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

邦文概要

ジオテキスタイル補強土壁は、高剛性のフェーシングによって、より高い安定性と変形抑制効果が得られることが知られている。そこで、壁面工に大型コンクリートブロック(高さ50cm、幅100cm、厚さ35cm)を用いた高さ8mの垂直補強土壁の試験施工を行った。施工中は、補強材ひずみ、壁面水平変位、壁面工基礎および盛土内沈下量、鉛直土圧、水平土圧について計測を実施し、完成後は、長期安定性について検討するために、動態観測を実施している。試験施工によって得られた知見の概略を以下に示す。

- ・完成時の最大補強材ひずみは約1%であり、安定上は何等問題なく施工を完了した。また施工性も比較的良好であり、実用上有効な工法と考えられる。
- ・安定補助材には、主補強材と同等のひずみが発生し、補強土壁の安定に対する寄与が大きい。
- ・完成時の最大水平変位量は、壁高さ中間部で65mmとなった。
- ・鉛直土圧は、壁面背後で盛土材自重相当であるのに対し、壁面基礎直下では、コンクリートブロック自重の2倍もの大きな値を示した。
- ・施工完了後の壁面水平変位と壁面基礎沈下の推移は連動する傾向にあり、剛性の高い壁面工を有する補強土壁では基礎部の処置が重要である。

The field performance of a geotextile reinforced soil wall with concrete facing blocks

Tomoki Nakajima,	Sato Kogyo Co.,Ltd.
Yuji Ohki,	Kyowa Concrete Industry Co.,Ltd.
Kenji Oda,	Sumitomo Construction Co.,Ltd.
Hiroaki Miyatake,	Public Works Research Institute, Ministry of Construction
Kiyomasa Dobashi,	Public Works Research Center

ABSTRACT

It is known that high stability and deformation control can be assured in geotextile reinforced soil wall if facing rigidity is improved. To verify this, a field performance test was conducted on a 8-meter high soil wall, with a face of large concrete blocks 50cm high, 100cm wide and 35cm thick. Information obtained through measurement during construction of the reinforcement materials, horizontal displacement of wall surface, settlement of wall foundation and earth fill, subgrade reaction, and lateral earth pressure is as follows.

- ・ Approximately 1% of maximum reinforcement strain, measured at the completion of construction, is acceptable for the stability of the reinforced soil wall.
- ・ Concrete block walls are easy to construct because of their self-supporting characteristics.
- ・ Sub-reinforcements contribute greatly to the stability of the reinforcement soil wall.
- ・ A 65-mm horizontal displacement in the forward direction is observed at the middle of the wall upon completion.
- ・ The foundation subgrade reaction measured at the rear of the wall is equivalent to the dead weight of the concrete blocks.
- ・ The horizontal displacement of the wall is related to foundation settlement, it can be concluded that taking appropriate design measures is essential for soil wall foundation of this type.

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

佐藤工業株式会社

○中嶋 智樹

共和コンクリート工業株式会社

大木 祐司

住友建設株式会社

尾田 賢治

建設省土木研究所

宮武 裕昭

財団法人土木研究センター

土橋 聖賢

1. はじめに

補強土壁は、コンクリートパネルやコンクリートブロックのような比較的剛性の大きな壁面材によるフェーシングによって、高い安定性と変形抑制効果が得られることが知られている。

筆者らは、建設省土木研究所内に、壁面工として大型コンクリートブロックを空積みとした高さ8mのジオテキスタイル垂直補強土壁の試験施工を行い、施工中の各種計測結果および施工後の動態観測結果から、施工中の安定性や長期安定性および施工性について検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 断面形状および補強材配置

図-2.1に本実験で築造した補強土壁の断面形状を示す。また、表-2.1に使用材料の物性値を示す。補強材配置は、壁面工の効果を考慮した幾つかの設計法の試算結果を基に決定し、6m×11段とした。「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」(以下、マニュアルと呼ぶ)¹⁾の設計法で補強材配置を決定すると、6.5m×13段となり、総延長で、約1.3倍の補強材量となる。また、決定断面に対するマニュアルによる安定計算結果では、常時、地震時共に約1.0であり、ほぼ極限状態となる結果を与える。主補強材を連結しないブロックについては、壁面近傍での転圧作業時等の安定性確保のため、主補強材と同一材料で、長さ1mの補強材を安定補助材として連結した。

