高強度帯状ジオシンセティックによる軟弱地盤上の盛土補強効果

日本道路公団 長尾和之 今吉英明
岡三リビング(株) ○小浪岳治 川原秀樹

不織布やジオグリッドなどのジオシンセティックスは、盛土補強材として広く普及してきており、様々な材質・形状のものが提案されている。それらの中で、高強度帯状ジオシンセティックが、高速道路の建設工事費を節減するために、軟弱地盤上の盛土補強材として用いられた。この補強材は、軟弱地盤の圧密による強度増加が得られるまでの期間において、盛土の安定を確保するためのものであり、その引張特性が室内試験により調べられた。また、実工事では補強材の張力の計測とともに軟弱地盤上の盛土の挙動に関する動態観測を実施した。ここでは高強度帯状ジオシンセティックの引張特性とともに、動態観測と設計との比較を行なった結果を報告する。

キーワード：軟弱地盤，盛土，補強土，円弧すべり，施工事例

The effect of high strength web-shaped geosynthetic to stabilize an embankment on soft ground

K.Nagao and H.Imayoshi : Japan Highway Public Co.
T.Konami and H.kawahara: Okasan Livic Co.,Ltd.

Geosynthetics of many types such as nonwovens and geogrids have been used widely as reinforcements for embankments. One of these materials, a geosynthetic based on a high strength web shaped material, was installed to secure the stability of the embankment until the soft ground could get the sufficient strength due to consolidation. And it has been used in order to reduce the cost of construction of an expressway.

The stress-strain behaviour of the material has been examined in the laboratory and the movement of the reinforcement in the embankment has been measured.

This paper describe the relationship between the designed value and the observed behaviour of the material in the embankment together with the laboratory results.

Keyword : Soft ground, Embankment, Reinforced soil, Circular slip, Case study

高強度帯状ジオシンセティックによる軟弱地盤上の盛土補強効果

日本道路公団 長尾和之 今吉英明
岡三リビック(株) ○小浪岳治 川原秀樹

1. はじめに

道路建設において、盛土は橋梁、高架橋等に比較して一般に初期建設費が安価な構造物である。特に近年では、現地発生土を有効に利用することが重要となり、大規模な高盛土の築造が望まれるようになってきている。このような大規模高盛土の築造では、盛土荷重を支持でき、かつ有害な沈下を生じない基礎地盤が必要となる。しかし、基礎地盤の強度不足や沈下により盛土の安定が損なわれる場合、この地盤は軟弱地盤と判断される。そして軟弱地盤上の経済的な盛土安定対策工の一つとして、ジオシンセティックやひし形金網を補強材として用いる盛土補強土工法を施工されることがある。この場合の補強材は、圧密の進行に伴って軟弱地盤の強度が増加するまでの期間において、盛土のすべり安定に対して不足するせん断抵抗力をその引張力により補うものである^{1), 2)}。

軟弱地盤上の盛土補強に必要となる補強材は、円弧すべりに基づいて必要となる引張強度が選定される。そして軟弱地盤の強度特性と盛土荷重、および補強材の引張強度との相対的な関係から複数層の補強材が必要となる場合がある。このような場合においては、引張強度の大きい補強材を単層に敷設することにより、施工性を向上させて、工期の短縮とともに工事費の縮減を図ることが可能となる。

ここでの高強度帯状ジオシンセティックは、軟弱地盤上の高速道路建設における盛土補強(計画盛土高 $PH=13.2m$)に用いられた。そして、この補強材は室内試験により引張特性を確認して、土中で生じるひずみが計測されている。また、施工中の盛土安定性についての動態観測が実施されており、軟弱地盤上の盛土補強効果が調べられている。本報では、高強度帯状ジオシンセティックによる盛土高 $3m$ までの盛土の挙動について報告する。

2. 盛土補強の設計

(1) 軟弱地盤概要

軟弱地盤対策工の検討対象とされた区間の周辺は、仏像構造線以南の山地裾部と平坦地で構成されており、山地裾部は南方に向かって張り出した手指状の尾根(標高 $40\sim 50m$)で、四万十帯の北帯に群する新土居層であり、砂岩に富んだ砂岩・泥岩の互層となっている。一方、平坦地は埋没谷性の低地(標高 $5\sim 10m$)で、沈降運動や第四紀以降の海進・海退によって山間部周辺が埋積した沖積層となっている。当該区間の沖積層の基底は深度 $15m$ 程度であり、地表面下 10 数 m に音地火山灰層を挟んでいる。当該区間は図-1に示す土質縦断となっており、高さ $10m$ 以上の盛土が計画されている。

