

11. 高流動コンクリートを用いた鋼管柱への圧入施工実験

萩原 幸男 高見 錦一
崎山 和隆 山口 克彦
浅野 吉弘^{*1} 佐藤 善明^{*1}

要 旨

コンクリート充填鋼管構造の施工の要点は、コンクリートの品質を損なわずに鋼管柱内にコンクリートを充填させることにある。このたび、地上7階建ての病院建築において、内ダイアフラムを有する円形鋼管柱への圧入施工と、そのための模擬実験を行った結果、分離抵抗性のある高流動コンクリートを用いて圧入すれば、鋼管柱内に内ダイアフラムが多段存在していても品質面、施工性に大きな問題もなく、パネルゾーン部分にも密実にコンクリートが充填されることが分かった。

キーワード

コンクリート充填鋼管構造／C F T／高流動コンクリート／圧入／管内圧力損失係数／側圧

目 次

1. はじめに
2. 模擬施工実験
3. 実 施 工
4. 総 括

11. EXPERIMENTS OF CONCRETE INJECTION INTO STEEL PIPE COLUMN USING HIGH FLOWABLE CONCRETE

Yukio Hagiwara Kin-ichi Takami
Kazutaka Sakiyama Katsuhiko Yamaguchi
Yoshihiro Asano Yoshiaki Sato

Abstract

The key to construction of concrete injection steel pipe is concrete injection into the steel pipe without deteriorating the concrete quality.

As a result of concrete injection into circular steel pipe having internal diaphragms in a seven-story hospital building and simulation, it was found that the use of separation-resistant high flowable concrete caused the concrete to be injected densely even into the panel zone even when diaphragms existed at multiple stages in the pipe, without causing any problem with respect to quality or ease of construction.

* 東京本店建築部

1. はじめに

鋼管柱へコンクリートを充填するコンクリート充填鋼管構造 {CFT構造 (Concrete Filled Steel Tube)} は、超高層建築の要素技術として開発され、RC、S、SRCに次ぐ第4の構造と呼ばれている。この構造は、鋼管とコンクリートの相乗効果によって剛性や耐力、変形性能、耐火性能などが向上することから、高軸力・広スパンの建物に有効である。施工面においても型枠や鉄筋作業が不要となり、また、耐火被覆工事も削減できるため、近年急速に注目され普及している構造形態である。このCFT構造の施工の留意点は、コンクリートの品質を損なわずに鋼管柱内にコンクリートを充填させることにある。鋼管柱内にコンクリートを充填する方法としては、トレミー管を用いて上部より打設する工法と、鋼管柱下部に圧入口を設けて圧入する工法の2工法がある。圧入工法の場合は、ダイアフラムが内にあると充填しにくいいため、外ダイアフラム形式をとったりダイアフラムが内にあっても充填性を確保しやすい高流動コンクリートが使用されることが多い。このたび、埼玉県東松山市内に建設される7階建て病院建築において、円形鋼管柱内にコンクリートを圧入充填させる機会を得た。

本報告は、その実施に備えて、鋼管柱に高流動コンクリートを圧入充填する施工システムを構築するために行った模擬施工実験と実施工の結果について述べるものである。

2. 模擬施工実験

2.1 実験概要

2.1.1 目的

コンクリートを鋼管柱内に圧入するとき、次にあげる項目の検討が必要であった。

- 1) ダイアフラム周りのコンクリートの充填性
- 2) 鋼管柱に加わる側圧
- 3) 圧入時の管内圧力損失係数
- 4) 圧入によるコンクリートの品質変化

上記項目の検討の他、施工方法およびコンクリートの品質を確認することが必要なため実施工に先立ち模擬施工実験を行った。

2.1.2 試験体及びコンクリート打設方法

施工実験に用いた鋼管柱の形状・寸法を図-1に示す。実験は図-2に示すように125Aの輸送管を約100

m水平配管し、圧入口よりピストン式のポンプ車を用いて打設速度約40m³/hで圧入した。試験体の鋼管柱は、φ550mmで、コンクリート硬化後にダイアフラム部分で分割できるようにボルト止めで組立てた。高さは2フロア分の約7mであり、鋼管内にφ250mmの開口を持つダイアフラムを3枚ずつ2段設けた。試験体は2種類の高流動コンクリートを使用するため2体を用意した。

