

投稿論文(和文報告)

**TECHNICAL
REPORT**

ウェランガムを用いた高流動コンクリートのフレッシュな性状に及ぼす各種要因の影響

万木正弘¹・坂田 昇²・坂井吾郎³

¹ 正会員 工修 鹿島 技術研究所 (〒182 調布市飛田給2-19-1)

² 正会員 工修 鹿島 北陸支店 (〒950 新潟市万代1-3-4)

³ 正会員 鹿島 技術研究所 (〒182 調布市飛田給2-19-1)

コンクリート構造物の耐久性向上及び施工の省力化を目指した高流動コンクリートに関する研究開発が活発に行われ、実際の構造物へも適用されつつある。本報では、特殊増粘剤としてウェランガムを取り上げ、これを少量用いることでフレッシュコンクリートのばらつきを抑制できることを明らかにするとともに、これを用いた併用系高流動コンクリートに関し、配合要因がフレッシュモルタルの特性に及ぼす影響及びそれらのモルタルに粗骨材を混入したときのコンクリートの性状について実験的検討を行い、併用系高流動コンクリートの配合設計手法を確立するための基本的性質を明らかにした。

Key Words : highly fluidized concrete, fresh concrete, flowability, filling capacity

1. はじめに

近年、コンクリート構造物に対する社会的ニーズの多様化や混和材料の発達から各種の新しいコンクリートが開発・利用されている。コンクリートの施工の省力化及び耐久性向上を目指した締固め不要の高流動コンクリートもそのひとつであり、最近とみに活発な研究が行われ実構造物への適用も積極的に行われつつある。高流動コンクリートの種類としては、粉体を多量に用いて材料分離抵抗性を確保する粉体系、水中不分散性コンクリートに用いられているものと同種の増粘剤を利用する増粘剤系、粉体及び特殊増粘剤を用いて材料分離抵抗性の向上や流動性の安定を図る併用系の3種類のものがある。筆者らは併用系の高流動コンクリートに関し、粉体の一部に化学的活性のない石灰石粉を、特殊増粘剤として水溶性ポリサッカライド（ウェランガム）を用いたコンクリートについて基礎的な研究を行い、限られた範囲ではあるが締固め不要を実現させるための配合条件や、施工条件に応じた要求品質等を明らかにし、実際の構造物への適用を進めてきた¹⁾。

高流動コンクリートは、フレッシュコンクリートに要求される品質や使用する材料が従来のコンクリートとは異なるため、これを広く普及させていくためには高流動コンクリート独自の配合設計手法を確立させる

必要がある。粉体系高流動コンクリートに関しては、岡村らが粉体の拘束水及びモルタルの流動特性を基にした配合設計手法を提案している²⁾。

高流動コンクリートは優れた耐久性を確保するため単位水量を極力少なくし高性能減水剤の使用量を多くしている。このため実際の施工においてはセメントや細骨材等の品質の多少の変動により、得られたコンクリートの流動性等がばらつき易い欠点を有している。高流動コンクリートの施工では締固め作業を行わないことが原則であるため、流動性等のばらつきはそのまま構造物の欠陥の形成につながる可能性があり、高流動コンクリートの施工においては、流動性等の品質のばらつきを一定範囲に抑えることが極めて重要なポイントとなる。

これに対処する方法としては、a. 製造時における材料管理・品質管理の徹底、b. ばらつきを小さくする特殊材料の開発 の2つおりの方法が考えられる。ここではb. の方法の一つとして、増粘剤の一種であるウェランガムを用いる方法を取上げて検討を行った。その結果、この増粘剤を用いた場合、水と微粉末量との比や高性能減水剤等の配合要因がコンクリートの流動性等に及ぼす影響の程度はこれを用いない場合に比較してかなり異なることが明らかとなった。そこで、ウェランガムを用いた併用系高流動コンクリートに関し、配合要因がフレッシュモルタルの特性に及ぼす影響の

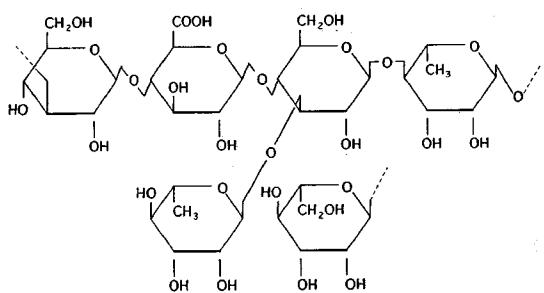


図-1 ウェランガムの化学式

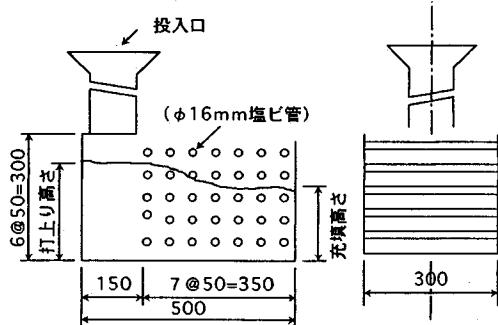


図-3 充填性試験方法

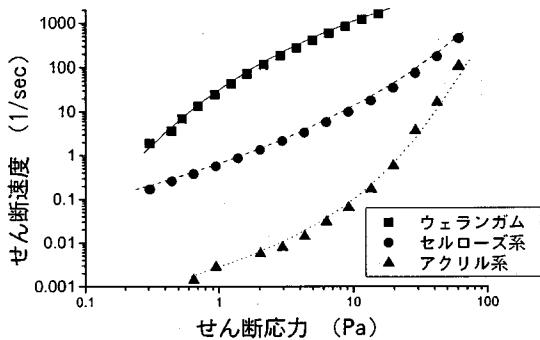


図-2 各増粘剤の粘度特性

程度を明らかにするとともに、それらのモルタルに粗骨材を混入したときのコンクリートの性状をモルタルの特性との関連で検討することを目的に一連の実験検討を行い、併用系高流動コンクリートの配合設計手法を確立するための基本的性状を明らかにした。

2. 使用した増粘剤の性質

使用した増粘剤ウェランガムは微生物の発酵作用によって生成される水溶性天然ポリマーの一類であり、化学式を図-1に示す。コンクリート用増粘剤として要求される品質は、適切な粘性を与えることのほか、化学的に安定していることや温度依存性の少ないこと等が挙げられる。そこで、従来よりコンクリート系材料に用いられている2種類の増粘剤（セルローズ系、アクリル系）及びウェランガムについてコンクリート中での増粘効果の大略を比較するために、アルカリ溶液（水酸化ナトリウム2%，水酸化カルシウム飽和溶液）に各増粘剤を溶解し、粘度特性をレオメータにより測定した。各増粘剤の濃度は高流動コンクリートで用いられる各増粘剤の混入量を考慮しセルローズ系で1%，アクリル系で2%，ウェランガムで0.1%とし

