

充填型鋼管コンクリート構造柱の実用化研究・開発*

(実大による施工実証実験)

川崎三十四¹⁾ 中川 雄二²⁾ 松本 範義²⁾ 成川 史春³⁾

概要：充填型の鋼管コンクリート構造柱は、鋼管内にコンクリートを充填したもので、被覆型と区別される。鋼管コンクリート構造柱（充填型）を用いることで、①コンファインド効果、②耐火被覆の低減、③高軸力下での変形性能に優れ耐震性が高い、などといった特性を生かすことが出来る。この構造形式の建築は、近年の高流動コンクリートの発達で施工がし易くなり採用されつつある。

本編は、鋼管コンクリート構造による建築の実用化を図る目的で、基礎実験、生コンクリート工場での製造実験など一連の研究を重ね、実大による施工実証実験の結果についてまとめたものである。

実験のポイントとしては、①圧入施工ができること、②内ダイアフラム下面に空隙を作らぬこと、③柱内部のコンクリート強度を確保すること、④品質管理が確実に出来ること、などであった。

実験は3層、高さ10mの鋼管（円柱、角柱）について行い、所期の目的を達成することが出来た。

キーワード：鋼管コンクリート構造、鋼管柱、内ダイアフラム、高流動コンクリート、コンクリートの圧入、実験場の環境振動、鋼管の側圧と歪み、コンクリートの沈降、ダイアフラム下面の気泡分布、圧縮強度の分布

Study and development of the practicability on filled type CFT structural column.
(Installation proof test by full scale mock-up)

Synopsis : Filled type CFT structural column means that the concrete shall be filled inside of the steel tubular and is different from the cover type CFT column. (Cover type CFT column means that the concrete encloses the steel tubular.)

By utilising the filled type CFT structural column, it can be expected the following superior features.

1. Confined effect.
2. Reduction of the fireproofing protection materials.
3. High deformation property under the high axial force resulting in the good aseismatic capacity.

As the high fluidity concrete being developed recently, high workability had obtained on this method of construction (remark:CFT structural column construction) and leads to frequent use. Aiming to put the CFT structural column into practical use, series of studies have been cumulated on basic experiment, manufacturing experiment in fresh concrete firm. In this resume, it is summarised the result being obtained from full scale installation experiment based on the above studies. Points of this experiment are 1. to confirm the concrete pumpability 2. no entrained air bubble right under the inner diaphragm 3. to secure the scheduled concrete compressive strength inside tubular 4. practicability of the quality control etc. Actual experiment had been executed on square and cylinder tube with its total height 10m 3-storeys, and achieved the aimed performance.

Keyword : CFT construction, steel tubular column, inner diaphragm, high fluidity concrete, concrete pumping, environmental vibration in test field, lateral pressure and distortion of the tubular, concrete settlement air bubble distribution rear diaphragm, distribution map of the compressive strength.

*一部を日本建築学会大会学術講演会にて講演，1998年9月，pp 851～856

1) 建築学科 2) 東海興業(株) 3) 日本メサライト工業(株)

2.4 試験測定項目

コンクリートの試験，測定項目を表-3に示す。

表-3のうち水平配管の概要と管内圧力の測定位置を図-2に示す。また角柱鋼管柱の側圧，ひずみ等の測定箇所を図-3に示す。
(円柱については記述省略)

2.5 試験測定方法

主な試験測定方法を下記に示す。

- ①スランブフロー：スランブ試験時のコンクリートの拡がりを測定。突き数は3層5回。
- ②空気量：JIS A 1128に準じた。突き数は3層10回。
- ③50cmフロー時間：スランブフロー試験時の拡がりが50cmに到達する迄の時間を測定。
- ④ブリーディング量：JIS A 1123に準じた。突き数は3層10回。
- ⑤沈降率：直径15cm，高さ30cmの鋼製型枠にコンクリートを詰めて試料天端に円形のアクリル板を設置し，その下降をダイヤルゲージで測定。24時間後の沈降量を最終沈降量とした。突き数は2層5回。
沈降率 = (沈降量 / 試験体の高さ) × 100
- ⑥ポンプ圧力：輸送管の管内圧力は圧力計を5インチ×30cmの計測管に取り付け，デジタル重量測定器を介して，パソコンで自動計測した。
- ⑦鋼管柱の側圧，ひずみ，沈降等：圧力計，ひずみゲージ，変形形，充填感知センサー等よりデータロガーを介して自動計測した。
- ⑧ダイアフラム下端の充填状況および気泡分布：ダイアフラムに接触するコンクリート面に生じた気泡をシートに写し取り画像解析により気泡面積を求めた。
気泡面積率 = (気泡面積 / ダイアフラム接触面積) × 100

