

混和材料を用いた水中コンクリートに関する基礎的研究

Basic Research on Underwater Concrete with Admixtures

内藤 勲* 堺 孝司** 魚住 浩一***

Isao NAITO, Koji SAKAI and Kouichi UOZUMI

近年、水中コンクリートの需要が急速に高まってきている。水中コンクリートの多くは、特殊混和剤を用いた水中不分離性コンクリートであるが、特殊混和剤は一般に高価なため、大容量の水中コンクリートに使用することはむずかしい。

本研究では、特殊混和剤を用いない水中コンクリートの流動性および材料分離抵抗性を調べるために、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、石灰石粉末およびセルロースの4種類の混和材料を用いて、モルタルフロー試験、コンクリートの配合試験、流動性試験およびコンクリートポンプによる水中打設試験を行った。また、気中および水中において作成した供試体を用いて、圧縮強度試験、凍結融解試験および断熱温度上昇試験を行った。

本研究で得られた結果を要約すると、以下のとおりである。1)高炉スラグ微粉末の粉末度を大きくすると、流動性は低下するが、材料分離を抑制できる。2)フライアッシュの置換率を増加させると流動性は増すが、強度は低下する。3)石灰石粉末を添加すると材料分離を抑制し、強度も大きくなるが、凍結融解抵抗性を低下させる。4)セルロースを添加すると材料分離を抑制できるが、凍結融解抵抗性を低下させる。

《水中コンクリート；混和材料；流動性；材料分離抵抗性；圧縮強度；凍結融解；断熱温度上昇》

Underwater concrete placement has recently become more common. Most underwater concrete is anti-washout concrete with special admixtures. However, these admixtures are usually expensive, and so it is difficult to place large amounts of underwater concrete.

To study the flowability and segregation of underwater concrete without special admixtures, tests on mortar-flow, mixture proportions, flowability, underwater placement by pump, compressive strength, freezing and thawing, and adiabatic temperature rises of concrete were carried out. Granulated blast-furnace slag, fly ash, granulated limestone, and cellulose were used as admixtures.

The tests gave the following results: 1) When finer granulated blast-furnace slag

*材料研究室員 **同室長 ***前材料研究室主任研究員 現札幌開発建設部管理課管理技術専門官

is used, the segregation of concrete as well as the flowability is reduced ; 2) When the content of fly ash is increased, the flowability increases, while the strength decreases ; 3) Granulated limestone reduces segregation and increases strength. However, resistance to freezing and thawing is reduced ; 4) Cellulose reduces segregation, but resistance to freezing and thawing is reduced.

Keywords: underwater concrete, admixture, flowability, segregation, compressive strength, freezing and thawing, adiabatic temperature rise.

1. ま え が き

水中コンクリートは、振動締固めを行わない。したがって、コンクリートの締固めは、自重あるいは自重とポンプ圧力によってなされることになる。

水中コンクリートとして要求される性能は、高流動性、材料不分離性および低発熱性である。土木学会コンクリート標準示方書（施工編）の水中コンクリートの規定¹⁾では、トレミーあるいはコンクリートポンプを用いる場合、スランプは13～18 cmのものを、また、コンクリートは粘性に富んだものを用いることとしている。また、水中コンクリート工法による構造物は一般にマスコンクリートとなることから、セメントは低発熱タイプのものが望ましい。

流動性と材料不分離性を極限まで高めたコンクリートとして、水中不分離性コンクリートと称されるものがある²⁾。このコンクリートは、特別な混和剤を用いるものであり、一般的な配合ではセメント量および水量がかなり多くなる。残念ながら、このコンクリートに用いられる混和剤は高価なものであること、セメント量が多いことによって発熱が大きくなることなどから、一般的なコンクリートにこれを用いることはむずかしいといえる。

最近、コンクリートの耐久性問題に端を発して、東大の岡村らはハイパフォーマンコンクリートを提唱している³⁾。ハイパフォーマンコンクリートは、「締固め不要」の機能を最大限に高めるとともに、特別な混和剤を用いて乾燥収縮も低減させている。また、コンクリートの粘性を増すためにセルロース系の増粘剤が用いられている。ハイパフォーマンコンクリートを可能にした最も重要なものは、高性能 AE 減水剤であると思われる。ハイパフォーマンコンクリートとして現在提唱されている配合は、主に高密度配筋されているような構造物を対象にしていること、また結合材の量が通常のコンクリート

と比してきわめて多いことなどから、当然コンクリートのコストはかなり上昇するものと思われる。このように、ハイパフォーマンコンクリートも、現時点では一般的に使える状況にない。

以上のことから、あまり特別な配合となることなく、できるだけ流動性の高い、材料分離の少ない、かつ低発熱の機能を有するコンクリートの開発が望まれる。本研究では、このようなコンクリートを得るための基礎的な研究として、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、石灰石粉末（以下、石粉）およびセルロースを用いた場合のモルタルおよびコンクリートに関して各種試験を行い、それぞれの特性について検討を行った。本文は、これらの結果について報告するものである。

2. 使用材料

実験に使用したセメントは、すべて普通ポルトランドセメントをベースとした、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを混入した混合セメントである。

表—1に、混和材の物理特性を示す。以後、粉末度としては呼び値を用いる。表—2に、骨材の品質を示す。細骨材は苫小牧樽前産の海砂を、粗骨材は小樽市朝里産の碎石を使用し、最大寸法を40 mmとした。表—3に、使用した混和剤を示す。また、石粉およびセルロースを添加材として用いた。表—4に、石粉の物理特性を示す。

表—1 混和材の特性

種 類	記号	粉末度 呼び値 (実測値) (cm^2/g)	比 重
高 炉 ス ラ グ 微 粉 末	S 4	4,000 (4,050)	2.91
	S 6	6,000 (5,780)	2.91
	S 8	8,000 (7,890)	2.90
	S 10	10,000 (11,010)	2.90
フ ラ イ ア ッ シ ュ	F	— (3,340)	2.13

表-2 骨材の品質

	比 重	単位容積 質 量 (kg/m ³)	吸 水 率 (%)	実 績 率 (%)	洗 い 損 失 量 (%)	安 定 性 損 失 量 (%)	すりへり 損 失 量 (%)	F M
細 骨 材	2.79	1.860	0.90	67.3	0.33	—	—	2.73
粗 骨 材								
5~20mm	2.67	1.590	1.61	—	0.80	4.30	17.86	—
20~40mm	2.68	1.540	1.21	—	0.70	4.30	17.86	—

