

## 技術開発賞受賞の紹介

# 自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの開発

## DEVELOPMENT OF SELF-COMPACTING HIGH PERFORMANCE CONCRETE

岡村 甫<sup>1</sup>・前川宏一<sup>2</sup>・小澤一雅<sup>3</sup>

Hajime OKAMURA, Koichi MAEKAWA and Kazumasa OZAWA

<sup>1</sup>正会員・フェロー 工博 東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻 教授

(〒113 文京区本郷7-3-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京大学工学部総合試験所 助教授

<sup>3</sup>正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻 助教授

**Key Words**: self-compacting concrete, high performance concrete, reliability, construction system

### 1. 開発の必要性

コンクリートを用いて耐久的で信頼性の高い構造物をつくるには、打設現場において人手により入念に施工することが必要不可欠である。コンクリート打設時の施工の善し悪しの影響を受けずにコンクリート構造物の信頼性を向上させるためには、「締固め不要」の自己充填コンクリートを開発する必要があった(図-1)。

また、1990年代におけるわが国の建設投資は、空前のものとなる可能性が高く、その間に良質な社会基盤施設を後世に残すのが、土木技術者の務めである。一方、現場における技術者や熟練作業員の不足、特殊環境下での工事の増加や構造物の高性能化が益々進むものと思われ、施工システムの大幅な合理化が求められている。自己充填コンクリートは、打設時の締固め作業が不要であることから、打設リフト高さや打設のための足場等の施工上の制約にとらわれずに施工システムの合理化を考えることが可能である。現場作業員数や必要な技能工数の減少、工期の短縮、天候の影響を受けにくい、作業の安全性向上を図ることが可能な将来のコンクリート技術を支える材料である。さらに、コンクリート二次製品工場や都市地域の建設工事現場では、締固め作業に伴う騒音問題が深刻であり、周辺住民に対する環境問題だけでなく、工場で働く人たちの作業環境問題として、その対策を考える必要がある。自己充填コンクリートは、これらの問題を根本から一挙に解決することが可能な材料であり、製品製造ラインを見直すことにより、製品工場の近代化を図ることも可能である。

以上の観点から、コンクリート打設時に振動締固め作業を必要としない自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートを開発する必要があると考えたのである。

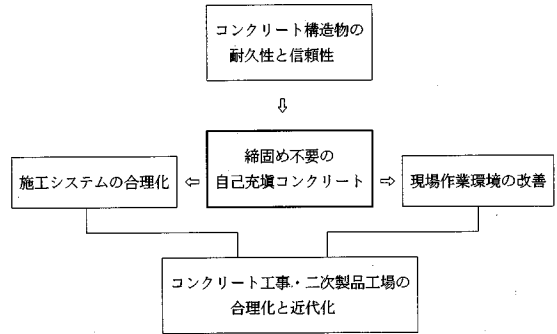


図-1 自己充填コンクリート開発の必要性

### 2. 開発目標

自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの開発目標は以下のとおりである。

(1) 一般の陸上コンクリート構造物の構築において、打設時に振動締固め作業を一切行うことなく、自重のみで型枠の隅々まできれいに充填できること(自己充填コンクリート)。

(2) セメントの水和発熱や硬化および乾燥収縮等による初期ひびわれが生じないこと。

(3) コンクリートの炭酸化や凍害等による劣化に対して十分な抵抗性を持ち、内部鋼材を腐食させない、長期に耐久的事であること。

これらすべての性能を備えたコンクリートを自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートと定義し、これを開発目標とした。

