

(49) 締固め不要コンクリートのPC製品工場への導入に向けた検討

オリエンタル建設(株)技術研究所 正会員○手塚 正道  
 // 技術研究所 正会員 今井 昌文  
 // 技術部 正会員 吉岡 民夫

1. まえがき

締固め不要コンクリートは、その基本コンセプトが東京大学の岡村甫教授らによって提唱され、1988年にそのプロトタイプ1号の完成を見た。これを皮切として、ゼネコンを中心とした多くの研究機関で研究開発に着手し、今日では大規模な実施例も報告されるに到っている。これらの報告の多くは現場打ち施工を対象としたものである。一方筆者らは、日常的にコンクリートが打込まれ、締固めが行なわれているPC部材を扱うコンクリート2次製品工場(以下PC製品工場)への導入について検討してきた。

近年、PC製品工場では、生産性向上に対する強い要求に加え、深刻な労務者、熟練技能者の不足もあって、より一層の製造システムの合理化および機械化が望まれている。このような環境において、締固め不要コンクリートを導入することは、製品の信頼性の向上、製造の合理化、労務費の低減、騒音や振動に対する工場内の作業環境の改善等とその波及効果は大きい。

PC製品工場では、高強度でかつ早期高強度のコンクリートが要求される。一方、現場施工に比べ、骨材やプラントでの管理が容易である。

ここでは、上述の如きPC製品工場での特徴を考慮し、図-1に示すようなフローで行なった研究成果を報告する。

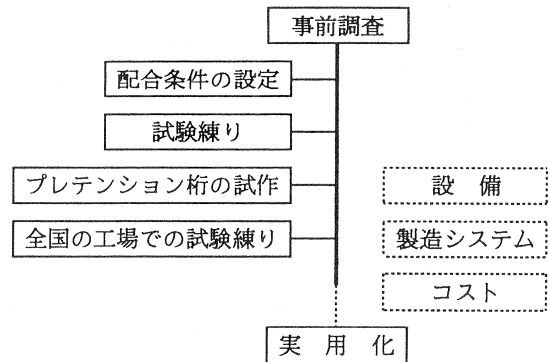


図-1 導入に向けた研究の流れ

2. 配合条件の設定

コンクリートの配合条件は、打込まれる製品によって異なるように設定すべきであるが、ここでは一律とし、条件としては比較的厳しい値を設定した。これによって、この条件を満足する配合であれば、どのPC製品にも対応できるようにしたもので、製品によっては、かなり安全側となるものである。

また、本配合では、材料分離低減剤として高分子多糖類ポリマーの使用を前提としている。

(1) 硬化コンクリートの要求性能

- a) 設計基準強度:  $f'_{ck} = 600 \text{ kgf/cm}^2$
- b) プレストレス導入時強度:  $f'_{12hr} = 400 \text{ kgf/cm}^2$ 以上

一般にPC製品の場合、作業工程の観点から初期強度が要求されるため蒸気による促進養生が行なわれているので、同様な養生条件 ( $T_{max}=60^\circ\text{C}$ , 3hr)のもとで上記の強度を満足するものを硬化コンクリートの要求性能とした。通常のプレテンション桁の設計基準強度は  $500 \text{ kgf/cm}^2$ 、プレストレス導入時強度は  $350 \text{ kgf/cm}^2$ 以上である。

(2) フレッシュコンクリートの要求性能

a) ワーカービリティ: 図-2に示す中空桁のモデル型枠において、片側ウェブ上方から投入したコンクリートが振動締固めを行なうことなく、下フランジを材料分離なく完全に充填できる流動性を有している

