

## (7) 改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の遠心振動実験

大日本土木株式会社 齊藤 知哉  
 // 伊藤 秀行  
 東京工業大学 桑野 二郎  
 // 井沢 淳

### 1. はじめに

補強土工法は、ジオグリッドを用いた工法をはじめとして、さまざまな工法が開発されている。中でも特にジオグリッドを用いた補強土工法は、大地震に対して変形は大きいものの崩壊はせず、地震時の挙動は良好で盛土構造物などの安定性の向上に大きく寄与することから、広く用いられてきている。筆者らも、補強土壁の壁面部分に改良土を配置し、ジオグリッドと組み合わせる新しいタイプの補強土工法の開発を進めてきた。1) 本工法の概念図を図-1に示す。本工法の特長としては、以下の点が挙げられる。

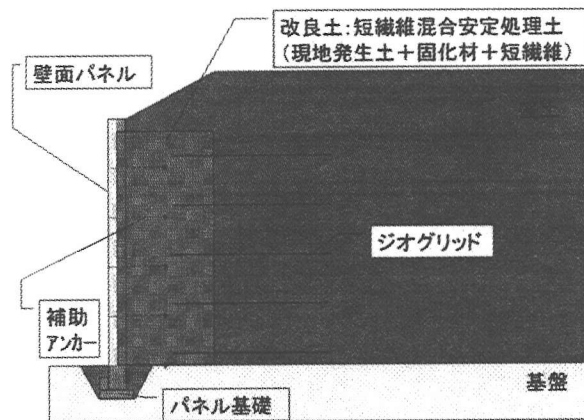


図-1 概念図

- ・ 改良土の強度を補強土の設計に取り入れる
- ・ 改良土の効果によりジオグリッドの使用量が減る
- ・ 盛土材は砂質土に限定されず、現地発生土を有効利用できる
- ・ パネルとジオグリッドは連結されず、ジオグリッドは改良土中に定着させる。
- ・ 改良土には短繊維を混合し、じん性や対浸食性、耐震性の向上を図る

開発に当たっては、短繊維を混合した改良土の強度特性や改良土中のジオグリッドの引抜き実験などの要素実験、模型載荷試験や現場施工実験などを進めるとともに、設計法の構築も行い工法の確立を行ってきたが、耐震性能に関しては未だ未解明な部分が多く課題となっていた。そこで本稿では、改良土とジオグリッドを組合わせた補強土壁の地震時挙動(変形特性)を把握し、本工法の耐震性能の確認と耐震設計法の検証を行うことを目的として、改良土とジオグリッドを組合わせた補強土壁の遠心模型振動台実験を行い、その結果の一部について報告することとした。

### 2. 実験概要

#### (1) 模型地盤

実験は50Gの遠心加速場にて行った。模型地盤は、内寸幅430mm、深さ250mm、奥行き150mmのモールド内に盛土高さ200mm(実物換算で10m)とした。盛土の形状および設置した計測機器の位置(case5の例)を図-2に示す。

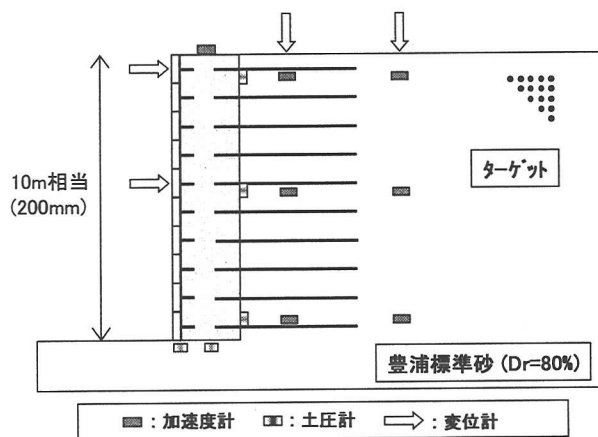


図-2 模型盛土地盤および計測機器配置

キーワード：補強土、改良土、ジオグリッド、遠心実験、振動台実験

連絡先：〒350-1331 埼玉県狭山市新狭山1-1-1 tel:042-969-5250 / fax:042-969-5245

E-mail: [tomoya\\_saito@dnc.co.jp](mailto:tomoya_saito@dnc.co.jp)

