

# 高強度繊維補強コンクリートの路線拡幅工事への適用

## Application of High Strength Fiber Reinforced Concrete for Viaduct Decks on Road Expansion Works

塩 永 亮 介	技術開発本部基盤技術研究所構造研究部
山 口 隆 一	技術開発本部基盤技術研究所構造研究部
今 村 紅 音	技術開発本部基盤技術研究所構造研究部
仲 村 篤	株式会社 IHI インフラシステム 技術本部建設部
上 田 和 哉	株式会社 IHI インフラシステム 技術本部建設部 課長

圧縮強度 70 N/mm<sup>2</sup> 以上で、かつ鋼繊維を混入した高強度繊維補強コンクリートは、高強度・高じん性・高耐久性といった優れた材料特性を生かすことで、構造の簡素化や高耐久化を達成できる新材料として期待されている。この材料を路線拡幅工事の床版間詰め部に適用するに当たり、従来困難と考えられていたポンプ圧送性を事前の実験において確認し、その成果を本工事の施工計画に反映させた。本稿では同時に、高強度繊維補強コンクリートの製造プロセスと施工条件を考慮した品質管理項目について報告する。

High Strength Fiber Reinforced Concrete ( HSFRC ), which has a compressive strength over 70 N/mm<sup>2</sup> and mixed with steel fiber, is expected to build rational and durable structures due to its high performance such as high strength, high ductility, and high durability. To achieve successfully the casting of HSFRC used for a part of the bridge deck for road expansion works, pumping tests and time dependent tests on properties of the material were conducted in advance. These test results were reflected to the planning of construction to ensure the safety and smooth pumping even in summer season. Moreover the product process and the items of quality control for serving stable HSFRC are reported.

## 1. 緒 言

近年、高強度かつ高じん性といった優れた材料特性をもつ高性能コンクリートの技術開発が国内外で盛んに進められている。ぜい性材として扱われてきたコンクリートに対し、鋼繊維や有機繊維を混入することで曲げや引張りに対するじん性を向上させ、さらに材料自身の組織をち密化することで強度増加とともに劣化に対する耐久性の向上を図っている。

我が国では、圧縮強度 150 N/mm<sup>2</sup> 以上をもつ超高強度繊維補強コンクリートの配合技術が 2000 年ごろ海外から導入され、その設計基準化がされるとともに実構造物への適用が始まっている<sup>(1)</sup>。しかし、この材料は製造に熱養生などの特殊設備や詳細な管理を要するため工場内での製作が基本であり、一般的な土木工事での現場打ちの施工には適用できない。さらに、強度特性に対する要求性能が厳しく、材料コストが普通コンクリートの 10 倍以上となることも普及を妨げる原因になっている。

筆者らは、現場施工に対応でき、汎用的な材料で製造できる高性能コンクリートとして、圧縮強度 70 ~ 110 N/mm<sup>2</sup>、鋼繊維を 1.0 vol% 程度混入した高強度繊維

補強コンクリート（以下、HSFRC と呼ぶ）の配合検討と材料特性の研究を進めてきた<sup>(2)</sup>、<sup>(3)</sup>。本材料の適用対象は現場打ちコンクリート施工の橋梁構造物であり、連続桁橋中間支点部の床版や路線拡幅時の連結床版など引張りや曲げによるひび割れの抑制や長期的な耐久性が求められる部材が適切であると考えている。

本稿では、まず実験室レベルで得られた HSFRC の力学特性および劣化に対する耐久性能を報告する。さらに、実工事における最初の適用となった名古屋高速道路「山王ジャンクション」路線拡幅工事に関して、事前に実施した施工性能確認のための各種実験結果と、それらの成果を反映し、2008 年夏に実施した HSFRC のポンプ圧送施工の結果を報告する。

## 2. 材 料 性 能

### 2.1 配合特性

第 1 表に HSFRC の配合特性を、第 1 図に練り上がり直後の状態を示す。HSFRC は材齢 28 日の目標強度を 70 N/mm<sup>2</sup> とした C70 シリーズと、100 N/mm<sup>2</sup> とした C100 シリーズの 2 種類があり、これらは水粉体比を変化させることで性能を分けている。いずれも第 1 図に示

第 1 表 HSFRC の配合特性  
Table 1 Mixture properties of HSFRC

シリーズ名	目標強度 (N/mm <sup>2</sup> )	骨材の最大径 (mm)	水粉体比 (%)	細骨材率 (%)
C70	70	20	33.0	60
C100	100	20	27.0	60



第 1 図 高強度繊維補強コンクリートと鋼繊維  
Fig. 1 High strength fiber reinforced concrete and steel fiber

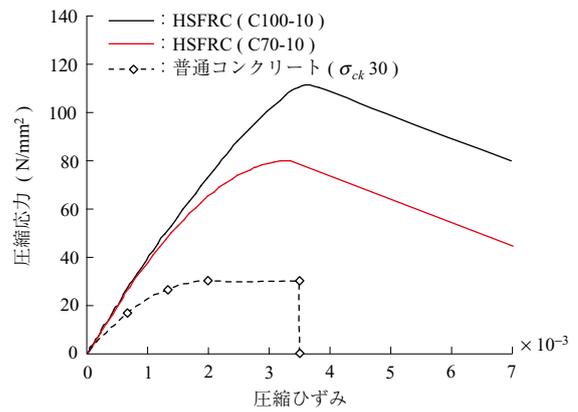
す両端フック付きの鋼繊維 (長さ 30 mm, 直径 0.6 mm) の混入率 1.0 vol% を標準とし, それ以下の混入率でも調整できるようにした. 配合検討においては, 強度発現性, 鋼繊維の分散性および骨材の分離抵抗性の三つに注意をして実施した. 粉体 (結合材) には普通ポルトランドセメントをベースに, 組織のち密化および初期の粘性を発揮させるためにシリカ系微粉末を添加し, また高強度コンクリート特有の問題である自己収縮を抑えるため石灰系の膨張材を添加した.

細骨材および粗骨材は通常の JIS 適合品を用いており, 適度な流動性と材料分離抵抗性をもたせるため細骨材率は 60% とした. 流動性の指標となるスランプは, 12 ~ 20 cm の範囲で工事条件に応じて添加する高性能減水剤の添加量で調整できる.