た。なお、測定は20°Cの温度条件下で行った。

測定結果を図-2に示す。ウェランガムを用いたものは、従来の増粘剤に比較して同じせん断応力に対して高いせん断速度を与える特徴を有している。このような性質が高流動コンクリートの流动特性にどのような性質を付与するかについては、同時に使用する高性能減水剤や微粉末の濃度等の影響も含めて検討する必要がある。また、ウェランガムの化学的安定性、温度安定性、懸濁安定性等も他の増粘剤と同等以上の性質を有することも確認している³⁾。

3. 検討の概要

微粉末から粗骨材まで様々な粒度を持ち、かつ比重の異なる材料を混合したときのフレッシュコンクリートの性状には、骨材の容積に対するペースト量やモルタル量の比等が影響するものと考えられたため、各材料の容積割合とともに配合を考えることとした。すなわち、微粉末としては普通ポルトランドセメントと石灰石微粉末（石粉SD）を用いることとし、微粉末中のセメントの容積比（c/pd, pdはセメントと石粉の全容積）、水と微粉末の容積比（w/pd）、細骨材とペースト量の容積比（s/pd, pdは空気量を除いたペーストの全容積）、粗骨材容積及び高性能減水剤（SP剤）量の5つの要因を取り上げ、フレッシュモルタル及びフレッシュコンクリートに及ぼす影響について検討した。フレッシュな性状に及ぼす空気量の影響は普通コンクリートに比べて小さいものと思われたためAE剤は使用せず、コンクリートの配合設計ではエントラップドエアとして2%の空気量を仮定した。

高流動コンクリートのフレッシュな性状に関する性質としては、流动性、分離抵抗性、間隙通過性、充填性等があり、これを評価するために様々な試験法が提案・試行されている⁴⁾。本検討では、モルタルに関しては、テーブルフロー試験及びJ₁₄ロート試験を行った。これは、この2つの試験値が、モルタルをビンガ

表-1 充填性試験の評価

ランク	充填率	配筋、施工条件
A	60%以上	鉄筋量が多く(250 kg/m ³ 以上)、流動距離を長くとらざるを得ない場合(10m程度)
B	30~60% (できれば40%以上)	鉄筋量、流動距離ともAランクほど厳しくない場合
C	30%以下	高流動コンクリートとしては不適

表-2 モルタル実験計画 (シリーズII)

No.	微粉末構成比(c/pd, %)	水微粉末比(w/pd, %)	水セメント比(W/C, %)	細骨材ペースト比(s/pt, %)	S P剤量(%)
1	80	90	35.6	75	2.50
2		100	39.6		
3		110	43.5		
4	65	90	43.8	75	2.50
5		100	48.7		
6		110	53.6		
7	57	90	50.0	75	2.50
8		95	52.7		
9		100	55.5		
10		105	58.3		
11		110	61.1		
12	57	95	52.7	70	2.50
13				80	
14				85	
15				90	
16	57	90	50.0	75	1.75
17		100	55.5		
18		110	61.1		
19	57	90	50.0	75	2.00
20		100	55.5		
21		110	61.1		
22	57	90	50.0	75	2.25
23		100	55.5		
24		110	61.1		

ム流体と考えた場合の2つのレオロジー定数、降伏値と塑性粘度をそれぞれ表わすと考えられることによる。

また、コンクリートに関してはスランプフロー試験、Vロート試験及び充填性試験を行った。スランプフローはコンクリートが障害のない空間を自重によって流動する際の最終変形量を表し、コンクリート全体系における降伏値によって支配される。Vロート流下時間(Vロート値)はコンクリートの間隙通過性の程度を表し、粗骨材同士の相互干渉がない場合にはコンクリートの粘性の大小を示す指標となるものと考えられている⁵⁾。

充填性は高流動コンクリートを振動締めを行わずに施工する場合の最も重要な性質である。充填性はコンクリート自体の性質のほか、配筋や型枠などの構造・施工条件によって左右されるため、それらを考慮した充填性をどのような試験で評価するかは難しい問題である。ここでは高密度配筋部への充填を想定して図-3に示すような鉄筋の最小あき間隔を34mmとした試験装置を用い、約0.5 lのコンクリートを5秒間隔で投入する打込み試験を行い、投入口直下におけるコンクリートの打上り高さが一定値に達したときにコンクリートで充填された面積(側面積)の、全体面積に対する割合により充填性を評価することとした。この試験装置の鉄筋量は、530kg/m³に相当しており、コンクリートの充填性に対してかなり厳しい条件ということができる。

このような試験は配筋条件や施工条件が異なった場合、コンクリートの評価が異なるものになる可能性があるが、この試験が実際の施工に近い流動状況をシミュレートしたものであり、実施工における充填性能との対応も付けやすいものと思われたため、この試験により充填性を評価することとした。高流動コンクリートに要求される充填性のレベルは、適用する構造物の条件や施工上必要となる流動距離等によって異なる。したがって試験結果の評価もいくつかのランクに分けて行うことが望ましい。各ランクに応じた試験値を明確に定めるには数多くの現場実施工における対応が必要である。

要となるが、ここでは充填性的レベルを3ランクに分け、今まで行った現場実験や実施工における観察結果⁶⁾等から試験値の一応の評価として表-1に示すように定めた。これらの評価値については、今後多くの実施工との対応をもとに検証し、その結果に応じて修正していく必要があろう。

4. 実験方法及び使用材料

(1) 実験の要因及び水準

a) モルタル試験

モルタル試験は、増粘剤の影響を検討したシリーズI、各種の要因の影響を検討したシリーズIIに分けて行った。

シリーズIでは水微粉末比w/pdを90, 100, 110%とし増粘剤の混入率Vを単位水量の0, 0.025, 0.05, 0.075%の4水準に変化させたモルタルに対し、SP剤の混入率を変化させて性状変化を検討するとともに、一部のモルタルについて経時変化を検討した。微粉末の構成比はc/pd=57%, 細骨材混入率はs/pt=75%の一定値とした。

