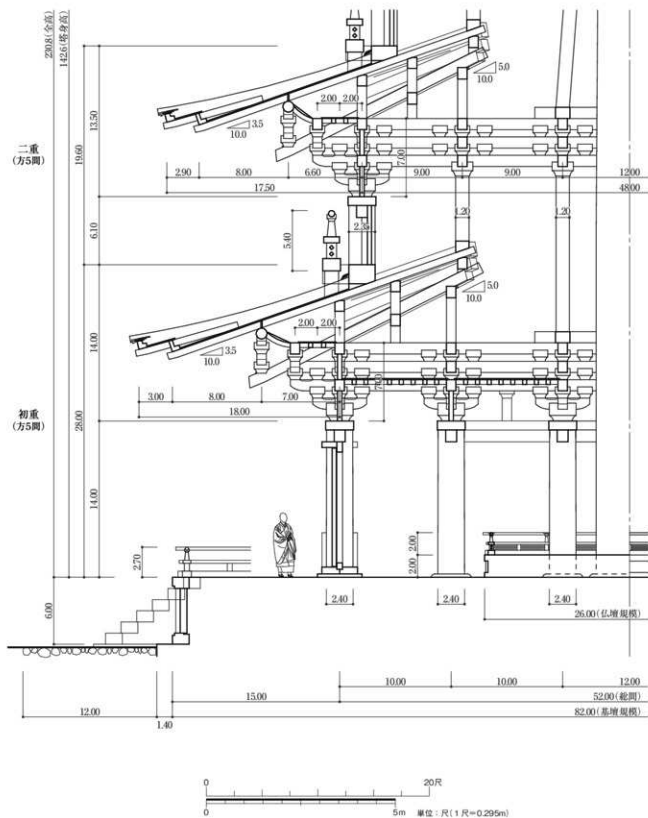


七重見上図

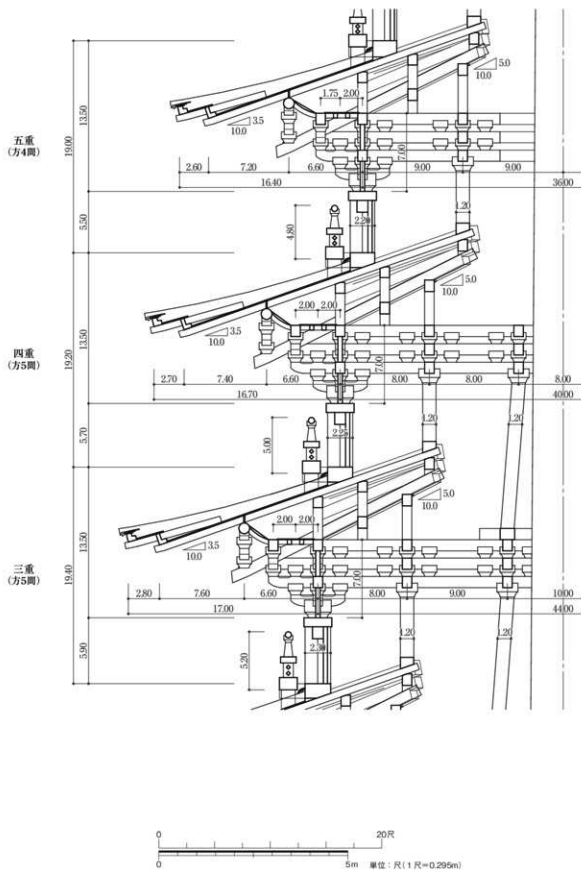


七重平面図

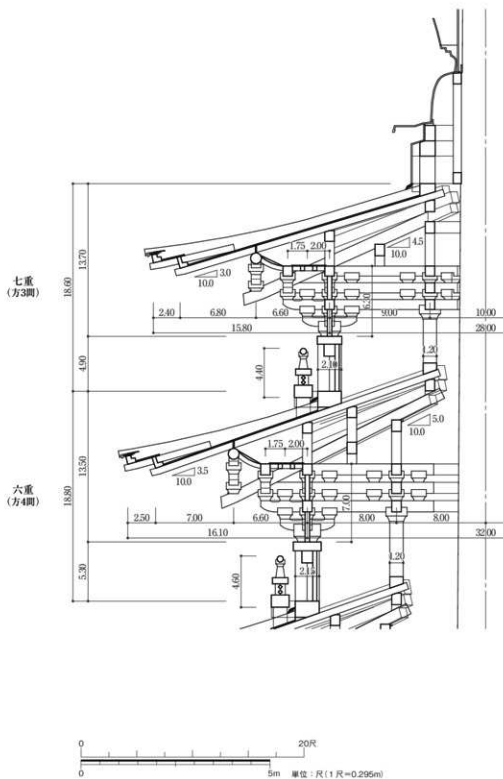




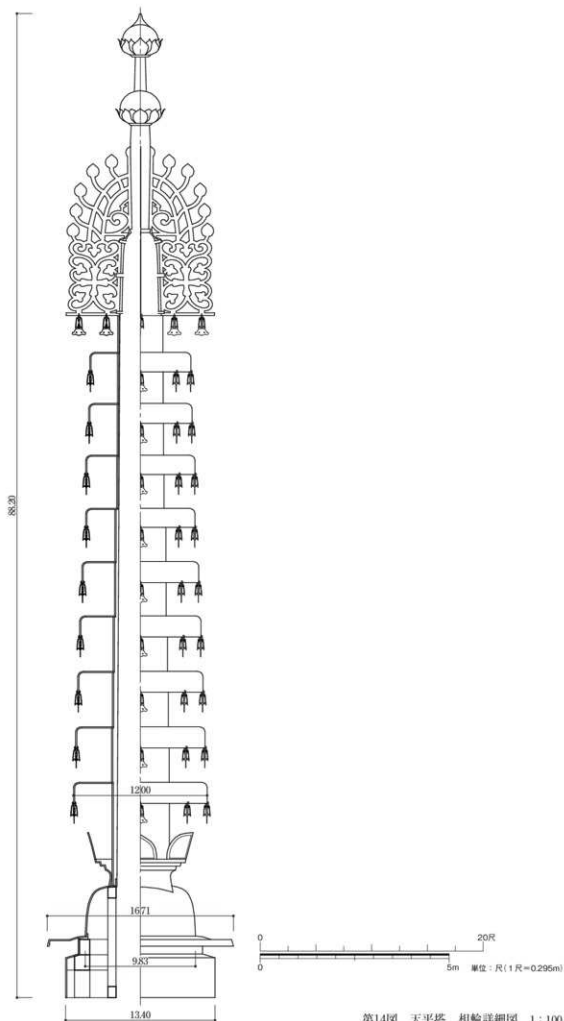
第11圖 天平塔 初重・二重断面詳細圖 1:100



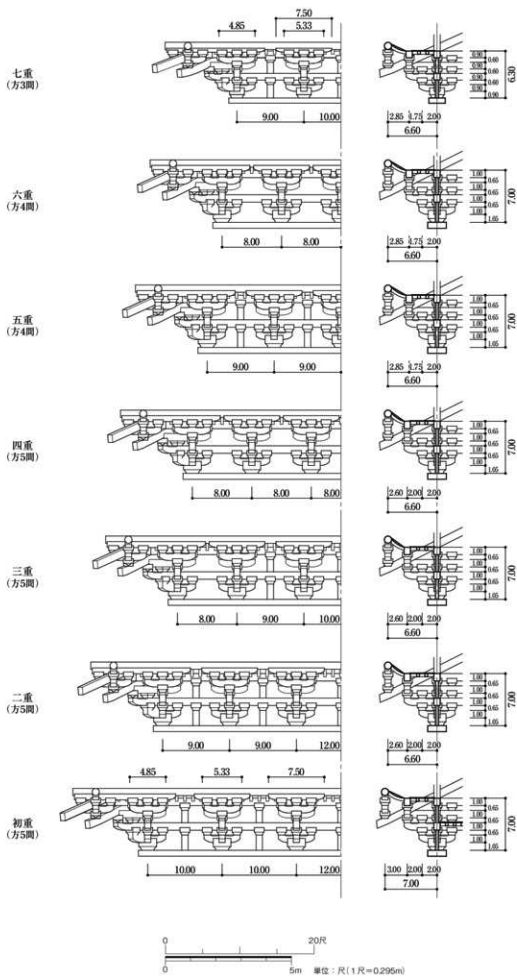
第12図 天平塔 三重～五重断面詳細図 1:100



第13図 天平塔 六重・七重断面詳細図 1:100

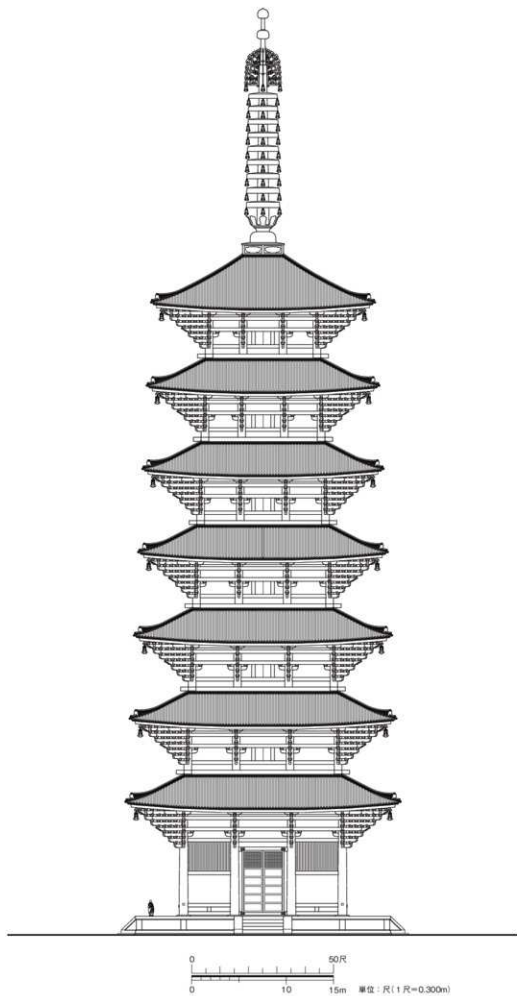


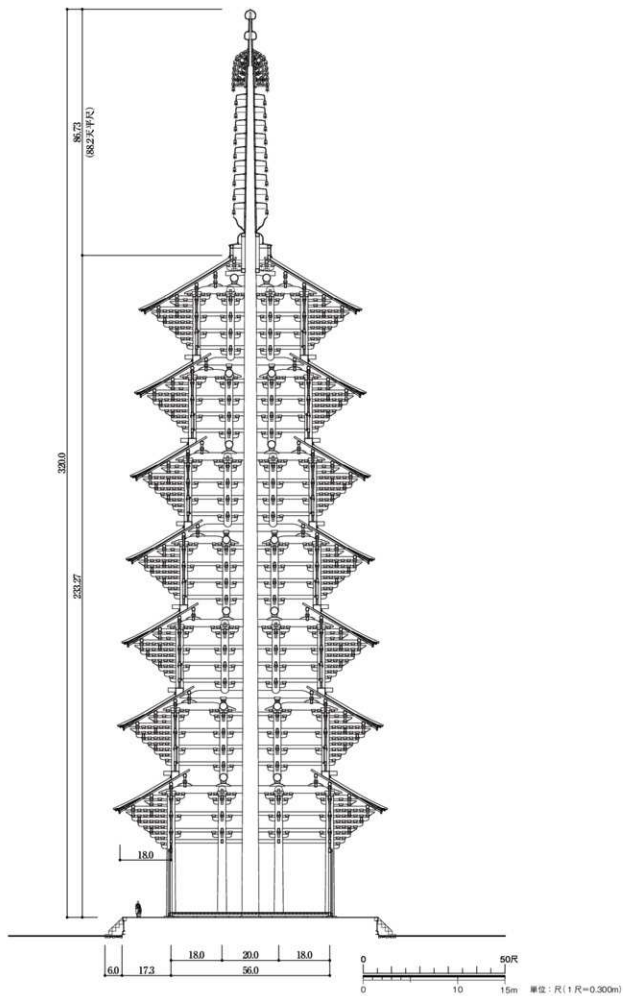
第14図 天平塔 相輪詳細図 1:100



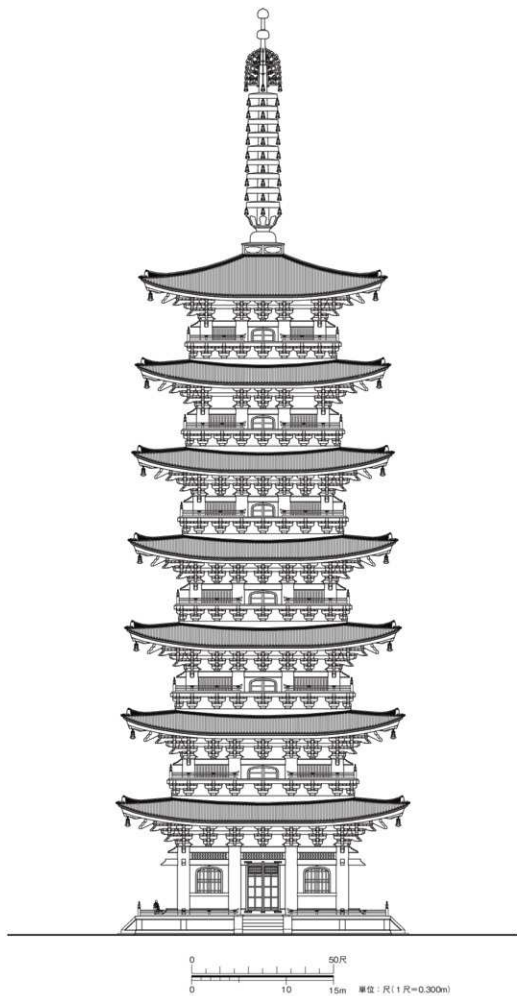
復元原案

鎌倉塔

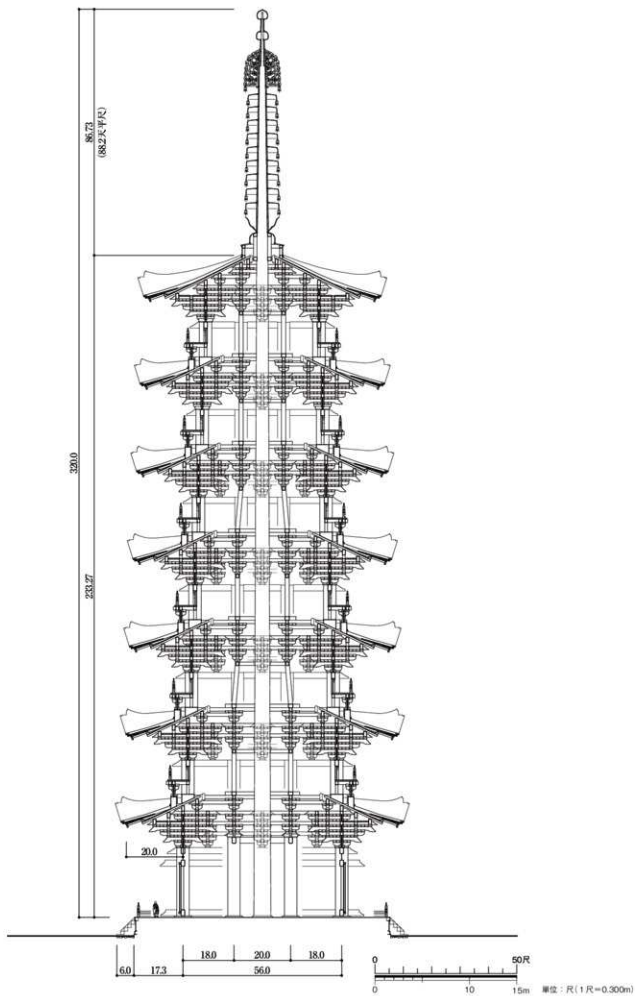




第17図 鎌倉塔重源案 断面図 1:400



第18図 鎌倉塔栄西案 立面図 1:400



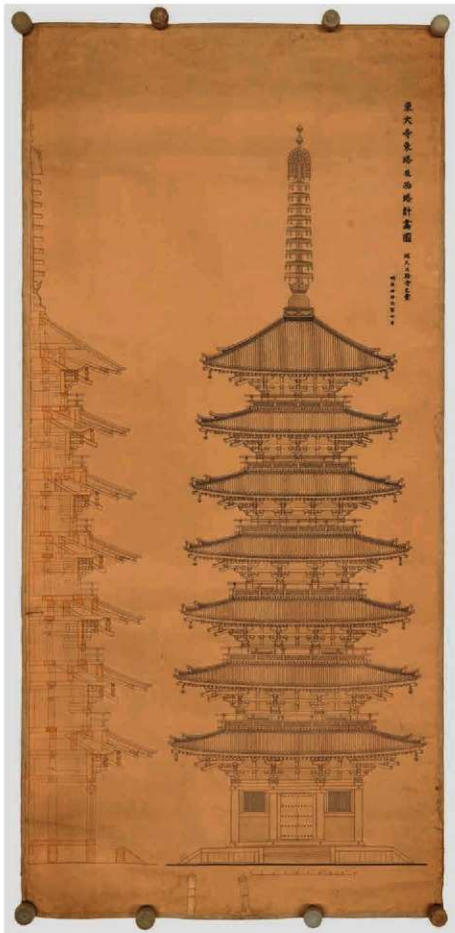
第19図 鎌倉塔宋西案 断面図 1:400

参 考 資 料

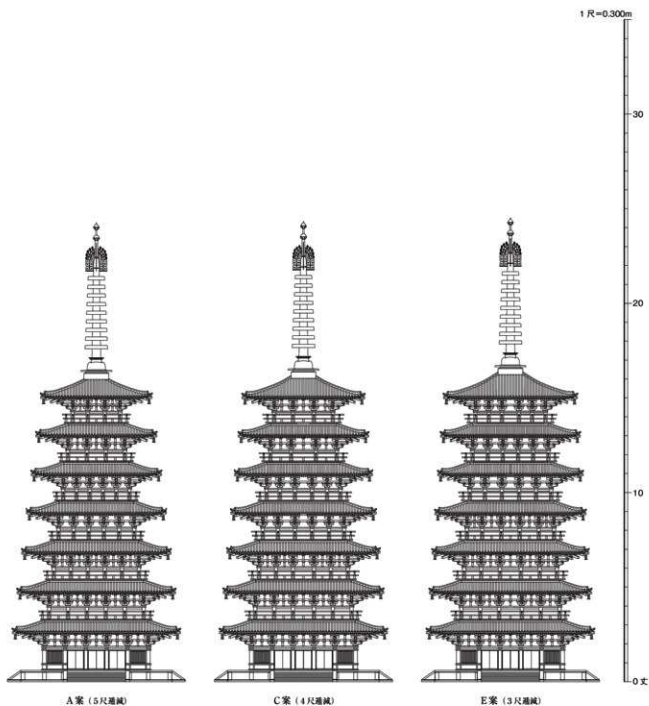
既往の復元案
発掘調査成果
絵画資料
類例建物
文献史料



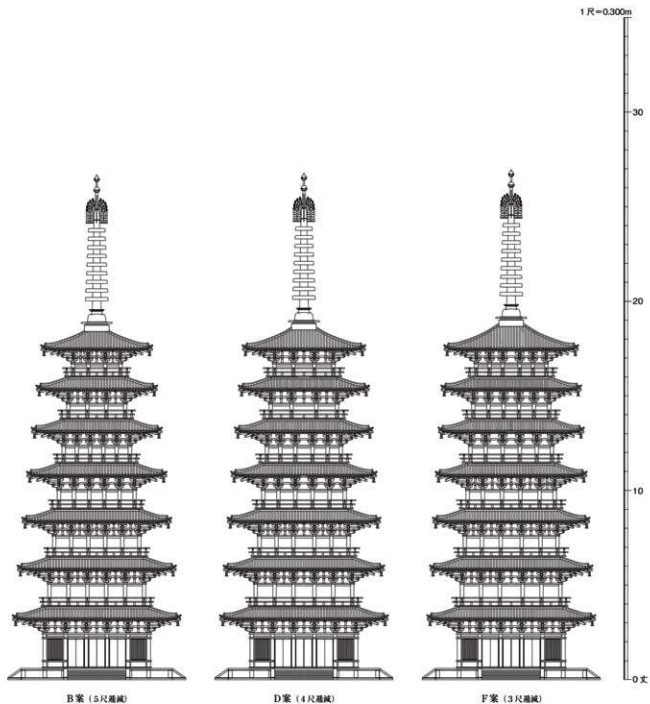
第20回 天沼案関連資料「東大寺西七重塔模型設計図」 1:500 東大寺所蔵



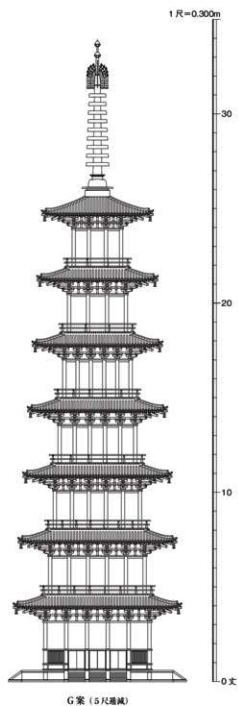
第21図 天沼案関連資料「東大寺東塔及西塔計画図」 1:500 奈良県所蔵



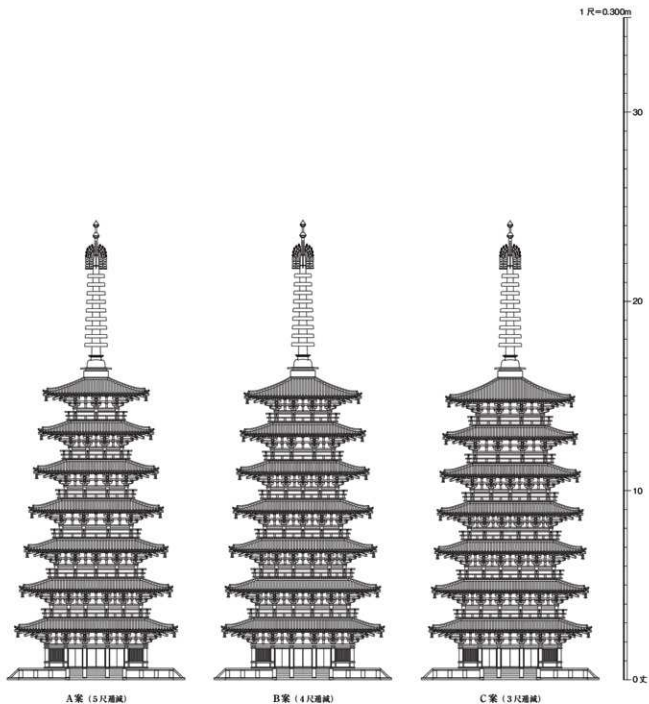
第22図 2016年9月案 A・C・E案(全高23丈余り) 1:600 東大寺所蔵



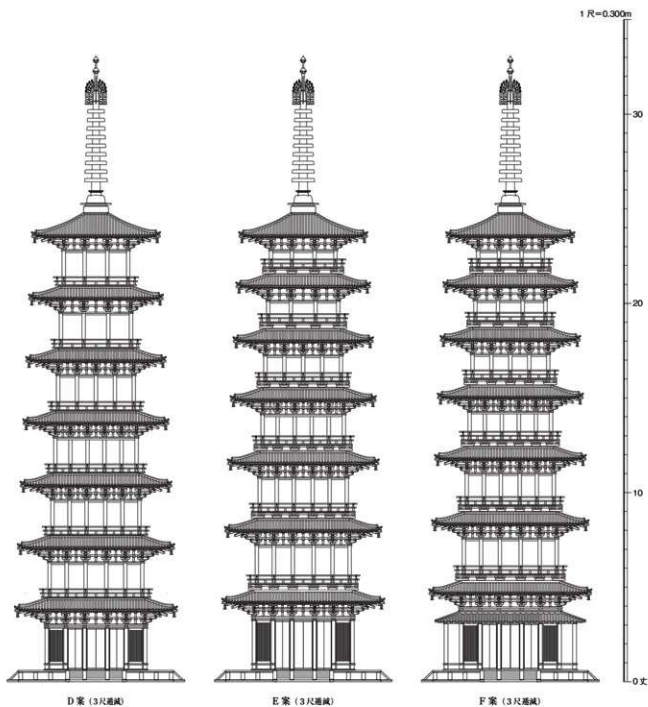
第23回 2016年9月案 B・D・F案(A案塔身高×1.3+相輪高) 1:600 東大寺所蔵



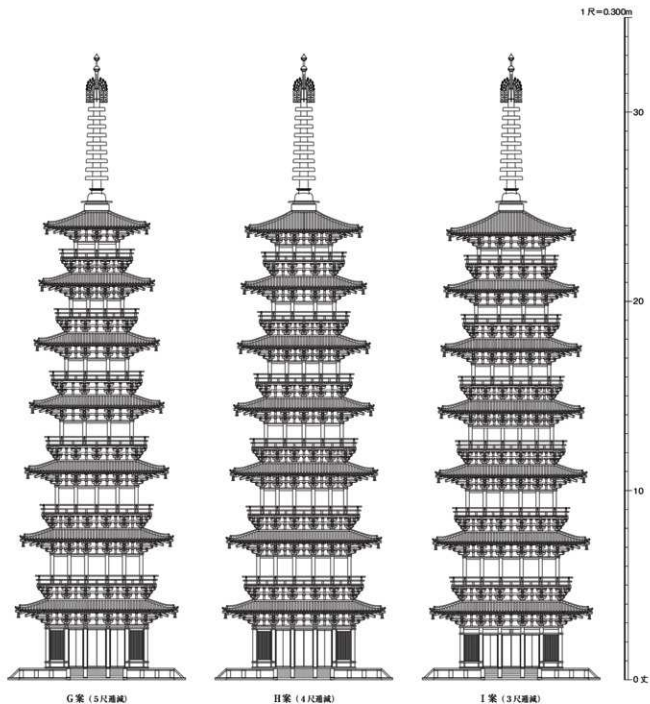
第24図 2016年9月案 G案(全高33丈余り) 1:600 東大寺所蔵



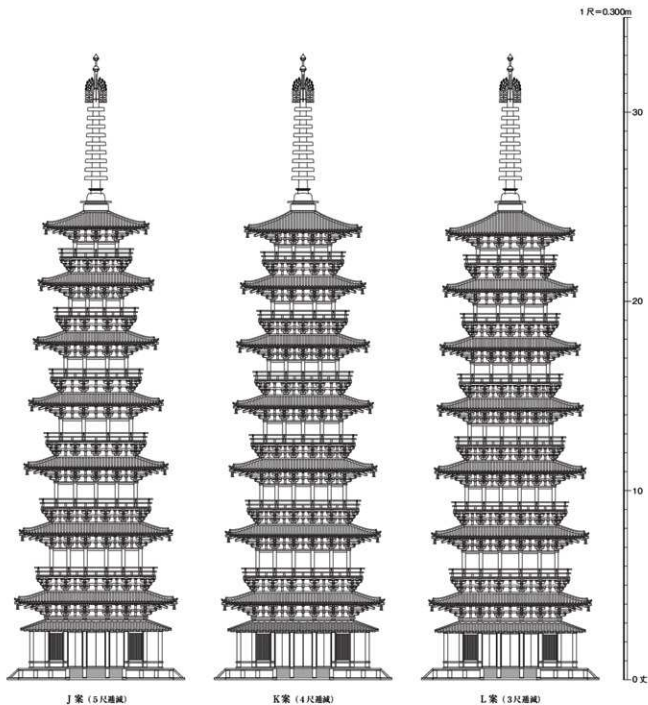
第25図 2016年11月案 A～C案(全高23丈余り) 1:600 東大寺所蔵



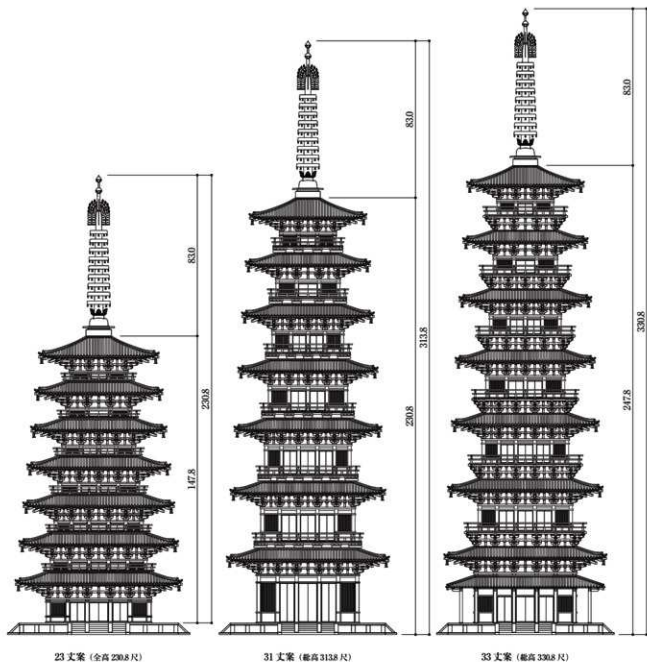
第26図 2016年11月案 D～F案(総高33丈余り) 1:600 東大寺所蔵



第27図 2016年11月案 G～I案(総高33丈余り) 1:600 東大寺所蔵



第28図 2016年11月案 J～L案(総高33丈余り) 1:600 東大寺所蔵

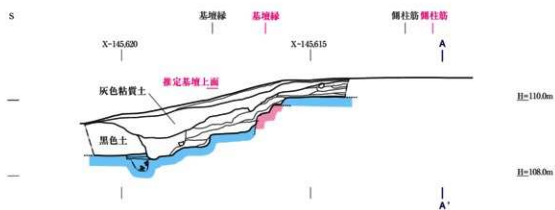


第29回 2016年報道発表案 シルエットのもとになった立面図 1:600 東大寺所蔵

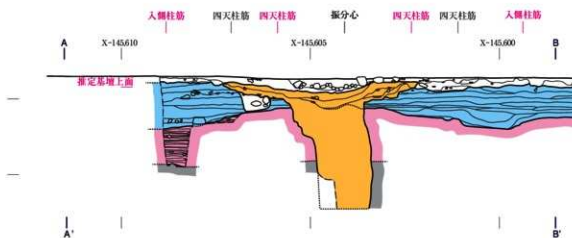


第30図 2016年報道発表案 33丈案 復元透視図(北野陽子描画) 東大寺所蔵

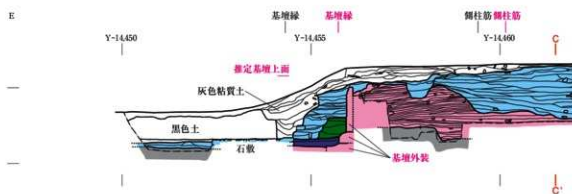
発掘調査成果



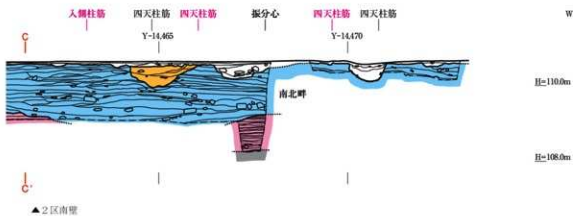
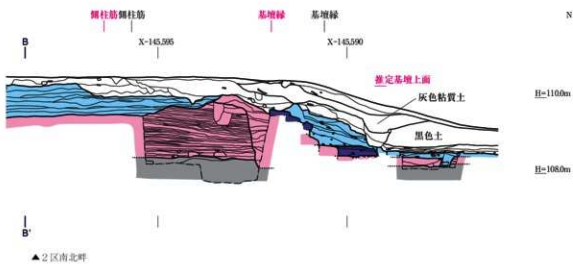
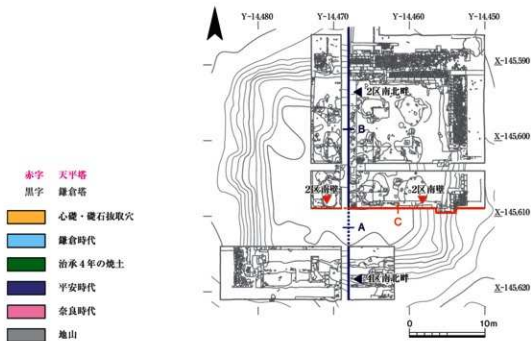
▲4区南北畔



▲2区南北畔



▲2区南側





第32図 「絹本著色東大寺縁起」伽藍幅 東大寺所蔵



西塔部分



東塔部分

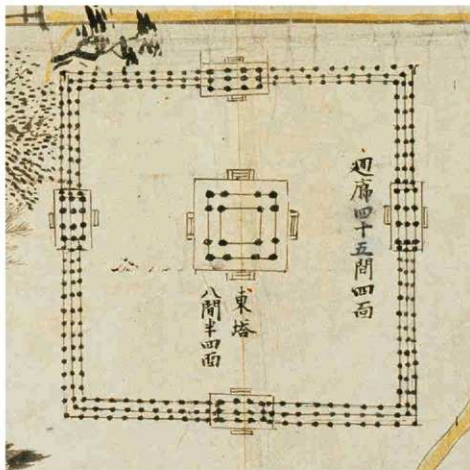
第33圖 「紺本著色東大寺綠起」伽藍幅(東西塔部分) 東大寺所藏



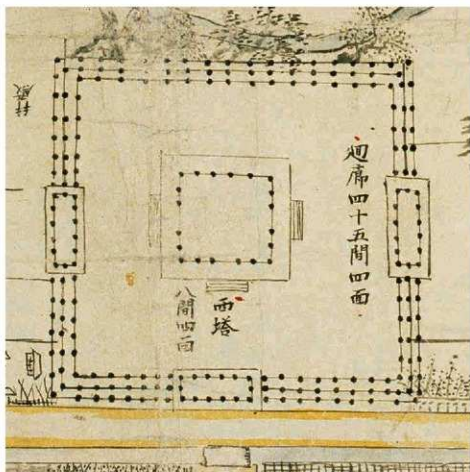
第34図 「東大寺中寺外惣絵図并山林」 東大寺所蔵



第35图 「東大寺寺中寺外惣絵図并山林」(伽藍中心部分) 東大寺所藏



東塔部分



西塔部分

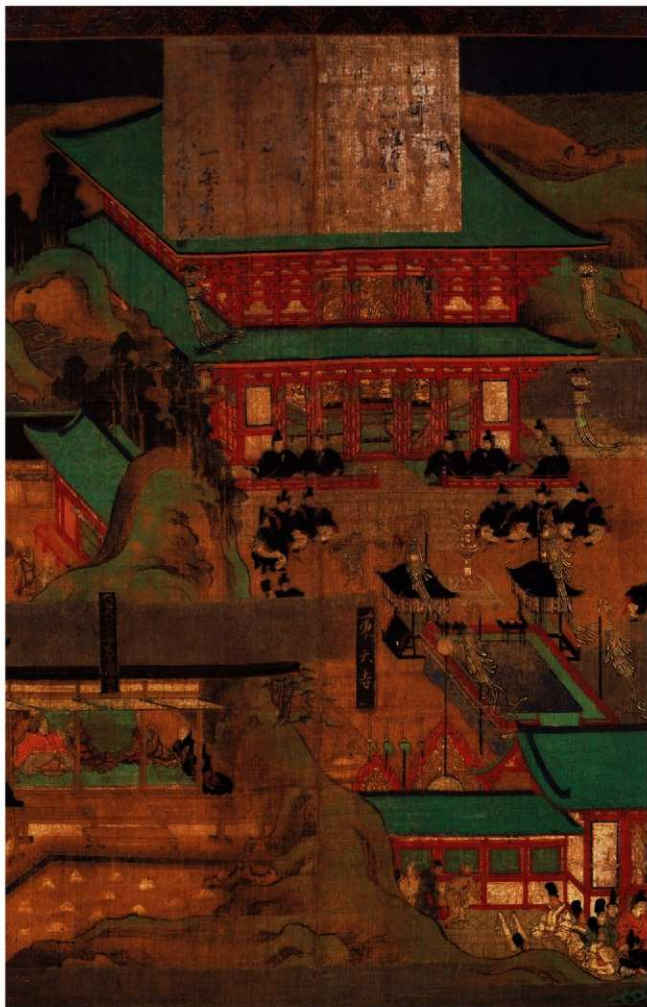


第37圖 「紙本着色信貴山縁起」尼公卷(東大寺大仏殿部分) 朝護孫子寺所藏

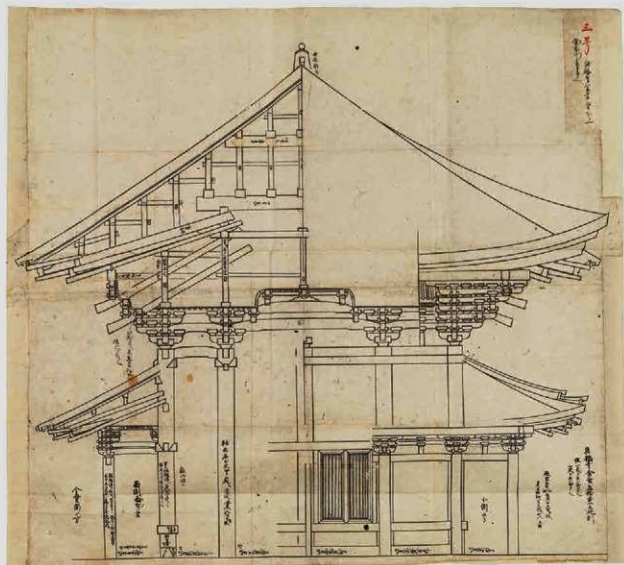


第38図 「絹本着色行基菩薩行状絵伝」第三幅 家原寺所蔵

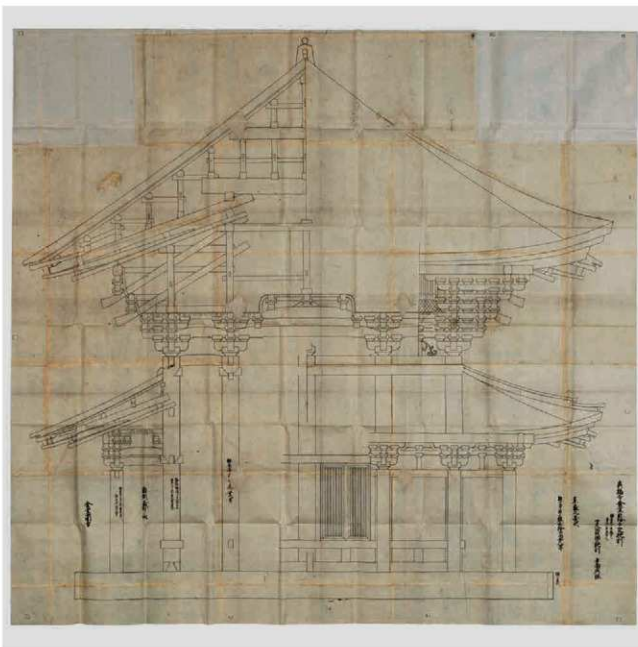
著作権法上の例外を除く二次利用を禁ず



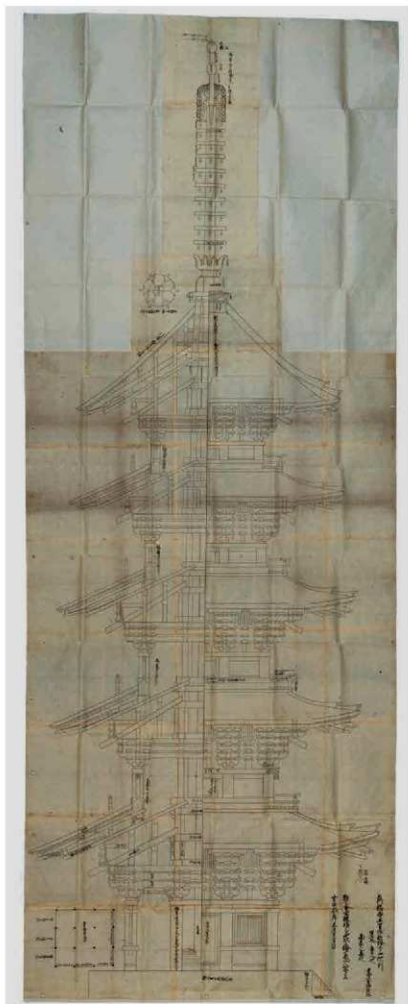
第39回 「絹本着色行基菩薩行状絵伝」第三幅(東大寺大仏殿部分) 家原寺所蔵
著作権以上の権利を除く二次利用を禁ず