実験材料として用いた材料の主な物性値を表-1に示す。盛土材料には豊浦標準砂 (Dr=80%) を用いた。改良土には含水比を10%に調整した豊浦標準砂に高炉セメント (60kg/m<sup>3</sup>) を混合し、湿潤密度を  $\gamma_t=1.6\text{g/cm}^3$ 、一軸圧縮強度が  $q_u=420\text{kN/m}^2$  となるよう7日間養生したものを用いた。また改良土に短繊維を混合する (case5,6) では実際に現場で使用している材料であるビニロン短繊維 (太さ  $\phi=43\mu\text{m}$ ) を約10mmにカットして改良土に混合した。模型ジオグリッドには、実際に使用するグリッドと引張剛性をあわせるため、厚さ1mmのポリカーボネイト板を用い、図-3に示すように、実物の引張り剛性とあわせるため、円中心間隔15mmピッチで  $\phi=10\text{mm}$  の穴を開けたものを使用した。模型壁面パネルには厚み5mmのアルミ板を用いた。

模型地盤の作製方法は、改良土は所定強度 (=420kN/m<sup>2</sup>) 得るためにあらかじめ作製し、盛土は土槽の側面を上にして空中落下法により作製した。以下に作製方法を示す。

### ① 改良土部分の作製

改良土の混合は、ビニール袋に標準砂とセメントを入れ振とうし、さらに水を加えて十分混合するまで振とうする。そして、短繊維を所定量計量し、束にならないよう注意しながら混合する。土槽内への改良土の作製は、まず前面側にパネルを設置して盛土側には所定の幅になるよう型枠を設置する。そして、改良土は高さ1cmごとに所定の密度となるよう突き固め、所定の位置にジオグリッドを敷設しながら、模型高さ20cmまで繰り返して作製する。写真-1に改良土作製後の状況を示す。

### ② 盛土部分の作製

写真-2に盛土作製状況を示す。改良土の養生6日後、土槽の側面を上にして側面板を取り外し、盛土形状の型枠を入れる。盛土は標準砂を空中落下法により相対密度80%となるよう作製する。このとき計測機器を所定の位置に設置する。盛土を均した後、側面板を取り付け、土槽を元の状態に戻す。型枠を取り除いた後、盛土上部を整形して盛土地盤を完成させる。

## (2) 実験ケース

実験は、表-2及び図-4に示すように、ジオグリッドのみの case1 (GG)、改良土のみで幅の狭い case2 (NW)、広い case3 (WW)、改良土とジオグリッドを組み合わせたケースで短繊維混合なしの case4 (HF)、短繊維混合0.1%の case5 (HS)、短繊維混合0.05%の case6 (HSH) の計6ケースについて行った。

表-1 材料物性

盛土	豊浦標準砂 Dr=80%
改良土	豊浦標準砂 $\omega=10\%$ $\gamma_t=1.600\text{g/m}^3$ 高炉セメント 60kg/m <sup>3</sup> $q_u=420\text{kPa}$ (7days)
短繊維	ビニロン (実物と同様) 長さ L=10mm, 太さ $\phi=43\mu\text{m}$
ジオグリッド	ポリカーボネイト (polycarbonate) 引張強度: 391.3kN/m 土との摩擦角: 42.4°