表-3 コンクリートの実験計画及び結果

No.	微粉末構成比(c/pd) (容積%)	水微粉末比(w/pd) (容積%)	細骨材ペースト比(s/pt) (容積%)	SP剤量(Pd×%)	粗骨材容積(Gvol) (m³/m³)	モルタルの目標品質		モルタル		コンクリート		
						70-値(mm)	J₁₄ロート値(sec)	70-値(mm)	J₁₄ロート値(sec)	スランプ70-(cm)	Vロート値(sec)	充填率(%)
1 2 3	5.7	9.5	1.6	0.29 0.33 0.37	2.40 ±10	55 ±10	240	51.5	57.3 47.5 41.5	11.9 15.6 —	66.2 43.8 13.6	
4 5 6		1.00		0.29 0.33 0.37		35 ±5	239	37.6	54.5 49.5 44.8	8.5 12.9 3.4	60.5 46.1 21.9	
7 8 9 10 11	5.7	9.5	2.15	0.29 0.31 0.33 0.35 0.37	2.60 ±10	55 ±10	271	47.0	73.3 70.5 68.0 64.8 61.0	9.0 11.5 14.5 20.0 51.6	96.3 78.2 78.6 53.6 37.7	
12 13 14 15 16		1.00		0.29 0.31 0.33 0.35 0.37		35 ±5	263	39.1	67.8 63.0 58.3 59.0 53.8	5.9 8.5 14.6 17.1 20.0	94.6 83.3 51.6 46.8 23.2	
17 18 19 20 21	5.7	1.10	1.3	0.29 0.31 0.33 0.35 0.37	2.80 ±10	20 ±2.5	261	21.9	57.0 50.0 47.3 48.5 46.5	4.4 5.8 7.1 10.9 13.0	68.6 46.1 34.2 21.7 32.0	
22 23 24		1.00		0.29 0.33 0.37		35 ±5	281	32.8	74.3 67.5 64.5	7.0 9.6 17.3	94.9 89.5 41.5	
25 26 27	5.7	1.10	1.8	0.29 0.33 0.37	2.60 ±10	20 ±2.5	281	21.2	70.5 68.0 67.5	4.7 6.8 7.6	95.3 86.1 46.4	
28 29 30		6.5	2.0	0.29 0.33 0.37		268	47.1		68.5 62.3 60.5	9.8 15.7 31.9	86.9 65.9 40.5	
31 32 33	8.0	9.5		0.29 0.33 0.37	5.5 ±10	268	54.2		70.0 66.0 64.3	9.3 11.9 23.2	93.6 75.1 43.2	
34 35 36	5.7		8.5	1.7	0.29 0.33 0.37	240 ±10	55 ±10	243	63.5	53.5 48.5 39.3	11.8 22.7 —	56.1 29.3 11.9

シリーズIIではc/pd, w/pd, s/pt, SP剤混入率を要因に取り上げ、表-2に示す組合せで試験を行った。

b)コンクリート試験

モルタル試験の結果から、高流動コンクリートに適したモルタルについて、配合と品質との関係が概略把握できた。また、これまで行ってきた実験検討の結果から、高流動コンクリートを得るためのモルタルの品質としては、モルタルのフロー値で240~280mm, J₁₄ロート流下時間(J₁₄ロート値)で30~60秒程度が適当な範囲と考えられる。これらのことから、モルタルの品質がこの範囲を含むようモルタルの配合を定め、それに粗骨材を混入したコンクリートについて試験を行った。粗骨材の混入量は5水準とし、コンクリート1m³当たりの粗骨材容積で0.29~0.37m³/m³とした。この値は単位量に換算すると770~980kg/m³に相当する。また、使用した粗骨材の実積率は60.2%であり、粗骨材のかさ容積は0.48~0.61m³となる。要因の組合せを表-3に示す。

(2) 練混ぜ方法及び実験項目

表-4 実施試験一覧表

種類	項目	規格・仕様
モルタル	フロー試験	JIS A 5201(落下運動は行わず)
	J ₁₄ ロート試験	土木学会規準(JSCE-F 542)
コンクリート	スランプフロー試験	土木学会規準(JSCE-F 503)
	V型ロート試験	文献5による。
	充填性試験	本文中 図-3参照
	圧縮強度	JIS A 1108

a)モルタル試験

モルタルの練混ぜには、容量20lのホバート型ミキサ(丸東製、可変速)を用い、全材料投入後中速で120秒間練り混ぜ、ただちにテーブルフロー試験及びJ₁₄ロート試験を行った。流動性の極めて大きいモルタルを対象としているためテーブルフロー試験では落下運動を与えず、コーンを引抜いて静置した状態におけるモルタルの広がり(フロー値)を測定した。なお、モルタ

表-5 使用材料一覧表

使用材料	種類	品質
セメント	日本セメント社製 普通ポルトランドセメント	比重 : 3.16 比表面積 : 3,260 cm ² /g
石粉	石灰石微粉末 JIS A 5008	比重 : 2.71 比表面積 : 3,270 cm ² /g
細骨材	上野原産川砂、番取郡産山砂 (混合比率 8:2)	比重 : 2.60 吸水量 : 2.3% 実積率 : 66.4% FM : 2.72
粗骨材	青梅産砂岩碎石 G _{max} =20mm	比重 : 2.65 吸水率 : 0.77% 実積率 : 60.2%
高性能減水剤	β-ナフタレンスルフォン酸 カルシウム塩	比重 : 1.2 固体分 : 40%
増粘剤	ポリサッカライド (ウェランガム)	pH : 7.0~9.0 (1%水溶液) 粘度 : 0.2~0.4 Pa·s (1%水溶液)

表-6 微粉末の粒度分布

微粉末種類	規格	粒子径 (μm)*			
		10%	50%	90%	平均
普通ポルトランド	JIS R 5210	2.28	15.1	40.2	11.8
石灰石粉	JIS A 5008	2.09	23.6	71.7	16.7

* : 各重量%のものが通過する粒子の直径

ル、コンクリートとも練上がり温度は20±3 °Cに調整して試験を行った。

b)コンクリート試験

コンクリートの練混ぜには容量100lの2軸強制搅拌ミキサ(太平洋機工製、回転数62rpm)を用い、全材料投入後90秒間練り混ぜ、スランプフロー試験、Vロート試験、空気量試験、温度測定を行った後、コンクリート打込みによる充填性試験を行った。また、強度試験用供試体を作製し、所定の材齢まで養生した後圧縮強度試験を行った。実施した試験を表-4に示す。

(3) 使用材料

実験に用いた材料を表-5に示す。高流動コンクリートに用いるSP剤は、同時に使用する粉体や増粘剤の種類との組合せを考慮して選定する必要がある。ここではこれまでの実験結果でウェランガムとの相性特に問題のなかったβ-ナフタレンスルフォン酸カルシウムを主成分とするSP剤を用いた。フレッシュコンクリートの性質は材料の種類によって異なるが、今回の試験では材料はすべて一種類とした。微粉末として用いた普通ポルトランドセメント及び石粉の粒度分布は表-6に示すとおりである。両方の微粉末とも0.3~200 μmの範囲に分布しているが、石粉の方が多少広

