

石ブロック形状の変化による耐震性向上に関する振動実験

熊本高等専門学校 正会員 ○岩坪 要
 熊本高等専門学校 非会員 石川龍星
 徳島大学 正会員 森山仁志
 熊本大学 フェロー会員 山尾敏孝

1. 目的

2016年熊本地震では19橋の石橋が被害を受けており、その多くが壁石の崩壊であった。また、比較的大きな地震に遭遇した際の城壁の被害も数多い。石橋のような組積構造は、鉛直方向には石ブロックによる自重を強固に支えているが、面外方向への抵抗力は抵抗できず、石ブロックが面外方向に出る被災状況を示すことが多い。飛び出す原因としては、裏込め土が内側から石ブロックを押し出すことによって孕みが生じたことと、頂部付近の石ブロックの場合は、上部からの圧縮力が作用しにくいためによるものと考えられる。特に中小規模の石橋の壁石は比較的直立しているために、横方向からの作用に対しては抵抗力が低いものと考えられる。そこで本研究では、ブロックの形状を変化させることで、石ブロックの自重の重量を活かし、石壁の崩壊を防ぐ方法を検討し、振動実験にてその有効性について検討を行った。

2. 実験供試体

石橋の壁石に注目しているが、本研究では石ブロックを積んで壁形式とした供試体で実験をすることにした。石ブロックは市販の速乾コンクリートを用い、コンクリートの曲げ試験片を製作するための3連型枠を用いてブロックを製作し、図2(a)に示す直方体ブロック(Nシリーズ)と、本研究で提案する傾斜ブロック(図2(b), Sシリーズ)を製作した。石ブロックを直立に積み上げると図2に示すようになり、頂部までの高さを合わせたため段数が異なっている。傾斜ブロックは自重により裏面に滑る形状であるが、表面の摩擦力により自立した状態で滑りは発生しない。図2(a)の直立壁の頂部ブロックの飛び出しは、ブロックの転倒モーメントによるものと考え、外側の1点周りのモーメントが、自重によるモーメントよりも大きくなった場合に転倒(飛び出す)ことになる。また、表面の不整合によって加振時にブ



(a) 床瀬川橋 (南阿蘇村)

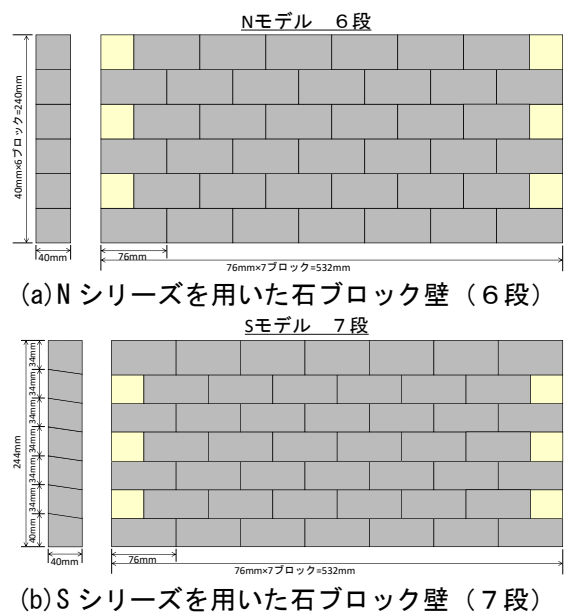
(b) 松江城址の城壁 (八代市)
 図1 2016年熊本地震での被害

図2 実験した石ブロック壁
 (※寸法は製作誤差がある)

ック単体が振動する現象にも着目した。高い周波数時にはブロックが共振することもあり、変形を増長させることがある。計測は3Dモーションキャプチャを用い、約0.3Gと固定したsin波を、周波数を数種に変化させて10秒間加振した。

キーワード 石橋, 耐震, 転倒モーメント, モーションキャプチャ

連絡先 〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627 TEL 0965-53-1339 E-mail iwatsubo@kumamoto-nct.ac.jp

3. 加振実験

(1) 固有振動数の実験

石ブロック壁を用いて、1Hz から 15Hz までの 1Hz 刻みで sin 波加振（加速度 0.3G）によって崩壊状況を調べた。その結果、崩壊形式として①完全に崩壊する形態、②崩壊しないがブロックのずれが出る形態に大別できることがわかった。その結果、Nモデル6段では 2Hz～9Hz の間は①の形態が多く、②の形態が 10Hz～14Hz の間で見られた。これに対し Sモデル7段では、2Hz～9Hz の間で②の形態のケースが多かった。この結果を踏まえ、加振周波数を 2Hz, 4Hz, 8Hz, 12Hz の 4 ケースと決定した。

(2) 加振時の挙動計測実験

崩壊に至るまでの挙動をモーションキャプチャ『Venus 3D-R（ノビテック社製）』を用いて計測した。石ブロック壁を組み立てた後、縦方向と横方向に一列になるように等間隔にシールタイプの反射マーカーを貼付した。