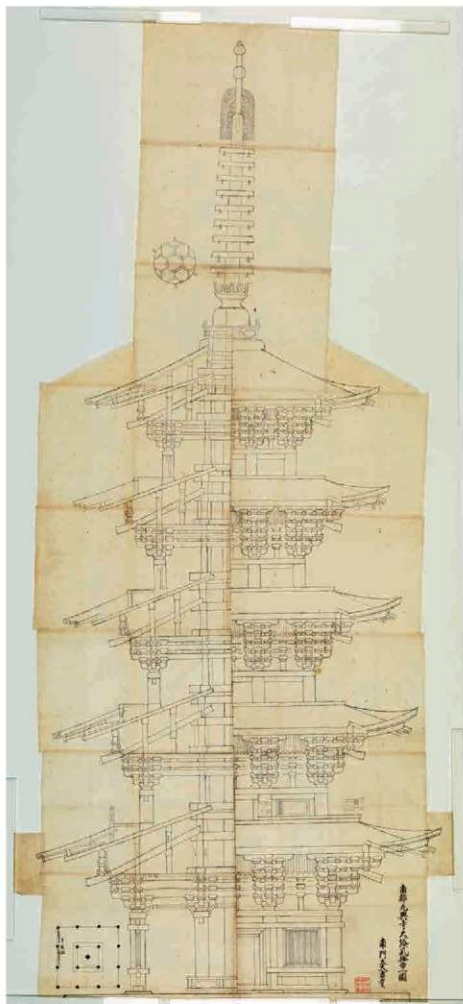
第40図 「興福寺建築諸図」「興福寺金堂五拾歩一之地割」 東京国立博物館所蔵



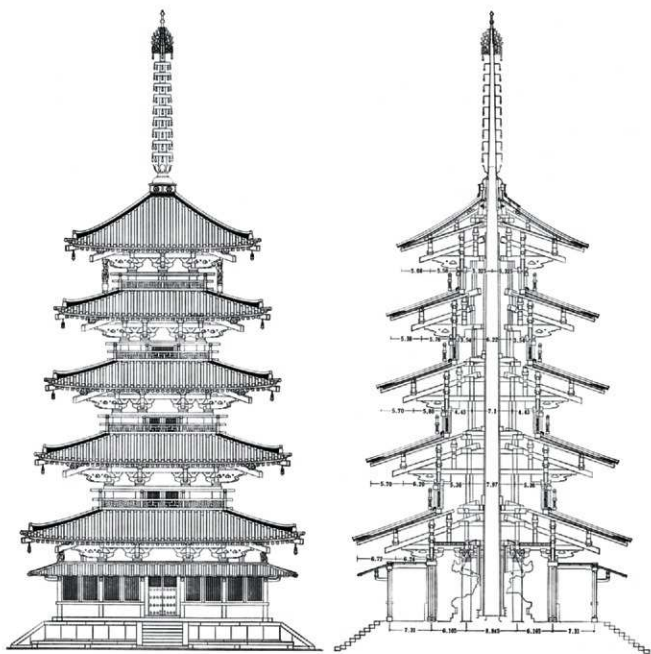
第41圖 「興福寺建築諸圖」〔興福寺金堂式拾歩一之地割〕 東京国立博物館所藏



第42圖 「興福寺建築諸図」興福寺五重塔式拾歩一地割 東京国立博物館所藏

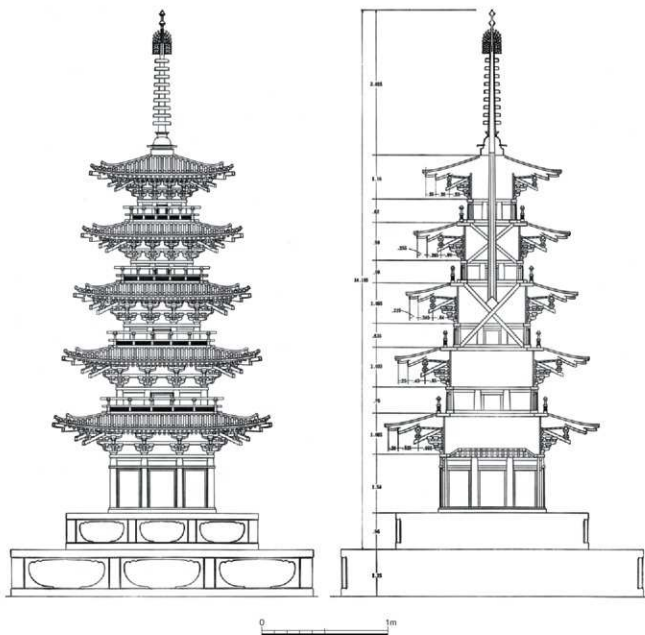


第43圖 「南都元興寺大塔式拾歩一圖」 奈良県所藏



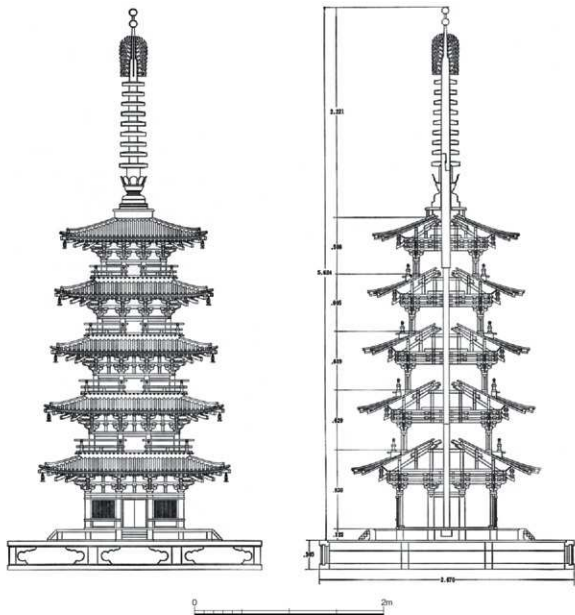
立面图

断面图



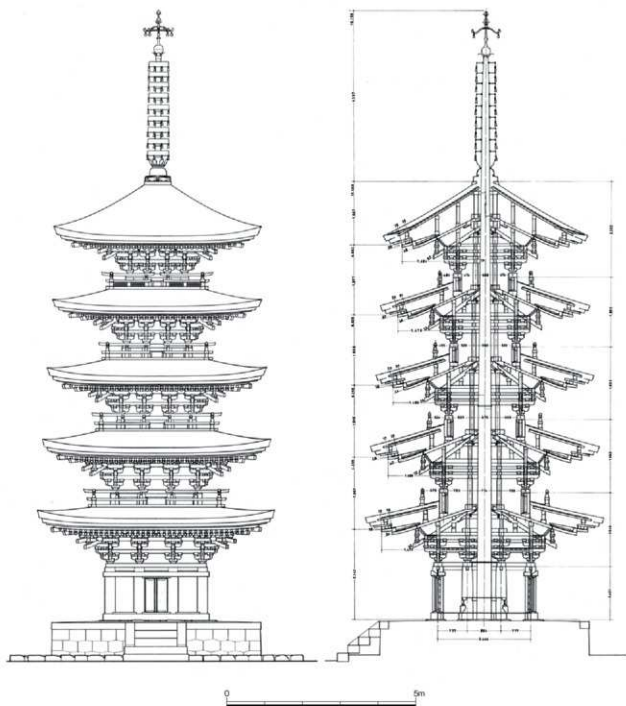
立面图

断面图



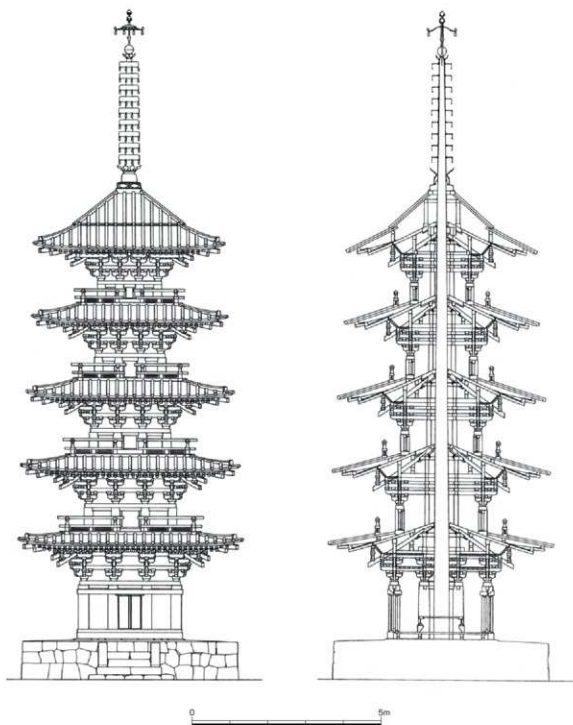
立面图

断面图



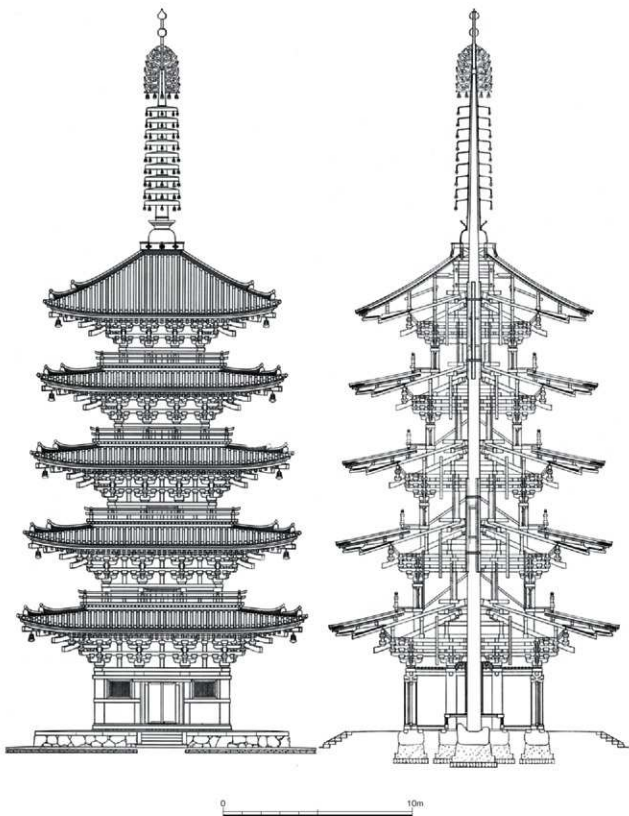
立面图

断面图



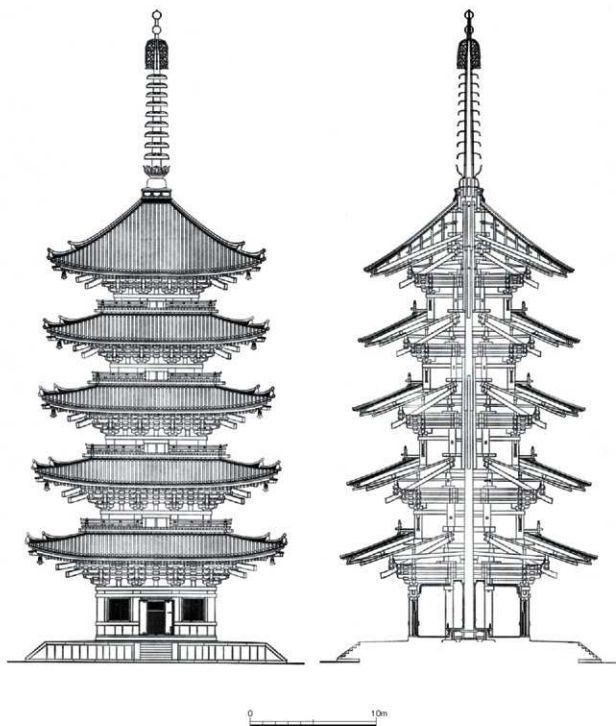
立面図

断面図



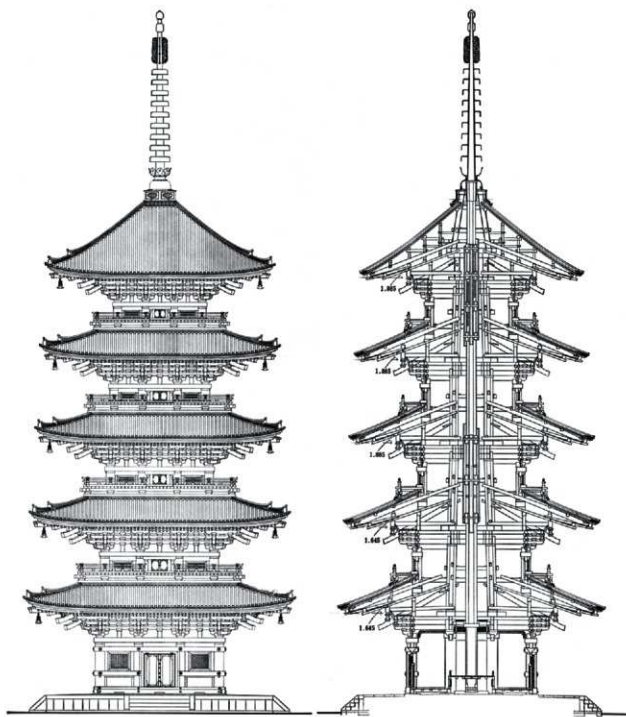
立面图

断面图



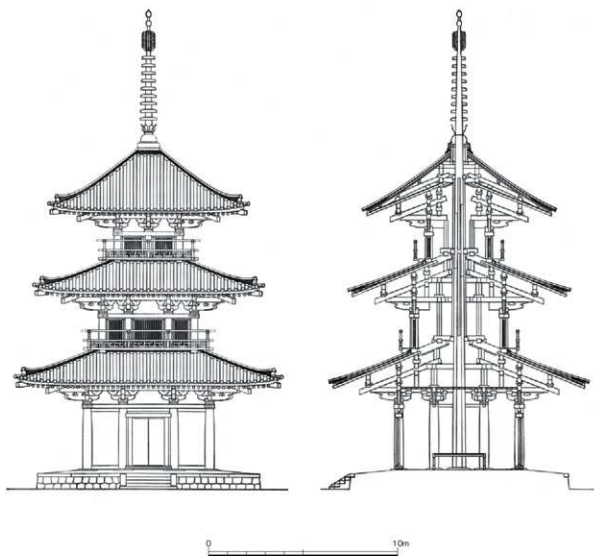
立面图

断面图



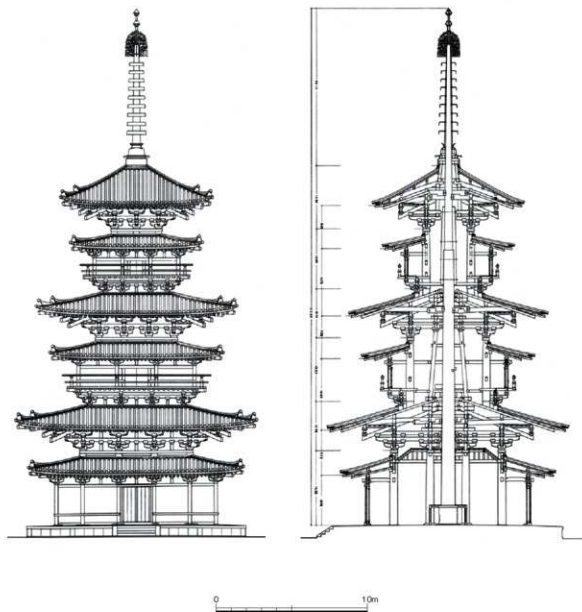
立面图

断面图



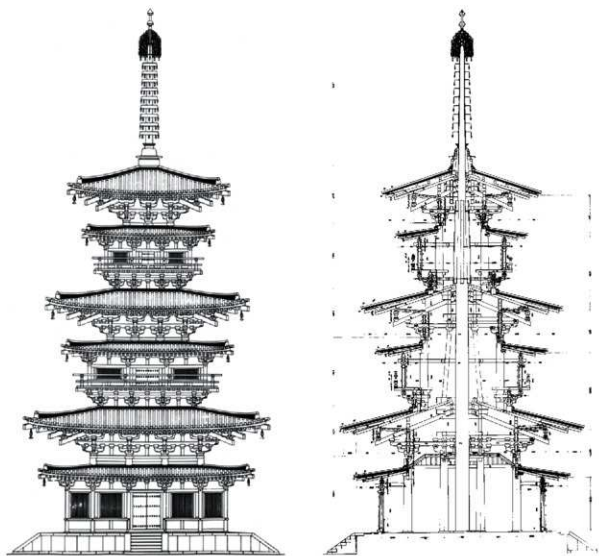
立面图

断面图



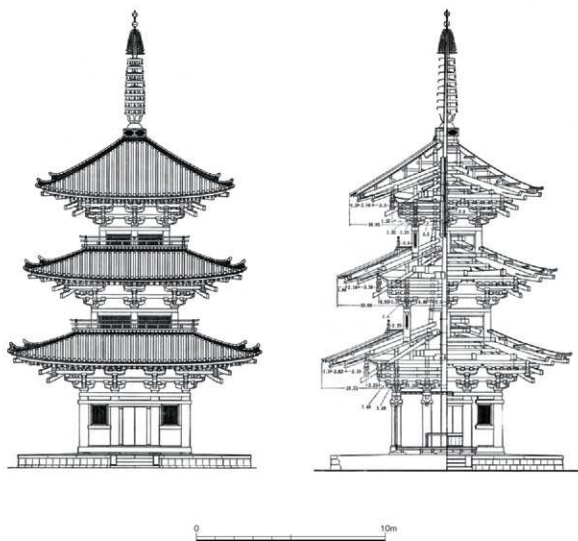
立面図

断面図



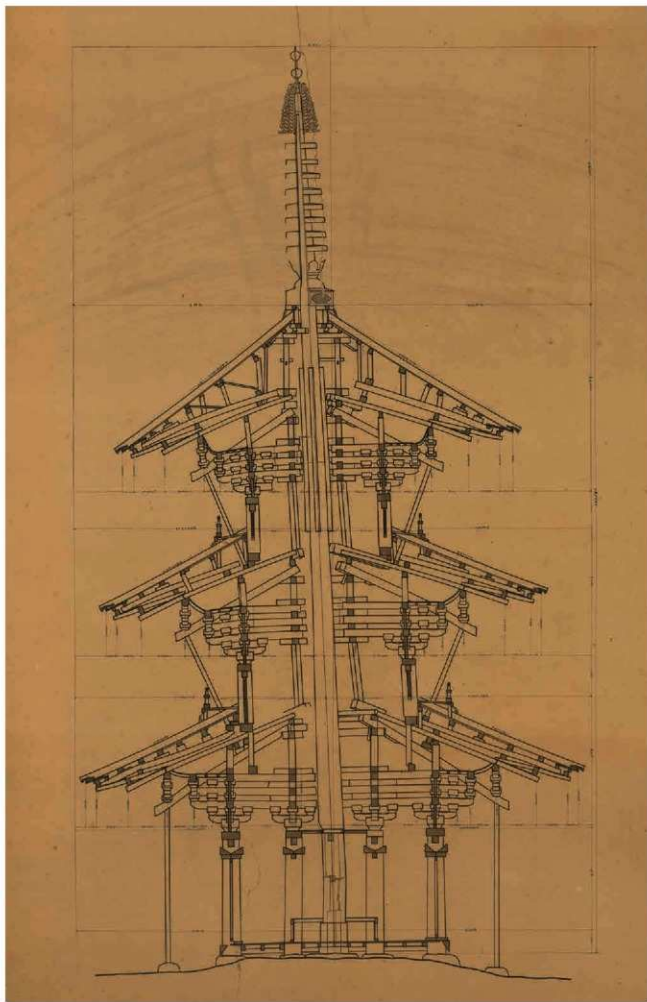
立面图

断面图

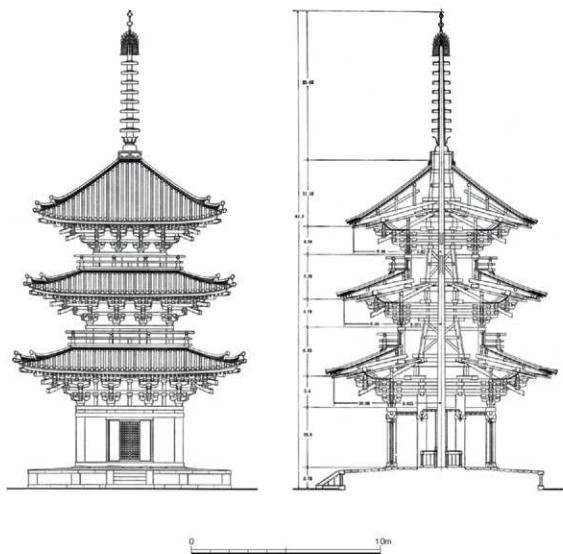


立面图

断面图

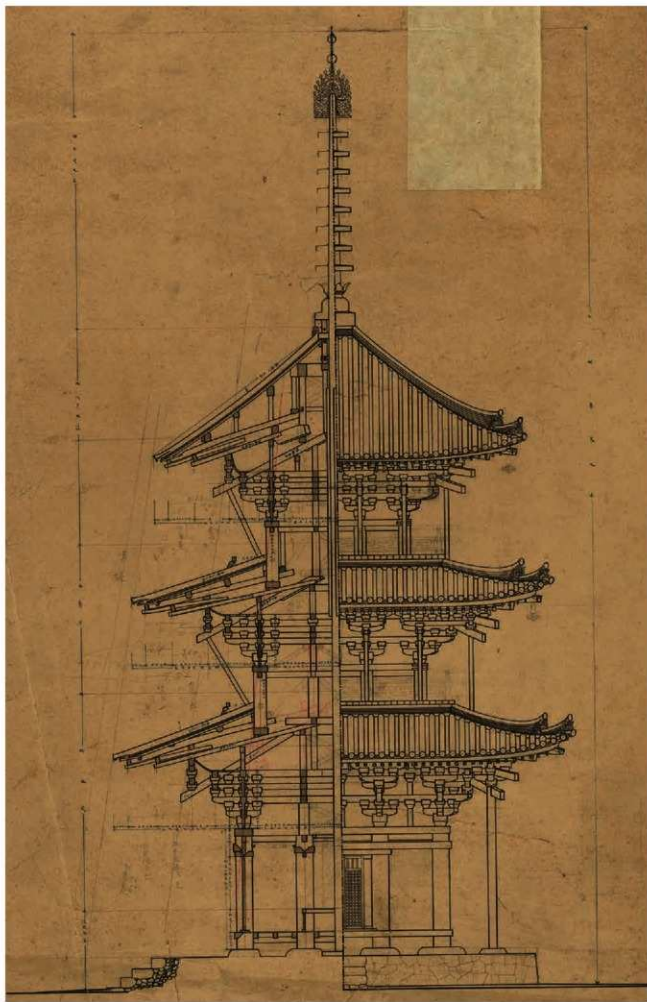


第56图 当麻寺东塔(明治修理前) 断面图 1:100 奈良县所藏

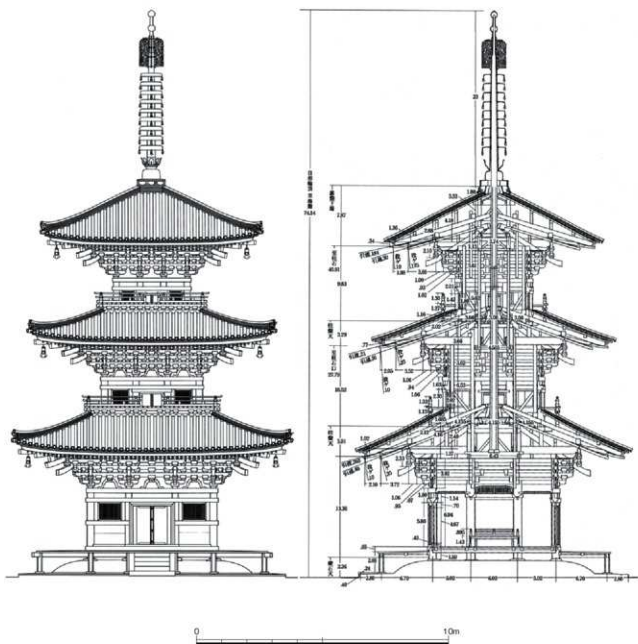


立面图

断面图

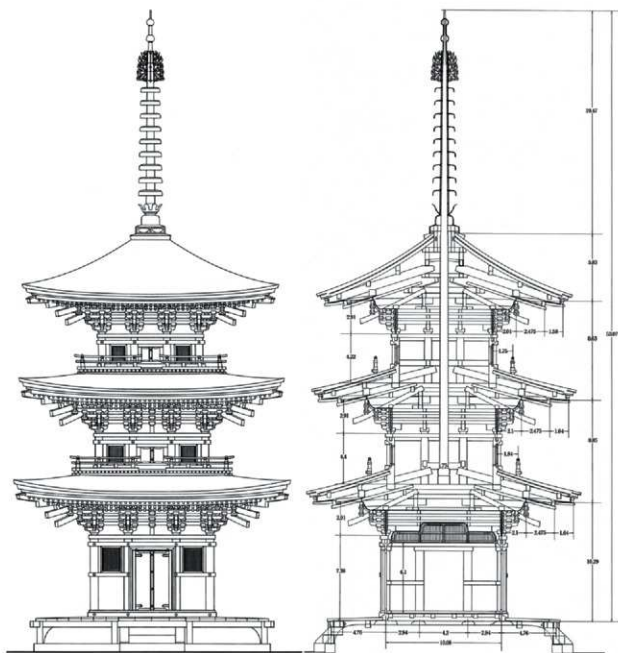


第58图 当麻寺西塔(大正修理前) 立断面图 1:100 奈良县所藏



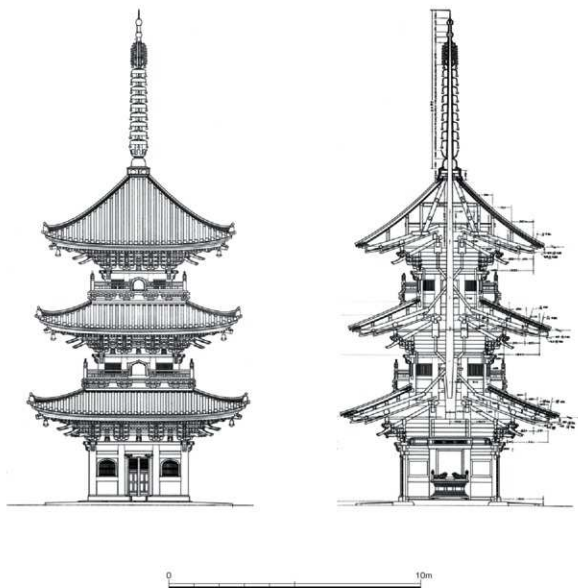
立面圖

断面圖



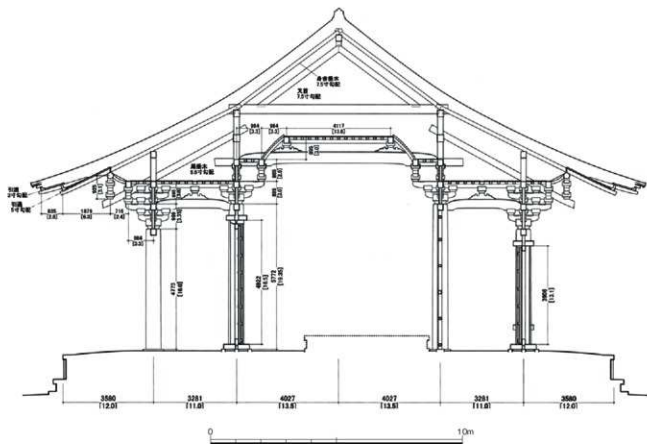
立面图

断面图

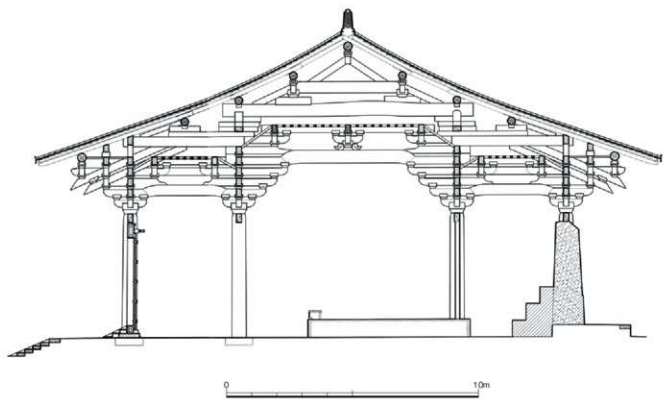


立面圖

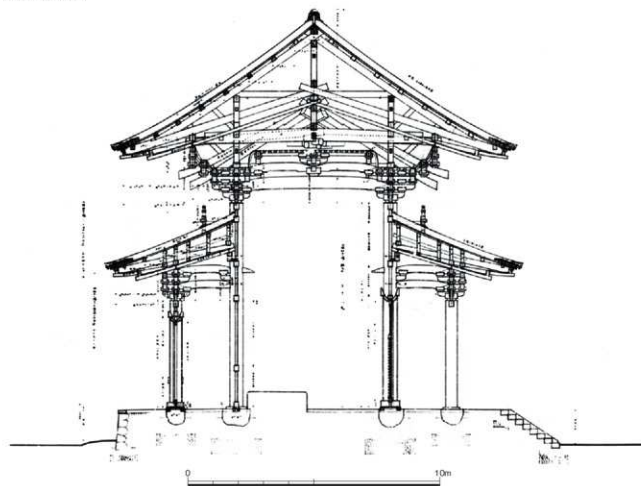
断面圖



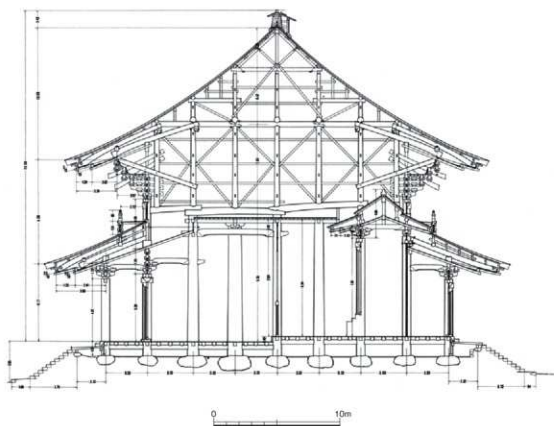
第62图 唐招提寺金堂(復原) 梁行断面图 1 : 150



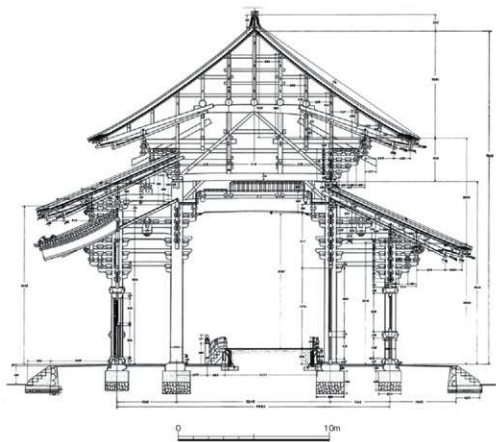
第63图 弘光寺東大殿(中国) 梁行断面图 1 : 150



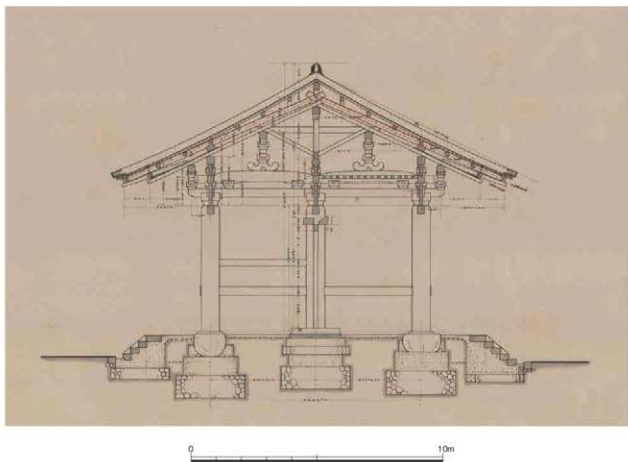
第64図 喜光寺本堂 梁行断面図 1:150



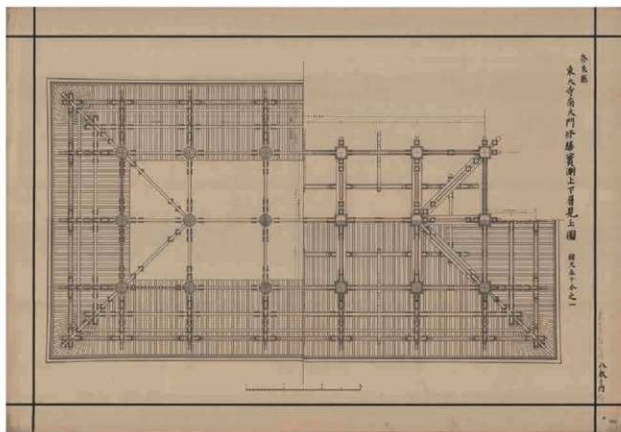
第65図 金峯山寺本堂 梁行断面図 1:300



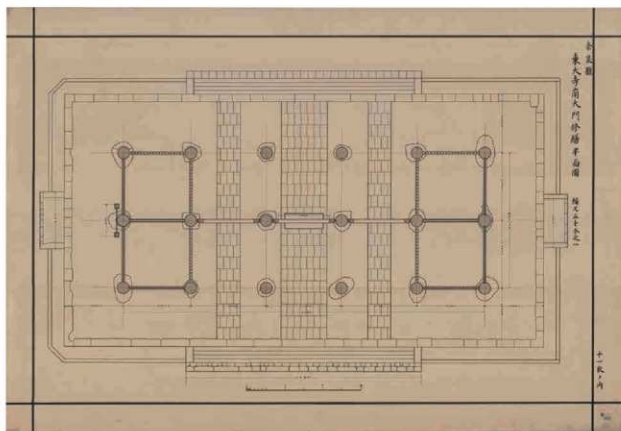
第66図 教王護国寺金堂 梁行断面図 1:250



第67図 東大寺転害門 梁行断面図 1:150 文化庁所蔵

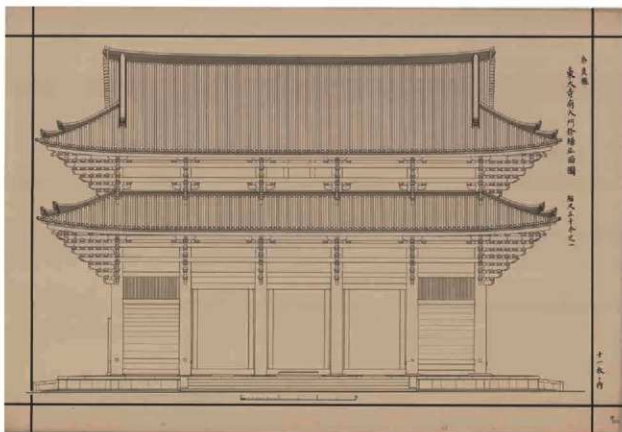


見上圖

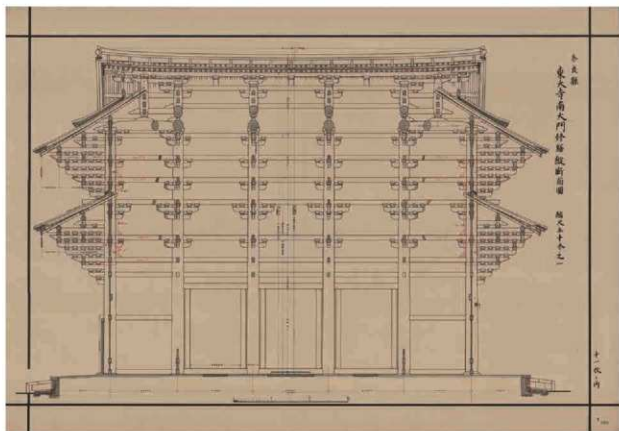


平面図



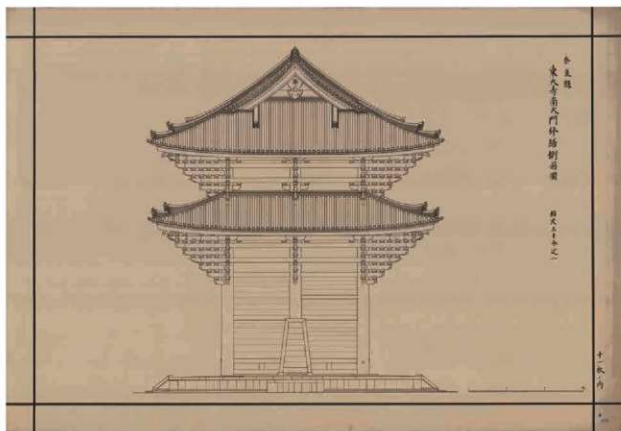


南立面圖

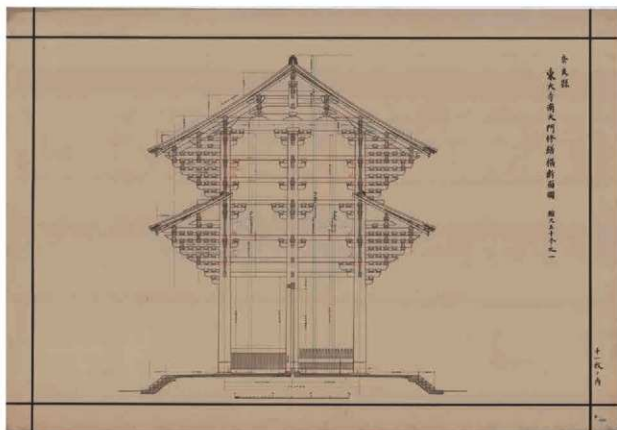


桁行断面圖



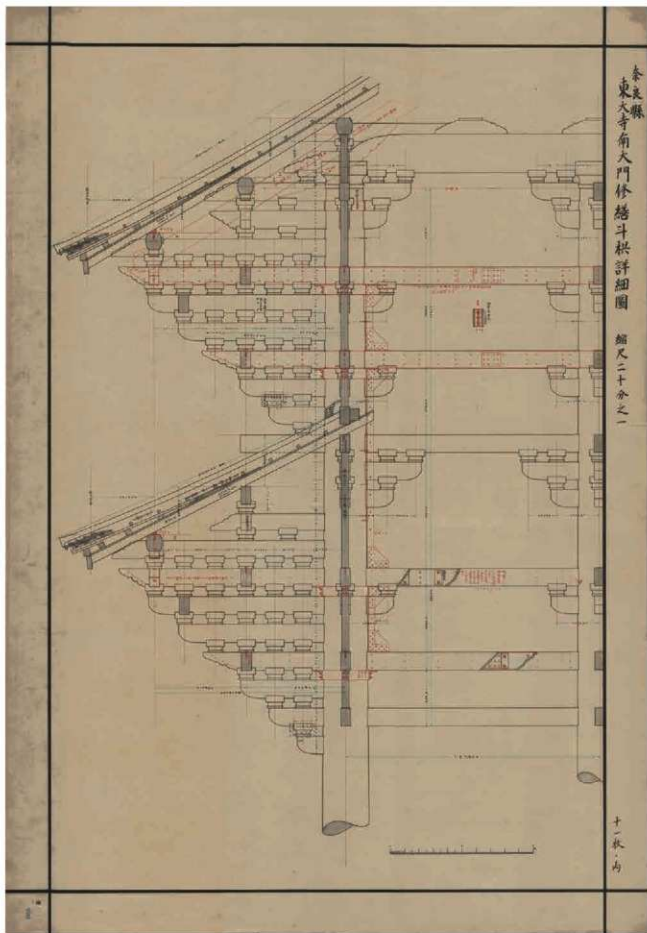


西立面圖

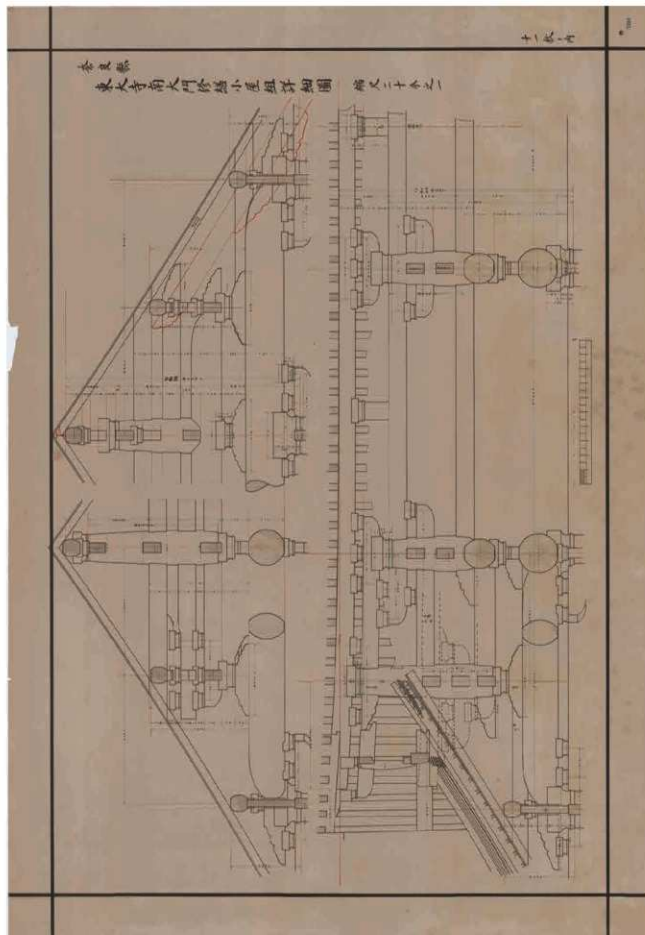


梁行断面圖

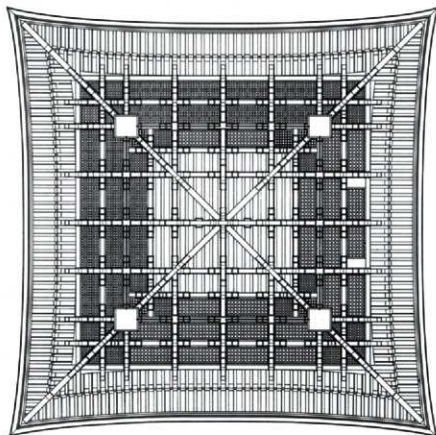




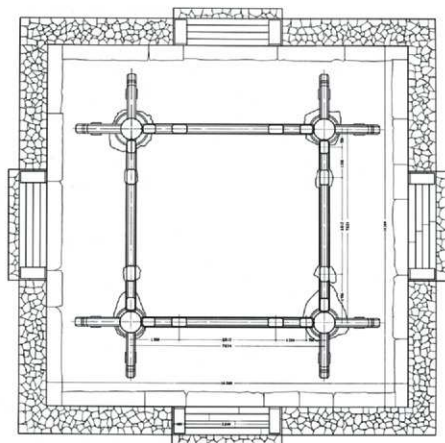
第71圖 東大寺南大門 組物断面詳細圖 1:80 文化庁所蔵



第72圖 東大寺南大門 小屋組断面詳細圖 1:80 文化庁所蔵

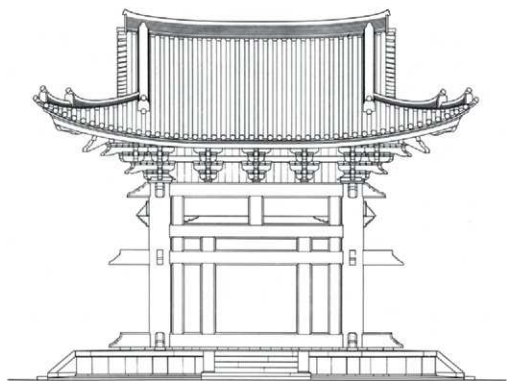


見上図

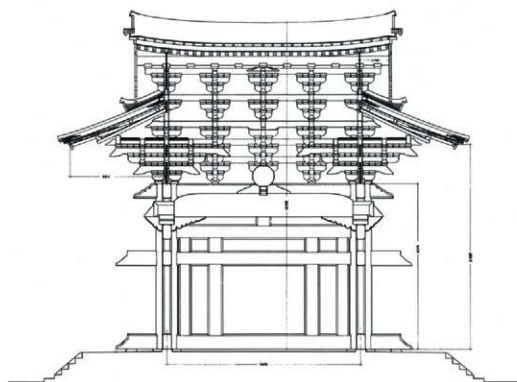


平面図



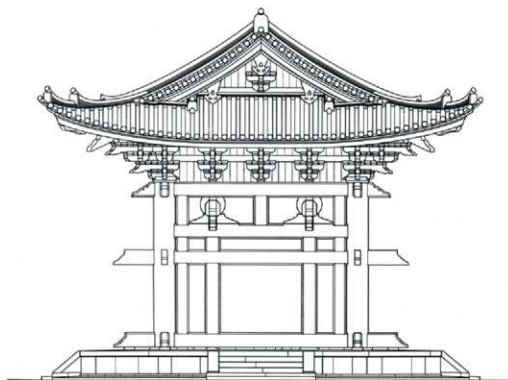


南立面图

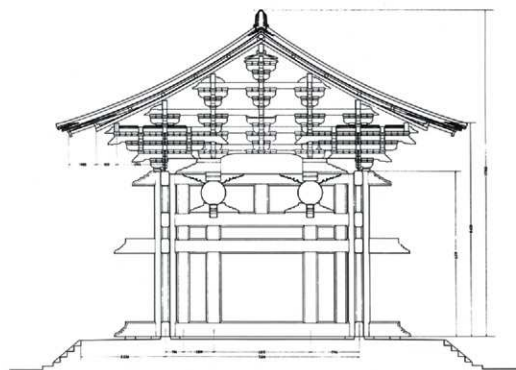


桁行断面图



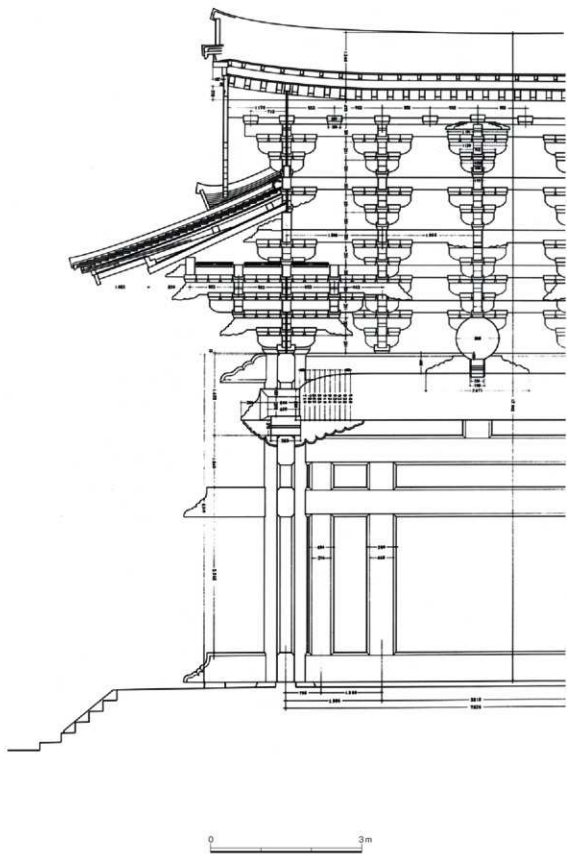


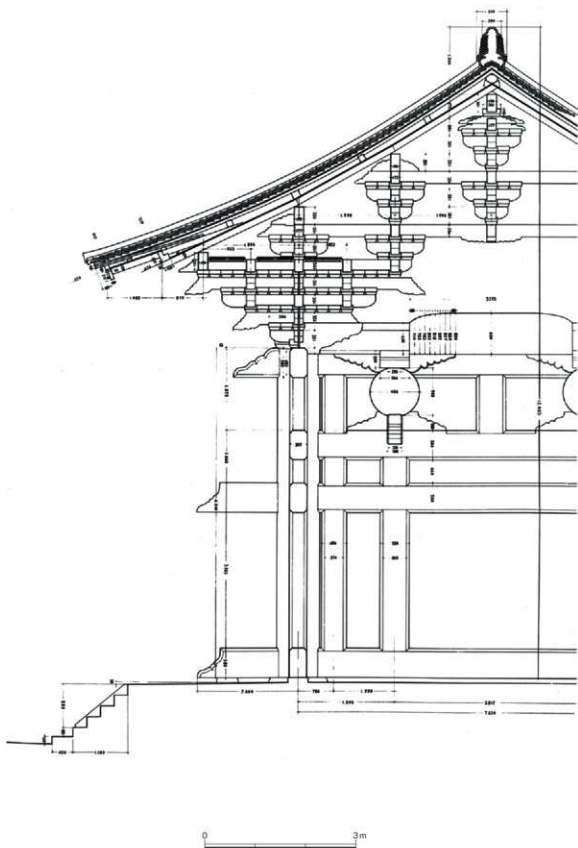
東立面図



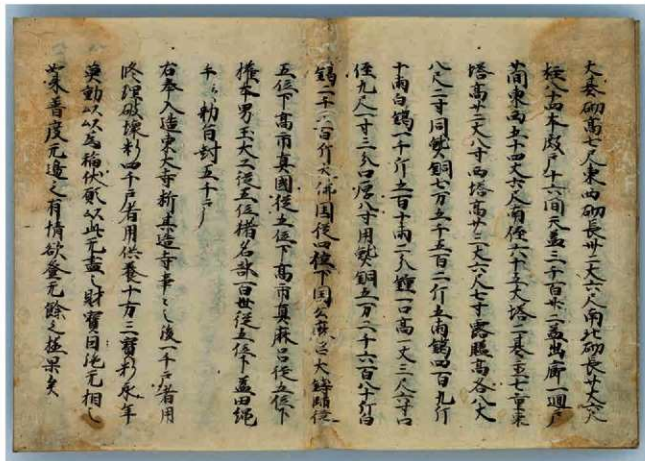
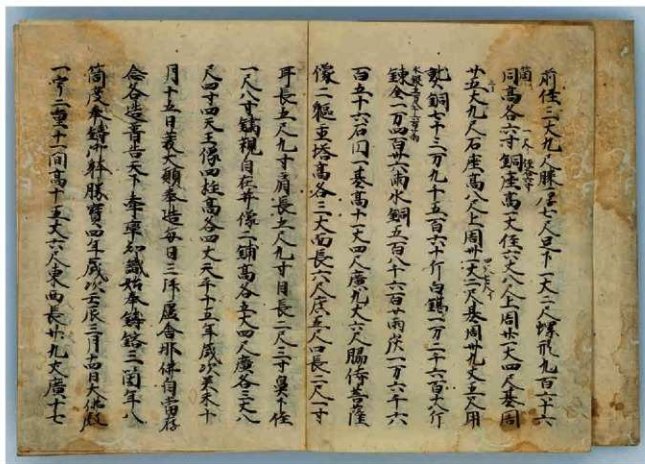
梁行断面図







第77図 東大寺鐘樓 梁行断面詳細図 1:75

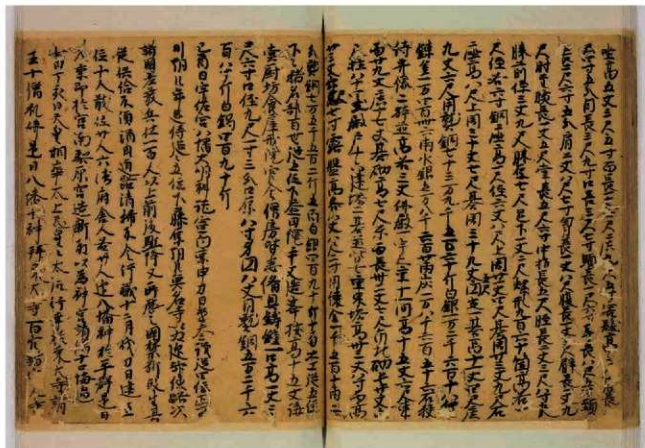


位下高市志唐使五位下持本男五
或疏去字依實命婦大條兼利女此竹寺
之儀式上浴靴竹伴刀奉辨御祭金銅蓋
會即代像一膝約半葉五障守配云想則
以坐高五丈三尺六寸表長一丈一尺廣
九尺五寸密敷高三尺肩長一尺四寸五
分日長三尺九寸口長三尺七寸頭長一
尺六寸耳長八尺五寸頸長二尺六寸五
分肩二丈八尺七寸胸長一丈八尺腹長

一丈二尺膝長一丈九尺肘中腕長一丈
五尺掌長五尺六寸中指長五尺股長二
丈三尺八寸五分膝前徑三丈九尺膝厚
七尺足下一丈二尺螺形九百六十箇高
各一尺徑各六寸刺座高一尺徑六丈八
尺上周六一丈四尺基周六丈三丈九尺不
座高八尺上上周三丈七尺基周三十九
丈五尺四尺一基高十一丈四尺廣九丈
六尺用裝銅七十三万九千五百六十斤

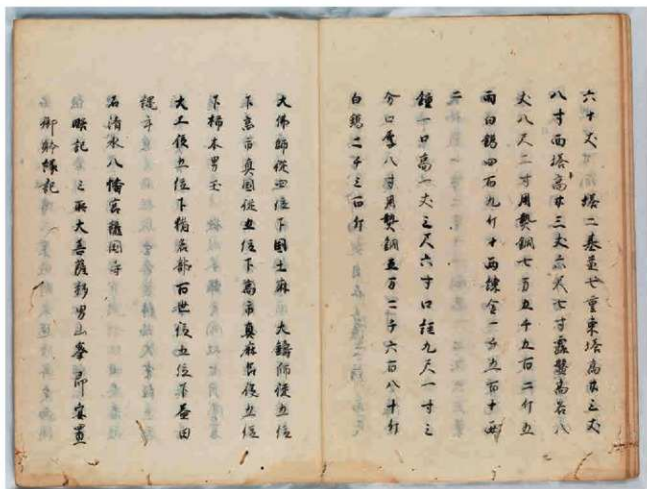
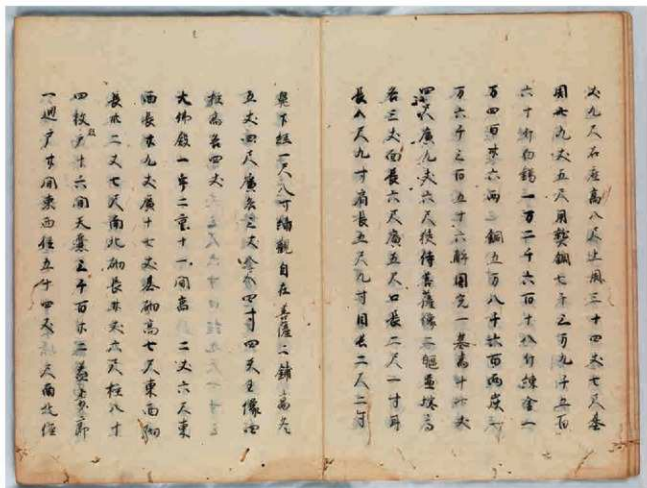
白銀一万二千六百十八斤鍊室一万四
百廿六兩水銀五万八千六百廿兩炭一
万八千六百五十六石狹持并保二替並
高各三丈佛殿一丈二寸十一間高十三
丈六尺東西七丈廣十七丈基砌高七
尺東西長廿二丈七尺南北砌長廿六
尺柱八十四支殿戶十六建塔二基並帶
七重東塔高廿三丈八寸西高廿三丈六
尺七十露臺高各八丈八尺二寸用鍊金

一十五百兩二分裝銅七万五千五百二
斤五兩白銀四百九十斤十兩大二從五
位下下櫛名却百世從五位下益田總平
又造奉極高十五丈講堂厨坊食屋成院
官舍僧房皆志備具鑄鐘一口高一丈五
尺六寸口徑九尺一寸三分口厚八寸身
四八丈用裝銅五万二千六百八十斤白
銅四百九十斤
己酉日宇依宮八幡大明神祀靈白赤中



第一三圖 金勝院本「扶桑略記」(抄本 孝謙天皇 部分) 天理大学附属天理図書館所蔵

著作權法上の例外を除く二次利用を禁ず



第一二圖 林崎文庫旧藏本・内「朝野群載」卷十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 神宮文庫所藏



第一一四 林崎文庫旧藏本・乙「朝野群載」卷十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 神宮文庫所藏

儀者勿替。禮同。是百世。乃不知。定。天。政。官。奉。初。昔。百。天。
不。事。奉。如。禮。以。天。甲。十。五。年。歲。次。癸。未。十。月。十。五。日。於。道。法。
園。齋。樂。堂。奉。割。儀。儀。其。歲。已。止。更。以。天。甲。十。七。年。歲。次。己。酉。
八。月。七。日。於。大。德。園。齋。上。齋。奉。割。同。儀。大。皇。尊。及。神。祇。
入。三。侍。更。於。齋。座。祭。後。百。集。氏。各。人。奉。奠。二。香。盛。都。生。以。
天。甲。十。九。年。歲。次。丁。丑。九。月。十。五。日。於。本。齋。奉。割。以。勝。舊。九。年。
歲。次。己。丑。十。月。廿。四。日。奉。割。已。畢。三。箇。年。八。箇。度。奉。割。御。祭。
以。天。甲。曆。舊。四。年。歲。次。壬。辰。三。月。十。四。日。於。本。齋。奉。割。奉。祭。等。七。
間。以。同。年。四。月。九。日。於。於。天。甲。開。儀。也。同。日。奉。入。小。小。禮。度。
七。六。流。其。樂。明。樂。中。樂。歌。聖。而。是。樂。珍。寶。寺。金。銅。造。金。部。淨。
像。一。施。紹。師。既。坐。高。五。尺。三。尺。五。寸。面。長。一。尺。八。尺。廣。九。尺。

土。千。內。高。三。尺。有。長。五。尺。四。寸。五。分。月。長。三。尺。九。寸。口。長。
三。尺。七。寸。深。長。一。尺。六。寸。耳。長。八。尺。五。寸。頸。長。二。尺。六。寸。五。
分。有。徑。長。二。尺。八。尺。七。寸。胸。長。一。尺。八。尺。腹。長。一。尺。三。尺。背。
長。一。尺。九。尺。肘。至。腕。長。一。尺。五。尺。掌。長。五。尺。六。寸。中。指。長。五。
尺。旺。長。二。尺。三。尺。八。寸。五。分。膝。前。徑。三。尺。九。尺。膝。後。七。尺。足。
下。一。尺。三。尺。掌。取。九。百。六。十。六。萬。合。一。尺。徑。各。三。尺。六。寸。
銅。厚。高。一。尺。徑。六。尺。八。尺。上。同。廿。一。尺。四。寸。基。同。廿。二。尺。九。
尺。石。坐。高。八。尺。上。同。三。尺。四。尺。七。分。基。同。廿。九。尺。五。尺。扇。歌。
銅。七。寸。三。寸。九。寸。五。分。寸。自。環。一。尺。二。尺。六。寸。八。寸。
鍊。金。一。尺。四。寸。五。寸。一。尺。河。水。銀。五。尺。八。寸。六。寸。二。寸。兩。成。一。
百。六。千。六。百。五。十。六。錢。開。光。一。基。高。十。一。尺。四。尺。廣。九。尺。六。

大。依。得。甚。重。僅。二。施。在。法。各。三。尺。面。長。八。尺。廣。五。尺。口。長。
二。尺。一。寸。耳。長。五。尺。九。寸。肩。長。五。尺。九。寸。廣。各。三。尺。八。尺。四。
寸。四。尺。三。尺。四。寸。柱。高。各。四。尺。
大。佛。殿。一。寸。二。重。十。一。間。高。十。五。尺。六。尺。東。面。長。廿。九。尺。廣。
十。七。尺。基。高。七。尺。東。面。初。基。三。十二。尺。七。尺。南。北。初。基。七。
一。尺。六。尺。柱。八。寸。四。枚。殿。戶。十。八。間。天。蓋。三。十。月。五。五。步。所。
一。咫。戶。六。間。東。面。徑。五。十。四。尺。六。尺。南。北。徑。六。十。五。尺。各。
二。基。並。七。重。東。塔。在。三。尺。八。寸。西。塔。高。三。尺。六。尺。七。寸。露。
盤。高。八。尺。八。尺。二。寸。用。銀。銅。七。百。五。十。五。百。二。百。五。兩。白。
銀。四。百。九。斤。十。兩。鍊。金。一。十。五。百。十。兩。三。分。
鐘。一。口。高。一。尺。三。尺。六。寸。口。徑。九。尺。一。寸。三。分。口。亭。八。寸。肩。

樂。銅。五。百。三。十。六。百。八。十。斤。自。銀。二。十。五。百。斤。
大。佛。師。從。四。柱。下。國。王。麻。呂。
大。鑄。師。從。五。位。下。高。市。真。國。
從。五。位。下。高。市。真。國。麻。呂。
從。五。位。下。神。不。曾。土。
從。五。位。下。相。合。百。世。
從。五。位。下。益。田。龍。寺。
石。清。水。八。德。宮。護。國。寺。
略。記。三。所。入。善。慶。寺。屋。野。山。學。所。奉。安。並。御。體。
議。起。事。

大九尺、名座高八尺、上周三十四丈七尺、基
 用北九丈六尺、用契銅七千三百九十五百
 六十斤、白錫二万二千六百十八斤、鍊金一
 万四百六十四两、水銀五万八千六百兩、炭十
 万六千三百五十六斛、圍光一基、高十一丈
 四尺、廣九丈六尺、狹侍菩薩像二軀、並像高
 各三丈、面長六尺、廣五尺、口長二尺一寸、耳
 長五尺九寸、肩長五尺九寸、目長二尺一寸、

鼻下徑六尺八寸、備親自任菩薩二鋪、高各
 五丈四尺、廣各三丈八尺四寸、四天王像四
 軀、高各四丈六尺三寸、口徑六尺一寸、三
 大佛殿一字、三重十間、高十一丈六尺、東
 面長九丈、廣十七丈、基高七尺、東西面
 長六丈七尺、南面如長廿六丈六尺、北八丈
 四尺、殿六五六間、天蓋三千百葉、益步廊
 一、迴廊、東西徑五十丈六尺、南北徑

六丈、名座高八尺、上周三十四丈七尺、基
 用北九丈六尺、用契銅七千三百九十五百
 六十斤、白錫二万二千六百十八斤、鍊金一
 万四百六十四两、水銀五万八千六百兩、炭十
 万六千三百五十六斛、圍光一基、高十一丈
 四尺、廣九丈六尺、狹侍菩薩像二軀、並像高
 各三丈、面長六尺、廣五尺、口長二尺一寸、耳
 長五尺九寸、肩長五尺九寸、目長二尺一寸、

鼻下徑六尺八寸、備親自任菩薩二鋪、高各
 五丈四尺、廣各三丈八尺四寸、四天王像四
 軀、高各四丈六尺三寸、口徑六尺一寸、三
 大佛殿一字、三重十間、高十一丈六尺、東
 面長九丈、廣十七丈、基高七尺、東西面
 長六丈七尺、南面如長廿六丈六尺、北八丈
 四尺、殿六五六間、天蓋三千百葉、益步廊
 一、迴廊、東西徑五十丈六尺、南北徑

丈九尺石座高八尺上圓三十四丈七尺塔
周卅九丈五尺用契銅七千三百九十九百
六十斤白鶴一万二千六百十八斤鍊金一
萬四百卅六斤 銅五萬八千六百兩炭一
萬六千三百五十六斛圓光一基高十一丈
四尺廣九丈六尺狹侍善薩像二軀並塔各
高三丈而長六尺廣五尺口長二尺一寸耳
長五尺九寸肩長五尺九寸目長二尺二寸

犀下柱一尺八寸繞觀自在菩薩二鋪高各
五丈四尺廣各三丈八尺四寸四天王像四
柱高各四丈
大佛殿一宇二重十一間高二丈六尺東
西長卅九丈廣十七丈基初高七尺東西砌
長卅二丈七尺南北砌長廿六丈六尺柱八十
四枚殿宇十六間天臺三千百廿二蓋坐席
一地戶亦洞東西徑五十四丈 尺南北徑

六丁丈 塔二基並七重東塔高廿三丈
八寸西塔高廿三丈六尺七寸露盤各八
丈八尺二寸用契銅七萬五千五百二斤五
夜白鶴四百九斤十五鍊金一千五百十五
二
鐘一口高一丈三尺六寸口徑九尺一寸三
分口厚八寸用契銅五萬二千六百八十斤
白鶴二千三百斤

大仙師使四位下圓土麻 大鑄師役五位
下高市真國使五位下高市真麻呂使五位
下柿本男五
大工役五位下稿名部百廿位五位下益日
繩手
石清水八幡宮讓因寺
略記 三頁六善薩像 名山峯即安置
御射條記

運土築堅所座以天十十九年感以丁未九月始
奉侍錄以朕室元年感以己未月嘗奉侍已畢
三十一年八月度奉侍所錄以天平服室年感以
壬辰三月十日始奉侍金未畢一以同以月年四月
九日備於大奉用服也同日奉入大小儀項至六月
至明示片示數示高眷示珍室等

金仍虛舍那佛一施法山破離高又又又又又
長一又六人廣九人寸室高三人有長五人寸下
日長三人九寸日長三人寸頰長一又六寸耳長八寸
頰長三人寸五寸有長三人八寸寸頰長又八人服

長又又又又又又又又又又又又又又又又又
六寸寸指台上人眼身又又又又又又又又又又又
殊唇七人足下又又又又又又又又又又又又又
三人六寸寸頰高又又又又又又又又又又又又
又又又又又又又又又又又又又又又又又又又
用裝釘七十三方九寸五寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸
八寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸
六寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸
秋侍菩薩像二施至像各三又又又又又又又又
五人寸長三人寸寸長五人九寸寸長五人九寸日長

又寸寸莫下位一八寸佛觀自在菩薩二補之各五
又八尺廣各三又八尺四寸四寸五像四種各各四又
大佛殿一又二又上同之又又又又又又又又又又
又奉即高七人東西砌長又又又又又又又又又又
六尺長八寸四枚殿一又六尺長三寸寸寸寸寸寸寸
一週戶寸同東西長五寸四寸六寸寸寸寸寸寸寸
一又二寸至七寸東長五寸又八寸寸寸寸寸寸寸寸
佛盤各各八又八寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸
白錫四百九寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸
鐘寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸

五方寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸
八件寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸寸
促位下高市真麻呂位五像佛本聖聖聖聖聖聖聖
又又又又又又又又又又又又又又又又又又又又
石清水八幡宮讀圖書
略記 三所大菩薩移坐里山家即來善觀像記
石行杖 檢寺寺案佛行久匠夕年美帝所撰時秋奉
外大菩薩之表以表其觀光年春乃所撰時秋奉
中依宮四月了且日參看殿室夏之間在須空前
直將讀天重復正位誦命具言奉教不辭奉

都不得成補治可造高奉命旨以去實苑
二年歲次辛亥四月庫詰近丈亦自親往詣近
江國信樂松御柱作偷違送寺家別稱造兵
箇月內其年已畢今近世年无動損也

一奉國大佛佛身破損并无古佛于此未年

右勅使僧總諸大寺三總无宿人法師等俱集令

奉國所由商量之間經三十二年可圖造不

得固多信實忠獨策恩戰事之近不自身性互

於伊賀松造出應奉同極并令造難投木能轉去

近曆廿年中也以復廿年中上件調度材木逐

上隨極奉國嚴儲如前

一太佛殿步廊并前後中門左右使門不懸條之木

造度幸

一舍前造材木百二枚 考度程同百廿回

右常例偷懸條之總久經年序朽腐純板不用由

茲當懸條解文等暇入成幸尤遲依此法師實忠

以去近曆年中令造如件

一梅上東塔露盤幸

露盤一具 萬丈三丈 第一層徑丈八

右諸調度物其重梅上言高諸三近寺中未得

梅上皆悉碎逐令時實忠兼信公命親登其石
量其便直催工丈等三三月內梅上已畢也此板
中實直金字取勝至經一寺佛舍利十粒催時實
字八年歲次甲辰

一奉造東西少塔殿幸

右以去神羅崇堂年中為安直 佛願少塔物

令進殿後而大工等造樣其魄依此法師實忠

改大工不作樣更換造杉五人條上奉造如前

併此樣請寺造也

一寺西大垣并中大門右大垣同造幸

右以去近曆廿三年卓寺法師實忠加檢校造圓

知件

一造豆寺北大門幸

右大門更不山作寺內散在材木取集以去近

歷廿年中造立如件

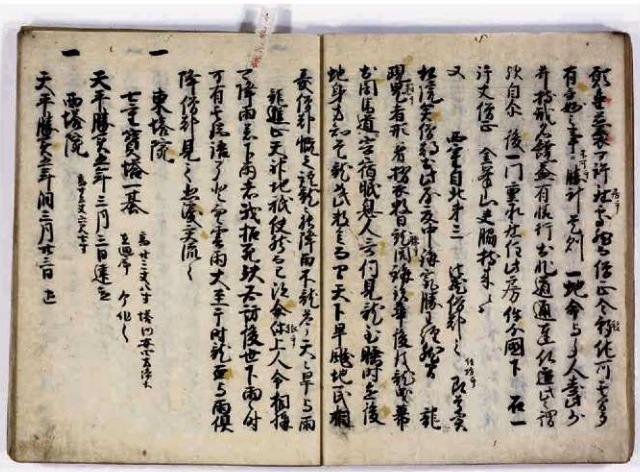
一堤作池一處 在東大寺而春日右以去神羅元

一奉造立塔一基 在東大寺而春日右以去神羅元

右二種幸兼信公命奉為國家奉造如前

一奉任寺家造九刺當幸

舍三箇年 自實元二年 近近元二年



第二回 東大寺本「東大寺要録」卷四諸院章第四「東塔院」「西塔院」 東大寺所藏

膝長二丈三尺八寸五分 膝前性三丈九尺 膝厚七丈五寸下
 一丈三尺 檼殿九百六十六間 高者一丈 性者六寸 銅座高
 一丈 性六丈八尺 上周半丈四尺 春周廿三丈九尺 石序高八尺
 上周廿四丈七尺 春周廿九丈 夏用梁銅七十三百九十九
 百六十九斤 白錫一百二千六百八十八斤 鍊金一百四十四萬
 餘五百八十八斤 白銀一百六十六萬五千六百六十六斤 春
 高十丈 夏九丈六尺 披侍并像二律 五塊 高者三丈
 而長六尺 座五尺 口長一丈二寸 長五尺九寸 肩長五尺七
 寸 日長二丈二寸 鼻下性二丈八寸 銅觀自在并像三銅 高
 七丈五寸 尺座各三丈八尺四寸 四天三像 四柱 高者四丈 若
 下有兜脫一律 若外長三丈 大佛殿一宇 二寶十二間 高十
 二丈六尺 東西長廿九丈 座十七丈 春高七丈 東西長
 廿二丈七尺 南北高廿丈六尺 柱八十四枚 殿戶十六間 夏
 三千五百廿二蓋 步廊一週 戶廿四 東西性五十四丈六尺 北
 性六十五丈
 塔二基 五七堂 東塔高廿二丈八寸 西塔高廿三丈六尺七寸
 窟鑿高八丈八寸 用梁銅七百五十五斤 二打五萬五千錫
 四百九打十萬餘金一千五百十五斤 各管一口 高一丈三尺六
 寸 口徑九尺一寸 三百口 厚八寸 用梁銅五百二千六百八十八
 斤 白錫二千三百斤

第一圖 醍醐寺本「東大寺要録」卷二緣起章第二「大仏殿碑文」(部分) 醍醐寺所藏

図版出典目録

図番号	出典・所蔵等
第1～19図	奈文研の研究成果にもとづき文建協作図。一部調整。
第20図	東大寺所蔵。奈文研撮影。1：500に縮小。
第21図	奈良県所蔵・提供。1：500に縮小。
第22～29図	東大寺所蔵・提供。
第30図	東大寺所蔵・提供（北野陽子描画）。
第31図	〔東大寺東塔院跡 境内史跡整備事業に係る発掘調査概報1〕東大寺、2018、14～15頁、図12にもとづき作成。
第32～36図	東大寺所蔵。奈良国立博物館提供。
第37図	朝護孫子寺所蔵・提供。
第38・39図	家原寺所蔵。奈良国立博物館提供。
第40～42図	東京国立博物館所蔵・提供。
第43図	奈良県所蔵。奈文研撮影。
第44図	〔日本建築史基礎資料集成11塔婆1〕中央公論美術出版、1984、図面113・114頁にもとづき作成。
第45図	〔日本建築史基礎資料集成11塔婆1〕中央公論美術出版、1984、図面121・122頁にもとづき作成。
第46図	〔日本建築史基礎資料集成11塔婆1〕中央公論美術出版、1984、図面125頁にもとづき作成。
第47図	〔国宝室生寺五重塔（災害復旧）修理工事報告〕奈良県教育委員会、2000、図面第一一・一二図にもとづき作成。
第48図	〔国宝室生寺五重塔（災害復旧）修理工事報告〕奈良県教育委員会、2000、42頁、第22図にもとづき作成。
第49図	〔日本建築史基礎資料集成11塔婆1〕中央公論美術出版、1984、図面136・137頁にもとづき作成。
第50図	〔日本建築史基礎資料集成11塔婆1〕中央公論美術出版、1984、図面158頁にもとづき作成。
第51図	〔日本建築史基礎資料集成11塔婆1〕中央公論美術出版、1984、図面165・166頁にもとづき作成。
第52図	〔日本建築史基礎資料集成11塔婆1〕中央公論美術出版、1984、図面172・173頁にもとづき作成。
第53図	浅野清『薬師寺東塔に関する調査報告書』薬師寺、1981、132・133頁、図版東塔の部43・44にもとづき作成。
第54図	浅野清『薬師寺東塔に関する調査報告書』薬師寺、1981、144・145頁、図版東塔の部55・56にもとづき作成。
第55図	〔日本建築史基礎資料集成11塔婆1〕中央公論美術出版、1984、図面185・186頁にもとづき作成。
第56図	奈良県所蔵・提供。1：100に縮小。
第57図	〔日本建築史基礎資料集成11塔婆1〕中央公論美術出版、1984、図面190・191頁にもとづき作成。
第58図	奈良県所蔵・提供。1：100に縮小。