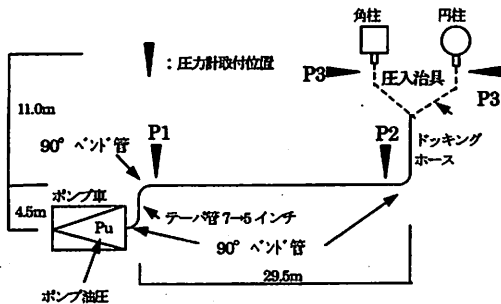


図-2 ポンプ配管の概要

表-1 使用材料

セメント	高炉セメントB種 比重3.04
水	地下水
細骨材	鹿島産山砂 表乾比重2.60 吸水率0.89% 粗粒率2.80
粗骨材	芳賀産硬質砂岩碎石 表乾比重2.67 吸水率0.76% 実績率59.6%
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
分離低減剤	セルロース系

表-2 コンクリートの調合

鋼管	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)				分離低減剤 (g/m³)	高性能AE減水剤 (C×%)
			水	セメント (C)	細骨材	粗骨材		
円柱	38.0	51.4	165	434	884	860	250	1.9
角柱	33.0	49.0	165	500	829	860	125	1.5

表-3 試験測定項目

試験場所	試験・測定項目
出荷時	①スランブフロー，空気量，50cmフロー時間 コンクリート温度 ②圧縮強度
荷卸し時	③①の他，単質，Vロート，Oロート，沈降量(率)，ブリーディング量 ④圧縮強度
打設時	⑤圧入直前の配管内コンクリートのフレッシュ試験 (①の他，単質，Vロート，Oロート) ⑥ポンプ車の吐出圧 ⑦コンクリート圧入量 ⑧水平配管内圧力 ⑨充填高さ及び時間 ⑩感知センサーによる充填確認 ⑪鋼管外周面の歪み ⑫水平側圧分布 ⑬柱天端のブリーディング ⑭柱天端の沈降量 ⑮柱天端のフレッシュ試験(③と同じ) ⑯圧入後の配管内コンクリートのフレッシュ試験 (⑤と同じ) ⑰生コン車待機後の試験(⑬と同じ)
硬化後	⑱ダイアフラム下の充填状況，気泡の分布と面積 ⑲コアの圧縮強度，比重，ヤング係数

2.6 実験場の環境振動

実験場所は公道沿いにあり通行車両による振動が体感される状況下にあった。そのため4m間隔に配置した円柱と角柱の中間点の地面にて公害振動計、レベルコーダを用い振動レベルを測定した。コンクリート圧入完了後(円柱:11時05分,角柱:12時35分)の昼間の交通量は10分間に35台,そのうち振動を体感するトラック等大型車の混入率は約60%で,その頻度は約30秒間隔,振動レベルは60~68dBの環境下であった。また夕方から夜間的大型車の混入率は約10%で頻度も減少した。なお体感できる振動は55dB程度以上のときと言われている。

3. 実験結果及び考察

3.1 フレッシュコンクリート

(1) スランプフロー

図-4~5にスランプフロー試験結果を示す。

円柱のスランプフローは,荷卸し時点で65cm,鋼管柱の圧入前筒先で57.3cm,鋼管柱頭部で51cmとなり,荷卸しから柱頭までの間に14cm低下した。この内訳を単純に検討すると,経時変化で3.2cm,ポンプ圧送で6.5cm,鋼管圧入で4.3cmそれぞれ低下したことが伺える。鋼管柱圧入での低下は,鋼管柱に先送りモルタルを圧入していないため,鋼管内壁にモルタル分が付着していったことが一因として考えられる。

角柱のスランプフローは,アジテーター車を現場で待機させて調整した後の荷卸し時で65cm,圧入前の筒先で53cm,鋼管柱頭部で57.3cmとなり,荷卸しから柱頭までの間に7.7cm低下した。この7.7cmは図からわかるように,ほぼ経時変化による低下分に相当している。なお,圧入前筒先が柱頭部よりも小さくなっているが,これは水平配管内の残留コンクリートが完全に排出されおらず,圧送初期のコンクリートと混合されたか,あるいはアジテーター車内で良く混合されていないために生じたと考えられる。