2.1.3 実験項目

ダイアフラム型圧力計を輸送管と鋼管柱に取り付け、管内圧力と鋼管柱の側圧を動ひずみ計で計測した。測定器を取り付けた位置を図-1に示す。また、圧入前後のコンクリートの品質変化を調査するために、荷卸し時と、圧入後柱頭部より試料を採取し、フレッシュコンクリートの性状確認試験と圧縮試験を実施した。さらに、スランプフローの経時変化を出荷時および現場到着後30分ごとに調べた。コンクリートの硬化を待っ

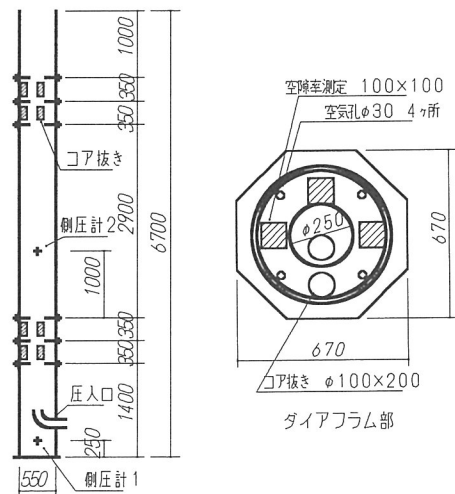


図-1 試験体形状・寸法

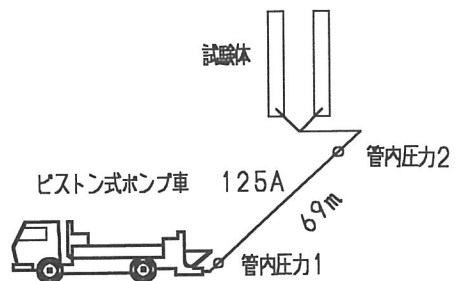


図-2 実験概要

て試験体をダイアフラム部分で分割し、コンクリートの充填状況を目視すると共に、ダイアフラム下面の空隙率を測定した。また、図－1に示す位置でコア抜きして材齢28日と91日の圧縮強度試験および骨材分布を調査した。実験項目と概要を表－1に示す。

2.1.4 使用コンクリート

製作した2体の試験体のうち、1体にはセルロースを主成分とする分離低減剤の高流動コンクリートを、もう1体には石灰石粉を使用した高流動コンクリートを打設した。調査は試験練りによって定めた。表－2にその調査を示す。

表－1 実験項目・概要

実験項目	実験概要
フレッシュコンクリートの性状 (スランプフロー/50cmフロー時間/空気量/単位容積質量/コンクリート温度/分離抵抗性)	圧入前後 経時変化
管内圧力	輸送管に圧力計を2ヶ所取り付け計測
鋼管柱に加わる側圧	鋼管柱に圧力計を取り付けて計測
圧縮強度	圧入前後 標準養生 現場封緘養生 材齢7日と 現場水中養生 材齢28日
コア強度	中央部/周辺部 材齢28日
ダイアフラム下面空隙率	ダイアフラム下面の100×100mmの範囲で空隙を3ヶ所トレス後、面積率を算出

表－2 コンクリートの調査

調査名	W/P (W/C) %	単位 粗骨材 かさ容積 (m ³ ×m ³)	単位量 (kgf/m ³)				高性能 AE 減水剤 P×%
			水	セメント	石灰 石粉	分離 低減 剤	
分離 低減剤系	55.0	0.54	180	327	—	0.5	2.1
石灰 石粉系	35.0 (50.0)	0.54	170	340	146	—	1.5

2.2 実験結果

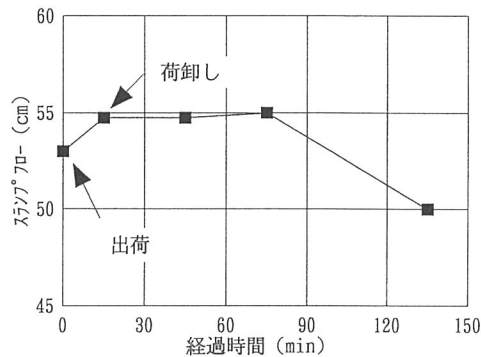
2.2.1 フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表－3に示す。圧入後のスランプフローは、分離低減剤系高流動コンクリートで約5cm、石灰石粉系高流動コンクリートで約10cm低下した。これはモルタル分が鋼管内面に付着したためと推察される。その他の空気量等については圧入前後による変化は認められず、圧入後の試料を目視したところでは分離抵抗性もほぼ良好であった。ス

