

技術報文

改良土と補強材を組み合わせた補強土壁

「ハイビーウォール」・「ハイビーネオ」

ハイビーウォール研究会 中谷 登

1. はじめに

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「ハイビーウォール」は、2000年に建設技術審査証明を取得して以来、道路や造成地などに適用されてきました。ハイビーウォールの施工実績の増加に対応するため、2021年3月に「ハイビーウォール設計・施工マニュアル」¹⁾が（一財）土木研究センターより発刊されました。

本稿では、先般発刊されました「ハイビーウォール設計・施工マニュアル」の概要とハイビーウォールの壁面材を改良した新工法「ハイビーネオ」について報告します。

2. ハイビーウォールの概要

ハイビーウォールの外観を写真-1に、概念図を図-1に示します。ハイビーウォールは、所定幅に締固めた改良土体を補強土壁の壁面部分に配置し、ジオグリッドを改良土体から盛土部にわたり敷設することで構造の安定を確保します。改良土は、現地発生土にセメント系固化材と短繊維（写真-2）を混合することにより、強度と靱性の向上を図っています。改良土体の効果により壁面パネルには土圧が作用しないため、壁面パネルは、簡易な構造のプレキャストコンクリートパネルとし、補強材と連結せずに補助アンカーにより改良土体と一体化させます。



写真-1 ハイビーウォール



写真-2 短繊維(ビニロン)

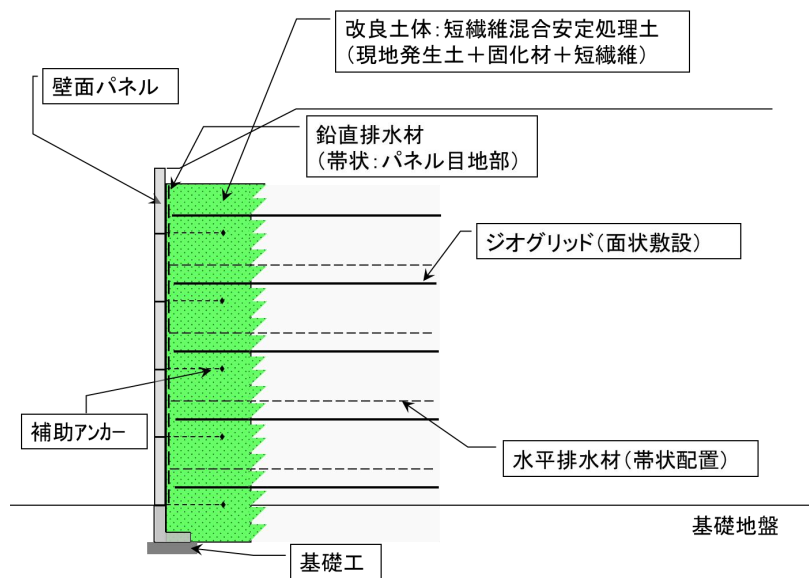


図-1 ハイビーウォールの概念図



写真-3 短繊維混合状況



写真-4 ハイビーウォール
設計施工マニュアル

(1) 工法の特徴

ハイビーウォールは、壁面部分に盛り立てた改良土体の効果により壁面パネルを簡易な構造にできるとともに、従来の補強土壁に比べて耐震性能も向上します。

本工法の特徴は以下のとおりです。

- ・高い耐震性能を有します。
- ・粘性土から礫質土まで広範囲な対象土質に適応可能です。
- ・現地発生土利用による残土の発生が抑制されます。
- ・改良土体の強度を考慮した合理的で経済的な設計が可能です。
- ・改良土には短繊維を混合し、高性能な改良土としています（写真-3）。
- ・改良土体により壁面パネルの変形が抑制されます。
- ・特殊な機械などは不要です。

3. ハイビーウォール設計施工マニュアル

ハイビーウォールは、補強材にジオグリッドを使用することから、基本的な設計・施工法は、「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第二回改訂版」²⁾（以下ジオテキマニュアルと呼ぶ）と整合性を確保しています。ハイビーウォールの特徴である改良土体の設計・施工法については、独自の考え方を使用しています。ハイビーウォールの適用にあたっては、計画・調査から維持管理に至るまでハイビーウォールの特徴を理解していただく必要があるため、「ハイビーウォール設計・施工マニュアル(写真-4)」を発刊することとなりました。

(1) 目次構成

ハイビーウォール設計・施工マニュアルの目次構成を表-1に示します。

第1章から第4章までは、ジオテキマニュアルに倣い、ハイビーウォールの性能規定型設計法の導入に向けた基本的な考え方を記載しています。5章以降は、設計・施工法および維持管理の考え方を示しています。付属資料には、設計

