壁面工の種類を変えたジオテキスタイル補強土壁の実物大崩壊実験の比較

概 要

構造物の安定および変形に対する壁面工の寄与を確認することを目的として、高さ6mの異なる種類の壁面工を用いた実物大の補強土壁の崩壊実験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 施工時の変位は EPSブロックの方がコンクリートブロックよりも大きく、壁面工の重量効果によって施工中の変形が抑制される。また、分割パネルの場合は変形が大きくなる。
- (2) いずれの壁面工においても壁面下端には自重以上の荷重が発生する。
- (3) 施工完了後の補強材に発生する最大引張力分布は、壁面工の効果を考慮しない設計引張力に対して同等（上半分3m）ないし小さく（下半分3m）、壁面工の縦剛性の大きいもののほどその傾向が強い。
- (4) ブロックタイプの壁面工において敷設した安定補助材も、主補強材と同程度の引張力が発生し、安定性に寄与している。
- (5) 崩壊後のすべり線の形状は、EPSブロックが現行の設計法による円形すべりに最も近く、コンクリートブロックでは、クーロンの主働崩壊線に近い円形すべり、コンクリートパネルでは2直線すべりに近い形状となった。また、崩壊は剛性と重量効果の低い壁面工ではクリープ的に進行した。

Comparison among Full-scale Failure Experiments of Geotextile Reinforced Soil Walls with Different Facing Types

Nobuo TAJIRI	<i>Fukken Co., Ltd., Consulting Engineers</i>
Yoshiaki TSUKADA	<i>Asahi Chemical Industrial Corporation</i>
Makoto YAMAMOTO	<i>Taiyo Cement Industrial Corporation</i>
Yoshitaka OCHIAI	<i>Public Works Research Institute, Ministry of Construction</i>
Kiyomasa DOBASHI	<i>Public Works Research Center, A Foundation Juridical Person</i>

ABSTRACT

To examine the effects of facing types upon stability and deformation of geotextile reinforced soil walls, failure experiments of full-scale models with different facings of 6m high were conducted. Findings from the experiments are as follows.

- (1) The horizontal displacement of EPS blocks was larger than that of concrete blocks during construction, showing that deformation during construction could be reduced by the weight effect of facing materials. For divided type concrete-panel wall, the horizontal displacement was larger than that of other type of panel wall.
- (2) In every case, the vertical pressure at the bottom of the facing was larger than the self dead weight.
- (3) Maximum tensile forces distributed on the reinforcements after the construction were nearly equal at upper 3m part of facing and were smaller at lower 3m part compared with the required tensile forces which the effects of facing was not taken into account. The greater the longitudinal rigidity of facing material became, the more salient this tendency was.
- (4) Tensile-force distribution similar to that on the main reinforcements was observed on sub-reinforcements suggesting that the sub-reinforcements were contributing to the stability.
- (5) The shape of the slipping surface of the EPS-block wall after the failure was most similar to that of slip circle by the current design method. The failure surface of slipping of the concrete-block wall was similar to that of slip circle analogous to Coulomb's active failure surface, and the slipping shape of the concrete-panel wall to that of two-part wedge type. In case of the facing material of low rigidity, the failure was progressed as the creep phenomenon.

壁面工の種類を変えたジオテキスタイル補強土壁の実物大崩壊実験の比較

復建調査設計 (株)	○田尻 宣夫
旭化成工業 (株)	塚田 義明
太陽セメント工業 (株)	山本 純
建設省土木研究所	落合 良隆
(財)土木研究センター	土橋 聖賢

1. はじめに

ジオシンセティックを用いた盛土補強や補強土壁は、設計マニュアル^{1), 2), 3)}の整備に伴い、その施工例が増加している。また、各種の壁面材が開発され使用されており、今後よりいっそう増加することが予想される。これまでに提案されている各種設計マニュアルでは、壁面工による補強効果の評価方法が異なっている。龍岡ら⁴⁾によれば、壁面工には、局所的剛性、全体的縦剛性、全体的せん断剛性、全体的曲げ剛性、重力抵抗の5種類の補強効果があるとされている。このような効果を設計手法に反映できれば、より合理的で経済的な設計が可能となると考えられる。

そこで、壁面工が補強土壁の補強効果に及ぼす影響を把握するため、室内で壁面工の種類を変えた実物大の3種類のジオテキスタイル補強土壁(高さ6mの垂直壁)を作成し、補強材の切断による崩壊までの一連の実験を行った。ここでは、その結果^{5), 6), 7)}を比較対照して述べるものである。