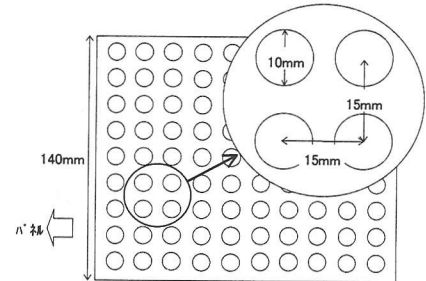


図-3 模型ジオグリッド

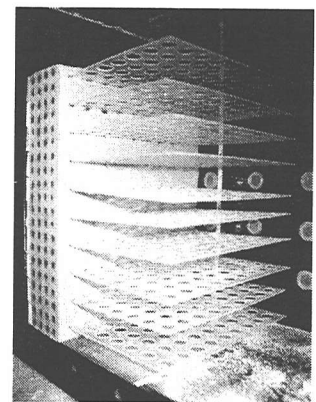


写真-1 改良土作製後

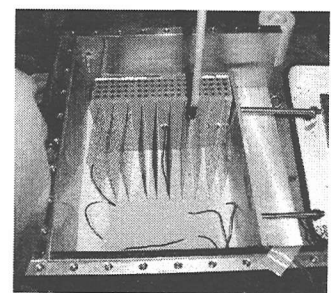


写真-2 盛土作製状況

表-2 実験ケース

case		改良土		ジオグリッド	
		改良土幅	短繊維	敷設長	敷設数
1	GG	—	—	120mm	10
2	NW	42mm	0.00%	—	—
3	WW	80mm	0.00%	—	—
4	HF	42mm	0.00%	100mm	10
5	HS	42mm	0.10%	100mm	10
6	HSH	42mm	0.05%	100mm	10

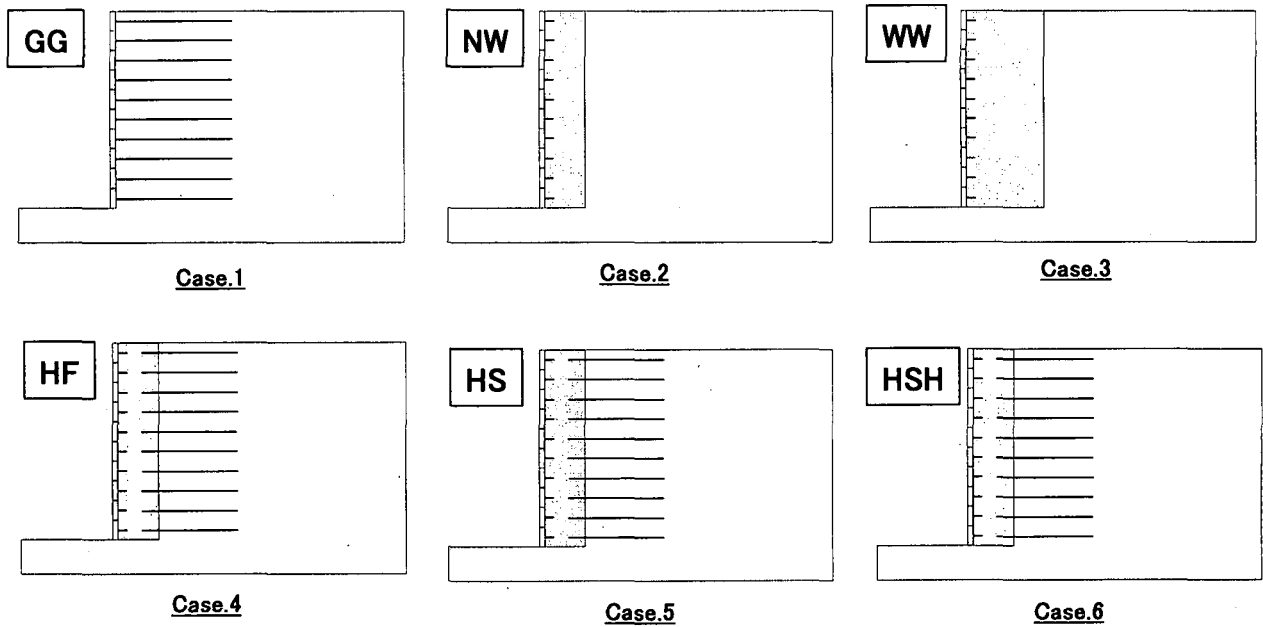


図-4 実験ケース

### (3) 計測項目

計測は、図-1に示したように、パネル下および改良土下の鉛直土圧を2点、改良土（case1はパネル）の水平土圧を3点計測した。また、応答加速度はジオグリッド敷設範囲内に3点、盛土内に3点、改良土上（地表面）に1点の計7点計測し、入力加速度は1点（土槽に設置）計測した。変位は、パネルの水平変位を2点、盛土の沈下量を2点計測した。また、地盤の変形を観察するのに、CCDカメラを用いた画像処理システムを用い、地盤内に埋設したターゲット位置を計測した。

### (4) 実験方法

実験は遠心加速度を50Gまで上げ、盛土の状態が安定した後、表-3に示すように、周波数100Hz（実物換算2Hz）の正弦波を、step1~3までは、20波、振幅をそれぞれ、0.3、0.6、1.0mmと増幅させ、step4以降は、40波、振幅1.0mmとして破壊が生じるまで加振した。図-5にcase3の入力加速度時刻歴を示す。

