

高流動コンクリートによる鋼管柱ポンプ圧入工法

大池 武 時野谷 浩 良 神代 泰 道
高橋 泰 彦 中 根 淳

Filling Self-compactable Concrete into Hollow Section Columns by Pumping-up Injection Method

Takeshi Ohike Hiroyoshi Tokinoya Yasumichi Koushiro
Yasuhiko Takahashi Sunao Nakane

Abstract

The concrete in concrete-filled steel columns (CFT) must be adequately compacted. To achieve the required compaction, by the pumping-up injection method, careful column design, concrete quality and construction management are essential. These factors have been investigated, and a systematic pumping-up injection method has been developed on the basis of test data and results achieved in actual constructions. The objectives of this research were to check the system's application with self-compactable concrete to CFTs, and to make any necessary adjustments to it.

Tests were conducted by filling self-compactable concrete into a 20 m-high rectangular hollow section column having inner stiffeners. The important points of this pumping-up injection method were systematized into a checklist derived from the test results. This paper also describes an actual application of self-compactable concrete to a real building.

概 要

鋼管コンクリート構造では、鋼管内部のコンクリートの充填性が施工上の重要課題である。コンクリートの打設をポンプ圧入工法で行う場合には、綿密な鋼管柱の設計、コンクリートの品質および施工管理が不可欠である。これまで主に高強度コンクリートを対象として、模型実験や実建物の施工実績から、ポンプ圧入工法の要点を整理・システム化してきた。本研究の目的は、高流動コンクリートを鋼管コンクリート構造柱へのポンプ圧入工法に適用し、新たなシステムの構築を図ることである。

本報告では、内ダイアフラムを有する高さ 20 m の角形鋼管柱に高流動コンクリートを圧入施工し、これまでのシステムの高流動コンクリートに対する適用性を検討している。これに基づき、ポンプ圧入工法の要点を新たにチェックリストの形式にまとめた。併せて、高流動コンクリートによる実施工の事例を紹介している。

1. はじめに

鋼管の内部にコンクリートを打設し、鋼管と一体化した鋼管コンクリート構造柱では、鋼管内部のコンクリートの充填性を確保することが施工上の重要課題である。コンクリートの打設工法は、作業性や経済性の理由から、鋼管の下部からコンクリートポンプ車の圧力で一気に打ち上げるポンプ圧入工法とする場合が多い。この工法では、

- ① 鋼管柱の断面設計
- ② コンクリートの品質
- ③ 施工管理

のいずれかが不適切だと、次のような不具合が生じる危険性がある。

- Ⓐ ダイアフラム位置でのコンクリートの閉そく
- Ⓑ ダイアフラム下面の空隙の発生
- Ⓒ 圧入圧力による鋼管の降伏や有害な変形の発生

筆者等は、これらの問題のうちダイアフラム下面の空隙の発生は、ブリーディングとこれに伴う沈降の影響が支配的であることを模型実験により明らかにするとともに、調合上の対策、すなわち、低水セメント比化あるいは分離低減剤混入によって解決できることを示したり。また、コンクリートの閉塞、鋼管の降伏や有害な変形などを含めた施工上の不具合をなくす圧入施工のシステム化を実施工を通して進めてきた。一方、流動性が高く、材料分離のない高流動コンクリートは、コンクリート工事の省力化や構造物の高品質化を図る有効な手段として近年特に注目されている。

