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[1]・斉藤　知哉[2]

[1]正会員　工修　大日本土木（株）　技術研究所（〒350-1331 埼玉県狭山市新狭山1-1-1）
[2]　　工修　大日本土木（株）　技術研究所（〒350-1331 埼玉県狭山市新狭山1-1-1）

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の開発を進めてきた．改良土の強度特性試験や改良土中のジオグリッドの引抜き実験，室内での模型載荷実験，および現場施工実験などをへて，実施工例も８例（平成14年2月現在）にのぼっている．本工法の開発目標は補強土のいっそうのコストダウンと現地発生土の有効利用にあったが，実現場への適用事例より，開発目標はほぼ達成されていることが確認できている．本論文では，まず，模型実験や現場実験などで測定されたデータから本工法の補強効果等を考察する．その後，実施工例を紹介し，設計法の考え方や施工状況についてまとめる．

キーワード：改良土，ジオグリッド，計測，補強効果，施工

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の開発を進めてきた．土地の有効利用や土地の購入費の軽減によるコスト縮減の観点から盛土のり面の急勾配化のニーズはいっそう高まると考え，合理的でより経済的な補強土工法の開発を目的として取り組んできたが，開発の背景は主に以下の点にあった．

・補強土工法の工事費の中で，材料費の占める割合が大きい
　→材料費を軽減することでいっそうのコストダウンができないか？
・補強土工法の原理から，盛土材が砂質土に限定される場合が多い
　→広範囲な土質に対応できないか？
・土のうの製作，運搬，積み上げなどといった，人力での苦渋作業を無くしたい
　→できるだけ機械化できないか？
・壁面近傍は転圧不足となりやすい
　→壁近傍の土をどうやったら強くできるか？

以上の観点から，盛土材に改良土を用いることに着目して基本的な構造仕様を構築し，全く新しいタイプの補強土壁を提案した．その間，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，現場施工実験[1)]などによる開発を進め，工法として確立し，現在では実施工例も８例（平成14年2月現在）にのぼっている．なお，本工法は(財)土木研究センターより，平成12年11月に「土木系材料技術・技術審査証明」を取得している．

本論文では,はじめに工法の技術の概要をまとめ，その後，模型載荷実験および施工事例での各種土圧やジオグリッドのひずみの計測データから，改良土とジオグリッドを組み合わせた補強効果や地盤内の応力状態について検証する．その結果，改良土は一体として挙動し，改良土の効果によりパネルにはほとんど土圧が作用しないこと，また，ジオグリッドに発生するひずみより，改良土とジオグリッドを組み合わせる補強効果が発揮されることなどが確認できた．また，実施工例を紹介し，施工状況についてまとめるとともに，設計法の基本的考え方を紹介する．

本工法の開発目標は補強土のいっそうのコストダウンと現地発生土の有効利用にあったが，今までの実現場への適用事例より，開発目標はほぼ達成されていることが確認できた．

写真-1　仕上がり外観

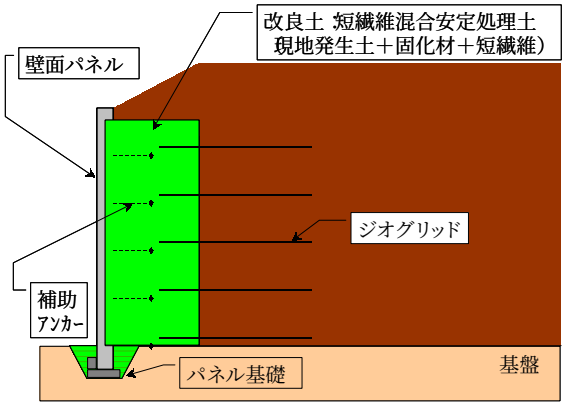

図-1　概念図

２．工法の概要

(1) 特長

改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の概念図を図-1に，仕上がり外観を写真-1に示す．補強土壁は主に補強材の種類（例えば鋼材 or ジオテキスタイル）と壁面工の仕様（例えばコンクリートパネル形式＝直壁 or 緑化タイプ＝勾配有り）により分類されるが，本工法は補強材にはジオテキスタイル（ジオグリッド）を用い，壁面工はコンクリートパネル形式となる補強土壁に分類される．本工法の特長は以下の点が挙げられる．

