

[68] プラント添加型流動化剤を用いた流動コンクリートの高温時の品質

正会員 ○山本泰彦（筑波大学構造工学系）
 正会員 竹内 徹（藤沢薬品筑波コンクリート研究所）

1. 序

流動化コンクリートは、各種の工事に用いられるようになって来ているが、従来の流動化剤を用いる場合には、コンクリートのスランブロスが大きくなる傾向にあるため、現場で流動化を行うことが多く、このための装置や人員を現場に配置しておかねばならない問題点がある。また、ベースコンクリートと流動化コンクリートの双方について、品質管理を行わなければならない短所もある。

本文は、上記の問題点を解決する手段として開発されたスランブロス低減効果を有する各種のプラント添加型流動化剤を対象とし、これらをコンクリートの練りませ中に添加して製造した流動コンクリートの諸性質を高温の条件下で試験した結果について論じたものである。

2. 使用材料

試験には、表-1に示す8銘柄の液状流動化剤を用いた。流動化剤を添加する前のコンクリート（以下、ベースコンクリートと呼ぶ）には、各流動化剤のメーカーが指定した3種の標準型AE減水剤X、YおよびZを用いた。Xはリグニンスルホン酸塩系で、YおよびZはオキシカルボン酸塩系のものである。セメントには、3銘柄の普通ポルトランドセメント（表-2）を等量ずつ用いた。また、粗骨材には笠間産砕石（最大寸法=20mm、粗粒率=6.69、比重=2.67、吸水率=0.52%）を用い、細骨材には富士川産の川砂（粗粒率=2.75、比重=2.64、吸水率=1.52%）を用いた。

3. 実験方法

3.1 コンクリートの配合および練りませ

コンクリートの配合は、流動化剤を添加しない場合に、スランブが12cm、空気量が5.0%となり、流動化剤を添加しても材料分離の少ないコンクリートが得られるように定めた（表-3）。流動化剤の添加量は、その添加時期をベースコンクリートの練りませ開始後1分とし、その後2分間練りませを継続した場合に、スランブ20cmの流動コンクリートが得られる量とした。コンクリート（80ℓ）の練りませには、容量100ℓの可傾式ミキサを用いた。

3.2 コンクリートの試験

材料の貯蔵、コンクリートの練りませ、供試体の作成等は、30℃の恒温室内で行った。この為、コンクリートの温度は、いずれの場合も、練り上り直後は30.0~31.0℃、90分経過後は30.5~31.5℃の範囲内にあった。試験は1つの種類のコンクリートについて2バッチずつ行った。

練り上り直後のコンクリートについては、スランブおよび空気量の試験のみを行い、その他の試験の試料は、上からビニールシートをかけて練り板上に90分間静置したコンクリートから採取した。

表-1 試験に用いた流動化剤

銘柄	主成分*	固形成分量** (%)
A	メラミンスルホン酸塩系複合物, ポリオール複合体	23.4
B	変性リグニンスルホン酸塩, メラミンスルホン酸塩, 他	28.1
C	ナフタリンスルホン酸塩	33.8
D	ナフタリンスルホン酸と変性リグニンの共縮合物, 他	32.2
E	オキシカルボン酸系水溶性ポリマー	34.0
F	アルキルアリルスルホン酸系複合物	30.7
G	特殊合成高分子系界面活性剤	36.4
H	アルキルアリルスルフォネートポリマー	29.1

* メーカーによる

** 110℃で3週間乾燥させて求めた

表-2 試験に用いたセメントの試験成績表

銘柄	比重	ブレン比表面積 (cm ² /g)	凝 結			フロー	圧 縮 強 度 (kgf/cm ²)		
			水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)		3 日	7 日	28 日
アサノ	3.18	3180	27.8	2-26	3-49	257	137	238	414
小野田	3.16	3260	27.6	2-27	3-32	249	140	232	412
住友	3.16	3250	27.4	2-21	3-45	-	153	255	420

表-3 ベースコンクリートの配合*

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)		混 和 剤		対象流動化剤
			W	C	AE減水剤(C×%)	補助AE剤(C×%)	
I	55.8	49	178	320	X (0.25)	XA (0.005)	A~F
II	55.6		178		Y (0.20)	YA (0.0055)	G
III	58.3		180		Z (0.10)	ZA (0.0055)	H