表-3 混和剤の種類

品 目	記 号	主 成 分
A E 減 水 剤	AE	リグニンスルホン酸化合物
高性能A E減水剤	SP ₁	ポリカルボン酸エーテル系複合物
流 動 化 剤	SP ₂	高縮合トリアジン系化合物

表-4 石粉の特性

比表面積 (cm ² /g)	比 重	水 分 (%)
2,340	2.70	0.08

3. 試験概要

3.1 モルタルフロー試験およびコンクリートの配合試験

試験は、高炉スラグ微粉末の粉末度および置換率、フライアッシュの置換率、石粉の添加率およびセルロースの添加量を変化させて行い、モルタルおよび

コンクリートのコンシステンシーに及ぼす影響を検討した。また、参考のためにハイパフォーマンスコンクリート（以下 HPC）の試験練りを行い、比較検討した。

3.1.1 モルタルフロー試験

モルタルの配合を、表-5 に示す。単位セメント量は、300 kg/m³ および 370 kg/m³ とした。また、HPC は 495 kg/m³ で行った。

高炉スラグ微粉末は、粉末度 4,000, 6,000, 8,000 および 10,000 cm²/g の 4 種類を単位セメント量の 30~80% の範囲で置換した。また、フライアッシュは、高炉スラグ微粉末の粉末度 4,000 cm²/g と混合した。その割合は、単位セメント量の 5, 10, 15% とした。石粉は単位セメント量の 5, 10, 15% の割合で添加し、セルロースは 100~500 g/m³ の範囲で添加した。なお、表中の F5, F10 および F15 は、それぞれフライアッシュの置換率が 5, 10 および 15% であることを

表-5 モルタルの配合

	W/C (%)	s / a (%)	単 位 量				備 考
			(kg/m³)		(ℓ/m³)		
			C	S	A E	S P	
1	48.7	44.5	300	873	3.750	—	S 4、置換率 30, 40, 50, 60, 70, 80 % W=146, 151, 156 kg/m³
2	48.7	44.5	300	873	3.750	—	
3	48.7	44.5	300	873	3.750	—	S 6、置換率 30, 40, 50, 60, 70, 80 % W=146 kg/m³
4	48.7	44.5	300	873	3.750	—	S 8、置換率 30, 40, 50, 60, 70, 80 % W=146 kg/m³
5	48.7	44.5	300	873	3.750	—	S 10、置換率 30, 40, 50, 60, 70, 80 % W=146 kg/m³
6	48.7	44.5	300	873	3.750	—	S 4 + F (5, 10, 15 %)置換率 50, 70 % W=146 kg/m³
7	48.7	44.5	300	873	3.750	—	S 4、置換率 70 % 石粉およびセルロース添加 W=146 kg/m³
8	48.7	44.5	300	873	3.750	—	S 4 + F (15 %)換率 70 % W=150 kg/m³ 石粉添加
9	40.5	42.9	370	801	4.625	—	S 4、置換率 30, 40, 50, 60, 70, 80 % W=150 kg/m³
10	40.5	42.9	370	801	4.625	—	S 6、置換率 50, 60, 70 % W=150 kg/m³
11	40.5	42.9	370	801	4.625	—	S 4 + F (5, 10, 15 %)置換率 50, 70 % W=150 kg/m³
12	40.5	42.9	370	801	4.625	—	S 4、置換率 70 % 石粉およびセルロース添加 W=150 kg/m³
13	31.1	44.3	495	753	—	4.800	

表わしている。

HPC は、粉末度 $6,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ の高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを、それぞれ単位セメント量の31%および40%で置換し、高性能 AE 減水剤を添加した。

3.1.2 コンクリートの配合試験

コンクリートの配合を、表-6 に示す。高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの混和材としての置換率は、単位セメント量の70%とした。配合1~8は単位セメント量が $300 \text{ kg}/\text{m}^3$ の場合、配合9~12は $370 \text{ kg}/\text{m}^3$ の場合である。また、配合13はHPCである。

配合条件は、目標スランプ $20 \pm 1.5 \text{ cm}$ 、目標スランプフロー $40 \pm 2.5 \text{ cm}$ および目標空気量 $4.5 \pm 1\%$ とした。コンクリートの練り混ぜは、100 l の一軸強制練りミキサを使用した。石粉およびセルローズの添加は、セメントに混入して使用した。試験は、目視で材料分離が起きない範囲で細骨材率および単位水量を調整した。また、JIS A 1132 に準拠した標準供試体 ($\phi 15 \times 30 \text{ cm}$) を作成し、標準養生を行い、圧縮強度試験に供した。

3.2 流動性試験

配合試験から6配合を選定し、模型トレミー管によって鋼製型枠 ($40 \times 200 \times 60 \text{ cm}$) にコンクリートを流動させる試験を行った。

試験装置を図-1 に示す。型枠の一面をガラス板にし、コンクリートの流れる様子を写真およびビデオ撮影により記録した。コンクリートの打設は、模型トレミー管を鋼製型枠の一端に設置し、管内にコンクリートを1.0 m まで詰めて静かに管を引上げる方法で行った。また、コンクリートを型枠の中央部から打設する試験も行った。コンクリートが自重により流動し始めると同時に、連続的にコンクリートを投入した。トレミー管は第1段階で10 cm、第2段階（型枠の半分ぐらいまで打ち込んだ時点）でさらに10 cm 引上げた。コンクリートが型枠いっぱいになった時点で打設を終了し、トレミー管を静かに引抜いた。打ち込み終了後、両端および中央部それぞれの上部および下部から一定量のコンクリートを採取し、

