

論文 中込材に高炉スラグ砕石を用いたプレキャストコンクリート製 ブロック積擁壁の動的挙動

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

要旨：本研究は、プレキャストコンクリート製の大型ブロック積擁壁の1/10縮尺模型を用い、それらを5段積および8段積にした場合の動的挙動について実験的に検討したものである。実験に際しては、リサイクル材の擁壁への積極的利用を図るため、中込材としてコンクリートの代わりに高炉スラグ砕石を使用することを念頭においた。主な測定項目は、ブロック毎の加速度、コンクリート歪、擁壁頂部の最大変位である。実験の結果、中込材としてコンクリートに代えてその一部に高炉スラグ砕石を使用しても動的挙動に大きな差異はみられないこと等を明らかにした。

キーワード：高炉スラグ，リサイクル，ブロック積擁壁，地震時挙動

1. はじめに

近年、施工の省略化と建設コストの低減を図る目的でプレキャストコンクリート製の大型ブロック積擁壁（以下、擁壁と略記）が開発され、施工実績も着実に増加している。しかし、その地震時における設計には、十分解明されていない不確定な事項が幾つか含まれている。例えば、擁壁の地震時における安定計算においては、擁壁を剛体と仮定した計算が行われる。実際には、多段積擁壁の場合、地震時における挙動は弾性的なものとなることが予想され、必ずしもこの仮定が適切とはいえない。また、擁壁の断面設計は、自重、地震時慣性力および土圧等に基づく作用断面力を用いて行われ、地震時に擁壁が背面に衝突する際の衝撃力は考慮されていない¹⁾。

本研究は、擁壁模型の振動実験を実施し、これら未解明の設計上の問題点に関する知見を得ることを第1の目的としている。

一方、従来ブロックの中空部には中込コンクリートが打設され擁壁としての一体化が図られてきた。しかし、リサイクル材が大量に産出さ

れる現在、これらを積極的に利用していくことが求められている。そこで、本研究では、中込材として高炉スラグ砕石を使用した場合の耐震性について検討することを第2の目的とした。

2. 実験概要

2.1 試験体形状・寸法

写真 - 1 に今回作製した大型ブロックの模型試験体、図 - 1 にその形状・寸法をそれぞれ示す。試験体は、実際に製造されている、あるプレキャストコンクリート製大型ブロックの1/10の模型であり、中央に84×104mmの中空部、両側面に42×104mmの開口部をもつ。実際の現場では、これらの内部に中込コンクリートを打設



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（正会員）

*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 開発部（正会員）

*4 高松工業高等専門学校 建設環境工学科（正会員）

表 - 1 実験変数

底面の条件	木板のみ, サンドペーパー貼付木板, つま先ストッパー付木板
背面の条件	木板のみ, 発泡スチロール (厚さ25mm) 貼付木板, エアークッション木板
中込材	無し, 中空部に碎石のみ, 両側面開口部にコンクリートのみ, 両者の組み合わせ

表 - 2 使用材料の性質

高炉スラグ碎石		中込コンクリート 密度(g/cm ³)	ブロック本体1個 当たり質量(kg)
密度(g/cm ³)	実績率(%)		
2.59	60.0	2.23	2.32

表 - 3 反力係数

背面の条件	反力係数 (MN/m ³)
発泡スチロール + 木板	34.0
木板	112.4
地盤	121.8

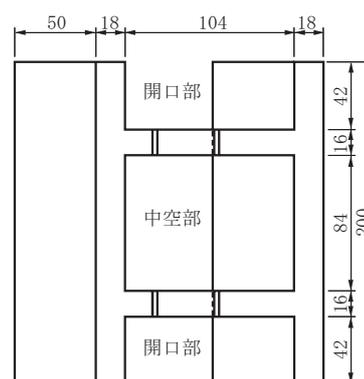
し, 一体化を図りながら積み上げていく。しかし, 本研究では中込コンクリートの代わりに高炉スラグ碎石を投入する事でその有効利用を図ることを念頭に置き, 実験を行った。

2.2 実験変数

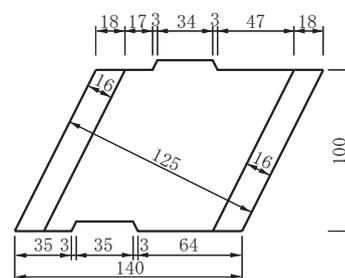
表 - 1 に実験変数の一覧を, 表 - 2 に使用材料の性質をそれぞれ示す。実験変数は, 擁壁を支持する底面と背面の条件 (各 3 種類), 中空部と開口部への中込材の有無, および使用する中込材の組み合わせ, である。

