

第 I 部門

中詰め材が石橋の耐震性に及ぼす影響に関する研究

| | | | |
|--------------|-----|----|----|
| 京都大学大学院工学研究科 | 学生員 | ○東 | 祐輔 |
| 京都大学大学院工学研究科 | 正会員 | 古川 | 愛子 |
| 京都大学大学院工学研究科 | 正会員 | 清野 | 純史 |

1. 研究の背景と目的

九州を中心に日本には多くの石橋が存在しており、地震時に壁面の崩壊や孕みだし等の被害が報告されているが、石橋内部を充填している中詰め材に原因があると考えられる被害も発生している。礫材と土が混合したもので充填されている橋が多いが、壁石と同程度のサイズの碎石のみで充填された橋も存在しており、中詰め材が石橋の耐震性に及ぼす影響に関しては未解明の部分が多い。本研究では中詰め材としての碎石のサイズによる耐震性の違いを明らかにする目的で振動台実験とその再現解析を行った。石橋全体ではなく、被害の生じやすい石橋の根本部分を橋軸に直交する断面で切り出したモデルを対象とし、橋軸直交方向の揺れに限定して検討を行った。

2. 振動台実験

振動台実験にあたり作成した石橋断面モデルを図1に示す。6×7×8cmのコンクリートブロックにより石橋の壁面部分を作成し、その内側に碎石を充填した単純なモデルである。充填する碎石は大小2種類の碎石を用意しており、40~100mmのものを碎石大、20~30mmのものを碎石小として使用している。なお、今回は単純化のため実橋における道路部分のモデル化は省略している。



図1 作成した石橋断面モデル

実験においては2, 4, 6, 8Hzの正弦波を大小それぞれの碎石を充填した断面モデルに作用させる計8ケースの実験を2回行った(EX1, EX2)。正弦波は試験体の様子を観察しながら徐々に振幅を上げた。各周波数における崩壊時の振動台の加速度を図2に示す。青色で碎石大の結果を、赤色で碎石小の結果をプロットしている。図2より碎石大を使用した場合、耐震性が高くなることが分かった。

崩壊時、壁面が段階的に傾く様子が観察された。例として、2Hz加振時の崩壊の瞬間の振動台の絶対変位(凡例: Table)と崩壊の起きた左壁2,4,6段目の振動台に対する相対変位(凡例; Left 2,4,6)を図3に示す。外(左)側方向への変位を正としている。碎石小では振動台の変位が最大になった直後に段階的に壁石が外側に動く様子が確認できるが、碎石大では外側に動いた石が内側に戻るような動きが見られた。また、碎石自体の崩れにくさにも大きな違いが見られた。碎石小では中詰め材が斜面状に崩壊したのに対し、碎石大は中詰め材の大部分がそのままの形状で残っていることが確認された(図4)。これらの結果と実験時の観察を踏まえると壁石が外側に動いたことによって生じる隙間に中詰め材が流れ込むことで崩壊が起これと考えられる。そのため中詰め材自体が崩れにくい碎石大は耐震性が向上したと考えられる。

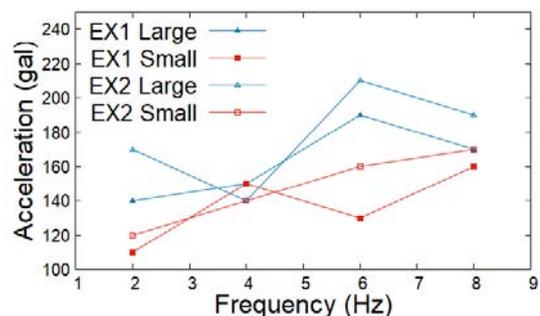


図2 崩壊時の振動台加速度 (実験)

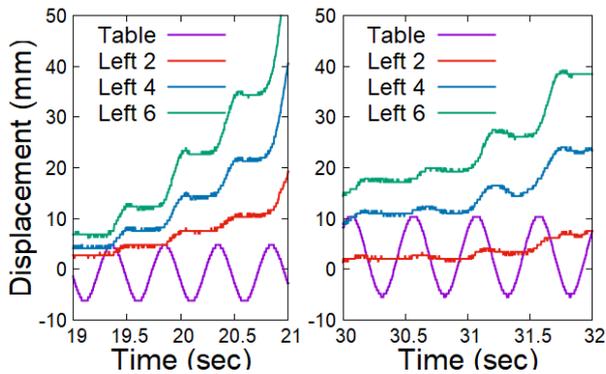


図3 崩壊時変位波形(2Hz, 左: 碎石小 右: 碎石大)

