

# 高流動コンクリートへの石灰石粉の利用に関する研究

## STUDY ON APPLICATION OF LIME STONE POWDER TO HIGHLY FLOWING CONCRETE

横須賀誠一\* · 渡部 嗣道\*\* · 岡本 嘉行\*\*\*

by Seiichi YOKOSUKA, Tsugumichi WATANABE and Yoshiyuki OKAMOTO

### 1. はじめに

高流動コンクリートは、通常用いるコンクリートに比べて流動性、材料分離抵抗性、充填性などが優れており、打設作業の省力化・効率化など施工性の向上が可能となる。また、コンクリートの打設が困難な鉄筋の錯綜箇所や狭隘な箇所には極めて適している。このため、数年前に本格的な研究開発が始められてから<sup>1)</sup>、多くの関心を集め、多種多様な高流動コンクリートが開発され、試行建設を経て現在では実用化にまで至ってきている。

高流動コンクリートに用いられる材料は、様々なものがあるが、中でも結合材については、流動性に対応する材料分離抵抗性を得るため、通常のコンクリートに比べてセメント量を増大させたり、高炉スラグ微粉末・フライアッシュ・シリカフュームなどの混和材を用いたりして、粉体量の増大を伴うことが多い。このような高流動コンクリートでは、高耐久性を要求される用途には適しているが、一般的な構造物では水結合材比が低くなるため、構造設計上必要な強度を超えて過大に高強度化される傾向にあり、経済的側面からは不利となる一因になっている。また、経済性を考慮して、高流動コンクリートを構造物の充填しにくい部分に限定して適用すると、他の部分とに大きな強度差を生じることになるが、この強度上の不均衡が、構造物全体の構造耐力に及ぼす影響については必ずしも明確にはなっていない。さらに、構造物によっては、過大なセメント量をもたらす水和熱増大による弊害が生じたりすることも懸念される。

このような背景を踏まえて、所要強度は確保しつつも大幅に強度増大することは極力抑え、流動性や耐久性などの品質が良好で、できるだけ低廉な高流動コンクリートも望まれている。一つの方策としては、高炉スラグ微粉末・フライアッシュ・シリカフュームなどのような潜在水硬性を有する粉体の代りに、非水硬性である石灰石粉を利用することが考えられる。石灰石粉は、入手容易でかつ安価な材料であり、上記目的のような高流動コンクリートの原材料として適したものと考えられる。

本報は、石灰石粉を用いた高流動コンクリートの施工事例をいくつか挙げて、石灰石粉の使用目的・種類、割合などを紹介し、さらに一例として、筆者らの行った石灰石粉を用いた高流動コンクリートの実験結果から、フレッシュ性状、力学的性質、乾燥収縮、耐久性、施工性などの特性について述べたものである。

### 2. 石灰石粉使用の現状

#### 2.1 石灰石粉の使用目的

石灰石粉を用いた高流動コンクリートの施工事例は、既往の文献<sup>2)~7)</sup>からみても少なくはない。これらの事例について、構造物の種類・適用部位および石灰石粉の使用目的を一覧表にまとめると表-1のようになる。

表-1に示す構造物の種類・部位は多岐にわたっているが、いずれの事例も、通常のコンクリートでは所要の品質を得るのに施工が困難な箇所であったことが、高流動コンクリート採用の大きな理由となっている。高流動コンクリートに石灰石粉を用いた理由は、文献に明記されていないものもあるが、目的にも述べたように、水和熱の低減、過大な強度増大の抑制、コストアップの低減、安定した材料供給などが挙げられている。

#### 2.2 石灰石粉の種類とコンクリートの調査

表-1に示す施工事例において、用いられた石灰石粉の品質およびそれを用いた高流動コンクリートの調査を表-2に示す。

石灰石粉の比重は、2.70~2.73でほとんど変わらないが、比表面積(ブレン値)は3000~7500cm<sup>2</sup>/gの範囲のものが使用されている。中には、JIS A 5008(舗装用石灰石粉)の適合品を使用しているケースもある。

