

資料編 9 令和元年度 社寺等における収蔵文化財の安全対策に関する研究事業 —転倒シミュレーション解析最終報告—

社寺等における収蔵文化財の安全対策に関する研究 —転倒シミュレーションを利用した解析（仏像編・令和元年度報告）—

京都国立博物館 降幡順子、中屋菜緒、近藤無滴

1: 事業内容

本事業は、立体的な文化財資料を公開・保管する社寺等の場において、地震による転倒防止対策として実施可能な方法の立案とその効果を明らかにすることを目的として実施している。京都国立博物館では、まず仏像彫刻を事例とするために、木造模刻（複製像）の制作し、その複製像を解析対象として、京都市消防局のご協力をいただき起震車を利用した振動・転倒実験を行ってきた。令和元年度は、その起震車上で得られたデータをもとに転倒シミュレーションを制作し、それを利用して立体作品の転倒パターン、転倒を防止する対策とその効果について検討した。本年度事業では転倒防止対策として、立体作品には改変を加えず、鑑賞を妨げないことを前提として、①床面の摩擦係数の違い、②円形プレートの設置、③スペーサーを設置した場合を想定し、シミュレーションを試みたので、その結果を報告する。



起震車実験

2: 解析手法

解析には、物体の大きな動きが表現可能な個別要素法を用い、物体が剛体と仮定し、衝突する物体間にバネ・ダンパを発生させることで、反発力や摩擦力を計算する。仏像の3Dスキャンデータはデータ量が多すぎて解析には向かないため、その凸包形状を解析に用いた。木製の円形プレートの上に仏像が固定されている場合を想定する場合は、底面のサイズが広がるため、転倒しにくくなる。転倒しにくくなった分、滑るようになるが、ロッキングする場合も想定して摩擦係数を大きくした場合も想定した。なおシミュレーション制作は（株）構造計画研究所に依頼した。



デジタイザによる計測

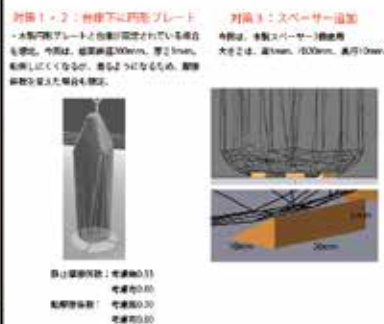


表2: 起震車再現実験の入力値と転倒防止対策検討項目

仏像	対策	入力地震波	入力方向
仏像 阿闍世	なし	JMA神戸湾湾域（震度5強）	0度
		JMA神戸湾湾域（震度5強）	90度
		JMA神戸湾湾域（震度5強）	180度
	円形台座追加 （摩擦考慮）	JMA神戸湾湾域（震度5強）	0度
		JMA神戸湾湾域（震度5強）	90度
		JMA神戸湾湾域（震度5強）	180度
スペーサー追加	なし	JMA神戸湾湾域（震度5強）	0度
		JMA神戸湾湾域（震度5強）	90度



図5: 起震車動作再現シミュレーション



図6: 台座追加に関するシミュレーション
→ 台座高を定めた場合、転倒方向が異なる

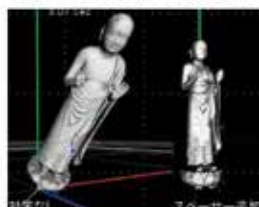


図7: 想定した転倒防止対策に関するシミュレーション1・2
対策なしの場合に入力方向が0度のときに転倒。木製円形プレートを設置した場合、摩擦を考慮しない場合では、震度6強でも転倒しないが35cm滑動した。摩擦を考慮した場合は震度6強で転倒しうるへ転倒した。

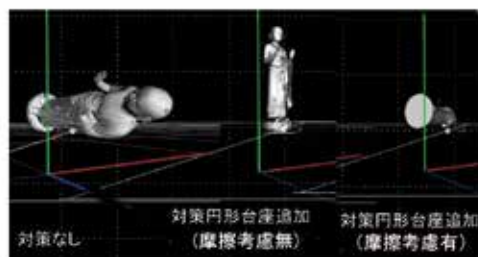


図8: 想定した転倒防止対策に関するシミュレーション3
入力方向が0度のとき、前にスペーサーを設置すると一定の転倒防止効果が得られた。

3. 結果と考察

シミュレーションは、加速度センサーの計測結果、動画などをもとに、まず実際の起震車上での動作を再現できるように調整をおこなった。起震車自体の揺れなど、今後さらに改善するべき課題もあるが、第一段階としてはほぼ再現できたので、それを用いて各種の検討をおこなった。

まずスペーサーを追加した場合は、特定の方向に転倒させたくないときに、設置場所により転倒する向きを変化させることができたため、転倒方向を考慮する際に活用できる可能性がある。スペーサーの形状は、今回は1種類のみであったため、形状・大きさについても検討をしていきたいと考えている。また円形プレートを裏面に追加した場合、摩擦係数を小さくすると、転倒はしないものの最大35cm滑動することがわかるなど、シミュレーションにより、転倒防止に関する対策について、その効果を検討することができた。

今後は、シミュレーションの精度を向上させるとともに、摩擦係数等の設定条件の検討や、他の立体作品についても計測を行い、シミュレーションを継続して実施し、転倒防止対策に役立てていきたいと考えている