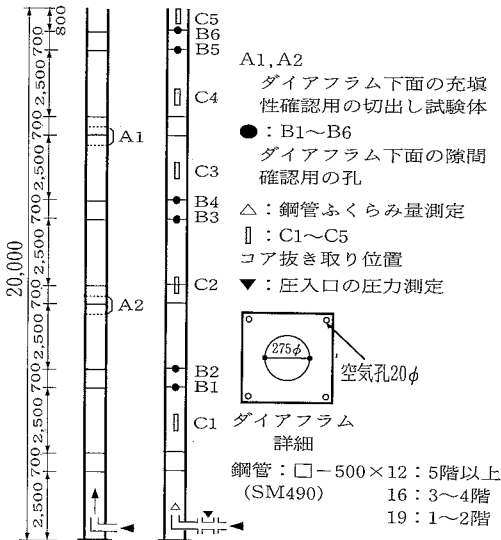


図-1 試験体の形状・寸法

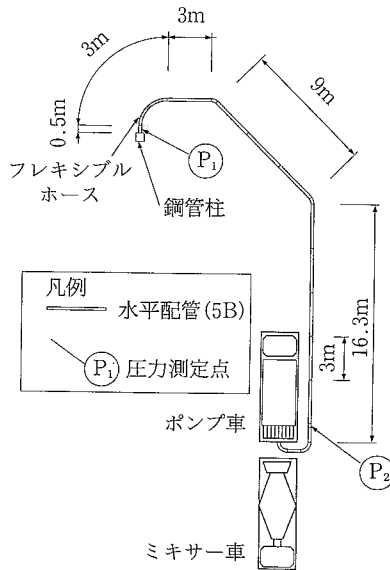


図-2 輸送管の配管

表-1 コンクリートの目標性能

項目	性能
スランプフロー	60±10 cm
空気量	2 ± 1 %
0 ロート 流下時間 ²⁾	7 ~ 15秒

表-2 コンクリートの使用材料

セメント	高炉B種セメント
骨材	プラント常用骨材を使用
分離低減剤	多糖類天然高分子
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系

表-3 コンクリートの調合

水セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	重 量 (kg/m ³)					高性能 AE 減水剤 (C * %)
		単位 水量	単位 セメント量	単位 細骨材量	単位 粗骨材量	分離 低減剤	
35.4	47.5	170	480	800	923	0.75	2.6

本研究は、高流動コンクリートを用いる鋼管コンクリート構造柱の施工システムの構築を目的としている。

この高流動コンクリートには、セメントも含めたコンクリート中の粉体量が多い粉体系、多粉体量と分離低減剤を併用する併用系、粉体量が少ないものに増粘剤を用いる増粘剤系の3種類がある。

本報告では、内ダイアフラムを有する高さ20mの角形鋼管柱に併用系高流動コンクリートを圧入施工し(実大施工実験)、これに基づき、ポンプ圧入工法の要点をチェックリストの形式にまとめた。併せて、実際の現場における高流動コンクリートによる施工の例を紹介する。

2. ポンプ圧入工法のシステム化

ポンプ圧入工法に関するこれまでの研究および施工実績から、本工法の要点を鋼管柱の断面設計、コンクリートの品質、施工の3面から分類・整理する。

まず、鋼管柱の設計では、ダイアフラムおよび圧入口の設計が大きな要素となる。ダイアフラムでは鋼管柱断面積に対するダイアフラム孔の開口率が大きな要素であり、コンクリートが閉塞しない大きさとする。また、四隅にはダイアフラム下面に空気溜まりを避けるため空気孔をもうける必要がある。圧入口は作業性を考慮して設置高さを定め、かつ、圧入終了後のコンクリートの逆流防止弁を設ける。

次に、コンクリートの品質では、ポンプ圧入工法に耐えうる流動性と材料分離抵抗性を持たせる必要がある。また、これらの性能はダイアフラム下面の充填性確保にもつながるものである。この意味で高流動コンクリートの適用が不可欠と言える。さらに、調合の決定に当たっては供給予定の生コンプラントでの性能の確認が必要である。

