ジオグリッド補強土壁工における鋼製壁面材について

前田工織株式会社 横田 善弘

前田工織株式会社 久保 哲也

ジオグリッドを用いた補強土壁工の法面部の処理方法（壁面工）は、植生土のうを巻き込む方式から鋼製壁面材（L型鋼製枠）を用いた工法に変遷している。これは、当初、施工上での省力化、美観上での問題などの理由からであったが、機能的な面でも評価され、施工実績は確実に増加している。補強土壁工における壁面材の役割と効果を考えた場合、壁面工がどの程度効果的に盛土に拘束圧を加えられるかが重要な点となる。また、永久構造物として考えた場合、長期的な耐久性をいかに確保するかなども重要な項目となる。ここでは、実際の補強土壁工事の中でジオグリッドや壁面材に働く応力などを計測した結果から、L型鋼製壁面材の機能と効果をまとめるものとする。

キーワード：補強土壁工、鋼製壁面材、壁面材の役割と効果、拘束圧、施工事例

The steel facing unit in geogrid reinforced soil wall

Yoshihiro Yokota : MAEDA KOSEN CO.LTD

Tetsuya Kubo : MAEDA KOSEN CO.LTD

The procession method for geogrid reinforced soil wall at face of slope has been changing from using vegetation sandbag to using steel facing unit (L-type steel frame). At first, the reason of it is the problem of work saving and appearance. Therefore, the usage records are certainly increasing because of its functionality. Considering about the role and efficiency as the facing unit in reinforced soil wall, how effectively the facing unit gives the confining stress to the embankment is important. Moreover, considering about it is the permanent structure, how the long-term durability will be ensured is also important. By the measurement results of the stress, which affects on geogrid and facing unit, in the actual construction of reinforced soil wall, the efficiency and functionality of L-type steel facing unit are reported.

Keywords : Reinforced soil wall, Steel facing unit, Role and efficiency as the facing unit
Confining stress, Case study

ジオグリッド補強土壁工における鋼製壁面材について

前田工織株式会社 横田 善弘

前田工織株式会社 久保 哲也

1. はじめに

補強土壁工法では、用途あるいは目的によってのり面部の処理方法（壁面工）が異なり、緑化型壁面工とコンクリート壁面工を用いる場合に大別される。両者の壁面工に要求される主な機能としては、のり面部あるいは壁面部を拘束しゆるみを生じさせないことであるが、後者の場合には、剛性のある壁面工の併用により変形の抑制効果なども期待されている。

ジオグリッドを用いた補強土壁工法の場合には、環境への配慮、変形への追従性、施工性、経済性から、緑化型壁面工が多く使用されている。この壁面工としては、植生土のうを巻き込む方式から鋼製壁面材を用いた工法に変遷している。これは、施工上での省力化、美観上での問題などの理由からであるが、最近では機能的な面でも評価され、施工実績は確実に増加している。本稿では、補強土壁工法における壁面材の役割と効果を考えるとともに、実際の補強土壁工事の中でジオグリッドに働く応力などを計測した結果から、緑化型鋼製壁面材の機能と効果をまとめるものとする。

2. 緑化型壁面工の変遷

従来、ジオグリッドを用いた補強土壁工法ののり面部の処理方法としては、のり面部で植生土のうを積み上げジオグリッドで巻き込む方式が採用され、基礎地盤および盛土の変形に追従できる柔構造物として普及されてきた。この方式での植生土のうは、盛土施工時ののり面を形成する際の土留めと盛土完了後の土のう重量による押さえ効果、植生によりのり面に露出したジオグリッドの紫外線による劣化を防ぐ簡易的な壁面工の役割を果たしていた。しかし、この方式では、土のうを積み上げる作業に多くの労力と密実で整ったのり面を形成する熟練工が必要であった。また、土のうの飛び出しを防止するためにジオグリッドを巻き上げるが、のり面表面に露出した状態であり、予期せぬ外的要因（衝突、火事など）により切断されるなどの長期的な耐久性が問題となった。さらに、壁面の変形を許容するため、巻き込み部でのたるみによる壁面部の拘束力の低下、美観上での問題が発生した。