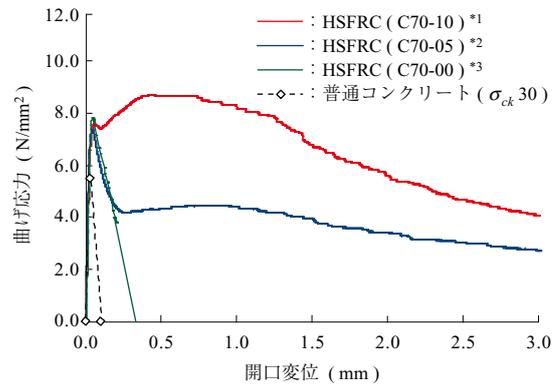
## 2.2 力学特性

第 2 図に HSFRC の材齢 28 日の圧縮強度試験で得られた応力-ひずみの関係を, 従来の普通コンクリート (設計基準強度 30 N/mm<sup>2</sup>) の理論値<sup>(4)</sup>と併せて示す. C70 は 80 N/mm<sup>2</sup> 程度, C100 は 110 N/mm<sup>2</sup> 程度まで最大強度が到達し, 弾性係数も従来の 1.5 倍程度に向上した. さらにピーク後は, 破壊面に存在する鋼繊維の架橋効果によって, 大きな応力低下を伴わないじん性挙動を示した.

第 3 図に, C70 シリーズの HSFRC に対して, 鋼繊維混入率を 0, 0.5, 1.0 vol% と変化させた際の曲げタフネス試験結果を示す. 普通コンクリートの理論値と比較して, HSFRC は圧縮強度の増加に伴い曲げひび割れ強度も増加するとともに, 鋼繊維の混入によって曲げひび割れ



第 2 図 HSFRC の圧縮強度特性  
Fig. 2 Compressive strength properties of HSFRC



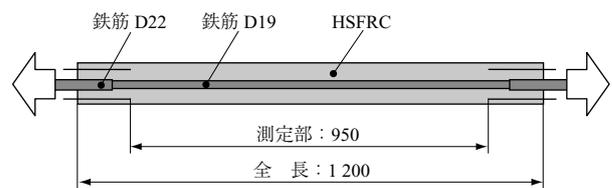
第 3 図 HSFRC の曲げタフネス特性  
Fig. 3 Flexural toughness properties of HSFRC

後もじん性的な挙動がみられた. 特に 1.0 vol% 混入した C70-10 では, 曲げひび割れ後のピーク応力がさらに増加する傾向を示した.

これらの優れた性能をコンクリート構造物の設計に活用すれば, 耐力計算において必要断面の合理化が図れるとともに, 性能照査型設計法での使用性に対するひび割れ幅の制御や, 耐震性に対するぜい性的な破壊挙動の回避などに効果的であると考えられる.

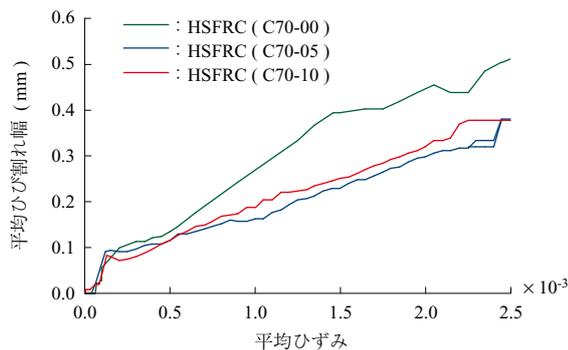
## 2.3 ひび割れ特性

鉄筋コンクリート構造 (RC 構造) に適用した場合のひび割れ幅の抑制効果を把握するため, 第 4 図に示す両



第 4 図 鉄筋を含む HSFRC の両引き試験 (単位: mm)  
Fig. 4 Direct tensile tests on HSFRC with reinforcing bar (unit: mm)

引き試験を実施した。断面が  $100 \times 100$  mm の HSFRC の中心に異形鉄筋 D19 を埋め込み、その両端に引張力を与えることで部材にひび割れを発生させた。実験では C70 シリーズの HSFRC を対象とし、鋼繊維混入率を 0, 0.5, 1.0 vol% と変化させてその影響を調査した。第 5 図に、平均ひずみと平均ひび割れ幅（表面で計測したひび割れ幅の平均値）の関係を示す。ひび割れ発生後から  $0.5 \times 10^{-3}$  程度までは大きな差はないものの、その後は鋼繊維混入率が高いほどひび割れ幅の増加が抑えられ平均ひび割れ幅で約 30 ~ 40% 程度抑制された。また、C70-05



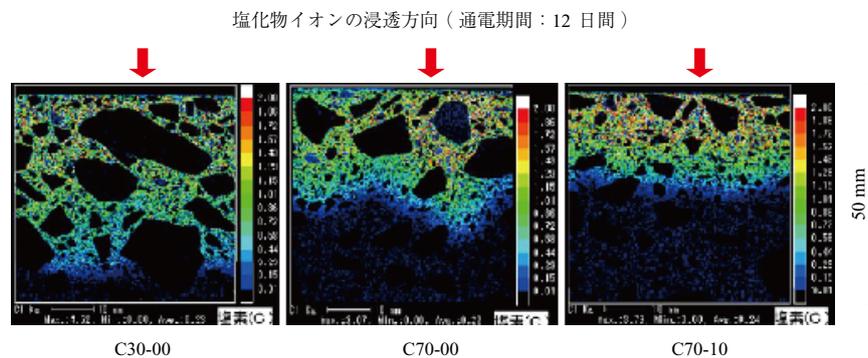
第 5 図 平均ひずみと平均ひび割れ幅の関係  
Fig. 5 Relationship between average strain and average crack width

