

砕石中詰め材の大きさと石橋の耐震性の関係について

京都大学 学生員 ○東 祐輔
 京都大学 正会員 古川 愛子
 京都大学 正会員 清野 純史

1. 研究背景と目的

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壁面の崩壊や孕みだし等の被害が発生している。礫材と土を混合したもので充填された橋が多いが、壁石と同程度のサイズの砕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。本研究では砕石中詰め材の大きさ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。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作成した石橋壁面内部に砕石を充填した単純なモデルである。充填する砕石は大小2種類の砕石を用意しており、40~100mmのものを砕石大、20~30mmのものを砕石小として使用している。なお、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

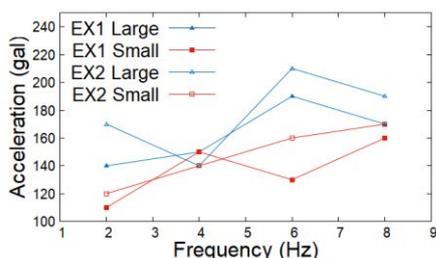


図2 崩壊時の振動台加速度 (実験)

実験では2, 4, 6, 8Hzの正弦波を大小それぞれの砕石を充填した断面モデルに作用させる計8ケースの正弦波加振実験を2回行った(EX1, EX2)。試験体の様子を観察しながら加速度を徐々に上げた。

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。砕石大・小の結果をそれぞれ青・赤でプロットした。図2より砕石大を使用した場合、耐震性が高くなることが分かった。また、崩壊時に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た。砕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、砕石大では外側に動いた石が内側に戻る動きが見られた。砕石自体の崩れにくさにも大きな違いが見られ、砕石小では斜面状に崩壊したのに対し、砕石大では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ると考えられる。そのため中詰め材自体が崩れにくい砕石大は耐震性が向上したと考えられる。

続いて、試験体の振動特性を調べるための共振実験を行った。大小それぞれの砕石を充填した試験体に対し、試験体が崩壊しないような2~3mmのわずかな変位で振動させ、1~10Hzまで振動数を徐々に上げた。加振時に右壁最上段ブロックで計測した加速度のフーリエスペクトルを振動台の加速度のフーリエスペクトルで割ることにより共振曲線を求めた。バンド幅0.6HzのParzenウィンドウで平滑化した共振曲線を図5に示す。共振曲線より試験体の共振振動数は30Hz以上であり、2~8Hzの範囲で行った今回の正弦波加振実験においては共振の影響が小さいことが確認された。よって、試験体の崩壊は中詰め材による影響が大きいと推測される。

キーワード 石橋, 中詰め材, 振動台実験, 改良版個別要素法

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 TEL 075-383-3252

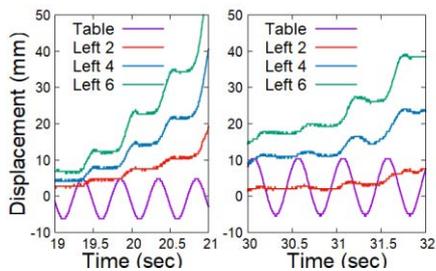


図3 崩壊時変位波形(2Hz, 左: 砕石小 右: 砕石大)

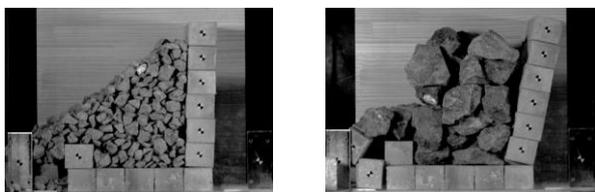


図4 崩壊後の様子(2Hz, 左: 砕石小 右: 砕石大)

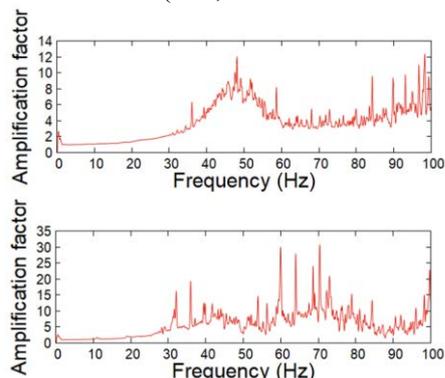


図5 共振曲線 (上: 砕石小 下: 砕石大)

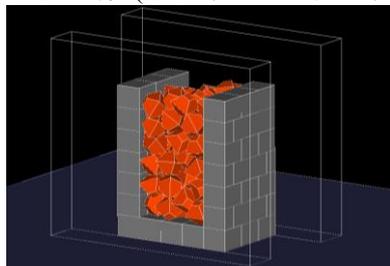


図6 解析に使用した石橋断面モデル

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。作成した解析モデルを図6に示す。砕石は図7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のものをそれぞれ砕石大・砕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 $3.3 \times 10^{10}\text{N/m}^2$ 、砕石の密度を 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、砕石間を0.2、コンクリートと砕石間を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8に示す。砕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9に8Hz加振時の崩壊直前の様子を示す。

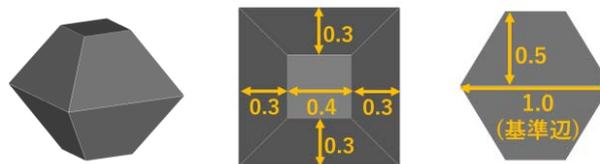


図7 双四角錐台による砕石のモデル化

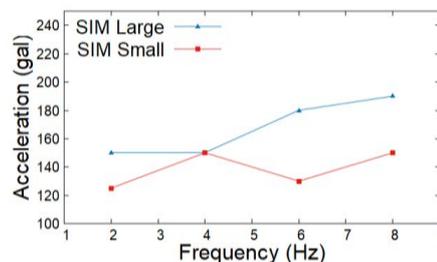


図8 崩壊時の入力加速度 (解析)

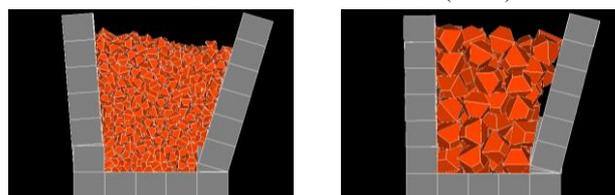


図9 崩壊後の様子(8Hz, 左: 砕石小 右: 砕石大)

砕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、砕石小では中詰め材が流れ込むため隙間が見られない。砕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。

4. 結論

本研究では石橋断面モデルによる大小2種類の砕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砕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、壁面の石が外側に動いたことで生じる隙間に砕石がなだれ込むことで崩壊が生じると推測される。砕石サイズによって砕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砕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