

補強土壁工法 設計・施工上の留意点について

櫻庭 満* 西川 純一**

1. はじめに

補強土工法には、のり面勾配が1:1.0より緩い盛土に適用する盛土補強工法と、それよりも急な盛土に適用する補強土壁工法がある¹⁾。今回はこのうちの補強土壁工法について取り上げる。

補強土壁工法は、従来から使用されているコンクリート擁壁などの抗土圧構造物と比較して、経済性・施工性に優れた工法であり、近年重要視されている建設コスト縮減と相まって、施工事例が増加している。しかしながらその優位性だけが強調され、使用上の留意点を十分に把握していないことにより、設計および施工上の誤りを侵す場合もあり得る。

この点をふまえて、本報では設計・施工上の留意点を簡略的にまとめた。内容的には、補強土壁工法の中でも代表的なテールアルメ工法²⁾・ジオテキスタイル(ジオグリッド)工法¹⁾・多数アンカー工法³⁾にしばっている。補強土壁工法の一般的な事項は、道路土工擁壁工指針⁴⁾に記載されており、また各工法ともマニュアルが完備されているので、基本的な部分は必要最小限にとどめ、より実践的な内容に重点をおいた。

2. 補強土工法の特徴

(1) 共通事項

補強土壁工法とは、盛土内に補強材を配置することによって盛土の自立性を高め、急勾配の盛土を構築する工法である。同じ盛土を強化する方法でもセメントなどを使用する盛土安定工法のように土のC(粘着力)

・(内部摩擦角)を増大させることはない。この工法は、コンクリート擁壁が土圧に対して力で押さえようとする方法をとるのに対し、土圧を与える一方である盛土側にも荷重を支える役割を果たしてもらおうとする合理的な工法である。

長所(コンクリート擁壁に比べて)

- ・養生の必要がないので施工期間が短い
- ・盛高が大きいほど経済性で有利
- ・鉄筋工や型枠工などの熟練作業員が不要
- ・部材が細分化されており、比較的狭い場所での施工が可能
- ・補強土壁と盛土が一体となって動くために、地震に対して強い

短所(コンクリート擁壁に比べて)

- ・補強土壁の盛土材としては使用できない土質がある
- ・施工後の掘り返しが難しい
- ・盛土材の管理(品質管理、施工管理)が重要
- ・長期間にわたる使用実績がまだない
- ・補修が難しい

(2) テールアルメ工法

この工法は壁面を構成するコンクリートスキンと、盛土中に敷設された細長い鉄板のストリップとで構成される。工法の原理は、土が滑ろうとする力をストリップの引張力に変えて土の動きを拘束し、垂直盛土を構築するものである。従来まではスキンの役割として単に「背面砂のこぼれ出しを防ぐためのもので、力学的には意味を持たないもの」と説明されてきた。しかし、