ランプフローの経時変化を図－3に示す。分離低減剤系のコンクリートでは練り混ぜ後約80分までは大きな変化はなく、約90分まではほぼ目標値以内にあった。このことから、練り混ぜ後90分以内に、コンクリート打設を終了するように施工計画を立てることが必要との感触を得た。

表－3 フレッシュコンクリートの試験結果

試験項目	分離低減剤		石灰石粉	
	荷降し	圧入後	荷降し	圧入後
スランプフロー (cm)	56×53.5	51×50.5	72×69	61×60
50cmフロー時間 (sec)	8.0	8.8	6.0	(1.50)
空気量	4.8	4.7	3.5	3.2
単位容積質量 (t/m ³)	2.292	2.302	2.377	2.344
con温度 (°C)	11.0	7.5	11.0	8.0
分離抵抗性	良好	良好	良好	良好



図－3 スランプフローの経時変化

2.2.2 圧縮強度

圧入前後の供試体の圧縮強度は、図－4に示すように、差異は認められなかった。養生方法別の圧縮強度試験結果を図－5に示す。分離低減剤系では現場封かん養生と現場水中養生がほぼ同等の値を示し、石灰石粉系では現場封かん養生が現場水中養生より小さな値を示した。またその値は91日コア強度とほぼ同等の値を示したことから、強度管理の養生方法としては、現場封かん養生が良いという感触を得た。採取高さと強度の関係を図－6に示す。両試験体とも下部で強度が高く、上部で低い傾向が見られた。これは、鋼管柱下部ではコンクリート自重による圧力が加わったため強度が上昇したものと思われる。パネルゾーンの中央部と周辺部でのコア強度の試験結果を図－7に示す。パネルゾーン周辺部においてはダイアフラムによるスクリーニングや充填不良、空気の巻き込みによるコンクリートの強度低下が懸念されたが、分離低減剤系では

鋼管柱周辺部と中央部の間に大きな強度差は認められなかった。石灰石粉系の4週強度で周辺部が中央部に比べ、10パーセント程度の強度低下があったが、13週では強度低下がなかったことから大きな問題となるものではないと考えられる。また、ヤング係数は学会推定式には近い数値を示した（図-8）。

2.2.3 管内圧力と側圧

計画吐出量を35 m^3/h とし、水平配管部の2カ所にダイアフラム型圧力計を取り付け、管内圧力を動ひずみ計で計測した。管内圧力損失係数を図-9に示す。管内圧力損失係数は、通常のコンクリートと比較して分離低減剤系で約3倍、石灰石粉系で約1.5倍の値を示した。これは、分離低減剤系のほうが石灰石粉系に比べ、粘性が強くスランプフローの値が小さかったた

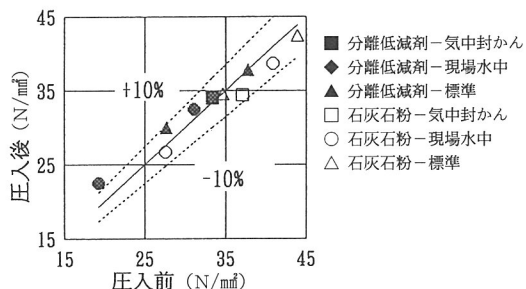


図-4 圧入前後の圧縮強度

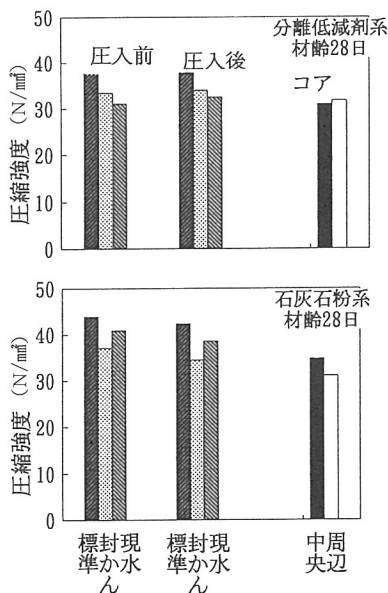


図-5 養生方法と強度

めと推察される。図-10に圧入口の上部、2.6mの位置に取り付けた側圧計2で計測した分離低減剤系の側圧を示す。側圧は、脈動を繰り返しながらコンクリートヘッドの上昇に伴いほぼ直線的に増大し、液圧と比較して約1.8倍と大きな値を示した。これは、使用したコンクリートの粘性が大きかったこと、打設速度が速かったためだと推察される。なお、コンクリートヘッドが各ダイアフラム部分を通過する際に管内圧力や側圧の上昇が懸念されたが、今回の測定ではその兆候は認められなかった。

