

論文 ブロック積擁壁の連結法が動的挙動に与える影響

淵 靖文^{*1}・長友 克寛^{*2}・松山 哲也^{*3}・松原三郎^{*4}

要旨：本研究は、5段積プレキャストコンクリート製大型ブロック積擁壁の1/10試験体を用いた振動実験を実施し、その動的挙動を検討したものである。主な測定項目は、試験体の頂部変位、ブロック数箇所での加速度、側面のコンクリート歪、連結金具に用いた鋼線の歪である。実験では、転倒破壊のみを対象とした。実験に使用したブロックは中央と側面に開口部を有しており、その中込材としてコンクリート、碎石、およびその両者を使用した場合の影響を調べた。さらに、側面開口部については、中込材の代わりに連結金具を貼付した場合の挙動も検討し、その実用化の可能性について考察した。

キーワード：ブロック積擁壁、動的挙動、高炉スラグ碎石、リサイクル

1. はじめに

近年、施工性や経済性等の高さからプレキャストコンクリート製大型ブロック積擁壁の使用実績が着実に上昇してきている。通常、この擁壁の地震時安定計算には、擁壁および背面の土くさびに慣性力を考慮する慣用的設計法が準用されている¹⁾。しかし、ブロック積擁壁は後方底版をもたないため、地震時における擁壁の前方への回転に伴う背面土からの浮き上がり、揺り戻しの際の擁壁と背面土との衝突の可能性が捨てきれない。より合理的な設計法の確立のためには、このような地震時挙動の検討を詳細に行っておく必要がある。

一方、この擁壁に使用されるコンクリートブロックには、中空部と側面開口部が設けてある。そして、ブロックを一段積み上げる毎にその高さの2/3まで中込コンクリートをこれらの開口部に打設することによって擁壁としての一体化が図られている。しかし、さらなる施工性の向上やコスト削減の観点からは、何らかの方法で中込コンクリートの減量化を図ることが望まれる。この具体策としては、中込コンクリートの一部をスラグ骨材や建設残土等のリサイクル材で置

換したり、鋼製金具を用いて一体化したりすることが考えられる。

以上のことを踏まえて、本研究では、コンクリート大型ブロック積擁壁の縮小模型を作製し、各ブロックを金具で連結したり、中込コンクリートの一部を碎石で置換したりした条件での振動実験を実施し、その動的挙動への影響を実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 ブロック模型

写真-1に今回作製した大型ブロックの模型、図-1にその形状・寸法をそれぞれ示す。この模型は、標準的な形状・寸法のプレキャストコンクリート大型ブロック製品を1/10に縮小し



写真-1 大型ブロックの模型

*1 高松工業高等専門学校専攻科学生 建設工学専攻（学生会員）

*2 高松工業高等専門学校教授 建設環境工学科 博士（工学）（正会員）

*3 日本興業株式会社 技術開発部 博士（工学）（正会員）

*4 高松工業高等専門学校 建設環境工学科

表－１ 実験概要

試験体No.	擁壁の種類	一体化の方法		金具連結方向
		中空部	側面開口部	
1	一体型	コンクリート	コンクリート	
2	側面一体型	5段分 砕石投入	コンクリート	
3	金具連結型	5段分 砕石投入	金具	フランジに平行
4	金具連結型	5段分 砕石投入	金具	接合面に直角
5	金具連結＋下部一体型	上部：3.5段分 砕石投入 下部：1.5段分 コンクリート	金具	接合面に直角

たものであり、中央に84×104mmの中空部、両側面に42×104mmの開口部をもつ。

2.2 試験体

表－１に実験に用いた擁壁の種類を示す。本研究では、以下に示す3種類の試験体を用いて実験を行った。

(1)5段分のブロックと同じ大きさの1個のコンクリートブロック試験体No.1（以後、一体型試験体と記す）。これは、5段積み上げた後、中空部および側面開口部にコンクリートを打設して一体化したタイプを想定している。

(2)模型を5段積み上げた後、中空部には砕石を投入し、側面開口部には打設コンクリートを想定した5段分のコンクリートを横からはめ込んで一体化したタイプの試験体No.2（以後、側面一体型試験体と記す）。

(3)模型を5段積み上げた後、中空部に砕石を投入し、側面を金具で連結したタイプの試験体（以後、連結型試験体と記す）。この連結型試験体では、更に次の3種類について検討した。

