

石灰石微粉末を多量に用いたマスコンクリート 用低発熱型高流動コンクリート

古屋信明*・斉藤哲男**・近松竜一***・
十河茂幸****

本論文は、マスコンクリートとしての所要の品質を確保しつつ、施工性向上の観点からコンクリートに高流動性を付与するために、石灰石微粉末を多量に混入し、高性能 AE 減水剤を適切に組合せた低発熱型高流動コンクリートの配合技術に関して実験的に検討し、さらに実規模構造物への試験施工によりマスコンクリート構造物への適用性に関して検討した結果をとりまとめたものである。

Key Words : highly workable concrete, mass concrete, ternary low-heat generating cement, lime stone powder, air-entraining high range water-reducing agent

1. 序

本州四国連絡橋の一環として建設が進められている明石海峡大橋では、主塔基礎・アンカレイジとも過去にない大規模の橋りょうマスコンクリート構造物となる。

著者は、このような橋りょうマスコンクリート構造物の温度ひびわれ抑制の一策として、材料・配合の観点からコンクリートの低発熱化に関する研究に取組み、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを多量に混合した低発熱性セメントを用いることで水和熱の大幅な低減を図り、さらに化学的に安定した高純度の石灰石微粉末（以下、石粉と呼称）の併用によって、単位セメント量が少なくても良好なプラスチシチーを有するマスコンクリート配合の目安を得ることができた^{1),2)}。

今までのマスコンクリート構造物では、所要の品質が確保される範囲で極力発熱量を低減するために、単位セメント量が少ない貧配合の硬練りコンクリートとし、十分に締め固めて打ち込む方法が一般的である。しかしながら、コンクリートの打込み・締め固め作業には大量の労働力を必要とするのに対し、労務事情の悪化による熟練作業員の確保が困難で、作業時間の制約が課せられる事が多いことを考慮すると、マスコンクリートとしての品質を確保しつつ、コンクリートを高流動化することによって施工性を向上させることは、工学的に極めて有用であるとともに、コンクリート工事の信頼性を向上させるものと考えられる。近年においては、流動性に優れ、締め固めを要さないコンクリート（以下、高流動コンクリ

Table 1 Mix design of highly workable concrete

骨材 最大寸法 (mm)	設計基準強度 (材令91日) (MPa)	単位 セメント量 (kg/m ³)	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)
40	24	260	55±5	4±1

トと呼称)の配合技術に関する研究³⁾が活発に行われてきているが、マスコンクリート構造物を対象としては、十分な検討がなされているとはいえない。

本論文は、低発熱型高流動コンクリートを橋りょうマスコンクリート構造物に適用することを実験的に検討した結果をとりまとめたものである。実験では、最大寸法 40 mm の骨材を用い、三成分系低発熱セメントを使用したマスコンクリート配合を基準とし、これに多量の石粉を混入し、さらに高性能 AE 減水剤を適切に組合せることにより、高流動性を付与させた低発熱型高流動コンクリートの配合について検討した。さらに、実構造物への施工により、高流動コンクリートの施工性について検討した。

2. 実験概要

実験は、以下の2シリーズに大別して実施した。

実験Ⅰ：各種配合要因が高流動コンクリートの諸性質に及ぼす影響

実験Ⅱ：高流動コンクリートの施工性に関する検討

高流動コンクリートの配合条件をTable 1に示す。対象構造物がマスコンクリートとなるため、セメント量はできるだけ少なく設定することとしたが、耐久性上の観点から下限を考慮し、単位セメント量は 260 kg/m³ と一定にした。流動性の指標にはスランブフローを用い、目標値を 55 cm とした。

(1) 使用材料

実験に用いた各材料の概要をそれぞれTable 2～Table

*正会員 本州四国連絡橋公団第一建設局
垂水工事事務所 副所長
(〒655 神戸市垂水区平磯 1-1-66)

**正会員 本州四国連絡橋公団第一建設局
垂水工事事務所 第一工事長代理

***正会員 工修 (株)大林組技術研究所

****正会員 工博 (株)大林組技術研究所 主任研究員

Table 2 Properties of ternary low-heat generating cement

比重	ブレン比表面積 (m ² /kg)	圧縮強さ (MPa)			水和熱 (J/g)		
		7日	28日	91日	7日	28日	91日
2.80	524	17.5	33.1	43.2	176	209	230

Table 3 Series of limestone powder

記号	比重	ブレン比表面積 (m ² /kg)
LF40	2.71	400
LF55		550
LF75		750

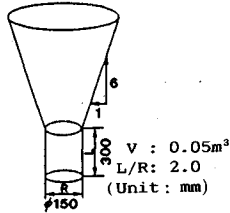


Fig.1 Concrete flow test apparatus

5に示す。セメントは、中庸熟ポルトランドセメントをベースとし、これに高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを内割でそれぞれ55% および20% 混入した三成分系低発熱セメントを用いた。また、セメント以外の鉱物質微粉末として粉砕の程度が異なる3種類の石粉を用いた。粗骨材は砕石を用い、細骨材は海砂と砕砂を混合して用いた。高流動コンクリート配合には、主成分やスランプフロー保持成分量の異なる3種類の高性能AE減水剤（以下、これらをSPAと略記）を用い、AE剤を用いて空気量を調整した。また、単位水量を定めるための試験においては、AE減水剤（主成分：リグニン・ポリオール系）を使用した。

(2) 各実験シリーズの概要

実験Iでは、各種配合要因が高流動コンクリートの諸性質に及ぼす影響について、Table 6に示す水準の範囲で検討した。実験に用いたコンクリートの配合の概要をTable 7に示す。配合中の単位水量に関しては、予備試験を行い、AE減水剤を標準量用いた場合にスランプが5cm程度となる値(140 kg/m³)を基準とした。従来の硬練りコンクリートと同等の単位水量を設定したのは、硬化後のコンクリートの体積変化をできるだけ少なくするための配慮である。また、比較のために、スランプを11cm程度としたコンクリート（以下、基本配合と表記）についても試験した。なお石粉は、混和材として配合計算を行った。試験温度は20°Cとし、一部の配合については低温下（目標温度：10°C）でも試験した。

