

技術報文

改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の現場適用

大日本土木(株) 伊藤 秀行 倉知 洋行 齊藤 知哉
 東京工業大学 桑野 二郎 井澤 淳

1. はじめに

筆者らは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壁(図-1)の開発を、改良土の強度特性試験や現場での混合実験、改良土とジオグリッドの引抜き実験、模型載荷実験、遠心振動台実験、現場施工実験を行い、進めてきた。現在(平成15年8月)では実施工例も16例にのぼっている。前稿では、開発段階で行ってきた一連の実験(改良土の強度特性試験、引抜き実験、模型載荷実験、遠心振動台実験)の結果について紹介したが、本稿では施工実験と施工事例および現地計測結果について紹介する。

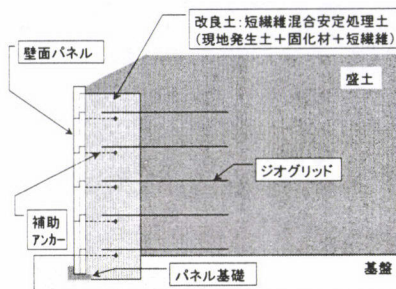


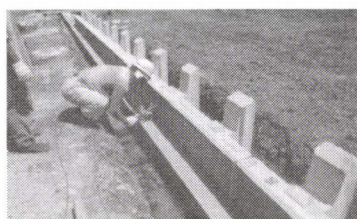
図-1 概念図

2. 施工方法

改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の施工方法を写真-1に示す。

①パネル基礎の施工

パネルの根入れ部分を掘削後、基礎コンクリートを打設し、根入れ部分のパネルを設置する。



②パネルの積上げ、連結
 次段のパネルを積上げ後、専用の金具で下段のパネルと連結する。またパネルはアンカー材により改良土と一体化させる。



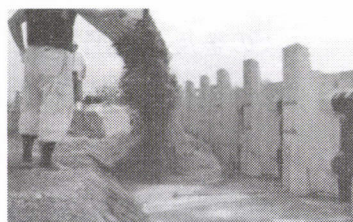
③改良土の攪拌、混合

現地発生土に固化材と短繊維を投入し、バックホウやスタビライザなどで混合、攪拌する。



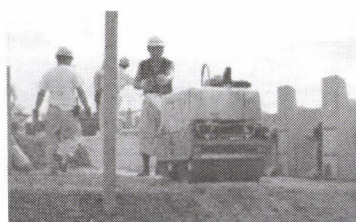
④まき出し

改良土および盛土を予定の厚さになるようにまき出す。また、所定の位置に帯状排水材を敷設する。



⑤転圧

振動ローラー、プレートリマーなどにより、所定の密度になるように転圧する。



⑥ジオグリッドの敷設

ジオグリッドの敷設高さに盛土が立ち上がったなら、ジオグリッドを敷設する。

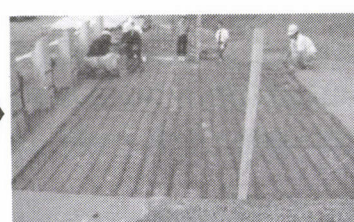


写真-1 施工方法

3. 施工実験

(1) 実験概要

施工概要図を図-2に、断面図を図-3に示す。改良対象土にはまさ土、盛土材には再生碎石を用いた。改良材には、固化材（タフロック TL-3）と短繊維（ビニロン製、長さ 30mm、太さ 16.6dTex（約 43μ ））を用いた。改良土の設計強度（6日気中+1日水浸強度）は $qu=290\text{ kN/m}^2$ であり、配合試験では最低混合量 30kg/m^3 以下でも満足する結果となったが、本工法では最低混合量を 50kg/m^3 としているため、固化材の設計混合量は 50kg/m^3 とした。短繊維は乾燥重量比で $0.05\%/m^3$ とした。現場混合量は割増係数を 1.5 とし、固化材 75kg/m^3 、短繊維 $0.075\%/m^3$ とした。実験に用いたジオグリッドは、目合 $166\text{mm}\times 22\text{mm}$ の一軸延伸のジオグリッドであり、引張り強度 34.3kN/m のものを用い、壁面材にはプレキャストコンクリートパネルを用いた。パネルの基本形状は幅 $2\text{m}\times$ 高さ 1m 、質量約 760kg/枚 で、背面に 2本の突起があるのが特徴である。この突起によりパネルは 5分勾配(写真-2)まで自立可能で、施工性の向上に寄与している。