* 目標スランブ=12cm, 目標空気量=5.0%

フリージング試験、圧縮強度試験用供試体の材令2日までの養生および凍結融解試験用供試体の材令1日までの養生は、練りませ室内（30℃）で行った。ただし、その後の供試体の養生は20℃の水中で行った。また、凝結試験は、27～28℃の室内で行った。

3.3 モルタルの試験

この試験では、ベースモルタルを低速で2分間練りませた後に流動化剤を添加し、その後1分間練りませを継続して流動モルタルを作成し、セメントの結合水量を調べた。モルタルの作成および水中養生は20℃で行った。セメントの結合水量は、供試体の中央部から取り出した厚さ5mm程度のモルタル片を試料とし、これを110℃の真空乾燥器内で24時間乾燥させた後、1050℃に設定したマッフル炉内で30分間強熱して強熱減量を求め、次式で計算した。

$$\frac{W_n}{W_{ci}} = (1+k) \frac{W_d}{W_i} - (1+a)k - (1+b+c)$$

ここで、 W_n / W_{ci} ：セメントの強熱後の重量に対する結合水量の割合、 W_d / W_i ：モルタルの乾燥後の重量と強熱後の重量の比、 k ：強熱後のモルタルに含まれている細骨材とセメントの重量比、 a ：乾燥させた細骨材を強熱した場合の減量の割合、 b ：乾燥させたセメントを強熱した場合の減量の割合、 c ：セメントの重量に対する混和剤の固形成分の重量の比。

4. 実験結果および考察

4.1 流動化剤の所要添加量

従来の流動化剤の場合は、所定のスランブ増大量を得るのに必要な固形成分量は、銘柄にかかわらず、ほぼ一定であった¹⁾。しかし、表-4に示したように、プラント添加型流動化剤の場合の所要添加量は、銘柄によって相当に異なることが認められた。これは、流動化剤EおよびGのように新しい種類の物質を主成分とする流動化剤が開発されたこと、コンクリートのスランブおよび空気の経時損失量を出来るだけ少なくする目的で各メーカーが流動化剤の副成分とその量を相当に調整していること、等の理由によるものと思われる。

4.2 スランブロス

流動コンクリートの練り上り直後のスランブと90分後におけるスランブロスとの関係を示したのが図-1であるが、練り上り直後のスランブが小さいものほどスランブロスが大きくなる傾向にあり、スランブロスを低く抑えるためには流動化剤の使用量を増して練り上り直後のスランブを大きめにしておくことが認められる。しかし、コンクリートのスランブを必要以上に大きくすることはコンクリートの品質に悪影響をおよぼすことが多い。また、図-1の個々のデータを見ると、スランブロスの大きさは、流動化剤の銘柄によって3～4cmも相違しているのである。従って、プラント添加型流動化剤の使用にあたっては、まず、品質がよく、かつ、スランブロス低減効果に優れた流動化剤を選定し、次いで、施工に必要なスランブとスランブロスの大きさを考慮して流動コンクリートの最小スランブの値を決定することが大切と考えられる。なお、上記の試験と同じ条件下におけるスランブ21cmの通常のコンクリートの60分経過後のスランブロスは、7.5cmであり、図-1に認められるスランブロスより大きくなった。

4.3 空気の安定性

図-2は、練り上り直後の空気量と、90分経過後の空気量との関係を示したものである。90分間における流動コンクリートの空気損失量は、ベースコンクリートの場合の損失量より小さいことが認められる。この傾向は、従来の流動化コンクリートに認められた傾向と逆であって^{1,2)}、図-2の結果は、最近のプラント添加型流動化剤の品質が、コンクリート中における空気泡を安定させる性能の面で相当に改良

表-4 流動化剤の所要添加量

銘柄	所要添加量*, %	
	原液	固形成分
A	1.05	0.246
B	0.78	0.219
C	0.83	0.281
D	0.84	0.270
E	0.55	0.187
F	0.78	0.239
G	0.74	0.269
H	1.40	0.407