- 改良土を補強土壁の壁面部分に用い，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
- 改良土の効果により壁面パネルには土圧が作用しないため，簡易な構造のプレキャストコンクリートパネルを使用でき，建設コストの縮減につながる
- 盛土材は砂質土に限定されず，現地発生土が有効利用できる
- パネルとジオグリッドは連結せず，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，じん性や耐浸食性の

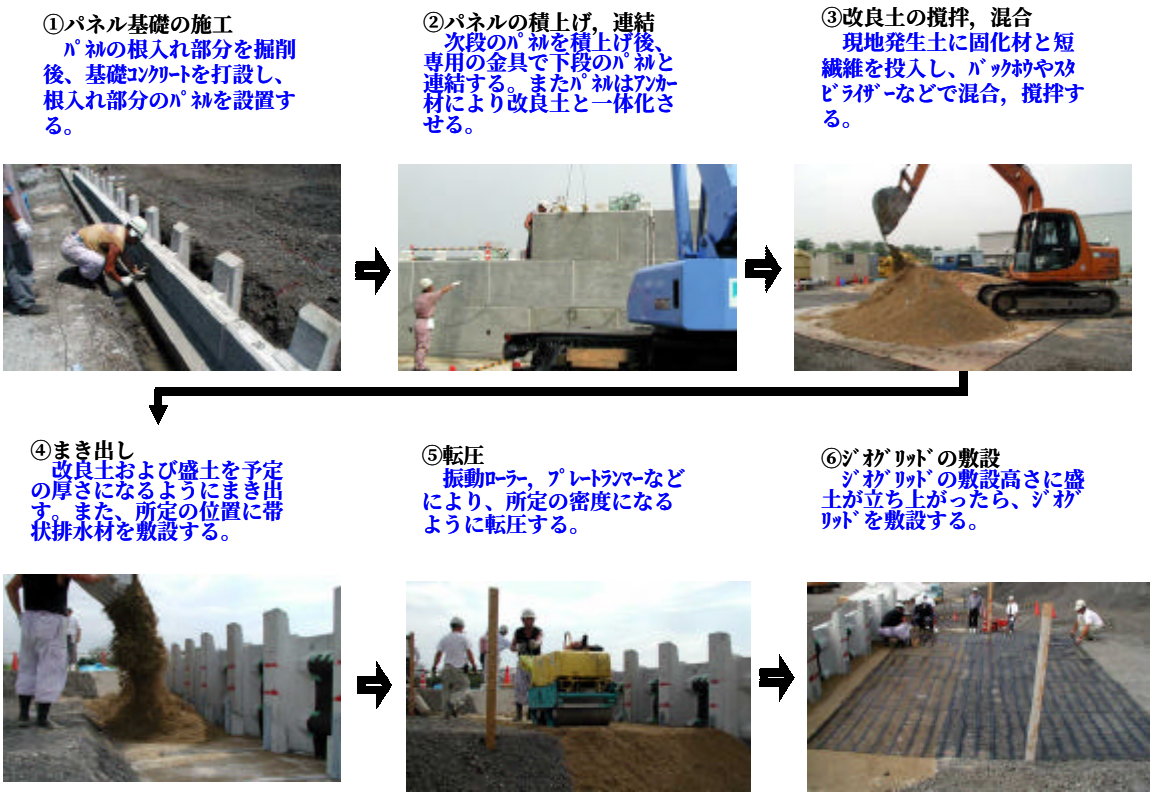

写真-2　施工手順

向上を図る
・改良土の幅は盛土の高さや土質に応じて1.5m～5m程度となり，必要強度は，τ（＝c）＝100～500kN／m²程度
・壁面パネルは補助アンカーで改良土と一体化させる
・壁面部分を高強度の改良土とするため，壁面部分の安定性に極めて優れる
・直壁から５分までののり面勾配に対応

(2) 留意点
・事前に実際に使用する盛土材料を用いて配合試験および六価クロム溶出試験が必要
・施工エリア内に改良土の撹拌・混合ヤードが必要

(3) 施工手順
改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の施工手順を写真-2に示す.

