

論文

[1002] 三成分系低発熱セメントを用いた高流動コンクリートの基礎的性質

正会員○十河茂幸 (大林組技術研究所)  
 正会員 近松竜一 (大林組技術研究所)  
 正会員 金沢克義 (本州四国連絡橋公団)  
 正会員 古屋信明 (本州四国連絡橋公団)

1. 序

完成後には世界最大の吊橋となる明石海峡大橋では、ケーブルを固定するためのアンカレイジも過去にない最大規模の鉄筋マスコンクリート構造物となる。そのうえ、急速施工の必要性も加わり、温度ひびわれ対策の面からは極めて困難な条件になる。そのため、まずコンクリートの低発熱化に取り組むこととし、ここ数年来、低発熱セメントの研究を実施し、一応の成果を見るに至った[1]。一方、コンクリート工事の省力化あるいは合理化の観点から、流動性に優れ、締固めの労力を軽減できるコンクリートの研究がさかんに行われており[2]、このようなコンクリートは、熟練作業員の確保が困難で、なお作業時間の制約があるなかでの急速施工において、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。

そこで、本研究では、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを含む三成分系低発熱セメントを用い、マッシュな鉄筋コンクリート用として粗骨材の最大寸法を40mmとしたほとんど締固めを要さない高流動コンクリートを検討し、そのコンクリートの基礎的性質について、実験結果から得られた知見についてここに報告することにした。

2. 実験概要

高流動コンクリートの配合条件を表-1に示す。また、実験に使用した各種材料の品質をそれぞれ表-2～表-5に示した。セメントは、中庸熱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、セメントと同程度の粉末状態で、発熱量を大幅に増加させることなく流動性を高めた場合の材料分離を抑制するために必要なペースト量を得ることを意図して、セメント以外の鉱物質微粉末として石灰石粉末(以下、石粉と呼称)を使用した[3]。粗骨材の最大寸法は40mmとし、細骨材は海砂と砕砂を混合して用いた。混和剤は、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減水剤で比較検討した。

表-1 高流動コンクリートの配合条件

骨材 最大寸法 (mm)	単位 セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)
40	260	55±5	4±1

表-2 三成分系低発熱セメントの物性および化学成分

比重	プレーン 比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	圧縮強さ(kgf/cm <sup>2</sup> )			水和熱(cal/g)			化 学 成 分 (%)							R <sub>2</sub> O (%)
		7日	28日	91日	7日	28日	91日	insol.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	
2.80	5240	175	331	432	42.1	50.9	54.9	15.0	23.5	9.0	2.3	40.6	3.5	2.6	0.48

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を用い、練りまぜ量を 100ℓ/バッチとした。練りまぜ方法は、セメント、石粉および骨材を投入して60秒間空練りを行い、練りまぜ水を加えて 120秒間練りまぜた。

本研究においては、三成分系低発熱セメントの単位量を 260kg/m<sup>3</sup> の一定とし、石粉の使用により、分離しにくく、かつ流動性の大きいコンクリートが得られるか否か、また、その際の高性能 A E 減水剤の適用性、ブリーディング、凝結性状、強度、発熱特性などの諸性質に及ぼす各種配合要因の影響について調べた。

本実験における各種の試験は、原則として、それぞれの J I S に準じて実施した。ただし、各試験用試料の作製に際しては、実施に近い状態とするため、突き棒を用いず、木づちで軽くたたいて締固めた。また、高流動コンクリートの粘性の度合いを簡易的に調べるために、図-1 に示す試験装置 [4] を用い、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。

実験に用いたコンクリートの配合を表-6 に示す。単位水量は、A E 減水剤を標準量使用した場合に、スランプが 5cm 程度となる値 (140kg/m<sup>3</sup>) を基準とした。高性能 A E 減水剤を用いてスランプ 11cm としたコンクリート (以下、従来配合と称す) に対し、高流動配合では、所定のスランプフロー (55cm) が得られるように高性能 A E 減水剤量を調整した。なお、本実験では、石粉を混和材として各種の配合計算を行った。また、本実験では、試験温度を原則として 20℃ としたが、一部の配合については、低温下 (目標温度 10℃) の性状についても検討した。

表-3 石灰石微粉末の品質

比重	湿分 (%)	化学成分 (%)		ブレン比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	備考
		CaO	MgO		
2.71	0.1	55.5	0.3	5500	CaCO <sub>3</sub> :99.1%