(2) 空気量

図-6~7に空気量の試験結果を示す。

空気量は円柱,角柱とも管理値を満足した。しかし角柱は空気量調整剤を再添加した影響からか,圧入後筒先の空気量の他は増加し円柱と傾向が異なり注意すべき傾向を示した。

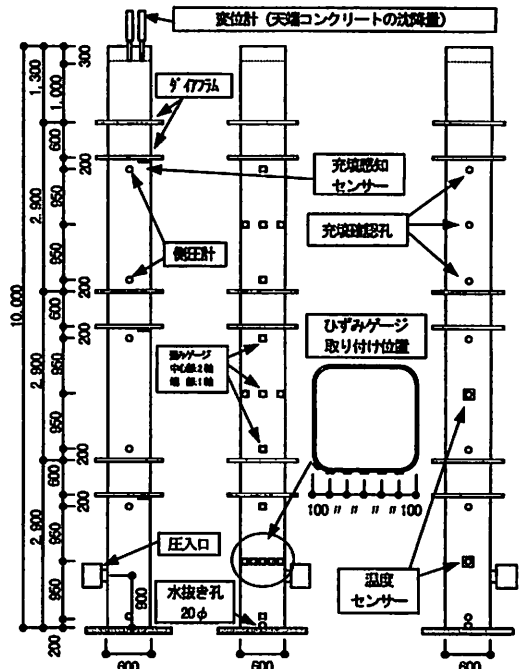


図-3 水抜き孔,側圧計,ひずみゲージ,充填感知センサー,充填確認孔,温度センサー,変位計取付位置(角柱)

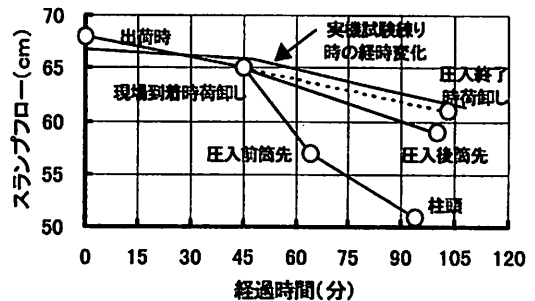


図-4 スランプフロー試験結果(円柱)

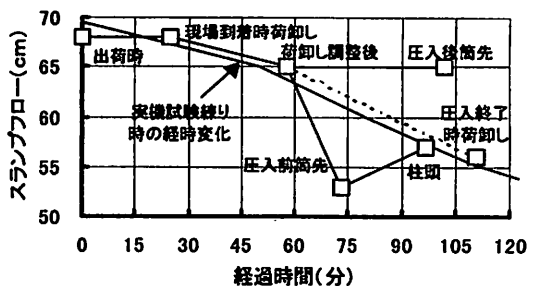


図-5 スランプフロー試験結果(角柱)

(3) 50cmフロー時間

50cmフロー時間は円柱、角柱とも荷卸し時点で4～5秒程度であった。

(4) ブリーディング及び沈降率

ブリーディング及び沈降率は荷卸し時の試料で試験した。ブリーディングは角柱の場合0.05cm³/cm³、円柱の場合0.09cm³/cm³であった。目標品質は満足したが事前の実験実験の0.01cm³/cm³に比べかなり大きく注意すべき事項を残した。沈降率は円柱、角柱とも0.23%であり、目標品質を満足した。

(5) コンクリート中の粗骨材の割合

図-8にコンクリート中の粗骨材割合を5mmフルイで洗い流し、残留した粗骨材と元のコンクリート重量に対する重量百分率で表した結果を示す。円柱、角柱とも圧入前筒先、柱頭と進むにつれ約2%づつ増加し、内壁にモルタル分が付着したもようので、水平配管は長さ1mにつき約0.04%、鋼管柱は高さ1mにつき約0.2%のモルタル減少が生じたと推察される。

3.2 ポンプ圧送・圧入(主に角柱について記す)

(1) 打ち上がり速度

角柱の鋼管柱の打ち上がり速度は、高さ3m程度迄は目標速度より遅くなったが、その後は速度調整をほぼ1m/分の速度で圧入することが出来た。円柱の場合は圧入開始から目標速度で圧入することが出来た。なお、ポンプの容積効率は角柱の場合94.0%、円柱は92.3%であった。