表-1 マニュアル目次構成

第1章	総説
第2章	基本方針
第3章	計画・調査
第4章	設計に関する一般事項
第5章	ハイビーウォールの設計
第6章	施工
第7章	ハイビーウォールの維持・管理
付属資料	
I.	設計計算例
II.	ハイビーウォールのジオグリッドに作用する引張力の計測例
III.	ハイビーウォールの耐震性能の評価 遠心振動台実験の内容
IV.	ハイビーウォールの凍上防止対策
V.	改良土の長期耐久性
VI.	改良土の配合試験方法

計算例および設計・施工法の根拠となる実験結果などを掲載しています。

(2) 計画・調査

第3章には、ハイビーウォールの設計・施工に先立って行う計画・調査について、その基本方針と手順及び検討すべき事項を示しています。ジオテキマニュアルに記載されている内容に付け加えて、ハイビーウォールで必要となる土質試験方法について記載しています。追加する土質試験は、改良土の配合試験、改良土の六価クロム溶出試験となります。改良土の配合試験は、設計で決められた改良土体の強度を満足させるために必要な固化材および短繊維の混合量を決定するための試験です。また、セメントおよびセメント系固化材を用いた地盤改良や改良土の利用について、国交省からの通達³⁾に則って改良土の六価クロム溶出試験を実施する必要があります。

(3) 設計

ハイビーウォールの設計では、ジオテキマニュアルに倣い常時及び地震時における、ハイビーウォールの部材の安全性の照査（内的安定の検討）、ハイビーウォール自体の安定性の照査（外的安定の検討）、基礎地盤を含む全体としての安定性の照査（全体安定の検討）を行います。ハイビーウォールの設計の基本的な考え方を図-3に示します。

- ①ハイビーウォールの壁高、盛土材料の種類、設置条件に応じて改良土体の幅を設定します。
- ②改良土体のみでのハイビーウォール内で円弧すべりが発生しない改良土体の強度を設定します。
- ③改良土体の幅、強度を考慮した常時・地震時の円弧すべりに対してハイビーウォールの安定に必要なジオグリッドの必要抑止力を求めます。
- ④必要抑止力を満足するジオグリッドの引張力に対してジオグリッドの破断や引抜きを照査し、必要なジオグリッドの強度、敷設間隔及び敷設長さを決定します。さらに、改良土体については、⑤改良土体中のジオグリッドの引抜けが生じない強度を確認し、⑥作用する土圧に対し、せん断破壊が生じないことを確認します。

