

高炉スラグ組成物を利用した高耐久性コンクリート に関する研究 (その2)

Research on High Durability Concreting with Blast
Furnace Slag Slag Composite (II)

齊藤敦志* 大橋 猛**
小出儀治*** 下林清一****

Atsushi SAITO, Takeshi OHHASHI
Yoshiharu KOIDE and Seiichi SHIMOBAYASHI

高炉スラグ微粉末の水和特性を有効に利用するためにこれを高微粉末化したものと、破砕加工した高炉スラグ細骨材・ポルトランドセメント・高性能減水剤を混合した高品質合材を日鉄セメント(株)が開発した。このプレミックスモルタルをコンクリートに適用した場合の、高強度・高耐久性コンクリートへの可能性を検討するために、プレミックスモルタルの初期水和特性・耐塩性とコンクリートに適用した場合の強度特性などに関する試験を行った。

その結果、耐塩性に優れた高強度コンクリートが期待できることが明らかとなった。
《高炉スラグ微粉末；コンクリート；水和収縮；圧縮強度；曲げ強度》

Nittetsu Cement Co., Ltd. has developed a high quality binder made from fine aggregate of blast furnace slag, Portland cement, and a superplasticizer with highly pulverized blast furnace slag, to increase the effectiveness of hydration. Experiments were conducted to investigate if concrete with this pre-mixed mortar is of practical use as a high strength, high durability concrete. The investigation determined 1) the initial hydration properties and resistance to salt attack of the mortar, 2) the strength of concrete with this mortar.

It was found that concrete with this mortar has high strength and provides excellent resistance against salt.

Keywords: pulverized blast slag, concrete, hydration shrinkage, compressive strength, flexural strength.

1. ま え が き

高炉スラグは、溶鉱炉(高炉)で銑鉄を精製する際に排出される産業副産物の一種で、その冷却処理方法によって徐冷スラグ・急冷スラグ・膨脹スラグの3種類に大別される。急冷スラグは、高温熔融状態のスラグを水で

急冷した(水冷方式)もので、高温の溶滓に多量の冷却水を噴射すると、スラグは砂粒程度に粒状化するので、これを高炉水砕スラグと称する。水砕スラグはガラス質で潜在水硬性を持ち、これを粉砕して得る高炉スラグ微粉末は、その水和活性により省資源、省エネルギーの観

*コンクリート研究室員 **高室長 ***日本セメント(株)専務取締役 ****同社研究開発部課長研究員

点からだけではなく、コンクリートの品質および耐久性の改善などを目的として広く利用されている。

高炉スラグは、特に高炉セメントとして実績があり、また細骨材・粗骨材としても利用され、広範囲の構造物に使用されている。一方、近年の粉砕技術の進歩により、高炉スラグはさらに高微粉末化することが容易になった。それにより、コンクリートの耐久性の向上あるいは施工の合理化など、用途の多様化に応じて高炉スラグ微粉末の粉末度および置換率などを使い分けることが課題となっている。また、高炉スラグ細骨材は形状などから、コンクリートの単位水量の増加、ブリージングなどの難点があるという研究例がある。

日鐵セメント(株)は、工業生産した最大粒径 8 μm、ブレン比表面積 8030 cm²/g の高炉スラグ高微粉末(SSP)に乾燥・破砕加工した 1.2 mm 以下の高炉スラグ細骨材(CSS)および早強ポルトランドセメントを配合し、高性能減水剤を添加したプレミックスモルタル(NEM)を開発した。本研究は、昭和 60 年度の成果をふまえ、このプレミックスモルタルをコンクリートに適用した場合の、高強度・高耐久性コンクリートへの可能性を検討したものである。なお、本文は昭和 61 年度に実施した日鐵セメント(株)との共同研究の成果に基づくものである。

2. 研究の概要

試験内容は、大きく「高炉スラグ組成物の物性に関する研究」および「高炉スラグ組成物のコンクリートへの適用に関する研究」に分けられる。

前者では、スラグの物理的・化学的性質に関する研究として、初期水和収縮試験・初期水和発熱速度試験・モルタルの圧縮・曲げ強度試験を行った。さらに、耐久性に関する研究では塩分浸透試験を行い、施工性に関する研究ではコンクリートの加工ブリージング試験を行った。

また、後者では高炉スラグ組成物を利用した高耐久性コンクリートの圧縮・曲げ強度試験および弾性係数の測定を行った。

3. 高炉スラグ組成物の物性に関する研究

3.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(以下、OPCと略記)、早強ポルトランドセメント(以下、HPCと略記)を使用した。高炉スラグ微粉末は汎用スラグ微粉末(以下、FSPと略記)、スラグ高微粉末(以下、SSPと略記)を使用した。プレミックスモルタル(以下、NEMと略記)結合材は、HPCとSSPを1:1の割合で配合し使用した。ペーストの初期水和特性に関する試験には、石膏の効果も探るため二水石膏粉末を用いた。セメント・スラグ微粉末・石膏の化学成分を表-1に、セメント・スラグ微粉末・NEM結合材の物理試験結果を表-2に、NEM結合材に用いたHPC・SSPの粒度を表-3に示す。

モルタル試験に用いた細骨材は、豊浦標準砂(以下、SSと略記)、スラグ細骨材(以下、CSSと略記)であり、コンクリート試験には登別産の海岸砂と竹浦産の安山岩質砕石を用いた。骨材の試験結果を表-4, 5に示す。