コンクリートの製造には、バグミル型二軸強制練りミキサーを用い、練りませ量は0.1 m³/バッチとした。練りませ方法は、セメント・石粉および骨材を投入して空練りを60秒行い、予め混和剤を溶解させた練りませ水を加えて120秒練りませた。

各種試験項目および方法をTable 8に示す。各試験用試料の作製に際しては、突き棒を用いず、木づちで軽く

Table 4 Properties of aggregates

種類	産地	分類	比重	吸水率 (%)	粗粒率 (F.M.)
細骨材	香川県広島産	海砂	2.55	1.98	2.56
	兵庫県西島産	砕砂	2.55	2.11	2.97
粗骨材	兵庫県赤穂産	砕石2005	2.63	0.58	6.24
		砕石4020	2.63	0.54	7.96

Table 5 Properties of high range water reducing AE agents

記号	略称	比重	主成分
NS	ナフタリン系	1.15	変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸と活性持続ポリマーの複合物
PO	ポリカルボン酸系(I) ポリカルボン酸系(II)	1.04	ポリカルボン酸エーテル系複合物

Table 6 Examination factor and level

分類	検討要因	要因の水準
材料	高性能AE減水剤	ナフタリン系、ポリカルボン酸系
	石粉の粉末度	400, 550, 750 m ² /kg
配合	細骨材率	34, 37, 40, 43, 48 %
	単位水量	130, 135, 140, 145, 150 kg/m ³
	単位石粉量	120, 150, 180, 220 kg/m ³

Table 7 Mix proportion of concrete

配合種類	使用材料		W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)		
	石粉	SPA			W	C	LF*
基本	LF55	NS, PO	53.8	43	140	260	30
	LF55	NS	53.8	34~48	140	260	150
高流動	LF40 LF55 LF75	NS, PO	57.7 ~ 50.0	40	150 ~ 130	260	150
	LF55		53.8	40	140	260	120 ~ 220

* 石粉の単位量をLFと表記する。

Table 8 Tesing methods of concrete

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
スランプフロー	土木学会規準
空気量	JIS A 1128
練上り温度	アルコール温度計
ブリージング率	JIS A 1123
凝結時間	JIS A 6204 附属書1
圧縮強度	JIS A 1108
引張強度	JIS A 1113
ヤング係数	コンプレッソメータによる測定
断熱温度上昇量	空気循環式試験機使用、12日間測定
中性化深さ	促進条件(CO ₂ 濃度:5%、30°C、55%RH)フェノールフタレイン溶液による測定
塩分浸透深さ	人工海水(Cl ⁻ :1.8%) 浸漬、フルオレセインナトリウムと硝酸銀水溶液による測定

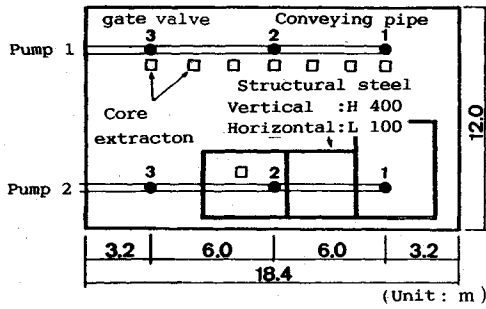


Fig. 2 Base of reinforced concrete

たたいて締め固めた。また、高流動コンクリートの粘性の相違を簡便に調べるために、Fig. 1 に示す試験装置を用いて一定量のコンクリートがロートから流下する時間を測定した（以下、この試験をロート流下試験と呼称）。

実験Ⅱでは、実験Ⅰの結果から選定した配合について、実機ミキサ（油圧可変速二軸強制練り、容量：6 m³）による高流動コンクリートの製造方法について検討するとともに、Fig. 2 に示す実際の鉄筋コンクリート基礎（平面積：約 220 m²、高さ：1.5 m）への試験施工（コンクリート打設量：約 330 m³）により、高流動コンクリートの施工性について検討した。コンクリートの圧送には、110 m³ 級のポンプ車 2 台を用い、配管径は ϕ 200 mm (8 B)、配管距離は約 350 m の水平配管とした。

高流動コンクリートは、各配管の先端部からパイプレータを用いずに片押しで打ち込み、その後、各配管系列毎に 6 m 間隔で配置したゲートバルブから交互にコンクリートを打ち込んだ。試験項目は、Table 8 に示した各試験の他に、練りませ性能試験、ポンプ圧送性、流動性状、型わくに作用する側圧等についても調べた。

3. 実験結果および考察

(1) 各種配合要因が高流動コンクリートの諸性質に及ぼす影響

各種要因を変化させた配合に対して、所定のスランプフローとなるように高性能 AE 減水剤量を調整した。所要高性能 AE 減水剤量は、細骨材率の増大、高粉末度の石粉の使用により若干増加する傾向であったが、いずれの配合も硬化不良等の悪影響のない使用量の範囲であった。また、所要高性能 AE 減水剤量には、主成分の種類による温度依存性の相違が認められ、Fig. 3 に示したように、同一配合に対し、ナフタリン系は、低温下では使用量が同等もしくは若干増大するのに対し、ポリカルボン酸系では逆に減少する傾向が認められた。

