

論文

[1020] 特殊増粘剤を混入した高流動コンクリートの性状に関する基礎的研究

牛島 栄*¹ 谷口秀明*² 其阿弥喜嗣*³ 立石 彬*⁴

1. はじめに

近年、コンクリート工事の省力化および構造物の信頼性向上を目的として高流動コンクリートの研究開発が盛んに行なわれている。高流動コンクリートは、相反する性質である流動性と材料分離抵抗性を持ち、複雑な形状や密な配筋の構造物に対しても密実に充填できることを特徴としている。流動性を付与するために高性能AE減水剤を用いる一方、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の粉体を多量に使用し、富配合とすることで材料分離抵抗性を向上させる方法が既往の文献では一般的である。しかし、この方法では結合材量がかなり多くなり、発熱による温度ひびわれが懸念されることや実強度が設計強度を大きく上回ることなどから、粉体以外で粘性を得る方法として各種増粘剤を用いた高流動コンクリートの開発が盛んである。増粘剤は材料分離抵抗性を付与するだけでなく、製造プラントにおける砂の表面水率の変化に対する材料分離抵抗性の変化をも緩和できるなどの利点から、結合材量と増粘剤添加量を調整して高流動コンクリートを得るケースが多くなっている。

しかし、高流動コンクリートの各種材料の選定方法、配合設計手法、あるいは流動特性を評価する試験方法は未だ十分に確立していない。また、高流動コンクリートに使用する各種結合材や増粘剤が、硬化コンクリートの性状に与える影響について記述した文献も少ない。

そこで、筆者らは、新しく開発中の特殊増粘剤を使用した時の、結合材の種類、水結合材比、練混ぜ時間および砂の表面水率が、コンクリートの流動性状、硬化前の性状および硬化後の性状に与える影響について検討した。

表-1 特殊増粘剤の性質

項目	性質
本体	微生物菌体
外観	茶～褐色の粉末
溶解性	水、アルコール、アセトン、ベンゼンに不溶。アルカリ温水に可溶。
ゲル形成性	水懸濁液は加熱してもゲル化しない。アルカリ水溶液中で、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、Al ³⁺ とゲルを形成する。
安定性	高湿度 (RH75%、40℃以上) でもほとんど重量増加を示さない。通常、ポリ袋やポリビンで長期間安定状態で保存が可能である。
安全性	動物試験により、安全性が確認されている。

2. 特殊増粘剤の性質

使用した特殊増粘剤は、特定の物質に限定されている既存の増粘剤とは異なり、天然複合物である微生物菌体に属する。特殊増粘剤の主な性質を、表-1に示す。

3. 実験概要

3.1 使用材料

使用材料を、表-2に示す。高流動コンクリートの基本的な流動特性を把握するため、結合材として普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを用いた。さらに、

*1 (株)青木建設技術本部研究所材料研究室室長、工博(正会員)
 *2 (株)青木建設技術本部研究所材料研究室研究員(正会員)
 *3 国土総合建設(株)技術開発本部技術開発部課長
 *4 三菱ガス化学(株)新規事業部門生物化学開発部担当課長

高流動コンクリートでは単位結合材量が多いことやマスコンクリートなど大規模工事への適用が多くなることが予想されるので、発熱を抑制する目的として、ビーライトセメントと低熱3成分系セメントを用いた。

3.2 配合

予め実施したモルタルの0打フロー試験により、250mm~300mm程度になる高性能AE減水剤および増粘剤の使用量を把握し、スランプフローが600mm前後を得ると考えられるコンクリートの配合を決定した。実験に供した高流動コンクリートは水結合材比33、43%で、単位水量をそれぞれ165kg/m³、170kg/m³とした。また、ビーライトセメントおよび低熱3成分系セメントを用いた高流動コンクリートについて発熱性状を把握するため、単位セメント重量および容積を一定にした場合の断熱温度上昇試験を実施した。

