

粉体量の少ない高流動コンクリートのCFT圧入工法への適用

神代 泰道 大池 武
川口 徹

Application of Self-Compacting Concrete with a small amount of cement to CFT Pump-up Injection Method

Yasumichi Koushiro Takeshi Oike
Toru Kawaguchi

Abstract

Two kinds of Self-compacting concrete with a small amount of cement (350kg/m^3 and 425kg/m^3) have been developed. And its application to the CFT pump-up injection method was confirmed. With this method, it is possible to inject even concrete with a small amount of cement by improving its flowability. Filling of steel columns with concrete has been inferior at a cement content of 350kg/m^3 , but excellent at a cement content of 425kg/m^3 .

Next, for the purpose of confirming filling of steel columns with dense diaphragms, self-compacting concrete with a current amount of 500kg/m^3 was injected into steel column with diaphragms disposed at 100mm space. This was confirmed to achieve excellent filling.

概要

粉体量を従来より少ない 350kg/m^3 および 425kg/m^3 とした2種類の高流動コンクリートを開発し、ダイヤフラムを有する角形鋼管に圧入施工実験を行った。また、過密ダイヤフラム部におけるコンクリートの充填性を確認するため、CFT圧入工法用として実績の多い粉体量 500kg/m^3 とした高流動コンクリートを用いて、最小間隔を100mmで配置した複数のダイヤフラムを有する角形鋼管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。鋼管内のコンクリートの充填性は、粉体量を 350kg/m^3 としたコンクリートではやや劣る結果となり、粉体量を 425kg/m^3 としたコンクリートでは良好であった。過密ダイヤフラム部に対しては、これまでと同様の粉体量を 500kg/m^3 とした高流動コンクリートを用いることで、良好な施工性および充填性が得られることを確認した。

1. はじめに

これまで、CFT構造に使用する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 500kg/m^3 以上とした高流動コンクリートを用いてきた。このコンクリートは、1995年にポンプ圧入工法による実大規模の施工実験を行い、その施工性および充填性を検証¹⁾した後、CFT圧入工法用コンクリートとして、これまでに多くの施工実績を持つものである。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 $30\sim 42\text{N/mm}^2$ 程度の中低層向けCFT構造物に対しては、コスト面で割高感が強く、そのローコスト化が求められるようになってきた。このため必要な施工性および充填性を確保しつつ、いかにコンクリートの調合上のコストダウンをはかるかが課題となった。

今回、粉体量が少ない高流動コンクリートの研究開発を進め、ほぼその調合の目的が立ったため、CFT模擬柱を用いた圧入施工実験を行い、その施工性および充填性

を確認した。

また、高層のCFT構造（建築センター評定物件）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3～5枚のダイヤフラムが100～200mm程度の狭い間隔で配置されるケースも出てきている。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CFT圧入工法用として実績のある高流動コンクリートを用いて圧入施工実験を行った。なお、今回の施工実験は、これまで圧入口に設けてきた誘導管を使用しないで圧入した。

2. 粉体量の少ない高流動コンクリート

2.1 特徴

従来の高流動コンクリートのスランプフローの範囲は $50\sim 70\text{cm}$ ²⁾であるが、コンクリート中の粉体量が少ない場合には、分離しやすくなるため、スランプフローはむやみに大きくできない。しかし、Fig.1に示すように、増

粘効果のある高性能A E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。今回、このような増粘効果のある高性能A E減水剤を用いた高流動コンクリートの開発を行った。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A E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、普通セメントを用いて単位セメント量を350kg/m³および425kg/m³とした2種類のコンクリート（以下、C350、C425と略記）について検討することにした。コンクリートの調合をTable 1に示す。それぞれのスランプフローの設定は、分離抵抗性を考慮して55±5cm、60±5cmとした。また、CFT圧入工法用として実績の多い、高炉セメントB種を用いて単位セメント量を500kg/m³としたコンクリート（以下、C500）には、通常の高性能A E減水剤を用い、スランプフローを60±10cmに設定した。

2.3 コンクリートの性質

Fig.2に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。C350が最も粘性は低いが、スランプフローが上限の60cm近くになると、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。

