

地山補強土工法の特徴と適用性

Features and Applicabilities of Ground Reinforcement Techniques

地山補強土工法に関する研究委員会調査ワーキンググループ

1. はじめに

地盤を掘削する場合、掘削面を安定させるために様々な対策を講じる。方法としては、構造物で土圧あるいはすべりを抑止する方法、または崩壊しない程度に掘削勾配を緩くしたり地盤を強化する方法が挙げられる。

前者では、従来工法として鋼矢板、連続地中壁などの山留め材を H 型鋼やグラウンドアンカー等の支保工で支えながら掘削する工法や、擁壁等の構造物で安定させる方法が一般的である。後者では、安定な緩い斜面を形成する方法や、地盤改良によって安定性を向上させる方法が一般的である。

しかし条件によっては、従来工法による施工が困難であったり、不適切であるケースが少なくない。例えば、根入れ部に岩盤のある箇所では山留め工を施す場合、矢板の建込み作業が、非常に困難なものとなり工事費を大きく跳ね上げるケースや、山岳地での道路計画において、安定勾配で斜面を切土した場合、切土法面が山頂まで及ぶというケースなどである。

このような状況の中で、地山補強土工法は、地盤の急勾配掘削（切土）を可能にするとともに、従来工法が苦手とする条件下にもよく適合し、施工が困難であるにもかかわらず、従来工法を採用せざるを得なかった箇所への適用性が高いことから、近年、研究が盛んに行われ、平行して数多くの施工報告も見られるようになってきた。

本報は、地山補強土工法の適用条件を明確にし、正しい適用法を示唆するのを目的に、地盤工学会「地山補強土工法に関する研究委員会」の報告内容¹⁾をシンポジウムでの意見を参考に整理し直したものである。

2. 地山補強土工法概要

2.1 地山補強土工法の特徴

研究委員会では、地山補強土工法を「地山にプレストレスを与えない補強材を配置し、地盤の変形に伴って受動的に補強材に抵抗力を発揮させて地盤の変形を拘束することにより、土圧の支持、斜面の安定化、支持力の増加など地山の安定性を向上させる工法」と定義している。すなわち、地山補強土工法の最大の特徴は、鉄筋のように細長比の非常に大きい棒状のもの（補強材）を地中に釘のように打つことにより、土塊を内部から強化するという構造にあるといえる。またプレストレスを与えないという特徴から、地山補強土工法の安定原理・メカニズムは、構造的に類似するグラウンドアンカーとは異なっ

たものとなる。

このような特徴から、従来工法に比較して様々な長所、短所が生じる。例えば、使用材料あるいは使用機械が軽量、小型であるため、作業スペースに制約のある箇所では、大幅な施工性、操作性の改善が図られる。また、掘削時に地層を確認したうえで、不良な地層のみ選定して強化する方法を取ることができるため、合理的な対策が期待できる。ただし、経済的に抑止できるすべりの大きさには限度があり、適用斜面は、必要抑止力が中小規模の斜面に絞られることとなる。

2.2 地山補強土工法の分類

地山補強土工法には種々の工法があり、補強材の形状や配置方法の違いによって、鉄筋補強土（ネーリング/Nailing）、ダウアリング（Dowelling）、およびマイクロパイリング（Micropiling）の 3 種類（工法）に大きく分類できる²⁾。

各工法を補強材の配置形状の違いから概略的に分類すれば、鉄筋補強土は、補強材の細長比（長さ／径）が 30～140 で、基本的に同一方向に補強材を配置する形式のもの、またダウアリングは、基本的に同一方向に補強材を配置するが、補強材の細長比が 8～12 の形式のもの、そしてマイクロパイリングは、補強材の細長比が 30～170 で、基本的に網状に補強材を配置する形式のものをいう。