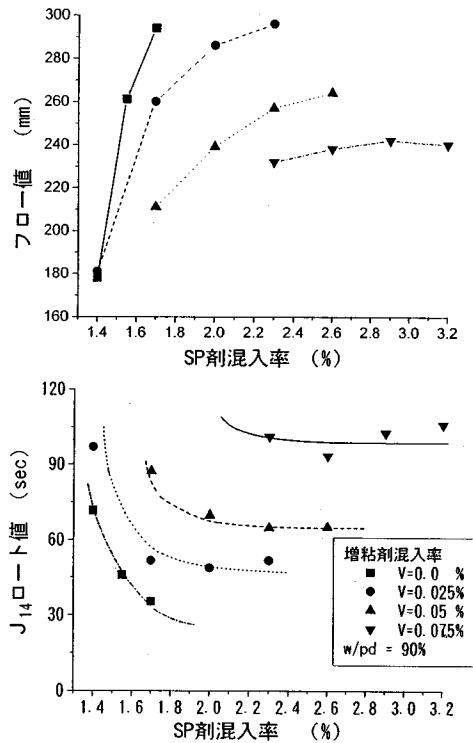


図-4 SP剤量によるモルタル性状の変化

い範囲に分布しており、かつ平均径も多少大きいものであった。

5. 実験結果及び考察

(1) モルタル実験・シリーズⅠの結果

増粘剤混入率をパラメータとした場合のモルタルのフロー値及びJ₁₄ロート値に対するSP剤混入率の影響を図-4に、w/pdの影響を図-5に示す。SP剤量を増加するほど、w/pdを大きくするほどフロー値は大きく、J₁₄ロート値は小さくなるが、それらの値の変化の程度は増粘剤量が増加するほど緩やかになる傾向を示した。すなわち、SP剤0.1%に対するフロー値の240mm前後における変化量は、増粘剤混入率V=0, 0.025, 0.05, 0.075%に対してそれぞれ約40, 25, 8, 2mm、またw/pd 1%の変化に対するフロー値の変化は同様に約9, 8, 6, 3.5mmと推定された。SP剤の効果は、種々の条件の僅かな差によって大きく異なることが指摘されており、高流動コンクリートの製造管理の上からは添加量や温度等の種々の条件に対してある程度鈍感なSP剤の開発が望まれているが⁷⁾、ここに示したSP剤と増粘剤の組合せは、このようなニーズに対する有効な方策になるものと思われる。

増粘剤の混入率を変えた場合のモルタルの経時変化を図-6に示す。高流動コンクリートの経時変化は用

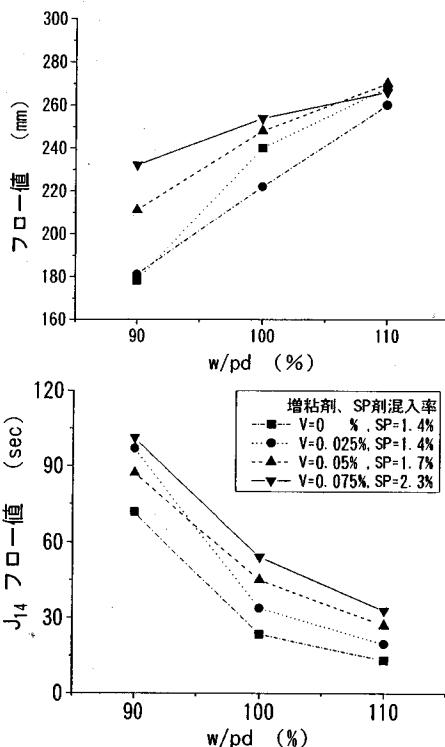


図-5 水微粉末比によるモルタル性状の変化

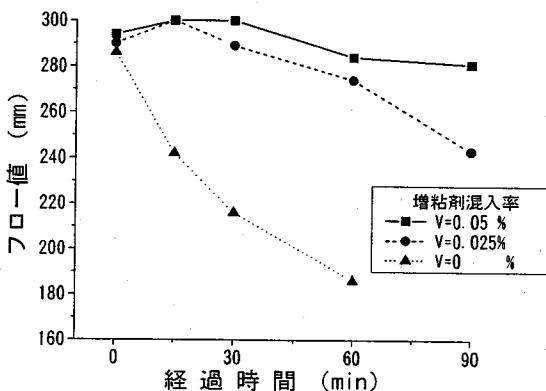


図-6 モルタルの経時変化

いるSP剤の種類によって大きく異なることが一般的に知られており⁸⁾、実際の工事では施工や温度等の様々な条件に応じてその種類を変える必要があるが、ウェランガムを適量用いた場合、20℃の温度条件であれば練上がり後90分程度までは十分流動性を確保できることが分かった。

増粘剤を用いた場合及び用いない場合のモルタルのフロー値とJ₁₄ロート値の関係を図-7、8に示す。適正な高流動コンクリートを得るためのフロー値は、240~280mm、J₁₄ロート値は30~60秒程度であるが、

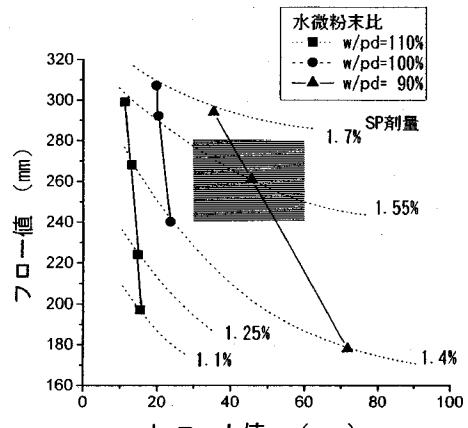


図-7 J14ロート値とフロー値の関係
(増粘剤無しの場合)

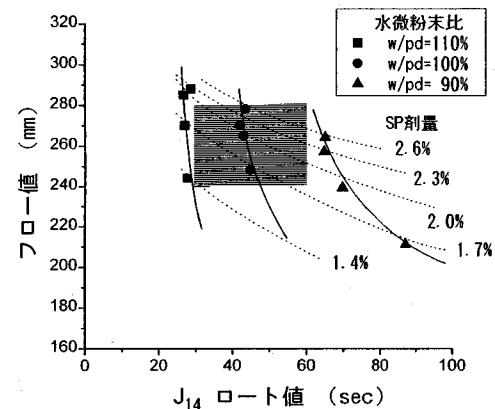


図-8 J14ロート値とフロー値の関係
(増粘剤 0.05%×W)

これらの図は、増粘剤を用いない場合この範囲に入るw/pdとSP剤量の組合せは極めて少なく、特にSP剤量についてではピンポイント的にその量を定める必要があるのに対し、増粘剤を用いた場合にはw/pdとSP剤量の種々の組合せから高流動コンクリートに適したモルタルを製造できることを示している。

増粘剤の混入率としては、図-4、5から考えて単位水量の0.075%では所定の流動性を得るためにSP剤量がかなり多くなることから、0.025~0.05%が適当と判断されたが、より流動性等の安定している0.05%を選び、以降の試験では全てこの値を用いることとした。