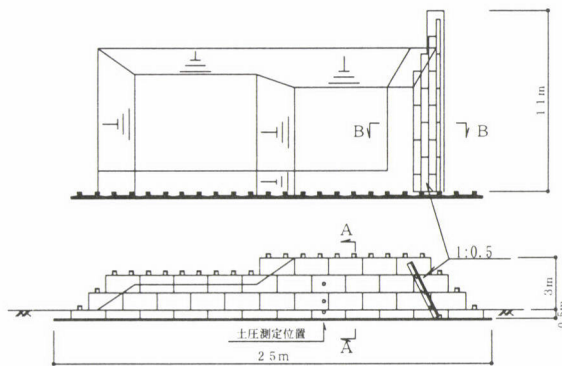


図-2 施工概要図

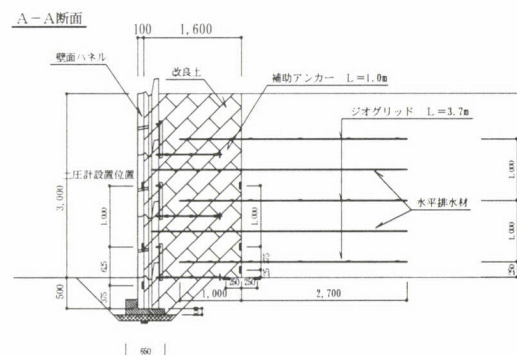


図-3 施工断面図

パネルは上下に専用の連結金具で連結するとともに、補助アンカー（異形鉄筋 D16+アンカー材：1本/1m²）により改良土と一体化させる構造である。

本工法の応力状態を確認するため、施工中における底面、改良土裏、パネルに作用する土圧をそれぞれ3点ずつ、および各段におけるジオグリッド、補助アンカーに発生するひずみの計測を行った（図-2、3）。

(2) 実験結果および考察

施工は、パネルの設置、改良土の混合・施工、盛土の施工、ジオグリッドの敷設を順次繰り返しながら補強土壁を構築していく（写真-1参照）が、改良土の混合がクリティカルになるものの施工上は特に問題は生じなかった。

本工法では施工に先立ち、改良土の配合試験を実施し、設計により設定された改良土の必要強度を満足する固化材、短繊維の混合量を求める必要がある。

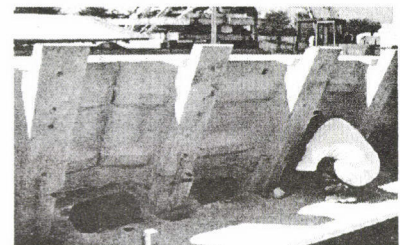


写真-2 パネル（5分勾配）

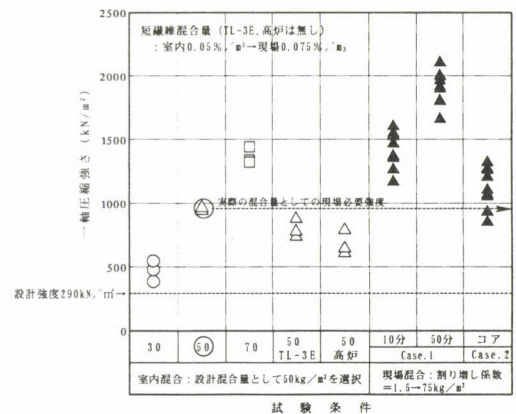


図-4 現場混合改良土の一軸圧縮試験パネル

現場では、求められた配合量に割増係数を乗じた量を混合するが、現地で施工された改良土の強度発現性やばらつきがどの程度となるかを確認する必要がある。そこで本実験において、現場で施工された改良土の強度発現性およびばらつきを一軸圧縮強度により確認した。バックホウにより現場混合した改良土の一軸圧縮試験結果を図-4にまとめる。現場混合の試料を採取して作製した供試体の一軸圧縮強度は、室内の配合試験の強度より大きく、試料の採取を混合時間によって変化させた場合は、混合時間が長いほど強度は大きくなり、ばらつきも小さくなった。また、現場転圧後、コア抜きして作製した供試体でも、供試体の乱れが考えられるにもかかわらず、現場必要強度を満足することを確認できた。