図番号	出典・所蔵等
第59図	『日本建築史基礎資料集12塔婆Ⅱ』中央公論美術出版、1999、図面130・131頁にもとづき作成。
第60図	『日本建築史基礎資料集12塔婆Ⅱ』中央公論美術出版、1999、図面136・137頁にもとづき作成。
第61図	『国宝向上寺三重塔修理工事報告書』国宝向上寺三重塔修理委員会、1963、図面第三・五図にもとづき作成。
第62図	『国宝唐招提寺金堂修理工事報告書〔本編2〕』奈良県教育委員会、2009、936頁、第13-1図にもとづき作成。
第63図	『佛光寺東大毘盧建築勘察研究報告』文物出版社、2011、276・277頁、実測図五にもとづき作成。
第64図	『国宝・重要文化財（建造物）実測図集（奈良県その2）』文化庁、1971、158頁、奈良807にもとづき作成。
第65図	『国宝金峯山寺本堂修理工事報告書』奈良県教育委員会、1984、図面第五図にもとづき作成。
第66図	『重要文化財教王護国寺東大門ほか三種修理工事報告書』京都府教育庁指導部文化財保護課、2013、図面12頁、図面5にもとづき作成。
第67～72図	文化庁所蔵。東大寺提供。キャプション記載の縮尺に縮小。
第73図	『国宝東大寺鐘樓修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第一・一〇図にもとづき作成。
第74図	『国宝東大寺鐘樓修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第八・一〇図にもとづき作成。
第75図	『国宝東大寺鐘樓修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第七・九図にもとづき作成。
第76図	『国宝東大寺鐘樓修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第一三図にもとづき作成。
第77図	『国宝東大寺鐘樓修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第一二図にもとづき作成。
第一図	醍醐寺所蔵・提供（『東大寺叢書1 東大寺要録一』87-88頁、東大寺、2018）。
第二図	東大寺所蔵・提供（『東大寺叢書2 東大寺要録二』109-103頁、東大寺、2019）。
第三図	東大寺所蔵・提供（『東大寺叢書3 東大寺要録三』24-27頁、東大寺、2023）。
第四図	国文学研究資料館所蔵・提供。
第五図	宮内庁書陵部所蔵・提供。
第六図	神宮文庫所蔵。奈文研撮影。
第七図	宮内庁所蔵・提供。
第八図	国立公文書館内閣文庫所蔵・提供。
第九図	東京国立博物館所蔵。奈文研撮影。
第一〇～一二図	神宮文庫所蔵。奈文研撮影。
第一三図	天理大学附属天理図書館所蔵・提供。
第一四図	宮内庁書陵部所蔵・提供。
第一五図	奈良国立博物館所蔵・提供。

構造解析資料

構造解析資料

例言	(1)
天平塔 復元原案	(5)
興福寺五重塔	(119)
天平塔 内部柱検討案	(191)

本資料は、東大寺から委託を受けた公益財団法人文化財建造物保存技術協会が、株式会社立石構造設計に再委託して実施した、東大寺東塔の復元研究に係る構造解析の結果をまとめたものである。

本報告書に収録するにあたり、公益財団法人文化財建造物保存技術協会ならびに株式会社立石構造設計が構造解析資料を作成し、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所が体裁を整えた。なお、「例言」については株式会社立石構造設計からの聞き取りなどにもとづき、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所 山本光良が作成した。

例 言

本資料は、東大寺から委託を受けた公益財団法人文化財建造物保存技術協会(以下、「文建協」と略称する)が、株式会社立石構造設計(以下、単に「立石構造設計」と称する)に再委託して実施した、東大寺東塔の復元研究に係る構造解析の結果をまとめたものである。

構造解析は、天平塔の復元原案・内部柱検討案、興福寺五重塔を対象におこない、その成果を各案・建物ごとにまとめた。それぞれ、軸部・組物・軒に関する検討、応力図、添付資料で構成される。軸部・組物・軒に関する検討には、各部材についての検討方法・前提条件・検討結果などをまとめた。応力図は、後述する架構解析で作成したもので、塔身全体とその隅行き方向の曲げモーメント図と、各重の曲げモーメント図・せん断力図をまとめた。添付資料には、後述するFEM解析で作成した欄柱盤および地垂木に関する各種の図をまとめた。

以下では、構造解析における前提条件、方法や各種の設定・仕様などについて述べる。

i 前提条件

各建物の各部の納まりや仕様は、原則として文建協作成の図面による。構造解析における前提条件は、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所(以下、「奈文研」と略称する)・文建協・立石構造設計で協議して設定した。

荷重は、長期荷重(固定荷重)のみを扱う。木材は、良材を想定して曲げに対する基準強度などを割り増した。すなわち、今回用いた木材の基準強度や許容応力度は、本検討用のものである。部材の断面欠損や継手による影響は考慮していない。検定比については、許容値(許容する上限値)を設定した。天平塔の樹種はすべてヒノキと仮定したが、参考として、大斗と隅行一の肘木はケヤキでも検討した。天平塔の復元原案の地垂木は、参考として、剛性低下を考慮した場合でも検討した。各案・建物の一の肘木の曲げ検定比の算出については、平・隅とも大斗幅を考慮し、大斗心ではなく大斗側面での曲げモーメントを用いた。各相輪重量および天平塔の軒風鐸の重量は、奈文研の推定などにもとづく。

なお、興福寺五重塔では、荷重の設定、構造モデルや各部の納まりなど、細部に拘泥していない。そのため、興福寺五重塔についてはおおよその性状の把握に留まり、天平塔に比べ定性的な検討である。天平塔の内部柱検討案では、内部柱の柱盤および六重の四の肘木上にある東踏の曲げ・せん断に関する検討もおこなったが、めり込みに関する検討および飛櫓垂木と飛櫓欄木に関する検討はおこなっていない。

ii 方法・各種の設定・仕様

a 検定比の算出

各部材の検定比は、許容応力度と各部材に生じる応力度にもとづき算出した。各部材に生じる応力は、天平塔および興福寺五重塔の図面にもとづいて構造モデルを作成の上、荷重を設定して構造解析ソフトなどを用いて把握した。

b 許容値の設定

圧縮・曲げ・せん断に対する検定比の許容値は、先行研究¹⁾から、検定比1.45で各部材が100年程度は保ち得ると考えられるため、1.45に設定した。めり込みに対する許容値については、検

表1 木材の検討用の基準強度と許容応力度

単位: N/cm²

項目	樹種	基準強度	許容応力度
圧縮	ヒノキ	Fc 20.7	f _{fc} 7.6
	ケヤキ	21.0	7.7
曲げ	並列材以外 ヒノキ	32.04	10.7
	ケヤキ	Fb 35.28	f _{fb} 11.8
	並列材 (ヒノキのみ)	36.85	12.3
せん断	ヒノキ	Fs 2.1	f _{fs} 1.05
	ケヤキ	3.0	1.50
めり込み	ヒノキ	Fcv 7.8	f _{fcv} 3.9
	ケヤキ	10.8	5.4

基準強度は無等級材を準用し、曲げ基準強度は1.2倍、並列材はさらにその1.15倍とした。せん断許容応力度は1.5倍とした。

定比が1.00を超える場合の、検定比と破壊までの荷重継続時間との関係が判然としなため、建築基準法通り1.00とした。

c 樹種および基準強度と許容応力度

樹種 天平塔の樹種は、前述したようにヒノキと仮定した。興福寺五重塔の樹種は、各部材の樹種(ヒノキ・ケヤキ)に応じて設定したが、不明な部材はヒノキと仮定した。

基準強度 基準強度は、原則として建築基準法の無等級材を準用した²⁾。無等級材は、日本農林規格(JAS)に定められていない木材である。先行研究³⁾によれば、古材は無等級材の基準強度を上回る場合がある。ここでは良材を想定することから、これらの先行研究を参考に、原則として曲げに対する基準強度を無等級材の1.2倍に設定した(表1)。また、地垂木・飛檐垂木は、建築基準法を準用し、並列材とみて、曲げに対する基準強度を1.15倍した⁴⁾。すなわち、並列材の曲げに対する基準強度は、原則として無等級材の1.38倍(=1.2×1.15)となる。

許容応力度 許容応力度は、原則として建築基準法を準用して算出した⁵⁾。長期荷重のみを扱うことから、ここでは長期許容応力度のみを用いる。せん断に対する許容応力度は、良材を想定することから、日本建築学会の規準⁶⁾を準用し、原則として1.5倍に設定した。本検討における各応力に対する許容応力度の算出方法は、以下の通りである⁷⁾。

- ・圧縮(f_{fc}) : 1.1 × Fc/3
- ・曲げ(f_{fb}) : Fb/3
- ・せん断(f_{fs}) : Fs/3 × 1.5
- ・めり込み(f_{fcv}) : 1.5 × Fcv/3

d 応力の算出

各部材に生じる応力は、架構解析(一貫構造計算プログラムSEIN La CREA)の結果を採用した。ただし、欄柱盤および地垂木に生じる応力は、FEM解析(汎用構造解析ソフトMidass-Gen)による。また、飛檐垂木に生じる応力は表計算により、飛檐隅木に生じる応力は手計算による。架構解析とFEM解析による応力は、曲げモーメント図やせん断力図などを作成して図化した。

e 構造モデルの設定

モデル化による簡略化 構造モデルは、各部材を線材に置換して作成した。そのため、近接する水平材、例えば柱盤や母屋桁などは、構造モデル上は一材として簡略化される。部材を線材に置換することで、各部材の納まりに若干の齟齬が生じるが、構造モデル上で調整した。そのため、組物の手先間隔など、図面と誤差が生じる部分もあるが、構造解析の大勢に影響はないと判断した。また、対象が層塔であるため、通減にともない上下部材の平面位置が揃わない場合があるが、各部材断面が平面的に少しでも重複する場合は、平面位置が揃う構造モデルとして簡略化した。興福寺五重塔の面戸造り出しの肘木など、部材間に隙間がなく重なる場合があるが、構造モデル上はこれらを一材とせず別材として扱った。

モデル化の種類 モデル化には、部材を架構としてモデル化する場合と荷重としてモデル化する場合がある。天平塔と興福寺五重塔とでは、地垂木の鼻先など、部分的にモデル化の内容が異なる⁸⁾。荷重としてモデル化した場合、応力図には線材として表現されないため、同部材でも、天平塔と興福寺五重塔とで架構モデルが異なる場合がある。これは、構造解析の実務的な手順による相違であり、どちらの場合でも構造解析の大勢に影響はないと判断した。

f 応力図の仕様

各重の応力図は、一貫構造計算プログラムSEIN La CREAの出力の仕様により、当該層の特定の柱筋で表示されたものであり、柱筋が異なる上下層の部材などが表示されない場合がある。そのため、架構としてモデル化されているも、応力図に表れない部材がある。また、塔身全体の曲げモーメント図では、原則としてすべての部材の曲げモーメントが表示されているため、柱などの垂直方向の部材に生じる曲げモーメント⁹⁾が表れる場合がある。一方で、各重の応力図では垂直方向以外の部材の応力が表示されている。これらは、応力が小さい場合、視認できるように強調表示されるため、図の表示と応力の大きさは必ずしも一致しない。柱は圧縮力に対する検討のみであるが、その曲げモーメントはほかの部材に比べて小さく、構造として問題ないと判断した。なお、塔身全体の平の曲げモーメント図は、全体の概略を把握するために各重の曲げモーメント図から合成したものである。

g 地垂木の応力図と参考としての検討

架構解析とFEM解析による相違 架構解析による地垂木の応力図は、地垂木1本分ではなく、並列材として近傍にある地垂木複数本分の応力をまとめて示したものである。そのため、地垂木については、FEM解析によって地垂木1本分の応力を示した応力図を作成した。

参考としての検討 前提条件で述べたように、天平塔の復元原案の地垂木は、参考として、剛性低下を考慮した場合でも検討した。検定比が許容値を超える層(初重~四重)の地垂木について、剛性が80%に低下すると仮定し、欄柱盤からの荷重が配分された場合の検討もおこなった。これは、並列材である地垂木が欄柱盤からの荷重によって垂下した場合、近傍の地垂木がその荷重を負担し、地垂木全体で部材を支持するという考え方によるものである。

iii 建物重量

建物重量は、各部位で荷重を設定することにより構造解析プログラムによって自動計算される。木材の密度や部位ごとの単位面積あたりの荷重の設定は、表2に掲げた通りである。これにもとづいて自動計算した各建物重量は、表3に掲げた。組物や軒先の一部および隅棟や軒風簾な

表2 設定した木材の密度と単位面積あたりの荷重

密度 [t/m ³]		荷重 [kgf/m ²]				備考
ヒノキ	ケヤキ	地垂木	裏板(軒)	屋根	壁	
0.45	0.69	47.3	11.1	470.0	160.0	屋根荷重は瓦と葺土等。

表3 各建物重量と内訳

名称	単位:tf					計
	架構モデル	荷重モデル				
		木部	屋根	壁	相輪	
天平塔 復元原案	419.1	1,397.3	72.0	27.0	391.6	2,307.0
興福寺五重塔	196.1	603.9	37.0	6.4	281.6	1,125.0
天平塔 内部柱検討案	425.3	1,397.3	72.0	27.0	391.6	2,313.2

相輪以外は構造解析プログラムによる自動計算値。「その他」は組物や軒先の一部および隅種や軒風鐸などの荷重モデル化部分。

どは、架構としてではなく荷重としてモデル化し、それらの重量は「その他」にまとめた。相輪は、その荷重を心柱が受けるよう設定した。

建物重量は、天平塔の復元原案が計2,307.0tf、興福寺五重塔が計1,125.0tf、天平塔の内部柱検討案が2,313.2tfである。瓦下地は、全体を葺土(ベタ葺き)と想定した。天平塔の軒風鐸は、各重四隅の飛檐隅木鼻に懸垂されるものとし(計28個)、重量は12kgf/個とした。興福寺五重塔の軒風鐸は、現状で失われたものもあるが、各重四隅の飛檐隅木鼻に懸垂されるものとし(計20個)、重量は仮に天平塔の軒風鐸に倣った。

註

- 1) 杉山英男「Clouser 実験式(含水率6%)」『建築構造大系22 木構造』134頁、彰国社、1971。
- 2) 建築基準法にもとづく告示である平成12年建設省告示第1452号にて、圧縮・引張・曲げ・せん断に対する基準強度が示される。めり込みに対する基準強度は、平成13年国土交通省告示第1024号に示される。
- 3) 小原二郎「木材の老化に関する研究(第1報) 法隆寺建築古材の機械的性質」『西京大学学術報告叢書』(2)、116-131頁、西京大学農学部、1952。
『奈良D計画ヒノキ材品質管理試験結果報告書』文化財建造物保存技術協会、1997。
『業師寺東塔における地垂木(ヒノキ)、大斗(ケヤキ)の材料試験』文化財建造物構造実験データ集、文化庁、作成日不詳(https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/hogofukyu/pdf/92048001_02.pdf 2020年8月26日閲覧)。
- 4) 平成12年建設省告示第1452号にもとづく。
- 5) 建築基準法施行令第89条と平成13年国土交通省告示第1024号にもとづく。
- 6) 『木質構造設計規準・同解説 許容応力度・許容耐力設計法(第4版)』日本建築学会、2006。
- 7) 許容応力度は、想定する荷重継続時間によって異なり、長時間であるほど小さい。今回の曲げ・せん断に対する許容応力度は、荷重継続時間を250年と想定した場合のものである。
- 8) 現在の興福寺五重塔には枯木が存在する。枯木は、本検討では構造解析の目的や納まりなどを踏まえ、屋根の荷重に含まれるものとみて、原則として架構ではなく荷重としてモデル化した。
- 9) 上重の側柱などは、構造モデル上では勾配のある面に立つため、柱頭に水平力が生じる。これと柱下端の接合モデルなどから、長期荷重に対しても柱などの垂直方向の部材に曲げモーメントが生じる場合がある。

天平塔 復元原案

- 1 軸部の検討
 - 1-1 柱の圧縮に関する検討
 - 1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断・めり込みに関する検討
 - 1-3 台輪のめり込みに関する検討

- 2 組物の検討
 - 2-1 大斗のめり込みに関する検討
 - 2-2 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討
 - 2-3 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

- 3 軒の検討
 - 3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討
 - 3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討
 - 3-3 飛櫓垂木の曲げ・せん断に関する検討
 - 3-4 地隅木・飛櫓隅木の曲げ・せん断に関する検討

- 4 応力図
 - 4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)
 - 4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)
 - 4-3 平の長期に生じる応力図(各重)
 - 4-4 隅行きの長期に生じる応力図(各重)

- 添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形
- 添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形
- 添付資料3 FEM解析による地垂木の応力-変形 柱盤反力再配分
- 添付資料4 FEM解析による柱盤の応力-変形 地垂木剛性低下考慮

1 軸部の検討

1-1 柱の圧縮に関する検討

1) 基本事項

各重の柱について、長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値を一覧で示す。すべての柱において、検定比は1.00以下に収まっている。

長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値一覧

層	圓柱	入側柱	四角柱
七重	0.07	なし	0.10
六重	0.08	0.28	なし
五重	0.12	0.40	なし
四重	0.12	0.46	0.31
三重	0.12	0.77	0.42
二重	0.14	0.99	0.50
初重	0.19	0.37	0.16

なお、圧縮の強度比と荷重継続時間の関係は、曲げとは同じとされており、許容値は1.45となる。天平塔の柱は、100年程度は保ち得ると考えられる。

2) 共通事項

- ・ 樹種 ヒノキ
- ・ 圧縮基準強度 F_c 20.7 N/mm² (告示 第1452号 第五号に示される無等級材の数値)
- ・ 長期に生じる力に対する圧縮許容応力度 $1.1 \times F_c / 3 = 7.6$ N/mm²
(建築基準法施行令第89条に示される数値)
- ・ 長期圧縮耐力算出用の柱の有効断面積は、全断面積とする。

各重、柱ごとの軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【初重柱】

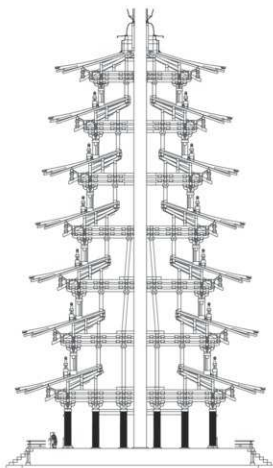
側柱、入側柱、四天柱とも

寸法 $\phi 708$ mm、全断面積 $= 708^2 \pi / 4 = 393692$ mm²

柱長さ 3806 mm、断面二次半径 $708/4 = 177$ mm、

細長比 $\lambda = 3806/177 = 21.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 393692 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2988$ kN



KEYSECTION

柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

455	568	538	538	568	455
568	1103	675	675	1103	568
538	675	480	480	675	538
538	675	480	480	675	538
568	1103	675	675	1103	568
455	568	538	538	568	455

検定比一覧

0.15	0.19	0.18	0.18	0.19	0.15
0.19	0.37	0.23	0.23	0.37	0.19
0.18	0.23	0.16	0.16	0.23	0.18
0.18	0.23	0.16	0.16	0.23	0.18
0.19	0.37	0.23	0.23	0.37	0.19
0.15	0.19	0.18	0.18	0.19	0.15

最大検定値

【二重柱】

側柱(円柱)

寸法 $\phi 693$ mm、全断面積 $=693^2 \pi / 4 = 377187$ mm²

柱長さ 1564 mm、断面二次半径 $693/4 = 173$ mm、

細長比 $\lambda = 1564/173 = 9.0$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 377187 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2863$ kN

入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1721 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 $\lambda = 1721/102 = 16.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN

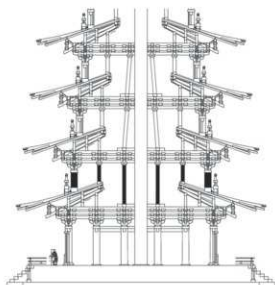
四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

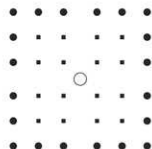
柱長さ 4115 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、細長比 $\lambda = 4115/102 = 40.3$ 、

$30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.3 - 0.01 \times 40.3 = 0.90$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 0.90 \times 10^{-3} = 853$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

360	396	415	415	396	360
396	940	537	537	940	396
415	537	425	425	537	415
415	537	425	425	537	415
396	940	537	537	940	396
360	396	415	415	396	360

検定比一覧

0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13
0.14	0.99	0.56	0.56	0.99	0.14
0.14	0.56	0.50	0.50	0.56	0.14
0.14	0.56	0.50	0.50	0.56	0.14
0.14	0.99	0.56	0.56	0.99	0.14
0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13

最大検定値

【三重柱】

側柱(円柱)

寸法 $\phi 678$ mm、全断面積 $= 678^2 \pi / 4 = 361035$ mm²

柱長さ 1505 mm、断面二次半径 $678/4 = 170$ mm、

細長比 $\lambda = 1505/170 = 8.9$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 361035 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2740$ kN

入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1592 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 $\lambda = 1592/102 = 15.6$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN

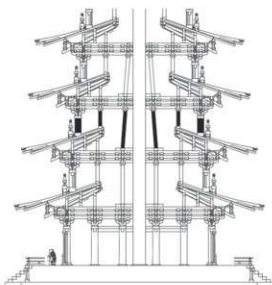
四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

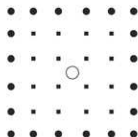
柱長さ 3920 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、細長比 $\lambda = 3920/102 = 38.4$ 、

$30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.3 - 0.01 \times 38.4 = 0.92$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 0.92 \times 10^{-3} = 872$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

325	321	323	323	321	325
321	733	388	388	733	321
323	388	370	370	388	323
323	388	370	370	388	323
321	733	388	388	733	321
325	321	323	323	321	325

検定比一覧

0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
0.12	0.77	0.41	0.41	0.77	0.12
0.12	0.41	0.42	0.42	0.41	0.12
0.12	0.41	0.42	0.42	0.41	0.12
0.12	0.77	0.41	0.41	0.77	0.12
0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

最大検定値

【四重柱】

側 柱(円柱)

寸法 $\phi 664$ mm、全断面積 = $664^2 \pi / 4 = 346279$ mm²

柱長さ 1446 mm、断面二次半径 $664/4 = 166$ mm、

細長比 $\lambda = 1446/166 = 8.7$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 346279 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2628$ kN

入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1546 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 $\lambda = 1546/102 = 15.1$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN

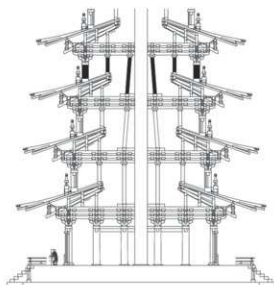
四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

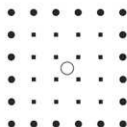
柱長さ 3861 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、細長比 $\lambda = 3861/102 = 37.8$ 、

$30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.3 - 0.01 \times 37.8 = 0.92$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 0.92 \times 10^{-3} = 877$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

323	295	284	284	295	323
295	437	230	230	437	295
284	230	271	271	230	284
284	230	271	271	230	284
295	437	230	230	437	295
323	295	284	284	295	323

検定比一覧

0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12
0.11	0.46	0.24	0.24	0.46	0.11
0.11	0.24	0.31	0.31	0.24	0.11
0.11	0.24	0.31	0.31	0.24	0.11
0.11	0.46	0.24	0.24	0.46	0.11
0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12

最大検定値

【五重柱】

側柱(円柱)

寸法 $\phi 649$ mm、全断面積 = $649^2 \pi / 4 = 330810$ mm²

柱長さ 1387 mm、断面二次半径 $649/4 = 162$ mm、

細長比 λ $1387/162 = 8.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 330810 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2511$ kN

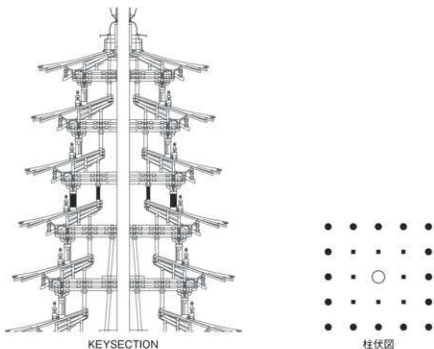
入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1383 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 λ $1383/102 = 13.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN



軸力一覧

(単位:kN)

264	313	298	313	264
313	385	297	385	313
298	297		297	298
313	385	297	385	313
264	313	298	313	264

検定比一覧

0.11	0.12	0.12	0.12	0.11
0.12	0.40	0.31	0.40	0.12
0.12	0.31		0.31	0.12
0.12	0.40	0.31	0.40	0.12
0.11	0.12	0.12	0.12	0.11

最大検定値

【六重柱】

側柱(円柱)

寸法 $\phi 634$ mm、全断面積 = $634^2 \pi / 4 = 315696$ mm²

柱長さ 1328 mm、断面二次半径 $634/4 = 159$ mm、

細長比 $\lambda = 1328/159 = 8.4$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 315696 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2396$ kN

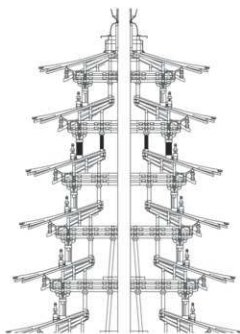
入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

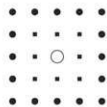
柱長さ 1465 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 $\lambda = 1465/102 = 14.3$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

199	176	182	176	199
176	264	178	264	176
182	178		178	182
176	264	178	264	176
199	176	182	176	199

検定比一覧

0.08	0.07	0.08	0.07	0.08
0.07	0.28	0.19	0.28	0.07
0.08	0.19		0.19	0.08
0.07	0.28	0.19	0.28	0.07
0.08	0.07	0.08	0.07	0.08

最大検定値

【七重柱】

側柱(円柱)

寸法 $\phi 620$ mm、全断面積 $= 620^2 \pi / 4 = 301907$ mm²

柱長さ 1245 mm、断面二次半径 $620/4 = 155$ mm、

細長比 $\lambda = 1245/155 = 8.0$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 301907 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2291$ kN

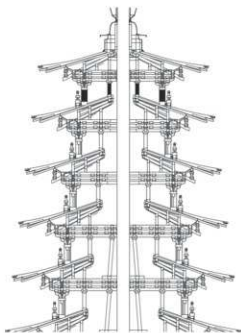
四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1161 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 $\lambda = 1161/102 = 11.4$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

157	145	145	157
145	95	95	145
145	95	95	145
157	145	145	157

検定比一覧

0.07	0.06	0.06	0.07
0.06	0.10	0.10	0.06
0.06	0.10	0.10	0.06
0.07	0.06	0.06	0.07

最大検定値

1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断・めり込みに関する検討

1-2-1 入側柱盤および四天柱盤の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

入側柱盤および四天柱盤に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。なお、側柱盤の検討は、「3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討」を参照のこと。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。

3) 検討結果

入側柱盤		(単位: kNm)					
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	
樹種	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	
ヤング係数 (N/mf)	-	8820	8820	8820	8820	8820	
柱盤の幅 (mm)	-	354	354	354	354	354	
柱盤の成 (mm)	-	242	242	242	242	242	
断面積 A (mf)	-	85668	85668	85668	85668	85668	
断面係数Z (mf)	-	3455276	3455276	3455276	3455276	3455276	
断面二次モーメント I (mf)	-	418088396	418088396	418088396	418088396	418088396	
断面検定							
M	-	20.0	88.0	66.0	90.0	9.0	
σ (N/mf)	-	5.79	25.47	19.10	26.05	2.60	
1.2×Fb (N/mf)	-	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	
Lfb (N/mf)	-	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	
曲げ検定比	-	0.54	2.38	1.79	2.44	0.24	
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	0.79	0.60	0.81	-	
Q	-	9.0	149.0	231.0	389.0	4.0	
τ (N/mf)	-	0.16	2.61	4.04	6.81	0.07	
Fa (N/mf)	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	
1.5×Lfs (N/mf)	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
せん断検定比	-	0.15	2.48	3.85	6.49	0.07	
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	1.24	1.93	3.24	-	
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	NG	NG	NG	OK	

四天柱盤		(単位: kNm)					
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	
樹種	ヒノキ	-	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	
ヤング係数 (N/mf)	8820	-	-	8820	8820	8820	
柱盤の幅 (mm)	354	-	-	383	383	383	
柱盤の成 (mm)	242	-	-	295	295	295	
断面積 A (mf)	85668	-	-	112985	112985	112985	
断面係数Z (mf)	3455276	-	-	5555096	5555096	5555096	
断面二次モーメント I (mf)	418088396	-	-	819376635	819376635	819376635	
断面検定							
M	49.0	-	-	31.0	20.0	30.0	
σ (N/mf)	14.18	-	-	5.58	3.60	5.40	
1.2×Fb (N/mf)	32.04	-	-	32.04	32.04	32.04	
Lfb (N/mf)	10.7	-	-	10.7	10.7	10.7	
曲げ検定比	1.33	-	-	0.52	0.34	0.51	
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	
Q	34.0	-	-	49.0	62.0	72.0	
τ (N/mf)	0.60	-	-	0.65	0.82	0.96	
Fa (N/mf)	2.1	-	-	2.1	2.1	2.1	
1.5×Lfs (N/mf)	1.05	-	-	1.05	1.05	1.05	
せん断検定比	0.57	-	-	0.62	0.78	0.91	
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	-	-	OK	OK	OK	

縦掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 \geq 1.00を示す。

1-2-2 めり込みに関する検討

1) 基本事項

各重の柱盤について、柱より伝わる長期軸力に対する柱盤の長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。二重から三重の入側角柱下の柱盤は、検定比が1.00を超える。これ以外は1.00以下である。もし、めり込み降伏耐力(弾性限界)まで許容すれば、許容値は2.00となるが、めり込みに関しては、強度比と荷重継続時間の関係は不明である。

柱より伝わる長期軸力に対する柱盤の長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱盤	入側柱盤	四角柱盤
七重	0.13	なし	0.19
六重	0.16	0.54	なし
五重	0.24	0.79	なし
四重	0.24	0.90	0.55
三重	0.23	1.50	0.76
二重	0.28	1.92	0.87

断折は、許容値 (検定比1.00) を超える箇所を示す。

2) 共通事項

- ・樹種 ヒノキ、作用力の方向 縦横直交方向
- ・めり込み基準強度 F_{cv} 7.8 N/mm² (告示 第1024号 第3第一号イに示される数値)
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度 $1.5 \times F_{cv}/3 = 3.9$ N/mm²
(告示 第1024号 第1第一号イに示される数値)
- ・長期めり込み耐力算出用の柱盤の断面積は、柱盤上にある柱の全断面積とする。

各重、柱ごとの柱盤の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【二重柱盤】

側柱(円柱)

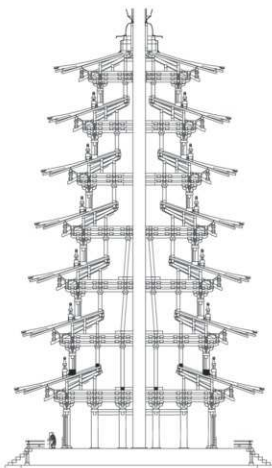
寸法 $\phi 693$ mm, 全断面積 = $693^2 \pi / 4 = 377187$ mm²

側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 377187 \times 10^{-3} = 1471$ kN

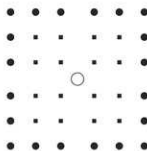
入側柱および四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm, 全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側柱盤および四天柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$ kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

360	396	415	415	396	360
396	940	537	537	940	396
415	537	425	425	537	415
415	537	425	425	537	415
396	940	537	537	940	396
360	396	415	415	396	360

検定比一覧

0.24	0.27	0.28	0.28	0.27	0.24
0.27	1.92	1.10	1.10	1.92	0.27
0.28	1.10	0.87	0.87	1.10	0.28
0.28	1.10	0.87	0.87	1.10	0.28
0.27	1.92	1.10	1.10	1.92	0.27
0.24	0.27	0.28	0.28	0.27	0.24

最大検定値

【三重柱盤】

側 柱(円柱)

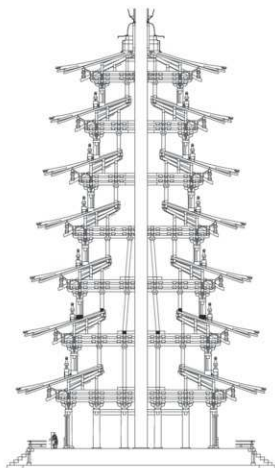
寸法 $\phi 678$ mm、全断面積 = $678^2 \pi / 4 = 361035$ mm²

側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 361035 \times 10^{-3} = 1408$ kN

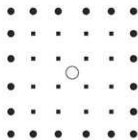
入側柱および四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側柱盤および四天柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$ kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

325	321	323	323	321	325
321	733	388	388	733	321
323	388	370	370	388	323
323	388	370	370	388	323
321	733	388	388	733	321
325	321	323	323	321	325

検定比一覧

0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
0.23	1.50	0.79	0.79	1.50	0.23
0.23	0.79	0.76	0.76	0.79	0.23
0.23	0.79	0.76	0.76	0.79	0.23
0.23	1.50	0.79	0.79	1.50	0.23
0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

最大検定値

【四重柱盤】

側 柱(円柱)

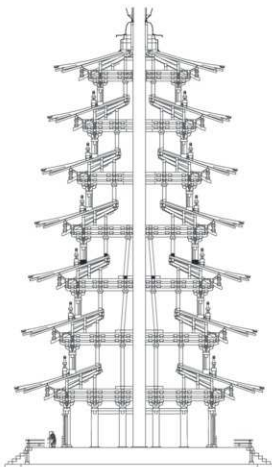
寸法 $\phi 664$ mm、全断面積 = $664^2 \pi / 4 = 346279$ mm²

側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 346279 \times 10^{-3} = 1350$ kN

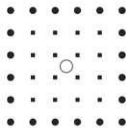
入側柱および四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側柱盤および四天柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$ kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

323	295	284	284	295	323
295	437	230	230	437	295
284	230	271	271	230	284
284	230	271	271	230	284
295	437	230	230	437	295
323	295	284	284	295	323

検定比一覧

0.24	0.22	0.21	0.21	0.22	0.24
0.22	0.90	0.47	0.47	0.90	0.22
0.21	0.47	0.55	0.55	0.47	0.21
0.21	0.47	0.55	0.55	0.47	0.21
0.22	0.90	0.47	0.47	0.90	0.22
0.24	0.22	0.21	0.21	0.22	0.24

最大検定値

【五重柱盤】

側 柱 (円柱)

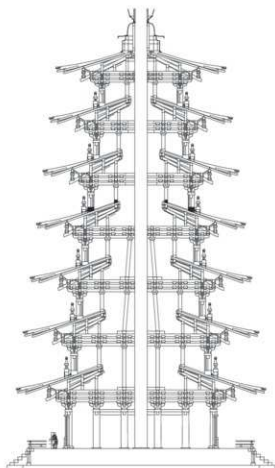
寸法 $\phi 649$ mm、全断面積 = $649^2 \pi / 4 = 330810$ mm²

側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 330810 \times 10^{-3} = 1290$ kN

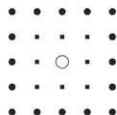
入側柱 (角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$ kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

264	313	298	313	264
313	385	297	385	313
298	297		297	298
313	385	297	385	313
264	313	298	313	264

検定比一覧

0.20	0.24	0.23	0.24	0.20
0.24	0.79	0.61	0.79	0.24
0.23	0.61		0.61	0.23
0.24	0.79	0.61	0.79	0.24
0.20	0.24	0.23	0.24	0.20

最大検定値

【六重柱盤】

側柱(円柱)

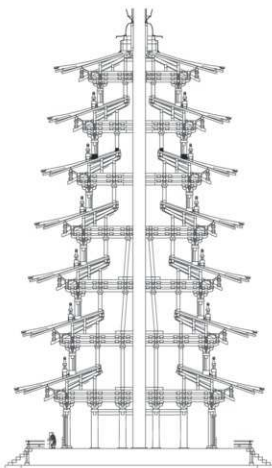
寸法 $\phi 634$ mm、全断面積 = $634^2 \pi / 4 = 315696$ mm²

側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 315696 \times 10^{-3} = 1231$ kN

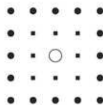
入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$ kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位:kN)

194	171	178	171	194
171	264	178	264	171
178	178		178	178
171	264	178	264	171
194	171	178	171	194

検定比一覧

0.16	0.14	0.14	0.14	0.16
0.14	0.54	0.36	0.54	0.14
0.14	0.36		0.36	0.14
0.14	0.54	0.36	0.54	0.14
0.16	0.14	0.14	0.14	0.16

最大検定値

【七重柱盤】

側 柱 (円柱)

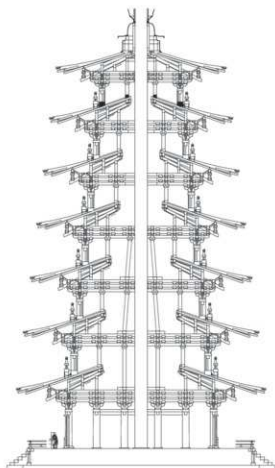
寸法 $\phi 620$ mm、全断面積 = $620^2 \pi / 4 = 301907$ mm²

側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 301907 \times 10^{-3} = 1177$ kN

四天柱 (角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

四天柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$ kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

157	145	145	157
145	95	95	145
145	95	95	145
157	145	145	157

検定比一覧

0.13	0.12	0.12	0.13
0.12	0.19	0.19	0.12
0.12	0.19	0.19	0.12
0.13	0.12	0.12	0.13

最大検定値

1-3 台輪のめり込みに関する検討

1) 基本事項

各重の台輪について、大斗より伝わる長期軸力に対する台輪の長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。すべての層で1.00以下である。

大斗より伝わる長期軸力に対する台輪の長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

別	台輪
七重	0.13
六重	0.16
五重	0.24
四重	0.23
三重	0.23
二重	0.28
初重	0.75

2) 共通事項

- ・樹種 ヒノキ
- ・めり込み基準強度 F_{cv} 7.8 N/mm² (告示第1024号 第3第一号イに示される数値)
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度 $1.5 \times F_{cv}/3 = 3.9$ N/mm²
(告示第1024号 第1第一号イに示される数値)
- ・長期めり込み耐力算出用の面積は、台輪下円柱の柱頭の全断面積とする。

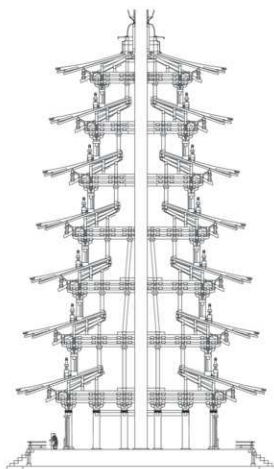
各重、柱ごとの台輪の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

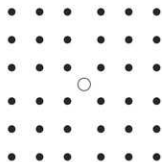
【初重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 690$ mm、全断面積 = $690^2 \pi / 4 = 373928$ mm^2

初重台輪の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 373928 \times 10^{-3} = 1458$ kN



KEYSECTION



台輪検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

443	557	530	530	557	443
557	1097	669	669	1097	557
530	669	475	475	669	530
530	669	475	475	669	530
557	1097	669	669	1097	557
443	557	530	530	557	443

検定比一覧

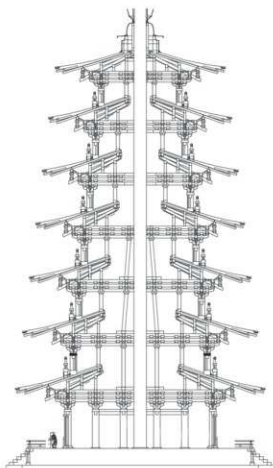
0.30	0.38	0.36	0.36	0.38	0.30
0.38	0.75	0.46	0.46	0.75	0.38
0.36	0.46	0.33	0.33	0.46	0.36
0.36	0.46	0.33	0.33	0.46	0.36
0.38	0.75	0.46	0.46	0.75	0.38
0.30	0.38	0.36	0.36	0.38	0.30

最大検定値

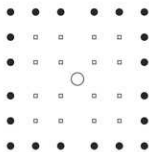
【二重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 693$ mm、全断面積 = $693^2 \pi / 4 = 377193$ mm²

二重台輪の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 377193 \times 10^{-3} = 1471$ kN



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

354	391	409	409	391	354
391					391
409					409
409					409
391					391
354	391	409	409	391	354

検定比一覧

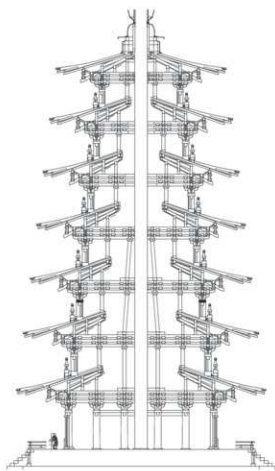
0.24	0.27	0.28	0.28	0.27	0.24
0.27					0.27
0.28					0.28
0.28					0.28
0.27					0.27
0.24	0.27	0.28	0.28	0.27	0.24

最大検定値

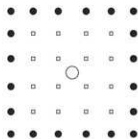
【三重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 678$ mm、全断面積 = $678^2 \pi / 4 = 361035$ mm^2

三重台輪の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 361035 \times 10^{-3} = 1408$ kN



KEYSECTION



台輪検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

330	316	318	318	316	330
316					316
318					318
318					318
316					316
330	316	318	318	316	330

検定比一覧

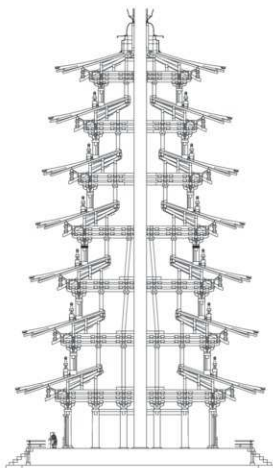
0.23	0.22	0.23	0.23	0.22	0.23
0.22					0.22
0.23					0.23
0.23					0.23
0.22					0.22
0.23	0.22	0.23	0.23	0.22	0.23

最大検定値

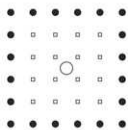
【四重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 667$ mm、全断面積 $= 667^2 \pi / 4 = 349415$ mm²

四重台輪の長期めり込み耐力 $= 3.9 \times 349415 \times 10^{-3} = 1363$ kN



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

318	290	279	279	290	318
290					290
279					279
279					279
290					290
318	290	279	279	290	318

検定比一覧

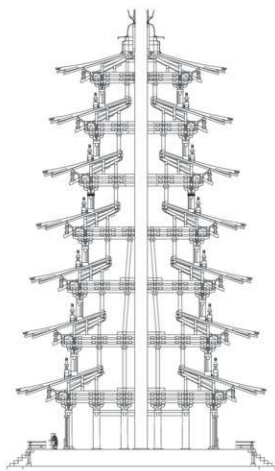
0.23	0.21	0.21	0.21	0.21	0.23
0.21					0.21
0.21					0.21
0.21					0.21
0.21					0.21
0.23	0.21	0.21	0.21	0.21	0.23

最大検定値

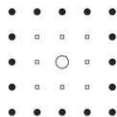
【五重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 649$ mm、全断面積 = $649^2 \pi / 4 = 330810$ mm²

五重台輪の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 330810 \times 10^{-3} = 1290$ kN



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

259	308	293	308	259
308				308
293				293
308				308
259	308	293	308	259

検定比一覧

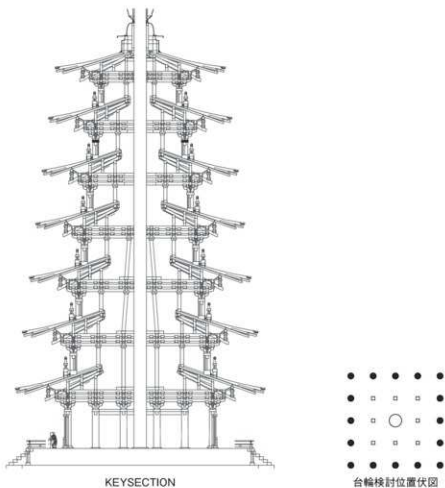
0.20	0.24	0.23	0.24	0.20
0.24				0.24
0.23				0.23
0.24				0.24
0.20	0.24	0.23	0.24	0.20

最大検定値

【六重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 634$ mm、全断面積 $= 634^2 \pi / 4 = 315696$ mm²

六重台輪の長期めり込み耐力 $= 3.9 \times 315696 \times 10^{-3} = 1231$ kN



軸力一覧

(単位: kN)

194	171	178	171	194
171				171
178				178
171				171
194	171	178	171	194

検定比一覧

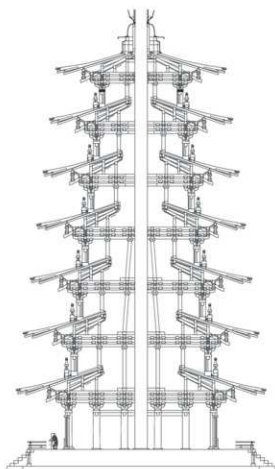
0.16	0.14	0.14	0.14	0.16
0.14				0.14
0.14				0.14
0.14				0.14
0.16	0.14	0.14	0.14	0.16

最大検定値

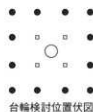
【七重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 620$ mm、全断面積 = $620^2 \pi / 4 = 301907$ mm^2

七重台輪の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 301907 \times 10^{-3} = 1177$ kN



KEYSECTION



台輪検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

152	140	140	152
140			140
140			140
152	140	140	152

検定比一覧

0.13	0.12	0.12	0.13
0.12			0.12
0.12			0.12
0.13	0.12	0.12	0.13

最大検定値

2 組物の検討

2-1 大斗のめり込みに関する検討

2-1-1 ヒノキの場合

1) 基本事項

各重の大斗について、長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。初重から三重の入側角柱の大斗は、検定比が1.00を超える。これ以外は1.00以下である。もし、めり込み降伏耐力(弾性限界)まで許容すれば、許容値は2.00となるが、めり込みに関しては、強度比と荷重継続時間の関係は不明である。

長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱大斗	入側柱大斗	四角柱大斗
七重	0.21	なし	0.19
六重	0.21	0.54	なし
五重	0.33	0.79	なし
四重	0.34	0.90	0.55
三重	0.35	1.50	0.76
二重	0.44	1.92	0.87
初重	0.60	1.19	0.51

裏括弧は、許容値(検定比1.00)を超える箇所を示す。

2) 前提条件

- ・樹種 ヒノキ、木口斗
- ・めり込み基準強度 F_{cv} 7.8 N/mm² (告示 第1024号 第3第一号イに示される数値)
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度 $1.5 \times F_{cv} / 3 = 3.9$ N/mm²
(告示 第1024号 第1第一号イに示される数値)
- ・長期めり込み耐力算出用の大斗の断面は、大斗尻の全断面積とする。

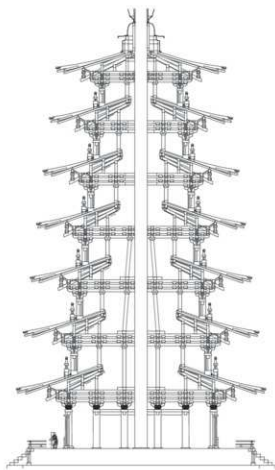
各重、柱ごとの大斗の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

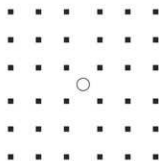
【初重大斗】

初重柱の大斗尻寸法 487 mm × 487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

初重柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

443	557	530	530	557	443
557	1097	669	669	1097	557
530	669	475	475	669	530
530	669	475	475	669	530
557	1097	669	669	1097	557
443	557	530	530	557	443

検定比一覧

0.48	0.60	0.57	0.57	0.60	0.48
0.60	1.19	0.72	0.72	1.19	0.60
0.57	0.72	0.51	0.51	0.72	0.57
0.57	0.72	0.51	0.51	0.72	0.57
0.60	1.19	0.72	0.72	1.19	0.60
0.48	0.60	0.57	0.57	0.60	0.48

最大検定値

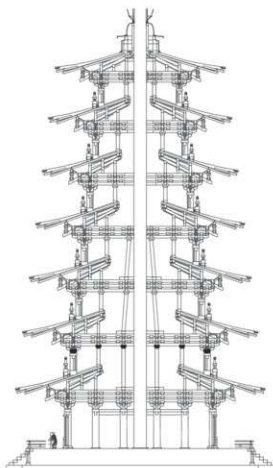
【二重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169$ mm²

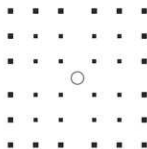
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $39 \times 237169 \times 10^{-3} = 925$ kN

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $39 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$ kN



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

354	391	409	409	391	354
391	940	537	537	940	391
409	537	425	425	537	409
409	537	425	425	537	409
391	940	537	537	940	391
354	391	409	409	391	354

検定比一覧

0.38	0.42	0.44	0.44	0.42	0.38
0.42	1.92	1.10	1.10	1.92	0.42
0.44	1.10	0.87	0.87	1.10	0.44
0.44	1.10	0.87	0.87	1.10	0.44
0.42	1.92	1.10	1.10	1.92	0.42
0.38	0.42	0.44	0.44	0.42	0.38

最大検定値

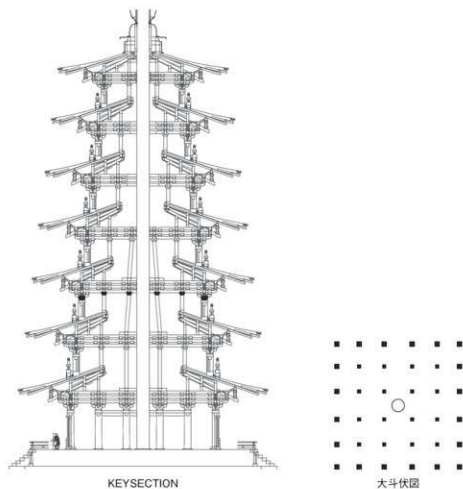
【三重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位: kN)

320	316	318	318	316	320
316	733	388	388	733	316
318	388	370	370	388	318
318	388	370	370	388	318
316	733	388	388	733	316
320	316	318	318	316	320

検定比一覧

0.25	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35
0.34	1.50	0.79	0.79	1.50	0.34
0.34	0.79	0.76	0.76	0.79	0.34
0.34	0.79	0.76	0.76	0.79	0.34
0.34	1.50	0.79	0.79	1.50	0.34
0.25	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35

最大検定値

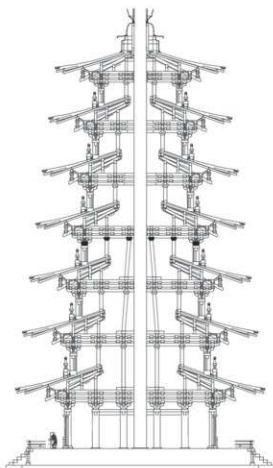
【四重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169$ mm²

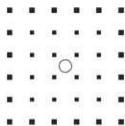
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $39 \times 237169 \times 10^{-3} = 925$ kN

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $39 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$ kN



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

318	290	279	279	290	318
290	437	230	230	437	290
279	230	271	271	230	279
279	230	271	271	230	279
290	437	230	230	437	290
318	290	279	279	290	318

検定比一覧

0.34	0.31	0.30	0.30	0.31	0.34
0.31	0.90	0.47	0.47	0.90	0.31
0.30	0.47	0.55	0.55	0.47	0.30
0.30	0.47	0.55	0.55	0.47	0.30
0.31	0.90	0.47	0.47	0.90	0.31
0.34	0.31	0.30	0.30	0.31	0.34

最大検定値

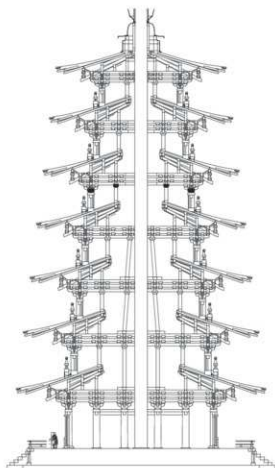
【五重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

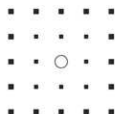
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$

入側柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

259	308	293	308	259
308	385	297	385	308
293	297		297	293
308	385	297	385	308
259	308	293	308	259

検定比一覧

0.28	0.33	0.32	0.33	0.28
0.33	0.79	0.61	0.79	0.33
0.32	0.61		0.61	0.32
0.33	0.79	0.61	0.79	0.33
0.28	0.33	0.32	0.33	0.28

最大検定値

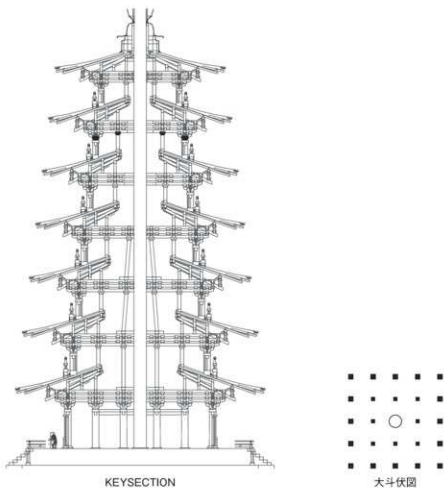
【六重大斗】

側柱の大斗尻寸法 $487 \text{ mm} \times 487 \text{ mm}$ 、全断面積 $= 487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 $= 3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$

入側柱の大斗尻寸法 $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 $= 354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 $= 3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位: kN)

194	171	178	171	194
171	264	178	264	171
178	178		178	178
171	264	178	264	171
194	171	178	171	194

検定比一覧

0.21	0.19	0.19	0.19	0.21
0.19	0.54	0.36	0.54	0.19
0.19	0.36		0.36	0.19
0.19	0.54	0.36	0.54	0.19
0.21	0.19	0.19	0.19	0.21

最大検定値

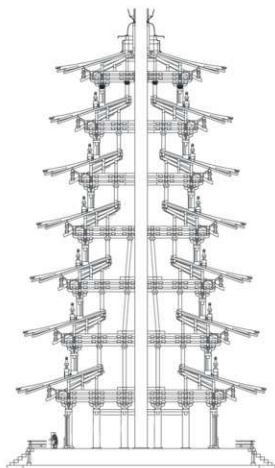
【七重大斗】

側柱の大斗尻寸法 428 mm×428 mm、全断面積 = $428^2 = 183184 \text{ mm}^2$

側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 183184 \times 10^{-3} = 714 \text{ kN}$

四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

152	140	140	152
140	95	95	140
140	95	95	140
152	140	140	152

検定比一覧

0.21	0.20	0.20	0.21
0.20	0.19	0.19	0.20
0.20	0.19	0.19	0.20
0.21	0.20	0.20	0.21

最大検定値

2-1-2 ケヤキの場合

1) 基本事項

各重の大斗について、ケヤキとした場合の、長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。二重から三重の入側角柱の大斗は、検定比が1.00を超える。これ以外は1.00以下である。もし、めり込み降伏耐力(弾性限界)まで許容すれば、許容値は2.00となるが、めり込みに関しては、強度比と荷重継続時間の関係は不明である。

長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱大斗	入側柱大斗	四角柱大斗
七重	0.15	なし	0.14
六重	0.15	0.39	なし
五重	0.24	0.57	なし
四重	0.25	0.65	0.40
三重	0.25	1.08	0.55
二重	0.32	1.39	0.63
初重	0.43	0.86	0.37

網掛けは、許容値(検定比1.00)を超える箇所を示す。

2) 前提条件

- ・樹種 ケヤキ、木口斗
- ・めり込み基準強度 F_{ev} 10.8 N/mm² (告示第1024号 第3第一号イに示される数値)
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度 $1.5 \times F_{ev}/3 = 5.4$ N/mm²
(告示 第1024号 第1第一号イに示される数値)
- ・長期めり込み耐力算出用の大斗の断面は、大斗尻の全断面積とする。

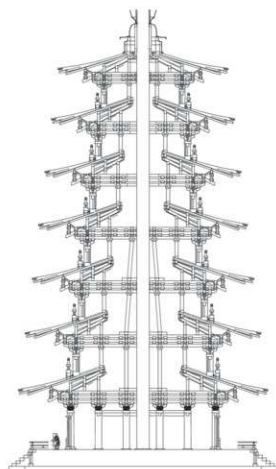
各重、柱ごとの大斗の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

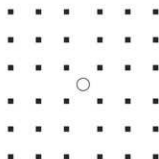
【初重大斗】

初重柱の大斗尻寸法 487 mm × 487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169$ mm²

初重柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281$ kN



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

443	557	530	530	557	443
557	1097	669	669	1097	557
530	669	475	475	669	530
530	669	475	475	669	530
557	1097	669	669	1097	557
443	557	530	530	557	443

検定比一覧

0.25	0.43	0.41	0.41	0.43	0.35
0.43	0.86	0.52	0.52	0.86	0.43
0.41	0.52	0.37	0.37	0.52	0.41
0.41	0.52	0.37	0.37	0.52	0.41
0.43	0.86	0.52	0.52	0.86	0.43
0.35	0.43	0.41	0.41	0.43	0.35