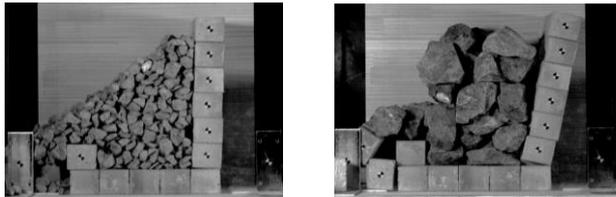


図4 崩壊後の様子(2Hz, 左: 碎石小 右: 碎石大)

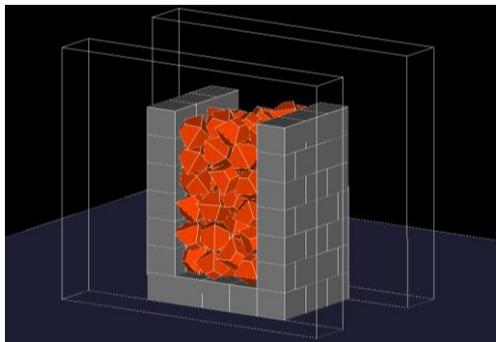


図5 作成した石橋断面モデル

3. 再現解析

改良版個別要素法²⁾を用いて振動台実験を再現した。解析モデルを図5に示す。碎石は図6に示す双四角錐台(十面体)によりモデル化しており、基準辺が6cm, 2.5cmのものをそれぞれ碎石大・碎石小として使用した。入力加速度としてEX2において振動台上で計測した加速度を用いた。コンクリートの密度を 2.2t/m^3 、ヤング率を $3.3 \times 10^{10}\text{ N/m}^2$ 、碎石の密度を 3.2t/m^3 、ヤング率を $5.3 \times 10^9\text{ N/m}^2$ 、摩擦係数はコンクリート間を0.666、碎石間を0.2、コンクリートと碎石間を0.772とした。

実験時と同様に解析における崩壊時加速度を図7に示す。碎石大の方が耐震性が高くなる傾向を再現することができた。図8に8Hz加振時の崩壊直前の様子を示す。碎石大では壁面と中詰め材の間に隙間が見られるのに対し、碎石小では中詰め材が流れ込むため隙間が見られない。碎石大の中詰め材自体の崩れにくさが耐震性向上に寄与していると推察される。

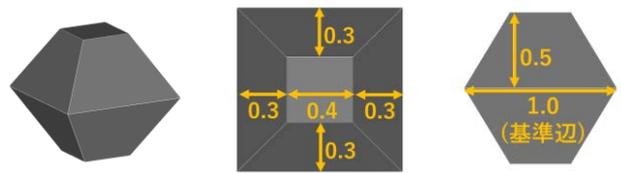


図6 双四角錐台による碎石のモデル化

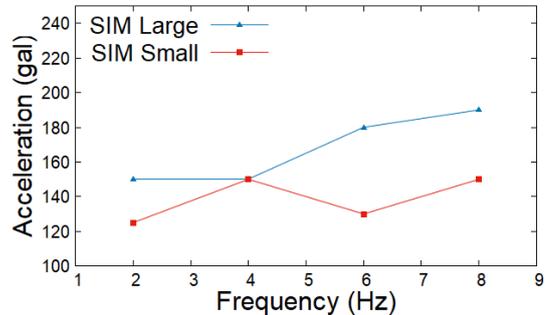


図7 崩壊時の入力加速度 (解析)

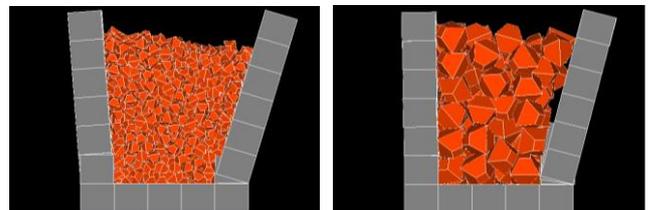


図8 崩壊時の様子(8Hz, 左: 碎石小 右: 碎石大)

4. 結論

本研究では石橋断面モデルによる大小2種類の碎石を用いた振動台実験とその再現解析を行った。

実験の結果より大きいサイズの碎石を使用することで耐震性が向上することが確認された。断面モデルにおける壁面崩壊のメカニズムとして、壁石が外側に動いたことで生じる隙間に碎石がなだれ込むことで崩壊が生じると推測される。碎石サイズによって碎石自体の崩れにくさが変わることから耐震性に違いが出たと考えられる。

改良版個別要素法による再現解析では碎石サイズによる耐震性の違いを再現することができた。

本研究で使用した石橋断面モデルは実橋をかなり単純化しているため、今後はより実橋に近いモデルを用いて崩壊メカニズムを解明していく必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：2016年熊本地震被害調査報告書，丸善，2016。
- 2) Aiko Furukawa, et al : Proposal of a numerical simulation method for elastic, failure and collapse behaviors of structures and its application to seismic response analysis of masonry walls, Journal of Disaster Research, Vol.6, No.1, 2011.