ジオシンセティックスで補強した防護盛土擁壁への現場載荷実験

前田工織株式会社 伊藤修二・横田善弘・久保哲也

福井大学 荒井克彦

概要

がけ崩れや土石流を受け止める防護擁壁としては、主にコンクリート擁壁など剛な構造物が用いられている。これに対してジオシンセティックスで補強した盛土構造物を防護擁壁として用いた場合、現地発生材の有効利用を図れることや、用地や地形などの立地条件が悪い場所での対応性が良いこと、自然に調和した構造物を構築することができる利点がある。

現時点では、ジオシンセティックスで補強した盛土構造物に衝撃力や準静的な荷重が作用した場合の、変形量や破壊強度からみた有効性が不明瞭である。ここでは、補強した盛土構造物に準静的な荷重を作用させる現場載荷実験を実施して、補強盛土の有効性を検証した結果を報告する。実験は、高さ 1.5mの小型模型実験と高さ 6 mの実物大模型実験の2種類行った。載荷は、水平方向より準静的な荷重を加えた。盛土の上下方向の分離を防ぐために圧縮力プレストレスを加えた補強盛土についても載荷実験を行った。実験では、補強盛土の変位量、内部応力、ジオシンセティックスに働く応力などを計測した。

キーワード：防護擁壁、圧縮力プレストレス、モデル実験、実物大実験

Field Loading Test of The Protection Embankment Retaining Wall Reinforced with Geosynthetics

Syuuji Itou : MAEDAKOUSEN CO.,LTD.

Yoshihiro Yokota : MAEDAKOUSEN CO.,LT D.

Tetsuya Kubo : MAEDAKOUSEN CO.,LTD.

Katsuhiko Arai : FUKUI UNIVERSITY

As a protection retaining wall to catch a landslide, a debris flow and falling rocks, stiff structures of concrete retaining walls is used mainly. There are many advantages when the embankment reinforced with geosynthetics is used as a protection retaining wall. The correspondence of the embankment utilizing surplus soil structures harmonized with naturally can be built, at the place where a geographical condition is bad.

At a present, when pseudo static load or shock power acted to embankment reinforced with geosynthetics, the availability watched from volume of deformation and destruction strength is indistinct. This paper reports a result of field loading test that pseudo static load is given to the reinforced embankment, and also reports the inspection of the effect on reinforced embankment. The experiment carried out two kinds of small model experiment of 1.5m high and actual size model experiment of 6m high. Static load was added from a horizontal direction.

Loading test was also done about the reinforced embankment given compression power by prestress in order to prevent separation of a top and bottom direction of embankment. In this experiment, displacement and inside stress of reinforced embankment, and stress to act on geosynthetics was measured.

Key-Word : Protection Embankment Retaining Wall , Prestress , model experiment, high experiment

ジオシンセティックスで補強した防護盛土擁壁への現場載荷実験

前田工織(株) 伊藤修二
前田工織(株) 横田善弘
前田工織(株) 久保哲也
福井大学 荒井克彦

1 はじめに

防護擁壁には、主にコンクリート擁壁など剛な構造物が用いられているが、立地条件が厳しい箇所での施工を余儀なくされ、一般的には構築時に大規模な基礎部の対策工が必要となる。さらに構造上、吸収される衝撃エネルギーに限界がある。しかし、ジオシンセティックスで補強した盛土構造物を防護擁壁として用いた場合、現地発生材の有効利用を図れることや、用地や地形などの立地条件が悪い場所での対応性が良いこと、自然に調和した構造物を構築することができるなどの利点がある。また、土の持つ衝撃吸収性特性を最大限に生かすことができる。

ここでは、ジオシンセティックスで補強した盛土構造物に準静的な荷重を作用させ、その時の変形量や破壊強度を計測し、防護擁壁として利用する補強盛土の有効性を検証した。ここでは実験の概要とその試験結果を報告する。