図-2.1 実験断面形状

表-2.1 材料物性値一覧表

盛土材	$\gamma_t = 1.9 \text{ tf/m}^3$ $c = 0.0$ $\phi = 29^\circ$ (設計時の値)
補強材	一軸延伸ポリマーグリッド (SR55) $T_f = 5.75 \text{ tf/m}$ $T_a = 3.00 \text{ tf/m}$
壁面材	大型コンクリートブロック 幅 1.0m、高さ 0.5m、厚さ 0.35m 重量 230kgf、胴込め体積 0.083m ³

2. 2 施工概要

(1) 基礎コンクリートおよび根固め

壁面材下部には、厚さ20cm、幅80cmの基礎コンクリート(無筋)を打設した。また、実施工においては、壁面材は

必ず根入れを行うことが前提となること、および数値解析的に壁下端の固定が変位抑制に有効であることが確認されたため²⁾ 1段目ブロック前面に鉄筋を配置した根固めコンクリートを打設した。

(2) 補強材の連結方法

本実験では、壁面材として既製のコンクリートブロックを使用している。このため、図-2.2のようにブロック製作時にM20のインサートを埋込み、 $\phi 22$ 丸鋼をL型にした物の一方をねじ切り加工してブロックに取り付けて連結金具とした。補強材と連結金具との接続は図-2.3に示すように、単管パイプに補強材を巻込んだものを連結金具の内側に設置し、 $\phi 10$ mmの丸鋼で補強材目合間を縫い込むようにしている。また、背面盛土材の施工時の圧縮沈下および長期圧密沈下に対応するようにスライドジョイントとし、補強材の緊張は人力で行った。

図-2.2 コンクリートブロックの形状寸法

図-2.3 補強材連結部詳細

(3) コンクリートブロックの設置

コンクリートブロックは、5t級クレーンを使用して壁前面側より吊り込み、人力で通りや鉛直性の微調整を行った。微調整は、壁全体の勾配を確認するための丁張は使用せず、各段のブロック設置時に、ブロック個々の鉛直性を確保する方法を採った。コンクリートブロックは、図-2.2のように、前壁部と後壁部が梁で連結された構造となっており、この空洞部分には碎石を投入して鉄筋棒などを使用して突き固めをした。

(4) 盛土材および裏込め碎石の敷均し転圧

図-2.4にコンクリートブロックの設置を含めた盛立て順序を示す。

盛立て一層の仕上がり厚さは25cmとし、0.7m³バックホーを用いて敷均し、締固めは1tクラスの振動ローラによる転圧を行った。締固め度の管理値は90%以上とし、事前に行った転圧試験結果によって転圧回数を決定した。密度管理は、仕上がり厚さ50cm毎に、コアカッター法により実施した。

図-2.4 盛立て順序

裏込め碎石の敷均しは、補強土壁の平面的な寸法の制約上、バックホーが補強材の上に乗ることを避けるために、盛土材の敷均し終了後に行っている。土研マニュアルに示されている施工法に乗っ取った手順とはいえないが、盛土材がある程度の密度を確保するまで

に発生する側方ひずみ（変位）を壁面材に直接伝えないようにし、なおかつ補強材の引抜き抵抗によって壁面材を拘束した後に、壁背面を良質材で埋戻すことになっている。施工中の壁面変位を出来る限り抑えるという意味では有効と思われる。ただしこの場合、壁面付近では補強材にゆるみがでることも考えられる。解決策としては、補強材敷設時に比較的大きな緊張力を与えておくか、壁背面の盛土材投入前に増し締めが出来るような補強材の連結方法をとることが考えられる。

(5) 上載盛土

築造した補強土壁に対して、上面が道路となるような場合に考慮される 1tf/m^2 の上載荷重を与えるために、盛土天端に碎石で50cmの盛土を行った。碎石盛土の周囲は、補強盛土の壁面材として使用されるエキスパンドメタルをL型に加工したもの（H=50cm）で囲い、碎石のこぼれだしを防いだ。