図-5に7層目(盛土1.75m)完了時点および施工終了時の盛土内部の応力状態を示す。改良土により一体化した壁には、鉛直(改良土背面)、水平(改良土底面)とも施工状況に応じた土圧が作用している。パネルに作用する土圧は、改良土の敷均し、転圧時(未固化時)に一時的に土圧を受けるものの、その後改良土の固化が進むことで、パネルにはほとんど土圧は作用しなくなる。またジオグリッドには全般に引張り力が作用し、その中でも改良土と盛土の境界に引張り力のピークが見られ、安定に寄与しているものと考えられる。その値はそれほど大きいものではなく安定状態あるものと言える。

(3)まとめ

施工実験により以下の点が確認できた。

- ・ 改良土による壁には、鉛直・水平とも施工状況に応じた土圧が作用し、その土圧はほぼ理論値と整合した値となった。
- ・ 壁面パネルには、施工状況に応じた土圧が一時的に作用したが、改良土が固化することにより土圧は作用しなくなった。
- ・ ジオグリッドには全体的に引張り力が作用し、本工法の安定性に寄与した。

4. 施工事例①

(1)施工概要

適用現場は岡山県のダム建設現場であり、工事中は骨材投入設備として使用され(写真-3)、工事完了後の現在はダムの整備用道路の一部として供用されている(写真-4、5)。場所はダム湖内であり、一時的に水没するため、設計では盛土に残留水位が残った状態の設計を行った。図-6に適用断面を示す。壁高はH=5.5mである。

盛土材には現場内で掘削された岩塊混じり粘性土を用いた。改良対象土は現場内で掘削された砂質土に、高炉セメントB種を設計混合量60kg/m³(現場混合量=84kg/m³)混合した。

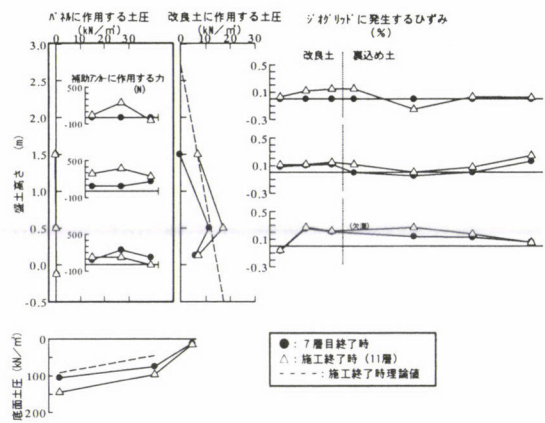


図-5 施工中の補強盛土内の応力状態

表-1 工事概要

工事名	ダム建設工事 骨材投入設備
工事場所	岡山県上房郡賀陽町地内
工期	平成13年1月～平成13年2月
工事内容	骨材投入設備工事一式
補強土壁の規模	施工延長≒28m 最大高さ≒5.5m 壁面積≒155㎡

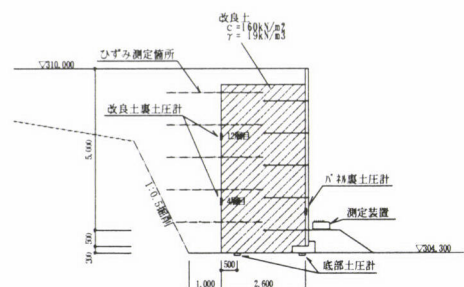


図-6 適用断面

改良土の目標設計強度は、 $q_u=320\text{kN/m}^2$ (6日気中+1日水浸強度)である。改良土は締固め密度が $\rho_d=1.48\text{t/m}^3$ ($1 \cdot E_c \times 90\%$)以上となるように、一層仕上り厚 25cm で 1t ハンドガイド式振動ローラーおよびプレートコンパクタにより転圧した。施工途中の現場密度試験の結果、改良土の締固め密度は $\rho_d > 1.5\text{t/m}^3$ 以上を得ていることを確認した。背面の盛土も一層仕上り厚 25cm で、改良土と同時に敷均し・転圧を行った。使用したジオグリッドは、目合 166mm \times 22mm の一軸延伸のジオグリッドであり、引張り強度 34.3kN/m のものを用いた。施工中および骨材投入設備として供用中は、壁面パネル土圧、改良土裏土圧、改良土底面鉛直土圧およびジオグリッドのひずみを計測した。

(2) 計測結果および考察

図-7に施工中および施工終了後の各土圧の経時データを示す。図-8には各土圧とジオグリッドに発生するひずみを施工段階および経時日毎にまとめる。この現場で骨材投入設備が本格稼働したのは5月中旬からであり、それまでは施工終了後から各土圧ならびにジオグリッドのひずみはほぼ安定した状態にあることがわかる。パネルの水平土圧に関しては、4/21頃まで土圧を検知しているが、これは土圧ではなく計測時刻の影響によるコンクリートの温度応力であると考えられる。4/21以降、計測時刻を変えてコンクリートの温度応力の影響を避けるとパネル水平土圧はほぼゼロで推移している。