擁壁は底面の振動に伴う回転運動によって背面に衝突する。そこで, 小型FWD (Falling Weight Deflection) 測定器を用いて実験における背面の条件と実際の地盤とではどの程度剛性が違うのかを比較してみた。この装置は, 加速度計を内蔵した質量10kgの重錘を高さ43cmから測定対象物に落下させ, 衝突時に発生する加速度の変化から反力係数を求めるものである。表 - 3 に 2 種類の背面の条件および地盤の反力係数の値を示す。同表より木板の値は地盤と非常によく似た値を示す。しかし, 予備実験において, 背面の条件に木板を用いた場合, 擁壁が背面に衝突する際の衝撃力が大きく, 加速度計の使用許容値を超えてしまった。そこで, 加速度計の保護のために, 背面には厚さ25mmの発泡スチロールを貼付した木板を採用し, 以後の全実験を実施した。従って, 実大の擁壁の地震時挙動は本実験の結果よりさらに厳しいものになる可能性がある。

ところで, 底面の条件を木板のみ, またはサンドペーパー貼付木板にした場合, 擁壁はその底面の前方への滑動破壊を生じた。しかし, 本



(a) 平面図



(b) 側面図

図 - 1 試験体形状・寸法 (単位mm)

論文では, この結果については省略し, つま先にストッパーを付けた場合の結果についてののみ議論する。

2.3 載荷・測定方法

写真 - 2 に試験体を振動台に設置した状況を示す。本実験では, 振動台上に擁壁の背面と同じ傾斜もち表面に発泡スチロールを貼付した木製の支持台を据付け, それにブロックをもたれかからせる形で 5 段積または 8 段積にした後, 振動実験を行った。以下では下方のブロックから 1 段目, 2 段目と数えることにする。実験は擁壁が崩壊するかあるいは加速度計の使用許容値に到達するまで行った。振動台は, 振幅25mmの正弦波で, 周波数0.5Hz刻みで 5 または 10 回ず

表 - 4 中込材の組合せ

ケース	中空部	開口部	単位体積質量* (kg/m ³)
1	無し	無し	8.3 × 10 ²
2	砕石	無し	1.26 × 10 ³
3	無し	分割コンクリート, 一体型コンクリート	1.53 × 10 ³
4	砕石	分割コンクリート, 一体型コンクリート	1.96 × 10 ³
5	下部1.5段分: 分割型コンクリート, 上部: 砕石	分割型コンクリート	1.93 × 10 ³
6	分割型コンクリート	分割型コンクリート	2.22 × 10 ³

* : 中空部および側面開口部を含めた体積当たりの質量

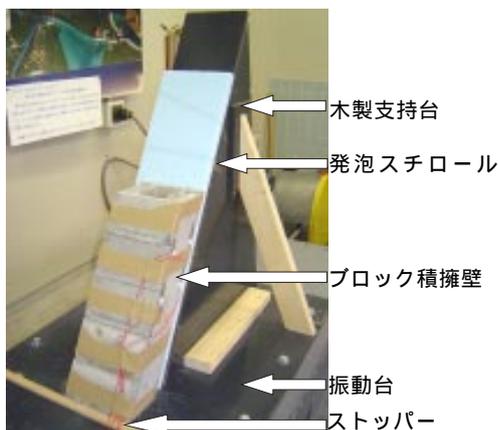


写真 - 2 試験体の設置状況

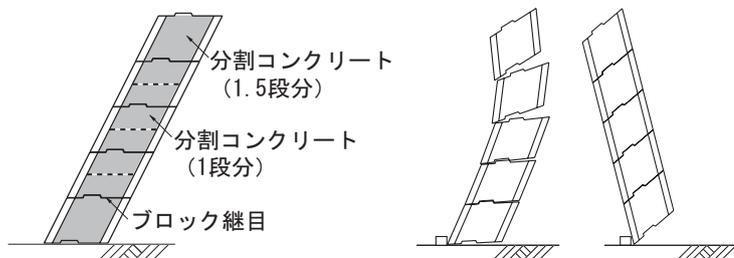


図 - 2 分割コンクリートのはめ込み状況

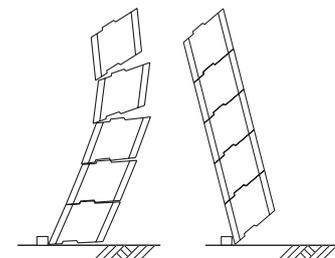


図 - 4 代表的な破壊形式



図 - 3 試験体名の表記方法

つ揺らし、各周波数の間は連続的に増加させる方式をとった。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。