(2) 吐出圧力、管内圧力、吐出量

打ち上がり高さで吐出圧力、管内圧力、理論吐出量を図-9～10に示す。円柱の場合、管内圧力は打ち上がり高さが上昇するに従って直線的に増加した。角柱の場合、ダイヤフラムNO①、②付近で吐出圧力(PO)、管内圧力(P1～3)共に増加した。これはダイヤフラム通過時による圧力増加とも考えられるが、吐出量が各圧力と同様に大きくなっていることから、吐出量(図中破線)の増加が圧力増加の主な原因であると考えられる。なお、吐出量(Qt)の増加は打ち上がり速度の調整を行ったために生じたものである。

(3) 水平管の圧力損失

水平配管の圧力損失は、円柱の場合理論吐出量約12m³/hで0.009N/mm²/mであり、角柱の場合は、理論吐出量約16～21m³/hで0.011～0.014N/mm²/mであり、建築学会コンクリートポンプ工法施工指針の約2倍の値であった。

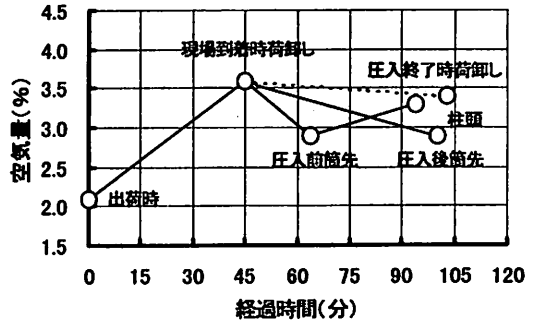


図-6 空気量試験結果(円柱)

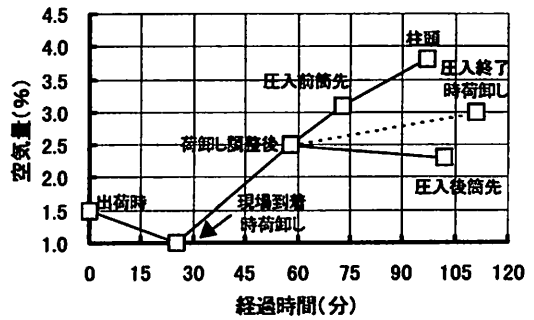


図-7 空気量試験結果(角柱)

