

報告 高流動コンクリートを用いた鋼管柱中詰めコンクリートのポンプ圧入施工

大池 武*1・時野谷 浩良*2・神代 泰道*1・中根 淳*1

要旨：鋼管コンクリート柱の中詰めコンクリートのポンプ圧入施工に併用系高流動コンクリートを適用するため、実大の鋼管柱を用いた施工実験を行った。この実験では、フレッシュ性状の変化、硬化後の充填状況と品質、圧入施工時の鋼管柱の側圧、変形ならびに柱頭部におけるコンクリートの沈降量などを調査した。この結果、中詰めコンクリートの圧入施工における施工上の諸問題を解決でき、その実用性を検証した。この成果を、実建物の施工（鋼管柱18本、圧入高さ35m、コンクリート量 175m³）に適用し、良好な結果を得た。

キーワード：高流動コンクリート、鋼管コンクリート柱、ポンプ圧入施工、実大施工実験

1. はじめに

築地えとビルでは剛性確保、体力アップのために鋼管コンクリート構造が採用され、鋼管柱内へのコンクリートの充填は、1階床レベルからのポンプ圧入工法で施工されることになった。この建物の柱は□-550と□-650の太径角形鋼管柱で構成され、柱-梁接合部の梁フランジ位置には円形の孔をもつダイアフラムが内部に取り付けられている。従って、コンクリートを柱内部に圧入する際、

- ①. ダイアフラム位置でのコンクリートの閉塞
- ②. ダイアフラム下端の空隙発生[1]
- ③. 圧入施工時の鋼管に発生する応力による変形[2,3]

などの施工上のトラブルが生じる恐れがある。

このため、ポンプ圧入施工に用いるコンクリートは、これまでにいくつかの報告[4]があるように、流動性に優れ、かつ、材料分離がない高流動コンクリートとた。これにより、実大の鋼管柱を使った施工実験で前述の諸問題が解決できることを検証した。この実大施工実験の成果を実施工へ適用した。

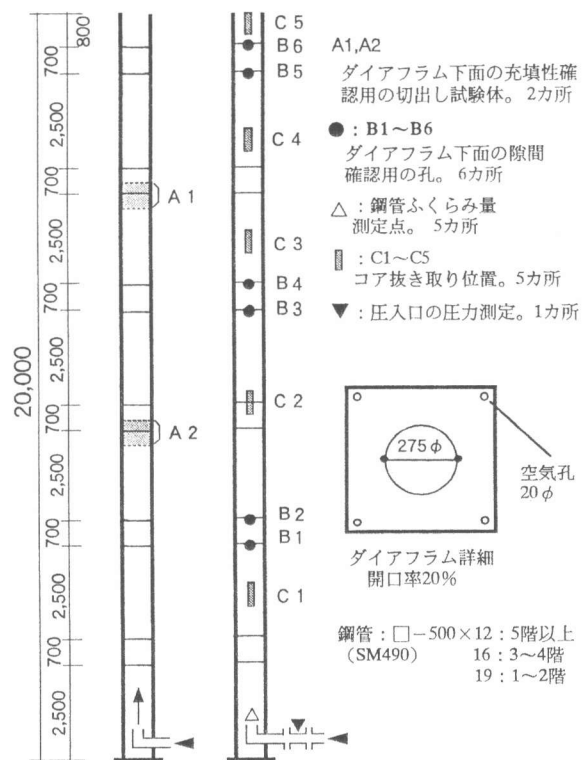


図-1 実大鋼管柱と測定位置

* 1 (株)大林組 技術研究所 建築第二研究室

* 2 (株)大林組 技術研究所 構造第一研究室

表-1 目標性能

項目	性能
設計基準強度	30 N/mm ²
スランプフロー	60±10cm
空気量	2±1%
ロート流下時間	7~15秒を目標

表-2 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 A E 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