a) 高流動コンクリートのプラスチシチー

高流動コンクリートのプラスチシチーは、練り板上でのコンクリートの切返し状態、骨材沈降の有無、スランプフロー試験時の試料の広がり状態を目視するととも

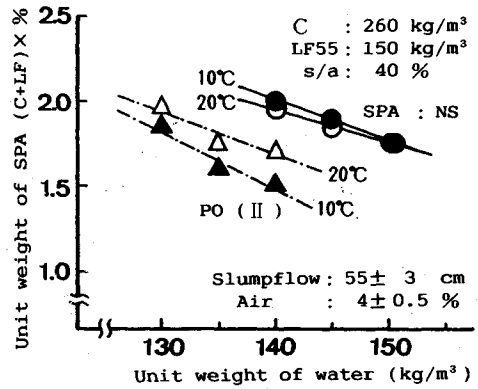


Fig. 3 Unit weight of water and SPA

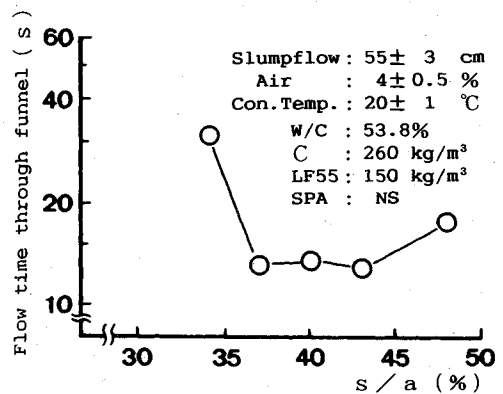


Fig. 4 s/a and flow time of rote

に、ロート流下試験時の流下状態等により判断した。

細骨材率とロート流下時間の関係をFig. 4 に示す。細骨材率を 37~45% の範囲で設定した場合には、プラスチシチーは良好であり、流下試験においてもロート流下時間が小さく、良好な流動性を示すことが観察された。これに対し、34% まで小さくした場合には、スランプフロー試験時にモルタルが先走り、中央部に多くの粗骨材が残る状態となり、ロート流下試験では、骨材のアーチングによる一時的な閉塞が生じ、流下時間が増大する結果となった。また、逆に 48% まで高めた場合には、粗骨材の沈降現象が観察された。これらの結果より、閉塞に対して十分安全で、かつ沈降の少ない範囲で細骨材率は 45% が適していると判断した。

単位石粉量の比較を Table 7 の条件で行った結果、単位石粉量を 120 kg/m³ とし、スランプフローを 55 cm 程度とした場合、若干分離きみとなり、スランプフロー試験時に粗骨材が中央部に残る状態が観察された。しかし、石粉量が 150 kg/m³ 以上では顕著な分離は認められなかった。また、全般的には、高粉末度の石粉を用いた場合ほどプラスチシチーが改善される傾向にあった。微粉

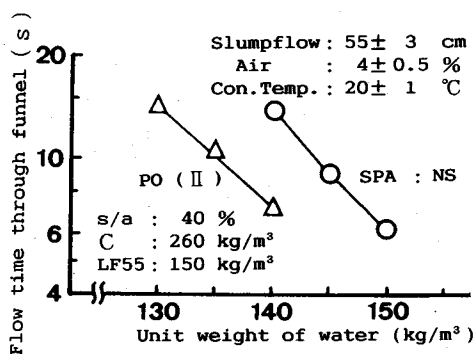


Fig.5 Unit weight of water and flow time of rote

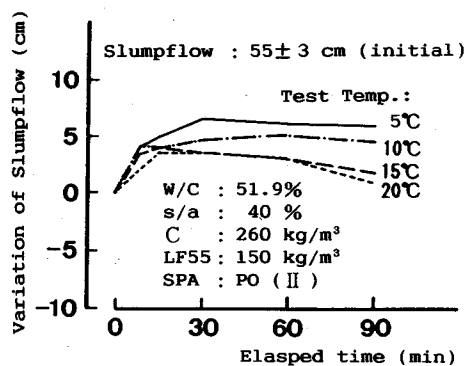


Fig.7 Results of slumpflow test

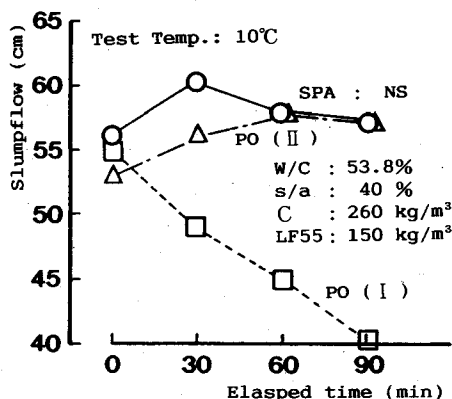


Fig.6 Results of slumpflow test

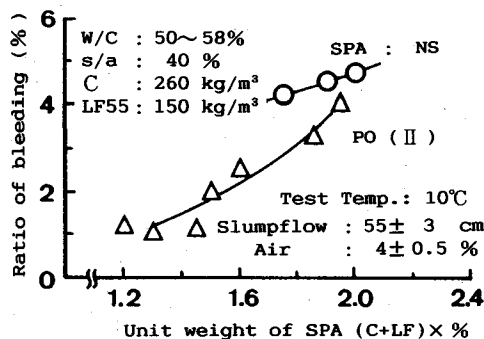


Fig.8 Unit weight of SPA and ratio of bleeding

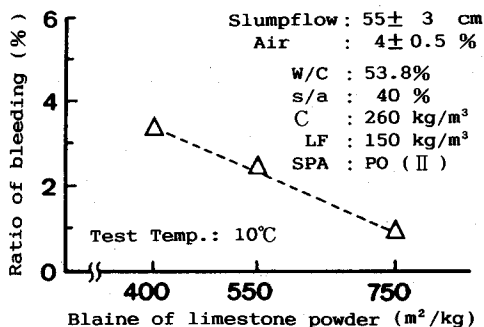


Fig.9 Blaine of limestone powder and ratio of bleeding

末の量がプラスチックに対して支配的であり、その粒度等も若干影響するものと思われる。

一般には、降伏値を同一とした場合、プラスチックは塑性粘度に左右され、コンクリートの粘性は配合中の水量の影響を多大に受ける。Fig.5では、この水量の増加による粘性の低下が流下時間の減少として示されている。また、コンクリートの粘性は、高性能AE減水剤の種類によっても相違し、同一水量で比較した場合、ナフタリン系よりもポリカルボン酸系を用いた方が粘性が小さく、流下時間を指標とした場合、混和剤の種類による粘性の相違は水量で約10 kg/m³程度に相当するものと考えられる。

b) スランプフローの経時変化

各種高性能AE減水剤を用いた場合のスランプフローの経時変化をFig.6に示す。ナフタリン系の場合には、練上り90分後においてもフローの低下は認められない。ポリカルボン酸系のうち、標準タイプ(I)を用いた場合には、10°Cの低温下でも練上り直後からフローが徐々に低下する結果となったが、スランプフローが保持されるように混和剤成分を調整した場合(タイプII)には、ナフタリン系の場合と遜色ないフローロスの抑制効果が確認された。スランプフローの経時変化に及ぼす

