

自穿孔ロックボルトの施工方法に関する実験的検討

木内和夫¹・前田和徳²・井上孝人³・町田節生⁴・岩佐直人⁵

¹ 岡部エンジニアリング株式会社 土木部 部長 (〒272-0137 千葉県市川市福栄 4-33-6)

² 岡部エンジニアリング株式会社 土木部 主任 (〒272-0137 千葉県市川市福栄 4-33-6)

³ 財団法人林業土木施設研究所 主任研究員 (〒112-0004 東京都文京区後楽 1-7-12)

⁴ 日鐵建材工業株式会社 土木開発技術部 部長代理 (〒135-0042 東京都江東区木場 2-17-12)

⁵ 日鐵建材工業株式会社 土木鉄構商品部 部長代理 (〒135-0042 東京都江東区木場 2-17-12)

1. はじめに

ロックボルト工法は、自然斜面や法面の安定を目的とした補強土工法として法枠の交点、NATMの地山補強効果を期待する山岳トンネル等様々な場所で活用されている。その効果は地山のせん断強さや引抜き抵抗による直接的な地山補強だけでなく、間接的に地山の性状も強化させることができる。ロックボルト工法において最も課題とされるのが削孔で、軟弱地盤の場合、削岩ロッドによる削孔では孔壁の自立が困難となる。

このような軟弱地盤の削孔については、二重管削孔方式による施工方法が考えられるが、多大な費用と工期が必要となるため、一般的には自穿孔ロックボルトが使用されている。

しかし、自穿孔ロックボルトの施工に際し、地質状況や施工方法等により、効果を十分発揮できない場合がある。特にレッグハンマーによる削孔はエア供給量が少ないため、地山の表層部が土砂化している場合は、孔内に発生するくり粉を完全に排出できないことがある。粘性土の場合も、粘着力の影響によりビットの水孔にくり粉が詰まり、削孔不能になることがある。一般的な対策として水送りによる削孔が考えられるが、手間の煩雑さと斜面崩壊の誘因等により避ける場合が多い。

そこで、本実験は、削孔能力に大きく起因するエアの供給方法の検討並び品質を向上させると考えられるロックボルト周辺部材を検討し、その効果を確認したものである。

この結果、品質の高い自穿孔ロックボルトの施工が提案できると考えたので報告する。

2. 開発した施工装置と部材

2-1 スィベル

一般的な施工方法はレッグハンマーにシャンクアダプターを取り付け、ビットの付いたロッドを螺合させ、削孔する。レッグハンマーのエア吐出口は $\phi 5$ (mm)程度であり、シャンクアダプターを介してロッドの内部($\phi 13$ mm)を通り、ビットの水孔から排気できる構造となっている。提案した施工方法は、図-1に示すようにスィベルをシャンクアダプターとロッドの間に介在させて削孔するものである。

スィベルは主に回転可能としたカラー部と軸となる本体部に分かれ、エアホースをカラー部にあるアダプターに螺合させることにより、エアを本体部の内空部に送り込み、ロッドを介してビットの水孔により排気できる構造となっている。また、水送りによる削孔もできるようにシャンクアダプター側からのエア供給孔を遮断できる構造とし、逆流しないようにしている。

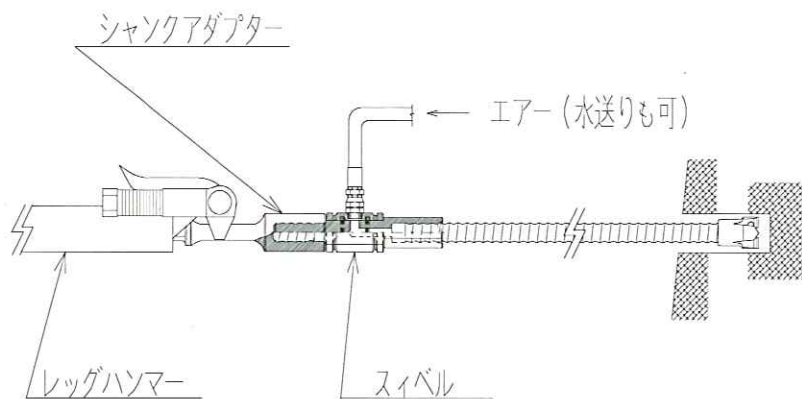


図-1 スィベルを使用した施工方法

2-2 カプラー

自然斜面やのり面を削孔する場合、ロッドを地表面に対して30(度)程度で打設するためカプラーが下側の孔壁に接する可能性が高く、後工程のグラウトが充填されない可能性がある。グラウト注入時は孔口側のロッドを浮かしながら注入するが、長尺ロッドになると先端に行くに従いほとんど効果がなくなる。提案したカプラーは、写真-1に示すように周面に一定間隔でスペーサー的な働きを期待する突起を設け、カプラー本体を浮かせることによりかぶりを確保する構造としたものである。(以後、イボ付きカプラーと称する)