最大検定値

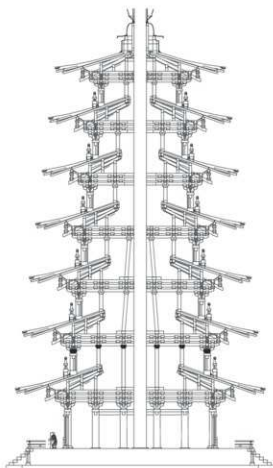
【二重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169$ mm²

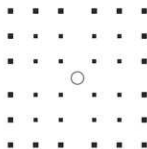
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281$ kN

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677$ kN



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

354	391	409	409	391	354
391	940	537	537	940	391
409	537	425	425	537	409
409	537	425	425	537	409
391	940	537	537	940	391
354	391	409	409	391	354

検定比一覧

0.28	0.31	0.32	0.32	0.31	0.28
0.31	1.39	0.79	0.79	1.39	0.31
0.32	0.79	0.63	0.63	0.79	0.32
0.32	0.79	0.63	0.63	0.79	0.32
0.31	1.39	0.79	0.79	1.39	0.31
0.28	0.31	0.32	0.32	0.31	0.28

最大検定値

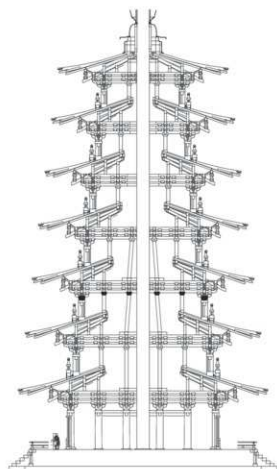
【三重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

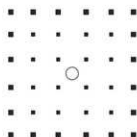
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 237169 \times 10^{-9} = 1281 \text{ kN}$

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 125316 \times 10^{-9} = 677 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

320	316	318	318	316	320
316	733	388	388	733	316
318	388	370	370	388	318
318	388	370	370	388	318
316	733	388	388	733	316
320	316	318	318	316	320

検定比一覧

0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.25	1.08	0.57	0.57	1.08	0.25
0.25	0.57	0.55	0.55	0.57	0.25
0.25	0.57	0.55	0.55	0.57	0.25
0.25	1.08	0.57	0.57	1.08	0.25
0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

最大検定値

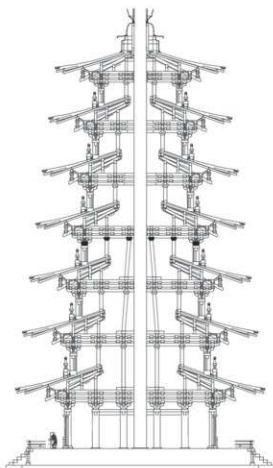
【四重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm × 487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169$ mm²

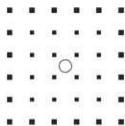
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281$ kN

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm × 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677$ kN



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

318	290	279	279	290	318
290	437	230	230	437	290
279	230	271	271	230	279
279	230	271	271	230	279
290	437	230	230	437	290
318	290	279	279	290	318

検定比一覧

0.25	0.23	0.22	0.22	0.23	0.25
0.23	0.65	0.34	0.34	0.65	0.23
0.22	0.34	0.40	0.40	0.34	0.22
0.22	0.34	0.40	0.40	0.34	0.22
0.23	0.65	0.34	0.34	0.65	0.23
0.25	0.23	0.22	0.22	0.23	0.25

最大検定値

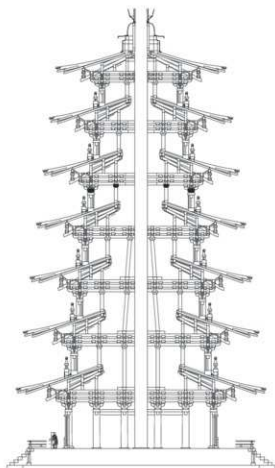
【五重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

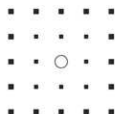
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281 \text{ kN}$

入側柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

259	308	293	308	259
308	385	297	385	308
293	297		297	293
308	385	297	385	308
259	308	293	308	259

検定比一覧

0.20	0.24	0.23	0.24	0.20
0.24	0.57	0.44	0.57	0.24
0.23	0.44		0.44	0.23
0.24	0.57	0.44	0.57	0.24
0.20	0.24	0.23	0.24	0.20

最大検定値

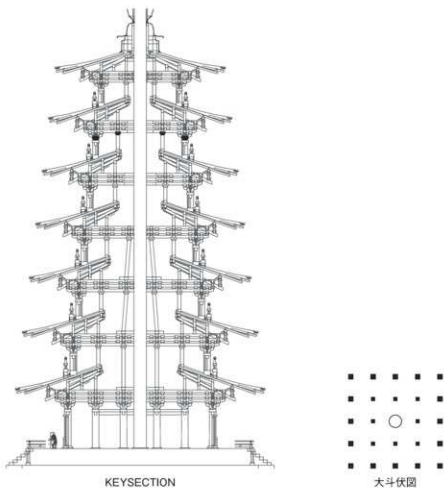
【六重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm × 487 mm、全断面積 = $487^2 = 237169$ mm²

側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281$ kN

入側柱の大斗尻寸法 354 mm × 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

入側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677$ kN



軸力一覧

(単位: kN)

194	171	178	171	194
171	264	178	264	171
178	178		178	178
171	264	178	264	171
194	171	178	171	194

検定比一覧

0.15	0.13	0.14	0.13	0.15
0.13	0.39	0.26	0.39	0.13
0.14	0.26		0.26	0.14
0.13	0.39	0.26	0.39	0.13
0.15	0.13	0.14	0.13	0.15

最大検定値

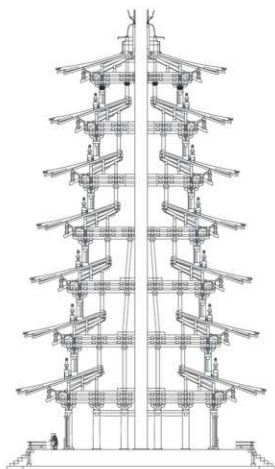
【七重大斗】

側柱の大斗尻寸法 428 mm×428 mm、全断面積 = $428^2 = 183184 \text{ mm}^2$

側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 183184 \times 10^{-3} = 989 \text{ kN}$

四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

152	140	140	152
140	95	95	140
140	95	95	140
152	140	140	152

検定比一覧

0.15	0.14	0.14	0.15
0.14	0.14	0.14	0.14
0.14	0.14	0.14	0.14
0.15	0.14	0.14	0.15

最大検定値

2-2 一〜四の肘木の曲げ・せん断に関する検討

2-2-1 平部の肘木

1) 検討方法

平部の肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して断面検定する。

3) 検討結果

(単位: kN.m)							
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
四の肘木 検定							
四の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
四の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	120	110	190	670	370	410	500
σ (N/mm ²)	3.3	3.0	5.2	18.4	10.2	11.3	13.7
1.2×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.31	0.28	0.49	1.72	0.95	1.05	1.29
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	0.57	-	-	-
Q	210	270	470	920	740	880	1070
τ (N/mm ²)	0.43	0.55	0.95	1.86	1.50	1.78	2.17
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.41	0.52	0.91	1.77	1.43	1.70	2.06
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	0.89	-	0.85	1.03
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	OK	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 \geq 1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
三の肘木 検定							
三の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
三の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	19.0	16.0	24.0	56.0	36.0	23.0	34.0
σ (N/mm ²)	5.2	4.4	6.6	15.4	7.1	6.3	9.3
12×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.49	0.41	0.62	1.44	0.67	0.59	0.87
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	29.0	27.0	41.0	46.0	33.0	38.0	58.0
τ (N/mm ²)	0.59	0.55	0.83	0.93	0.67	0.77	1.17
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.56	0.52	0.79	0.89	0.64	0.73	1.12
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
二の肘木 検定							
二の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
二の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	25.0	24.0	36.0	67.0	52.0	43.0	53.0
σ (N/mm ²)	6.9	6.6	9.9	18.4	14.3	11.8	14.6
12×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.64	0.62	0.93	1.72	1.34	1.11	1.36
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.57	-	-	-
Q	25.0	23.0	45.0	71.0	71.0	84.0	71.0
τ (N/mm ²)	0.51	0.47	0.91	1.44	1.44	1.70	1.44
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.48	0.44	0.87	1.37	1.37	1.62	1.37
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	0.81	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	OK	NG	OK
一の肘木 検定							
一の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
一の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
フェース位置のM	8.7	7.7	11.3	9.2	11.4	13.4	19.0
σ (N/mm ²)	2.4	2.1	3.1	2.5	3.1	3.7	5.2
12×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.22	0.20	0.29	0.24	0.29	0.34	0.49
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	30.0	32.0	50.0	39.0	47.0	61.0	82.0
τ (N/mm ²)	0.61	0.65	1.01	0.79	0.95	1.24	1.66
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.58	0.62	0.96	0.75	0.91	1.18	1.58
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.79
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG

脚附けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 \geq 1.00を示す。

2-2-2 隅行きの肘木

1) 検討方法

隅行きの肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)。
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・隅柱筋の一の肘木は、一の肘木上巻斗と一木造り出しとし、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。
- ・入隅柱筋の一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。
- ・一の肘木は、ケヤキの場合の検定値も示す。

3) 検討結果

層名称	(単位: kNm)						
	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830
四の肘木 検定							
四の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
四の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	100	220	340	520	630	770	930
σ (N/mm ²)	27	60	93	143	173	212	255
1.2×Fb (N/mm ²)	320	320	320	320	320	320	320
Lfb (N/mm ²)	107	107	107	107	107	107	107
曲げ検定比	0.26	0.57	0.87	1.34	1.62	1.98	2.30
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.54	0.66	0.80
Q	120	300	490	610	810	1040	1260
τ (N/mm ²)	0.24	0.61	0.99	1.24	1.64	2.11	2.55
Fa (N/mm ²)	21	21	21	21	21	21	21
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.23	0.58	0.95	1.18	1.56	2.01	2.43
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.78	1.00	1.22
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
三の材木 検定							
三の材木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
三の材木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	11.0	10.0	18.0	19.0	19.0	24.0	37.0
σ (N/mm ²)	3.0	2.7	4.9	5.2	5.2	6.6	10.2
1.2×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfs (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.28	0.26	0.46	0.49	0.49	0.62	0.95
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	5.0	7.0	13.0	16.0	17.0	20.0	32.0
τ (N/mm ²)	0.10	0.14	0.26	0.32	0.34	0.41	0.65
Fv (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.10	0.14	0.25	0.31	0.33	0.39	0.62
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
二の材木 検定							
二の材木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
二の材木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	18.0	22.0	31.0	36.0	45.0	54.0	55.0
σ (N/mm ²)	4.9	6.0	8.5	9.9	12.4	14.8	15.1
1.2×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfs (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.46	0.57	0.80	0.93	1.16	1.39	1.41
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	12.0	27.0	36.0	38.0	68.0	82.0	47.0
τ (N/mm ²)	0.24	0.55	0.73	0.77	1.38	1.66	0.95
Fv (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.23	0.52	0.69	0.73	1.31	1.58	0.91
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.79
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	NG	OK

細附けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 \geq 1.00を示す。

(単位: kNm)

種名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
側柱筋一の肘木 検定							
側柱筋一の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
側柱筋一の肘木の成 (mm)	487	487	487	487	487	487	487
断面積 A (mm ²)	122237	122237	122237	122237	122237	122237	122237
断面係数 Z (mm ³)	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570
断面二次モーメント I (mm ⁴)	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254
断面検定							
フェース位置のM	10.1	12.8	16.3	18.8	18.8	21.1	28.1
σ (N/mm ²)	1.0	1.3	1.6	1.9	1.9	2.1	2.8
1.2×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.10	0.12	0.15	0.18	0.18	0.20	0.27
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	19.0	26.0	33.0	40.0	40.0	45.0	59.0
τ (N/mm ²)	0.23	0.32	0.40	0.49	0.49	0.55	0.72
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.22	0.30	0.39	0.47	0.47	0.53	0.69
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
ケヤキの検定							
断面検定							
フェース位置のM	10.1	12.8	16.3	18.8	18.8	21.1	28.1
σ (N/mm ²)	1.0	1.3	1.6	1.9	1.9	2.1	2.8
1.2×Fb (N/mm ²)	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/mm ²)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.09	0.11	0.14	0.16	0.16	0.18	0.24
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	19.0	26.0	33.0	40.0	40.0	45.0	59.0
τ (N/mm ²)	0.23	0.32	0.40	0.49	0.49	0.55	0.72
Fs (N/mm ²)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.16	0.21	0.27	0.33	0.33	0.37	0.48
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

新折げは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
入側柱筋一の肘木 検定							
入側柱筋一の肘木の幅 (mm)	--	--	--	--	--	--	251
入側柱筋一の肘木の成 (mm)	--	--	--	--	--	--	296
断面積 A (mm ²)	--	--	--	--	--	--	7405
断面係数 Z (mm ³)	--	--	--	--	--	--	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	--	--	--	--	--	--	536980510
断面検定							
フューズ位置のM	--	--	--	--	--	--	341
σ (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	9.4
1.2×Fb (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	32.0
Lfb (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	10.7
曲げ検定比	--	--	--	--	--	--	0.88
【参考】 基準強度に対する比率	--	--	--	--	--	--	--
Q	--	--	--	--	--	--	67.0
τ (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	1.36
Fs (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	1.05
せん断検定比	--	--	--	--	--	--	1.29
【参考】 基準強度に対する比率	--	--	--	--	--	--	--
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	--	--	--	--	--	--	OK
テヤキの検定							
断面検定							
フューズ位置のM	--	--	--	--	--	--	341
σ (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	9.4
1.2×Fb (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	35.3
Lfb (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	11.8
曲げ検定比	--	--	--	--	--	--	0.80
【参考】 基準強度に対する比率	--	--	--	--	--	--	--
Q	--	--	--	--	--	--	67.0
τ (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	1.36
Fs (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	3.0
1.5×Lfs (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	1.5
せん断検定比	--	--	--	--	--	--	0.90
【参考】 基準強度に対する比率	--	--	--	--	--	--	--
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	--	--	--	--	--	--	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

2-3 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定は表計算にておこなう。

3) 検討結果

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
平の尾垂木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
平の尾垂木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
平の尾垂木の断面検定							
M	54.0	60.0	56.0	173.0	149.0	121.0	150.0
σ (N/mm ²)	14.83	16.48	15.38	47.32	40.93	33.24	41.20
1.2 × Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	1.39	1.54	1.44	4.45	3.83	3.11	3.86
【参考】 基準強度に対する比率	-	0.51	-	1.48	1.28	1.04	1.29
Q	68.0	62.0	171.0	178.0	231.0	370.0	463.0
τ (N/mm ²)	1.38	1.26	3.46	3.61	4.68	7.50	9.38
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5 × Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	1.31	1.20	3.30	3.43	4.46	7.14	8.93
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	1.65	1.72	2.23	3.57	4.47
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	NG	NG	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
隣行尾垂木 (上) の幅 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
隣行尾垂木 (上) の成 (mm)	339	339	339	339	339	339	339
断面積 A (mm ²)	100005	100005	100005	100005	100005	100005	100005
断面係数Z (mm ³)	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283
断面二次モーメント I (mm ⁴)	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884
隣行尾垂木 (上) の断面検定							
M	13.0	37.0	39.0	76.0	85.0	79.0	102.0
σ (N/mm ²)	2.30	6.55	6.90	13.45	15.04	13.98	18.05
1.2×Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfs (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.22	0.61	0.65	1.26	1.41	1.31	1.69
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.56
Q	12.0	28.0	89.0	59.0	98.0	182.0	237.0
τ (N/mm ²)	0.18	0.42	1.33	0.88	1.47	2.73	3.55
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.40	1.27	0.84	1.40	2.60	3.39
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	1.30
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG
隣行尾垂木 (下) の幅 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
隣行尾垂木 (下) の成 (mm)	339	339	339	339	339	339	339
断面積 A (mm ²)	100005	100005	100005	100005	100005	100005	100005
断面係数Z (mm ³)	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283
断面二次モーメント I (mm ⁴)	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884
隣行尾垂木 (下) の断面検定							
M	20.0	44.0	39.0	88.0	101.0	90.0	109.0
σ (N/mm ²)	3.54	7.79	6.90	15.57	17.88	15.93	19.29
1.2×Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfs (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.33	0.73	0.65	1.46	1.67	1.49	1.81
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.49	0.56	0.50	0.60
Q	12.0	33.0	89.0	67.0	116.0	206.0	249.0
τ (N/mm ²)	0.18	0.49	1.33	1.00	1.74	3.09	3.73
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.47	1.27	0.96	1.66	2.94	3.56
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.83	1.47	1.78
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 \geq 1.00を示す。

3 軒の検討

3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

丸桁に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手は考慮せず、一材として検討した応力を用いている。

3) 検討結果

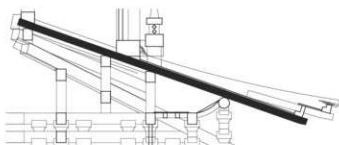
層名称	(単位：kNm)						
	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
街種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830
丸桁の径 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	68315	68315	68315	68315	68315	68315	68315
断面係数 Z (mm ³)	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102
断面二次モーメント I (mm ⁴)	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515
断面検定							
M	17.6	19.3	21.8	20.7	24.8	25.5	28.5
σ (N/mm ²)	7.00	7.65	8.63	8.21	9.83	10.13	11.32
1.2×F _b (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
L _{fb} (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.66	0.72	0.81	0.77	0.92	0.95	1.06
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	38.0	40.8	44.8	40.6	44.0	54.8	54.8
τ (N/mm ²)	0.74	0.80	0.88	0.79	0.86	1.07	1.07
F _a (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _{fs} (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.71	0.76	0.83	0.76	0.82	1.02	1.02
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

縦附けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討

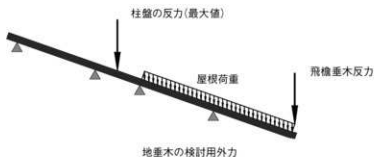
1) 検討対象および方法

- ・地垂木の検討対象は、先端から内部引込み端までの全長とする。



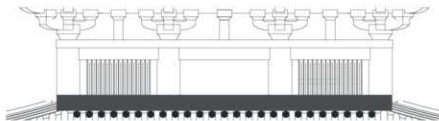
地垂木の検討範囲

- ・先端の飛権垂木から伝わる力を外力として考慮する。
- ・瓦葺き範囲は、固定荷重として考慮する。
- ・上層の側柱に長期に生じる軸力が柱盤を介して伝わる力を外力として考慮する。
- ・柱盤からの外力は、柱盤の剛性、柱位置および配置により、垂木ごとに値が異なる。
- ・地垂木の断面検定において、柱盤からの外力は最大値を採用する。

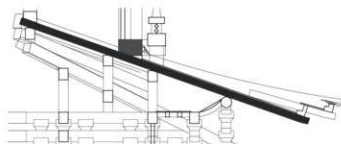


- ・地垂木検討用の柱盤からの外力(柱盤の反力)を設定する方法は、次項に示す。あわせて、柱盤の応力-変形も求め、柱盤の断面検定もおこなう。

- ・柱盤は、上層の柱を受ける横架材である。
- ・柱盤の両端は隅木で支えられている。両端以外は柱盤の説明図(2)に示すとおり、直下の複数本の地垂木で支えられている。

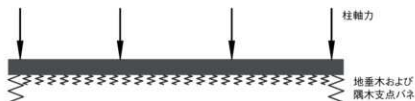


柱盤の説明図(1)



柱盤の説明図(2)

- ・柱盤は、個柱に長期に生じる軸力を受ける弾性支承上の梁として、反力および応力-変形を求める。支点は、柱盤両端の隅木と柱盤直下のすべての地垂木とする。支点のバネは圧縮専用バネとし、隅木および垂木のたわみ量を元に設定する。
- ・個柱に長期に生じる軸力は、架構解析により求めた値を採用する。

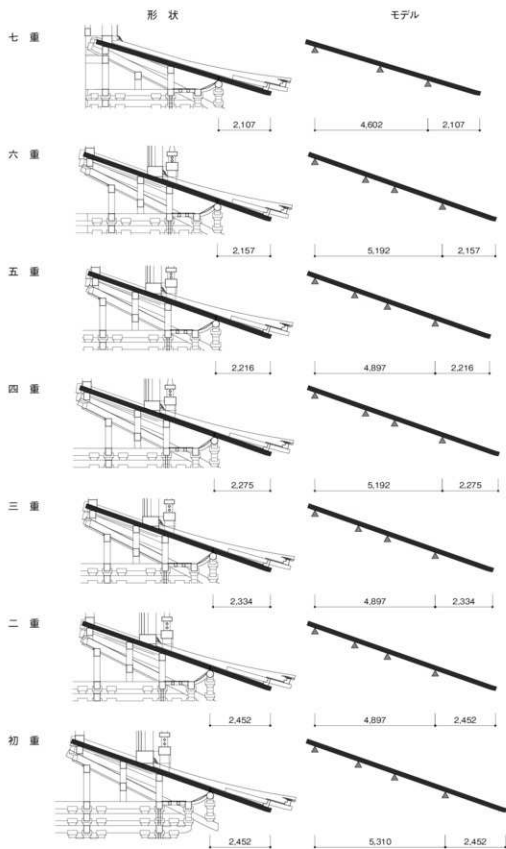


柱盤の応力算定モデル

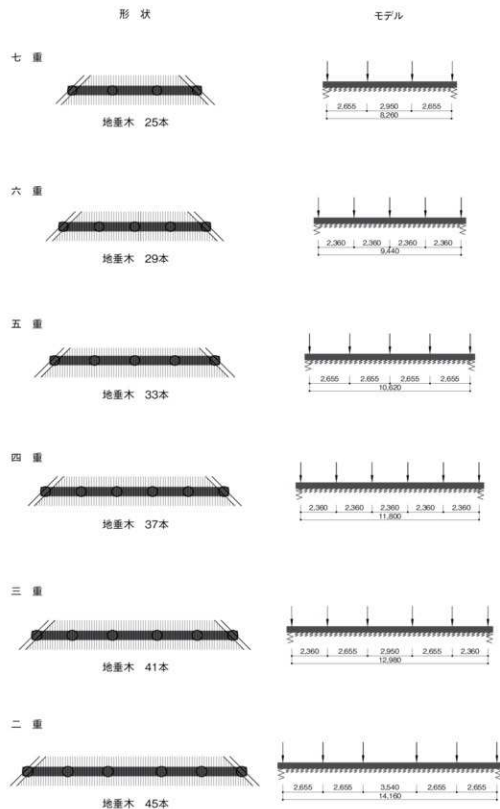
- ・地垂木および柱盤の応力と変形は、FEM解析による。

2) 検討用寸法一覧

a) 地垂木の検討寸法とモデル



b) 柱盤の検討寸法とモデル



3) 検討結果

a) 地垂木

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定位置：丸桁および柱盤位置



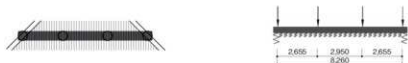
(単位：kN・m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
地垂木の径 (mm)	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9
地垂木のピッチ (mm)	329	329	329	329	329	329	329
木負	64	64	64	64	64	64	64
先端集中荷重 P	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8
等分布荷重 w (自重含)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
出寸法 a	2.107	2.157	2.216	2.275	2.334	2.452	2.452
丸桁位置での断面検定							
σ (N/mm ²)	10.5	11.0	12.2	13.0	13.6	15.0	15.0
1.2×F _b (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×L _b (N/mm ²)	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	0.85	0.90	0.99	1.06	1.11	1.22	1.22
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
τ (N/mm ²)	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
F _v (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _f (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.19	0.29	0.19	0.29	0.29	0.29	0.29
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
柱盤位置での断面検定							
σ (N/mm ²)	-	7.4	13.5	18.2	21.2	26.3	33.5
1.2×F _b (N/mm ²)	-	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×L _b (N/mm ²)	-	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	0.60	1.10	1.48	1.73	2.14	2.73
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	0.57	0.66	0.82	1.05
τ (N/mm ²)	-	0.5	0.8	1.2	1.4	1.6	1.9
F _v (N/mm ²)	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _f (N/mm ²)	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	0.48	0.76	1.14	1.33	1.52	1.81
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	0.76	0.90
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	OK	NG	NG	NG	NG
【参考】たわみ							
弾性たわみ (合計)	33.0	36.0	44.0	50.0	54.0	67.0	72.0
クリープ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
クリープ考慮たわみ	66	72.0	88.0	100.0	108.0	134.0	144.0
たわみ角	1/32	1/30	1/25	1/23	1/22	1/18	1/17

縦括弧は、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。

b) 柱 盤

- ・荷重条件：ベタ置き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

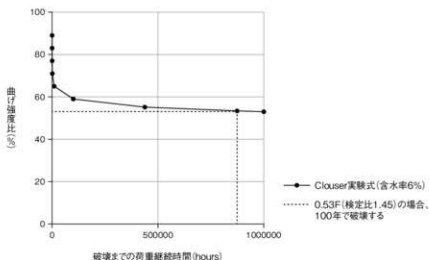


(単位：kN/m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/m ²)	8820	8820	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	620	634	649	664	678	693
柱盤の成 (mm)	413	413	413	413	413	502
断面検定						
σ (N/m ²)	1.8	2.6	4.7	5.0	6.1	5.5
$1.2 \times F_b$ (N/m ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
$L_f b$ (N/m ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.17	0.60	0.44	0.47	0.57	0.51
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
τ (N/m ²)	0.3	0.5	1.0	1.1	1.3	1.3
F_s (N/m ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times L_f s$ (N/m ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.29	0.48	0.95	1.05	1.24	1.24
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK

縦掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

地垂木の長期曲げ検定比は1.00を超えて2.73に至る。一般に長期に生じる曲げ応力度が、長期許容応力度と短期許容応力度の中間値の場合、約50～100年で折れるとされている。彰国社「建築構造学大系22 木構造(昭和41年6月)」134頁に示されるClouser 実験式(含水率6%)をグラフにして示す。



破壊までの荷重継続時間 (hours)

破壊までの荷重継続時間と強度比

4) 参考検討

参考検討として、柱盤下の地垂木のうち、許容値(検定比1.45)超過部材の剛性が80%に低下すると仮定し、柱盤の反力が再配分された場合の検討をおこなった。

a) 地垂木 (初重～四重)

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定位置：丸桁および柱盤位置
- ・地垂木の剛性低下考慮



(単位：kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	-	-	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mf)	-	-	-	8820	8820	8820	8820
地垂木の径 (mm)	-	-	-	185.9	185.9	185.9	185.9
地垂木のピッチ (mm)	-	-	-	329	329	329	329
木負	-	-	-	64	64	64	64
先端集中荷重 P	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
等分布荷重 w (自重含)	-	-	-	1.6	1.6	1.6	1.6
出寸法 a	-	-	-	2.275	2.334	2.452	2.452
丸桁位置での断面検定							
σ (N/mf)	-	-	-	13.6	13.6	15.0	15.0
$1.2 \times F_b$ (N/mf)	-	-	-	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材 $1.15 \times L_b$ (N/mf)	-	-	-	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	-	-	1.11	1.11	1.22	1.22
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
τ (N/mf)	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3
F_s (N/mf)	-	-	-	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times L_s$ (N/mf)	-	-	-	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	-	-	0.29	0.29	0.29	0.29
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	-	OK	OK	OK	OK
柱盤位置での断面検定							
σ (N/mf)	-	-	-	17.1	20.1	24.0	28.8
$1.2 \times F_b$ (N/mf)	-	-	-	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材 $1.15 \times L_b$ (N/mf)	-	-	-	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	-	-	1.39	1.64	1.95	2.34
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.63	0.75	0.90
τ (N/mf)	-	-	-	1.1	1.3	1.5	1.6
F_s (N/mf)	-	-	-	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times L_s$ (N/mf)	-	-	-	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	-	-	1.05	1.24	1.43	1.52
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.76
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	-	OK	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 ≥ 1.00 を示す。

b) 柱盤 (二重～五重)

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・地垂木の剛性低下考慮



(単位: kN/m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	-	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/m ²)	-	-	8830	8830	8830	8830
柱盤の幅 (mm)	-	-	649	664	678	693
柱盤の成 (mm)	-	-	413	413	413	502
断面検定						
σ (N/m ²)	-	-	49	47	61	59
1.2×F _b (N/m ²)	-	-	3204	3204	3204	3204
L _{fb} (N/m ²)	-	-	107	107	107	107
曲げ検定比	-	-	0.46	0.44	0.57	0.55
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
τ (N/m ²)	-	-	1.0	1.1	1.3	1.4
F _s (N/m ²)	-	-	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _{fs} (N/m ²)	-	-	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	-	0.95	1.05	1.24	1.33
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	OK	OK	OK	OK

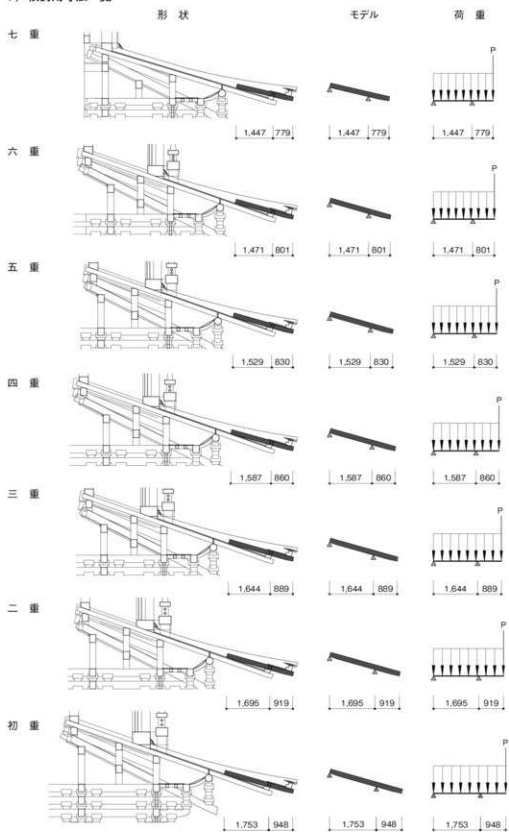
網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

検討の結果、柱盤反力の再配分により、応力および変形は有利側に変動するものの、その差は小さく、地垂木の検定比をクリアするに至らなかった。なお、柱盤の応力度は不利側に変動するも、許容値の範囲内にあることを確認している。

FEM解析による地垂木および柱盤の資料は、章末に添付する。

3-3 飛檐垂木の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討用寸法一覧



2) 検討結果

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：無等級 ヒノキ^{*1}
- ・釣り合いの検討と断面検定を表計算にておこなう

*1：曲げ基準強度は1.2倍していない。長期せん断許容応力度は1.5倍していない。



(単位：kN・m)

屋名称	七重		六重		五重		四重		三重		二重		初重	
	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830
飛檐垂木の幅 (mm)	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
飛檐垂木の成 (mm)	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
飛檐垂木のピッチ (mm)	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329
軒付瓦	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232
茅負	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
先端集中荷重 P	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
等分布荷重 w (自重含)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
出寸法 a	0.708	0.801	0.83	0.86	0.889	0.919	0.948							
引込寸法 b	1.447	1.471	1.529	1.587	1.644	1.695	1.753							
釣り合いの検討	0.37	0.44	0.43	0.42	0.42	0.42	0.41							
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK							
断面検定														
断面積 A (㎡)	27225	27225	27225	27225	27225	27225	27225	27225	27225	27225	27225	27225	27225	27225
断面係数 Z (㎡)	748688	748688	748688	748688	748688	748688	748688	748688	748688	748688	748688	748688	748688	748688
断面二次モーメント I (㎡)	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719
M	0.59	0.73	0.77	0.82	0.87	0.92	0.97							
σ (N/㎡)	0.79	0.97	1.03	1.10	1.16	1.23	1.30							
Fb (N/㎡)	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7							
並列材115°Lfb (N/㎡)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2							
曲げ検定比	0.08	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13							
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-							
Q	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8							
τ (N/㎡)	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10							
Fs (N/㎡)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1							
Lfs (N/㎡)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7							
せん断検定比	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14							
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-							
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK							
【参考】 たわみ														
弾性たわみ (先端集中荷重)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2							
弾性たわみ (等分布荷重)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3							
弾性たわみ (合計)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4							
クリープ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0							
クリープ考慮たわみ	0.3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9							
たわみ角	1/1207	1/920	1/795	1/689	1/602	1/531	1/468							

縦掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

3-4 地隅木・飛檐隅木の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

地隅木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。飛檐隅木に長期に生じる応力は、手計算による。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

3) 検討結果

【地隅木】

(単位: kN/m)

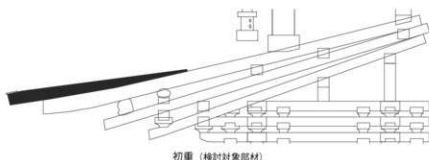
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
地隅木の幅 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
地隅木の成 (mm)	375	375	375	375	375	375	375
断面積 A (mm ²)	110625	110625	110625	110625	110625	110625	110625
断面積Z (mm ²)	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063
断面二次モーメント I (mm ⁴)	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719
地隅木の断面検定							
M	18.0	78.0	76.0	161.0	171.0	152.0	200.0
σ (N/mm ²)	2.60	11.28	10.99	23.29	24.73	21.98	28.93
12×Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.24	1.06	1.03	2.18	2.32	2.06	2.71
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.73	0.77	0.69	0.90
Q	13.0	59.0	159.0	122.0	196.0	332.0	432.0
τ (N/mm ²)	0.18	0.80	2.16	1.65	2.66	4.50	5.86
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
15×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.76	2.05	1.58	2.53	4.29	5.58
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	1.03	0.79	1.27	2.14	2.79
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	NG	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。

【飛橋隅木】

a) 基本事項

- ・地隅木からの出寸法は、0.92～1.0mである。
- ・出寸法の最も大きい初重で検討し、その他の層は検討を省略する。



b) 検討結果

飛橋隅木(ヒノキ 295 mm×372 mm)

断面性能 $A = 1097 \times 10^2 \text{ mm}^2$, $Z = 6803 \times 10^3 \text{ mm}^3$, $I = 126552 \times 10^4 \text{ mm}^4$

ヒノキ^{*1} $F_b = 26.7 \text{ N/mm}^2$, $F_s = 2.1 \text{ N/mm}^2$, $E = 8820 \text{ N/mm}^2$

^{*1}: 曲げ基準強度は1.2倍していない。長期せん断許容応力度は1.5倍していない。

断面検定(断面積・断面係数は0.8倍とする)

屋根荷重 $w = 5700 \text{ N/m}^2$ 、負担幅最大 2.0 m、降棟 1800 N/m

→等分布荷重 $5.7 \times 2.0 + 1.8 = 13.2 \text{ kN/m}$

スパン 1.0mの片持ち梁として検討

設計用 $M_L = 13.2 \times 1.0^2 / 2 = 6.6 \text{ kNm}$

$$\sigma = M_L / Z = 6.6 \times 10^6 / (0.8 \times 6803 \times 10^3) = 1.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma / F_b = 1.2 / (26.7 \times 1/3) = 0.13 < 1.0 \text{ OK}$$

設計用 $Q_L = 13.2 \times 1.0 = 13.2 \text{ kN}$

$$\tau = 1.5 Q_L / A = 1.5 \times 13.2 \times 10^3 / (0.8 \times 1097 \times 10^2) = 0.23 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau / F_s = 0.23 / (2.1 \times 1/3) = 0.33 < 1.0 \text{ OK}$$

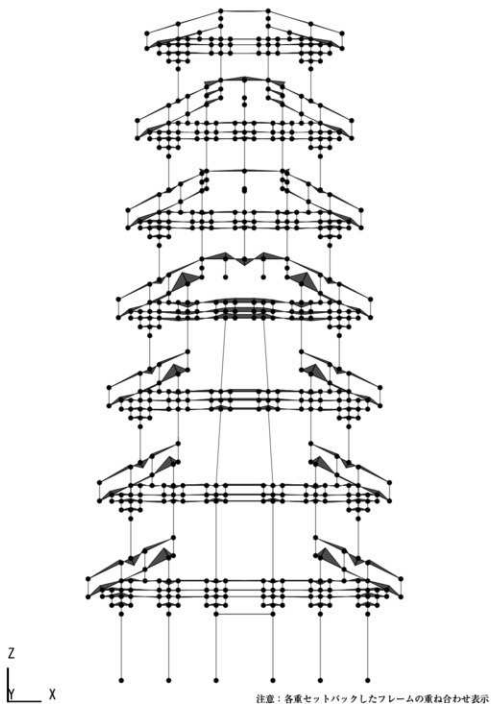
長期弾性たわみ

$$\delta = \frac{w l^4}{8 E I} = \frac{13.2 \times 1000^4}{8 \times 8820 \times 126552 \times 10^4} = 0.15 \text{ mm} \rightarrow 1/6666$$

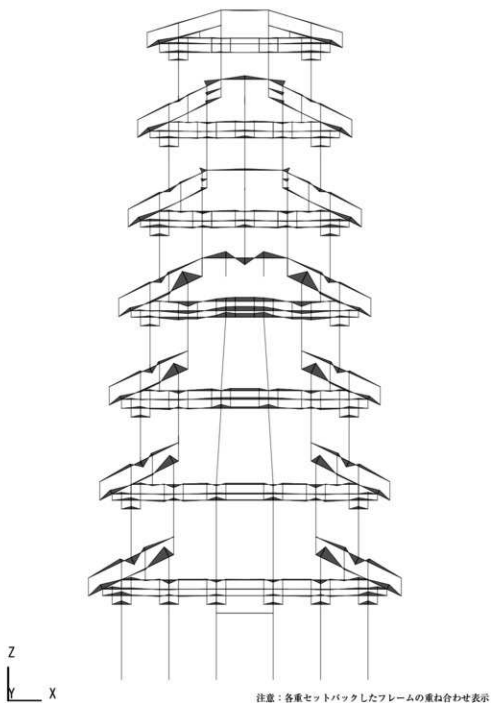
4 応力図

4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)

平全体(曲げモーメント図:長期)

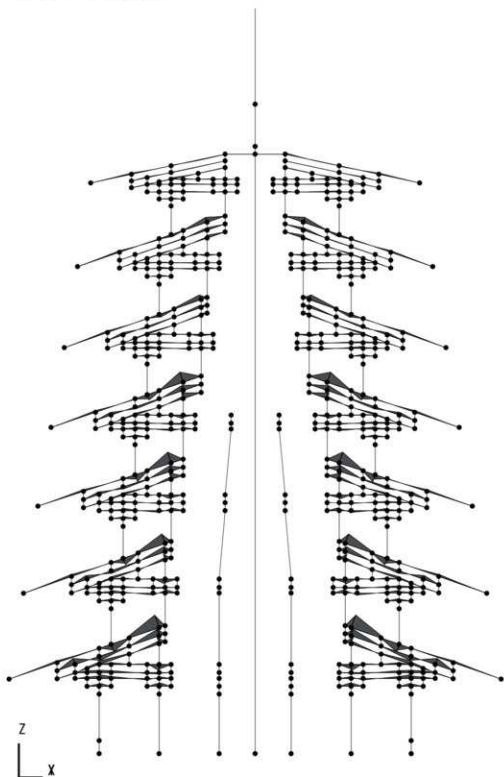


平全体(曲げモーメント図：長期)

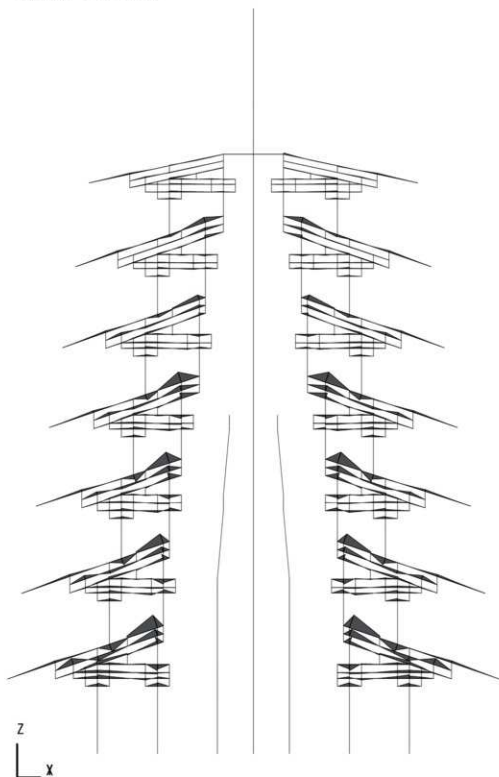


4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)

45°(曲げモーメント図:長期)

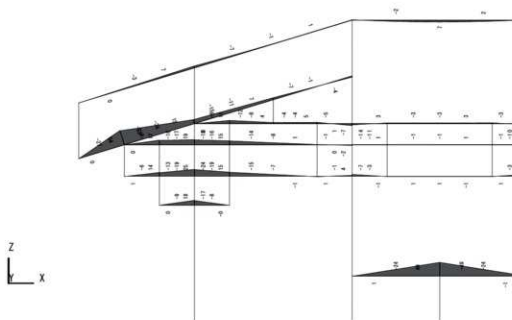


45° (曲げモーメント図：長期)

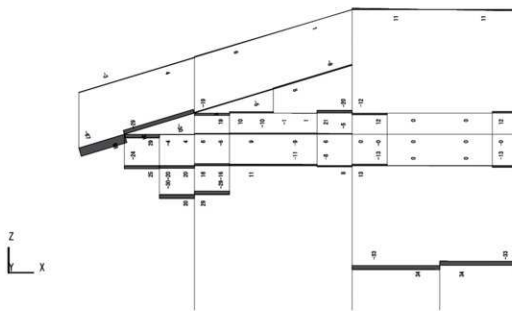


4-3 平の長期に生じる応力図(各重)

Y03+295 (応力図:長期) 七重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



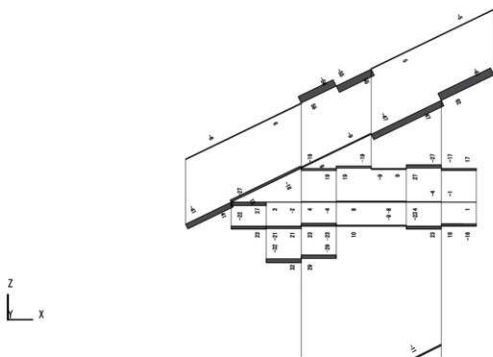
Y03+295 (応力図:長期) 七重尾垂木 (平) および肘木 セン断力図 単位: kN



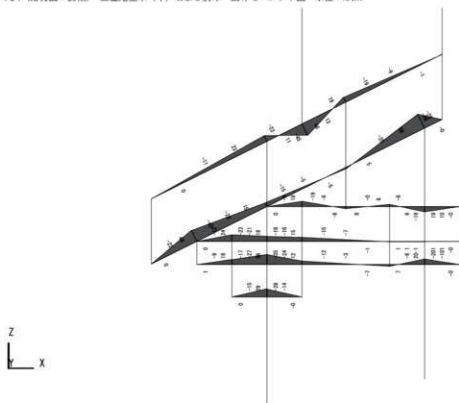
Y04 (応力図：長期) 六重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



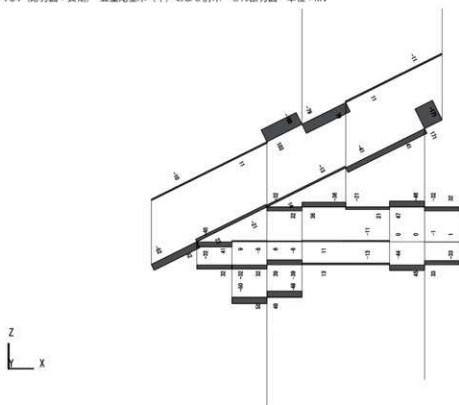
Y04 (応力図：長期) 六重尾垂木 (平) および肘木 セン断力図 単位：kN



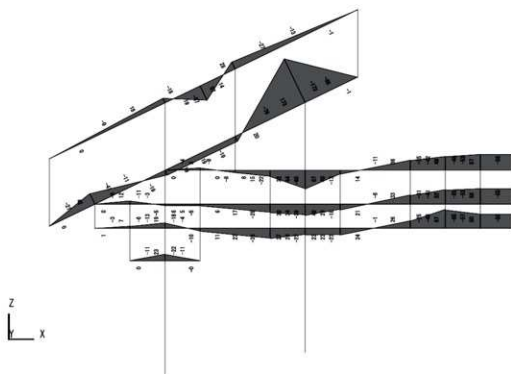
Y04 (応力図:長期) 五重尾垂木(平) および肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



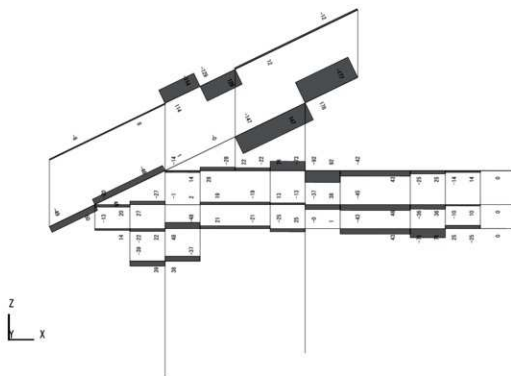
Y04 (応力図:長期) 五重尾垂木(平) および肘木 セン断力図 単位: kN



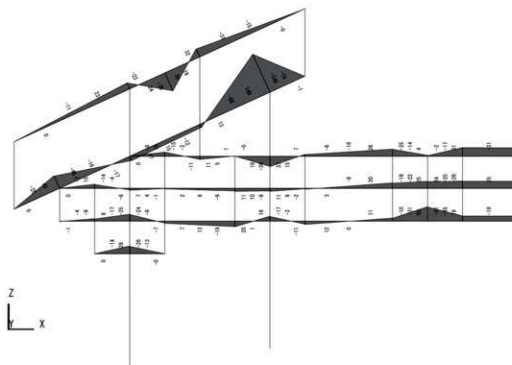
Y03+590 (応力図：長期) 四重尾巻木（平）および対木 曲げモーメント図 単位：kNm



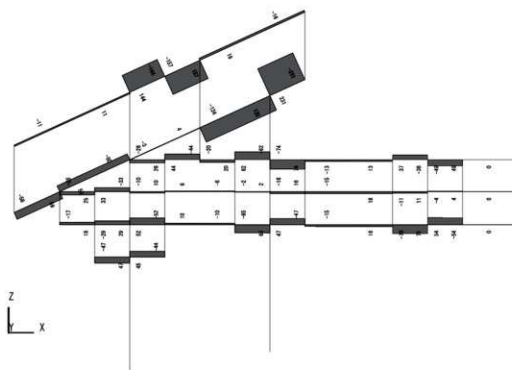
Y03+590 (応力図：長期) 四重尾巻木（平）および対木 セン断力図 単位：kN



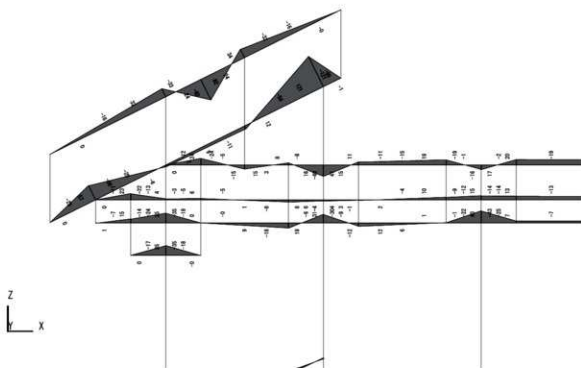
Y03+295 (応力図:長期) 三重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



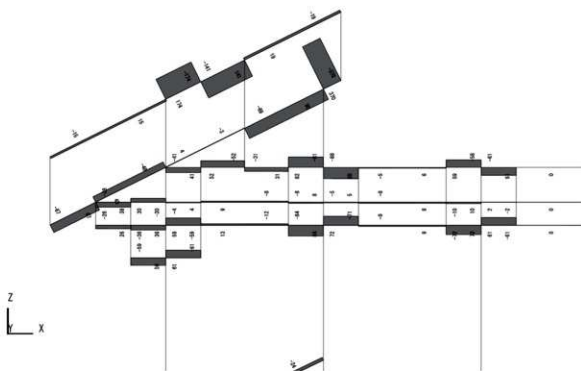
Y03+295 (応力図:長期) 三重尾垂木 (平) および肘木 せん断力図 単位: kN



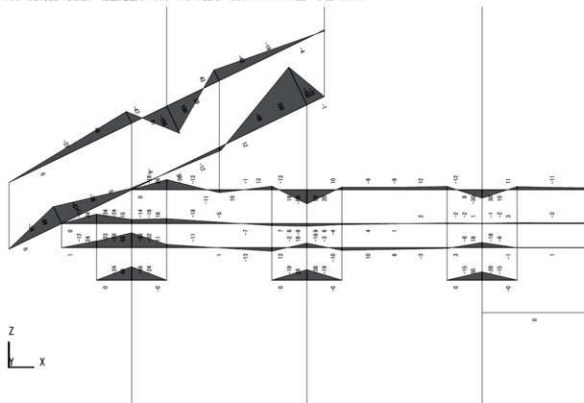
Y03 (応力図：長期) 二重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



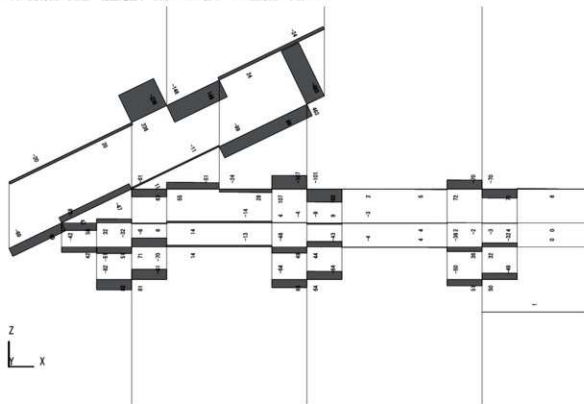
Y03 (応力図：長期) 二重尾垂木 (平) および肘木 セン断力図 単位：kN



Y03 (応力図：長期) 初重尾垂木 (平) および討木 曲げモーメント図 単位：kNm

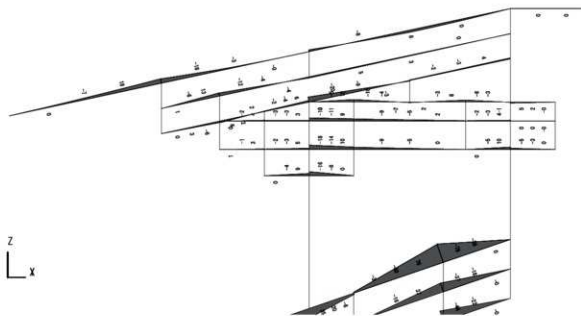


Y03 (応力図：長期) 初重尾垂木 (平) および討木 セン断力図 単位：kN

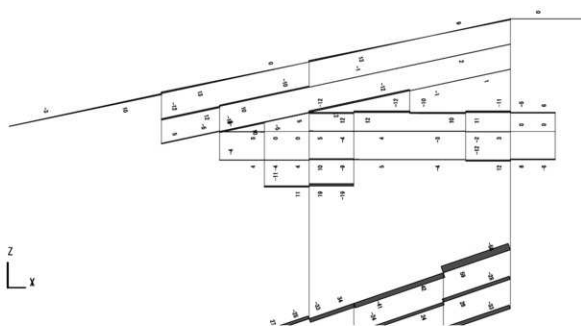


4-4 隣行きの長期に生じる応力図(各重)

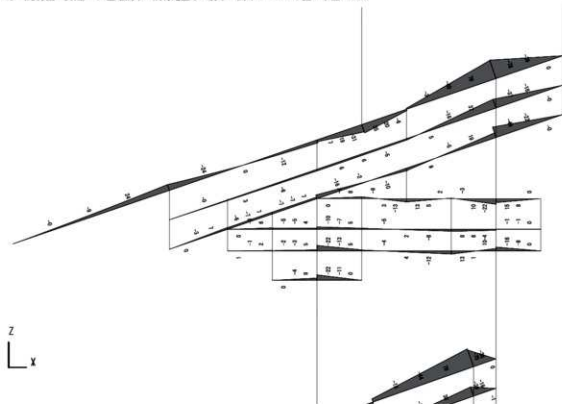
45° (応力図：長期) 七重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



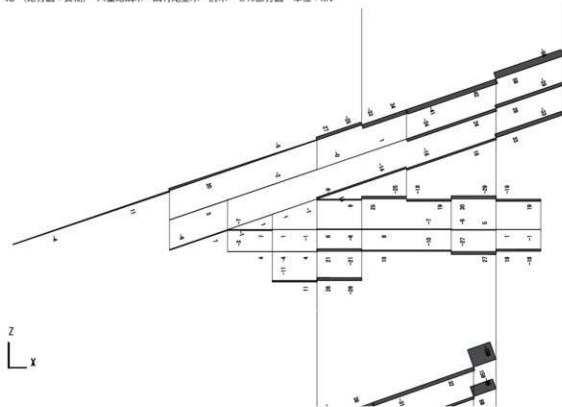
45° (応力図：長期) 七重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 セン断力図 単位：kN



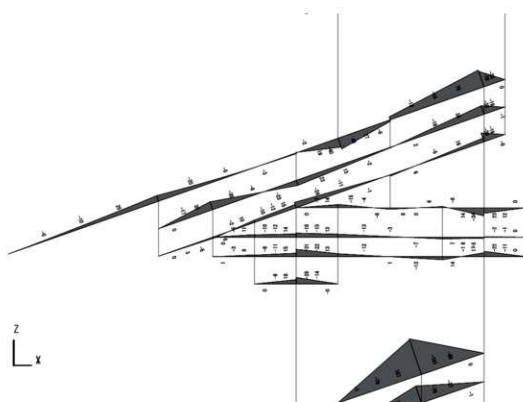
45° (応力図:長期) 六重地隔木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



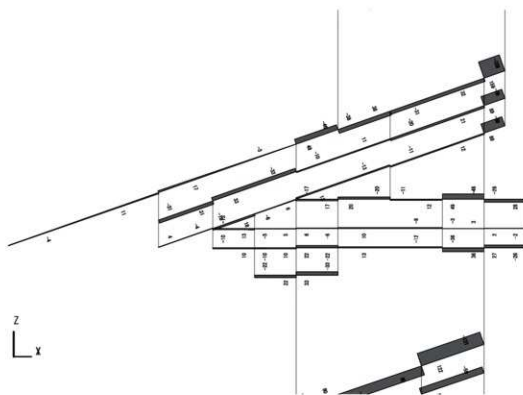
45° (応力図:長期) 六重地隔木・隅行尾垂木・肘木 セA断力図 単位: kN



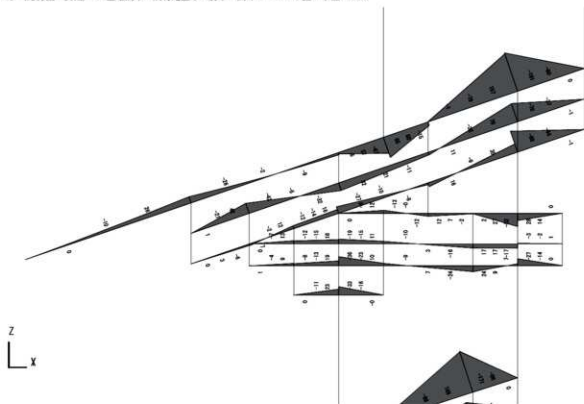
45° (応力図：長期) 五重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



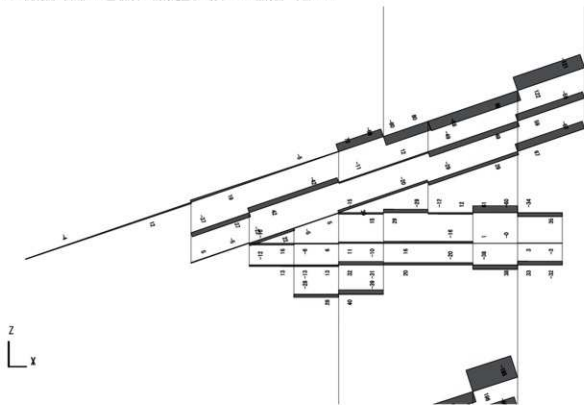
45° (応力図：長期) 五重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 セン断力図 単位：kN



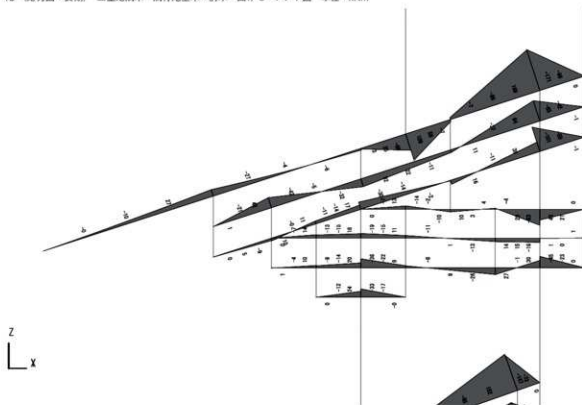
45° (応力図:長期) 四重地隔木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



