

論文

[1055] 石灰石石粉を混入したコンクリートの基礎特性

横内静二*1・福留和人*2・坂本 守*3・喜多達夫*4

1. まえがき

近年、コンクリート工事の省力化、合理化を図るために、超流動コンクリートの実構造物への適用事例が増大してきており、この中で材料分離抵抗性の改善、発熱量の低減などの目的から石灰石石粉（以下、石粉と記す）の利用も活発化している[1]。しかし、超流動コンクリートに石粉を用いる場合の基本的な考え方、言い換えれば、対象とする構造物の設計基準強度や断熱温度上昇量に対する配合設計上の石粉の取扱いについては明確にはなっていない。

以上の様な観点から、本研究では石粉を用いた超流動コンクリートの配合設計を行うための基礎資料を得る目的で、石粉を用いた超流動コンクリートおよび水セメント比（以下、W/Cと記す）の等しい普通コンクリートに対して実験的に検討を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料

本実験の使用材料を表-1に示す。

表-1 使用材料

材料	種類	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	比重:3.16 比表面積:3370cm ² /g
石粉	石灰石石粉	比重:2.67 比表面積:2100cm ² /g
細骨材	大井川産川砂	比重:2.63 吸水率:1.54% 粗粒率:2.85
粗骨材	秩父産碎石	比重:2.71 吸水率:0.60% 粗粒率:6.74
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体
	増粘剤	セルロース系
水	水道水	茨城県つくば市

表-2 要求性能

2.2 コンクリートの配合および練りませ方法

本実験におけるフレッシュコンクリートの試験項目および要求品質を表-2に示す。充填性試験[2]は図-1に示すL型ボックスを用い、開口部に障害物として50mm間隔で鉄筋を鉛直方向に設置したA側（鉛直

項目	超流動コンクリート	普通コンクリート
スランプフロー	60 ± 5 cm	
スランプ		NO. 2' : 18 ± 2.5cm NO. 3' : 12 ± 2.5cm NO. 4' : 8 ± 1.5cm
空気量	4 ± 1 %	4 ± 1 %
コンクリート温度	20 ± 2 °C	20 ± 2 °C
充填性試験	全通(L型ボックス)	

*1 ハザマ技術研究所 研究第2部第2研究室 研究員（正会員）
 *2 ハザマ東京支店 有明作業所（正会員）
 *3 ハザマ技術本部 エンジニアリング第1部 工修（正会員）
 *4 ハザマ技術研究所 研究第2部第2研究室 室長 工修（正会員）

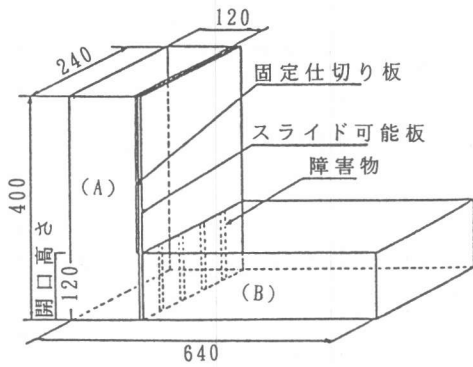
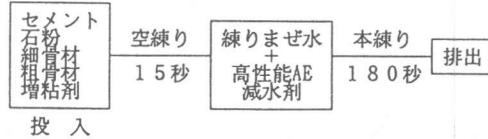


図-1 L型ボックス試験装置



注) 高性能AE減水剤は、練りませ水に溶かして投入した。

図-2 練りませ方法

表-3 コンクリートの配合

コンクリートの種類	番号	W/C (%)	C/W	s/a (%)	LS/(C+LS)* (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能AE減水剤 (kg/m ³)	増粘剤 (g/m ³)
						W	C	LS	S	G		
超流動コンクリート	NO.1	29.1	3.44	50.7	0	168	577	0	814	816	14.43	20
	NO.2	41.6	2.41		30		404	146			9.90	
	NO.3	58.1	1.72		50		289	244			9.06	
	NO.4	72.7	1.38		60		231	293			8.91	
普通コンクリート	NO.2'	41.6	2.41	50.7	0	168	404	0	936	938	4.44	-
	NO.3'	58.1	1.72		289		0	2.89				
	NO.4'	72.7	1.38		231		0	960			962	

