土木学会論文集 No. 571／V-36, 27-36, 1997.8

増粘剤ウェランガムを用いた高流動コンクリートの流動特性に及ぼす各種材料の影響

坂田　昇[1]・丸山久一[2]・泉　達男[3]

[1]正会員　工博　鹿島建設株式会社　北陸支店（〒950 新潟県新潟市万代 1-3-4）
[2]フェロー　Ph.D.　長岡技術科学大学教授　建設系（〒940 新潟県長岡市上富岡町 1603-1）
[3]正会員　工修　花王株式会社　和歌山研究所（〒640 和歌山県和歌山市湊 1334）

著者らは，増粘剤ウェランガムをコンクリートに少量添加することで，高流動コンクリートの自己充填性が向上するなど，コンクリートの性質が大幅に変わることを明らかとした．しかし，ウェランガムを用いた高流動コンクリートとしては，限られた材料についての検討が行われているだけである．そこで，本論文ではウェランガムと各種高性能減水剤との相性及び各種粉体との相性について実験的に検討した．その結果，今回検討した範囲で高性能減水剤及び粉体の種類にかかわらず，ウェランガムは高流動コンクリートあるいはモルタルの流動性の安定に効果を発揮することが分かった．また，セメントに石灰石微粉末，高炉スラグ微粉末及びフライアッシュを混入した粉体を用いた場合，ウェランガムを添加することによって流動性の経時変化が小さくなる結果となった．

Key Words：*highly fluidized concrete, flow-property, viscosity agent*

1．序論

自己充填型コンクリート[1),2)]は，多くの研究機関において研究，開発が進められ，現在では一般的な構造物だけでなく，大規模構造物や重要構造物にも適用されている．この自己充填型コンクリートには，所要の流動性の確保が最も要求される．

一方，耐久性の観点から単位水量を極力少なくし，高性能減水剤を多量に添加することから，骨材の表面水率の設定誤差等による単位水量の変化に対し，コンクリートの流動性が著しく変化する．またフレッシュコンクリートにおいても化学反応が生じるため温度変化に対してもコンクリートの流動性が著しく変化する．

現状の生コンプラントでは，骨材の表面水率が変化するため，単位水量を精度よく計量することは不可能であり，実状としては普通のコンクリートに対しスランプ性状を確認し，細骨材の表面水率を±0.5%の範囲で調整することによって対応している[3)]．

このような現状に対し，自己充填型コンクリートに適したミキサとして，二段練り式ミキサ（デュアルミキサ）が開発された．このミキサによれば，上段ミキサでモルタル練混ぜ時にその練混ぜ負荷から水量を的確に把握し，下段ミキサでコンクリート練混ぜ時に水量を補正することで，単位水量を精度よく計量できる可能性がある．しかし，二段練り式ミキサを導入するためには多大な設備費を要することから，どこででも二段練り式ミキサを用いて自己充填型コンクリートを製造することができないのが実状である．

そこで，単位水量の設定誤差及び温度の変化に対し，流動性の変化の小さい自己充填型コンクリートを材料の工夫によって製造することを検討してきた．その結果，天然多糖類で水溶性ポリサッカライドの一種であるウェランガムをコンクリートに少量添加することで，コンクリートの流動性や間隙通過のしやすさを安定させるだけでなく，経時変化を小さくし，自己充填性を向上させ，幅広いスランプフロー値において優れた自己充填性を付与することを著者らによって明らかとした[4)]．

しかし，増粘剤ウェランガムを用いた自己充填型コンクリートとしては，高性能減水剤にβ－ナフタリンスルホン酸ナトリウム塩を，また粉体に普通ポルトランドセメントと石灰石微粉末（以下，石粉と記す）を用いたものであり，限られた材料についての検討が行

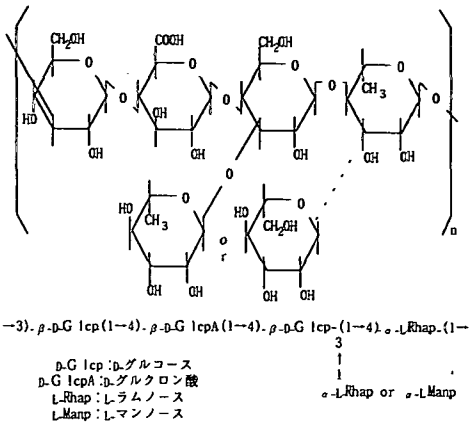
われているだけである．

本論文では，増粘剤ウェランガムと各種高性能減水剤との相性を流動性の安定性の観点から検討するとともに，徐放性空気連行剤や徐放性分散剤を添加した場合の空気量保持性能，流動性保持性能を定量的に検討し，さらに各種粉体を用いた高い流動性を有するモルタル（以下，高流動モルタルと記す）の流動特性についても検討した．

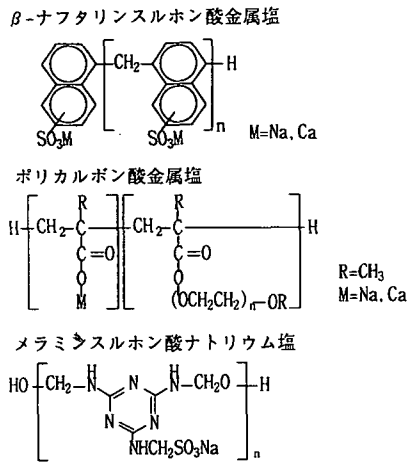
2．増粘剤ウェランガムの基礎物性

ウェランガムは天然多糖類の一種であり，その化学構造は図－1に示すとおりである[5]．図に示すようにウェランガムの主鎖は4個の糖の繰返しで，D－グルコース，D－グルクロン酸，D－グルコース，L－ラムノースからなり，側鎖は1個でL－ラムノースまたはL－マンノースである．ウェランガムは，醗酵多糖類で代表的なキサンタンガムと同様に水溶液中でダブルヘリックス構造，さらに超会合状態を取るものと考えられる[6]．ウェランガムの分子量は，2×10^6 程度と言われているが，まだ確定的なものは分かっていない．