2. 実験概要

2. 1 設計断面

実験に用いた補強土壁は、現行の設計法³⁾に従い、常時における内的安定のすべり安全率を $F_s=1.0$ として安定計算上考慮した主補強材の敷設仕様を決定した。このとき、全体安定のすべり安全率は $F_s=1.32$ であった。主補強材(ジオグリッド SR-55, $T_t=56.4\text{ kN/m}$, $T_A=29.4\text{ kN/m}$)の敷設仕様は、 $L=3.5\text{ m} \times 6$ 段(1m間隔)である。盛土材の土質定数は $\gamma_t=16.0\text{ kN/m}^3$, $c'=0.0$, $\phi'=39.4^\circ$ である。

各段の主補強材の必要引張力を図-1に示す。この断面に、発泡スチロール(EPS)ブロック($B=1.0\text{ m}$, $H=0.5\text{ m}$, $W=0.5\text{ m}$)、コンクリートパネル($B=1.5\text{ m}$, $H=1.0\text{ m}$, $W=0.18\text{ m}$)、コンクリートブロック($B=1.0\text{ m}$, $H=0.5\text{ m}$, $W=0.35\text{ m}$)を壁面材

図-1 各段の主補強材の設計必要引張力

として用いた。また、ブロック形式において、主補強材を連結しないブロックについては施工時の安全性を考慮して主補強材と同一材料の安定補助材（ $L=1.0\text{m}$ ）を中間に敷設した。

2. 2 計測器の配置と観測

一連の実験で計測を行った項目は、壁面水平変位、壁天端鉛直変位、壁背面土圧、補強材ひずみ、地盤反力、壁下端水平反力、壁下端鉛直反力、地表面鉛直・水平変位の9項目である。これらの計測機器の配置を図－2に示す。観測は、各計器が設置された直後に初期値を計測し、供試体築造の各ステップと補強材の切断による崩壊まで実施した。崩壊後には、盛土を掘削して、あらかじめ供試体中に設けた石灰の薄層に生じた段差を測定して、すべり面の確認も行った。なお、図中に示した番号と矢印は補強材の切断位置と切断順序を示したものである。切断は、補強材にあらかじめ巻き付けておいたニクロム線に通電し、番号順に補強材を溶断した。補強材の切断後は、補強材ひずみをモニターし、一定値に落ち着いたことを確認した後に順次同様に切断し、観測を行った。

図－2 各実験ケースの計測機器の配置

2. 3 壁面工の形状と盛土の作成手順

図－3に壁面工の代表例として、コンクリートブロック壁の正面図を示す。供試体は、建設省土木研究所の屋内実験施設で幅5.0m、高さ4.0mのコンクリートピット内に築造した。補強土壁高に対してピットの高さが不足するため、両側面にH鋼を建て込み、厚さ15mmの亚克力板を貼り付けた。この両側面には、間にグリースを塗布した2枚重ねのビニールシートを貼り付け、側壁の摩擦を除去した。また、実施工では、壁面材は根入れを行うことと、事前の数値解析で壁下端の固定が変形抑制に有効なことが確認されたため⁸⁾ 図－2,3に示したように、壁下端にはピット底面に固定した治具を設け、水平方向変位を固定した。盛土の作成は、図－4に示す手順で行った。

コンクリートパネルの場合には、初期にはパネル前面にH鋼格子枠を固定し、支保工と油圧ジャッキで支持し盛土施工中の変形を拘束した。盛土完了後、油圧ジャッキの除荷により一体壁で自立させ、その後、H鋼格子枠を撤去して分割壁に移行させた⁵⁾。

図-3 壁面工正面図 (コンクリートブロック)

3. 実験結果の比較

ここでは、主に、盛土完了後4～5日放置して安定させた時点の計測結果と補強材の切断による崩壊直前の計測結果を対比して示す。EPSブロックでの最終切断点は、図-2の切断番号でNO.48であり、この後クリープ的に崩壊した。コンクリートパネルではNO.44、コンクリートブロックではNO.60であり、瞬間的に崩壊した(写真-1)。

3.1 壁面水平変位

盛土完了後と崩壊直前の壁面水平変位を対比して図-5に示す。ブロック形式(壁面工以外は同一条件)を比較すると、両者共に、壁高の中央部で変位が大きくなっており、土囊など剛性の低い壁面工に見られるような壁高の1/3付近が最大となる変位分布とは異なっている。また、EPSブロックの変位量はコンクリートブロックよりも大きく、壁面工に

図-4 盛土作成手順

写真-1 崩壊後の状況 (コンクリートブロック)