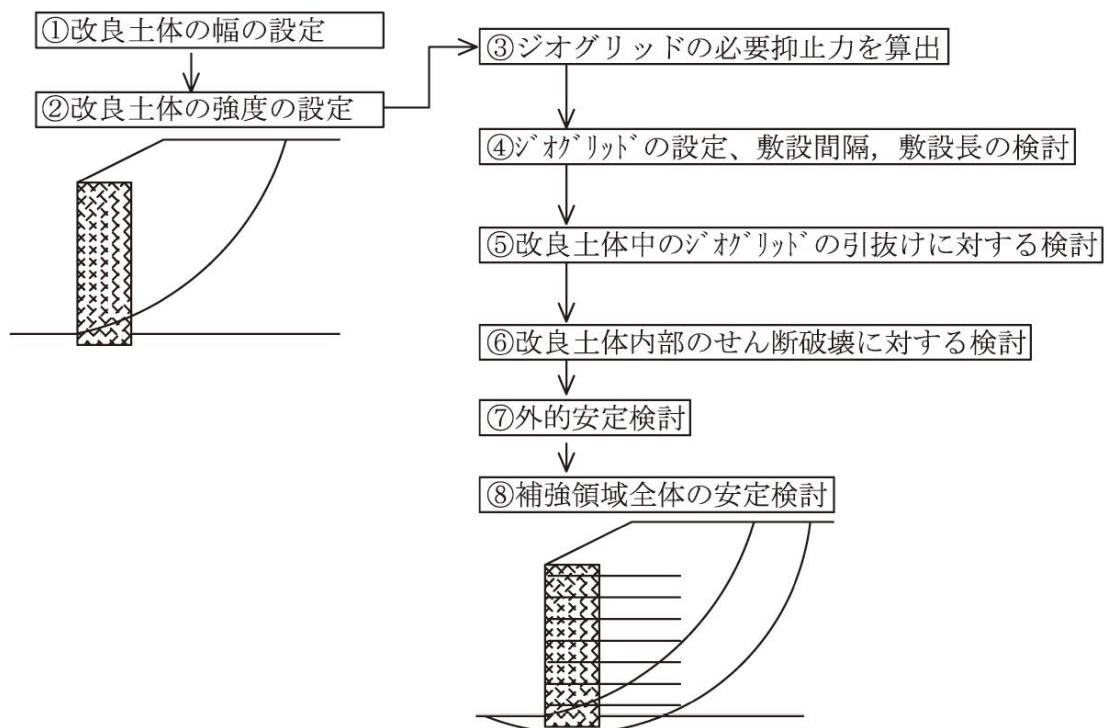


図-3 ハイビーウォールの設計の基本的な考え方

(4) 施工方法

ハイビーウォールの施工フローを図-4に示します。ハイビーウォールの施工においては、改良土の攪拌、混合、壁面パネル近傍での改良土の施工および壁面パネルアンカー材設置工が他の補強土壁工法と異なる作業内容となります。改良土の攪拌、混合は、現地発生土に固化材、短繊維を投入し、写真-5に示すようにバケットミキシングなどで攪拌・混合します。次に改良土および盛土を1層の厚さ25cmになるように、まき出し・敷均します。改良土の施工では、改良土体の設計幅を確保するよう留意します。所定の高さでジオグリッド、水平排水材、壁面パネルアンカー材設置を行います。写真-6に示すように、壁面パネルは、補強材（ジオグリッド）とは連結させず、長さ1～1.5mのアンカー材を設置して改良土体に定着させます。一連の作業を設計壁面高さまで繰り返してハイビーウォールの施工を行います。

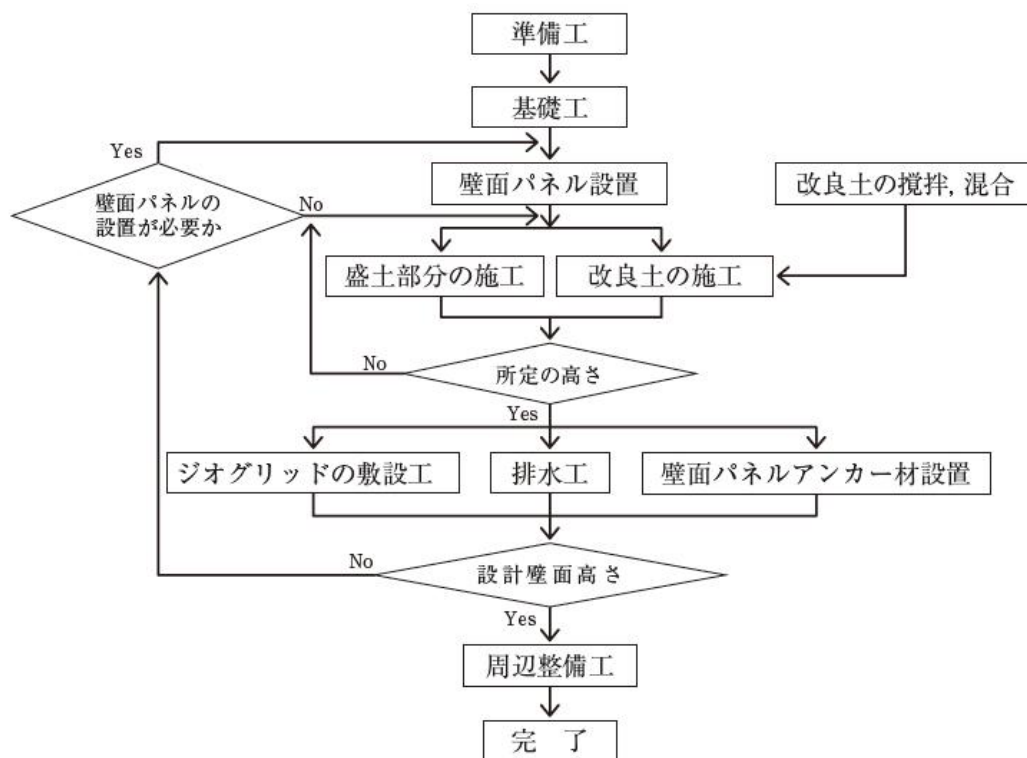


図-4 ハイビーウォールの施工フロー



写真-5 改良土攪拌混合状況



写真-6 壁面パネルアンカー材

(5) ハイビーウォールの耐震性能の評価

a) 遠心振動台実験結果

ハイビーウォールの地震時挙動、耐震性能を評価するため遠心振動台実験を実施しました⁴⁾。遠心加速度を 50G まで上げ、盛土の状態が安定した後、表-2 に示すような条件で正弦波を入力し、破壊が生じるまで加振し続けました。盛土材料には豊浦砂 ($D_r=80\%$) を用い、改良土は一軸圧縮強度が $q_u=420\text{kN/m}^2$ となるよう、豊浦砂に早強セメントを混合して作製しました。遠心振動台実験装置を写真-7 に、盛土の形状および設置した計測機器の位置を図-5 に示します。