３．模型載荷実験

(1) 実験の目的
壁面パネル，改良土およびジオグリッドを組み合わせた補強土壁の模型を構築し，その補強効果や内部応力状態を確認することを目的に載荷実験を行った.

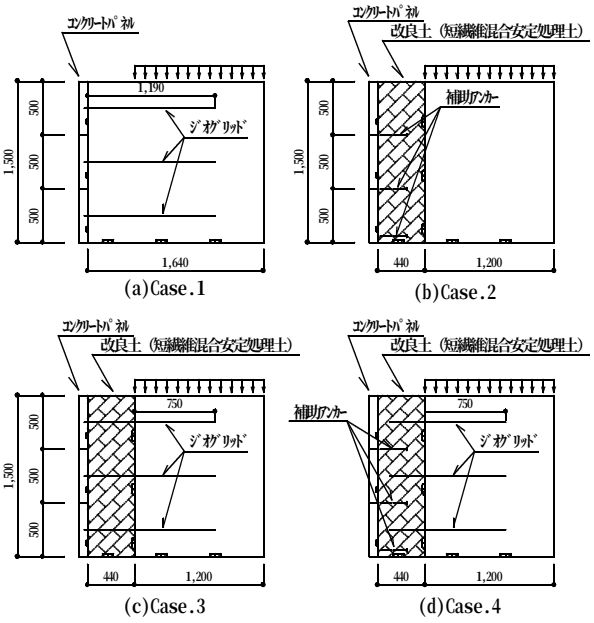

図-2　模型載荷実験ケース

表-1　盛土材の物理特性

		川 砂	山 砂
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)		2.757	2.679
自然含水比 ω_n (%)		8.5	3.8
粒度特性	れき分(%)	0	28
	砂分 (%)	90	58
	ｼﾙﾄ分 (%)	6	10
	粘土分(%)	4	4
締固め特性	試験方法	A･C	A･C
	ρ_{dmax}(t/m³)	1.521	1.909
	ω_{opt} (%)	21.7	12.0

(2) 実験概要
a) 土槽
実験土槽は幅80cm×長さ200cm×高さ150cmで模型盛土構築に当たっては土槽側面に小割のテフロンシートおよび保護用ゴムを配し，摩擦除去に努めた.
b) 実験材料
①盛土材：盛土材には自然含水比状態の川砂(表-1)を用いた.
②改良土：改良土は山砂(表-1)に，セメント系固化材を50kg/m³，ビニロン短繊維(長さ30mm，太さ約43μm)を0.05%/m³混合した．改良土の強度は，q_u＝280kN/m²(６日気中＋１日水浸強度)である.
③ジオグリッド：実験に用いたジオグリッドは一軸延伸のジオグリッドであり，引張り強度34.3kN/m(ﾃﾝｻｰSR35)のものを用いた.
c) 盛土の施工
改良土は締固め密度がρ_t＝1.925t/m³(1･Ec　550kJ/m³での締固め密度×90%)となるように，盛土は締固め密度ρ_t＝1.57t/m³(ω_nで1･Ec　550kJ/m³突き固め結果)となるように作製した．なお，ＲＩでの密度および含水比の測定から，各ケースともほぼ同様の盛土状態となっていることを確認している.
d) 測定項目
測定項目は，壁面パネル土圧，改良土裏土圧，ジオグリッドのひずみ，および，載荷重と壁面パネル水平変位を測定した.
e) 載荷方法
載荷は，幅78cm×奥行き119cmの載荷板をのり肩から44cm離した位置(改良土の幅)に設置し，２台の油圧ジャッキで等圧力に載荷する応力制御式とした．荷重は段階的に加え，各荷重ステップでの荷重保持時間は10分間とした.
f) 実験ケース
実験ケースを図-2に示す．Case.3とCase.4は，改良土を用いた場合に壁面パネルとジオグリッドを連結するかしないかの違いである.