表-4 骨材の物性

種類	分類	比重	吸水率 (%)	粗粒率 (F.M.)	備考
細骨材	海砂	2.55	1.98	2.56	Cl <sup>-</sup> :0.004%
	砕砂	2.55	2.11	2.97	
粗骨材	砕石2005	2.63	0.58	6.24	4020:2005
	砕石4020	2.63	0.54	7.96	=1:1 混合

表-5 高性能 A E 減水剤の品質

分類	比重	主成分
ナフタリン系	1.15	変性リグニ、アルキルアルルルル酸と活性持続リマーの複合物
ポリカルボン酸系 I	1.04	リカルボン酸 E-リル系複合物
ポリカルボン酸系 II		

表-6 コンクリートの配合概要

配合種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			試験温度 (°C)
			W	C	LF*	
従来	53.8	43	140	260	30	20
高流動	53.8	34~48	140	260	150	20
	57.7 ~ 50.0	40	150 ~ 130	260	150	10, 20
	53.8	40	140	260	120 ~ 220	20

\* 単位石粉量を LF と表記する。

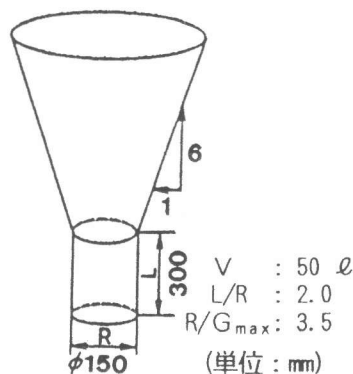


図-1 大型ロート流下試験装置 [4]

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1 フレッシュコンクリートの諸性質 に及ぼす各種配合要因の影響

スランプフローを一定として、細骨材率を変化させた場合の所要高性能AE減水剤量およびロート流下試験結果をそれぞれ図-2および図-3に示す。

単位水量を一定とした場合、同一スランプフローを確保するための所要高性能AE減水剤量は、細骨材率の増大にともなって増加する傾向が認められた。ロート流下試験結果によれば、細骨材率が37~43%の範囲においては、コンクリートがロート下端より連続的に流出する状況が観察され、所要流下時間もほぼ一定の値となった。しかしながら、細骨材率を過度に低下させた場合(34%)には、ロートテーパ部において骨材のかみあいによる一時的な閉塞が生じ、逆に細骨材率を極端に増大させた場合(48%)にはプラスチックが過大になり、いずれの場合とも流下時間が増大する結果となった。

各種の高性能AE減水剤を用いた場合のスランプフローの経時変化を図-4に示す。ナフタリン系を用いた場合には、時間の経過とともにスランプフローが若干増大する傾向となり、練上り90分後においても顕著なロスが生じていない。ポリカルボン酸系の場合には、タイプIでは、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、混和剤中のスランプフロー保持成分割合が多いタイプIIを用いた場合には、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認められた。試験温度が20℃の場合においても上記と同様な傾向が認められ、各種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の成分調整によってある程度可能となることが明らかとなった。