3.2 試験方法

3.2.1 ペーストの試験

ペーストの試験は、初期水和収縮と水和発熱速度について行った。初期水和収縮試験は、所定水結合材比のペーストをモルタルミキサーで低速3分間混練した後、ペーストを氷のうに入れ、十分脱気して図-1に示す測定器により水位を測定した。

初期水和発熱速度は、あらかじめ材料を20°Cに保った後、コンダクションカロリメーターにセットし、所定時間反応させ求めた。

3.2.2 モルタルの試験

モルタルの配合は、結合材・細骨材比を1:2とし、試

表-1 セメント、スラグ微粉末の化学成分

材 料	記 号	化 学 成 分 (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
セメント	OPC	21.6	5.4	2.8	64.0	2.4	2.0
	HPC	20.6	5.4	2.7	64.1	2.5	3.3
スラグ微粉末	FSP	30.8	14.3	0.6	43.7	5.9	2.4
	SSP	30.2	14.1	0.4	42.1	6.1	4.8
石 膏	G				31.5		45.3

表-2 セメント, スラグ微粉末, NEM 結合材の物理試験結果

試料	比重	比表面積 (cm ² /g)	曲げ強さ (kgf/cm ²)				圧縮強さ (kgf/cm ²)			
			1 日	3 日	7 日	28 日	1 日	3 日	7 日	28 日
OPC	3.15	3060		36.7	49.1	70.0		145	232	414
HPC	3.14	4180	35.8	55.1	62.9	71.6	140	248	331	453
FSP	2.92	4070								
SSP	2.91	7860								
NEM 結合材	3.02	5940	27.3	44.6	59.1	81.7	90	227	379	570
B 種 高 炉	3.03	4150		31.3	45.4	69.6		126	209	416

NEM 結合材 HPC: SSP=1:1 B 種高炉 HPC: FSP=1:1 JIS R 5201

表-3 NEM 結合材を用いたセメント, スラグ高微粉末の粒度

試料	通 過 質 量 百 分 率 (%)												Dp 50 μm
	1 μm	2	4	6	8	10	12	16	24	32	48	64	
HPC	2.9	10.7	20.8	27.9	37.5	43.3	48.6	64.1	78.8	87.7	96.2	100	12.4
SSP	9.2	24.5	54.9	74.0	95.1	100							3.7

表-4 モルタル試験に用いた細骨材の品質

細骨材	記号	比重	単位容積量 (kg/ℓ)	実験率 (%)	フルイ通過率 (%)			
					1.2 mm	0.6	0.3	0.15
標準砂	SS	2.63	1514	57.4			100	4
スラグ細骨材	CSS	2.80	1539	54.7	100	37	26	2

表-5 コンクリート試験用骨材の品質

細骨材	最大寸法 (mm)	比重	単質 (kg/ℓ)	実績率 (%)	吸水率 (%)	洗い (%)	塩化物 (%)	フルイ通過質量百分率 (%)								FM		
								25mm	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6		0.3	0.15
細骨材		2.74	1.82	67.4	1.45	0.59	0.008				100	99	90	69	47	26	3	2.66
粗骨材	20	2.67	1.51	57.8	2.29	1.07		100	90	74	39	11	3					6.57

験は JIS R 5201 に準拠した。

NEM の素材である SSP と CSS の遮塩性効果については、JIS R 5201 により 5% NaCl 溶液に浸せきし、各浸せき期間ごとに浸透深さを測定した。

3.2.3 コンクリート試験

コンクリートの練り混ぜには、容量 100 ℓ の強制練りミキサーを使用し、NEM、細骨材を 10 秒間混合、その後水の 1/2 を入れて 30 秒、碎石を入れて 20 秒経過後残りの水を入れ、全材料投入後 2 分間練り混ぜた。

加圧ブリージング試験は、加圧後 (35.4 kgf/cm²) 各経過時間ごとのブリージング量を測定した。

3.3 試験結果と考察

3.3.1 初期水和収縮試験

初期水和による収縮曲線を図-2 に示す。水結合材比 48% の場合、OPC と B 種高炉セメントでは初期 24 時間までの収縮傾向は異なるが、48 時間後の収縮量はほぼ同じ値になった。NEM 結合材は初期 10 時間までは収縮が進むが、それ以降はあまり進行せず、48 時間後の収

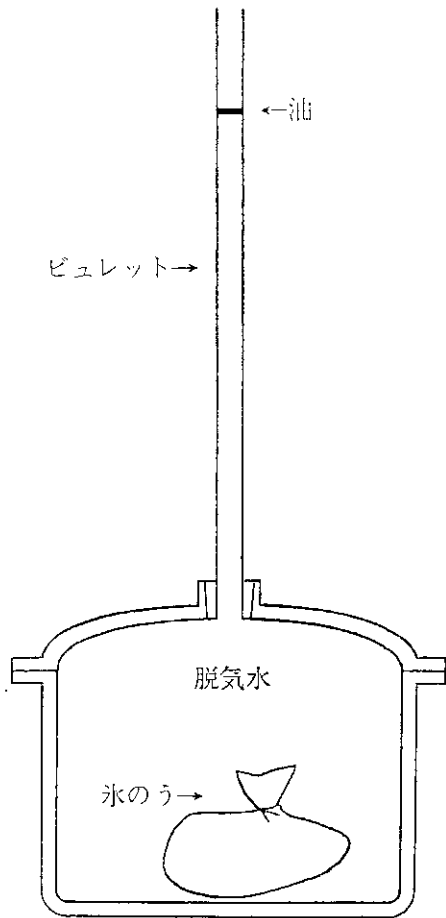


図-1 初期水和収縮試験測定器具

縮量は OPC の 1/2 であり、石膏を 5% 添加するとさらに収縮量は小さくなった。高性能減水剤を添加した水結合材比 32.3% の場合、収縮量は水結合材比 48% に比べ、各結合材とも大きくなった。この場合も NEM 結合材の収縮量は OPC の 1/2 程度であり、NEM 結合材の初期水和収縮は小さいといえる。