ウェランガムの水溶液の粘度は，アルカリ溶液において若干大きくなるが，カルシウム濃度0～10%の範囲でほぼ同じであり，またpH 2～12の範囲でほぼ同じである[7]．この性質は他のセルロース誘導体系増粘剤やアクリル系増粘剤に見られないものである．また，ウェランガムの水溶液の粘度は，温度5～30℃の範囲でほとんど変化しない．これはウェランガムの分子構造が温度によって変化するためであると考えられ，この性質がウェランガムを用いた高流動コンクリートにおいて温度変化によるスランプフローの変化が小さいことの理由の一つであると考えられる．さらに，ウェランガムの水溶液は，低せん断速度で粘度が大きく，せん断速度が増加するにしたがって粘度が低下する性質（シュードプラスチック性）を強く持つ．これはウェランガムの化学構造における側鎖の数及び長さに起因する他，超会合状態を取りやすい化学構造であるためと考えられる[4]．



図－1　ウェランガムの化学構造



図－2 高性能減水剤の化学構造式

3．各種高性能減水剤との相性

（1）モルタル試験

増粘剤ウェランガムを用いた高流動コンクリートの流動特性に及ぼす各種高性能減水剤の影響を把握するため，モルタルにて試験を行った．試験に供した材料及びモルタルの基本配合をそれぞれ表－1及び表－2に示す．ここで，高性能減水剤には，5種類を選定した．これらの高性能減水剤はすべて分散剤単味であり，高性能AE減水剤や流動化剤などに含まれる徐放剤や空気連行剤を含まないものとした．図－2に試験に供した高性能減水剤の化学構造式を示す．試験は，ウェランガム添加（単位水量に対し0.03%）及び無添加の2種類の基本配合のモルタルのフローが260±15 mmとなるように各種高性能減水剤の添加量を調整し，その配合に対し，それぞれ基本配合及び細骨材の表面水率に換算して－1.0%，+1.0%の水量を変動させた配合の3配合について，モルタルのフロー及び粘度を測定した．ここで，増粘剤の添加は，所定量の増粘剤を測定し，それをセメントに混ぜたのちに，セメントとともにミキサ内に投入した．モルタルのフローはJIS A 5208のモルタルフロー試験においてコーンを引き抜き，振動なしの広がり幅とした．また，粘度測定は内円筒回転型レオメータ（外筒 ϕ 27 mm，内筒 ϕ 14 mm，試料高さ65 mm）を用いて，練上がり直

表－1　使用材料

材料	適用
セメント(C)	普通ポルトランドセメント(比重3.16)
細骨材(S)	川砂(比重2.57,粗粒率2.87,吸水率1.89%)
水(W)	水道水
増粘剤(WG)	ウェランガム
高性能減水剤(SP)	β-ナフタリンスルホン酸ナトリウム塩 β-ナフタリンスルホン酸カルシウム塩 ポリカルボン酸ナトリウム塩 ポリカルボン酸カルシウム塩 メラミンスルホン酸ナトリウム塩

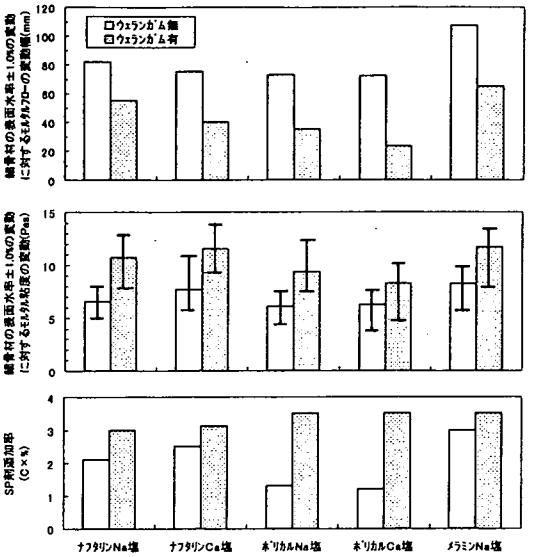
表－2　モルタルの配合

水粉体容積比 w/p (%)	砂粉体容積比 s/p (%)	水 W (g)	セメント C (g)	細骨材 S (g)	増粘剤 WG (W×%)
					0.00
94.8	1.68	164.1	547	749	0.03

高性能減水剤を適正量添加

後のモルタルを3.4 mmふるい（JIS Z 8810）にかけた後，測定した．レオロジー曲線は内筒を $100s^{-1}$ まで50秒で指数的に上昇下降させて測定し，上昇時のせん断ひずみ速度条件（0～$10s^{-1}$）における見掛けの塑性粘度を求め，それをモルタル粘度とした．

各高性能減水剤についてウェランガム添加の有無の配合のモルタルフローの変動幅，モルタル粘度の変動及び高性能減水剤の添加率を図－3に示す．モルタルフローの変動幅は表面水率＋1.0%の配合のフローと表面水率－1.0%の配合のフローの差として求めた．図に示すように試験に供したすべての高性能減水剤でモルタルフローの変動幅はウェランガム無添加のものに比べ，添加のものの方が小さくなった．その効果はナフタリンスルホン酸塩やメラミンスルホン酸塩よりもポリカルボン酸塩の方が顕著であった．ただし，ウェランガム添加による高性能減水剤の添加量の増加倍率はナフタリンスルホン酸塩が1.2～1.4倍であったのに対し，ポリカルボン酸塩は2.8倍であり，ポリカルボン酸を用いた場合，ウェランガム添加によってより多くの高性能減水剤が必要となる．このことは経済性から考慮して好ましくなく，ポリカルボン酸塩を使用する場合にはウェランガムの添加量をさらに少なくする必要がある．このように，今回検討した範囲では高性能減水剤の種類にかかわらず，増粘剤ウェランガムは高流動モルタルの流動性の安定に効果を発揮するが，その適正な添加量は高性能減水剤の種類によって決まるものと考えられる．図－3のモルタル粘度について棒グラフは基本配合の粘度を，また，範囲の上端は表面水率－1.0%の配合の粘度，下端は