1986年2月	「締固め不要」のコンクリート開発の必要性を岡村が提唱する。同時に、開発のための基礎研究に着手する。
1988年8月	自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートプロトタイプ1号の開発に成功する。
1989年1月	チェンマイ(タイ)に於いて開催された国際会議で公表する。
1989年4月	土木学会誌に於いて公表する。(技術最前線)
1989年6月	コンクリート工学年次講演会に於いて公表する。
1989年7月	東京大学構内において、公開実験を行う。
1989年12月	群馬県において、生コンクリート工場で製造し、公開実験を行う。
1990年4月	自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートを一般的に利用するための応用研究に着手する。
1991年4月	91年度から93年度にかけて延べ建設会社15社、セメント会社3社、混和剤会社3社から受託研究員が派遣される。
1993年9月	標準仕様、配合設計法、製造・施工上の注意事項、耐久性照査法等を著書「ハイパフォーマンスコンクリート」に公表する。

図一 自己充填性ハイパフォーマンスコンクリート開発の経緯

### 3. 開発の経緯

自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの開発の歴史を図一2に示す。

開発の当初においては、新たな混和材料を開発する必要があると考えたが、フレッシュコンクリートの流動性や材料分離抵抗性に関する基礎的な研究を実施することにより、既存の材料を組み合わせることで、実現可能であることが明らかとなり、これを世界で初めて実証した。さらに、応用研究を続けることにより、広く一般で利用しやすい材料および配合の標準仕様や従来と考え方の異なる配合設計法、製造・施工システムに関する提案を行っている。

### 4. 開発の概要

自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの開発のために行った基礎的研究の成果とさらに、広く一般に利用するために行った応用研究の概要を以下に纏める。

#### (1) 自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートのプロトタイプ1号

基礎的研究に基づき、コンクリートを「締固め不要」とするためのコンセプトを構築した。その結果に基づき、

プロトタイプ1号の開発に成功した(図一3)。その配合は、従来のコンクリートの配合割合に比べ、粗骨材量が制限されており、粉体量が多いものとなっている。水中不分離性コンクリートの配合に比べると、水量が少ない。フレッシュ時の性能だけでなく、硬化後の性能も考慮して、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを粉体として利用している。さらに、収縮補償のために少量の膨張材と適度な粘性付与のための微量の増粘剤を使用している。

#### (2) 自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの標準仕様とその配合設計法

応用研究の成果に基づき、自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの標準仕様とその配合設計法(図一4)を構築することに成功した。

標準仕様として、適用される構造物の特性に応じて、汎用型・マスコン型・高級型・普及型の4種類の自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートを提案した。汎用型は、一般の構造物を対象としている。マスコン型は大型構造物を対象とし、温度びびわれ抵抗性を高めた配合としている。高級型は、乾燥収縮による欠陥の防止を目的とするものであり、普及型は、埋設型枠や鋼コンクリートサンドイッチ構造等のコンクリート表面が露出しない構造物に適用することを想定している。配合設計法は、次のとおりである。使用する粉体や高性能減水剤の特性によって大きく変化することから、細骨材容積を40%としたモルタルを用いたフロー試験およびロート試験を行い適切な水セメント比および高性能減水剤の添加量を求め、これに粗骨材をその実積率の50%加えることにより、自己充填性を実現できるとしている。

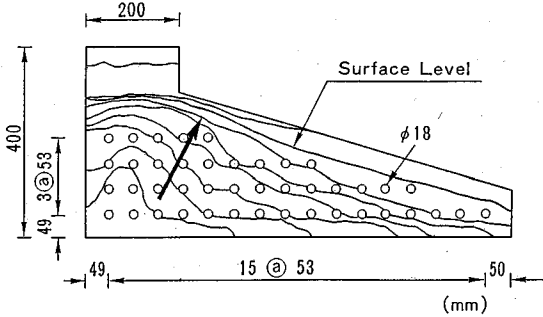
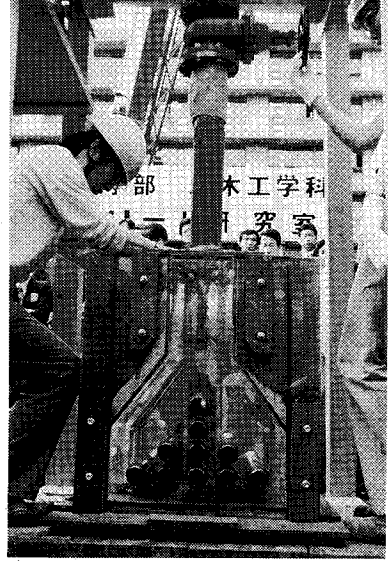
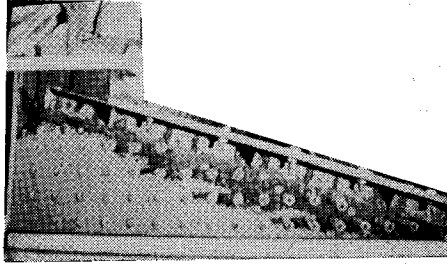
#### (3) その他