3.3.2 初期水和発熱特性

水和発熱曲線を図-3に示す。第1ピークは10分以内に認められ、B種高炉がきわめて小さい値となった。第2ピークは9時間後より認められた。NEMの場合、石膏の添加有無により傾向が異なり、石膏を添加しない場合、第2ピーク右肩に緩慢な曲線を示す特異的な傾向が認められた。第3ピークはB種高炉セメントの33時間後に表われているもので、これはスラグ微粉末の反応によるものである。

水和総発熱量を図-4に示す。OPCとNEMを比較すると、24時間後ではあまり差がないが、NEMはその後も発熱量が大きく、48時間後ではOPCは48 cal/g、NEMは65 cal/gとなった。また、B種高炉セメントは24時間後でOPCの59%、48時間後では79%であった。

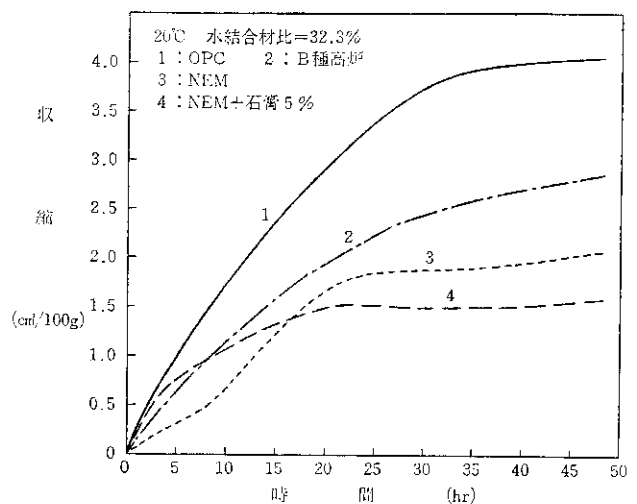
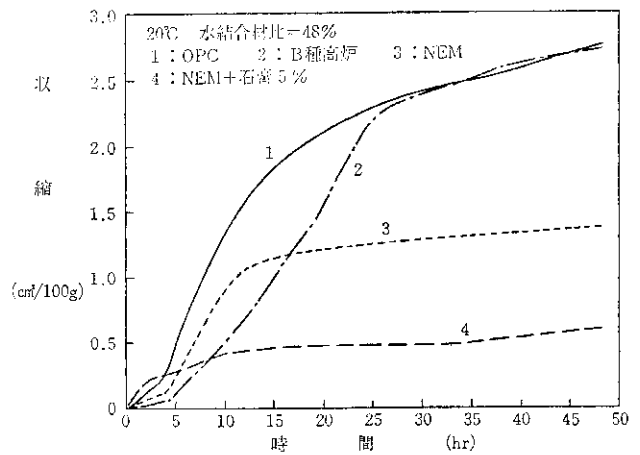


図-2 初期水和による収縮曲線

これらのことから、NEMは発熱量が大きく、NEMを用いたコンクリートの断熱温度上昇試験において初期の温度上昇量が大きいことは明らかである。

3.3.3 モルタルの強度試験

細骨材に、標準砂 (SS) およびスラグ細骨材 (CSS) を用いた養生条件の違いによるモルタルの曲げ強度試験結果を、表-6に示す。材齢28日の曲げ強度は結合材の種類、配合の違いによらず、気中養生することにより水中養生に比べ低下することが明らかである。また、初期水中養生期間の違いによる効果は判然としない。CSSを用いた高強度モルタルは気中養生により、水中養生した強度に対して50~70%の値に低下しており、その低下率はSSを用いた場合よりも大きい傾向にある。

表-7に圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度は気中養生による影響は少なく、水中養生期間を長くすることにより強度が増進した。HPCとNEMの場合、水中養生3日後気中養生した場合においても、標準養生による強度に達する。

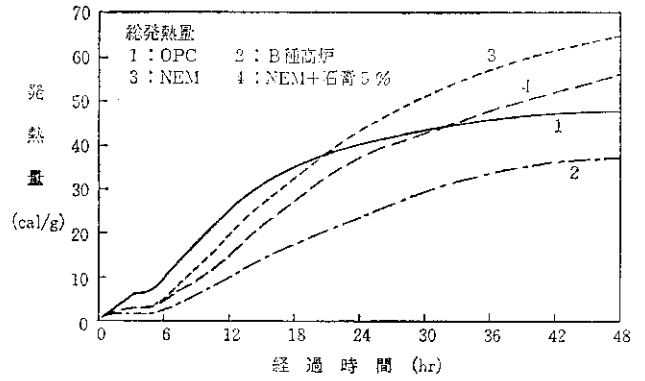
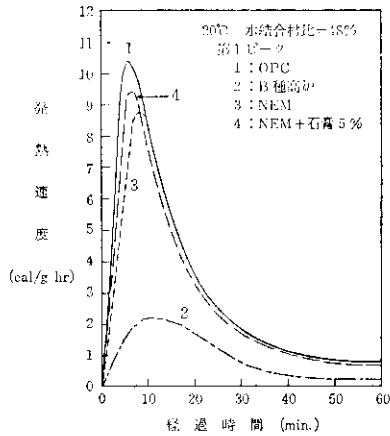


