

酸性岩盤における吹付けコンクリートの耐久性を考慮した試験とその評価

(独)北海道開発土木研究所* 正会員 岡崎健治
 // 正会員 伊東佳彦

1. まえがき

酸性岩盤中に建設されるトンネルでは、地山と直接接触する吹付けコンクリートに耐酸性が要求される。

現状では、耐酸性に優位で環境負荷の少ない高炉セメントに着目され、その適用性について検討が進められているが、施工性能や強度特性等に関して課題が残されている。本文では、吹付けコンクリートが初期の養生段階で硫酸酸性の影響を受けた場合の強度特性と凍結融解特性について報告する。

2. 岩盤の風化とpHの関係

北海道では、海成堆積岩類や熱水変質作用を受けた火山岩が広く分布する。これら岩石は、黄鉄鉱を多量に含む場合があり、風化の進行に伴い硫酸を生成して酸性水や有害物質の溶出¹⁾を促進する。図-1にトンネルのボーリングコアを試料とした過酸化水素水²⁾による酸化促進試験結果を示す。変質した安山岩や凝灰角礫岩はpH(H₂O)が中～アルカリ性を示すが、pH(H₂O₂)では3.0以下を示すものが存在する。また、pH(H₂O)が主に3.0～5.0を示す砂岩泥岩では、試験後に2.0～3.0に変化することが伺える。このようにpH(H₂O₂)が3.5以下を示す岩盤では、吹付けコンクリートに及ぼす長期的な劣化作用がより大きいことが推定でき、それらの対

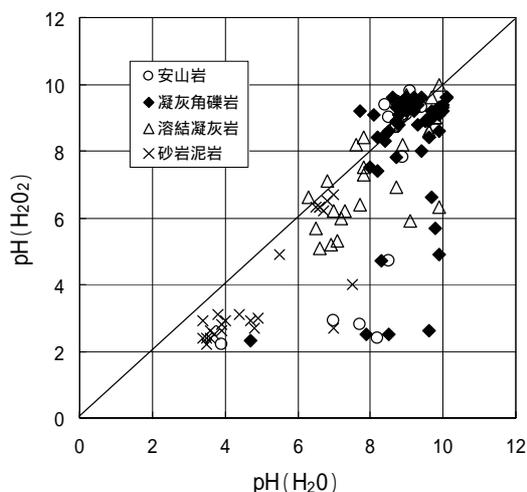


図-1 酸化促進試験の結果

策を講じる際の判定指標になると考えられる。

3. 試験概要

高炉セメントB種(以下, BB)を使用した吹付けコンクリートの特性については、一般的な配合と高強度の配合に対して、急結剤の種類と添加量の違いによる適用性を検討し、初期～長期強度や凝結特性が普通ポルトランドセメント(以下, N)を使用した場合と同等であることを鈴木ら³⁾が報告している。今回、初期養生の段階に硫酸酸性の影響を受けた場合の強度特性を検討するため、JIS原案の「コンクリートの溶液浸漬による耐薬品性試験方法(案)」を準用し、硫酸溶液への浸漬後7～28日目(浸漬は材齢7日目から開始)の重量損失率と圧縮強度を求めた。表-1にモルタル供試体の室内試験における配合を示す。また、室内試験の結果をもとに、BBを用いた3種類の配合による吹付け試験を模擬トンネルで実施し、その供試体による溶液浸漬後の試験を実施した。さらに、凍結融解試験を行い、低温に対する抵抗性を検討した。表-2に吹付け試験における配合を示す。

4. 試験結果

4.1 モルタル供試体による室内試験

溶液浸漬後の重量損失率と圧縮強度を図-2に示す。材齢28日後では、Nの重量は10%減少し、BBは2%増加した。Nの重量減少は、溶液による腐食に伴う表面剥離等が原因と考えられる。BBの増加原因は、供試体表面に発生した間隙や亀裂等への溶液浸透によると考えられる。なお、別途実施した中性化試験の結果では、溶液浸漬4週後の中性化深さは0mmを示したが、浅上ら⁴⁾の長期間、溶液に浸漬した結果では、供試体表面において、二水石膏とその内部にエトリンガイドが生成することを報告している。圧縮強度を比較した場合、水

表-1 室内試験の配合(モルタル供試体)

セメント	W/C(%)	減水剤(C×%)	急結剤(C×%)
普通ポルトランドセメント	56	0.5	7.0～10.0
高炉セメントB種			

キーワード：酸性岩盤，黄鉄鉱，吹付けコンクリート，高炉セメントB種，凍結融解試験

連絡先：* 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 TEL(011)841-1775 FAX(011)842-9173

表-2 吹付け試験の配合

配合種類	スランブ 目標±2(cm)	水セメント比 W/C(%)	単位量(kg/m ³)			混和剤(C×%)	
			C(セメント)	S(細骨材)	G(粗骨材)	減水剤	急結剤
A	18	50	400	1004	675	0.7	8.0
B	12	53	380	1012	680	0.4	8.0
C	10	56	360	1022	687	0.2	8.0
標準*	10	(50~65)	360	1086	675		(5.0~8.0)

* 道路トンネル設計施工要領・国土交通省北海道開発局

表-3 引抜き試験結果

配合種類	引抜き強度*(N/mm ²)	
	3hr後	24hr後
A	2.9	14.0
B	2.8	13.0
C	2.8	10.0
標準値*	1.5~2.0	5.0~10.0