試験温度の影響を、ポリカルボン酸系(II)を用いた場合について調べた結果をFig.7に示す。いずれの温度下でも練上り後60分までのフローロスはほとんど認められない。ただし、練上り後のフロー増大量は、低温下の場合ほど大きくなる傾向となった。

以上の結果は、施工条件から所要とされる流動性の保持時間の制御が、混和剤成分の調整によってある程度可能となること示すものであるとともに、フローの経時変化に及ぼす温度の影響だけでなく、混和剤の遅効性に伴うフローの増大についても十分に配慮する必要があることを示すものといえる。

c) プリージング・凝結性状

高流動コンクリートのプリージングに関しては、試験

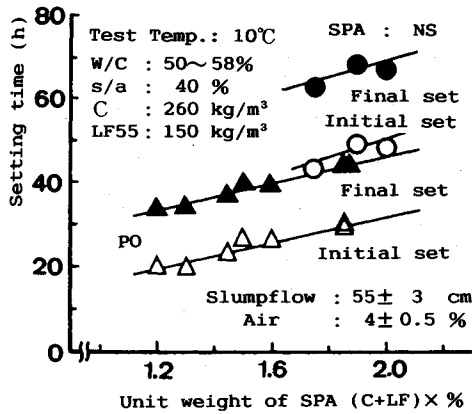


Fig.10 Unit weight of SPA and setting time

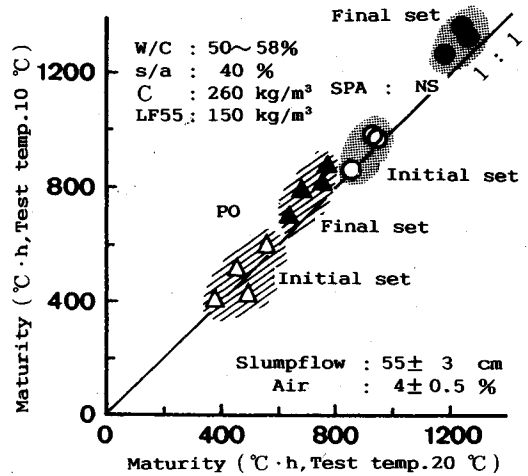


Fig.11 Results of concrete setting test

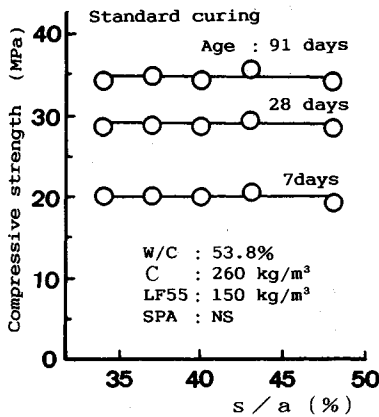


Fig.12 s/a and compressive strength

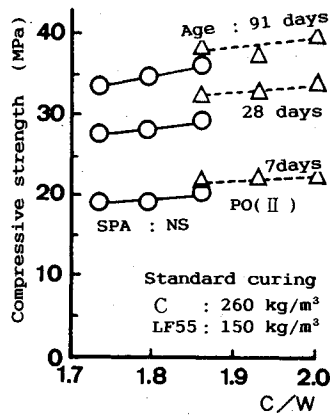


Fig.13 C/W and compressive strength

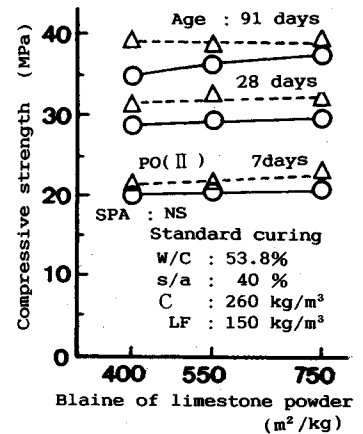


Fig.14 Blaine of limestone powder and compressive strength

温度が20°Cの場合には、いずれの配合もブリージング率が3%以下となったのに対し、10°Cの低温下では顕著に増大する場合も認められ、その程度は高性能AE減水剤量によって左右された (Fig.8参照)。また、Fig.9に示すように、石粉の粉末度によるブリージングの差異が認められ、高粉末度の石粉は、低温条件下でのブリージング低減に効果があることが判明した。

凝結性状は、ブリージングと同様に高性能AE減水剤量と相関が認められ、添加量の増大に伴って凝結時間が遅延する結果となった。低温下での試験結果を示したFig.10によれば、今回使用したタイプの低発熱セメントをナフタリン系の高性能AE減水剤と組合せた場合には、著しく凝結が遅延しており、これがブリージング増大の一因となっているものと考えられる。

Fig.11は、同一配合において試験温度が相違した場合の凝結時間をそれぞれ積算温度に換算し、両者の関係

をプロットしたものである。両者の間には、配合によらず高い相関があることが認められ、試験温度による凝結時間の相違は、積算温度で整理することにより比較的高い精度で推測できるものと考えられる。

d) 強度発現性状および断熱温度上昇特性

各種配合要因を変化させた場合の圧縮強度を要因別に整理した結果をFig.12~Fig.15に示す。これらの図にも認められるように、細骨剤率の相違が強度に及ぼす影響は極めて小さいこと、各材令の圧縮強度はセメント水比と直線関係にあること等、従来の知見と一致した結果が得られた。

しかしながら、単位セメント量、単位水量を一定とし、水セメント比が同一の配合であっても、高流動コンクリート配合では、基本配合よりも強度発現が大きくなる傾向が認められる。この傾向は、単位石粉量が増大するほど、また、ナフタリン系よりもポリカルボン酸系の高

