

空積みブロック宅地擁壁の地震時挙動と 簡易補強法に関する研究

平出 務¹

¹ (独) 建築研究所 建築生産研究グループ (〒305-0802 茨城県つくば市立原1)

実大の擁壁ブロックを用いた空積み擁壁（谷積み仕様と平積み仕様）、練積み擁壁（谷積み仕様）と簡易補強擁壁（平積み仕様の各ブロックを薄い鉄板（ $w=50\text{mm}$, $t=3\text{mm}$ ）で連結）を固定土槽（ $6\text{m}\times 3\text{m}\times 2.5\text{m}$ ：幅，奥行き，高さ）内に盛土地盤とともに作製し，地震時挙動と破壊性状の把握を目的とする振動台実験を実施し，最終状況として次のような結果が得られた．（1）空積み擁壁では，各擁壁ブロックが個別に挙動し，背面地盤の移動に伴う擁壁ブロックの崩落．（2）練積み擁壁では，擁壁全体が剛体的挙動を示し，背面地盤の移動に伴う擁壁の傾斜・移動．（3）簡易補強擁壁では，背面地盤の移動に伴い擁壁面は変形・移動するが崩落には至らない．

キーワード 振動台実験，ブロック擁壁，実物大，簡易補強

1. はじめに

近年発生した地震では，宅地や擁壁の被害が多数報告されている^{1)~4)}．また，耐震改修促進法の一部が改正（平成18年1月施行）され，「耐震改修」の対象として建築物だけでなく，擁壁を含めた敷地の整備も含まれることになった．建物の敷地や基礎の耐震診断や耐震改修において，耐震性が必ずしも明確でない擁壁の地震時挙動を把握することは，耐震設計や補強方法を考える上で重要と考えられる．また，古い石積み擁壁やブロック積み擁壁が多く残されており，これらの補強では再構築となる場合が多く，大がかりとなるため，時間・費用の面で負担が大きく，簡単には実施できない場合が多い．

ここでは，擁壁の地震時挙動の把握と耐震性能に関する基礎資料収集及び補強方法の検討を目的に実施した，実大の擁壁ブロックを用いた空積み擁壁（谷積みと平積み），練積み擁壁，簡易補強空積み擁壁（擁壁ブロックを薄い鉄板で連結する簡易補強）による振動台実験の概要について報告する．

2. 実験概要

写真-1 に実験に用いた固定土槽の外観を示す．実験は，固定土槽（ $6\text{m}\times 3\text{m}\times 2.5\text{m}$ ：幅，奥行き，高さ）内に盛土地盤を作製するとともに，擁壁ブロックを積み上げて試験体を作製し，それぞれ擁壁の崩壊まで加振することとした．試験体一覧を表-1 に示す．実験は，擁壁面の仕様により，2回に分けて実施した．第1回実験では谷積み仕様で，空積み擁壁（擁壁ブロックを積み上げたもの）と練積み擁壁（コンクリートにより一体化したもの）の試験体を，第2回実験では平積み仕様で，空積み擁壁と空積み擁壁の各ブロックを薄い鉄板で連結して簡易補強した試験体を用いた．

写真-2 に使用した擁壁ブロック（設計強度 $18\text{N}/\text{mm}^2$ ， $400\text{mm}\times 350\text{mm}\times 250\text{mm}$ ：幅，奥行き，高さ）を示す．各試験体の擁壁面は，**写真-2** の擁壁ブロックを基本に組み合わせて**図-1** に示す擁壁面となるように作製した．簡易補強試験体では，擁壁ブロックの中央にアンカーを埋め込み，簡易補強用鉄板（ $w=50\text{mm}$, $t=3\text{mm}$ ）をボルトで固定し，各擁



写真-1 固定土槽の外観

表-1 試験体一覧

	試験体No.	試験体仕様
第1回実験 (谷積み)	No.1-1	空積み擁壁
	No.1-2	練積み擁壁
第2回実験 (平積み)	No.2-1	空積み擁壁
	No.2-2	簡易補強空積み擁壁

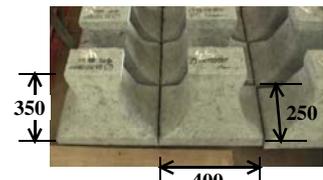


写真-2 使用擁壁ブロック

壁ブロックを連結する方法で擁壁面を作製した。

擁壁裏側には、0~40mmの砕石を使用し、盛土地盤材料には、江戸崎砂（自然含水比 14.1%、土粒子密度 2.69g/cm³）を用いた。江戸崎砂の粒径加積曲線を図-2に示す。盛土地盤は、土槽内に砂を蒔きだし転圧による締め固めにより作製した（一層 25cm、転圧回数:5回）。