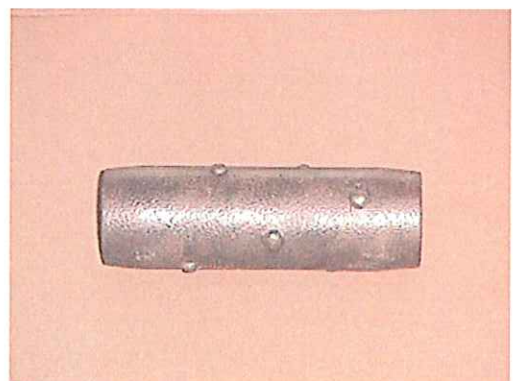


写真-1 イボ付きカプラー

2-3 二段ビット

二段ビットは、写真-2に示すように子ビットがφ20程度と小さく、仕事量が少ないため削孔がしやすく、初期の位置決めが容易となる構造としている。また、子ビットがガイド的な働きをし、ロッドの直進性を期待するビットである。

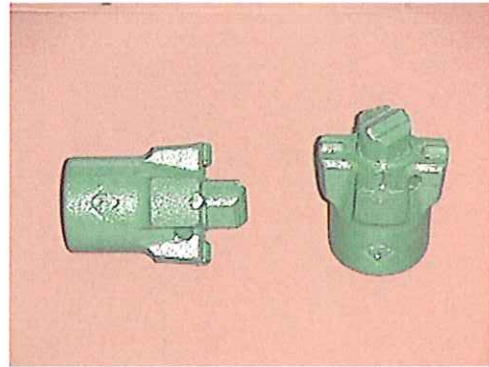


写真-2 二段ビット

2-4 表面処理ロッド

防錆効果を高めるため表面処理したロッド
①溶融亜鉛メッキ②ダクロダイズド処理を検討したので削孔により、効果を調査する。

3. 実験概要

3-1 想定した地盤

削孔・グラウト注入による実験で使用する盛土材は荒目砂・山砂1:1で混合し、地盤の支持力を得るためにセメントを重量比で10(%)混入した。

盛土材の粒度分布を図-2に示す。

盛土は1層当たりの撒き出し厚を300(mm)とし、振動コンパクターにより転圧・締固めた。

締固めの管理はコーンペネトロメーターにより行い、締固め時のコーン支持力は、表-1の一軸圧縮強さの7日に相当すると思われる1.0(MN/m²)程度となるように管理した。表-2、3に締固め管理を示す。

盛土のり面は0.6勾配とし、その概要を図-3に示す。引抜き試験は同様の盛土材を紙管(φ1200 mm)の中に入れ、1層当たりの撒き出し厚を300(mm)とし、振動コンパクターにより転圧・締固めた。

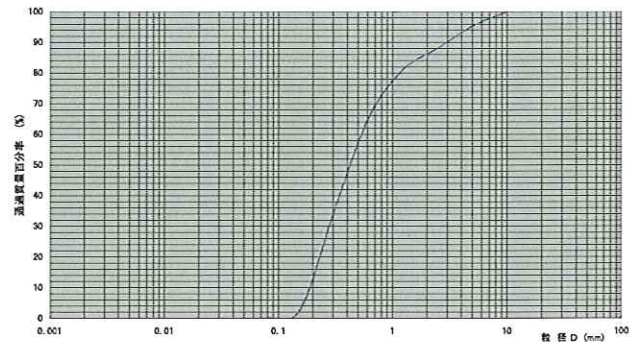


図-2 盛土材の粒径分布

表-1 盛土一軸圧縮強さ (MN/m²)

	σ (7)	σ (14)
No.1	1.0	2.1
No.2	1.1	2.5
No.3	1.2	1.7
平均	1.1	2.1

表-2 締固め管理 (盛土)

	1層目	2層目	3層目	4層目	5層目
ダイヤルゲージの読み	82	75	80	120	110
貫入力(N)	412	382	412	588	549
コーン支持力(MN/m ²)	1.27	1.19	1.27	1.82	1.70

表-3 締固め管理 (円柱)

	2層目	3層目	4層目	5層目	6層目	7層目
ダイヤルゲージの読み	80	95	88	89	86	90
貫入力(N)	412	461	441	441	441	461
コーン支持力(MN/m ²)	1.27	1.43	1.36	1.36	1.36	1.43