ブリーディング量については、C350では0.1~0.3cc/cm²の範囲であった。C425では0.02~0.1cc/cm²の範囲であるが、スランプフローが上限値に近くなると0.1cc/cm²を超える場合がある。C500では0~0.04cc/cm²の範囲である。なお、コンクリートの粘性やブリーディング量は、使用材料、特に細骨材の影響を受ける³⁾ため注意が必要である。

沈下試験（150×300の鋼製型枠使用、レーザー変位計使用）における24時間後の沈下量については、いずれのコンクリートについてもCFT構造技術指針⁴⁾による規定値（≧2mm）を超えることはなかった。

Fig.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CFT模擬試験体の概要をFig.4に示す。C350およびC425を圧入する試験体は、通常CFT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%としたダイヤフラムが100および150mmの間隔で4枚配置されている試験体Cとし

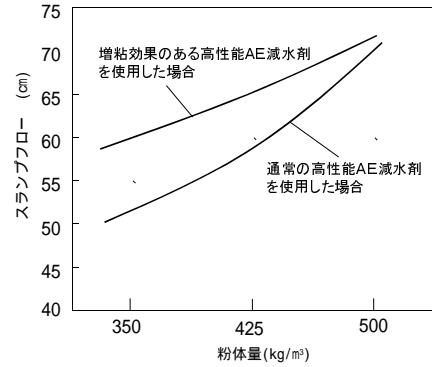


Fig. 1 粉体量とスランプフローの上限値
Relationship of Powder Content and Maximum of Slump-Flow

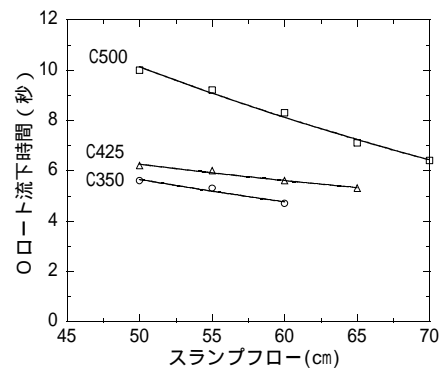


Fig. 2 スランプフローとOロート流下時間の関係
Relationship of Slump-Flow and O-Roto Time

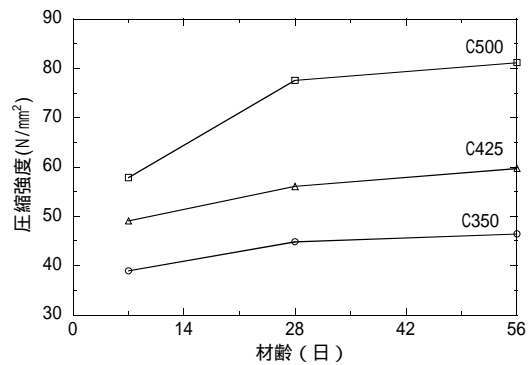


Fig. 3 圧縮強度の発現性状
Compressive Strength of Concrete

Table 1 コンクリートの調合表
Mix Proportion of Concrete

コンクリート記号	スランプ (Fロ) (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	1.15
							175	111	359	310	
C425	60±5	20	41.1	52.0	4.5	N	175	425	878	831	1.38
							175	135	335	310	
C500	60±10	20	34.0	52.8	3.0	BB	170	500	880	804	1.25
							170	164	336	300	