石灰石粉を用いた高流動コンクリートでは、二成分または三成分系セメントを除き、フライアッシュや高炉スラグ微粉末など他の粉体は併用されていない。ただし、スランプフローなどの品質変動をできるだけ抑制し安定させることをはかり、分離低減剤(増粘剤)を併用する場合がみられる。

設計基準強度は、高強度部材(事例E)を除き210~300kgf/cm<sup>2</sup>の範囲であった。水セメント比はいずれも50%台であり、設計基準強度や通常の耐久性の確保には十分な値である。

石灰石粉の単位量は、単位セメント量の多い事例Eを除き、150~250kg/m<sup>3</sup>の範囲にあり、セメントと石灰石

\* (株)フジタ 技術研究所 材料研究部 主席研究員  
(〒224 横浜市都筑区大榎町74)

\*\* 同 主任

\*\*\* 中国生コンクリート(株) 取締役社長  
(〒734 広島市南区出島1-1-26)

粉を粉体としたときの水粉体比は、30～35%程度の範囲にあった。

粗骨材の最大寸法は、構造物の種類や部材断面の大小により充填性を考慮して、40, 20, 15mmがそれぞれ使

分けられている。

細骨材率あるいは粗骨材かさ容積は、粗骨材の最大寸法と同様、構造物の種類や部材断面の大小に応じて、充填性を考慮して調整されていることがうかがえる。

表-1 石灰石粉を用いた高流動コンクリートの施工事例

事例	構造物の種類・部位	石灰石粉の使用目的	特徴	参考文献
A	吊橋アンカレイジ	・温度ひび割れ防止対策(水和熱低減) ・経済的で大量に安定供給可能 ・材料分離抑制	・二または三成分系セメント使用 ・粗骨材の最大寸法: 40mm ・大量打設	2), 3)
B	R C壁式建築物: 壁	—	・壁厚: 21cm	4)
C	S R C造建築物: 柱・壁・梁	—	・アクリル系増粘剤併用 ・乾燥収縮低減剤, 膨張材併用 ・階高: 6m	5)
D	鋼殻ケーソン内部, 沈埋箇最終継手部: 上床版	・高密度配筋で充填困難 ・作業員の移動困難 ・型枠で閉鎖され, 締固め作業不可	・ポリサッカライド系増粘剤併用	6)
E	薄肉高強度PC工場製品	・コストアップの低減	・天然多糖類ポリマー増粘剤併用	7)
F	中空プレキャスト壁部材への充填コンクリート	・コストアップの低減 ・強度増大の抑制	・狭小断面への充填	9)

表-2 石灰石粉の品質と高流動コンクリートの調査

事例	石灰石粉の品質			設計基準強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	セメントの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	水粉体比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					高性能* AE減水剤	
	比重	ブレン値 (cm <sup>2</sup> /g)	収縮 (%)									水	セメント	石灰石粉	細骨材	粗骨材		増粘剤
A	2.71	7500	99.0	240	45~60	4.0	二成分系	40	55.8	35.4	36.0	145	260	150	615	1137	-	2.1
							三成分系								609	1121		2.0
							45.0								769	965		1.55
B	2.73	5220	-	210	65	4.5	高炉 B	20	56.7	34.0	-	170	300	200	827	754	-	2.3
C	2.71	3000	-	210	65	-	普通	20	50.0	33.1~35	52.3	180	360	154	801 803	759 763	3.0	約1.5
D	2.70	JIS A 5008 規格品	-	300	65	4.5 2.0	普通	20	52.9	32.0	45.0	175	331	216	697	881	0.35	2.5
									50.3	31.7	47.6	170	338	198	783	894	0.35	2.5
E	2.73	7310	-	700	60	2.0	早強	15	37.0	30.8	52.5	185	500	100	789	866	0.15	1.5
									36.6	31.9	55.0	185	505	75	838	830	0.16	1.6
F	2.71	6200	99.2	240	65	4.5	普通	15	55.0	31.5	51.5	185	336	250	769	751	-	1.6