表-2 入力波の条件

Step	振幅	入力波数	周波数
1st	0.3mm	20	100Hz
2nd	0.6mm	20	100Hz
3rd	1.0mm	20	100Hz
4th	1.0mm	40	100Hz
5th	1.0mm	40	100Hz
6th	1.0mm	40	100Hz
7th	1.0mm	40	100Hz

比較のために、改良土体のないジオグリッドのみで補強した実験ケース (case1) と改良土体のみでジオグリッドを配置しない実験ケース (case2)、改良土体とジオグリッドを組み合わせたハイビーウォールの基本形の実験ケース (case3) の 3 ケースで実験を実施しました。図-6 に各ケースの振動台実験最終形状とその時の写真および最大せん断ひずみ分布図を示します。図中に示した各ケースの加速度は、実験土槽に取り付けた加速度計により測定された実験終了時の step における実測値です。

case1 の実験では step4 で壁面の中腹がはらみ出すような変形をし、補強領域外 (ジオグリッド敷設範囲外) の沈下が大きくなったため実験を終了しました。

case2 の実験では、最初の加振 step1 で改良土体のつま先を中心に転倒し、step2 において写真のように下部からクラックが発生して完全に転倒崩壊しました。

case3 の実験では、step3 まで他の実験ケースに比べて変形が小さく、step4 で改良土体上部にクラックが認められたものの、次の step5 ではクラックはほとんど進行せず、さらに加振し続けた step7 においてもクラックは改良土体上部 1/3 程度までに収まりました。

振動後の変位ベクトル図、せん断ひずみ分布図を比較すると、ハイビーウォールの基本形である case3 は、他の実験ケースに比べて入力加速度が大きいにも拘わらず、変形が少なく、せん断ひずみが分散されており、ハイビーウォールの耐震性が高いことが確認できました。



写真-7 遠心振動台実験装置

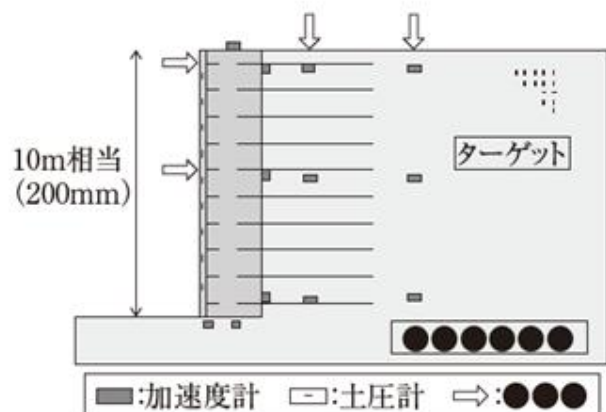
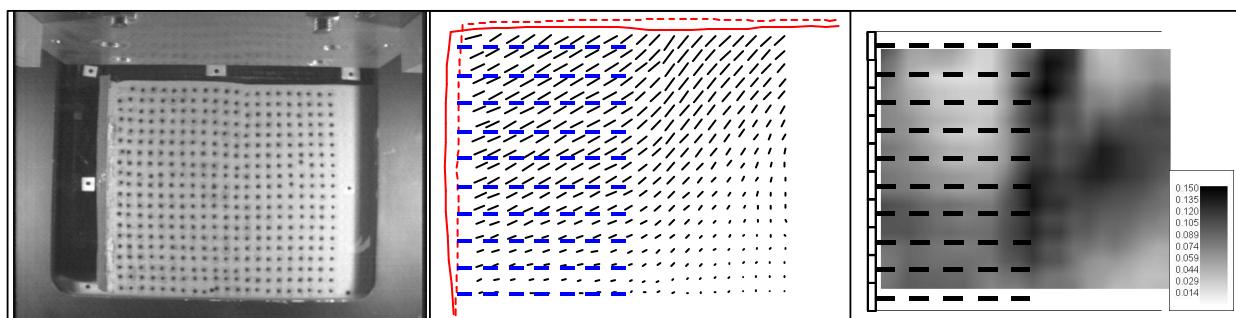
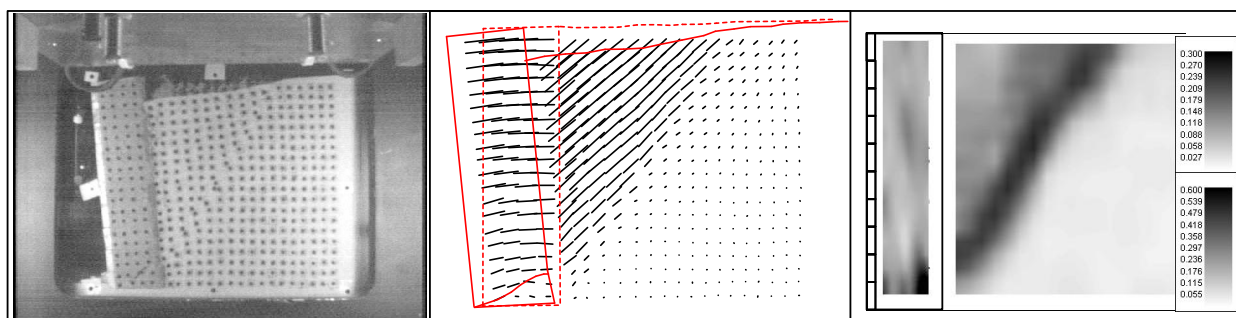