補強材の形状（剛性）や細長比の違いは、結局、補強メカニズムの違い、すなわち補強材の主機能が引張り抵抗か曲げ抵抗かせん断抵抗かの相違点につながる。例えば、断面剛性で見ると鉄筋補強土<マイクロパイリング<ダウアリングの順で大きくなり、長さについては鉄筋補強土<ダウアリング<マイクロパイリングの順に長くなる。そのため鉄筋補強土における補強材の主機能は引張り抵抗のみを考慮する。ダウアリングにおける補強材の主機能は曲げおよびせん断抵抗であり、マイクロパイリングにおける補強材の主機能は曲げ・せん断および引張り抵抗のすべてというふうに変化してくる。

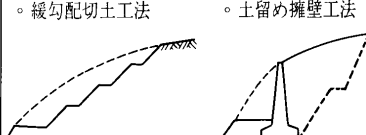
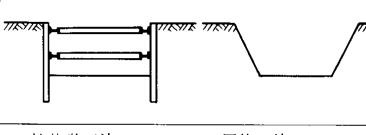
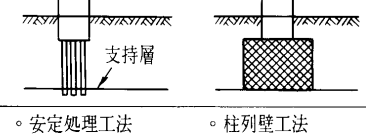
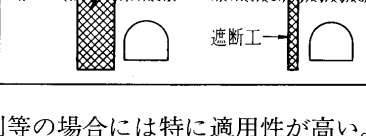
2.3 地山補強土工法の用途

表 1 は、地山補強土工法の適用例を整理分類し、従来工法と対比して示したものであるが、大きく 4 種の用途に分けられる。

表中 1 段目は、掘削土量、伐採範囲の削減を目的に、切土勾配を急勾配とする要望に対応した用途例である。

表中 2 段目は、山留め工での支保工の省略等の要望に対応した用途例である。掘削平面形状が複雑であったり、

表一 1 地山補強土工法の用途および従来工法との対比

用途	従来工法の例	地山補強土工法の適用例と特徴
自然斜面や切土法面の安定	緩勾配切土工法 土留め擁壁工法	 - 掘削土量の削減 - 工事の省力化 - 伐採範囲の削減
掘削面の安定	鋼矢板山留め工法 法付きオープンカット	 - 支保工の省略 - 掘削面積の削減（狭い土地での工事に対応） - 山留め壁の根入れの省略
荷重の支持	杭基礎工法 置換工法	 - 既設構造物の補強 - 軽量構造物に対応
近接施工およびアンダーピーニング	安定処理工法 地盤固化 柱列壁工法 遮断工	 - 工事中の地山の緩みを軽減 - 狭いスペースでの工事に対応

片側掘削等の場合には特に適用性が高い。

表中3段目は、支持地盤の強化、補強の要望に対応した適用例であるが、特に既設構造物下の支持地盤の強化、補強工としての適用性が高い。

表中4段目は、アンダーピーニングへの適用例であるが、作業スペースが狭いので、制限された場所から広範囲に対策工が必要な場合に適用性が高い。

なお、これらの用途以外に、老朽化した構造物の補修や補強あるいは全く新たな分野への利用など用途開発が期待される。

3. 地山補強土工法と従来工法の比較

3.1 概説

2章では地山補強土工法の特徴を概略的に説明した。本章では、さらに詳細に特徴を分析し、従来工法との相違点を明確にし、地山補強土工法の適正な評価と位置づけや選定手段の参考資料とするために、比較条件を適用範囲、制約条件、安全性、信頼性、施工性・実績、経済性に分類して、それぞれについて適用性の観点から両者を比較し、表形式に整理してみた。

3.2 比較一覧表

表一2および表一3は、それぞれ本設（斜面安定工に属するもの）として用いる場合の従来工法との比較および仮設（山留め工に属するもの）として用いる場合の従来工法との比較に分けて整理したものである。なお、表一2、表一3は、「地山補強土工法に関する研究委員会」¹⁾の暫定私案である。

