

論文 粉体量の少ない高流動コンクリートによる CFT 圧入施工に関する実験的研究

神代泰道*1・大池 武*2・川口 徹*3

要旨: 粉体量を $350\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $425\text{kg}/\text{m}^3$ および $500\text{kg}/\text{m}^3$ とした 3 種類の高流動コンクリートを用いて、CFT 模擬柱に圧入施工実験を行った。その結果、粉体量の少ないコンクリートでも、流動性を高めることで良好な施工性が確認された。粉体量を $500\text{kg}/\text{m}^3$ とした高流動コンクリートを用いた場合には、最小間隔 100mm の過密ダイヤフラム部に対しても、良好な施工性および充填性が得られた。

キーワード: 高流動コンクリート, CFT, 粉体量, 充填性

1. はじめに

CFT 構造における鋼管充填用のコンクリートとしては、流動性および分離抵抗性を確保するため粉体量を $500\text{kg}/\text{m}^3$ 程度の高流動コンクリートを用いることが多い¹⁾。しかし、粉体量が多いため、コンクリートの設計基準強度が $30 \sim 42\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の中低層向け CFT 構建造物に対しては、コスト面で割高感が強い。このため必要な施工性を確保しつつ、これまでより粉体量が少ない高流動コンクリートの開発が望まれた。今回、ほぼその調合の目途が立ったため、CFT 模擬柱を用いた圧入施工実験を行って適用性を検証した。また、高層の CFT 構造では、梁せいの違いやブレースなどの取り付けにより、一箇所あたり $3 \sim 5$ 枚のダイヤフラムが $100 \sim 200\text{mm}$ 程度の狭い間隔で配置されるケースが出てきている。そのような過密ダイヤフラム部分における充填性を確認するために、粉体量 $500\text{kg}/\text{m}^3$ の高流動コンクリートを用いて圧入施工実験も行った。

2. 粉体量の少ない高流動コンクリート

2.1 特徴

高流動コンクリートのスランプフローは、コンクリート中の粉体量が少ない場合、分離しやすくなるため、むやみに大きくできない。しかし、増粘効果のある高性能 AE 減水剤を

用いれば、少ない粉体量ながら高い流動性と分離抵抗性を有するコンクリートが得られる。なお、増粘剤を用いても同様の効果が得られるが、投入手間や製造管理上の問題点があるため、実工事への適用は難しい。一方、増粘効果のある高性能 AE 減水剤の場合には、これまでと同じ方法でよい。

2.2 コンクリートの調合

粉体量の少ない高流動コンクリートとして、増粘効果のある高性能 AE 減水剤を用いて単位セメント量を $350\text{kg}/\text{m}^3$ および $425\text{kg}/\text{m}^3$ としたコンクリート（普通セメント使用、以下 C350、C425 と略記）について検討することにした。C350 は設計基準強度 $30 \sim 36\text{N}/\text{mm}^2$ 、C425 は $36 \sim 42\text{N}/\text{mm}^2$ を目標としたものである。コンクリートの調合を表-1 に示す。それぞれのスランプフローの設定は、広がりの状況における分離抵抗性を考慮して $55 \pm 5\text{cm}$ 、 $60 \pm 5\text{cm}$ とした。また、単位セメント量を $500\text{kg}/\text{m}^3$ とした高流動コンクリート（以下、C500）には、高炉セメント B 種および通常の高性能 AE 減水剤を用い、スランプフローを $60 \pm 10\text{cm}$ に設定した。

2.3 コンクリートの性質

図-1 にそれぞれのコンクリートのスランプフローと O ロート流下時間の関係を示す。スランプフローが増加すると、O ロート流下時間は短く、すなわち、粘性は低くなる傾向である。

*1 (株)大林組 技術研究所 建築材料研究室 研究員 (正会員)

*2 (株)大林組 技術研究所 建築材料研究室 主任研究員 (正会員)

*3 (株)大林組 技術研究所 建築材料研究室 室長 (正会員)