図－3　モルタルフロー及びモルタル粘度

表－3　使用材料

材料	適用
セメント (C)	普通ポルトランドセメント (比重3.16,比表面積3850cm²/g)
混和材 (SD)	石灰石微粉末 (比重2.70,比表面積3370cm²/g)
細骨材 (S)	山砂 (比重2.59,粗粒率2.69,吸水率1.31%)
粗骨材 (G)	砕石 (Gmax20mm,比重2.69,粗粒率6.61,実積率63.0%)
増粘剤(WG)	ウェランガム
高性能減水剤 (SP)	β-ナフタリンスルホン酸ナトリウム塩 ポリカルボン酸ナトリウム塩 メラミンスルホン酸ナトリウム塩

表－4　コンクリートの基本配合

W/P (%)	G/Glim (%)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m³) W	C	SD	S	G	WG添加率 (W×%)	SP添加率 (P×%)
									0.00	*)
30.2	55	65±1	4.5±1	165	331	216	713	888	0.05	*)

G/Glim：粗骨材の実積率に相当する容積とコンクリート中の粗骨材容積との比率
*)SP剤添加量は基本配合でスランプフローが65±5cmとなるように調整，
各SP剤の添加率は図－4に示す．(P=C+SD)

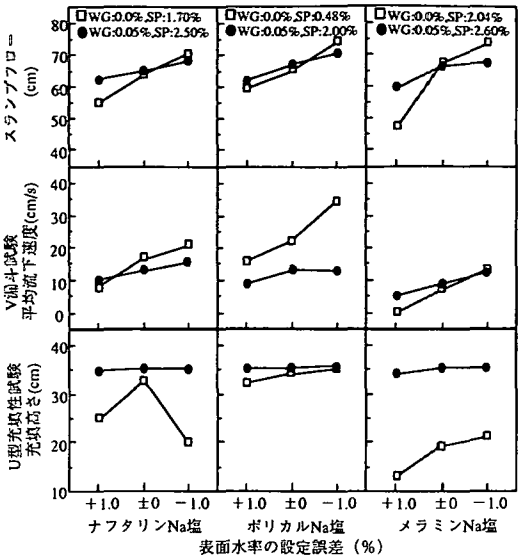
表面水率＋1.0%の配合の粘度をそれぞれ示す．図に示すように，高性能減水剤の種類にかかわらず，ウェランガムを添加することによって粘度が大きくなった．ウェランガム添加による粘度増加は，ナフタリンスルホン酸塩，ポリカルボン酸塩ともにナトリウム塩の方が大きかった．ここで，ウェランガムの有無で粘度を比較した場合，表面水率－1.0%の配合について無添加のものは流動性の低下とともに粘度上昇を生じているが，ウェランガム添加のものは流動性を確保した上で粘度上昇を生じる結果となった．

（2）コンクリート試験

試験に供した材料及び基本配合をそれぞれ表－3及び表－4に示す．試験は，ウェランガム添加（単位

水量に対し0.05%)及び無添加の2種類の基本配合のスランプフローが65±1cmとなるように各種高性能減水剤の添加量を調整し，その配合に対し，それぞれ基本配合及び細骨材の表面水率に換算して−1.0%，1.0%の水量を変動させた配合の3配合について，スランプフロー，V漏斗[8]及びU型充填性試験を行った．ここで，V漏斗試験の平均流下速度は，V漏斗中のコンクリート容積を出口断面積で除し，さらに流下時間で除した値として求めた．図−4に示すように，表面水率設定誤差によるスランプフロー，V漏斗試験の流下速度及びU型充填高さの変動は，試験に供したすべての高性能減水剤でウェランガム添加によって小さくなった．その程度はスランプフローの場合，メラミンスルホン酸Na塩が最も大きく，次いでナフタリンスルホン酸Na塩，ポリカルボン酸Na塩の順であった．V漏斗試験の流下速度の変動は，ポリカルボン酸Na塩が最も大きくなる結果となった．U型充填高さについては，ウェランガム添加による間隙通過性の向上及び表面水率変動に対する変動抑制の効果が見られ，特にメラミンスルホン酸Na塩及びナフタリンスルホン酸Na塩に対しより顕著であった．

以上のように，表面水率の設定誤差によるコンクリートのスランプフロー等の性質の変化の傾向は高性能減水剤の種類によって異なる結果となったが，ウェランガムを添加することによって今回検討した高性能減水剤のいずれの系においても流動性の変動を緩和することが確かめられた．



図−4　スランプフロー，V漏斗流下速度及び充填高さ

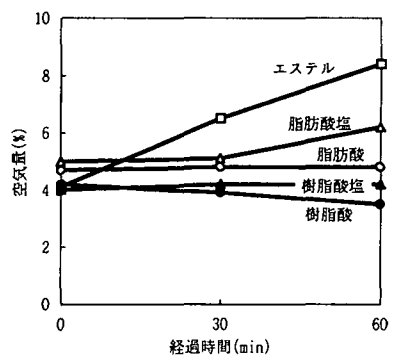
表−5　コンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	単位量(kg/m³)				AE剤添加率 (C×%)
			W	C	S	G	
55.5	46.0	15±2	178	320	805	982	0.2

