

変位制御型ロックボルトの定着材に用いるモルタルの配合検討

株式会社トクヤマ 正会員○古城 誠
鹿島建設(株) 正会員 松本修治 黒川紗季
株式会社ケー・エフ・シー 田中祐介

1. はじめに

海外の大土被りトンネルや鉱山では、地山の変位を許容することで支保に作用する地圧を軽減させる可縮型の支保部材が採用される事例がある¹⁾。しかし、地山の変位を許容することで、地山を必要以上に緩め、変位を増大させる可能性がある。そこで筆者らは、地山の変位を制御できる変位制御型ロックボルト²⁾を開発した。しかし、本ロックボルトを有効に機能させるためには、定着材に用いるモルタルの圧縮強度を材齢1日で8N/mm²程度以上、材齢28日で25N/mm²程度以下に制御する必要がある。本稿では、所定の圧縮強度を満足するモルタルの配合について検討した結果を報告する。

2. 変位制御型ロックボルトの概要²⁾

写真-1に変位制御型ロックボルトの構成を示す。本ボルトは、引抜き荷重に対し、①ネジ部とモルタル間の付着による初期抵抗部、②アンカーがモルタルを圧壊しながら移動する変位制御区間、③アンカーがリングに当たり、両者一体となってモルタルを圧壊する最終抵抗部のトリリニアな挙動を示すものである(図-1)。このトリリニアカーブは、ネジ部の長さやアンカーとリング間の距離を調整することで、任意に制御することができる。

3. 定着材(モルタル)の検討内容

本検討では、表-1に示す本ロックボルトの定着材(モルタル)の要求性能を定め、(1)水セメント比、(2)長期強度の増進抑制、(3)初期強度の促進の流れでそれぞれの検討を行った。なお、要求性能は、変位制御機能を発揮する圧縮強度だけでなく、ロックボルトを施工する際に必要な作業性を考慮して設定した。また、モルタルフロー(JIS R 5201)を練混ぜ直後と施工時間内となる25分後に実施し、圧縮強度試験(JIS A 1108)は材齢1日、28日で行った。

表-2にモルタルの使用材料、表-3にモルタルの配合を示す。使用材料には、シリカフェームなどの既存のロックボルト用定着材の構成材料に加えて、硬化促進剤としてケイ酸ナトリウムを使用し、その補助的な役割となる消石灰との併用についても検討を行った。

4. 検討結果

(1)水セメント比(W/C)の検討

所定の要求性能を満足する水セメント比を見定めることを目的として、既往の文献³⁾を参考に、水セメント比80%、120%、150%の3水準(Case1~3)を定め検討を行った。図-2に水セメント比と圧縮強度の関係を示す。水セメント比80%の配合(Case1)における材齢

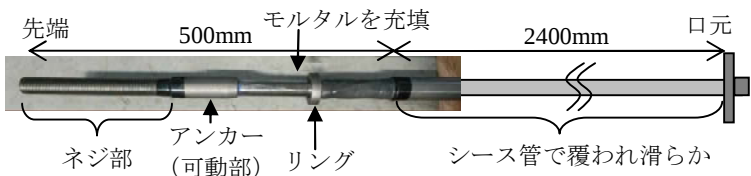


写真-1 変位制御型ロックボルトの構成

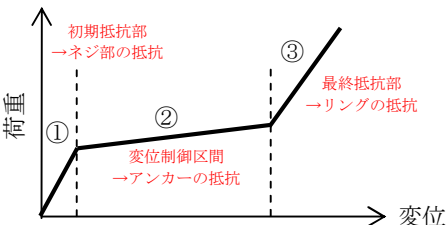


図-1 変位制御型ロックボルトの挙動

表-1 本ロックボルトの定着材(モルタル)の要求性能

項目	管理項目	試験方法	設定した具体的な要求性能
変位制御機能の発揮	圧縮強度(材齢28日)	JIS A 1108	25 N/mm ² 程度以下
フレッシュ性状	フロー値(15打)	JIS R 5201	モルタルフロー160±20mm 経時25分程度まで性状を維持
初期の変位抑制	圧縮強度(材齢1日)	JIS A 1108	8 N/mm ² 程度以上

表-2 使用材料

材料名	記号	摘要
水	W	水道水
セメント	HPC	早強ポルトランドセメント、密度:3.14 g/cm ³ 、比表面積 4490 cm ² /g
シリカフェーム	SF	密度:2.20 g/cm ³ 、比表面積 200,000 cm ² /g 程度
細骨材	S	6号砂、表乾密度:2.67 g/cm ³
混和剤	SP	高性能減水剤、ナリルスルホン酸・ポリアミン高縮合物塩
石灰石微粉末	LS	密度:2.68 g/cm ³ 、比表面積 4866 cm ² /g
ケイ酸トリウム	NS	真密度:2.43 g/cm ³ 、結晶性層状ケイ酸トリウム
消石灰	CH	主成分:水酸化カルシウム、密度:2.24 g/cm ³

キーワード 変位制御, ロックボルト, モルタル, 定着材, 強度制御
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-8014