C350 が最も粘性は低いが、スランプフローが上限の 60cm を超えると、分離抵抗性が低下するため、流下中に骨材がかみ合い、O ロート流下時間がこれより長くなる場合がある。図-2 にブリーディング量 (JIS A 1123)

および沈下試験 ($\phi 150 \times 300$

の鋼製型枠、レーザー変位計で測定) における 24 時間後の沈下量を、単位セメント量で整理して示す。ブリーディング量は、粉体量の少ない C350 や C425 では多くなるようである。ブリーディング量は、単位水量や使用材料、特に細骨材にも影響を受ける²⁾ため C350 や C425 では注意が必要である。沈下量については、いずれのコンクリートについても 2mm³⁾を超えることはなかった。図-3 にそれぞれのコンクリートの圧縮強度の発現性状 (標準水中養生) を示す。

3. 実験概要

実験に使用した C F T 模擬柱の概要を図-4 に示す。C350 および C425 を圧入する試験体は、通常の C F T 構造をイメージした試験体 A、B とした。C500 を圧入する試験体は、開口率を 15 ~ 20% としたダイアフラムが 100 および 150mm の間隔で 4 枚配置されている試験体 C とした。それぞれの試験体は高さ 10m の角形鋼管 (鋼材: SS400) で、通常圧入口に設ける誘導管は設置していない。圧入にはピストン式ポンプ車 (4 t 車) を用い、配管 (5B 管) 長はおおよそ 30 m、圧入速度は 1.0m/分 を目標とした。

計測の概要を図-4(c) に示す。鋼管の挙動を把握するため、鋼管に作用する圧力、ひずみ、膨らみ量について測定した。また、一部のダイアフラムの下面には土圧計を設置し、作用する圧力について測定した。圧入後のコンクリート天端の沈下量はレーザー変位計で測定した。鋼管内部のコンクリートの充填性は、ダイアフラムを含む試験体を縦に切断し、目視によって確認した。また、試験体の中心部および表面部でコアボーリングを行い、圧縮強度および単位容積質量を測定した。

表-1 コンクリートの調査表

コンクリート記号	スランプフロー (cm)	Gmax (mm)	W/C (%)	S/a (%)	空気量 (%)	セメント種類	上段: 単位重量 (kg/m ³) 下段: 単位容積 (L/m ³)				添加率 (C × %)
							W	C	S	G	
C350	55 ± 5	20	50.0	53.4	4.5	N	175	350	941	831	1.2
							175	111	359	310	
C425	60 ± 5	20	41.1	52.0	4.5	N	175	425	878	831	1.4
							175	135	335	310	
C500	60 ± 10	20	34.0	52.8	3.0	BB	170	500	880	804	1.3
							170	164	336	300	

