

# 論文 プレキャスト製品への早強型高流動コンクリートの適用

伊達重之\*1・平井国典\*2・篠原知行\*1・新井廣行\*3

要旨：プレキャスト製品向けに、仕上げまでの前置き時間が短い早強型高流動コンクリートの適用に関するモルタルレベルでの基礎検討を行った。この結果、適切な高性能減水剤の選定、および配合要因とフレッシュ時の流動性の関係の把握により、早期仕上げおよび練上り時の流動性とその経時特性の推定が可能となることがわかった。

キーワード：自己充填コンクリート、早期仕上げ、流動性、経時変化

## 1. はじめに

近年盛んに開発・報告されている高流動コンクリートは、その多くが現場打ちを想定しており、練上りの流動性の保持のために様々な工夫がなされている。一方、コンクリート二次製品工場におけるバケット打設では、練上りから打設完了までに要する時間は長くても10分程度と極めて短いため、必要以上の流動性の保持は仕上げまでの前置き時間を長くし、生産性を低下させるため好ましくない。したがって、プレキャスト製品には流動性の保持時間が短く、かつ対象製品の形状・容積などにより、製品別に流動性の保持が微調整可能なコンクリートが望まれる。

そこで本実験は、コンクリートの単位粗骨材容積、および材質が一定であれば、モルタルの流動性の変動を管理することでコンクリートの流動性の変動を管理できる [1] ことに着目し、プレキャスト製品向けコンクリートのモルタルレベルでの基礎検討を行ったものである。

## 2. 高性能減水剤の選定試験

### 2. 1 実験概要

#### 2. 1. 1 モルタルフローの経時特性調査

表-1に示す4種の高性能減水剤を用い、練上り時におけるモルタルフローがほぼ一定の値(290±10mm)となるよう、添加量をそれぞれ適宜設定し、その流動性の経時特性をフロー値の変化で評価した。なお、モルタルフロー測定方法はJIS R5201に定めるフローコーンを使用し、フローコーンを取り去った後、落下運動を与えずにモルタルの変形終了後測定を行った。

表-1 高性能減水剤の種類

	主成分	減水率 (%)	ブリーディング量の比 (%)	
			8cm	18cm
A	エチレンオキサート-マレイン酸共縮合物	18	30	30
B	ポリカルボン酸-円形高分子化合物	19	27	30
C	ポリカルボン酸エーテル-架橋ポリマー複合体	18	35	38
D	ポリカルボン酸-メタクリル酸水溶液	19	28	29

表-2 貫入試験条件

貫入棒	直径10mm丸棒
貫入速度	5.5mm/sec
試験温度	20±1℃

\*1 石川島建材工業(株)技術研究所 (正会員)

\*2 アイティープレコン(株)土木製品課 課長

\*3 石川島建材工業(株)技術研究所 課長 (正会員)

### 2. 1. 2 丸棒貫入試験

フロー試験で差別化できない領域におけるモルタルの降伏値および表面状態の変化を検知するため、表-2に示す条件で、先端を平坦にした丸棒をモルタル上面から垂直に降下・貫入させ、その時の抵抗値の変化を測定した。

### 2. 1. 3 コンクリート仕上げ性評価試験

2.1.1の実験で用いたものと同配合のモルタルに適量(実積率の50%)の粗骨材を投入・混練し、主に金コテによる仕上げ性の評価を行った。その際、作業時の表面ひび割れ、しわの発生の有無に重点を置き目視で行った。

使用材料、配合および混練方法について、それぞれ表-3、4および図-1に示す。なお、混練は10リットルのホバート式ミキサを使用し、20℃-65%RHの恒温室中でSEC(Sand Enveloped with Cement)練りで行った。

また、練上り直後に600\*450\*100mmパットに払い出し、表面を軽くタンピングして均した後、室内に静置した。

表-3 使用材料

セメント (C)	早強ポルトランドセメント	比重:3.14
細骨材 (S)	茨城県岩瀬産陸砂	比重:2.62 粗粒率:2.55
粗骨材 (G)	茨城県岩瀬産2005碎石	比重:2.65 実積率:0.6
混和材 (Sg)	高炉スラグ微粉末(4,900cm <sup>2</sup> /g)	比重:2.92
混和剤 (Ad)	各種高性能減水剤	

表-4 配合

(単位:%)