応用研究の成果として、自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの製造システムおよび施工方法を提案することに成功している。

### 5. 自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの特徴

#### (1) 効果

従来、水中に打設されるコンクリートで水中不分離性混和剤を多量に使用したコンクリートが締固め作業の要らないものとして開発されていたが、このコンクリートは、気中構造物のように鋼材が多量に配筋された箇所へ充填することができず、気中打設の構造物に適用できる締固め不要の自己充填コンクリートは不可能と考えられていた。自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートは、フレッシュコンクリートの流動性および流動途上の材料分離挙動に関する基礎的な研究成果に基づき、既存の材



(a) 過密配筋部に充填される自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートプロトタイプ1号

(b) 東京大学構内における公開実験

(c) プロトタイプ1号の配合

							(kg/m <sup>3</sup> )
水	普通ボルト ランドセメント	膨張材	高炉スラグ	フライアッシュ	細骨材	粗骨材	混和剤
154	144	10	154	197	753	963	*

\* 4,800 cc 高性能減水剤    6 g セルローズ系増粘剤

図-3 自己充填性質ハイパフォーマンスコンクリートプロトタイプ1号の開発

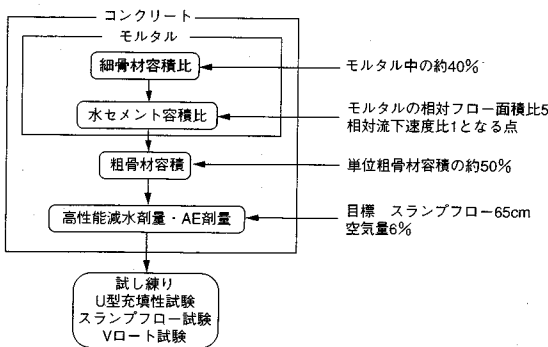


図-4 自己充填性汎用 HPC の配合設計システム (粗骨材最大寸法 20 mm)

料を上手く組み合わせることにより世界で初めて開発されたものである。その特徴および効果は、以下のように纏められる。

(1) コンクリート構造物の耐久性および信頼性を向

上させることができる。(構造物の品質向上)

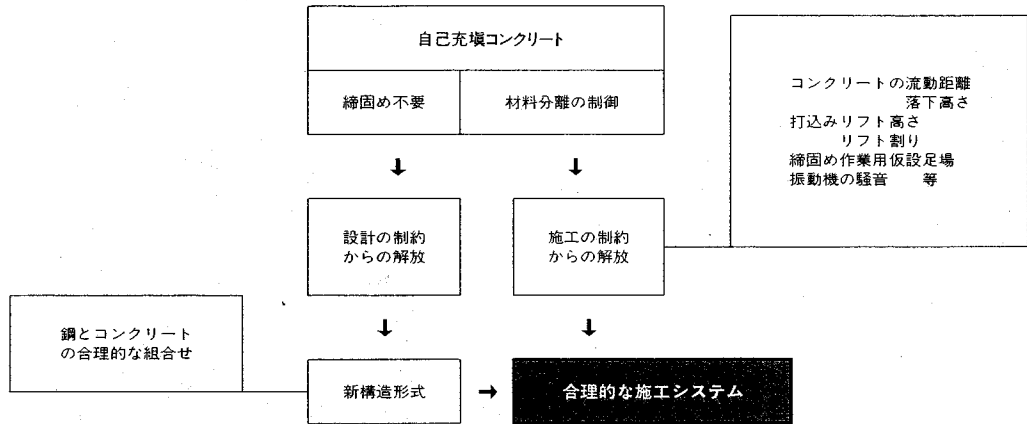
(2) 振動締固めのためのバイブレータを必要としないことから、無振動、無騒音環境を実現できる。(現場労働環境改善)