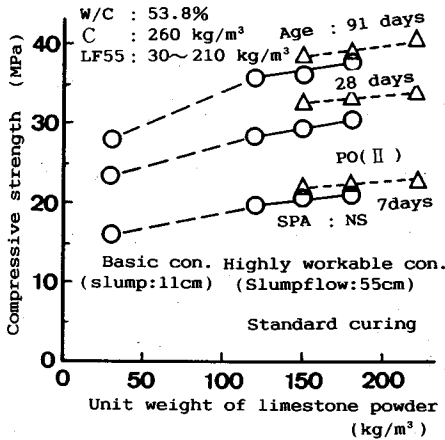


Fig.15 Unit weight of limestone powder and compressive strength

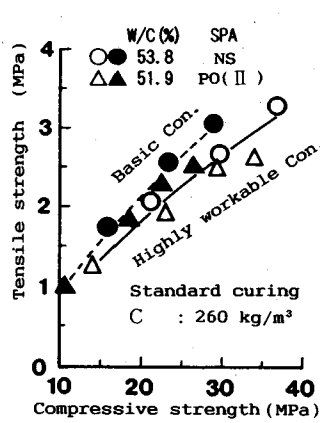


Fig.16 Compressive and tensile strength of concrete

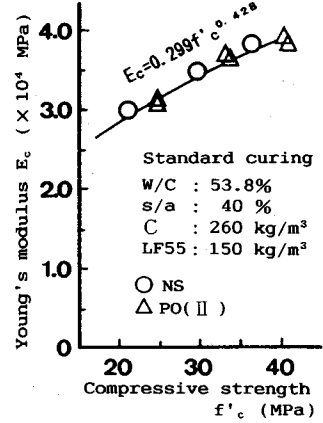


Fig.17 Compressive strength and Young's modulus

性能 AE 減水剤を用いた場合の方が、より顕著であり、さらに高粉末度の石粉を用いた場合の方が若干強度値も大きくなる傾向が認められる。ただし、これらの傾向は圧縮強度において顕著に認められ、高流動配合における引張強度と圧縮強度との比率は、基本配合と比較すると、同一水セメント比に対しては若干小さくなった。圧縮強度と引張強度および静弾性係数の関係を、それぞれ Fig.16 および Fig.17 に示す。

断熱温度上昇試験結果を Fig.18 に示す。単位セメント量を 260 kg/m³ とした配合の終局断熱温度上昇量は、約 25~27°C と極めて小さく、十分に低発熱型マスコンクリートであるといえる。また、基本配合に比べて高性能 AE 減水剤を多量に用いた高流動配合では、温度上昇時期が遅れ、最終的な温度上昇量が若干大きくなる傾向にあるものの、発熱特性には上記の強度発現性の相違を説明するほどの有意な差は認められない。

以上の結果をもとにすると、高流動配合の強度増進効果は、練りませ時の結合材の分散状態に起因する可能性が極めて高いものと考えられる⁴⁾。すなわち、高流動配合では基本配合に比べて単位石粉量および高性能 AE 減水剤量が多く、これらが練りませ時に結合材粒子の分散性を向上させることにより、結合材の水和がコンクリートの強度発現に効果的に作用したものと考えられるのである。なお、この結合材粒子の分散効果は、減水剤の種類によっても相違することが考えられるが、これらの諸点については、今後さらに検討する必要がある。

e) 中性化・塩分浸透

中性化促進試験結果を Fig.19 に示す。各配合とも中性化深さは、促進期間の平方根にほぼ比例する結果となり、高流動配合では、同じ低発熱型セメントを用いた基本配合に比べて強度増進効果の影響もあり、中性化の進行が約 30% 程度抑制される結果となった。

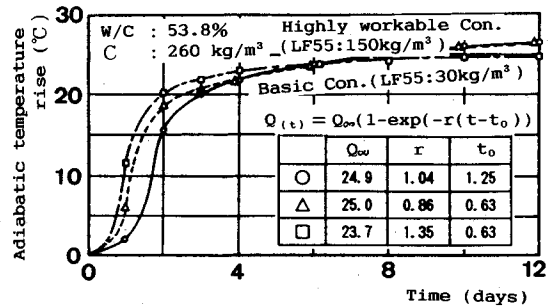


Fig.18 Results of adiabatic temperature rise test

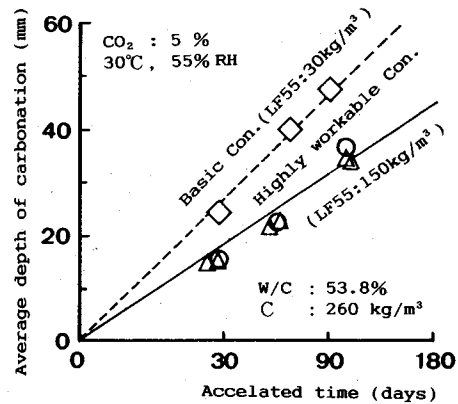


Fig.19 Results of accelerated carbonation test

人工海水中に供試体を浸漬した場合の、フルオレセインナトリウムと硝酸銀水溶液による変色域測定結果から得られた塩化物イオンの浸透深さを、Fig.20 に示す。高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混合した低発熱セメントを用いた高流動コンクリート配合では、JIS に規定されている普通ポルトランドセメントや高炉セメント C 種を用いた低水セメント比 (35.5%) 配合よりも塩

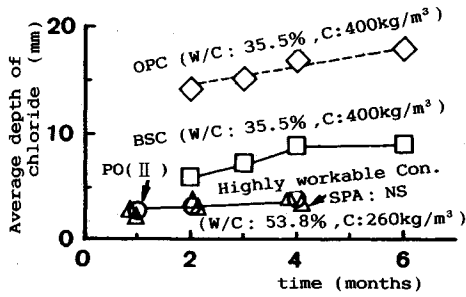


Fig.20 Results of chloride content test

Table 9 Mix proportion highly workable concrete

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					
		W	C	LF	S	G	SPA
53.8	45	140	260	150	774	972	6.8~7.2

* 石粉はLF55, SPAはポリカルボン酸系IIを使用した。

化物イオンの浸透深さは小さい結果が得られた。

以上の各試験結果から判断する限りにおいては、コンクリートに高流動性を付与させるために化学的にほとんど活性のない石粉を多量に用いても、中性化や塩分浸透性などへの悪影響はほとんどないものと考えられる。

(2) 高流動コンクリートの施工性に関する検討

実験IIでは、流動性やブリージング・凝結性および強度発現等の実験結果をもとに選定した Table 9 に示す配合を用いて、主に高流動コンクリートの施工性に関する検討を実施した。

a) 高流動コンクリートの製造方法

試験練りミキサーを用いて練りませ時間を変化させた場合の、スランプフローの経時変化を Fig.21 に示す。最終的なスランプフローは、練りませ時間の相異によらずほぼ同等の値となっているが、練りませ時間が短い場合には、ミキサーから排出直後のフロー値が小さく、時間の経過とともに急激に増大する傾向が認められた。