C350,C425には増粘作用を有する高性能A E減水剤（HS-700F）使用

C500には通常の高性能A E減水剤（HS-700）を使用

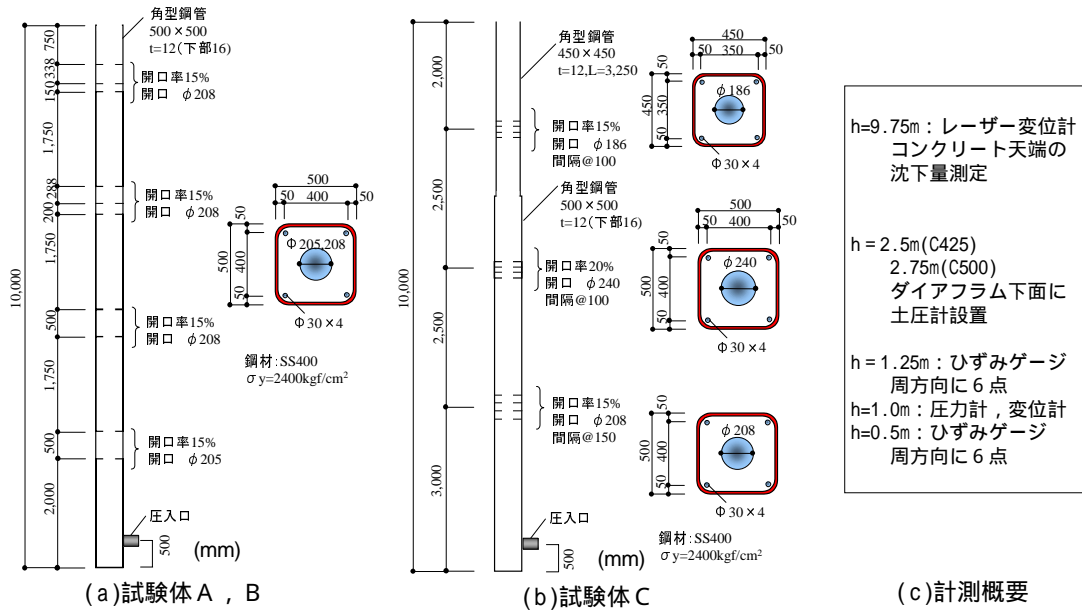


Fig. 4 試験体の概要

Schematic Drawing of Model Test Specimen

た。それぞれの模擬柱は高さ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（4t車）を用い、配管（ Φ 管）長はおよそ30m、圧入速度は1.0m/分を目標とした。

コンクリート圧入時には、コンクリート配管の圧力を測定した。また、鋼管の挙動を把握するため、鋼管に作用する圧力、ひずみ、膨らみ量について計測した。また、一部のダイアフラムの下面には土圧計を設置し、ダイアフラム下面に作用する圧力について計測した。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計測した。鋼管内の充填性の確認はダイアフラムを含む試験体を縦に切断し、目視によって行った。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。

Table 2 各種コンクリートの試験結果
Properties of Concrete

コンクリート記号	スランブフロー (cm)			Oロート流下時間 (秒)	空気量 (%)	CT ()	ブリーディング量 (cc/cm ²)	沈下量 (mm)	圧入速度 (m/分)
	荷卸	筒先	柱頭部						
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

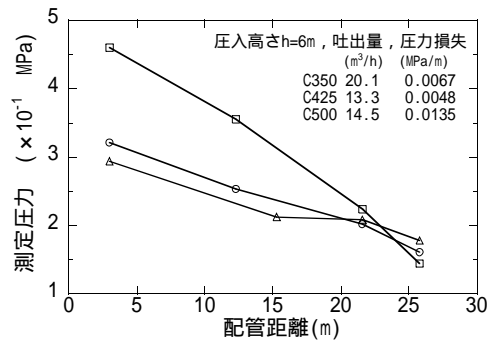


Fig. 5 コンクリート配管内圧力
Pumping Pressure measured on Concrete Pipe

4. 実験結果

4.1 圧入状況

Table 2に圧入時の各コンクリートの試験結果を示す。C350は、目標としたスランブフロー（55±5cm）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、圧入施工時のコンクリート天端は平面を保持しながら上昇する様子が観察された。

Table 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。すべての試験体について圧入完了後、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

4.2.1 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をFig.5に示す。この結果から管内圧力損失を算出した（図中参照）。なお、試験体の圧入が進んでも、圧力損失の値が大きく変わることはなかった。圧力損失は吐出量によって変わるため、今回得

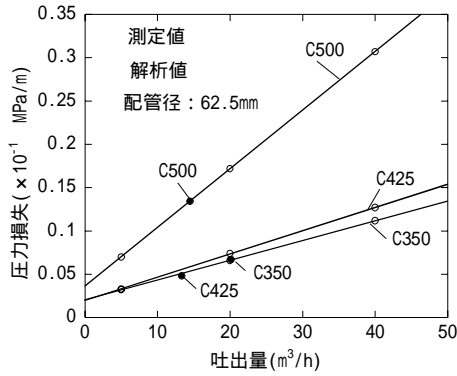


Fig. 6 吐出量と圧力損失の関係
Relationship of Pumping Rate and Pressure Loss

られたデータを基に、吐出量と圧力損失の関係を求めた。その結果をFig.6に示すが、これは、コンクリートをビンガム体と仮定し、スランプフローとOロート流下時間から、コンクリートの降伏値と塑性粘度を推定した上で、解析的に圧力損失を求めたものである。C350およびC425では、コンクリートの粘性が低いため、従来の高流動コンクリート(C500)に比べて、圧力損失は小さくなる。