●ブロックフランジに平行に金具を設置した試験体No.3、●各ブロック接合面に対して直角に金具を配置した試験体No.4、および●金具の設置法はNo.4と同じだが中空部の下1.5段分に別途作製したコンクリートをはめ込み、その上部3.5段分に砕石を投入した試験体No.5。

写真－２に連結金具と連結方法の一例を示す。径3.5mmの穴を開けた鋼製ブロックを試験体側面に瞬間接着剤で貼付し、その穴にコの字型鋼線（径3.2mm、弾性係数190GPa）を差し込んだ。穴の間隔、すなわち鋼線直線部の長さは50mmとした。

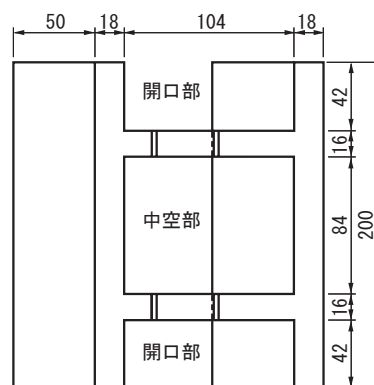
表－２に試験体の背面に用いた地盤材料の性

表－２ 地盤材料の物理的性質

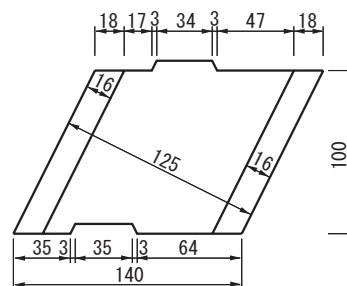
土粒子密度	2.58g/cm ³
最適含水比	12.5%
最適含水比での湿潤密度	1.92g/cm ³
締固め時単位体積重量	18kN/m ³
締固め時含水比	15%

表－３ 中込用砕石の物理的性質

粒径	2.5～5mm
表乾密度	2.65g/cm ³
絶乾密度	2.57g/cm ³
吸水率	2.90%
単位体積質量	1.44g/cm ³



(a) 平面図

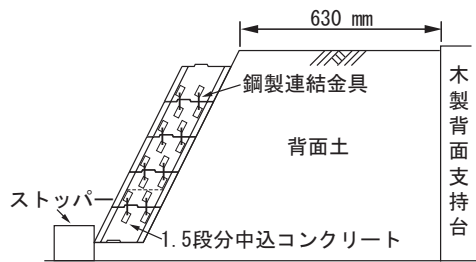


(b) 側面図

図－１ 試験体形状・寸法（単位mm）



写真－２ 連結金具と連結方法例（試験体No.3）



図－2 試験体No. 5の設置状況

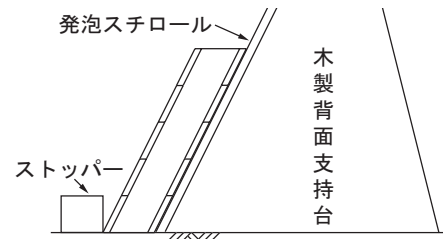
質を示す。背面土にはまき土を使用し、ブロック1段分毎の高さで、含水比15%、単位体積重量 18kN/m^3 になるように締めながら5段積み上げ、最後に試験体背面の勾配に一致するように斜面を削りだした。表－3に試験体中空部に投入した中込用碎石の性質を示す。コンクリートには、材齢28日での圧縮強度が 21.3 MPa のものを使用した。

ところで、地震時の安定計算においては、擁壁の滑動に対しても検討しなければならない。しかし、議論を簡単にするために本論文では転倒のみを対象とした。そのため、擁壁のつま先に木製ストッパーを取り付け、滑動が生じないように拘束した。

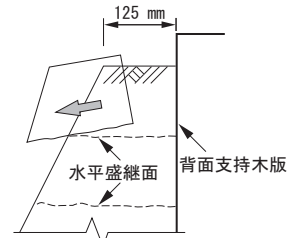
2.3 載荷・測定方法

図－2に連結型試験体を振動台に設置した状況をNo.5を例にとって示す。以下では下方のブロックから順に1段目、2段目と数えることにする。振動台は、振幅 25 mm の正弦波で揺らした。振動周波数 f は 0.5 Hz 刻みで増加させ、各周波数においては、 1.5 Hz 以下の低周波数の内は5回ずつ、 2.0 Hz 以上の高周波数では10回ずつ揺らせた。各周波数の間は連続的に増加させた。本来は実地震波を用いた検討を行うべきであるが、本研究では、まず基本的な動的挙動を把握するために正弦波を用いた。実験は擁壁が垂直に起き上がるか、連結金具の鋼製ブロックが剥離するまで行い、この時点をもって破壊とした。

