

CFT 造コンクリートの圧送・圧入に関する検討

－ 実構造物における圧送・圧入計測結果 －

森 達哉* 竹内 博幸*
山浦 一郎* 齋藤 知之**
鳴海 和幸***

要 旨

CFT(Concrete Filled Steel Tube)造は、鋼管にコンクリートを充填した構造形式で、主に柱として低層から超高層建物まで幅広く適用できる躯体システムである。本報は、柱(H=14.4m)にCFT造を適用した物流センターの建設にあたり、CFT造コンクリート(W/C=35.5%)のポンプ圧送における圧力損失計測および鋼管柱圧入における側圧・変状計測を実施し、同コンクリートによる圧送・圧入性状を検討した結果について述べる。ポンプ圧送は、5インチ高圧管を用いて配管し、水平換算長さを約45mとし、低圧から中圧(10~20m³/h)にて圧送し、管内圧力および実吐出量のデータを取得した。また、同圧入は、FL+1,500の位置に設けた圧入口より行い、CFT造柱内の側圧および鋼管柱のひずみ・変位を測定した。圧送計測の結果、圧力損失は、実吐出量11.5~22.7m³/hに対し0.0047~0.0149MPa/mとなり、通常のコンクリートの値とそれほど変わらない値で推移した。また、圧入計測の結果、CFT造コンクリートの圧入による鋼管内側圧は、上部ほど液状換算圧力に近くなる傾向にあり、鋼管柱の変形は0.19~0.34mm(柱幅800mmに対する比:約1/4200~1/2400)、同ひずみは計算値の17.6~98.3%とそれぞれ施工にあたり問題ない範囲であった。

1. 目的

東京支店(仮)東京多目的センター建設工事において、CFT柱内充填コンクリートとして $F_c=45\text{N/mm}^2$ のコンクリートが使用される。打設対象は角柱(□800:内ダイヤフラム、板厚:1層目 $t=28$ 、2層目 $t=25$)2層1節で、打設方法は圧入工法である。圧送および圧入工法に適用するコンクリートは、圧送・圧入後のフレッシュ状態において充填性能が確保されていること、充填後のコンクリートが所定の構造体強度を有することなどが要求される。本報では、実工事でのCFT造コンクリートの管内圧力損失および圧入・充填性状などを確認することを主な目的として、当該コンクリートを圧送・圧入し、圧送時の管内圧力および圧入時のCFT柱内の側圧、鋼管柱のひずみ・変位を測定した結果について報告する。

2. 実施概要

2.1 実施内容

実機にて練り混ぜを行った $F_c=45\text{N/mm}^2$ のCFT造コンクリートが所定の品質を満足することを確認した上で、圧送・圧入による性状変化を確認した。表-1に測定対象一覧を示す。

2.2 試験項目

フレッシュコンクリート試験項目を表-2に示す。また、経時変化を確認するため、生コン車4台目においては、練混ぜ直

後、現場到着時の荷卸し(40~50分後)、打設前の筒先・荷卸し(60~70分後)、打設中の荷卸し(90~100分後)時に試験を行った。同5台目においては、練混ぜ直後、現場到着時の荷卸し(40~50分後)、打設前の荷卸し(60~70分後)時に試験を行い、引き続き圧入を行った。硬化性状の試験項目を表-3に、供試体の種類と数量を表-4に示す。

なお、試験のうち、ブリーディング試験と沈降試験は以下の方法にて実施した。

(1)ブリーディング試験

試験対象は4台目で、試験方法は表-2によるものとした。実施場所は $20\pm 3^\circ\text{C}$ の生コン工場試験室で、試験は凝結の始発まで行った。

(2)沈降量試験

試験方法は、「コンクリート充填鋼管(CFT)造技術指針・同解説」による試験方法¹⁾とし、試験容器は内径150mm、高さ300mmの簡易モールドとし、試験体数は2個とした(4台目)。測定は容器にコンクリートを水が漏れないように打ち込み、表面を均した直後から、中央部の沈降量を沈降が終了するまで変位計にて測定し、データロガーにて記録した。測定は、現場到着時の荷卸し採取分により現場内で行った。