加振終了付近での石ブロック壁の挙動を図3に示す。直立に積んだ Nモデル6段のブロックは加振方向に沿って大きく揺れるように動いていることが分かる。図3の状態後、4Hz 加振は崩壊し、8Hz 加振は崩壊しなかった。これに対し、Sモデル7段のブロックは、表側よりも壁側への石ブロックの移動が目立ち、いずれも壁側にブロックが落ちていた。

図4にモーションキャプチャでの解析状況を示し、加振後のブロックの移動量を図5に示す。赤線が傾斜ブロックの変位を示すが、上部は壁側に、中部はほぼ初期の位置にあることが分かる。対して Nモデルでは、表側へのブロックの移動が大きく表れている。従って、裏込め土を入れた場合、振動下でもブロックは壁側に移動しようとするため、飛び出しが抑制されることが確認できた。

4. 結論

直立に積んだ石ブロック壁の面外方向への飛び出し崩壊を抑えるための対処方法は、石材同士の物理的な接合や隙間への充填剤の注入なども有効であるが、力学を上手に活かして添材なしでも耐震性能向上が可能であると考えられる。今後は裏込め土（砂利、土）を考慮した実験を行う予定である。

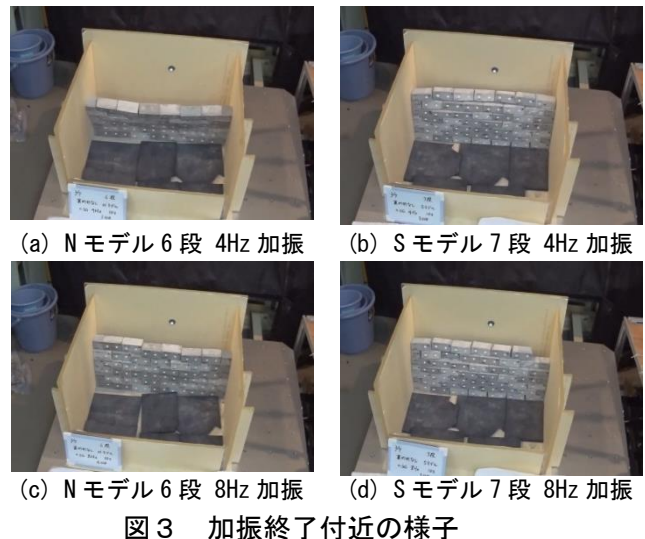


図3 加振終了付近の様子

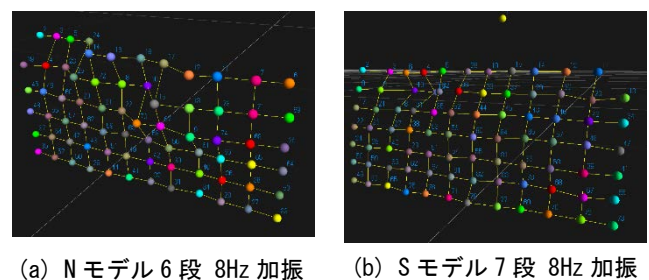


図4 モーションキャプチャでの解析

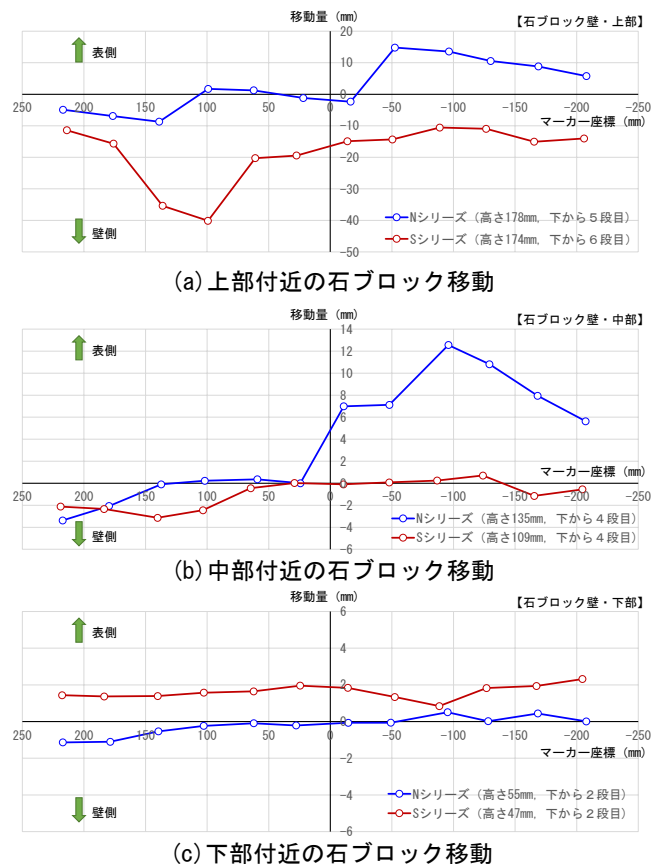


図5 加振終了時のブロックの移動状態

【参考文献】 1) 一般社団法人九州橋梁・構造工学研究会：2016年熊本地震被害調査・分析報告書，2019。2) 恒川怜央ほか：2016年熊本地震における熊本城内の石垣被害および崩壊挙動解析，歴史都市防災論文集 Vol. 12, pp. 1-8, 2018。