* JSCE-G561

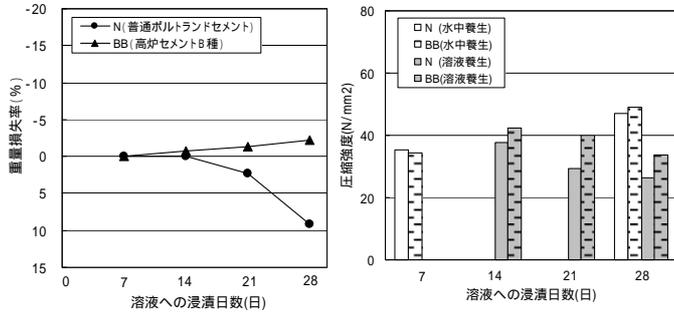


図-2 溶液浸漬後のモルタル供試体の重量損失率と圧縮強度

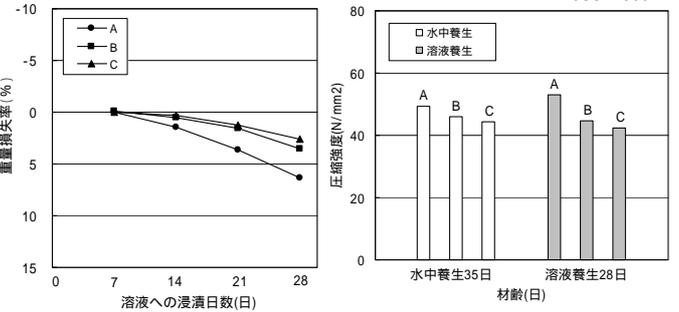


図-3 溶液浸漬後の吹付け供試体の重量損失率と圧縮強度

中養生と溶液養生では、ともに設計基準強度(18N/mm²)以上を示す。溶液養生では、浸漬日数の増加に伴う強度低下が認められるが、BBはNと比べて耐酸性のあることが確認できる。なお、これらの試験結果は、高濃度の硫酸濃度(pH1.0以下)による極端な条件での値であるが、実際のトンネル環境下でも、特に湧水箇所等においては、長期的な強度低下が十分予想されるため留意が必要と考えられる。

4.2 吹付け供試体による試験

吹付け性能としての初期強度を確認するため、引抜き試験を実施した。各配合による吹付け後の初期強度(表-3)は標準値以上であり、現場での吹付けが十分可能と判断される。また、吹付け供試体による溶液浸漬後の重量損失率と圧縮強度を図-3に示す。重量の変化は、浸漬の初期に微増するが、その後減少する。なお、重量の減少は、A,B,Cの順に大きく、単位セメント量が多く、水セメント比の小さい配合順に耐酸性が低下する。また、圧縮強度については、養生方法の違いによる差が認められず、各配合での単位セメント量に比例する結果であった。次に凍結融解試験の結果を図-4に示す。

凍結融解試験では、重量損失率と相対動弾性係数を求めた。重量損失率は20~30サイクル後に急激な増加を示した。相対動弾性係数は10~15サイクルで60%以下になり、20~30サイクルで測定不能になることから、凍結融解の抵抗性は比較的少ないと判断できる。

5. まとめ

今回の試験結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 北海道に分布する岩石には、風化が促進されること

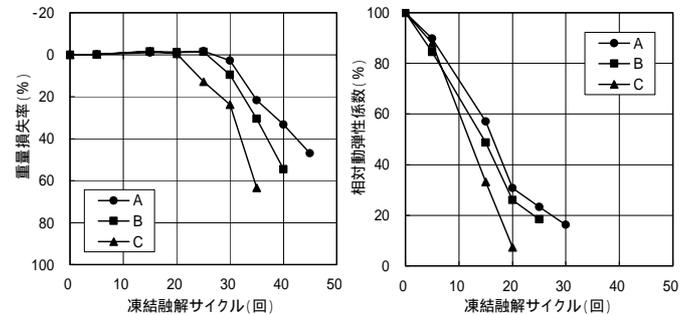


図-4 凍結融解試験による重量損失率と相対動弾性係数

により、硫酸酸性を示すものが存在する。

- 2) これらの地山で施工される吹付けコンクリートが、酸性岩盤と接触する場合、長期的な強度低下が懸念され、構造物の経年劣化が予想される。
- 3) 高炉セメントB種を用いた配合による吹付け試験の結果、現場での施工に適する初期強度が確認されたが、供試体による凍結融解試験の結果、凍結融解作用に対する抵抗性は、比較的少ないことが判明した。
- 4) そのため、低温の影響を受ける現場条件下では、特にトンネル坑口付近の施工に際して、二次覆工の早期打設や吹付け初期の養生等に留意する必要がある。

参考文献

- 1) 町屋安定・伊東佳彦：黄鉄鉱を含む岩石の風化足踏試験における酸性化と重金属類の溶出，第37回地盤工学研究発表会講演集，2002.7
- 2) 土質試験の方法と解説：地盤工学会，2003.4
- 3) 鈴木哲也・石田 積：酸性岩盤におけるトンネルライニングの耐久性向上手法の検討，トンネル技術の特別講演と技術研究発表会論文集，p122~127，2002.2
- 4) 浅上 修・岡田昌巳・五十嵐秀明・米田俊一：各種セメントの耐硫酸性に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.50，p152~157，1996