ロックボルトによる引張補強を行った片盛り部における補強土擁壁の設計例

(株) エイ・シー・デイ 瀧上正浩・小畑康隆 富山県福野土木事務所 永田嘉夫
前田工織(株) 梶原 裕 (株) プロテックエンジニアリング 野村利充

平成10年9月の台風により、富山県利賀村大勘場地区内において、主要地方道利賀河合線の一部が斜面崩壊を起こした。この区間の復旧工法として、資材の搬入が困難なことから、補強盛土工法が採用された。しかし、背後地山が安定しているにも関わらず、必要引張力が最大となる円弧に対してジオシンセティックスの定着長を確保するために、背後地山の掘削が必要となった。そこで、著者らは不足する引張抵抗力を地山に打設したロックボルトとジオシンセティックスを連結することにより補う工法を提案した。本論文では、まずロックボルトによる抑止効果を考慮した補強土擁壁の設計手法について述べる。つぎにロックボルトとジオシンセティックスの連結構造について述べ、最後に施工時に実施する計測計画について述べる。

キーワード：補強土擁壁，引張補強，ロックボルト，連結構造

The design report of the mechanically stabilized earth wall tension reinforced
by rock bolt in embankment of highway

M.Fuchigami and Y.Obata :ACD,INC.

Y.Nagata : Fukuno Civil Construction Office,Toyama prefecture

H.Kajiwara :MAEDA KOSEN CO.,LTD. T.Nomura:PROTEC ENGINEERING,INC.

In September 1998, in the portion of regional highway Toga-Kawai-Sen Daikanba area ,Toga-mura, Toyama in Japan, the highway shoulder failure was happened by typhoon. As a counter measurement method, the mechanically stabilized earth wall was considered for a reconstruction method because of the difficulty of carrying on heavy materials and equipments. The ground was stable but to keep the embedment length of geosynthetics,an excavation of the backside ground seemed to be necessary. To reinforce deficient tension resisting force of geosynthetics, the reinforcement method that is to connect geosynthetics and rock bolt installed to the ground was proposed. In this paper, first of all, the design method of the mechanically stabilized earth wall, which is considered about restraining effect of rock bolt, is described. Secondly, the connected structure of rock bolt and geosynthetics is described. Finally, the monitoring plan in the construction is described.

keywords: mechanically stabilized earth wall,tension reinforced,rock bolt,connected structure

ロックボルトによる引張補強を行った片盛り部における補強土擁壁の設計例

(株) エイ・シー・デイ browse 正浩・小畑康隆

富山県福野土木事務所 永田嘉夫

前田工織(株) 梶原 裕

(株) プロテックエンジニアリング 野村利充

1. はじめに

日本列島は、太平洋を取り巻く環太平洋造山帯の一部で、火山や地震の多い地盤の不安定なところとされている。気候はモンスーン地域に属し、冬の寒冷、日本海の豪雪、および梅雨・秋雨に伴う豪雨や強い雨を伴う暴風等の影響を受ける。また、地形も国土の4分の3が山地であり、急峻な山も多く、その地質は破碎や風化が進んで脆弱なものとなっており、自然条件は道路交通の安全条件の確保にきわめて厳しいものがある。

一方、我が国では近年、急峻な斜面をもつ山岳地帯、沿岸地帯まで道路網が拡充され、地域経済の発展に寄与してきた。しかしながら、これらの地域では台風時期や梅雨時期の豪雨によって斜面崩壊や道路面の変状が発生することが多く、大きな被害を全国各地でもたらしている。このような状況のなかで山岳地の道路では、道路の機能回復を目的とした災害復旧工事が相当の箇所で行われている。

山岳道路における災害復旧工事では、施工条件が厳しい場合が多く、大型の重機が使用できないことも多い。また、山岳道路の災害により集落等が孤立する場合もあり、早期の機能回復が要求される。このような工事において、使用材料が軽量であり、かつ現地発生土の利用可能なジオシンセティックスを用いた補強土工法は、大型重機を使用しない施工が可能であるため有効であると考えられる。しかし、このような現場の場合、ジオシンセティックスの定着長が確保できない場合が多く、これまでは、あまり採用されなかった。