W/P	Sg/P	s/m	Ad/P
31.5	16.7	46	A:1.90 B:2.40 C:1.22 D:2.40

\*P:C+Sg, s/m:モルタル中の細骨材の容積率



図-1 混練方法

## 2. 2 実験結果

### 2. 2. 1 モルタルフロー経時特性調査結果

表-5に練上りから60分経過後までのモルタルフロー値の経時変化を示す。

その結果から、減水剤Cが最も著しいフローの低下を示し、ついで減水剤Bが15分後に多少増加するものの、その後はやや減少傾向にあった。他の種類の減水剤についてはさほど大きなフロー低下は認められなかった。

表-5 モルタルフローの経時変化 (単位:mm)

Ad種類	0分	15分	30分	60分
A	288	293	309	304
B	289	298	279	267
C	300	198	180	156
D	285	299	307	293

### 2.2.2 丸棒貫入試験結果

貫入抵抗値測定結果を図-2および3に示す。

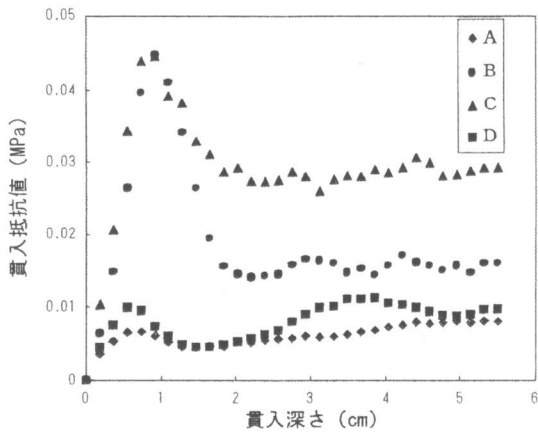


図-2 丸棒貫入試験結果(2h後)

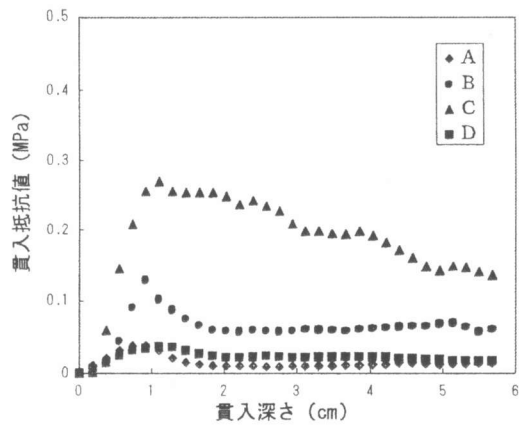


図-3 丸棒貫入試験結果(3h後)

減水剤Cは2 h経過後において、表層部分のみ減水剤Bと同等程度の貫入抵抗値を示したものの、中心部分はBを大きく上回る値を示した。また、3 h経過後は他の3種との差が顕著となった。

また図中、貫入深さ2 cmまでの領域で認められる抵抗値のピーク(図-4中の $S_1$ に相当)は、高流動コンクリートにおいてよくみられる表面の薄皮状のこぼりを検知したものであり、ベース部分( $S_2$ )は降伏強度を示したものである。

すなわち、 $S_2$ が大きく、そのうえ $S_1/S_2$ が小さいものほど、良好な仕上げ性を呈すると推測される。

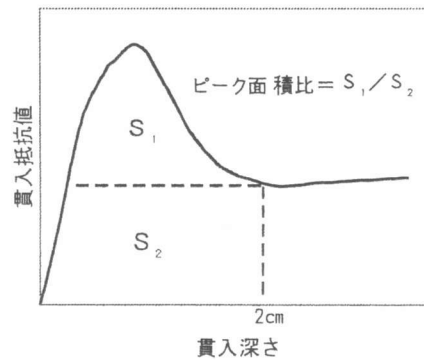


図-4 ピーク面積比の定義

### 2.2.3 コンクリート仕上げ性評価試験結果

表-6に結果をまとめる。

表-6 仕上げ性評価試験結果

減水剤 種類	コテ仕上げ性	
	2 h 経過後	3 h 経過後
A	不可：練上り状態と類似	不可：まだ流動性を有する
B	不可：コテにモルタル付着が著しい	可：但し表面に皺が発生
C	良好：普通コン並の仕上げ性	良好：普通コン並の仕上げ性
D	不可：柔らかく、表面に皺も発生	不可：皺、ひび割れが著しい

この結果、2 h経過時点で仕上げが可能な減水剤はCのみであった。また、減水剤Bに関しては、3 h経過後仕上げ可能と判定されたものの、コテ均し時に表面に皺が発生しやすく、また過度のコテ作業により再び流動性を呈するため、作業にはかなり慎重さを要する。