そこで、施工性の向上をはかるために、植生土のうに代わる壁面材としてエキスパンドメタルなどをL型に加工した鋼製壁面材を用いた。これにより施工における省力化は進んだが、盛土の変形にともなう巻き込み部のジオグリッドのたるみを解消することが出来なかったため、ジオグリッドによる巻き込みを行わない緑化型鋼製壁面材を用いた工法の開発が進められた。表1に壁面材の変遷を示す。

この工法は補強土壁工法において重要な壁面部の拘束力の確保とある程度の剛性と追従性を発揮し、巻き込み方式に代わり永久構造物として安定感・安心感を与えるために、以下の点に留意し、改良を加えた。

- ①鋼製壁面材の曲げ剛性の付加－鋼製キャップの使用、②鋼製壁面材の飛び出し防止－補助補強材の使用、③壁面部の拘束と自立性－層厚管理材の使用など

図1に緑化型鋼製壁面工の概要を示す。十分に壁面部を拘束し自立安定させることがこの工法の重要なポイントとなるため、現場での層厚管理材の効果などの確認実験を実施し、工法の確立を行った。¹⁾

表1 補強土壁工法における壁面材の変遷

形式	鋼製壁面形式	巻込み形式	巻込み形式
材料	・のり面ユニット（エキスパンドメタル） ・補助補強材（ジオグリッド） ・層厚管理材	・のり面ユニット（エキスパンドメタルまたは溶接金網）	・植生土のうまたは土のう
構造図
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・補助補強材を敷設することにより、中間部ののり面ユニットの飛抜けを防止する。 ・巻込み時のテンション作業がなくなり、施工性・安全性に優れる。 ・各ユニット1層ごとに層厚管理材を敷設することで、のり面の強化を図り自立性を保持する。 ・のり面の植生において、層厚管理材が保水材の役割を果たす。 ・植生によりのり面を緑化するとともに、根の効果によりのり面表層部を強化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・エキスパンドメタルまたは溶接金網製ののり面ユニットにてのり面を形成することから、土棒袋詰め・積上げ作業がなくなり、施工性に優れる。 ・重機により補強材を巻込みのり面部のたるみを防止するとともに、のり面ユニットの飛抜けを防止する。 ・植生によりのり面を緑化し、補強材巻込み部の劣化を防止するとともにのり面表面を強化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・直下当り約30袋の土のうを袋詰め・積上げを行ない、のり面を形成する。 ・重機により補強材を巻込みのり面部のたるみを防止するとともに、土のうの飛抜けを防止する。 ・植生によりのり面を緑化し、補強材巻込み部の劣化を防止するとともにのり面表面を強化する。
留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・盛土の圧縮・圧密沈下により、のり面ユニットに圧縮応力が生じないように設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・野焼き等の火気の影響を受ける場合、補強材が燃える可能性があり、別途対策工が必要となる。 ・巻込み時の重機によるテンション作業に熟練工が必要となるとともに、十分な重機スペースを確保する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・土のう袋詰め・積上げ作業が重労働となり、のり面整形に熟練工が必要となる。 ・野焼き等の火気の影響を受ける場合、補強材が燃える可能性があり、別途対策工が必要となる。 ・巻込み時の重機によるテンション作業に熟練工が必要となるとともに、十分な重機スペースを確保する必要がある。
手順	ユニット設置→ジオグリッド敷設・接続→土砂撤出し転圧→層厚管理材敷設→土砂撤出し転圧→ユニット設置	ジオグリッド敷設→ユニット設置→土砂撤出し転圧→巻込み作業→上層ジオグリッド敷設→上下連結	ジオグリッド敷設→土のう設置・整形→土砂撤出し転圧→巻込み作業→上層ジオグリッド敷設→上下連結