4．徐放性混和剤の添加による影響

（1）徐放性空気連行剤

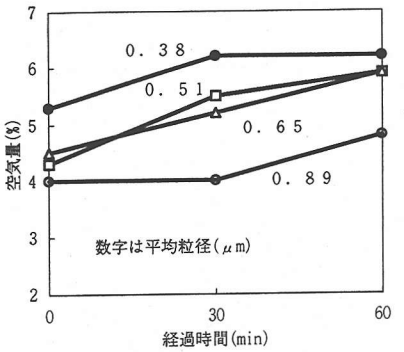
一般にコンクリートに連行された空気量は，練混ぜ直後において所定量としても，経時的に減少する傾向にある．これは練混ぜによる攪拌で連行された気泡が定常状態に置かれることにより徐々に抜けること，及び経時的に空気連行剤がセメントの水和反応に取り込まれたり，コンクリート中のカルシウムイオンにより不溶化することによって気泡が消失するものとして考えられる．特に高流動コンクリートでは流動性が高いためこの傾向が顕著となる．そこで，著者らは高流動コンクリートの空気量の経時変化を低減させる方法として，経時的に気泡力，気泡保持能力が低下するコンクリート中に，空気連行作用を経時的に補填することにより空気量を保持することを可能とする徐放性空気連行剤について実験的に検討した．さらに，選定した徐放性空気連行剤をウェランガムを用いた高流動コンクリートに添加することにより空気量の保持能力を確認した．



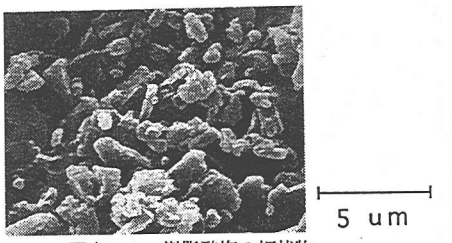
図−5　各種徐放性空気連行剤を用いたコンクリートの空気量の経時変化

a）徐放性空気連行剤の検討

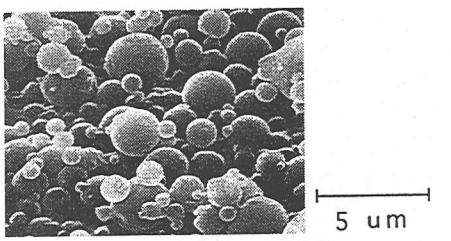
まず固形状の空気連行剤がコンクリート中のアルカリによって徐々に溶解することでコンクリート中に空気連行作用を補填する機能を持つ剤について検討した．空気連行剤として脂肪酸，脂肪酸塩，エステル，樹脂酸及び樹脂酸塩を用いて表−5に示す配合のコンクリートについて空気量の経時変化を測定した．その結果，図−5に示すように検討した5種類の空気



図－6　粒径の異なる樹脂酸塩を用いたコンクリートの空気量の経時変化



写真－1　樹脂酸塩の板状物



写真－2　樹脂酸塩の球状化物

表－6　使用材料

使用材料	適用
セメント (C)	普通ポルトランドセメント (比重3.16,比表面積3850cm²/g)
混和材 (SD)	石灰石微粉末 (比重2.70,比表面積3370cm²/g)
細骨材 (S)	山砂 (比重2.59,粗粒率2.69,吸水率1.31%)
粗骨材 (G)	砕石 (Gmax20mm,比重2.69, 粗粒率6.61,実積率63.0%)
増粘剤(WG)	ウェランガム
高性能減水剤(SP)	β-ナフタリンスルホン酸ナトリウム塩
AE剤 (AE)	従来型：アルキルアリルスルホン酸塩 徐放型：樹脂酸塩(平均粒径0.51μm)

表－7　コンクリートの配合

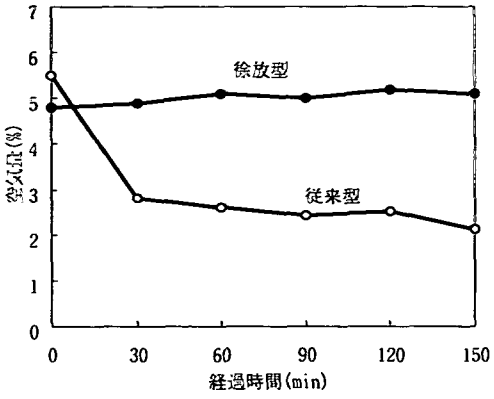
ケース No.	W/P (%)	G/Glim (%)	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m³) W	C	SD	S	G	WG添加率 (W×%)	SP添加率 (P×%)	AE添加率 (P×%)
従来型	31.0	55	65±1	4.5±1	165	331	216	713	888	0.05	2.5	0.05
徐放型										0.05	2.5	0.15