(3) 実験結果および考察

図-3，図-4は載荷試験開始を初期値０とした載荷試験中の測定値を示す．Case.1では，壁面の変形モードは中段のパネルがはらみ出すモードとなる．これに対し，Case.2では，改良土が一体となり転倒していく変形モードとなり，さらにジオグリッドを敷設することでその変形量が抑制される結果が得られた．この時，ジオグリッドに発生するひずみを見ると，Case.1ではジオグリッドの伸びひずみの最大値の発生位置は各段で異なり，すべり面に沿って最大の伸びひずみが発生していると考えられる．これに対し，Case.3，Case.4では改良土との境界で最大の伸びひずみが発生し，上部ほど大きく，壁面変形量の抑制にジオグリッドの効果が発揮されていることがうかがえる．Case.3，Case.4の壁面パネルに作用する土圧は，改良土裏に作用する土圧に比較して小さく，改良土の効果によりパネルへの土圧の影響は小さいことが確認できた．また，改良土とジオグリッドを組み合わせる構造で，ジオグリッドをパネルと連結することの有無による差異はほとんどないことが確認できた．

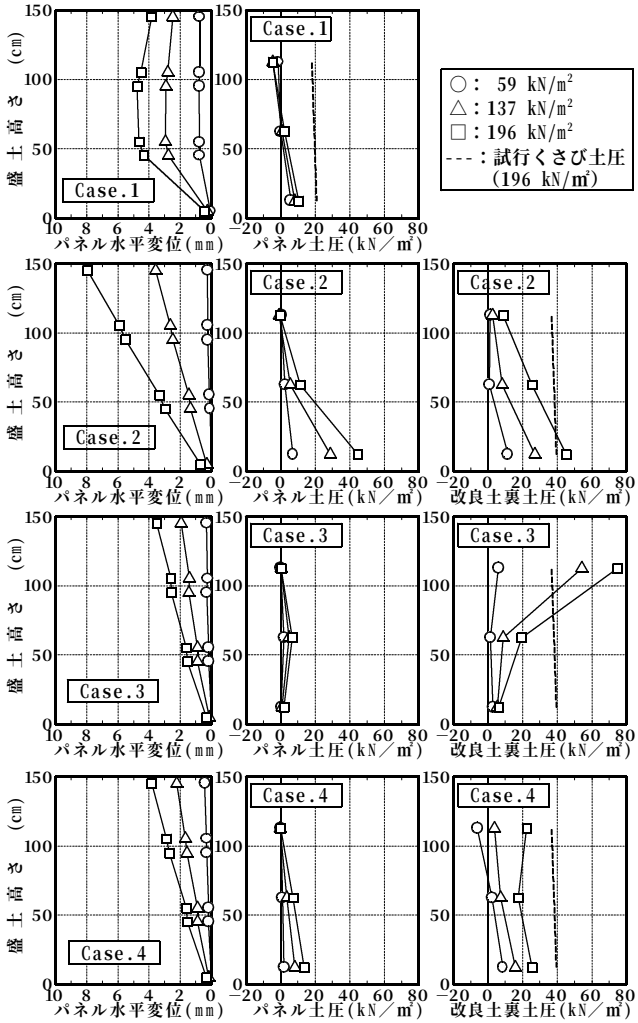

図-3　測定結果（パネル水平変位，パネル土圧，改良土裏土圧）

(4) まとめ

模型載荷実験より以下の点が確認できた．

・改良土は一体となって挙動し，背面からの土圧に対して転倒するような変形モードとなる
・盛土中に敷設されたジオグリッドが改良土の転倒を引き留め，変形を抑制している
・改良土の効果により壁面パネルへの土圧の影響は小さい