と C70-10 とではほぼ同等で、混入率 0.5 vol% でも十分なひび割れ抑制効果があることを示している。

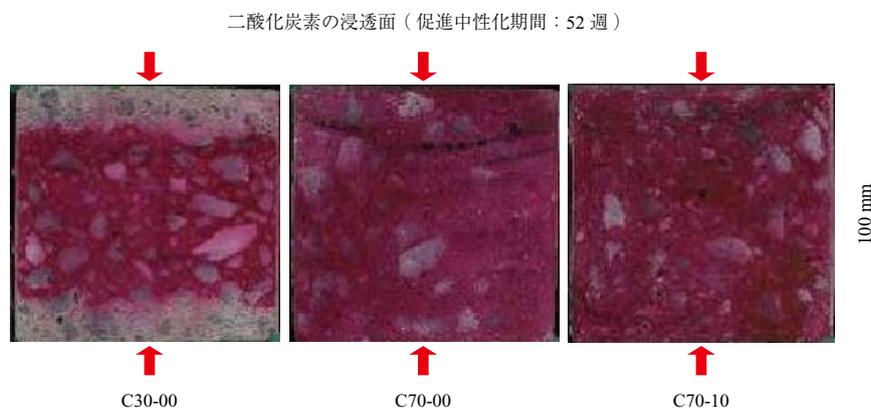
#### 2.4 劣化に対する耐久性

コンクリート構造物の材料劣化のなかで、発生頻度が高い塩害（塩化物イオンの浸透による鉄筋腐食）に対する耐久性を把握するため、電気的に HSFRC 内部に塩化物イオンを浸透させる電気泳動法による促進試験を実施した。C70-00, C70-10 と比較用の普通コンクリート C30-00 の 3 ケースを対象に、試験体に一定期間塩化物イオンを浸透させ、EPMA (Electron Probe Micro - Analyzer) でその切断面の塩化物イオンの浸透深さを計測した（第 6 図）。C70-10 が最も浸透深さが浅いことが分かる。計測結果を基にフックの拡散方程式から算出される塩化物イオンの拡散係数を評価<sup>(4)</sup>した結果、C30-00 を 1.0 とした場合、C70-00 は 0.41, C70-10 は 0.38 と算出された。これは、鉄筋の腐食開始までの耐用年数で考えれば、HSFRC (C70-10) は普通コンクリートに対して約 2.6 倍 ( $= 1.0/0.38$ ) と推定される。

さらに、大気中の二酸化炭素と反応して劣化が進行する中性化に対する耐久性を評価するため、中性化促進試験を実施した。第 7 図に促進期間 26 週経過後の中性化深



第 6 図 EPMA によるコンクリート中の塩化物イオンの浸透深さ  
Fig. 6 Penetration depth of chloride ion into concrete by EPMA



第 7 図 フェノールフタレイン溶液によるコンクリート中の中性化深さ  
Fig. 7 Carbonation depth in concrete by phenolphthalein liquor

さの比較を示す。C30-00 の中性化深さ 18.4 mm に対し、C70-00 および C70-10 では中性化がまったく進行しなかった。このように HSFRC が塩害や中性化に対する耐久性能が高い理由として、低水粉体比およびシリカ系微粉末の混入に伴う材料組織のち密化が大きく影響していると考えられる。

### 3. 実工事への適用

#### 3.1 工事概要と適用箇所

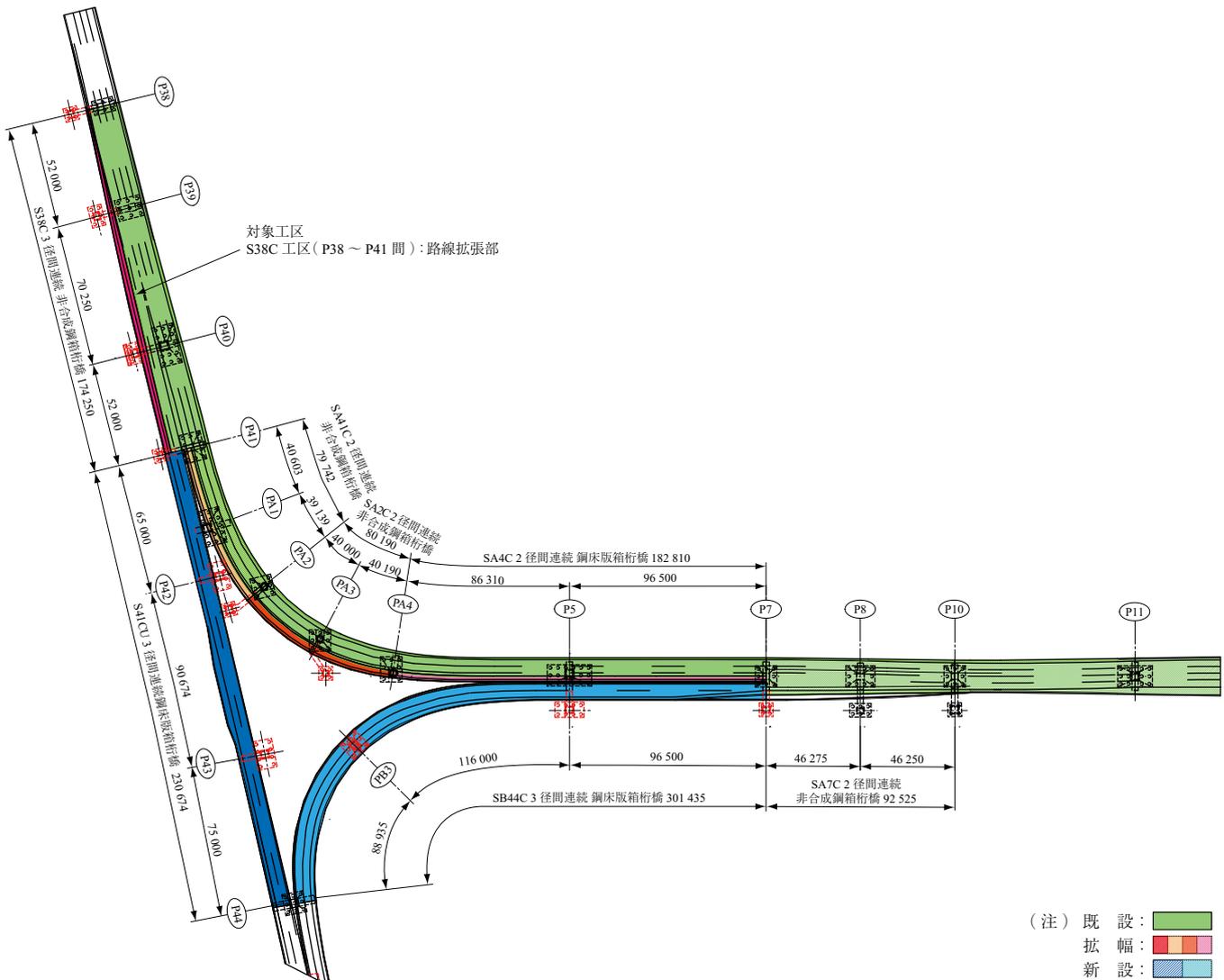
「山王ジャンクション」(第 8 図) は名古屋高速道路の都心環状線と 4 号東海線の接続部に当たり、本工事は新路線となる 4 号線への分岐橋の新設工事とともに、既設路線の渋滞緩和を目的とした路線拡張も含めた工事である<sup>(5)</sup>、<sup>(6)</sup>。施工は、IHI・日本国土・住重特定建設工事共同企業体が受注し、2005 年 2 月～2009 年 12 月の工期