3-2 実験材料及び機材

本実験に使用した実験材料及び機材を表-4に示す。

表-4 実験材料及び機材

項目		仕様
試験材料	OSDPロッド	φ28.5×1,000
	OSDPビット	ビット径φ50
	OSDPカプラー	φ38
	OSDPスイベル	
使用機械	レグハンマー	TY-16LD
	コンプレッサー	PDS-175SB(50PS)

4. 実験方法

4-1 削孔・グラウト注入による実験

供試体は表面処理したロッド (①溶融亜鉛メッキ、②ダクロダイズド処理) 1,000(mm)削孔ごとにカプラーで繋ぎ合わせ 1,000(mm)×3(本)とし、2,700(mm)打設する。打設後、引抜いて表面処理の状況を調査し、さらに、屋外に置いて状況を調査する。

このときの削孔時間とくり粉の量も測定した。

同様に、表-5の各種条件のもとロッドを打設し、グラウト注入する。

グラウトはセメントミルク W/C45% 混和剤NL-4000(セメント重量×2%)とする。

このときのグラウト注入量と7日後、試験体を掘り出してグラウトの充填状況を調査した。

各実験についてのロックボルト配置を図-3に示す。

4-2 引抜き実験

供試体はロッド 1,000(mm)削孔してカプラーで繋ぎ合わせ 1,000(mm)×2(本)とし、1,700(mm)打設する。

打設後、上記同様のグラウトを注入して7日養生後、引抜き試験を行った。引抜き試験の荷重は、油圧ジャッキにより行い、初期荷重 19.6(KN)とし、9.8(KN)ピッチで荷重、荷重が荷重しても上昇しなくなった時点、または 235(KN)に達した時点で終了とした。測定は荷重と変位とし、荷重後、掘り出して供試体の状況も調査した。

引抜き実験の概要を図-4に示す。

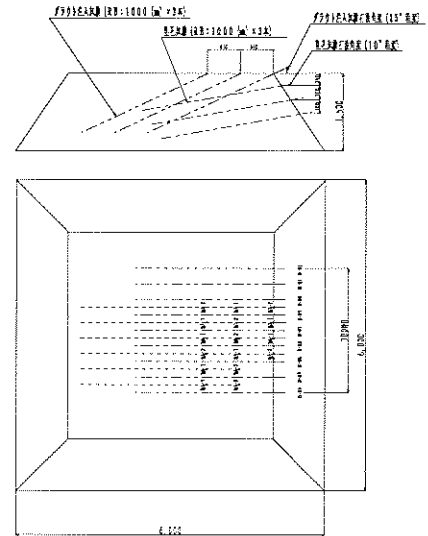


図-3 削孔・グラウト注入配置図

表-5 グラウト注入条件

試験体番号	削孔作業			注入作業			
	スイベル	カプラー	ビット	エアブロー	水洗浄	口元閉塞	パイプ
No.1-1,2	有	イボ付き	クロス	無	無	ベルシース	無
No.2-1,2	有	イボ無	クロス	無	有	ベルシース	無
No.3-1,2	有	イボ付き	二段	無	有	ウレタン	有
No.4-1,2	無	イボ無	クロス	有	無	ベルシース	無
No.5-1,2	無	イボ無	クロス	無	無	ベルシース	無
No.6-1,2	有	イボ無	クロス	無	無	ベルシース	有
No.7-1,2	有	イボ無	クロス	無	無	ウレタン	無
No.8-1,2	有	イボ付き	二段	有	無	ウレタン	有

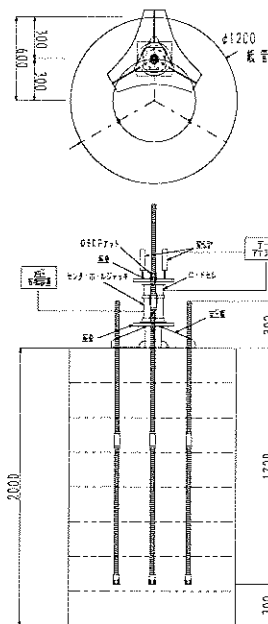


図-4 引抜き実験概要図

5. 実験結果と考察

5-1 削孔・グラウト注入による実験

表面処理したロッド(①溶融亜鉛メッキ HDZ-55、②ダクロダイズド処理)を削孔後、引抜いて約2ヶ月屋外に置いて観察した結果、溶融亜鉛メッキは全く錆が発生していなかった。しかし、ダクロダイズド処理は削孔時に表面が擦れ、その部分から錆が発生していた。(写真-3、4)

