遠心成形硬化体の耐塩害性と耐硫酸性に関する基礎研究

日本ヒューム株式会社　正会員　○畑　実
東京都下水道サービス株式会社　杉本克美
東京都下水道サービス株式会社　林　悦朗
足利大学　正会員　宮澤伸吾

１．はじめに

国内の急速なインフラ整備に伴って普及した鉄筋コンクリート製の下水道管（以下ヒューム管）は，国民の良質な日常生活を長年に亘って支えてきた。しかし，近年ではヒューム管の供用年数が 50 年以上経過して老朽化が進行すると共に，50 年に満たない供用年数であっても管内に発生した硫化水素が原因で硫酸劣化が発生し，コンクリートが激しく腐食する事例が顕在化している。その結果，道路陥没事故等を引起こし，社会問題に発展している事例も散見される。このような背景から，100 年以上の耐用年数を有する高耐久性下水道管の創出が望まれており，新しい時代のニーズとして注目されている。

本研究は，産業廃棄物を活用した硬化体（Industrial By-Product Materials 以下 IBPM）によって高耐久性の下水道管を開発することを目的に，耐塩害性と耐硫酸性について研究を行ったものである。

２．IBPM の配合

IBPM の配合例を**表―１**に示す。本研究では，フライアッシュ（FA）と高炉スラグ微粉末（BFS）を中心に，下水汚泥焼却灰の粒度調整灰（SA）とシリカフューム（SF）を加えた 4 種類の産業副産物にアルカリ刺激剤として水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$：消石灰），硬化後の収縮低減材として膨張材（EX）を加えた配合によって，ポルトランドセメントを全く使用しない結合材を考案した。これに細骨材（S），粗骨材（G），高性能減水剤（Sp），および水（W）を加えて練混ぜ，IBPM を作製した。

表―１　IBPM の配合例

Gmax	SL	Air	W/B	s/a	単位量（kg/m³）									
(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	W	FA	BFS	SA	SF	$Ca(OH)_2$	EX	S	G	Sp
20	8 ± 2	2±1.5	30	41	150	200	200	20	30	20	30	678	944	4.00

３．遠心成形と蒸気養生

IBPM はフライアッシュと高炉スラグ微粉末を主材料としているため，ポゾラン反応と潜在水硬性を有している。そのため，IBPM の凝結時間は始発が 14 時間，終結が 19 時間程度で，セメントコンクリートに比べて大幅に遅延する。従って IBPM の水和反応と硬化促進を図るためには蒸気養生が有効であり，**表―２**に示す遠心成形後，**表―３**に示す蒸気養生を行うことで，材齢 1 日の圧縮強度は 30N/mm² 以上が得られた。

表―２　遠心成形の加速度と成形時間

成形順序	第１段階	第２段階	第３段階
加速度	5G	15G	35G
成形時間	1分	1分	7分

表―３　蒸気養生条件

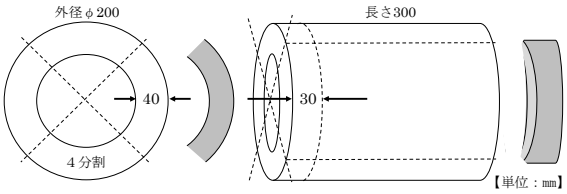
前置時間(h)	6.0
上昇温度(℃/h)	20.0
最高温度(℃)と保持時間(h)	65.0×4.0

４．耐塩害性（塩分浸透深さ）

遠心成形により円筒形の遠心供試体（直径φ200mm×長さ 300mm）を作製し，**図―１**に示す扇状の試験片を採取して 10%濃度の塩化ナトリウム水溶液中に 6 ヶ月間浸漬後，硝酸銀溶液を噴霧して発色法で塩分浸透深さを測定した。**表―４**と**表―５**より，IBPM の W/B を高炉セメント B 種（BB）やフライアッシュセメント

キーワード：フライアッシュ，高炉スラグ微粉末，粒度調整灰，耐塩害性，耐硫酸性，下水道管
連絡先：〒360-0161 埼玉県熊谷市万吉 3300 日本ヒューム株式会社 TEL:048-536-5431 FAX:048-536-6609