比較表の中で地山補強土工法は、2.2節で説明した鉄筋補強土、ダウリング、およびマイクロパイルの3工法に大別した。また斜面安定工の従来工法は、①安定勾配切土タイプと、②もたれ擁壁やブロック積み擁壁あるいは法枠グラウンドアンカーなどの構造物によって変形や斜面崩壊を抑える構造物抑止工タイプに大別した。

一方、山留め工の従来工法は、①鋼矢板、柱列壁（鋼管パイルも含む）、地中連続壁などの山留め壁をH型鋼やグラウンドアンカーで支保する山留め壁支保タイプと、②薬液注入、混合改良等で掘削箇所を改良した後、素掘りする地盤改良タイプの2タイプに大別している。

比較評価は、備考欄に示した条件を前提に行ったが、次の点については特に留意して比較表を見てほしい。①山留め工の制約条件「湧水箇所での施工」の湧水の状態は、吹付けコンクリートが困難となる程度のもの。②山留め工の安全性・信頼性「用地境近接箇所での山留め」の項は、山留め工を用地内に納めるのが容易かどうかで評価。③斜面安定工の適用範囲「土質」の項は急勾配（1：0.5～直立）で切土する条件で評価。④「法面高」の項は自立性の低い地盤を急勾配で切土する場合の可能高さで評価した。

3.3 比較結果の解釈について

3.3.1 斜面安定工における比較

表一2の比較表から、本設に用いる場合、地山補強土工法は、急勾配で高さ約15mまでの切土斜面に適用性が高いといえる。また鉄筋補強土、マイクロパイルが礫、砂、崖錐性堆積地盤に適用性が高いのに対し、ダウリングは、一般の土で盛土された地盤か粘性土地盤に適用性が高い特徴を持つ。ただし本表では表現されていないが、地山補強土工は抑止できるすべりが中小規模に限定されるため、規模の大きいすべりに対しては不適切である。

次に制約条件では、地山補強土工法の設計法は、従来工法に比較して、細部にわたる基準化が未整備のため、設計者の判断にまかせる要素を多く持つ。この点は、山留め工に適用する場合においても同じである。

安全性・信頼性の面では、地震時の安定性に関して、兵庫県南部地震での被害調査から、重力式擁壁類が転倒したのに対し地山補強土面は崩壊に至らなかった事実より、地震時安定性が非常に高いと考えられる²⁾。一方、地山補強土工法で用いるグラウトで覆われた鋼材（補強材）がどの程度の耐久性を持つかについては、現在20年程度の耐久性まで確認されているが、それ以降の耐久性に関しては今後の調査報告を待たざるを得ない。

施工性・実績の面での補強土工法は、従来工法と逆に、施工作业は容易であるが管理が難しいという特徴を持つ。これは、もともと不明確である地盤の安定性を測定される変形と関連させて管理する必要があることと、設計の背景を十分に認識したもとの施工が重要であることによる。この点は山留め工（仮設）に適用する場合においても同じである。