\* 高性能 A E 減水剤の添加率は、[セメント+石灰石粉] に対する重量百分率

### 3. 石灰石粉を用いた高流動コンクリートの特性

#### 3.1 実験概要

実験に用いたコンクリートの材料を表-3に示す。石灰石粉(以下、石粉という)は、表-2に示す事例Fのものである。それ以外の材料は通常のレディーミクストコンクリート(生コン)規格品に用いているものである。

細骨材は海砂と砕砂(石灰石)の混合砂で混合比60:40とした。粗骨材の最大寸法15mmのものは、打込み・締固めが困難な中空プレキャストコンクリート壁部材など、狭小断面への充填コンクリートとしての適用を考慮したものである。なお、増粘剤はここでは使用しないこととした。

表-3 コンクリートの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	海砂: 豊田郡瀬戸田町産, 絶乾比重2.45, 吸水率2.44%, 粗粒率2.99 砕砂: 大分県津久見産, 絶乾比重2.62, 吸水率0.89%, 粗粒率2.87
粗骨材	砕石(2005): 津久見産, 絶乾比重2.64, 吸水率0.55%, 粗粒率6.92 砕石(1505): 津久見産, 絶乾比重2.63, 吸水率0.65%, 粗粒率6.28
混和材	石灰石粉: 山口県美祿市産, 比重2.71, 比表面積6200cm <sup>2</sup> /g
混和剤	高性能 A E 減水剤: ポリカルボン酸系, 比重1.05

コンクリートの基本調査を表-4に示す。調査Aは呼び強度240, スランプ18cmの通常のJIS規格品(標準コンクリート), 調査BはAとほぼ同一であるが、スランプフローを65±5cm, 予備検討により単位粗骨材かさ容積を0.45m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>と定め、石粉は混和材として計算した。

練りませにはパン型強制練りミキサを用い、練りませ時間は3分とした。

実験は、まず高流動コンクリートの最適石粉量を見出すため、基本調査において水、セメントおよび粗骨材量を一定とし、石粉量を200, 250, 300, 350kg/m<sup>3</sup>の4水準として比較検討した。また適当と判断した石粉量250kg/m<sup>3</sup>において、主に基本調査で標準コンクリートとの品質的な比較検討を行った。

表-4 コンクリートの基本調査

調査の記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )				高性能AE減水剤 (%)	
						水	セメント	石灰石粉	粗骨材		
A	20	18	4.5	55	45.3	185	336	-	770	984	0.88
	15				48.3			821	930	1.00	
B	20	65	4.5	55	51.5	185	336	250	764	751	1.49
	15				-			-	-	1.46	

\* [セメント+石灰石微粉末] に対する重量百分率

3.2 実験結果

(1) スランブフロー

図-1に示すように、所要のスランブフロー値を得るための高性能AE減水剤添加率は、やや分離傾向にあった石粉量350kg/m<sup>3</sup>の場合を除き、石粉量が増加(水セメント比および単位セメント量一定)すると、若干減少した。

図-2に示すように、練り置いたスランブフローの20℃における経時変化は、練り上がり後30分経過時に5~9cm増大し、その後はほとんど減少せずに推移した。フローが静止するまでの時間も、フロー値の増減に対応して変化する傾向を示した。フロー値70cm以上の場合は材料分離の傾向にあったが、それ以外は高流動コンクリートとして良好なものであった。また、石粉量は目視などにより250kg/m<sup>3</sup>程度が適当と判断した。

(2) ブリーディング

図-3に示すように、石粉を用いた高流動コンクリートは、標準コンクリートよりもブリーディング(20℃)の開始および終了とも1.5時間程度遅れ、ほぼ1/10のブリーディング量であった。また、粗骨材の最大寸法が20mmから15mmになるとブリーディング量は減少し、減少率は標準コンクリートで11%、高流動コンクリートで14%であった。

