

産業副産物起源の硬化体による強度発現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

日本ヒューム株式会社

正会員

○井川秀樹

1. はじめに

国内のインフラは 1960 年代以降の高度成長期に急速な整備が行われ、その後 50 年以上が経過した現在では多くの構造物が老朽化の時期を迎えている。そのため、大規模な補修工事が頻繁に行われるようになっていいる。また、プレキャスト製品化による急速施工への転換や、維持補修とその費用の削減が必須であると共に、熟練技術者不足が深刻さを増している。その結果、100 年以上の耐久性を有する高耐久性プレキャスト製品へのニーズが高まり、高耐久性をキーワードとする新技術・新製品の創出が期待されるようになった。

著者らは、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）を加えて、ポルトランドセメントを全く使用してい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、硬化体（Industrial By-Product Materials 以降 IBPM）を作製した¹⁾。

2. IBPM の配合

IBPM の配合例を表―1 に示す。FA と BFS の混合比を 4 対 6 とし、初期強度の発現性に主眼を置いた。

表―1 IBPM の配合例

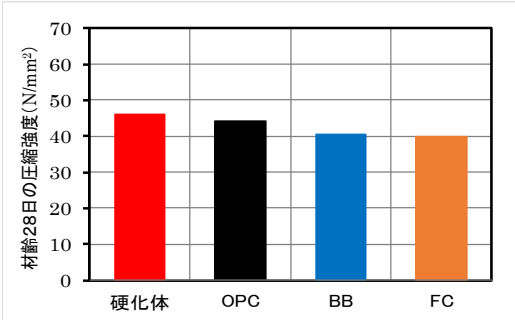
Gmax (mm)	SL (cm)	Air (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)									
					W	FA	BFS	SA	SF	Ca(OH) ₂	EX	S	G	Sp
20	8±2	2±1.5	30	41	150	160	240	20	30	20	30	678	944	4.00

3. モルタルの圧縮強度

IBPM の圧縮強度を確認するため、表―2 に示す普通セメント（OPC）、高炉セメント B 種（BB）、フライアッシュセメント C 種（FC）による 4 種類の配合のモルタル供試体（粗骨材 G を除く）を作製して比較した。図―1 に材齢 28 日の圧縮強度を示すように、水結合材比（W/B）が異なる 4 種類のモルタル供試体は概ね同等レベルの圧縮強度を示している。しかし、ここで着目するのは IBPM の W/B（30%）であり、他の配合よりも単位水量（W）が少なく、結合材量（B）が多い配合であることから、IBPM の活性度指数は一般的なセメントモルタルよりも低いものと考えられる。

表―2 モルタルの配合

種別	W/B (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	B	S	G	Sp
IBPM	30	150	500	678	944	4.00
OPC	50	175	350	746	1094	2.80
BB	46	175	380	730	1071	3.04
FC	46	175	380	726	1065	3.04



図―1 材齢 28 日の圧縮強度

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、圧縮強度、高強度化、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

4. 高強度化の検討

表—3に示す配合のモルタルを用いて、直径φ50×高さ100mmのモルタル供試体を作製し、表—4の蒸気養生後に気中養生（気温20℃、湿度60%）を材齢28日まで行った。図—2は、IBPMのB/Wと材齢28日の圧縮強度を示したものである。単位水量が最も少ない配合W/B24%（B/W4.17）で得られた圧縮強度は65N/mm²に相当する値であったが、高強度のプレキャスト製品を視野に入れた場合には更なる強度アップが必須であると判断した。

前述の結果から、IBPMの高強度化を図る目的で表—5に示す配合を使って幾つかの検討を行った。その内容は、単位結合材量を600kg/m³まで増量する。W/Bを20%前後の低い値に設定する。高性能減水剤を増量する。練混ぜ時間を10分以上確保するなどである。この時の練混ぜ状態は、30秒間各種材料を空練りしてから水と高性能減水剤を投入した。練混ぜ時間が8分程度で材料が小さなダマ状になって湿気を帯び始め、練混ぜ時間が10分以上になるとモルタル性状が急激に変化して流動性が表れた。IBPMをプレキャスト製品に適用する場合にはこの段階で粗骨材を投入して、更に2分間程度練混ぜれば、打込みや締固めが可能なワーカビリティが得られる。

試験結果をB/Wと圧縮強度Ⅱとして図—3に示すように、少ない単位水量でもIBPMの流動性が大幅に改善されたため、材齢28日で85N/mm²以上の高強度を得ることが出来た。これは、前述した幾つかの検討によって結合材粒子の分散性が向上するなど、複合的な作用が影響したものと推察される。

5. まとめ

- ①IBPMはセメントコンクリートに比べて活性度指数が低いものと考えられるため、IBPMとセメントコンクリートの諸性状を比較する場合には、W/Bを統一することは妥当ではないことが分かった。
- ②セメントコンクリート（W/B50%）と同等レベルの圧縮強度（材齢28日で45N/mm²程度）を得るためには、IBPMのW/Bを30%程度とする必要がある。
- ③IBPMの単位結合材量を500kg/m³とし、W/B24%のモルタル供試体で得られた圧縮強度（材齢28日）は65N/mm²に相当するものであった。
- ④IBPMの高強度化に向けて幾つかの検討を行った結果、少ない単位水量でもモルタルを先行して練混ぜることによって流動性が大幅に改善し、W/B19%で85N/mm²程度の圧縮強度（材齢28日）が得られた。

参考文献

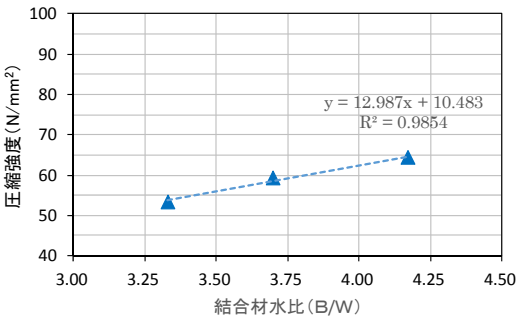
1) 畑実, 杉本克美, 林悦朗, 井川秀樹: 遠心成形を利用した耐酸性に優れた硬化体に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp1917-1922, (2018)

表—3 IBPMのモルタル配合Ⅰ

配合No	単位量(kg/m ³)		W/B (%)	B/W	Sp (%)
	W	B			
1	120	500	24	4.17	1.10
2	135		27	3.70	1.00
3	150		30	3.33	0.90

表—4 蒸気養生条件

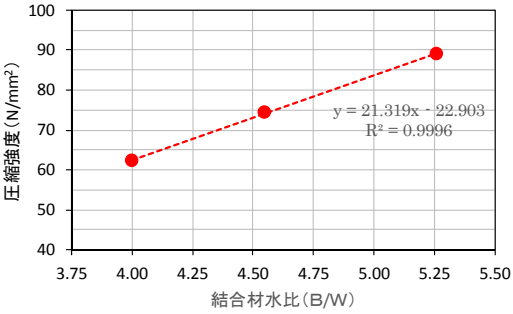
前置時間(h)	6.0
上昇温度(℃/h)	20.0
最高温度(℃)と保持時間(h)	65.0×4.0



図—2 結合材水比（B/W）と圧縮強度の関係Ⅰ

表—5 IBPMのモルタル配合Ⅱ

配合No	単位量(kg/m ³)		W/B (%)	B/W	Sp (%)
	W	B			
1	114	600	19	5.26	1.70
2	132		22	4.55	1.40
3	150		25	4.00	1.10



図—3 結合材水比（B/W）と圧縮強度の関係Ⅱ