また地山補強土工法は、近年非常に重要視されている景観・美観に関しても、緑化、化粧処理の両面から適応

表—2 工法比較一覧表「斜面安定工」(本設)¹⁾

大分類 項目			地山補強土工		従来工法		備 考	
			鉄 筋 補強土	ダウア リング	マイク ロバイ リング	安定勾 配切土 タイプ		構造物 抑止工 タイプ
適用 範囲	土 質	崩壊しやすい岩盤	◎	×	○	△	○	急勾配で切土するのを条件とした比較 安定勾配切土タイプは何らかの補強工併用
		砂 礫・礫 質 土	○	△	○	△	○	
		砂 質 土	◎	○	◎	—	○	
		崖 錐 性 堆 積 土	○	△	○	—	△	
		未 固 結 粘 性 土	△	◎	○	—	△	
	法 面 勾 配	1：0.8より緩	△	△	△	◎	○	構造物タイプは逆巻き施工で評価
		1：0.5～直立	◎	◎	◎	△	○	
	法面高 (切土高)	0～10m	◎	◎	◎	△	○	自立性の低い土砂地盤を急勾配で切土するのを条件として評価
		10～15m	○	○	◎	×	△	
		15～20m	△	—	○	×	△	
		20m以上	△	—	△	×	△	
制約 条件	設 計 法 の 基 準 化		△	○	△	◎	◎	鉄筋補強工は基準案段階
	施 工 時 の 上 部 空 間	クレーン高以下	◎	◎	◎	◎	○	
		バックホウ高	△	△	△	△	×	
	用地境近隣箇所での適用性		○	○	○	△	△	
	寒 冷 地 で の 適 用 性		△	△	△	○	○	
安 全 性・ 信 頼 性	施工時の斜面 の安定性	安 定 性	高	高	高	—	普	従来工法は逆巻き施工
		変 形 抑 制 機 能	高	高	高	—	普	従来工法は逆巻き施工
	工法の 信頼性	変 形 抑 止 機 能	普	高	普	低	高	相対的な比較による
		材 料 の 耐 久 性	普	高	普	—	高	相対的な比較による
		地震時の安定性	高	高	高	普	普	
	地下水環境 への影響	地 下 水 汚 染	無	無	無	無	無	排水処理工が必要
排 水 機 能		普	普	普	高	普		
施 工 性・ 実 績	管 理 の 重 要 度		高	高	高	低	低	相対的な比較による
	施 工 速 度		普	普	普	速	普	相対的な比較による
	施工実績	施 工 実 績 数	少	少	少	多	極多	1996年3月現在
施 工 業 者		少	少	少	多	多	管理のできる業者	
美 観	緑 化 の 難 易 性		易	難	易	易	難	相対的な比較による
	切土面の化粧処理		可	可	可	難	可	化粧ブロック等
経 済 性			従来工法が×△の時に補強土工法が経済的となる場合が多い。 一般的には経済比較検討によって判断する。					

◎：最も適している ○：適している △：適用に当たっては十分な検討が必要である

×：適していない —：比較できない

※構造物抑止タイプとは、もたれ擁壁などの構造物あるいは法枠グラウンドアンカーなどで斜面崩壊を抑止するタイプのものをいう。

※耐久性評価は、鉄筋補強土とマイクロバイリングでは鋼棒+グラウトで施工した場合、ダウアリングではFRP棒+撈拌混合処理で施工した場合の比較である。

※上表は参考文献1)の表—2.4.2を一部修正加筆したもの(委員会暫定私案)である。

性が高い工法といえる。

3.3.2 山留め工における比較

表—3の比較表から仮設に用いる場合、地山補強土工法は、一般的に従来工法に比べて掘削深度の浅い山留め工に適用性が高い。また鉄筋補強土、マイクロバイリングは、従来工法が苦手とする玉石まじり礫や崖錐性堆積層あるいは崩壊しやすい岩盤等に適用性が高い特徴を持つ。

次に制約条件の面では、地山補強土工法は、従来工法では施工が難しい狭い作業空間での施工あるいは切土面が用地境界線に近接した箇所での適用性が高い。ただし、採用に当たっては、材料の撤去が難しいことや湧水のある箇所では施工が困難であることを十分考慮しておく必要がある。

安全性・信頼性の面では、地山補強土工法を用いた山留め工は、地下水の止水性が非常に低いと理解しておく必要がある。

経済性は一概に比較できるものではなく、比較設計の結果から判断するのが基本となる。傾向として、表中の従来工法が△×、地山補強土工法が◎◎となっている項

目(条件)において、地山補強土工法のほうが経済的となる場合が多い。

4. 地山補強土工法の適用性検討例

4.1 概説

地山補強土工法の適用性の検討は、表—2、表—3に示す特徴を考慮の上、適用範囲、制約条件、施工性、安全性・信頼性から適用性の高い順に順位を付け、検討工法を3、4工法にしぼり、最終的に経済性から最も適している工法を決定する要領で行うことができる。