一体型(No.1)および側面一体型試験体(No.2)では最上部、連結型試験体(No.3～No.5)では3～5段目ブロック前面の上縁位置に加速度計を貼付し、試験体つま先部を中心とする回転方向への加速度を計測した。一体型および側面一体型試



図－3 予備実験における試験体の設置状況



図－4 予備実験における背面土の崩落状況

験体では、側面コンクリートの前・後縁の接合面高さ位置に歪ゲージを貼付し、曲げ歪の変化を測定した。連結型試験体では、連結金具の鋼線直線部中央位置に歪ゲージを貼付し、軸歪の変化を測定した。

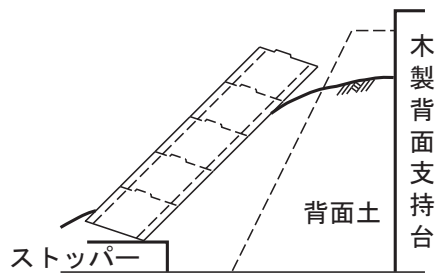
3. 予備実験およびその結果

3.1 縮尺の影響

本実験を行う前に、模型の挙動と実際の擁壁の挙動との関係を調べるために、実擁壁の縮尺 $n=1/10$ および $1/20$ の一体型試験体を作製し、振動実験を行った。図－3に試験体の設置状況を示す。擁壁の背面は、厚さ 25 mm 発泡スチロールを貼付した木製台で支持した。各縮尺 n に対して、それぞれ振幅 12.5 mm と 25 mm の実験を行った結果、 n に関わらず、振幅 12.5 mm の場合は $4.0\sim 4.5\text{ Hz}$ で、振幅 25 mm の場合は 3 Hz で転倒した。転倒時の振動台の最大加速度は振幅に関わらず約 9 m/s^2 であった。事前の簡易な次元解析では、縮尺 n の擁壁模型での値は、実擁壁の値を振幅は n 倍、周期は $\sqrt{n}$ 倍すると変換できるという結果が出ていたが、周期に関する解析結果は実験結果と一致していない。これについては、別の縮尺模型を用いた検討がさらに必要である。

3.2 背面土の奥行きの影響

予備実験として頂部位置での背面土の奥行きが 125 mm の場合について振動実験を行った。図－4に背面土の崩落状況を示す。同図に示した



図－5 背面土の締固めが緩い場合の滑動破壊

ように、背面土にはそれを支持する木版との間に剥離が生じた。そのため、背面土の崩落が土の引張破壊によるものか、擁壁と背面土の衝突によるものかは明確ではなかった。そこで、本実験では図－2に示したように背面土の奥行きを630mmと長く設定した。

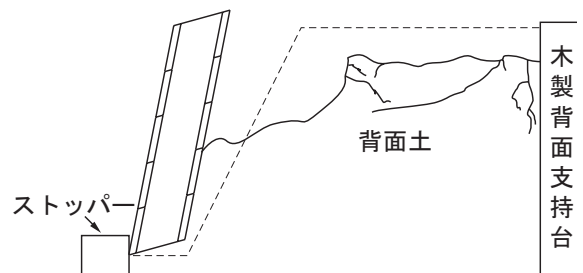
3.3 背面土の単位体積重量の影響

予備実験として背面土の単位体積重量が $w=16, 18, 20 \text{ kN/m}^3$ の場合について検討した。 $w=18 \text{ kN/m}^3$ と 20 kN/m^3 の場合には転倒破壊を生じ、全体的な挙動にも大きな違いは見られなかった。しかし、 $w=16 \text{ kN/m}^3$ の場合には、つま先にストップパーを設置していたにも関わらず、図－5に示すように滑動破壊を生じた。これは、背面土の締固め度が緩く、崩落した背面土が試験体と斜面の間のみならず試験体の下部にも入り込み、試験体を浮き上がらせたことによるものであった。このため、本実験では $w=18 \text{ kN/m}^3$ を採用した。