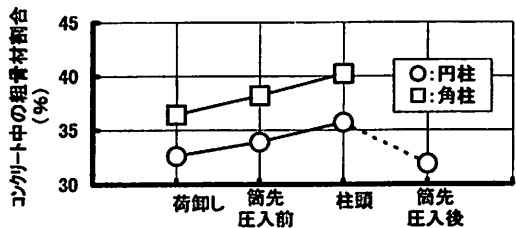


図-8 コンクリート中の粗骨材割合の変化

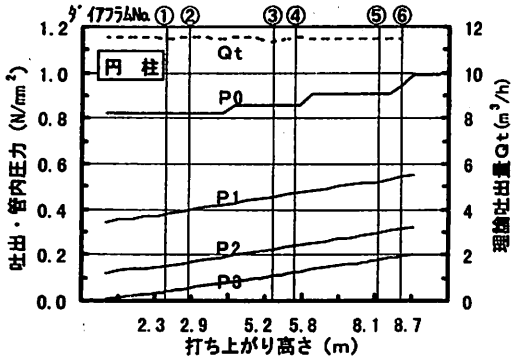


図-9 打ち上がり高さと吐出・管内圧力, 吐出量の関係

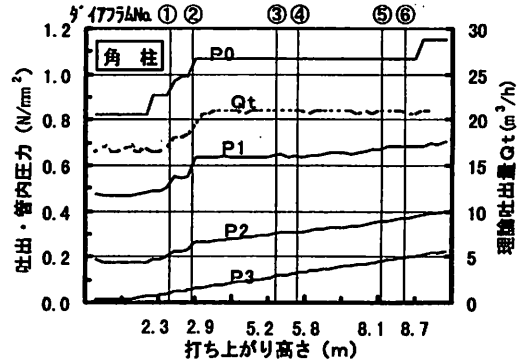


図-10 打ち上がり高さと吐出・管内圧力, 吐出量の関係

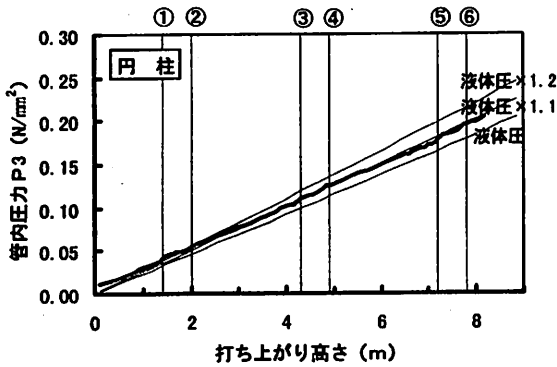


図-11 打ち上がり高さと管内圧力 P 3 の関係

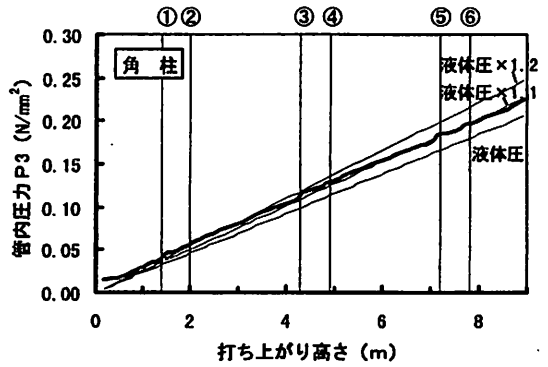


図-12 打ち上がり高さと管内圧力 P 3 の関係

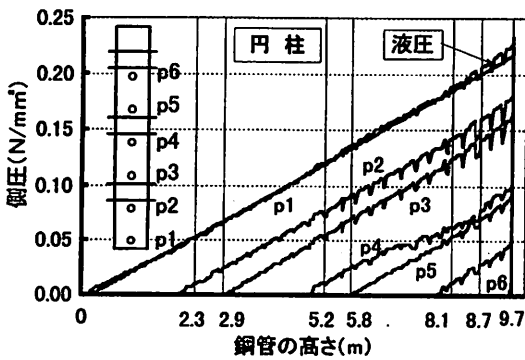


図-13 鋼管の高さと側圧の関係

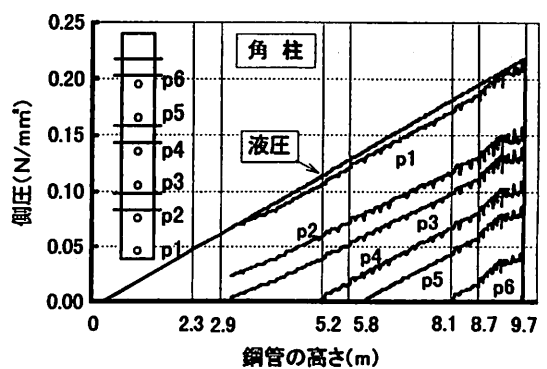


図-14 鋼管の高さと側圧の関係

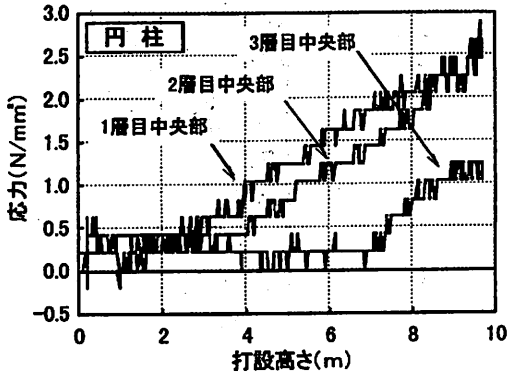


図-15 圧入高さと応力の関係 (角柱)

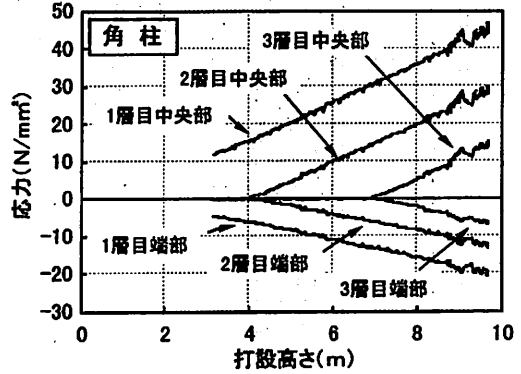


図-16 圧入高さと応力の関係 (角柱)

(4) 圧入口での圧力 (P3)