で実施された。

本工事で HSFRC が適用された区画は、第 8 図中の P38～P41 間の路線拡幅部に当たる。P38 橋脚付近の外観を第 9 図に、また P41 橋脚位置の断面を第 10 図に示す。既設桁の RC 床版と新設桁の鋼床版を一体化する構造であり、両床版間の間詰め部(第 11 図)に充てん材として用いられた。この間詰め部は幅が約 800 mm、総延長が 3 径間分の約 170 m であり、打設数量は約 45 m<sup>3</sup>であった。当初の仕様は、早強セメントを用いた鋼繊維補強コンクリート(圧縮強度 30 N/mm<sup>2</sup>)であったが、長期的な耐久性の向上およびせん断や曲げによるひび割れ幅の抑制といった観点から圧縮強度 70 N/mm<sup>2</sup>、鋼繊維混入率 1.0 vol% の HSFRC (C70-10) を適用した。

#### 3.2 技術的な課題

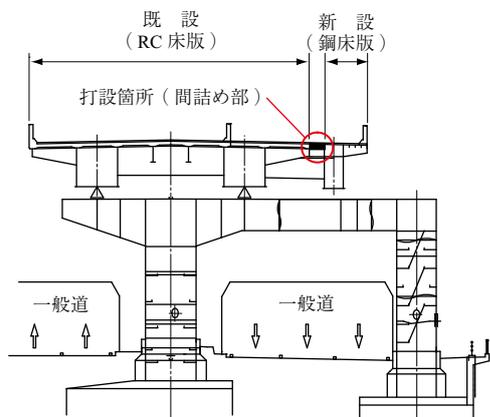
HSFRC は、基本的には通常の生コン工場で製造が可能



第 8 図 「山王ジャンクション」上下部工事 平面図 (単位: mm)  
Fig. 8 General plan for construction works of "San-no Junction" (unit: mm)



第9図 路線拡幅部の外観 (P38 付近)  
Fig.9 Overview of widened construction part (near Pier 38)



第10図 路線拡幅部の断面図 (P41 付近)  
Fig.10 Cross section of widened construction part (near Pier 41)



第11図 床版間詰め部の外観  
Fig.11 Overview of joint parts on bridge decks

であり、特殊な施工機械が不要で現場施工に対応できるように開発されている。しかし、本工事での課題として、地上から高架橋上へコンクリートポンプ車による圧送を行う必要があるため、夏期施工でのコンクリートの流動性に対する経時の変化が大きいこと、圧送時の管内閉塞や材料分離などが懸念された。そこで、安全かつ円滑に所定品質の

HSFRC を施工するため、事前の実験によって以下の項目を検討した。

- ① ポンプ圧送における HSFRC の管内圧力損失の把握
- ② 夏期施工における流動性の経時変化の把握

#### 4. 事前の確認実験

##### 4.1 ポンプ圧送実験

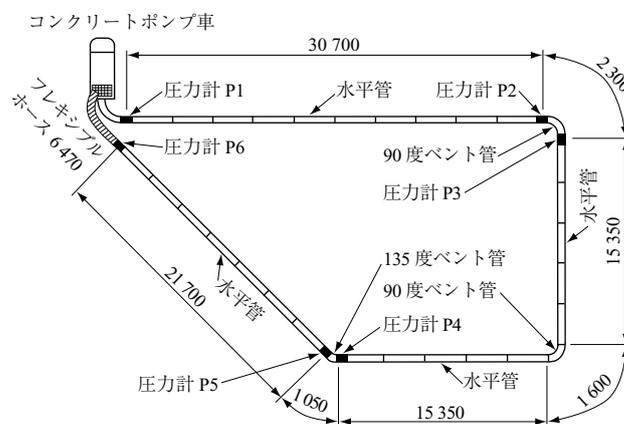
###### (1) 実験目的

HSFRC に対して、本工事でのポンプ圧送計画に必要な使用する水平管 1 m 当たりの管内圧力損失 (以下、 $K$  値と呼ぶ) を求めるとともに、圧送による品質変化 (流動性の低下や鋼繊維の分散性) を確認することを目的とした。

###### (2) 実験方法

圧送実験の配置図を第12図に示す。圧送距離を約 100 m とし、4 か所の水平管 (125A (5B) 管) を 90 度および 135 度のベント管でつなげた。先端のフレキシブルホースから排出したコンクリートを再びコンクリートポンプ車に戻す循環圧送とした。この際、コンクリートのポンプ施工指針<sup>(7)</sup> (以下、ポンプ施工指針と呼ぶ) に基づく水平換算距離は 127 m であった。実験は、吐出量を約 10, 20, 30 m<sup>3</sup>/h とする 3 ケースとし、輸送管内の圧力は第12図に示す 6 か所の圧力計で計測した。また管内圧力の計測以外にも圧送前後の HSFRC に対してスランプ、空気量および鋼繊維混入率を計測し、さらに圧送前後に採取した供試体を用いて材齢 28 日の圧縮強度を計測した。