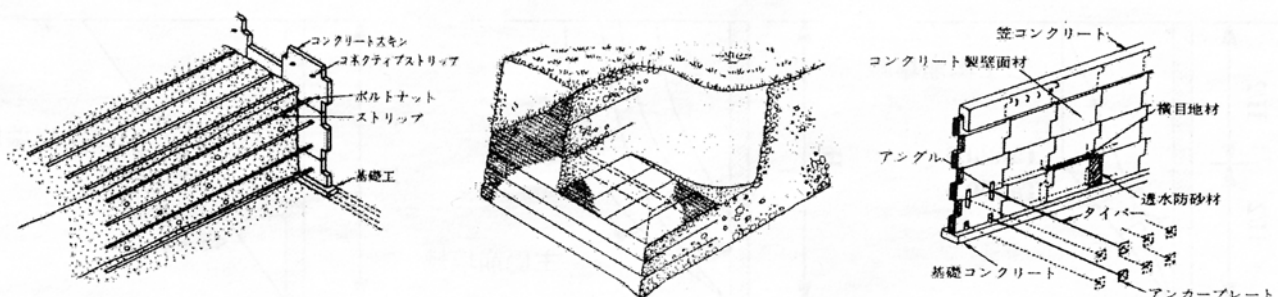


図-1 各補強土壁工一般図

最近の研究により壁面材の力学的性質が徐々に明らかになっている。

長所

- ・使用実績が多数有り、信頼性が高い

短所

- ・使用盛土材は、壁面の変形を抑制する目的で、他の工法に比べて制約を設けている

(3) ジオテキスタイル工法

この工法は補強材(主にジオグリッド)と壁面材で構成される。工法の原理はテールアルメと同じく、補強材と土との摩擦抵抗力により壁面を構成するものである。補強材はテールアルメや多数アンカーと違い、種々の材料が開発されている。また壁面材も、土のう、エキスパンドメタル、および溶接金網などがあるが、どのタイプでものり面緑化が可能である。

長所

- ・面的な補強材のため、敷設長が短くて済む

短所

- ・柔構造の壁面材料のため、盛土が変位しやすい

(4) 多数アンカー工法

この工法は、補強材と土との摩擦抵抗力で土の側方変位を拘束する他の工法と異なり、アンカープレート引き抜き抵抗力による支圧力で土の側方変位を拘束することによって土を補強するものである。

長所

- ・摩擦力を必要としないので使用可能な盛土材の適用範囲が広い

短所

- ・壁面に土圧が作用する構造のため、壁面材が破損した場合は、土砂が抜け出しやすい

3. 各工法による設計法の違い

補強土壁工法の設計では、内的安定と外的安定の照査を行う必要がある。内的安定が補強領域自体の安定

性を照査することを目的としているのに対して、外的安定は補強領域を一体化した構造物と考え、これを取り巻く盛土全体の安定性を照査するものである。例えば、斜面上での設計では内的安定で安全率を満足しても、外的安定でアウトとなる場合が多いのもこのためである。ただし、テールアルメ工法については内的・外的の明確な区別は存在しない。

(1) 内的安定

補強土壁工法の設計では、補強材長を決定するために主動崩壊線を決める必要がある。この主動崩壊線の形状は各工法で異なっている(図-2)。すなわち、テールアルメは2直線、多数アンカーは1直線であるのに対して、ジオテキスタイルは円弧での設定となっている。

補強土壁工法は、壁面と主動崩壊線に挟まれる領域の土を補強材によって安定領域に縫い付けるものである。この点では円弧すべりを想定するジオテキスタイルが経済性において比較的不利になりやすい。また、上載盛土荷重を考慮する場合、ジオテキスタイルが円弧上にある全ての盛土荷重を受け持つのに対して、多数アンカーやテールアルメでは低減させた盛土荷重を使用する設計手法となっており、この点においてもジオテキスタイルは不利といえる。ただし、各工法ともマニュアル改訂作業が進められており、設計するに当たっては改訂版の動向に注意してほしい。

(2) 外的安定

外的安定の照査でも、それぞれの工法で検討項目が異なっている(表-1)。これによると、テールアルメは円弧すべりの検討だけを行えばよいことになるが、転倒に対しては最低敷設長を、また支持力については残留沈下の規定を設けることにより安定性のチェックを厳しくしている。テールアルメは支持力の検討が不要なので、盛土上での施工も可能ということになるが、実際問題として長期にわたる盛土の安全性を考えると、