2. 3 計測内容および計測方法

計測は、補強土壁中央部1断面で行った。計測項目を表-2.2に、また計測断面を図-2.5に示す。

(1) 壁面変位

壁面変位は、図に示すD2からD9までは、コンクリートブロック前面に取り付けた下げふりによってD1との相対変位を測定した。初期値は、変位測定の対象となるブロックを設置し、補強材連結部分まで盛立てが終了した時点とした。根固めコンクリートに設置したD1は、壁前面に設けた不動点からの距離を測定して水平変位を求めた。鉛直変位は、D1のレベル測定を行って壁全体の鉛直変位として評価した。

表-2.2 計測項目一覧表

計測項目	記号	計器名
補強材ひずみ	●	ひずみゲージ
壁面土圧	■	土圧計
地盤反力	▨	土圧計
壁面変位	▷	
沈下量	⊥	沈下板

(2) 盛土沈下量

盛土底部と盛土内および盛土天端（上載盛土前）に沈下板を設置し、ロッド先端の高さをレベルで測定した。

(3) 壁前面地盤の変位

比較的軟弱な地盤上に高さ8mもの補強土壁を築造することから、図の位置に変位杭を設置し、レベルで高さの測定を行うと共に、不動点からの距離をスチールテープを使用して水平変位の測定も行った。

(4) 補強材ひずみ

補強材のひずみは、ジオテキスタイルのストリップ部分に貼り付けたひずみゲージによって測定した。

補強材ひずみの初期値は、一般的には

対象とする補強材に対して1層分の敷均し、あるいは転圧が終了した時点とする方法が採られることが

図-2.5 計測断面図

多いが、敷き均し転圧に伴う補強材ひずみを把握するために、補強材に対する負荷の無い状態、つまり緊張前を初期値として設定した。測定は、1層ごとに転圧前と転圧後に分けて行っている。

(5) 壁面水平土圧および盛土の鉛直土圧

壁面に作用する水平土圧を測定するために、コンクリートブロックに土圧計を埋め込んで盛立て1層ごとに測定を行った。また、鉛直土圧は、盛土底部と壁面工基礎コンクリート下に設置した。

3. 計測結果

3. 1 壁面変位

図-3.1 水平変位量の分布図

図-3.2 水平変位経日変化

施工中および施工後に測定した壁面の水平変位を図-3.1および図-3.2に示す。図-3.1は、各測定点の、計測開始時からの変位増分量に、基礎部(D1)の水平変位を加えた形で示してあり、出来形としての壁面形状を現したのではない。図より、施工完了時での水平変位量の最大値は約65mm(基礎の水平変位を含めて約85mm)であり、壁面高さの中央部が前方にはらみ出した形となっている。壁面を巻込み形式とした補強土壁では、一般に壁高さの1/3付近で最大変位量を示す傾向が既往の実験結果等で示されているが、コンクリートブロック等を壁面とした場合は、壁高中央部付近が最大水平変位を示すことが、本実験に先だって行われた室内実験³⁾および数値解析による検討²⁾で確認されている。実験結果は、これらの結果と一致するものであり、剛性の高い壁面とした場合の特徴といえる。施工完了時の変位は補強土壁の安定上は十分小さな値と考えられるが、盛土材の撒き出しをバックホーで壁面に近づかない様に行ったことと、小型転圧機械を使用したことで、施工(敷均し・転圧荷重)に起因する変位が小さかったことも考えられ、実際に本工法を適用する場合は施工中の変位に対して注意を払う必要がある。また、土留構造物としては、オーバーハング部分があることは、景観上または安定感で問題があり、最終出来形形状で若干のもたれ勾配を持たせた計画とすることが望ましい。