表-3 入力stepと入力波の条件

	振幅	入力波数	周波数
1 <sup>st</sup>	0.3mm	20	100Hz
2 <sup>nd</sup>	0.6mm	20	100Hz
3 <sup>rd</sup>	1.0mm	20	100Hz
4 <sup>th</sup>	1.0mm	40	100Hz
5 <sup>th</sup> ~	4 <sup>th</sup> の条件と同様		

入力波形：sin波      遠心加速度：50g

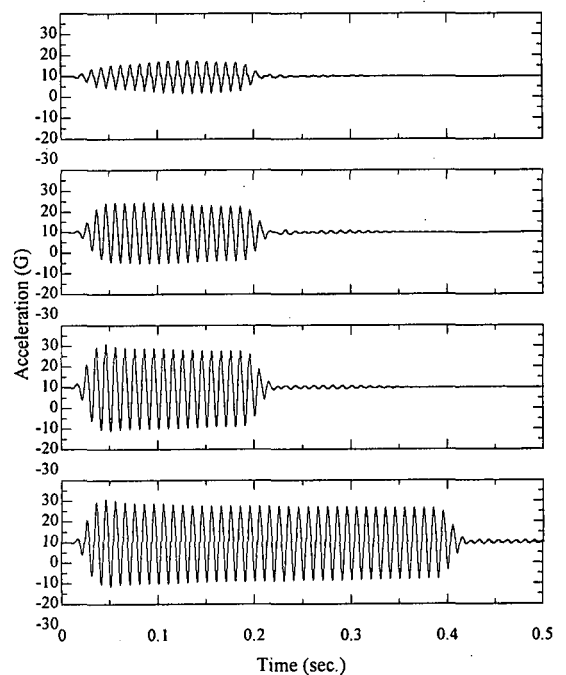


図-5 入力加速度時刻歴

### 3. 実験結果

#### (1) 変形

図-6に各ケースの加振実験最終形状とその時の写真を示す。ジオグリッドのみの(GG)では、加振はstep4までであったため、明確な破壊は認められなかったが、壁面の中腹がはらみ出すような変形形態となった。改良土のみの幅狭の(NW)では、加振により改良土のつま先を中心に転倒する破壊形態となり、step2において完全に転倒崩壊した。改良土のみの幅広の(WW)では、NWと同様に加振により改良土のつま先を中心に転倒する破壊形態となり、加振step3において改良土つま先で応力集中が発生し、改良土にクラックが発生した。短繊維混合なしの改良土とジオグリッドを組み合わせた(HF)では、step1,2では変形がほとんど見られない結果となったが、step3において改良土に縦にクラックが発生した。これは改良土の地震時の自重慣性力に対し、ジオグリッドの引き留め効果が発揮されるものの、ジオグリッドの敷設のない壁面側の改良土は水平慣性力が卓越して引張り破壊が生じたものと考えられる。一方、短繊維混合0.1%の改良土とジオグリッドを組み合わせた(HS)では、当初予定していたstep4までは変形もほとんど見られない結果となった。そのため破壊するまで加振したところ、step6においてHFと同様に改良土に縦クラックが発生した。また、短繊維混合0.05%の改良土とジオグリッドを組み合わせた(HSH)では、step1,2,3では変形がほとんど見られない結果となったが、step4においてHFと同様に改良土に縦にクラックが発生した。このことから改良土に発生するクラックを抑制するのに短繊維の混合が大きく寄与しているものと考えられる