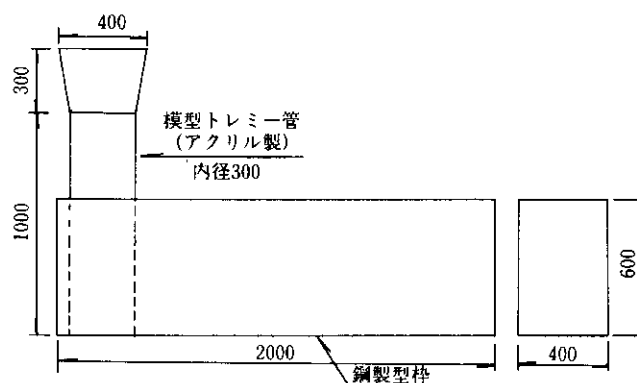


図-1 流動性試験装置

表-6 コンクリートの配合

配合	粗骨材の 最大寸法 (mm)	W/C (%)	s / a (%)	単 位 量						備 考
				(kg/m ³)				(ℓ / m ³)		
				W	C	S	G	A E	S P	
1	40	48.7	44.5	146	300	873	1,042	3.750	—	S 4
2	40	50.3	44.5	151	300	873	1,044	3.750	—	S 4, 石粉 15 %
3	40	50.3	44.5	151	300	873	1,044	3.750	—	S 4, セルローズ 200 g/m ³
4	40	48.7	46.0	146	300	910	1,023	3.750	—	S 4 + S 6(8 : 2)
5	40	48.7	46.0	146	300	910	1,022	3.750	—	S 4 + S 6(6 : 4)
6	40	48.7	44.5	146	300	873	1,042	3.750	—	S 4 + F 15
7	40	48.7	44.5	146	300	873	1,042	3.750	—	S 4 + F 15, 石粉 15 %
8	40	48.7	44.5	146	300	873	1,042	3.750	—	S 4 + F 15, セルローズ
9	40	40.5	42.9	150	370	815	1,040	4.625	—	S 4 200 g/m ³
10	40	40.5	42.4	150	370	801	1,044	4.625	—	S 4 + F 10
11	40	40.5	45.1	150	370	849	990	4.625	—	S 4 + F 15
12	40	40.5	42.9	150	370	815	1,040	4.625	—	S 4, セルローズ 200 g/m ³
13	25	31.1	44.3	154	495	753	908	—	4.800	H P C

フルイ分け試験によって粗粒率を算定し、材料分離の程度について検討した。また、同時に標準供試体 ($\phi 15 \times 30$ cm) および凍結融解試験用供試体 ($\square 10 \times 10 \times 40$ cm) を作成し、標準養生を行った。なお、標準供試体作成においては3層に分けてコンクリートを投入したが、突き棒などによる締固めは行わず、各層、ハンマーで側面を5～6回たたいた。

3.3 コンクリートポンプによる水中打設試験

図-2に示すような実験装置を用いて、水中打設試験を行った。コンクリートは、コンクリートポンプにより圧送し、トレミー管 ($\phi 12$ cm) をとおして実験水槽 (L260 $\times$ B230 $\times$ H90 cm) 内で大型型枠 ($\square 40 \times 120 \times 60$ cm) に打設した。トレミー管先端を型枠の底板から約10 cmの位置に設置し、コンクリートの充填とともに管を引上げた。

打設後、材令7日で脱型し、材令28日まで実験水槽内で水中養生した。材令28日でコアボーリングを行い、コア供試体 ($\phi 15 \times 30$ cm) を作成した。

なお、実験水槽内の水温は、常時15°Cになるようにした。

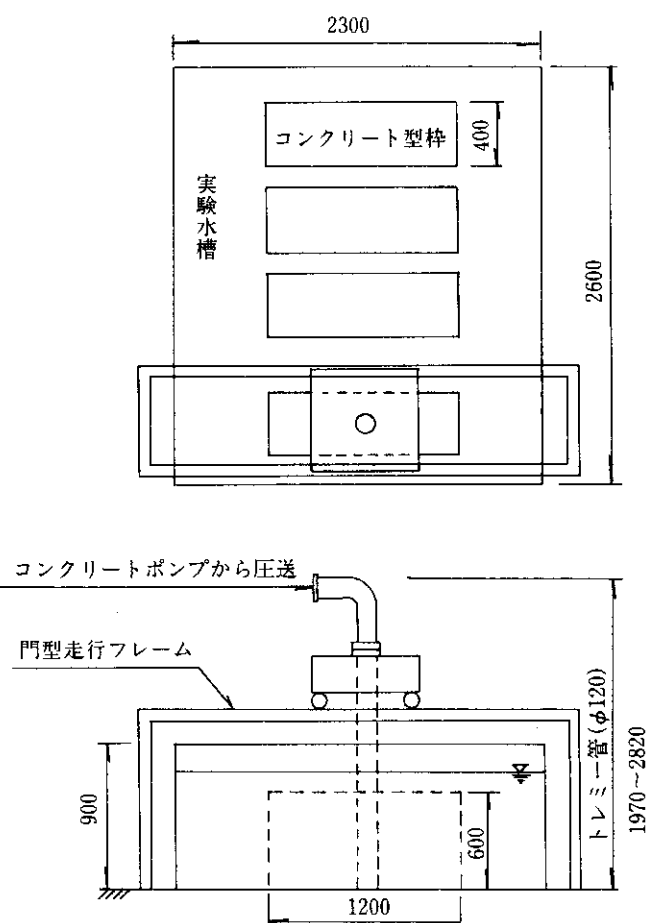


図-2 水中打設試験装置

3.4 硬化コンクリート試験

硬化コンクリート供試体を用いて、圧縮強度試験および凍結融解試験を行った。

圧縮強度試験は、配合試験において作成した材令7日と28日の標準供試体 ($\phi 15 \times 30$ cm)、流動性試験において作成した標準供試体およびコンクリートポンプによる水中打設試験において作成したコア供試体 ($\phi 15 \times 30$ cm) で行った。なお、流動性試験および水中打設試験における材令は、28日および91日とした。

凍結融解試験は、流動性試験および水中打設試験で作成した供試体 ($\square 10 \times 10 \times 40$ cm) により材令28日で行った。

3.5 断熱温度上昇試験

断熱温度上昇試験は、5配合について試験用円筒型枠 ($\phi 43 \times 29$ cm) にコンクリートを投入して数日間行い、コンクリートの温度上昇量を測定した。

4. 試験結果および考察

4.1 モルタルフロー試験

4.1.1 高炉スラグ微粉末の影響

図-3および4に、単位セメント量が300および370 kg/m³の場合の高炉スラグ微粉末の置換率とモルタルフロー値の関係を示す。粉末度が大きな場合、置換率が大きくなるに従ってフロー値は小さくなり、粉末度が小さい場合、フロー値は大きくなる傾向がある。