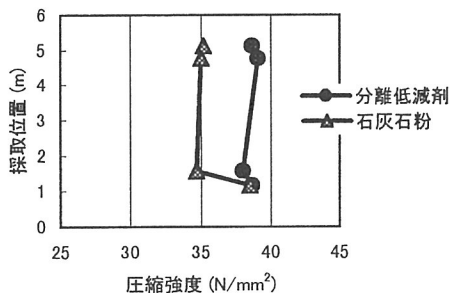


図-6 採取高さと圧縮強度

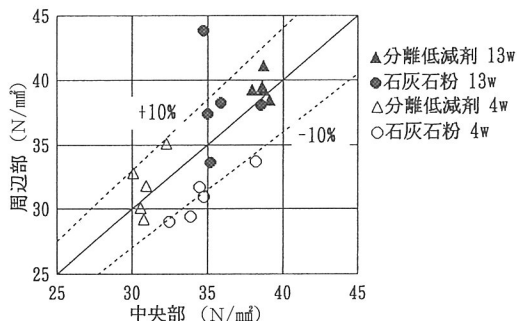


図-7 鋼管柱周辺部と中央部のコア強度

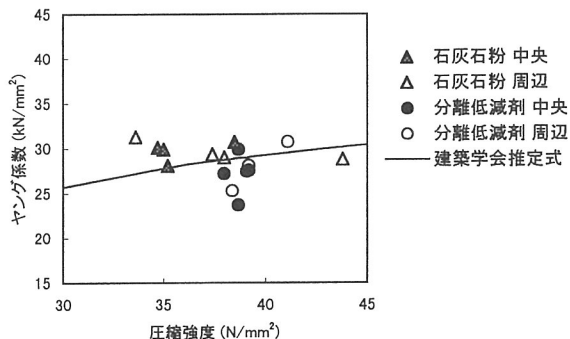


図-8 圧縮強度とヤング係数との関係

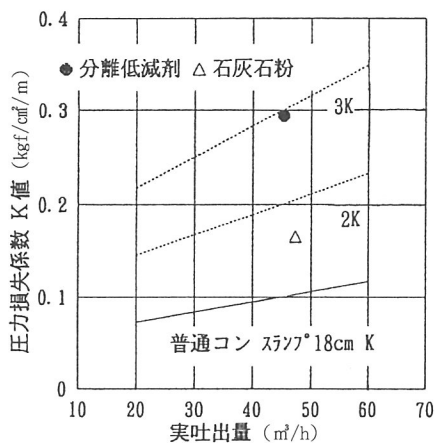


図-9 圧力損失係数

2.2.4 充填状況

圧入時にコンクリートの上昇状況を柱頭部より観察したところ、ダイアフラム孔と空気孔よりほぼ同時にコンクリートが吹き出した。柱頭部における沈降量を打設後20時間で調べたが1mm以下であった。コンクリートの充填状況を目視で観察したところ、ダイアフラムの下面において、空気の巻き込みと思われる深さ1.5mm以下の小さな空隙が均等に分布しているのが認められた。しかし、ブリーディングや沈降によると思われる空隙はなく、コンクリートが十分密実に充填されていた。空隙面積率を測定した結果を図-11、図-12に示す。測定位置が上部になるとやや空気の巻き込みが大きくなる傾向にあるが、いずれの空隙面積率も10%以下であった。コア試験体の端面の骨材分布を測定した結果を図-13に示す。採取位置による明瞭な差異はなくこの程度のダイアフラムの間隔であれば、骨材のスクリーニングにもあまり影響しないのではないかと推察される。

2.3 まとめ

模擬施工実験において以下の知見が得られた。

- ・両コンクリートとも鋼管柱内に圧入することによりモルタルペースト分が減少し、スランプフローが低下する。しかし、その他の性状・強度については、圧入前後での変化はない。
- ・ダイアフラム周りにおいても、大きな強度低下はない。
- ・吐出量40m³/h（打ち上げ速さ約3m/分）の場合、圧力損失係数は普通コンクリートに比べ非常に大きくなり、石灰石粉系で1.5倍、分離低減剤系で3倍