実験に供した配合を、表-3に示す。表中の○印は、特殊増粘剤が流動性状、硬化前性状および硬化後性状に及ぼす影響を把握する目的で実施した試験項目を示す。

表-2 使用材料

材料名	種類	比重	記号
結合材 (P)	普通ポルトランドセメント	3.16	C
	ビーライトセメント 低熱3成分セメント (中熱:スラグ:フライッシュ=4:4:2)	3.24 2.85	LP 3C
細骨材	高炉スラグ微粉末 6000級 フライアッシュ	2.90 2.30	B F
	木更津産陸砂 F.M.2.71	2.60	S
粗骨材	青梅産碎石 2005	2.70	G
混和剤	高性能AE減水剤 アミノスルホン酸系 AE助剤 ロソソ系界面活性剤 特殊増粘剤		SP AE V

表-3 コンクリートの配合

記号	W/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤使用量			流動性状			硬化前		硬化後			
			W	P			S	G	* SP (%)	* AE (%)	** V (%)	練混時間	結合材および増粘剤	表面水率	凝結	フリーフィンク	温度	圧縮	引張
				C	B	F													
C33-1	33	48	165	500	0	0	788	888	1.50	0.000	0.7	○					○	○	
C33-2	33	48	165	500	0	0	788	888	1.70	0.000	0.7	○			○	○	○		
C43-1	43	50	170	400	0	0	855	888	1.20	0.003	1.0	○					○	○	
CB33-1	33	48	165	250	250	0	780	878	1.10	0.003	0.0	○							
CB33-2	33	48	165	250	250	0	780	878	1.20	0.006	0.0	○			○	○		○	
CB33-3	33	48	165	250	250	0	780	878	1.30	0.008	0.7	○						○	
CB33-4	33	48	165	250	250	0	780	878	1.40	0.010	0.7	○			○	○			
CB33-5	33	48	165	250	250	0	780	878	1.55	0.008	1.0	○	○						
CB43-1	43	50	170	200	200	0	842	888	1.00	0.004	0.0	○						○	
CB43-2	43	50	170	200	200	0	842	888	1.20	0.003	1.0	○						○	
CB43-3	43	50	170	200	200	0	842	888	1.40	0.005	3.0	○						○	
CBF33-1	33	48	165	200	200	100	759	856	1.50	0.010	0.5	○	○					○	
CBF33-2	33	48	165	200	200	100	759	856	1.50	0.010	1.0	○	○					○	
CBF33-3	33	48	165	200	200	100	759	856	1.50	0.010	1.5	○	○					○	
LP32-1	32.4	48	165	509	0	0	788	888	1.00	0.001	0.7	○						○	
LP32-2	32.4	48	165	509	0	0	788	888	1.10	0.000	0.6	○							
LP32-3	32.4	48	165	509	0	0	788	888	1.10	0.020	0.9	○			○	○	○		
LP32-4	32.4	48	165	509	0	0	788	888	1.40	0.000	0.6	○							
3C32-1	32.4	48	165	509	0	0	762	859	1.30	0.020	0.9	○							
3C32-2	32.4	48	165	509	0	0	762	859	1.40	0.020	0.8	○			○	○	○	○	
3C32-3	32.4	48	165	509	0	0	762	859	1.40	0.020	0.9	○							
3C32-4	32.4	48	165	509	0	0	762	859	1.50	0.010	1.0	○							
3C37-1	36.9	48	165	447	0	0	788	888	1.20	0.020	1.0	○			○	○	○	○	
3C37-2	36.9	48	165	447	0	0	788	888	1.50	0.010	1.0	○							

*) 単位結合材量に対する重量百分率

**) 単位水量に対する重量百分率

3.3 試験方法

流動性状、硬化過程の性状および強度発現性状の把握を目的として表-4に示す試験を行った。

4. 特殊増粘剤が流動性状に及ぼす影響

4.1 練混ぜ時間と特殊増粘剤の使用量

練混ぜ時間は使用するミキサにより異なるが、一般に練混ぜ時間を必要以上に長くするとコン

クリートの品質を損ねるとの報告がある。そこで、特殊増粘剤の使用量(0.5, 1.0, 1.5%)と練混ぜ時間(30秒空練り後3分と10分)が高流動コンクリートのフレッシュ性状と圧縮強度に及ぼす影響について検討を行なった。なお、フレッシュ性状に関しては、練混ぜ直後と60分経過後(練り置き)のスランプフローおよび空気量を測定した。