4.1.2 フライアッシュの影響

図-5に、フライアッシュの置換率とモルタルフロー値の関係を示す。フライアッシュは、その粒子の形状から一般に流動性をよくするとされている。本実験結果においても、フライアッシュを置換することによって、全体的に流動性は向上しているといえる。しかし、高炉スラグ微粉末とフライアッシュを40:10の割合で50%置換した場合、単位セメント量および単位水量に係わらず、流動性を低下させる結果となった。これらは非常に興味ある結果であるが、その原因を特定することができなかった。今後、さらに検討する必要がある。

4.1.3 石粉およびセルロースの影響

図-6および7に、石粉の添加率およびセルロースの添加量とモルタルフロー値の関係を示す。

図-6に示すように、石粉の添加率を大きくする

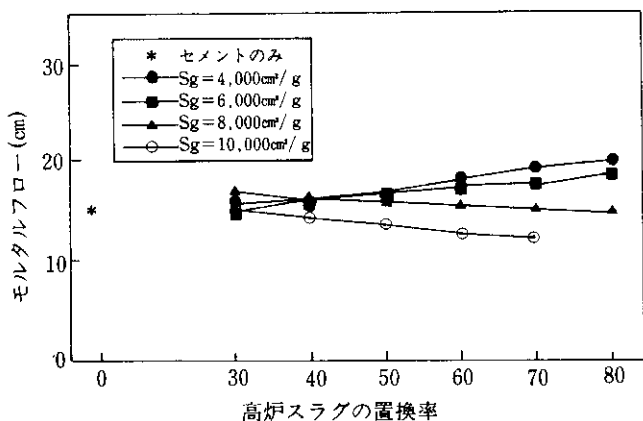


図-3 高炉スラグの置換率とモルタルフロー値の関係 (C = 300kg/m³の場合)

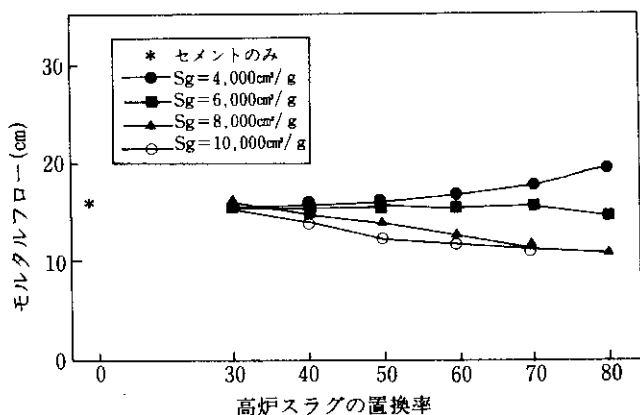


図-4 高炉スラグの置換率とモルタルフロー値の関係 (C = 370kg/m³の場合)

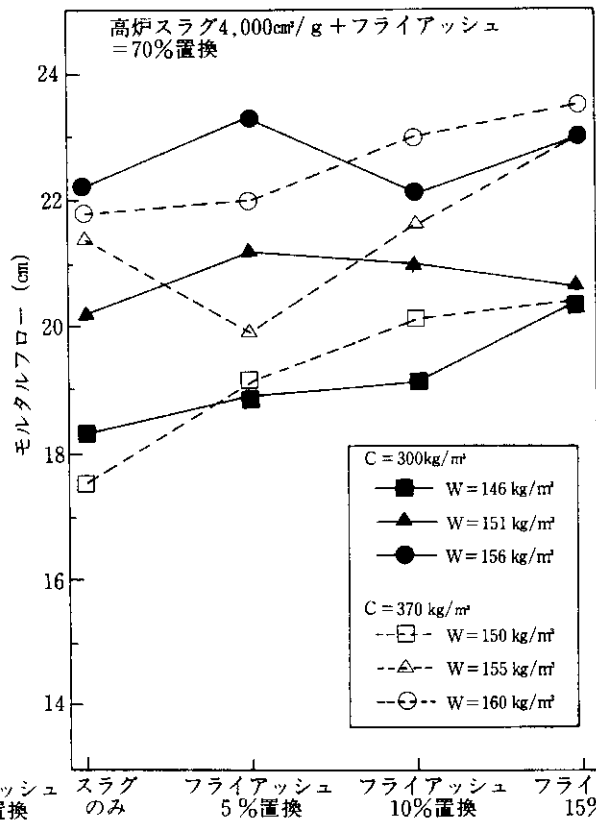
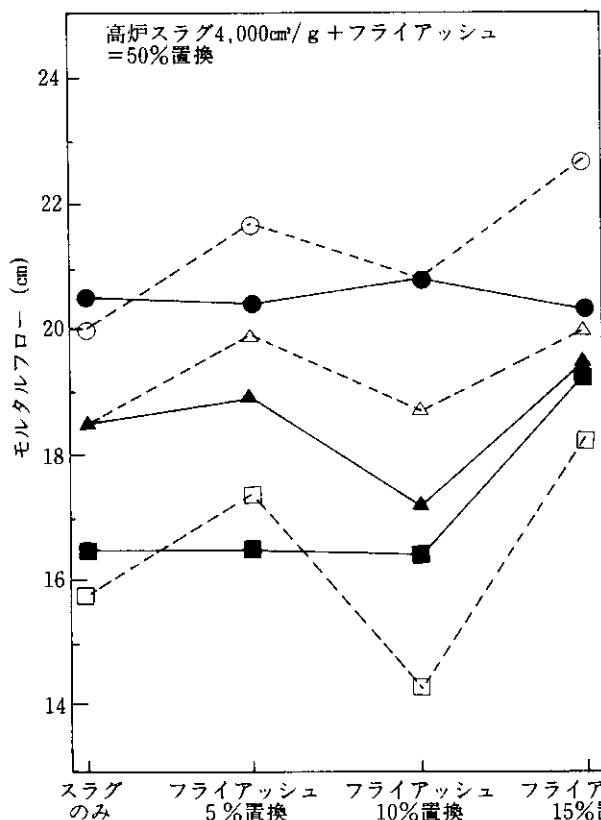


図-5 フライアッシュの置換率とモルタルフロー値の関係

に従って、フロー値は徐々に小さくなる。しかし、モルタルが静止するまでの時間は、石粉を添加しない場合に比べて若干長くなった。これは、単位水量の減少によって流動性が小さくなる場合と違い、砂の代わりに粒度の細かい石粉を混入することによって、粘りのあるモルタルになったためであると思われる。