*本社建築エンジニアリング部 **本社建築設計部 ***東京支店

3. 使用材料および実施調合

表 - 5に使用材料を、表 - 6に実施調合を示す。材料投入順序および練混ぜ時間を図 - 1に示す。なお、練混ぜ量は1バッチ 2.5m³とし、2バッチ分練り混ぜた後、運搬車に積載した。

4. 圧送・圧入計測

4.1 圧送方法

圧送は、5インチ高圧管を用いて配管し、水平換算長さ約45mとした。コンクリートポンプ車の能力、現場施工を考慮して低圧～中圧(計画吐出量 10m³/h～20m³/h)にて圧送し、管内圧力および実吐出量のデータを取得した。ポンプ車の仕様を表 - 7に示す。

表 1 試験対象と実験因子

試験対象	実験因子				備考
	種類	スランプフロー	試験項目および管理値		
			フレッシュ性状	硬化性状	
4台目	Fc=45N/mm ²	60±10cm	表-2参照 経時変化あり	表-3参照	5.0 m ³
5台目			表-2参照 経時変化なし		

表 - 2 フレッシュコンクリート試験

試験項目	試験・測定方法	目標管理値	試験対象 ^{※1}
スランプフロー	JIS A 1150	60±10 (cm)	4・5台目
スランプフロー 50 cm 到達時間	JIS A 1150 フローが 50 cm に到達する時間	10 秒以下 (参考値)	4・5台目
スランプフロー 停止時間	JIS A 1150 フローが停止する時間	—	4・5台目
空気量	JIS A 1128	3.0±1.5%	4・5台目
コンクリート温度	棒状温度計	—	4・5台目
塩化物量 ^{※2}	JASS5T-502 簡易測定法	0.20kg/m ³ 以下	4 台目
ブリーディング ^{※2}	JIS A 1123	0.10cc/cm ² 以下	4 台目
沈降量 ^{※2}	CFT 造技術基準・同解説	2 mm 以下	4 台目

※1: 各試験項目を実施する試験対象(生コン車)を示す。

2: ブリーディングは生コン工場にて行い(試験室 20℃)、塩化物量・沈降量試験は現場にて現場到着時荷卸し時の供試体採取時に試料を採取し実施する。⇒ セメントの塩化物量を確認

表 - 3 硬化コンクリート試験項目

試験項目	試験対象	試験・測定方法
圧縮強度試験	4台目 荷卸し時	JIS A 1108 (供試体寸法 ・重量測定)

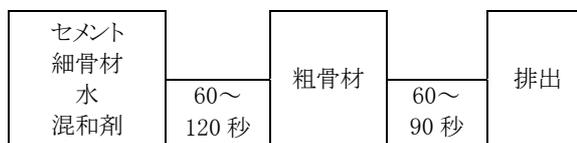


図 - 1 練混ぜ方法

表 - 4 供試体の種類と本数

養生方法	材齢				合計
	7 日	28 日	56 日	91 日	
標準養生	3	9	3	9	供試体 33
現場封緘養生	—	3	3	3	

表 5 使用材料

工場	項目	使用材料
アサノ 深川工場	セメント	普通ポルトランド(太平洋セメント、密度:3.16g/cm ³)
	細骨材	陸砂 40%(市原産、表乾密度:2.58g/cm ³ 、吸水率:2.44%、粗粒率:2.00)
		砕砂 60%(葛生産、表乾密度:2.66g/cm ³ 、吸水率:1.60%、粗粒率:3.20)
	粗骨材	砕石 50%(岩舟産、表乾密度:2.66g/cm ³ 、吸水率:0.70%、実積率 60.0%)
		砕石 50%(葛生産、表乾密度:2.70g/cm ³ 、吸水率:0.79%、実積率 60.0%)
水	水道水	
混和剤	高性能AE減水剤(花王マイティ 3000H、3000S)	

表 6 調合表

適用 対象	設計基準強度 (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						混和剤 (C×%)
				W	C	S1	S2	G1	G2	
4・5 台目	45	35.5	49.0	170	479	334	501	443	443	1.85