本試験は、科学技術振興事業団の独創的研究成果育成事業として行った。

2 実験概要

2.1 実験の内容

がけ崩れや土石流を受け止める土堤を想定した盛土を構築し、その側面から油圧ジャッキにより準静的な荷重を加えた。準静的な荷重としては押出し水平変位が200mmに達した時に2分間停止しその後、再び押出しを行った。押出後、盛土に加える水平力は、ロードセルを使用して計測を行い、水平変位は盛土の載荷点に変位計を設置し計測を行った。盛土内部の鉛直土圧と水平土圧を把握するために土圧計を設置して計測した。また、ジオシンセティックスの作用する張力を把握するために、ひずみゲージをジオシンセティックスに貼り付け計測を行った。実験は、ジオシンセティックスの効果を確認するために実盛土の1/2程度の大きさの盛土を構築し押出し試験と曲げ試験を行った。その後、実物大で、ジオシンセティックスとプレストレスで補強した盛土を構築し、曲げ試験を行った。使用したジオシンセティックスは引張強度が最大3.5kN/mで伸びは5%のものである。壁面材としては、L型のエキスパンドメタルをのり面ユニット(h=0.25m,0.5m)として使用した。(図2-1 参照) 使用した盛土材は、粘土質砂であり、表2-1に材料特性を示す。

表2-1 盛土材料の特性

項目		特性値
不攪乱 CU試験	粘着力 c'	0kN/m ²
	せん断抵抗角 ϕ'	37.27°
単位体積重量 γ_t		15.87kN/m ³
自然含水比 W_n		20.0%
土粒子の密度 ρ_s		2.662 g/m ³
最大乾燥密度 ρ_{dmax}		1.654g/cm ³
最適含水比 W_{opt}		19.1%

図2-1 のり面ユニット

2.1.1 モデル実験

2.1.1.1 押出し試験（プレストレスなし）

高さ 1.5m、奥行き 2.4m、底盤幅 1.0m の長方形断面モデルで、無補強盛土（モデル実験 1）とジオシンセティックスを用いた補強盛土（モデル実験 2）を試験した。押出し荷重を与えた載荷板の巾は 25cm とした。（図 2－2 参照）

2.1.1.2 曲げ試験（プレストレスあり）

高さ 1.5m、奥行き 3.6m、底盤幅 0.75m の長方形断面モデルで、ジオシンセティックスと圧縮力プレストレスを加えた補強盛土（モデル実験 3）を試験した。プレストレスの鉄筋には、プレストレス時に作用する荷重と、載荷時の曲げ状況を把握するために、ひずみゲージを貼り付けた。水平荷重を与えた載荷板の幅は 25cm とした。（図 2－3 参照）

2.1.2 実物大実験

最後に実物大の防護擁壁を仮定し、高さ 6.0m、奥行き 8.4m、底盤幅 3.6m の長方形断面のジオシンセティックス補強盛土に圧縮力プレストレスを加えた補強盛土を構築した。盛土内部の挙動観測として、水平荷重の伝達を把握するために土圧計を盛土中央部と盛土前面に設置し水平土圧と計測することとした。プレストレスの鉄筋には、プレストレス時に作用する荷重と載荷時の曲げ状況を把握するために、ひずみゲージを貼り付けた。水平荷重を与えた載荷板の幅は 1m とした。（図 2－4 参照）