注) ・表中 # は、容積比で記す。
・表中 LS は、石粉を表す。

側)に投入したコンクリートが閉塞せずにB側(水平部)に流動し、A側とB側の高さが等しくなる場合を全通とした。

コンクリートの配合を表-3に示す。超流動コンクリートは、基本配合(NO.1)に対し石粉をセメントの内割置換(容積比)で用い、高性能AE減水剤の調整を行うことにより要求品質を満足する配合を決定した。一方、比較に用いた普通コンクリートは、石粉の影響を取り除く意味で超流動コンクリートから石粉を除いた配合すなわち単位水量、単位セメント量およびs/aを等しくした配合とした。

2.3 試験項目および試験方法

本実験の試験項目および方法を表-4に示す。

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	備考
ブリージング試験	JISA 1123 に準拠	
凝結試験	JISA 6204 に準拠	
断熱温度上昇試験	空気循環式試験機により実施	
圧縮強度試験	JISA 1108 に準拠	材令1, 3, 7, 28日

3. 試験結果および考察

3.1 プリージング特性

石粉置換率およびW/Cとプリージング率の関係を図-3に示す。同量の増粘剤を添加した超流動コンクリートの石粉置換率とプリージング率の関係は、石粉置換率が0および30%では、プリージングは認められないが、置換率の大きい50および60%では、若干のプリージングが認められた。

また、超流動コンクリートのプリージング率は、W/Cが等しい普通コンクリートに比べて小さく、W/Cが大きくなるとその傾向が顕著に現れている。これは、増粘剤を使用していることに加えて、石粉を多量に添加することにより、コンクリート中の微粒子が多くなり水の保水性が高くなることによると考えられる[3]。

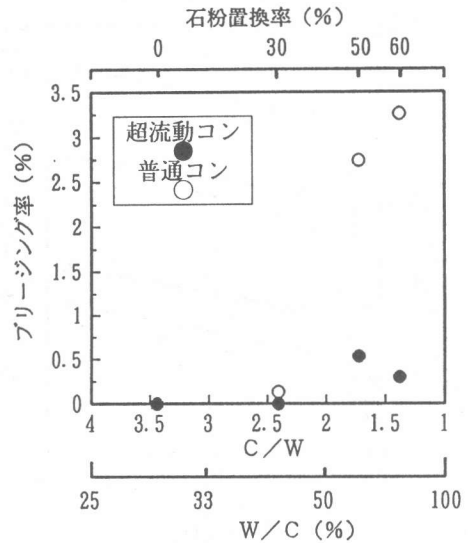


図-3 W/Cとプリージング率の関係

3.2 凝結特性

凝結試験結果を図-4に示す。石粉を用いた超流動コンクリートの始発時間は、W/Cが等しい普通コンクリートと比較して2~3時間程度遅くなる傾向が認められた。これは、高性能A/E減水剤の使用量が普通コンクリートに比べ多いことに起因していると判断される[4]。しかし、始発から終結までの時間は普通コンクリートと同等であった。また、超流動コンクリートの凝結特性における石粉置換率の影響は認められなかった。

3.3 強度特性

材令ともなう圧縮強度の変化を図-5に示す。石粉を用いた超流動コンクリートの圧縮強度はW/Cが等しい普通コンクリートと比較して初期材令の強度は大きい、材令28日では同等となった。

W/Cおよび石粉置換率と圧縮強度の関係を図-6に示す。石粉を用いた超流動コンクリートの材令28日強度は、いずれのW/Cに対しても普通コンクリートと同等であり、石粉が材令28日強度に及ぼす影響は少なく、石粉を用いた超流動コンクリートの材令28日強度はコンクリート中のW/Cに依存していると考えられる。このことから、材令28日強度により超流動コンクリートの配合設計を行う場合には、超流動コンクリートの基本配合に対し、要求強度に必要な単位セメント量を通常のコンクリートの σ -C/W関係より求め、残りの必要な粉体を石粉で補うことにより要求強度に応じた超流動コンクリートの配合