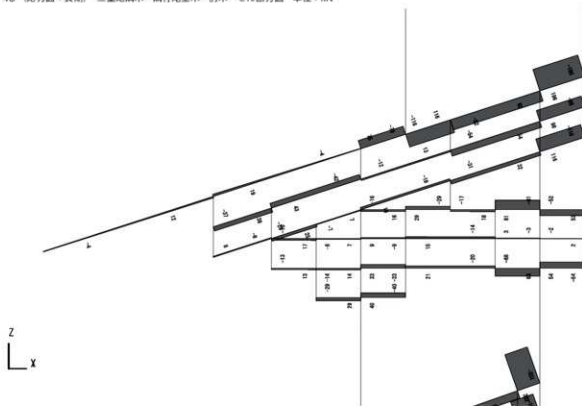
45° (応力図:長期) 四重地隔木・隅行尾垂木・肘木 セA筋力図 単位: kN



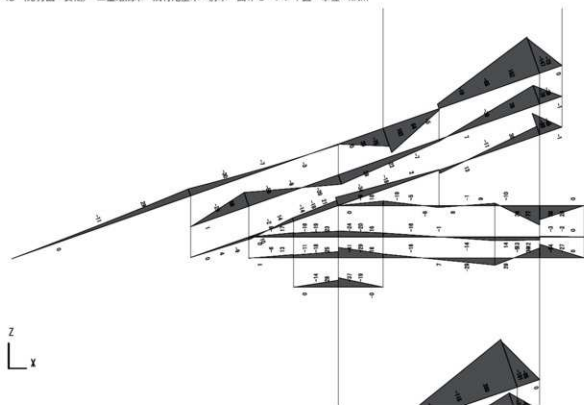
45° (応力図：長期) 三重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



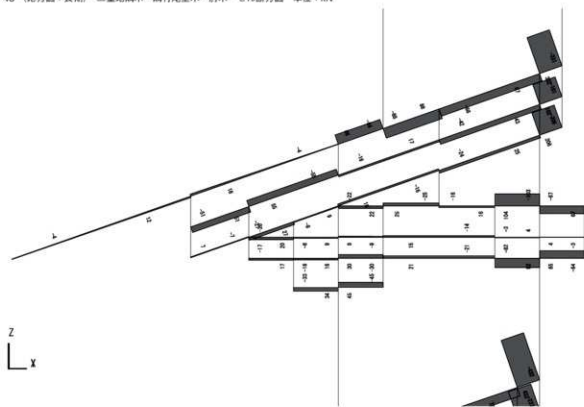
45° (応力図：長期) 三重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 セン断力図 単位：kN



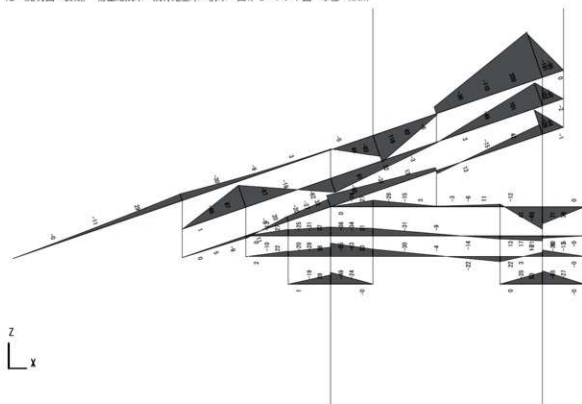
45° (応力図:長期) 二重地隔木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



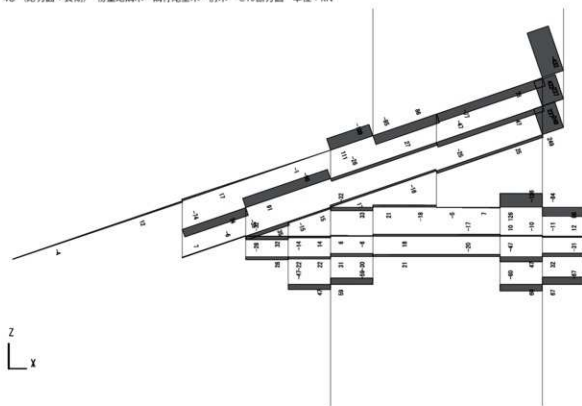
45° (応力図:長期) 二重地隔木・隅行尾垂木・肘木 せん断力図 単位: kN



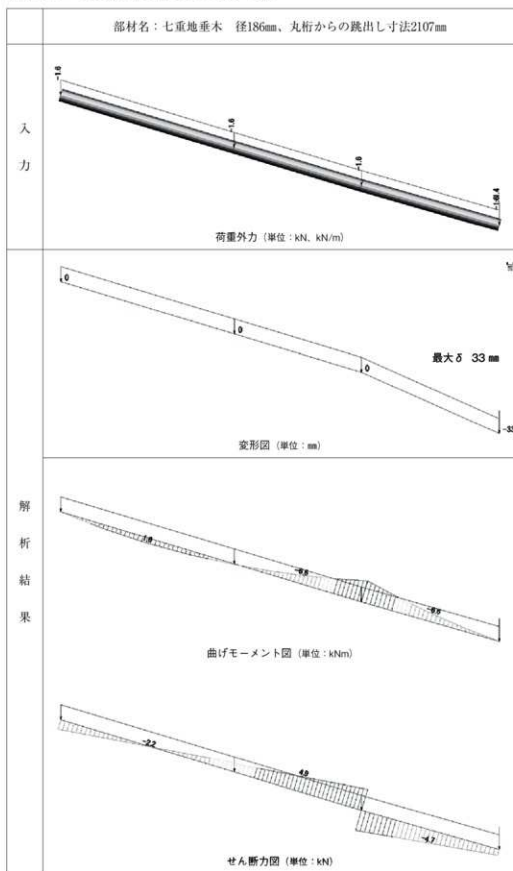
45° (応力図：長期) 初重地隔木・隣行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm

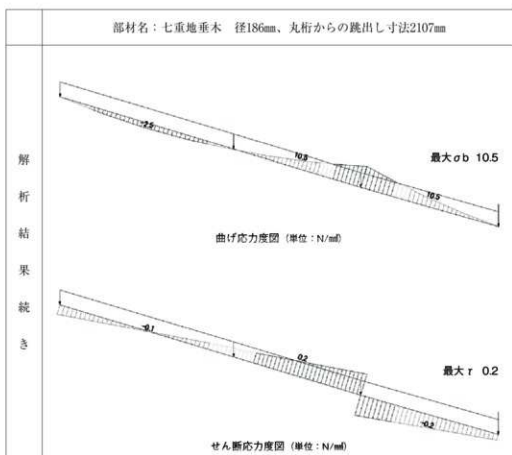


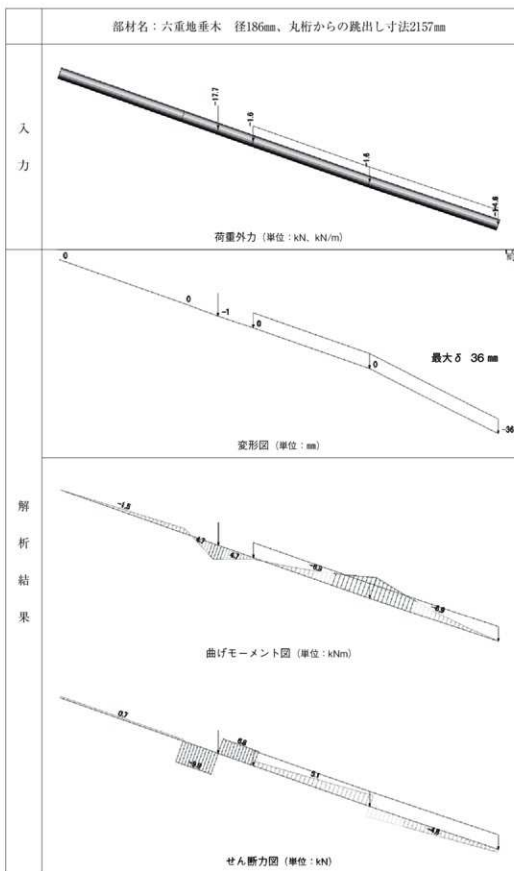
45° (応力図：長期) 初重地隔木・隣行尾垂木・肘木 セン断力図 単位：kN

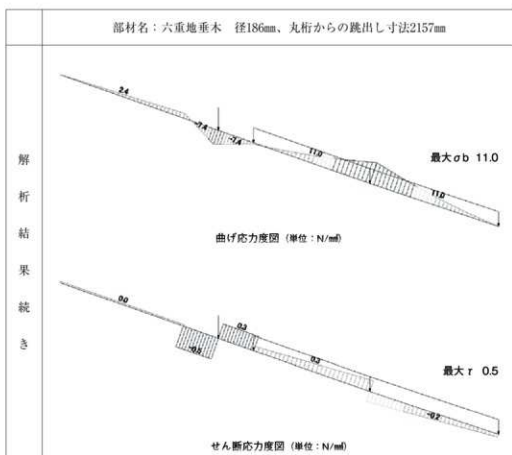


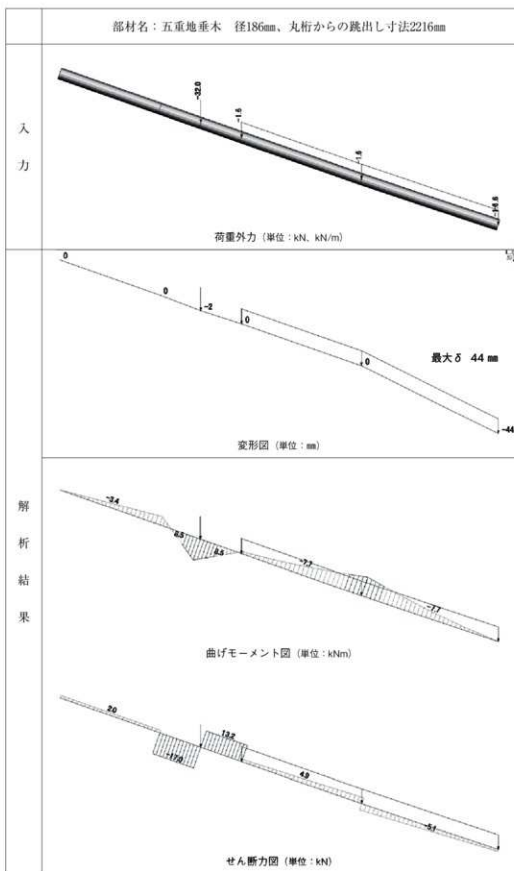
添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

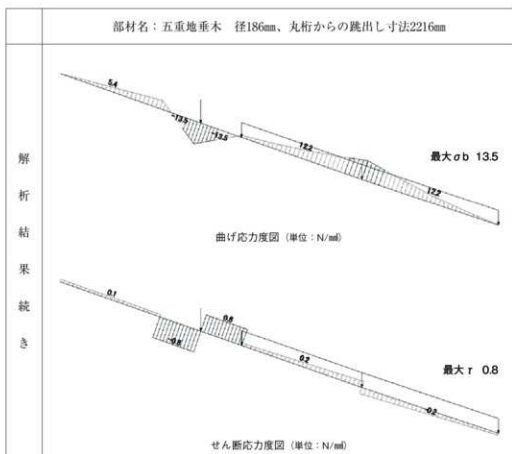


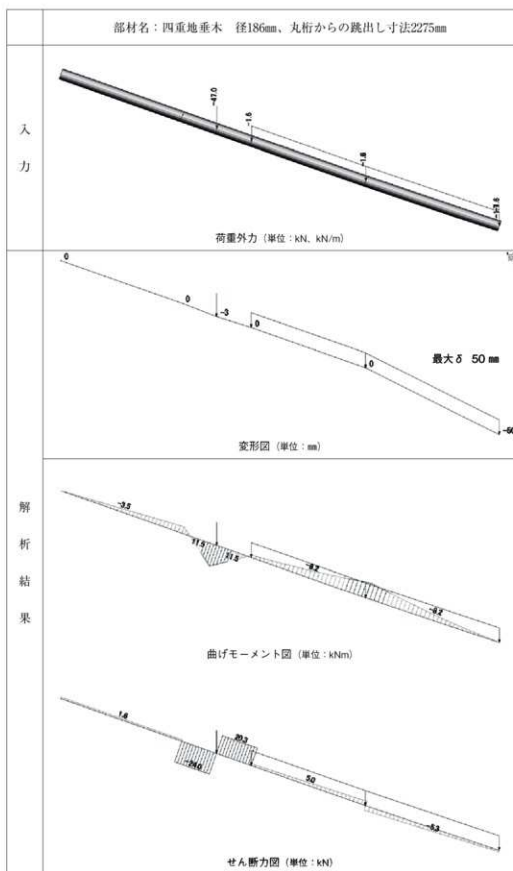


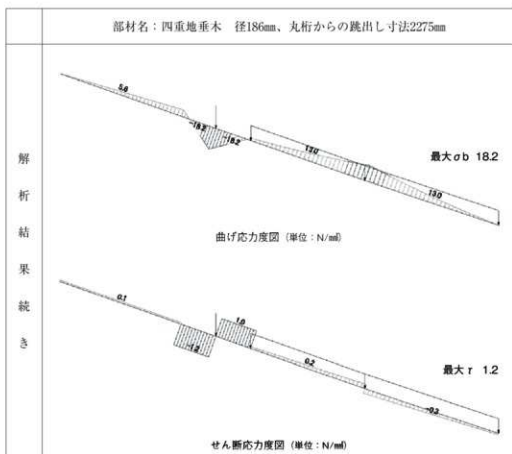


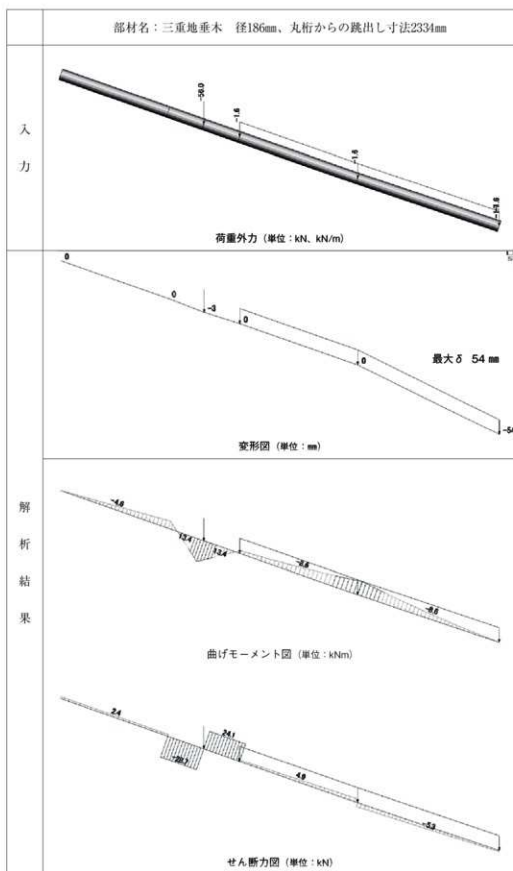


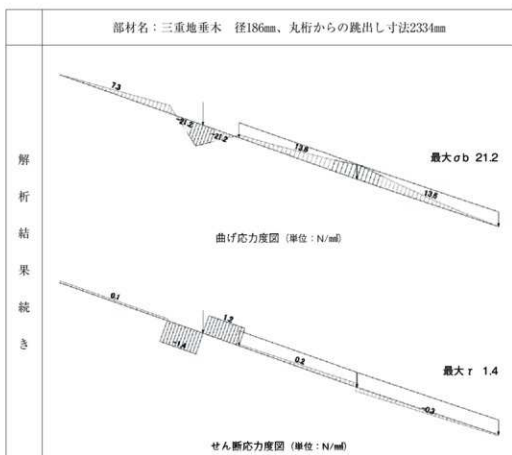


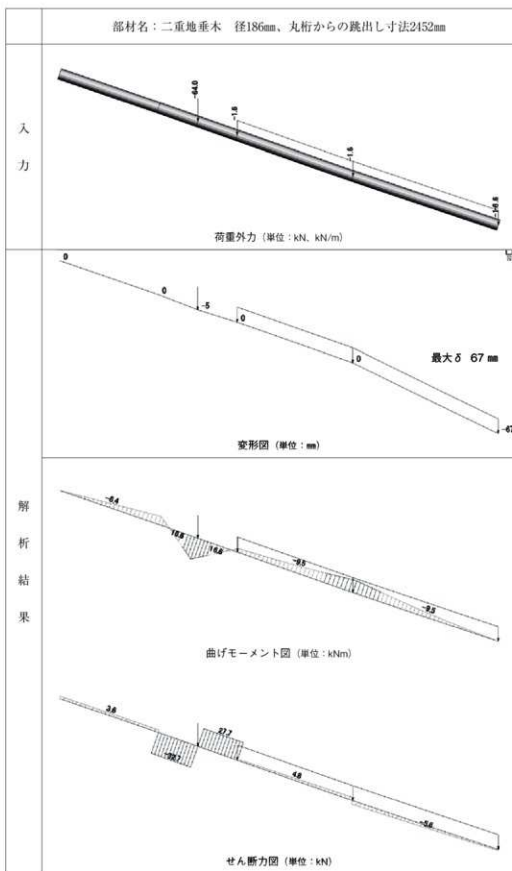


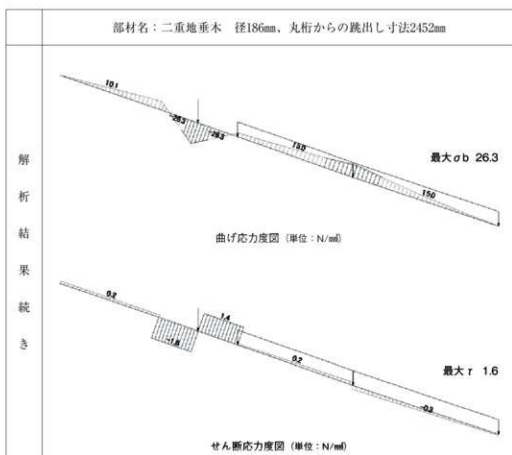


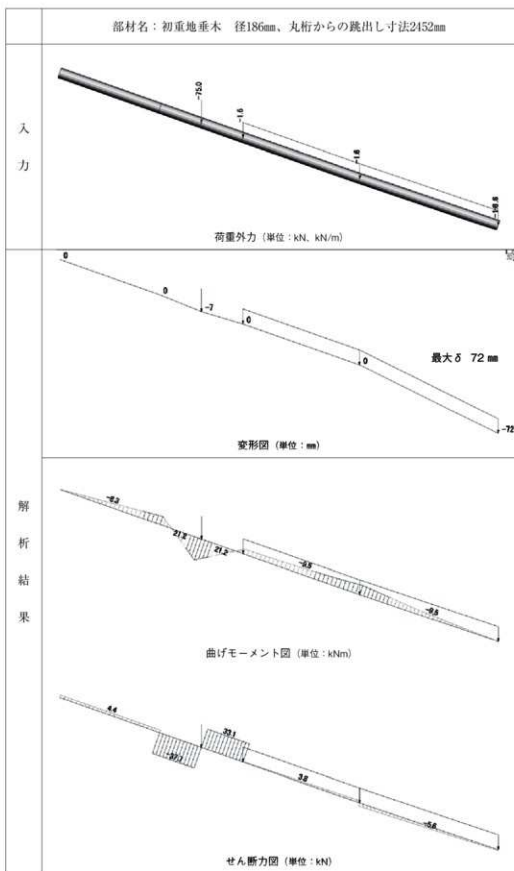


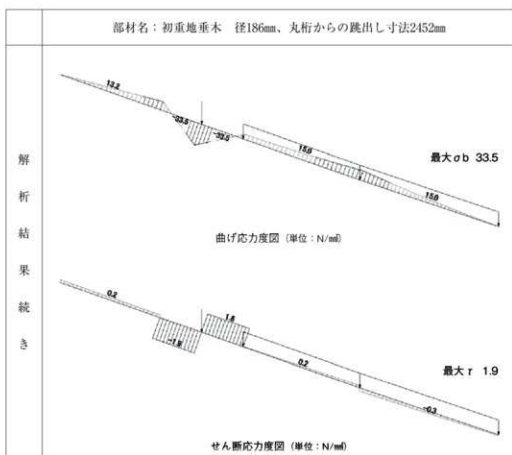




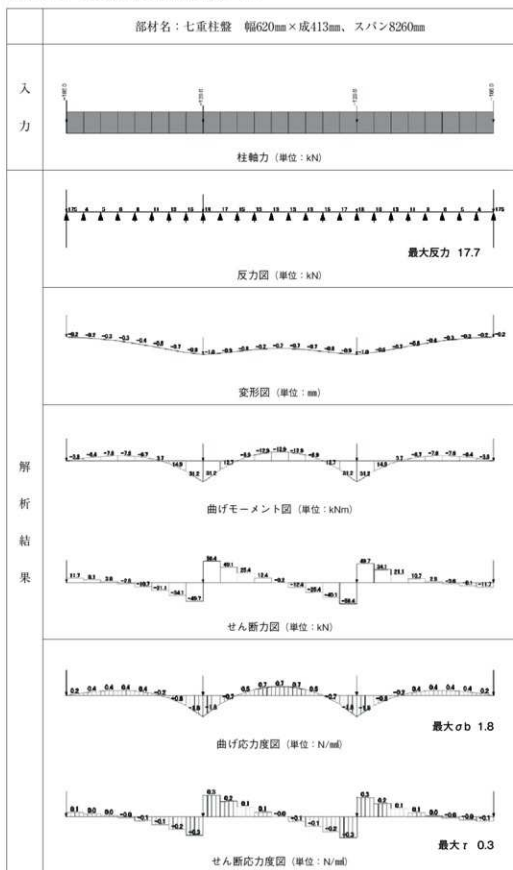


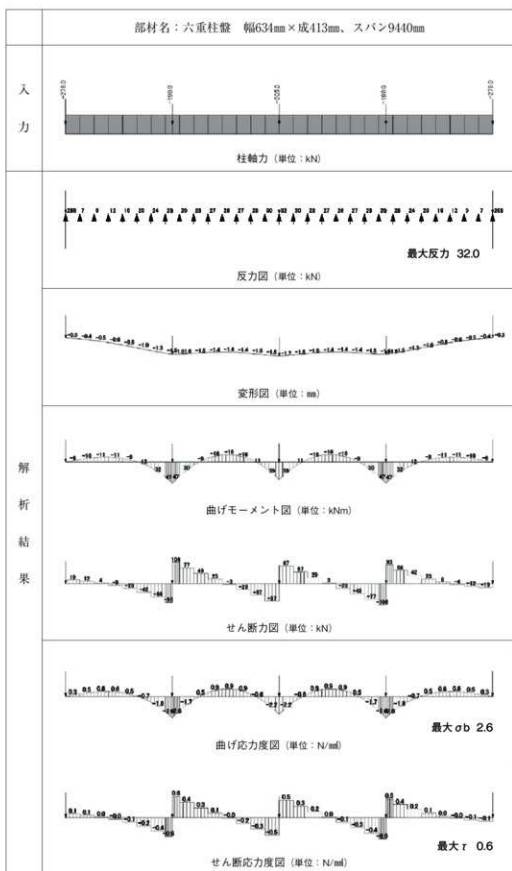


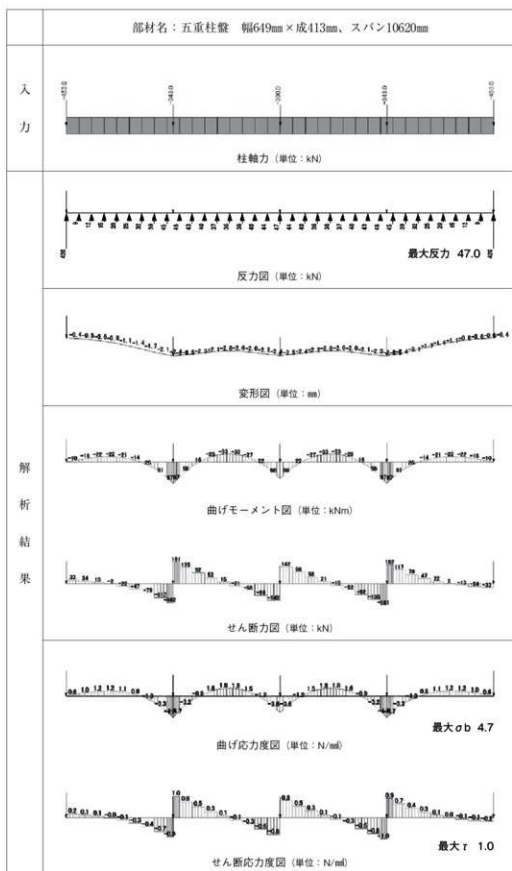


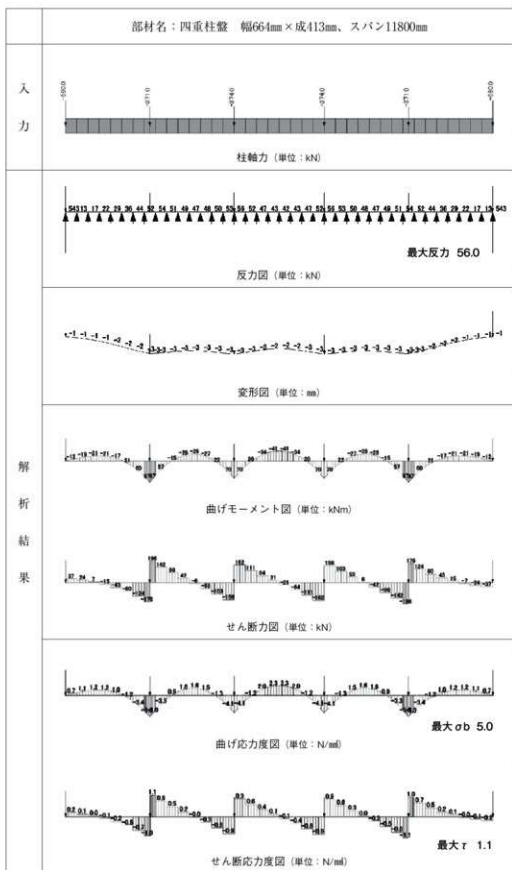


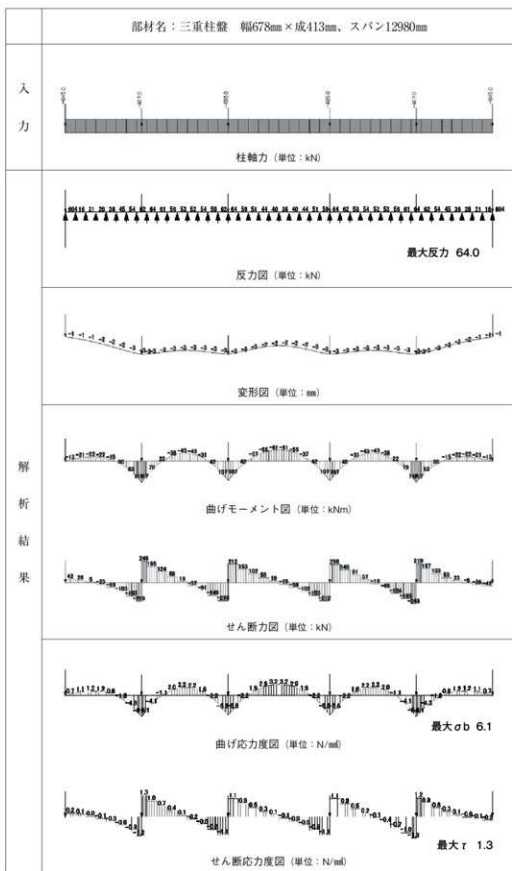
添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形

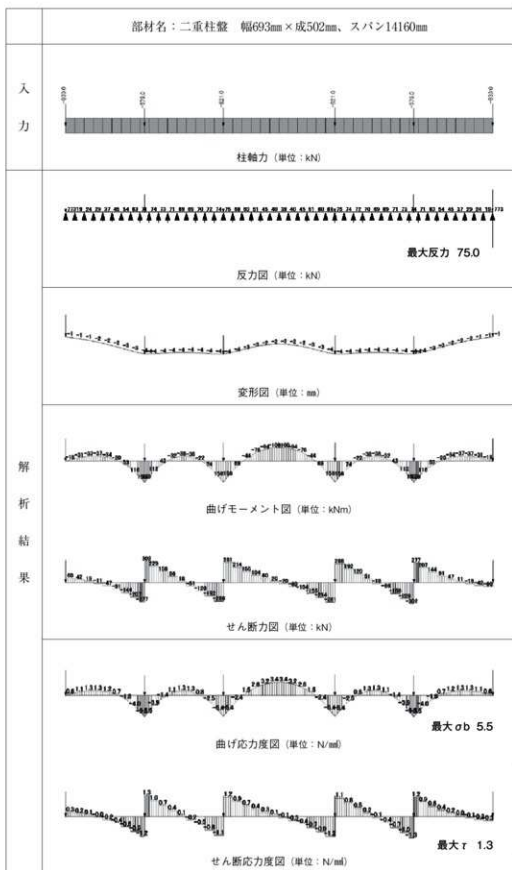




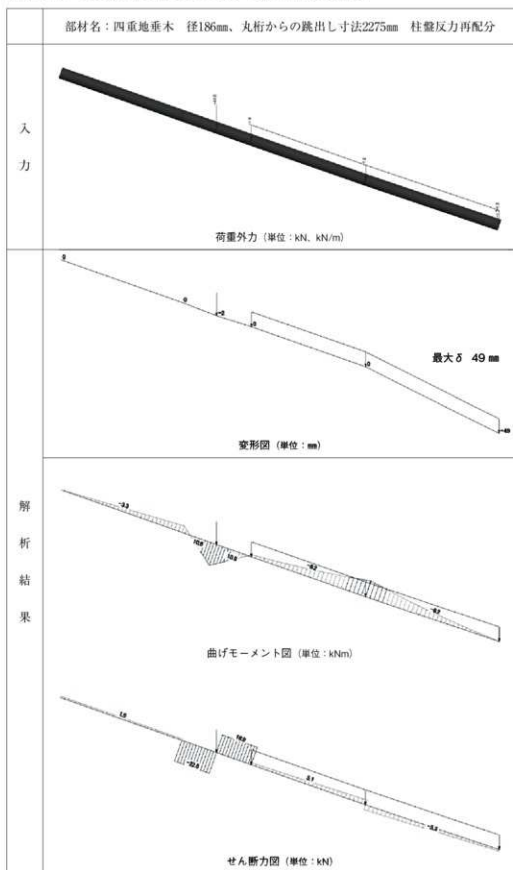


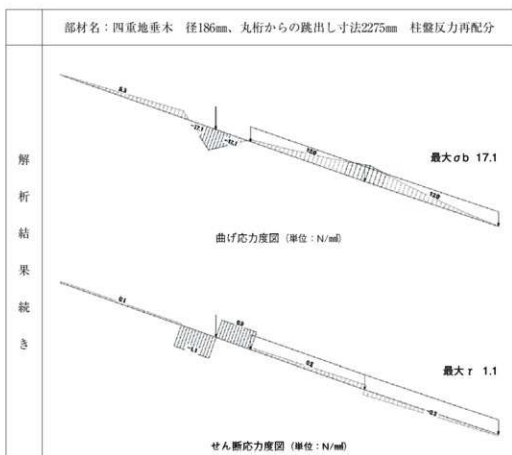


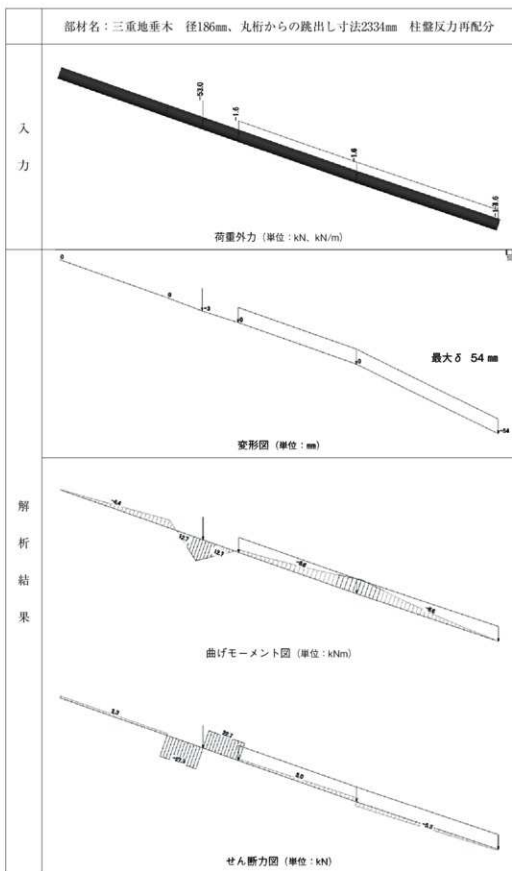


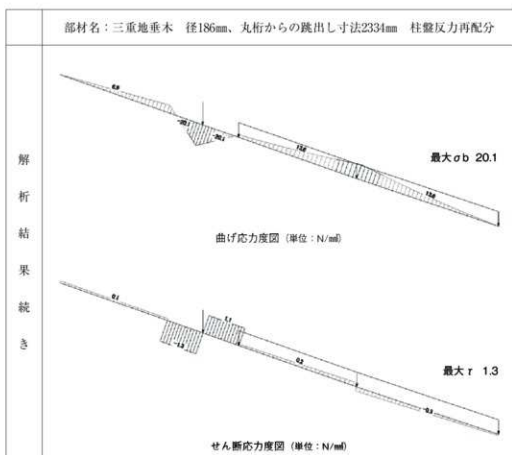


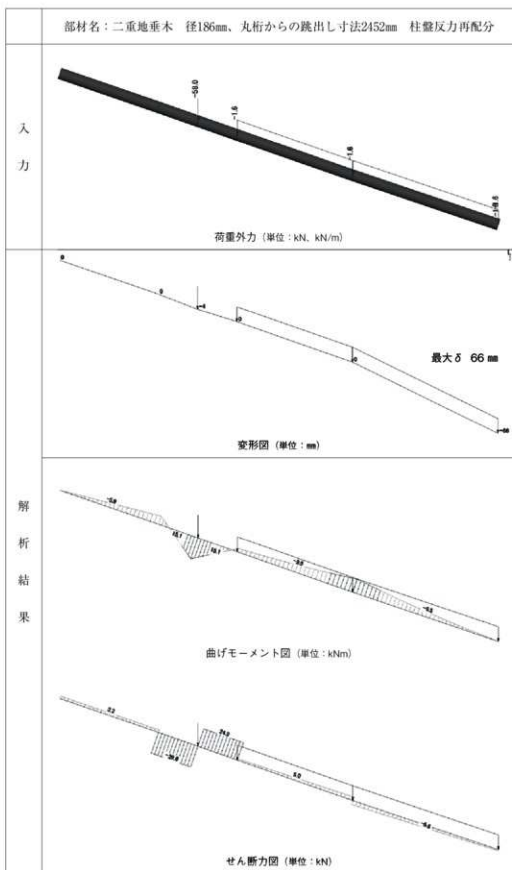
添付資料3 FEM解析による地垂木の応力-変形 柱盤反力再配分

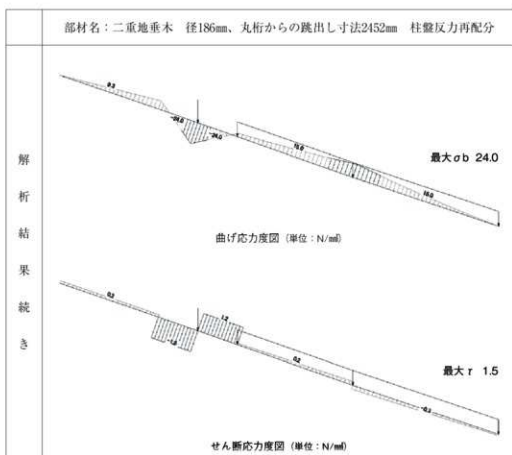


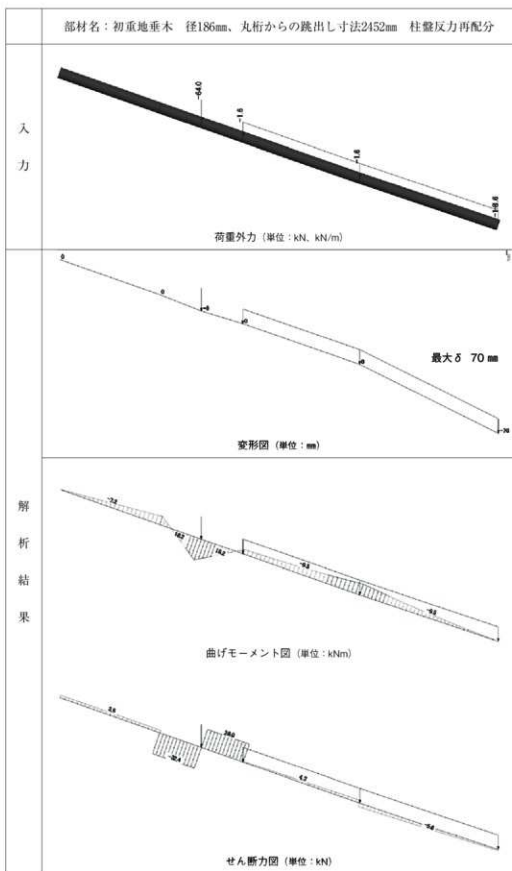


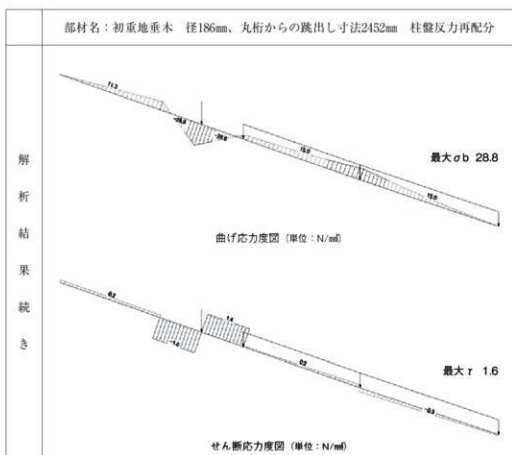




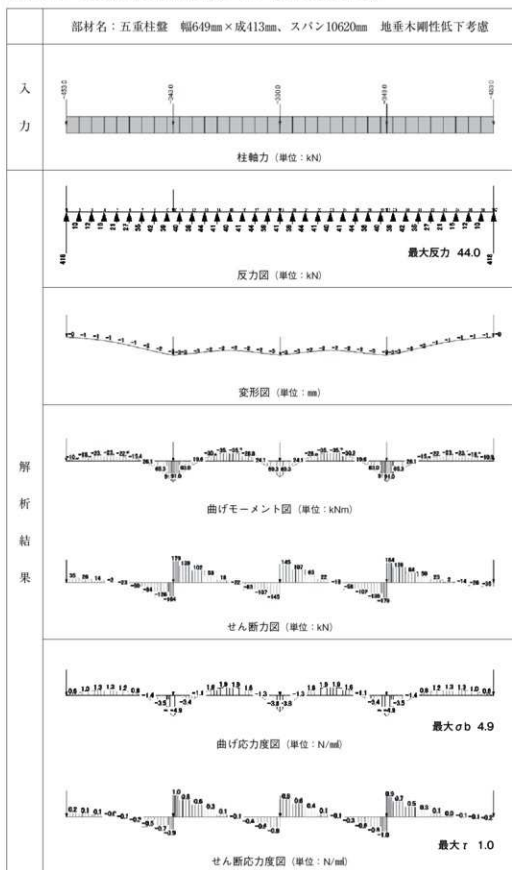


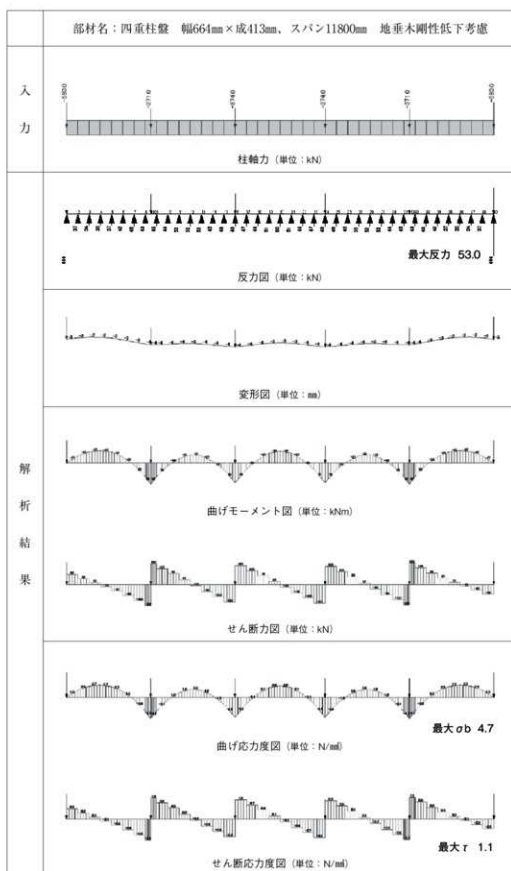


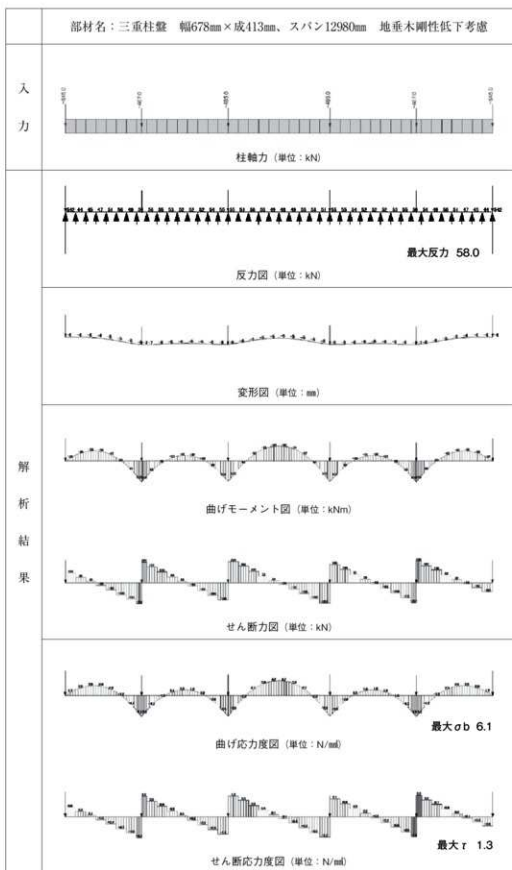


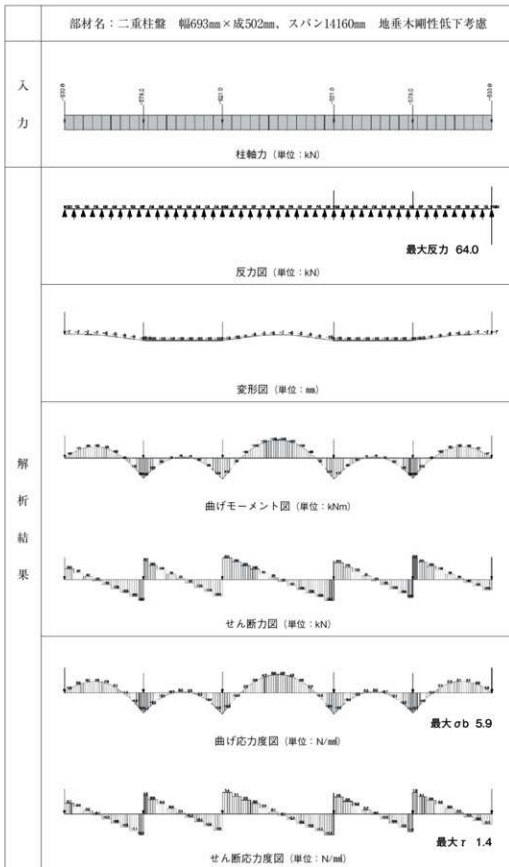


添付資料4 FEM解析による柱盤の応力-変形 地垂木剛性低下考慮









興福寺五重塔

1 軸部の検討

- 1-1 柱の圧縮に関する検討
- 1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断・めり込みに関する検討
- 1-3 台輪のめり込みに関する検討

2 組物の検討

- 2-1 大斗のめり込みに関する検討
- 2-2 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討
- 2-3 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

3 軒の検討

- 3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討
- 3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討
- 3-3 飛檐垂木の曲げ・せん断に関する検討
- 3-4 地隅木・飛檐隅木の曲げ・せん断に関する検討

4 応力図

- 4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)
- 4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)
- 4-3 平の長期に生じる応力図(各重)
- 4-4 隅行きの長期に生じる応力図(各重)

添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形

1 軸部の検討

1-1 柱の圧縮に関する検討

1) 基本事項

各重の柱について、長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値を一覧で示す。すべての柱において、検定比は1.00以下に収まっている。

長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値一覧

層	圓柱			四角柱		
	柱径 (mm)	樹種* ¹	検定比	柱径 (mm)	樹種* ¹	検定比
五重	621	ヒノキ	0.08	356	ケヤキ	0.15
四重	621	ヒノキ	0.16	418	ヒノキ* ²	0.24
三重	636	ヒノキ	0.24	540	ヒノキ	0.22
二重	636	ケヤキ	0.31	591	ヒノキ	0.26
初重	655	ケヤキ	0.39	655	ケヤキ	0.20

*¹: 柱の樹種を示す。 *²: 樹種不明のため、ヒノキと仮定。

2) 共通事項

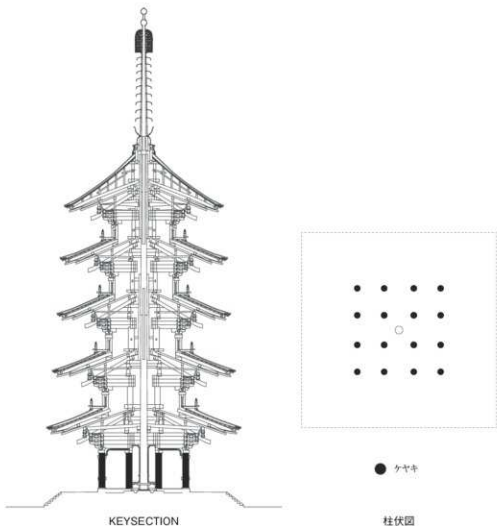
興福寺五重塔に使用されている木材の樹種は、ヒノキもしくはケヤキである。圧縮およびめり込みの耐力の算出に係る共通事項を示す。

- ・ヒノキの圧縮基準強度 F_c 20.7 N/mm² (告示 第1452号 第五号に示される無等級材の数値)
- ・ケヤキの圧縮基準強度 F_c 21.0 N/mm² (同上)
- ・長期に生じる力に対する圧縮許容応力度 $1.1 \times F_c/3$
(建築基準法施行令第89条に示される数値)
- ・長期圧縮耐力算出用の柱の有効断面積は、全断面積とする。

各重、柱ごとの軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【初重柱】 寸法 $\phi 655$ mm、樹種 ケヤキ、全断面積 $=655^2 \pi / 4 = 336955$ mm²
 柱長さ 4059 mm、断面二次半径 $655/4 = 164$ mm、
 細長比 λ $4059/164 = 24.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.7 \times 336955 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2595$ kN



軸力一覧

(単位: kN)

1023	649	649	1023
649	516	516	649
649	516	516	649
1023	649	649	1023

検定比一覧

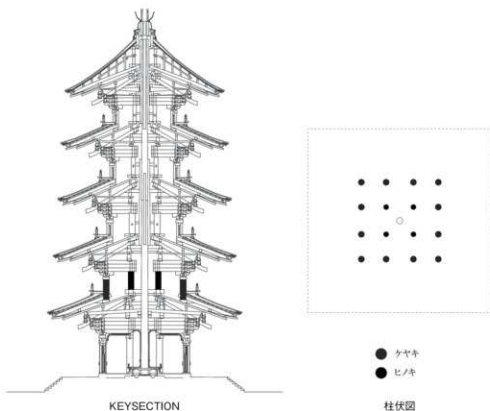
0.39	0.25	0.25	0.39
0.25	0.20	0.20	0.25
0.25	0.20	0.20	0.25
0.39	0.25	0.25	0.39

最大検定値

【二重柱】

側柱 寸法 $\phi 636$ mm、樹種 ケヤキ、全断面積 = $636^2 \pi / 4 = 317690$ mm²
 柱長さ 2410 mm、断面二次半径 $636/4 = 159$ mm、
 細長比 λ $2410/159 = 15.2$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.7 \times 317690 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2446$ kN

四天柱 寸法 $\phi 591$ mm、樹種 ヒノキ、全断面積 = $591^2 \pi / 4 = 274325$ mm²
 柱長さ 1737 mm、断面二次半径 $591/4 = 148$ mm、
 細長比 λ $1737/148 = 11.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 274325 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2082$ kN



軸力一覧

(単位: kN)

746	387	387	746
387	532	532	387
387	532	532	387
746	387	387	746

検定比一覧

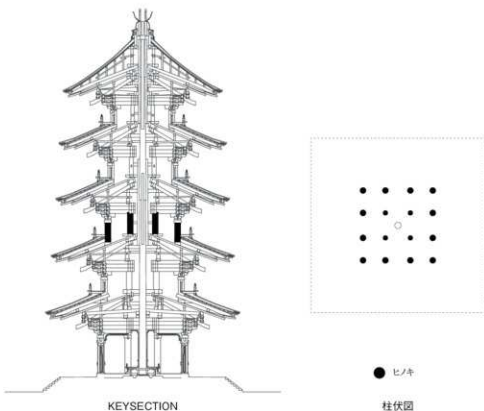
0.31	0.16	0.16	0.31
0.16	0.26	0.26	0.16
0.16	0.26	0.26	0.16
0.31	0.16	0.16	0.31

最大検定値

【三重柱】

側柱 寸法 $\phi 636$ mm、樹種 ヒノキ、全断面積 $= 636^2 \pi / 4 = 317690$ mm²
 柱長さ 2424 mm、断面二次半径 $636/4 = 159$ mm、
 細長比 λ $2424/159 = 15.2$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 317690 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2411$ kN

四天柱 寸法 $\phi 540$ mm、樹種 ヒノキ、全断面積 $= 540^2 \pi / 4 = 229022$ mm²
 柱長さ 2424 mm、断面二次半径 $540/4 = 135$ mm、
 細長比 λ $2424/135 = 18.0$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 229022 \times 1.0 \times 10^{-3} = 1738$ kN



軸力一覧

(単位: kN)

検定比一覧

579	266	266	579
266	380	380	266
266	380	380	266
579	266	266	579

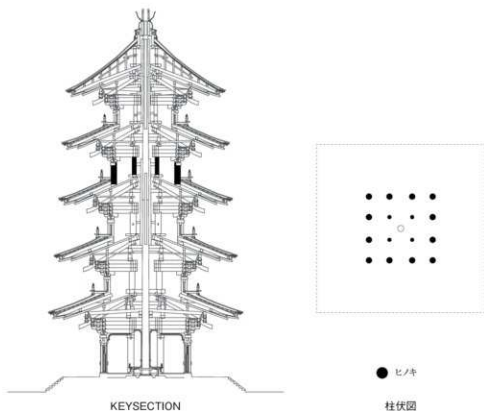
0.24	0.11	0.11	0.24
0.11	0.22	0.22	0.11
0.11	0.22	0.22	0.11
0.24	0.11	0.11	0.24

最大検定値

【四重柱】

側柱 寸法 $\phi 621$ mm、樹種 ヒノキ、全断面積 $=621^2 \pi / 4 = 302882$ mm²
 柱長さ 2192 mm、断面二次半径 $621/4 = 155$ mm、
 細長比 $\lambda = 2192/155 = 14.1$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 $=7.6 \times 302882 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2299$ kN

四天柱 寸法 $\phi 418$ mm、樹種 ヒノキ、全断面積 $=418^2 \pi / 4 = 137228$ mm²
 柱長さ 1653 mm、断面二次半径 $418/4 = 105$ mm、
 細長比 $\lambda = 1653/105 = 15.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 $=7.6 \times 137228 \times 1.0 \times 10^{-3} = 1042$ kN



軸力一覧

(単位：kN)

370	178	178	370
178	248	248	178
178	248	248	178
370	178	178	370

検定比一覧

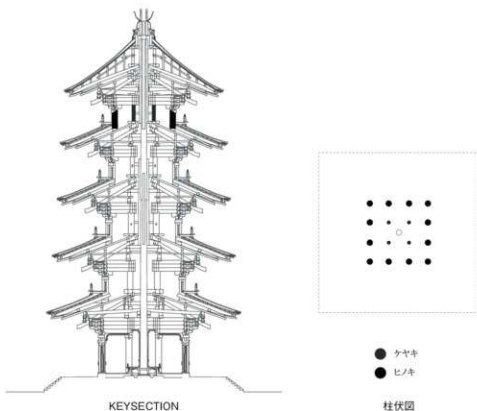
0.16	0.08	0.08	0.16
0.08	0.24	0.24	0.08
0.08	0.24	0.24	0.08
0.16	0.08	0.08	0.16

最大検定値

【五重柱】

側柱 寸法 $\phi 621$ mm、樹種 ヒノキ、全断面積 = $621^2 \pi / 4 = 302882$ mm²
 柱長さ 2192 mm、断面二次半径 $621/4 = 155$ mm、
 細長比 $\lambda = 2192/155 = 14.1$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 302882 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2299$ kN

四天柱 寸法 $\phi 356$ mm、樹種 ケヤキ、全断面積 = $356^2 \pi / 4 = 99538$ mm²
 柱長さ 1736 mm、断面二次半径 $356/4 = 89$ mm、
 細長比 $\lambda = 1736/89 = 19.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.7 \times 99538 \times 1.0 \times 10^{-3} = 766$ kN



軸力一覧

(単位: kN)

検定比一覧

193	93	93	193	0.08	0.04	0.04	0.08
93	111	111	93	0.04	0.15	0.15	0.04
93	111	111	93	0.04	0.15	0.15	0.04
193	93	93	193	0.08	0.04	0.04	0.08

最大検定値

1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断・めり込みに関する検討

1-2-1 四天柱盤の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

四天柱盤に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。なお、側柱盤の検討は、「3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討」を参照のこと。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
なお、興福寺五重塔の部材のうち、ケヤキと確認されている部材はケヤキで検定する。
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。

3) 検討結果

四天柱盤		(単位：kN・m)			
層名称	五重	四重	三重	二重	
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ケヤキ	ケヤキ	
ヤング係数 (N/mm ²)	8820	8820	8820	8820	
柱盤の幅 (mm)	365	350	445	475	
柱盤の成 (mm)	240	220	210	225	
断面積 A (mm ²)	87600	77000	93450	106875	
断面係数 Z (mm ³)	3504000	2823333	3270750	4007813	
断面二次モーメント I (mm ⁴)	420480000	310569667	343428750	450878906	
断面検定					
M	20	23	32	40	
σ (N/mm ²)	0.57	0.81	0.98	1.00	
1.2×Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	35.28	35.28	
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	11.8	11.8	
曲げ検定比	0.05	0.08	0.08	0.08	
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	
Q	6.3	7.1	8.0	9.0	
τ (N/mm ²)	0.11	0.14	0.13	0.13	
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	3.0	3.0	
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.5	1.5	
せん断検定比	0.10	0.13	0.09	0.08	
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

1-2-2 めり込みに関する検討

1) 基本事項

各重の柱盤について、柱より伝わる長期軸力に対する柱盤の長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。

柱より伝わる長期軸力に対する柱盤の長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	圓柱			四天柱		
	柱径 (mm)	樹種 ^{*1}	検定比	柱径 (mm)	樹種 ^{*1}	検定比
五重	621	ヒノキ	0.16	356	ヒノキ	0.29
四重	621	ヒノキ	0.31	418	ヒノキ	0.46
三重	636	ヒノキ	0.47	540	ケヤキ	0.31
二重	636	ヒノキ ^{*2}	0.60	591	ヒノキ ^{*3}	0.50

^{*1}: 柱盤の樹種を示す。 ^{*2}: 樹種不明のため、ヒノキと仮定。

^{*3}: ヒノキ材の上にケヤキ材を重ねている。ヒノキで検討。

2) 前提条件

興福寺五重塔に使用されている木材の樹種は、ヒノキもしくはケヤキである。めり込みの耐力の算出に係る共通事項を示す。

- ・ヒノキのめり込み基準強度 F_{cv} 7.8 N/mm² (告示 第1024号 第3第一号イに示される数値)
- ・ケヤキのめり込み基準強度 F_{cv} 10.8 N/mm² (同上)
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度 $1.5 \times F_{cv}/3$
(告示 第1024号 第1第一号イに示される数値)
- ・長期めり込み耐力算出用の有効断面は、めり込み側の支圧面積とする。