図 2－2 押出し試験

図2-3モデル実験3 曲げ試験（プレストレス、ジオシンセティックス有り）

図2-4実物大実験 曲げ試験（プレストレス、ジオシンセティックス有り）

3 試験結果

3.1 モデル実験

3.1.1 押出し試験

図3-1に押出し実験時の押出し水平応力と水平変位の結果を示す。この結果によると、モデル実験1は押出し応力が 27 kN/m^2 を最大に急激に減少している。その後、荷重が上昇しているがロードセルが押出し試験中に傾き偏荷重が作用して大きな値になっていると思われる。モデル実験2は 31 kN/m^2 を最大に緩やかに減少している。この結果、土塊のせん断に対してジオシンセティックスが抵抗を示していることとなる。また、ジオシンセティックスに貼り付けたひずみゲージは、図3-2が示すとおり、押出し荷重が最大時の変位までは、収縮傾向になるが、変位が大きくなるに従い、伸びる傾向になっている。その結果、押出し試験開始後は盛土全体が収縮して押出し荷重を吸収していることと言える。その後、変位が大きくなるに伴い土塊重量をジオシンセティックスが支え、張力が発生していると思われる。No.0のひずみゲージについては、施工中の衝撃により、計測する事が出来なかった。土圧計は、図3-3によると、鉛直土圧が上昇している。これは、盛土が押出されてジオシンセティックスが盛土の変形を拘束し、その影響により鉛直土圧が上昇していると思われる。水平土圧に関しては、モデル実験1とモデル実験2とも多少の上昇は見られたが、その後大きくなることは、なかった。盛土構築後を写真3-1、写真3-4に、試験終了時の写真を3-2、3-3、写真3-5、3-6、示す。モデル実験1の方はジオシンセティックスが敷設されていないため、のり面ユニット(図2-1参照)が前面に倒れこむ状態になった。その結果、盛土上部に大きなクラックが入った。モデル実験2のジオシンセティックスで補強されている盛土にもクラックが入っているが、のり面ユニットが前に倒れこむ状態にはならなかった。

図3-1 水平変位と水平押出し応力

図3-2 水平変位とジオシンセティックスの伸び
(モデル実験2)

図3-3 水平変位と土圧の変化

写真3-1 盛土構築後
(モデル実験1)

写真3-2 押出し終了後
(モデル実験1)

写真3-3 押出し終了後
(モデル実験1)

写真3-4 盛土構築後
(モデル実験2)

写真3-5 押出し終了後
(モデル実験2)

写真3-6 押出し終了後
(モデル実験2)

以上の結果から、ジオシンセティックスを敷設した盛土の方がジオシンセティックスを敷設していない盛土に比べ、せん断抵抗力が大きくなり一体化していると言える。

3.1.2 曲げ試験

ジオシンセティックスを敷設することにより、盛土の一体化を図れることから、補強盛土にプレストレス応力を加えた場合の盛土に、水平方向に載荷重した時の計測を行った。(モデル実験3)

(1) プレストレス

盛土を構築後、30 kNのプレストレスを掛けた。図3-5、図3-6の示すとおり、プレストレス荷重が上昇するのに伴い、鉛直土圧は上昇している。しかし、水平土圧の方は反力がないためか、土圧の大きな上昇は確認できなかった。ジオシンセティックスの伸びは、中央部分の伸びが前後の伸びに比べ大きく出ている。プレストレスを行うことにより、盛土が圧縮され、中央部が沈下し曲げが発生していると思われる。

図 3-5 プレストレス荷重と土圧の変化

図 3-6 プレストレス荷重とジオシンセティックスの伸び

(2) 水平載荷時

写真 3-7 に押出し試験前の状況と写真 3-8 に押出し試験中の写真を示す。載荷により、全体が持ち上がるような形で変形しているのが確認できる。その時の、水平押出し応力と水平変位の関係を図 3-7 に示す。その結果、押出し応力が 15 kN/m^2 をピークに緩やかに下がり 430 mm 変位したところで盛土自体は転倒した。(写真 3-9 参照) 盛土全体が一つの固まりとなって転倒した状態である。

図 3-7 載荷応力と水平変位

写真 3-7 プレストレス終了時

写真 3-8 変形状況

写真 3-9 転倒状況

プレストレス鉄筋は、図 3-8 が示すとおり、鉄筋の前の方が 0.87% の収縮、後方は 0.67% の伸びが発生しており、曲げ応力が発生している。盛土内部の、ジオシンセティックスには、図 3-9 が示すとおり収縮が発生している。特に中央部は他の前後に比べ大きく出ている。中央位置では、のり面ユニットとジオシンセティックスが重なっていないため多く発生している。この現象から押出されることで盛土自体が横方向に圧縮されてジオシンセティックスが収縮していることがわかる。また、図 3-10 から荷重によ