#### (2) 土圧

図-7に土圧と応答加速度の計測結果を示す。なお、水平土圧は改良土もしくはパ

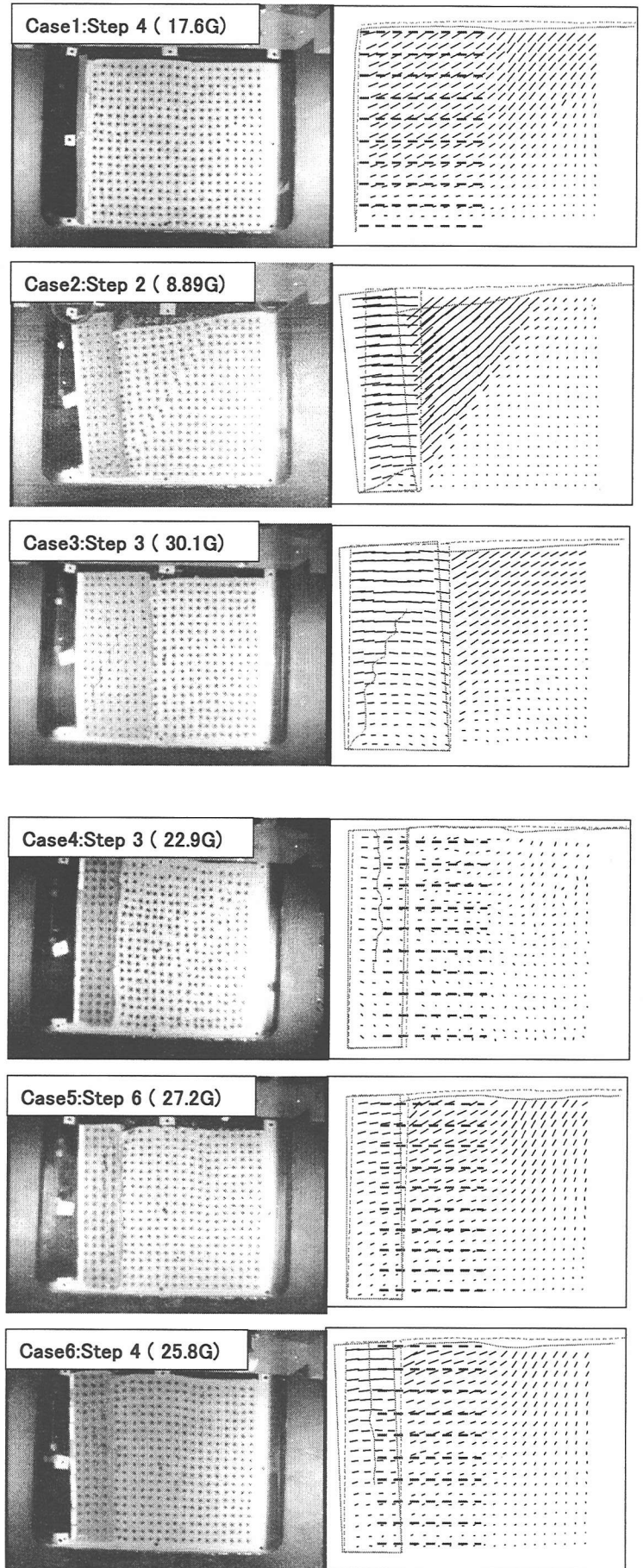


図-6 加振実験最終時の写真と変位ベクトル図

パネルにかかる水平土圧、鉛直土圧はパネル直下にかかる鉛直土圧の計測結果を示す。現段階では考察を含めず結果のみを case ごとに列挙することとする。(GG)では、加振 step によって鉛直土圧は変化ないものの、パネルにかかる水平土圧は step とともに累積して大きくなっていくことがわかる。(NW) では step2 で転倒崩壊したため、鉛直土圧は急増し、改良土つま先で応力集中していることがわかる。(WW) においても(NW)と同様で加振により改良土つま先で応力集中し、鉛直土圧は、step3 で改良土にクラックが発生するまでは上昇するが、step4 で崩壊するとともに減少した。(HF) (HS) (HSH) の改良土とジオグリッドを組み合わせたケースでは、step2 までは鉛直土圧の上昇はほとんど見られず、改良土は転倒せず変形もほとんどしていなかった。