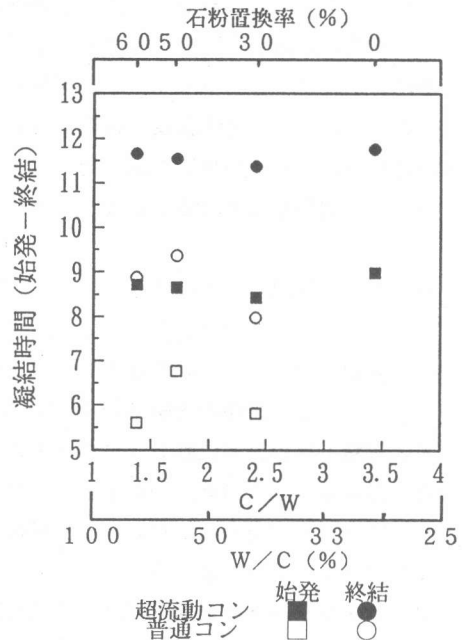


図-4 W/Cと凝結時間の関係

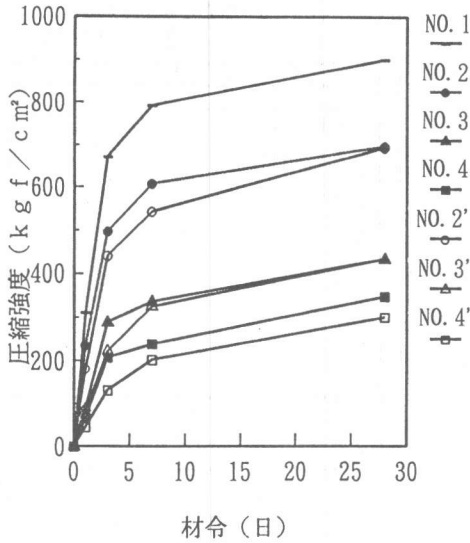


図-5 材令と圧縮強度の関係

が選定できると考えられる。一方、初期材令においては石粉を用いることによる強度の増加が見られるために普通コンクリートの $\sigma-C/W$ 関係とは異なる。このことから、要求強度が初期材令で与えられている場合には石粉を用いた超流動コンクリートの $\sigma-C/W$ 関係を求めておく必要がある。

3.4 断熱温度上昇特性

W/C が等しい普通コンクリートおよび石粉を用いた超流動コンクリートの断熱温度上昇特性を図-7に示す。なお、図中の実線は後に示す回帰曲線である。石粉を用いた超流動コンクリートの終局断熱温度上昇量は W/C の等しい普通コンクリートと比較して顕著な差は認められないが、前者の方が僅かに高くなる傾向を示している。

単位セメント量と終局断熱温度上昇量の関係を図-8に示す。石粉を用いた超流動コンクリートの終局断熱温度上昇量は単位セメント量が等しい普通コンクリートと比較して顕著な差は認められず、石粉を用いた超流動コンクリートの終局断熱温度上昇量も単位セメント量に依存していると言える。言い換えれば、石粉置換率を増大させることにより終局断熱温度上昇量の低い超流動コンクリートが製造可能となる。