HSFRC は C70-10 (目標強度 70 N/mm<sup>2</sup>, 鋼繊維混入率 1.0 vol%) とし、品質管理値として圧送前の



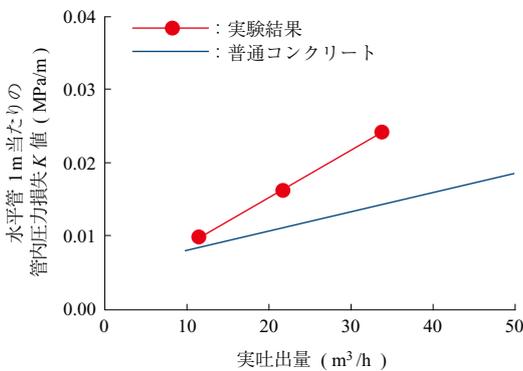
第12図 ポンプ圧送実験の配管経路 (単位: mm)  
Fig.12 Pipeline route of pumping tests (unit: mm)

スランブを  $18 \pm 2.5$  cm と定めた。コンクリートポンプ車は、最大吐出圧力 4.5 MPa（通常時）のピストン式ポンプ車を選定した。

### (3) 実験結果

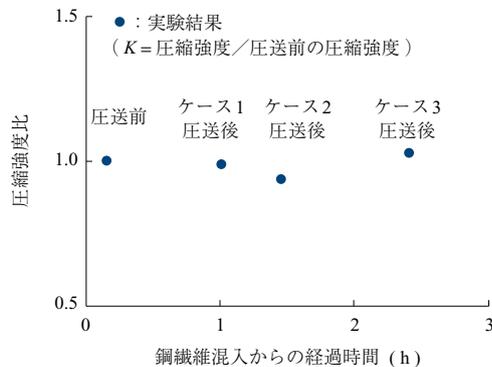
第 13 図に、本実験で得られた実吐出量と  $K$  値との関係を示す。またポンプ施工指針に示されるスランブ 12 cm の普通コンクリート（125A（5B）管使用）の  $K$  値も示す。 $K$  値は実吐出量の増加に対し線形的に増加し、本実験値の増加割合は普通コンクリートに対して大きくなることが分かった。実吐出量が  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  程度では普通コンクリートとほぼ同等であるが、実吐出量  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  では普通コンクリートの  $0.013 \text{ MPa}/\text{m}$  に対して  $0.022 \text{ MPa}/\text{m}$  と 1.7 倍程度となった。これは、HSFRC が普通コンクリートに比べて粉体量が多く、まだ固まらない状態の粘性が高いことに起因していると考えられる。

第 14 図に、圧送前に採取した供試体の圧縮強度を 1.0 としたときの圧送後の圧縮強度の値を示した。圧縮強度比は各ケースとも 1.0 に近く、通常の強度試験におけるバラツキ範囲と同等と考えられ、ポン



第 13 図 実吐出量と管内圧力損失 ( $K$  値) の関係

Fig. 13 Relationship between pumping rate and pressure loss in a horizontal pipe (Coefficient  $K$ )



第 14 図 圧縮強度試験の結果

Fig. 14 Results of compressive strength tests

プ圧送が HSFRC の強度特性に影響しないことが分かった。また、スランブ、空気量および鋼繊維混入率の計測でも、圧送前後の計測値はほぼ等しく、ポンプ圧送が HSFRC の品質変化に影響を及ぼさないことを確認した。

## 4.2 夏期施工時の品質変化の確認

### (1) 実験目的

一般にコンクリート温度が高いと、セメントの水和反応が促進され凝結が早まり、経時的な流動性の低下が大きくなる。HSFRC のように粉体量が比較的大きな配合の場合、その影響はさらに大きいことが予想された。そこで、HSFRC に鋼繊維を混入する前のベースコンクリートに対して高温環境下で試験練りを実施し、所定のスランブフローを得るための適切な減水剤添加率と経時的な流動性の変化を把握した。

### (2) 実験方法

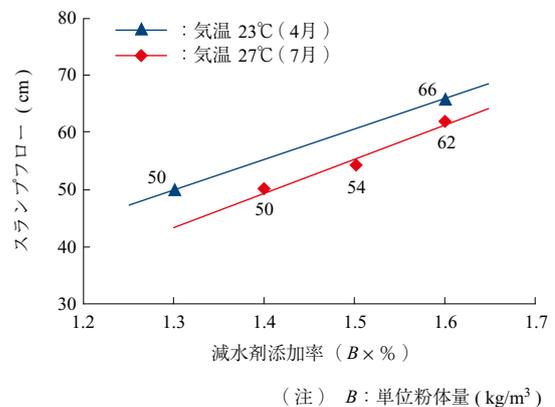
試験練りでは、本工事に適用する HSFRC と同様の骨材や粉体を用い、鋼繊維混入前のベースコンクリートに対して、雰囲気温度  $27^\circ\text{C}$  の環境下で以下の 2 項目を検討した。

- ・高性能減水剤の添加率とスランブフローの関係
- ・夏期施工時のスランブフローの経時変化

実験ではできる限り本工事に近い製造条件および運搬条件を再現するため生コン工場と同形式の強制二軸型ミキサで混練し、排出後は傾胴型ミキサで低速攪拌させ、本工事で使用するアジテータ車での運搬を模擬した。

### (3) 実験結果

第 15 図に、ベースコンクリートに対する高性能減水剤の添加率とスランブフローの関係を示す。気温



(注) B: 単位粉体量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

第 15 図 減水剤添加率とスランブフローの関係

Fig. 15 Relationship between admixture rate and slump flow

23℃の環境で実施した過去のデータと比較して、気温 27℃では同等のスランプフローを得るのに減水剤添加率を約 0.1%高くすればよいことが分かった。

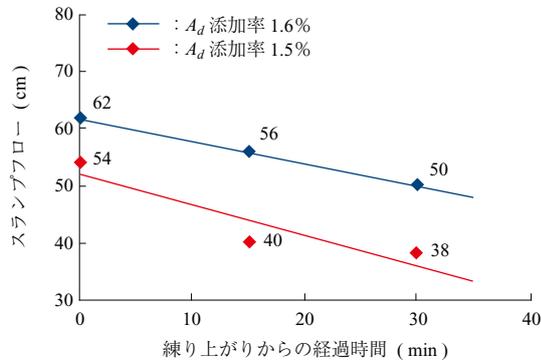
第 16 図に、減水剤添加率を 1.5%および 1.6%としたベースコンクリートに対して、練り上がりから 15 分および 30 分間低速攪拌させた後のスランプフロー計測結果を示す。いずれも時間の経過とともにフロー値の低下がみられ、30 分後に 12～16 cm 低下することが分かった。