図-4 水和総発熱量

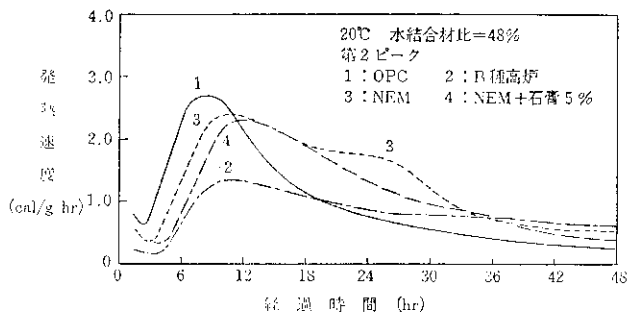


図-3 水和発熱曲線

3.3.4 高炉スラグ微粉末 (SSP) とスラグ細骨材 (CSS) の耐塩性効果

浸せき期間10週におけるSSPの配合量と浸透深さの関係を、図-5に示す。SSPを配合することにより、10週間浸せき後の塩分浸透深さは、SSPを配合しない場合の1/3~1/4になり耐塩性は向上した。SSPの配合量が40~70%の間では配合量が多いほど耐塩性が向上する傾向にあるが、顕著な差は認められない。SSとCSSを比較すると、CSSの方が効果がある。特にSSPを配合しない場合において、その差が大きい。

また、気中養生することにより浸せき初期での塩分浸透が進み、浸透深さは大きくなった。

表-6 モルタルの曲げ強度と強度比

シリーズ	記号	結合材	細骨材の種類	水比 (%)	SP 剤量 (%)	曲げ強度							曲げ強度比						
						水中養生				気中養生 (材齢28日)			水中養生				気中養生 (材齢28日)		
						1日	3日	7日	28日	脱型後	3日水中	7日水中	1日	3日	7日	28日	脱型後	3日水中	7日水中
I	F-1	OPC	SS	65.0	0	27.1	35.6	50.3	71.5	65.1	60.7	63.3	38	50	70	100	91	85	89
	-2	HPC				37.8	53.7	64.9	73.3	69.6	69.8	67.1	52	73	89	100	95	99	92
	-3	NEM				35.5	49.1	65.7	78.4	50.8	55.7	64.5	45	63	84	100	65	71	82
	-4	OPC		33.9		51.5	63.3	80.3	71.3	74.5	73.7	42	64	79	100	89	93	92	
	-5	HPC		48.1		60.1	67.7	85.3	78.7	76.0	71.1	56	70	79	100	92	89	83	
	-6	NEM		48.6		60.8	84.7	98.5	71.5	86.6	83.1	49	62	86	100	73	88	84	
	-7	OPC		48.8		73.3	80.4	97.3	84.1	82.6	85.5	50	75	83	100	86	85	88	
	-8	HPC		60.2		76.7	81.0	96.7	88.0	89.2	88.9	62	79	84	100	91	92	92	
	-9	NEM		55.4		92.9	118	124	94.9	95.2	100.0	45	75	95	100	77	77	81	
II	G-1	NEM	CSS	37.5	1.0	59.6	102	131	139	81.6	90.5	92.1	43	73	94	100	59	65	70
	-2	NEM		32.3	1.5	72.6	151	177	189	95.7	92.8	97.3	38	80	94	100	51	49	51

表-7 モルタルの圧縮強度

シリーズ	記号	結合材	細骨材の種類	水比 (%)	SP 剤量 (%)	養生条件								
						水中養生				気中養生 (材齢 28 日)				
						1 日	3 日	7 日	28 日	脱型後	3 日水中	7 日水中		
I	F-1	OPC	SS	65.0	0	78	149	238	421	366	408	416		
	-2	HPC				141	251	326	463	397	463	479		
	-3	NEM				123	255	419	576	470	530	626		
	-4	OPC		48.0		1.0	128	229	341	488	403	438	455	
	-5	HPC					225	346	434	527	481	552	566	
	-6	NEM					197	345	488	672	565	689	709	
	-7	OPC		37.5			1.0	219	389	495	570	528	564	583
	-8	HPC						321	462	538	612	600	645	660
	-9	NEM						291	478	645	817	731	831	874
II	G-1	NEM	CSS	37.5	1.0			317	515	668	854	713	796	891
	-2			32.3	1.5			475	621	799	982	836	994	1,049