表-4 試験項目および方法

目的	試験項目	試験方法
流動性状	0打フロー試験	(社)セメント協会「高強度コンクリート用セメントの品質基準(案)」4.3モルタルの調合、に準拠してモルタル調合の0打フローの測定を行った。
	スランプフロー試験	土木学会規準「コンクリートのスランプフロー試験方法案」に準じ、フローと各フロー到達時間を測定した。
硬化前性状	凝結試験	プロクター貫入抵抗試験装置を用いて、JIS A 6204付属書1に従い、試験を行なった。
	ブリーディング試験	JIS A 1123に従い試験を行った。
硬化後性状	断熱温度上昇試験	空気循環式断熱温度試験装置を使用し、材齢12日までの断熱温度上昇量を測定し、合わせて発熱速度の算出も行なった。
	圧縮強度試験	JIS A 1108 材齢3日、7日、14日、28日
	引張強度試験	JIS A 1113 材齢7日、28日

実験結果を、図-1に示す。図-1(a)よりスランプフロー値は、練混ぜ時間が増加すると低下する傾向が認められた。また、特殊増粘剤の使用量が増加すると、スランプフローの経時変化が大きくなることがわかる。さらに空気量の値は、図-1(b)に示すように特殊増粘剤の使用量が増加すると小さくなるが、練混ぜ時間が増加すると全体的に大きくなり、また空気量の経時変化も大きくなる。圧縮強度は、図-1(c)に示すように特殊増粘剤の使用量および練混ぜ時間の増加による影響は小さいと考えられる。

これらの実験結果から、以後の実験では、練混ぜ時間を3分、特殊増粘剤の使用量を0.5~1.0%の範囲とした。

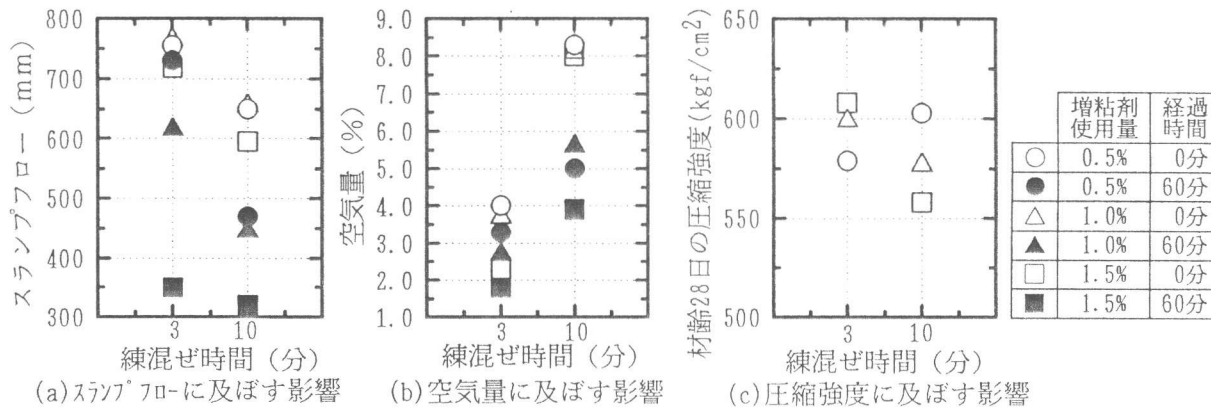


図-1 特殊増粘剤の使用量および練混ぜ時間がコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度に及ぼす影響

4.2 特殊増粘剤が結合材の種類に及ぼす影響

(特殊増粘剤と高性能A E減水剤の使用量)