* スランブを12cmから20cmに増大させる量
セメントに対する重量百分率

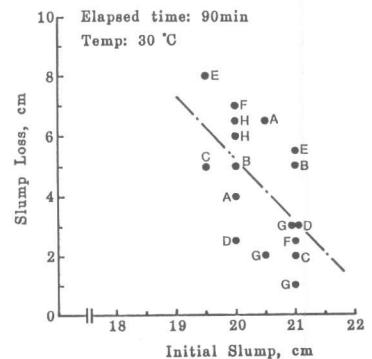


図-1 流動コンクリートの90分後のスランブロス

されて来ていることを示唆するものと思われる。

4.4 凝結時間

図-3は、流動コンクリートの凝結時間とそれぞれのベースコンクリートの凝結時間との差を示したものであり、全ての流動コンクリートの凝結が100~240分遅れていることが認められる。このような凝結の遅れは、従来の現場添加型流動化剤を用いた場合にも認められたが、その程度は、7~35℃の条件下で試験しても15~90分に過ぎなかった³⁾。プラント添加型流動化剤を用いた場合に相当に大きい凝結遅延が生じた理由としては、スランブロス低減効果を付与するために、プラント添加型流動化剤の凝結遅延成分の量が比較的多くなっている影響に加え、これらの使用量が現場添加型の場合より約20~50%増える影響が考えられる。

4.5 プリージング

流動化コンクリートのプリージング量は、ベースコンクリートのプリージング量と大差ないといわれているが⁴⁾、コンクリートの凝結が相当に遅れる条件下(低温時又は遅延型混和剤の使用)では増加する³⁾。従って、凝結が相当に遅れた流動コンクリートの場合にもプリージング量が多くなると予想されるが、実際にも流動コンクリートのプリージング量はそれぞれのベースコンクリートの場合の2倍以上となったのである(図-4)。これらの結果から判断すれば、凝結遅延によってスランブ低減効果をもたらしていると考えられる流動化剤が多い現状では、流動コンクリートのプリージング量はベースコンクリートのプリージング量より相当に多くなるものと考えられる。

4.6 圧縮強度

材令3日および28日における流動コンクリートの圧縮強度はベースコンクリートの圧縮強度の90~101%の範囲にあり(図-5)、一般的に流動コンクリートの強度がやや低い傾向にあることが認められた。このような傾向が認められた理由を検討するために、配合を一定(W/C=0.50, S/C=2.80, A/E減水剤X=C×0.25%)としたモルタル中における流動化剤の添加量とセメントの結合水量との関係を調べた。

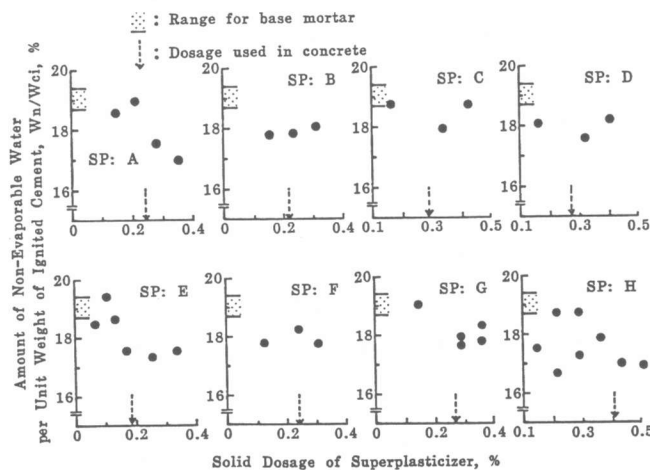


図-6 流動化剤の使用量とセメントの結合水量の関係(モルタル供試体)