打ち上がり高さと管内圧力P3の関係を図-11~12に示す。P3に及ぼす圧力は比重2.4の液体圧が作用した場合の1.1倍程度であった。(円柱も同様な傾向) この圧入口での圧入圧力と液体圧との比率を表す係数1.1ならびに水平配管の圧力損失値を用い、CFT構造技術指針による圧入可能高さを、スランプフローの低下などによる圧送・圧入抵抗の増加を除いて推定すると、円柱の場合142m、角柱の場合135mまで可能な結果を得た。

3.3 鋼管の側圧

角柱の鋼管高さと同側圧の関係を図-13~14に示す。液圧と同程度となったが、文献で液圧の1.3~1.5倍との資料もあり、高さが10m以上の場合は大きくなることも予想される。

3.4 鋼管の応力分布

円柱、角柱の圧入高さと水平方向の応力 ($\sigma = \epsilon \times E$) の関係を図-15~16に示す。応力は圧入高さに比例し、中央部では増加(引張側)し、角柱の端部では減少(圧縮側)した。充填終了時の最大応力は、円柱の1層目中央部で2.94N/mm²(引張り)、角柱1層目中央部で47.1N/mm²(引張り)、端部で20.6N/mm²(圧縮)であった。また円柱の最大応力を液圧として計算するとほぼ実測値と同等となった。

鉛直方向の応力は円柱も角柱も温度変化に追従する傾向が認められたが、値としては極めて小さい結果であった。

角柱のひずみの経時変化を図-17に示す。ひずみは

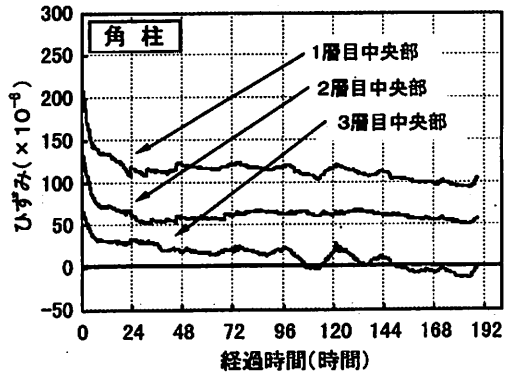


図-17 ひずみ (水平方向) の経時変化 (角柱)

