

5. 切土補強土工法用オートボルトセッター

清水建設(株)：*宮田 和、川崎 廣貴、小原 由幸

1. はじめに

切土補強土工法は、地山の中規模崩壊対策の抑止工や切土勾配の急勾配化対策工および構造物掘削の仮設のり面工等に広く用いられている。図-1に示すとおりこの工法は、鉄筋やロックボルトなどの比較的短い補強材を地山に多数本挿入することで、地山を補強する工法であり、その基本的な構造図は図-2に示すとおりである。切土補強土工法の施工手順は、のり面工を施工した後に地山を削孔し、その穴に注入材と補強材を挿入し、最後に頭部処理を行う方法が一般的である。

本報は、この切土補強土工法を自動化・省力化し、施工能率を向上させた切土補強土工法用オートボルトセッター（以下ABS）について、その仕様、特長ならび施工手順と実際の施工事例について報告する。ABSは、清水建設（株）、三信建設工業（株）および古河機械金属（株）との共同開発である。

2. オートボルトセッターの仕様

図-3にABSの走行・打設状態と各部名称を示す。ABSは大きく分けてベースマシン・ガイドポスト・自動打設装置の3つで構成されている。

ABSのベースマシンは、クローラ式バックホウを転用・改造したもので、地山勾配が15°以内であれば施工場所まで自走可能である。ベースマシンには自動打設装置を上下させるためのガイドポストが取り付けられており、自動打設装置とガイドポストの重量を地山に支持させるためのサポートとアンカーがガイドポストに設備されている。サポートは、ガイドポストの任意の位置に取り付け可能であり、サポートおよびアンカーは、切土のり面勾配によって取付位置を変更する。

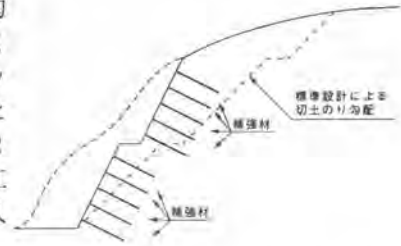


図-1 切土補強土工法の適用例

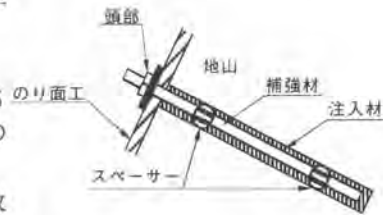


図-2 切土補強土工法基本構造図

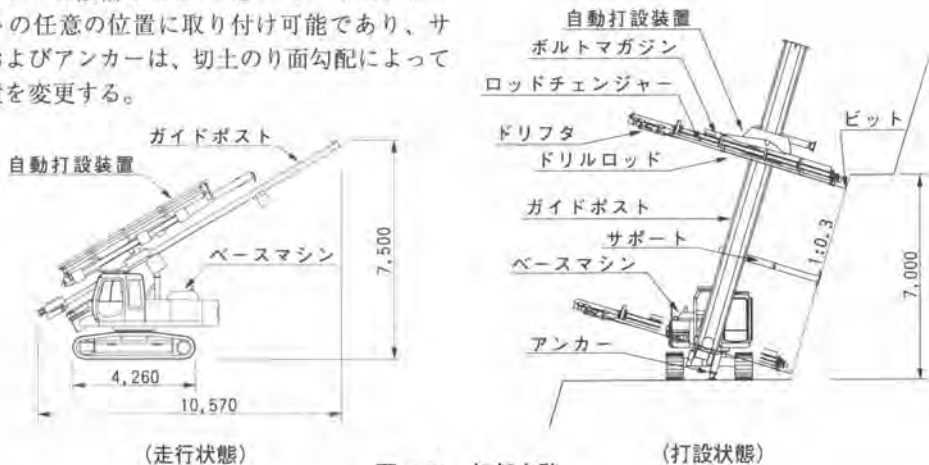


図-3 各部名称

自動打設装置は、主にドリフタ・ビット・ドリルロッド・ボルトマガジン・ロッドチェンジャーから構成されている。ドリフタは、土砂から中硬岩まで削孔可能な高性能タイプである。ビットは、クロスまたはボタンビットを改良し、くり粉と呼ぶ削孔した岩ズリをスムーズに孔外に出すため、また、グラウトが確実に充填されるためにエア穴の位置を改良している。ABSの特長であるグラウト注入は、ドリルロッドが中空構造となっていることを利用し、ドリルロッド内を通じて行う。ボルトマガジンは、鉄筋ならD16～D25を6本、長さ2.5～5.0mまで搭載可能である。ロッドチェンジャーは、削孔後ドリルロッドと補強材を交換したり、再度ドリフタにドリルロッドを装着する際に使用する。