こと。この型枠は、PC製品の中で締固めが難しい中空桁をモデル化し、更に鋼材や内型枠がより障害になるとと思われる断面方向の流動を想定したものである。

b) 経時変化：上記のワーカビリティが20分間保持できる品質であること。これは、製造工程において、練り上がりから打込み終了までの所要時間を考慮したものである。

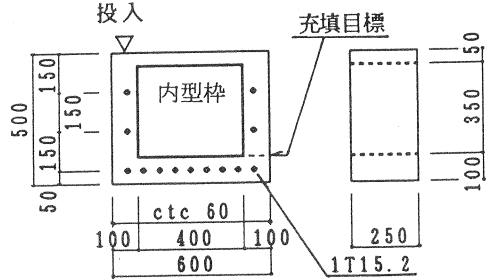


図-2 充填試験用中空桁モデル型枠 (単位:mm)

### 3. 試験練り

配合設計に必要なデータを得るために、試験室においてパン型ミキサー(0.1m<sup>3</sup>練り)で試験練りを行った。

#### 3. 1 基本配合とその物性

試験練りの結果、2. で述べた配合条件を満足する基本的な配合として、表-1を得た。この場合の使用材料は表-2に示す通りである。

表-1 基本配合

粗骨材の最大寸法 Gmax (mm)	水結合材率 W/P (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )									
			水 W	結 合 材 P		細骨材 S	粗骨材 G	混 和 剤				
				セメント C	フライアッシュ F			高性能減水剤	AE減水剤	AE剤	分離低減剤	
20	32.5	48.0	175	438	100	762	841	8.07	0.81	0.043	1.25	

#### 3. 2 各種要因による影響

試験練りから、以下に示す各種要因による影響について、いくつかの知見が得られた。

##### (1) フライアッシュの混和率

結合材は早強ポルトランドセメントとフライアッシュの2成分とし、水結合材比(W/P)=0.34、単位水量(W)=175kg/m<sup>3</sup>のもとで、フライアッシュの混和率を変化させた場合のスランプフロー値と初期圧縮強度(材令1日)の関係を図-3に示す。同図より、フライアッシュの混和率が高い程、流動性は増加し、初期強度は低下していることがわかる。

##### (2) 最適細骨材率

細骨材率(s/a)だけを変化させた場合のスランプフロー値とs/aとの関係の一例を図-4に示す。同図より、流動性が最も大きくなる最適細骨材率が存在し、その値は同程度の強度を有する通常のコンクリートの場合に比べて大きい。

表-2 使用材料

使用材料	仕様
セメント	早強ポルトランドセメント 比重 3.13
細骨材	鬼怒川産川砂 比重 2.60 F.M. 2.83
粗骨材	鬼怒川産砂石 比重 2.65 F.M. 6.78
フライアッシュ	最大粒径 20μ 比重 2.41 比表面積 6420 cm <sup>2</sup> /g
高性能減水剤	ナフタリン系
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物
AE剤	変性アルキルカルボン酸化合物
分離低減剤	高分子多糖類ポリマー

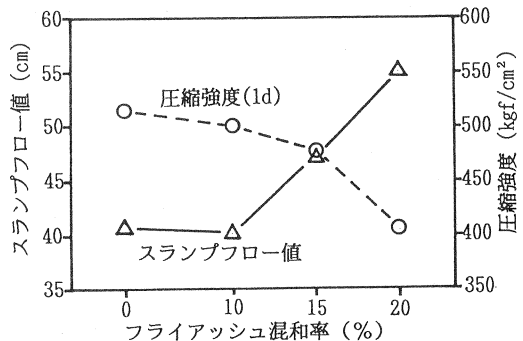


図-3 フライアッシュ混和率とスランプフロー値および初期圧縮強度の関係

### 3.3 ワーカビリチーの簡易判定法

ワーカビリチーは、2.(2)で述べた中空桁モデル型枠による充填試験により判定することを基本とするが、より簡便な方法としてスランプフロー試験に着目し、変形の広がりの変形の変形について、充填結果との関係を調べた<sup>2)</sup>。その結果を図-5に示す。ここでスランプフロー値は変形が停止したときのフローの直交2方向の直径の平均値、スランプフロー時間は変形が停止するまでの所要時間を表す。同図によると、スランプフロー値とフロー時間には有意な相関性が見られ、スランプフロー値が増すほどフロー時間が長くなる傾向にある。また、スランプフロー値が60cmを下回ったり、70cmを上回ったりすると、材料分離や充填試験での閉塞が見られる。また、概ね良好な結果が集中するスランプフロー値60~70cmの範囲でも、フロー時間が短すぎると材料分離を、長すぎると閉塞の傾向を示した。よって、スランプフロー値とフロー時間には適切な関係が得られるものと考えられる。