施工では、鋼管柱建て方時に異物・雨水の混入防止策

を取ることは当然である。圧入施工に備えて、施工体制、ポンプ車の選定、圧入速度、配管計画ならびに生コンの供給計画などの綿密な施工計画の立案が必要である。

3. 実大施工実験

3.1 実験概要

施工実験は、ポンプ圧入工法の施工システムを検証することを目的とし、実施時期は施工条件として厳しい暑中とした。

施工実験に用いた鋼管柱の形状・寸法を図-1に示す。鋼管柱の高さは20mとし、階高およびダイアフラムの間隔を通常の建物よりも短くしている。また、コンクリートが通過するダイアフラム孔は、施工性を考慮して標準的な寸法としている。図-1中の記号は、各種試験の測定位置を示している。コンクリートの輸送管の配管を図-2に示す。コンクリートは、粉体(セメント)と分離低減剤を用いた併用系の高流動コンクリートとし、その目標性能を表-1に、使用材料を表-2に示す。目標性能のうち、スランプフローは標準的な値を採用している。また、0ロート流下時間は粘性評価のための参考値として扱っている。調合は表-3のように定め、実機試験練りによって目標性能が満足できることを確認した。コンクリートの物性試験および実大圧入施工実験における試験項目を一覧にして表-4に示す。

表-4 試験項目

項目	試験項目
フレッシュコンクリート (製造時, 荷卸時, 柱頭部)	スランプフロー フロー時間 空気量 Oロート流下試験
硬化コンクリート	圧縮強度および静弾性係数
圧入施工時	ポンプ配管圧力 鋼管柱側圧 鋼管柱の変形
圧入施工後	柱頭部での沈降量, プリーディング ダイヤフラム下端の充填性 コンクリート強度の高さ方向の分布

表-6 硬化コンクリートの圧縮強度試験結果

採取位置	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (*10 ⁴ N/mm ²)	
荷卸時	66.6	3.37	
荷卸時	66.3	3.58	
柱頭部	64.2	3.63	
コア	C1	66.5	3.43
	C2	57.2	3.45
	C3	64.5	3.23
	C4	55.9	3.28
	C5	64.0	3.21

3.2 結果と考察

3.2.1 コンクリート フレッシュコンクリートの性状に関する試験結果を表-5に示す。表に示すように、製造時、荷卸時とも目標性能を満足することができた。製造後から荷卸時まで約40分であるが、スランプフローのロスが8~10 cmとやや大きい。これは、外気温が高くコンクリート温度も34°C程度と高いことが原因と考えられる。柱頭部で採取したコンクリートのスランプフローは、鋼管柱内部上昇による低下があり、荷卸時のものに比べかなりダウンしている。このように、暑中という施工条件でのフレッシュコンクリートの品質変化を把握することができた。荷卸時においてスランプフローの低下が著しい場合には、混和剤の後添加による流動性の回復対策が必要である。

硬化コンクリートの試験結果を表-6に示す。出荷時、荷卸時および柱頭部での強度差はなく、併用系高流動コンクリートの水セメント比が比較的小さいことから、いずれも標準水中養生で60N/mm²を上回る圧縮強度が得られた。一方、コア強度(図-1参照C1~C5)を見ると、一般に指摘される圧密の影響による高さ方向におけるコンクリート強度の差は見られず、一様な強度分布であった。

3.2.2 鋼管柱の圧力と応力・ふくらみの評価法 これまで圧入中の鋼管に作用する圧力は、コンクリートを比重Wの液体と見なして算定(液圧換算)している。また、

表-5 フレッシュコンクリートの試験結果

車番 No.	採取位置	スランプ フロー (cm)	フロー 時間 (秒)	空気量 (%)	Oロート 流下時間 (秒)	コンクリート 温度 (°C)
1	製造時	65.5	3.9	1.8	8.7	31.0
	荷卸時	55.3	4.1	1.7	5.8	34.0
2	製造時	66.3	5.6	1.5	8.2	32.0
	荷卸時	58.0	5.1	1.9	10.0	34.0
	柱頭部	40.0	—	1.3	15.6	33.5