土槽側面と盛土地盤との摩擦低減には、ポリプロピレン製の不織布を用いた。また、土槽の内法寸法と擁壁面寸法が完全には一致しないため、擁壁面と土槽側との隙間に発泡スチロールとポリプロピレン製の不織布を用い、盛土地盤材料の流出防止と土槽側面との摩擦低減を図った。なお、擁壁面の角度は、第1回実験では約70度、第2回実験では約68度である。

図-3に計測概要を示す。計測には、加速度計を擁壁表面及び盛土地盤中に23点、土圧計を土槽底面に3点、荷重計を擁壁基礎の前面側に2点、変位計を擁壁面の変位計測用に10点、それぞれ設置した。また、盛土地盤の表面

に、沈下・変形計測用のマーカーを配置した。なお、擁壁面の変位計測には巻き取り式の変位計を使用し、変位計のワイヤー先端を擁壁面に固定し、土槽側に計測器本体を設置する方法で行った。

実験に際しては、擁壁を支持する地盤は十分に堅く、地震時においても破壊しないものとして、擁壁基礎部分が前面方向に移動しない条件となるように、擁壁基礎と土槽側との間にビームを設置した。

図-4に、各試験体の作製盛土地盤で実施したスウェーデン式サウンディング試験結果から求めた換算N値の分布状況を示す。表層部と地中部で多少のばらつきが見られるが、ほぼ均一な地盤と考えられる。

振動台の入力には、擁壁の伝達特性を把握するRandom波形（Max. 20gal）と兵庫県南部地震（1995）観測波のJMA神戸NS成分波形の最大加速度値を100gal、200gal、400gal、818gal（観測波形レベル）、1000galに調整したものを用いた。