(3) 凝結速度

表-5に示すように、20℃における凝結速度は標準コンクリートとほとんど同等で、石粉混入や高性能AE減水剤の添加率増大による影響はほとんどみられなかった。

表-5 コンクリートの凝結時間[単位:時-分]

	調査A (標準)		調査B (高流動)	
	骨材20mm	骨材15mm	骨材20mm	骨材15mm
始発	5-40	5-44	5-22	5-42
終結	7-03	7-11	7-10	7-27

(4) 圧縮強度およびヤング係数

図-4に示すように、同一水セメント比の標準コンクリートの材齢28日圧縮強度は300kgf/cm<sup>2</sup>程度であり、石

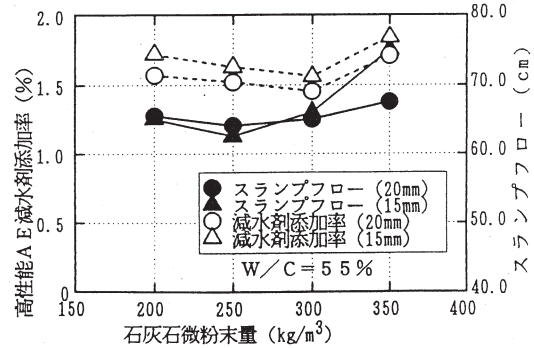


図-1 高性能AE減水剤添加率

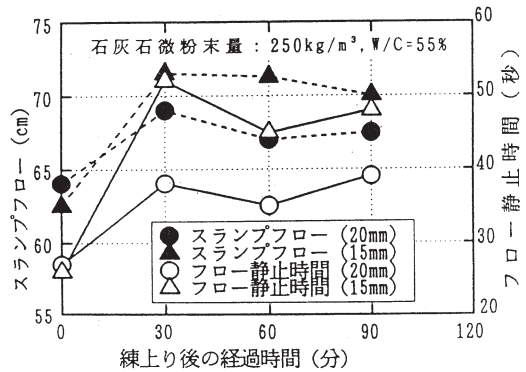


図-2 スランブフローの経時変化

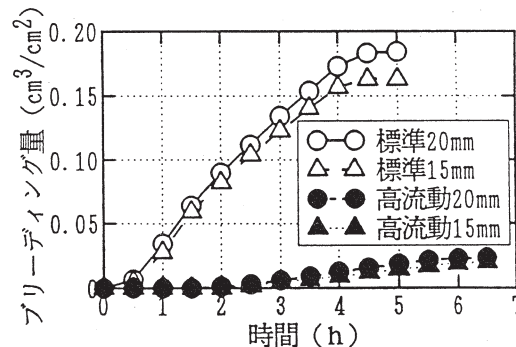


図-3 ブリーディング

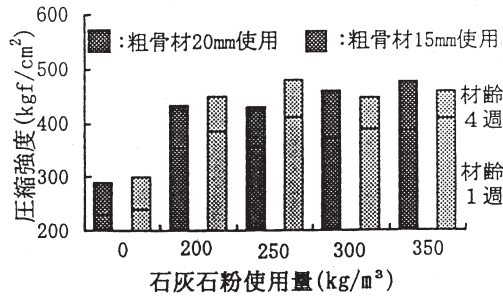


図-4 石灰石粉量と圧縮強度

粉を混入した高流動コンクリートではほぼ1.3~1.5倍の増大が認められた。また、圧縮強度は石粉量が多くなるほど漸増する傾向を示した。

図-5にセメント水比と圧縮強度との関係を示す。粗骨材の最大寸法15mm使用の場合、同20mmのものより同一水セメント比では強度が数%高くなる傾向を示した。

図-6に圧縮強度とヤング係数との関係を示す。ヤング係数はコンプレッソメータで測定した強度の1/3応力レベルのセカントモジュラスである。石粉を用いた高流動コンクリートは粗骨材量が少なく、ヤング係数は標準コンクリートより低下する傾向にあるものの、RC構造計算規準の式と同等以上であった。