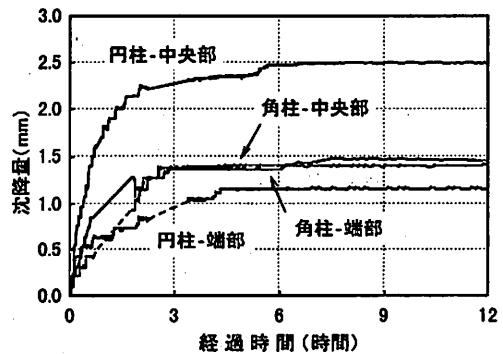


図-18 圧入高さと応力の関係

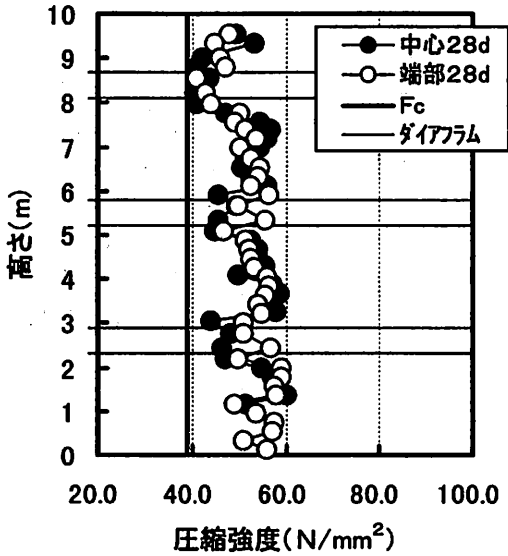


図-19 円柱の圧縮強度分布

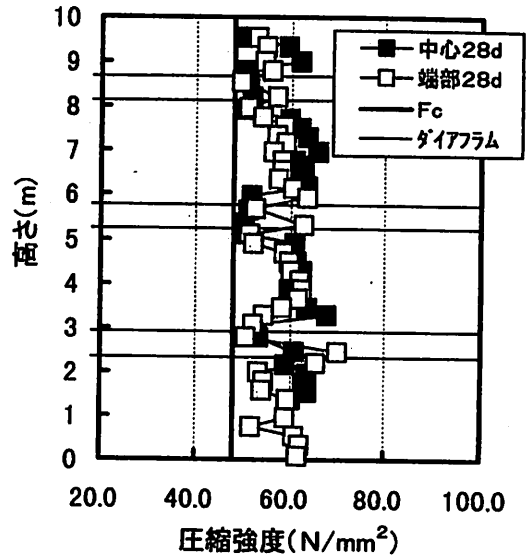


図-20 角柱の圧縮強度分布

コンクリート圧入時には直線的に増加するが、その後徐々に減少し、24時間後にはほぼ収束する傾向が認められた。また、7日後の残留ひずみは1層目中央部で最も大きく100 μ 、2層目中央部で50 μ 、3層目中央部で0 μ という結果であった。

3.5 天端コンクリートの沈降量

柱頭天端のコンクリートの沈降量を図-18に示す。沈降量はコンクリートの圧入完了から6時間程度ではほぼ終了し、円柱中央部で2.5mm (沈降率0.025%)、端部で1.3mm、角柱の中央部および端部で1.5mm (沈降率0.015%)と極めて小さい結果となった。円柱中央部が端部より大きかった理由は、一部のダイヤフラム接合部から若干の水漏れが生じた影響、あるいはダイヤフラムの開口率による相違と考えられ、今後も実験および実施などを通じて検討する必要がある。

3.6 圧縮強度の分布

鋼管柱の圧縮強度分布を図-19~20に示す。材齢3週後に鋼管柱からコアを採取し圧縮強度、ヤング係数の試験を実施した。円柱、角柱ともダイヤフラム直下では中心および端部に関わらず強度が低下したが、ダイヤフラム直上では中心部において端部より強度が低下する傾向があった。

この現象はコンクリートがダイヤフラムを通過する際の影響、ブリーディングの発生、骨材の沈みによる

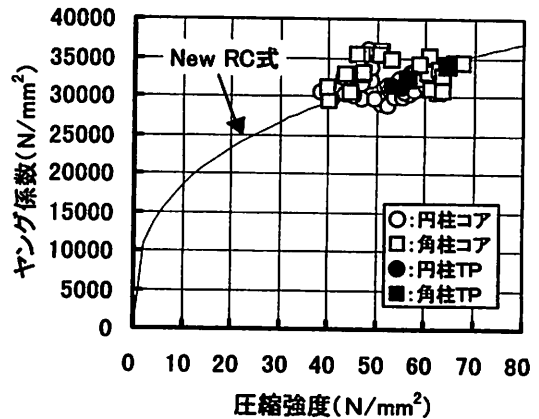


図-21 圧縮強度とヤング係数の関係

上下方向の不均一性などが考えられる。

3.7 ヤング係数

図-21に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。ヤング係数は、New RC式によく適合していた。

(New RC推定式)

$$E = 35,300 \times (\sigma_B / 60)^{1/2}$$

ここで

E : ヤング係数 (N/mm²)

σ_B : 圧縮強度 (N/mm²)

3.8 ダイアフラム下の充填状況及び気泡分布

ダイアフラム下端のコンクリート充填状況，気泡分布の測定は，鋼管柱を分解・解体しダイアフラムを取り外して行った。充填状況は目視で行いその状況を写真-2に，気泡分布状況を図-22に示す。また，気泡分布の測定結果を表-4に示す。

充填状況は円柱，角柱のいずれの個所とも十分に密着していた形跡が認められた。またダイアフラム直下の気泡面積率は，最大6.68%であり何れも目標値の10%未満であった。これらより柱頭天端の沈降が終了する約6時間に，30秒間隔で60～68dB環境振動下にあったコンクリート品質に対する一つの技術知見を得た。

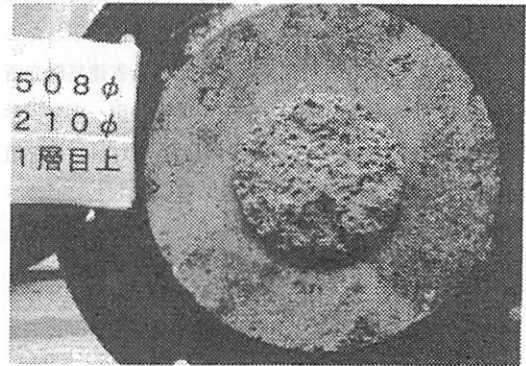


写真-2 充填状況

4. まとめ

本施工実験により，振動レベル60～68dBの環境振動下であったが，実用化技術の確立に係る次の4ポイントについて満足出来る結果を得，かつそれぞれに対する技術知見を蓄積した。