注) 分離低減剤：多糖類天然高分子
高性能A E減水剤：ポリカルボン酸系

表-3 試験項目と方法

項目	試験項目	試験方法
フレッシュ コンクリート (製造時、荷卸 時、柱頭部コン クリート)	スランプフロー フロー時間 空気量 ロート流下試験	スランプ試験時の広がり フロー50cmまでの時間 JIS A 1128 図-2に示す器具を使い、流下時間の測定 と閉塞の有無
硬化 コンクリート	圧縮強度 弾性係数	JIS A 1108 標準水中養生 コンプレッソメーター法
圧入施工時	ポンプ配管圧力 (鋼管柱側圧) 鋼管柱の変形 コンクリートの挙動	圧力計、自動記録、ポンプ車近傍と圧入口 の2か所、配管長さ33m、管径は5 B 変位計、自動記録 目視
圧入施工後	柱頭部での沈降量、 フリージング ダイヤフラム下端の 空隙 コンクリート強度の 高さ方向の分布	ダイヤルゲージ、自動記録 メスシリンダー 観察孔からの目視、方法は文献[1]参照 鋼管柱を切り出しダイヤフラム部をカット して直接観察 JIS A 1107 試験材令は28日

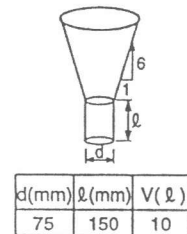


図-2 漏斗
流下試験器具

2. 実大施工実験

2.1 実験概要

施工実験に用いた実大鋼管柱の形状・寸法を図-1に示す。実際の施工では、鋼管柱の高さは約35mであるが、ここでは20mとし、階高およびダイヤフラムの間隔を実物より短くしてこれに
応じている。また、図-1には各種試験の測定位置を併記した。

コンクリートは、併用系の高流動コンクリートとし、その目標性能を表-1とした。調合は、
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、表-2のように定めた。コンクリー
トの物性試験、実大圧入施工実験における試験項目と方法を一覧にして表-3に示す。

2.2 実験結果と考察

2.2.1 フレッシュコンクリート

フレッシュ性状の試験結果を表-4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℃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。

表-4 フレッシュ性状

生コン車 No		スラブ厚 (cm)	ポンプ時間 (秒)	空気量 (%)	ロータ流下時間 (秒)	コンクリート温度 (℃)
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

表-5 硬化コンクリートの物性 (材齢28日)

抜取位置	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	C 1	66.5	3.43
	C 2	57.2	3.45
	C 3	64.5	3.23
	C 4	55.9	3.28
	C 5	64.0	3.21

2.2.2 硬化コンクリート

硬化コンクリートの試験結果を表-5に示す。表から、粉体量の多い併用系の高流動コンクリートであるため、設計基準強度をはるかに上回る強度となっている。一方、コア強度を見ると、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。

2.2.3 鋼管柱側圧とポンプ配管圧力

鋼管柱に生じる側圧は、圧入口でのポンプ配管に生じる圧力と等しいと考え測定を行った。

この測定結果を図-3に示す。圧力は脈動しながら漸増している。脈動波形の頂部、下部ともに、打設高さの増加とともに圧力はほぼ直線的に増加している。また、コンクリートがダイヤフラムを通過するとき、圧力が高まることが予想されたが、このような現象は認められなかった。

柱脚部の側圧を脈動波形の頂部で評価した場合、図に示したように、コンクリートの液圧として予想される圧力よりも16%大きい圧力であることがわかる。さらに、ポンプ圧送による圧力損失を「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」(日本建築学会)によって求めると、0.013 N/mm²/mである。普通コンクリートのスラブ15cm以上で、同一条件(吐出量は約30m³/h、配管径5B)の場合の0.01 N/mm²/mに比べると約30%大きくなっている。これは、圧入高さの限度は、ポンプ車の性能、コンクリート自重圧による鋼管の変形などで決まることから、これらのデータは今後の施工にとって有益なものとする。