(3) コンクリート打設時の省人化を図れるだけでなく、工期短縮や安全性の向上を図れる新しい施工システムを実現できる。(施工の合理化)

(4) コンクリートの充填が困難な為実現が不可能であった新しい構造形式(鋼コンクリートサンドイッチ構造等)を実現できる。(設計の自由度増大)

(2) 経済性

自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートを製造するための材料費、製造管理費等は上昇する。しかし、施工システムの合理化に伴い、構造物全体のコストは、従来と同程度である。コンクリート打設に必要な作業員を確保する必要がなくなり、天候の影響を受けにくい打設方法も実現できるため、工期短縮だけでなく、その信頼



図一5 自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートを用いた施工の合理化

性向上が期待できる。構造物の信頼性向上による維持管理費の低減効果や設計や施工法の自由度が広がる効果も期待できる。

### (3) 汎用性

要求される性能に応じて材料設計を適切に行うことにより、任意のコンクリート構造物に適用できる。従来、振動締固め作業を行うのが困難であった箇所へも適用可能である。一般の生コンクリート工場で製造可能であるが、コンクリートの製造管理を従来より厳しく行う必要がある。

### (4) 安全性

振動締固め作業を行うために作業員がコンクリート打設箇所に近づく必要がないため、安全性は向上する。コンクリート打設システムを改良することで、高所での打設作業や広い領域での打設作業における安全性はさらに飛躍的に向上することが期待できる。

## 6. 今後の展望

現在までの特殊コンクリートとしての利用から、今後は一般コンクリートとしての実用化に期待が寄せられる。その為には、以下の課題に取り組む必要がある。

### (1) 生コンクリート工場からの供給体制の整備

コンクリート構造物の信頼性向上を図るためには、一般コンクリートとして自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートが簡単に手に入る体制を確立する必要がある。技術者教育を含め、製造・運搬・供給体制の確立に関するソフト面からの展開も望まれる。

### (2) 高性能減水剤の改良

現在市販されているセメントと高性能減水剤を用いても自己充填コンクリートをつくることはできる。しかし、一般的に広く利用するためには、特に高性能減水剤の改良が重要である。コンクリート温度の相違による性状の変化や、粉体と高性能減水剤との相性の問題について、セメントメーカーと混和剤メーカーが協力し、より良い製品を製造することが、今後の発展の鍵となる。

### (3) 施工システムの改革

単に打設時の締固め作業を省略しただけでは、現場施工の大幅な合理化にはつながらない。現行の施工法自体が、従来のコンクリートの特性と構造形式を前提としたものであり、もう一度原点に戻って施工法および構造形式を組み立てなおし、新しい施工改革への展開が期待される(図一5)。

### 参考文献

- 1) 岡村 甫：新しいコンクリート材料への期待，セメント・コンクリート，No. 475，1986.9.
- 2) 岡村 甫，前川宏一，小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート，技報堂出版，1993.9.
- 3) K. Ozawa, K. Maekawa, M. Kunishima and H. Okamura: High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures, The Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, Chaing Mai, Thailand, pp. 445-450, 1989.1.
- 4) 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の開発，日本コンクリート工学協会，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 11, No. 1, pp.699-704, 1989.6.

(1995.7.11 受付)