図-7に示すように、セルロースを添加した場合も石粉を用いた場合と同様な結果が得られた。

4.1.4 ハイパフォーマンスコンクリート (HPC)

図-8に、HPCにおける高炉スラグ微粉末の粉末度とモルタルフロー値との関係を示す。また、同図には、種々の混和剤を用いた場合の結果についても示した。

図-8から明らかなように、高性能 AE 減水剤は流動性の増加に対して著しい効果がある。

高炉スラグ微粉末の粉末度の影響については、粉末度が大きくなるに従ってモルタルフロー値も大きくなった。これは、先に述べた高炉スラグ微粉末の粉末度の影響と逆の傾向である。この原因については現在特定できていないが、流動化剤の影響である可能性が高い。

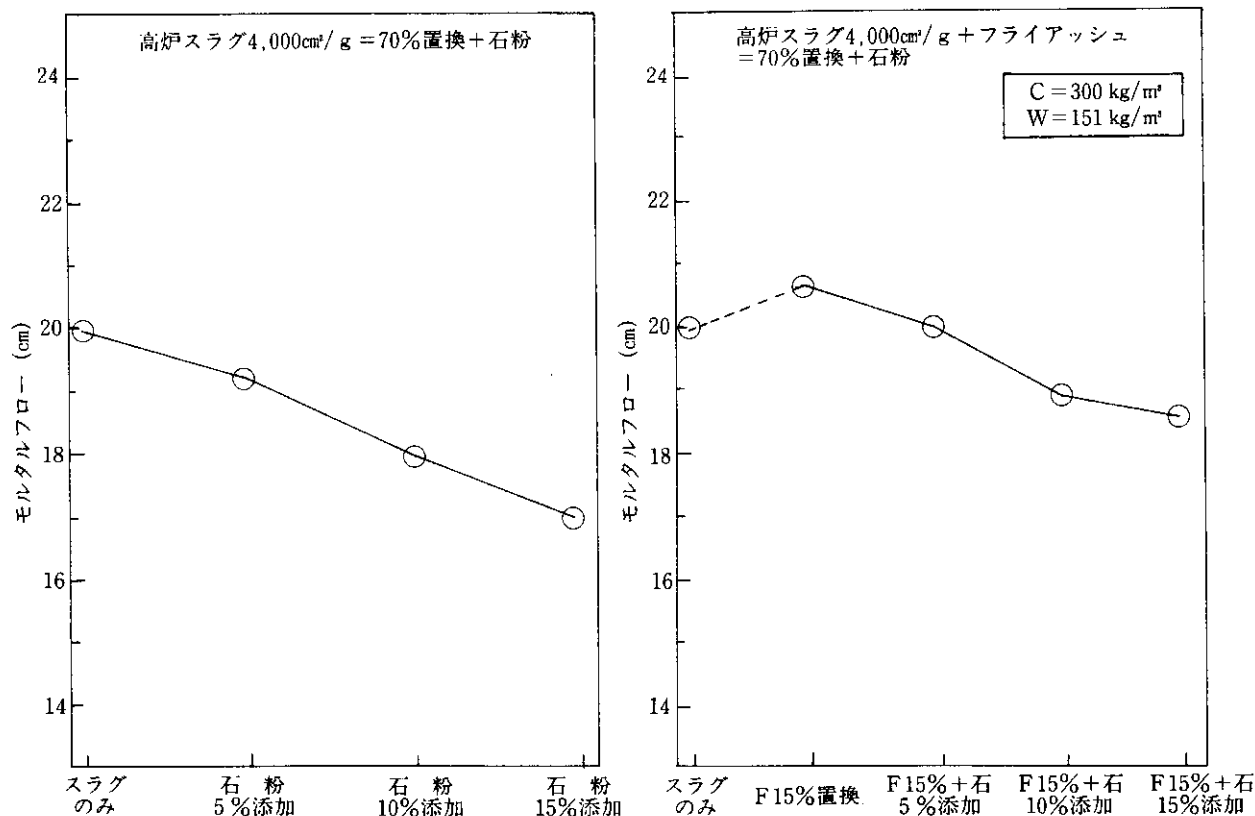


図-6 石粉の添加率とモルタルフロー値の関係

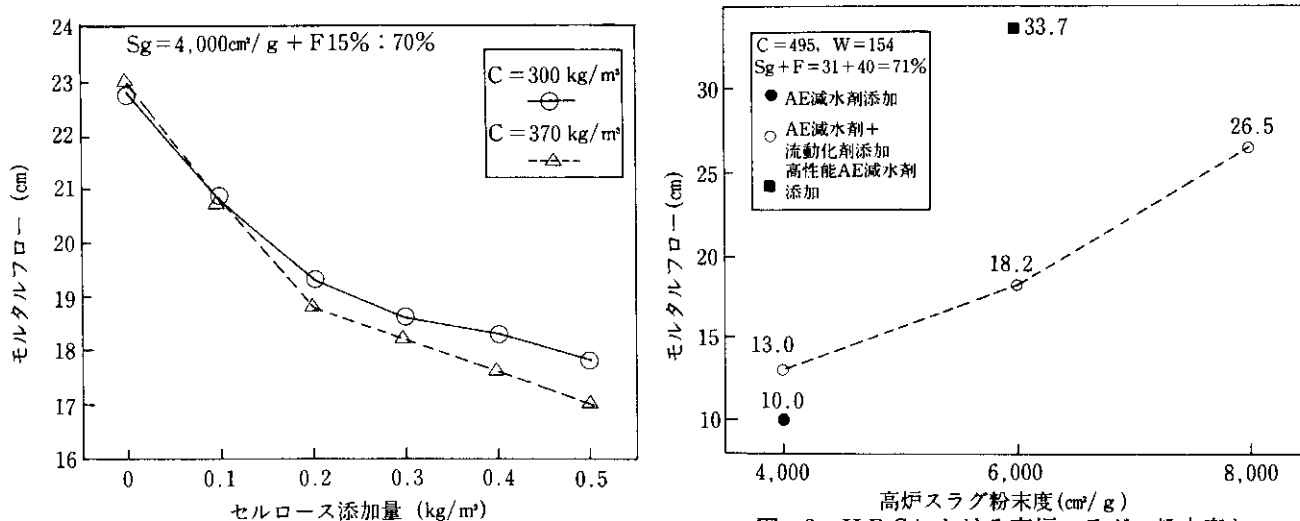


図-7 セルロースの添加量とモルタルフロー値の関係

図-8 HPCにおける高炉スラグの粉末度とモルタルフロー値の関係

4.2 コンクリートの圧縮強度試験

図-9に、コンクリートの配合試験およびコンクリートポンプによる打設試験において作成した供試体の圧縮強度試験結果を示す。

4.2.1 高炉スラグ微粉末の混合割合の影響

単位セメント量 300 kg/m³において、高炉スラグ微粉末の粉末度が 4,000 cm²/g と 6,000 cm²/g の混合割合を変えたが、それらの影響はほとんどなかった。