図 3-8 水平変位とプレストレス鉄筋の伸び

り、土塊が転倒し始めても、盛土内部の土圧は、上昇していない。モデル実験3の場合、プレストレス鉄筋に載荷荷重が集中していたため反応しなかったと思われる。

以上の結果、ジオシンセティックスを敷設した盛土にプレストレスを行うことで、盛土の一体化効果が大きくなっていることが表された。

図3-10 水平変位と土圧の変化

図3-9 水平変位とジオシンセティックスの伸び

3.2 実物大実験

(1) プレストレス

実物大の盛土を構築して、その後4回に分けてプレストレスを行った。1回目は35 kN、2回目は46 kN、3回目は48 kN、曲げ試験を行う直前に50 kNの荷重をプレストレス鉄筋1本当りに掛けた。(写真3-10参照)図3-11に示すように、プレストレス荷重の与え方は履歴に依存し、前に載荷した荷重までは短時間で上昇したが、その後は緩やかに上昇した。その事からプレストレス荷重が盛土内に残留していることとなる。図3-12、図3-13には、No.7 ロッドに1回目のプレストレスを行ったときの、ジオシンセティックスの伸びを示す。

図3-11 プレストレス加圧時間

その結果、プレストレスを行うことで土塊が圧密沈下して伸びが発生している。しかし下段のジオシンセティックスより上段のジオシンセティックスの方が大きいことから、圧密が上段に集中していることとなる。

図3-12 下部のジオシンセティックスの伸び

図3-13 上部のジオシンセティックスの伸び

写真3-10 プレストレス載荷状況

写真3-11 押出し試験前状況

(2) 水平載荷時

水平載荷を開始し、水平変位と載荷荷重の関係を図3-14に示す。その結果、水平変位が約500mmの時に載荷応力が最大となり、その後、緩やかに減少し始め、水平変位が1600mmで盛土高さの約1/4の所を支点に転倒した。(写真3-12参照) また、図3-15には押出し変位とNO.3ロッドの伸びの関係を示す。その結果、プレストレスト鉄筋の上部の方は伸びが発生し、下部の方は収縮が発生している。土圧計は、図3-16が示すとおり、水平および鉛直土圧とも上昇は見られなかった。破壊状況としては、鉄筋は破断せずに、高さ1.5mの位置で折れ曲がっていた。

図3-14 載荷時の水平変位と載荷水平応力

写真3-12 転倒状況

写真3-13 転倒状況

図 3-15 水平変位とプレストレス鉄筋の伸び

図 3-16 載荷時の水平変位と土圧の変化

4 最後に

モデル実験の結果から、ジオシンセティックスで補強された盛土は、ジオシンセティックスを使用していない盛土に比べ、せん断抵抗力が上がる結果となった。また、ジオシンセティックスを用いた補強盛土に対してプレストレスを加えることにより、一体化効果が向上することが確認された。

実物大実験では、上部 3/4 が転倒する結果となった。これはプレストレスの荷重不足や反力板の面積が小さいためなどの理由により、プレストレス効果が盛土全体に作用していないためと思われる。その対策の一つとしては、盛土の構築中に段階的にプレストレスを行い、盛土の全体にプレストレス応力を残留させる必要があると思われる。

しかし、準静的荷重であるが土圧計の結果と変形状態からも、土塊が載荷荷重を吸収しており、防護擁壁としての衝撃吸収性能が発揮でき、十分に利用できる工法と考えられる。

また今後、FEM 解析と計測したデータを含めた検証を行いたいと思う。

参考文献

- 1) 小畑康隆 瀧上正浩 横田善弘 久保哲也 野村利充：ジオシンセティックスを用いた落石防護擁壁の動的応答解析 第 14 回 ジオシンセティックス論文集 p92～p100
- 2) 久保哲也 横田善弘 山上尚幸 太田秀樹：盛土法面補強工事における圧縮力プレストレスの効果の確認 第 14 回 ジオシンセティックス論文集 p82～p91
- 3) 土質工学会編：土質基礎工学ライブラリー 40 ジオテキスタイル 土質工学会 平成 6 年