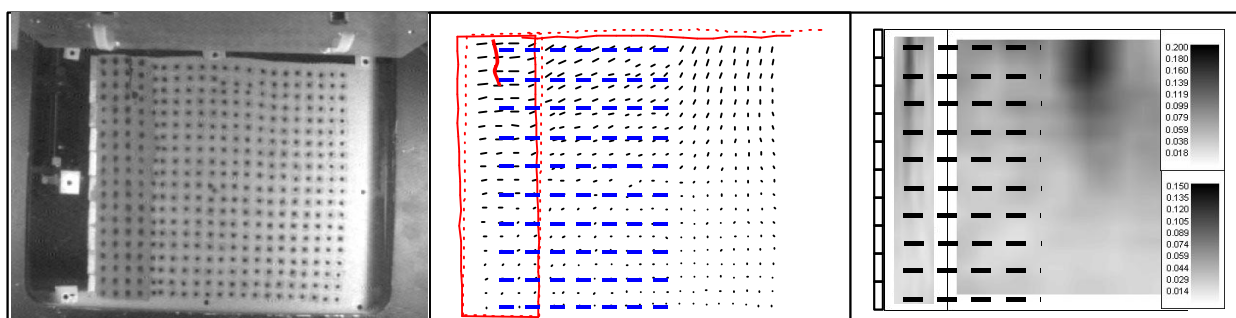
図-5 試験盛土形状・計測器配置図



case1 (ジオグリッドのみ) : step4[17.6G]



case2 (改良土のみ) : step2[8.89G]



case3 (改良土とジオグリッドを組み合わせたハイビーウォール) : step5[26.3G]

(a)写真

(b)変位ベクトル図

(c)最大せん断ひずみ分布図

図-6 振動台実験最終時変位ベクトル図及び最大せん断ひずみ分布図

b) 大規模地震動を受けた実際のハイビーウォール

2004年新潟中越地震⁵⁾で大規模地震動を受けたハイビーウォールの現地調査を行い、ハイビーウォールの耐震性の評価を行いました。新潟県柏崎市にある壁高7.1mのハイビーウォールは、2004年6月に完成し、ボックスカルバート橋台盛土土留めとして供用されていました。2004年10月に、ハイビーウォール建設位置から東へ約25kmの地点を震源地に深度7の新潟中越地震が起きました。ハイビーウォールは震度6弱最大加速度400gal程度の地震を受けたものと思われ、その後も強い余震を数十回受けました。

震災約1カ月後の11月に現地調査を行いました。ハイビーウォールには、倒れ、孕みだし、パネルの破損・クラックなど特に目に見えた被害は認められませんでした(写真-8)。

震度6弱の大規模地震動を受けても、ハイビーウォールにはまったく被害が認められず、安定していたことから、ハイビーウォールは地震に強い構造であることが確認されました。