圧送手順として、先送りモルタル(試験体調合より粗骨材を除いたもの)を圧送し、次に計画吐出量にて所定コンクリートを圧送し、筒先にてコンクリートの排出を確認後、フレッシュ試験を行い、圧送計測および計測対象柱の打設を行った。

4.2 圧入方法

圧入は、図 - 2 に示すように、FL+1,500 の位置に設けた圧入口より行い、CFT 柱側面に設けた蒸気抜き孔より充填を確認しながら、所定の打込み速度になるように圧送速度を調整した。

4.3 計測方法

圧送・圧入における測定項目を表 - 8 に、圧送・圧入計測実施概要を図 - 2 に示す。

表 - 7 ポンプ車仕様

項目	仕様
機種名	極東 PY115-26
最大吐出量 (吐出量×吐出圧力)	標準時:100m ³ /h× 4.9MPa 高圧時:70m ³ /h× 7.8MPa
コンクリートシリンダ数	2 本
シリンダ径×ストローク	φ 225×1650 mm
ホッパー容積	0.50m ³
最大圧送距離 (最大吐出量の 1/3 圧送時)	125A 配管 水平:610m(高圧時) 鉛直:200m(高圧時)

表 - 8 圧送・圧入測定項目

測定項目	測定方法	試験対象	備考
実吐出量 ^{※1}	吐出量メータ ピストン圧送回数	4・5台目	
管内圧力	動ひずみ計 圧力計	4・5台目	6点
CFT 柱内側圧	動ひずみ計 圧力計	4・5台目	3点
CFT 柱鋼管ひずみ	静ひずみ計 ひずみゲージ	4・5台目	2点×5箇所
CFT 柱鋼管変位	静ひずみ計 変位計	4・5台目	4点

※1:ポンプ車シリンダー容積×回数/単位時間

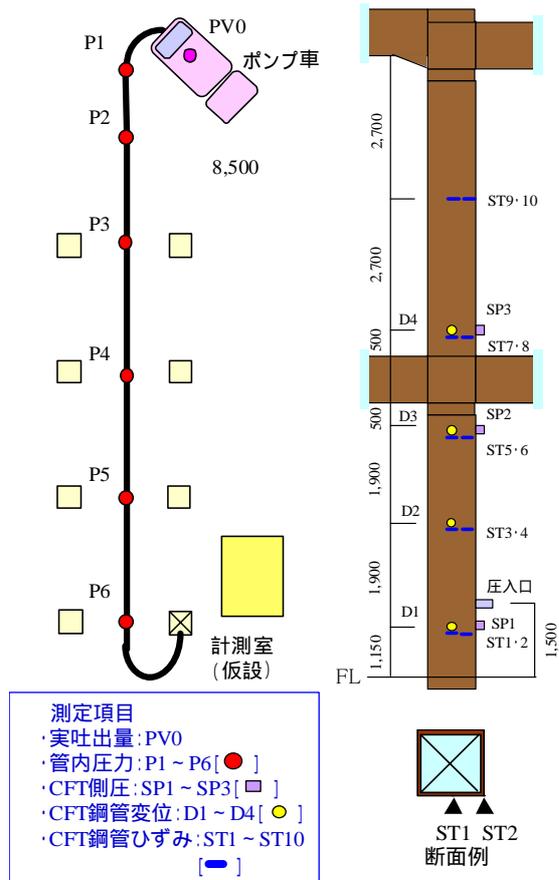


図 - 2 圧送・圧入計測実施概要

5. 計測実施結果

5.1 コンクリート試験結果

計測を実施した CFT 造柱に打ち込んだコンクリートのフレッシュコンクリート試験結果を表 - 9 に示す。スランプフロー値は、練混ぜ後約2時間経過後に筒先で採取したのもも管理値内に納まっており、圧送、圧入についても特に支障なく施工することができた。

5.2 圧送計測実施結果

(1) 管内圧力

表 - 10 に、ピストン回数から実測した実吐出量と各対象時間内における管内圧力の平均値の関係を示す。

また、図 - 3 (a) ~ (c) に、P1、P3、P6 の各測定点における管内圧力の経時変化を示す。なお、圧送は、最初の 12 分間を吐出量 10m³/h を目標とし、その後の 12 分間は 15m³/h、最終の打上がりまでの 9 分間は 20m³/h を目標として設定した。これらの図表より、管内圧力は吐出量の増大に伴い比例的に増大しているが、吐出量に対する管内圧力の増分は、水平換算距離の増大に伴い、異なる傾向にあることが読み取れる。