2.2.4 鋼管柱の挙動

図-4は、圧入施工中の鋼管柱のふくらみ量をコンクリート圧入高さとの関係で整理した。

図中の計算値は、鋼管の断面を軸力と曲げを同時に受ける両端固定スラブに置換したモデルで、圧力を図-3中の側圧評価式で求めた圧力によった時のふくらみ量である。

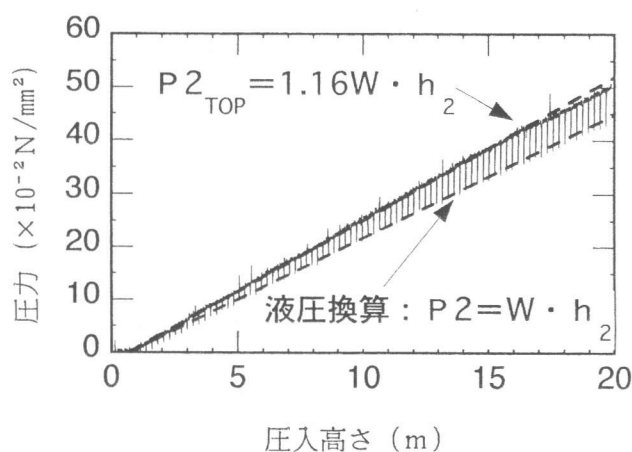


図-3 配管圧力

鋼管のふくらみは、コンクリートの圧入高さに比例して増加し、最大ふくらみ量は0.54mmであった。このふくらみ量を鋼管の幅に対する比で見ると1/1000であり小さい。

圧入完了時のふくらみの計算値は、実測値に比べ30%高くなっている。従って、前述のモデルによって安全側に予測できると考える。

鋼管柱のふくらみ量の経時変化を図-5に示す。圧入によって生じたふくらみは、圧入完了後は徐々に減少し5時間経過後には圧入完了直後の半分程度となるが、27時間後になっても初期状態に復元していないことがわかる。これは、充填コンクリートの硬化のため鋼管の変形が戻り切れないことを示している。また、27時間後のふくらみ量の鋼管の幅に対する比は約1/2500であり極めて小さい。

2.2.5 柱頭部での沈降量、ブリージング

柱頭部でのコンクリート天端の沈降量測定結果を図-6に示す。コンクリート温度が34℃程度と高いことから凝結がかなり早期から始まったと推察でき、このため、沈降量は1mm以下、鋼管柱全高の1/20,000と極めて僅かであった。一方、ブリージングは全く生じておらず、併用系の高流動コンクリートの効果と言える。

2.2.6 ダイアフラム下端の空隙

空隙の調査は、あらかじめダイアフラム下端の状況が観察できる観察孔と、ダイアフラム部を含む鋼管柱を切り出し、鉛直方向に切断して直接観察した。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、鋼管柱の全断面においても空隙が発生していないことを確認した。