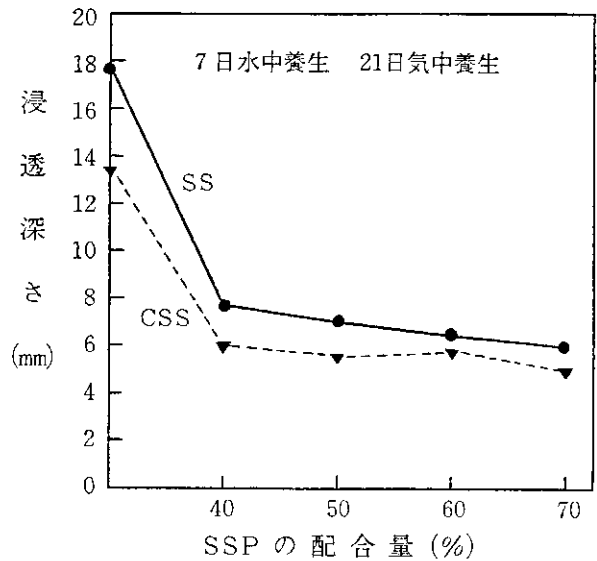
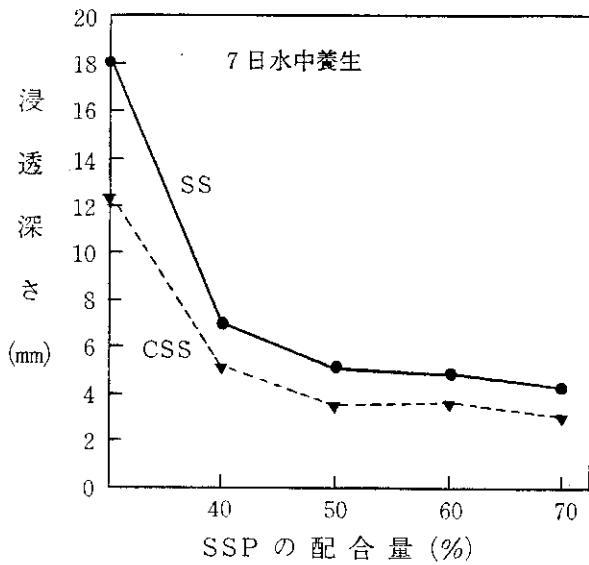


図-5 SSP₁量および細骨材の違いによる耐塩性効果

3.3.5 コンクリートの加圧ブリージング試験

コンクリートの配合と練り上がり性状を表-8に、ブリージング試験結果を表-9に、加圧ブリージング試験結果を表-10に示す。通常のブリージング試験では、NEM コンクリートのブリージング率は、OPC コンクリートに比べてきわめて小さい値になった。しかし、加圧

ブリージング試験では、NEM コンクリートと OPC コンクリートのブリージング率はあまり差がなく、脱水継続時間は NEM コンクリートが 3 分、OPC コンクリートが 6~7 分程度であった。

NEM コンクリートは圧力下における初期脱水量が多く、圧送性は OPC コンクリートよりも劣る傾向である。

表-8 コンクリートの配合と練り上がり性状

記号	セメント NEM	W/C, NEM (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				練り上がり性状			
				W	C NEM	S	G	スランブ (cm)	空気量 (%)	温 度 (°C)	単 重 (kg/m ³)
P-1	OPC	45	41	167	371	743	1053	13.2	4.4	18.0	2347
-2		55	43	165	300	804	1053	11.2	4.2	19.0	2355
-3		65	45	165	254	864	1037	13.3	4.4	18.5	2337
-4	NEM	28.8	32	173	600	521	1091	16.5	1.3	19.0	2434
-5		22.5	28	180	800	400	1011	16.5	1.8	19.0	2408
-6		18.4	19	194	1000	230	960	19.3	2.0	18.5	2405

表-9 コンクリートのブリージング試験結果

記号	累 積 浮 水 量 (cc)												ブリー ジ ン グ 量 (cm ³ /cm ³)	ブリー ジ ン グ 率 (%)	
	30分	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360			390
P-1	5.2	13.8	22.8	31.8	37.6	41.6	41.6	41.8						0.129	3.860
-2	13.0	25.0	39.4	49.7	52.1	53.4	53.4	53.6						0.167	4.930
-3	19.3	39.8	59.1	73.5	79.1	80.1	80.6	80.7						0.254	7.540
-4	0	0	3.4	5.8	8.9	10.4	12.5	14.6	15.8	16.8	17.4	17.9		0.056	1.564
-5	0	0	2.5	3.5	5.3	6.3	7.0	7.3	8.6	8.9				0.028	0.712
-6	0	0	1.6	2.3	3.7	4.8	5.3	6.1	6.7					0.021	0.512

表-10 コンクリートの加圧ブリージング試験結果

記号	試料 重量 (kg)	加 積 脱 水 量 (cc)																	ブリー ジ ン グ 量 (cm ³ /cm ³)	ブリー ジ ン グ 率 (%)	脱 水 率 (Vol %)		
		20 sec	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340				360	380
P-1	4.007	48.0	66.0	75.0	78.8	81.9	83.8	86.2	87.5	89.7	91.0	92.0	92.4	93.0	93.8	94.6	95.5	95.9	96.3	96.5	0.786	33.8	5.65
-2	3.907	53.0	67.0	73.4	77.2	80.4	82.5	83.7	85.4	86.9	88.2	89.4	90.3	91.6	93.2	94.0	94.5				0.770	34.5	5.70
-3	4.107	35.0	49.0	56.0	61.0	64.0	67.0	69.4	71.4	73.0	74.4	75.8	77.0	78.0	79.0	79.9	80.7	81.4	82.2		0.670	28.3	4.68
-4	4.145	53.0	73.0	76.0	77.0	78.0	79.0	79.5	79.8												0.650	27.1	4.69
-5	4.147	56.0	85.5	92.1	92.9	93.8	94.8	95.8	96.3	96.5											0.786	31.1	5.60
-6	4.102	52.0	83.0	86.0	87.0	88.0	89.0	89.5	89.8												0.732	27.1	5.26

* 脱 水 率 コンクリート容積に対する率

4. 高炉スラグ組成物のコンクリートへの適用に関する研究

4.1 使用材料

結合材としては、プレミックスモルタル (NEM) を使用した。NEMの素材構成は、早強ポルトランドセメント (HPC) 30%、スラグ高微粉末 (SSP) 30%、スラグ砂 (CSS) 40% であり、高性能減水剤を固形分で0.4%含有している。