上載荷重による変位増分は、壁上方の測定点で顕著に現れている。これは、盛土上部程上載圧が小さ

く、盛土材剛性が小さいために荷重に対する変形が大きいこと、他、根固めを行い壁下端の変位を拘束していることが要因として考えられる。

施工完了後161日経過した10月6日の変位は約95mmであるが、施工完了後約100日以降の変動は小さく、盛土の変形はほとんど収束している。降雨による影響は、施工完了後初期で顕著に現れており、9月中旬の台風による多雨では、若干の変動があるものの、5月中旬の多雨による変動と比較して非常に小さな値であり長期安定性にも問題はないようである。また、壁面基礎沈下量と壁面水平変位の推移は連動している傾向が見られる。これより、基礎地盤の処理を十分に行うことが壁面全体の変位を抑える場合重要であるといえる。

3. 2 盛土沈下量

図-3.3は、盛土沈下量および壁面基礎沈下量の経日変化を示したものである。施工中の沈下は、盛土高さ3m以降急激に増加している。これは、既存盛土によるプレロードの効果と思われる。壁面基礎の沈下量と盛土奥の底部に設置した沈下板1の測定値は、施工中はほとんど同じ傾向で推移し、施工完了後は、壁面基礎部の沈下量が若干大きな値となっている。また、盛土天端の沈下量は、壁近傍の沈下板3と4がほとんど同じ値を示し、沈下板5の約2倍となっている。施工完了後約160日経過した時点では各測点の沈下はほとんど収まっており安定した状態にある。

図-3.3 盛土沈下量経日変化

3. 3 壁前面地盤の変位

壁面前面に設置した変位杭の鉛直変位測定結果を図-3.4に示す。計画壁高さの約半分まで施工が完了した時点の鉛直変位は、壁面部は沈下し、壁から離れた地点で隆起する典型的な盤ぶくれの傾向を示している。施工完了時と、施工完了から161日経過した10月6日での変位は、壁

図-3.4 盛土前面地盤の変位

面部の沈下量が大きくなり、その周辺地盤も引き込まれて沈下する傾向を示している。水平変位は測定開始からの変動が数mmのオーダーであった。

3. 4 補強材ひずみ

図-3.5に、施工完了時および施工完了から168日経過した10月13日の補強材ひずみ分布を示す。各段のひずみ分布は、補強材連結部付近で最大値を示しており、本実験のように高剛性の壁面を持つ補強土壁の補強材ひずみ分布特有の傾向を示している。施工完了時の補強材ひずみの最大値(約1%, 引張り力換算で約0.9tf/m)は、設計強度(3.0tf/m)に対してかなり小さな値を示し、安定上は問題無く施工を完了した。また、安定補助材には主補強材と同等のひずみが発生しており、補強土壁の安定に寄与している。

図-3.6は、ひずみを計測した補強材のうち、代表的なものについて施工中のひずみ分布も合わせて示したものである。図より、補強材に対する土被り厚さが小さいときは、壁面奥に最大値を有する凸形状を示すが、やがて壁面との連結部付近に最大値を有する分布形状を示している。これは盛土材の圧縮や沈下によって、連結部付近の補強材が下方に引っ張られる現象によると考えられる。本実験のような壁面を持つ補強土壁では、このような現象による過度の引張り力を緩和する目的でスライドジョイントを設けるが、今回の実験では裏込め排水材に碎石を使用したためにスライドジョイントが十分に機能していなかったことが考えられる。図-3.7は、10月中旬に観測した補強土壁端部での状況を図化したものであるが、連結部付近で補強材と裏込め碎石間に空隙

部分があることが分かった。補強土壁端部では、側方への細粒分の流れ出しが多いものの、壁背面には吸い出し防止の措置を採っていないため、盛土中央部でも同様の現象が起こっているものと考えられる。したがって、裏込め材として碎石を使用したものの、壁背面の沈下量が大きく、スライド量が不十分であったことも考えられる。これは、 $H=3.15\text{m}$ に設置した安定補助材の壁面直近のひずみが、7月頃より

図-3.5 補強材ひずみ分布図

図-3.6 補強材ひずみ分布の変化

急激に増加し、ひずみゲージの計測容量を越えたのに対し、壁面変位の変動はほとんど見られなかったことでも推測される。以上の結果より、壁背面は降雨による盛土内浸透水を速やかに排出する措置が必要であることは言うまでもないが、裏込め部分は吸い出し防止措置を講じて締め固め特性のよい良質材で十分な転圧を行うことが重要であることが分かる。