(5) 引張強度、曲げ強度およびせん断強度

表-6に標準養生した材齢28日供試体の引張強度、曲げ強度およびせん断強度(二面せん断法による)試験結果を示す。石粉を用いた高流動コンクリートの引張強度、曲げ強度およびせん断強度は、いずれも圧縮強度に対する比では標準コンクリートに比べてやや小さくなるが絶対値としては同等であった。

表-6 各種強度(材齢28日) [単位: kgf/cm²]

調査	骨材 (mm)	圧縮	引張	曲げ	せん断
A	20	374	33.4	57.2	140
	15	392	35.5	57.4	130
B	20	488	39.0	53.1	150
	15	534	44.3	58.6	158

(6) 乾燥収縮

図-7に乾燥収縮測定結果を示す。石粉を用いた高流動コンクリートの乾燥収縮挙動は、標準コンクリートに比べてほぼ同等で、石粉の混入による乾燥収縮への影響は小さいものと考えられる。粗骨材の最大寸法が15mmのもの乾燥収縮は、20mmのものよりもやや大きくなる傾向が認められた。

(7) 凍結融解抵抗性

図-8に凍結融解試験結果を示す。石粉を用いた高流動コンクリートは、耐久性指数が97以上であり、適切な

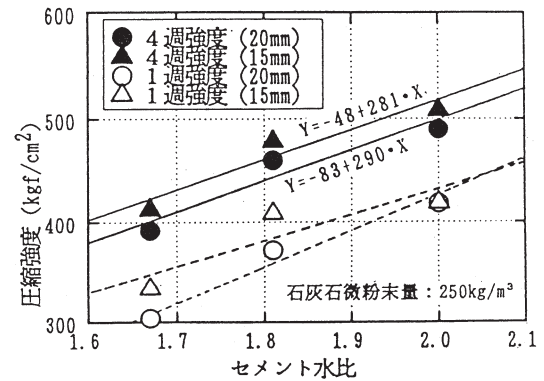


図-5 セメント水比と圧縮強度

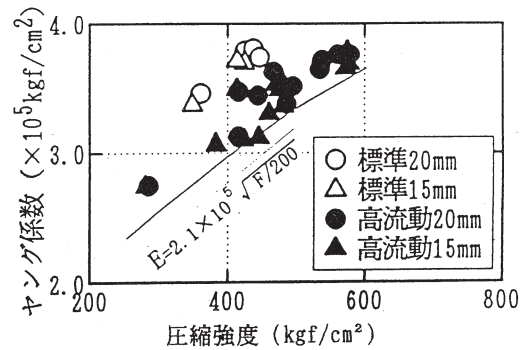


図-6 圧縮強度とヤング係数

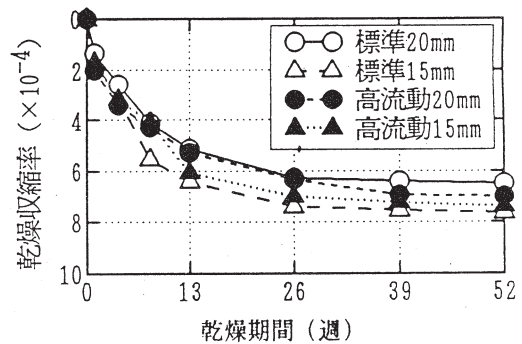


図-7 乾燥収縮

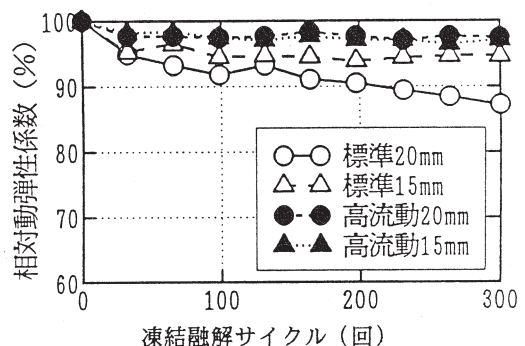


図-8 凍結融解抵抗性

空気量を導入すれば十分な凍結融解抵抗性を有するといえる。最大寸法20mmの標準コンクリートの相対動弾性係数がやや小さいのは、フレッシュ時の空気量が3.1%と他より少なかったことによると思われる。

(8) 中性化抵抗性

図-9に30℃、60%RH、CO<sub>2</sub>濃度5%の促進中性化試験結果を示す。石粉を用いた高流動コンクリートの中性化速度は、標準コンクリートに比べて同等であり、石粉混入による中性化抵抗性への影響は小さいと考えられる。