(2) モルタル実験・シリーズIIの結果

a) 石粉の影響

w/pdを90~110%に変化させた各モルタルに対し、

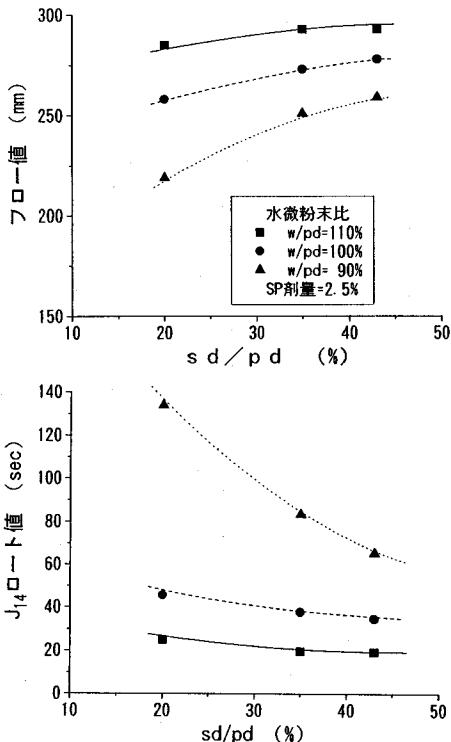


図-9 石粉の混入効果

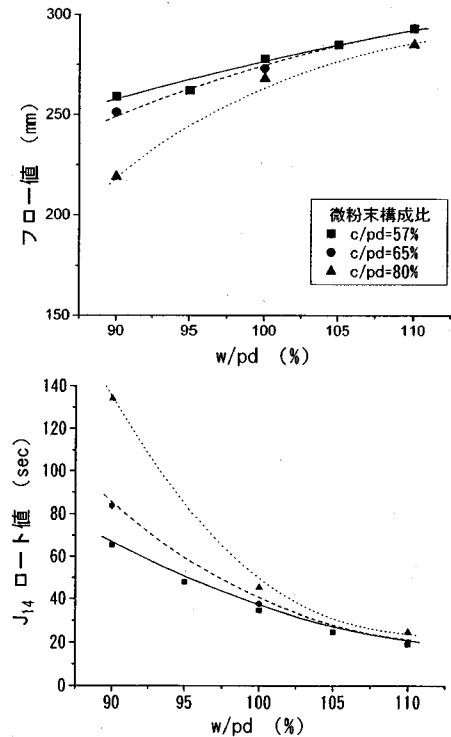


図-11 w/pd の影響

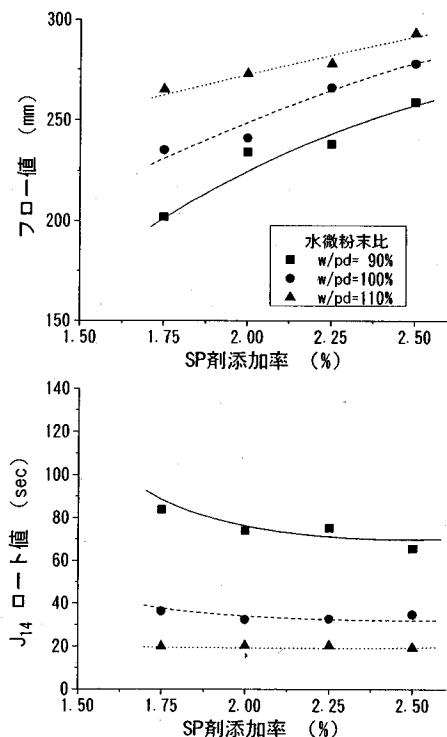


図-10 SP剤量の影響

石粉の混入率を変えた場合の試験結果を図-9に示す。普通ポルトランドセメントに対する石粉の混入率を増加するにしたがい、フロー値は大きく、 J_{14} ロート値は小さくなつた。特に、 $w/pd=90\%$ の場合に著しい流動性の改善効果が得られた。

SP剤を用いたセメントモルタルの流動性はセメント等の微粒分に対するSP剤の吸着量によって左右され、吸着量の多いほど流動性の悪くなることが指摘されている⁹⁾。石粉の増加に伴つてモルタルの流動性が改善されることとは、石粉混入による粒度分布の改善効果も考えられるが石粉とセメントの粒径分布にそれほど大きな差がないことから、石粉に対するSP剤の吸着量がセメント粒子に対するより少ないことの影響が大きいものと思われる。石粉等の混合材の分散に対するSP剤の効果については今後検討する必要があろう。

b)高性能減水剤の影響

SP剤の使用量の影響を図-10に示す。SP剤量を増加するとフロー値は大きく、 J_{14} ロート値は小さくなるが、ある一定量以上を混入しても J_{14} ロート値はそれほど変化せず、 w/pd によって定まる一定値に収束する傾向を示した。このことは、SP剤を多量に混入した場合モルタルのレオロジー定数のうち塑性粘度よりも降伏値に大きな影響を与えると指摘されていること¹⁰⁾

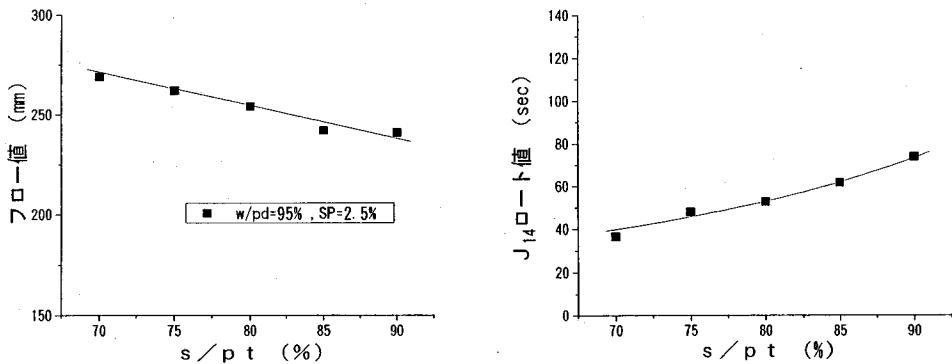


図-12 s/p_t の影響

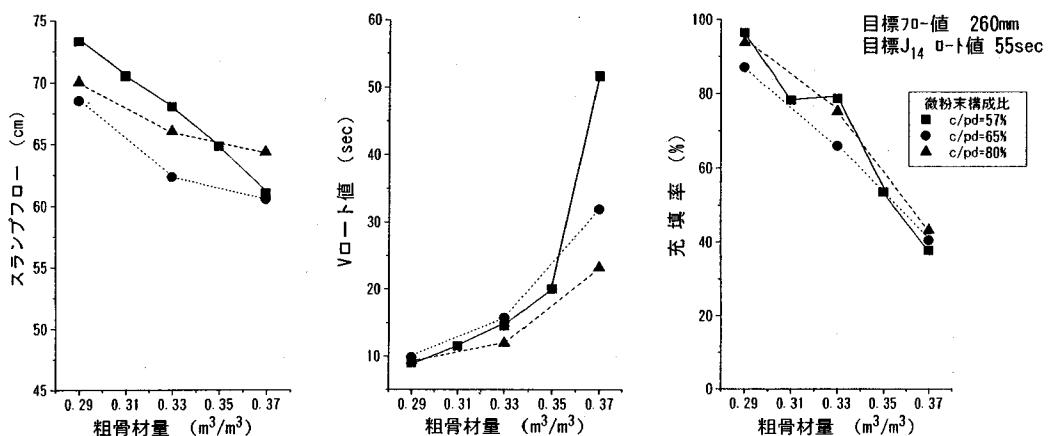


図-13 粗骨材混入の影響 (c/pd が異なる場合)