た。

4.2.2 フライアッシュの影響

単位セメント量 370 kg/m³において、混和材が一定置換率のもとで、高炉スラグ微粉末にフライアッシュを混入した場合、強度は低下した。

4.2.3 石粉およびセルロースの影響

コンクリートに石粉を添加すると、一般に強度が大きくなることが報告されている⁴⁾。単位セメント量

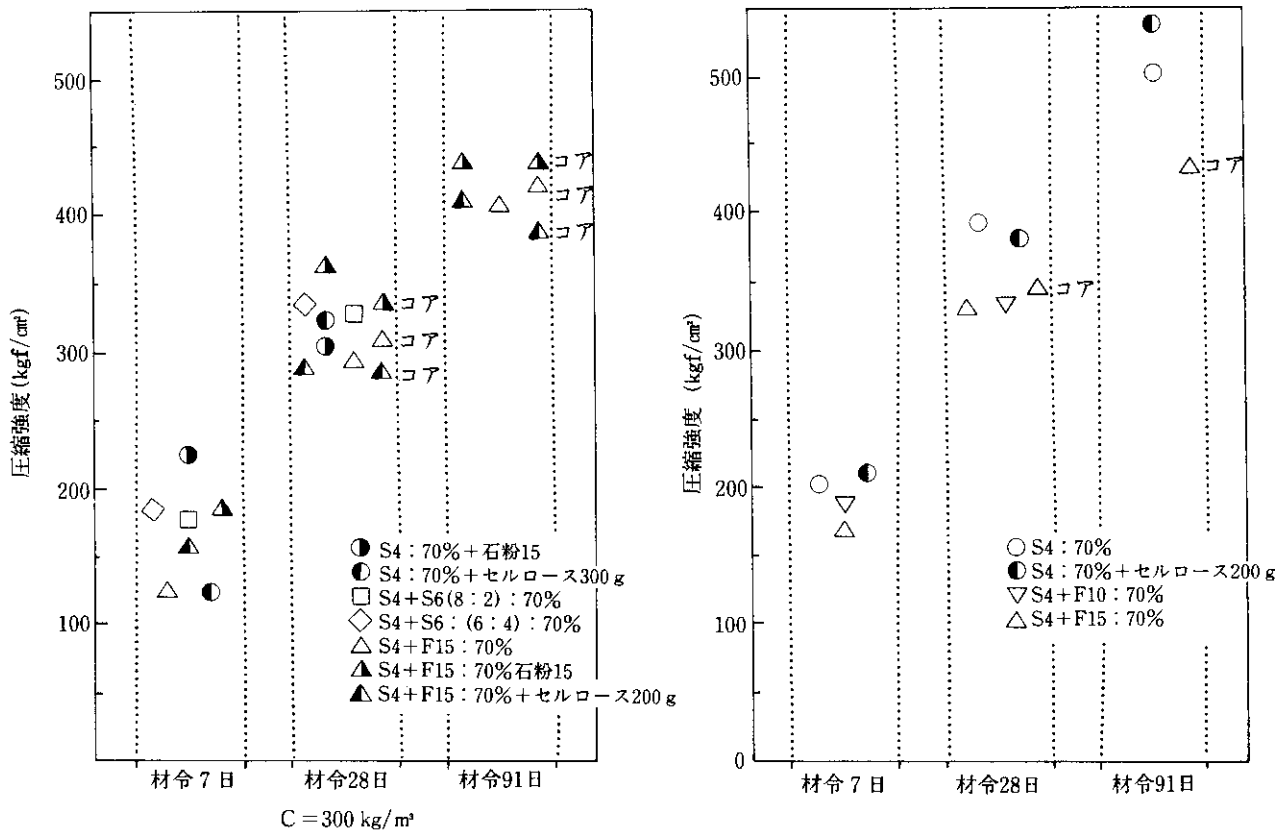


図-9 圧縮強度試験結果

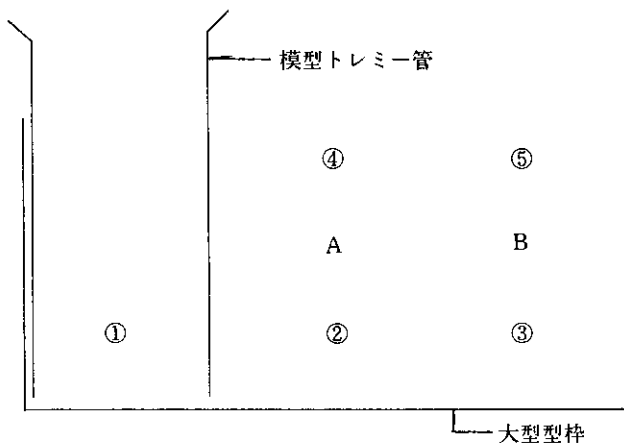


図-10 流動性試験における試料の採取位置

300 kg/m³ の場合、粉末度 4,000 cm²/g の高炉スラグ微粉末とフライアッシュを 55 : 15 の割合で 70% 置換した配合に石粉を添加すると強度は大きくなった。しかし、フライアッシュを混入しないで石粉を添加した場合、材令 28 日において、フライアッシュを混入した場合よりも強度は小さくなった。これは、2) で述べたフライアッシュの影響と逆の結果になっている。この原因については、明らかにすることができなかった。