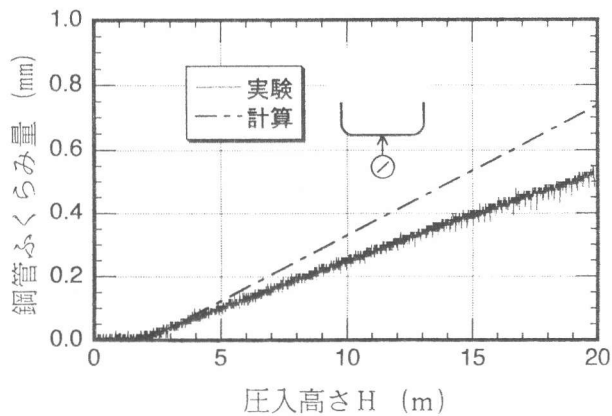


図-4 圧入時のふくらみ量

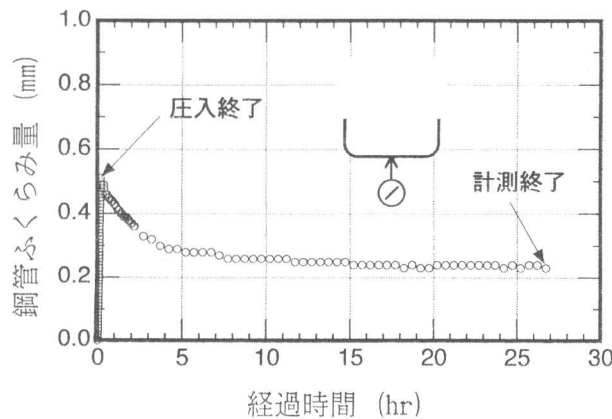


図-5 ふくらみ量の経時変化

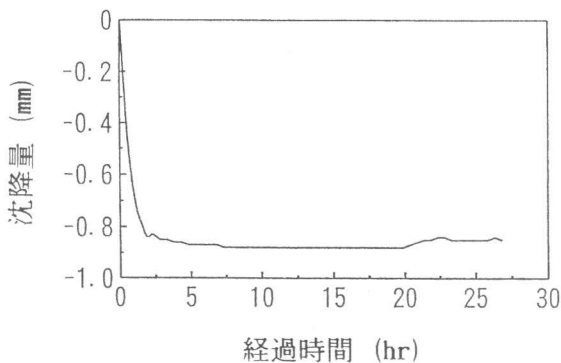


図-6 柱頭部沈下量

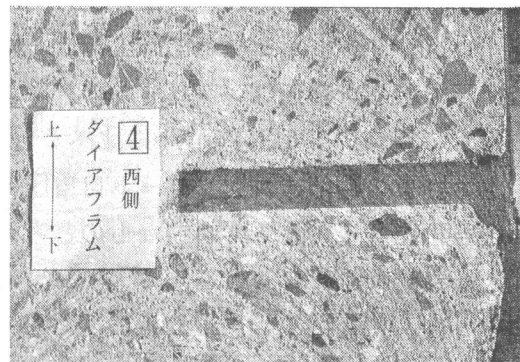


写真-1 ダイアフラム下端の状況

3. 実施工における品質管理、施工管理結果

実施工では、□-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日間で施工した。

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。

高流動コンクリートの品質基準は表-1に示した目標性能そのままとした。

3.1 スランプフロー

図-7には出荷時および荷卸時のスランプフローを整理した。図から、スランプフローは、品質基準をほぼ満足していることがわかる。また、基準内にあったものでも50cm台のコンクリートについては、適宜高性能AE減水剤を後添加して良好な流動性を確保したのち圧入に供した。

3.2 圧入圧力管理

圧入施工時の圧力管理値は、鋼管柱に生じる側圧が、実大施工実験で明らかにしたようにコンクリートの液圧の1.16倍であることを考慮するとともに、鋼管柱の降伏を考慮して1.1kN/mm²とした。また、圧力の管理は、圧入口近傍に圧力センサーを設置して行った。圧入終了時の測定結果を見ると、1日目が平均0.81N/mm²、標準偏差0.08N/mm²、2日目が平均0.89N/mm²、標準偏差0.06N/mm²となり、管理値を満足する施工を行うことができた。

3.3 柱頭部沈下量

図-8は、18本の鋼管柱のうち2本について測定した柱頭部の沈降量である。最終的な沈降量は、1.3～1.7mmであり、圧入高さに対する比は、約1/20,000となる。これは、実大施工時とほぼ同じである。

3.4 ダイアフラム下端の充填性

図-9は、実施工前に、同じ調合のコンクリートを練りウエットスクリーニングしたモルタルと水の充填センサー[5]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600mV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。

ダイアフラム下端の充填性の確認は、図-10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、ダイアフラム下部(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の対比によってダイアフラム