表-3 モルタル構成材料の各単位量

Case	W/C (%)	W (kg)	単位量 (kg/20kg)						
			C	LS	SF	S	CH	NS	SP
1	80	4.00	5.00	4.25	0.64	10.00	—	0.10	0.008
2	120	4.00	3.33	5.92	0.64	10.00	—	0.10	0.008
3	150	4.00	2.67	6.58	0.64	10.00	—	0.10	0.008
4	120	4.00	3.33	6.56	—	10.00	—	0.10	0.008
5	120	4.00	3.33	6.06	—	10.00	0.3	0.30	0.008

1 日、28 日の圧縮強度は、それぞれ 16.1N/mm²、46.4N/mm² となり材齢 28 日における圧縮強度が要求性能より上回ってしまう結果となった。また、水セメント比 150%の配合 (Case3) における材齢 1 日、28 日の圧縮強度は、それぞれ 3.0N/mm²、20.4N/mm² となり、材齢 28 日の圧縮強度は要求性能の範囲となったが、モルタルフローはペーストの先走りが生じ分離した状態であった。一方、水セメント比 120%の配合 (Case2) における材齢 1 日、28 日の圧縮強度は、それぞれ 5.0N/mm²、28.5N/mm² となり、どちらも要求性能の範囲に近くなった。また、経時 25 分後を含めモルタルフローの状態は良好であったことから水セメント比は 120%とした。

(2) 材齢 28 日における圧縮強度の増進抑制検討

次に材齢 28 日の圧縮強度の増進を抑制することを目的に、シリカフュームを除き、その分を石灰石微粉末に置き換えた配合 (Case4) での検討を行った。図-3 にシリカフューム有無での圧縮強度を示す。材齢 1 日の圧縮強度に変化はなく、材齢 28 日の圧縮強度が Case2 での 28.5N/mm² から 18.0N/mm² となり、要求性能を満足させることができた。これは、シリカフュームによるポズラン反応が抑制できたことによるものと考えられる。

(3) 材齢 1 日における圧縮強度の促進検討

最後に、材齢 1 日の圧縮強度を促進することを目的に、硬化促進剤であるケイ酸ナトリウムの量をフレッシュ性状を損なわない程度に増やし、消石灰と併用した配合 (Case5) での検討を行った。図-4 に硬化促進剤増量前後の圧縮強度を示す。硬化促進剤を増量し消石灰を併用した配合 (Case5) は、圧縮強度が材齢 1 日で 8.1N/mm²、材齢 28 日では 19.7 N/mm² の結果が得られた。また、モルタルフローは練混ぜ直後で 165mm、25 分後に 160mm となり、モルタルフローおよび圧縮強度の要求性能全てを満足するモルタルの配合を選定できた。

5. まとめ

本検討の範囲では、既存のロックボルトにおける定着材の構成材料であるシリカフュームを除き、硬化促進剤としてケイ酸ナトリウムと消石灰の組合せを用いることで、本ロックボルトの施工に必要とされる作業性を確保しつつ、初期強度を高め長期強度を抑制するような強度制御を可能にすることができた。

参考文献

- 1) Kalman Kovari : Design Methods with Yielding Support in Squeezing and Swelling Rocks, Proc. of World Tunnel Congress 2009, p.10,2009.
- 2) 岡田侑子, 岩野圭太, 伊達健介, 横田泰宏, 小泉悠 : 山岳トンネルにおける変形制御型支保の適用検討と開発, 第 45 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.97-102, 2017.
- 3) 女屋ら : 戻りコンクリートを再利用したポンプ圧送用先送りモルタルに関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1251, 2000.9

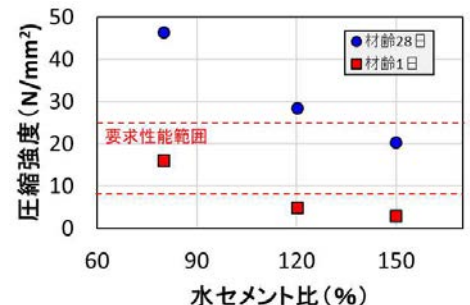


図-2 水セメント比と圧縮強度の関係

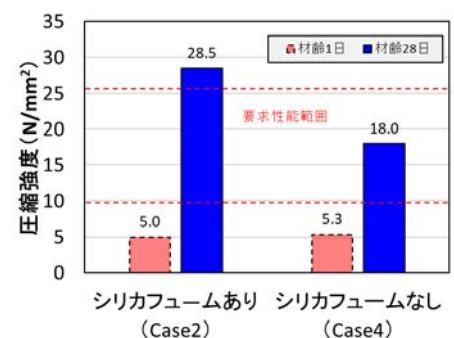


図-3 シリカフューム有無での圧縮強度

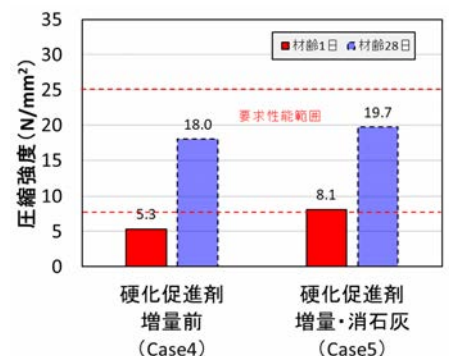


図-4 硬化促進剤増量前後の圧縮強度