縦剛性があっても重量効果が小さい場合には変形を抑制する効果が小さいことが分かる。

コンクリートパネルについては、油圧ジャッキの除荷によって前倒れ傾向の変形が生じた。これは、盛土中に支保工で変位を拘束していたためである。次に、H鋼格子枠を撤去して分割壁に移行し全体曲げ剛性を減少させると、変位は急増した。また、パネルの継ぎ目位置でもずれが生じている。このことより、パネル形式の壁面工ではパネル間の連結の重要性が指摘できる。分割壁の場合は実際には盛土施工中に変位が段階的に補正されるため、本実験ほどの大きい変位は生じないものと考えられる。

図-5 壁面水平変位の分布

3.2 壁背面土圧

コンクリートパネルとコンクリートブロックの壁背面土圧の計測値を図-6に示す。なお、EPSブロックでは計測していない。同図でのパネルは分割壁である。いずれの場合も切断を開始するまでに変形を生じており、主働状態にある。

補強材切断前のコンクリートブロックでは図中に示したクーロンの主働土圧とほぼ同一の分布を示している。一方、コンクリートパネルでは、主働土圧（三角形分布）よりもかなり小さく、最下段では主働土圧に近づく傾向が見られる。補強材の切断による崩壊直前では、いずれのケースも切断前よりも全般的に壁背面土圧が増大するが、下段では逆の傾向が顕著で、1/2

図-6 壁背面土圧の分布

程度に減少し、応力の再配分を生じている。これらの結果から、壁面工の変形拘束効果が大きいほど壁面工が抗土圧効果を発揮し、一方、変形を許す分割パネルタイプでは盛土の補強効果によって大きな土圧軽減につながるといった壁面工の違いによる壁背面土圧の特性をみることができる。

3. 3 地盤反力

図- 7に盛土底面および壁面工下端の地盤反力分布を示した。現行の設計法³⁾の外的安定計算では、補強領域を剛体と仮定し、地盤反力を台形分布としている。しかしながら、観測値では、多少のばらつきがあるものの、ほぼ盛土の土被り圧程度の分布となっており、現行設計法の仮定と異なる。一方、壁面下部では、施工後から補強材切断による崩壊直前にわたり壁面工自重よりもかなり大きい荷重が観測されている。このような傾向は、これまで筆者らが実施した数値解析⁸⁾や屋外試験盛土⁹⁾でも確認されている。このような壁面工下端の地盤反力は、剛性のある壁面工を用いた補強土壁の特徴と考えられ、盛土材の圧縮性や基礎地盤の支持力特性などと関連させ、定量的評価方法の検討が必要と考えられる。

図- 7 地盤反力分布

3. 4 補強材ひずみと補強材最大引張力

盛土施工に伴う主補強材および安定補助材のひずみは、図示していないが土被りの増加に比例して同様に直線的に増加する結果が得られている。ここでは、主補強材ひずみについては、切断前の計測値を図- 8に、また、最大引張力分布を図- 9に示す。なお、補強材ひずみの 1% は引張力で 8.6kN/mに相当する。

主補強材のひずみ分布は、壁面工の違いによって傾向が異なる。EPSブロックは、上段ほど最大ひずみの位置が他の壁面工より盛土内部に移り、壁面近傍で最大値を示す三角形分布（第1, 2層）から台形的な分布に変化（第3層～第5層）している。壁面剛性の高いコンクリートブロックでは、全体的

図-8 主補強材ひずみ分布

に他の壁面工よりひずみが小さい。壁面工直近では、第1層を除いて他の壁面工の場合よりやや大きめのひずみを示し、また、第2、4、5層では最大値を示している。コンクリートパネルは一体壁と分割壁の状態とで、ひずみの分布形状は類似し、壁面水平変位が増加した分割壁の方が大きいひずみを示す。なお、設計引張力と実測の最大引張力を比較(図-9)すると、壁面工上半分 3m の範囲はほぼ同様な値を示し、下半分は設計値より小さい値を示す傾向がみられる。

ブロック形式では主補強材の中間に安定補

図-9 最大引張力分布

助材 (L=1.0m) を設置している。図-10に切断前の安定補助材のひずみ分布を示す。盛土施工中は土被りの増加に伴ってひずみは比例的に増加し、また、ひずみの分布は、壁面工の種類で異なっているが、壁面近傍で最大値を生じ、主補強材と同程度のオーダーのオーダの引張力が作用している。この安定補助材は、本来、施工時の壁面近傍の作業の安全確保や部分的なブロックの抜け出し防止対策として補助的に設置したものであるが、補強土壁の安定に大きく寄与していることが明らかとなった。