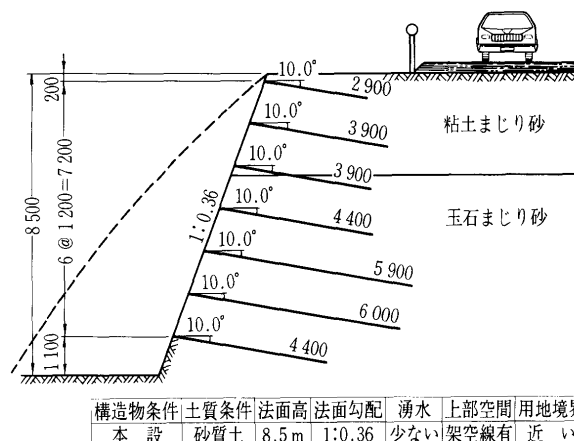
4.2 適用性検討例

図—1は適用性検討の実施例における対象斜面の形状および条件を示したものである。また表—4は検討結果を示したものである。

まず構造物抑止タイプについては、グラウンドアンカーによる抑止タイプになると考えられるが、アンカーの用地境界からの越境、クレーン使用時の上部架空線への影響が懸念され、適用性は低い順位になった。

安定勾配切土タイプは、対象斜面の地盤が粘土まじり、玉石まじりの砂質土であることと、法面勾配が1 : 0.5より急で、しかも法面高さが8.5mであるという条件から、「適用に当たっては十分な検討を要する」および「適していない」という評価となり、低い順位になった。

マイクロバイリングおよび鉄筋補強土工法は、適用条



図—1 適用性検討例(斜面安定工)

表-3 工法比較一覧表「山留め工」(仮設)¹⁾

項 目			大分類	地山補強土工			従来工法		備 考
			工法区分	鉄 筋 補強土	ダウア リング	マイク ロバイ リング	山留め壁 支保工 タイプ	地 盤 改 良 タイプ	
適用 範囲	土 質	中 ・ 硬 岩	◎	×	○	×	×	玉石まじりも含む	
		崩壊しやすい岩盤	◎	×	○	△	△		
		砂 礫 ・ 礫 質 土	○	△	○	△	△		
		砂 質 土	◎	○	◎	◎	○		
		崖 錐 性 堆 積 土	○	△	○	△	△		
	掘削勾配	軟 弱 な 粘 性 土	×	◎	△	◎	○		
		1 : 1.0 より 緩	○	○	○	—	○		
		1 : 0.5 ~ 1 : 1.0	○	○	○	—	○		
		1 : 0.5 より 急	○	○	○	—	○		
	掘 削 高	鉛 直	○	◎	△	◎	△		
		~10 m	◎	◎	◎	◎	△		
		10~20 m	○	○	◎	◎	×		
		20~30 m	△	△	○	◎	×		
30m以上		—	—	—	○	×			
制 約 条 件	設 計 法 の 基 準 化		△	○	△	◎	△	鉄筋補強土は基準案段階	
	湧 水 箇 所 で の 施 工		×	×	×	○	△	親杭横矢板工法は△	
	施 工 時 の 上 部 空 間	クレーン高以下	◎	◎	◎	○	○		
		バックホウ高	△	△	△	×	×		
	用地境近隣箇所での山留め		○	○	○	○	△	アンカー支保の場合は△	
	狭い作業スペース(幅)での施工		○	○	○	△	△		
	寒 冷 地 冬 季 施 工		△	△	△	○	○	主に凍上圧に対する評価	
材 料 の 除 去 ・ 撤 去		難	可	難	難	—	鋼矢板は十分可能		
安 全 性・ 信 頼 性	施工時の周辺 への 影 響	振 動 ・ 騒 音	少	少	少	少	少	ハンマー打設は比較外	
		近 接 施 工	○	○	○	○	△		
	工 法 の 機 能	変形抑制機能	普	高	普	高	普	相対的な比較による	
		地震時の安定性	高	高	高	普	低		
	地 下 水 汚 染 へ の 影 響	無	無	無	無	少			
地 下 水 の 止 水 性	低	普	低	高	普				
施 工 性・ 実 績	管 理 の 重 要 度		高	高	高	中	低	相対的な比較による	
	施 工 の 難 度		低	低	低	普	普	相対的な比較による	
	施 工 速 度		速	速	速	遅	遅	相対的な比較による	
	施 工 実 績	施 工 実 績	多	少	多	極多	多	1996年3月現在	
施 工 業 者		少	少	少	多	多	管理のできる業者		
経 済 性			従来工法が×△の時に補強土工法が経済的となる場合が多い。 両者とも○◎の時は従来工法が経済的となる場合が多い。 一般的には経済比較検討によって判断する。						