と一致しているものと思われる。

c)水微粉末比の影響

w/pdを90~110%に変化させた場合のモルタルの性状変化を図-11に示す。SP剤量を増加してモルタルを柔らかくした場合に比較して、w/pdを大きくした場合には J_{14} ロート値への影響が大きい結果が得られた。

特に、微粉末中のセメント量が多い場合に、w/pdを大きくすることでモルタルの粘性を大幅に低下できることが示された。

d)細骨材量の影響

一定の性状を示すペーストに細骨材を混入したときのモルタルの性状変化を図-12に示す。細骨材の混入量の増加とともにモルタルの流動性は悪くなるが、 s/p_t の変動範囲が75~85%(この差は単位量にして約50 kg/m³)程度であればフロー値の変化は20mm程度であり、モルタルの流動性への影響はそれほど大きくなかった。

今回検討した配合におけるペースト量の細骨材空隙に対する容積比(α)を計算すると、2.2~2.8の範囲で

ある。普通コンクリートの α は1.5~2.0であり、これと比べると高流動コンクリートの配合は細骨材の空隙に比較してペースト量がかなり多くなっている。細骨材量の変化の流動性等に及ぼす影響があまり大きくなかったのは、このような配合上の特徴によるものと考えられる。

(3) コンクリート実験

コンクリート実験においては、目標とした品質のモルタルが得られるようにSP剤量を予備試験の結果より定めた。目標とした品質の範囲は、フロー値では±10mmとした。 J_{14} ロート値では流下時間が長いほど試験値のはらつきが大きくなる傾向にあることを考慮し、品質の範囲を目標値55, 35, 20秒に対して、それぞれ±10, ±5, ±2.5秒と定めた。コンクリートの配合の組合せを、モルタル試験の結果と合わせて表-3に示す。

a)粗骨材混入の影響

一定品質のモルタルに粗骨材を混入した場合の試験

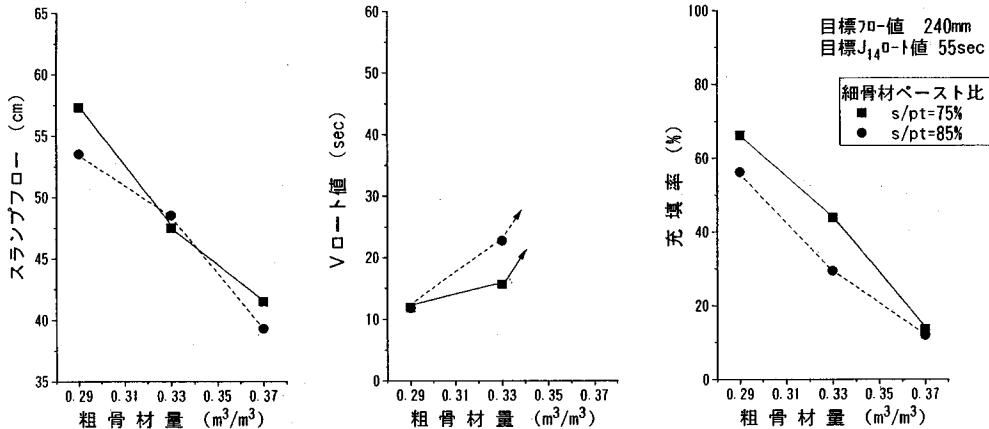


図-14 粗骨材混入の影響 (s / p t が異なる場合)

結果の一例を図-13~16に示す。粘塑性流体に粗骨材などの固体粒子を混入した場合、コンクリートの降伏値や塑性粘度は増加するといわれており¹¹⁾、今回の実験でもこれと同様の結果が得られた。各試験値を粗骨材量毎に平均して比較すると、粗骨材量を $0.29m^3/m^3$ から $0.37m^3/m^3$ まで増加することによりスランプフローは約10cm低下した。また、Vロート値は粗骨材量 $0.35m^3/m^3$ までは漸増傾向を示したが、 $0.37m^3/m^3$ では急激に大きな値を示すものもあり、平均的には $0.35m^3/m^3$ の場合の2倍の流下時間となった。充填性試験結果は粗骨材量による影響を大きく受け、粗骨材量 0.29 、 0.33 、 $0.37m^3/m^3$ におけるそれぞれの充填率の平均値は 80 、 60 、 30% となった。

以上の結果からコンクリート中の粗骨材量を $0.29m^3/m^3$ (単位量約 $770kg/m^3$)程度とすれば、今回実験に用いた全てのモルタルに対して表-1に示したAランクの高流動コンクリートが得られること、粗骨材量を $0.37m^3/m^3$ (単位量約 $970kg/m^3$)程度とした場合にBランクの高流動コンクリートを得るために図-13、15よりフロー値 $260\sim270mm$ 以上の流動性の優れたモルタルを使用する必要があり、その場合でも極めて密な配筋部に用いるのは難しいこと等がいえるものと思われる。

今回用いた高流動コンクリートの粗骨材の空隙に対するモルタル量の容積比(β)は $2.6\sim3.7$ であり、普通のコンクリートの β 、 $2.0\sim3.0$ より多少大きな値であった。粗骨材量のフレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響に関しては普通のコンクリートではありません重視されていないが、高流動コンクリートの流動性や充填性には極めて大きな影響を与えるものであり、高流動コンクリートの配合選定に当たって第1に考えるべき要因の一つといふことができる。

また、コンクリート中の粗骨材量は硬化後の品質に影響を与える、一般的には粗骨材量を多くした方が品質の向上、コストの低減に有利とされている。高流動コンクリートにおいても、所要の流動性の得られる範囲で粗骨材量を多くした方が硬化後の品質のよいコンクリートが得られるものと思われる。したがって、一般的な施工条件を対象とする充填率40%以上(Bランク)の高流動コンクリートの粗骨材量としては $0.33\sim0.35m^3/m^3(870\sim920kg/m^3)$ 程度が適切と思われる。

b) モルタル品質の影響(フロー値、J₁₄ロート値が同じ場合)

モルタル実験の結果よりw/pd、s/pt一定の条件でc/pdを変化させてもSP剤混入率を調整することでフロー値、J₁₄ロート値がほぼ同じモルタルが得られる。また逆にc/pdを一定としs/ptを変化させてもSP剤量を調整することでフロー値、J₁₄ロート値のほぼ同じモルタルが得られる。そのようなモルタルに粗骨材を混入したときのコンクリートの試験結果を図-13、14に示す。

粗骨材量が $0.35m^3/m^3$ 以下であれば、スランプフロー、Vロート値、充填率ともに同じ粗骨材混入量に対してほぼ同じ試験値が得られた。すなわち、モルタルの配合要因が異なってもフロー値、J₁₄ロート値で表される品質が同じであれば、一定量の粗骨材の混入によってほぼ同じ品質のコンクリートが得られることを示しているものと思われる。しかし粗骨材量が $0.37m^3/m^3$ と多くすると、スランプフローや充填率が同じであってもVロート値の極端に大きくなる場合があった。Vロート試験は拘束された状態におけるコンクリートの変形性能を表しており、自由表面を有して流動する際の変形性を示す充填性試験とは異なる性能を表しているものと思われるが、これらの試験における