各種結合材における高性能A E減水剤使用量および増粘剤使用量とスランプフローの関係を、図-2に示す。任意のスランプフローを得るための高性能A E減水剤の使用量は、普通ポルトランドセメントが最も多く、ビーライトセメントが最も少なかった。また、2成分、3成分の結合材を使用した場合の高性能A E減水剤の使用量は、結合材中のセメント重量に対する場合よりも多く、セメント以外の結合材にも高性能A E減水剤が必要であると言える。

一般に増粘剤の添加により、スランプフローは小さくなる傾向にあるが、本特殊増粘剤を使用した場合の減少量は小さい。特殊増粘剤の通常使用量0.5~1.0%の範囲においては、所定のスランプフロー値を十分に確保することができると考えられる。もちろん、同じスランプフローで

も粘性は異なっており、例えば、高性能AE減水剤使用量を1.5%とし、増粘剤使用量を0.5、1.0、1.5%と変

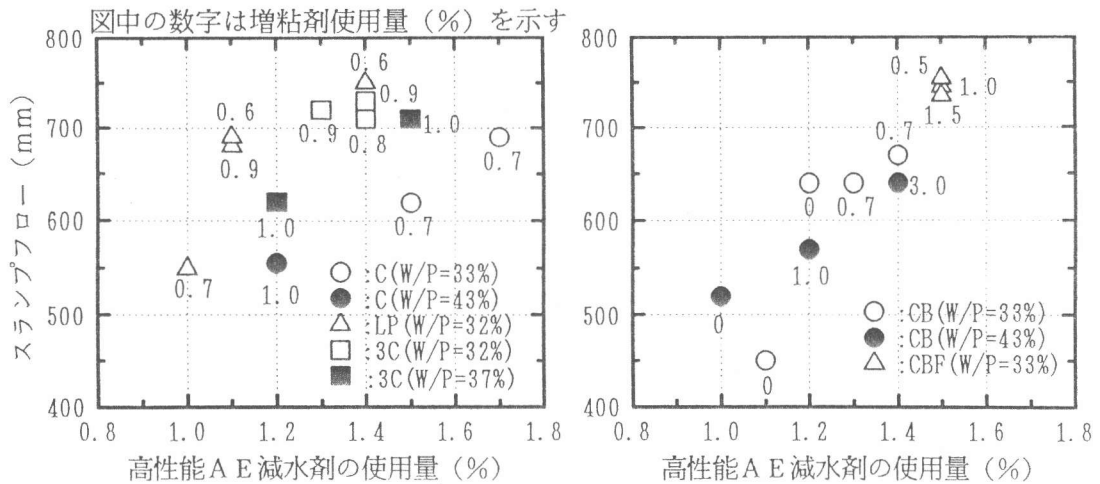


図-2 高性能AE減水剤および特殊増粘剤とスランプフローの関係

化させたCBF33-1,2,3におけるスランプフロー50cm到達時間は、それぞれ5、8、12秒であった。本試験において、水結合材比43%、増粘剤なしの場合では、スランプフロー600mm程度の流動性で材料分離のない配合範囲は相当に狭く、実用性の点から、増粘剤の必要性を伺うことができる。また、一般的にはスランプフロー700mmを超えると材料分離傾向がみられることが多いのに対し、特殊増粘剤を単位水量に対し重量百分率で0.5%~1.0%使用することにより、スランプフロー700mm以上でも材料分離は認められず、良好な高流動コンクリートを得ることができた。

4.3 細骨材の表面水率

製造プラントでは砂の表面水率が変化しやすい。一般に、流動性の高いコンクリートはこの表面水率の変化に対して鋭敏で、厳密な管理を行なう必要がある。なお、増粘剤の使用には、単にコンクリートに粘性を付与するだけでなく、この表面水率の変化によるフレッシュ性状の変化を緩和させる効果も期待される。そこで、表面水率の変化が特殊増粘剤を用いた高流動コンクリートの性状に及ぼす影響について調べた。