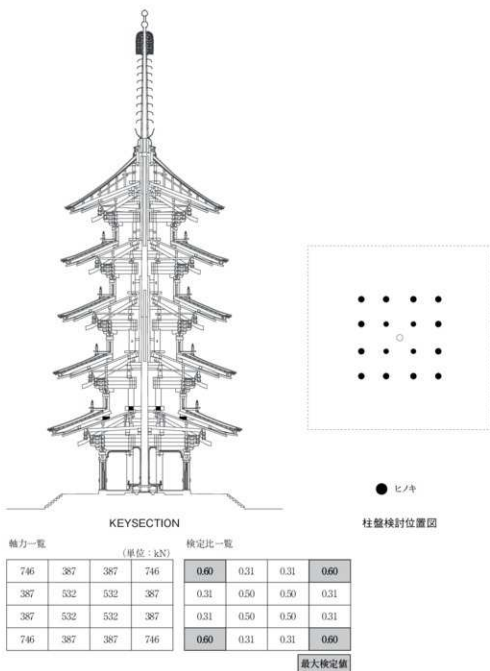
各重、柱ごとの柱盤の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【二重柱盤】

側 柱 寸法 $\phi 636$ mm、全断面積 = $636^2 \pi / 4 = 317690$ mm²、柱盤樹種 ヒノキ
側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 317690 \times 10^{-3} = 1239$ kN

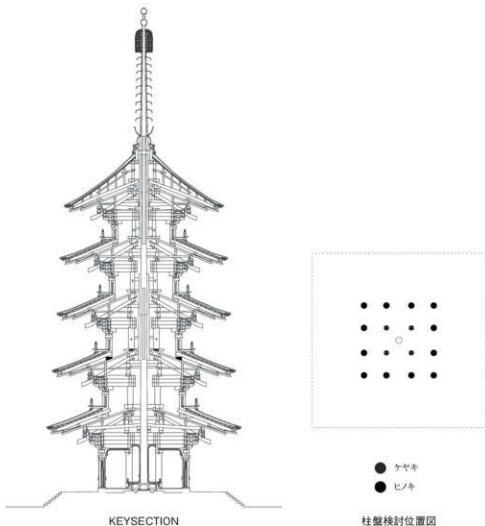
四天柱 寸法 $\phi 591$ mm、全断面積 = $591^2 \pi / 4 = 274325$ mm²、柱盤樹種 ヒノキ
四天柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 274325 \times 10^{-3} = 1070$ kN



【三重柱盤】

側柱 寸法 $\phi 636$ mm、全断面積 = $636^2 \pi / 4 = 317690$ mm²、柱盤樹種 ヒノキ
側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 317690 \times 10^{-3} = 1239$ kN

四天柱 寸法 $\phi 540$ mm、全断面積 = $540^2 \pi / 4 = 229022$ mm²、柱盤樹種 ケヤキ
四天柱盤の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 229022 \times 10^{-3} = 1237$ kN



軸力一覧

(単位: kN)

検定比一覧

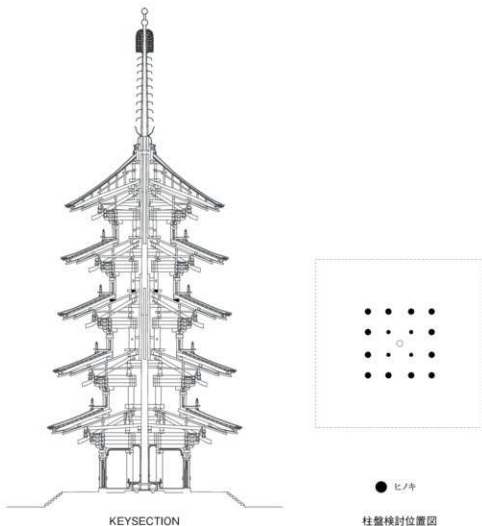
579	266	266	579	0.47	0.21	0.21	0.47
266	380	380	266	0.21	0.31	0.31	0.21
266	380	380	266	0.21	0.31	0.31	0.21
579	266	266	579	0.47	0.21	0.21	0.47

最大検定値

【四重柱盤】

側柱 寸法 $\phi 621$ mm、全断面積 = $621^2 \pi / 4 = 302882$ mm²、柱盤樹種 ヒノキ
側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 302882 \times 10^{-3} = 1181$ kN

四天柱 寸法 $\phi 418$ mm、全断面積 = $418^2 \pi / 4 = 137228$ mm²、柱盤樹種 ヒノキ
四天柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 137228 \times 10^{-3} = 535$ kN



軸力一覧

(単位：kN)

370	178	178	370
178	248	248	178
178	248	248	178
370	178	178	370

検定比一覧

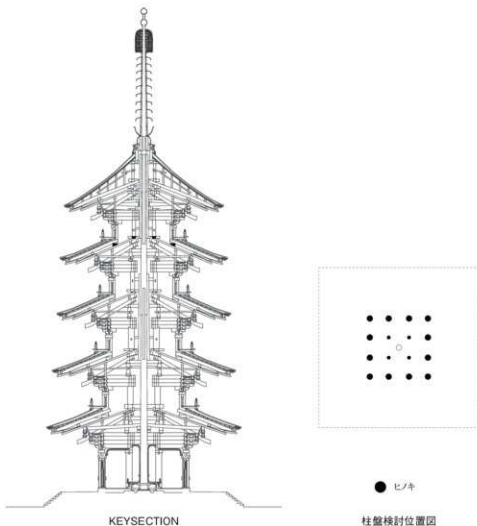
0.31	0.15	0.15	0.31
0.15	0.46	0.46	0.15
0.15	0.46	0.46	0.15
0.31	0.15	0.15	0.31

最大検定値

【五重柱盤】

側柱 寸法 $\phi 621$ mm、全断面積 = $621^2 \pi / 4 = 302882$ mm²、柱盤樹種 ヒノキ
側柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 302882 \times 10^{-3} = 1181$ kN

四天柱 寸法 $\phi 356$ mm、全断面積 = $356^2 \pi / 4 = 99538$ mm²、柱盤樹種 ヒノキ
四天柱盤の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 99538 \times 10^{-3} = 388$ kN



軸力一覧

(単位: kN)

検定比一覧

193	93	93	193
93	111	111	93
93	111	111	93
193	93	93	193

0.16	0.08	0.08	0.16
0.08	0.29	0.29	0.08
0.08	0.29	0.29	0.08
0.16	0.08	0.08	0.16

最大検定値

1-3 台輪のめり込みに関する検討

1) 基本事項

各重の台輪について、大斗より伝わる長期軸力に対する台輪の長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。

大斗より伝わる長期軸力に対する台輪の長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	隅			隅以外		
	柱径 (mm)	樹種 ^{*1}	検定比	柱径 (mm)	樹種 ^{*1}	検定比
五重	621 ^{*2}	ヒノキ	0.32	621 ^{*2}	ヒノキ	0.15
四重	621 ^{*2}	ヒノキ	0.52	621 ^{*2}	ヒノキ	0.21
三重	636	ヒノキ	0.39	636	ヒノキ	0.15
二重	636	ヒノキ	0.50	636	ヒノキ	0.23
初重	655	ヒノキ	0.65	655	ヒノキ	0.25

*1：台輪の樹種を示す。二重および三重以外は樹種不明のためヒノキと仮定。

*2：台輪の支圧面積は、柱と台輪の納まりより、柱断面積の50%としている。

2) 共通事項

興福寺五重塔に使用されている台輪の樹種は、ヒノキである。めり込みの耐力の算出に係る共通事項を示す。

- ・ヒノキのめり込み基準強度 F_{cv} 7.8 N/mm² (告示 第1024号 第3第一号イに示される数値)
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度 $1.5 \times F_{cv}/3$
(告示 第1024号 第1第一号イに示される数値)
- ・長期めり込み耐力算出用の有効断面は、めり込む側の支圧面積とする。

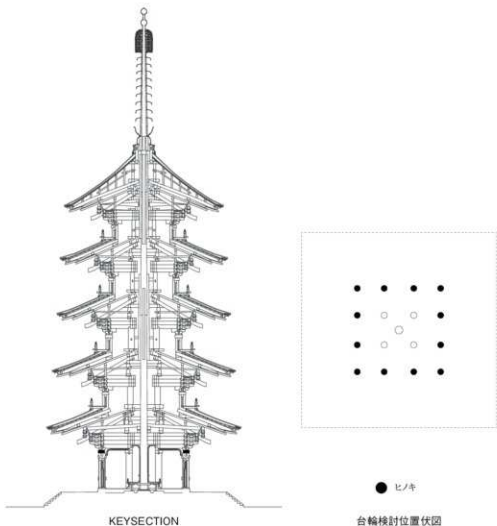
各重、柱ごとの台輪の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【初重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 655$ mm、全断面積 $= 655^2 \pi / 4 = 336955$ mm²

樹種 ヒノキ、初重台輪の長期めり込み耐力 $= 3.9 \times 336955 \times 10^{-3} = 1314$ kN



軸力一覧

(単位:kN)

検定比一覧

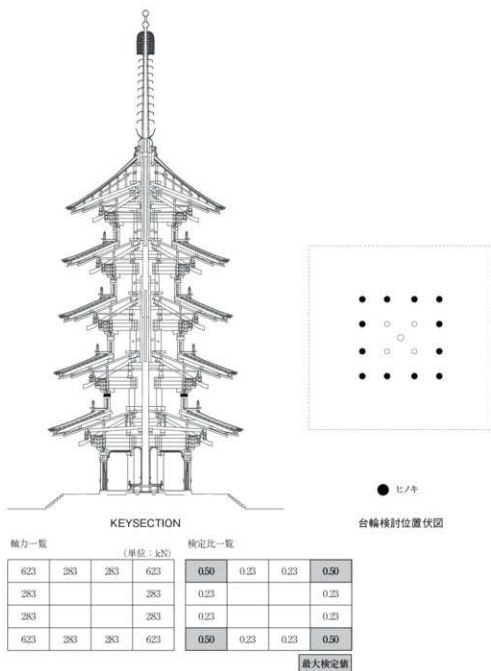
854	462	462	854	0.65	0.35	0.35	0.65
462			462	0.35			0.35
462			462	0.35			0.35
854	462	462	854	0.65	0.35	0.35	0.65

最大検定値

【二重台輪】

台輪下門柱の柱頭の寸法 $\phi 636$ mm、全断面積 = $636^2 \pi / 4 = 317690$ mm²

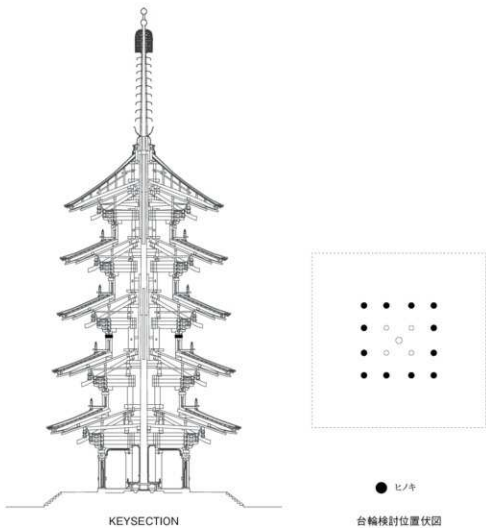
樹種 ヒノキ、二重台輪の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 317690 \times 10^{-3} = 1239$ kN



【三重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 636$ mm、全断面積 = $636^2 \pi / 4 = 317690$ mm²

樹種 ヒノキ、三重台輪の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 317690 \times 10^{-3} = 1239$ kN



軸力一覧

(単位:kN)

検定比一覧

483	185	185	483
185			185
185			185
483	185	185	483

0.39	0.15	0.15	0.39
0.15			0.15
0.15			0.15
0.39	0.15	0.15	0.39

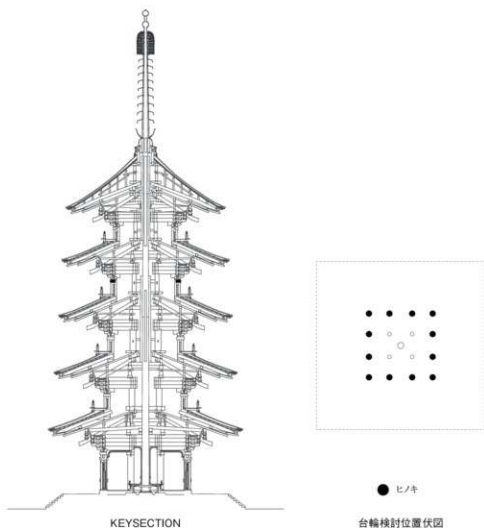
最大検定値

【四重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 621$ mm、全断面積 = $621^2 \pi / 4 = 302882$ mm^2 、

台輪と柱の支圧面積は、全断面積の50%とする。

樹種 ヒノキ、四重台輪の長期めり込み耐力 = $3.9 \times 0.5 \times 302822 \times 10^{-3} = 591$ kN



軸力一覧

(単位：kN)

306	126	126	306
126			126
126			126
306	126	126	306

検定比一覧

0.52	0.21	0.21	0.52
0.21			0.21
0.21			0.21
0.52	0.21	0.21	0.52

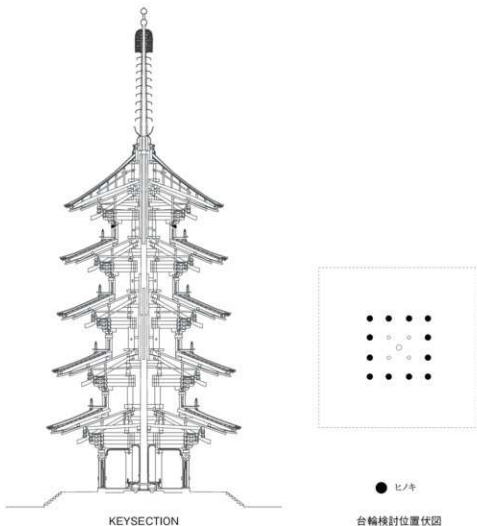
最大検定値

【五重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法 $\phi 621$ mm、全断面積 $= 621^2 \pi / 4 = 302882$ mm²

台輪と柱の支圧面積は、全断面積の50%とする。

樹種 ヒノキ、五重台輪の長期めり込み耐力 $= 3.9 \times 0.5 \times 317882 \times 10^{-3} = 591$ kN



KEYSECTION

台輪棟討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

検定比一覧

188	88	88	188	0.32	0.15	0.15	0.32
88			88	0.15			0.15
88			88	0.15			0.15
188	88	88	188	0.32	0.15	0.15	0.32

最大検定値

2 組物の検討

2-1 大斗のめり込みに関する検討

1) 基本事項

各重の大斗について、長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。

長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	隅			隅以外		
	大斗尻 (mm)	樹種 ^{*1)}	検定比	大斗尻 (mm)	樹種 ^{*1)}	検定比
五重	379	ケヤキ	0.24	379	ヒノキ	0.16
四重	379	ケヤキ	0.39	379	ケヤキ	0.16
三重	379	ケヤキ	0.62	379	ケヤキ	0.24
二重	379	ケヤキ	0.80	379	ケヤキ	0.36
初重	379	ケヤキ	1.10	379	ケヤキ	0.60

*1: 大斗の樹種を示す。

網掛けは、許容値（検定比1.00）を超える箇所を示す。

2) 前提条件

興福寺五重塔に使用されている大斗の樹種は、ヒノキもしくはケヤキである。めり込みの耐力の算出に係る共通事項を示す。

- ・ヒノキのめり込み基準強度 F_{cv} 7.8 N/mm²（告示 第1024号 第3第一号イに示される数値）
- ・ケヤキのめり込み基準強度 F_{cv} 10.8 N/mm²（同上）
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度 $1.5 \times F_{cv}/3$
（告示 第1024号 第1第一号イに示される数値）
- ・長期めり込み耐力算出用の有効断面は、めり込む側の支圧面積とする。

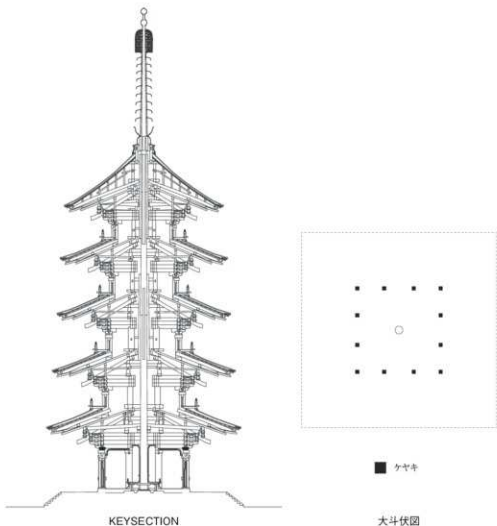
各重、柱ごとの大斗の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【初重大斗】

初重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積 = $379^2 = 143641 \text{ mm}^2$ 、樹種 ケヤキ

初重大斗の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 143641 \times 10^{-3} = 776 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位: kN)

検定比一覧

854	462	462	854
462			462
462			462
854	462	462	854

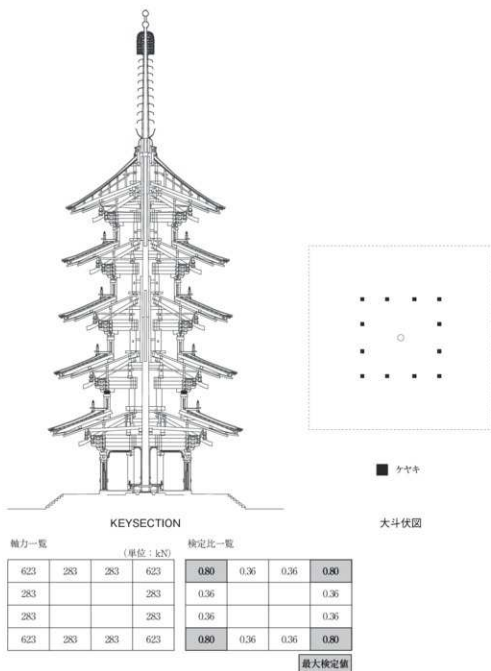
1.10	0.60	0.60	1.10
0.60			0.60
0.60			0.60
1.10	0.60	0.60	1.10

最大検定値

【二重大斗】

二重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積=379²=143641 mm²、樹種 ケヤキ

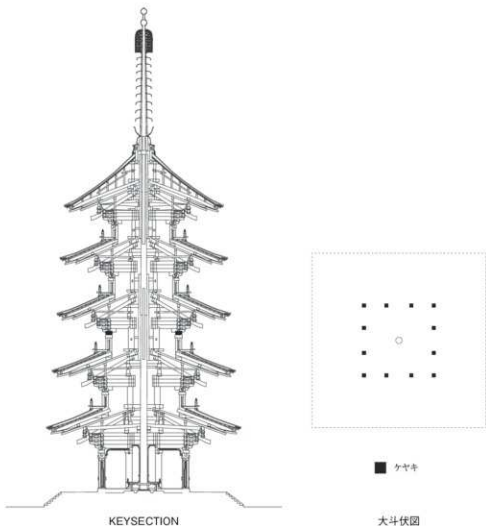
二重大斗の長期めり込み耐力=5.4×143641×10⁻³=776 kN



【三重大斗】

三重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積 = $379^2 = 143641 \text{ mm}^2$ 、樹種 ケヤキ

三重大斗の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 143641 \times 10^{-3} = 776 \text{ kN}$



KEYSECTION

■ ケヤキ

大斗伏図

軸力一覧

(単位 : kN)

検定比一覧

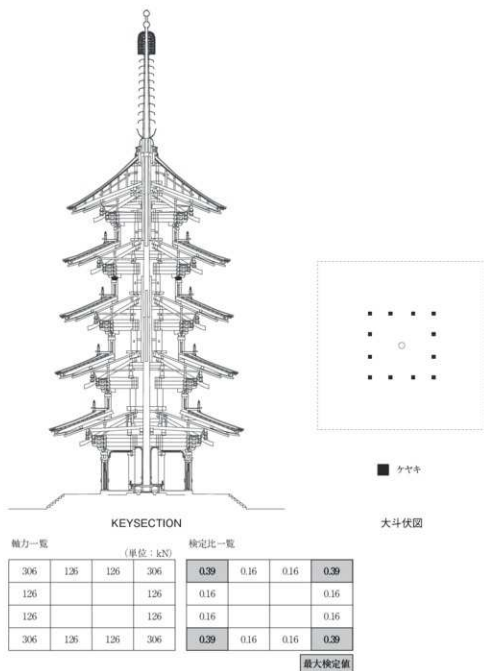
483	185	185	483	0.62	0.24	0.24	0.62
185			185	0.24			0.24
185			185	0.24			0.24
483	185	185	483	0.62	0.24	0.24	0.62

最大検定値

【四重大斗】

四重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積 = $379^2 = 143641 \text{ mm}^2$ 、樹種 ケヤキ

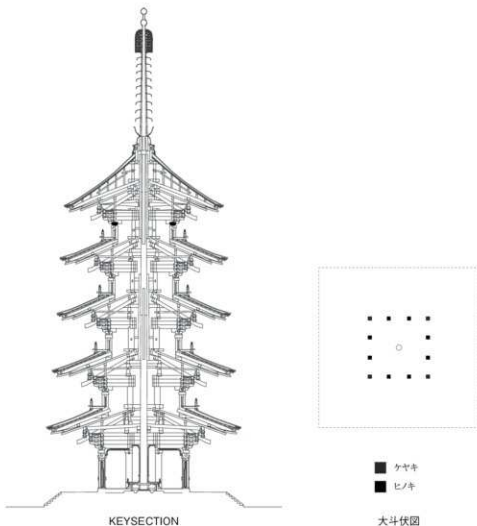
四重大斗の長期めり込み耐力 = $5.4 \times 143641 \times 10^{-3} = 776 \text{ kN}$



【五重大斗】

五重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積=379²=143641 mm²、樹種 ケヤキ
 隅柱位置の五重大斗の長期めり込み耐力=5.4×143641×10⁻³=776 kN

五重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積=379²=143641 mm²、樹種 ヒノキ
 隅柱以外の位置の五重大斗の長期めり込み耐力=3.9×143641×10⁻³=560 kN



軸力一覧

(単位:kN)

検定比一覧

188	88	88	188
88			88
88			88
188	88	88	188

0.24	0.16	0.16	0.24
0.16			0.16
0.16			0.16
0.24	0.16	0.16	0.24

最大検定値

2-2 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討

2-2-1 平部の肘木

1) 検討方法

平部の肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して断面検定する。

3) 検討結果

(単位：kN,m)

層名称	五重		四重		三重		二重		初重	
	ヒノキ		ヒノキ		ヒノキ		ヒノキ		ヒノキ	
ヤング係数 (N/m ²)	8820		8820		8820		8820		8820	
四の肘木 検定										
四の肘木の幅 (mm)	230		230		230		230		230	
四の肘木の成 (mm)	260		260		260		260		260	
断面積 A (mm ²)	59800		59800		59800		59800		59800	
断面係数 Z (mm ³)	2591333		2591333		2591333		2591333		2591333	
断面二次モーメント I (mm ⁴)	336873333		336873333		336873333		336873333		336873333	
断面検定										
M	8.0		11.0		16.0		21.0		40.0	
σ (N/mm ²)	3.1		4.2		6.2		8.1		15.4	
1.2×F _b (N/mm ²)	32.0		32.0		32.0		32.0		32.0	
L _{fb} (N/mm ²)	10.7		10.7		10.7		10.7		10.7	
曲げ検定比	0.29		0.40		0.58		0.76		1.45	
【参考】 基準強度に対する比率	-		-		-		-		-	
Q	7.0		10.0		14.0		19.0		36.0	
τ (N/mm ²)	0.18		0.25		0.35		0.48		0.90	
F _v (N/mm ²)	2.1		2.1		2.1		2.1		2.1	
1.5×L _{fs} (N/mm ²)	1.05		1.05		1.05		1.05		1.05	
せん断検定比	0.17		0.24		0.33		0.45		0.86	
【参考】 基準強度に対する比率	-		-		-		-		-	
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK		OK		OK		OK		OK	

縦括弧は、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位: kN・m)

種名称	五重	四重	三重	二重	初重
三の材木 検定					
三の材木の幅 (mm)	230	230	230	230	230
三の材木の成 (mm)	260	260	260	260	260
断面積 A (mm ²)	59800	59800	59800	59800	59800
断面係数 Z (mm ³)	2591333	2591333	2591333	2591333	2591333
断面二次モーメント I (mm ⁴)	336873333	336873333	336873333	336873333	336873333
断面検定					
M	7.0	8.0	10.0	15.0	32.0
σ (N/mm ²)	2.7	3.1	3.9	5.8	12.3
1.2×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.25	0.29	0.36	0.54	1.16
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	7.0	7.0	10.0	13.0	28.0
τ (N/mm ²)	0.18	0.18	0.25	0.33	0.70
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.17	0.24	0.31	0.67
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
二の材木 検定					
二の材木の幅 (mm)	230	230	230	230	230
二の材木の成 (mm)	265	265	265	265	265
断面積 A (mm ²)	60950	60950	60950	60950	60950
断面係数 Z (mm ³)	2691958	2691958	2691958	2691958	2691958
断面二次モーメント I (mm ⁴)	356684479	356684479	356684479	356684479	356684479
断面検定					
M	6.0	7.0	8.0	16.0	34.0
σ (N/mm ²)	2.3	2.7	3.1	6.2	13.1
1.2×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.22	0.25	0.29	0.58	1.23
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	5.0	8.0	8.0	18.0	30.0
τ (N/mm ²)	0.13	0.20	0.20	0.45	0.75
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.12	0.19	0.19	0.43	0.72
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
一の材木 検定					
一の材木の幅 (mm)	240	240	240	240	240
一の材木の成 (mm)	270	270	270	270	270
断面積 A (mm ²)	64800	64800	64800	64800	64800
断面係数 Z (mm ³)	2916000	2916000	2916000	2916000	2916000
断面二次モーメント I (mm ⁴)	393660000	393660000	393660000	393660000	393660000
断面検定					
フェース位置のM	2.4	2.8	5.2	6.5	21.4
σ (N/mm ²)	0.8	0.9	1.8	2.2	7.3
1.2×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.08	0.09	0.17	0.21	0.69
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	11.0	13.0	21.0	29.0	57.0
τ (N/mm ²)	0.25	0.30	0.49	0.67	1.32
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.24	0.29	0.46	0.64	1.26
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

縦括弧は、検定比または基準強度に対する比率を示す。

2-2-2 隅行きの肘木

1) 検討方法

隅行きの肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・一の肘木は、一の肘木上巻斗と一本造り出しとし、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。

3) 検討結果

層名称	(単位：kN,m)				
	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ケヤキ	ケヤキ	ケヤキ	ケヤキ	ケヤキ
ヤング係数 (N/m ²)	7840	7840	7840	7840	7840
四の肘木 検定					
四の肘木の幅 (mm)	242	260	260	263	260
四の肘木の成 (mm)	258	407	349	391	370
断面積 A (m ²)	62436	105820	90740	102833	96200
断面係数 Z (m ³)	2684748	7178123	5278043	6701284	5932333
断面二次モーメント I (m ⁴)	34632492	1460748098	921018562	1310100989	1097481667
断面検定					
M	9.0	16.0	25.0	27.0	46.0
σ (N/m ²)	3.4	2.2	4.7	4.0	7.8
12×Pb (N/m ²)	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/m ²)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.29	0.19	0.40	0.34	0.66
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	11.0	24.0	42.0	59.0	66.0
τ (N/m ²)	0.26	0.34	0.69	0.86	1.03
Fs (N/m ²)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
15×Ls (N/m ²)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.18	0.23	0.46	0.57	0.69
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位: kN・m)

種名称	五重	四重	三重	二重	初重
三の材木 検定					
三の材木の幅 (mm)	242	260	260	263	260
三の材木の成 (mm)	360	390	390	391	424
断面積 A (㎡)	87120	101400	101400	102833	110240
断面係数Z (㎡)	5227200	6591000	6591000	6701284	7790293
断面二次モーメント I (㎡)	940896000	1285245000	1285245000	1310100889	1651542187
断面検定					
M	8.0	15.0	22.0	27.0	55.0
σ (N/㎡)	1.5	2.3	3.3	4.0	7.1
1.2×Fb (N/㎡)	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/㎡)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.13	0.19	0.28	0.34	0.60
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	4.0	5.0	7.0	8.0	17.0
τ (N/㎡)	0.07	0.07	0.10	0.12	0.23
Fs (N/㎡)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/㎡)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.05	0.05	0.07	0.08	0.15
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
二の材木 検定					
二の材木の幅 (mm)	242	260	260	263	260
二の材木の成 (mm)	360	390	390	391	424
断面積 A (㎡)	87120	101400	101400	102833	110240
断面係数Z (㎡)	5227200	6591000	6591000	6701284	7790293
断面二次モーメント I (㎡)	940896000	1285245000	1285245000	1310100889	1651542187
断面検定					
M	9.0	14.0	19.0	30.0	67.0
σ (N/㎡)	1.7	2.1	2.9	4.5	8.6
1.2×Fb (N/㎡)	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/㎡)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.15	0.18	0.25	0.38	0.73
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	8.0	13.0	23.0	31.0	37.0
τ (N/㎡)	0.14	0.19	0.34	0.45	0.50
Fs (N/㎡)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/㎡)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.09	0.13	0.23	0.30	0.34
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
一の材木 検定					
一の材木の幅 (mm)	242	260	260	263	260
一の材木の成 (mm)	360	390	412	391	424
断面積 A (㎡)	87120	101400	107120	102833	110240
断面係数Z (㎡)	5227200	6591000	735573	6701284	7790293
断面二次モーメント I (㎡)	940896000	1285245000	1515248107	1310100889	1651542187
断面検定					
フェース位置のM	7.5	12.4	15.6	24.1	46.5
σ (N/㎡)	1.4	1.9	2.1	3.6	6.0
1.2×Fb (N/㎡)	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/㎡)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.12	0.16	0.18	0.31	0.51
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	17.0	27.0	40.0	55.0	69.0
τ (N/㎡)	0.29	0.40	0.56	0.80	0.94
Fs (N/㎡)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/㎡)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.20	0.27	0.37	0.53	0.63
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

縦掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

2-3 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定は表計算にておこなう。

3) 検討結果

(単位: kN.m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重	
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	
ヤング係数 (N/mm ²)	8820	8820	8820	8820	8820	
平の尾垂木の幅 (mm)	240	240	240	240	240	
平の尾垂木の成 (mm)	335	335	335	335	335	
断面積 A (mm ²)	80400	80400	80400	80400	80400	
断面係数Z (mm ³)	4489000	4489000	4489000	4489000	4489000	
断面二次モーメント I (mm ⁴)	751907500	751907500	751907500	751907500	751907500	
平の尾垂木の断面検定						
M		20.0	24.0	25.0	43.0	44.0
σ (N/mm ²)		4.46	5.35	5.57	9.58	9.80
1.2 × F _b (N/mm ²)		32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
L _f (N/mm ²)		10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比		0.42	0.50	0.52	0.90	0.92
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
Q		13.0	13.0	14.0	24.0	23.0
τ (N/mm ²)		0.24	0.24	0.26	0.45	0.43
F _s (N/mm ²)		2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5 × L _f (N/mm ²)		1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比		0.23	0.23	0.25	0.43	0.41
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK

縦括弧は、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位: kNm)

種名称	五重	四重	三重	二重	初重
仕様	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820
隣行尾垂木(上)の幅(mm)	192	192	192	192	192
隣行尾垂木(上)の成(mm)	270	270	270	270	270
断面積 A (mm ²)	51840	51840	51840	51840	51840
断面係数 Z (mm ³)	2332800	2332800	2332800	2332800	2332800
断面二次モーメント I (mm ⁴)	314928000	314928000	314928000	314928000	314928000
隣行尾垂木(上)の断面検定					
M	0.4	0.4	0.4	0.5	2.0
σ (N/mm ²)	0.17	0.17	0.17	0.21	0.86
1.2×Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	0.4	0.4	0.4	0.5	1.0
τ (N/mm ²)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証(検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
隣行尾垂木(下)の幅(mm)	192	192	192	192	192
隣行尾垂木(下)の成(mm)	270	270	270	270	270
断面積 A (mm ²)	51840	51840	51840	51840	51840
断面係数 Z (mm ³)	2332800	2332800	2332800	2332800	2332800
断面二次モーメント I (mm ⁴)	314928000	314928000	314928000	314928000	314928000
隣行尾垂木(下)の断面検定					
M	3.0	3.0	4.0	4.0	6.0
σ (N/mm ²)	1.29	1.29	1.71	1.71	2.57
1.2×Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.12	0.12	0.16	0.16	0.24
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0
τ (N/mm ²)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.09
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証(検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

縦括弧は、検定比または基準強度に対する比率を示す。

3 軒の検討

3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

丸桁に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手は考慮せず、一材として検討した応力を用いている。

3) 検討結果

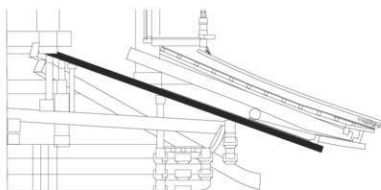
層名称	(単位：kNm)				
	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8830	8830	8830	8830	8830
丸桁の幅 (mm)	212	212	212	212	212
丸桁の成 (mm)	317	317	317	317	317
断面積 A (mm ²)	67204	67204	67204	67204	67204
断面係数 Z (mm ³)	3550611	3550611	3550611	3550611	3550611
断面二次モーメント I (mm ⁴)	562771896	562771896	562771896	562771896	562771896
断面検定					
M	11.8	11.2	11.1	17.7	14.5
σ (N/mm ²)	3.34	3.15	3.14	4.99	4.08
12×Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.31	0.30	0.29	0.47	0.38
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	14.6	15.5	17.0	18.8	12.9
τ (N/mm ²)	0.32	0.35	0.38	0.42	0.29
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
15×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.31	0.33	0.36	0.40	0.27
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討

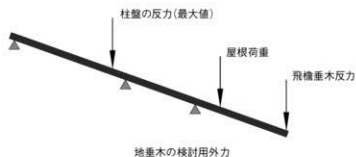
1) 検討対象および方法

- ・地垂木の検討対象は、先端から内部引込み端までの全長とする。



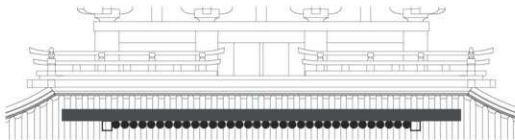
地垂木の検討範囲

- ・先端の飛檐垂木から伝わる力を外力として考慮する。
- ・瓦葺き範囲は、固定荷重として考慮する。
- ・上層の側柱に長期に生じる軸力が柱盤を介して伝わる力を外力として考慮する。
- ・柱盤からの外力は、柱盤の剛性、柱位置および配置により、垂木ごとに値が異なる。
- ・地垂木の断面検定において、柱盤からの外力は最大値を採用する。

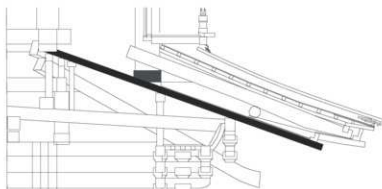


- ・地垂木検討用の柱盤からの外力(柱盤の反力)を設定する方法は、次項に示す。あわせて、柱盤の応力-変形も求め、柱盤の断面検定もおこなう。

- ・柱盤は、上層の柱を受ける横架材である。
- ・柱盤の両端は隅木で支えられている。両端以外は柱盤の説明図(2)に示すとおり、直下の複数本の地垂木で支えられている。

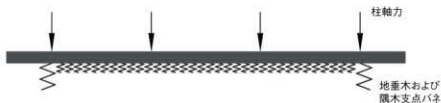


柱盤の説明図(1)



柱盤の説明図(2)

- ・柱盤は、側柱に長期に生じる軸力を受ける弾性支承上の梁として、反力および応力-変形を求める。支点は、柱盤両端の隅木と柱盤直下のすべての地垂木とする。支点のバネは圧縮専用バネとし、隅木および垂木のたわみ量を元に設定する。
- ・側柱に長期に生じる軸力は、架構解析により求めた値を採用する。

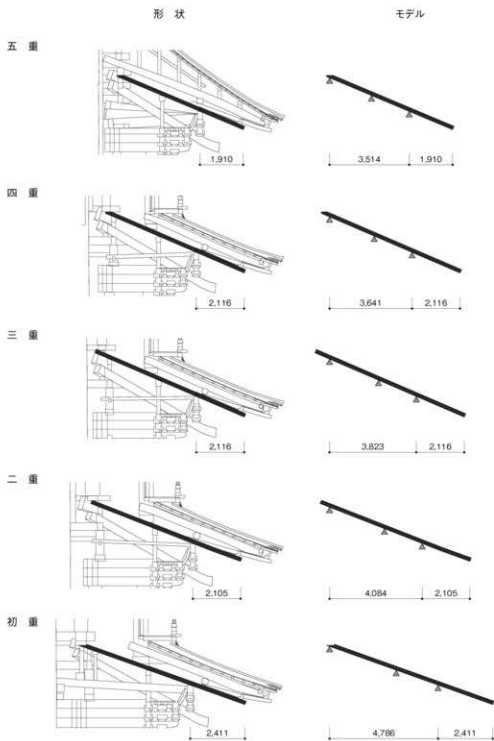


柱盤の応力算定モデル

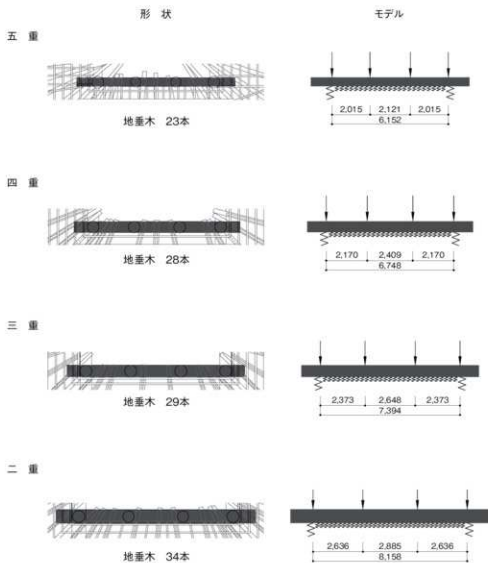
- ・地垂木および柱盤の応力と変形は、FEM解析による。

2) 検討用寸法一覧

a) 地垂木の検討寸法とモデル



b) 柱盤の検討寸法とモデル



3) 検討結果

a) 地垂木

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定位置：丸桁および柱盤位置



(単位：kNm)

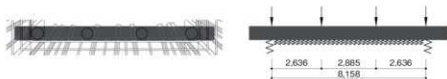
層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mf)	8820	8820	8820	8820	8820
地垂木の径 (mm)	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9
地垂木のピッチ (mm)	263	263	263	263	263
木負	51	51	51	51	51
先端集中荷重 P	1.8	1.7	1.7	1.9	1.7
等分布荷重 w (自重含)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
五重以外集中荷重 w×3.0mとして		3.8	3.8	3.8	3.8
出寸法 a	1.91	2.116	2.116	2.108	2.411
丸桁位置での断面検定					
σ (N/mf)	125	11.0	11.0	9.3	14.4
1.2×Fb (N/mf)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材115Lfb (N/mf)	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	1.02	0.90	0.90	0.76	1.17
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
τ (N/mf)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Fs (N/mf)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mf)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
柱盤位置での断面検定					
σ (N/mf)	-	5.0	7.1	8.5	10.3
1.2×Fb (N/mf)	-	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材115Lfb (N/mf)	-	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	0.41	0.58	0.69	0.84
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
τ (N/mf)	-	0.5	0.8	1.0	1.4
Fs (N/mf)	-	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mf)	-	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	0.48	0.76	0.95	1.33
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	OK	OK	OK
【参考】たわみ					
弾性たわみ (合計)	37.0	42.0	41.0	31.0	50.0
クリーブ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
クリーブ考慮たわみ	74	84.0	82.0	62.0	100.0
たわみ角	1/26	1/25	1/26	1/34	1/24

新折げは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

b) 柱 盤

・荷重条件：ベタ置き

・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

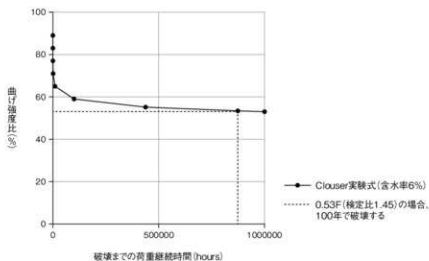


(単位：kN.m)

層名称	五重	四重	三重	二重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	470	580	620	730
柱盤の成 (mm)	240	240	320	315
断面検定				
σ (N/mm ²)	2.2	3.7	3.9	5.3
$1.2 \times F_b$ (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm)	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.21	0.35	0.37	0.50
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-
τ (N/mm ²)	0.4	0.5	0.6	0.7
F_v (N/mm)	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times Lfv$ (N/mm)	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.38	0.48	0.57	0.67
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

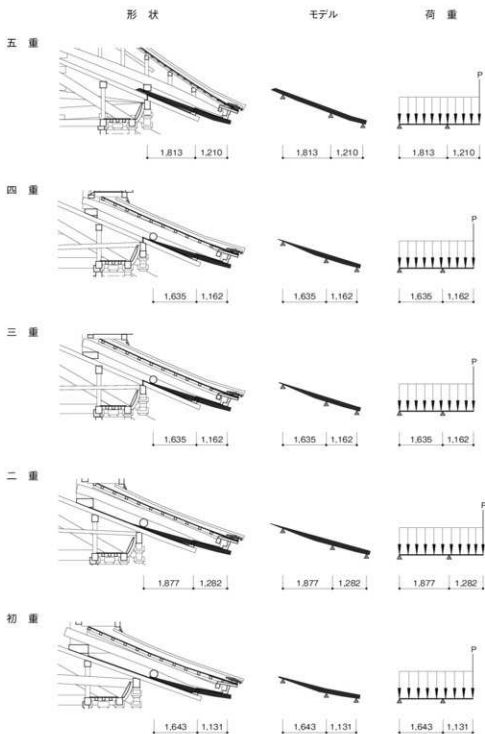
地垂木の長期曲げ検定比は1.00を超えて1.17に至る。一般に長期に生じる曲げ応力度が、長期許容応力度と短期許容応力度の中間値の場合、約50~100年で折れるとされている。彰国社「建築構造学大系22 木構造(昭和41年6月)」134頁に示されるClouser 実験式(含水率6%)をグラフにして示す。



破壊までの荷重継続時間と強度比

3-3 飛檐垂木の曲げ・せん断に関する検討

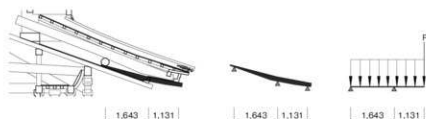
1) 検討用寸法一覧



2) 検討結果

- ・荷重条件: ベタ葺き
- ・材料: 無等級 ヒノキ*1
- ・釣り合いの検討と断面検定を表計算にておこなう

*1: 曲げ基準強度は1.2倍していない。長期せん断許容応力度は1.5倍していない。



(単位: kN.m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8830	8830	8830	8830	8830
飛檐垂木の幅 (mm)	122	122	122	122	122
飛檐垂木の成 (mm)	166	166	166	166	166
飛檐垂木のピッチ (mm)	263	263	263	263	263
軒付瓦	185	185	185	185	185
茅負	48	48	48	48	48
先端集中荷重 P	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
等分布荷重 w (自重含)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
出寸法 a	1.21	1.162	1.162	1.282	1.131
引込寸法 b	1.812	1.635	1.635	1.877	1.643
釣り合いの検討	0.59	0.67	0.67	0.61	0.63
	OK	OK	OK	OK	OK
断面検定					
断面積 A (㎡)	20252	20252	20252	20252	20252
断面係数 Z (㎡)	560305	560305	560305	560305	560305
断面二次モーメント I (㎡)	46505343	46505343	46505343	46505343	46505343
M	1.18	1.10	1.10	1.31	1.05
σ (N/㎡)	2.11	1.96	1.96	2.33	1.87
Fb (N/㎡)	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
並列材1.15 ² Lfb (N/㎡)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
曲げ検定比	0.21	0.19	0.19	0.23	0.18
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	1.7	1.7	1.7	1.8	1.6
τ (N/㎡)	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12
Fs (N/㎡)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Lfs (N/㎡)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
せん断検定比	0.18	0.18	0.18	0.19	0.17
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
	OK	OK	OK	OK	OK
【参考】たわみ					
弾性たわみ (先端集中荷重)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3
弾性たわみ (等分布荷重)	0.8	0.7	0.7	1.0	0.6
弾性たわみ (合計)	1.1	1.0	1.0	1.4	0.9
クリープ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
クリープ考慮たわみ	2.3	2.0	2.0	2.8	1.8
たわみ角	1/258	1/343	1/343	1/215	1/358

縦掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

3-4 地隅木・飛檐隅木の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

地隅木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。飛檐隅木に長期に生じる応力は、手計算による。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

3) 検討結果

【地隅木】

(単位：kN・m)

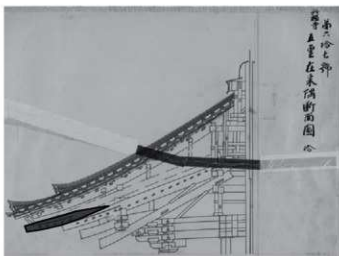
層名称	五重		四重		三重		二重		初重	
	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
地隅木の幅 (mm)	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
地隅木の成 (mm)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
断面積 A (mm ²)	135000	135000	135000	135000	135000	135000	135000	135000	135000	135000
断面係数Z (mm ³)	11250000	11250000	11250000	11250000	11250000	11250000	11250000	11250000	11250000	11250000
断面二次モーメント I (mm ⁴)	2812500000	2812500000	2812500000	2812500000	2812500000	2812500000	2812500000	2812500000	2812500000	2812500000
地隅木の断面検定										
M	23.0	45.0	78.0	141.0	182.0					
σ (N/mm ²)	2.04	4.00	6.93	12.53	16.18					
1.2×F _b (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04					
L _{fb} (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7					
曲げ検定比	0.19	0.37	0.65	1.17	1.51					
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.50					
Q	13.0	172.0	296.0	422.0	605.0					
τ (N/mm ²)	0.14	1.91	3.29	4.69	6.72					
F _s (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1					
1.5×L _{fs} (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05					
せん断検定比	0.14	1.82	3.13	4.47	6.40					
【参考】 基準強度に対する比率	-	0.91	1.57	2.23	3.20					
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	NG	NG	NG	NG					

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45および基準強度に対する比率≧1.00を示す。

【飛檐隅木】

a) 基本事項

- ・地隅木からの出寸法は、最大1.6mである。
- ・出寸法の最も大きい初重で検討し、その他の層は検討を省略する。



五重 (検討対象部材例) *1

*1: 「興福寺五重在来隅断面図」奈良県所蔵・提供 にもとづき作成。

b) 検討結果

飛檐隅木(ヒノキ 272 mm×350 mm 成は推定)

断面性能 $A = 952 \times 10^2 \text{ mm}^2$, $Z = 5553 \times 10^3 \text{ mm}^3$, $I = 97183 \times 10^4 \text{ mm}^4$

ヒノキ*2 $F_b = 26.7 \text{ N/mm}^2$, $F_s = 2.1 \text{ N/mm}^2$, $E = 8820 \text{ N/mm}^2$

*2: 曲げ基準強度は 1.2 倍していない。長期せん断許容応力度は 1.5 倍していない。

断面検定(断面積・断面係数は0.8倍とする)

屋根荷重 $w = 5700 \text{ N/m}^2$, 負担幅最大 2.0 m, 降棟 1800 N/m

→ 等分布荷重 $5.7 \times 2.0 + 1.8 = 13.2 \text{ kN/m}$

スパン 1.6 m の片持ち梁として検討

設計用 $M_L = 13.2 \times 1.6^2 / 2 = 16.8 \text{ kNm}$

$\sigma = M_L / Z = 16.8 \times 10^6 / (0.8 \times 5553 \times 10^3) = 3.8 \text{ N/mm}^2$

$\sigma / f_b = 3.8 / (26.7 \times 1/3) = 0.42 < 1.0 \text{ OK}$

設計用 $Q_L = 13.2 \times 1.6 = 21.1 \text{ kN}$

$\tau = 1.5 Q_L / A = 1.5 \times 21.1 \times 10^3 / (0.8 \times 952 \times 10^2) = 0.41 \text{ N/mm}^2$

$\tau / f_s = 0.41 / (2.1 \times 1/3) = 0.59 < 1.0 \text{ OK}$

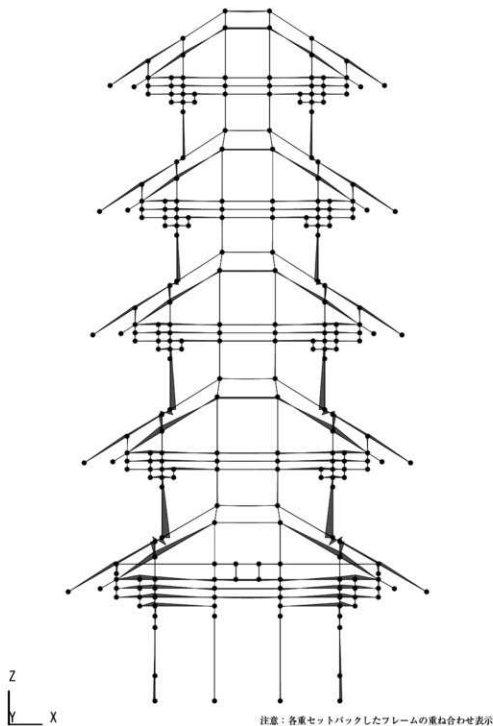
長期弾性たわみ

$$\delta = \frac{w l^4}{8 E I} = \frac{13.2 \times 1600^4}{8 \times 8820 \times 97183 \times 10^4} = 1.26 \text{ mm} \rightarrow 1/1269$$

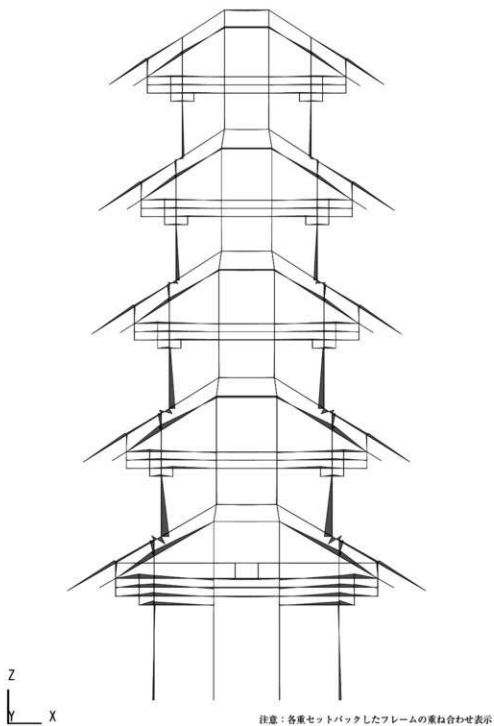
4 応力図

4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)

平全体(曲げモーメント図:長期)

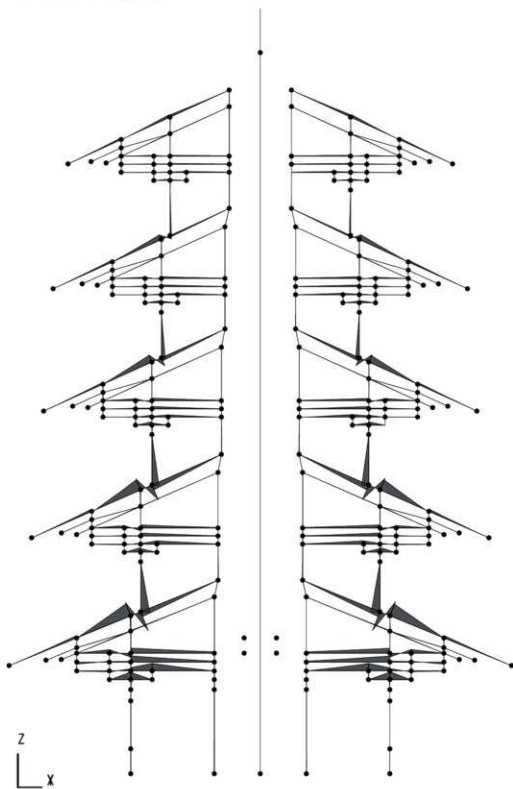


平全体(曲げモーメント図:長期)

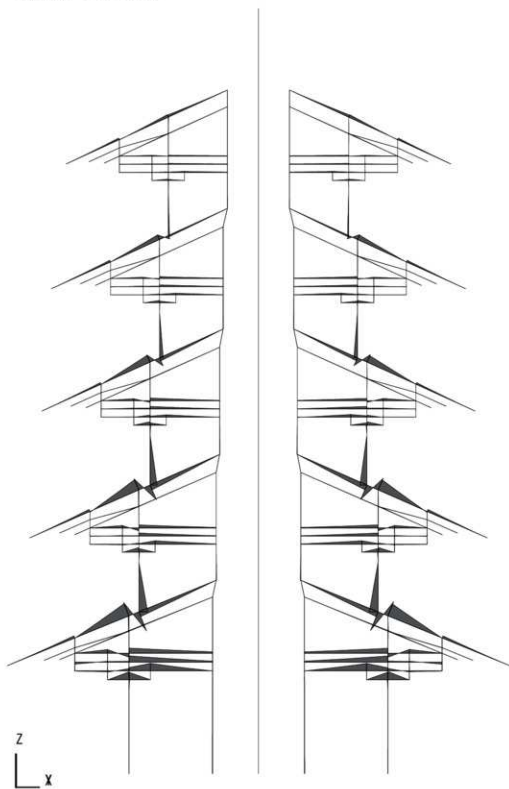


4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)

45°(曲げモーメント図:長期)

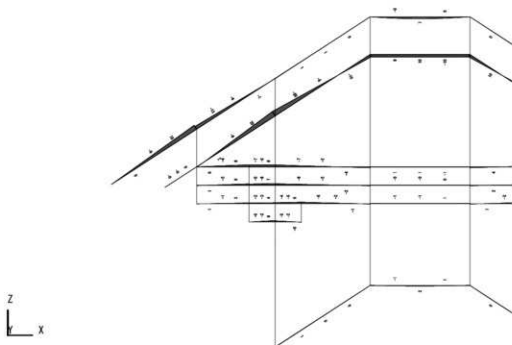


45° (曲げモーメント図：長期)

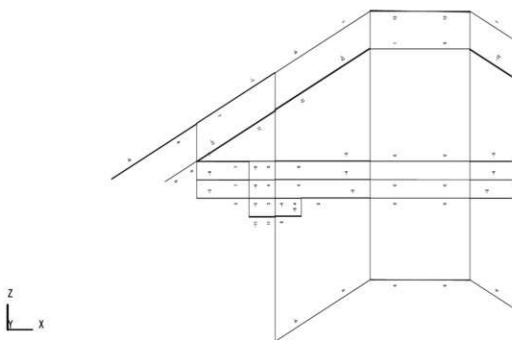


4-3 平の長期に生じる応力図(各重)

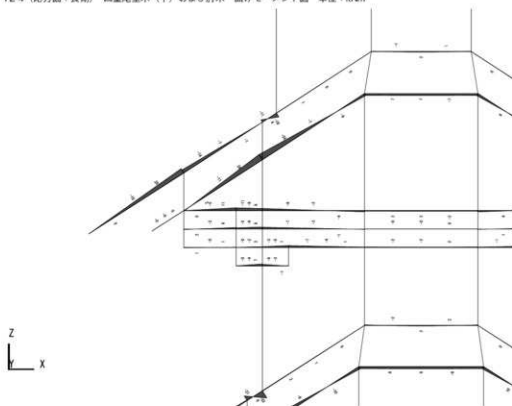
Y2-5 (応力図:長期) 五重尾垂木(平) および肘木 曲げモーメント図 単位:kNm



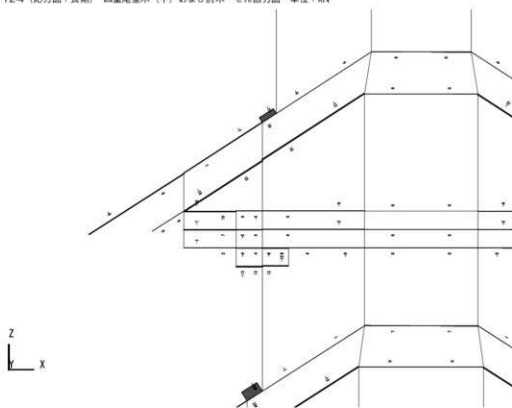
Y2-5 (応力図:長期) 五重尾垂木(平) および肘木 セン断力図 単位:kN



Y2-4 (応力図:長期) 四重尾垂木(平) および肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



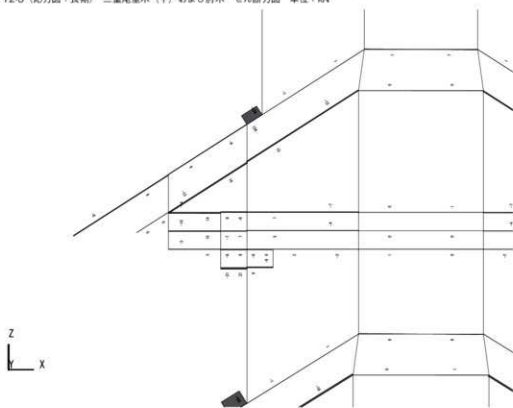
Y2-4 (応力図:長期) 四重尾垂木(平) および肘木 セン断力図 単位: KN