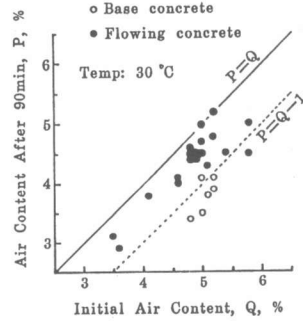


図-2 練りませ直後の空気量と90分後の空気量

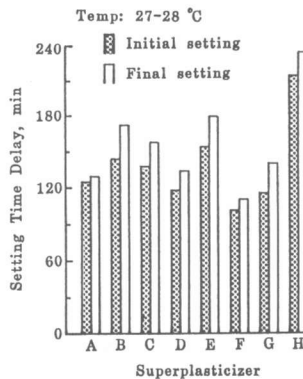


図-3 流動化剤の添加による凝結の遅れ

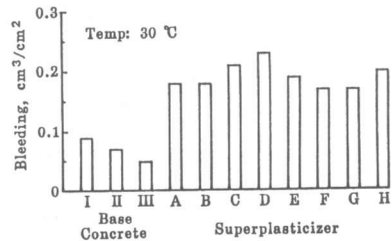


図-4 コンクリートのプリージング量

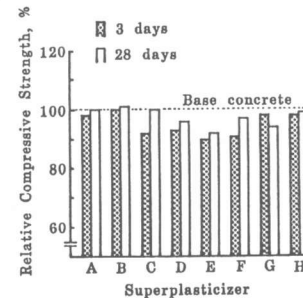


図-5 ベースコンクリートの圧縮強度に対する流動コンクリートの圧縮強度比

図一6は、材令 13 ~ 14 ヶ月におけるセメントの結合水量の試験結果を示したものである。この図より、試験値は相当にばらついてはいるが、流動モルタル中におけるセメントの結合水量は全般的にやや小さい傾向にあることが認められる。これは、コンクリートの強度試験結果に認められた傾向がセメントの水和の影響を多少なりとも受けていることを示唆するものと思われる。また、前述したブリージングの著しい増加も、流動コンクリートの強度低下の一因となっていると考えられる。

4. 7 耐凍害性

300 サイクルの凍結融解試験を行い、供試体作成時の空気量と相対動弾性係数との関係を示したのが図一7である。この図にも認められるように、流動コンクリートの耐凍害性はベースコンクリートの耐凍害性とほぼ同等もしくは若干優れている傾向にあることが判明した。この結果は、従来の流動化剤を用いた流動化コンクリートの場合と逆であって¹⁾、前述した流動コンクリート中の空気泡の安定性が硬化後にも持続されていたことを示すものと思われる。

5. 結論

流動コンクリートの諸性質を30℃の条件下で試験した。実験の範囲内で次のことが言えると思われる。

(1) プラント添加型流動化剤の所要添加量は、固形成分量で比較しても、銘柄によって相当に異なることがある。この理由としては、新種の流動化剤が開発されたこと、副成分の量が互いに相当に異なること等が考えられる。

(2) 流動コンクリートのスランブロス、通常の軟練りコンクリートのスランブロスより小さいが、用いる流動化剤の銘柄によって著しく異なる。

(3) 流動コンクリートのスランブロス、練り上り直後のスランブが大きくいほど小さい傾向にある。

(4) 流動コンクリートの凝結は、通常のコンクリートの場合より1.5~4時間程度遅れ、この遅れの程度は従来の流動化コンクリートの場合と比較すると可成り大きい。これは、プラント添加型流動化剤のスランブ低減性能が流動化剤の凝結遅延作用に依存している場合が多いことを示唆するものと思われる。

(5) 流動コンクリートでは、凝結時間の遅れが大きいため、そのブリージング量は、ベースコンクリートのブリージング量の2倍程度になることが多い。

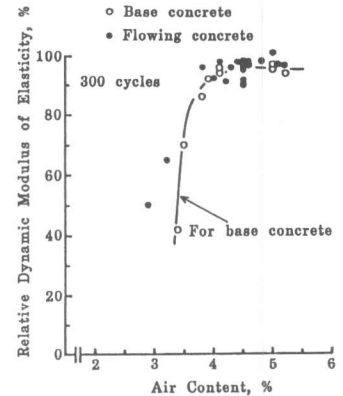
(6) 流動コンクリートの圧縮強度は、ベースコンクリートの圧縮強度より若干小さくなる傾向にある。この理由としては、ブリージングの著しい増加、流動化剤の使用量の増加によるセメントの水和の若干の遅れ、等が考えられる。

(7) 流動コンクリート中における空気泡の安定性は極めて良好である。このため所要の耐凍害性を得るに必要な流動コンクリートの空気量は通常のコンクリートと同じに設定してよい。

本研究は、昭和59、60年度文部省科学研究費〔試験研究(1)、代表者：田沢栄一教授〕で行ったものである。また、藤沢薬品筑波コンクリート研究所の皆様にご援助を頂いた。厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

1. 山本泰彦・小林茂敏：「流動化剤の流動化性能および流動化コンクリートの凍結融解抵抗性」、土木学会論文集、第348号/V-1, pp. 71~75, 1984年8月。
2. Yamamoto, Y., "Performance of Superplasticizers in Concrete," Proceedings, Recent Advances in Structural Engineering, Japan-Thai Civil Engineering Conference, Bangkok, Mar. 1985, pp. 67-84.
3. Yamamoto, Y and Kobayashi, S., "Effect of Temperature on the Properties of Superplasticized Concrete," ACI journal, Vol.83, No.1, Jan/Feb, 1986, pp.80-87.
4. Malhotra, V.M., "Superplasticizers: Their Effect on Fresh and Hardened Concrete," Concrete International: Design & Construction, V.3, No.5 May 1951, pp. 66-81.



図一7 空気量と相対動弾性係数の関係