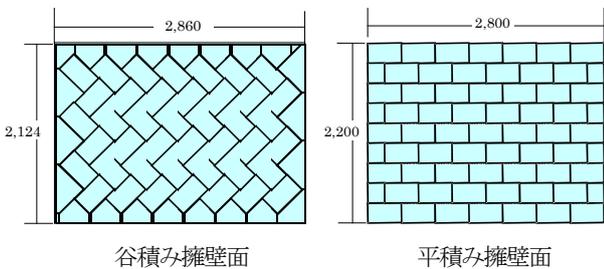


図-1 擁壁面の概要

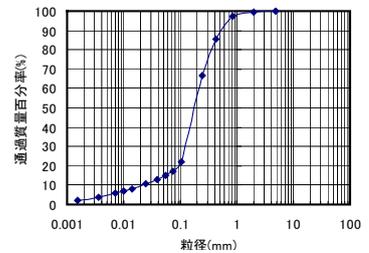


図-2 江戸崎砂の粒径加積曲線

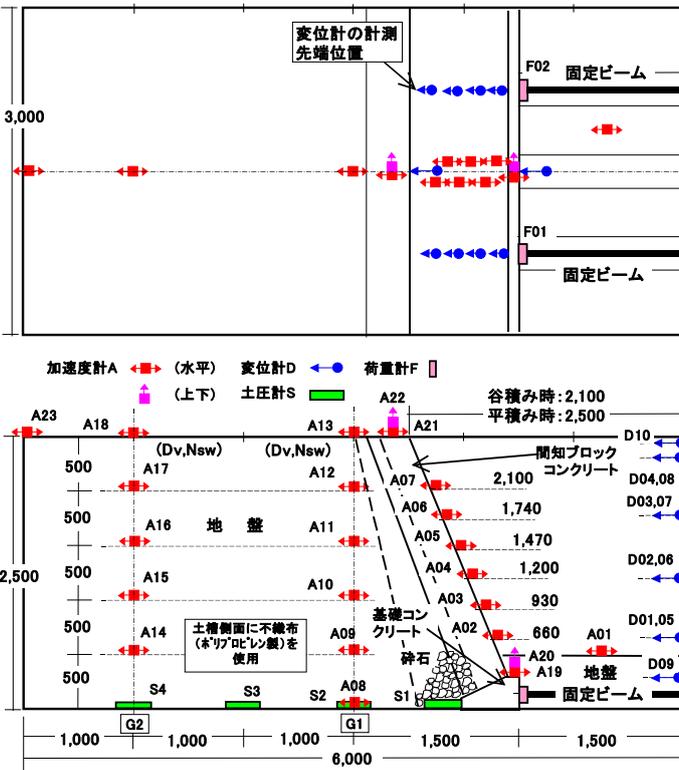


図-3 計測概要

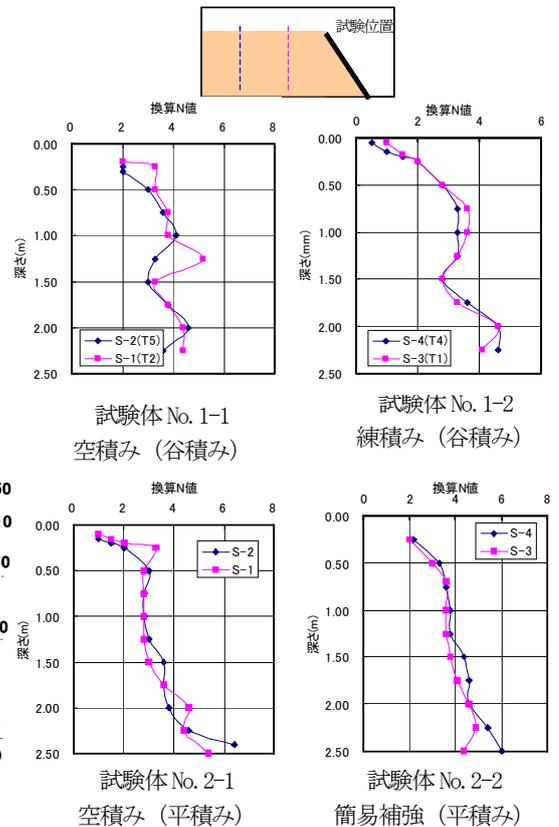


図-4 スウェーデン式サウンディング試験結果

3. 実験結果概要

最大加速度 100gal~400gal の入力では、各試験体とも外観上の大きな変状は見られず、最大加速度 818gal の入力で地表面クラックの発生、試験体によっては擁壁ブロックの崩落等の変状が見られ、試験体による違いが表れた。ここでは、各試験体の主に最終結果状況の概要を述べる。

(1) 第 1 回実験 (谷積み仕様)

a) 試験体 No. 1-1 空積み擁壁

最大加速度 818gal の入力では、地表面に擁壁面と平行にクラックが発生するとともに、擁壁の一部のブロックで接触面の隙間が大きくなり、ブロック間が乖離する傾向が見られたが、崩落には至らなかった。また、加振終了後擁壁面の中間部での残留変形が確認された。

応答波形の一例として、入力最大加速度 818gal における土槽底面(A08)、地表面(A13)、擁壁頂部(A21)の加速度と擁壁基礎前面荷重計の応答波形を図-5 に示す。地表面(A13)及び擁壁頂部(A21)の加速度応答には、パルス状の形状が見られる。図-6 に擁壁頂部の応答変位波形

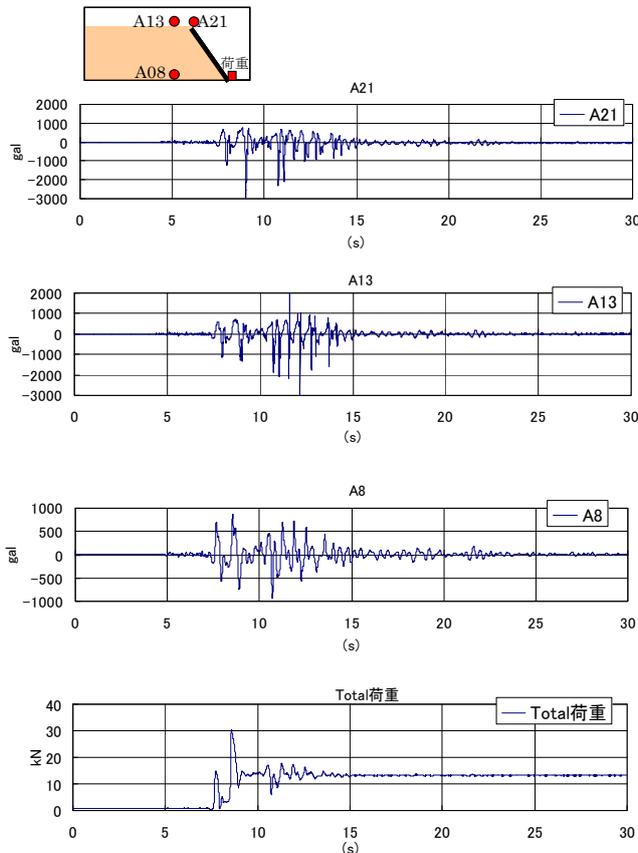


図-5 試験体 No. 1-1 応答波形例
(入力最大加速度 818gal)