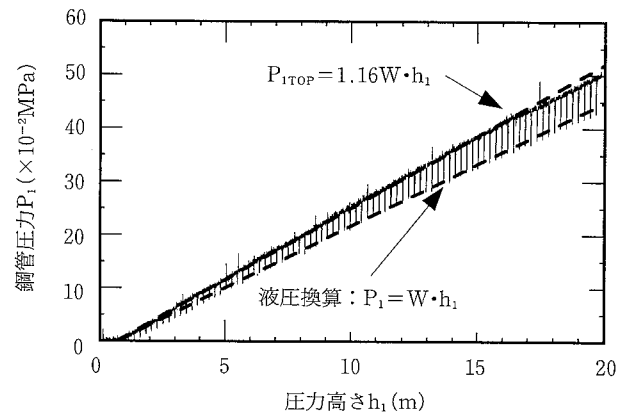
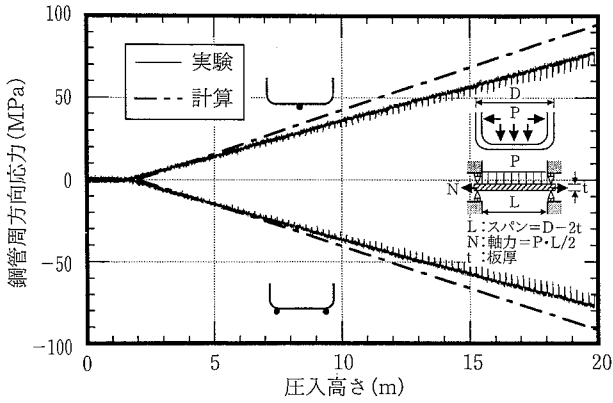


図-3 鋼管圧力-圧入高さ関係

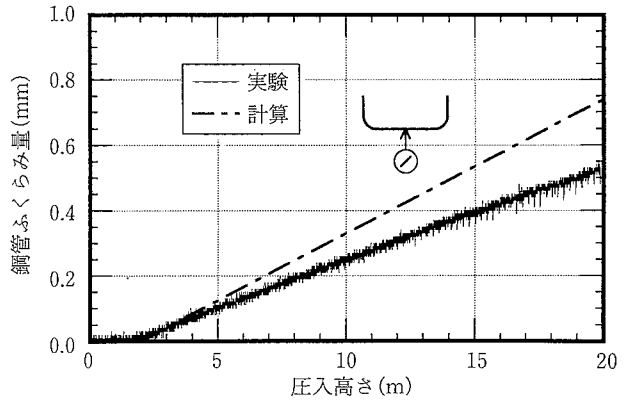
鋼管に生じる応力およびふくらみは、鋼管断面の一端を軸力と曲げを同時に受ける両端固定の部材に置換し算定している。なお、圧入によって生じた鋼管応力がコンクリートの硬化に伴い、どのように変化するかについてのデータは不十分であった。

図-3に、圧入時における圧入口の圧力P₁(図-2参照)と圧入高さh₁との関係を示す。ここで、P₁は鋼管柱の脚部に作用する圧力に等しい。圧力は脈動しているが、その頂部・底部ともに、圧入高さの増加とともに直線的に増加している。図中の点線は、液圧換算値を示しているが、脈動頂部の圧力は液圧換算値よりも16%程高い。したがって、鋼管に発生する応力やふくらみを安全側に評価するには、鋼管圧力を液圧換算値の20%増とする必要がある。なお、この値はコンクリートの調合や圧入速度などの施工条件により変化するので、本実験と同程度の施工条件に適用範囲を限定しておく。

圧入中の鋼管柱の挙動を図-4に示す。図中(a)は、鋼管の外表面のひずみゲージの出力値から算出した周方向応力と圧入高さとの関係を示す。鋼管角部のデータは2箇所の平均値で示している。図中(b)はふくらみ量と、圧入高さとの関係を示す。周方向応力は圧入高さに比例して増加し、圧入完了時には鋼管中央部と角部とも78 MPa(=鋼管の基準強度の24%)である。ふくらみ量も圧入高さに比例し、圧入完了時には0.54 mm(=鋼管径の約1/1,000)である。図中の鎖線は、前述の部材モデ