震災前

震災後

写真-8 新潟中越地震後の状況

4. ハイビーネオの開発

ハイビーウォールは壁面部に配した改良土の効果により壁面材に土圧が作用しません。このため壁面材は、改良土の保護、美観の向上が主な役割であり、大きな強度を必要としません。ハイビーネオは、このハイビーウォールの特徴を生かし、薄型軽量のコンクリートパネルと鋼製枠を組み合わせた壁面材を使用することで施工性を向上させた補強土壁です。ハイビーネオの概要を図-7に示します。壁面材として用いる壁面パネルは厚さ3~4cm、大きさ50cm×50cmの薄型のプレキャストコンクリートパネルであり、軽量であるため人力により組み立てることも可能です。

ハイビーネオの基本的な設計の考え方、施工方法は、ハイビーウォールと同じであることから、補強土壁として十分な性能、汎用性を有することは確認済みです。

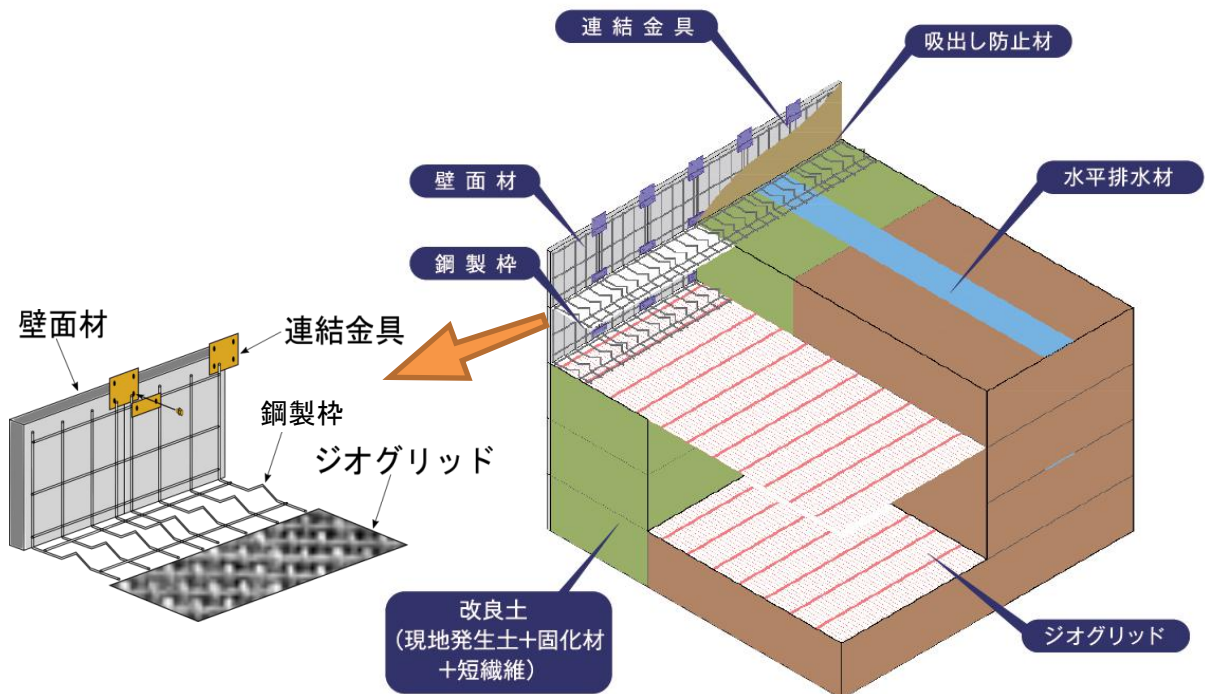


図-7 ハイビーネオの概要図

(1) ハイビーネオの特徴

ハイビーネオは、前述したハイビーウォールの特徴に加えて以下の特徴を有します。

- ・壁面材として用いる壁面パネルは1枚あたり17kgと軽く効率的な施工が可能となります。
- ・壁面パネルは容易に切断可能であり、縦断勾配に応じて現場で加工することができるため笠コンクリートが不要となります。補強土壁前面の足場が不要となるのでコスト縮減および安全性が向上します。
- ・壁面パネルが薄型軽量のため、急傾斜地など重機の進入が困難な場所でも施工が可能です。