表 - 4 に実験に用いた中空部および側面開口部の中込材の組合せを示す。実施工では中空部および側面開口部に、最下部および最上部では1.5段分、その他では1段分ずつコンクリートを打設しながらブロックを積み上げていく。今回は、コンクリートを打設する代わりに、砕石を突き棒で締めながら最上部まで詰込むか、あるいは図 - 2 に示すように別途作製した中込コンクリートをはめ込むことでブロックの一体化を図った。以下では、中込コンクリートを1.5段分あるいは1段分に切断したものを分割コンクリートと呼ぶ。

各ブロックには加速度計を貼付し、擁壁つま先部(ストッパー位置)を軸とする回転方向への加速度を計測した。両側面開口部の中込材として分割型または一体型コンクリートを用いた試験体については、擁壁上部のブロック接合面位置におけるこの中込コンクリートに歪ゲージを貼付し、曲げ縁歪を測定した。

なお、以下では試験体名に図 - 3 に示した表記方法を用いる。

3. 破壊形式

図 - 4 に本実験で観察された破壊形式を示す。同図(a)の‘部分的転倒’は、側面開口部に中込材の無い試験体(ケース1, 2)の周波数2.0~2.5Hzで生じ、5段積および8段積の両試験体ともに上部2段のブロックが前方に大きく崩れた。その際、中空部の中込材が無い試験体よりも砕石を投入した試験体の方が耐震性の高まる現象が見られた。これは、ブロック接合面において砕石によるかみ合い抵抗が発揮されること、砕石は擁壁とは一緒に運動せずに一種の減衰材の役割をすること、等によるものだと考えられる。同図(b)の‘転倒’は、両側面開口部の中込材にコンクリートを用いることで中込コンクリートとブロックとが一体となって振動する試験体(ケース3~6)で生じる。この際、両側面の中込コンクリートによる擁壁全体の質量増加が大きく、同図(a)で述べたような中空部

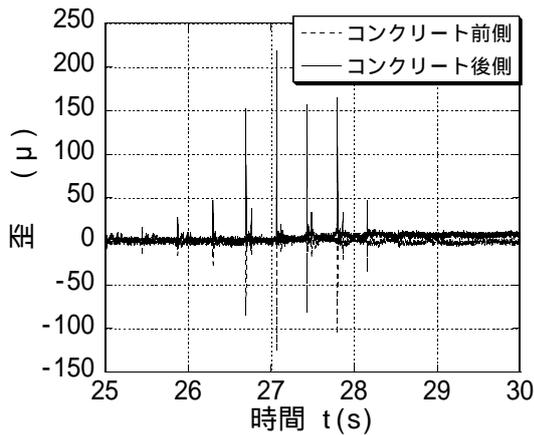


図 - 5 一体型中込コンクリートの歪波形 (ケース4 (砕-コ-5)試験体の場合)

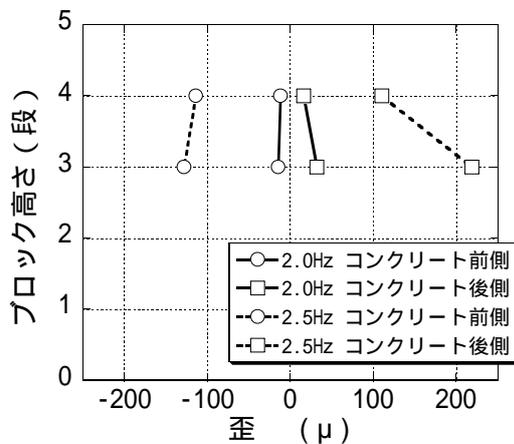
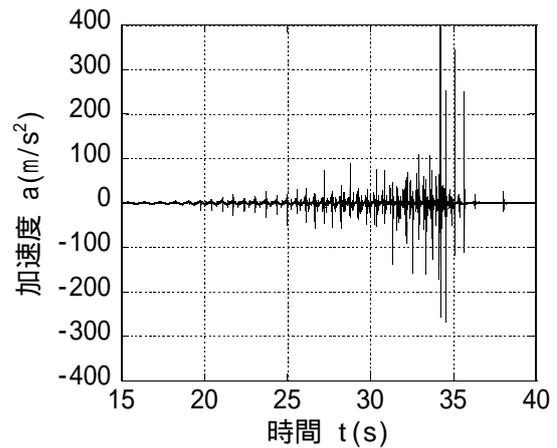