C350, C425 には増粘作用を有する高性能 A E 減水剤使用

C500 には通常の高性能 A E 減水剤を使用

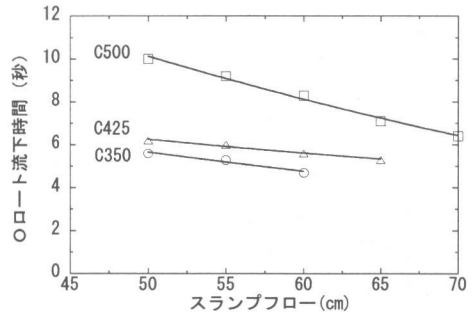


図-1 スランプフローとOロート流下時間の関係

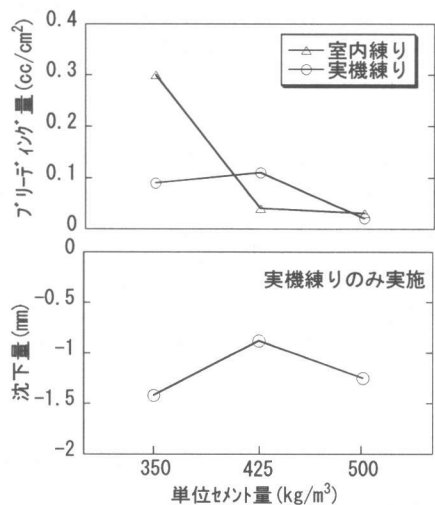


図-2 ブリーディングおよび沈下試験結果

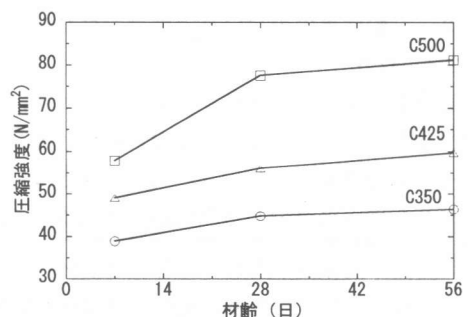
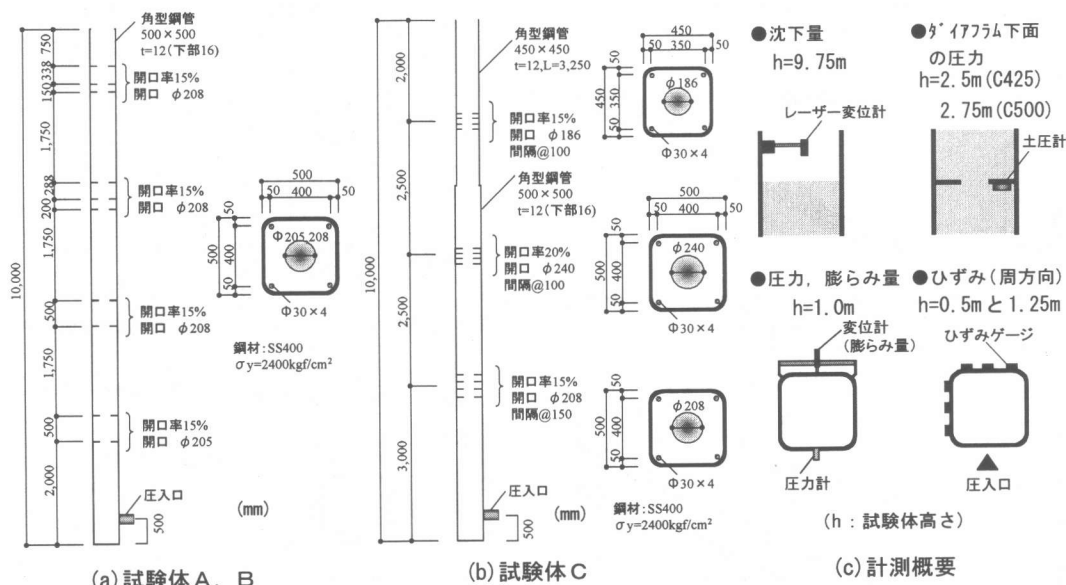


図-3 圧縮強度の発現性状



図－4 試験体の概要

4. 実験結果

4.1 圧入状況

表－2 に各コンクリートのフレッシュ性状の試験結果を示す。C350

は、目標としたスランプフローよりやや硬めであったが実験に用いた。すべての試験体において、コンクリートが途中で閉塞することなく、平面を保持しながら上昇の様子が観察された。表－2 に示したように、C350 では圧入速度が多少 1.0m/分を超えていたが、その他は目標とした 1.0m/分以内であった。すべての試験体で圧入完了後の柱頭部には、ブリーディング水の発生は観察されなかった。