施工方法による比較はスイベルを使うとくり粉の量は表-6、図-5から1.2倍以上となり、削孔時間も図-6から15(%)短縮することができた。

グラウト注入量について、図-7は理論上の体積を1.0とした場合の比較であるが、スイベルを用いない場合は理論上の体積も満たないことがわかる。また、供試体を掘り出してみるとスイベルを使った場合、くり粉の排出が良いためロッド、カプラーの周りにグラウトが良く充填されていた。かたやスイベルを使わない場合はエア不足となり、くり粉の排出が不完全のため一部ロッドの露出がみられた。(写真-5、6)



写真-3 溶融亜鉛メッキ

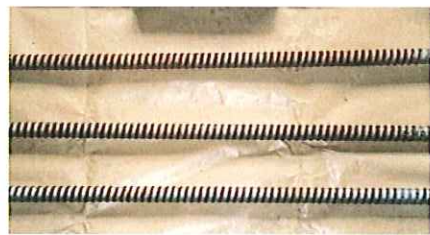


表-6 削孔結果

試験体番号	表面処理	打設角度	スイベル	削孔時間	くり粉の量
D-01	ダクロダイズド処理	10	有	5' 09"	11.7 kg
D-02	#	10	#	4' 4"	12.7 kg
D-03	#	10	#	5' 32"	13.0 kg
H-01	溶融亜鉛メッキ	10	#	4' 28"	11.5 kg
H-02	#	10	#	4' 24"	12.7 kg
H-03	#	10	#	4' 29"	12.5 kg
D-04	ダクロダイズド処理	10	無	4' 54"	7.5 kg
D-05	#	10	#	5' 01"	10.5 kg
D-06	#	10	#	7' 21"	10.7 kg

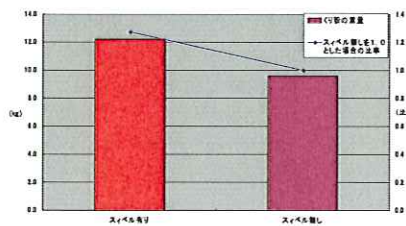


図-5 くり粉量比較

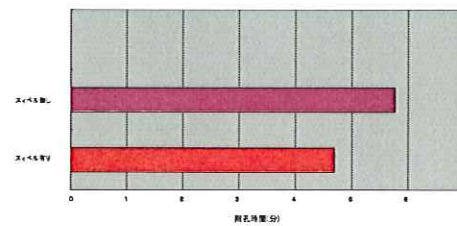


図-6 削孔時間比較

表-7 グラウト注入結果

試験体番号	打設角度	鋼筋長さ(m)	削孔時間	グラウト注入量
%1-1	25°	300	5' 33"	13.5 kg
%1-2	27°	180	7' 44"	11.7 kg
%2-1	28°	220	8' 02"	12.5 kg
%2-2	24°	150	4' 44"	11.5 kg
%3-1	23°	170	5' 01"	7.5 kg
%3-2	27°	300	5' 06"	5.9 kg
%4-1	25°	650	5' 17"	注入不可
%4-2	25°	550	17' 25"	5.5 kg
%5-1	24°	220	13' 33"	5.5 kg
%5-2	25°	240	7' 21"	4.3 kg
%6-1	27°	270	4' 33"	12.5 kg
%6-2	25°	210	4' 58"	11.1 kg
%7-1	24°	650	5' 24"	4.9 kg
%7-2	27°	390	4' 29"	10.3 kg
%8-1	24°	225	4' 22"	9.3 kg
%8-2	25°	200	5' 15"	5.1 kg

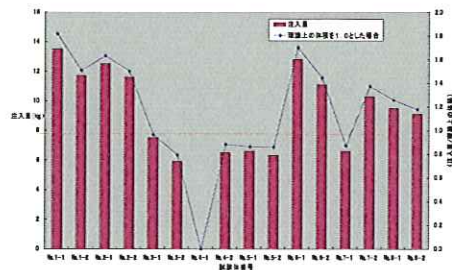


図-7 グラウト注入量比較

開発した部材についてみてみるとイボ付きカプラーは周面に一定間隔でスペーサー的な働きを期待する突起を設け、カプラー本体を浮かせているためかぶりを5～6 (mm)程度確保できることがわかった。一般的なカプラーはかぶりが1～2 (mm)しかとれない。

二段ビットについては初期食い込みが良くビットの位置決めが容易であることがわかった。直進性については、削孔機の能力等の要因により本実験からは明確な差はみられなかった。もう少し硬い岩盤においてその効果が発揮できる可能性があると思われる。その他の項目 (エアブロー、水洗浄等) についてはスイベルの影響が強すぎて判定することができなかった。