4.2.2 鋼管に作用する圧力，膨らみ量，ひずみ

鋼管の側面に設置した圧力計による圧入中の鋼管に作用する圧力の測定結果をFig.7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、ダイア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、ダイアフラムを通過する毎に圧力が増加した。最終的に鋼管側面に作用した圧力を、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1.17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) 内であることが確認された。

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、ダイアフラム下面に作用する圧力の測定を行ったが、Fig.7に示したように、圧入中では鋼管の側面に作用する圧力と同様に上昇する様子が確認された。

鋼管の中央部に生じる膨らみ量および周方向に生じるひずみは、鋼管断面の一边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モデルによる(1)式および(2)式を用いて算出した。その算定結果を測定結果と併せてTable 3に示す。

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

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

ここで、 w : コンクリート密度、 h : コンクリートのヘッ

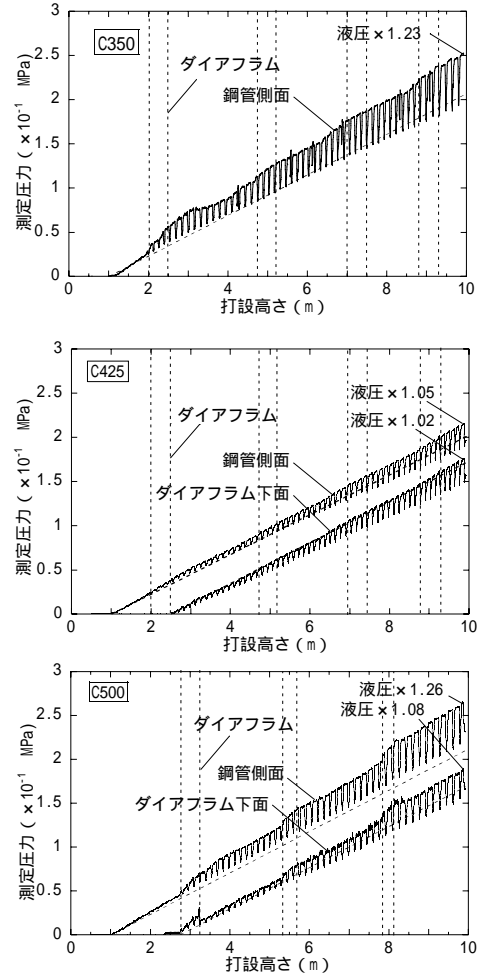


Fig. 7 鋼管に作用する圧力
Pumping Pressure measured on Steel Column

Table 3 測定結果と計算値との比較
Comparison of Measured Value and Calculated Value

コンクリート記号	概要	圧力 (MPa)	ひずみ (μ)	膨らみ量 (mm)
C350	測定値	0.248	267	0.40
	比	1.23	1.13	1.12
C425	測定値	0.212	232	0.35
	比	1.05	0.98	0.97
C500	測定値	0.261	256	0.39
	比	1.26	1.07	1.08

比 = 測定値 / 計算値

ド高さ、 E : 鋼管のヤング率、 D : 鋼管の幅、 t : 鋼管の板厚、 $F = D - 2t$ 、 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。

Table 3には、それぞれの計算値に対する測定値の比を示したが、鋼管に作用する圧力として、液圧比を適切に設定し、(1)および(2)式を使用することで、膨らみ量およびひずみを評価できる。

