耐酸性セメントを用いたロックボルト定着材の基本物性および試験施工

米倉社会インフラ技術研究所　名誉会員　米倉亜州夫
㈱奥村組　正会員○廣中哲也　正会員　倉田桂政
㈱ケー・エフ・シー　正会員　松尾　勉　田中祐介

１．はじめに

強酸性湧水や硫化水素の発生が想定される山岳トンネルでは，酸による化学的腐食におけるロックボルト定着材や吹付けコンクリートの支保機能の低下が懸念されている．セメント系材料の耐酸性を向上させるためには，セメントと水との水和反応によって生成される水酸化カルシウム量をできるだけ少なくして，酸と反応して生成される脆弱な二水石膏量を減じる必要がある．本研究では，ロックボルト定着材の強度発現性と施工性を確保した上で，セメントの半分をシリカフュームと高炉スラグ微粉末とで置換することにより，ロックボルト定着材の耐酸性が向上することを確認した．本報では，セメントの半分をシリカフュームと高炉スラグ微粉末とで置換した混合セメント（以後，耐酸性セメントと称す）を用いたロックボルト定着材（以後，耐酸性ロックボルト定着材と称す）の基本物性および試験施工について報告する．

２．耐酸性ロックボルト定着材の基本物性

表－１に使用材料および配合を示す．米倉ら[1)]が発明した混合セメント（シリカフュームの水和初期でのポゾラン反応と高炉スラグ微粉末の水和中長期での潜在水硬性による反応で，酸と反応する水酸化カルシウムを消費することに着目したセメント）を用いた．耐酸性セメントの混合率をポルトランドセメント 50%，シリカフューム 25%および高炉スラグ微粉末 25%とした．**表－２**に測定項目および目標値を示す．フロー試験，圧縮強度試験および 5%硫酸水溶液による質量変化試験を実施した．耐酸性ロックボルト定着材の品質は，フロー値および材齢 1 日圧縮強度については，NEXCO トンネル施工管理要領のロックボルト定着材の規定値[2)]，耐酸性の質量変化率については，下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアルの規格値[3)]を目標値とした．

表－１　耐酸性ロックボルト定着材の使用材料および配合

No	W/B*1) (%)	S/B*2)	単位量(kg/m³)					Ad B×(%)
			W	C	SF	BFS	S	
1	40.0	1.50	286	357	179	179	1072	0.9
2,6	40.0	1.75	267	333	167	167	1167	1.0
3	40.0	2.00	250	312	156	156	1249	1.1
4,7	42.5	1.75	278	328	164	164	1146	0.9
5,8	45.0	1.75	290	322	161	161	1127	0.8
比較用(従来品)	一般の市販品:ロックボルト用プレミックスモルタル							

【使用材料】
ｾﾒﾝﾄ(C):No.1～5_早強ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ、密度 3.14g/cm³、比表面積 4700cm²/g
No.6～8_普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ、密度 3.16g/cm³、比表面積 3270cm²/g
シリカフューム(SF)：ノルウェー産、密度 2.23g/cm³、比表面積 22.5m²/g
高炉スラグ微粉末(BFS)：密度 2.91g/cm³、比表面積 4340cm²/g
細骨材(S)　：土佐産細砂、絶乾密度 2.62g/cm³、粗粒率 2.15、吸水率 1.48%
混和剤(Ad)：粉体高性能減水剤、ｱﾘｰﾙｽﾙﾎﾝ酸系化合物

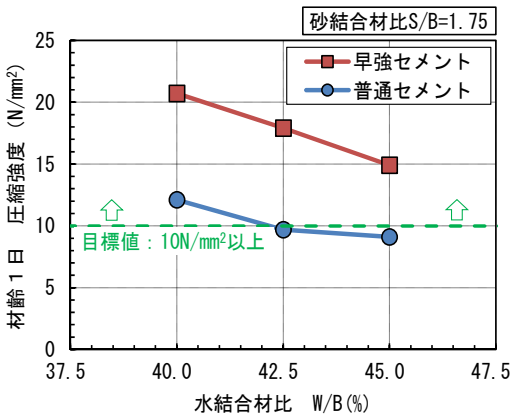
*1)B(結合材):C(セメント)＋SF(シリカフューム)＋BFS(高炉スラグ微粉末)
W/B:水結合材比、*2)S/B:砂結合材比