骨材投入設備が本格始動を始めた、壁面近傍において 10t ダンプトラックによるコンクリート用碎石の荷下ろし作業 (ダンプアップ作業---写真-3) が頻繁に行われるようになった5月中旬以降は、改良土裏の土圧が下部、上部とも激しく変動しながら徐々に大きく測定されてきている。これとともに、改良土下の鉛直土圧はわずかに漸増しているものの、



写真-3 施工中(骨材投入設備)

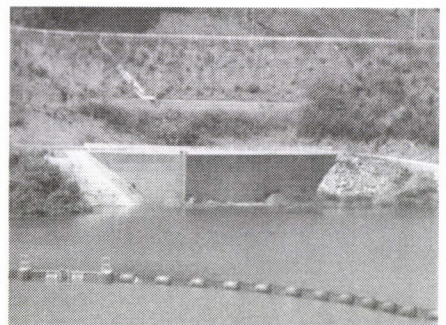


写真-4 工事完了後(管理道路)

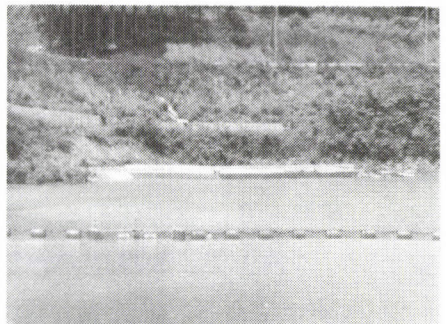


写真-5 工事完了後(水没時)

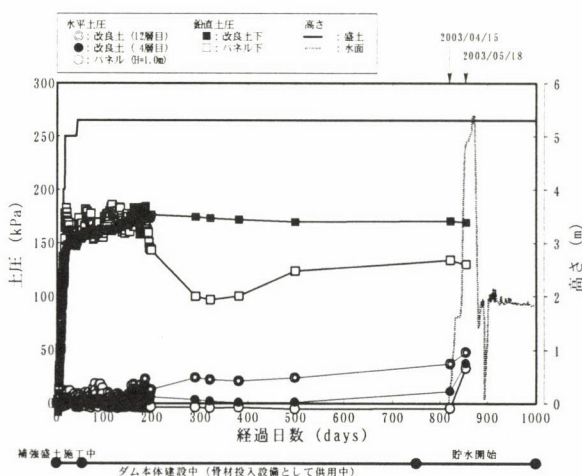


図-7 各土圧の経時データ

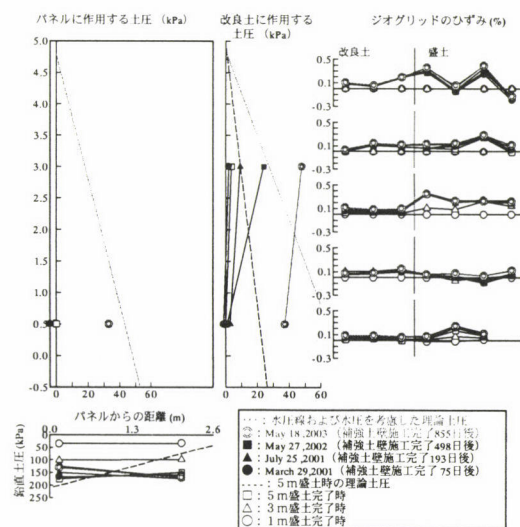


図-8 土圧とジオグリッドのひずみ

パネル下の鉛直土圧が6月下旬より低下してきていることが特徴的である。ただし、ジオグリッドのひずみは大きな変動はなく、ほぼ安定状態にあることがわかる。ダム湖として湛水を開始したのは2003年2月初旬（補強土壁施工開始後約750日後）で、水面がパネル底面に達した2003年4月初旬（写真-4）、パネル天端近くに達した2003年5月中旬（写真-5）に計測を行ったが、改良土およびパネルの水平土圧が静水圧分上昇したものの、ジオグリッドのひずみは大きな変動はなく、ほぼ安定状態にあり、現在もダム管理用道路の一部として供用されている。