このような状況のなかで、平成10年9月の台風により、富山県利賀村大勘場地内において、主要地方道利賀河合

線の一部で斜面崩壊が発生した。この区間の復旧工法として、資材の搬入が困難なことから、補強盛土工法が採用されたが、背後地山が安定しているにも関わらず、必要引張力が最大となる円弧に対し

図1.1 位置図

図1.2 補強土擁壁形状図

でジオシンセティックスの定着長を確保するために、背後地山の掘削が必要となった。そこで、著者らは不足する引張抵抗力を地山に打設したロックボルトとジオシンセティックスを連結することにより補う工法を提案し設計を行った。図1.2にロックボルトにより引張補強を行った補強土擁壁の形状図を示す。本論文では、まずロックボルトによる抑止効果を考慮した補強土擁壁の設計について述べる。つぎにロックボルトとジオシンセティックスの連結構造について説明し、最後に施工時に実施する計測計画について述べる。なお、本計画におけるジオシンセティックスは、ポリエチレンネットにアラミド繊維を挿入したジオグリッドを用いた。

2. ロックボルトによる抑止効果を考慮した補強土擁壁の設計

(1) 補強土擁壁の設計法

補強土擁壁の設計の考え方は、これまで多くの提案が行われているが、建設省土木研究所と民間企業 20 社によりまとめられた、『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』では次の項目について検討が行われる¹⁾。

①必要抑止力が最大となる円弧に対して必要引張力を算出し、ジオシンセティックスに発生する引張力が三角形分布荷重と仮定して、ジオシンセティックスの必要強度および敷設間隔を決定する。

図2.1に引張力分布図を、図2.2に一段のジオシンセティックスの分担範囲を示す。

図2.1 引張力分布図

図2.2 一段のジオシンセティックスの分担範囲

②上記の引張力に対してジオシンセティックスの引張力が十分に発揮できるだけの定着長が確保できるように敷設長を決定する。すなわち、敷設されたジオシンセティックスが安定を保つために必要な引張力によって、引き抜けないだけの定着長を確保できるように敷設長を決定する。図2.3に定着長概念図を示す。

図2.3 定着長概念図

③補強領域内を横切るあらゆる想定すべり面に対して計画安全率を満足しているか確認する。この検討におけるジオシンセティックスによる引張力は、設計引張強さと引抜抵抗力のうち小さい値を用いる。図2.4に補強領域の全体安定検討概念図を示す。

④ジオシンセティックスの敷設する領域を疑似擁壁とみなし、あたかも通常の擁壁と同様の挙動を示すものと仮定して、滑動、転倒、基礎地盤の支持力、基礎地盤を含むすべり面に対する安定、および基礎地盤の沈下量の検討を行う。図2.5に外的安定検討概念図を示す。

図2.4 補強領域の全体安定検討概念図

図2.5 外的安定検討概念図

(2) ロックボルトによる引張補強効果を考慮した設計

片盛り部の場合、補強土擁壁の設計で前項の②、③の項目の照査時において定着長不足が生じることが多く、本計画においてもこの点が問題となった。よって、この点を解消するためにロックボルトによる引張補強効果を考慮して以下の手法により検討を行った。検討断面は、背後の安定地山が近接している断面1、および安定地山が離れている断面2の2断面とした。

①ジオシンセティックスの引張力が十分に発揮できるだけの定着長が確保できないものを抽出し、不足する引張力を算出する。表2.1に常時における不足引張力の算出結果の一例を示す。

②不足する引張力をロックボルトと連結するジオシンセティックスおよび定着力に余裕のあるジオシンセティックスで負担するものとし、中間にあるジオシンセティックスの不足引張力は上下のジオシンセティックスで 1/2 ずつ負担するものとして、設計引張強さを決定する。不足引張力を負担するジオシンセティックスの最大敷設間隔は 2m とした。表2.2に各段で負担する不足引張力一覧表を示す。なお、NO.7 および NO.13 はジオシンセティックスの定着力の余裕で対応するものとした。