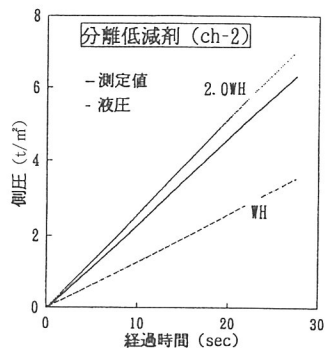


図-10 鋼管柱に加わる側圧

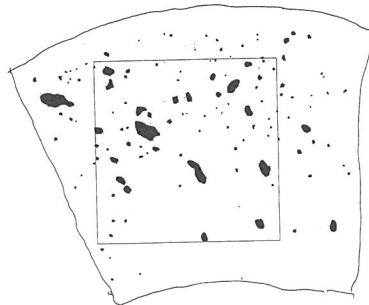


図-11 ダイアフラム下面の空隙測定 (100cm² 内 石灰石粉系)

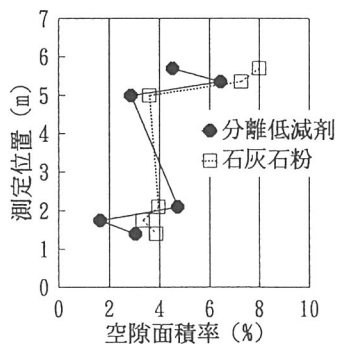


図-12 空隙面積率

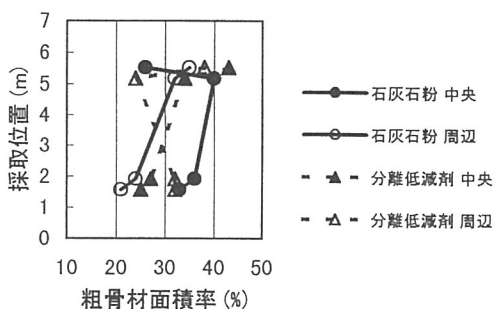


図-13 採取高さで骨材面積率

の値を示す。また、鋼管柱に加わる側圧も液体圧の1.8倍という大きな値となる。

・開口率が20％程度の内ダイヤフラムが接近して多段存在しても、コンクリートの充填性には問題はない。ブリーディングが少なく、分離抵抗性のある高流動コンクリートを圧入すれば、高流動コンクリートの種類に関係なくダイヤフラム下面にもコンクリートが十分に充填され、コンクリートの品質にも問題がないことが分かった。しかし、ダイヤフラム下面に空気の巻き込みと思われる空隙が存在したこと、管内圧力損失係数と側圧が大きかったことを考えると、コンクリートの打ち上げ速さを小さくする必要があると思われる。

3. 実施工

3.1 工事概要

S R C 構造の病院建築（地上7階建て、延べ面積7838㎡）の建物外周にある円形鋼管柱12本の2階柱頭部から6階柱脚部に高流動コンクリート（設計基準強度N/cm²）を用いてポンプ圧入した。鋼管柱のサイズは、φ550.8×19～22mm、圧入高さは14.6m、柱1本に必要なコンクリートは約3.6㎡で圧入口は2階の柱頭部に設け、施工は1日で行った。圧入工事概要を図-14に、圧入する柱位置と圧入順序を図-15に示す。コンクリートは模擬施工実験では分離低減剤系、石灰石粉系とも良好な結果が得られたが、プラントの対応等を考慮し分離低減剤系の高流動コンクリートを使用することとした。調査はプラントの試験室での試験練りにより定めた。計画調査を表-4にフレッシュコンクリートの基準値を表-5に示す。