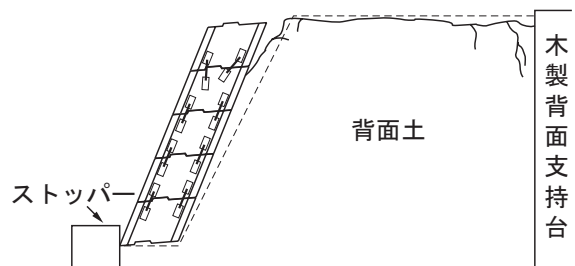
4. 本実験およびその結果

4.1 破壊形式

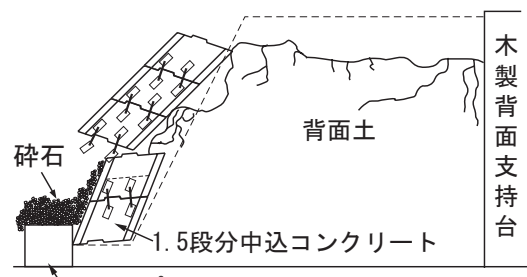
図－6に、本実験で観察された破壊形式を示す。同図(a)の転倒破壊は、一体型(No.1)および側面一体試験体(No.2)で観測された。試験体が斜面に衝突することによって背面土が崩れ落ち、それが試験体と斜面の間に入り込むことで生じた。同図(b)の金具破壊Aは、5段分全ての中込材に碎石を用いた試験体(No.3, 4)で観測された。背面土と試験体との衝突で4段目と5段目をつなぐ金具が剥がれた。同図(c)の金具破壊Bは、下1.5段分の中込材にコンクリートを用いた試験体(No.5)で観測された。1, 2段目のブロッ



(a) 転倒破壊 (試験体 No. 1, 2)



(b) 金具破壊A (試験体 No. 3, 4)



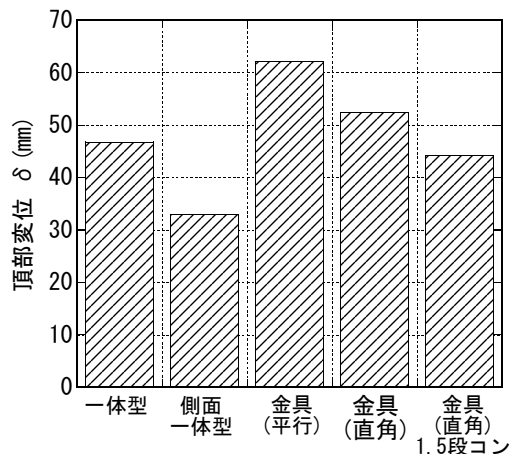
(c) 金具破壊B (試験体 No. 5)

図－6 破壊形式

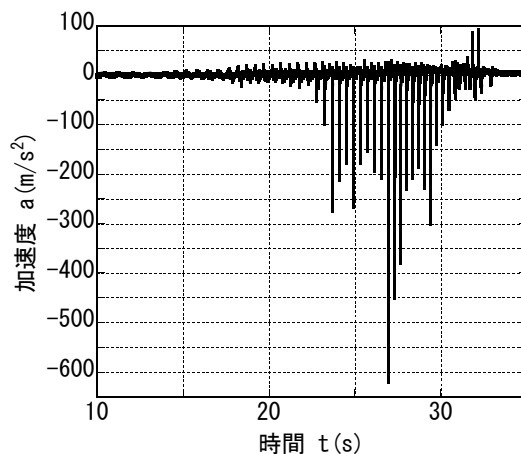
クが中込コンクリートの重量で回転し難くなったことで、2段目と3段目をつなぐ金具の鋼製ブロックの接着が剥がれた。なお、No.1～No.5全ての試験体において斜面法肩では滑り面が生じると共に、背面土では全体的な沈下と引張による縦割れも観測された。

4.2 変位分布

図－7に、振動周波数 $f=2.5\text{Hz}$ 時における各試験体頂部の最大水平変位 δ の比較を示す。同図より、フランジに平行方向に金具配置した試験体、接合面に直角に金具を配置した試験体、側面一体型試験体と、一体性が高くなるにつれて変位 δ は小さくなる傾向が見られる。同じ接合面に直角に金具を配置した試験体であれば、5段分全ての中込材に碎石を使用した場合よりも、下1.5段分をコンクリートにして重心を低くした場合の方が δ は小さい。一体型よりも側面一体型のほうが δ が小さいのは、中込碎石がブロッ



図－7 頂部変位の比較 (f=2.5Hz時)