(3)まとめ

現在までの計測データより以下の点が確認できた。

- ・ 壁面パネルには施工中も含め、ほとんど土圧が作用しない。
- ・ パネル下および改良土下の鉛直土圧の測定結果より、改良土の自重だけでなく、改良土が一体となって背面の盛土からの土圧を受ける挙動を示している。
- ・ パネル下に地盤反力が応力集中しない。
- ・ ジオグリッドには全般に引張りひずみが発生し、補強材として機能していることがうかがえる。特に、上部のジオグリッドほど相対的に大きな引張りひずみが発生しており、模型載荷実験などで確認された補強効果が実規模の盛土からも確認できた。

5. 施工事例②

(1)施工概要

本工事は金沢東部環状道路事業の一環で、月浦IC（仮称）建設工事に一部適用した事例である。工事概要を表-2に、図-9に補強土壁の代表断面図を、写真-6に完成状況を示す。

盛土材は砂質土で、改良土の必要強度は粘着力 $c = 250\text{kN/m}^2$ である。設計混合量は固化材（六価クロム対応型セメント系固化材） 59kg/m^3 、短繊維

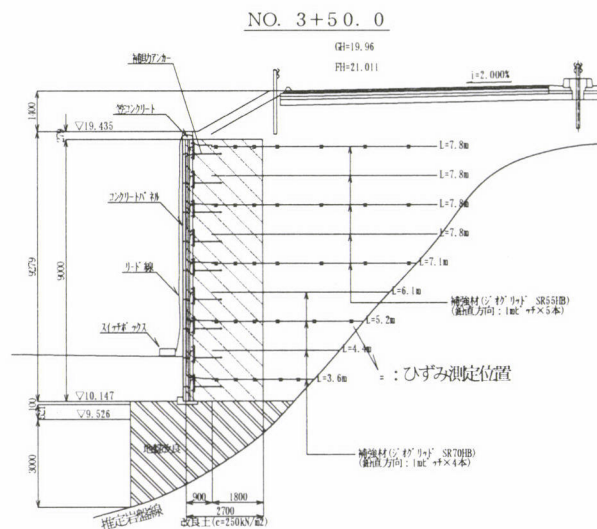


図-9 代表断面図

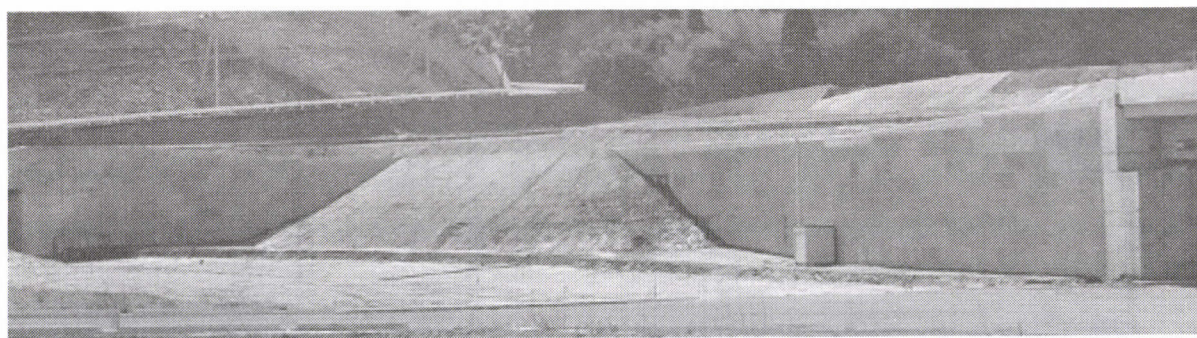


写真-6 完成状況

維（ビニロン製、太さ約 43 μ 、長さ 30mm）は 723g/m³である。現場ではこれに割増係数 (=1.3) を掛けた量を混合する。事前に試験混合を行い、フェノールフタレインによる色調確認などから改良土が均質になる攪拌混合時間を 1m³ 当たり 3分と設定した。なお、試験混合時には改良土の強度検査を実施して、バックホウによる現場混合でも設計強度を満足していることを確認している。改良土および背面の盛土は一層仕上がり厚さが 25cm となるように敷き均し転圧する。改良土の転圧は 1t ハンドガイド式の振動ローラーで行った。なお、パネル近くは振動コンパクタを用いた。改良土の日常の品質管理は通常の土工と同じく密度管理を行った。ジオグリッドは高さ方向に設計引張り強さ T_A=30kN/m と 36kN/m の 2 種類を用いた（図-9 参照）。本工法は補強材（ジオグリッド）をパネルと構造的に連結しないことが特長のひとつであり、図-9 に示すように、ジオグリッドは改良土から背面の盛土にわたり敷設し改良土に定着させる。本工法の作業性は、改良土の攪拌混合の作業が増えるものの他の作業との平行作業が可能であり、従来の補強土壁に比べて何ら変わるものではないことが改めて確認できた。