3.1.1 管理項目

模擬施工実験の結果より、管理項目としてフレッシュコンクリートの性状と圧入速度が重要であると判断したため、表-5～7の項目によって管理を行った。

3.1.2 計測項目

模擬施工実験の検証を行うために鋼管柱に加わる側圧と、ポンプの管内圧力を最初に圧入を行った柱で計測をした。

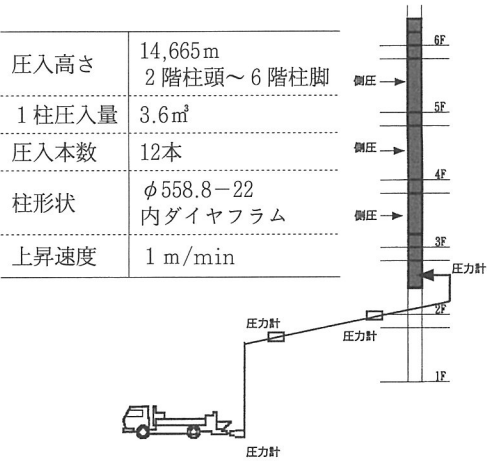


図-14 圧入工事概要

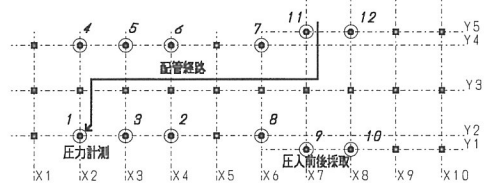


図-15 圧入する柱位置と圧入順序

表-4 調査計画

W/P (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位粗骨材かさ容積 (m³/m³)	単位水量 (kg/m³)	混和剤 P×%
55.0	51.7	4.5	0.54	180	2.3

表-5 フレッシュコンクリートの管理項目と基準値

項目	基準値	採取位置	頻度
スランプフロー	60±5 cm	荷卸し	全生コン車
		柱頭	強度試験体作製時
50cmフロー時	—	荷卸し	全生コン車
空気量	4.5±1.5%	荷卸し	強度試験体作製時
		柱頭	
分離抵抗性	目視で分離が認められないこと	荷卸し 柱頭	全生コン車
con温度	35℃以下	荷卸し	強度試験体作製時
		柱頭	
塩化物量	塩化物イオン量で0.3kg/m³以下	荷卸し	1回/日
単位容積質量	—	荷卸し	圧力計測時

表－6 コンクリートの圧縮強度管理項目

採取位置	試験方法	頻 度	判 定 基 準
荷卸し	JIS A 1108 標準養生 材齢28日	打設日毎	・ 1回の試験結果は指定した呼び強度の85%以上 ・ 3回の試験結果の平均値は、呼び強度以上
柱 頭	同上	圧 力 計測時	・ 荷卸の強度と差がないこと

3.2 計測結果

3.2.1 フレッシュコンクリートの性状・物性

(1) フレッシュコンクリートの性状

荷卸し時点で採取した試料のスランプフロー、および50cmフロー速度試験結果を図－16、図－17に示す。コンクリートは出荷から約20～30分で現場に到着している。1車目が若干硬めであったが、全車で管理項目を満足しており、分離していることもなかった。

(2) 圧入前後のフレッシュコンクリートの変化

X 7－Y 1 の柱を打設する際に1車のアジテータ車から荷卸し時と柱頭部より試料を採取し、フレッシュ時の性状の変化を調べた。その結果、スランプフローは約20cm低下したが、その他の性状の変化は認められなかった。この傾向は模擬施工実験でも認められ、圧入されるコンクリートの先端部分においてペースト分が鋼管柱内面に付着することに起因すると考えられる。

(3) コンクリートの圧縮試験強度

表－8に圧縮強度の試験結果を示す。材齢28日強度は設計基準強度と調合強度を満足している。また、圧入前後での標準養生の圧縮強度を図－18に示すが、差異は認められなかった。