なお、本実験では、敷き均し・転圧荷重に起因すると考えられるような補強材ひずみの発生は確認されなかった。

図-3.7 壁背面沈下状況

3. 5 壁面水平土圧および盛土の鉛直土圧

(1) 壁面水平土圧

実物大室内実験³⁾では、本実験のように壁面にコンクリートブロックを使用した場合、壁下方までクーロン土圧に近い壁面土圧が発生し、壁下端で小さな土圧となる結果が得られており、数値解析による検討¹⁾でもこの傾向が確認されている。これに対して本実験では、図-3.8に示すように、施工完了時(H=8m)の土圧分布は凹形状となり、全体としてもクーロン土圧よりもかなり小さい値を示す結果となった。前述のように、壁面背後で補強材下部に空隙が発生していると考えられることから、計測値の評価には慎重を期す必要があり、今後の推移を観測した上で改めて検討を加えたい。

図-3.8 水平土圧分布

(2) 鉛直土圧

施工中と施工完了時および施工完了後168日経過した10月13日の計測結果を図-3.9に示す。壁面基礎下部に設置した土圧計の計測結果は、根固め工部分の幅を考慮した換算値で示してある。図からもわかる様に、実験で確認された土圧分布形状は、壁面より背後では盛土材自重相当かそれ以下の値を示し、壁面の下部では壁面材自重をはるかに越える大きな値を示している。このような鉛直土圧分布は、室内実験結果³⁾や数値解析による検討結果²⁾でも確認されている。

図-3.9 鉛直土圧分布

マニュアルの外的安定計算では、補強領域を剛体と仮定し、地盤反力を直線的に変化する台形分布としているが、本実験結果はこの仮定が成り立っていない。壁面下端に大きな鉛直土圧が作用する要因としては、壁面土圧の鉛直成分や先に述べたような理由による下向きに作用している補強材力が壁面下端まで影響していることが考えられる。このような土圧分布形状が剛性の高い壁面工を持つ補強土壁特有のものとするれば、その定量的評価と壁面基礎下部地盤や基礎構造の十分な検討が必要と思われる。

4. まとめ

コンクリートブロックを壁面材として使用した高さ8mの垂直補強土壁の試験施工を行った結果、以下のようなことが確認された。

- ①本実験では、マニュアル¹⁾の設計法より少ない補強材配置で、安定上何等问题なく施工を完了した。今後、本実験のような剛性の高い壁面工を持つジオテキスタイル補強土壁の合理的な設計方法の確立が望まれる。
- ②敷き均し・転圧時のコンクリートブロックの安定確保のために配置した短い補強材（安定補助材）は、主補強材と同等のひずみが発生し、補強土壁全体に安定に寄与している。
- ③壁面水平変位と壁面基礎沈下量の推移は互いに連動する。また、壁面工基礎下では、壁面材自重より大きな地盤反力が発生する。したがって、剛性の高い壁面工を持つ補強土壁では、壁面工基礎や基礎地盤に対する十分な検討が必要である。
- ④施工完了後約160日での壁面変位や盛土沈下量は収束傾向にあり、長期安定性は確保されている。
- ⑤補強材と壁面の連結は、スライド形式とすることが望ましく、壁の背面部は良質材による入念な締固めと吸い出し防止策を講じる必要がある。
- ⑥施工性も比較的良好であり、実際への適用も可能な工法と考えられるが、安定感への配慮から、若干のもたれ勾配をもたせることが望ましい。

最後に、本研究は建設省土木研究所と(財)土木研究センターおよび民間12社による共同研究「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」の成果の一部を報告したものである。末筆ながら、本研究の関係者各位に感謝の意を表します。

《参考文献》

- 1) 財団法人土研センター：「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」、平成5年1月
- 2) 中根、滝、宮武、土橋：「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）
- 3) 田尻、塚田、山本、落合、土橋：「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）

写真-1 補強土壁全景

写真-2 壁面ブロック設置状況

写真-3 補強材連結部

写真-4 補強材敷設完了

写真-5 盛土材および
裏込め碎石転圧状況