写真-1 自動打設装置

組立は、ベースマシン、ガイドポストと自動打設装置を別々に搬入し、現地で組み立てる。各切土勾配でのABSの打設姿勢と打設可能高さを図-4に示す。

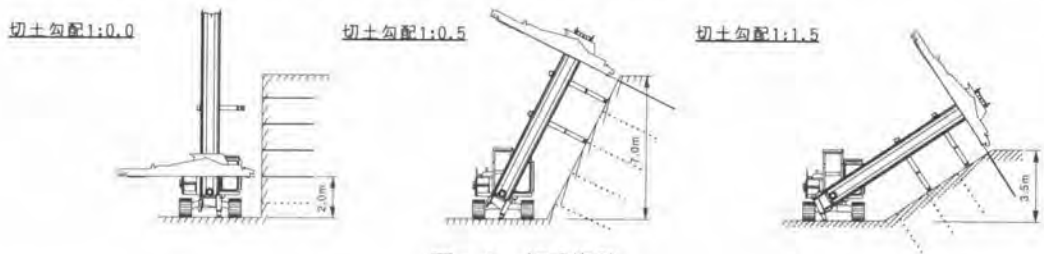


図-4 打設姿勢

3. オートボルトセッターの特長

従来工法とABSを用いた工法の作業手順を図-5に示す。縦方向に連続して補強材を打設する場合、従来工法はドリフタのセッティングと削孔を繰り返しながら行い、所定の本数分の穴を削孔した後、グラウト注入、補強材挿入を行う。

この従来工法の欠点は、

- 1) 削孔可能高さが削孔機械の仕様によって決まる
- 2) ドリフタの削孔角度を正しくセッティングすることに時間がかかる
- 3) 人の背丈よりも削孔穴が高い位置にある場合、グラウト注入や補強材挿入のために何らかの足場、もしくは、足場を必要としない高さに施工基盤を設定する必要があることが挙げられる。

これに対し、ABS工法は、自動打設装置のセッティングから補強材挿入までを繰り返して行い、

- 1) 図-4に示すとおり、1:0.0（垂直壁）の場合直高2mまで、1:0.3～1:0.8までの勾配で直高7mまで、1:0.8～1:1.0までの勾配で直高5mまで、1:1.0～1:1.5までの勾配で直高3.5mまで施工可能である

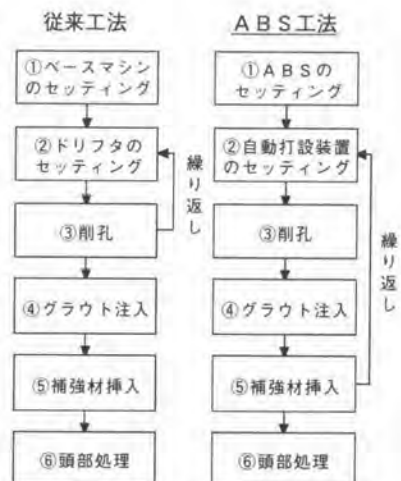


図-5 作業順序

2)ガイドポストを切土勾配と同じ勾配に傾け、高さ方向に連続的に補強材の打設を行うため、一度ABSをセッティングすると自動打設装置を上下させるだけで列方向の打設を短時間で終了させることができる