表 - 9 フレッシュコンクリート試験結果

実施条件			フレッシュコンクリート試験結果				
No	場所	経時	スランプフロー(cm)	50 cmフロー時間(秒)	フロー停止時間(秒)	空気量 (%)	コンクリート温度(°C)
1	出荷	9:14	64.0×63.0			2.8	
	荷卸し	10:25	62.0×58.0	5.4	23.3	1.8	13.5
	90分	10:45	55.5×55.0	5.7	23.3	2.1	11.5
	筒先	11:10	52.0×51.0	—	—	2.5	13.0
2	出荷	9:55	63.0×62.5			2.7	
	荷卸し	10:55	58.0×58.0	7.1	25.3	2.9	13.0

表 10 実吐出量と平均管内圧力の関係

時間(分)	実吐出量(m ³ /h)	管内圧力(MPa)					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
02~04	11.58	0.509	0.449	0.410	0.366	0.291	0.232
04~12	11.47	0.481	0.428	0.395	0.360	0.292	0.244
12~14	17.89	0.658	0.589	0.550	0.497	0.409	0.337
14~24	18.17	0.768	0.699	0.661	0.605	0.509	0.429
24~26	22.71	0.952	0.885	0.843	0.777	0.664	0.569
26~33	22.28	0.956	0.896	0.852	0.790	0.681	0.590

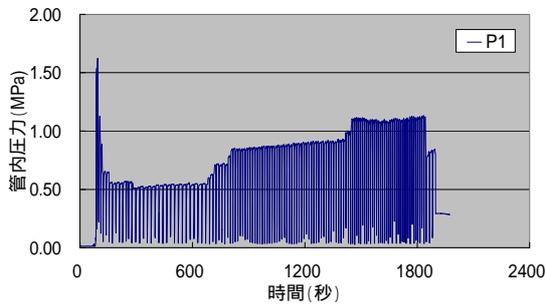


図 - 3 (a) 管内圧力の経時変化[P1]

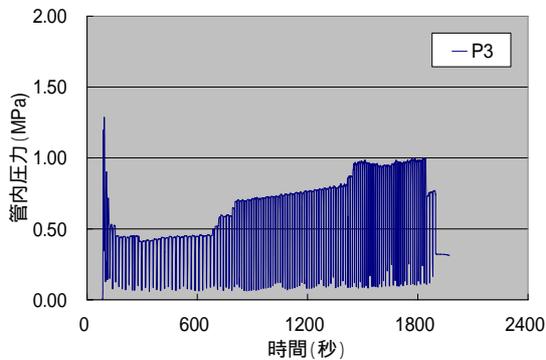


図 - 3 (b) 管内圧力の経時変化[P3]

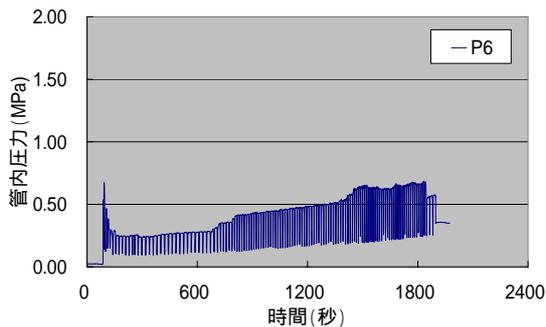


図 - 3 (c) 管内圧力の経時変化[P6]

(2) 水平換算距離と管内圧力の関係

図 - 4に、水平換算距離と管内圧力の関係を示す。水平換算距離が延伸するに従い管内圧力は低下する傾向にある。

また、図 - 5は、実吐出量と管内圧力の関係を示している。いずれの場合も、実吐出量 18m³/hあたりで、その前後の吐出量の場合に比較して管内圧力が小さくなる傾向を示した。また、回帰直線による両者の関係は、水平換算距離が長くなるに従い若干緩やかになる傾向を示した。