(2) 施工確認試験

壁高3mの試験盛土を築造し、ハイビーネオの施工性を確認しました。壁面材として用いるプレキャストパネルは、小型で扱い易い反面、パネル連結箇所が多いためパネル組立に時間がかかることや、薄型であるためにパネルが自立せず、パネルが倒れないように支持しながら連結作業を行う必要があるなどの問題点がありました。このために**写真-9**に示すように、2~4枚の壁面パネルと鋼製枠を連結してユニット化し、パネル組立作業の省力化を図りました。パネルと鋼製枠は、専用の連結金具を用いて取付けます。鋼製枠はL型形状をしており、壁面材が自立します。**写真-10**および**11**に示すように、あらかじめ壁面材を組み立ててユニット化しておくことにより、壁面材の設置にかかる作業時間を減らすことができます。施工確認試験時の壁面材の設置歩掛

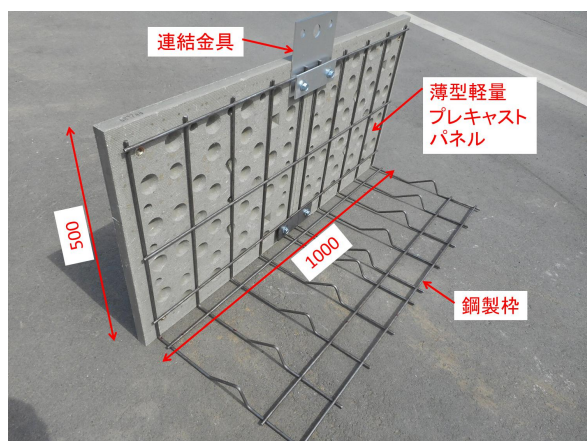


写真-9 ユニット化した壁面パネル(2枚の例)

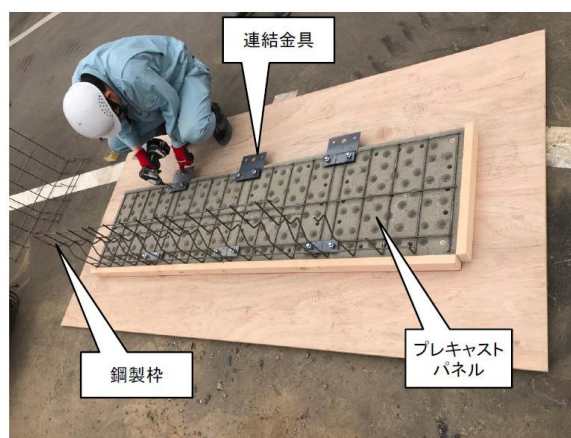


写真-10 パネルと鋼製枠の取付



写真-11 壁面材の設置



写真-12 補強材の敷設

は壁面積 1m²あたり 7分程度であり、従来の他の補強土壁工法の設置歩掛（10分/m²程度）に比べて短縮することを確認しました。

壁面材の設置後に、鋼製枠と補強材（ジオグリッド）の連結を行います。写真-12のように補強材を敷設したのち、鋼製枠の内側に吸出し防止材を設置します。吸出し防止材は、透水性の高い不織布を使用しています。吸出し防止材は、壁面部の改良土のこぼれ落ちを防止するとともに、盛土部に設置した水平排水材と連結することによって、補強土壁内の雨水を基盤排水層まで排水します。壁面材設置工以外の改良土の攪拌混合や盛土材の敷均し・締固めなどの工程は、ハイビークウォールと同様の手順で施工を行います。パネルが大幅に軽量化したため、壁面材の設置作業の省力化が可能となりました。

(3) 中規模土槽载荷実験

改良土の効果により、壁面パネルに土圧が作用しないことを確認することを目的に、中規模土槽（幅 80cm×長さ 200cm×高さ 150cm）で試験盛土を構築し、盛土上部に荷重を作用させて壁面パネルに作用する土圧計測を実施しました。実験で使用した改良土、盛土の材料を表-3に示します。完成後 1 週間後、盛土上部に 196kN/m²まで上載荷重を加えて载荷試験を実施しました⁶⁾。

実験の模式図を図-8に示します。図-9に試験盛土施工終了時に測定した壁面パネルおよび改良土に作用した土圧の計測結果を示します。図中には理論土圧（試行くさび法により算出）を破線で示します。改良土背面には、理論土圧と同程度以上の土圧が作用していますが、壁面パネルに作用する土圧は小さくなります。図-10に盛土施工後 1 週間養生した後に载荷試験実施した時の土圧計測結果を示します。载荷試験においても壁面パネル土圧は改良土裏の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ました。

表-3 実験で使用した改良土、盛土材料

改良土	セメント系固化材混合量50kg/m ³ ビニロン短繊維（長さ30mm，太さ43μm） 混合量0.05%/m ³ ，qu=280kN/m ²
盛土材料	自然含水比（Wn=8.5%）状態の砂