3)連続的に削孔・グラウト注入・補強材挿入を行うため、足場も高所作業車も必要としないことが挙げられる。

4. オートボルトセッターの施工手順

ABSの施工手順は、以下の通りである。

- ①作業場所にABSを移動し、ベースマシンをのり面と平行にセッティングする
 - ②傾斜計の表示を確認しながら、のり面の正面方向から見てガイドポストが垂直になるようにたてる
 - ③ガイドポストのサポートとアンカーを張り出す
 - ④傾斜計を確認しながらガイドポストをのり面勾配に倒す
 - ⑤サポートを張り出し、地山に支持させる
 - ⑥傾斜計の表示を確認しながら、自動打設装置を所定の角度に回転後、所定の高さに移動する
 - ⑦ドリフタで削孔する
 - ⑧削孔終了後、ドリルロッド内を通じてグラウトを孔底から注入する
 - ⑨ドリルロッドを回収後、ロッドチェンジャーでボルトマガジンに収納する
 - ⑩補強材をロッドチェンジャーでボルトマガジンからドリフタに設置し、補強材を孔内に挿入する
 - ⑪ドリフタにドリルロッドを取り付ける
 - ⑫次の打設位置まで自動打設装置をそのままの角度を保持させながら上昇させる
 - ⑬すべての列方向の補強材打設終了後、サポートとアンカーを収縮し、ガイドポストをたてる
 - ⑭次の列に移動後、同じ作業を繰り返す
- ①～⑥, ⑫～⑭はキャビン内で操作し、⑦～⑪はコントローラを使用して車外で操作を行う。

5. 施工事例

ABSで施工を行ったのは、千葉県鴨川市と(財)鴨川市開発公社が房総リゾート構想の中で推進している鴨川コンベンションリゾートの一つである太海多目的公益用地造成工事内の切土のり面である。当該地の切土は、1段(直高H=5.0m)が10段あり、最大直高はH=約50m、のり面面積約7,600m²の大規模なものである。地質的には強風化・風化泥岩が分布するところに、土地の利用計画上、切土下部に進入路を確保し、かつ、切土上部の用地の有効活用面積を広げるために、のり勾配を風化の著しい岩に相当する強風化・風化泥岩の安定勾配1:1.2~1.5から1:1.0に立てる必要があった。のり勾配を安定勾配から急にすることで、すべり力が発生し、切土のり面の安定性上問題となるため、その対策として切土補強土工法を採用することとなり、ABSで施工を行った。

5.1 地形・地質

当該地の平面を図-6に示す。対象場所の地形は、大きなやせ尾根の一部であり、切土のり面となる箇所を詳しく見ると、小さな尾根と谷が連続している。地山勾配は急峻で所々表層崩壊跡も見られ、褶曲や断層により、岩がかなり破碎されている模様である。

ボーリング調査から崖錐堆積物の下に強風化泥岩、風化泥岩が分布することが判明した。強風化泥岩は、スレーキングがかなり進行しており、亀裂が非常に多く現状のままではかなり不安定な状態にあり、表層から深度7m~13m付近まで分布して



写真-2 施工状況

いる。風化泥岩は、強風化泥岩の下方に分布し、亀裂が多く亀裂沿いに風化が進んでおり、切土掘削により地表に露出し、応力解放やスレーキングがおり、長期的には強風化泥岩に変質することが予想された。

切土の上段では、地山をスライスカットするため、強風化泥岩が主体となって切土のり面に表れ、中段から下段に行くに従い風化泥岩が主体となって表れると考えられた。

5. 2 設計

設計は、「高速道路の新技术・新工法、長大のり面の縮小化工法¹⁾」に基づき行った。その設計フローを図-7に示す。ここでは、強風化泥岩・風化泥岩は、フロー上、軟岩（風化岩）に当てはまる。

設計検討は、以下の手順で実施した。

- 1) 当該地のボーリングデータから地層構成を強風化泥岩、その下に風化泥岩が分布するものとし、のり面に表れる地層毎に崩壊規模を分けて設定する。すなわち、対象とする切土の崩壊規模は軟岩（風化岩）では2～3段となっているため、本設計では崩壊規模を強風化泥岩は現状でのり面の不安定さを考慮して3段（ $H = 15m$ ）、風化泥岩は2段（ $H = 10m$ ）と設定する。
- 2) 地盤定数（単位体積重量 γ t、内部摩擦角 ϕ ）は、既往の土質調査報告書を参考に風化泥岩は長期的な観点から強風化泥岩と同じと設定し表-1に示す値とする。
- 3) 粘着力 c は、安定勾配の切土のり面においてどの崩壊深さでも安全率が $F_s = 1.2$ を満足するように、直線すべり法により逆計算で求める。求められた粘着力 c を表-1に示す。強風化泥岩と風化泥岩はほぼ同じ値となった。
- 4) 「切土補強土工法設計・施工指針（案）²⁾」を参考に直線すべり法で安定計算を行い、計画安全率 $F_{sp} = 1.2$ を