試験結果によれば、表-5に示すようにスランプフローは表面水率を0.5%増加させることにより100mm程度大きくなった後、さらに表面水率を増やしても殆ど変化しなかった。特殊増粘剤を用いた高流動コンクリートは、増粘剤なしの高流動コンクリートほどには顕著な材料分離を生じない。また、本実験は一配合のみの例ではあるが、砂の表面水率の変動を1.0%程度の範囲まで許容できることを示した。

表-5 表面水率の変化とフレッシュコンクリートの性状

5. 特殊増粘剤が硬化前の性状に及ぼす影響

5.1 凝結時間

凝結貫入試験結果を、

配合番号	スランプフロー (mm)	Air (%)	目視観察結果	
CB33-5	580	4.5	若干粘性が高い	
表面水率の変化	+0.5%	720	4.3	若干ブリーディングあり
	+1.0%	700	3.4	若干分離気味、スランプ板の中央に若干粗骨材の山あり
	+1.5%	700	3.5	30分静置後分離、スランプ板の中央に若干粗骨材の山あり

図-3に示す。低熱3成分系セメントは凝結の始発が最も遅く、水セメント比32.4%(3C32-2)および36.9%(3C37-1)の時それぞれ15時間および18時間であった。ビーライトセメント(LP32-3)の凝結の始発は普通ポルトランドセメント(C33-2)に比較して幾分早かったが、終結は2時間以上遅れた。凝結時間はセメントの種類だけでなく、高性能AE減水剤の使用量にも影響され、ビーライトの始発が早い理由は、所定の流動性を得るための高性能AE減水剤使用量が普通ポルトランドセメントに比較して少ないためであろうと考えられる。また、特殊増粘剤の使用の有無による

凝結時間を2成分系のCB33-2(SP=1.2%、V=0%)とCB33-4(SP=1.4%、V=0.7%)で比較すると、高性能AE減水剤の使用量の増加が0.2%であるのに対し、凝結の遅延が約3時間程度であったことより、特殊増粘剤の使用が凝結時間に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

5.2 ブリーディング

凝結時間の早かった配合については、ほとんどブリーディング水を採取できず、ブリーディング率0%である。凝結時間の遅い低熱3成分系セメントを用いた配合3C32-2と3C37-1については、ブリーディング率がそれぞれ3.49%、4.87%であった。特殊増粘剤を用いた高流動コンクリートは通常のコンクリートに比べるとかなりブリーディングが少ないといえる。

6. 特殊増粘剤が硬化後の性状に及ぼす影響

6.1 断熱温度上昇および発熱速度の結果

特殊増粘剤を用いた配合について、図-4に材齢と断熱温度上昇量の関係、図-5に材齢と発熱速度の関係を示す。2種類の低発熱セメントを用いているが、双方とも普通ポルトランドセメントに比べて、著しく発熱を抑制していることが確認された。また、ビーライトセメントの断熱温度上昇曲線は、低熱3成分系セメントと比べてなだらかであり、セメント容積一定とセメント重量一定とも異なった変化であった。発熱速度でみると、極初期には普通ポルトランドセメントと同様であったが、すぐに発熱速度が低下し、以後長期にわたって徐々に小さくなっていった。高炉スラグ微粉末やフライアッシュといった混和材を使用した低熱3成分セメントとは明らかに異なっていることがわかった。

いずれにおいても、以上のような特徴は一般的なものであり、特殊増粘剤を使用したことによる影響は小さいものと考えられる。

6.2 強度発現性状

(1) 圧縮強度

各種結合材における材齢と圧縮強度試験結果の関係を、図-6に示す。結合材の種類によって、圧縮強度の発現状況は異なっているが、特殊増粘剤の影響を見ると、2成分系のCB33、43および3成分系のCBF33の結果でわかるように、特殊増粘剤が圧縮強度に及ぼす影響はほとんどないと考え