P=C+SD

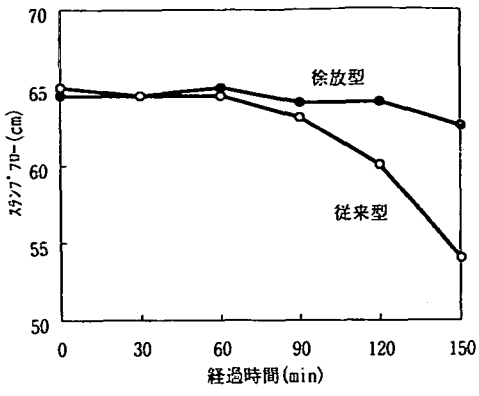
連行剤で徐放効果によるコンクリートの空気量の保持性が確認された．しかし，脂肪酸は使用に際して混和剤に配合した場合，貯蔵安定性が悪く，その徐放特性が劣化するため実用化が困難である．また脂肪酸塩は難分散性であり，混和剤中に混ぜ込むことが難しく取り扱いが不便である．さらにエステルは空気量の変化が大きすぎるため空気量を制御することが困難である．そこで徐放性空気連行剤の基剤として樹脂酸と樹脂酸塩のうち，徐放性能が高い樹脂酸塩を選定した．樹脂酸塩は**写真－1**に示すように本来板状の粉砕物であり，形状は一定でないために安定した徐放速度とはならない．また板状は比表面積が大きいため初期の溶解度が大きく，経時的に空気量が増加するという理想的な徐放性になりにくい．これに対して球状化された樹脂酸塩は比表面積が小さく，形状が一定であり理想的な徐放性を安定して発揮することができる．そこで，樹脂酸塩を軟化点まで加熱し，**写真－2**に示すように球状化した．次に，樹脂酸塩の徐放速度はその粒径によって決まることから，最適な徐放速度を見い出すため，平均粒径の異なる樹脂酸塩について**表－5**に示す配合のコンクリートの空気量の経時変化を測定した．その結果，**図－6**に示すように平均粒径 0.65 μm以上では空気量が経時的に増加し，平均粒径が 0.38 μmでは経過時間30～60分の間で空気量の増加がほとんどなくなる結果となった．これは平均粒径 0.38 μmでは徐放速度が速すぎるため徐放性空気連行剤の反応が３０分程度で終了したことが原因であると推察される．このことから，最適な徐放速度となる平均粒径を 0.5±0.1 μmであると判断し，これを徐放性空気連行剤に選定した．

b）徐放性空気連行剤の高流動コンクリートへの適用

表－6に示す材料を使用し，**表－7**に示す配合について，徐放性空気連行剤の効果を確認した．ここで，比較として従来型の空気連行剤としアルキルアリルスルホン酸系のものを使用した．空気連行剤の添加量はそれぞれ練上がり直後のコンクリートの空気量が 4.5±1.5%となるように調整した．**図－7**に空気量の経時変化，**図－8**にスランプフローの経時変化をそれぞれ示す．**図－7**に示すように従来型の空気連行剤を使用した場合，練上がり直後から空気量が急激に低下する結果となった．これに対し，前述の徐放性の空気連行剤を使用した場合には経時時間150分まで空気量の変化がほとんどない結果となった．また，**図－8**に示すようにスランプフローも徐放性空気連行剤を用いた方が経時変化の小さい結果となった．



図－7　空気量の経時変化



図－8　スランプフローの経時変化

（2）徐放性分散剤

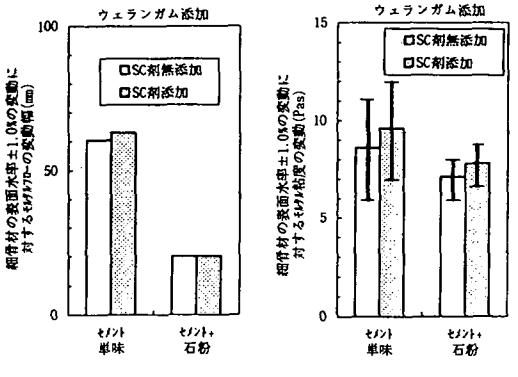
徐放性分散剤は，プラントミキサで同時添加される高性能 AE 減水剤にスランプの低下を低減する目的でプレミックスされている他，最近では高流動コンクリートのスランプフローの保持性能向上の目的として用いられている．この徐放性分散剤がウェランガムを用いた高流動コンクリートの流動性に及ぼす影響を把握するために，高流動モルタルの流動性の安定性及び流動性の保持性能の観点から検討した．モルタルの基本配合を表－8に示す．ここで，高性能減水剤にはβ－ナフタリンスルホン酸ナトリウム塩を用い，また徐放性分散剤（以下，SC 剤と記す）には反応性高分子としてアルキレン無水カルボン酸共重合物を主成分とするものを用い，それ以外の材料は表－1に示すものを用いた．

試験は，粉体にセメント単味のモルタル及びセメントと石粉のモルタルの２ケースについて行った．それぞれのケースにおいて徐放性分散剤無添加及び添加（単位粉体量に対し 0.10%）の２種類の基本配合のモルタルのフローが260±15㎜となるように高性能減水剤の添加量を調整した．そして，その配合に対し，それぞれ基本配合及び細骨材の表面水率に換算して，－1.0%，1.0%の水量を変動させた配合の３配合について，モルタルのフロー及び粘度を測定した．なお，すべての配合に対し，ウェランガムを単位水量に対し，0.03%添加した．また，高性能減水剤にβ－ナフタリンスルホン酸ナトリウム塩を用い，徐放性分散剤の添加量を粉体に対し，0.0%，0.10%及び 0.20%とした３ケースの基本配合のモルタルについてそれぞれ練上がり 120 分までの経時変化を測定した．モルタルのフローは JIS A 5208 のモルタルフロー試験においてコーンを引き抜き，振動なしの広がり幅とした．また，粘度測定は内円筒回転型レオメータ（外筒 ϕ 27 ㎜，内筒 ϕ 14 ㎜，試料高さ 65 ㎜）を用いて，練上がり直後のモルタルを 3.4 ㎜ふるい（JIS A 8810）にかけた後，測定した．レオロジー曲線は内筒を $100s^{-1}$ まで 50 秒で指数的に上昇下降させて測定し，上昇時のせん断ひずみ速度条件（0～$10s^{-1}$）における見掛けの塑性粘度を求め，それをモルタル粘度とした．