図-10 安定補助材ひずみ分布

3. 5 崩壊時のすべり線形状

各実験で崩壊後に石灰の薄層の変形を測定して、すべり面の確認を行った。この結果を図-11に示す。同図中には、設計時のすべり線 ($F_s=1.0$) およびクーロンの主働崩壊線も併せて示した。また、このすべり線は、すべり安全率が $F_s \approx 1.0$ となった時点の補強材の切断に対応するもので、EPSブロックでは切断点NO.30 (補強材長 $L=1.88\text{m}$) ⁷⁾、コンクリートパネルではNO.33 ($L=1.57\text{m}$) ⁵⁾、コンクリートブロックではNO.36 ($L=1.57\text{m}$) ⁶⁾ の時点である。

この図より、EPSブロックのすべり線は設計すべり線に最も近い。これは重量効果がほとんどなく、現行の設計マニュアルの条件に適合しているためと考えられる。これに対して、コンクリートブロック

では、クーロンの主働崩壊線に近い円形すべり線形状であり、コンクリートパネルでは、設計すべり線より盛土奥側で2直線すべりに近い形状のすべり線となっている。これらの結果から限界状態のすべり線の形状は壁面工の効果の違いに影響されることが推察される。

4. まとめ

構造物の安定および変形に対する壁面工の寄与を確認することを目的として、異なる種類の壁面工を用いた実物大の補強土壁の崩壊実験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- ①施工時の壁面水平変位はEPSブロックの方がコンクリートブロックよりも大きく、壁面工の重量効果によって施工中の変形が抑制される。また、分割パネルの場合は変形が大きくなる。
- ②いずれの壁面工においても壁面下端には自重以上の荷重が発生する。
- ③施工完了後の補強材に発生する最大引張力分布は、壁面工の効果を検討しない設計必要引張力に対して同等（上半分 3m）ないし小さく（下半分 3m）、壁面工の縦剛性の大きいものほどその傾向が強い。

④ブロックタイプの壁面工において敷設した

短い安定補助材も、主補強材と同程度の引張力が発生し、安定に寄与している。

- ⑤崩壊後のすべり線の形状は、EPSブロックが現行の設計法³⁾による円形すべりに最も近く、コンクリートブロックでは、クーロンの主働崩壊線に近い円形すべり、コンクリートパネルでは2直線すべりに近い形状となった。また、崩壊は剛性と重量効果の低い壁面工ではクリープ的に進行した。

謝 辞

本研究は、平成5年度～7年度の3年間にわたる建設省土木研究所、（財）土木研究センターと民間12社による『ジオテキスタイル補強土壁の設計・施工法に関する共同研究』のうち、平成6年度に実施した一連の室内崩壊実験の結果をとりまとめたものである。実験や結果のとりまとめに当たり、ご協力頂いた関係各位に謝意を表する次第である。

図-11 崩壊時すべり線形状

参考文献

- 1) ジオグリッド研究会：ジオグリッド工法ガイドライン(第1分冊)，244p，1990.7
- 2) RRR工法協会：補強土工法設計・施工マニュアル，104p，平成5年4月
- 3) (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，288p，平成5年1月
- 4) 龍岡文夫，村田修，舘山勝：講座 ジオテキスタイルを用いた補強土工法，8. ジオテキスタイル補強土擁壁－壁面工の効果－，土と基礎，VOL. 41，NO. 11，pp. 89-96，1993
- 5) 宮武裕昭，落合良隆，土橋聖賢，田尻宣夫，福田直三，西村淳，笹木弘：ジオテキスタイル補強土壁の実物大崩壊実験（その1）－パネル形式の壁面工－，第30回土質工学研究発表会，pp. 2423-2426，平成7年7月
- 6) 宮武裕昭，落合良隆，丸尾茂樹，中根淳，山本純，寺山徹，前嶋匡，塚田義明：ジオテキスタイル補強土壁の実物大崩壊実験（その2）－ブロック形式の壁面工－，第30回土質工学研究発表会，pp. 2427-2430，平成7年7月
- 7) 落合良隆，宮武裕昭：EPSブロック形式の壁面工を持つジオテキスタイル補強土壁の実物大崩壊実験，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集，第3部，pp. 1580-1581，平成7年9月
- 8) 中根淳，滝昌和，宮武裕昭，土橋聖賢：数値解析によるジオテキスタイル補強土壁の壁面剛性の比較検討，第10回ジオシンセティックシンポジウム，1995. 11（投稿中）
- 9) 中嶋智樹，大木祐司，尾田賢治，宮武裕昭，土橋聖賢：コンクリートブロックを用いたジオテキスタイル垂直補強土壁の試験施工，第10回ジオシンセティックシンポジウム，1995. 11（投稿中）