(2) ジオグリッドの計測結果および考察

補強土壁中の応力状態の定量的な確認を行うことを目的としてジオグリッドのひずみ計測を行った。ジオグリッドのひずみの測定は、ジオグリッドに発生する曲げの影響を考慮し、1カ所につき上下2点を測定してその平均値をひずみ量とし、ひずみの計測断面を図-9 に示す。ジオグリッドの引張り剛性(EA)は、SR55HB が 1,472 $\times 10^6$ kN/m、SR70HB が 1,841 $\times 10^6$ kN/m で、図-10 に施工中および補強土壁完成後8週間後の引張り力を断面的に示したものを示す。これより、引張りや圧縮などのばらつきは見られるものの、全体的にジオグリッドには大きな引張り力は発生しておらず、補強土壁は安定した状態にあることが分かる。また、表-3 に設計時に算定されるジオグリッドに作用する引張り力（常時、地震時）と施工終了段階（8週間後）で測定されたジオグリッドの引張り力をまとめる。これより、常時において実際にジオグリッドに作用している引張り力は、設計値に比較してかなり小さい値であることがわかる。これは、改良土による壁体の自立性が高いことの影響によるものと考えられ、背面の盛土の変位量が小さく、結果的にジオグリッドの引張り力も小さくなっていると考察される。

(3) 引抜き実験結果および考察

改良土中のジオグリッドの定着力について、現場で施工された状態での定着力の定量的な確認を行うことを目的として現場引抜き実験を行った。図-11 に実験方法の概略を示す。ジオグリッドは実際の敷設と同様、改良土中に 1.8m 敷設するが、幅は 50cm とした。そのジオグリッドの

表-2 工事概要

路線名	一般国道8号金沢東部環状道路事業
工事場所	石川県金沢市月浦町地内
工期	平成14年3月28日～ 平成15年2月28日
工事内容	道路改良工事一式
補強土壁の規模	施工延長≒90m 最大高さ≒9.8m 平均高さ≒8.5m 壁面積≒800m ²

表-3 設計値と実測値の比較

ジオグリッド番号 (設計における)	計測用 ジオグリッドNo.	実測最大引張り力 (kN/m)	設計引張り力 ^{*)} (kN/m)	
			常時	地震時
1	ジオグリッド-9	0.62	7.38	28.05
2	—	—	7.61	19.09
3	ジオグリッド-7	0.62	10.54	20.40
4	—	—	13.47	21.70
5	ジオグリッド-5	0.27	16.41	23.01
6	—	—	19.35	24.31
7	ジオグリッド-3	4.75	22.29	25.62
8	—	—	25.23	26.93
9	ジオグリッド-1	0.86	21.13	21.17

*) ハイビウォール設計仕様書(月浦町地内の5工区)設計仕様書2(04-3, 8274)
平成14年7月、ハイビウォール4研究発表

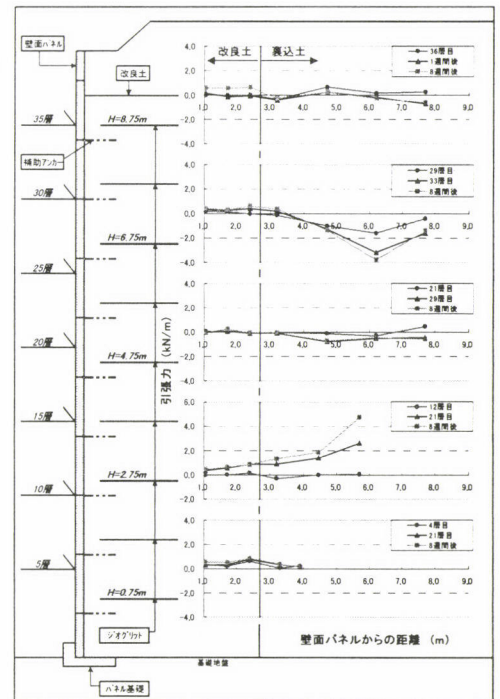


図-10 計測結果

端部に引抜き用治具（連結金具、ロードセル〔はかり〕、チェーンブロック）を連結し、さらに反力用の重機に接続する。写真-7に試験状況を、表-4に実験ケースを示す。実験ケースは3ケースとし、パラメータは上載盛土高さ（上載荷重）とする。改良土の養生は供試体作製後一週間とした。