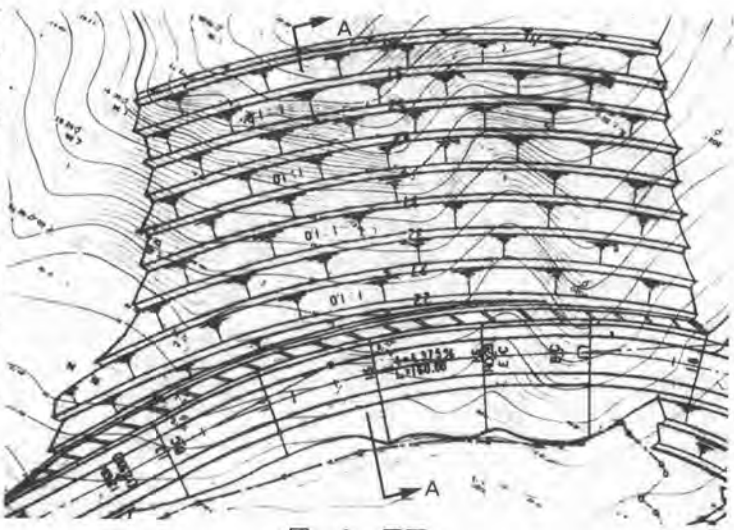


図-6 平面

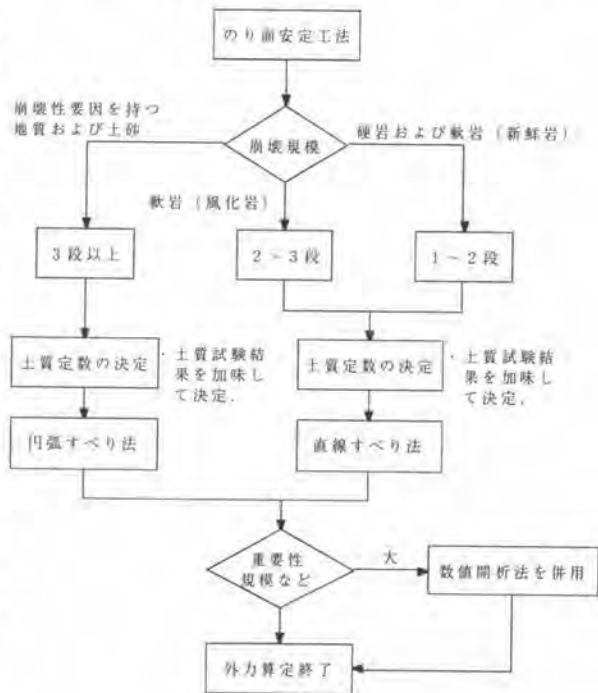


図-7 設計フロー

表-1 土質定数

地層構成	単位体積重量 γ t(tf/m^3)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (tf/m^2)
強風化泥岩	1.91	24	0.292
風化泥岩			0.222