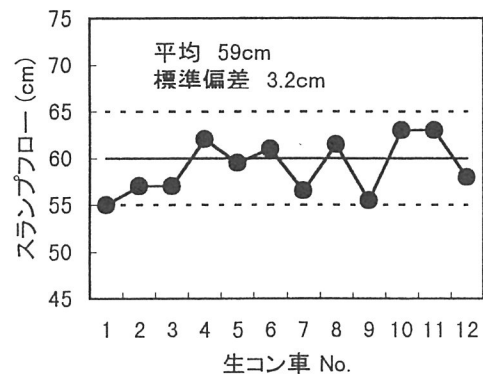
3.2.2 施工性

(1) 圧入施工

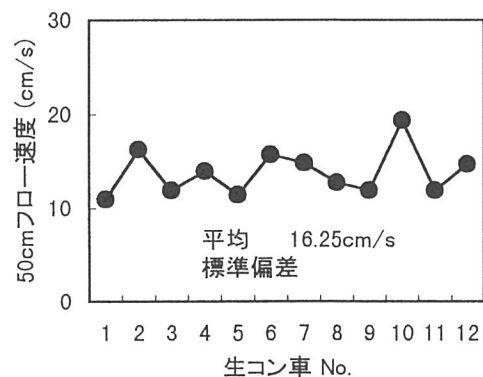
圧入は、荷卸し時のフレッシュ性状を確認し、1柱分のコンクリート量を確認した後にコンクリートの打ち上がり高さが1m/分程度（打設速度約20m³/h）となるように圧入を行った。打ち上がり高さは、鋼管柱に1mごとに開けたφ6mmのコンクリート充填確認孔からのモルタルの流出を、各階に配置した人間によって目視で確認しながら、その結果を随時ポンプ車のオ

表－7 圧入施工の管理項目

項 目	方 法	頻度
コンクリート 上昇速度	充填確認孔からのモルタル流出と時間を計測	全柱
ポンプ主油圧	ポンプ車のポンプ油圧計を監視	圧入中
エンジン回転率	ポンプ車のポンプエンジン回転数を監視	圧入中



図－16 スランプフローの日間変動



図－17 フロー速度の日間変動

表－8 圧縮強度試験結果

材 齢	(N/mm ²)			
	荷卸し	現場水中		
	1	2	3	4
7 日	27.9	28.3	26.6	27.6
28日	36.8	37.6	35.8	36.7

ペレーターに連絡した。あわせてポンプの主油圧と吐出量計によって管理を行った。その結果、一定の速度でコンクリートを打設でき、鋼管柱内での閉塞もなく、施工性としては良好であった。

(2) 輸送管内圧力

図-14に示すように水平配管の輸送管端部と圧入口に圧力計を取り付けて、管内圧力の測定を行った。実吐出量に関しては、理論吐出量の0.9倍として計算した。コンクリートの圧入はほぼ一定の吐出量（約20 m^3/h ）で打設したが、管内圧力はコンクリートヘッドの上昇と共に増大した。これは、鋼管柱に加わる側圧の影響によるものと推察される。図-19に管内圧力分布を示す。輸送距離をベンド管では管長の3倍、フレキシブルホースでは2倍に換算するとほぼ直線になり、適用した「日本建築学会 コンクリートポンプ工法施工 指針」式が適正であったことが分かる。図-20に圧力損失係数を示す。模擬施工実験では通常の普通コンクリート（スランプ18 cm 、輸送管125A）の3倍の値を示したが、実施工では約2倍の値であった。これは、実施工では模擬施工実験時よりフレッシュ時のスランプフローが大きく、50 cm フロー時間も短かったためだと考える。

(3) 鋼管柱側圧

X 2-Y 2柱の各階中央部と圧入口にダイヤフラム型圧力計を取り付けて動ひずみ計で、50 msec 毎に鋼管柱に加わる側圧を測定した。計測は鋼管柱内にコンクリートを約80 cm 打設してから開始し、圧入後 約5秒間まで行った。その結果、図-21に示すようにダイヤフラム部通過時点の特異な側圧上昇もなく、一定の脈動を繰り返しながら時間（打ち上がり高さ）と共に上昇し、打設終了した直後では、液圧の値を示した。側圧は模擬施工実験では液圧の1.8倍の側圧を示したが、図-22に示すように実施工では圧入口位置で最大、液圧の約1.25倍でありその他の部分では5%程度の上昇に留まった。これは、圧入速度が模擬施工実験では、約45 m^3/h であったのに対して、実施工では約20 m^3/h と低速で施工したこと、コンクリートのスランプフローが5 cm 大きく、スランプフロー速度で10 cm 速かったためだと考えられる。