配合中の単位水量を変化させた場合の所要高性能AE減水剤量、ロート流下時間、ブリージング率および凝結試験結果をそれぞれ

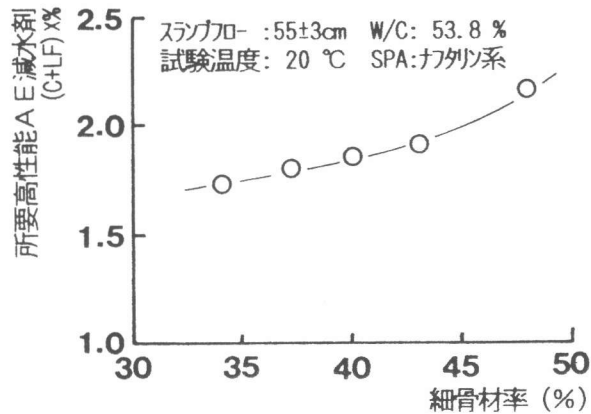


図-2 細骨材率と所要高性能AE減水剤量

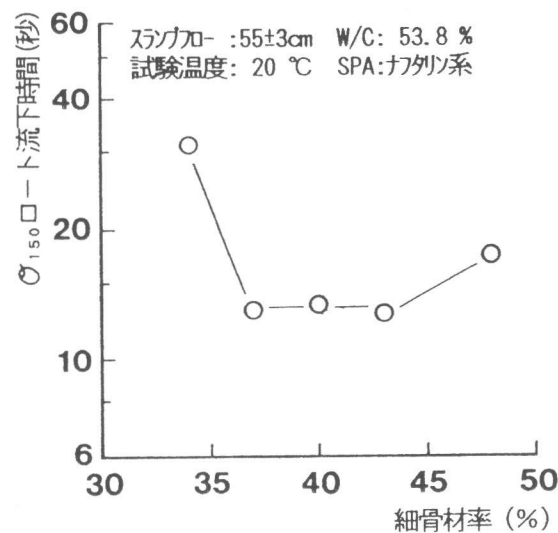


図-3 細骨材率とロート流下時間

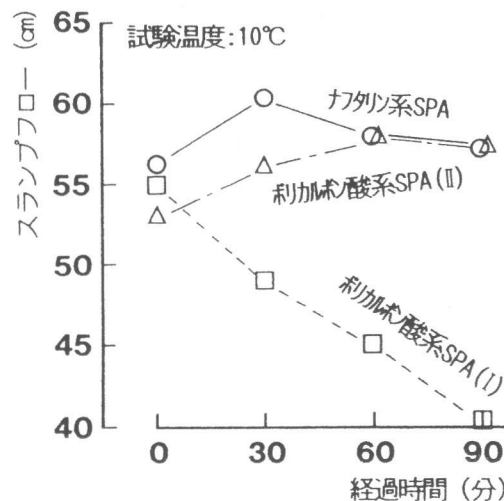


図-4 スランプフローの経時変化

図-5～図-8に示す。

一般に、フレッシュコンクリートの粘性は単位水量の影響を多大に受け、水量の増加とともに粘性が低下する。図-6によれば、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、フレッシュ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場合の方が粘性が小さく、流下時間を指標とした場合、この粘性の相違は水量で約 $10\text{kg/m}^3$ 程度に相当するものと考えられる。

スランプフロー一定の条件下では、各高性能AE減水剤を用いた場合とも、単位水量の減少に伴って凝結が遅延し、ブリージング率も増加する結果となった。これらの傾向は、図-5に示した高性能AE減水剤量の相違に起因するものと考えられる。また、ブリージングおよび凝結性状には、減水剤の種類による相違も認められ、三成分系低発熱セメントを低温下でナフタリン系の減水剤と組合せて用いた場合には、著しい凝結遅延が生じ、ブリージングが相当に増大する結果となった。なお、以上の結果は、 $20^\circ\text{C}$ の条件下においても同様の傾向が認められた。

### 3. 2 コンクリートの強度および発熱特性に及ぼす各種配合要因の影響

各種配合要因を変化させたコンクリートの圧縮強度試験結果を図-9～図-12に示す。これらの図より、細骨材率の相違が圧縮強度発現特性に及ぼす影響は極めて小さいこと(図-9)、また、各材令の圧縮強度がセメント水比と直線関係で整理できること(図-10)などは、従来の知見と一致する結果となっている。