実機ミキサーを用いて練りませ時間を変化させ、ミキサー内の対角4点からコンクリートを採取し、各特性値の変動係数を調べた結果を Fig.22 に示す。モルタル単位容積質量差および単位粗骨材量の差は、いずれの場合も JIS A 1119 に示されている規定値の範囲内であった。ただし、単位粗骨材量やスランプフローの変動係数は、練りませ時間が短くなるに伴って著しく増大する傾向となった。また、練りませが90秒と短い場合には、圧縮強度の絶対値も約10%程度小さくなった。一方、練りませ時間を一定(110秒)とし、材料投入順序を変化させた場合 (Fig.23 参照) には、Table 10 に示すように、コンクリートの品質には顕著な差異はなかった。

以上の結果より、各材料が均質に分散され変動の少ない高流動コンクリートを製造するためには、練りませ時

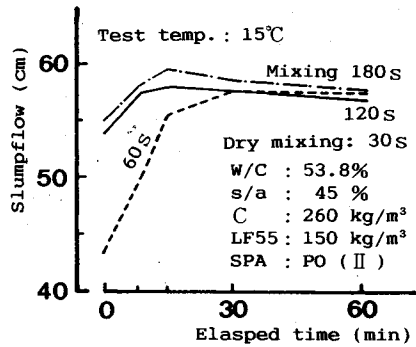


Fig.21 Results of slumpflow test

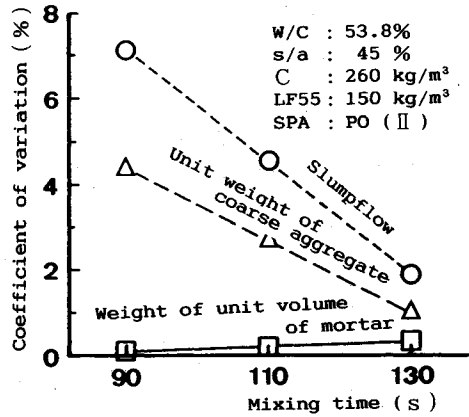


Fig.22 Coefficient of variation on concrete test

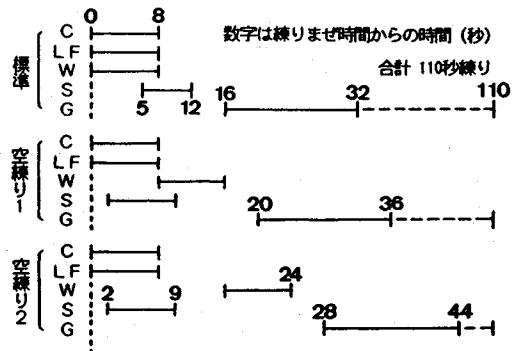


Fig.23 Mixing methods of concrete

Table 10 Various test results of concrete

材料投入方法	練りませ時間 (s)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	ブリージング率 (%)	圧縮強度 (MPa)	
					7日	28日
標準	110	53.5	4.7	0.20	24.9	34.6
空練り1	110	53.0	4.4	0.31	24.8	34.9
空練り2	110	54.5	4.6	0.41	25.0	34.2

Table 11 Results of quality control of concrete

特性値の種類	試験総数	平均	最大	最小	標準偏差
スランプフロー (cm)	30	49	57	44	3.3
空気量 (%)	9	3.3	5.2	2.3	0.9
コンクリート温度 (°C)	22	14.1	15.5	12.5	0.9
28日圧縮強度 (MPa)	3	35.5	36.5	34.2	3.4

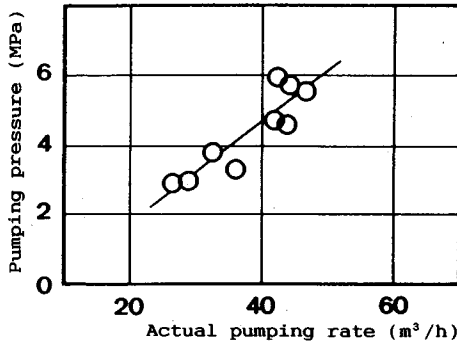


Fig.24 Actual pumping pressure and pumping rate

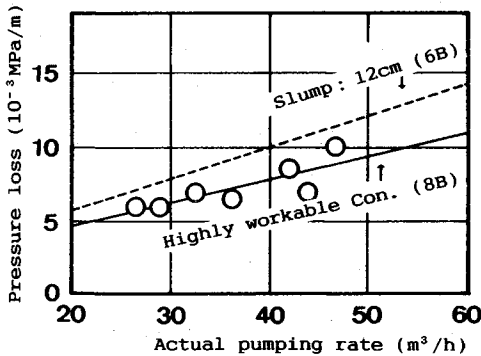


Fig.25 Actual Pressure loss and pumping rate

間を長くすることが望ましいものの、空練り等の特殊な配慮をしなくても十分に均質なコンクリートの製造が可能であることが確認された。

b) 品質管理試験結果

実機ミキサ（練りませ量：5.5 m³）を用いて約 330 m³ の高流動コンクリートを製造し、Fig.2 に示した鉄筋コンクリート基礎を築造した時の品質管理試験結果を Table 11 に示す。荷卸し直後のスランプフローの平均値は約 50 cm であり、±5 cm 程度の変動幅で推移した。また、荷卸し直後に採取した標準養生供試体の強度のばらつきは、ほとんど認められなかった。

c) ポンプ圧送性

配管径が φ 200 mm (8 B)、水平配管距離を約 350 m として、高流動コンクリートのポンプ圧送性を調べた。吐出圧力と実吐出量の関係を Fig.24 に示す。また、管内のコンクリート圧力測定結果から求めた単位水平配管

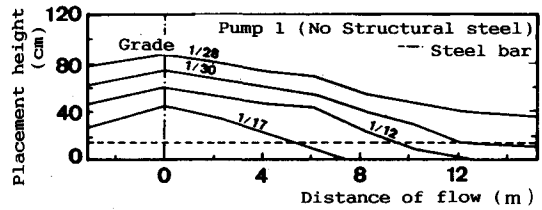


Fig.26 Results of flowing grade (No.1)