と擁壁面の変位分布状況を示す。初期には擁壁下部から頂部への直線的な変位分布を示しているが、加振最終時には擁壁面の中間部で、最大 50mm 程の残留変形が生じた。残留変形の大きさからは、擁壁の機能としては崩壊と考えられる。

最大加速度 818gal の加振終了後に、最大加速度 1000gal を入力し、試験体の最終状況を確認している。最大加速度 1000gal での加振では、地表面のクラックが増えるとともに幅が大きくなり、背面の盛土に押し出される形で擁壁面上部のブロックが崩れて前面に落下し崩壊した。入力最大加速度 1000gal での擁壁崩壊の様子を写真-3 に示した。

b) 試験体 No. 1-2 練積み擁壁

入力最大加速度 818gal では、地表面にクラックが発生するとともに、擁壁面が前面側に傾き、傾斜部分の背面地盤に沈下、水平移動が見られた。図-7 に擁壁頂部の応答変位波形と変位分布状況を示す。残留変形は、直線的な状況を示している。

入力最大加速度 1000gal では、地表面のクラック幅が大きくなるとともに擁壁基礎部分を中心に擁壁全体が回転するような挙動を示し、最終的に擁壁全体が傾斜しながら前面側に変位した。図-8 に最終変形状況を示すが、

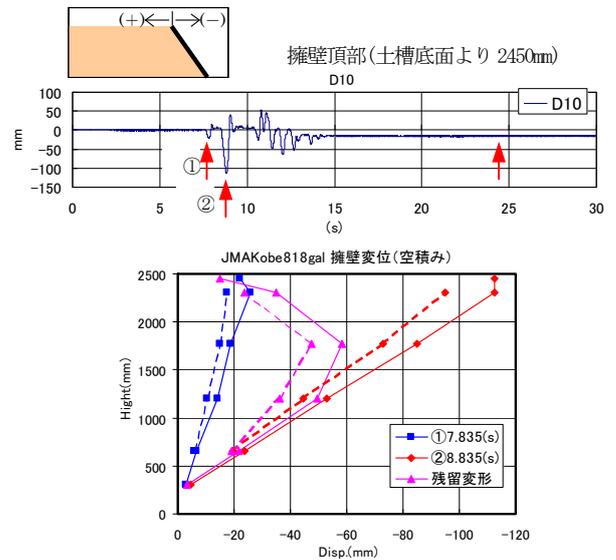


図-6 試験体 No. 1-1 擁壁の応答変位波形と変位分布状況 (入力最大加速度 818gal)



写真-3 試験体 No. 1-1 崩壊状況
(入力最大加速度 1000gal)

1000gal 加振終了後の擁壁面は、擁壁上部の変位計位置で約 25mm、擁壁下部の変位計位置で約 6mm、それぞれ前面側に変位していた。練積み擁壁は、コンクリートにより一体化しているため、剛体的に挙動したものと考えられる。

(2) 第 2 回実験 (平積み仕様)

a) 試験体 No. 2-1 空積み擁壁

入力最大加速度 818gal で、地表面に擁壁と平行にクラックが発生し、擁壁の一部のブロックで接触面の隙間が大きくなり、背面の盛土に押し出される形で擁壁中間部がはらみ出すとともに、擁壁面の中間部ブロックが前面に崩れて落下し、擁壁が崩壊した。

図-9 に擁壁面の応答変位波形と擁壁頂部のピーク時における変位分布状況を示した。擁壁の崩壊は、計測時間軸上で 14 秒以降であるため、14 秒までのデータは有効と考え、図中に崩壊直前と考えられる 13.725 秒の変位分布も示した。擁壁面下部が崩壊前に急激に変形が進んでいる状況が分かる。写真-4 に擁壁崩壊の様子を示した。