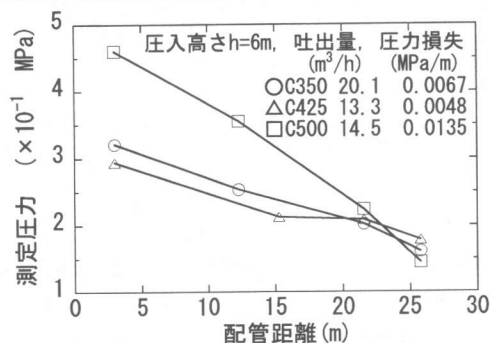
4.2 計測結果

(1) 管内圧力

試験体の圧入高さが 6m になった時点におけるコンクリート配管の管内圧力の分布状況を図－5 に示す。この結果から水平管における圧力損失を算出した (図中参照)。なお、コンクリートの圧入が進んでも、圧力損失の値が大きく変わることはなかった。C350 および C425 では、コンクリートの粘性が低いため、C500 に比べて、圧力損失が 50% 程度になっている。

表－2 各種コンクリートの試験結果

コンクリート 記号	スランプフロー (cm)			○ロート 流下時間 (秒)	空気量 (%)	CT (°C)	ブリーディング 量 (cc/cm ²)	沈下量 (mm)	圧入速度 (m/分)
C350	47.5	43.8	38.3	5.74	3.5	22.0	0.09	1.42	1.30
C425	58.8	56.5	54.5	4.20	4.2	24.0	0.11	0.88	0.87
C500	50.0	50.3	42.8	9.19	2.4	21.5	0.02	1.25	1.00



図－5 コンクリート配管内圧力の分布

(2) 圧入中の鋼管の挙動

各試験体の試験体高さ h=1.0m に設置した圧力計による圧力の測定結果を図－6 に示す。C350 と C425 は同じ形状の試験体に圧入したが、C350 の方が鋼管に作用する圧力が大きくなった。これは圧入したコンクリートのスランプフローが 50cm 以下と小さかったためと思われる。また、ダイヤフラムが過密に配置されている試験体に圧入した C500 の場合、ダイヤフラムを

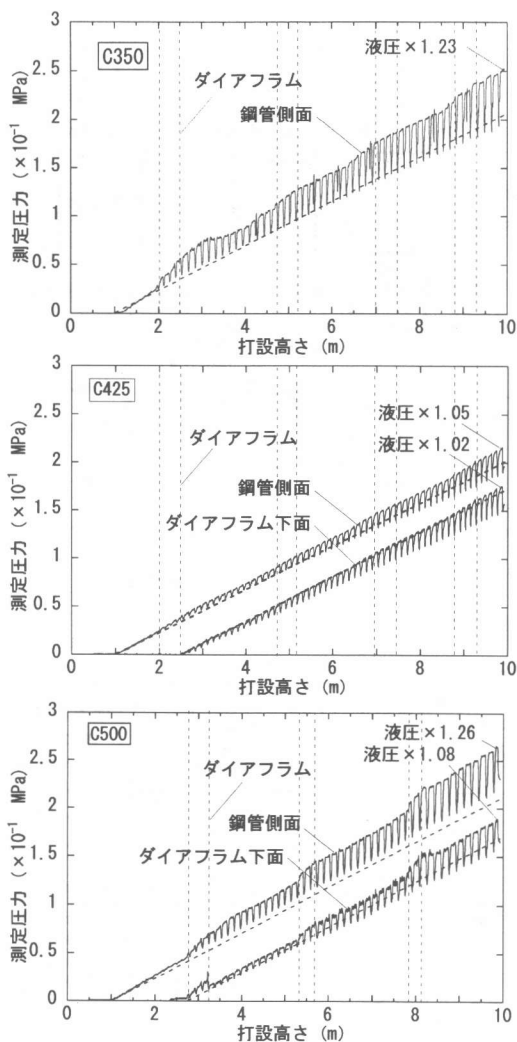


図-6 鋼管に作用する圧力

通過する部分で圧力が増加した。最終的に作用した圧力を、コンクリートの液圧 (=密度×高さ) に対する比 (以下、液圧比) で表すと、C350 で 1.23 倍、C425 で 1.05 倍、C500 で 1.26 倍となり、これまでの誘導管ありで測定した範囲 (1.0～1.3) 内⁴⁾⁵⁾であった。C425 および C500 を圧入した試験体の一部のダイアフラムの下面には土圧計を設置したが、図-6 に示したように、鋼管に作用する圧力と同様に上昇する様子が確認された。