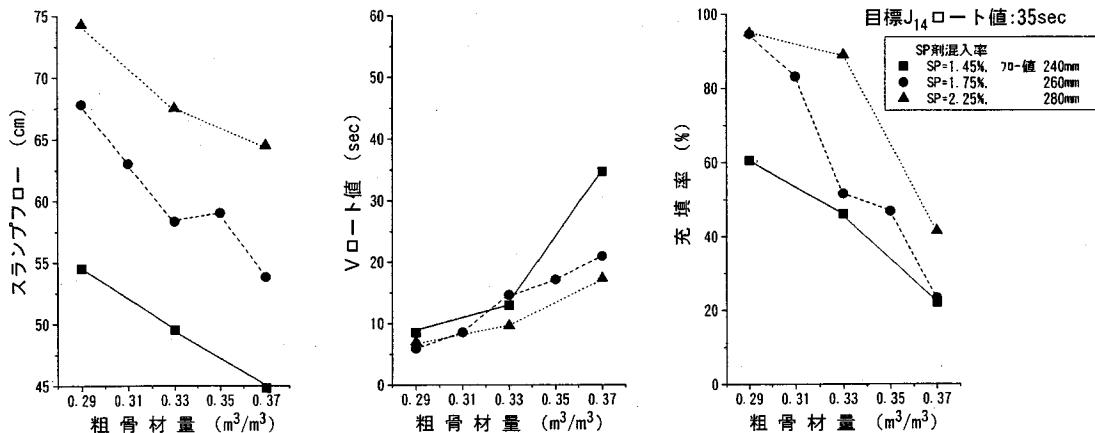


図-15 粗骨材混入の影響（フロー値が異なる場合）

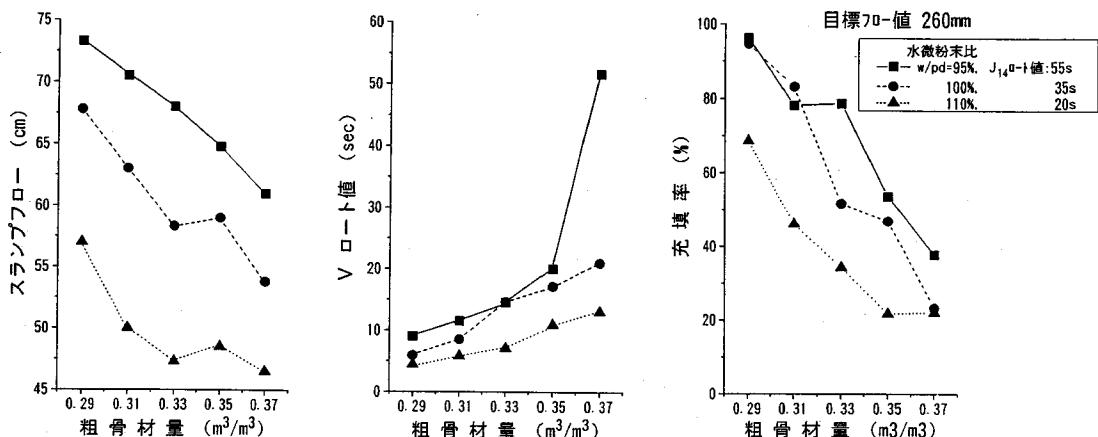


図-16 粗骨材混入の影響（ J_{14} ロートが異なる場合）

値の差が実際の施工にどのような影響を与えるかについては、今後検討する必要があるものと思われる。

c) モルタルのフロー値の影響

SP剂量を増加させ、 J_{14} ロート値を変えないでフロー値を240, 260, 280mmに変化させた場合、図-15に示すように同じ粗骨材量に対するスランプフローは約10cmずつ大きくなり、Vロート値は粗骨材量が0.33 m^3/m^3 以下の範囲ではほぼ同じ値が得られた。

充填率に対するモルタルフローの影響は大きく、フロー値が240mmでは粗骨材混入量を0.29 m^3/m^3 としても60%程度の充填率しか得られないのに対し、フロー値が280mmの場合、粗骨材混入量0.35 m^3/m^3 でも同じ60%の充填率が得られた。

d) モルタルの J_{14} ロート値の影響

w/pdの変化に対してSP剂量を調整してフロー値をほぼ同じとしたモルタルについて、粗骨材を混入して得

られるコンクリートの性状を図-16に示す。Vロート値は、 J_{14} ロート値の大きなモルタルを用いた方が大きくなり、その影響は粗骨材量0.37 m^3/m^3 で特に顕著となった。スランプフロー及び充填性はこの傾向とは逆に、 J_{14} ロート値が大きく、粘性の高いモルタルを用いた方がコンクリートの流動性は大きく、また同じ粗骨材混入量における充填率も大きい結果となった。

今回の試験では、w/pd及びSP剂量の組合せを変化させてフロー値一定で J_{14} ロート値の異なるモルタルとしている。このため、w/pdを大きくすると同一フローを得るためのSP剂量が少なくなり、その結果コンクリートの流動性が低下したものと思われる。このことは、高流動コンクリートに適するモルタルをフロー値だけで判断することはできず、適度な粘性が得られるようw/pdとSP剂量の組合せを適切に選定する必要のあることを示しているものと思われる。すなわち J_{14} ロート

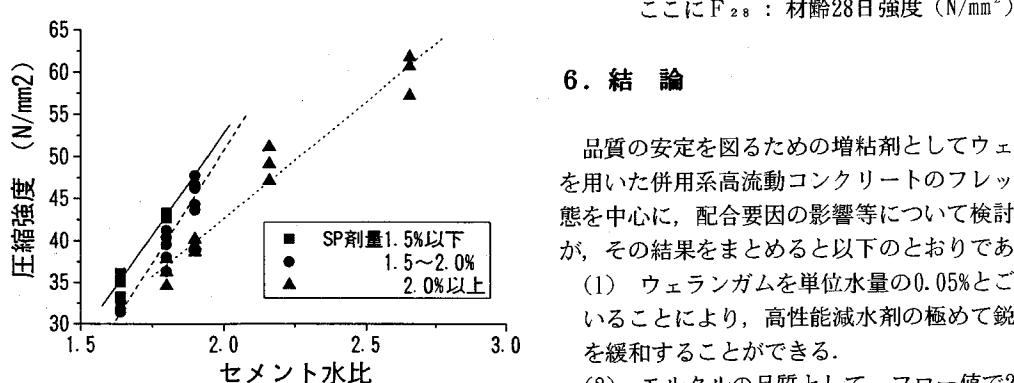


図-17 コンクリート強度試験結果

値が20秒程度の場合には、粗骨材量を $0.31\text{m}^3/\text{m}^3$ 以下でないと良好な品質(充填率が40%程度以上)の高流動コンクリートが得られない結果となり、このことから、 J_{14} ロート値の適正値としては30秒以上が必要と考えられる。