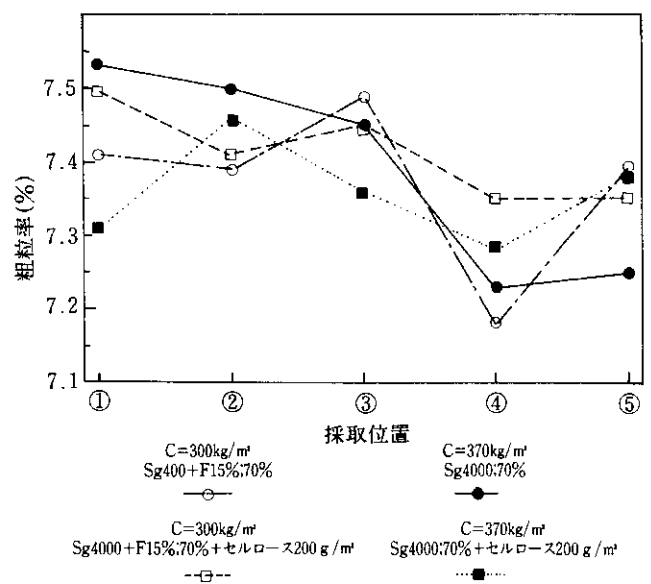


図-11 粗粒率

コンクリートにセルローズを添加した場合、強度にはほとんど影響しなかった。

なお、配合試験において作成した供試体とコア供試体による圧縮強度の差はほとんどなかった。

4.3 流動性試験

4.3.1 粗粒率

粗粒率を算定するためのコンクリート試料は、図

—10の①～⑤より採取した。図—11に、粗粒率の試験結果を示す。全体的な傾向として、コンクリートが打ち込まれた位置から遠くなるに従って、粗粒率は減少している。これは、コンクリートが分離を起こしていることを意味している。型枠上部の④および⑤では、第2段階で打設されて流れてきたコンクリートが分離を起こし、粗骨材が下に沈んだことによるものと考えられる。また、④の位置よりも⑤の位置の方が粗粒率が多少大きくなっているのは、③の位置まで流れてきたコンクリートが、型枠の側壁に沿って上に押し上げられたためと考えられる。

しかしながら、これらの結果は、試料によってバラツキが大きく、流動性および材料分離抵抗性の程度を明確にするまでにはいたらなかった。

4.3.2 圧縮強度試験

図—12に、流動性試験におけるコンクリートの採取位置別圧縮強度試験結果を示す。コンクリートは、図—10の中央部(A)および端部(B)より採取した。

単位セメント量が 300 kg/m^3 の場合、全体的に Bの方が強度は大きくなっている。この結果は、Bの位置の粗粒率がAの位置のそれより大きかったことと符合する。

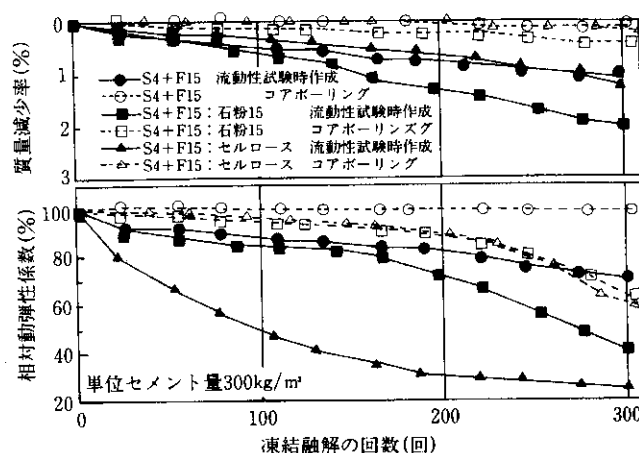
単位セメント量が 370 kg/m^3 で、型枠の中央部から打設した場合、AとBの強度の差がほとんどなく、

端部から打設した場合よりも強度が大きくなった。これは、中央部における打設では流動距離が短くなり、材料の分離が少なくなったためと考えられる。また、セルロースを添加した場合、中央部から打設した場合とほぼ同じ結果となり、材料分離を抑制する効果のあることがわかる。

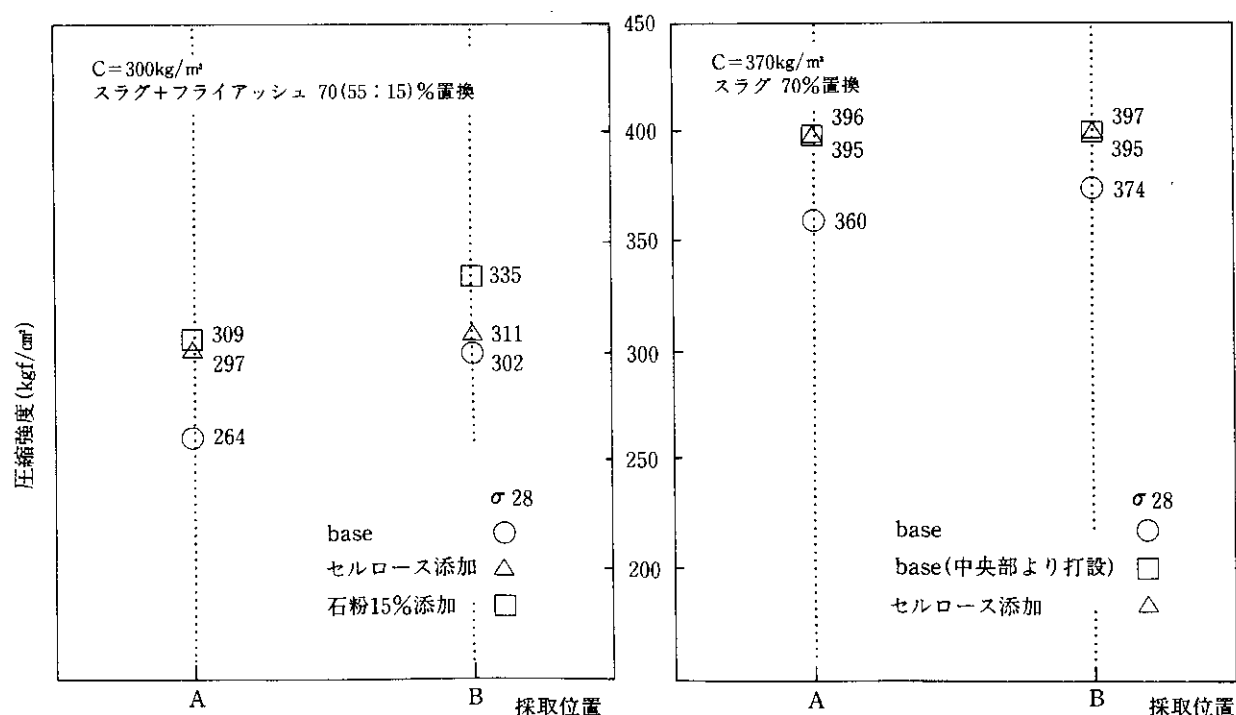
4.4 凍結融解試験

図—13に、単位セメント量が 300 kg/m^3 の場合の凍結融解試験結果を示す。

相対動弾性係数は、混和材の有無に係わらず、水中打設で作成した供試体の方が流動性試験時に作成



図—13 凍結融解試験結果



図—12 流動性試験における試料の採取位置別圧縮強度試験結果

した供試体よりも大きくなっている。質量減少率も、前者の方が小さくなった。これは、コンクリートポンプによって大型型枠に打ち込んだコンクリートはその自重によって比較的よく締固まったためであると考えられる。しかし、全体的に凍結融解の繰返し回数の増加とともに、相対動弾性係数が徐々に低下する傾向がある。特に、流動性試験におけるセルロース添加の場合は、凍結融解試験の早い段階で急激