以上の結果から、7 月施工となる本工事では、既存の HSFRC 配合に対する高性能減水剤の添加率を 0.1%増やすこととし、生コン工場で出荷する際の目標スランプフロー値は運搬時間を考慮した設定とすることが可能となった。

## 5. 本工事における計画と計測

### 5.1 施工概要

本工事では、第 4 章で述べた事前の確認実験結果と現地の施工条件を考慮し、第 2 表に示す施工手順を設定した。ポンプ圧送は第 17 図に示すように P40～P41 間にコンクリートポンプ車を固定配置しその直上を直接打設し



第 16 図 暑中時のスランプフロー経時変化  
Fig. 16 Slump flow loss in summer

第 2 表 間詰めコンクリートの施工方法  
Table 2 Process of concrete work for joint part of bridge deck

作業項目	本工事での対応
ベースコンクリートの製造	・最寄りの生コンプラントで製造 ・膨張材、シリカフェーム、高性能減水剤は、投入用人員を別途手配
ベースコンクリートの運搬	・通常のアジテータ車で 4 m <sup>3</sup> ずつ運搬 ・プラントから現場への距離は約 10 km (所要時間約 15 分)
HSFRC の製造 (鋼繊維の練り混ぜ)	・現地に投入用足場を組み、アジテータ車へ投入後、高速攪拌
HSFRC の圧送・運搬	・ブーム付きコンクリートポンプ車で、高架橋上 (高低差約 17 m) へ圧送 ・橋面上の運搬は、小型ダンプ車で往復運搬
打込み・養生	・所定箇所へ打込み後、パイプレータで軽く締固め ・表面仕上げ後、湿潤養生の実施

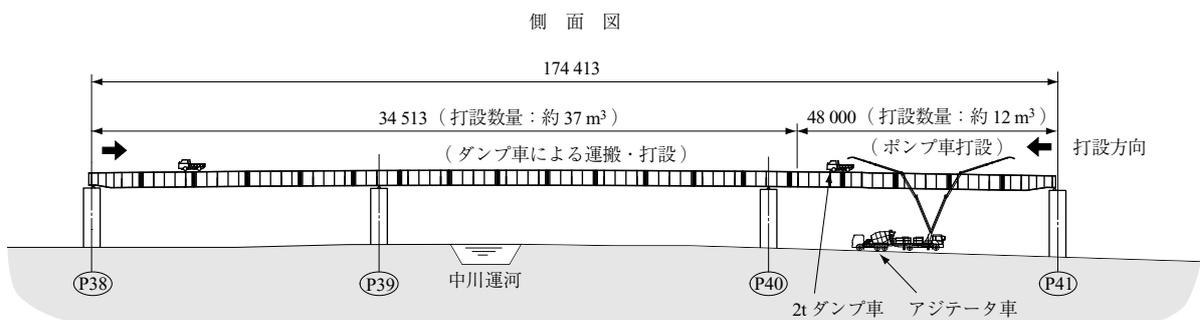
た。P38～P40 の 2 径間分は橋面上に配備した 2 台の小型ダンプ車による運搬とした。ポンプ車の前方には鋼繊維投入用の足場を架設し、到着したアジテータ車に鋼繊維を投入し攪拌後、コンクリートポンプ車のホッパに HSFRC を投入できる配置とした。

### 5.2 圧送計画

本工事での施工方法および工程を考慮した圧送条件を第 3 表のように設定した。現地ヤードでの鋼繊維の混入および攪拌の時間を考慮し、アジテータ車 (容量 4 m<sup>3</sup>) の配車サイクルを 15 分とした。これによって打設速度の計画値は 16 m<sup>3</sup>/h となり、輸送管およびコンクリートポンプ車とも標準的な仕様のもので対応可能になった。

圧送計画はポンプ施工指針に準じて策定した。HSFRC の  $K$  値は、第 13 図のポンプ圧送実験結果から吐出量 16 m<sup>3</sup>/h の際の値として 0.013 MPa/m とした。選定したブーム付きポンプ車の水平換算距離はコンクリートポンプ圧送マニュアル<sup>(8)</sup>を参考に 51.4 m とした。これよりポンプの最大圧送負荷 ( $P_{max}$ ) を、次式のように計算した。

$$P_{max} = K \text{ 値} \times \text{水平換算距離} \\ = 0.013 \times 51.4 = 0.67 \text{ MPa} \quad \dots\dots (1)$$



第 17 図 S38C 工区側面図とコンクリートポンプ車の配置 (単位: mm)  
Fig. 17 Side view of S38C works and position of concrete pump (unit: mm)

第3表 圧送条件の設定  
Table 3 Pumping conditions

項目	単位	条件, 設定値	
打設時期・場所	-	7月・名古屋	
打設数量	m <sup>3</sup>	約 45 内訳: アジテータ車 12 台 (4 m <sup>3</sup> /台×12 台: 48 m <sup>3</sup> 準備)	
打設速度 (吐出量)	m <sup>3</sup> /h	16 内訳: アジテータ車 4 台 (1 台当たり 4 m <sup>3</sup> /h×4 台)	
輸送管の種類	-	125A (5B) 管	
ポンプ車	名称	-	
	型式	-	
	吐出量	m <sup>3</sup> /h	110 (最大)
	吐出圧力 (通常時)	MPa	4.5 (最大)
	吐出圧力 (高圧時)	MPa	7.0 (最大)
	ブーム長	m	29 (at 3 段) (最大)

この値は、選定したポンプ車の最大吐出圧力 4.5 MPa (通常時) に対して十分な余裕があり、夏期施工時における管内圧力のバラツキを考慮してもポンプ能力上は問題ないことが分かった。

ただし、HSFRC のスランブ管理値は通常 18 ± 2.5 cm であるのに対し、このような特殊コンクリートの夏期の圧送では粘性が低下しやすいことを考慮して 20 ± 2.5 cm とした。

### 5.3 品質管理と計測

安全かつ円滑にポンプ圧送を行うため HSFRC の品質管理項目として、通常のコンクリート施工で実施する現場の荷降ろし時の管理項目に加え、ポンプ圧送前の管理項目を追加した。管理項目とその許容範囲および計測頻度を第 4 表に示す。