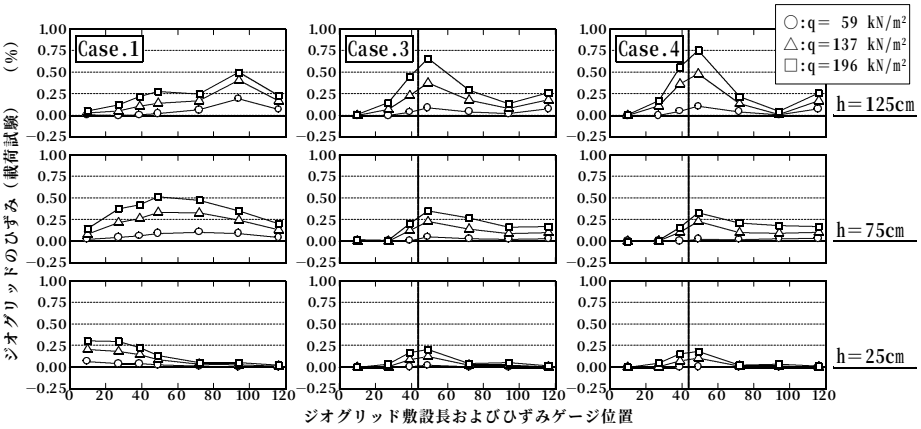

図-4　測定結果（ジオグリッドのひずみ）

４．現場計測

(1) 概要

a) 適用断面

図-5に適用断面を示す．壁の直高さはH＝5.5mである．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（写真-3）使用され，工事完了後はダムの管理用道路の一部として供用される．場所はダム湖内であり，一時的に水没する予定もあり，設計では盛土に残留水位が残った状態の設計を行った．

b) 使用材料

①盛土材：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．

②改良土：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

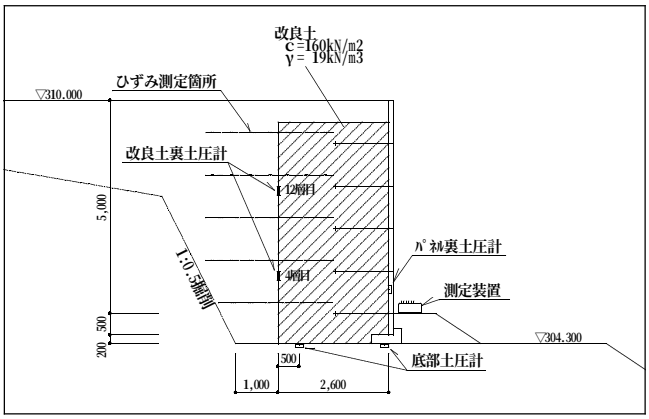

図-5　適用断面

写真-3　供用状況

混合量＝84kg/m³）混合した．改良土の目標設計強度は，q_u＝320kN/m²(６日気中＋１日水浸強度)である．

③ジオグリッド：一軸延伸のジオグリッドであり，設計より，引張り強度34.3kN/m(ﾃﾝｻｰSR35)のものを用いた．

c) 盛土の施工

改良土は締固め密度がρ_d＝1.48t/m³(1･Ec×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ρ_d＞1.5t/m³以上を得ていることを確認している．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．

d) 測定項目

施工中および骨材投入設備として供用中の測定項目は，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である．