© Japan Society of Civil Engineers



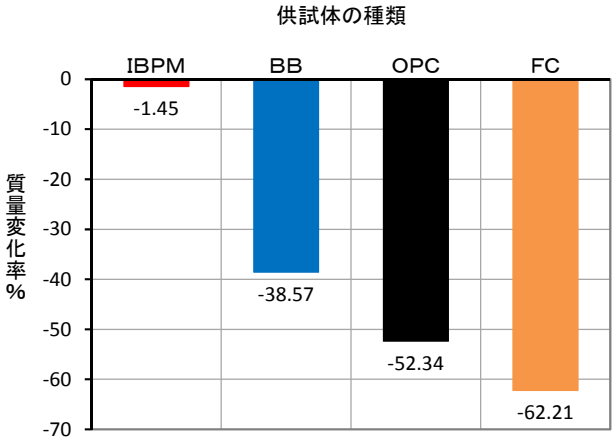
図―１　遠心供試体からの試験片採取

表―４　各種供試体の配合

種類	W/B (%)	単位量 (kg/m^3)				
		W	B	S	G	Sp
IBPM	30	150	500	678	944	4.00
BB	30	140	470	728	1044	4.70
FC	30	140	470	718	1052	4.70

表―５　材齢 28 日の圧縮強度と塩分浸透深さ

種類	材齢28日の圧縮強度 (N/mm^2)	塩分浸透深さ (mm)
IBPM	42.2	2.7
BB	68.8	2.2
FC	65.3	1.8



図―２　112 日間硫酸浸漬後の質量変化率

IBPM　OPC　BB　FC

写真―１　供試体の外観性状

C 種（FC）などのセメントコンクリートと統一した配合では，IBPM の圧縮強度が小さいことから，セメントコンクリートよりも活性度指数がやや小さいことが窺える。次に，各種供試体の圧縮強度（材齢 28 日）と 6 ヶ月間浸漬した塩分浸透深さの結果から，IBPM の塩分浸透深さは他よりも僅かに大きいが，その差は僅少である。 また，圧縮強度が増進して緻密化が進行すると塩分浸透が停滞し，塩化物イオンの拡散係数が低下することは公知である[1)]。このことを踏まえると，IBPM の W/B を調整して圧縮強度を 65N/mm^2 以上に高めれば， 塩分浸透深さも BB や FC と同等レベルの値が得られる可能性があるものと推察する。なお，浸漬が 1 年を経過した時点で塩化物イオンの浸透深さについて精査する予定である。

５．耐硫酸性

遠心成形によって作製した円筒形の IBPM（直径φ200×長さ 300mm） をカットしてリング状の供試体とし，5%濃度の硫酸水溶液中に 112 日間浸漬させた。その比較対象として，普通セメント（OPC）， 高炉セメント B 種（BB），フライアッシュセメント C 種（FC）を用いたセメントコンクリート製供試体を遠心成形で作製し，IBPM と並行して硫酸浸漬試験を実施した。硫酸浸漬終了後における各供試体の質量変化率を**図―２**に，外観性状を**写真―１**に示すように，IBPM 以外の供試体では浸漬後の早い段階でセメントペースが溶質し，その後，骨材が露出，剥脱して激しい硫酸劣化が発生し，質量変化率が増大している。これに対して IBPM の質量変化率は僅か-1.45%に留まっていることから，IBPM の優れた耐硫酸性を確認した。

６．まとめ

①IBPM の圧縮強度が BB や FC などの混合セメントと同等であれば，塩分浸透深さも同等レベルにある可能性があるものと推察する。

②IBPM の耐硫酸性を評価した結果，質量減少率は非常に小さく，腐食は僅かで，外観性状が良好であったことから，優れた耐硫酸性を有していることを確認した。

参考文献

1)　田中良樹，藤田学，河野広隆，渡辺博志：高強度コンクリートの塩分浸透抵抗，コンクリート工学年次論文集，Vol.23,No.2，pp.517-522，(2001)

© Japan Society of Civil Engineers