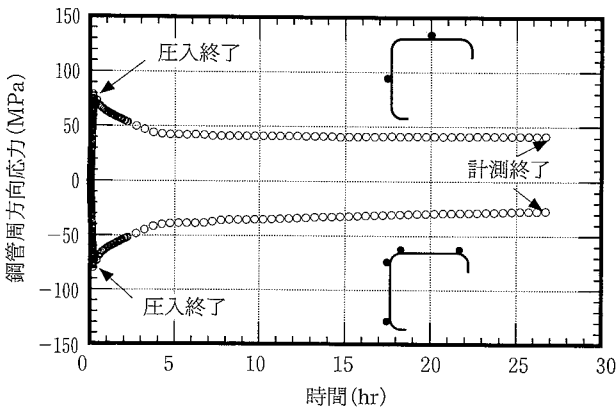


(a) 鋼管周方向応力-圧入高さ関係

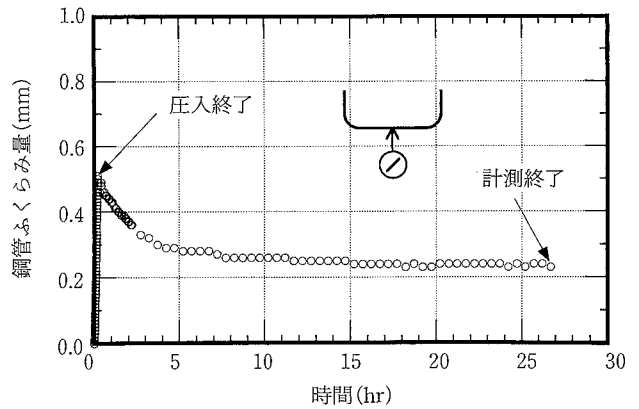


(b) 鋼管のふくらみ量-圧入高さ関係

図-4 圧入中の鋼管の挙動



(a) 周方向応力



(b) ふくらみ

図-5 鋼管の応力およびふくらみの経時変化

ルに図-3中の評価式で求めた圧力が等分布に作用するとして算出した周方向応力およびふくらみ量の計算値である。圧入完了時で見ると、計算値は実験値よりも周方向応力で18%、ふくらみ量で37%高い。精度は悪いが、本モデルは周方向応力およびふくらみ量を安全側に評価できる。

圧入完了後の鋼管挙動の経時変化を図-5に示す。周方向応力とふくらみ量は、圧入完了後5時間経過時には圧入完了直後の半分以下に減少している。これ以後も緩やかに減少し続け、24時間経過時に周方向応力は鋼管中央部で39 MPa(=基準強度の12%)、角部で33 MPa(同10%)であり、ふくらみ量は0.23 mm(=鋼管径の1/2,500)であった。

3.2.3 コンクリート輸送管中の圧力損失 圧入時の高流動コンクリートの輸送管中の圧力損失について検討する。

図-6に、輸送管部の圧力損失($P_2 - P_1 : P_1$, P_2 は図-2参照)と、圧入高さの関係を示す。圧力は脈動しているが、脈動の頂部・底部は打設高さによる変動は少ない。

文献3)に従い算出した、輸送管1m当たりの圧力損失Kを図中の点線で示す。Kは0.012~0.015 MPa/m程度である。普通コンクリート(スランプ15 cm)で、同一圧送条件(吐出量約30 m³/hr, 配管径5B)の場合の0.01