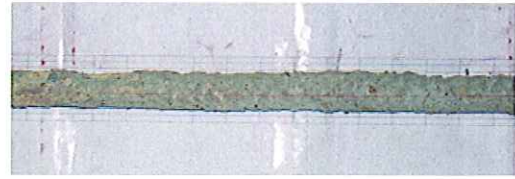


写真-5 スィベル有り

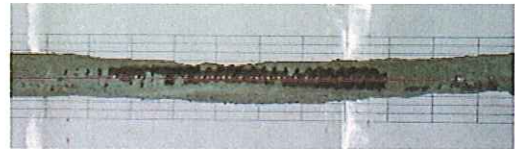


写真-6 スィベル無し



写真-7 イボ付きカプラー



写真-8 従来カプラー

5-2 引抜き実験

表-8の結果と図-8に示す荷重-変位曲線により、最大荷重の平均を比較するとスイベルを使う場合、 $P_{max}=230.9$ (KN)に対し、スイベルを使わない場合 $P_{max}=123.2$ (KN)であり、2倍程度の荷重が得られた。注入したグラウトの一軸圧縮強さは表-9より平均 $\sigma(7) = 21.8$ (N/mm²)であった。

掘り出して試験体を調べると、スイベルを使う場合、孔内のくり粉がきれいに排出されているため、グラウトが地山に良く付着している。(写真-9)しかし、スイベルを使わなかった場合は、孔内にくり粉が残っているため地山とグラウトの摩擦抵抗が低く、滑り

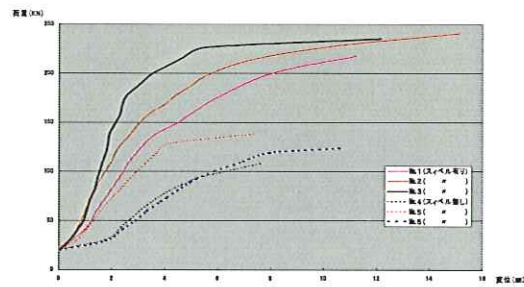


図-8 荷重-変位曲線

表-8 引抜き実験結果

試験体番号	スイベル	最大引抜き荷重 (KN)	66KN時の変位 (mm)	周面摩擦抵抗係数 ^(*) (MN/m ²)
No1	有り	217.1	2.4	0.81
No2		240.3	1.7	0.90
No3		235.2	1.5	0.88
平均		230.9	1.9	0.87
No4	無し	108.5	5.2	0.49
No5		138.0	2.9	0.52
No6		123.2	5.8	0.46
平均		123.2	4.4	0.46

出しているのが確認できた。

写真-10をみると掘り出した試験体の表面にくり粉が残っているのが確認できる。

この結果を利用して、周面摩擦抵抗を算出するとスイベルを使用すると $\tau = 0.87(\text{MN}/\text{m}^2)$ 以上に対し、スイベルを使わないと $\tau = 0.46(\text{MN}/\text{m}^2)$ となることがわかった。なお、周面摩擦抵抗はビット径 $\phi 50$ 、削孔長1,700(mm)と想定して算出している。

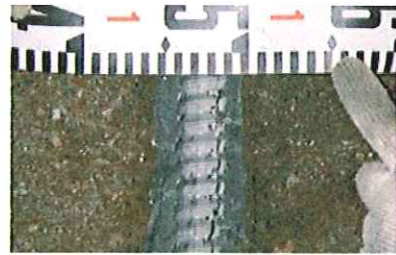


写真-9 スイベル有り



写真-10 スイベル無し

表-9 グラウトの一軸圧縮強さ

	$\sigma_1 (\text{N}/\text{mm}^2)$
No.1	22.9
No.2	20.4
No.3	22.2
平均	21.8

6. まとめ

今回の地山条件での結果をまとめると次の通りである。

- 1) スイベルを使うと従来に比べ最大引き抜き荷重は2倍程度となる。
- 2) スイベルを使うとくり粉の量は1.2倍以上となり、削孔時間も15(%)短縮することができる。
- 3) スイベルを使うとグラウト注入量は1.6倍以上となりグラウトの充填性も向上する
- 4) イボ付きカプラーはかぶりを5~6(mm)確保できるのに対し、従来のカプラー1~2(mm)しかとれない。
- 5) 自穿孔ロックボルトの表面処理は溶融亜鉛メッキが有効である。
- 6) 二段ビットは位置決めが容易である。直進性については明確な差がみられない。