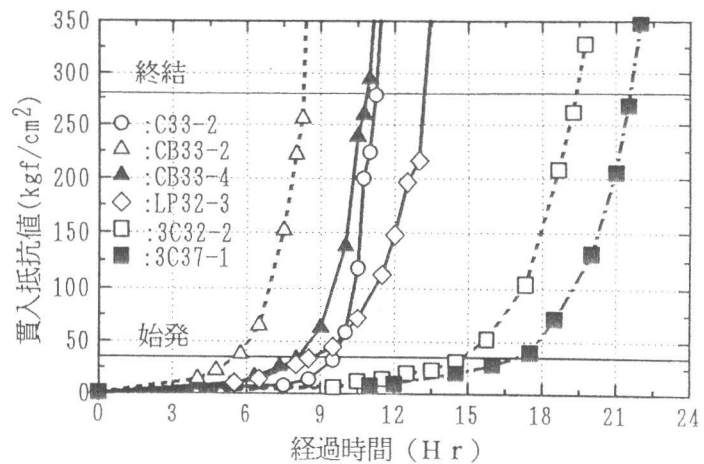


図-3 凝結試験結果

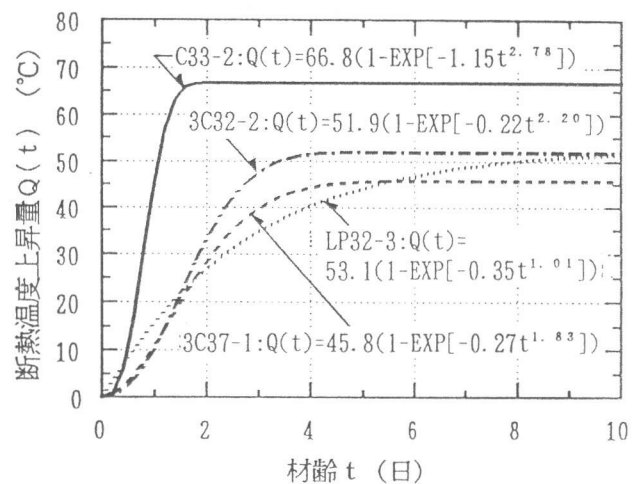


図-4 断熱温度上昇試験結果

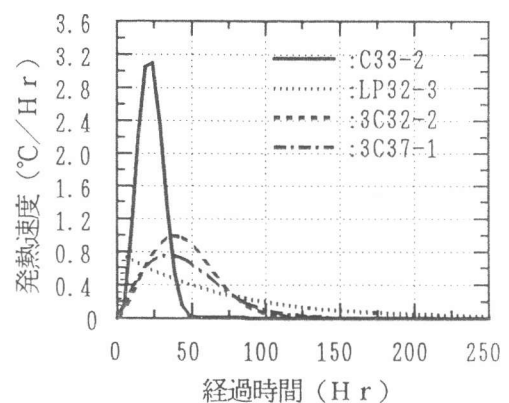


図-5 単位時間当たりの発熱速度

られる。

(2)引張強度

材齢 7日と28日における圧縮強度と引張強度の比を、図-7に示す。また、図中には土木学会式[1]

$$F_t = 1.4\sqrt{F_c}$$

と建築学会式[2]