表-3 に圧入終了直後の鋼管に生じた圧力、ひずみ、膨らみ量の測定結果を示す。ひずみと膨らみ量の計算には、鋼管断面の一辺を軸力と曲げを同時に受ける両端固定の部材と仮定した

表-3 測定結果と計算値との比較

試験体	概要	圧力 (MPa)	ひずみ (μ)	膨らみ量 (mm)
		h=1m	h=0.5m	h=1m
試験体 A (C350)	測定値	0.248	267	0.40
	計算値	0.202	236	0.36
	比	1.23	1.13	1.12
試験体 B C425	測定値	0.212	232	0.35
	計算値	0.202	237	0.36
	比	1.05	0.98	0.97
試験体 C C500	測定値	0.261	256	0.39
	計算値	0.207	242	0.36
	比	1.26	1.07	1.08

※比=測定値/計算値、ひずみは圧入口に対面する面の中央

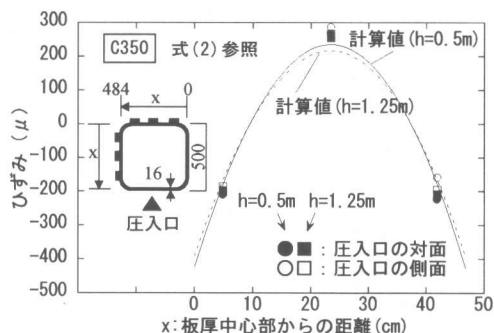


図-7 鋼管表面のひずみの分布

モデルによる式(1)および式(2)を用いた。表中にそれぞれの計算結果も示した。

$$\text{膨らみ量 (中央部)} : \delta = \frac{w \cdot h(D-2t)^4}{384EI} \quad \text{式(1)}$$

$$\text{ひずみ} : \varepsilon(x) = \frac{w \cdot h}{2Et^2} \{6x(F-x) - F^2 + Ft\} \quad \text{式(2)}$$

ここで、 W : コンクリート密度、 h : コンクリートのヘッド高さ、 E : 鋼管のヤング率、 D : 鋼管の幅、 t : 鋼管の板厚、 $F: F=D-2t$ 、 I : 断面 2 次モーメント ($=t^3/12$)、 x : 板厚中心部からの距離、である。

測定結果と計算結果を比べると、試験体 A や試験体 C のように鋼管に作用した圧力が大きい場合には、ひずみおよび膨らみ量についても計算値より大きくなった。

(3) 鋼管のひずみ分布

誘導管をなしとして圧入した場合の鋼管に生じるひずみの分布を調査するために、圧入口の側面および対面となる面の中央部、隅角部にひずみゲージを周方向に取り付けた (図-4 (c) 参照、試験体高さ $h=0.5\text{m}$ と $h=1.25\text{m}$ に全 12 点)。図-7 に、C350 を圧入した試験体における圧入

終了直後の最大ひずみの分布状況を示す。計算値に対する測定値の比は、圧入口に対面する面で1.20倍（6点の平均値）、側面で1.14倍（同）となり、圧入口に対面する面のひずみの方が若干大きくなる傾向であった。なお、鋼管に作用する圧力が、液圧の1.23倍であることを考慮すると、特に過大なものではないといえる。

(4) 圧入終了後の鋼管の挙動

図-8にC425を圧入した試験体における圧入終了後からのひずみ、膨らみ量の変化を示す。コンクリートの硬化に伴い、圧入終了後6～12時間にかけて徐々に小さくなった。圧入して24時間経過後のひずみは120 μ 、膨らみ量は0.16mmであり、文献⁵⁾による報告とほぼ同等であった。