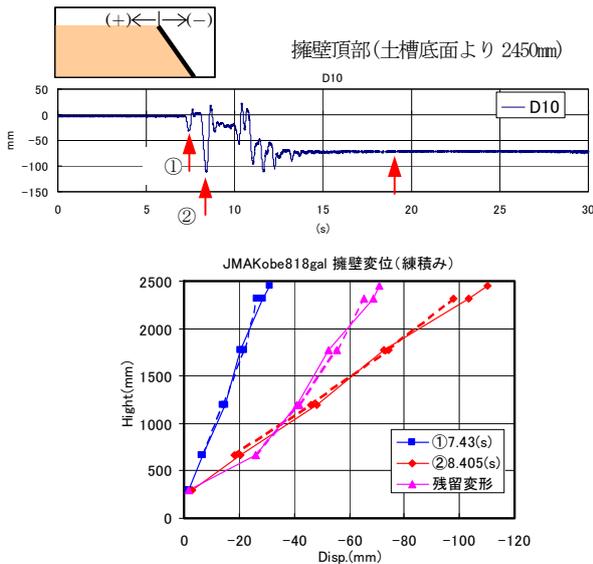


図-7 試験体 No. 1-2 擁壁の応答変位波形と変位分布状況(入力最大加速度 818gal)

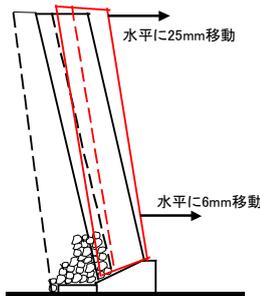


図-8 試験体 No. 1-2 最終変形状況 (入力最大加速度 1000gal)

b) 試験体 No. 2-2 簡易補強空積み擁壁

入力最大加速度 818gal では、地表面に擁壁と平行にクラックが発生し、擁壁の一部ブロックが前面側にずれて移動することで隙間が大きくなる傾向が見られたが、ブロック間を補強鉄板で連結しているため、バラバラに乖離すること無く、擁壁はほぼ一体として挙動しながら変形する傾向が見られた。

入力最大加速度 818gal における擁壁面の応答変位波形と擁壁頂部のピーク時における変位分布状況を図-10 に示した。擁壁面の応答変位は、擁壁中間層を中心に大きくなり、最終的に中間部で約 60mm の残留変形となった。擁壁中間部分を中心に残留変形が認められたが補強鉄板に異常が認められなかったため、試験体の最終状況確認のため、再度最大加速度 818gal を入力し、最終的な状況を確認した。最大加速度 818gal の再入力では、地表面にクラックが増えるとともに幅が大きくなり、背面の盛土の沈下とともに盛土に押し出される形で擁壁面全体が擁壁基礎に乗り上げながら前面側に移動したが、擁壁面が崩落することは無かった。図-11 に最終変形分布状況を、写真-5 に最終状況を示した。

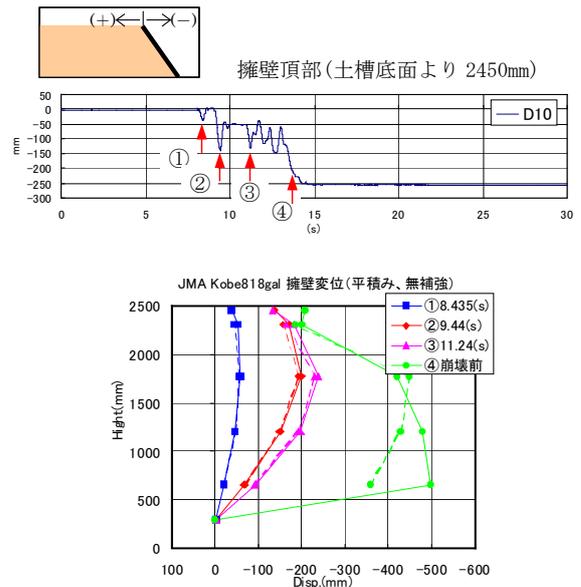


図-9 試験体 No. 2-1 擁壁の応答変位波形と変位分布状況(入力最大加速度 818gal)



写真-4 試験体 No. 2-1 崩壊状況 (入力最大加速度 818gal)

4. まとめ

固定土槽内に盛土地盤を作製するとともに、実大の擁壁ブロックを用いた空積み擁壁、練積み擁壁、簡易補強擁壁試験体を作製し、擁壁基礎部分が前面方向に移動しない条件で、試験体の破壊まで加振し、実験での最終状況として次のような知見を得た。