表－8　モルタルの基本配合

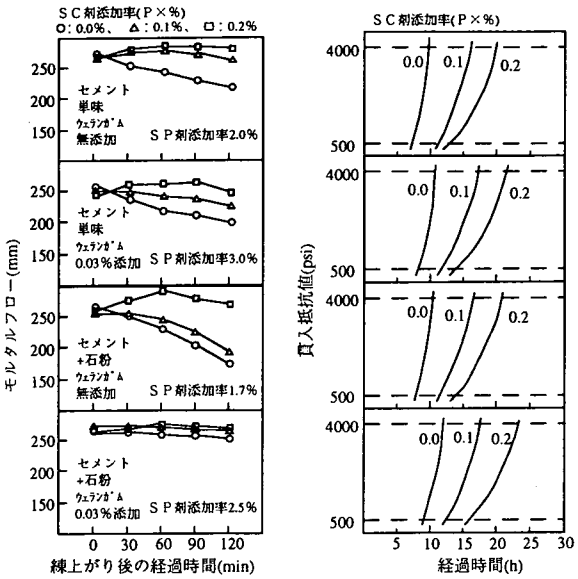
水粉体容積比 W/P (%)	砂粉体容積比 S/P (%)	水 W (g)	セメント C (g)	石粉 SD (g)	細骨材 S (g)	増粘剤 WG (W×%)
94.8	1.68	164.1	547	0	749	*)
94.8	1.68	164.1	310	203	749	*)

*）各配合ともに増粘剤0.0%及び0.03%添加の2ケースについて試験を行った．高性能減水剤を適正量添加

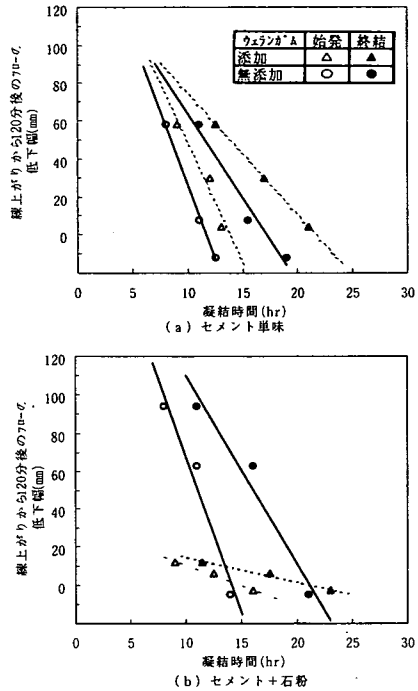


図－9　モルタルフロー及びモルタル粘度

図－9に各配合の細骨材の表面水率設定誤差±1.0%に対するモルタルフローの変動及びモルタル粘度の変動を示す．ここで，モルタル粘度については，棒グラフは基本配合の粘度を，また，範囲の上端は表面水率－1.0%の配合の粘度，下端は表面水率+1.0%の配合の粘度をそれぞれ示す．図－9に示すように，徐放性分散剤の添加の有無によって練上がり直後の



図－１０　モルタルフローの経時変化，凝結時間



図－１１　凝結時間とフローの低下幅

モルタルフローはほとんど変化しない結果となった．また，モルタル粘度は徐放性分散剤を添加することによって増加する傾向が見られたが，その程度はわずかであった．このことより，今回検討した粉体においては，徐放性分散剤の添加が練上がり直後のモルタルの流動特性に与える影響は小さいものと考えられる．

図―10 にモルタルフローの経時変化と凝結硬化速度試験結果を示す．図に示すように粉体にセメント単味を用いた場合，モルタルフローの経時変化の履歴はウェランガムの添加の有無に関係なくほぼ同じであり，徐放性分散剤の添加量が同じ場合，むしろウェランガム無添加の方が経時変化が小さい結果となった．また，ウェランガム添加によって所要のフローを得るための高性能減水剤の添加量が増え，このことによって凝結硬化速度はウェランガム添加の方が遅くなった．これに対し，粉体にセメントと石粉の混合物を用いた場合，モルタルフローの経時変化は明らかにウェランガム添加の方が小さくなり，また，凝結時間はウェランガム添加の方が同一徐放性分散剤添加量の場合長くなったが，フローの経時変化が小さいにもかかわらず，凝結時間が比較的短かい傾向を示した．そこで，このことを定量的に評価するため，凝結時間とフローの低下幅との関係について検討した．図―11 に示すように，セメント単味の場合にはウェランガム添加の有無による凝結時間とフロー低下幅の関係は類似しており，むしろ同一フロー低下幅を得るための凝結時間はウェランガム添加の方が長くなることが分かった．ところが，セメントと石粉の混合物を用いた場合，ウェランガム添加のものは明らかに異なった傾向を示しており，ウェランガム添加の方が，ウェランガム無添加のものよりも短い凝結時間でフローの低下幅を小さくできることが分かった．このことは，型枠に作用する側圧を考えた場合有利な性状であると考えられる．

5．粉体との相性

増粘剤ウェランガムを用いた高流動コンクリートの流動特性に及ぼす各種粉体の影響を把握するため，モルタル試験を行った．試験に供した材料及びモルタルの基本配合をそれぞれ表―９及び表―10 に示す．ここで，粉体の種類は表―９に示す４種類とし，表―10 に示す５種類の粉体の組合わせのモルタル配合について試験を行った．なお，粉体の比表面積は 3400～4080 cm^2/g とほぼ同じとした．試験は，ウェランガム添加（単位水量に対し 0.05%）及び無添加の２種類の基本配合のモルタルのフローが260±15 mmとなるように各種高性能減水剤の添加量を調整し，その配合に対し，それぞれ基本配合及び細骨材の表面水率に換算して