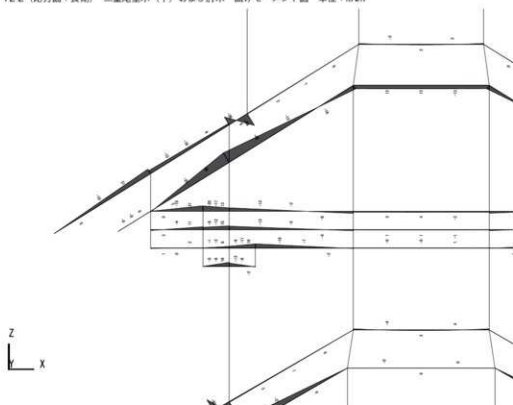
Y2-3 (応力図:長期) 三重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



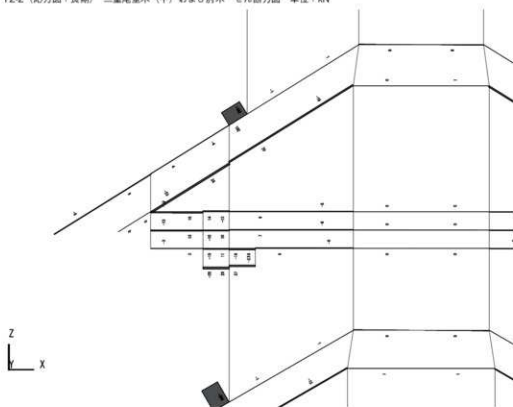
Y2-3 (応力図:長期) 三重尾垂木 (平) および肘木 セン断力図 単位: kN



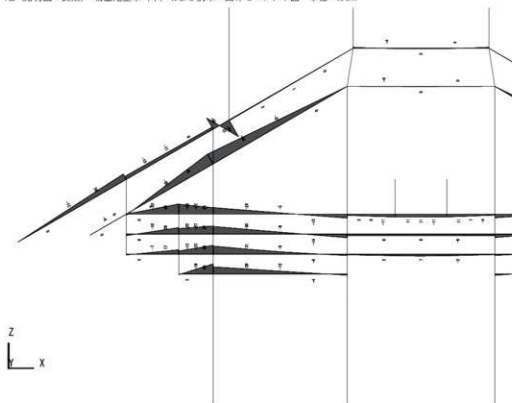
Y2-2 (応力図:長期) 二重尾垂木(平)および肘木 曲げモーメント図 単位:kNm



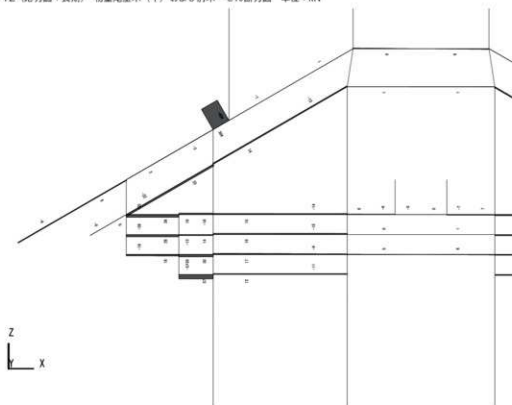
Y2-2 (応力図:長期) 二重尾垂木(平)および肘木 セン断力図 単位:KN



Y2 (応力図：長期) 初重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm

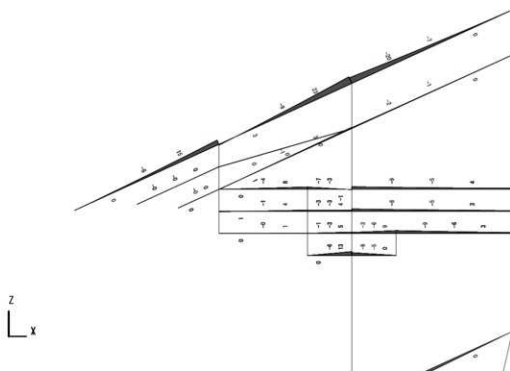


Y2 (応力図：長期) 初重尾垂木 (平) および肘木 セン断力図 単位：kN

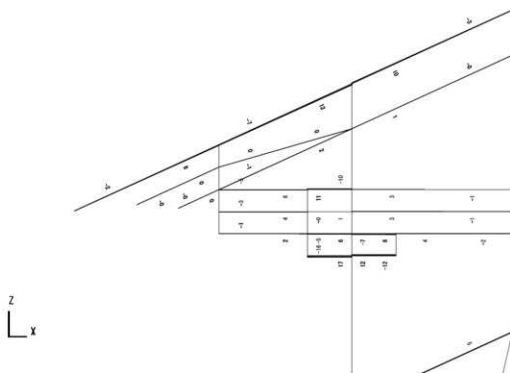


4-4 隣行きの長期に生じる応力図(各重)

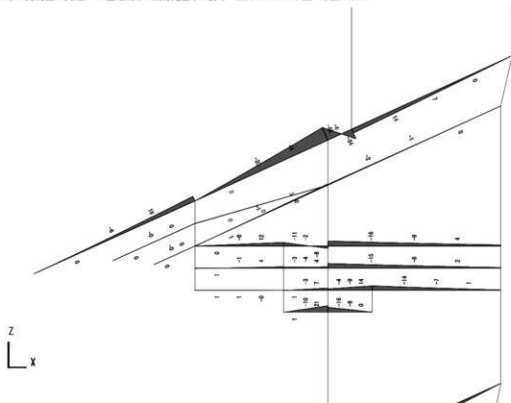
45° (応力図：長期) 五重地隠木・隣行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



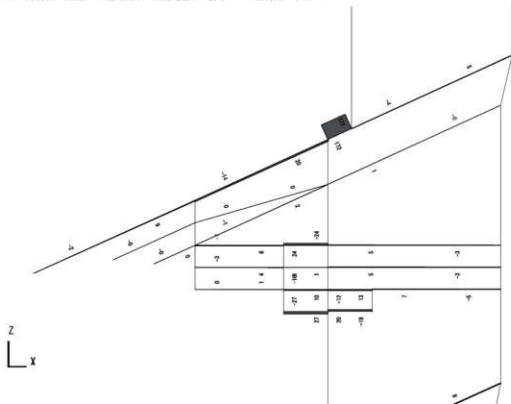
45° (応力図：長期) 五重地隠木・隣行尾垂木・肘木 セン断力図 単位：kN



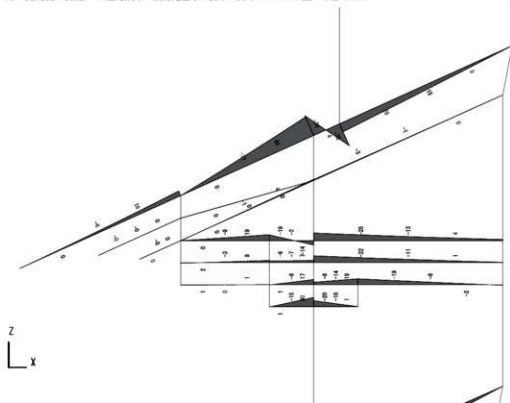
45° (応力図：長期) 四重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



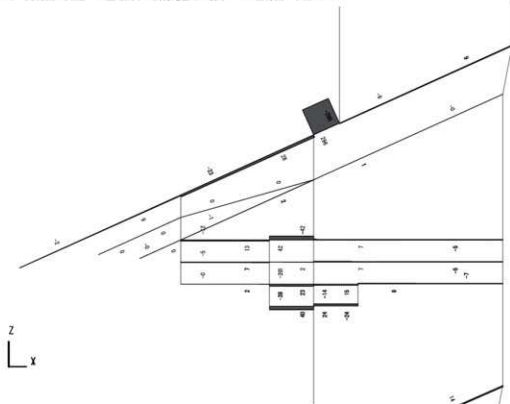
45° (応力図：長期) 四重地隅木・隅行尾垂木・肘木 せん断力図 単位：kN



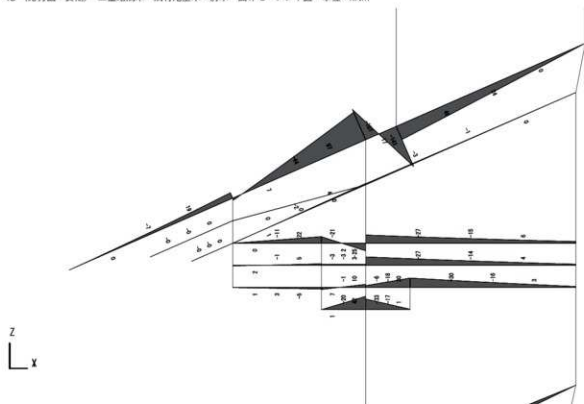
45° (応力図：長期) 三重地蔵木・隠行尾巻木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



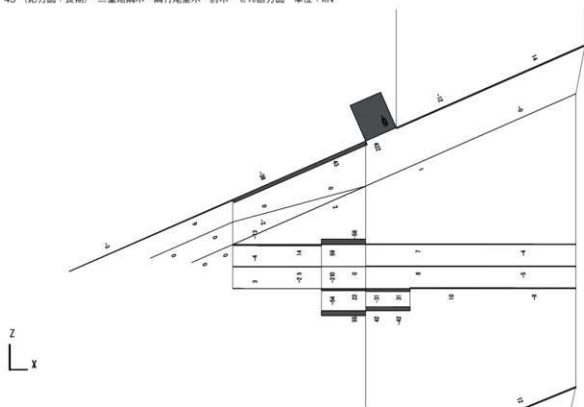
45° (応力図：長期) 三重地蔵木・隠行尾巻木・肘木 セン断力図 単位：kN



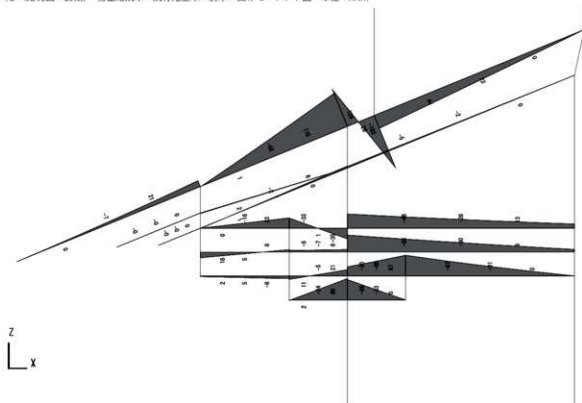
45° (応力図:長期) 二重地隔木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



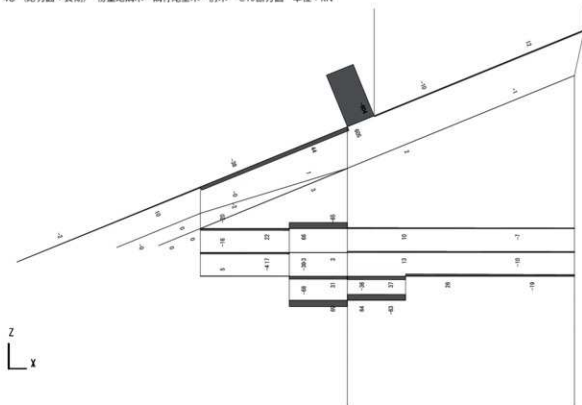
45° (応力図:長期) 二重地隔木・隅行尾垂木・肘木 せん断力図 単位: kN



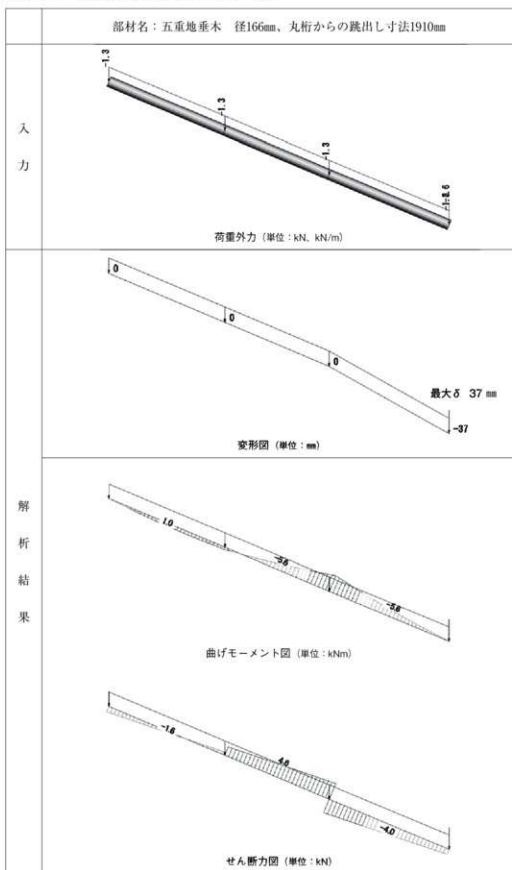
45° (応力図：長期) 初重地隔木・隣行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



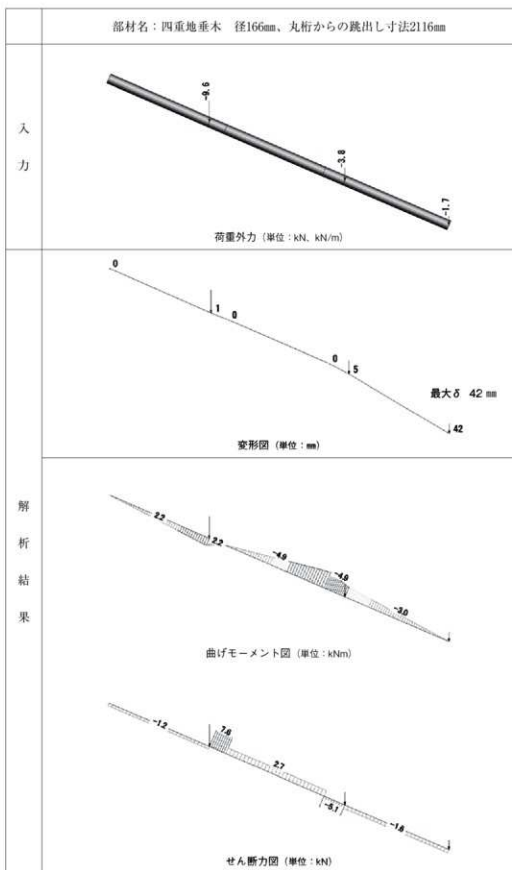
45° (応力図：長期) 初重地隔木・隣行尾垂木・肘木 セン断力図 単位：kN

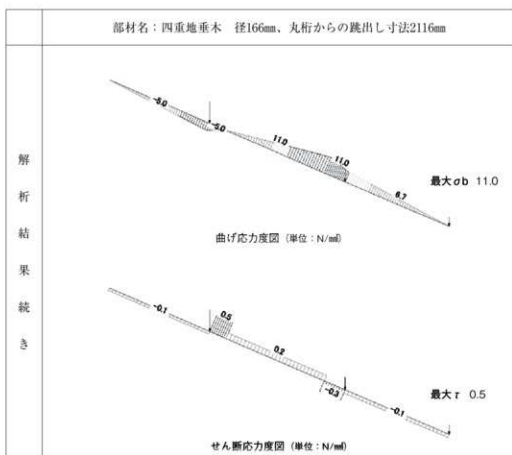


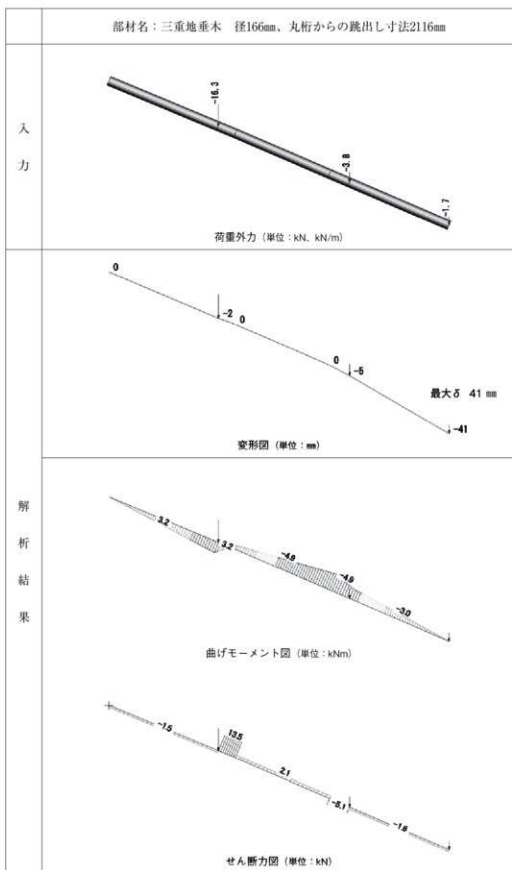
添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

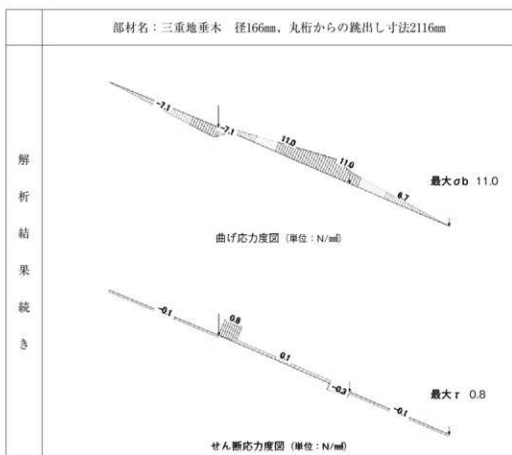


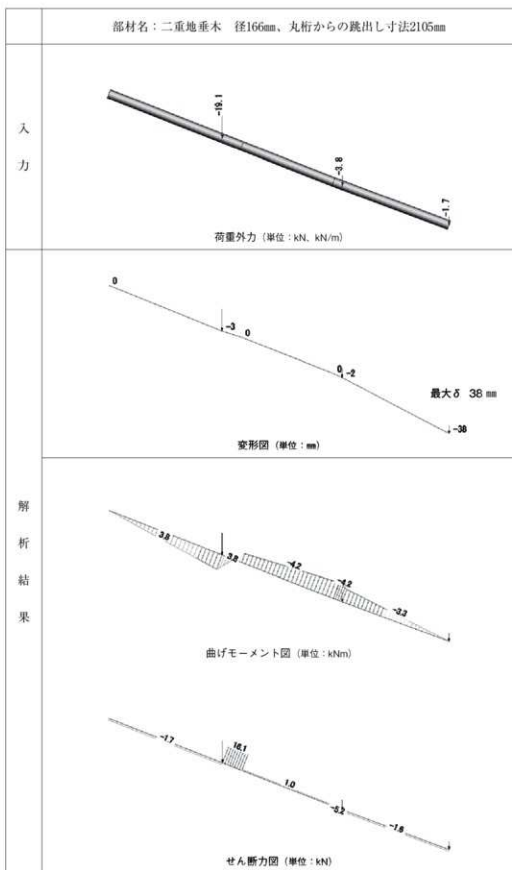


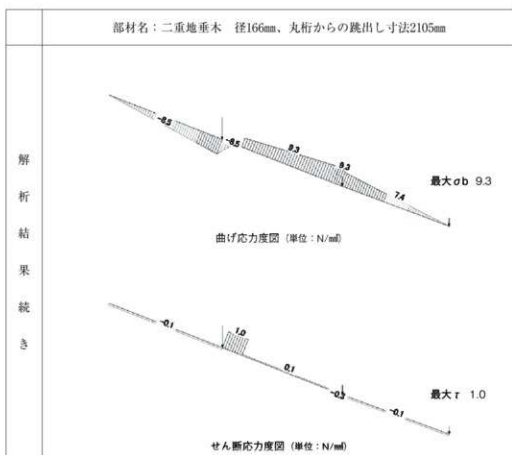


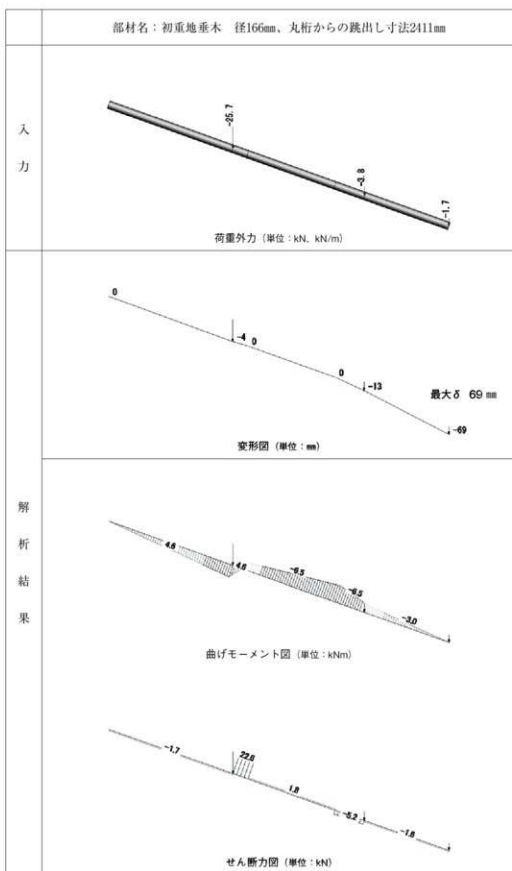


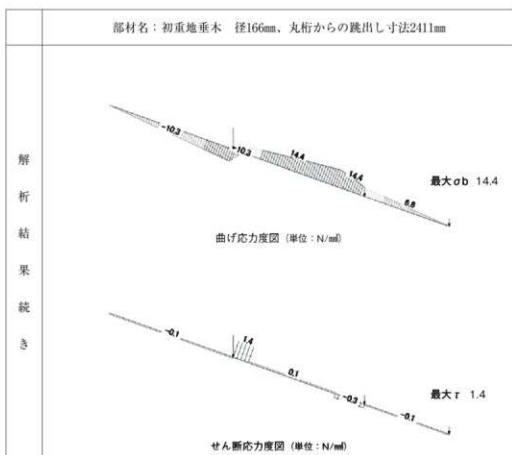




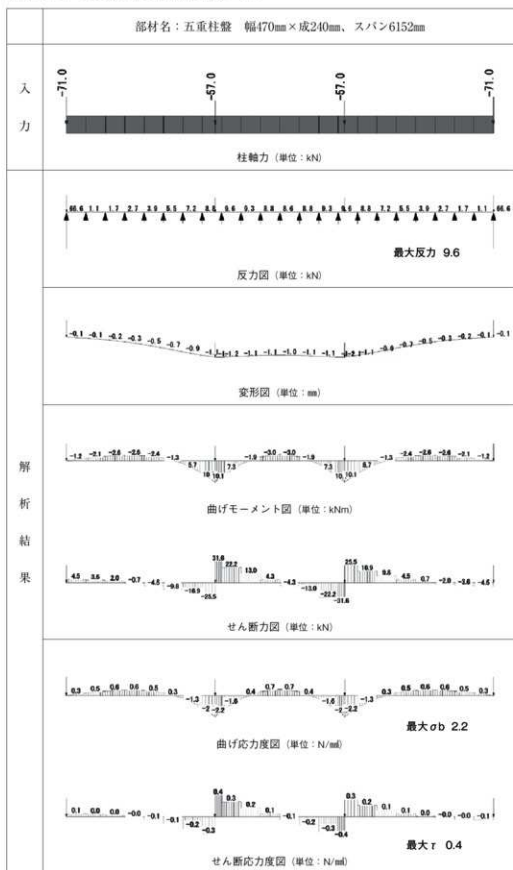


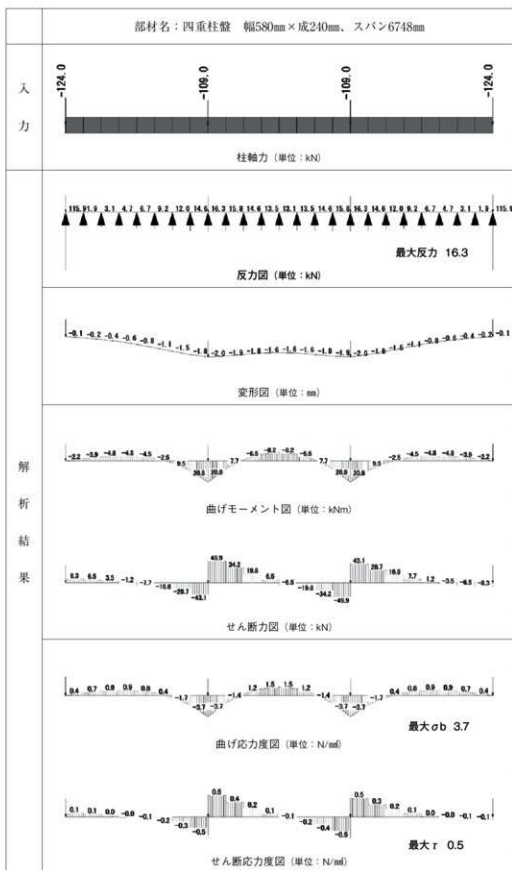


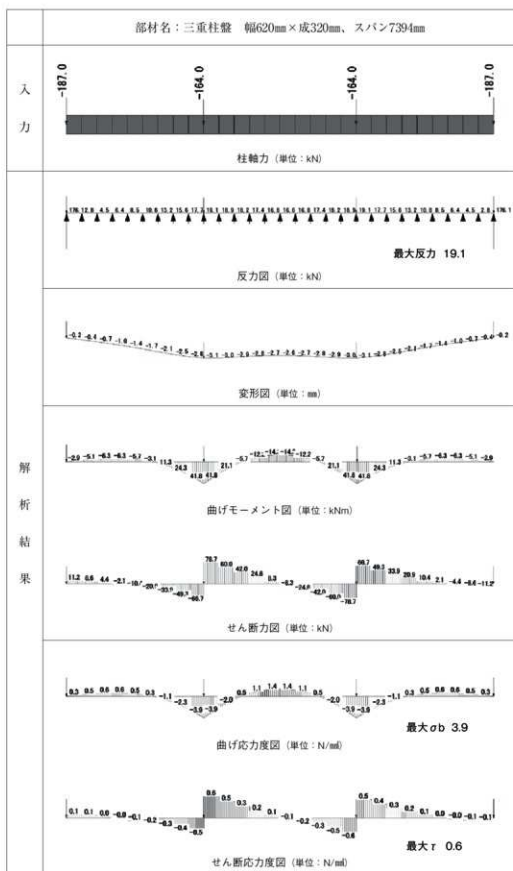


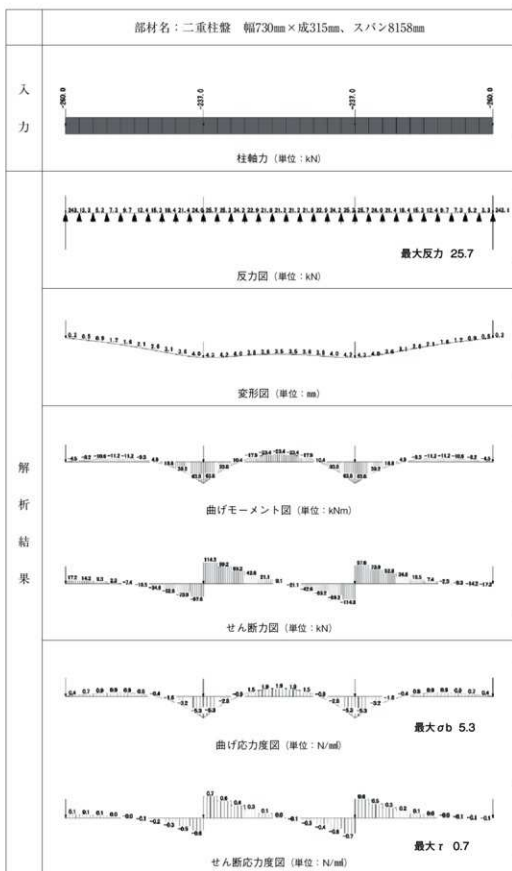


添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形









天平塔 内部柱検討案

- 1 軸部の検討
 - 1-1 柱の圧縮に関する検討
 - 1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断に関する検討

- 2 組物の検討
 - 2-1 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討
 - 2-2 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

- 3 軒の検討
 - 3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討
 - 3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討
 - 3-3 地隅木の曲げ・せん断に関する検討
 - 3-4 六重 四の肘木上東踏の曲げ・せん断に関する検討

- 4 応力図
 - 4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)
 - 4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)
 - 4-3 平の長期に生じる応力図(各重)
 - 4-4 隅行きの長期に生じる応力図(各重)

添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形

1 軸部の検討

1-1 柱の圧縮に関する検討

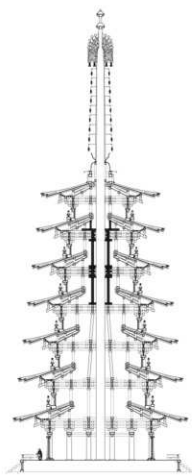
1) 基本事項

各重の柱について、長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値を一覧で示す。すべての柱において、検定比は1.00以下に収まっている。

長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値一覧

層	銅柱	入銅柱	四火柱 (内部柱)
七重	0.07	なし	0.19
六重	0.05	0.17	(0.58)
五重	0.10	0.21	(0.75)
四重	0.10	0.37	0.79
三重	0.11	0.68	0.81
二重	0.13	0.90	0.84
初重	0.18	0.34	0.25

なお、圧縮の強度比と荷重継続時間の関係は、曲げとほぼ同じとされており、許容値は1.45となる。天平塔の柱は、100年程度は保ち得ると考えられる。



銅掛けは、復元原案と異なる部分を示す。

2) 共通事項

- ・樹種 ヒノキ
- ・圧縮基準強度 F_c 20.7 N/ml (告示 第1452号 第五号に示される無等級材の数値)
- ・長期に生じる力に対する圧縮許容応力度 $1.1 \times F_c / 3 = 7.6$ N/ml
(建築基準法施行令第89条に示される数値)
- ・長期圧縮耐力算出用の柱の有効断面は、全断面積とする。

各重、柱ごとの軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【初重柱】

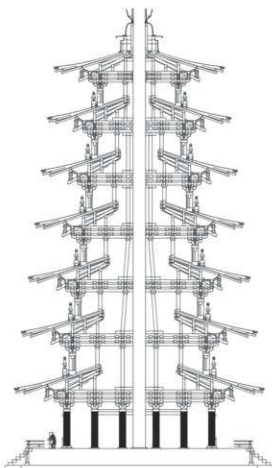
側柱、入側柱、四天柱とも

寸法 $\phi 708$ mm、全断面積 $= 708^2 \pi / 4 = 393692$ mm²

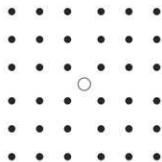
柱長さ 3806 mm、断面二次半径 $708/4 = 177$ mm、

細長比 $\lambda = 3806/177 = 21.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 393692 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2988$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

440	536	503	503	536	440
536	1024	659	659	1024	536
503	669	754	754	669	503
503	669	754	754	669	503
536	1024	659	659	1024	536
440	536	503	503	536	440

検定比一覧

0.15	0.18	0.17	0.17	0.18	0.15
0.18	0.34	0.22	0.22	0.34	0.18
0.17	0.22	0.25	0.25	0.22	0.17
0.17	0.22	0.25	0.25	0.22	0.17
0.18	0.34	0.22	0.22	0.34	0.18
0.15	0.18	0.17	0.17	0.18	0.15

最大検定値

【二重柱】

側 柱 (円柱)

寸法 $\phi 693$ mm、全断面積 $= 693^2 \pi / 4 = 377187$ mm²

柱長さ 1564 mm、断面二次半径 $693/4 = 173$ mm、

細長比 $\lambda = 1564/173 = 9.0$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 377187 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2863$ kN

入側柱 (角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1721 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 $\lambda = 1721/102 = 16.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN

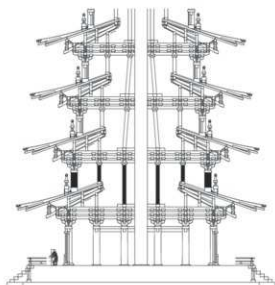
四天柱 (角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

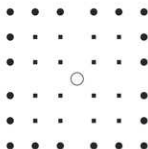
柱長さ 4115 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、細長比 $\lambda = 4115/102 = 40.3$ 、

$30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.3 - 0.01 \times 40.3 = 0.90$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 0.90 \times 10^{-3} = 853$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

334	367	378	378	367	334
367	859	520	520	859	367
378	520	715	715	520	378
378	520	715	715	520	378
367	859	520	520	859	367
334	367	378	378	367	334

検定比一覧

0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12
0.13	0.90	0.55	0.55	0.90	0.13
0.13	0.55	0.84	0.84	0.55	0.13
0.13	0.55	0.84	0.84	0.55	0.13
0.13	0.90	0.55	0.55	0.90	0.13
0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12

最大検定値

【三重柱】

側柱(円柱)

寸法 $\phi 678$ mm、全断面積 = $678^2 \pi / 4 = 361035$ mm²

柱長さ 1505 mm、断面二次半径 $678/4 = 170$ mm、

細長比 λ $1505/170 = 8.9$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 361035 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2740$ kN

入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1592 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 λ $1592/102 = 15.6$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN

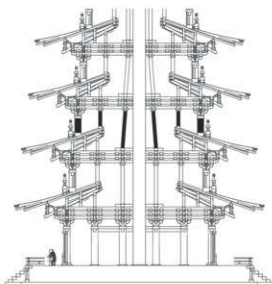
四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

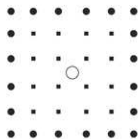
柱長さ 3920 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、細長比 λ $3920/102 = 38.4$ 、

$30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.3 - 0.01 \times 38.4 = 0.92$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 0.92 \times 10^{-3} = 872$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

290	287	282	282	287	290
287	646	363	363	646	287
282	363	707	707	363	282
282	363	707	707	363	282
287	646	363	363	646	287
290	287	282	282	287	290

検定比一覧

0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
0.10	0.68	0.38	0.38	0.68	0.10
0.10	0.38	0.81	0.81	0.38	0.10
0.10	0.38	0.81	0.81	0.38	0.10
0.10	0.68	0.38	0.38	0.68	0.10
0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11

最大検定値

【四重柱】

側柱(円柱)

寸法 $\phi 664$ mm、全断面積 = $664^2 \pi / 4 = 346279$ mm²

柱長さ 1446 mm、断面二次半径 $664/4 = 166$ mm、

細長比 $\lambda = 1446/166 = 8.7$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 346279 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2628$ kN

入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1546 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 $\lambda = 1546/102 = 15.1$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN

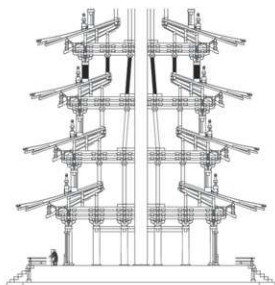
四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

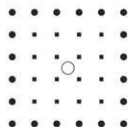
柱長さ 3861 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、細長比 $\lambda = 3861/102 = 37.8$ 、

$30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.3 - 0.01 \times 37.8 = 0.92$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 0.92 \times 10^{-3} = 877$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

271	249	233	233	249	271
249	348	197	197	348	249
233	197	690	690	197	233
233	197	690	690	197	233
249	348	197	197	348	249
271	249	233	233	249	271

検定比一覧

0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10
0.09	0.37	0.21	0.21	0.37	0.09
0.09	0.21	0.79	0.79	0.21	0.09
0.09	0.21	0.79	0.79	0.21	0.09
0.09	0.37	0.21	0.21	0.37	0.09
0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10

最大検定値

【五重柱】

側 柱(円柱)

寸法 $\phi 649$ mm、全断面積 $= 649^2 \pi / 4 = 330810$ mm²

柱長さ 1387 mm、断面二次半径 $649/4 = 162$ mm、

細長比 λ $1387/162 = 8.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 330810 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2511$ kN

入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1383 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 λ $1383/102 = 13.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN

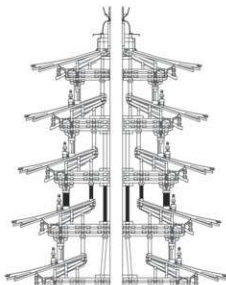
内部柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

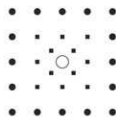
柱長さ 4631 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、細長比 λ $4631/102 = 45.3$ 、

$30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.3 - 0.01 \times 45.3 = 0.85$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 0.85 \times 10^{-3} = 805$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

223	234		239		234	223
234	200		151		300	234
		604		604		
239	151				151	239
		604		604		
234	200		151		300	234
223	234		239		234	223

検定比一覧

0.09	0.09		0.10		0.09	0.09
0.09	0.21		0.16		0.21	0.09
		0.75		0.75		
0.10	0.16				0.16	0.10
		0.75		0.75		
0.09	0.21		0.16		0.21	0.09
0.09	0.09		0.10		0.09	0.09

最大検定値

【六重柱】

側柱(円柱)

寸法 $\phi 634$ mm、全断面積 = $634^2 \pi / 4 = 315696$ mm²

柱長さ 1328 mm、断面二次半径 $634/4 = 159$ mm、

細長比 $\lambda = 1328/159 = 8.4$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 315696 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2396$ kN

入側柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1465 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 $\lambda = 1465/102 = 14.3$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN

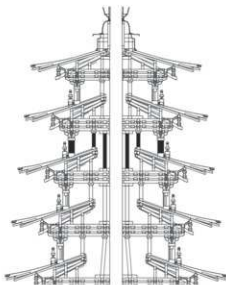
内部柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 = $354^2 = 125316$ mm²

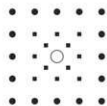
柱長さ 4572 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、細長比 $\lambda = 4572/102 = 44.7$ 、

$30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.3 - 0.01 \times 44.7 = 0.85$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 = $7.6 \times 125316 \times 0.85 \times 10^{-3} = 811$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

111	95		105		95	111
95	150		158		150	95
		466		466		
105	158			158	105	
		466		466		
95	150		158		150	95
111	95		105		95	111

検定比一覧

0.05	0.04		0.04		0.04	0.05
0.04	0.16		0.17		0.16	0.04
		0.58		0.58		
0.04	0.17				0.17	0.04
		0.58		0.58		
0.04	0.16		0.17		0.16	0.04
0.05	0.04		0.04		0.04	0.05

最大検定値

【七重柱】

側 柱(円柱)

寸法 $\phi 620$ mm、全断面積 $= 620^2 \pi / 4 = 301907$ mm²

柱長さ 1245 mm、断面二次半径 $620/4 = 155$ mm、

細長比 λ $1245/155 = 8.0$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 301907 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2291$ kN

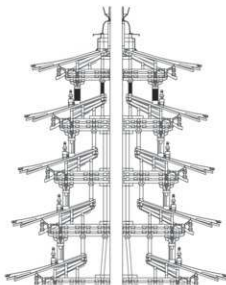
四天柱(角柱)

寸法 354 mm \times 354 mm、全断面積 $= 354^2 = 125316$ mm²

柱長さ 1161 mm、断面二次半径 $354/(2\sqrt{3}) = 102$ mm、

細長比 λ $1161/102 = 11.4$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数 $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 $= 7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$ kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

162	101	101	162
101	179	179	101
101	179	179	101
162	101	101	162

検定比一覧

0.07	0.04	0.04	0.07
0.04	0.19	0.19	0.04
0.04	0.19	0.19	0.04
0.07	0.04	0.04	0.07

最大検定値

1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断に関する検討

検討対象および方法・検討寸法・材料は、復元原案に同じ。検討結果を以下に示す。なお、側柱盤の検討は、「3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討」を参照のこと。

入側柱盤 (単位: kN.m)						
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	-	8820	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	-	354	354	354	354	354
柱盤の成 (mm)	-	242	242	242	242	242
断面積 A (mm ²)	-	85668	85668	85668	85668	85668
断面係数 Z (mm ³)	-	3455276	3455276	3455276	3455276	3455276
断面二次モーメント I (mm ⁴)	-	418088396	418088396	418088396	418088396	418088396
断面検定						
M	-	24.0	55.0	51.0	80.0	7.0
σ (N/mm ²)	-	6.95	15.92	14.76	23.15	2.03
1.2×F _b (N/mm ²)	-	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
L _{fb} (N/mm)	-	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	-	0.65	1.49	1.38	2.17	0.19
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	0.50	-	0.72	-
Q	-	11.0	76.0	198.0	364.0	4.0
τ (N/mm ²)	-	0.19	1.33	3.47	6.37	0.07
F _v (N/mm ²)	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _{fs} (N/mm ²)	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	0.18	1.27	3.30	6.07	0.07
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	1.65	3.03	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	NG	NG	NG	OK
四角柱盤および内部柱の柱盤 (単位: kN.m)						
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	8820	8820	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	354	383	383	383	383	383
柱盤の成 (mm)	242	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	85668	112985	112985	112985	112985	112985
断面係数 Z (mm ³)	3455276	5555096	5555096	5555096	5555096	5555096
断面二次モーメント I (mm ⁴)	418088396	819376635	819376635	819376635	819376635	819376635
断面検定						
M	53.0	51.0	40.0	46.0	52.0	57.0
σ (N/mm ²)	15.34	9.18	7.20	8.28	9.36	10.26
1.2×F _b (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
L _{fb} (N/mm)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	1.44	0.86	0.67	0.78	0.88	0.96
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
Q	37.0	44.0	116.0	115.0	118.0	120.0
τ (N/mm ²)	0.65	0.58	1.54	1.53	1.57	1.59
F _v (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _{fs} (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.62	0.56	1.47	1.45	1.49	1.52
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	0.73	0.73	0.75	0.76
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	NG	NG	NG	NG

脚附けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。五重と六重は、四角柱盤ではなく内部柱の柱盤が存在する。

2 組物の検討

2-1 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討

2-1-1 平部の肘木

1) 検討方法

平部の肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して断面検定する。

3) 検討結果

(単位：kN・m)							
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830
四の肘木 検定							
四の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
四の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	90	30.0	41.0	40.0	46.0	52.0	57.0
σ (N/mm ²)	2.5	8.2	11.3	11.0	12.6	14.3	15.7
1.2×F _b (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
L _{fb} (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.23	0.77	1.05	1.03	1.18	1.34	1.47
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.49
Q	23.0	101.0	57.0	116.0	115.0	117.0	120.0
τ (N/mm ²)	0.47	2.05	1.15	2.35	2.33	2.37	2.43
F _s (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _s (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.44	1.95	1.10	2.24	2.22	2.26	2.32
【参考】 基準強度に対する比率	-	0.97	-	1.12	1.11	1.13	1.16
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	NG	OK	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
三の肘木 検定							
三の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
三の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	14.0	8.0	29.0	20.0	15.0	22.0	33.0
σ (N/mm ²)	3.8	2.2	8.0	5.5	4.1	6.0	9.1
12×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.36	0.21	0.75	0.51	0.39	0.57	0.85
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	21.0	14.0	33.0	20.0	26.0	37.0	56.0
τ (N/mm ²)	0.43	0.28	0.67	0.41	0.53	0.75	1.13
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.41	0.27	0.64	0.39	0.50	0.71	1.08
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
二の肘木 検定							
二の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
二の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	18.0	13.0	29.0	67.0	64.0	58.0	51.0
σ (N/mm ²)	4.9	3.6	8.0	18.4	17.6	15.9	14.0
12×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.46	0.33	0.75	1.72	1.65	1.49	1.31
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.57	0.55	0.50	-
Q	22.0	27.0	35.0	110.0	116.0	112.0	65.0
τ (N/mm ²)	0.45	0.55	0.71	2.23	2.35	2.27	1.32
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.42	0.52	0.68	2.12	2.24	2.16	1.25
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	1.06	1.12	1.08	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	NG	NG	OK
一の肘木 検定							
一の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
一の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
フェース位置のM	6.2	3.6	9.8	8.0	9.8	13.2	18.4
σ (N/mm ²)	1.7	1.0	2.7	2.2	2.7	3.6	5.1
12×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.16	0.09	0.25	0.20	0.25	0.34	0.47
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	22.0	18.0	40.0	34.0	43.0	56.0	78.0
τ (N/mm ²)	0.45	0.36	0.81	0.69	0.87	1.13	1.58
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.42	0.35	0.77	0.66	0.83	1.08	1.50
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.75
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG

脚附けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 \geq 1.00を示す。

2-1-2 隅行きの肘木

1) 検討方法

隅行きの肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)。
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・隅柱筋の一の肘木は、一の肘木上巻斗と一木造り出しとし、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。
- ・入隅柱筋の一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。
- ・一の肘木は、ケヤキの場合の検定値も示す。

3) 検討結果

層名称	(単位：kNm)						
	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/m ²)	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830
四の肘木 検定							
四の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
四の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	90	94.0	48.0	34.0	51.0	67.0	86.0
σ (N/mm ²)	2.5	25.8	132	93	14.0	18.4	23.6
1.2×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.23	2.42	1.23	0.87	1.31	1.72	2.21
【参考】基準強度に対する比率	-	0.81	-	-	-	0.57	0.74
Q	16.0	234.0	64.0	43.0	68.0	93.0	117.0
τ (N/mm ²)	0.32	4.54	1.30	0.87	1.38	1.88	2.37
Fa (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.31	4.32	1.23	0.83	1.31	1.79	2.26
【参考】基準強度に対する比率	-	2.16	-	-	-	0.90	1.13
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	NG	OK	OK	OK	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
三の材木 検定							
三の材木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
三の材木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	100	310	430	160	170	220	350
σ (N/mm ²)	27	8.5	11.8	4.4	4.7	6.0	9.6
1.2×F _b (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
L _{fs} (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.26	0.80	1.11	0.41	0.44	0.57	0.90
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	5.0	37.0	24.0	12.0	14.0	19.0	31.0
τ (N/mm ²)	0.10	0.75	0.49	0.24	0.28	0.38	0.63
F _v (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _{fs} (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.10	0.71	0.46	0.23	0.27	0.37	0.60
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
二の材木 検定							
二の材木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
二の材木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	150	510	560	290	390	490	530
σ (N/mm ²)	4.1	14.0	15.4	8.0	10.7	13.5	14.6
1.2×F _b (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
L _{fs} (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.39	1.31	1.44	0.75	1.00	1.26	1.36
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	21.0	60.0	45.0	32.0	61.0	75.0	44.0
τ (N/mm ²)	0.43	1.22	0.91	0.65	1.24	1.52	0.89
F _v (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _{fs} (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.41	1.16	0.87	0.62	1.18	1.45	0.85
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位: kN・m)

種名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
側柱筋一の肘木 検定							
側柱筋一の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
側柱筋一の肘木の成 (mm)	487	487	487	487	487	487	487
断面積 A (mm ²)	122237	122237	122237	122237	122237	122237	122237
断面係数 Z (mm ³)	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570
断面二次モーメント I (mm ⁴)	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254
断面検定							
フェース位置のM	8.7	7.0	13.1	15.7	16.6	19.5	27.2
σ (N/mm ²)	0.9	0.7	1.3	1.6	1.7	2.0	2.7
1.2×Fb (N/mm ²)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.08	0.07	0.12	0.15	0.16	0.18	0.26
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	17.0	14.0	28.0	32.0	35.0	41.0	56.0
τ (N/mm ²)	0.21	0.17	0.34	0.39	0.43	0.50	0.69
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.20	0.16	0.33	0.37	0.41	0.48	0.65
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
ケヤキの検定							
断面検定							
フェース位置のM	8.7	7.0	13.1	15.7	16.6	19.5	27.2
σ (N/mm ²)	0.9	0.7	1.3	1.6	1.7	2.0	2.7
1.2×Fb (N/mm ²)	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/mm ²)	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.07	0.06	0.11	0.13	0.14	0.17	0.23
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	17.0	14.0	28.0	32.0	35.0	41.0	56.0
τ (N/mm ²)	0.21	0.17	0.34	0.39	0.43	0.50	0.69
Fs (N/mm ²)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.14	0.11	0.23	0.26	0.29	0.34	0.46
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

新掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
入側柱筋一の肘木 検定							
入側柱筋一の肘木の幅 (mm)	--	--	--	--	--	--	251
入側柱筋一の肘木の成 (mm)	--	--	--	--	--	--	296
断面積 A (mm ²)	--	--	--	--	--	--	7405
断面係数 Z (mm ³)	--	--	--	--	--	--	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	--	--	--	--	--	--	536980510
断面検定							
フューズ位置のM	--	--	--	--	--	--	31.2
σ (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	8.6
1.2×Fb (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	32.0
Lfb (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	10.7
曲げ検定比	--	--	--	--	--	--	0.80
【参考】 基準強度に対する比率	--	--	--	--	--	--	--
Q	--	--	--	--	--	--	62.0
τ (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	1.26
Fs (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	1.05
せん断検定比	--	--	--	--	--	--	1.20
【参考】 基準強度に対する比率	--	--	--	--	--	--	--
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	--	--	--	--	--	--	OK
テヤキの検定							
断面検定							
フューズ位置のM	--	--	--	--	--	--	31.2
σ (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	8.6
1.2×Fb (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	35.3
Lfb (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	11.8
曲げ検定比	--	--	--	--	--	--	0.73
【参考】 基準強度に対する比率	--	--	--	--	--	--	--
Q	--	--	--	--	--	--	62.0
τ (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	1.26
Fs (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	3.0
1.5×Lfs (N/mm ²)	--	--	--	--	--	--	1.5
せん断検定比	--	--	--	--	--	--	0.84
【参考】 基準強度に対する比率	--	--	--	--	--	--	--
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	--	--	--	--	--	--	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

2-2 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定は表計算にておこなう。

3) 検討結果

層名称	(単位: kN.m)						
	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
平の尾垂木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
平の尾垂木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数 Z (mm ³)	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm ⁴)	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
平の尾垂木の断面検定							
M	53.0	40.0	54.0	97.0	124.0	112.0	145.0
σ (N/mm ²)	14.56	10.99	14.83	26.64	34.06	30.76	39.83
1.2 × Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	1.36	1.03	1.39	2.49	3.19	2.88	3.73
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.83	1.06	0.96	1.24
Q	67.0	47.0	166.0	99.0	192.0	343.0	447.0
τ (N/mm ²)	1.36	0.95	3.36	2.01	3.89	6.95	9.06
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5 × Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	1.29	0.91	3.20	1.91	3.70	6.62	8.62
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	1.60	0.96	1.85	3.31	4.31
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	NG	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
隣行尾垂木(上)の幅(mm)	295	295	295	295	295	295	295
隣行尾垂木(上)の成(mm)	339	339	339	339	339	339	339
断面積 A (㎡)	100005	100005	100005	100005	100005	100005	100005
断面積数Z (㎡)	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283
断面二次モーメント I (㎡)	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884
隣行尾垂木(上)の断面検定							
M	6.0	7.0	25.0	53.0	72.0	71.0	95.0
σ (N/㎡)	1.06	1.24	4.42	9.38	12.74	12.57	16.81
1.2×Fb (N/㎡)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/㎡)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.10	0.12	0.41	0.88	1.19	1.18	1.57
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.52
Q	6.0	5.0	56.0	41.0	83.0	163.0	219.0
τ (N/㎡)	0.09	0.07	0.84	0.61	1.24	2.44	3.28
Fs (N/㎡)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/㎡)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.09	0.07	0.80	0.59	1.19	2.33	3.13
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	1.16
100年保証(検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG
隣行尾垂木(下)の幅(mm)	295	295	295	295	295	295	295
隣行尾垂木(下)の成(mm)	339	339	339	339	339	339	339
断面積 A (㎡)	100005	100005	100005	100005	100005	100005	100005
断面積数Z (㎡)	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283
断面二次モーメント I (㎡)	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884
隣行尾垂木(下)の断面検定							
M	17.0	9.0	33.0	60.0	85.0	81.0	100.0
σ (N/㎡)	3.01	1.59	5.84	10.62	15.04	14.34	17.70
1.2×Fb (N/㎡)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/㎡)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.28	0.15	0.55	0.99	1.41	1.34	1.66
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.55
Q	12.0	8.0	75.0	46.0	98.0	184.0	229.0
τ (N/㎡)	0.18	0.12	1.12	0.69	1.47	2.76	3.43
Fs (N/㎡)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/㎡)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.11	1.07	0.66	1.40	2.63	3.27
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	1.31
100年保証(検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 \geq 1.00を示す。

3 軒の検討

3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

丸桁に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手は考慮せず、一材として検討した応力を用いている。

3) 検討結果

(単位: kNm)							
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
街種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8830	8830	8830	8830	8830	8830	8830
丸桁の径 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm ²)	68315	68315	68315	68315	68315	68315	68315
断面係数Z (mm ³)	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102
断面二次モーメント I (mm ⁴)	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515
断面検定							
M	16	17	21	18	23	25	28
σ (N/mm ²)	6.32	6.91	8.34	7.31	9.09	9.84	11.23
1.2×F _b (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
L _{fb} (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.59	0.65	0.78	0.68	0.85	0.92	1.05
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	37	40	45	41	44	55	55
τ (N/mm ²)	0.73	0.79	0.88	0.79	0.86	1.07	1.07
F _a (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _{fs} (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.69	0.75	0.84	0.75	0.82	1.02	1.02
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

縦付けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討

検討対象および方法・検討寸法・材料は、復元原案に同じ。検討結果を以下に示す。

a) 地垂木



(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm ²)	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
地垂木の径 (mm)	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9
地垂木のピッチ (mm)	329	329	329	329	329	329	329
木負	64	64	64	64	64	64	64
先端集中荷重 P	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8
等分布荷重 w (自重含)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
出寸法 a	2.107	2.157	2.216	2.275	2.334	2.452	2.452
丸貯位置での断面検定							
σ (N/mm ²)	10.5	11.1	12.2	13.1	13.6	15.1	15.1
1.2×F _b (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×F _b (N/mm ²)	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	0.85	0.90	0.99	1.07	1.11	1.23	1.23
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
τ (N/mm ²)	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
F _v (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _f s (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.19	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
柱盤位置での断面検定							
σ (N/mm ²)	-	7.1	8.4	13.4	15.9	19.8	27.0
1.2×F _b (N/mm ²)	-	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×F _b (N/mm ²)	-	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	0.58	0.68	1.09	1.29	1.61	2.20
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	0.62	0.81
τ (N/mm ²)	-	0.5	0.5	0.9	1.0	1.2	1.5
F _v (N/mm ²)	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×L _f s (N/mm ²)	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	0.48	0.48	0.86	0.95	1.14	1.43
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	OK	OK	OK	NG	NG
【参考】 たわみ							
弾性たわみ (合計)	33.0	36.0	42.0	48.0	53.0	68.0	69.0
クリープ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
クリープ考慮たわみ	66	72.0	84.0	96.0	106.0	136.0	138.0
たわみ角	1/32	1/30	1/26	1/24	1/22	1/18	1/18

縦括弧は、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。

b) 柱盤



(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/m ²)	8820	8820	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	620	634	649	664	678	693
柱盤の成 (mm)	413	413	413	413	413	502
断面検定						
σ (N/m ²)	1.7	1.5	3.3	3.9	4.5	4.2
$1.2 \times F_b$ (N/m ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
$L_f b$ (N/m ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.16	0.14	0.31	0.37	0.42	0.39
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
r (N/m ²)	0.3	0.3	0.7	0.8	1.0	1.0
F_b (N/m ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times L_f b$ (N/m ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.29	0.29	0.67	0.76	0.95	0.95
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK

縦掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

FEM解析による地垂木および柱盤の資料は、章末に添付する。

3-3 地隅木の曲げ・せん断に関する検討

1) 検討方法

地隅木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

2) 前提条件

- ・ 荷重条件：ベタ葺き
- ・ 材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

3) 検討結果

【地隅木】

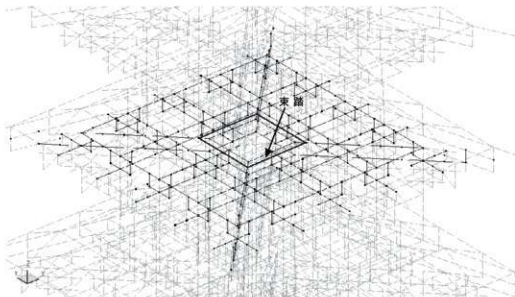
(単位: kN/m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
地隅木の幅 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
地隅木の成 (mm)	375	375	375	375	375	375	375
断面積 A (mm ²)	110625	110625	110625	110625	110625	110625	110625
断面係数Z (mm ³)	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063
断面二次モーメント I (mm ⁴)	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719
地隅木の断面検定							
M	18.0	24.0	48.0	110.0	145.0	137.0	185.0
σ (N/mm ²)	2.60	3.47	6.94	15.91	20.97	19.81	35.76
1.2×Fb (N/mm ²)	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfs (N/mm ²)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.24	0.33	0.65	1.49	1.96	1.86	2.51
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.50	0.65	0.62	0.84
Q	14.0	23.0	105.0	84.0	165.0	298.0	399.0
τ (N/mm ²)	0.19	0.31	1.42	1.14	2.24	4.04	5.41
Fs (N/mm ²)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm ²)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.18	0.30	1.36	1.08	2.13	3.85	5.15
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	1.07	1.92	2.58
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG

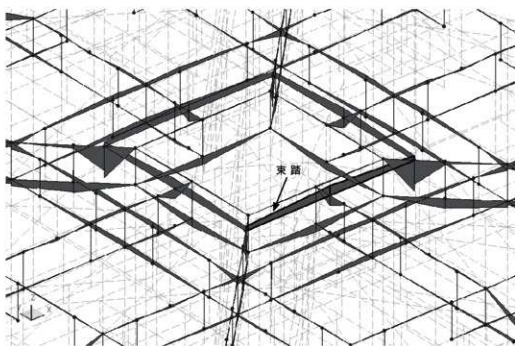
網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≧1.00を示す。