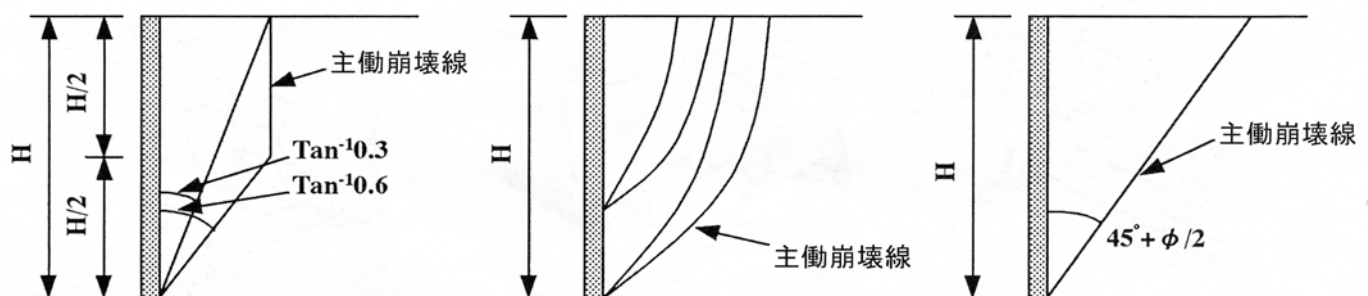


図-2 主動崩壊線の違い

具体事例についての慎重な判断が必要である。これに関して道路土工・擁壁工指針⁴⁾では、不安定要素が懸念される場合は、必要に応じて外的安定の検討を行うよう指導している。

表－１ 各工法別の外的安定

	テールアルメ	ジオテキスタイル	多数アンカー
滑動	－	○	○
転倒	－	○	－
支持力	－	○	○
滑り	○	○	○

(3) 安全率の違い

各工法とも、内的小よび外的安定に対応して安全率が定められている(表－2)。当然のことながらテールアルメでは滑動・転倒・支持力の安全率が存在しない。また、引き抜きに対する安全率については多数アンカー工法が大きくなっている。これは、地盤の支持力の場合と同様に引き抜き量を制限する目的で、安全率を3としたと推測される⁵⁾。

ジオテキスタイル工法では転倒に対する安定も検討の対象となっているが、この数値はコンクリート擁壁の安全率に準拠している。

外的安定の検討の有無から、テールアルメ工法の設計が他の工法に比べて安全性の配慮が少ないという印象を与えかねない。しかし、テールアルメ工法はこの中で一番歴史が長く、施工事例も多い。そして崩壊した事例は我が国では報告されておらず、また変位などが発生した現場でも事前の調査不足および施工不良によるものが大半を占めている。逆にいうと、ジオテキスタイルや多数アンカーがかなり安全側に立った設計手法になっているとも言える。

表－2 各工法別の安全率(常時)

		テールアルメ	ジオテキスタイル	多数アンカー
内的	引き抜き	$F_s=2.0$	$F_s=2.0$	$F_s=3.0$
外的 安定	滑動	－	$F_s=1.5$	$F_s=1.5$
	転倒	－	$e \leq L/6$	－
	支持力	－	$F_s=3.0$	$F_s=3.0$
	滑り	$F_s=1.2$	$F_s=1.2$	$F_s=1.2$

4. 設計上の留意点

(1) 盛土材の調査

補強土壁工法の良否は盛土材で決まると言っても過言ではない。それほど重要な要素ではあるが、現場で

はあまり重要視していない場合が多い。しかも、それが原因で壁面や背面盛土に変状を来している事例も多数見られる。

補強土壁工法を検討する場合は、盛土材の物性値C(粘着力)、(内部摩擦角)、(単位体積重量)を事前に調査し、設計に反映させることが重要である。施工時においても実際に使用する盛土材について同様な調査を行い、設計と一致しない場合は再計算することも必要である。また、使用する盛土材が2種類ある場合は、各々について調査する必要がある。

(2) 支持地盤の調査

補強土壁工法は、自重が軽いためコンクリート擁壁に比べて多少軟弱な地盤でも施工可能である。しかし、地盤の調査が不要ということではない。設計計算ソフトでは地盤の定数(C, ,)を入力する項目があるが、ボーリング調査を行っていないとこの定数を入力できない。そのため設計者は推定値を使用せざるを得なくなり、結果として信頼性に欠ける設計計算書になってしまう。これを防ぐにはボーリング調査を必ず行い、必要により沈下などの計算も行わなければならない。当然のことながら工法の比較選定には、これらの対策に必要な工事費も計上しなければならない。