しかしながら、一方では、単位水量、セメント量を一定とし、水セメント比が同一の配合でも、高流動コンクリート配合では、従来配合よりも強度発現が大きくなる傾向が

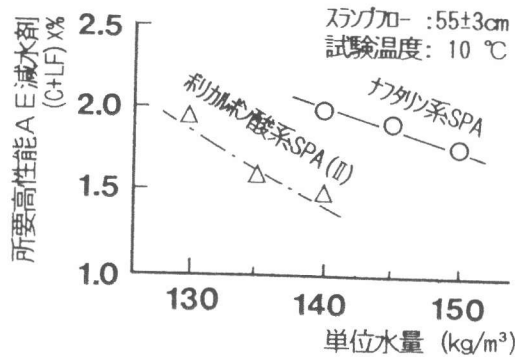


図-5 単位水量と所要高性能AE減水剤量

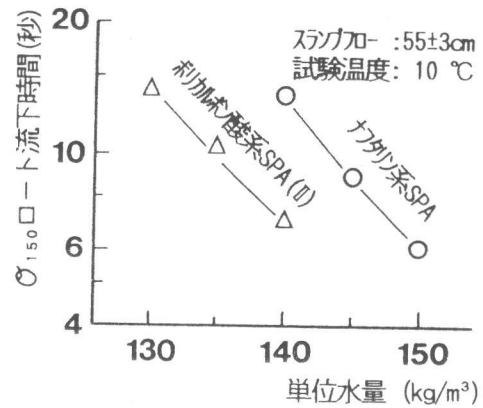


図-6 単位水量とロート流下時間

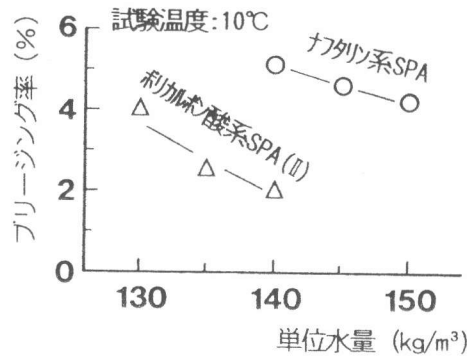


図-7 単位水量とブリージング率

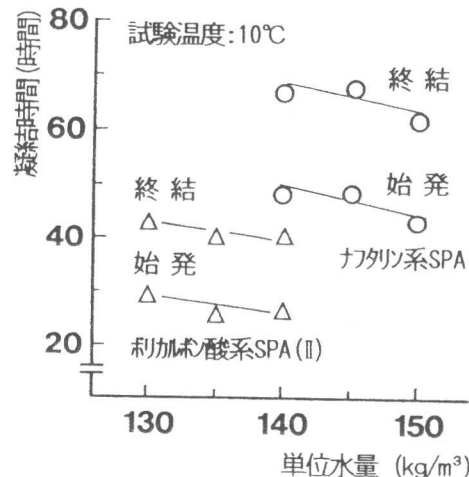


図-8 単位水量と凝結時間

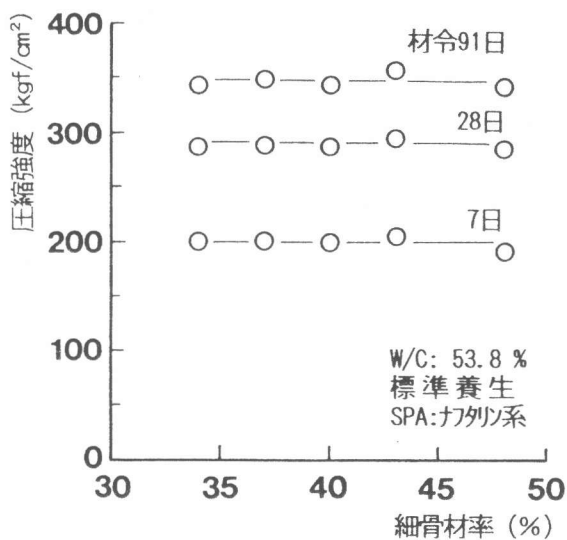


図-9 細骨材率と圧縮強度

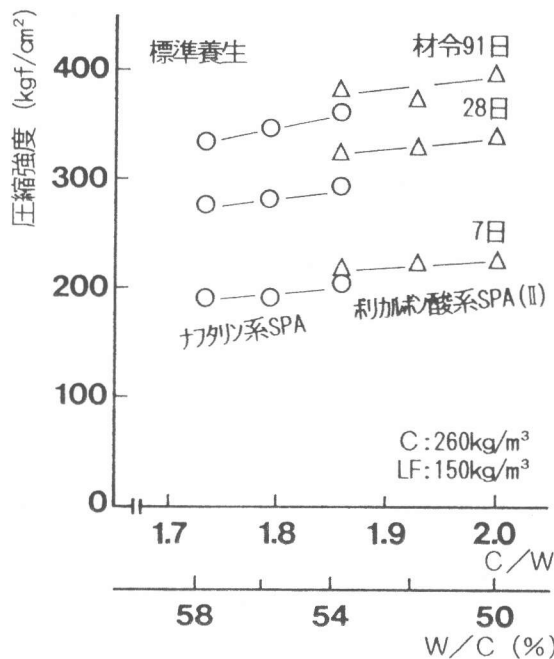


図-10 セメント水比と圧縮強度

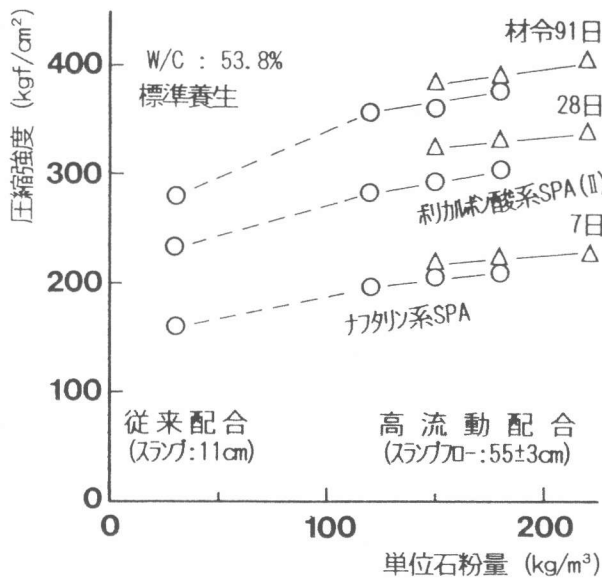


図-11 単位石粉量と圧縮強度

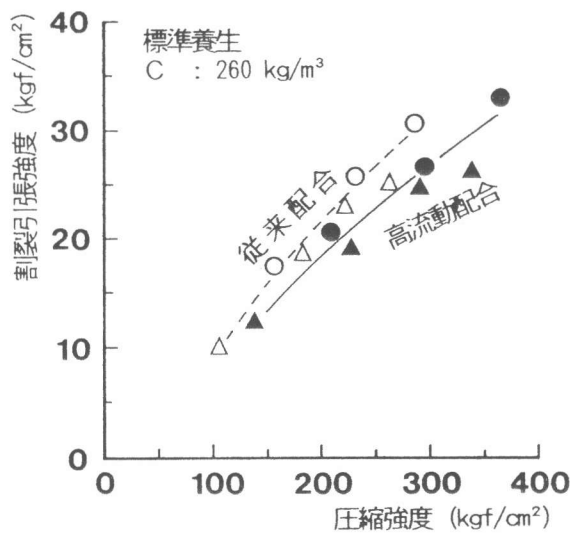


図-12 圧縮強度と割裂引張強度

認められる。また、この傾向は圧縮強度において顕著であり、各材令の強度増進の割合は20~40%程度にも相当することが判明した。さらに、強度発現性状は減水剤の種類によっても相違し、ナフタリン系よりもポリカルボン酸系を用いた場合に強度の増進効果が大きくなる傾向が認められた。

一方、図-13は、ベースおよび高流動配合の断熱温度上昇試験結果を示したもので

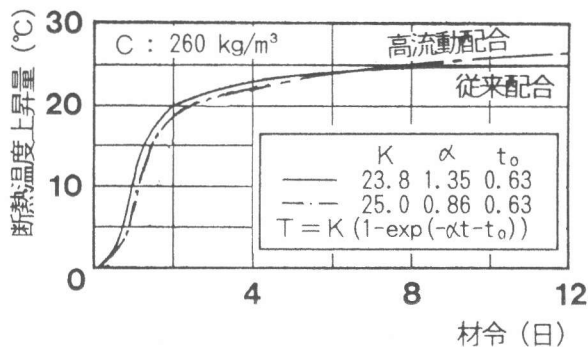


図-13 断熱温度上昇試験結果

あるが、高流動配合の温度上昇量の方が若干大きくなる傾向にあるものの、発熱特性面からは強度発現性の相違を説明するほどの有意な差異は認められなかった。

以上の結果をもとにすると、上記の強度発現性の相違は、コンクリート中の結合材の分散状態の差異に起因する可能性が極めて高いものと判断される[5]。すなわち、高流動配合ではベース配合に比べて単位石粉量および高性能AE減水剤が多く、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。なお、練りませ時間を同一とした場合には、減水剤の種類によっても結合材粒子の分散効果が相違することが考えられるが、これらの諸点については、今後さらに詳細に検討する必要があると思われる。