さらに、圧送中のリアルタイム管理として、コンクリートポンプ車のピストン油圧、ホッパ出口およびブーム先端の 3 か所に圧力計を設置して管内圧力の連続計測を実施した。

### 5.4 本工事の状況

本工事は 2008 年 7 月 16 日 (気温 29℃) に実施された。ベースコンクリートは生コン工場で製造され、4 m<sup>3</sup>

ずつアジテータ車によって運搬された (第 18 図)。全 11 台で計 44 m<sup>3</sup> の打設数量となり、運搬の平均所要時間は 14 分であった。

鋼繊維の投入は現場ヤード内に仮設した専用足場から行った (第 19 図)。アジテータ車 1 台当たり鋼繊維 320 kg を投入し、約 2 分間高速攪拌させて HSFRC を製



第 18 図 プラントでの製造とアジテータ車による運搬  
Fig. 18 Mixing on concrete plant and transportation by agitator



第 19 図 現場ヤードにおける鋼繊維の投入と攪拌  
Fig. 19 Adding and mixing of steel fiber on construction yard

第 4 表 HSFRC の品質管理項目  
Table 4 Measurement items for HSFRC quality

計測項目	管理値	計測頻度
スランブフロー	55 ± 10 cm	荷降ろし時, 1, 3, 5, 10 台目
スランブ試験	20 ± 2.5 cm	圧送前, 1, 3, 5, 10 台目
空気量試験	4.0 ± 1.5%	圧送前, 1, 3, 5, 10 台目
塩化物含有量	0.3 kg/m <sup>3</sup> 以下	荷降ろし時, 1 台目
単位水量	配合値 ± 15 kg/m <sup>3</sup>	荷降ろし時, 1 台目
鋼繊維混入率	配合値 ± 5%	圧送前, 1 台目
圧縮強度 (σ <sub>28</sub> )	3 本の平均が 70 N/mm <sup>2</sup> 以上	荷降ろし時, 1 台目 圧送前, 1 台目

造した。荷降ろし時およびポンプ圧送前の品質管理実験は1, 3, 5, 10 台目のアジテータ車から採取して実施した。ベースコンクリートのスランプフローを第 20 図に、HSFRC のスランプを第 21 図に示す。

所定性能を確認した後コンクリートポンプ車のホッパに投入し、高架橋上まで圧送した(第 22 図)。橋面上では



第 20 図 ベースコンクリートのスランプフロー (鋼繊維混入前)  
Fig. 20 Slump flow of base concrete (before adding steel fiber)



第 21 図 HSFRC のスランプ (鋼繊維混入後)  
Fig. 21 Slump of HSFRC (after adding steel fiber)



第 22 図 コンクリートポンプ車による圧送  
Fig. 22 Pumping by mobile concrete pump

小型ダンプ車に荷受けし(第 23 図)、所定の打設位置へ運搬および打込みをした後バイブレータで軽く締め固めた(第 24 図)。練り混ぜ開始から打設完了までの最大所要時間は 88 分、平均時間は 72 分であり、いずれも暑中コンクリートの規定制限時間である 1 時間半内に打設を完了した。

### 5.5 計測結果と評価

品質管理項目のうち、荷降ろし時のベースコンクリートのスランプフロー、圧送前の HSFRC のスランプ値の推移を第 25 図に示す。いずれも管理範囲内であり安定した供給を実施できたことが分かる。圧送前スランプの平均値 21.2 cm に対し圧送後スランプの平均値は 21.0 cm であり、圧送によるスランプロスは皆無であった。

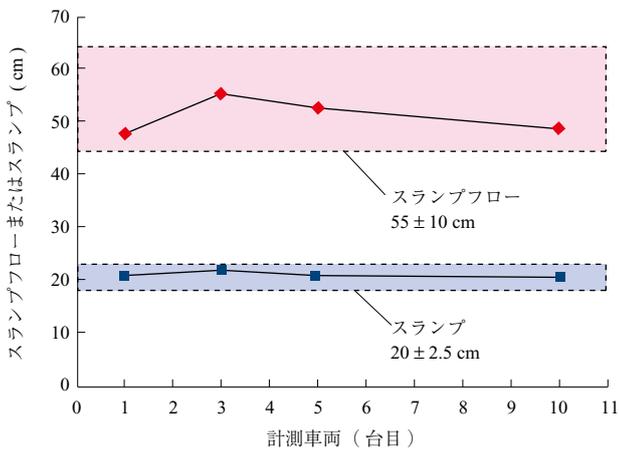
コンクリートポンプ車に設置した圧力計計測結果の一例を第 26 図に示す。計画時の打設速度(吐出量) 16 m<sup>3</sup>/h に対して、本工事では順調に工程が進み約 21 m<sup>3</sup>/h であった。この際、最大負荷が掛かるピストン前面の圧力計測値でも 1.25 MPa 程度であり、選定したポンプ車の最



第 23 図 小型ダンプ車による荷受けと運搬  
Fig. 23 Receipt and conveyance by small dump truck



第 24 図 床版間詰め部への打込みと締め固め  
Fig. 24 Casting and compacting on joint part of bridge deck



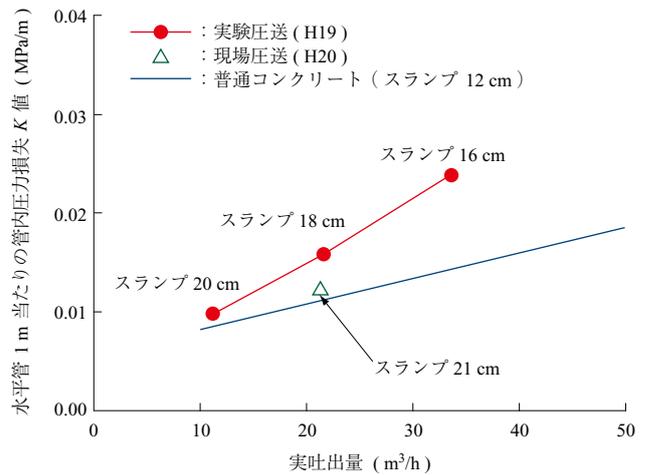
第 25 図 スランプとスランプフローの計測結果  
Fig. 25 Measurement data of slump flow and slump