◎：最も適している ○：適している △：適用に当たっては十分な検討が必要である

×：適していない —：比較できない

※山留め壁・支保工タイプとは、鋼矢板、連続地中壁、柱列壁などの山留め壁をH型钢あるいはグラウンドアンカーで支保するタイプのものをいう。

※地盤改良タイプとは、薬液注入、混合改良等で掘削箇所を地盤改良した後、素掘りするタイプのものをいう。

※地山補強土工法の法面保護工は吹付けコンクリートとして評価した。

※上表は参考文献1)の表-2.4.1の一部修正加筆したもの(委員会暫定私案)である。

表-4 適用性検討結果

大分類 工法区分 項 目			地山補強土工			従来工法	
			鉄 筋 補強土	ダウア リング	マイク ロバイ リング	安定勾 配切土 タイプ	構造物 抑止工 タイプ
適用 範囲	土 質	砂 質 土	◎	○	◎	—	○
	法 面 高	0～10m	◎	◎	◎	△	○
	法 面 勾 配	1：0.5～	◎	◎	◎	×	○
制 約	上 部 空 間	バックホウ高	△	△	△	△	×
	用 地 境 近 接 箇 所 の 施 工		○	○	○	△	△
施 工 時 の 安 定 性			高	高	高	—	普
工 法 の 信 頼 性			普	高	普	低	高
候 補 工 法 順 位			1	2	1	4	3
経 済 性			◎	○	○	—	—

採用

件、制約条件、安定性、信頼性ともに満足しており高い順位となった。上部空間についても小型重機での施工が可能であるため、施工時の安全管理の徹底で十分対処できる。

ダウアリングは、ほかの地山補強土工法とほぼ同程度に評価されるが、下層地盤に玉石が混じっていることから、大径の補強体形成に手間を要することもあり得ると判断し、ほかの地山補強土工法に準じた順位とした。

以上の適性評価結果から対象斜面では、従来工法より地山補強土工法のほうが適していると判断されたため、地山補強土工法の3工法に対して比較設計を実施し、経済性の面から鉄筋補強土工法を採用した。

5. おわりに

本報は地山補強土工法の現状を整理し、その適用性を明確にすることを試みたものである。地山補強土工法は、最近の用途および規模の拡大に見られるように飛躍的に普及してきたが、耐久性に関する事項や施工・維持管理方法に関する事項などまだまだ研究を要する課題が残されている。地山補強土工法を適用する場合には、それらの事項を考慮のうえ本報を参考にしていたければ幸いである。

本稿を執筆した地山補強土工法に関する研究委員会調査ワーキンググループのメンバーは以下のとおり。

後藤政昭(基礎地盤コンサルタンツ株)、印南修三(住友建設株)、岡 千裕(日本国土開発株)、坂場義雄(共生機構株)

参 考 文 献

- 1) 地盤工学会編：地山補強土工法に関するシンポジウム発表論文集，委員会報告，pp.9~28, 1996.
- 2) 館山 勝・龍岡文夫・古関潤一：阪神・淡路大震災における土構造物の挙動，土と基礎，Vol. 44, No. 2, pp. 10~13, 1996.

(原稿受理 1996.5.31)