表－２　測定項目および目標値

項目		目標値	測定方法
フロー値[2)]		150±20mm	JIS R 5201
圧縮強度	材齢 1 日[2)]	10 N/mm²	JIS A 1108
耐酸性	質量変化率[3)]	±10%	5%硫酸水溶液 28 日間浸漬時

図－１にセメント種類･水結合材比と材齢 1 日圧縮強度を示す．材齢 1 日圧縮強度の目標値 10N/mm²以上を満足する水結合材比は，耐酸性セメントに早強ポルトランドセメントを使用した配合で 40～45%，普通ポルトランドセメントを使用した配合で 40%である．

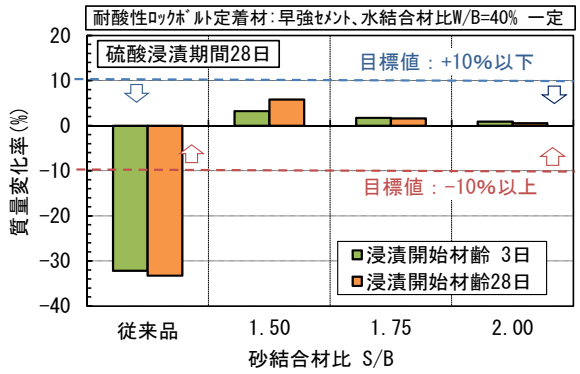
図－２に硫酸水溶液（5%濃度）による質量変化率を示す．耐酸性ロックボルト定着材の質量変化率は，従来品の 30%以上に比べて 1～5%程度とかなり小さくなり，目標値の±10%以内を満足した．また，砂結合材比の増加に伴って，耐酸性ロックボルト定着材の質量変化率は 1%程度まで減少することから，酸による腐食環



図－１　水結合材比と材齢１日圧縮強度

キーワード　耐酸性，シリカフューム，高炉スラグ微粉末，定着材，ロックボルト，質量変化率
連絡先　〒300-2612　茨城県つくば市大砂 387　㈱奥村組　技術研究所　TEL029-865-1521

© Japan Society of Civil Engineers



図－２　硫酸水溶液(5%濃度)による質量変化率

境下おけるロックボルト定着材の支保機能低下を抑制できることを確認した．

３．試験施工

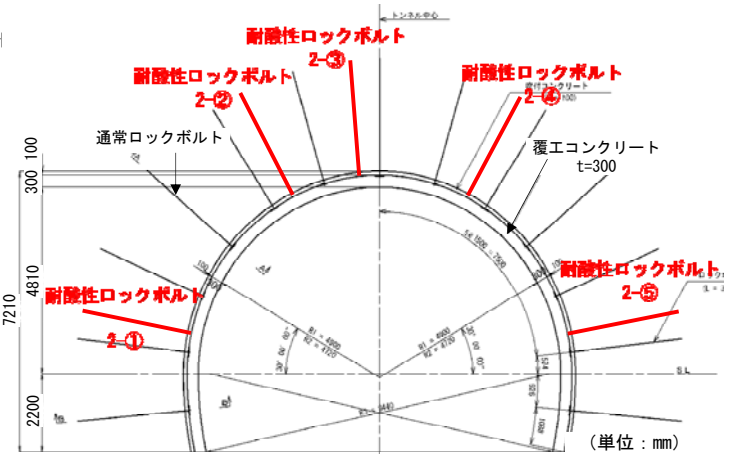
耐酸性ロックボルト定着材（**表－１**の No.4 配合）を用いて山岳トンネル工事における試験施工を行い，施工性および定着性能等の品質について確認した．**表－３**に試験施工条件および測定項目を示す．定着材のフロー試験，圧縮強度試験およびロックボルトの引抜き試験を実施した．削孔機により上半断面 1 スパン分のアーチ部に直径 45mm の長さ 3m で削孔し，連続混合式圧送装置を用いて，定着材を混練，充填した後にロックボルトを挿入した．**図－３**に示すように施工本数は，天端部 1 本，アーチ肩部 2 本，側壁部 2 本とし，施工位置は通常のロックボルトの位置からリング方向に 50cm 離して増打ち施工した．