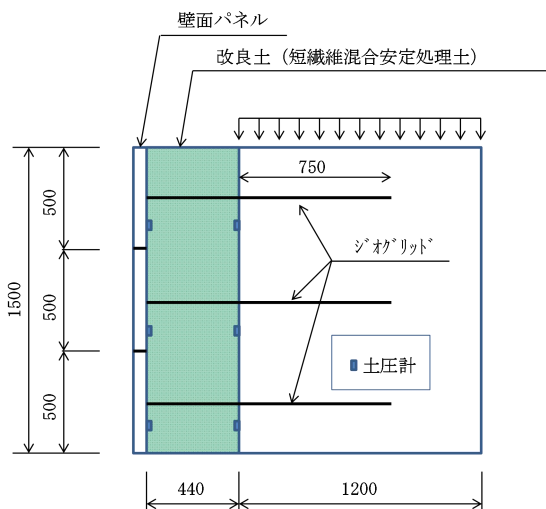


図-8 中規模土槽実験模式図

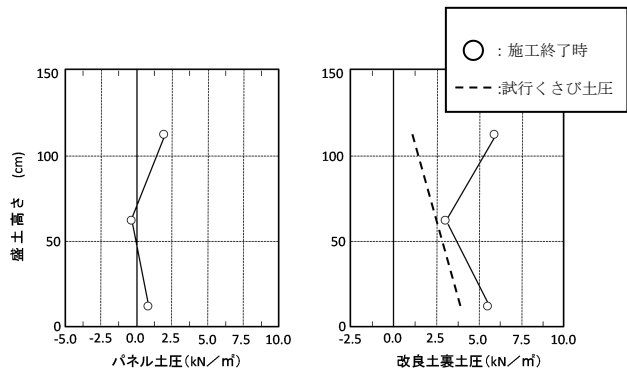


図-9 施工終了時の土圧

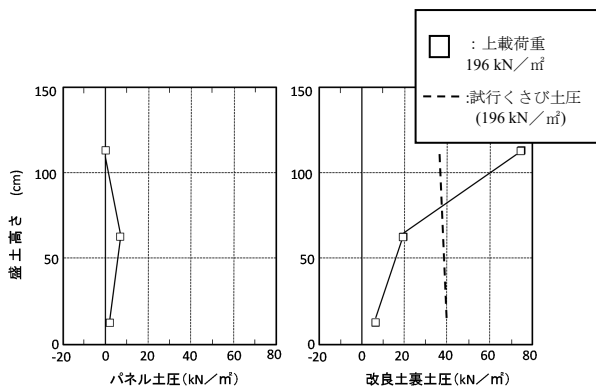


図-10 载荷試験時の土圧

(4) 適用事例

写真-13 にハイビーネオの適用事例を示します。写真に示す事例は、壁高 5m で盛土の小口止めとして用いられたものです。盛土材は礫質土であり、改良土の強度は、一軸圧縮強度が $q_u=360 \text{ kN/m}^2$ となるようにしました。狭隘な施工場所でも、施工確認試験と同等の作業時間で壁面材の設置ができることを確認しました。また、薄型軽量の壁面材であっても壁面パネルには変形が生じておらず、壁面近傍部に配した改良土の効果により、パネルへの土圧が低減されるため高い鉛直性が確保されることが実施工により確認されました。



写真-13 ハイビーネオの適用事例

5. おわりに

補強土壁工法は、補強材や壁面材の材質、形状によって様々な構造形式のものが開発されています。ハイビーウォールおよびハイビーネオは、改良土と補強材を組み合わせた新しい発想の補強土壁として開発を進めてきました。適用事例からも施工性に優れた補強土壁であり、現地発生土の有効利用など適用効果の見込まれる工法であると考えられます。「ハイビーウォール設計・施工マニュアル」発刊を機に更なる普及促進を図ります。

参考文献

- 1) 「ハイビーウォール」設計・施工マニュアル，一般財団法人土木研究センター，2011.
- 2) 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 第二回改訂版，一般財団法人土木研究センター，2013.
- 3) セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験実施要領（案），国土交通省大臣官房技術審議官通達，2001.
- 4) 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台実験，斉藤知哉，伊藤秀行，桑野二郎，井澤 淳、ジオシンセティックス論文集第 17 巻，pp.5～12，2002.12.
- 5) 平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震調査報告，気象庁技術報告第 127 号，2005.
- 6) 薄型軽量壁面材と改良土を用いた補強土壁工法の開発，中谷 登，三村明恵，鈴木和成、令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会，Ⅲ-153～154，2020.