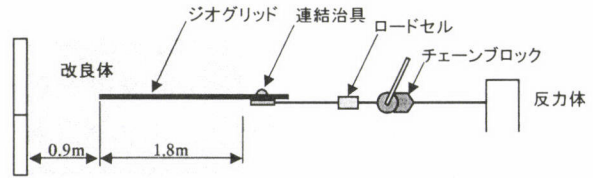


図-11 現場引抜き実験方法

表-4 実験ケース

Case	上載盛土高さ	備考
No.1	0.5m(0.5-1)	
No.2	0.5m(0.5-2)	No.1と同条件
No.3	1.0m	

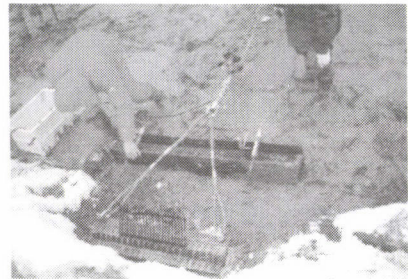


写真-7 現場引抜き実験状況

図-12に現場引抜き実験結果を示す。なお、実験結果は1m幅あたりの引抜き荷重に換算したものである（実際の試験は50cm幅で実施）。Case No.1~No.3のいずれも引抜き変位の進行とともに引抜き荷重（引抜き抵抗力）が増加し、引抜き荷重が約40kN/mに達した時点で、ジオグリッドと連結部材の連結部分で破断した。今回使用したジオグリッドは設計引張強さ $T_A=30\text{kN/m}$ （最大引張強さ $T_{\text{max}}=50\text{kN/m}$ ）であり、結果として、[改良土中へのジオグリッドの定着力]>[設計引張り強さ： $T_A=30\text{kN/m}$]>[設計より求まるジオグリッドに作用する最大引張り力： $T_{\text{max}}=28.05\text{kN/m}$ （最上段）]を確認できた。

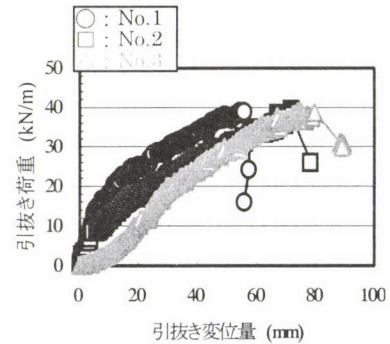


図-12 現場引抜き実験結果

6. 施工事例③

本工事は既設道路の拡幅工事に用いられた事例で、法面勾配が1:0.5である。完成後の供用状況を写真-8、展開・断面図を図-13に示す。河川構造物（ボックスカルバート）上への設置となるため、カルバート回りはコンクリート製品を使用しないテンサー工法で施工された。

表-6 工事概要

工事名	市道誉田町 111 号線道路改良工事
工事場所	千葉県千葉市緑区誉田町地内
工期	平成 13 年 1 月～平成 13 年 2 月
工事内容	道路改良工事一式
補強土壁の規模	施工延長≒26m 最大高さ=4.5m 壁面勾配=1:0.5 壁面積≒100 m ²



写真-8 完成後の供用状況

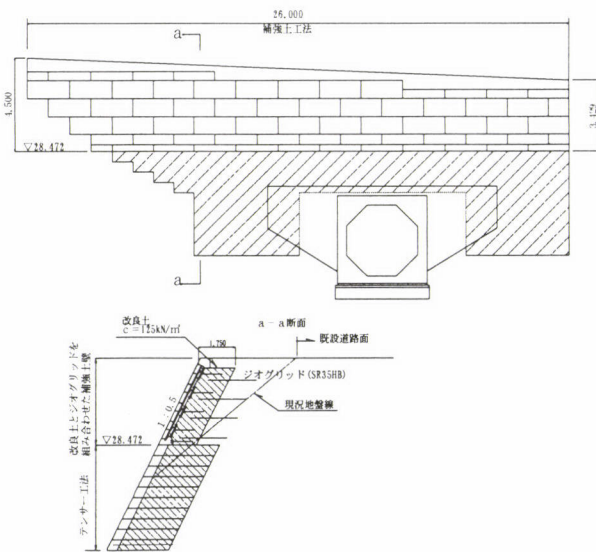
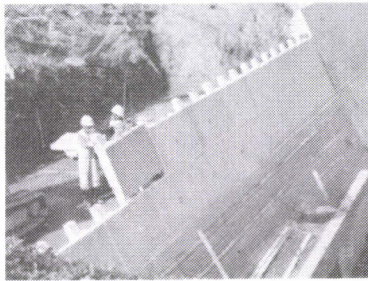