変形停止を目視で判定するフロー時間の測定は、先端部の部分的な挙動に左右され、測定者によっても測定値が変動する可能性があるため、より正確にフロー時間を定量化するため、スランプフローが直径60cmになるまでの所要時間(60cmフロー時間)を採用した。図-6にスランプフロー値と60cmフロー時間との関係を示す。同図によれば、充填良好である点がスランプフロー値で60~70cm、60cmフロー時間で15~25秒の範囲に集中しているのがわかる。そこで、これらの関係を基に、表-3に示すスランプフロー試験による管理目標値を設定し、ワーカビリチーの簡易判定法とした。

### 4. プレテンション桁の試作

ここでは、実際の工場の設備(プラント、製造ライン等)を用いたプレテンション桁の製造について報告する。

#### 4.1 部材の形状寸法

試験的に製造を試みたプレテンション桁は、桁高が低いことが特徴的な高強度( $f'_{ck}=600 \text{ kgf/cm}^2$ )の中空桁である。部材の形状寸法を図-7に示す。

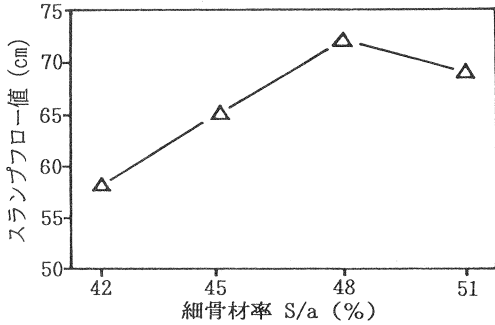


図-4 細骨材率 (S/a) とスランプフロー値の関係

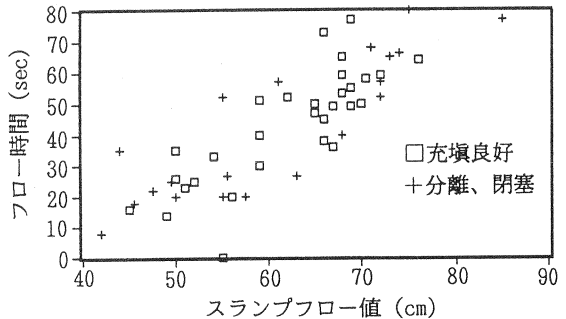


図-5 充填試験とスランプフロー値およびフロー時間との関係

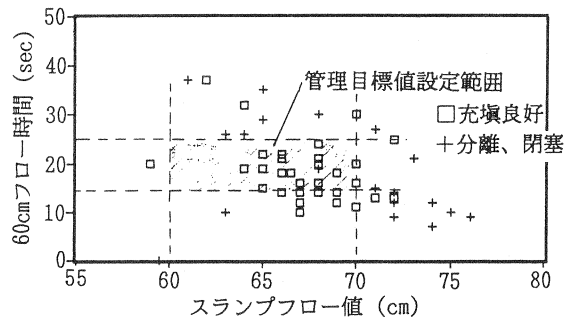


図-6 充填試験とスランプフロー値および60cmフロー時間との関係

表-3 スランプフロー試験管理目標値

スランプフロー値	65 ± 5 cm
60cmフロー時間	20 ± 5 秒
材料分離	目視

4.2 製造フロー

試験製造のフローを図-8に示し、以下にその要点を述べる。

(1) 計量・投入：材料の計量は自動で行なわれるが、通常使用しないフライアッシュと分離低減剤は別に計量を行い、人力で練混ぜミキサー内へ投入した。水の投入については、過剰であると材料分離や硬化後の強度に悪影響を及ぼすことは勿論のこと、後調整が不可能となるので、最初に投入する量を所定の8割とし、練混ぜ状態を確認しながら加水調整を行なった。