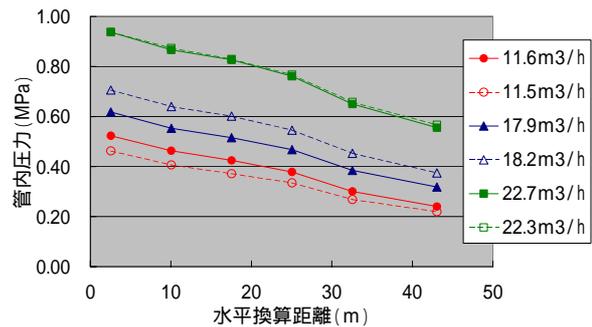


図 - 4 水平換算配管距離と管内圧力の関係

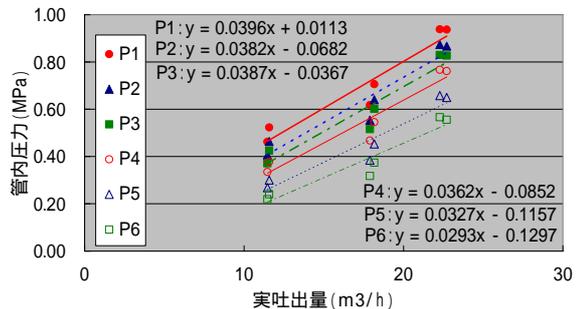


図 - 5 実吐出量と管内圧力の関係

図 - 6は、実吐出量と管内圧力差を水平換算距離で除した管内圧力損失との関係を示している。管内圧力損失は、各実吐出量においては一度配管中間部(P2～P4)で低下した後、打込み口手前(P4～P5)にかけて増大し、打込み口直前(P5～P6)で再度低下するパターンとなっているが、その増減の程度は必ずしも一定の傾向を示していない。実吐出量に対する増減の比率は、全般的には、配管長が短い測点では小さく、配管長が長くなるに従い大きくなる傾向にある。管内圧力損失値は、実吐出量が 11.5～11.6m³/hの範囲では 0.0047～0.010MPa/m、実吐出量が 22.3～22.7m³/hの範囲では 0.0053～ 0.0149MPa/mとなり、通常のコンクリートの値と比較してもそれほど高い値を示さなかった。

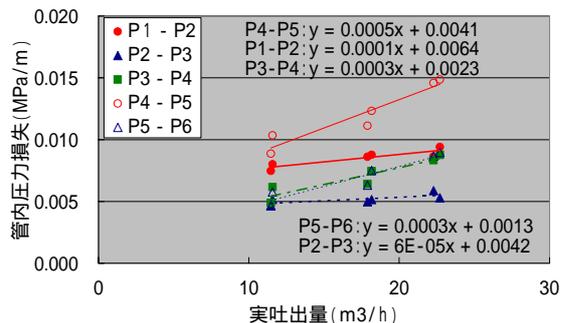


図 - 6 実吐出量と管内圧力損失の関係

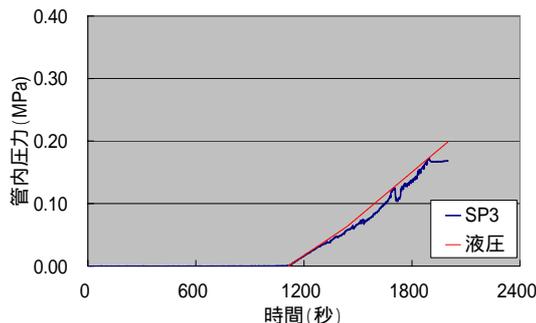


図 - 9 鋼管柱圧入圧[SP3]

5.3 鋼管柱圧入計測結果

(1) 鋼管柱圧入圧

図 - 7 ~ 9 は、鋼管柱圧入時の各測定点によるコンクリート側圧の経時変化を示している。図中の「液圧」は圧入したコンクリートを液状とみなした場合の調合から算定した圧力を示している。コンクリート側圧は、いずれの測点でも液状換算圧力（一定期間内の圧力増加は、コンクリートの単位体積質量×時間当り圧入高さ×期間内経過時間で求められ、ある時点における圧力は、それ以前の圧力増加分の合計で表される）より小さく、その比率は SP1 (FL+1.15m) で 0.915~0.779、SP2 (FL+4.95m) で 0.766~0.979、SP3 (FL+6.80) で 0.996~0.781 となっており、上部の測点ほど液状換算圧力に近くなる傾向にある。