(4) コンクリートの圧縮強度

コンクリートのW/Cを一定にして石粉等の鉱物質微粉末を混入した場合、微細空隙に対する充填効果により一般に圧縮強度は増加するとされている。今回の実験では石粉の混入率を微粉末全容積に対して20~43%としたが、この範囲で石粉量を変化させても、圧縮強度に対する影響はあまり顕著ではなかった。また、粗骨材量の強度に及ぼす影響もほとんど認められなかつた。

モルタルのフロー値とコンクリートの圧縮強度との間にはある程度の相関が認められた。例えばW/C=56%の場合、フロー値 239, 263, 281mmに対してコンクリート強度の平均値は 43.1, 39.1, 36.3 N/mm²となり、フロー値の小さい方が圧縮強度の大きい結果となった。単位水量、単位セメント量を一定としてSP剤を使用した場合、SP剤量が少ない間は強度増加が認められるが、SP剤量が多くなると強度低下を起こすことが指摘されている¹²⁾。SP剤量を2.0%以上、1.5~2.0%、1.5%以下の3水準に層別し材齢28日圧縮強度とセメント水比の関係を求めた結果は図-17のとおりであり、SP剤の多い方が強度の高い範囲で多少強度の低くなる傾向が認められた。SP剤の強度等の硬化コンクリートの性質に及ぼす影響については今後の研究課題と考えられる。

材齢28日圧縮強度とセメント水比との関係を全てのデータについて回帰した結果は(1)式のとおりである。

$$F_{28} = -7.8 + 26.3 C/W \quad (1)$$

(相関係数 0.922)

ここに F_{28} : 材齢28日強度 (N/mm²)

6. 結 論

品質の安定を図るために増粘剤としてウェランガムを用いた併用系高流動コンクリートのフレッシュな状態を中心に、配合要因の影響等について検討してきたが、その結果をまとめると以下のとおりである。

(1) ウェランガムを単位水量の0.05%とごく少量用いることにより、高性能減水剤の極めて鋭敏な作用を緩和することができる。

(2) モルタルの品質として、フロー値で240~280mm, J_{14} ロート値で30~60秒の範囲であれば、モルタルの性質に応じた適量の粗骨材を混入することにより、品質の優れた高流動コンクリートを得ることができる。

(3) フロー値と J_{14} ロート値で表されるモルタルの品質が同一であれば、そのモルタルに粗骨材を混入して得られる高流動コンクリートの品質も、粗骨材混入量が $0.35\text{m}^3/\text{m}^3$ 以下であればほぼ同じものとなる。

(4) 高流動コンクリートのフレッシュな状態における流動性、充填性等の品質には粗骨材量が大きく影響を及ぼす。したがって配合設計に当たっては目標とする品質が得られるよう、粗骨材量を適切に選定する必要がある。一般的な配合、施工条件であれば、粗骨材量は、 $0.33\sim 0.35\text{m}^3/\text{m}^3$ が適当である。

(5) モルタルのフロー値はc/pd, w/pd, 及びSP剤量等種々の要因の影響を受けるため、それについて適切な組合せを選択する必要がある。 J_{14} ロート値はSP剤量やc/pdの影響は少なく、w/pdの値によってほぼ定まり、w/pdを95~105%の範囲とすればほぼ所定の J_{14} ロート値を得ることができる。細骨材量の影響は、s/ptが75~85%の範囲ではモルタルの流動性に及ぼす影響は少ない。

(6) 高流動コンクリートの強度は、C/WのほかSP剤量の影響を受け、SP剤の量を多くするほど強度は低くなる。しかし、圧縮強度の大略の値はC/Wから推定することができる。

謝 辞：本研究を進めるに当たり、早稲田大学理工学部 関 博教授、鹿島技術研究所 中原 康博士にご指導を受けるとともに、終始有益なご助言を頂きました。ここに深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 坂田 昇、中下兼次、深田敦宏、万木正弘：高流動コンクリートの配合が施工性、充填性に及ぼす影響、コ

- ンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, 1993.
- 2) 岡村 甫, 前川宏一, 小沢一雅: ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, 1993. 9.
 - 3) 万木正弘, 坂田 昇, 岩井 稔: 特殊増粘剤を用いた締固め不要コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, No. 1, 1992.
 - 4) 日本コンクリート協会編: 超流動コンクリート研究委員会報告書(II), 1994. 5.
 - 5) 小沢一雅, 坂田 昇, 岡村 甫: ロート試験を用いたフレッシュコンクリートの自己充填性評価, 土木学会論文集, No. 490/V-23, 1994. 5.
 - 6) 万木正弘, 坂田 昇, 岩井 稔: 特殊増粘剤を用いた締固め不要コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, No. 1, 1992.
 - 7) 岡村 甫, 小澤一雅: 自己充填コンクリートの配合設計法の現状と課題, 土木学会論文集, No. 496/V-24, 1994.
 - 8)
 - 9) 小澤一雅, 松尾茂美, 下川浩児, 岡村 甫: モルタル試験における自己充填コンクリートに用いる高性能減水剤の評価, セメントコンクリート論文集, No. 48, 1994.
 - 10) 内川 浩, 沢木大介, 羽原俊祐: フレッシュセメントペーストの流動性に及ぼす有機系混和剤の種類と添加方法の影響, コンクリート工学論文集, 第5巻第2号, 1994. 7.
 - 11) 児玉和巳: 高性能減水剤のメカニズム, セメントコンクリート, No. 427, 1982. 9.
 - 12) 谷川恭雄, 森 博嗣, 渕田安浩, 筒井一仁, 伊藤端子: フレッシュコンクリートのレオロジー性質に及ぼす粗骨材の影響に関する研究, 日本建築学会研究報告, 1992. 2.
 - 13) 服部健一: 特殊減水剤の物性と高強度発現機構, コンクリート工学, Vol. 14, No. 3, 1976.

(1995. 7. 25受付)

A STUDY ON THE FRESH CONCRETE PROPERTIES OF HIGHLY FLUIDIZED CONCRETE WITH POLYSACCHARIDE-BASED VISCOSITY AGENT

Masahiro YURUGI, Noboru SAKATA and Goro SAKAI

The development of a concrete which consolidates under its own weight could lead to substantial improvement in the quality of concrete structures. In order to realize such self-consolidating concrete, high range water reducing agent (HRWR) and fine powdered materials were used. Furthermore a special viscosity agent was used to stabilize flowability of the concrete. In this paper, the results of experiments on fresh concrete properties were provided. Influences of factors such as water-to-powder ratio, dosage of HRWR, volume fraction of coarse aggregate etc. were investigated regarding the flowability and filling capacity of the concrete. From the results obtained herein, mix-proportioning guide line for the self-consolidating concrete could be established.