したがってこれらの結果をもとに、仕上げまでの前置き時間が短く、かつ表面のこわばりが比較的少く、良好な仕上げ性が期待されるCタイプの減水剤を選定することとした。

### 3. 練上り流動性および経時特性に及ぼす配合要因の影響調査

#### 3.1 モルタル試験

前項で選定した高性能減水剤を用いた早強型高流動コンクリートに関して、その練上り流動性および経時特性に与える配合要因の影響を、モルタルレベルでのフロー試験により調査した。

配合条件とフロー測定結果を表-7に示す。

表-7 配合条件と練上りモルタルフロー値およびフローロス率

No.	W/P (%)	Ad/P (%)	Sg/P (%)	s/m (%)	Temp. (°C)	FL <sub>0</sub> (mm)	FL <sub>15</sub> (mm)	フローロス率 (%)	
1	30.5	1.15	13.0	43	21.9	270	168	60.0	
2		1.2	20.0	45	20.8	298	182	58.6	
3			16.7		22.0	266	158	65.1	
4	31.0	1.2	41.1	43	24.2	315	233	38.1	
5	31.5		1.25	28.6	46	21.0	298	201	49.0
6		1.2	24.1			279	173	59.2	
7		1.25	43		24.5	335	220	48.9	
8		1.2			23.3	318	213	48.2	
9	31.5	1.15	20.0	45	22.5	228	152	59.4	
10		1.2	16.7	47	21.8	262	160	63.0	
11		1.25	20.0	43	21.7	339	250	37.2	
12			16.7		22.1	355	261	36.9	
13			13.0		22.7	313	245	31.9	
14	32.0	1.1	28.6	46	23.6	256	169	55.8	
15		1.0	20.0		24.1	158	115	74.1	
16			1.0	43	23.9	181	117	79.0	
17		1.2	41.1	48	25.3	265	171	57.0	
18			28.6	43	25.8	309	223	41.1	
19		1.0	41.1	47	24.2	215	118	84.3	
20	32.5	1.15	16.7		47	22.7	208	140	63.0
21		1.2	13.0		43	21.8	329	245	36.7
22		1.25	20.0		45	20.9	336	256	33.9
23				22.5		320	238	37.3	
24	34.0	1.1	28.6	46	23.9	240	161	56.4	
25		1.0	20.0	43	24.6	259	191	42.8	
26			28.6	46	24.1	185	128	67.1	
27		20.0	24.1		163	125	60.3		

\* FL<sub>0</sub>: 練上り時におけるフロー値, FL<sub>15</sub>: 練上りから15分経過後のフロー値

なお、経時特性を練上りから15分経過時までのフローロス率で定義した。これを(1)式に示す。

$$\text{フローロス率(\%)} = (FL_0 - FL_{15}) / (FL_0 - \phi) \times 100 \quad (1)$$

FL<sub>0</sub> : 練上り直後のモルタルフロー値 (mm)

FL<sub>15</sub> : 15分後のモルタルフロー値 (mm)

φ : フローコーンの下部直径 (mm)

表-7の実験結果について、変数増減法 (F-in, out: 2.0) による重回帰分析により、練上り直後のフロー値およびフローロス率と配合要因の関係を推定した。結果は以下のとおりである。カッコ内の数値は標準偏回帰係数である。

$$FL \text{ 値(mm)} = -30.3 + 12.3W/P + 658Ad/P + 1.99Sg/P - 0.0145s/m - 11.1Temp \quad (2)$$

(0.22)      (0.98)      (0.29)      (-0.41)      (-0.26)

$$\text{フローロス率(\%)} = 3.67 - 0.0817W/P - 1.79Ad/P + 0.0351s/m \quad (3)$$

(-0.59)      (-1.1)      (0.40)