$$F_t = 1.07F_c^{0.566}$$

を示した。試験結果によれば、水結合材比43%で特殊増粘剤を0~3%まで変えた場合、引張強度および強度比はほとんど変わらないことがわかった。

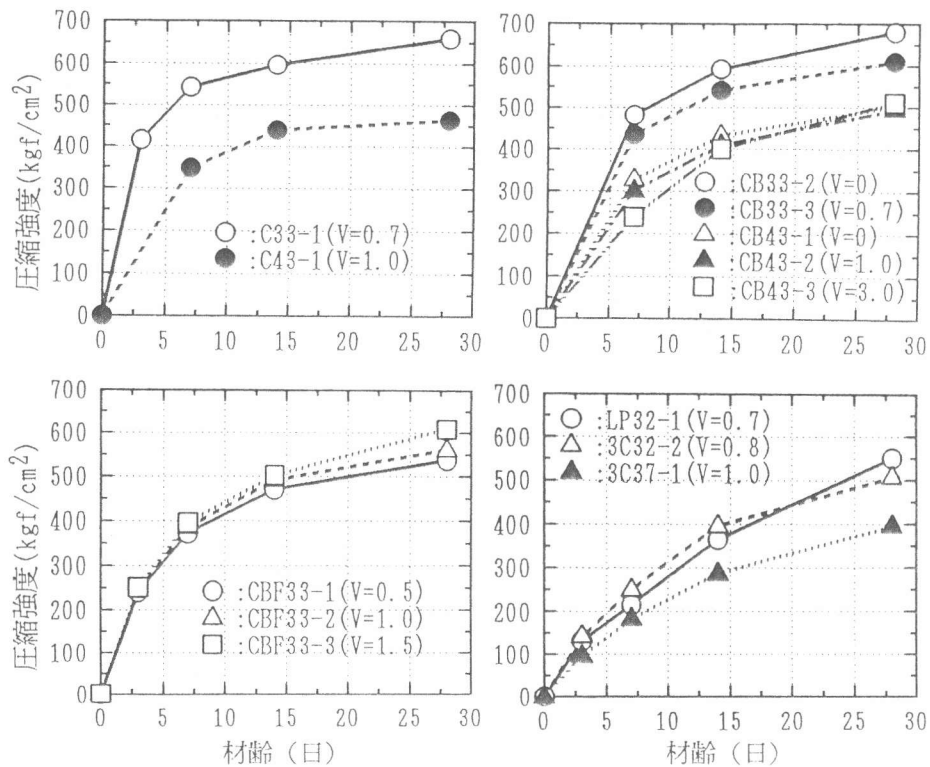


図-6 圧縮強度試験結果

7. まとめ

本実験の範囲より以下の結果が得られた。

1)特殊増粘剤の最適な練混ぜ時間としては通常の増粘剤と同じく3分程度とし、その使用量は0.5%~1.0%の範囲である。

2)特殊増粘剤の使用量は、高性能AE減水剤の使用量や結合材の種類および水結合材比によって異なる。

3)特殊増粘剤の使用が凝結時間に及ぼす影響は小さい。

4)特殊増粘剤を単位水量に対し重量百分率で0.5%~1.0%使用することにより、スランプフロー700mm以上でも材料分離を示さず、良好な高流動コンクリートを得ることができる。

5)断熱温度上昇量は特殊増粘剤の使用に影響されず、結合材の種類や水結合材比に支配される。

6)特殊増粘剤の使用は、圧縮強度、引張強度の発現性状に悪影響を与えない。

今後は、さらに特殊増粘剤を用いた高流動コンクリートの耐久性についても検討を行っていきたい。

図中の数字は増粘剤使用量(%)を示す

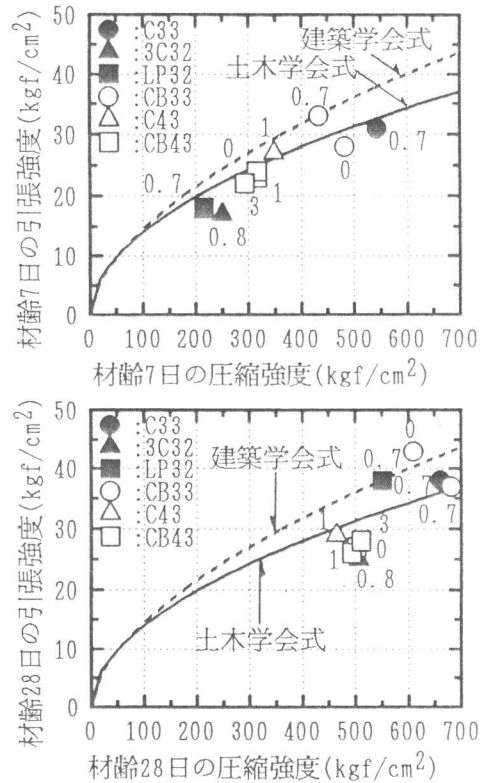


図-7 圧縮強度と引張強度の関係

【参考文献】

- 1)コンクリート標準示方書(施工編)平成3年版、土木学会
- 2)高強度コンクリートの技術の現状、日本建築学会、1991