細骨材は、苫小牧市錦岡産の海岸砂 (比重 2.71, 吸水率 0.93%, FM 2.84) を、また粗骨材は手稲金山産の碎石 (G_L 25~15 mm 群—比重 2.69・吸水率 1.35%, G_s 15~5 mm 群—比重 2.69・吸水率 1.52%, 岩質—安山岩) を2群に分けて管理し、G_L:G_sを0.6:0.4の割合で再配合して使用した。混合骨材の粒度を図-6に示す。なお、この安山岩は鉱化変質を受け珪化しており、著しく硬いものとの判定を受けたものである。

4.2 試験方法

スランブ 10±2 cm を目標として、配合を決定した。

コンクリートの練り混ぜには、容量 50 l の強制練りミキサーを使用し、砂、NEM を 10 秒間混合、その後水の

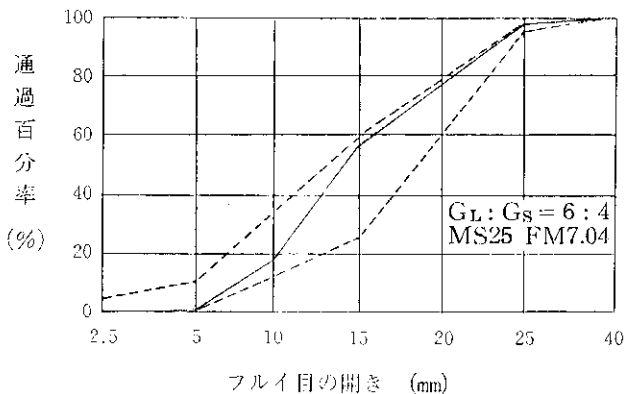


図-6 粗骨材の粒度

1/2を入れて30秒、碎石を入れて20秒経過後残りの水を入れ、全材料投入後2分間練り混ぜた。

コンクリートの練り上がり温度は20°Cとなるよう、練り混ぜ水の温度を調節した。

各種コンクリート試験は、関連 JIS あるいは ASTM 規格に従って実施した。

4.3 試験結果と考察

4.3.1 配合試験

単位 NEM 量ごとに水量一定として、細骨材率とスランブとの関係を求め、表-11 に示す示方配合に決定した。

なお、NEM に含まれる CSS 部 40% を細骨材の一部として換算すると、例えば、NEM 量が 800 kg/m³ の場合の細骨材率は 43% となり、通常のコンクリートに近い値となった。

4.3.2 強度特性

(1) 圧縮強度

単位 NEM 量を異にしたコンクリートの材齢と圧縮強度の関係を図-7 に、各材齢ごとの NEM/W と圧縮強度の関係を図-8 に示す。材齢 28 日までの圧縮強度は、NEM 量の差異が明確に表われている。しかし、単位 NEM 量 800 kg/m³ の場合、材齢 28 日以降の強度の伸びが比較的大きく、91 日強度は 792~805 kgf/cm² となり、NEM 量 1000 kg/cm³ との差は明らかでない。

養生温度条件が圧縮強度に与える影響を図-9 に示す。初期材齢 (3 日) でこの影響が大きく、単位 NEM 量 600 kg/m³ で 5.10°C 養生の場合、それぞれ標準養生強度の 52.68% となった。しかし、材齢の経過とともにその差は小さくなり、28 日では 93.96% となった。また、NEM 量 1000 kg/m³、材齢 3 日では 70.77% であり、比較的養生温度の影響は小さかった。

表-11 コンクリートの配合

配合記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの目標 (cm)	細骨材率 S/a (%)	水・結合材比 (%)	単 位 量 (kg/cm ³)							ス ラ ン ブ (cm)		
					水 W	結 合 材		細骨材 S	粗 骨 材		混和剤 (ML 1450)*	max	min	n
						NEM	C		G _s	G _L				
N-6	25	10±2	34	28.5	171	600	—	577	445	667	—	10.2	9.0	4
N-8			30	22.3	178	800	—	448	415	623	—	9.4	9.1	4
N-10			20	19.3	193	1000	—	254	403	604	—	8.5	6.2	4
NN-5			40	32.4	162	—	500	737	439	659	1200	11.3	8.7	4
NH-5			37	35.0	175	—	500	681	460	691	1200	12.7	10.9	4

