

骨材岩種と水セメント比がコンクリートの耐硫酸性に与える影響 [従来コンクリートの10倍以上の耐硫酸性をもつ材料の開発—その1]

(株)宇部三菱セメント研究所 正会員○佐々木彰, 高橋俊之, 五十嵐秀明

大成建設(株)土木技術研究所 正会員 宮原茂禎, 正会員 新藤竹文, 正会員 大脇英司
日本下水道事業団 稲毛克俊, 正会員 須賀雄一

1. はじめに

下水道施設のコンクリートは、生物反応で生成された硫酸による侵食で、早期に劣化することが知られている。著者らは、これまでにコンクリートに耐硫酸性付与剤を添加することで、コンクリートの耐硫酸性を向上させる技術を開発した¹⁾。本報告では、さらなる耐硫酸性の向上技術の検討として、耐硫酸性付与剤の添加に加え、骨材岩種ならびに水セメント比を変えたコンクリートの硫酸浸せき試験結果について報告する。

2. 試験方法

表1に使用材料を、表2に試験水準とコンクリートの配合を示す。試験水準には、従来コンクリートとして従 S-55 を、耐硫酸性付与剤を添加したコンクリートとして、水セメント比、使用骨材、単位水量などを変えた6水準を設けた。なお、従 S-55 は目標スランプ $8 \pm 2.5\text{cm}$ 、耐硫酸コンクリートは目標スランプフロー $65 \pm 5\text{cm}$ とした。耐 L-55' は施工性を考慮し、「高流動コンクリートの施工指針」の自己充てん性のランク2を目標に、耐 L-55 をもとに単位水量、粗骨材量、セメント種類および石灰石微粉末の粒度を変えた配合である。

浸せき試験用供試体は、 $10 \times 10 \times 20\text{cm}$ の角柱とし、材齢26日まで 20°C で水中養生の後、暴露面となる1側面以外を耐酸性の樹脂でコーティングした。下水管路内部のコンクリート表面の硫酸濃度は5%まで達することがあり²⁾、試験に用いた硫酸水溶液の濃度は5%と10%とした。5%は最も厳しい実環境に近い条件を、10%は促進試験を想定している。浸せき期間は、5%では、4, 8, 13, 26週間、10%では、1, 2, 4, 8, 13週間とした。耐硫酸性の指標は、硫酸浸せき後の供試体切断面の侵食・中性化深さとし、図1のように浸せき前の寸法(x)から、切断面のフェノールフタレイン溶液呈色域の長さ(y)を差し引いた値とした。

表1 使用材料

記号	材料	種類・品質
W	練混ぜ水	水道水
H	セメント	早強ポルトランドセメント (密度 3.14g/cm^3 , プレーン比表面積 $4460\text{cm}^2/\text{g}$)
N	セメント	普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm^3 , プレーン比表面積 $3290\text{cm}^2/\text{g}$)
S-Se	細骨材	海砂 (密度 2.60g/cm^3 , 粗粒率 2.73)
S-Ls		石灰石砕砂 (密度 2.63g/cm^3 , 粗粒率 3.09)
G-Ss	粗骨材	硬質砂岩碎石 (密度 2.69g/cm^3 , 粗粒率 6.68)
G-Ls		石灰石砕石 (密度 2.70g/cm^3 , 粗粒率 6.67)
Lsp1	混和材	石灰石微粉末 (密度 2.67g/cm^3 , プレーン比表面積 $6040\text{cm}^2/\text{g}$)
Lsp2		石灰石微粉末 (密度 2.67g/cm^3 , プレーン比表面積 $4190\text{cm}^2/\text{g}$)
Ad1	混和剤	AE減水剤
Ad2		耐硫酸性付与剤

※骨材の密度は表面乾燥飽水状態の場合

表2 試験水準とコンクリート配合の概要

記号	W/C (%)	骨材種類	セメント種類	混和材種類	粗骨材絶対容積 (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)				
						W	C	Lsp	Ad1	Ad2
従 S-55	55	S-Se G-Ss	N	—	0.351	160	291	—	0.725	—
耐 S-55	55	S-Se G-Ss	H	Lsp1	0.300	157	286	214	1.250	24
耐 L-55	55	S-Ls G-Ls					262	238		
耐 L-60	60						242	258		
耐 L-65	65						225	275		
耐 L-70	70									
耐 L-55'	55	S-Ls G-Ls	N	Lsp2	0.285	170	310	231	1.375	—

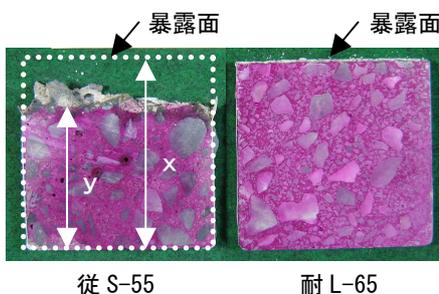


図1 試験後の供試体の一例 (浸せき期間26週, 硫酸濃度5%)

キーワード 耐硫酸性, 硫酸劣化, コンクリート, 石灰石骨材, 水セメント比

連絡先 〒755-8633 山口県宇部市大字小串字沖の山1-6 (株)宇部三菱セメント研究所 TEL0836-22-6157

3. 試験結果

図2に従 S-55, 耐 S-55, 耐 L-55 および耐 L-55'の硫酸浸せき試験結果を示す。耐硫酸性付与剤を添加することで、侵食深さが小さくなった（耐 S-55）。これは、耐硫酸性付与剤の作用により、コンクリート表面に緻密なせっこう層が生成され、硫酸の内部への浸透を抑制するためと考えている¹⁾。また、耐硫酸性付与剤の添加に加え、石灰石骨材を使用することで、さらに侵食深さが小さくなった（耐 L-55）。これは、石灰石による硫酸の中和、骨材とセメント硬化体との界面の緊密化³⁾などの効果と考えられる。