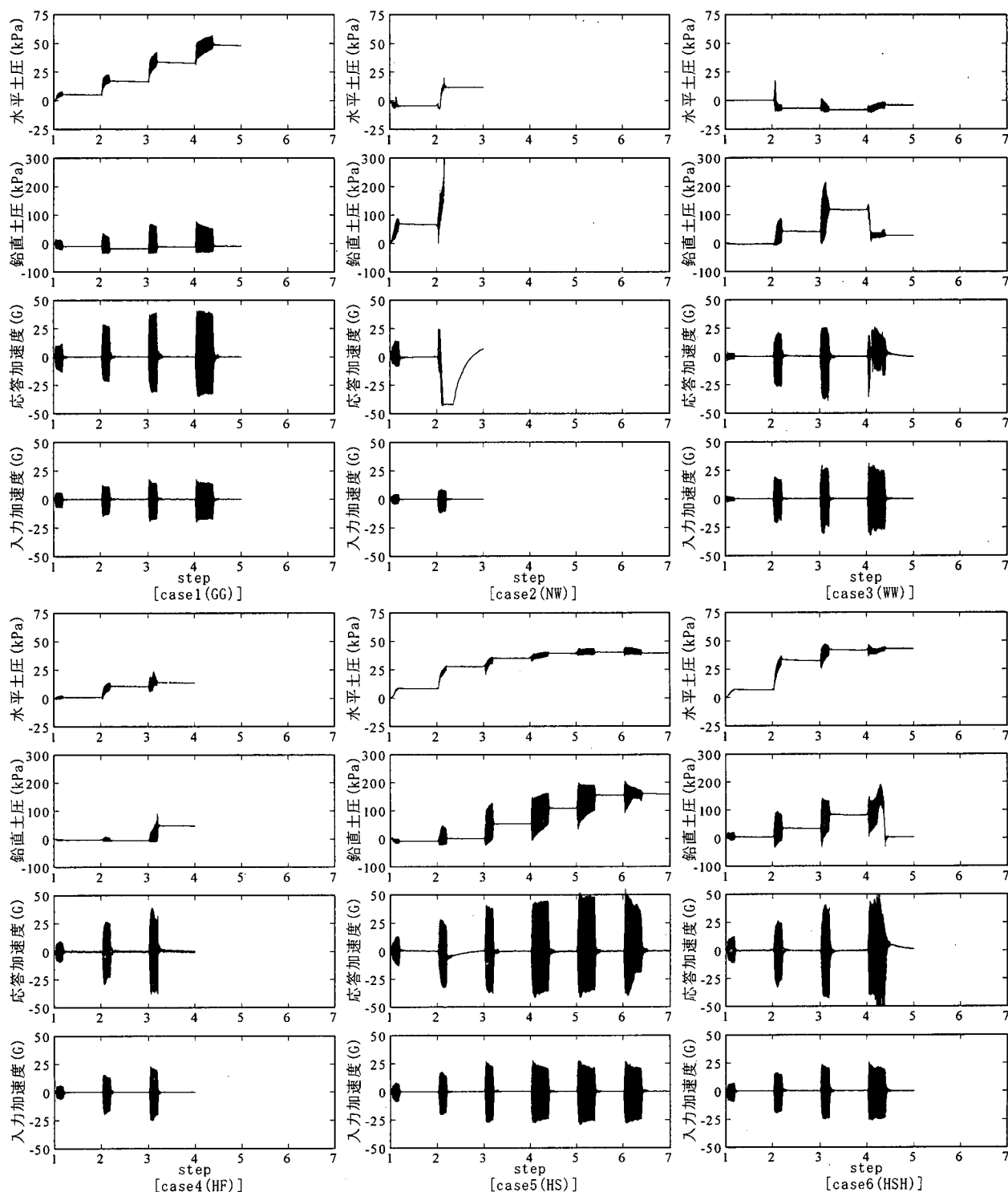


図-7 計測結果 (土圧計、加速度計)

### (3) 加速度

図-8に入力加速度に対する改良土上の加速度応答倍率を示す。(GG)では、地中内での応答加速度であるが、ほぼ倍の応答加速度が計測された。(NW)はstep1で約3倍の加速度が計測され、壁面の変形量も大きかった。改良土の幅広い(WW)では剛な塊が大きいため、入力と同程度の値が計測された。改良土とジオグリッドを組合せた(HF)(HS)(HSF)はどのケースも(GG)や(NW)より小さい1.5~2倍の加速度が計測された。