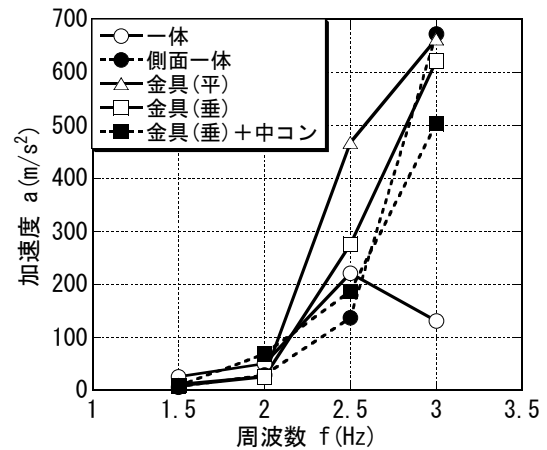
図－8 加速度波形の一例
(試験体No. 4の5段目)

クとは一緒に運動せずに若干減衰材的な作用を果たしたことが一因と考えられる。

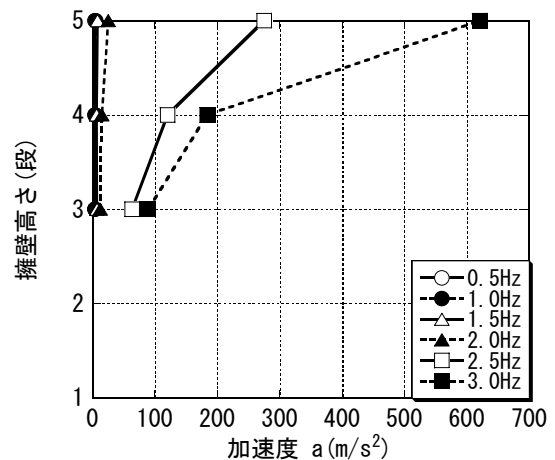
4.3 加速度分布

図－8に加速度 a の波形の一例として接合面に直角に金具を配置した試験体No.4の5段目(頂部)におけるものを示す。同図中、局所的かつ規則的大きな負の a が生じているのは、試験体が背面に衝突することによるものである。また、実験後半において a のピーク値が減少しているのは、上部の背面土が崩落し、試験体と背面土との間に空間ができたためである。他の試験体においてもほぼ同様の加速度波形を示した。

図－9に振動周波数 f の増加に伴う各試験体の背面衝突時加速度 a の推移を示す。ここに、加速度は5段目(頂部)位置における値である。同図より、全試験体とも f の増加に伴って a は2次曲線的に増大し、その大きさは数100m/s² と非常に大きいことが分かる。周波数 $f=2.5\text{Hz}$ 以上で試



図－9 衝突時頂部加速度 a —周波数 f 関係



図－10 衝突時加速度 a の高さ方向分布の推移
(試験体No. 4の3～5段目)

験体毎の a の差が大きくなったり、 a が低下したりしているのは、背面土の崩落の開始に関係している。周波数 f の増加に伴う試験体の前方への加速度 a も同様の傾向を示したが、 a の値そのものは衝突時の1/10程度であった。

図－10に試験体No.4の衝突時加速度 a の高さ方向分布の推移を示す。ここに、加速度 a は3～5段目各ブロックの上縁での値を表している。周波数 $f=2.0\text{Hz}$ 以下の範囲では a は小さく、かつ直線分布しているが、 $f=2.5\text{Hz}$ を超えると a は急増し、特に5段目位置での値が大きくなっている。

図－11に同じ試験体No.4の前方への加速度 a の高さ方向分布の推移を示す。同図でも a は $f=2.5\text{Hz}$ 以上で急増しているが、その値は3段目ブロック上縁、すなわち3段目と4段目のブロックの接合面位置で大きくなっている。このことは、ブロックが「くの字」型に変形しながら振動していることを表している。

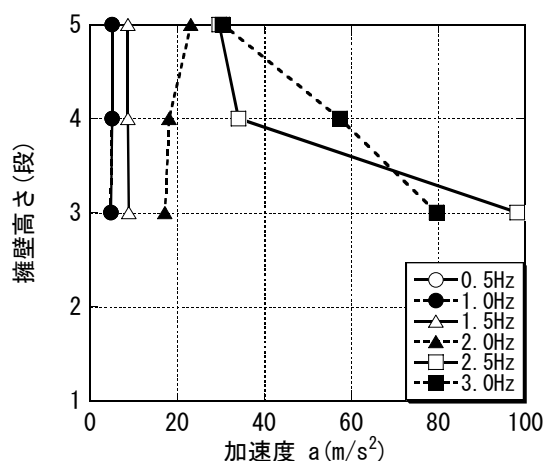


図-11 前方への加速度 a の高さ方向分布の推移 (試験体No. 4の3～5段目)