(9) 施工性

施工事例Fに示す中空プレキャストコンクリート(以下、PCaと略記する)壁部材について、施工困難な幅80mmの中空部へのコンクリート充填を行った。

充填箇所は図-10に示す壁部材で、充填コンクリートは、表-4に示す調査Bで、粗骨材の最大寸法は15mmとした。

中空壁部材への充填は、隣接する中空柱部材に通常のコンクリートを先に打ち込んでから行った。コンクリートの打込み位置は柱際から55cmの1カ所とし、バケツ(容量約0.2m<sup>3</sup>)を用いて梁筋の上からホツパを介してコンクリートを自由落下させ、締固めは行わなかった。

コンクリートは梁筋に堆積することもなく落下し、試作部材のため中空断面の幅が部分的に40mm程度の箇所やジョイント筋などもあったが、良好な流動性を示した。

バケツによる1回の打込みが終了し、流動が静止したときの流動勾配を図-11に示す。各打込み層の静止時の流動勾配は、最初の層を除いてほぼ8~9%程度であり、狭小断面においても通常断面の壁部材の場合と同様な勾配であった。なお、打ち上がったコンクリート上面の沈降は、目視では認められなかった。

使用コンクリートおよび構造体コンクリートの品質試験結果をそれぞれ表-7および8に示す。いずれも圧縮強度他の所定の品質が得られた。

表-7 使用コンクリートの品質試験結果

	スラブ厚 (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
				養生方法	7日
出荷時	71.5	2.4	34.0	標準	419 494
荷卸し時	62.0	3.7	35.0	標準	397 446
				現場水中	399 446

表-8 構造体コンクリートの品質試験結果

	超音波伝播速度 (m/s)	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	粗骨材面積率 (%)
平均	4447	507	3.24	31.9
標準偏差	107	34.6	0.260	3.15
変動係数 (%)	2.4	6.8	8.0	9.9