設計時に必要な許容支持力を算出する方法として「道路橋示方書」の支持力公式や「道路土工 擁壁・カルバート・仮設構造物工指針」の設計定数などがあるが、どちらにしても十分な支持力があると想定される場合を除いて、平板載荷試験などによる確認が望ましい。

(3) 盛土材のpH、比抵抗試験の実施

道内では地中内の土が空気に触れると強酸性に変化する酸性硫酸鉛土壌が各地に分布している⁶⁾。この土壌が存在する地域で補強土壁(特に金属性の補強材)を施工した場合、腐食によって最悪補強材が破断することもあり得る。また、電気が流れやすい土質中の金属は腐食が進行しやすいこともあり、盛土材のpHと比抵抗試験は補強土壁の必須試験である。これについては各工法のマニュアルを参考にしてほしい。

(4) 地下埋設物の設置

補強土壁工法は施工後の掘り返しが難しいので、将来地下埋設物が設置される可能性がある場合には、それを想定した対策(管の埋設など)を事前に行うことが望ましい。また、それが不可能な場合は最上部を盛土形式とすることで将来の掘り返しを可能にしておく必要がある(図－3)。

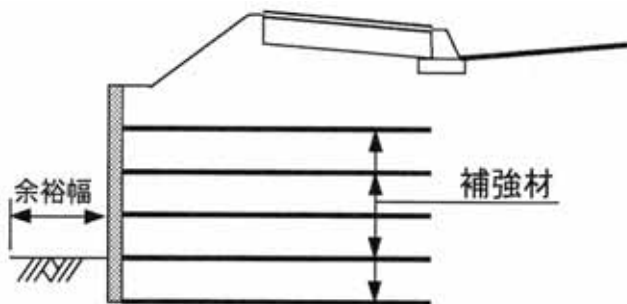


図-3 盛土形式の補強土壁

(5) 設置位置の検討

補強土壁工法は柔な構造のため、車両が壁面に衝突すると、壁面かなりの損傷を与える恐れがある。その場合、復旧工事により莫大な工費や日数がかかることになるので、そのような箇所に設置する場合は防護柵などの対策を施す必要がある。写真-1のケースでは防護柵の設置が望ましい。また、補強土壁工法は部材が細分化されているので、狭い箇所での施工も可能であるが、将来の維持補修を考慮した余裕幅が必要である(図-3)。



写真-1 防護柵設置が望まれる箇所

(6) コンクリート壁面材の凍上対策

補強土壁工法の中でもコンクリートの壁面材を使用する工法では、壁面材背面に排水を目的としたフィルター材を設置することになっている。しかし、各マニュアルとも寒冷地を想定した記述に至っていない。そのため北海道で施工する場合は、凍上による壁面材のはらみ出しが懸念される。

これに関して、北見市において行われた多数アンカーの実大実験では、壁面からの最大凍結深が90cmに達する計測結果となっている⁷⁾。これをもとに多数アンカーの設計では壁面背面の凍上抑制材厚を100cmと

している。しかし、全道に適用するためのデータとしては十分ではないこともあり、今年度函館開建の上藤城改良(多数アンカー)旭川開建の水華改良工事(多数アンカー)および帯広開建の浦幌道路改良(テールアルメ)で補強土壁の地中内に温度計を設置して計測を行っている。壁面背面部分の地域別置換厚決定のための参考資料としていきたい。