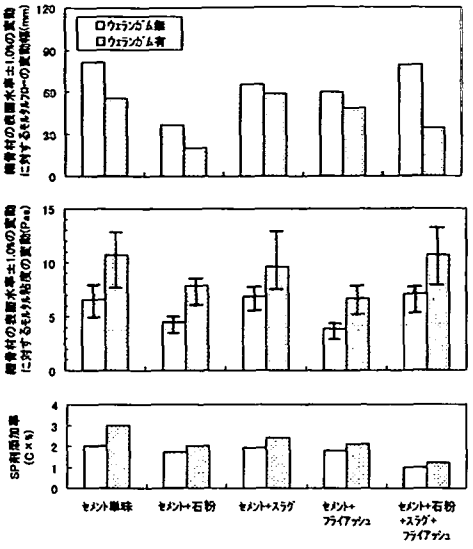
表－9　使用材料

使用材料	適用
粉体 (P)	普通ポルトランドセメントC(比重3.16, 比表面積3850cm²/g)
	石灰石微粉末SD(比重2.71, 比表面積3400cm²/g)
	高炉スラグ微粉末B(比重2.89, 比表面積4080cm²/g)
	フライアッシュF(比重2.29, 比表面積3810cm²/g)
細骨材	川砂(比重2.57, 粗粒率2.87, 吸水率1.89%)
水	水道水
増粘剤	ウェランガム
高性能減水剤	β-ナフタリンスルホン酸ナトリウム塩

表－１０ モルタルの基本配合

配合 No.	水粉体容積比 w/p (%)	砂粉体容積比 s/p (%)	水 W (g)	セメント C (g)	石粉 SD (g)	スラグ微粉末 B (g)	フライアッシュ F (g)	細骨材 S (g)	増粘剤 WG (W×%)
1	94.8	1.58	175.1	584	0	0	0	749	*)
2	94.8	1.58	175.1	331	217	0	0	749	*)
3	94.8	1.58	175.1	331	0	231	0	749	*)
4	94.8	1.58	175.1	331	0	0	183	749	*)
5	82.4	1.62	155.7	66	187	169	77	788	*)

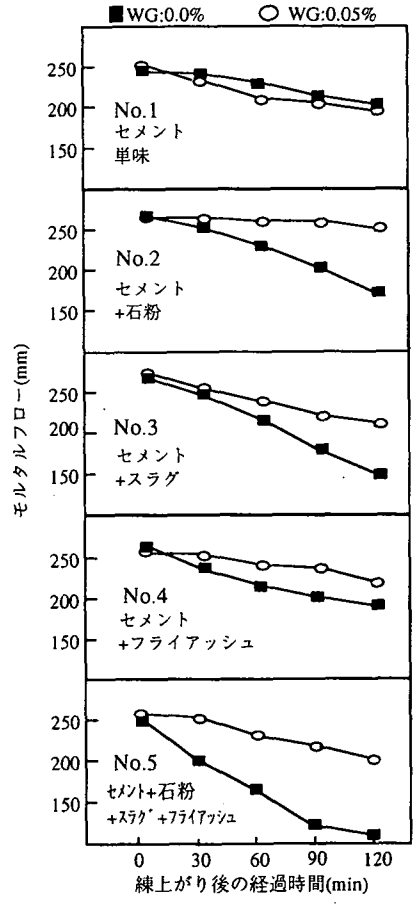
*)各配合ともに増粘剤0.0%及び0.03%添加の2ケースについて試験を行った．
高性能減水剤を適正量添加



図－１２　モルタルフロー及びモルタル粘度

－1.0%，1.0%の水量を変動させた配合の３配合について，モルタルのフロー及び粘度を測定した．また，基本配合のモルタルについてそれぞれ練上がり120分まで経時変化を測定した．モルタルのフローはJIS A 5208 のモルタルフロー試験においてコーンを引き抜き，振動なしの広がり幅とした．また，粘度測定は内円筒回転型レオメータ（外筒 ϕ 27 mm，内筒 ϕ 14 mm，試料高さ 65 mm）を用いて，練上がり直後のモルタルを3.4 mmふるい（JIS Z 8810）にかけた後，測定した．レオロジー曲線は内筒を100s^{-1}まで50秒で指数的に上昇下降させて測定し，上昇時のせん断ひずみ速度条件（0～10s^{-1}）における見掛けの塑性粘度を求め，それをモルタル粘度とした．

図－12 に各配合の細骨材の表面水率設定誤差±1.0%に対するモルタルフローの変動，モルタル粘度の変動及びSP 剤の添加率を示す．ここで，モルタル粘度については，棒グラフは基本配合の粘度を，また，範囲の上端は表面水率－1.0%の配合の粘度，下端は表面水率＋1.0%の配合の粘度をそれぞれ示す．モルタルフローの変動幅はウェランガム無添加の場合，No.1のセメント単味の配合が最も大きく，次いでNo.3のスラグ混入の配合，No.4のフライアッシュ混入の配合となり，No.2の石粉混入の配合が最も小さくなった．ここで，No.5の４成分の配合は，水粉体容積比が他の４配合より小さく，この影響が大きいため，変動幅が大きくなったものと考えられる．これら５配合に SP 剤添加量を調整し，ウェランガムをそれぞれ添加した場合では，すべての配合で変動幅は小さくなり，その効果はNo.1 ，No.2 及び No.5 で大きかったが，No.3 のスラグ混入の配合及びNo.4 のフライアッシュ混入



図－１３　モルタルフローの経時変化

の配合ではその効果はわずかであった．なお，ウェランガムを 0.05%添加することによる所要のフローを得るための SP 剤の添加量の増加は，各配合で 1.2～1.5 倍であった．モルタル粘度はウェランガム添加によりすべての配合で大きくなった．基本配合の粘度の大きさは，ウェランガム添加のもので No.1 のセメント単味及び No.3 のスラグ混入の２ケースが 13Pa·s であったのに対し，No.2 の石粉混入及び No.4 のフライアッシュ混入の２ケースが 8 Pa·s と小さい結果となった．これは粉体が持つ特性によるものと考えられる．なお，No.5 の４成分については，水粉体容積比が他の４ケースと異なることから直接比較できないが，No.5 のケースの水粉体容積比が小さいことから，同一水粉体容積比では４成分とすることでセメント単味よりも粘度が小さくなることが考えられる．図―13 にモルタルフローの経時変化を示す．No.1 のセメント単味の配合ではウェランガム添加によってむしろ経時変化が大きくなる結果となった．これに対し，他の４ケースではウェランガム添加によって，経時変化が小さくなり，この傾向は No.2 の石粉混入及び No.5 の４成分系の配合で顕著であった．このことは，モルタル中の SP 剤の残存量[9]によってモルタルの流動性の経時変化が左右されることが報告されており，ウェランガム添加によって SP 剤の添加量が増えるが，この SP 剤の残存量が粉体の種類によって異なるためであると考えられる．