③ロックボルトと連結したジオシンセティックスの引張力が十分に発揮されるために必要なロックボルトの引抜抵抗力を算出する。図2.6にロックボルトに作用する引抜力の関係図を示す。

④③により算出された引抜抵抗力によりロックボルトの打設間隔および長さを決定する。

⑤補強領域内を横切るあらゆる想定すべり面に対して、計画安全率を満足しているか確認する。この検討において、ロックボルトと連結されたジオシンセティックスによる引張力は、ロックボルトの引抜抵抗力とし、連結されていないジオシンセティックスの引張力は、設計引張強さと引抜抵抗力の小さい値を用いる。

⑥補強領域を疑似擁壁と仮定した安定検討を行う。

このような設計手法により、ロックボルトにより引張補強を行った補強土擁壁の設計を行った。

表2.1 不足引張力（断面2：常時）

NO.	路面からの 深さ(m)	作用引張力 Ti (kN/m)	抵抗力 (kN/m)	不足力 (kN/m)
17	1.0	9.48	27.24	—
16	2.0	9.90	43.72	—
15	3.0	13.56	51.29	—
14	4.0	17.27	51.97	—
13	5.0	21.03	47.95	—
12	6.0	24.82	9.95	14.87
11	7.0	27.42	3.50	23.92
10	8.0	31.34	2.19	29.15
9	9.0	35.26	9.99	25.27
8	10.0	39.18	31.23	7.95
7	11.0	43.09	65.30	—
6	12.0	47.01	114.95	—
5	13.0	50.93	182.11	—
4	14.0	54.85	268.46	—
3	15.0	44.07	373.81	—
2	15.5	30.36	430.39	—
1	16.0	15.67	1456.77	—

表2.2 各段で負担する不足引張力（単位：kN）

NO.	断面1		断面2		摘 要
	常時	地震時	常時	地震時	
13	—	—	7.44	9.21	定着力の余裕
11	11.39	4.22	45.93	50.16	ロックボルト
9	38.89	33.65	43.82	22.72	ロックボルト
7	23.52	13.23	3.98	0	ロックボルト
5	2.18	—	—	—	定着力の余裕

図2.6 ロックボルトに作用する引抜力

3. ロックボルトとジオシンセティックスの連結装置

(1) 連結装置の構造

ロックボルトとジオシンセティックスの連結装置は、以下の性能を有するように開発した。

- ①要求される引張力に対して十分な強度を有すること。
- ②背後地山の不陸に対して長さの調整が容易であること。
- ③ロックボルト頭部への取り付けが容易であること。

以上の項目を考慮し図3.1に示す連結装置を開発した。この連結装置は、ロックボルト頭部に取り付けたIナットにUボルトを介して溝形鋼を取り付け、溝形鋼に寸切りボルトを取り付ける。溝形鋼に取り付けた寸切りボルトにターンバックルを介してIボルトを取り付け、Iボルトに差し込んだ鋼管をジオシンセティックスで巻き込み連結する構造である。

この構造の特徴は、溝形鋼に連結する寸切りボルトの長さを調節することにより、背後地山の不陸に対して容易に対応できることである。

図3.1 連結装置構造図

(2) 連結装置の強度試験

連結装置の強度試験を写真3.1に示す載荷試験装置を用いて行った。載荷は、ジオシンセティックスに作用する最大引張力 75.3kN まで実施した。載荷荷重－変位関係を図3.2に示す。図3.2において載荷荷重が約 32kN 付近から変位が増加しているが、これは、溝形鋼と I ナットを連結する U ボルトが変形したことによるものである。しかし、現実的には溝形鋼は土中に埋め込まれており、盛土の抵抗が期待できるため、特に問題はないものと判断した。また、連結装置を構成する各部材に破壊の兆候は見られなかった。

写真3.1 載荷試験装置

図3.2 載荷荷重－変位関係

4. 計測計画

(1) 目的

ロックボルトにより引張補強を行ったジオシンセティックスと引張補強を行っていないジオシンセティックス双方の応力を計測し、ロックボルトによる引張補強効果を検証することを目的とする。