図 - 6 コンクリート歪の高さ方向分布の一例 (ケース4 (砕-コ-5)試験体の場合)

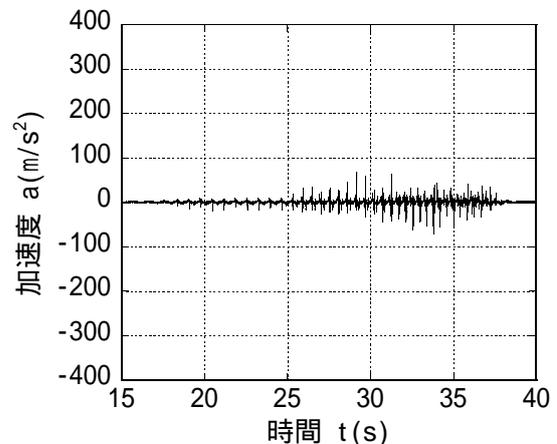
に碎石を投入することによる耐震性への影響は小さかった。なお、周波数3.0~3.5Hzで過大な発生加速度に達したことから、この時点で実験を終了した。

4. コンクリート歪

図 - 5 に、ケース4 (砕-コ-5)試験体を例にとり、3段目と4段目のブロック接合面位置の中込コンクリートに貼付した歪ゲージの時間的変化を示す。ここに、中込コンクリートは一体型の場合である。同図から、一体型中込コンクリートには曲げが作用し、前側に圧縮歪、後側(背面側)に引張歪が生じていることが分かる。特に後側の歪は200 μ 以上であり、引張限界歪を超えている。実際の実験でもひび割れの観察された試験体があった。今後、設計上の取り扱いについてさらに検討すべきである。



(a) ケース1 (無-無-5)試験体



(b) ケース2 (砕-無-5)試験体

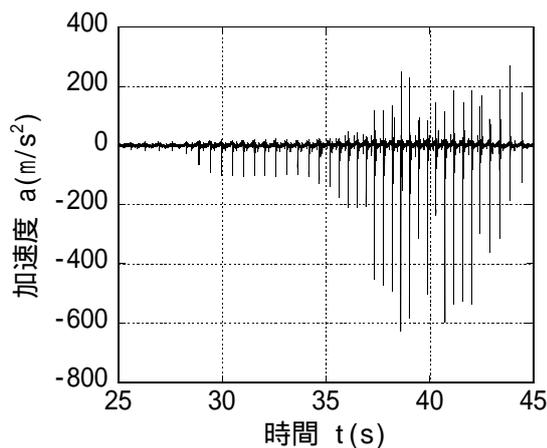
図 - 7 3段目ブロックの加速度波形への中空部碎石投入の影響

図 - 6 にケース4 (砕-コ-5)試験体を例にとり、高さ方向の歪分布を示す。歪には、周波数2.0Hzおよび2.5Hzでの振動時におけるある衝突時での値を用いてある。同図から、2つの周波数ともに、3段目と4段目の間の接合面位置での歪の値の方が、4段目と5段目の間の接合面位置より大きくなっていることが分かる。

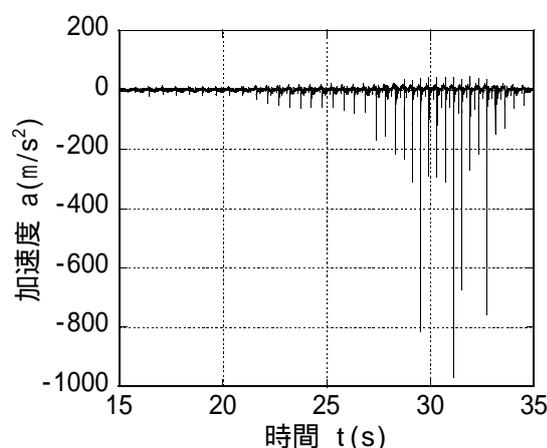
なお、分割型中込コンクリートを使用した場合、積段数に関わらず最大で20 μ 程度しか歪は発生しなかった。これは、中込コンクリートを分割することで隙間が生じ、曲げをその隙間が吸収したためである。この意味から、土留めとしての機能を損わない程度隙間を設けることが、擁壁の破壊防止に有効であると思われる。