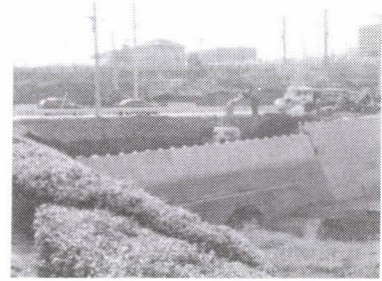
図-13 展開図および断面図



(a) パネル設置



(b) ジオグリッド敷設



(c) 施工状況

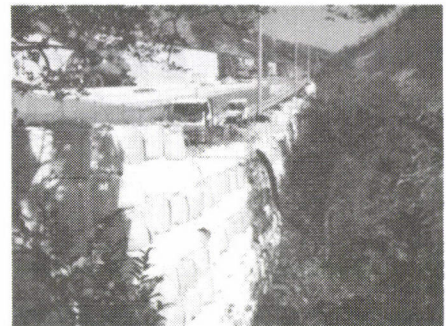
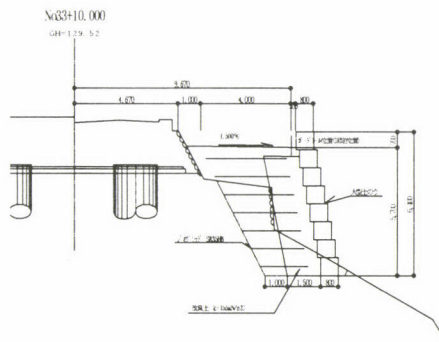
写真－9 施工状況

7. 施工事例④

本工法は改良土とジオグリッドにより構造安定性を保つ工法であり、壁面パネルは構造安定上必要ないが、美観や浸食防止、また施工時の改良土の転圧用型枠としての役目をもたせることから、永久構造物として用いる場合には壁面パネルを使用することが基本である。仮設構造物として本工法を用いる場合には、コスト抑制の面から壁面パネルを使用せず、代わりに大型土のうを使用するような適用方法も可能である。本適用事例は、災害復旧工事現場において、本道の復旧に際し、切回し道路として仮設的（供用約1年）に用いられた事例である。図－14 に断面図を、写真－10 に適用状況を示す。法面勾配は2分勾配であり、壁面パネルの代わりに用いた大型土嚢は施工性に極めて優れ、工期短縮にも寄与した。

表－7 工事概要

工事名	与種災害関連緊急 傾斜地崩壊防止工事
工事場所	東京都神津島村 字洞沢地内
工期	平成13年6月～ 平成13年7月
工事内容	工事用道路一式
補強土壁 の規模	施工延長≒90m 最大高さ≒5.7m のり面勾配=1:0.2 壁面積≒420㎡



写真－10 適用状況

図－14 断面図

8. おわりに

改良土を補強土の壁面部分に用いる補強土工法の開発を進め、施工事例も徐々にではあるが増加している。施工状況や供用状況から、急勾配盛土としての安定性も十分であり、特に壁面部分の安定性は当然ながら非常に優れていると考えている。また、施工性も従来工法と比較して何ら変わるものでないことが明らかとなった。今後も、技術の研鑽や普及に努めていく所存である。

【参考文献】

- 1) 「改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の開発」伊藤秀行、斉藤知哉、佐藤文雄、ジオシンセティックス論文集 第16巻、pp.103-110、2001.12
- 2) 「改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁」伊藤秀行、斉藤知哉、土木技術 vol.57, No.2, pp.82-89、2002.2
- 3) 「技術レポート 一般国道8号金沢東部環状道路 月浦 IC(仮称)建設工事における試験フィルト®事業 —改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁— ハイビーウォール工法の施工事例」沢田二郎、北陸の建設技術 vol.145, pp.16-19、2003.7
- 4) 「改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の施工事例(その1) —工事概要—」土木学会第58回年次学術講演会、投稿中、2003.9
- 5) 「改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の施工事例(その2) —ジオグリッドのひずみ計測と現場引き抜き実験—」土木学会第58回年次学術講演会、投稿中、2003.9