6．結論

増粘剤ウェランガムを用いた高流動モルタル及び高流動コンクリートについて，各種高性能減水剤との相性を流動性の安定性の観点から検討するとともに，徐放性空気連行剤や徐放性分散剤を添加した場合の空気量保持性能，流動性保持性能を定量的に検討し，さらに各種粉体を用いた高流動モルタルの流動特性についても検討した．その結果は以下のとおりである．

①高性能減水剤にβ－ナフタリンスルホン酸塩，メラミンスルホン酸塩及びポリカルボ酸塩を用いて試験を行った結果，今回検討した範囲では高性能減水剤の種類にかかわらず，増粘剤ウェランガムは高流動モルタルの流動性の安定に効果を発揮することが分かった．また，ウェランガムの適正な添加量は高性能減水剤の種類によって決まるものと考えられる．

②高流動コンクリートの流動性の変動は高性能減水剤の違いによってその挙動が大きく異なるが，ウェランガムを添加することで同じような流動挙動を示す結果が得られ，ウェランガムが今回検討した高性能減水剤のいずれの系においても流動性変動の安定化に寄与していることが確かめられた．

③徐放性空気連行剤の基剤として樹脂酸塩が優れていることを実験的に見出し，その形状を球状化し，平均粒径を 0.5±0.1 μmとすることで安定して徐放性を発揮することが分かった．また，この徐放性空気連行剤をウェランガムを用いた高流動コンクリートに用いることで空気量の経時変化を小さくすることに加え，スランプフローの経時変化も小さくすることが分かった．

④粉体にセメントと石粉の混合物を用いた高流動モルタルにおいて，徐放性分散剤の添加量でフローの経時変化を調整した場合，ウェランガムを添加することによって比較的短い凝結時間でフローの低下幅を小さくできることが分かった．

⑤粉体にセメント，石粉，高炉スラグ微粉末及びフライアッシュを用いて試験を行った結果，検討したすべてのモルタルの配合でウェランガムを添加することによる流動性安定の効果が認められた．その効果はセメント単味及びセメント＋石粉で顕著であった．

⑥セメント単味の配合ではウェランガム添加によってむしろモルタルフローの経時変化が大きくなった．これに対して，セメントに石粉，高炉スラグ微粉末及びフライアッシュを混入した粉体を用いた場合，ウェランガムを添加することによって経時変化が小さくなる結果となった．

謝辞：本研究は長岡技術科学大学　丸山久一教授研究グループの研究の一部であり，実験実施にあたって，三晶㈱　南　昌義氏，吉崎政人氏，花王㈱　山室穂高氏，福島正一氏，長岡技術科学大学大学院修士課程皆口正一君，稲葉美穂子さん，竹迫淳君，原竜也君，前山篤史君より多大な御助力を頂きました．ここに深く感謝の意を表します．

参考文献

1）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ーコンクリート構造物の信頼性向上に最も有効な材料ー，土木学会誌，1989.4.

2）例えば，岡村　甫，小沢一雅：（解説）締固め不要コンクリートの可能性と課題，コンクリート工学，Vol.30, No.2, 1992.

3）小沢一雅，岡村　甫：材料の変動，及び計量誤差がコンクリートの品質に及ぼす影響，コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文等，pp.75～79，1992.5

4）坂田　昇，丸山久一，南　昌義：増粘剤ウェランガムがフレッシュコンクリートの自己充填性に及ぼす影響，土木学会論文集，No.538/V-31, pp.57～68, 1996.5.

5) Jansson,P.E.,Lindberg,B. and Sandford,P.A.: Structural Studies of an Extracellular Polysaccharide(S-130)Elaborated by Alcaligenes ATCC31555, Carbohyd. Res. , Vol.139, 1985.
6) Norton,I.T.,Goodall,D.M.,Frangou,S.A.,Morris, E.R. and Rees,D.A.: Mechanism and Dynamics of Conformational Ordering in Xanthan Polysaccharide,J.Mol.Biol.,Vol.175,1984.
7) Noboru SAKATA, Kyuichi MARUYAMA, Masayosi MINAMI: Basic properties and effects of Welan gum on self-consolidating concrete, Production Methods and Workability of Concrete, pp.237～253,1996.6.
8) 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, pp.61～70, 1994.5.
9) 稲葉美穂子, 丸山久一, 皆口正一, 坂田 昇：高流動コンクリートの流動性保持機構に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.129～134, 1996.

(1996. 5. 14受付)

EFFECTS OF VARIOUS MATERIALS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTY OF HIGHLY FLUIDIZED CONCRETE WITH USING WELAN GUM

Noboru SAKATA, Kyuichi MARUYAMA and Tatsuo IZUMI

Authors made clear that addition of a small amount of Welan gum alters the properties of concrete, e. g. improvements of self-consolidating property in the case of highly fluidized concrete. But the experimentation concerning highly fluidized concrete with Welan gum was done with using limited materials only. In this report, Welan gum's compatibilities with various superplasticizers and powders were estimated experimentally. As a result, it was found that Welan gum provides its functions in highly fluidized concrete without depending on sorts of superplasticizers and powders. And in the case of the system with using only cement i,e, the system without iron-blast-furnace slag powder or fly ash, addition of welan gum increased degree of the change as time-passing regarding the flow-property. On the other hand, in the case of the system with using iron-blast furnace slag powder or fly ash, addition of Welan gum decreased it.