図3に水セメント比と侵食・中性化速度(浸せき期間と侵食・中性化深さを線形回帰した関係線の傾き)との関係を示す。図には従 S-55 の侵食・中性化速度の 1/10、すなわち耐硫酸性が 10 倍となる値を併記した。侵食・中性化速度は硫酸濃度で異なるが、硫酸濃度 10%では、水セメント比が 65%までは水セメント比が大きくなると侵食・中性化速度が小さくなり、70%では 65%と同等、あるいはやや大きくなる傾向が認められた。従来コンクリートでは、水セメント比が高くなるほどせっこう生成時の膨張圧が細孔で緩和されるために耐硫酸性が向上すると考えられている⁴⁾。しかし一方では、水セメント比が高いほど、細孔量が多くなるため、硫酸の浸透速度が大きくなると考えられる。これら膨張圧の緩和と浸透量の増加のバランスにより、今回の検討では水セメント比 65%で最も侵食・中性化速度が小さくなったと推察される。硫酸濃度 5%でも同様な傾向を示していると考えられるが、10%の場合ほどには顕著ではないことがわかる。以上の様に、耐硫酸性は、硫酸濃度 5%では水セメント比 55~70%において、硫酸濃度 10%では 65 から 70%において、10 倍以上となることがわかった。

表3に耐 L-55'のフレッシュ性状を示す。いずれの項目も「高流動コンクリートの施工指針」の自己充てん性のランク2を満足した。また、図2に示した耐 L-55 と耐 L-55'を比較すると、ほぼ同等の侵食深さを示しており、今回の検討の範囲で単位水量、粗骨材量、セメント種類および石灰石微粉末の粒度を変えても、耐硫酸性にほとんど影響を与えないことがわかった。

4. まとめ

本研究では、硫酸浸せき試験により、耐酸性付与剤を使用したコンクリートの耐硫酸性を検討した。耐硫酸性付与剤を用いたコンクリートでは、石灰石骨材の使用で耐硫酸性が向上し、硫酸濃度 5%では水セメント比 55~70%において、硫酸濃度 10%では 65 から 70%において、10 倍以上となることがわかった。

参考文献

- 1)小西和夫ほか、下水道施設用コンクリー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.57
 - 3) (財)下水道業務管理センター、EPA 設計マニュアル 下水道施設の臭気と腐食対策、1994.6
 - 3) (社)セメント協会、コンクリート専門委員会 F-46 石灰石骨材コンクリートに関する研究、1992.10
 - 4)蔵重勲ほか、硫酸腐食によるセメント硬化体の侵食メカニズム、セメントコンクリート論文集、No.55
- なお、本研究は日本下水道事業団、大成建設および宇部興産の共同研究成果である。

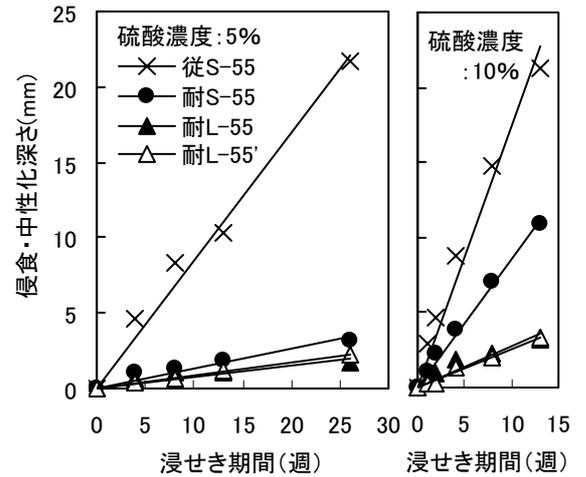


図2 硫酸浸せき試験結果

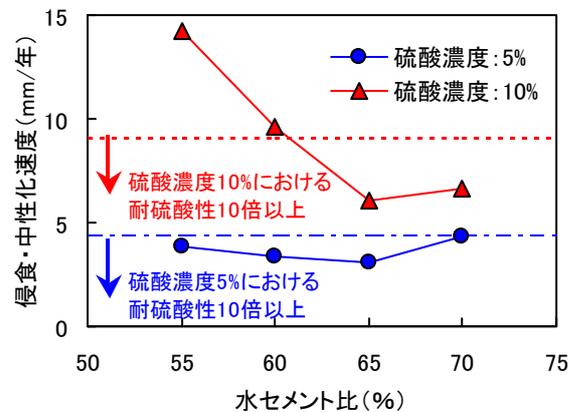


図3 水セメント比と侵食速度との関係

表3 耐 L-55' のフレッシュ性状

試験項目	試験結果	目標値 ^{※1}
スランブフロー(cm)	64.0	60~70
50cm フロー到達時間(秒)	3.4	3~15
U型充てん高さ(mm)	346 ^{※2}	300 以上 ^{※2}
空気量(%)	4.8	—
コンクリート温度(℃)	20.5	—

※1 高流動コンクリートの施工指針

※2 障害 R2