(2) 練混ぜ：練混ぜは二軸強制練りミキサー(1m<sup>3</sup>練り)で1バッチ0.68m<sup>3</sup>として4バッチ行なった。練混ぜ状態の確認判定は目視で行い、アジテータ車に排出した。30秒の高速攪拌した後スランプフロー試験を行い、その結果を基に次のバッチの水量調整を順次行なった。1バッチ目以外はアジテータ車で練り混ぜられたバッチ累加の結果であり、最終的にこの値が管理目標値を達成できるように調整した。

(3) 運搬：運搬には、振動による材料分離の抑制、運搬効率、高性能減水剤の後添加調整および連続打込みを考慮してアジテータ車を使用した。

(4) 打込み：打込みはアジテータ車より桁型枠内へ直接行なった。打ち込み高さとしては仕上げ面から約40cmであり、打込み場所としては流動状態を見ながら5箇所で行なった。なお、締固め作業は一切行なわなかった。

(5) 仕上げ：適正な仕上げ時期および作業性を確認するために、20分毎に金ゴテ仕上げ、ホウキ目仕上げを試験的行なった。

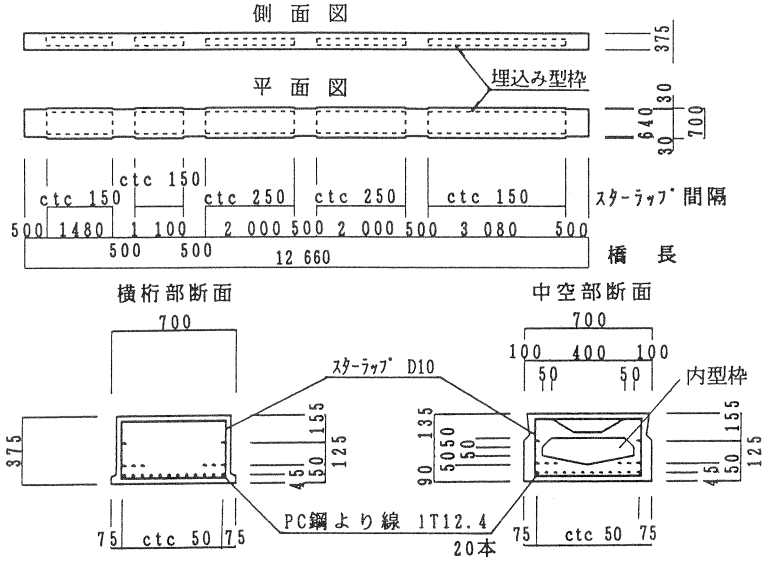


図-7 試作プレテンション桁の形状寸法(単位:mm)