#### 4. 結論

本研究の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- 1) 最大寸法40mmの骨材を用い、単位セメント量が  $260\text{kg/m}^3$  と少ないマスコンクリート配合においても、石灰石粉末と高性能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) フレッシュコンクリートの粘性は、単位水量の変動のみならず、用いる高性能AE減水剤の種類によっても大きく左右される。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小さくなる傾向にある。
- 3) 三成分系低発熱セメントを用いた場合のブリージングおよび凝結性状は、高性能AE減水剤の種類の影響を多大に受け、ポリカルボン酸系に比べてナフタリン系の方が凝結が遅延し、ブリージングが増大する傾向にある。
- 4) 単位水量、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、石灰石粉末と高性能AE減水剤を多量に用いた高流動配合では、従来配合に比べて圧縮強度の増進効果が認められる。また、この強度増進の割合は高性能AE減水剤の種類によっても相違する。これらの効果は、石粉および減水剤の使用に起因した結合材粒子の分散性の相違による可能性が極めて大きい。

#### 【参考文献】

- 1) 金沢克義・二宮仁司・十河茂幸・新開千弘：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) 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.11-1、pp.699-704、1989
- 3) 十河茂幸・玉木博之・青木茂・木須春男：石灰石粉によるコンクリートの加圧ブリージング性状の改善効果、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、V-5、pp.648-649、1991.9
- 4) 近松竜一・三浦律彦・青木茂・十河茂幸：高流動コンクリートの流動性を評価する方法、セメントコンクリート、No.530、pp.60-66、1991.4
- 5) 山崎寛司：鉱物質微粉末がコンクリートのウォーカビリティーおよび強度におよ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