(5) ダイアフラム下面に作用する圧力と沈下量

C425とC500の試験体に設置した土圧計による、ダイアフラム下面に作用する圧力の圧入終了後の挙動を図-9に示す。圧入終了直後には、ほぼコンクリートの液圧が作用し、コンクリートの硬化に伴って、徐々に小さくなっている。圧入後から12時間程度まで、それより上にあるコンクリートの自重が、ヘッド圧として作用している。一方、コンクリートの天端の沈下量の計測結果を図-10に示すが、初期の段階において比較的急激に沈下し、4～5時後にはほぼ収束している。コンクリート天端においては沈下が見られるものの、ダイアフラム下面においては、それより長時間、コンクリートのヘッド圧が作用している。

4.3 充填性確認結果

充填性の確認は各試験体のダイアフラム部において切断し、目視によって観察した。一例として各試験体の最上部のダイアフラム部分を切断した状況を写真-1に示す。C425およびC500を圧入した試験体においては、良好な充填性が確認された。C350を圧入した試験体では、ダイアフラム下面に部分的にエアだまりが観察された。また、最下部のダイアフラム下面においては3～6mmのすき間が生じていた。

この原因について、C425やC500では、ダイ

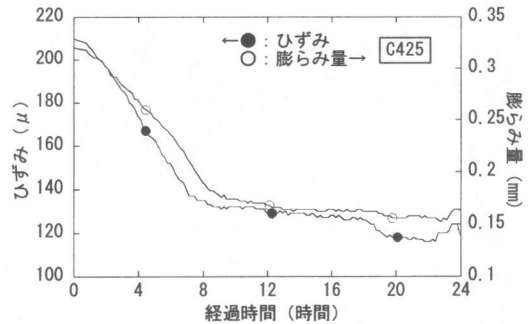


図-8 圧入終了後の鋼管の挙動

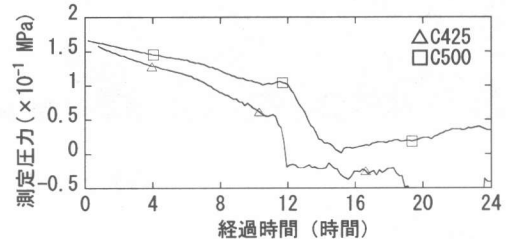


図-9 ダイアフラム下面に作用する圧力

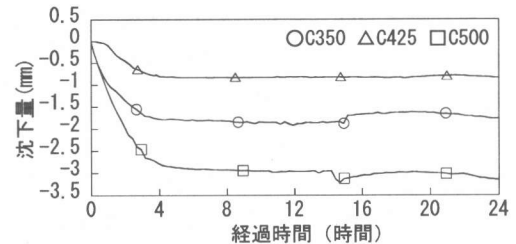
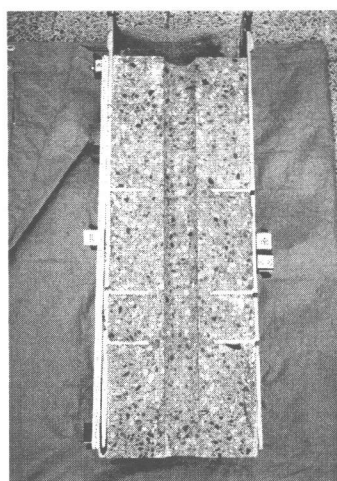


図-10 柱頭部での沈下量

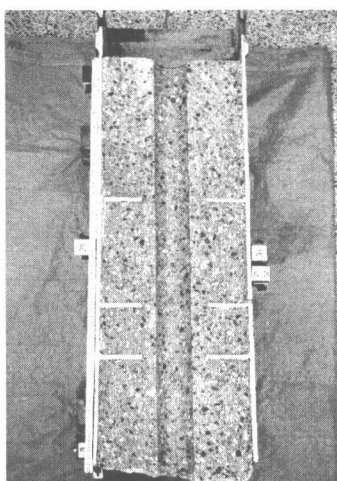
アフラム下面において長時間、コンクリートのヘッド圧が作用したため、充填性は確保されたものと思われる。一方、粉体量の少ないC350の場合、コンクリートの側圧の影響でダイアフラム開口部でアーチングが生じやすく、このため上部コンクリートのヘッド圧が伝達されず、コンクリートの沈下に伴うすき間が発生したものと推察される。このように、C350は充填性の確保が必ずしも充分でなく、ダイアフラム下面の充填性が強く要求される場合にはその使用を避けた方がよいと思われる。