5. 施工上の留意点

(1) 密度管理の重要性

設計上での留意点でも述べているが、補強土壁工法は盛土材の品質が重要である。これは盛土材料自体の品質と同時に、盛土の締固め度の重要性も意味している。現場で誤解しやすいこととして、コンクリート擁壁などの抗土圧構造物の背面盛土と同様な取り扱いをすることである。逆T擁壁では雑な締固めを行っても、背面土の重量がそれなりに有れば(盛土が沈下するしないは別として)、擁壁本体にはほとんど影響を及ぼさない。しかし、摩擦力や引き抜き抵抗力によって成立するこの工法での締固め不足は根本にかかわる重大な影響を与えかねない。所定の密度を得ていない補強土壁は、H鋼杭のない横矢板のようなものである。

補強土壁工法の品質管理は、コンクリートの品質管理と同程度の心配りが必要である。監督職員は現場密度測定時には進んで立会い、測定位置も自ら指示するくらいの心構えが望ましい。

(2) 敷均し転圧時の注意事項

壁面付近の転圧方法は各工法によって若干異なり、マニュアルにも詳しく記述されているが、どの工法も基本的には大型機械による壁面付近の転圧が不可能である。そのため、小型機械や人力により行わなければならないが、十分な密度を得るためには手間と時間がかかる。これを怠るとのり肩などの沈下の原因となる。とくにジオテキスタイル工法では、壁面材が盛土側に傾斜しているため壁面材のつまさき部までの十分な転圧が必要である。

写真-2はジオテキスタイルによる道路拡幅工事後の状況写真であるが、路肩部分の沈下によりクラックが発生しているのがわかる。この工事の際に行われた計測(図-4)の結果(図-5)は、盛土の各段での沈下が発生しているのにも関わらず、支持地盤の沈下がわずかであることを示している。これは、盛土の締固め不足から圧密沈下が発生していると理解される。また、背面盛土の沈下は外観の変位にとどまらず、補強材も下へ引きずられ、本来の働きが期待できなくな



写真-2 クラック発生箇所

ることもあるので十分な管理が必要である。当施工箇所はN値が4程度と軟弱地盤に近い地盤であるにも関わらず、補強土壁にとっては十分な支持力であることが立証された現場でもあり、残念な結果である。

写真-3は多数アンカー工法の施工状況写真であるが、締め機械が付近に無く作業員が人力による敷均し作業のみで済ませているのがわかる。補強土壁工法は新しい工法であり、十分熟知していない請負業者もいることも考えられるので、担当の監督職員の指導が重要である。

(3) 壁面材の施工方法

コンクリート壁面材を使用する工法では、1枚当りの重量が数百kgにもなるためクレーンによる据え付けが必要となる。その場合マニュアルでは盛土作業に先行して必要以上の壁面材を組み立てることを禁止している。その理由として、施工精度の低下や安全性へ問題があげられる。写真-4はテールアルメ工法の施工状況写真である。壁面材(スキン)の組み立てが早すぎることで、またクランプによらずパイプサポートで自立させている状況がわかる。万が一壁面材が倒壊し、人