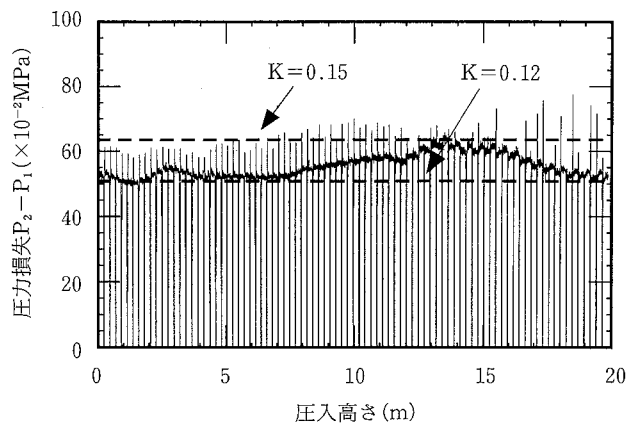


図-6 輸送管中の圧力損失-圧入高さ関係

MPa/m と比べて20%以上高い。

3.2.4 充填性の確認 充填性の確認は柱頭部でのブリーディング、沈降量の測定ならびにダイアフラム部の充填状況を観察して行っている。柱頭部におけるコンクリート天端の沈降は打設後3時間程度で停止し、24時間後の沈降量は1 mm以下、鋼管柱全高の1/20,000と極めてわずかであった。一方、ブリーディングは全く認められず、併用系の高流動コンクリートの効果と言える。

ダイアフラム下面の空隙調査は、あらかじめダイアフ

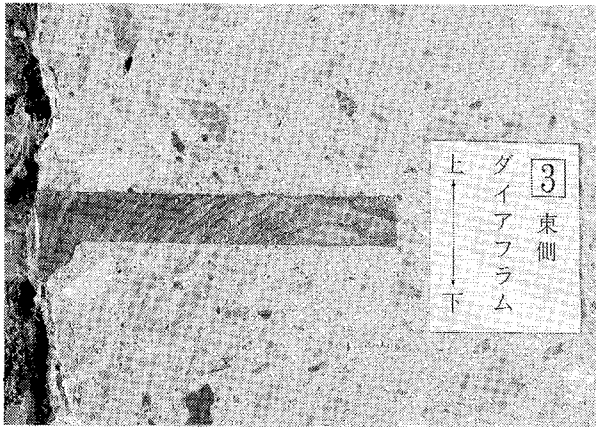


写真-1 ダイアフラム下面の充填状況

ラム下面の状況が観察できる観察孔（図-1中のB1～B6）と、ダイアフラム部を含む鋼管柱を切り出し（図-1中のA1, A2）、直接観察した。この結果、観察孔からは空隙は見られず、また、直接観察では写真-1に示すように、粗骨材の偏在もなく、ダイアフラム下面の空隙も全く認められず、高い充填性を示した。

4. ポンプ圧入工法要点のチェックリスト

実大施工実験から得た新たな知見を加えて、鋼管柱の断面設計、コンクリートの品質、施工面に分類したポンプ圧入工法のチェックリストを作成し、図-7に示す。このチェックリストは、高流動コンクリートを用いた鋼管柱ポンプ圧入工法において適用することができる。このチェックリストに基づきポンプ圧入工法を行うことによって、鋼管柱内部での閉塞、未充填部の発生、鋼管柱の変形などの施工上の不具合を防止できる。

5. 実施工への適用事例

鋼管コンクリート構造の事務所ビル（地上9階建て、軒高35m、延べ面積10,400m²）において、鋼管柱ポンプ圧入工法を適用した事例を示す。圧入施工は、□-550（15本）、□-650（3本）の2種類の鋼管柱全18本（圧入高さ35m、コンクリート総量175m³）を2日間で行った。ポンプ車は実大施工実験と同仕様とした。ここでは、実施工での品質管理、施工管理結果について述べる。

5.1 スランプフロー

スランプフローの目標値を65cmとし、荷卸時のスランプフローの品質基準を60～70cmとしたところ、すべてのコンクリートについて満足した。

5.2 ポンプ車の主油圧および圧入圧力管理

圧入施工における、柱ごとのポンプ車の最大主油圧として、油圧メーターから読みとった値を配管距離で整理して図-8に示す。今回用いたポンプ車の吐出主油圧の限界は27.5MPaであるが、圧入施工におけるポンプ車の主油圧は、最大で20.6MPaであった。ポンプ車の主油圧は配管の距離が長くなるにしたがって大きくなる。鋼管柱の降伏を考慮して、圧入施工時の柱脚の圧力管理値