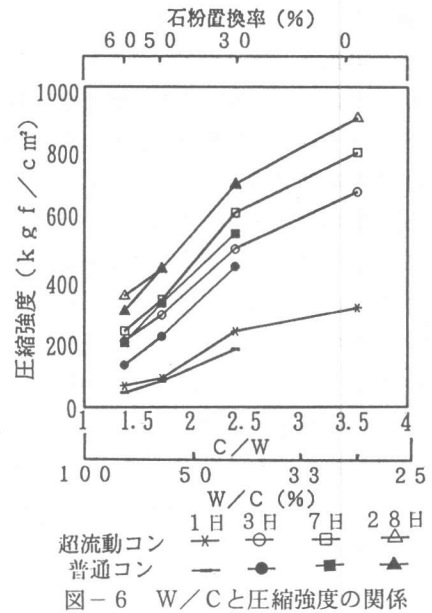


図-6 W/C と圧縮強度の関係

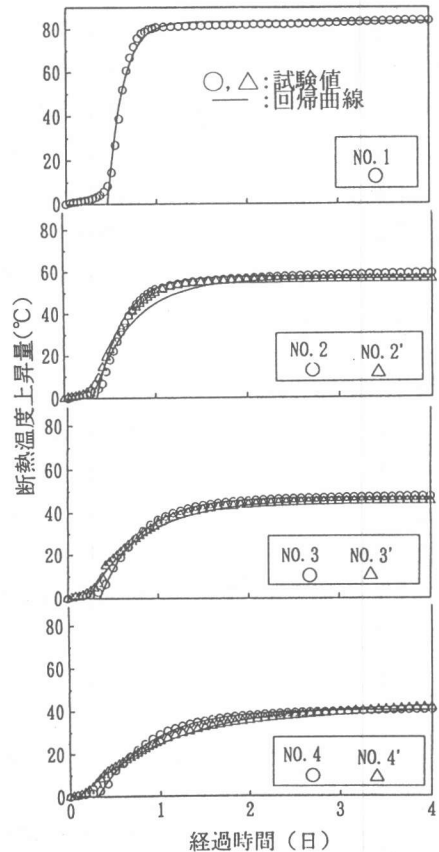


図-7 経過時間と断熱温度上昇量の関係

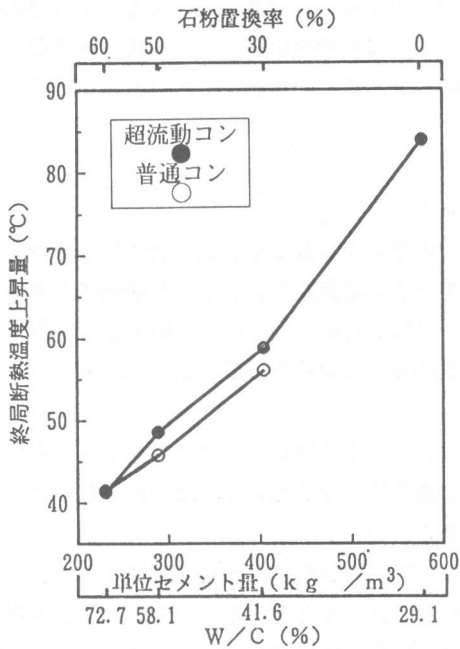


図-8 単位セメント量と最終断熱温度上昇量の関係

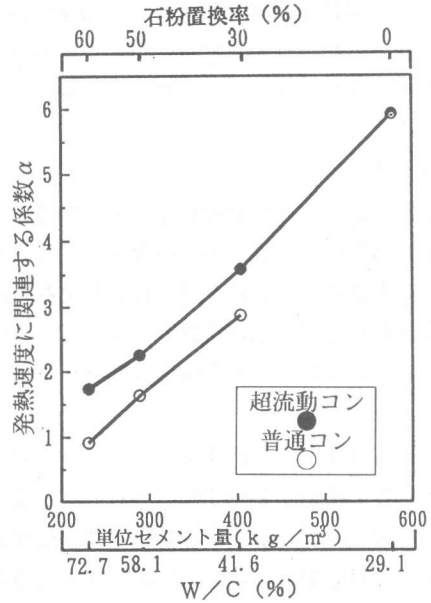


図-9 単位セメント量と発熱速度に関連する係数 alpha の関係

超流動コンクリートの断熱温度上昇曲線は、温度の立ち上がりに遅れが見られるので、これを考慮した式(1)[5]を用い、最小2乗法による回帰計算から実験定数を求めた。単位セメント量と発熱速度に関連する係数 α および断熱温度上昇遅れ時間 t_0 の関係を図-9 および10に示す。

$$T = K (1 - \exp(-\alpha(t - t_0))) \dots \dots (1)$$

ここに、 T : 断熱温度上昇量 (°C)
 t : 材令 (日)

K, α, t_0 : 実験定数

石粉を用いた超流動コンクリートは、 W/C が等しい普通コンクリートと比較して断熱温度上昇量の顕著な差は見られないが、発熱速度に関連する係数 α は同一セメント量であるにも拘らず超流動コンクリートの方が大きくなる傾向を示している。一方、断熱温度上