図-4 ジオテキスタイル断面図

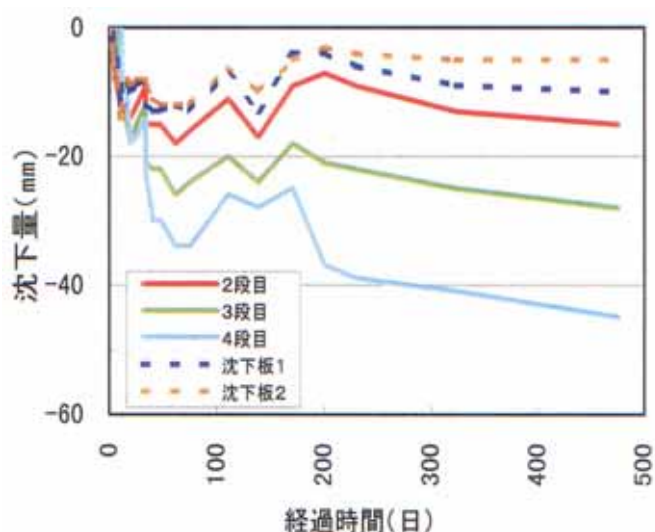


図-5 断面の沈下量と沈下板との関係



写真-3 多数アンカー施工状況

災となった場合は監督責任にも及ぶ恐れがあり注意が必要である。

(4) 補強材の使い分けについて

補強土壁工法の中でもテールアルメが1種類の補強

材（ストリップ）なのに対して、ジオテキスタイルや多数アンカーでは数種類を使い分けている。多数アンカーでは、タイバーの種類毎にテープが貼ってあり、取り除かない限り各々区別できるが、ジオテキスタイルの製品の中にはこれといった目印が無く、搬入後の区別が付くにくいものもある。これを現場の作業員が無作為に使用してしまうと、設計図と現場とが一致せず、ある部分では過大設計、またある部分では過小設計となってしまう可能性があるため、注意が必要である。

(5) 施工時の盛土材管理

盛土材は最適含水比に近いほど締固め度も増加するが、実際の現場で盛土材の含水比を調整することは不可能に近い。しかし、補強土壁工法は盛土の密度管理が重要であり、出来る限りの努力が必要である。例えば降雨時に行う盛土材へのシート掛けなどは、含水比を必要以上に増加させない方法として有効である。また、盛土材の品質を確保するという点では、補強土壁工法の冬季施工は出来るだけ避けることが望ましい。やむを得ず行う場合は、雪はもちろんのこと凍結土も混入しないように心がけなければならない。この場合、掘削から転圧までの間隔が長い程盛土材の凍結が起きやすいので、現地発生土で仮置きが必要な場合は、購入土の方が管理しやすい。

6. ジオテキスタイルの現場計測について

ジオテキスタイルについては、現在のところ本局道路建設課からの通達によって本線での使用に制限が加えられている。写真-2などもその理由の一つと考えられる。しかし、前述のようにジオテキスタイルの壁面材が転圧しづらい構造となっているからといって、全ての現場で盛土の沈下が発生している訳ではない。その多くは施工方法に問題があると考えられる。この対策を検討するために、旭川開建の千代ヶ岡歩道工事で計測器機を設置した試験工事を行っている。また、それ以外でも全道の施工中のジオテキスタイル現場において、簡易的な計測をお願いしている。

今回の計測結果をもとに壁面付近の沈下対策を検討する予定である。

7. おわりに

以上補強土壁工法の設計・施工上の留意点について述べた。この工法は正しい施工方法によっては優れた



写真-4 テールアルメ施工状況

構造物となるが、間違った施工方法では不安定な構造物になってしまうことを現場の担当者は肝に銘じてほしい。

また、補強土壁工法は歴史が浅いため、将来の維持補修について今のところ十分に対処出来ていない。これについては今後一定の方向付けを行う予定である。

参考文献

- 1) 財団法人 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，1993.1
- 2) 財団法人 土木研究センター；補強土（テールアルメ）壁工法 設計・施工マニュアル，1990.5
- 3) 財団法人 土木研究センター；多数アンカー式補強土壁工法 設計・施工マニュアル，1998.11
- 4) 財団法人 日本道路協会；道路土工 擁壁工指針，1999.3
- 5) 財団法人 土木研究センター 多数アンカー式補強土壁工法研究委員会；多数アンカー式補強土壁工法に関する研究ノート，アンカー式補強土壁工法 研究委員会報告書，pp.14-17，1998.8
- 6) 北海道開発局 開発土木研究所 農業開発部 土壤保全研究室；北海道における各種酸性硫酸塩土壌の区分、分布および性状，北海道農業試験会議資料，pp.3-6，1995.1
- 7) 鈴木輝之ほか；多数アンカー式補強土壁の凍上対策に関する実物大実験，土と基礎，pp.51-56，1994.3



櫻庭 満*

開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
研究員



西川 純一**

開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
室長
理学博士