ト量 300 kg/m³ および 370 kg/m³ の場合の断熱温度上昇量は、それぞれ約 32℃ および約 52℃ であった。また、単位セメント量が 300 kg/m³ の場合、フライアッシュと石粉を混入したものが、高炉スラグ微粉末のみを用いた場合より、大きな断熱温度上昇となった。この結果の原因については不明である。HPC は上昇量が大きく、材令 3 日までに急激に温度が上昇し、材令 6 日までに約 62℃ まで上昇した。

表—7 凍結融解試験結果一覧

配合	単 位 セメント量 (kg/m ³)	W/C (%)	流動性試験時作成		コアボーリング		適 要
			耐久性 指 数 (%)	空気量 (%)	耐久性 指 数 (%)	空気量 (%)	
6	300	48.7	69.5	4.7	98.7	4.8	S 4 + F 15
7	300	48.7	47.5	4.8	62.8	4.8	S 4 + F 15, 石粉 15 %
8	300	48.7	14.6	4.6	58.5	4.4	S 4 + F 15, セル 200 g/m ³
9	370	40.5	97.9	5.8	—	—	S 4
11	370	40.5	—	—	100.0	5.5	S 4 + F 15
12	370	40.5	99.5	4.1	—	—	S 4, セルロース 200 g/m ³

※耐久性指数は、次式で計算される。

$$DF = \frac{P \cdot N}{M}$$

DF：供試体の耐久性指数

P：N サイクルにおける相対動弾性係数(%)

N：試験を終了したサイクル数または P が 60 % 以下に低下したサイクル数

M：所定サイクル数、通常 300 サイクル

に相対動弾性係数が低下した。また、石粉についても 200 サイクルあたりから急に相対動弾性係数が低下し始める結果となった。これらの結果は、石粉およびセルロースが、コンクリートの凍結融解抵抗性になんらかの問題を起こす可能性のあることを示唆している。

表—7 に、凍結融解試験結果の一覧を示す。単位セメント量が 370 kg/m³ の場合は、耐久性指数がほぼ 100% に近かった。

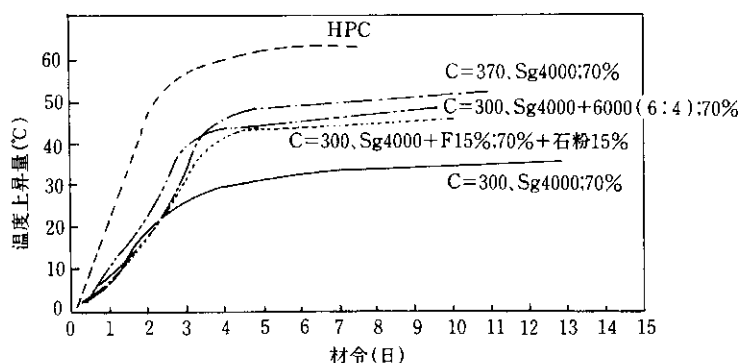
また、コアボーリングの位置による凍結融解抵抗性の差異はほとんどなかった。

なお、凍結融解抵抗性の程度を表わす耐久性指数は、一般に 60% 以上が必要であるとされている。

4.5 断熱温度上昇試験

図—14 に、コンクリートの断熱温度上昇試験結果を示す。試験は、表—6 におけるコンクリートの配合 1, 4, 6 および 8 について行った。

温度上昇は、材令 6～9 日あたりでほぼ安定状態になった。高炉スラグ微粉末 70% 置換で単位セメン



図—14 断熱温度上昇試験結果

5. ま と め

コンクリートの流動性および材料分離抵抗性は、その水量によって調整することができる。しかし、水中コンクリートのように流動性の高いコンクリートでは、単位水量を少し変えるだけで流動性がなくなったり、あるいは材料分離によるブリージングが起きたりする。本研究ではこれらの問題について検討するために、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、

石粉およびセルローズを用い、粉末度や置換率あるいは添加率を変えて各種の試験を行った。得られた結果を要約すると、以下のとおりである。

- 1) 高炉スラグ微粉末の粉末度を増加させると、コンクリートの材料分離を抑制することができるが、流動性は低下する。
- 2) 混和材の置換率が一定の条件のもとで、フライアッシュの置換率を増加させると、コンクリートの流動性は増すが、強度は低下する。
- 3) 石粉を添加すると、コンクリートの材料分離を抑制することができる。また、強度が大きくなる傾向がある。しかし、凍結融解抵抗性に問題があるように思われる。
- 4) セルローズを添加すると、コンクリートの材料分離を抑制することができるが、凍結融解抵抗性に問題があるように思われる。セルローズは、強度にはほとんど影響しない。

今後、高性能 AE 減水剤の効果なども含めて、さ

らに検討を加え、高い流動性と材料分離抵抗性を兼ね備えた水中コンクリートの最適な配合を追究していくつもりである。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書(施工編)昭和61年制度。
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター，(財)漁港漁村建設技術研究所：水中不分離性コンクリート・マニュアル(設計・施工)，平成元年12月。
- 3) 岡村 甫，國島正彦，前川宏一，小沢一雅：ハイパフォーマンスコンクリート——超流動性を持つ締固め不要のコンクリート，pp. 91～100，第250回コンクリート講演会テキスト，1991. 2.
- 4) 藤井 学，富沢年道：コンクリート用材料としての石灰石粉末に関する考察，pp. 3～15，ダム技術No54 1991.

※

※

※