図1 緑化型鋼製壁面材の詳細図

3. 補強土擁壁工における壁面材の種類と効果

(1) 壁面材の種類

壁面材のタイプとしては、図2に示すようなパネルタイプ、現場打ち擁壁タイプとブロックタイプに分類される。各々の壁面材としての機能は異なるが、壁面材としての主な効果は盛土がせん断破壊あるいは変形を生じないための拘束圧（側圧）を与えることであり、盛土の規模（高さ、土質など）によって壁面材が決定されることとなる。

表－2 壁面材の種類

タイプ	機能	種類
①パネルタイプ	曲げ剛性	テールアルメ、多数アンカーなど
②現場打ち擁壁タイプ	曲げ剛性、たて剛性	R R R工法など
③ブロックタイプ	たて剛性および重量	ブロック積み工法など

図－2 壁面材のタイプと作用土圧

(2) 壁面材の効果

図3のモールの応力円に示すように、壁面材による側圧 σ_{31} により、見かけの粘着力(c_1)が発生する。さらに側圧が増加すれば(σ_{32})、補強効果が向上し、見かけの粘着力(c_2)も大きくなる。しかし、図2に示すような垂直壁の場合、壁面材による側圧は壁面材を介してのみ生じるものであることから、発生する見かけの粘着力も盛土の高さ、補強材の間隔・強度によって異なる。従って、壁面材が十分な側圧として機能し盛土を十分に拘束するためには、盛土の規模によって壁面材の持つ曲げ剛性およびたて剛性、重量効果などの機能を変化させる必要があることがわかる。

これに対し、壁面に勾配がある場合は、その重量により初期の段階で拘束効果が発揮され、見かけの粘着力が存在することとなる。そのため、壁面材の重量効果を考慮し、積極的に拘束力を加えることが可能となる。

図3 モールの応力円における壁面材の効果

4. 補強工壁工法における設計上の壁面材の評価と実際

(1) 設計上で壁面材の効果を期待していない工法

テールアルメ工法，ジオグリッド工法などの場合、想定した直線あるいは円弧すべり面のすべり力に対し、引張補強材のみで抵抗する考え方が採用されている。図4に設計の考え方、表3および図5に各工法の特徴をまとめる。

図4 設計の考え方（1）

表3 補強土壁工法の分類（1）

	テールアルメ工法 多数アンカー工法	ジオグリッド工法
すべり面の形状	直線すべり（土圧論）	円弧すべり
壁面材タイプ	パネルタイプ	ブロックタイプ
壁面材の材質	コンクリート（t=10～18cm）	土のう，鋼製L型ユニット
補強材の材質	鋼材（平板，ロッド）	高分子材料

図5 補強土壁工法の分類（1）

(2) 設計上で壁面材の効果を期待している工法

R R R工法（Reinforced Railroad With Rigid Facing Method）の場合、ジオグリッド工法に最低厚さ30cmの現場打ちコンクリート擁壁を使用し、壁面材の曲げおよびたて剛性，せん断強さと重量効果を考慮し、補強材の敷設長を短くする概念を採用している。また、日本ではまだ少ないが、N C M A（National Concrete Masonry Association）によるブロック積み式補強土壁の場合、ジオグリッド工法にコンクリートブロックを併用することにより壁面材の重量効果を期待し設計を行っている。

図6に設計の考え方、表4および図7に各工法の特徴をまとめる。

図6 設計の考え方（1）

表4 補強土壁工法の分類（2）

	RRR工法	NCMA法
すべり面の形状	2直線すべり（土圧論）	直線すべり（土圧論）
壁面材タイプ	現場打ちコンクリート擁壁	ブロックタイプ
壁面材の材質	コンクリート（ $t=30\text{cm}$ ）	コンクリート（中詰材・碎石）
補強材の材質	高分子材料	高分子材料
壁面材の効果	曲げおよびたて剛性せん断強さ、重量効果（設計上考慮せず）	たて剛性、重量効果（設計上考慮）