- ① 圧入施工が可能である。
- ② 内ダイアフラム下に空隙をつくらない。
- ③ 鋼管柱全長に渡り所定の設計基準強度を確保する。
- ④ 品質管理が確実にできる。

ただし，③はダイアフラム近傍で下限値に近い結果となったため，調査設計での安全率など注意が必要である。

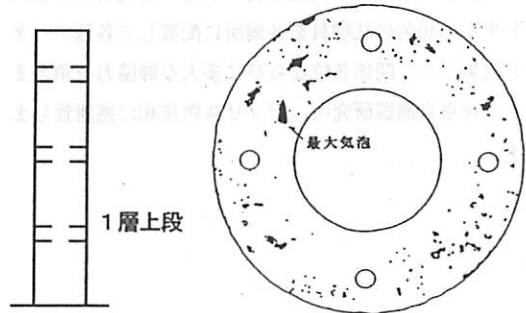


図-22 気泡分布状況

5. 実施工の実施

施工実験に引き続き，事務所建築（地下1階，地上6階，延べ面積886.2m²，設計基準強度39N/mm²）において，水セメント比37.5%のコンクリートをダイアフラム開口率25.4～32.8%の鋼管柱に適用した。軒高23.2mの柱頭での沈降量は1.6～2.3mmであり，施工実験の結果よりも小さかった。その他の品質管理結果についても所定値を満たすことが出来た。

(特記)

本編は，平成9年5月13日に，各報道機関の注視するなか公開実験を実施したものをまとめたもので，一部は，業界新聞ならびに1998年度日本建築学会大会学術講演会において公表している。

また本研究開発は，これまでの中・高層RC造建築の数多くの実績（最大規模：延べ床面積28,910.49m²，地下1階，地上31階建，集合住宅）を踏まえ，一連の

表-4 ダイアフラム直下のコンクリート面の気泡率

試験種類	ダイアフラム位置	気泡面積率 (%)
円柱	3層目上段	4.81
	3層目下段	2.18
	2層目上段	4.13
	2層目下段	4.53
	1層目上段	3.63
	1層目下段	2.81
角柱	3層目上段	6.68
	3層目下段	0.42
	2層目上段	3.10
	2層目下段	0.79
	1層目上段	4.67
	1層目下段	2.26

技術開発の第3段階にあり、更なる高度な技術力の確保を目指したものである。実験が成功裏に終了したことも、筆者ら7名の研究メンバーが建設省建築研究所無機材料研究室において友澤史紀博士（現、東京大学教授）、榊田佳寛博士（現、宇都宮大学教授）、阿部道彦博士（現、室長）の3代に渡る室長のもとで研鑽させて頂いたときに培われた技術力などによっていることを付記しておく。

(謝辞)

実験を行うに当っては、長谷川淳（現、長谷工コーポレーション）、藤田克巳（現、住宅都市整備公団）、和田真平（現、日本規格協会）などの研究員をはじめとする約40名の試験員を各個所に配置して各種データを収集した。関係各位ならびに多大な御協力を頂きました(株)東京測器研究所、ポゾリス物産(株)に感謝致します。

(参考文献)

- 1) 川崎, 中川, 成川, 松本, 和田: 海砂を用いたCFT用コンクリートの調合に関する基礎実験 その1, 2, 日本建築学会学術講演梗概集pp 251~254 (1997)
- 2) 和田, 川崎, 中川, 成川, 松本: CFT用コンクリートの沈降率試験方法の検討, 日本建築学会学術講演梗概集pp 255-256 (1997)
- 3) 川崎, 中川, 松本, 和田, 成川: 圧入方式による鋼管コンクリート構造柱の施工および品質管理, 日本建築学会九州支部研究報告第38号pp 125~128 (1999年3月)
- 4) 長谷川, 藤田, 川崎, 中川, 成川: 高流動コンクリートの実構造物への適用, その1, 2, 日本建築学会学術講演梗概集pp 533~536 (1995)
- 5) CFT構造技術指針・同解説 (社)新都市ハウジング協会, 1997年度
- 6) コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, 日本建築学会, 1994年版