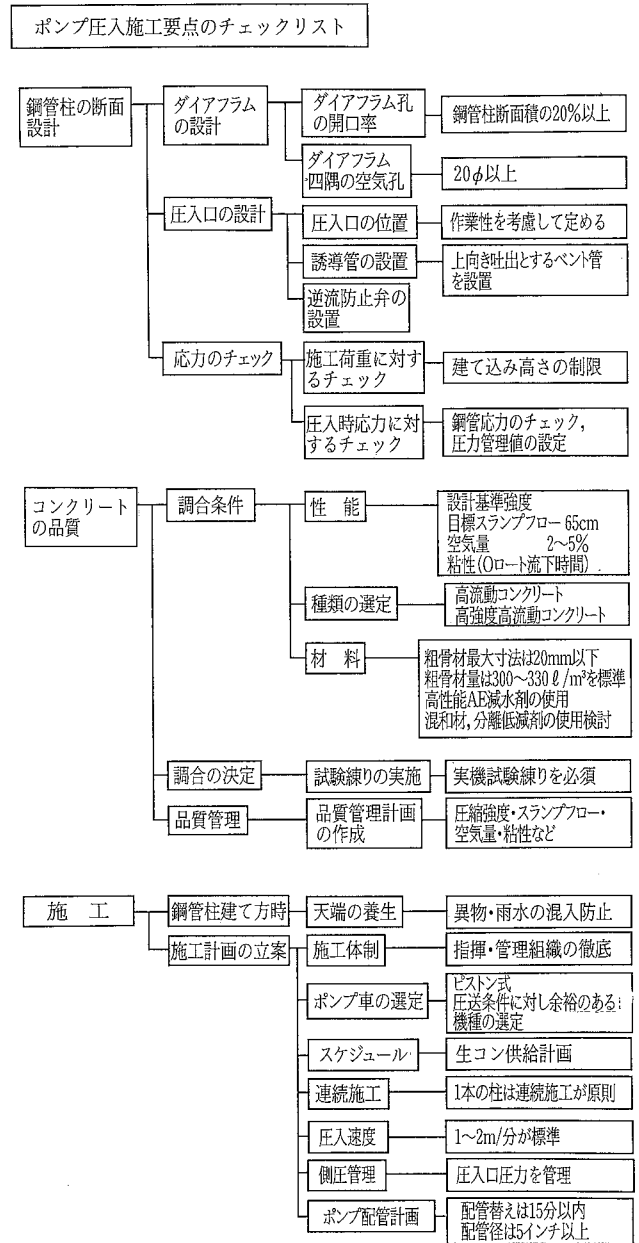


図-7 ポンプ圧入工法のチェックリスト

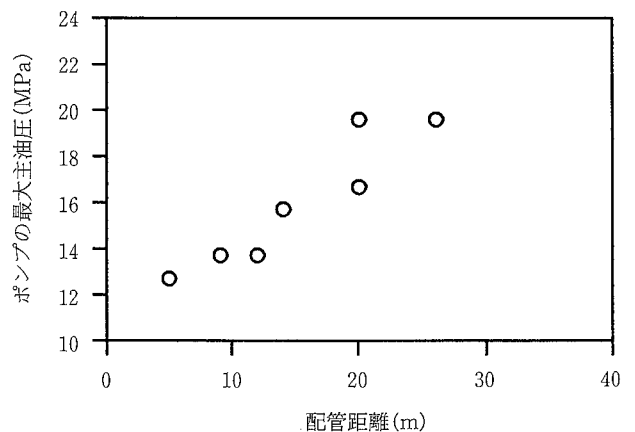


図-8 ポンプの最大主油圧—配管距離関係

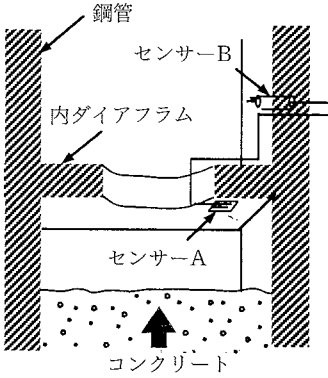


図-9 センサー設置状況

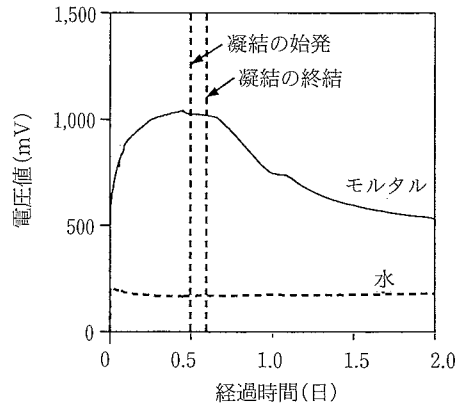


図-10 センサー事前検討

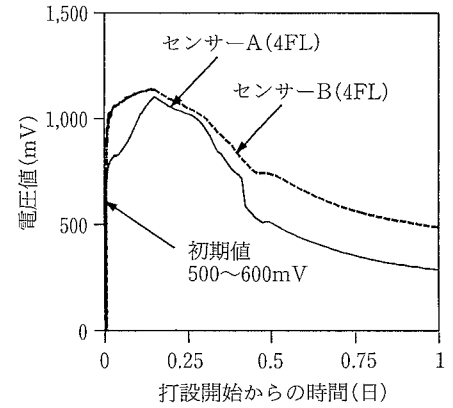


図-11 実施工の測定結果

は1.1 MPaとした。また、圧力の管理には、圧力管理装置を圧入口近傍に設置して行った。この装置で全ての鋼管柱を管理値内で圧入施工したことを確認した。

5.3 コンクリートの充填性

ダイアフラム下面の充填性の確認は、図-9に示すように、あらかじめ柱に設置した2対の充填センサーによって行った。すなわち、ダイアフラム下面(下面より2mm)に設置したセンサーAおよび上部に設置したセンサーBを比較することによって、ダイアフラム下面の充填性を評価するものである。図-10は、実施工前に、同じ調合のコンクリートをウェットスクリーニングしたモルタルと水の充填センサー⁴⁾による電圧値の測定をした事前検討の結果である。モルタルは、初期値として600 mV程度を示し、凝結から終結時にかけて最大の電圧値となり、以後、硬化の進行に伴って電圧値が降下している。一方、水は定電圧値を示したまま推移している。これより、セメント硬化体の電圧値の特徴を把握できるとともに水との相違も明らかになったと考える。