4.4 構造体コンクリート試験結果

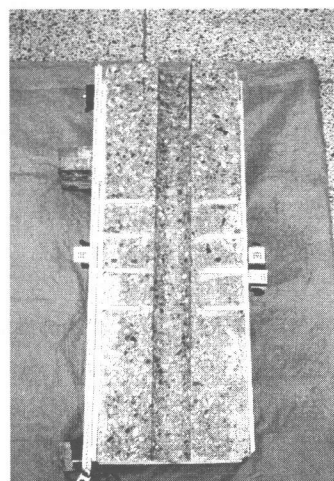
各試験体から採取したコア供試体による圧縮強度の試験結果を表-4に示す。C350およびC425を圧入した試験体では、ダイアフラム近傍において強度低下が見られ、変動係数は9～13%となった。構造体コンクリート強度として



(a) C350



(b) C425



(c) C500

写真-1 各試験体の充填状況

は最低でも C350 で 35N/mm^2 、C425 で 42N/mm^2 を確保できた。C500 を圧入した試験体では、ダイアフラム近傍における強度低下もなく、変動係数は 3～5% であった。構造体コンクリート強度としては最低でも 65N/mm^2 を確保できた。単位容積質量は、いずれの試験体も作用するコンクリートの自重圧が大きくなる下部ほど大きくなる傾向を示した。

5. まとめ

粉体量を 350kg/m^3 、 425kg/m^3 および 500kg/m^3 とした 3 種類の高流動コンクリートを用いて、ダイアフラムを有する CFT 模擬柱に圧入施工実験を行った。その結果、粉体量の少ないコンクリートでも、流動性を高めることでこれまでと同等の施工性が確認された。鋼管内部のコンクリートの充填性は、粉体量を 350kg/m^3 とした場合ではやや劣る結果となり、粉体量を 425kg/m^3 とした場合では良好であった。したがって、ダイアフラム下面の充填性が強く要求される場合には、C350 の使用は避けた方がよい。粉体量 500kg/m^3 とした高流動コンクリートの場合には、最小間隔 100mm の過密ダイアフラム部に対しても、良好な施工性および充填性が得られた。今回、全て誘導管を設置しないで圧入したが、特に過大なひずみ、膨らみもな

表-4 構造体コンクリートの強度試験結果

材齢 コンクリート	28日			56日			91日		
	個数	平均	σ	個数	平均	σ	個数	平均	σ
C350	24	46.7	5.92	15	47.2	6.06	7	52.1	6.52
C425	23	53.6	5.93	15	55.5	7.52	7	61.5	5.66
C500	8	74.9	3.59	11	76.1	3.73	5	80.9	2.57

く、これまでの誘導管を設置した場合と遜色ない施工性を確保できることを確認した。

参考文献

- 1) 例えば 大池 武, 神代泰道ほか: コンクリートのポンプ圧入工法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp263 - 264, 1997
- 2) 神代泰道, 大池 武ほか: 高流動コンクリートのブリーディング特性, コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 21, No. 2, pp445-450, 1999
- 3) 新都市ハウジング協会: CFT 構造技術指針・同解説, 1999
- 4) 神代泰道, 大池 武ほか: 高強度・高流動コンクリートによる CFT 構造柱の充填施工, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No. 2, pp481-486, 1998
- 5) 大池 武 時野谷浩良ほか: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 1, pp207-212, 1996