図7 補強土壁工法の分類（2）

（3）壁面材の効果と実際

テールアルメ工法、多数アンカー工法の場合は、前述したパネルタイプの曲げ剛性による壁面効果が期待できるものと考えられる。ジオグリッド工法の場合は、壁面勾配を有していることから植生土のうあるいは鋼製壁面材の重量によるブロックタイプの壁面効果が期待できるものと考えられる。

これらの従来工法においては、盛土の規模により壁面材を使い分けることなく、一種類の壁面材で対応しているのが現状である。ただし、RRR工法のみ高さ制限を考慮している。

NCMA工法の場合は、簡易なコンクリートブロック（控え厚さ15cm）を使用しており、ブロックのみの重量ではとうてい安定性を確保することは困難であるが、補強材の高さ方向の敷設間隔が15から60cm程度と非常に小さく、補助的な補強材を必ず敷設することから、コンクリートブロック以上の壁面効果が発揮されているものと考えられる。

5. 緑化型鋼製壁面工の作用土圧

（1）パネルタイプとブロックタイプの作用土圧について

L型に加工された緑化型鋼製壁面工法は、壁面材である鋼製壁面材、ジオグリッド、層厚管理材から構成されており、壁面部の土を拘束し一体化させ、土のブロック体を形成することを目的としている。従って、テールアルメ工法などのパネルタイプの壁面材と比較され、鋼材からなる壁面材の耐久性などの信頼性について議論となるが、前述したように構造上の基本的な考え方の相違を理解し、比較する必要がある。

パネルタイプのように土圧が直接作用するとすれば、鋼製壁面材の曲げ剛性では盛土高さが高くなる場合、耐えることができなくなる。しかし、実際には盛土高さ20m以上の実績が数多く存在する。これは、図8に示すような土のブロック化により、作用する土圧が鋼製壁面材に直接作用するのではなくブロック背面に作用するためであると考えらる。

図8 各壁面材における土圧の作用位置

(2) 鋼製壁面材を用いた場合の作用土圧の計測例²⁾

敷設したジオグリッドの壁面近傍にできるだけ細かくひずみゲージを貼り（50cmピッチ）、壁面部のジオグリッドに働く張力の分布を計測した例を以下に示す。

①盛土の概要

3分勾配の補強土壁の高さはH=3.5mと比較的低いが、上載盛土が4mあり全体では7.5mの盛土高さとなった。図9に計測断面と平面図を示す。

図9 補強土壁工計測図

②計測結果

測点Bの計測結果を以下に示す。

- i) 補強材に働く張力は、ユニット底盤(底盤巾70cm)より背面に設置したゲージ(のり先より1m)でピークとなり、図8に示す土のブロック体が法面部に形成されているものと考えられた。

ii)補強材に働く張力が二番目に大きな計測箇所が地山側に現れた。これは設計時の想定すべり面とほぼ同じであった。

図 10 計測結果

以上の計測例からもわかるように、想定された張力分布となっており、鋼製壁面材の近傍では土のブロック化が形成されているものと考えられる。

6. 緑化型鋼製壁面材の設計の考え方

緑化型鋼製壁面材を用いた工法を採用するにあたり、主補強材、補助補強材および層厚管理材が配置された時の壁面部における安定性・自立性等について検討を行う。また、そのために必要な補助補強材および層厚管理材の引張強度等を求める。

(1) 補強後の主働土圧の推定

補強土工法の基本的な設計方法は極限解析に基づいており、無補強時において想定された直線すべりに対して、主補強材の設計引張強度を用いて配置（敷設枚数、間隔）を決定する。従って、補強後は想定したすべり面に対して主補強材が十分に抵抗するため、計算上では壁面部にはほとんど土圧が作用しない結果となる。