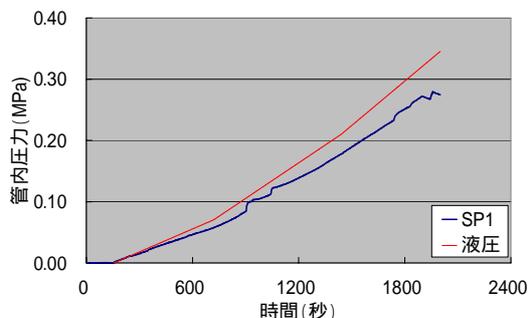


図 - 7 鋼管柱圧入圧[SP1]

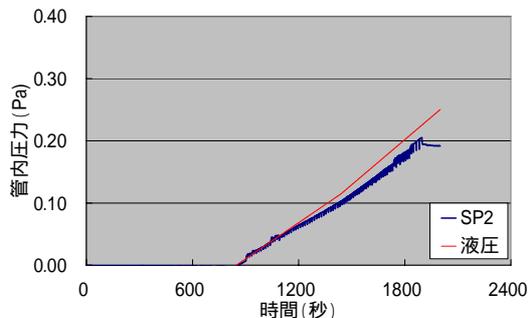


図 - 8 鋼管柱圧入圧[SP2]

(2) 圧入時鋼管柱変形

図 - 10 は、圧入時における鋼管柱の変形の経時変化を示している。変形は、測定面の直交方向の変位を変位計で測定した。圧入時の鋼管柱の変形は、柱梁接合部の拘束の小さい D2 (FL+3.05m) と 2 層柱脚部 D4 (FL+6.80m) で、最大 0.340 mm と 0.283 mm で、拘束の大きい 1 層柱脚部: D1 (FL+1.15m) と 1 層柱頭部: D3 (FL+4.95m) で、0.215 mm と 0.192 mm となっている。

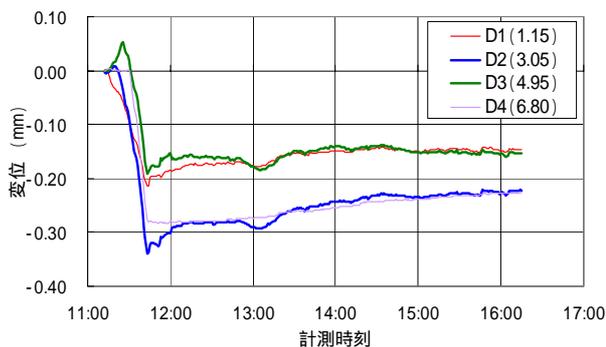


図 - 10 圧入時における鋼管柱の変形

(3) 圧入時鋼管柱ひずみ

図 - 11 ~ 14 は、圧入時の鋼管柱の 4 測点 (ST1、ST2、ST3、ST9) における X・Y 方向 (X: 水平、Y: 鉛直) のひずみの経時変化を示している。また、表 - 11 は各測点 (高さ方向 5 点、中央・端部) における X 方向の測定最大値と得られた管内圧力による計算値を示している。なお、変位の計算にあたっては、角柱のコーナー部分を固定端と仮定して行った²⁾。一部計算値を超えている実測値があるが、これは圧入圧の測点と高さが異なるひずみ測点については、得られた実測圧から間接的に計算値を算定したことなどが影響しているためと考えられる。それ以外の実測値については計算値の 0.176~0.983 の比率となっている。

高さ1.15mの測点における鋼管のひずみは測定面の中央部[ST1]、端部[ST2]で大きく異なり、鋼管中央部のひずみの最大値 113×10^{-6} 、鋼管端部のひずみの最大値 -53×10^{-6} となっており、計算値では端部のひずみの方が大きな値となっているのとは逆に、端部のひずみよりも中央部のひずみの方が大きな値となっていることが読み取れる。その他の測点についても同様の結果となっているが、これは、計算時の仮定(端部条件を固定としているなど)と実際の部材性状との違いによるものと考えられる。