4.2.3 鋼管のひずみ分布

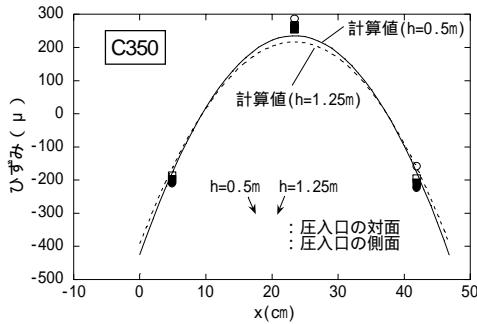


Fig. 8 鋼管表面のひずみ分布
Strain measured on the Surface of Steel Column

鋼管に生じるひずみの分布を調査するために、試験体高さ $h=0.5\text{m}$ と $h=1.25\text{m}$ において、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。一例としてFig. 8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。 $h=1.25\text{m}$ （図中 と）では、面によるひずみの分布の違いはほとんどないが、圧入口と同じ高さの $h=0.5\text{m}$ （図中 と）では、対面している面の隅角部のひずみ（絶対値）が大きくなる傾向であった。これは誘導管がないため、圧入口に対面する面のひずみが大きくなったものと思われるが、その大きさとしては、(2)式による計算値に、液圧比（この場合1.23）を乗ずれば評価できる範囲であり、特に過大なものではなかった。

4.2.4 圧入終了後の鋼管の挙動

一例としてFig. 9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 120μ 、膨らみ量は 0.16mm であり、文献¹⁾による報告とほぼ同等であった。

4.2.5 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は、Fig. 10に示すように、コンクリートの硬化に伴って、徐々に小さくなった。このようにダイアフラム下面には、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ヘッド圧が作用しているため、充填性が確保されるものと思われる。一方、コンクリートの天端の沈下量の測定結果をFig. 11に示すが、初期の段階において比較的急激に沈下し、4～5時後にほぼ収束する。このようにコンクリート天端においては沈下がみられるが、ダイアフラム下面においては、コンクリートのヘッド圧が長時間作用するため、沈下に伴うすき間は生じにくいものと考えられる。

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Photo 1に示す。C425およびC500を圧入した試験体においては、良好

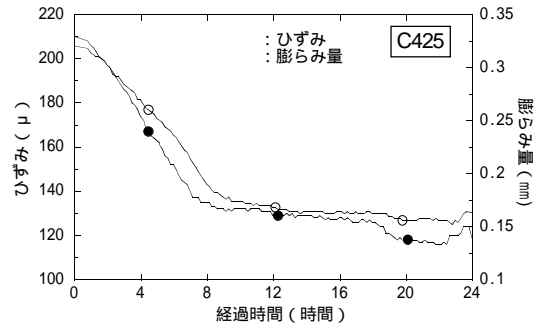


Fig. 9 圧入終了後の鋼管の挙動
Behavior of Steel Column after injection

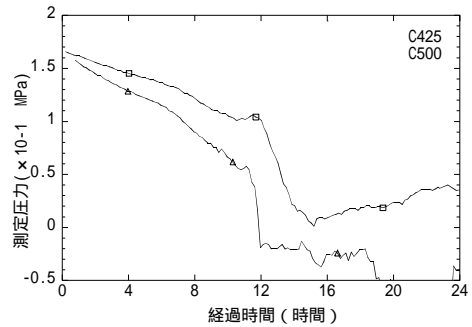


Fig. 10 ダイアフラム下面に作用する圧力
Pressure measured under Diaphragm

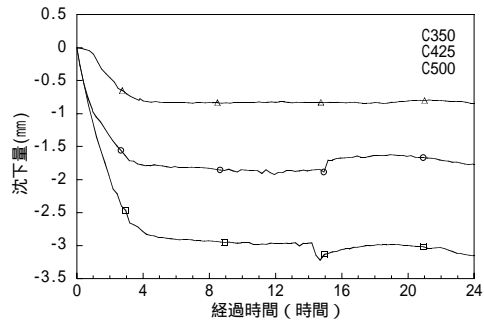


Fig. 11 柱頭部での沈下量
Settlement measured on the top of Concrete

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。この原因については、ダイアフラムの開口部において、何らかの理由により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と思われる。このようにC350の場合、粉体量が少ないため充填性が必ずしも充分でない。

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Table 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、標準偏差が平均強度の9～13%となった。構造体コンクリート強度としては最低でもC350で 35Nmm^2 、C425で 42Nmm^2 確保できた。C500を圧入した試験体では、ダイ