(2) 計測方法

ジオシンセティックスの応力を計測するために、ひずみゲージをジオシンセティックスに直接取り付け、ジオシンセティックスのひずみを測定し、そのひずみ量より応力を算定する。また、ロックボルトに作用する引張力を確認するために、ロックボルトにひずみゲージを設置する。

(3) 計測位置

作用応力を比較するために、同一強度のジオシンセティックスを計測する。よって、補強土擁壁下面から 6m の位置の補強を行わない NO.8 のジオシンセティックスと下面から 7m の位置の補強を行う NO.9 のジオシンセティックス、およびロックボルトにひずみゲージを設置する。

各ジオシンセティックスに設置するひずみゲージの位置は、すべり面が後方に集中していることから、壁面から 2m 間隔で 2 箇所設置し、それより後方には 1m 間隔で設置する。ロックボルトには、地表に露頭している部分に 1 箇所設置する。図4.1にひずみゲージ設置位置図を示す。

図4.1 ひずみゲージ設置位置図

(4) 計測機器

ひずみゲージに取り付けたケーブルを盛土前方に引き出し、計測できる箇所まで延長する。計測は、ハンディータイプのデータロガーを用いて行う。

(5) 計測時期

計測は、ジオシンセティックス敷設直後から開始し、その後、盛土の構築が終了するまで定期的に計測する。構築終了後も計測間隔を広げて約 3 ヶ月間計測を継続する。表4.1に計測実施時期を示す。

表4.1 計測実施時期

	通常敷設 ジオシンセティックス	ロックボルト連結 ジオシンセティックス
1 回目	敷設直後	—
2 回目	盛土 1 m	敷設直後
3 回目	盛土 2 m	盛土 2 m
4 回目	盛土 4 m	盛土 4 m
5 回目	盛土 6 m	盛土 6 m
6 回目	盛土 10 m	盛土 8 m
7 回目	盛土構築後 1 週間	盛土構築後 1 週間
8 回目	盛土構築後 2 週間	盛土構築後 2 週間
9 回目	盛土構築後 1 ヶ月	盛土構築後 1 ヶ月
10 回目	盛土構築後 2 ヶ月	盛土構築後 2 ヶ月
11 回目	盛土構築後 3 ヶ月	盛土構築後 3 ヶ月

5. おわりに

ジオシンセティックスを用いた補強土工法は、従来の工法では不可能であった盛土の急勾配化が可能のため、山岳地の盛土において、土工量の縮減が可能である。

また、ジオシンセティックスを用いた補強土工法は、良質な砂質土を必要としていた従来工法に対し、低品質な建設発生土の活用が図れるため、現場近傍で入手できる場合には、捨土や購入土の費用を節減でき、一層経済的な施工が可能である。

さらに、急勾配盛土においても法面緑化が可能で景観上の対応もできる²⁾。

このような特徴を有するジオシンセティックスを用いた補強土工法は、山岳地で実施されることの多い災害復旧事業に対しても有効であると考えている。

本論文では、定着長が確保できない箇所で、ロックボルトにより引張補強を行って構築する補強土擁壁の設計例を示した。また、ロックボルトによる補強効果を確認するための計測計画についても述べたが、現在施工中であり、計測結果は得られていない。計測結果が得られ次第、検証を行いたいと考えている。

本論文で紹介した設計例は、定着長不足をロックボルトにより補うことを目的として設計したものであるが、ロックボルトの採用に対しては種々の制約が伴う。ジオシンセティックスを密に配置し、端部を巻き込むことにより逆勾配でも自立させることが可能であるとの報告³⁾がなされていることから、今後は、補強土を擬似的な剛体として機能させるための手法が確立することができれば、補強土の利用範囲はさらに広がるものと思われる。

参考文献

- 1) 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，1993.
- 2) 三木博史：ジオテキスタイルによる盛土の補強メカニズムとその解析手法に関する研究，土木研究所報告第197号，1997.
- 3) 熊谷幸博，横田善弘，河合 寿，太田秀樹，山上尚幸：北陸地区で実施した4回の補強土実物大現場実験の報告，国際ジオシンセティックス学会日本支部論文集，第13巻，pp.32-40，1998.