5. ブロック加速度

図 - 7 (a)にケース1 (無-無-5)試験体の、同図(b)にケース2 (砕-無-5)試験体の3段目のブ

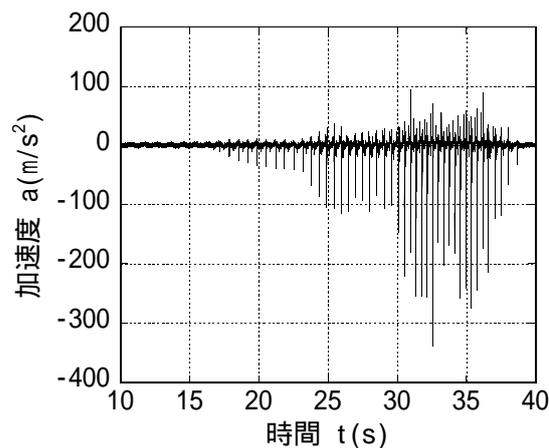


(a) ケース6(コ-コ-5)試験体

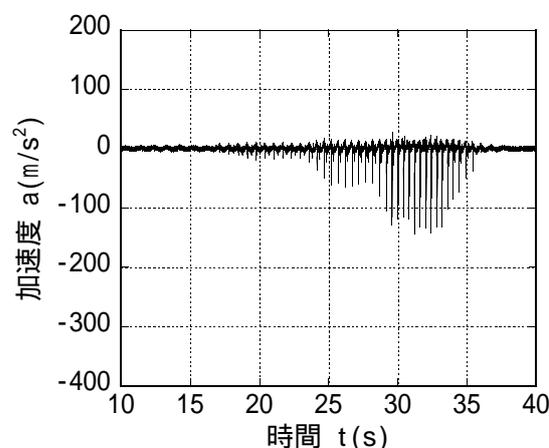


(b) ケース3(無-コ-8)試験体

図-8 最上段ブロックの加速度波形への擁壁質量増加の影響



(a) ケース4(砕-コ-5)試験体(重心位置高)



(b) ケース5(砕コ-コ-5)試験体(重心位置低)

図-9 4段目ブロックの加速度波形への擁壁の重心位置の影響

ロックにおける加速度波形の一部をそれぞれ示す。図中、局所的かつ規則的で大きな加速度が生じているのは、擁壁が背面に衝突することによるものである。同図から、中空部に砕石を投入した試験体の方が同じ振動周波数で擁壁に生じる加速度は小さくなるのが分かる。これは、図-4(a)で述べた破壊形式とも対応するものである。なお、図示してはいないが、両ケースの4段目と5段目のブロックではよく似た加速度波形を示した。

図-8(a)にケース6(コ-コ-5)試験体における5段目ブロックの、同図(b)にケース3(無-コ-8)試験体における8段目のブロックの加速度波形の一部を示す。衝突時の加速度はケース6(コ-コ-5)試験体で約600m/s²、ケース3(無-コ-8)試験体で約1000m/s²と非常に大きい。瞬間的な加速度ではあるが、これに伴う衝撃力の影響

については、今後さらに検討する必要がある。

一般的に、5段積試験体では、擁壁全体の質量が増加するに従って同じ周波数での衝突時加速度も大きくなった。一方、8段積試験体では、ケース3(無-コ-8)試験体での衝突時加速度が一番大きく、これよりも擁壁全体の質量が増加したケースでは衝突時加速度は減少する傾向がみられた(表-4参照)。

図-9(a)にケース4(砕-コ-5)試験体の、同図(b)にケース5(砕コ-コ-5)試験体の4段目ブロックにおける加速度波形の一部を示す。同図から、中空部全体に砕石を投入する場合よりも、下部に中込コンクリートを配置した上に砕石を投入した方が、全体的に加速度の小さな波形になることが分かる。これは、下部にコンクリートを配置したことによって重心が下に移動し、安定性が増したためであると考えられる。