しかし、図 11 に示すように主働土圧が約 1/4 に低下するという実験結果も報告されているが、実際には壁面には土圧が作用する。

なぜ、壁面に土圧が作用するのか、どの程度作用するのかは鋼製壁面材の設計を行う上で重要となる。そこで、ここでは主補強材の間の土塊に以下のような力が作用するものとして推定するものとする。

- ①壁面部の主補強材の間をすべろうとする力 (P_w)
- ②主働崩壊線上のすべろうとする力 (P_a)
- ③補強材の上下の摩擦抵抗 (R_l)

図 1.1 補強後の壁面土圧³⁾

②の力は当初求めた想定すべり面での主働土圧であるが、③の補強材の摩擦抵抗力が十分に働く上部盛土層では、引き抜けあるいは壁面の变形はほとんど生じない。しかし、下部層では摩擦抵抗力がほとんど期待できないため、壁面材がない場合には引き抜けを生じ、大きな変形をとめないすべる結果となる。従って、補強材の摩擦抵抗力が十分に発揮されない下部層では、③の不足力を壁面材が負担する必要があることがわかる。さらに、壁面材には①の壁面部の主補強材の間をすべろうとする力が全層において作用するものと考えられることから、下部層では両者を考慮した設計が必要となる。

図 1.1 に示す計測結果の中で、盛土下部において比較的大きな土圧が作用するのは、以上の理由によるものと考えられる。

図 1.2 壁面部に作用する力

(2) 緑化型鋼製壁面材の設計

図12に示すように、実際には主補強材、補助補強材(L=1.5m)、層厚管理材(L=1.0m)、緑化型鋼製壁面材(底盤巾B=0.7m)が配置されることから、前述したような抜け出しによる変形は盛土下部においても生じないことがわかる。従って、緑化型鋼製壁面材の設計は、壁面部でのすべりに対する検討のみを行うこととなる。

7. まとめ

補強土壁工法に用いられる壁面材は、施工性の向上と省力化のために植生土のうから鋼製壁面材に移り替わってきた。その結果、施工速度が約2倍となり、美観的にも向上した。このことは補強土壁工法が大きく普及した要因の一つといえる。ただし、普及にともない最近では厳しい用地条件や盛土条件の所に補強土壁工法が採用されるようになり、盛土規模も非常に大きくなっている。従って、安定性・信頼性の高い盛土を構築するためには、今までに述べたような壁面材の機能と効果を十分に理解し、利用する必要がある。ジオグリッドを用いた補強土壁の場合、施工性と緑化を前提とすることが多く、コンクリート壁面材を併用することは非常に少ない。小規模な盛土においては、植生土のうのような袋体で拘束力の高い壁面材を用いることが理想的ではあるが、大規模な盛土においては、施工性の点などから現実的ではない。そこで、単純に主補強材の引張強度に依存するのではなく、壁面近傍の盛土を強くし、土のうと同等以上の壁面効果、拘束効果を発揮させる緑化型鋼製壁面工法が有効であるといえる。壁面部において補助補強材、層厚管理材が配置され、土のブロック化が形成される場合には、L型の鋼製壁面材にはほとんど土圧が作用しない状態が予想される。

今後は、壁面部の設計を実際に行っていくため、壁面材と壁面材背面の土塊に働く土圧の計測や壁面近傍の補強材に働く張力を詳細に計測し、土のブロック化による効果の確認をさらにすすめていきたい。

参考文献

- 1) 熊谷、横田、河合、太田、山上：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，ジオシンセティックス論文集，第13巻，pp. 31～40，1998
- 2) 加藤、平井、小原：補強土壁工法の道路構造物適用性にむけての試験報告—ジオテキスタイルを用いた急勾配盛土工法について，第41回北海道開発局技術研究発表会発表概要集(1)，pp. 131～136，1997
- 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，pp. 162，1994