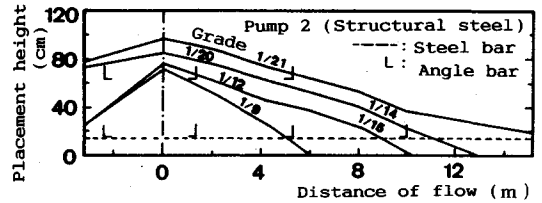


Fig.27 Results of flowing grade (No.2)

長さあたりの圧力損失を Fig.25 に示す。一般には、水溶性高分子を用いた水中分離性コンクリートのように粘性が非常に高い場合には、吐出量を上げると圧力が著しく増大する場合があるが、本実験での吐出圧力は吐出量にほぼ比例し、今回設定した配管抵抗では最大ポンプ主油圧に対して約 45 m³/h 程度の圧送が可能であることが確認された。また、単位配管長さあたりの圧力損失は、配管径を大きくしたためかなり小さく、スランプ 12 cm のコンクリートを 6 B 管で圧送する場合の約 70% 程度であった。

ポンプ圧送前後のコンクリートの品質変動に関しては、約 330 m の水平配管による圧送により、荷卸し時よりもスランプフローは約 5 cm 程度、空気量は約 1~1.5% 程度増大し、コンクリート温度は約 2°C 程度上昇した。この空気量およびスランプフロー増大は、それぞれ圧送に伴うエアの巻き込みと高性能 AE 減水剤の分散効果の遅効性によるものと推測される。

d) 流動性状

各配管系列毎に 1ヶ所から連続してコンクリートを打ち込んだ場合の流動勾配測定結果を、Fig.26 および Fig.27 に示す。障害物がない場合の流動勾配は、1/20 ~ 1/30 程度であるが、水平鉄筋 (D 25 @ 150) や L 型鋼材などの障害によって勾配は 1/10 程度まで小さくなった。コンクリートの流動を妨げる要因としては、障害物自体の大きさよりも、短い間隔で数多く配置される水平鉄筋の影響が大きいことが明らかとなった。

e) 流動後のコンクリート品質

硬化後採取したコア供試体の材令 4 週での圧縮強度および単位容積重量を、Fig.28 および Fig.29 に示す。

コア強度の平均値は、標準養生した場合の 85% 程度となった。コア強度の変動は、水平方向、鉛直方向とも小さく、特に流動距離が 10 m までの範囲内では、強度

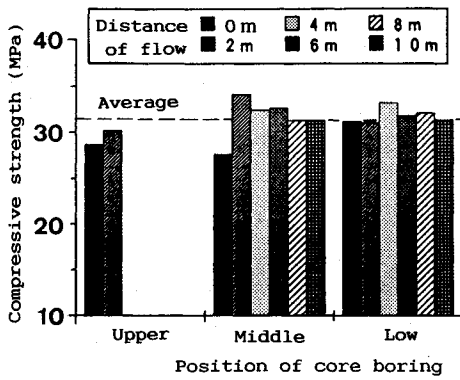


Fig. 28 Compressive strength of concrete core

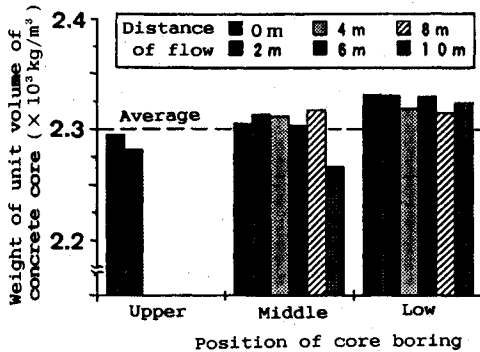


Fig. 29 Weight of unit volume of concrete core

が低下する傾向は認められない。単位容積重量に関しては、鉛直方向での差があり、下部ほど大きくなる傾向となり、また、流動距離を10m程度まで長くした場合には、コア採取位置の上下による差異が顕著となった。

硬化後の空気量に関しては、打込口直下では打込み時の巻き込みに起因すると思われるエントラップドエアが認められた。また、流動距離に伴って空気量が減少する結果となり、流動中あるいは流動後に抜け出る気泡は上層に集中する傾向が認められた。

これらの結果を総合すると、広範囲にわたって大量に高流動コンクリートを打ち込む場合には、不陸を小さくする観点からも流動勾配に応じて流動距離を小さくし、薄層に層打ちして均等に打上げよう配慮が望ましいと考えられる。

コンクリートを層打ちした場合の打足し面の品質について調べるために、1.5時間をおいて打継いだ打足し面を含む水平方向コアの圧縮強度試験を行った。試験結果を Table 12 に示す。コア強度および単位容積重量ともに、パイプレータの使用の有無にかかわらず、打足し面を含まない鉛直方向のコアとほぼ同等の値が得られた。

f) 型わくに作用する側圧

コンクリート打込み時の型わくに作用する側圧は、部

Table 12 Results of concrete core

パイプレータの使用	コア採取位置 型わく面からの 距離 (cm)	圧縮強度 (MPa)		単位容積重量 ($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$)	
有	20	30.5	31.2* (97)	2.25	2.24* (100)
	50	31.2		2.24	
	80	32.0		2.25	
無	20	30.9	31.5* (98)	2.21	2.22* (99)
	50	31.7		2.23	
	80	31.9		2.23	

各データは3本の平均値 (は9本の平均値)を示した。
() は、一般部鉛直コアの試験値に対する百分率 (%)