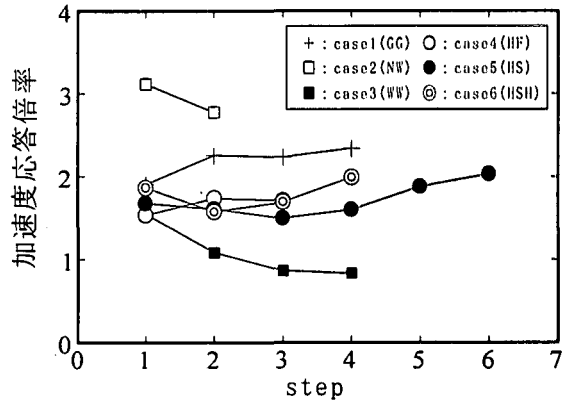


図-8 改良土上の加速度応答倍率

### (4) 加速度パワー $I_E$

図-9に各ケースの各ステップにおける最大入力加速度の計測値を示す。加振装置は変位制御であるため、各stepにおいて入力加速度がバラついた。特にcase1,2の入力加速度が小さかったことがわかる。そのため、加速度パワー $I_E^2$ という指標を用い、これと壁面水平変位の関係をまとめ、各ケースを比較することとした。

図-10にこの結果を示す。兵庫県南部地震相当の $I_E$ において比較すると、ジオグリッドのみまたは改良土のみのケースに比べ、短繊維混合した改良土とジオグリッドを組み合わせたケースでは変位量は半分以下と小さく、釧路沖地震相当の $I_E$ においては、ジオグリッドのみまたは改良土のみのケース以外は、そこまで破壊もしくは大きな変形を起こす結果となった。

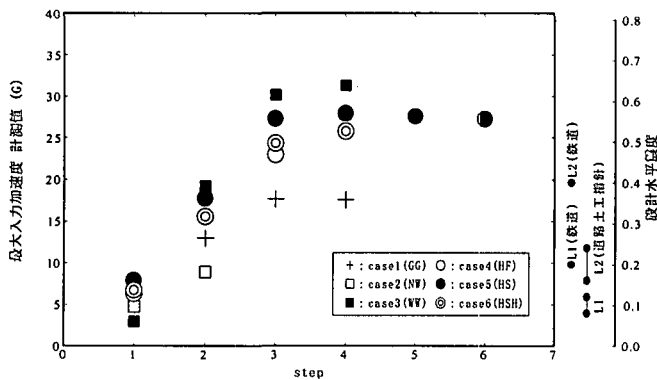


図-9 最大加速度

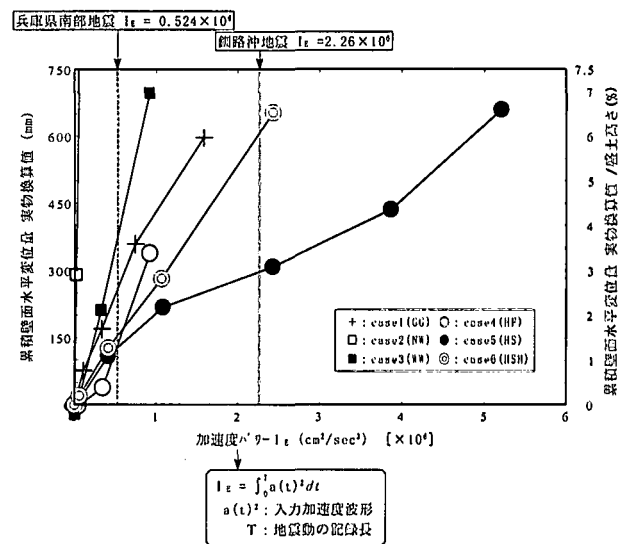


図-10 壁面変位と加速度パワー

## 4. まとめ

改良土のみでは、改良土幅を広くしても破壊(クラックが発生)した。ジオグリッドのみでは、破壊は認められないものの変形が大きい結果となった。改良土とジオグリッドを組み合わせたケースにおいては、地震波に対して変形が小さく、改良土にクラックは発生するものの、短繊維を混合することにより、このクラックは抑制され、耐震性能に優れていることが明らかになった。今後はさらに、不規則波による振動実験、ジオグリッドのひずみの計測などを行い、本工法の耐震性能の把握に努めていく所存である。

### <参考文献>

- 1) 斉藤知哉、伊藤秀行：改良土とジオグリッドを組合せた補強土壁、土木技術 vol.57, No.2, pp.82-89, 2002.2
- 2) 室野剛隆、館山勝：盛土の耐震検討に用いる地震動波形に関する一考察、鉄道総合技術研究所