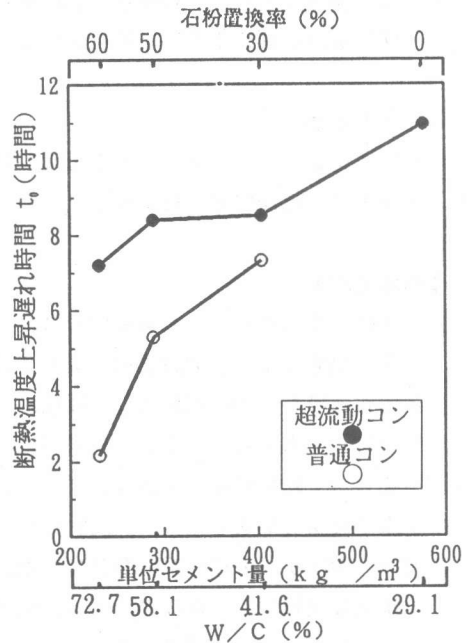


図-10 単位セメント量と断熱温度上昇遅れ時間の関係

昇遅れ時間は、普通コンクリートおよび超流動コンクリートとも高性能 A E 減水剤の使用量の増大に伴い大きくなっている。言い換えれば、本実験のように石粉を用いることにより高性能 A E 減水剤を減少できれば、断熱温度上昇遅れ時間を小さくすることが可能になると考えられる。

4. まとめ

本研究により得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 超流動コンクリートのセメントの一部を石粉で置換した場合にも、高性能 A E 減水剤量を調整することにより、優れた流動性と充填性を有する超流動コンクリートを製造できる。
- (2) 石粉を用いた超流動コンクリートのブリージングは、極めて小さい。しかし、石粉置換率が 50 および 60 % ではブリージングが若干認められるが 0 および 30 % では認められない。
- (3) 石粉を用いた超流動コンクリートの凝結時間は、W/C の等しい普通コンクリートと比較して始発が 2 ~ 3 時間遅れるが、始発から終結までに要する時間の差は認められない。一方、石粉置換率が凝結時間に及ぼす影響は認められない。
- (4) 石粉を用いた超流動コンクリートの圧縮強度は、W/C が等しい普通コンクリートと比較して初期材令では大きくなるものの、材令 28 日では同等となることから、材令 28 日の強度により超流動コンクリートの配合設計を行う場合には、超流動コンクリートの基本配合に対し必要なセメント量を通常のコンクリートの $\sigma - C/W$ 関係より求め、残りの必要な粉体を石粉で補うことにより、要求強度に応じた超流動コンクリートの配合を選定できると考えられる。
- (5) 石粉を用いた超流動コンクリートの断熱温度上昇量は W/C の等しい普通コンクリートとほぼ同等であり、石粉の使用量に拘らず単位セメント量に支配されていることから、石粉使用量の影響は小さいと考えられる。

5. あとがき

今回は、フレッシュコンクリートおよび材令 28 日までの強度試験結果について報告した。現在、長期強度、乾燥収縮、耐久性などについても検討中であり、別の機会に報告する予定である。

【参考文献】

- 1) 例えば、金沢克義ほか：橋梁用マスコンクリートにおける二成分系低発熱型高流動コンクリートの開発 (1)、本四技報 第 62 号、pp. 23-34, 1992. 4
- 2) 福留和人ほか：増粘剤および高性能減水剤を用いた高流動コンクリートの材料分離抵抗性について、土木学会第 45 回年次学術講演会講演概要集, No. 5, pp. 210-211, 1990
- 3) 山崎寛司：鉱物質微粉末がコンクリートのウォーカビリチーにおよぼす効果に関する基礎研究、土木学会論文集第 84 号、pp. 98-118, 1963
- 4) 渡部 聡ほか：二成分系低発熱型高流動コンクリートの基礎物性について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 1, pp. 57-62, 1992
- 5) 宮野一也ほか：高強度コンクリートの断熱温度上昇追従強度に関する研究、土木学会第 46 回年次学術講演会講演概要集, No. 5, pp. 178-179, 1991