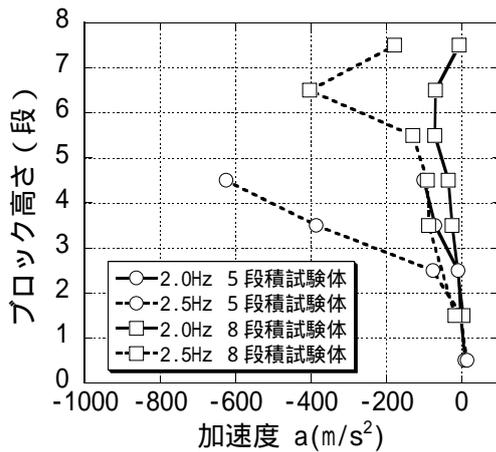


図 - 10 高さ方向の加速度分布の一例
(ケース6(コ-コ-5および8)試験体)

なお、実験における目視でも、ケース3(無-コ-5)およびケース4(砕-コ-5)試験体よりも、ケース5(砕コ-コ-5)試験体の方が比較的安定性の増した振動挙動を観察できた。

図 - 10にケース6(コ-コ-5)試験体およびケース6(コ-コ-8)試験体における、高さ方向の加速度分布を示す。加速度には、周波数2.0Hzおよび2.5Hzでの振動時におけるある衝突時での値を用いてある。同図から、5段積および8段積試験体ともに上部のブロックほど加速度が大きくなっていることがわかる。ただし、最上部の2つのブロックについては、ケースによって最上段のブロックで最大値を示す場合と、それよりも1段下のブロックで最大値を示す場合があった。また、5段積試験体と8段積試験体とを比較すると、同じ高さでの加速度は8段積試験体の方が小さくなった。これは、8段積になることによって擁壁全体の質量が増加し、同じ振動周波数であれば擁壁が振動しにくくなったためであると考えられる。

6. 擁壁頂部での最大変位

図 - 11に各ケースにおける5段積試験体および8段積試験体の、2.0Hz時、2.5Hz時での擁壁頂部の最大変位を示す。同図中のケース1および2における2.5Hz時の変位データが表示されていないのは、擁壁の崩壊に伴って計測できなかったためである。同図から、擁壁の質量が増

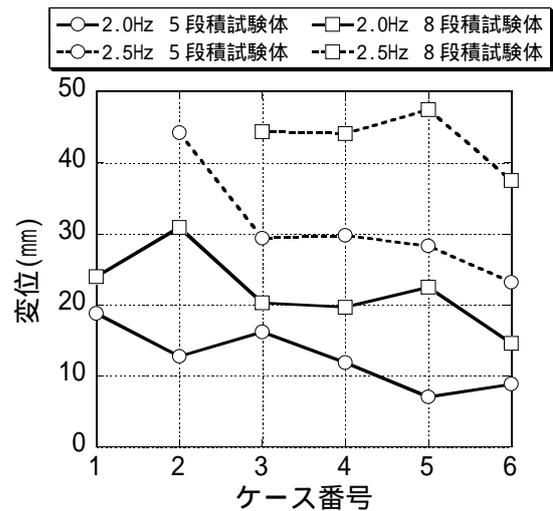


図 - 11 各ケースにおける頂部最大変位の比較

加(ケース番号が増加, 表 - 4 参照)するに伴って最大変位は減少する傾向にあることが分かる。これは、擁壁全体の質量がある一定の値を超えると加速度の値が減少するという図 - 8の実験結果に対応している。

7. 結論

大型ブロック積擁壁模型を用いた振動実験を実施した結果、擁壁の中込材の種類を変化させた場合の動的挙動への影響について、以下のことが明らかとなった。

- (1) 擁壁が背面に衝突する際の加速度は非常に大きく、これに伴う衝撃力の影響についてさらに検討する必要がある。
- (2) 中込材としてコンクリートを打設する場合、擁壁が背面に衝突することによるひび割れ発生の検討が必要である。しかし、コンクリートを一体化せず、隙間を設けることでその可能性を小さくすることができる。
- (3) 中空部の下部に中込コンクリートを打設し、その上に碎石を投入した方が、中空部にすべて碎石を投入した場合より耐震性が高まる。

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