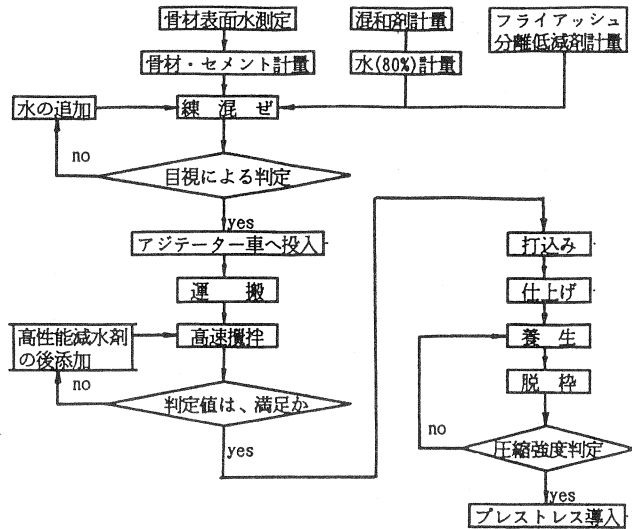


図-8 製造フロー

4.3 製造時における測定結果

(1) ワーカビリチーの調整：主な時点でのスランプフロー試験の結果を表-4に示す。4バッチ目終了時におけるスランプフロー試験結果を表-3に示す管理目標値と比較すると、スランプフロー値は満足しているが、60cmフロー時間はオーバーする値となった。これは練混ぜ状態の判定が目視であるため、粘性に対する把握が難しいこと、水の過投入による材料分離を警戒し過ぎたため、水量が所定の配合より少なくなったためと思われる。運搬時間は10分であったが、アバット到着時のワーカビリチーのロススランプフロー値で3cm、60cmフロー時間で30秒であった。これはおそらく一括運搬したために最初のバッチが練混ぜ終了から45分を要しているためであると思われる。よって、ワーカビリチー保持の目標時間(20分)は製造方法を考慮して再度検討する必要があるものと考えられる。アバット到着時に60cmフロー時間が管理目標値を満足しなかったため、高性能減水剤を結合材の0.12%(1700cc)後添加し調整した。その結果、図-2の中空桁モデル型枠による充填試験は良好であった。

表-4 スランプフロー試験結果

試験時期	スランプフロー値 (cm)	60cmフロー時間 (sec)
アバット内(1バッチ)	71.0	17
Ⅱ (1+2)	60.0	56
Ⅲ (1+2+3)	57.5	—
Ⅳ (1+2+3+4)	63.0	37
アバット到着時	60.0	67
調整後	65.5	27

(2) 打込み状況：最初の打込みによるコンクリートの流動状態は、勾配が約1/4、速度は約80cm/minであり、徐々に勾配が小さくなるに従って速度も低下する。今回のプレテンション桁は桁高が低いため、1箇所からの流動範囲には限界があり、図-9に示す5箇所からの打込みとなった。打込み終了までの所要時間は、練混ぜ開始より約90分、打込み開始より26分であったが、目視では流動性の低下および材料分離はほとんど見られなかった。

コンクリートの打込みに携わったのはアジテータ車のオペレータとスコップのよる均し作業者の二人であった。また締固めに振動機を使用しないことにより、騒音は従来の打込み時より20~30dB程度低下した。

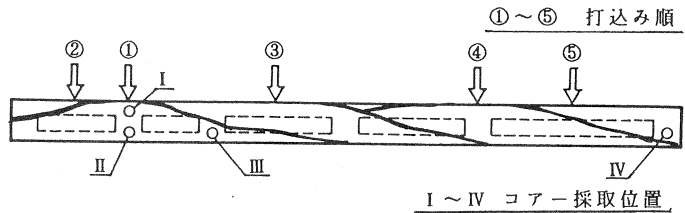


図-9 コンクリート打込み位置および流動状態(縦：横=2:1)

(3) 仕上げ状況：仕上げの状況を表-5に示す。従来のコンクリートに比べ粘性が高くブリージングがほとんど無いため、打込み直後の仕上げはできなかった。打込み終了後60~80分経過しある程度表面が硬化したのちに、少量の水を散布することによって仕上げ作業が可能となった。ただし、100分を超えると再び仕上げが困難となった。

表-5 仕上げ状況結果

経過時間 (分)	金ゴテ仕上げ		ホウキ目仕上げ	
	散水なし	散水あり	散水なし	散水あり
0	木ゴテにより表面の均しを行ったが、粘性が強くモルタルがゴテに付着して平坦に均すのは、かなり難しい。			
20	モルタルがゴテに付着し仕上げは難しい		同 左	
40	表面は乾燥し膜状になる。全体はプヨプヨしており大きな窪みは均せるが、ブリージングがなく仕上げはできない。		うすく付く程度。強く押さえても全体に沈みホウキ目はうすくしか残らない。	
60	表面から5mm程度ゲル状に硬化する。金ゴテをかけると表面のみ動きシワができる。	表面がすべりモルタル面の仕上げは可能だが、窪み等の修正は不可能。	40分と同程度	できるが、溝は浅く従来の1/2程度。金ゴテ仕上げの良否に影響される。
80	固くて不可能。	60分と同程度。	固くて不可能。	60分と同程度。
100	同上	同上	同上	80分と同程度だが、若干付き難い。