軟弱地盤対策工は、図-2に示した $STA.152+00$ の断面において、計画盛土高さ $PH=13.2m$ に対して検討した。また、盛土立上りに伴って圧密が進行して、強度増加を期待する粘性土 $Ac1$ 層とピート Ap 層の $e-\log P$ 、および圧密係数 $\log Cv-\log P$ は、それぞれ図-3、図-4に示す関係を設計に用いた。図-5

図-1 土質縦断面図

図-2 検討断面図(STA.152+00)

図-3 e-logP

図-4 logCv-logP

図-5 沈下量の計算結果

は盛土と沈下量の関係であり，盛土立上り時の圧密沈下量に基づく圧密度は 59.1%であることを示している。

(2) 安定検討

軟弱地盤上の盛土の安定計算は，式(1)の全応力による単一すべり円弧法で行い，盛土立上り時の所要安全率が $F_s \geq 1.10$ となることとした．そして所要安全率を満たさない場合において，不足するすべり抵抗力は，帯状ジオシンセティックの引張力 T により補うこととして，このときの安全率が $F_s \geq 1.10$ となるように帯状ジオシンセティックの引張強度を式(2)に基づいて選定した．図-6 は円弧すべりと帯状ジオシンセティックの引張力 T との関係を示している．また，Ac1 層と Ap 層の盛土立上り時における強度は，図-2 に示した強度増加率 m を用いて，盛土速度を 5cm/day として求めた圧密度に基づく粘着力を用いた．

図-6 帯状ジオシンセティックの張力

$$F's = \frac{\Sigma (C \cdot l + W \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi)}{\Sigma W \cdot \sin \theta} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$F_s = \frac{Mr + \alpha \cdot R \cdot T}{Md} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに， R ：すべり円中心からの半径(m)
 T ：帯状ジオシンセティックの引張基準強度(kN/m)
 α ：帯状ジオシンセティックの設計低減係数(=0.68)
 Mr ：無補強時の抵抗モーメント(tf・m/m)
 Md ：無補強時の滑動モーメント(tf・m/m)

表-1 安定計算結果

項 目	値
盛土高さ(m)	13.2(PH)
$F's$	0.852
Mr (kN・m/m)	34565
Md (kN・m/m)	40576
R (m)	22.35
Tr (kN/m)	451
T (kN/m)	700
F_s	1.114

盛土荷重を支持する軟弱地盤は圧密の進行に伴って強度増加が期待でき、ここでの帯状ジオシンセティックは軟弱地盤が安定するまでの敷設後 2 年間(盛土立上り後 300 日)において破断しないことが望まれた。このことからクリープ強度を考慮した帯状ジオシンセティックの設計低減係数は設計基準引張強度に対して 0.68 とした。表-1 は盛土立上り時における安定計算の結果である。すなわち、盛土立上り時の安定に必要な引張力は $T_r=451\text{kN/m}$ であり、耐久性を考慮した帯状ジオシンセティックの設計基準引張強度を $T=700\text{kN/m}$ とすることにより所要安全率が確保できることを示している。なお、帯状ジオシンセティックの補強材としての性能は、補強土壁用補強材の性能³⁾と同様である。

3. 引張特性

ここで用いた補強材は、ポリエステル長繊維を織ったり、編んだりせずに、並行束の芯材として繊維方向の強度特性を高めて、耐腐食性、耐薬品性、耐衝撃性に優れたポリエチレンにより被覆した幅91mmの帯状ジオシンセティックを18cm間隔(25本/4.5m)に敷き並べたものである。前述の設計に基づいて選定した補強材の引張強度は700kN/mであり、1本の帯状ジオシンセティックの引張強度は126kN(=700kN/m×4.5m/25本)である。