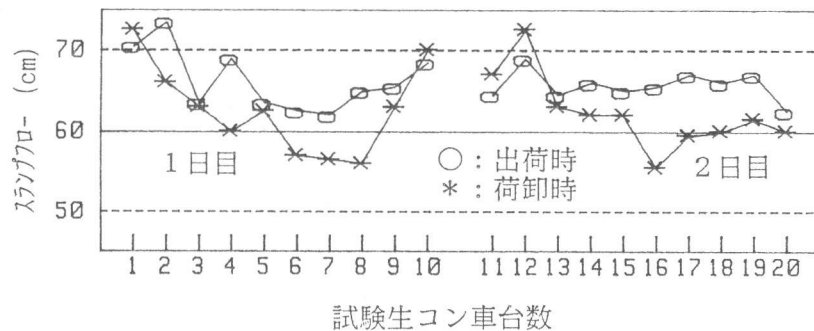


図-7 スランプフローの管理試験結果

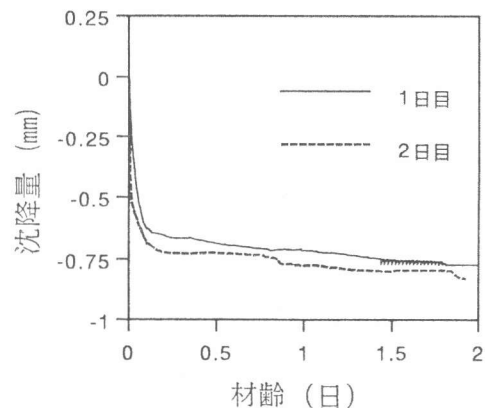


図-8 柱頭部沈下量

下端の充填性を評価するものである。

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との接触を感知していると判断できる。

これらの結果から、ダイアフラム下部の電圧値は上部とほぼ同一の挙動を示しており、ダイアフラム下端の充填性は良好であると判断できる。

この充填センサーによる計測は、打設日毎に1本計2本の鋼管柱で、それぞれ2カ所で実施している。これらの結果も図-11と同じ結果が得られた。

4. まとめ

実大施工実験では、コンクリートの品質基準の妥当性、ポンプ圧送時の圧力損失、圧入施工時の鋼管柱に生じる側圧、鋼管の挙動（ふくらみ）などを把握し、併用系の高流動コンクリートを用いることによって、閉塞などの不具合なく施工できること、ならびに軸力をも負担させる鋼管コンクリート構造において最も重要なダイアフラム下端の充填性が確保できることを検証した。この成果を、実建物の施工（鋼管柱18本、圧入高さ35m、コンクリート量 175 m³）に適用し、良好な結果を得た。

参考文献

- [1] 大池 武ほか：コンクリートのポンプ圧入工法に関する研究（その2、3）、日本建築学会大会学術梗概集、p 745～748、1992年8月
- [2] 岡本 晴仁：鋼管コンクリート、コンクリート工学、Vol.33, No.1, pp.41-43、1995.1
- [3] 松岡 康訓ほか：鋼管充てん工法、コンクリート工学、Vol.33, No.4, pp.17-24、1995.4
- [4] 例えば、山崎 真司ほか：充填型鋼管柱への超流動コンクリートの圧入（その1～その3）、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp.909-919、1992.8
- [5] 平田 隆祥ほか：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、土木学会第50回年次学術講演会梗概集V、pp.418-419、1995.9

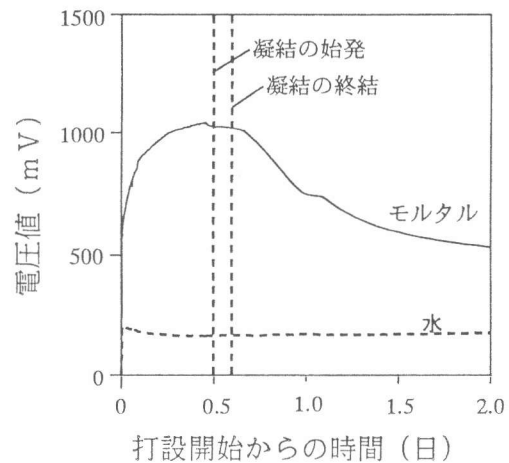


図-9 充填センサー予備実験結果

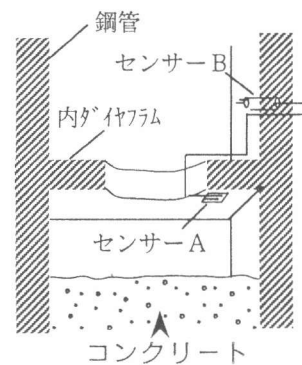


図-10 充填センサー設置方法

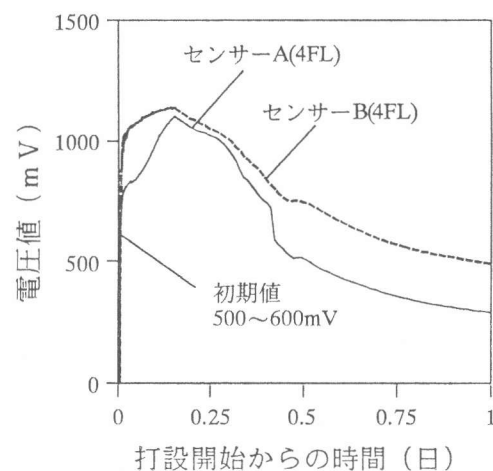


図-11 充填センサー測定結果