それぞれの回帰式による推定値と実測値の比較を図-5および6に、またこのときの分散分析結果を表-8, 9に示す。

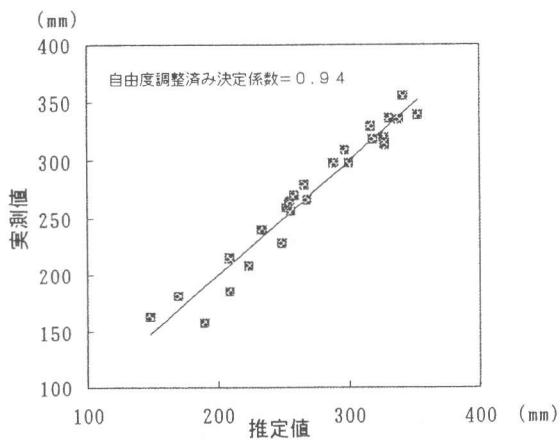


図-5 練上りフローの推定値と実測値

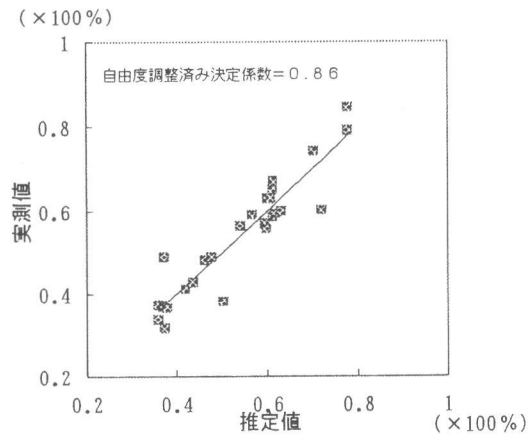


図-6 フローロス率の推定値と実測値

表-8 練上り直後のモルタルフロー推定式に関する分散分析

要因	偏差平方	自由度	不偏分散	分散比	判定
回帰変動	80599.1	5	16119.8	77.2	**
誤差変動	4387.2	21	208.9		
全体変動	84986.3	26			

\*\* : 危険率1%で有意

表-9 モルタルフローロス率推定式に関する分散分析

要因	偏差平方	自由度	不偏分散	分散比	判定
回帰変動	0.4604	5	0.1535	55.2	**
誤差変動	0.06389	21	0.002778		
全体変動	0.5243	26			

\*\* : 危険率 1% で有意

このように、モルタルの練上り流動性および経時特性は、その配合要因から精度よく推定できることが判明した。標準編回帰係数より、配合要因のうち Ad/p は練上り性状、経時特性ともに大きな影響を与えることがわかった。また、W/P は練上り性状に対しては比較的影響は小さいが、経時特性には Ad/P の次に影響力大きいことも判明した。したがってこの2つの配合要因のバランスにより練上り流動性、および保持時間のコントロールが可能になると考えられる。

### 3.2 コンクリート試験

つぎに、モルタルレベルの検討により得られた推定式について、コンクリートへも適用可能かどうか、適量の粗骨材(実積率の50%)を添加し、確認試験を行った。結果を表-10に示す。

なお、フローロスは、(1)式の $\phi$ に、スランプコーンの下部直径20(cm)を代入し求めた。

表-10 流動性推定式のコンクリートへの適用検討試験結果

W/P (%)	Ad/P (%)	Sg/P (%)	s/m (%)	s/a (%)	Temp (°C)	モルタルレベル FL <sub>0</sub> 推定	コンクリートスランプ <sup>o</sup> フロー(cm)		フローロス率(%)	
							SF <sub>0</sub> 実測	SF <sub>1.0</sub> 実測	推定値	実測値
31.5	1.25	16.7	46	52	22.2	297	67	45	47.6	46.8
32.5	1.25	16.7			21.8	313	74	53	39.4	38.9
32.5	1.15	28.6			20.2	289	66	38	57.3	60.9

この結果、練上り時のフロー値(SF<sub>0</sub>)をみると、推定モルタルフロー値とほぼリンクしているのがわかる。またさらに、モルタルレベルで求めたフローロス率推定式((3)式)による推定値が、ほぼ実測値に近い値を示しており、この2点から、モルタルレベルの流動性および経時特性推定式が、そのままコンクリート配合へも適用が可能であると考えられる。

また、本推定式により、コンクリートの流動性の保持性能が、高性能減水剤の添加量と水粉体比のバランスにより任意に調整できることが確認された。

### 4. まとめ

- ①流動性の保持時間が著しく短い特性を有する高性能減水剤の使用により、高流動コンクリートの早期仕上げ(約2h)が可能となった。
- ②コンクリートの配合が一定の場合、コンクリートの練上り性状および流動性の保持性能をモルタルレベルの試験により精度よく推定することが可能となった。
- ③本配合に関して、高性能減水剤の添加率と水粉体比のバランスにより練上り性状および経時特性の微調整が可能になると考えられる。

【参考文献】 [1] 藤原ほか：高流動コンクリートの充填性に関する基礎的研究，コンクリート工学，Vol.14，No.1，pp27-32，1992