壁体断面(厚23cm)を貫通する超音波伝播速度は、図-12にも示すように、測定箇所のバラツキは極めて少なく(変動係数2.4%)、充填コンクリートは密実に打ち込ま

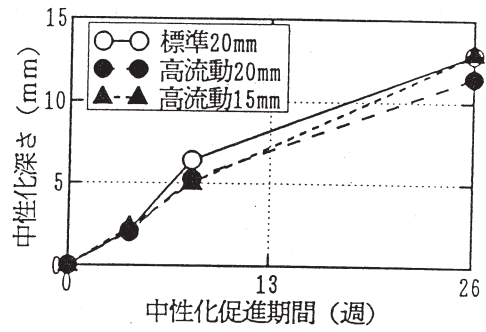


図-9 中性化抵抗性

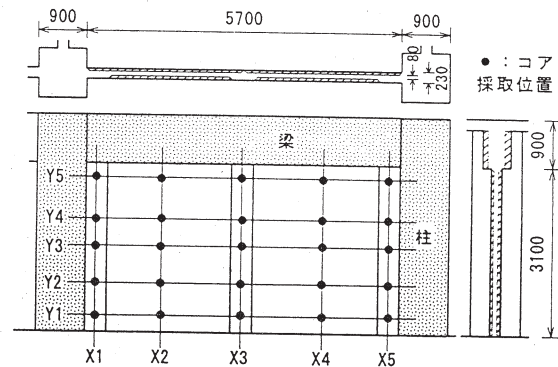


図-10 試験体

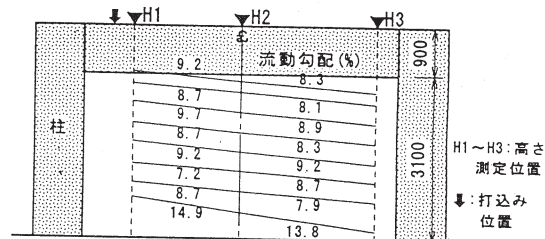


図-11 流動勾配

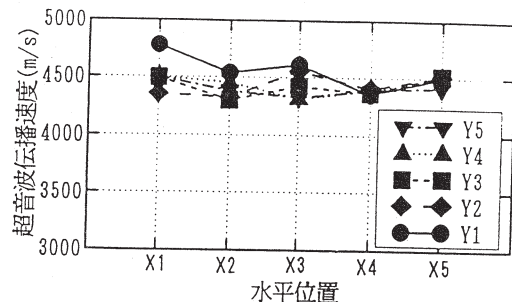


図-12 超音波伝播速度

れたものと判断できる(測点位置は図-10参照)。

充填コンクリート部のコア供試体(材齢28日)の圧縮強度、ヤング係数および粗骨材面積率をそれぞれ図-13~15に示す。いずれも、最上部がやや低くなる傾向を示した。圧縮強度は平均507kgf/cm<sup>2</sup>(変動係数6.8%)で、管理用供試体とほぼ同等であった。ヤング係数は平均3.24×10<sup>5</sup>kgf/cm<sup>2</sup>(変動係数8.0%)で、日本建築学会RC構造計算規準式とほぼ同等であった。粗骨材面積率は平均31.9%(変動係数9.9%)で、計画調合上の27.7%とほぼ同等であった。

充填コンクリートの型枠に接した部分(PCa壁部材のジョイント部分)の仕上がり状態は、観察の結果極めて良好で、コアおよび壁体の鉛直切断面においても、PCa部と充填部とは十分に密着していた。

これらの結果から、高流動コンクリートは中空部に均質に充填でき、所要品質を確保できたと推察され、打込み位置から5m程度は十分に充填可能であるといえる。

#### 4. まとめ

石灰石粉を用いた高流動コンクリートについて、その施工事例を調査した結果、次のような事項が明らかになった。

- ①高流動コンクリートに石灰石粉を用いる理由は、水和熱の低減、過大な強度増大の抑制、コストアップの低減、安定した材料供給などである。
- ②石灰石粉の比重は2.70~2.73でほとんど変わらないが、比表面積(ブレン値)は3000~7500cm<sup>2</sup>/gの範囲のものが使用されている。中には、JIS A 5008(舗装用石灰石粉)の適合品を使用しているケースもある。
- ③石灰石粉を用いた高流動コンクリートでは、混和材としてフライアッシュや高炉スラグ微粉末など他の粉体は併用されないが、スランプフローの品質安定のため、分離低減剤(増粘剤)を併用する場合がみられる。
- ④設計基準強度は、高強度部材を除き210~300kgf/cm<sup>2</sup>の範囲で、水セメント比はいずれも50%台であった。石灰石粉の単位量は高強度部材を除き150~250kg/m<sup>3</sup>で、水粉体比は、30~35%程度であった。

また、石灰石粉を用いた高流動コンクリートの諸特性に関して、比表面積6000cm<sup>2</sup>/g級の石灰石粉を単位量250kg/m<sup>3</sup>とした実験で、次の結果が得られた。