谷積み仕様による第1回実験においては、空積み擁壁では背面地盤の水平移動に伴う擁壁上部ブロックの崩落による擁壁の崩壊、練積み擁壁では背面地盤の沈下、水平移動に伴う擁壁全体の傾斜、水平移動であった。練積み擁壁は、コンクリートにより一体化されたことで剛体的挙動を示すことが確認された。平積み仕様による第2回実験においては、空積み擁壁では背面地盤の水平移動に伴う擁壁下部ブロックの崩落による擁壁の崩壊、簡易補強空積み擁壁では背面地盤の移動による擁壁面のはらみ出しと擁壁面の水平移動であった。擁壁面の各ブロックを薄い鉄板(w=50mm, t=3mm)で連結する簡易な方法による補強でも、擁壁面が変形しても崩壊に至らず補強効果があることが確認された。

謝辞：本実験は、(独)建築研究所の研究課題『耐震化率向上を目指した普及型震改修技術の開発』(平成18年度～20年度)の中の「敷地・基礎の耐震診断・耐震改修技術の開発」の一環として、(独)建築研究所と(独)防災科学技術研究所の共同研究として実施したものである。実験の実施に際して、関係各位の協力を得た。ここに付記して謝意を表す。

参考文献

- 1)国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所, 平成16年新潟県中越地震建築物被害調査報告
- 2)平出他, 福岡県西方沖地震による玄界島の宅地地盤被害(その1~2), 第42回地盤工学研究発表会, 2007, pp. 1747~1750
- 3)国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所, 平成19年(2007年)能登半島地震建築物被害調査報告
- 4)国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所, 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震建築物被害調査報告

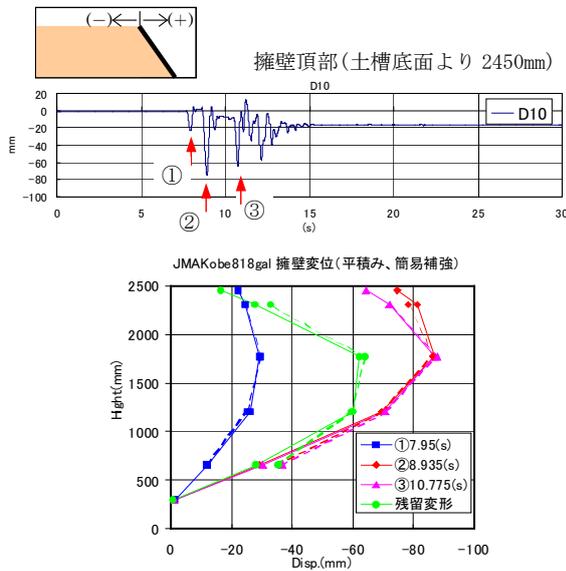


図-10 試験体 No. 2-2 擁壁の応答変位波形と変位分布状況(入力最大加速度 818gal)

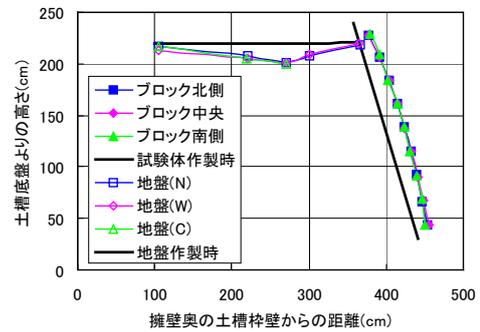


図-11 試験体 No. 2-2 最終変形分布状況(再入力最大加速度 818gal)

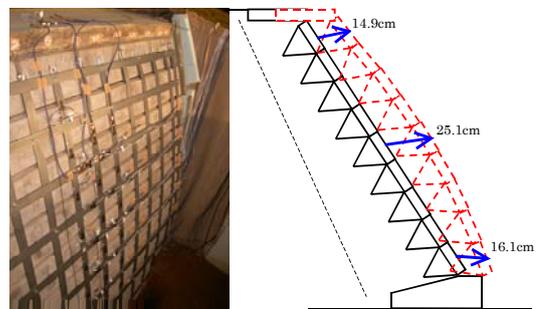


写真-5 試験体 No. 2-2 最終状況(再入力最大加速度 818gal)