大吐出圧力 4.5 MPa に対して十分余裕のある施工であった。さらにこれら圧力計測結果から、本工事の実吐出量 21 m<sup>3</sup>/h に対する  $K$  値の算出結果を、過去の実験値と比較して第 27 図に示す。 $K$  値は 0.012 MPa/m であり事前確認で実施したポンプ圧送実験で得られた値よりも低く、スランプ 12 cm の普通コンクリートとほぼ同等の  $K$  値であった。この理由として、本工事ではスランプ管理値を 20 cm と流動性をやや大きくしたことで、圧送負荷が小さかったものと考えられる。

なお圧送中は輸送管内で HSFRC が閉そくするような兆候はなく、打込み箇所においても鋼繊維や粗骨材の分離は確認されなかった。本工事を通して、夏期においても HSFRC のポンプ圧送が問題なく実施できることを確認した。

## 6. 結 言

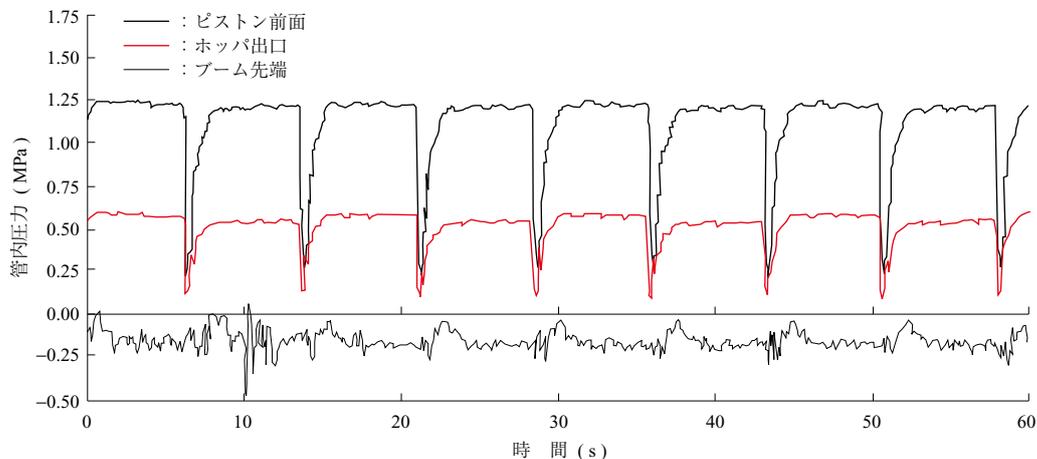
本稿では、HSFRC の諸物性を示すとともに、実工事に



第 27 図  $K$  値の既往の実験値との比較  
Fig. 27 Comparison of coefficient  $K$  to existent pumping tests

初めて HSFRC を適用した事例として、「山王ジャンクション」におけるポンプ圧送結果を示した。事前の確認実験および本工事での計測結果から得られた結論を以下に列挙する。

- (1) ポンプ圧送実験において、HSFRC の実吐出量と水平管 1 m 当たりの管内圧力損失 ( $K$  値) の関係を得た。 $K$  値は吐出量の増加とともに線形的に増加し、実吐出量約 30 m<sup>3</sup>/h の場合、普通コンクリートの約 1.7 倍となった。
- (2) HSFRC のスランプ、空気量、鋼繊維混入率および圧縮強度において、ポンプ圧送による品質変化は、ほとんどないことを確認した。
- (3) 夏期施工時は、ベースコンクリートのスランプフローの低下がみられるものの、高性能減水剤の添加率の調整で所定の流動性を確保できることを確認した。



第 26 図 輸送管内の圧力計測結果の一例  
Fig. 26 A sample of measurement data of internal pressure

(4) 本工事において HSFRC の製造、運搬および打設を実施し、現場施工に対応可能な材料であることを確認した。

(5) 本工事での圧送結果から、実吐出量 21 m<sup>3</sup>/h におけるピストン前面圧は最大でも 1.25 MPa 程度であり、一般のコンクリートポンプ車の圧送能力（4.5 MPa 程度）で十分対応できることが分かった。

今後は、HSFRC の材料特性を生かした適用構造物の拡大を図るとともに、社会資本ストックの維持管理における既存構造物の補修・補強や更新技術などへの適用も視野に入れた技術開発を進めていく。

#### — 謝 辞 —

本報告に記載した「山王ジャンクション」上下部工事における HSFRC の適用に関しては、名古屋高速道路公社建設部の多大なるご協力およびご助言のもとに計画し実施された。また、HSFRC の製造および施工に関しては東海菱光株式会社、エルケム・ジャパン株式会社、株式会社デイ・シー、神鋼建材工業株式会社、そして、施工計画および実験計測については山王ジャンクション共同企業体職員、IHI 建機株式会社プロダクトサポート部、リブエンジニアリング株式会社試験研究所はじめ関係各位の多大なるご協力、ご支援のもと実施された。ここに記し、深く感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- (1) 社団法人土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案） 2004 年 10 月
- (2) 増田紅音，塩永亮介，山口隆一：高強度繊維補強コンクリートの引張軟化特性 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集 V-258 2008 年 9 月 pp. 515 - 516
- (3) 今村紅音，塩永亮介，山口隆一：膨張材が高強度繊維補強コンクリートの力学特性に与える影響 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集 V-324 2009 年 9 月 pp. 646 - 647
- (4) 社団法人土木学会：コンクリート標準示方書【設計編】 2008 年 3 月
- (5) 熊谷芳幸，田中大樹，嵯峨山剛，笠坊英彰：名古屋高速道路都心環状線山王ジャンクション拡幅工事の設計・施工（上） 橋梁と基礎 第 42 巻 第 10 号 2008 年 10 月 pp. 19 - 25
- (6) 小川幸久，森 久芳，上田和哉，多留彰男：名古屋高速道路都心環状線山王ジャンクション拡幅工事の設計・施工（下） 橋梁と基礎 第 42 巻 第 11 号 2008 年 11 月 pp. 5 - 10
- (7) 社団法人土木学会：コンクリートのポンプ施工指針 2000 年 2 月
- (8) 社団法人全国コンクリート圧送事業団体連合会：コンクリートポンプ圧送マニュアル 2006 年 8 月