- ⑤通常用いられる呼び強度240レベルの生コンの調査(標準コンクリート)と同一水セメント比で、スランプフロー65cm程度の高流動コンクリートが製造でき、その力学的性質、乾燥収縮、耐久性などの品質は、標準コンクリートに比べて同等以上であった。
- ⑥中空PCa壁部材のような打込み困難な狭小断面内においても、均質に充填施工できることが明らかとなった。最後に、施工事例として引用させていただいた文献の著者各位に対し、深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 小澤一雅・前川宏一・岡村 甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.1, pp.699-704, 1989.6
- 2) 有馬 勇・竹口昌弘・櫻井重英・林 順三：明石海峡大橋4Aアンカレイジにおける高流動コンクリートの品質, 同上, Vol.16, No.1, pp.25-30, 1994.6
- 3) 糸日谷淑光・徳永剛平・斉藤哲男・西村徹也：明石海峡大橋1Aアンカレイジにおける高流動コンクリ

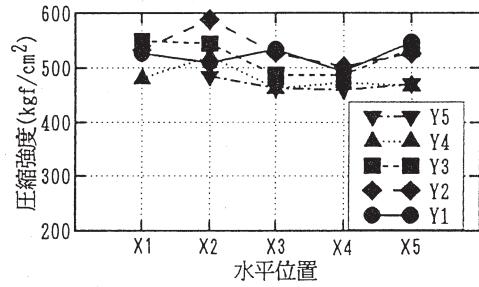


図-13 圧縮強度(コア供試体)

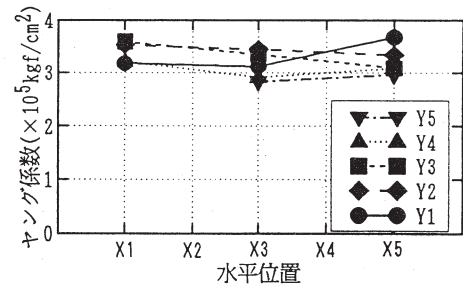


図-14 ヤング係数(コア供試体)

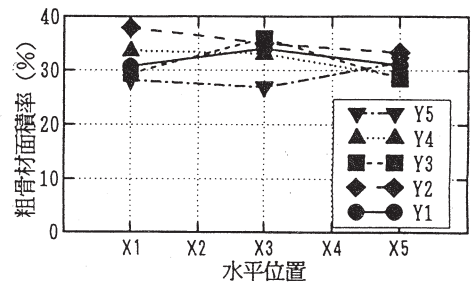


図-15 粗骨材面積率(コア供試体)

ートの施工と品質管理, コンクリート工学, Vol.33, No.2, pp.38-46, 1995.2

- 4) 平 弘毅・内海善彦ほか：石灰石微粉末を用いた高流動コンクリートに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp.561-564, 1994.9
- 5) 田中敏嗣・杉山彰徳・小川 鑑・富田六郎：混和材料を組合せて使用した高流動コンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.157-162, 1995.6
- 6) 坂井吾郎・万木正弘・坂田 昇・岩城 実：品質保証を考慮した高流動コンクリートの施工について, 同上, Vol.17, No.1, pp.233-238, 1995.6
- 7) 長井健雄・小島利広・松下博通・三浦 尚：高流動コンクリートの薄肉高強度PC工場製品への適用, 同上, Vol.17, No.1, pp.255-260, 1995.6
- 8) 浜田二郎・加藤英昭・横須賀誠一・渡部嗣道：石灰石微粉末を用いた高流動コンクリートの品質に関する実験研究, 同上Vol.17, No.1, pp.135-138, 1995
- 9) 西田浩和・横須賀誠一・渡部嗣道・真柄雄二・福頼孝二・佐々木仁・岡本嘉行：中空PCシステムの開発(その2 中空壁部材への高流動コンクリート充填実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集A-1, pp.1263-1264, 1995.8

(1996年1月31日受付)