また、中央部、端部共に高さ3.05mの測点[ST3、ST4]でひずみが最大となり、上方に行くに従って徐々に小さくなっていくことが読み取れるが、これは計算値も同じ傾向を示しており、柱中腹部のため拘束が少ないことと、上方からのコンクリートの重量が矩形に近い側圧となって鋼管側板に伝達されていることによるものであると考えられる。

いずれの測点でも、コンクリート打込み中は打込み量に比例してひずみが大きくなり、打込み終了時点で最大値に達した後、時間経過によるコンクリート硬化に伴って徐々に小さくなっていることが読み取れる。

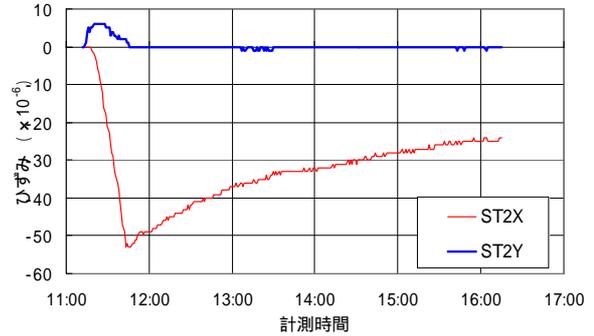


図12 圧入時のひずみ経時変化[ST2]

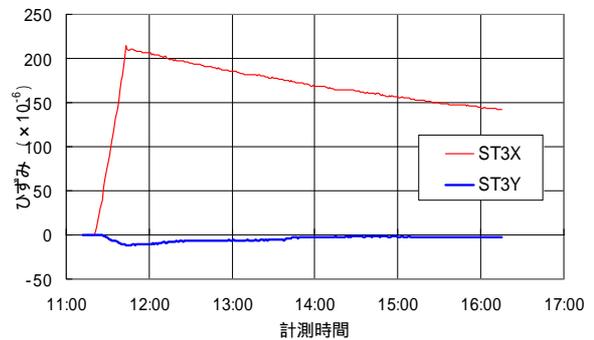


図13 圧入時のひずみ経時変化[ST3]

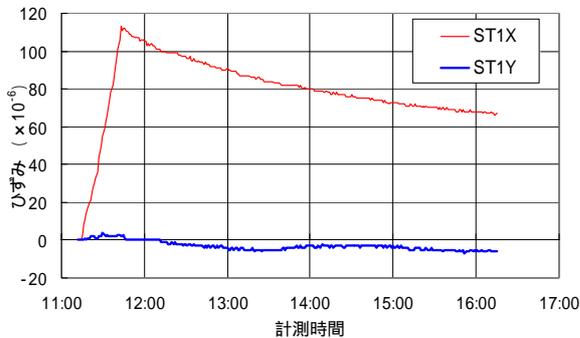


図11 圧入時のひずみ経時変化[ST1]

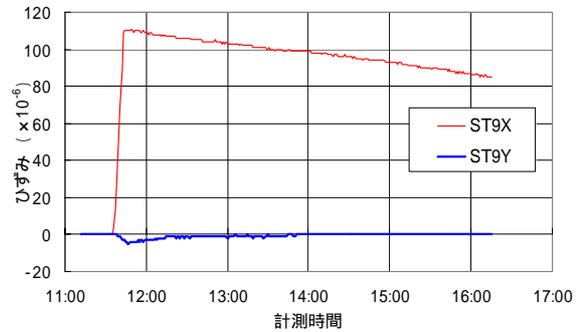


図14 圧入時のひずみ経時変化[ST9]

表 - 11 圧入時鋼管柱ひずみの実測値(X:水平方向最大値)と計算値の比較 (ひずみ $\times 10^{-6}$)