実工事に先立って、帯状ジオシンセティックの強度の確認と共に、土中に埋設したときの帯状ジオシンセティックの伸度を計測する方法を確立することが望まれた。そして帯状ジオシンセティックの破断強度は、評点間距離の計測による伸度とともに、強度試験により確認した。また、計測器性能試験は実工事の動態観測で帯状ジオシンセティックの伸度を計測するひずみゲージと変位計を設置して行った引張試験である。ひずみゲージと変位計の概要は図-7に示すとおりである。図-8は、帯状ジオシンセティックの強度試験結果であり、伸度測定方法の相違による影響が認められるが、各測定方法における引張力と伸度はよく一致しており一義的な関係であるといえる。つまり、動態観測では各測定方法による伸度から、帯状ジオシンセティックに作用している張力を算出できることが確認された。

図-7 伸度計測器

図-8 帯状ジオシンセティックの強度特性

4. 動態観測概要

(1) 軟弱地盤の変形挙動

軟弱地盤上の盛土建設においては十分な安定管理が重要であり、図-9 に示す動態観測を実施している。図-9 には現状の盛土高さ 3m(9/22)と 1.3m(6/17)における観測結果も同時に示しており、軟弱地盤の変状が認められる。盛土荷重による沈下は、盛土中央から法尻において 10cm 程度であり比較的均一といえる。一方、水平変位は法尻近傍の地表面と地中において 3cm 程度であり、沈下に対して小さい値となっている。このことから、盛土荷重の増加に対して軟弱地盤は安定した状態にあると考えられる。

(2) 補強材の張力

ひずみゲージと変位計により計測された伸度は図-8 の関係から引張力に換算できる。図-10 は現状の帯状ジオシンセティックに生じている張力の分布であり、大きなバラツキの中での最大値は 36kN/m を示している。この値は盛土立ち上がり時の設計引張力に対して 10% 以下であり、帯状ジオシンセティックを敷設した地表面の凹凸や転圧の影響が大きいものと推察できる。

現状の盛土高 3m に相当する圧密度を 12% として、式(2)により安定計算を行うと、必要引張力は $T_r = 33\text{kN/m}$ となる。これは張力の実測値より僅かに小さな値であるが、圧密に関する土質定数の精度を鑑みると、実測値とほぼ一致しているといえる。すなわち、式(2)は現状の盛土荷重に対して適切な値を与えているといえる。

一方、軟弱地盤上の盛土補強材の実測値は設計値に比較して小さくなる場合があることが報告されている⁵⁾。そして、敷網工法の合理的な設計計算式として補強材の拘束効果を考慮した式が提案されている^{1), 4)}。帯状ジオシンセティックの拘束効果については、盛土の立ち上りにともなって、その影響が明確になると考えられ、今後の観測に基づいて安定計算の合理化が望まれる。

図-9 軟弱地盤の動態観測結果

図-10 帯状ジオシンセティックの張力分布

写真-1 敷設作業

写真-2 敷設完了（全景）

5. おわりに

軟弱地盤上の盛土補強に用いた帯状ジオシンセティックは、写真-1 に示すようにロールを巻き出す簡単な作業で敷設でき、約 9,000 m²を 4 日間で敷設完了した。写真-2 は今回敷設した帯状ジオシンセティックの全景である。

帯状ジオシンセティックを補強材とした軟弱地盤上の盛土は現状の盛立て高さ 3m において安定しており、拘束効果を考慮しない式(2)による安定計算結果は適切な必要引張力を与えていることが示唆された。この盛土の動態観測は継続的に実施して、拘束圧が大きくなったときの帯状ジオシンセティックの補強効果を確認していく予定である。

参考文献

- 1) 殿垣内・長尾・別井；敷金網工による軟弱地盤の盛土安定対策の設計手法に関する研究：日本道路公団試験研究所報告 Vol.33, P1-11,1996
- 2) ジオテキスタイル補強度工法普及委員会；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：財団法人土木研究センター，1994
- 3) 技術審査証明委員会；土木系材料技術・技術審査証明報告書（技審証第 0801 号）：財団法人土木研究センター，1996
- 4) 日本道路公団；設計要領第一集，1998
- 5) 三嶋・外山・川井田・西；軟弱地盤上の補強盛土の安定解析：第 27 回土質工学研究発表会講演集，p2539-2542,1992