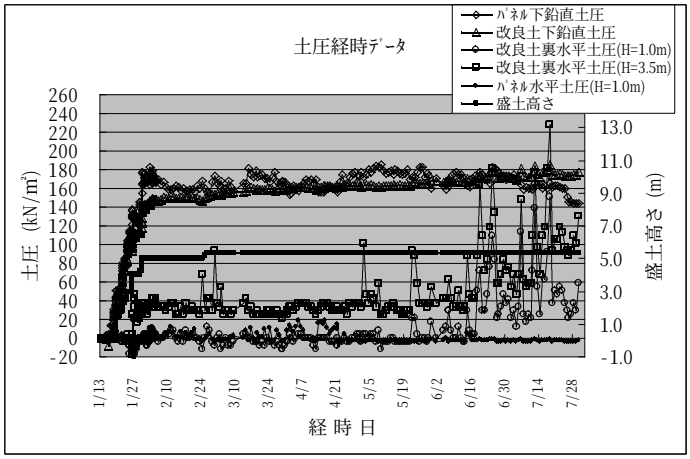

図-6　計測値経時データ

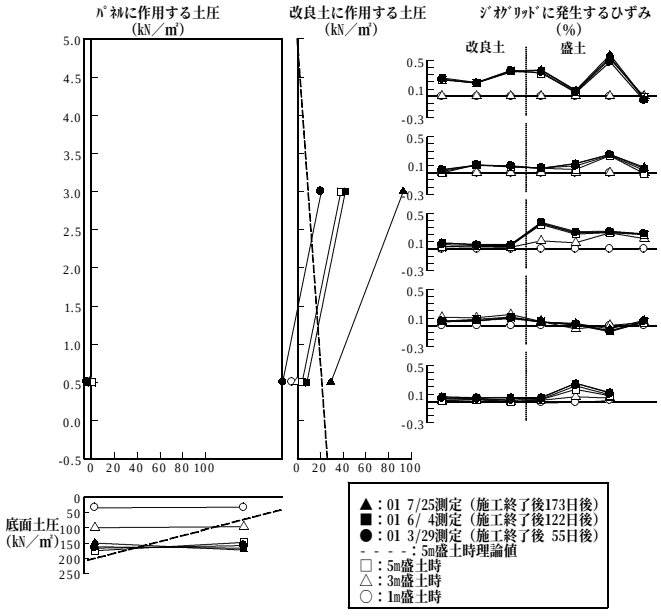

図-7　土圧およびジオグリッドのひずみ

(2) 計測結果および考察

図-6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-7には，各土圧ならびに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．骨材投入設備が本格始動を始めた，すなわち，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砕石の荷下ろし作業（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，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．現時点ではこれらの原因については考察できないが，今後の計測を継続して検討資料とするつもりである．

(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

ここでは，改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の適用事例の一部を紹介する．

(1) その１----橋台袖部土留め適用例

本適用例は現場計測を行った現場と同じ現場で，橋台袖部の土留めに適用された事例である．最大高さは7.5mで，写真-4に完成後の供用状況を，図-8に適用断面および展開図を示す．写真のように，供用時には300tクラスのクローラクレーンが天端を移動するため，設計時にはこの上載荷重を見込んで設計を行った．写真の反対側（上流側）の土留めにも本工法を適用している．施工状況を写真-5に示す．

(2) その２----既設道路の拡幅工事

本工事は既設道路の拡幅工事に用いられた事例で，のり面勾配が１：0.5である．完成後の供用状況を写真-6に，展開図と断面図を図-9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．施工状況を写真-7に示す．工事は既設道路を供用しながらの施工となったため,かなり狭あいなエリアでの施工となったが,

写真-4　適用事例その１

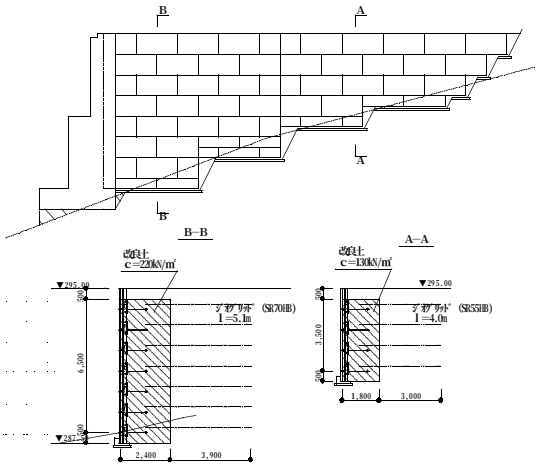

図-8　適用事例その１（展開図，断面図）

(a)ジオグリッド敷設

(b)盛土敷均し，改良土転圧

(c)盛土敷均し

写真-5　施工事例その１　施工状況

写真-6　適用事例その２

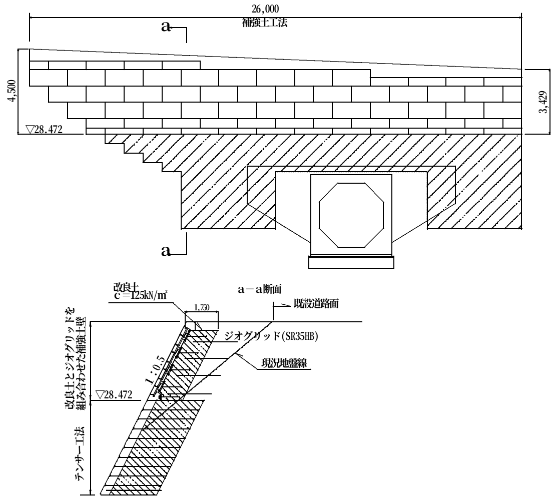

図-9　適用事例その２（展開図，断面図）

(a)パネル設置　　(b)ジオグリッド敷設，盛土敷均し　　(c)施工状況遠景

写真-7　施工事例その２　施工状況

特に問題なく工事は進められた．

(3) その３----仮設道路への適用事例

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は必要ない．ただし，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，切り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．最大盛土高さ約7m，延長約120mの片斜面上への仮設道路であり，図-10に断面図を，写真-8に施工状況を示す．のり面勾配は２分勾配であり，壁面パネルの代わりに用いた大型土のうは施工性に極め