仕上げの時期は通常の場合に比べて遅れるが、初期の段階において、木ゴテで粗骨材が表面に出ない程度に均しておくことは必要である。

(4) 製品：試作したプレテンション桁について、目視とハンマーの打撃による充填状態の確認をした。充填不良箇所は特になく、打継ぎ跡も全く見られなかったが、側面には 0.5~4.0mm 程度の気泡が多数見られた。これについては後日行なった試験により、型枠剝離剤を適切に選定することでかなり改善されることが確認された。また、JIS A 5316に準じた曲げ載荷試験を行なって、ひびわれ発生荷重、たわみ、曲げ破壊耐力などの測定を行ない、プレテンション桁の要求性能を満足することを確認した。更に載荷試験後、図-9に示す I~IV の位置においてコアを採取し強度試験を行なった。その結果を表-6に管理供試体の結果と合わせて示す。材令は 150日程度である。これによると強度のバラツキは小さく、圧縮強度は極めて高い値を示している。

表-6 強度試験結果(材令150d)

コア採取位置	圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 x10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup>
I	9 5 6	3. 7 3
II	9 6 0	3. 7 8
III	9 8 4	3. 9 0
IV	9 7 2	3. 6 8
管理供試体	9 5 2	3. 6 8

5. 全国の工場での試験練り

ここでは、全国に点在する 6 工場において試験室および実機プラントで試験練りを行なって得られた結果の一部を報告する。

各工場で大きく異なる点は、配合上では骨材の品質であり、製造上ではミキサーの種類が挙げられるが、これによって基本配合を大きく変える必要はなく、高性能減水剤の調整で所要の品質が得られた。骨材の品質が配合にどのように影響を与えるかについては現在のところ明確ではないが、各工場の細骨材の粗粒率に着目し、所要の品質に必要な高性能減水剤の添加率との関係を見ると、図-10が得られた。同図によると、粗粒率が大きくなるに従って必要な高性能減水剤の量は増加する傾向にある。

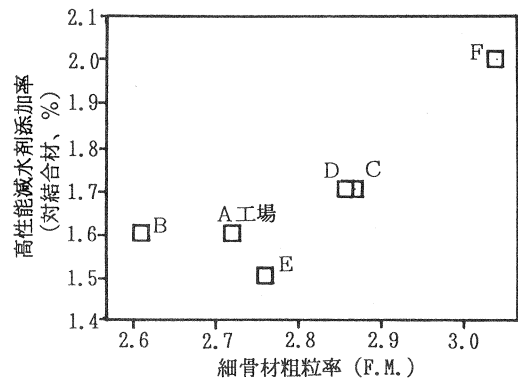


図-10 各工場の細骨材粗粒率と高性能減水剤添加率の関係

6. おわりに

締固め不要コンクリートをPC製品工場に導入することを目的に検討を行ってきた結果、現有の設備で製造できることが確認できた。しかし、現有設備のままでは、フレッシュコンクリートの要求性能の判定を目視に頼わざるを得ず、締固め不要コンクリートの製造管理としては不十分と考えられる。

今後、練混ぜ中に的確に品質を判定できる装置、骨材表面水の精度の高い管理、その測定システムなどの開発が望まれる。

本格的な導入には、まだいくつかの課題が残されているが、工場における製造システムの合理化を図る上でも、また高齢化社会を迎えるにあたってより品質の高い社会資本の整備を行なう上でも、早期に取組み、普及させていくことが重要であると考ええる。

参考文献

- 1) 岡村 甫、小沢 一雅：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, pp.5~14, 1992.2
- 2) 新藤 竹文、松岡 康訓ほか：超流動コンクリートの実構造物への適用、プレストレストコンクリート技術協会 第2回シンポジウム論文集、pp.315~320, 1991.11