* セメント 100 kg 当たり

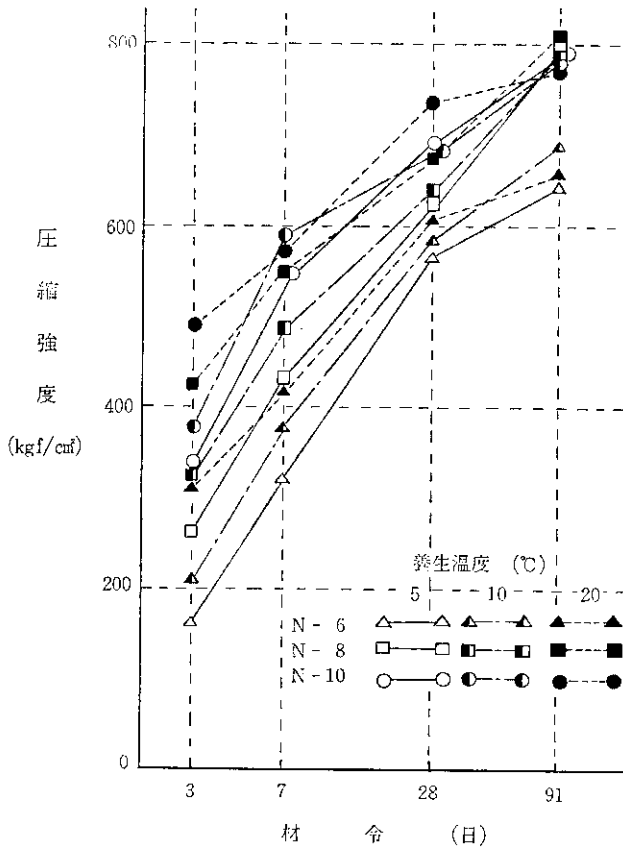


図-7 材令と圧縮強度の関係

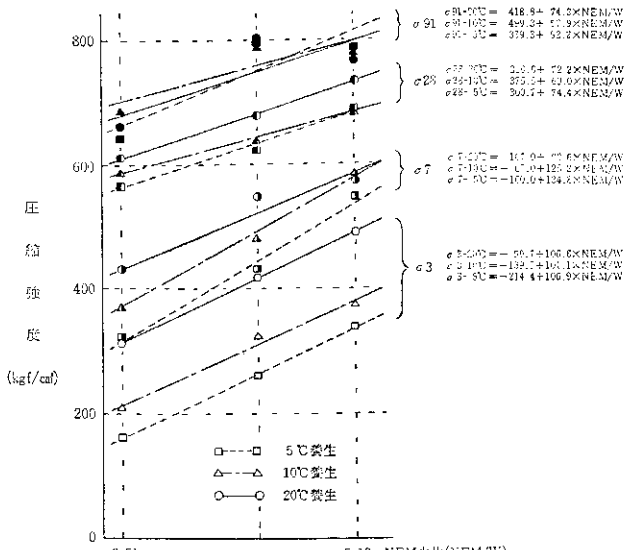


図-8 NEM/W と圧縮強度の関係

(2) 曲げ強度

水中養生期間と曲げ強度の関係を図-10に示す。水中養生の中断による曲げ強度の低下は明らかである。材齢28日の曲げ強度は水中養生の中断により、水中養生強度の57~67%に低下した。この値は、脱型後まったく水中養生しない場合と同程度のものであり、曲げ強度に与