写真－１にロックボルトの挿入状況を示す．天端部の上向き施工時においても充填後の定着材のダレ落ちやロックボルト挿入後の抜出し等の不具合はなく，通常と同等の圧送および充填施工ができることを確認した．定着材のフロー値は，圧送前後で 152mm と同じ値を示し，圧送に伴う耐酸性ロックボルト定着材の流動性の変動がほとんどないことが分かる．また，圧縮強度は，材齢 1 日で 18N/mm^2，材齢 28 日で 57.4N/mm^2 となり，材齢 1 日の規定値 10N/mm^2 以上を満足した．

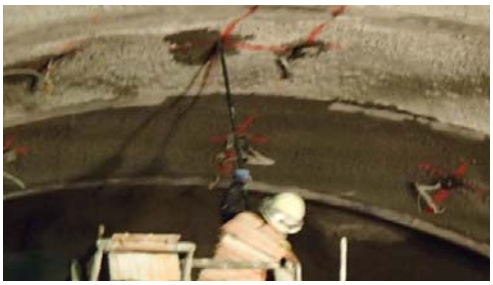
図－４にロックボルトの引抜き試験結果を示す．天端部，アーチ肩部および側壁部の 5 か所すべての施工位置において，荷重-変位曲線は，ほぼ線形の関係を示し，引抜耐力の規定値 150kN を満足しており [2]，所定の定着効果が得られた．

表－３　試験施工条件および測定項目

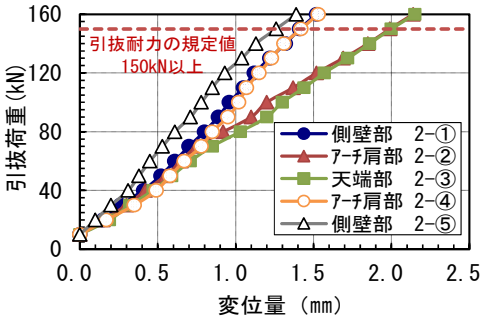
区分	項目	仕様・目標値・試験方法ほか
実験条件	定着材の配合	表－１の No.4 配合
	施工方法	定着材の充填後、ロックボルトの挿入
	施工方向と本数	天端部 1 本、アーチ肩部 2 本、側壁部 2 本
	施工位置	通常のロックボルト位置からリング方向に 50cm 程度離れた位置（図－３参照）
	削孔径と定着長	直径 45mm、長さ L=3m
	ロックボルト [2]	地山の性状・等級：ＣⅡ ねじり棒鋼：直径 24mm、長さ L=3.0m ねじ部降伏荷重 180kN
測定項目	フロー値 [2]	150±20mm、JIS R 5201
	材齢１日圧縮強度 [2]	10N/mm^2、JIS A 1108
	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ引抜耐力 [2]	施工後 3 日 150kN、JGS 3731-2005



図－３　ロックボルトの試験施工位置図



写真－１　ロックボルトの挿入状況



図－４　ロックボルトの引抜き試験結果

４．まとめ

耐酸性ロックボルト定着材の開発を目指して，基本物性試験および現場試験施工を行った．その結果，耐酸性ロックボルト定着材の材齢 1 日圧縮強度で 10N/mm^2 以上の初期強度発現性，5%硫酸水溶液の質量変化率で 1%程度の優れた耐酸性および従来と同等の施工性を確認した．耐酸性ロックボルト定着材を用いることで，強酸性湧水や硫化水素の発生が想定される酸による腐食環境下におけるロックボルト定着材の支保機能の確保が期待できる．

【参考文献】
1) 米倉亜州夫，伊藤秀敏，山本修照，「耐酸性セメント組成物及びそれを配合した耐酸性モルタル又はコンクリート」，特許第 5924612 号，2016.4
2) 東日本・中日本・西日本高速道路　編，「トンネル施工管理要領」，高速道路総合技術研究所，2015.7
3) 日本下水道事業団　編，「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」，下水道事業支援センター，2017.12

© Japan Society of Civil Engineers