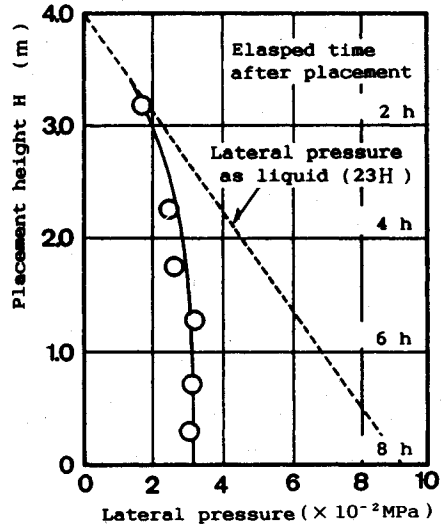


Fig. 30 Lateral pressure against formwork of concrete

材寸法や配筋状態、打上り速度などの施工条件によっても左右される。本実験では、無筋状態の鋼管(内径: 2360mm, 厚さ: 22mm, 高さ: 5500mm)内に、60分間隔で各層50cmで8層に分けて高流動コンクリートを打ち込んだ場合の側圧を測定した。なお、打込み時のコンクリート温度、平均外気温は、ともに13°Cであり、コンクリートの始発時間は11時間であった。

打込み完了時の高さ方向の側圧分布を Fig. 30 示す。コンクリートを乱さないで静置した条件下では、打設から約2時間までは、液圧に近い側圧が作用し、それ以降の側圧の増加は僅かであり、打込みから約6時間以上経過した場合にほとんど一定値となった。なお、コンクリート打込みと同時にスランプコーンに試料を詰めた状態で静置しておき、経時的にスランプフローを測定した結果、側圧の低下時期はフローが急激に低下する時期に一致し、側圧が液圧で作用する時間は、静置状態でコンクリートが流動性を保持する時間(今回は約2時間)にほぼ対応することが明らかとなった。

4. 結 論

本研究の範囲内で以下の事項が結論できると思われる。

(1) 最大寸法 40 mm の骨材を用い、単位セメント量が 260 kg/m^3 の三分系低発熱セメントを用いたマスコンクリート配合において、石粉と高性能 AE 減水剤を適切に用いることにより、低発熱型高流動コンクリートの製造が可能である。

(2) 高性能 AE 減水剤を多量に用いる高流動コンクリートにおいて、水溶性高分子等の特殊な混和剤を用いなくて良好なプラスチックを得るためには、セメントなどの微粉末量を増大させる必要がある。コンクリートの発熱量低減の観点からは、この微粉末材料として化学的に不活性な石灰石微粉末の使用が効果的であり、 150 kg/m^3 程度と多量に用いても悪影響は認められず、むしろ耐久性は向上する。

(3) フレッシュコンクリートの粘性は、水量の変動に鋭敏に左右され、水量の増大とともに粘性が低下する。また、高性能 AE 減水剤の種類によっても粘性の程度が異なり、同一水量で比較した場合、ナフタリン系よりもポリカルボン酸系の方が粘性が低下する傾向にある。

(4) スランプフローの保持効果は、用いるセメントと高性能 AE 減水剤の組合せによって異なるが、混和剤中のスランプフロー保持成分量を調整することによって、施工条件から所要とされる流動性の保持時間の制御が十分に可能である。また、この場合には、練りませ後スランプフローが増大する傾向があり、その程度は練りませ温度が低い場合ほど、練りませが不十分な場合ほど大きい。

(5) 高流動コンクリートの凝結時間は、高性能 AE 減水剤の添加量に比例して遅延する傾向にあり、試験温度条件の相異に関しては積算温度で整理できる。また、ナフタリン系の場合には、ポリカルボン酸系よりも凝結が遅延する傾向にあり、低温下では、この凝結遅延に起因してブリージングが増大する傾向となる。

(6) 単位水量、単位セメント量を一定とし、水セメント比が同一の配合であっても、石粉と高性能 AE 減水剤を多量に用いた高流動コンクリートは、基本配合の

コンクリートに比べて発熱量はほぼ同等でありながら、圧縮強度の増進効果が認められた。その程度は、高性能 AE 減水剤の種類によっても相違するが、練りませ時における石粉や減水剤による結合材粒子の分散性の相違に起因するものと考えられる。

(7) 実機ミキサによる高流動コンクリートの製造に関しては、各材料が均質に練りませるように練りませ時間を設定する必要があり、材料投入順序の相違による影響はほとんど認められない。

(8) ポンプ圧送性に関しては、ポンプ配管径を大きく設定することによって、比較的低負荷でのポンプ圧送が可能となり、水平実長 350 m 程度の配管抵抗では、約 $45 \text{ m}^3/\text{h}$ 程度の圧送量が確保できる。

(9) スランプフローが 50 cm 程度の高流動コンクリートの流動勾配は $1/15 \sim 1/20$ 程度であり、障害物による流動抵抗は、障害物自体の大きさよりも水平鉄筋のように連続的に配置された場合の方が大きい。

(10) 打込み直後の側圧は、ほど液圧に近い値となる。また、側圧の減少開始時間は、静置状態において高流動コンクリートが流動性を損なう時期と対応する。

謝辞

本研究の実施にあたって、貴重な御助言、御指導を賜りました本四連絡橋構造用マスコンクリート委員会（委員長 東京工業大学工学部 長瀧重義教授）の各位に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 金沢克義・二宮仁司・十河茂幸・新開千広：超低発熱セメントの橋りょうマスコンクリート構造物への適用性，コンクリート工学，Vol. 27, No. 5, pp. 31-37, 1989. 5.
- 2) 金沢克義・山田勝彦・新田篤志・二宮仁司・十河茂幸：大型橋りょうマスコンクリートに適した超低発熱型セメント，コンクリート工学，Vol. 29, No. 4, pp. 27-36, 1991. 4.
- 3) 小沢一雅・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.
- 4) 山崎寛司：鉱物質微粉末がコンクリートのウォーカービリティおよび強度に及ぼす効果に関する基礎研究，コンクリートライブラリー第 8 号，土木学会。

(1992. 4. 14 受付)

BASIC RESEARCH ON HIGHLY WORKABLE CONCRETE WITH LOW HEAT TYPE CEMENT AND LARGE AMOUNT OF LIME STONE POWDER

Nobuaki FURUYA, Tetsuo SAITO, Ryuichi CHIKAMATSU and Shigeyuki SOGO

This report describes experimental results on the highly workable concrete for mass concrete purpose, which concrete is made from a ternary blended low-heat generating cement, large amount of lime stone powder and air-entraining high range water-reducing agent. The report also refers to applicability of this type of concrete to mass concrete structure, and it's applicability is confirmed through full size field casting.