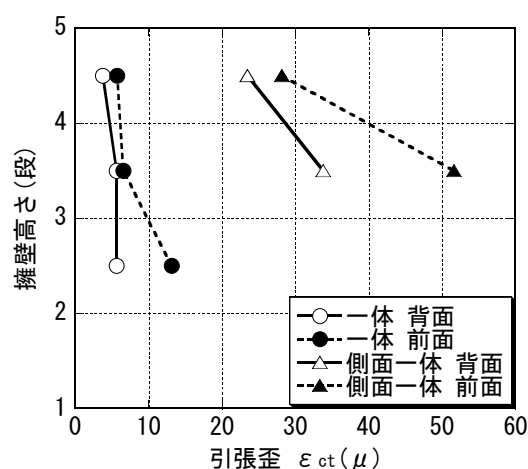


図-12 コンクリート引張歪 ε_{ct} の高さ方向分布の推移 (試験体No. 1, 2)

4.4 側面コンクリートに生じる曲げ引張歪

図-12に一体型試験体No.1(○, ●)および側面一体型試験体No.2(△, ▲)の側面コンクリートに生じた最大引張歪 ε_{ct} の高さ方向分布の推移を示す。ここに、試験体No.2における ε_{ct} は、試験体の側面開口部にはめ込んだコンクリートの歪である。同図より、1つのコンクリートブロックからなる試験体No.1に生じる引張歪は非常に小さいが、分割型ブロックを一体化した試験体No.2では接合面において約 50μ の引張歪が生じている。なお、両試験体における曲げ圧縮歪の方は、実用上無視できる大きさであった。

4.5 連結金具の鋼線に生じる引張歪

図-13に接合面に直角に連結金具を配置した試験体No.4(○, ●), No.5(△, ▲)の連結鋼線に生じた最大引張歪 ε_s の高さ方向分布の推移を示す。両試験体ともに ε_s は中央付近の接合面位

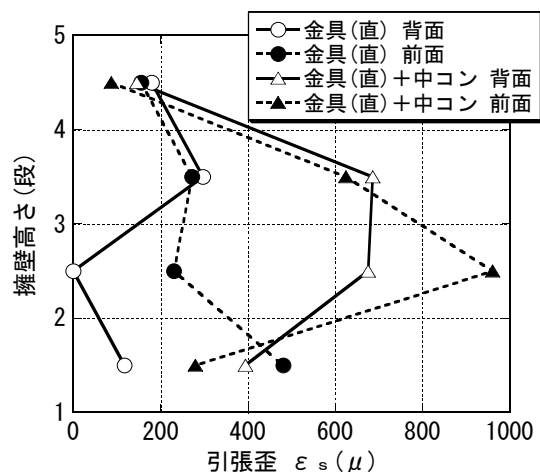


図-13 連結金具引張歪 ε_s の高さ方向分布の推移 (試験体No. 4, 5)

置で大きくなっており、上述した試験体がくの字に変形しながら振動していることを裏付けている。下1.5段分の中込材にコンクリートを使用した試験体No.5では、この中込コンクリート直上の接合面における歪 ε_s が約 1000μ に達しており、金具の張力負担の顕著な増大が見られる。

5. 結論

大型ブロック積擁壁の縮小試験体を用いた振動実験を実施し、ブロックの一体化の度合いが試験体の動的挙動に与える影響等について検討した。以下に、得られた結果を要約する。

- (1) 中空部に碎石を投入した場合、試験体の一体化の程度が大きくなるほど、同じ振動周波数での試験体頂部変位は小さくなる。
- (2) 試験体が背面土に衝突する際の加速度は非常に大きく、この衝撃による背面土の崩落が試験体の転倒を引き起こす可能性がある。
- (3) 試験体を金具で連結する場合、試験体下部の中込材にコンクリートを使用し、全体の重心位置を下げることは転倒防止上有効であるが、その分連結鋼線への負担が大きくなる。

参考文献

- 1) 耐震性大型コンクリートブロック積み擁壁に関する研究委員会：大型ブロック積み擁壁設計・施工マニュアル(改訂版)，土木学会四国支部，平成16年6月