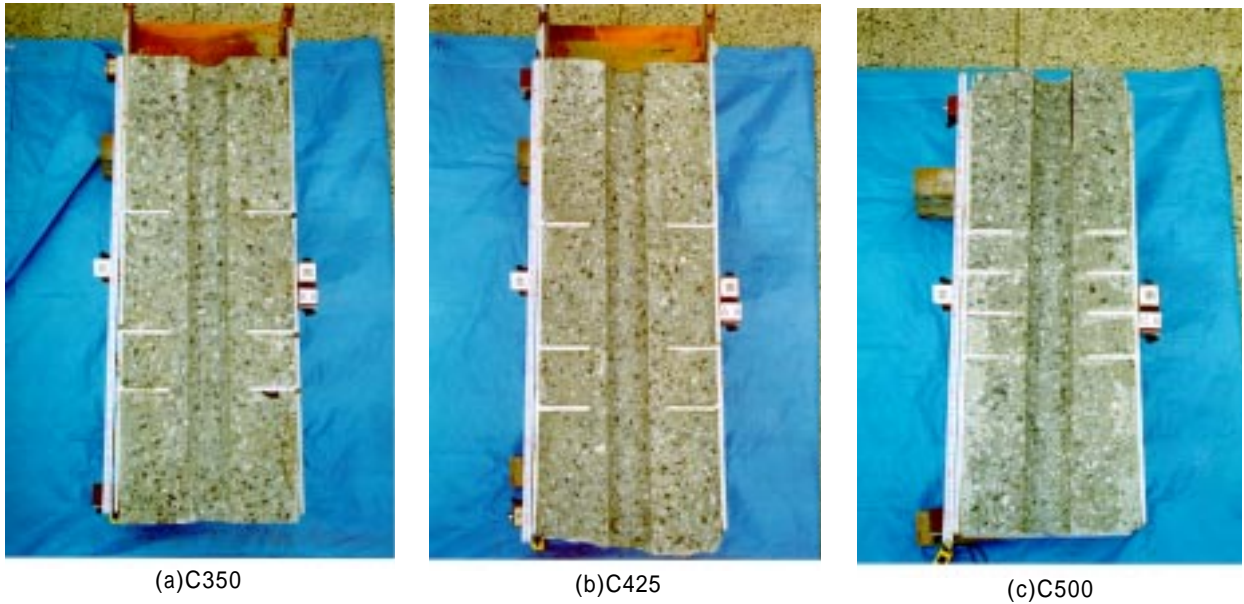


Photo 1 各試験体の充填状況

Filling of Steel Columns with Diaphragms

アフラム近傍における強度低下もなく、標準偏差は平均強度の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/m²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。

Table 4 構造体コンクリートの強度試験結果
Compressive Strength of Core Test Specimen

材齢 コンクリート	28日			56日			91日		
	個数	平均		個数	平均		個数	平均	
C350	24	46.7	5.92	15	47.2	6.06	7	52.09	6.52
C425	23	53.6	5.93	15	55.5	7.52	7	61.46	5.66
C500	8	74.9	3.59	11	76.1	3.73	5	80.86	2.57

5. まとめ

粉体量を従来より少ない350kg/m³および425kg/m³とした2種類の高流動コンクリートを開発し、ダイアフラムを有する角形鋼管に圧入施工実験を行い、CFT圧入工法への適用性を確認した。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。鋼管内のコンクリートの充填性は、粉体量を425kg/m³としたコンクリートの充填性は良好であった。粉体量を350kg/m³としたコンクリートでは、充填性がやや劣った。したがって、ダイアフラム下部の充填性の確保が強く要求される場合にはC350の使用は避けた方がよい。構造体コンクリート強度は最低でもC350で35N/mm²、C425で42N/mm²確保できた。

過密ダイアフラム部におけるコンクリートの充填性を確認するため、CFT圧入工法用として実績の多い粉体量500kg/m³とした高流動コンクリートを用いて、最小間隔100mmで配置した複数のダイアフラムを有する角形鋼管

に圧入施工実験を行った。その結果、良好な施工性および充填性が得られることを確認した。

今回の施工実験においては、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が確認された。

参考文献

- 1) 大池, 時野谷, 他: 高流動コンクリートによる鋼管柱ポンプ圧入工法, 大林組技術研究所報, No.53,(1996.6)
- 2) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書 鉄筋コンクリート工事 (JASS5), 20節高流動コンクリート, (1997)
- 3) 神代, 大池, 他: 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)
- 4) 新都市ハウジング協会: CFT構造技術指針・同解説, (1999)