実施工における計測結果を図-11に示す。コンクリート到達前の電圧値は0 mV(空気)であり、コンクリートが接触した初期値として500~600 mVの値を示した。その後、電圧値は上昇し、5~6時間後にピークとなり、下降している。この変化は、事前検討の結果と同じであり、コンクリートの凝結および硬化過程における物性の変化を表わしており、充填センサーがコンクリートを感知していると判断できる。

また、柱頭部のコンクリート天端の沈降量の測定結果では、2日後の沈降量は、1.3および1.7 mmであり、圧入高さ(35 m)に対する比は、実大施工実験と同程度で約1/20,000であった。

以上から、鋼管内におけるコンクリートの充填性は実大施工試験時と同様、良好であると判断できる。

6. 結語

高流動コンクリートを用いた鋼管コンクリート構造の鋼管柱ポンプ圧入工法に関して、過去の知見からまとめたシステムを実大施工実験により検証し、新たに本工法要点のチェックリストを作成した。これを実施工に適用し、良好な結果が得られた。

参考文献

- 1) 大池 武, 他: コンクリートのポンプ圧入工法に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 45, p. 33~38, (1992)
- 2) 三浦律彦, 他: 高流動コンクリート(ニューロクリート)の開発(その1) -ニューロクリートの基礎物性と過密配筋を有する土木構造物への適用-, 大林組技術研究所報, No. 47, p. 43~50, (1993)
- 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, Vol. 33, (1994)
- 4) 平田隆祥, 他: 印加電圧の残留値測定によるフレッシュコンクリートの感知方法について, 第50回土木学会年次学術講演会梗概集, V, p. 418~419, (1995)