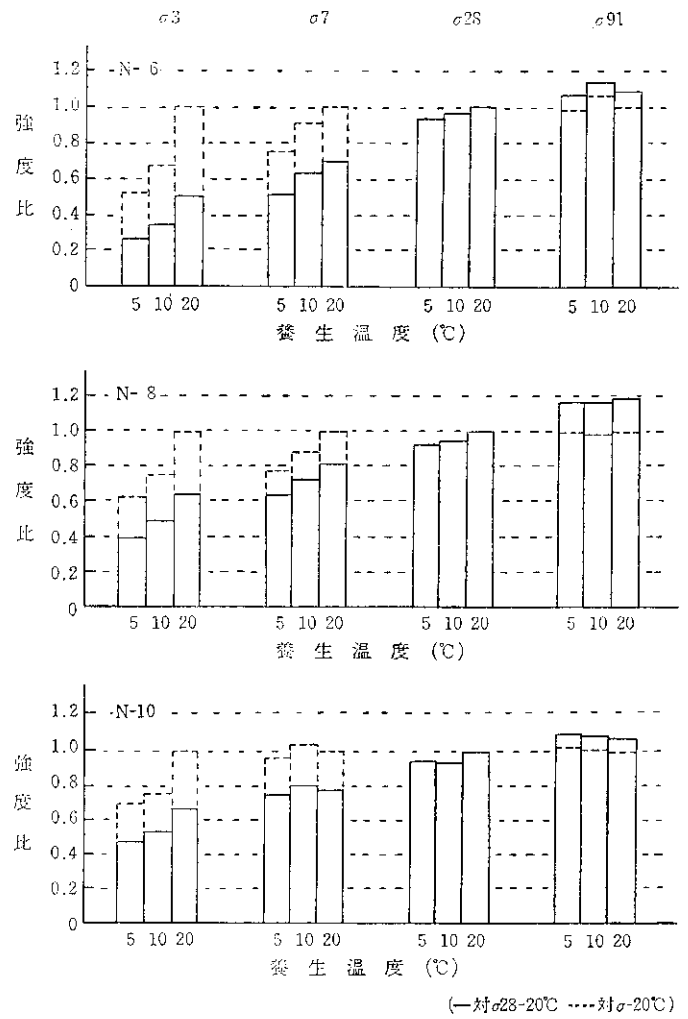


図-9 養成温度条件が強度発現に与える影響

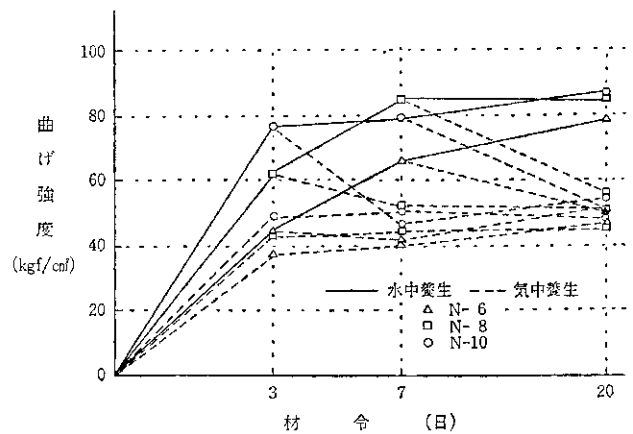


図-10 材令と曲げ強度の関係

える初期水中養生の効果はあまり認められない。

また、同時期に行った高性能減水剤使用高強度コンクリートの場合、水中養生の中断により64~76%に低下し、NEMコンクリートの場合と同様の傾向を示した。

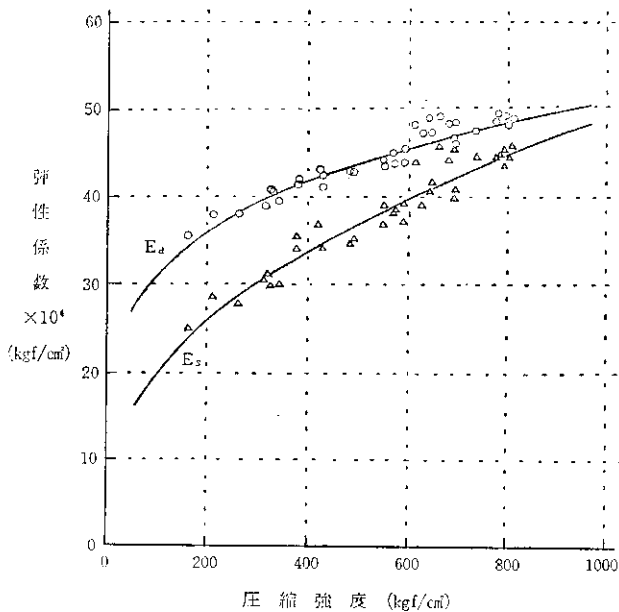


図-11 圧縮強度と動および静弾性係数

4.3.3 弾性係数

圧縮強度試験に先行して測定した一次共鳴振動数より求めた動弾性係数 (E_d) と、強度試験に並行してコンプレッソメータによって測定した変位より求めた破壊荷重の 1/3 点における割線弾性係数 (E_s) の、圧縮強度 (σ_c) との関係を図-11 に示す。

図より両者の関係式を求めると、

$$E_d = 11.81 \sigma_c^{0.211} \times 10^4 \quad r = 0.96$$

$$E_s = 3.29 \sigma_c^{0.390} \times 10^4 \quad r = 0.96$$

となった。また、 E_d/E_s は 1.06~1.42 の範囲となった。

5. まとめ

高炉スラグ組成物を利用した高耐久性コンクリートの可能性を検討するため、高炉スラグ組成物の物性とそれを用いたコンクリートの諸性質に関する試験を行った。

主な結果を要約すると、以下のとおりとなる。

- (1) NEM の初期水和収縮量は OPC・高炉 B 種に比べ小さく、石膏を添加するとさらに小さくなった。
- (2) NEM の水和による総発熱量は、48 時間後では 65 cal/g であった。これは、OPC の 1.35 倍の値である。
- (3) スラグ細骨材 (CSS) を用いた高強度モルタルの曲げ強度は、気中養生により水中養生した強度の 50~70% の値に低下した。
- (4) 高炉スラグ高微粉末 (SSP) を配合することにより、10 週間浸せき後の塩分浸透深さは、SSP を配合し

ない場合の 1/3~1/4 になり耐塩性は向上した。

(5) NEM コンクリートは、加圧ブリージング量が多く、圧送性は OPC コンクリートに劣る傾向である。

(6) NEM コンクリートの圧縮強度は、材齢 28 日までは単位 NEM 量の差異が明確に現われているが、91 日強度は単位 NEM 量 800 と 1000 kg/m³ の差が明らかでない。

(7) 単位 NEM 量を 800 kg/m³ としたコンクリートの圧縮強度は、標準養生の場合、材齢 28, 91 日でそれぞれ 678, 805 kgf/cm² となった。

(8) NEM コンクリートの初期材齢 (3 日) での圧縮強度は養生温度の影響を受け、5°C 養生の場合の標準養生強度比は、単位 NEM 量 600, 1000 kg/m³ でそれぞれ 52.70% となった。しかし、28 日強度はそれぞれ 93.95% であり、養生温度の影響は小さかった。

(9) 水中養生の中断により、NEM コンクリートの曲げ強度は低下し、脱型後まったく養生しない場合の強度と同程度となった。

以上の結果から、単位 NEM 量は 800 kg/m³ 程度が実用的であると思われる。

6. あとがき

今後、鉄筋コンクリート構造物への適用を図ることを前提に、クリープ・乾燥収縮などの変形特性、付着・疲労などの強度特性および長期強度特性を把握する必要がある。また、NEM が素材として確立した段階で、鉄筋コンクリートによる模型実験を行う予定である。

最後に、試験の計画と実施にあたり御指導をいただいた前コンクリート研究室副室長今井益隆氏に対し、厚く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 今井益隆, 大橋 猛, 小出儀治, 下林清一; 高炉スラグ組成物を利用した高耐久性コンクリートに関する研究, 土木試験所月報 No. 404, pp. 9-22, 1987. 1.
- 2) 今井益隆, 大橋 猛, 齊藤敦志; 高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの諸性質, 高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集, pp. 67-72, 1987. 3.
- 3) 下林清一, 小出儀治, 大橋 猛, 今井益隆; 高炉スラグ組成物を利用したコンクリートの諸特性, 高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集, pp. 121-128, 1987. 3.