測点	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	ST10
高さ(m)	1.15	1.15	3.05	3.05	4.95	4.95	6.80	6.80	9.50	9.50
位置	中央	端部								
実測	113	-53	215	-165	146	-129	116	-85	111	-82
計算	241	-301	209	-261	176	-220	118	-147	68	-85
比率	0.469	0.176	1.028	0.632	0.830	0.586	0.983	0.578	1.632	0.965

※+引張、-圧縮

5.4 沈降量測定結果

表 - 12 に、供試体による沈降量測定結果を、また図 - 15 には沈降量の経時変化を示す。供試体は、2台の運搬車から採取した試料より3本作製し、測定を行った。沈降量は、いずれの供試体においても5～6時間後にほぼ一定値となり、最大で1.09～1.26 mmであった。いずれも目標管理値³⁾の2.0 mmを下回り、供試体間での有意な差異も見られないことから、特に問題はないと考えられる。

最大沈降量(mm)			雰囲気温度 平均値 (°C)
No.1-1	No.1-2	No.2	
1.13	1.26	1.09	8.5

表 - 12 沈降量測定結果

※ No.1: 1台目にて試料採取
No.2: 2台目にて試料採取

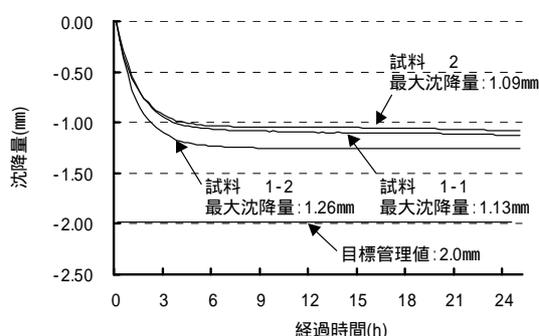


図 - 15 沈降量測定結果

6.まとめ

今回の計測から、以下の知見が得られた。

- ① 水平換算長さ約45mの配管における管内圧力損失値は、実吐出量が 11.5～11.6m³/hの範囲では 0.0047～0.010MPa/m、実吐出量が 22.3～22.7m³/hの範囲では 0.0053～0.0149MPa/mとなり、通常のコングリートの値と比較してもそれほど高い値を示さなかった。
- ② 管内圧力は吐出量の増大に伴い比例的に増大しているが、実吐出量に対する増減の比率は、全般的には、配管長が短い測点では小さく、配管長が長くなるに従い大きくなる傾向にある。
- ③ 鋼管柱圧入時のコングリート側圧は、いずれの測点でも液状換算圧力より小さく、その比率は SP1 (FL+1.15m) で 0.915～0.779、SP2 (FL+4.95m) で 0.766～0.979、SP3 (FL+6.80) で 0.996～0.781 となっており、上部の測点ほど液状換算圧力に近くなる傾向にある。
- ④ 圧入時の鋼管柱の変形は、柱梁接合部の拘束の小さい D2 (FL+3.05m) と 2 層柱脚部 D4 (FL+6.80m) で、それぞれ最大 0.340 mm と 0.283 mm で、拘束の大きい 1 層柱脚部: D1 (FL+1.15m) と 1 層柱頭部: D3 (FL+4.95m) で、それぞれ 0.215 mm と 0.192 mm となっている。

また、各測点におけるひずみの実測値は、ST3・ST9 の 2 点を除いてはいずれも計算値を下回る結果となっている。(計測値が計算値を上回った 2 点については、計算値の算定方法が間接的であることに起因すると考えられる。)

7.おわりに

今回の計測は CFT 造コングリートの圧入時の性状を確認するデータ取得が主目的であったが、管内圧力損失、CFT 側圧、CFT 鋼管変位・ひずみのそれぞれについて、いずれも予想される範囲内であった。

今回の計測で得られたデータは、今後 CFT 造コングリートの圧入時の性状を予測する際に十分参考になると考えられる。

参考文献

- 1) 新都市ハウジング協会:コングリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説の運用及び計算例等、p.2-39・40、2002.9
- 2) 宮原ほか:誘導管の有無によるCFT柱圧入時角形鋼管挙動の相違、日本建築学会大会学術講演梗概集〔北陸〕、p.186、2002.8
- 3) 新都市ハウジング協会:コングリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説の運用及び計算例等、p.2-37、2002.9