写真-8　適用事例その３（施工状況）

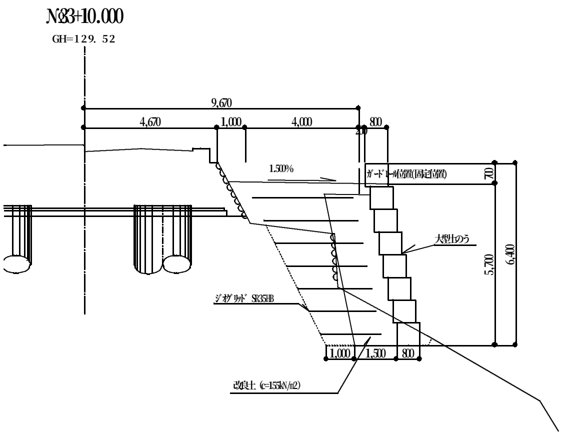

図-10　適用事例その３（展開図，断面図）

て優れ，工期短縮にも大きく寄与した．写真-9に供用状況を示す．供用開始から半年以上となり（平成14年２月現在），片側交互通行で日平均1,000台以上の交通量（そのうち，約800台が工事用の10tダンプトラック）があるが，全く変状もなく安定的に供用されている．

写真-9　適用事例その３（供用状況）

６．設計法の基本的考え方

本工法の設計は基本的に，(財)土木研究センターの「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル　改訂版」（平成12年2月：以下，「土研マニュアル」と称す）[2]に準じて行うが，改良土の効果を設計に取り入れる点などは「土研マニュアル」の原理を応用して独自に構築している．図-11に設計法の基本的フローを示す．特徴的な点は改良土の強度を設計に取り入れる点であり，設計では，改良土の幅および強度，ジオグリッドの敷設間隔，敷設長，引張り強度の５項目決定する．このため，手順として，改良土の仕様を決定したあとに，ジオグリッドの仕様についての設計を行うこととしている．なお，ここでは詳述しないが，地震時の設計も「土研マニュアル」に準じて行っている．

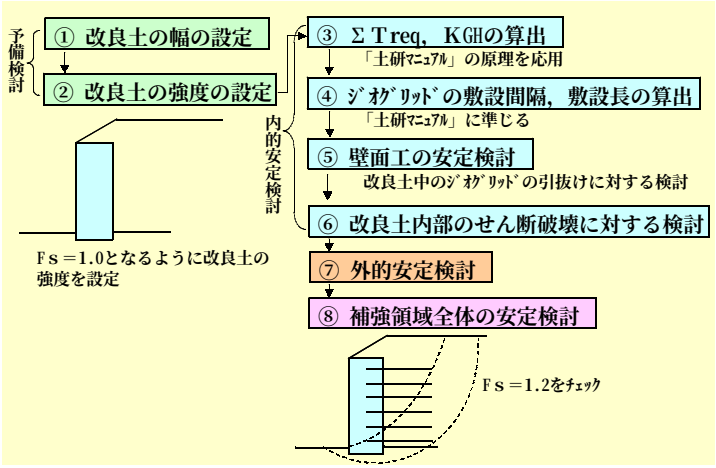

図-11　設計法の基本的フロー

７．おわりに

改良土を補強土の壁面部分に用いる全く新しい発想の補強土工法の開発を進め，施工事例も徐々に増加している．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が，現時点での課題のひとつとして地震時挙動の明確化が挙げられる．この点については現在，遠心力模型による振動台実験を進めており，今後，本工法の地震時挙動を明らかにしていく予定である．

参考文献

1)伊藤秀行ほか：改良土とジオグリッドを組み合わせた補強土壁の開発，ジオシンセティクス論文集，第16巻，pp.103-110，2001.12.

2)(財)土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル　改訂版，2000.2.