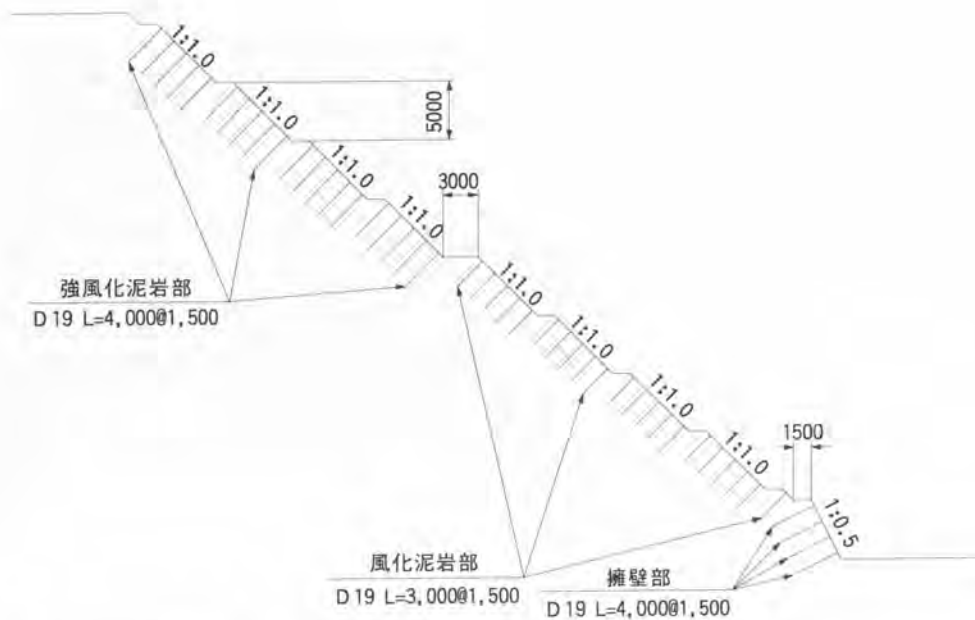


図-8 断面A-A

満足するよう切土補強土工の仕様を決定する。

以上、検討の結果から最終的な仕様を図-8に示す。

強風化泥岩部の仕様は、D 19、L=4.0m、1本/2.25m²となり、風化泥岩部の仕様は、D 19、L=3.0m、1本/2.25m²となる。鉄筋の打設配置は、両部とも千鳥配置とし、鉄筋はのり面に直角に打ち込む。

5.3 施工

切土のり面の施工手順は、上段から切り下がる逆巻き施工で、掘削工、切土補強土工、のり面保護工の順に行った。掘削は安定上問題とはならなかったので、切土1段を一度に切り下がり、ABSで切土補強土工を行い、縦方向に連続打設できる特長を生かすことができた。ここでは、バックホウにアタッチメントを装着した従来機も使用したので、ABSと施工能率の違いを表-2に示す。

ABSの縦方向に連続的に打設できる作業方法が、削孔位置にセッティングする時間を大幅に短縮し、所要時間は従来工法の30%となった。

ABSの油圧ドリフタは、従来機の空圧ドリフタより能力的に差があるため、削孔時間が30%短くなった。

全体工程を通じて、従来工法と比較して1本当たり25%の作業時間の短縮となった。

しかし、注入、鉄筋挿入、鉄筋補充の過程で、施工手順の⑨～⑪までの鉄筋挿入作業が予想していた時間より長くかかることが判明した。これは、従来工法にはないドリルロッドの切り離し、装着の時間



写真-3 ABS稼働状況

があること、鉄筋挿入時にコントローラでの操作が多く一つ一つ確認しながら作業を進めていることが原因であることが分かった。

従来工法と比較して、すべての作業工程でABSが作業時間の短縮となるように、鉄筋挿入装置の改良に現在、着手している。

ABSの特長として、注入作業を削孔後、ドリルロッドを通じて孔底から行ったため、孔壁の安定性が良く、鉄筋の挿入が従来

工法の所定本数削孔後注入する方法と比較してスムーズに行えた。すなわち、削孔後、すぐに注入、鉄筋挿入を行うことで、地山の施工時の安定性と鉄筋挿入のし易さがABSのメリットとなることが現場施工を通じて明らかとなった。

労務の面では、従来工法では世話役を含め5人必要であったが、1人減って4人で十分施工を進めることができた。

6. まとめ

現在、2機のABSが稼働中であり、施工実績も増加しつつある。その施工実績を踏まえ、ABSの長短所を把握し、前述の鉄筋挿入装置の改良・改善や岩種別の施工能力、制約条件下での施工サイクル、消耗品の寿命の把握等を行っている。今後、改良を加えたABSについて、さらなる報告ができるよう努めたい。

最後に、ABSの開発に携わった関係各位と、ABSの施工に協力的に対応して頂いた鴨川市、(財)鴨川市開発公社ならびに清水建設(株)鴨川太海作業所の関係者の皆様に本論文を通じて感謝の言葉を述べたいと思います。

【参考文献】

- 1) 竹内、長野、毛利：高速道路の新技术・新工法、長大切土のり面の縮小化工法、土木技術Vol. 51、No. 11、平成8年11月
- 2) 日本道路公団：切土補強土工法設計・施工指針（案）、平成7年6月

表一 2 施工能率の比較

条件	のり勾配 1:1.0 で長さ 4.0m の鉄筋を 1 列 5 本打設したときの 1 本当たりの打設作業について (従来機を 1 とする)	
	ABS	従来機 (アタッチドリル)
作業工程		
1. ベースマシン移動	1.00(±0%)	1
2. 削孔位置にセッティング	0.30(-70%)	1
3. 削孔 (L=4.0m)	0.70(-30%)	1
4. 注入、鉄筋挿入、ボルト マガジンに鉄筋補充	1.30(+30%)	1
全作業	0.75(-25%)	1