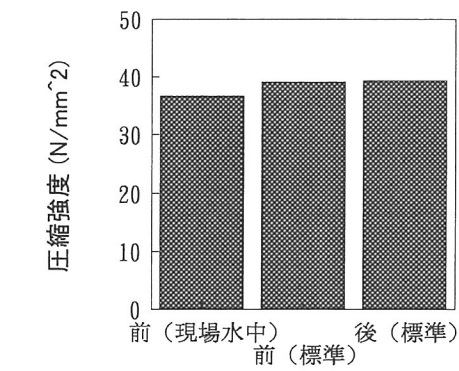


図-18 圧入前後の4週強度

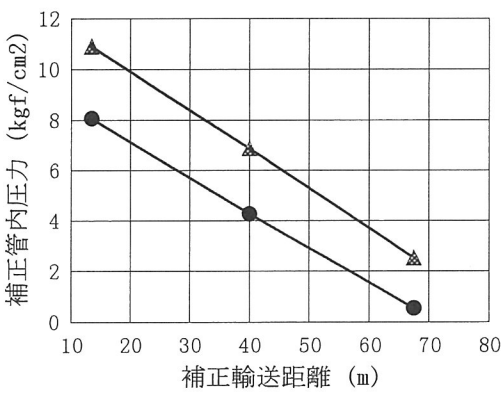


図-19 管内圧力分布

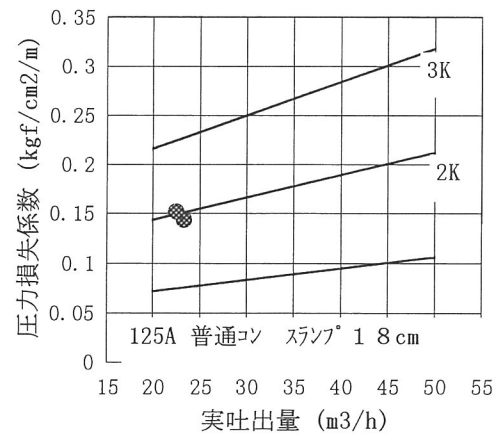


図-20 圧力損失係数

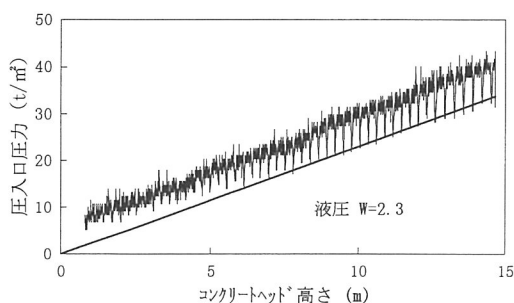


図-21 圧入口圧力と液圧

4. 総 括

コンクリート充填鋼管構造の鋼管柱へのポンプ圧入施工に関して、高流動コンクリートを用いて模擬施工実験と実施工を行った結果、以下のことが分かった。

- 1) 分離抵抗性の大きい、ワーカビリティの良いスランプフロー60cm程度の高流動コンクリートを圧入した場合、スランプフローは低下するがその他の性状には大きな変化は見られない。
- 2) 開口率が20%程度のダイアフラムが接近して設けられていても、ダイアフラム下面には十分にコンクリートが充填される。
- 3) 鋼管柱に加わる側圧は、コンクリートの粘性と打ち上がり速さに大きく関係する。スランプフロー55cmのものを打設速度45 m³/hで打設した場合、液圧の1.8倍の値を示し、スランプフロー60cmのコンクリートを20 m³/hで打設した場合、液圧の1.25倍の値を示した。

今回の模擬施工実験および実施工において、分離抵抗性の大きい、ワーカビリティが良好な高流動コンクリートを打ち上がり速さ1 m/分程度の早さで圧入した場合、内ダイアフラムが接近して多段存在する鋼管柱においても、コンクリートが十分密実に充填され、コンクリートの品質にも大きな問題が生じないことが分かった。今後、実施工を重ねることで、圧入速度(打ち上がり速さ)と側圧との関係、ダイアフラムの形状とコンクリートの充填性などを明確にしていきたい。

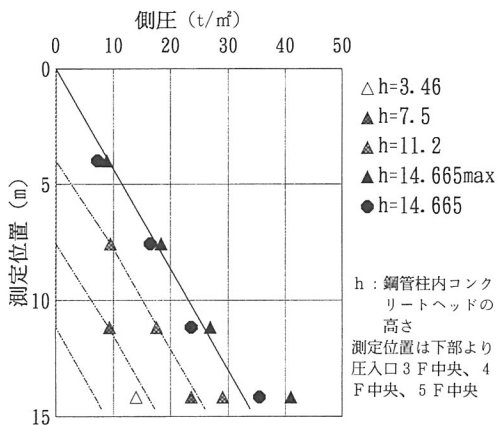


図-22 測定位置と側圧

[参考文献]

- 1) (社)新都市ハウジング協会：CFT構造技術指針・同解説
- 2) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造の施工指針(案)・同解説
- 3) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説