3-4 六重 四の肘木上束踏の曲げ・せん断に関する検討

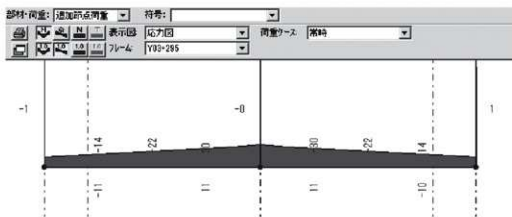
検討方法・材料は、入側柱盤および四天柱盤に同じ。検討結果を以下に示す。



六重 四の肘木レベル (3D)



六重 四の肘木レベル 応力図 (3D)



六重 四の材木上東踏

部材寸法 383 mm×295 mm、樹種 ヒノキ

基準強度 $F_b = 1.2 \times 26.7 = 32.04 \text{ N/mm}^2$ 、 $F_s = 2.1 \text{ N/mm}^2$

長期許容応力度 $\sigma_{fb} = 32.04/3 = 10.7 \text{ N/mm}^2$ 、 $\tau_{fs} = 1.5 \times 2.1/3 = 1.05 \text{ N/mm}^2$

断面性能 $A_e = 1129 \times 10^2 \text{ mm}^2$ 、 $Z_e = 5555 \times 10^3 \text{ mm}^3$

断面検定(長期)

$$L\sigma = M_L/Z_e = 30.0 \times 10^6 / 5555 \times 10^3 = 5.40 < 10.7 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

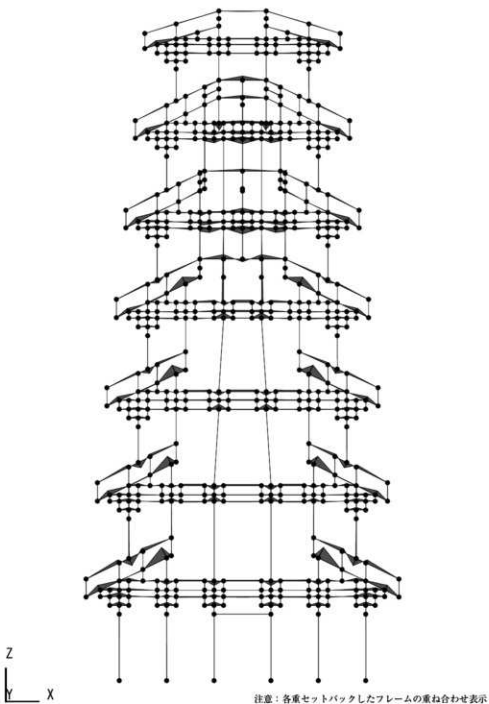
$$L\tau = 1.5Q_L/A_e = 1.5 \times 11 \times 10^3 / 1129 \times 10^2 = 0.15 < 1.05 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

曲げ検定比 $5.40/10.7 = 0.50$ 、せん断検定比 $0.15/1.05 = 0.14$

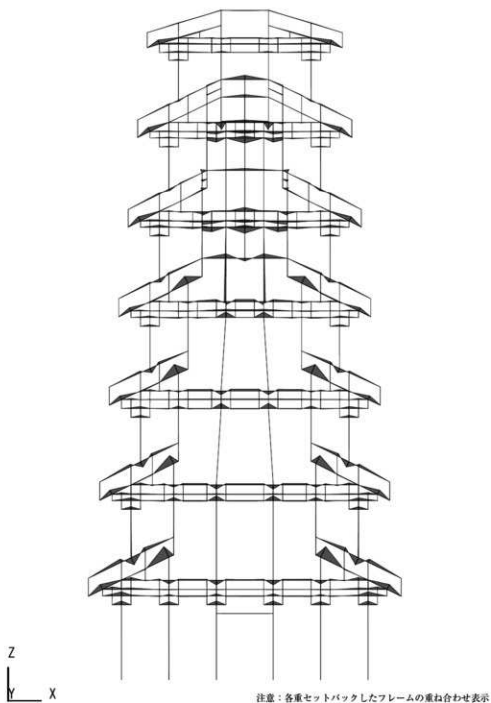
4 応力図

4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)

平全体(曲げモーメント図:長期)

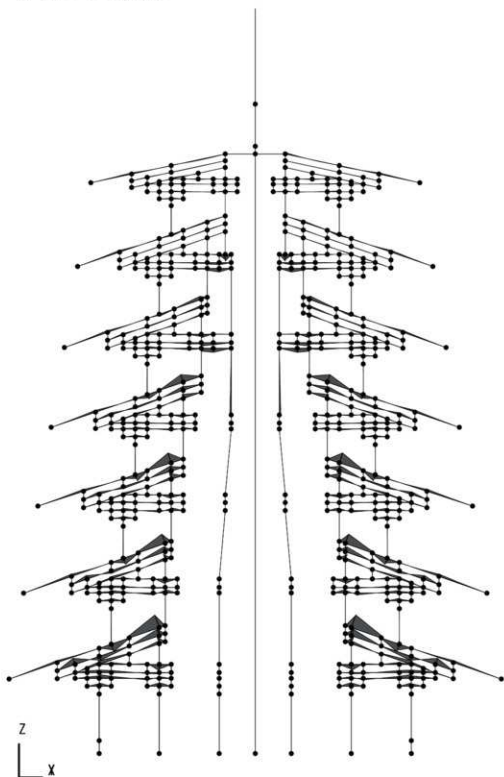


平全体(曲げモーメント図:長期)

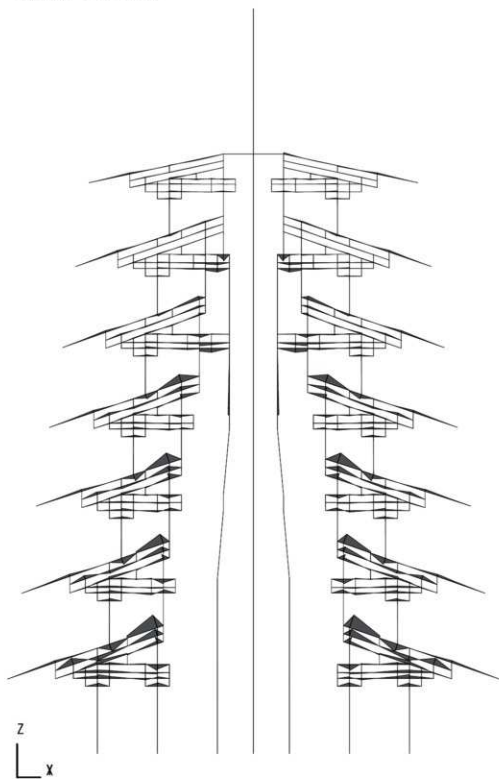


4-2 隣行きの長期に生じる応力図(塔身全体)

45°(曲げモーメント図:長期)

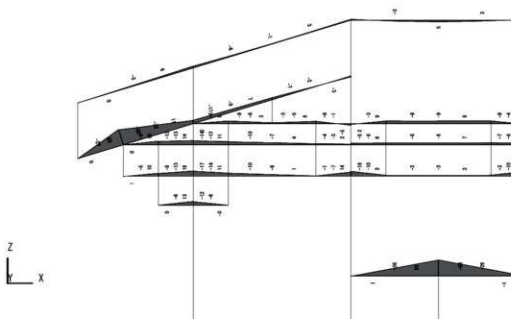


45° (曲げモーメント図：長期)

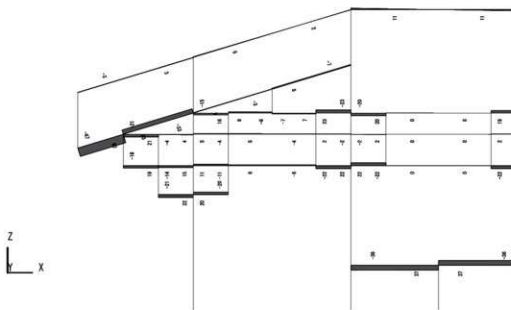


4-3 平の長期に生じる応力図(各重)

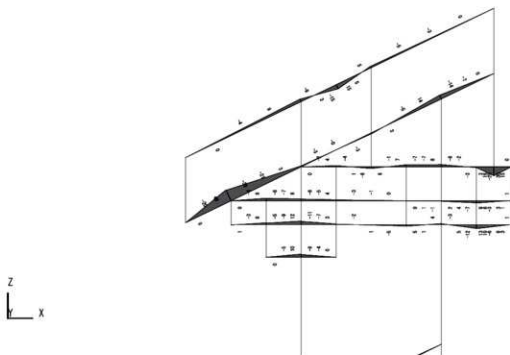
Y03+295 (応力図:長期) 七重尾垂木(平) および肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



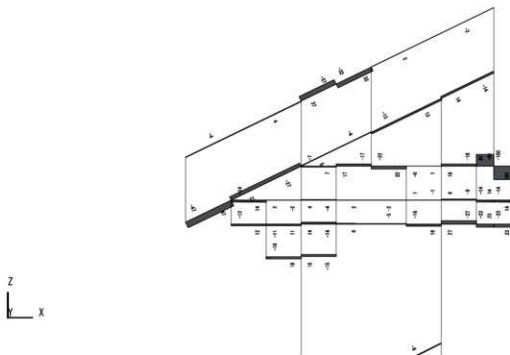
Y03+295 (応力図:長期) 七重尾垂木(平) および肘木 セン断力図 単位: kN



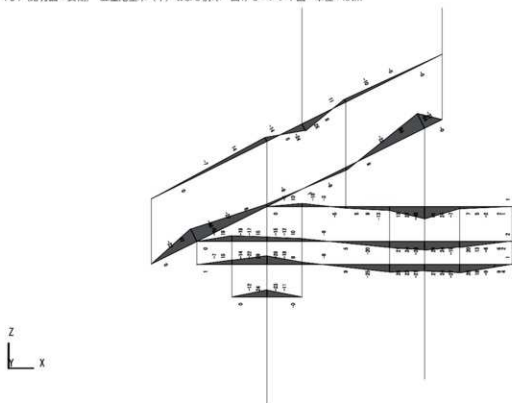
Y04 (応力図:長期) 六重尾垂木(平)および肘木 曲げモーメント図 単位:kNm



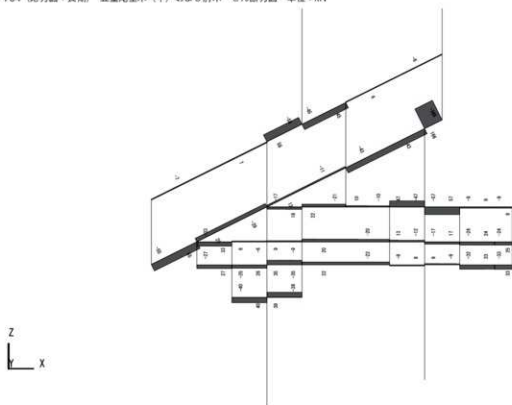
Y04 (応力図:長期) 六重尾垂木(平)および肘木 セン断力図 単位:kN



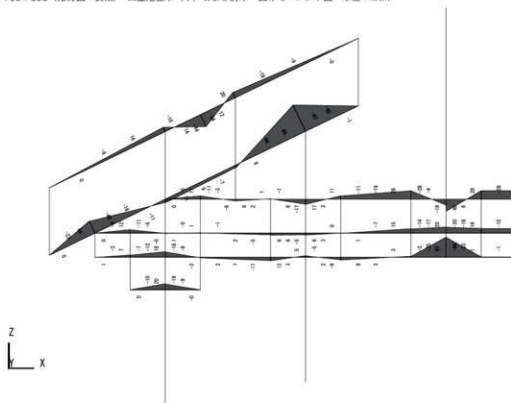
Y04 (応力図:長期) 五重尾垂木(平) および肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



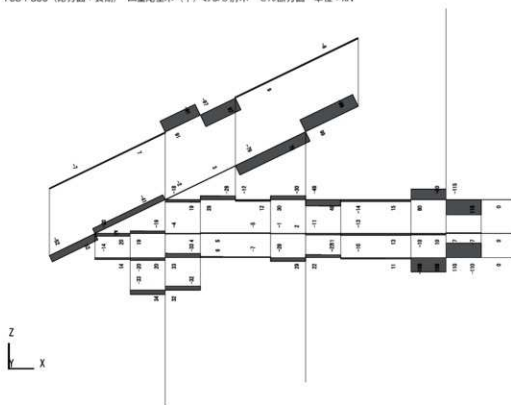
Y04 (応力図:長期) 五重尾垂木(平) および肘木 せん断力図 単位: kN



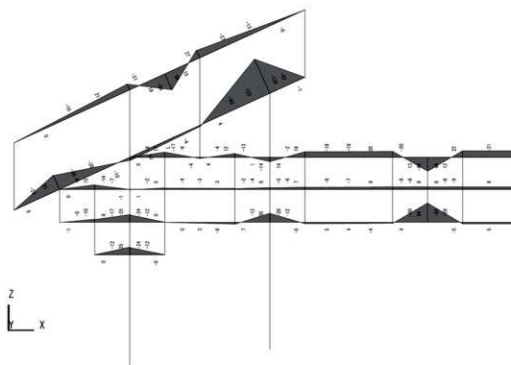
Y03+590 (応力図:長期) 四重尾巻木(平)および対木 曲げモーメント図 単位:kNm



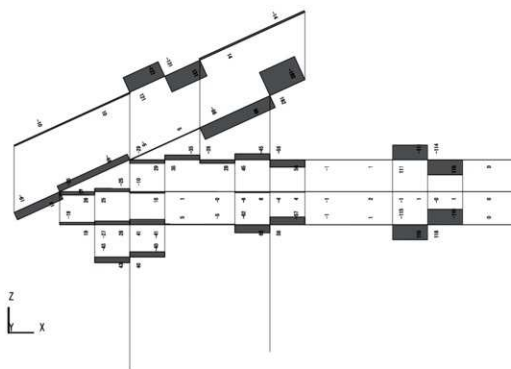
Y03+590 (応力図:長期) 四重尾巻木(平)および対木 セン断力図 単位:KN



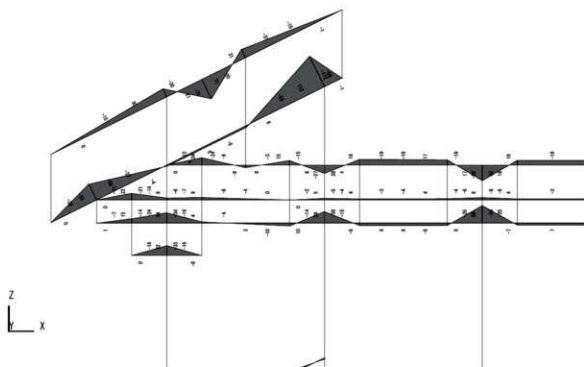
Y03+295 (応力図:長期) 三重尾巻木 (平) および討木 曲げモーメント図 単位: kNm



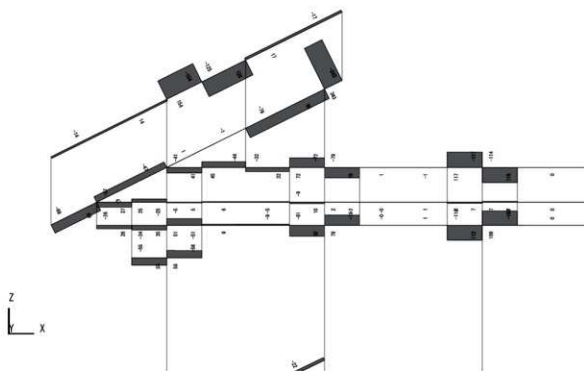
Y03+295 (応力図:長期) 三重尾巻木 (平) および討木 セン断力図 単位: kN



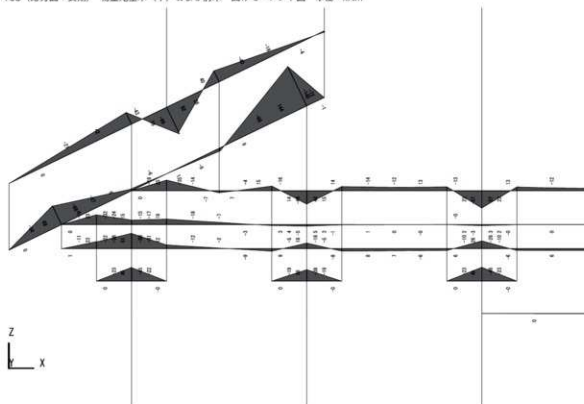
Y03 (応力図：長期) 二重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



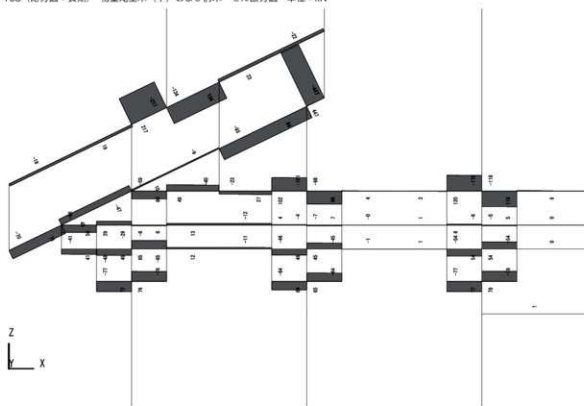
Y03 (応力図：長期) 二重尾垂木 (平) および肘木 セン断力図 単位：kN



Y03 (応力図:長期) 初重尾垂木 (平) および討木 曲げモーメント図 単位: kNm

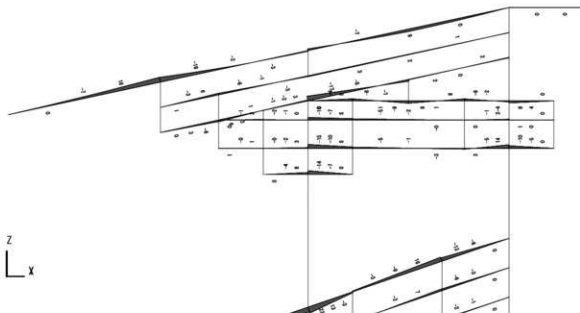


Y03 (応力図:長期) 初重尾垂木 (平) および討木 せん断力図 単位: kN

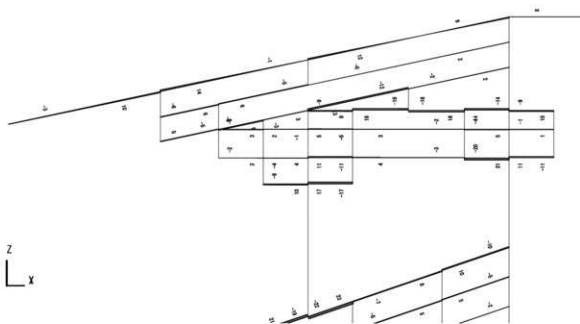


4-4 隣行きの長期に生じる応力図(各重)

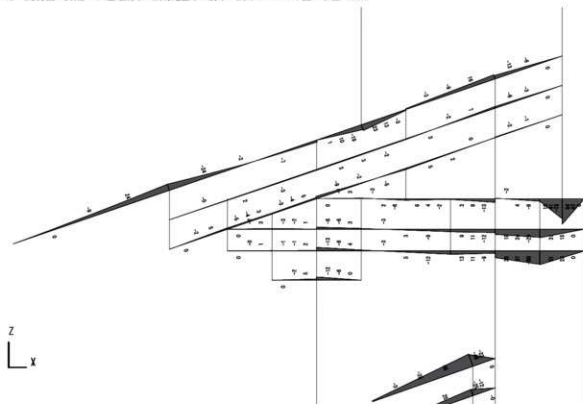
45° (応力図：長期) 七重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



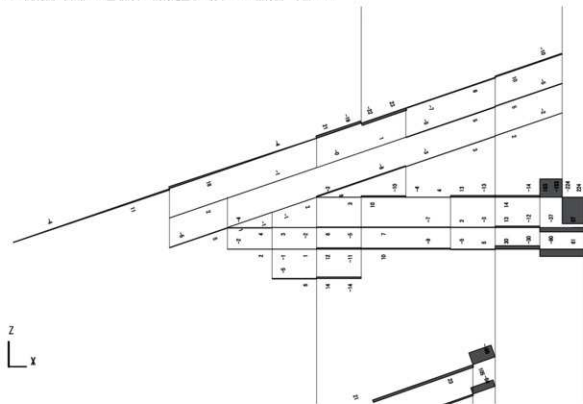
45° (応力図：長期) 七重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 せん断力図 単位：kN



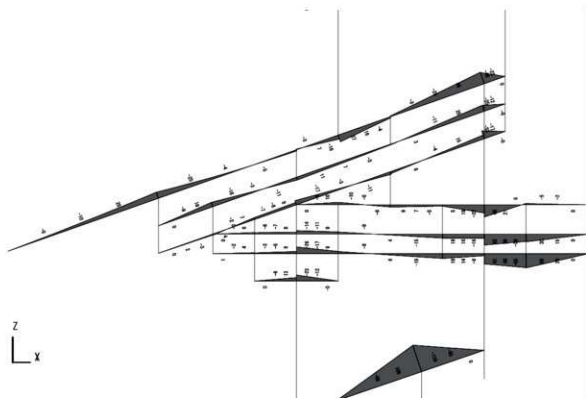
45° (応力図:長期) 六重地階木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



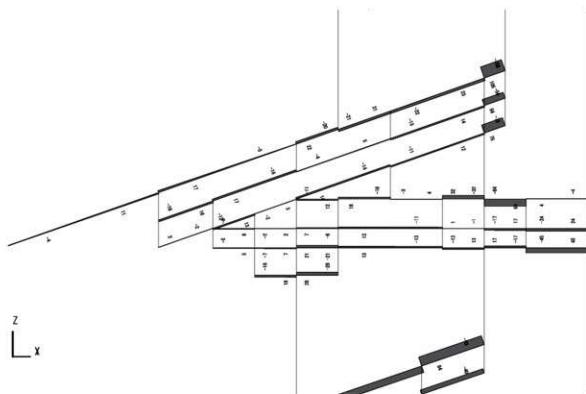
45° (応力図:長期) 六重地階木・隅行尾垂木・肘木 セA筋力図 単位: kN



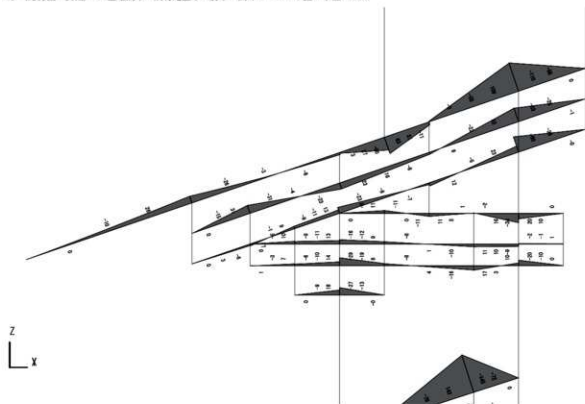
45° (応力図：長期) 五重地蔵木・隅行尾巻木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



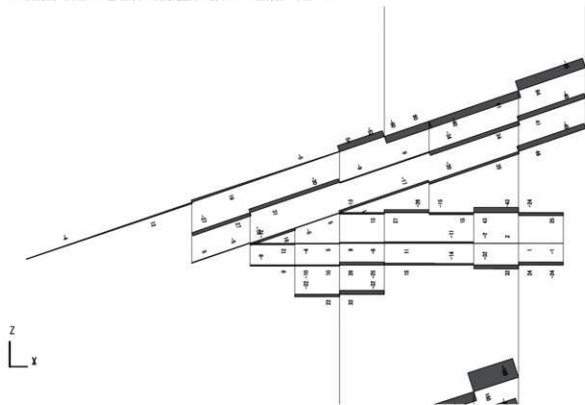
45° (応力図：長期) 五重地蔵木・隅行尾巻木・肘木 セン断力図 単位：kN



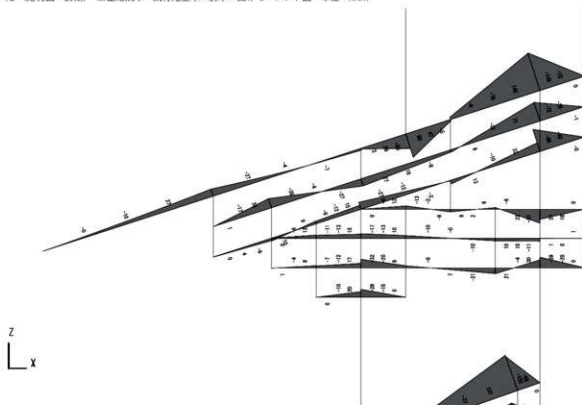
45° (応力図:長期) 四重地隔木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



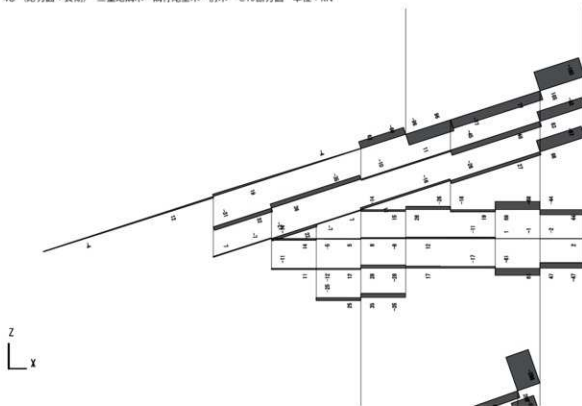
45° (応力図:長期) 四重地隔木・隅行尾垂木・肘木 セA筋力図 単位: kN



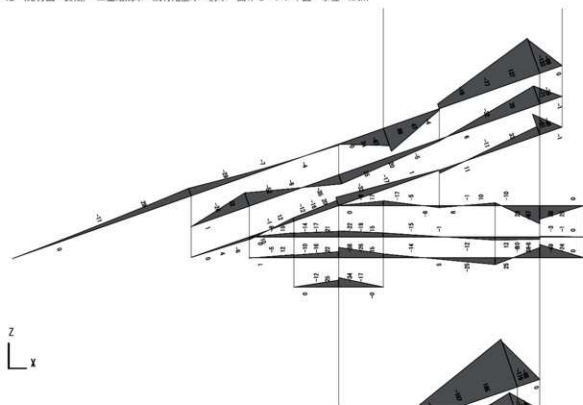
45° (応力図：長期) 三重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



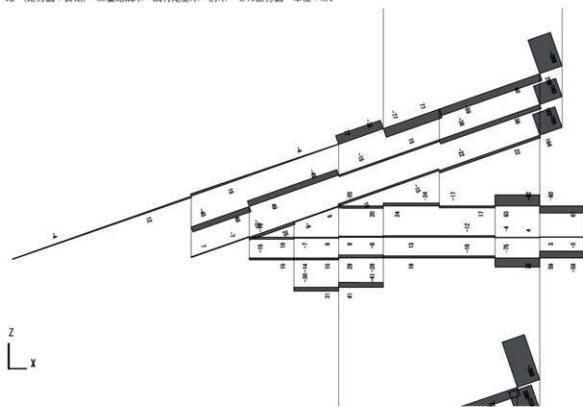
45° (応力図：長期) 三重地蔵木・隣行尾巻木・肘木 セン断力図 単位：kN



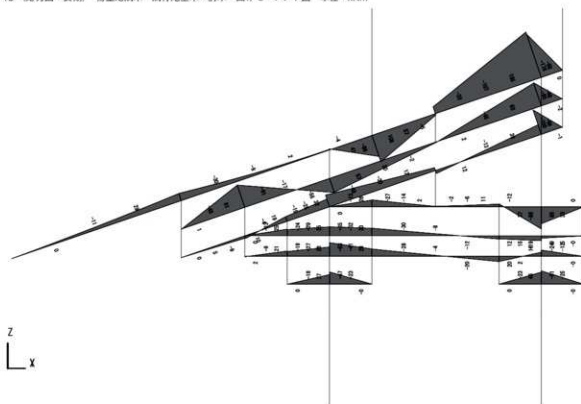
45° (応力図:長期) 二重地隔木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



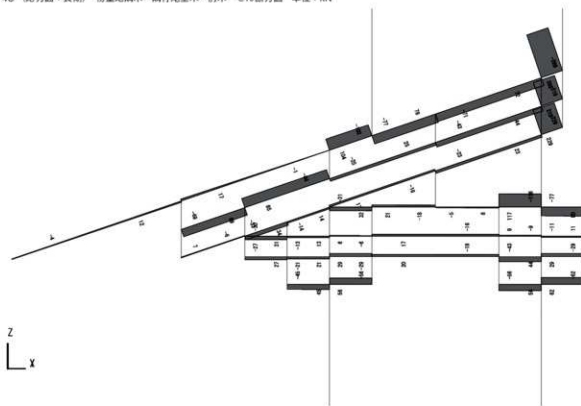
45° (応力図:長期) 二重地隔木・隅行尾垂木・肘木 セA筋力図 単位: kN



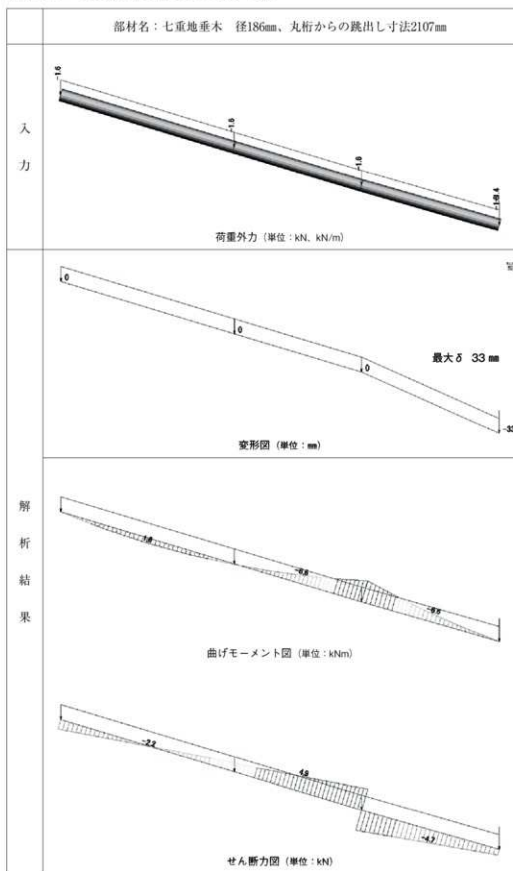
45° (応力図：長期) 初重地隔木・隣行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm

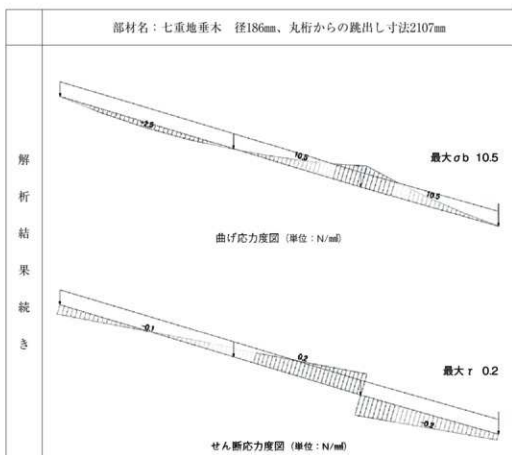


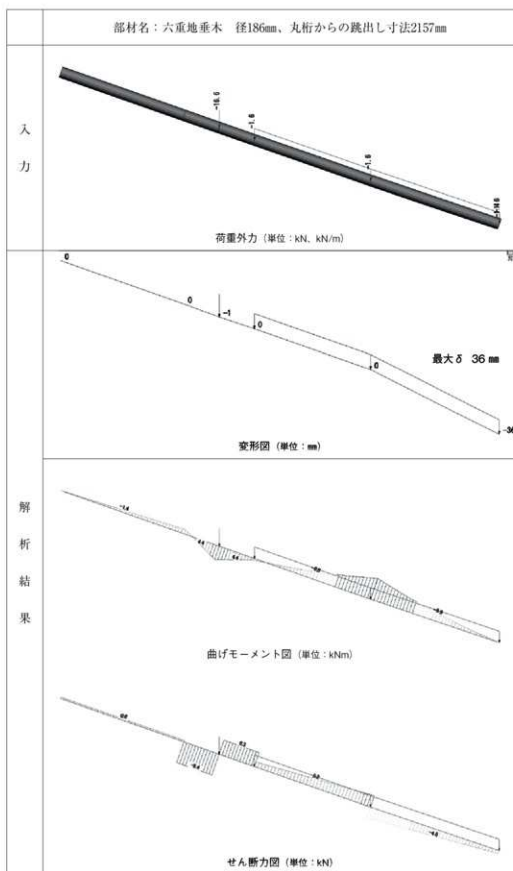
45° (応力図：長期) 初重地隔木・隣行尾垂木・肘木 セン断力図 単位：kN

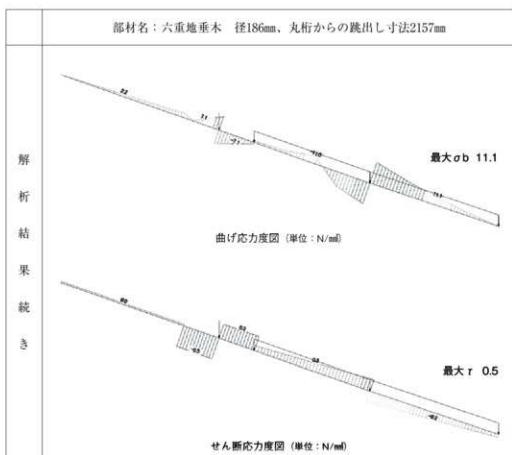


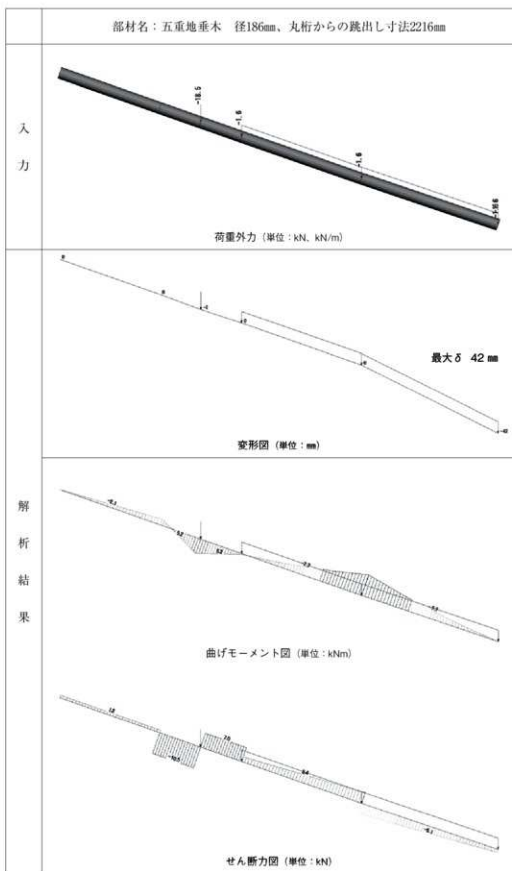
添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

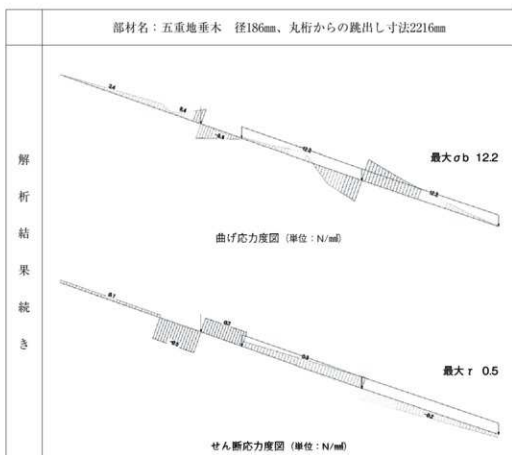


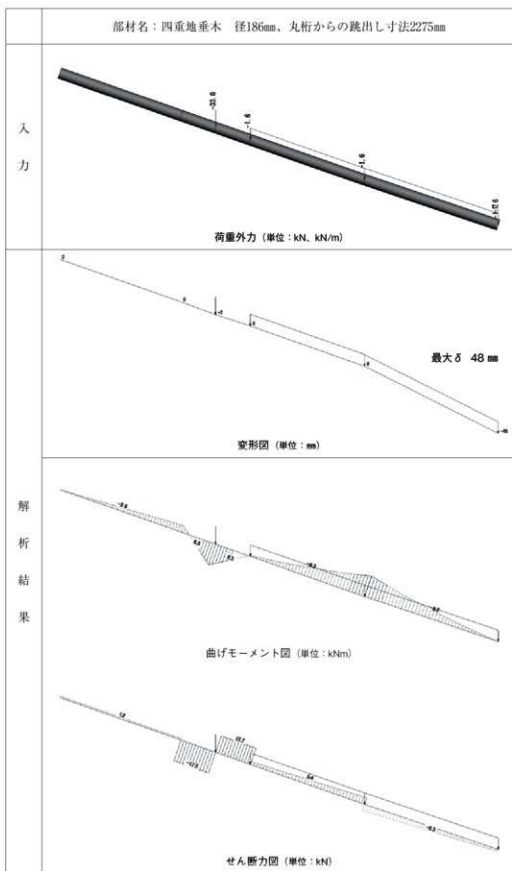


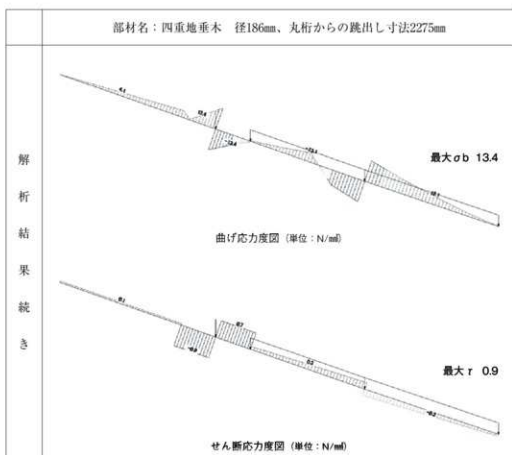


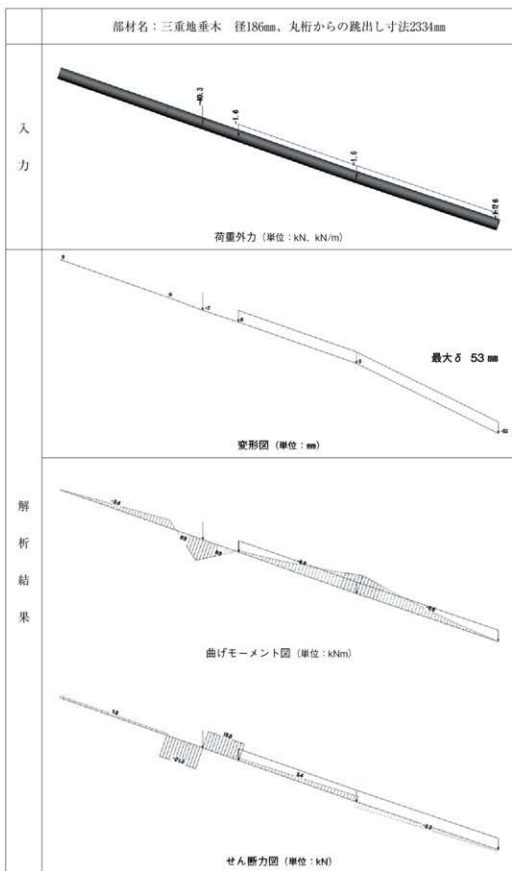


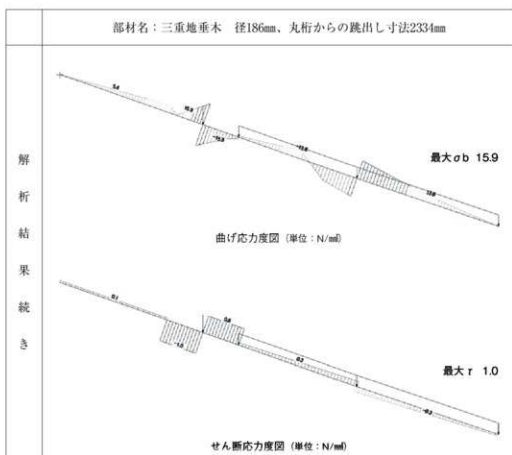


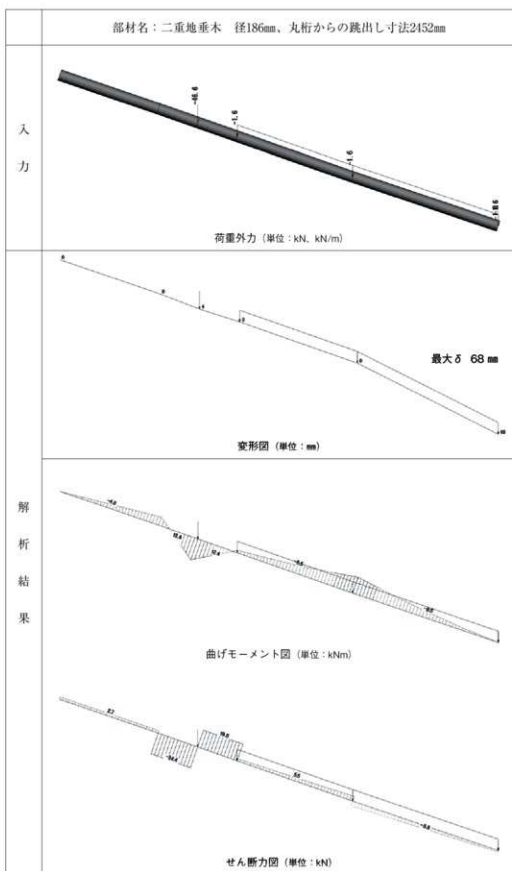




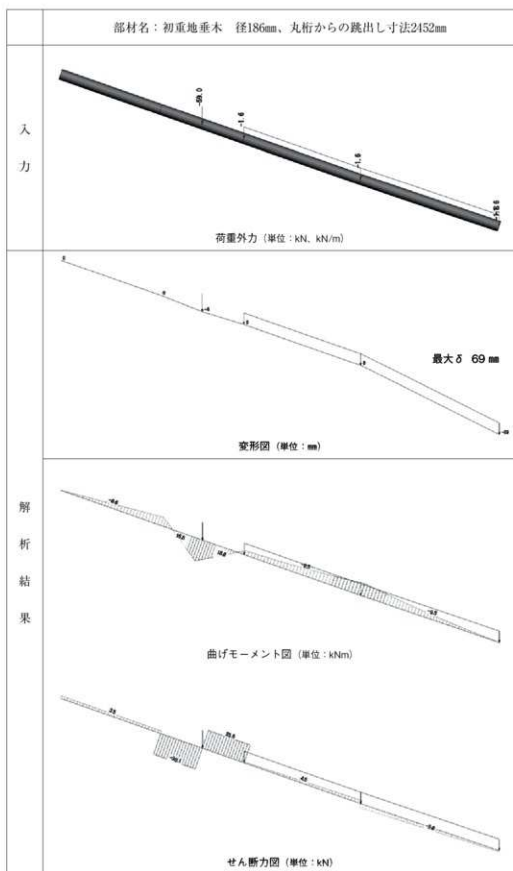






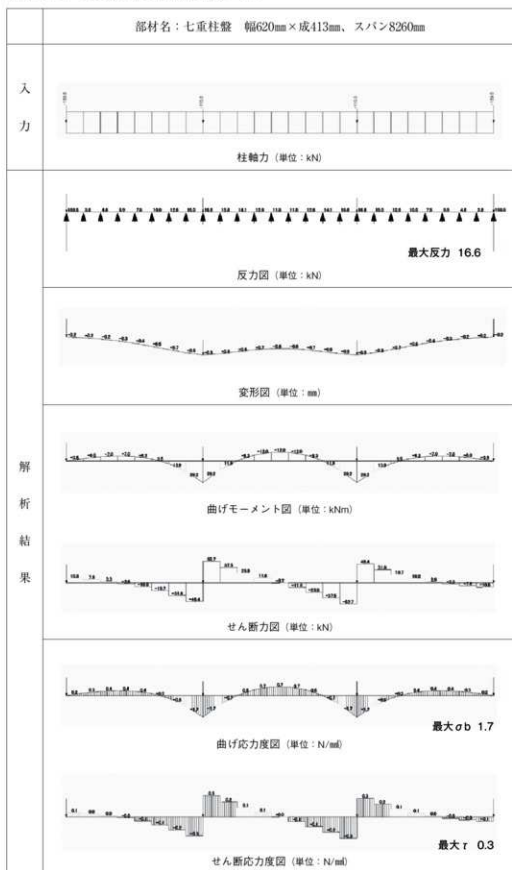


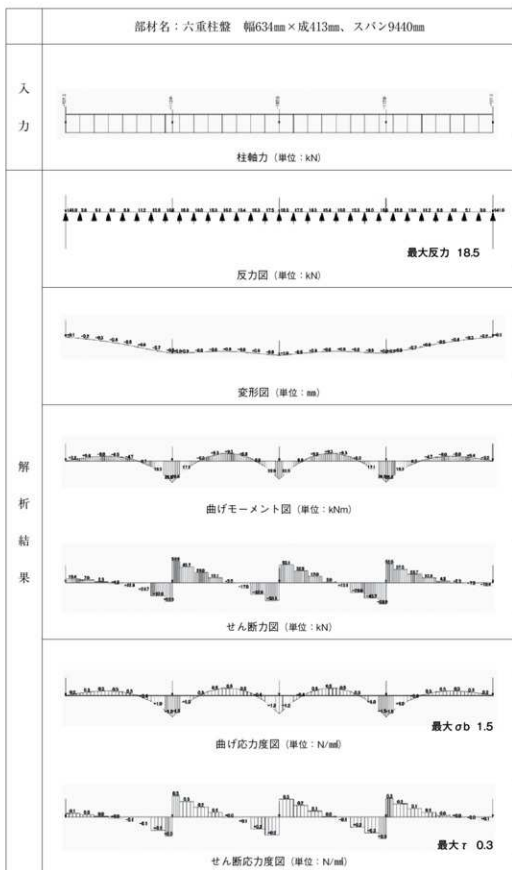


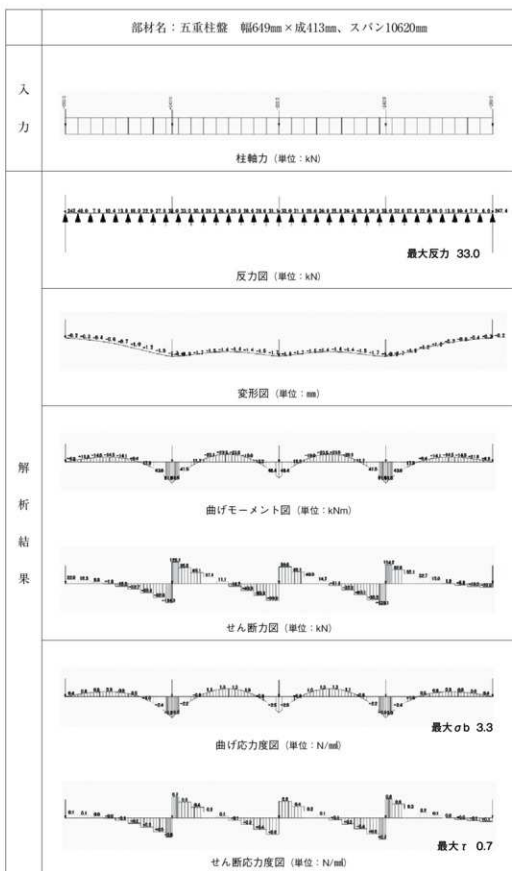


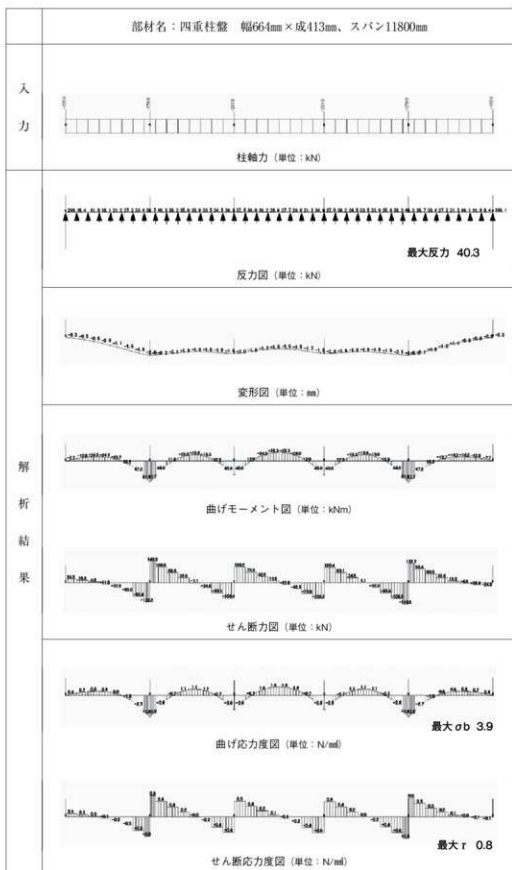


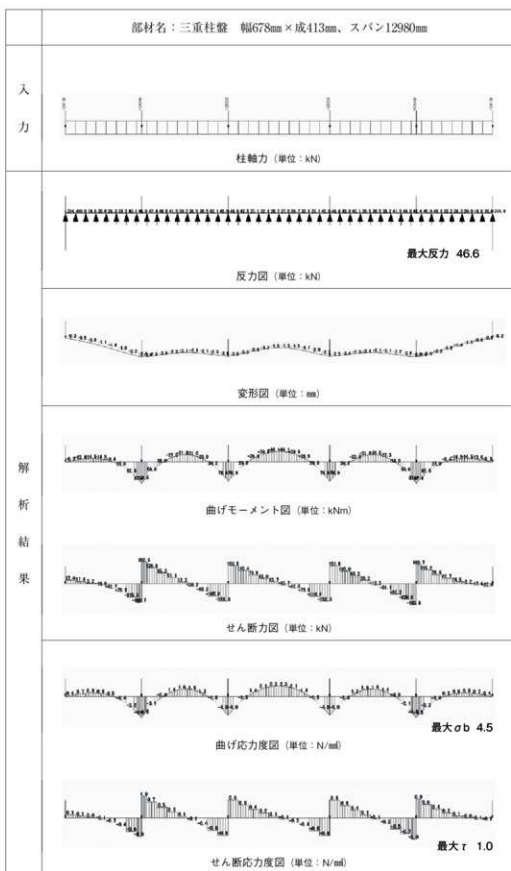
添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形

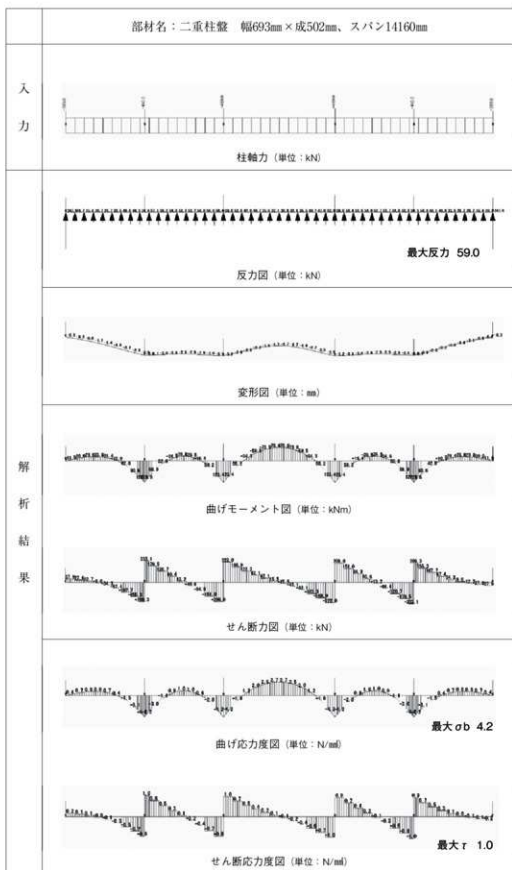












報告書抄録

ふりがな	とうだいじとうとうのふくげんけんきゅう						
書名	東大寺東塔の復元研究						
副書名							
巻次							
シリーズ名	奈良文化財研究所学報						
シリーズ番号	第104冊						
I S B N	978-4-911002-20-9						
編著者名	目黒新悟 山本光良 山本祥隆 西田紀子 箱崎和久 山崎有生 高田祐一 星野安治 今井見樹						
編集・発行機関	独立行政法人 国立文化財機構 奈良文化財研究所						
所在地	〒630-8577 奈良県奈良市二条町2丁目9番1号 電話：0742-30-6733						
発行年月日	令和6年(2024)3月29日						
研究期間	平成30年(2018)1月1日～令和6年(2024)3月31日 (宗教法人東大寺からの委託による)						
復元の対象	東大寺東塔						
建立・滅失年代	奈良時代創建の東大寺東塔 天平宝字8年(764)に相輪を設置(『東大寺要録』ほか) 治承4年(1180)の南都焼討で焼失(『東大寺統要録』ほか) 鎌倉時代再建の東大寺東塔 重源・栄西らにより再建 貞応2年(1223)に相輪を設置(『百錬抄』ほか) 康安2年(1362)の雷火で焼失(『龜元記』)						
復元原案の 員数・構造形式	奈良時代創建の東大寺東塔：1案 五間七重塔婆本瓦葺(全高230.8m 天尺=68.1m) 鎌倉時代再建の東大寺東塔：2案 三間七重塔婆本瓦葺(全高320.0m 鎌倉尺=96.0m) ・重源による構想を想定した大仏様を基調とした案 ・栄西による構想を想定した大仏様・初期禅宗様を基調とした案						
備考	本書は宗教法人東大寺からの委託により作成したもので、 [本文編]と[図版・資料編]の2分冊からなる。						
復元対象の遺跡	所在地	コード		北緯	東経	種別	主な時代
		市町村	遺跡番号				
史跡 東大寺 旧境内 (東塔跡)	奈良県奈良市 雑司町	29201	05D-0032	34°41'22"	135°50'24"	寺院	奈良時代 鎌倉時代

Abstract of the Report

Title		Theoretical Reconstruction of Tōdaiji's East Pagoda					
Subtitle							
Vol.							
Series Name		Research Report published by Nara National Research Institute for Cultural Properties					
Series No.		104					
ISBN		978-4-911002-20-9					
Editor and Author		MEGURO Shingo, YAMAMOTO Mitsuyoshi, YAMAMOTO Yoshitaka, NISHITA Noriko, HAKOZAKI Kazuhisa, YAMAZAKI Yuki, TAKATA Yuichi, HOSHINO Yasuharu and IMAI Koki					
Editing and Publishing Organization		Nara National Research Institute for Cultural Properties, National Institutes for Cultural Heritage, Independent Administrative Institution, Japan					
Address		2-9-1, Nijo-cho, Nara-shi, Nara, 630-8577, Japan Tel. +81-(0)742-30-6733					
Date of Issue		29th, March, 2024					
Research Period		From 1st, January, 2018 to 31st, March, 2024 * The research was commissioned by Tōdaiji, a religious corporation.					
Subject of Theoretical Reconstruction		Tōdaiji's East Pagoda					
Completion and Destruction Year		<p>The Nara-Period East Pagoda. The pagoda finial was constructed in 764 according to "Tōdaiji yōroku", etc. The pagoda was destroyed by the siege of Nara in 1180 according to "Tōdaiji zokuyōroku", etc.</p> <p>The Kamakura-Period East Pagoda rebuilt by Chōgen, Eisai/Yōsai, et al. The pagoda finial was constructed in 1223 according to "Hyakurenshō", etc. The pagoda was destroyed by the lightning in 1362 according to "Kagenki".</p>					
Number and Structure & Form of the Theoretical Reconstruction		<p>The Nara-Period East Pagoda. One theoretical reconstruction. Five bays, seven-story pagoda, traditional tiled roof. The total height of the pagoda body and finial is 68.1 meters.</p> <p>The Kamakura-Period East Pagoda rebuilt by Chōgen, Eisai/Yōsai, et al. Two theoretical reconstructions. Three bays, seven-story pagoda, traditional tiled roof. The total height of the pagoda body and finial is 96.0 meters.</p> <p>The Chōgen Reconstruction: Great buddha style. The Eisai/Yōsai Reconstruction: Great buddha style and early zen style.</p>					
Notes		The report was commissioned by Tōdaiji, a religious corporation and consists of two volumes: [Main Report] and [Figures and Structural Analysis Materials].					
Historic Site of Reconstruction	Location	Code		North Latitude	East Longitude	Type	Main Period
		Municipality	Historic Site				
East Pagoda Site, The Former Site of Tōdaiji as a National Historic Site	Zoshicho, Nara-shi, Nara	29201	05D-0032	34°41'22"	135°50'24"	Temple	Nara period and Kamakura period

令和6年(2024)3月22日印刷

令和6年(2024)3月29日発行

東大寺東塔の復元研究

[図版・資料編]

奈良文化財研究所学報第104冊

〒630-8577
奈良県奈良市二条町2丁目9番1号
編集兼
発行 者 独立行政法人 国立文化財機構
奈良文化財研究所

〒920-0855
石川県金沢市武蔵町7番10号
印刷者 能登印刷株式会社

ISBN 978-4-911002-20-9

