

# 論文 CFT 柱に充填するコンクリートの収縮挙動に関する実験的研究

寺西 浩司<sup>\*1</sup>・山田 一徳<sup>\*2</sup>・梶田 秀幸<sup>\*3</sup>

**要旨:** 本研究では、CFT 柱に充填する高流動コンクリートの極若材齢の収縮挙動を把握するために、模擬鋼管に充填したコンクリートの沈降挙動などを測定した。また、硬化過程における収縮を調べるために自己収縮試験を行った。その結果、コンクリートに生じる極若材齢の沈降は、ブリーディングを主因としたものであることがわかった。また、本実験の範囲では、コンクリートの沈降は、高さにかかわらず均一の割合で生じることが明らかになった。

**キーワード:** コンクリート充填鋼管, 高流動コンクリート, 沈降, ブリーディング, 自己収縮

## 1. はじめに

CFT（コンクリート充填鋼管）柱は、耐力、韌性、剛性などに優れることから、高層建築物を中心に普及してきている<sup>1)</sup>。しかし、その一方で、圧入工法を採用した場合に、CFT 柱に充填されたコンクリートの圧縮強度がダイアフラム近傍で低下するという事例が古くから多数報告されている<sup>2)~4)</sup>。また、その際の強度低下の割合は事例ごとに異なっており、低下割合にどのような要因が影響を及ぼすのかは明らかになっていない。

以上のことを踏まえ、現状の CFT 柱のコンクリート工事では、施工者ごとに、モデル実験を行ってダイアフラム近傍の強度のばらつきを調べている。そして、その結果を基に充填コンクリートの調合強度の割増しの値を設定し、それを全ての物件に対して一律に適用している<sup>5)</sup>。しかし、より合理的に CFT 柱を施工するためには、まず、強度低下の原因を解明し、そのうえで、充填コンクリートの合理的な調合強度の割増し方法を確立するか、もしくは、強度低下の生じにくい施工方法を検討することが重要である。

そこで、本研究では、CFT 柱のダイアフラム近傍におけるコンクリートの強度低下の原因を解明するために、その基礎資料の収集を目的とした検討を行った。筆者らは、CFT 柱に充填されたコンクリートに生じる収縮がダイアフラムにより拘束され、その結果、ダイアフラム近傍のコンクリートにひずみが集中し、強度が低下する可能性が高いと考えた。そして、流动状態から凝結過程にかけての極若材齢の収縮挙動を把握するために、模擬鋼管に充填したコンクリートのブリーディングなどに伴う沈降挙動などを測定した。また、硬化過程における収縮を調べるために自己収縮試験を行った。本報では、この一連の実験結果を取りまとめて報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験ケース

表-1 に実験ケースを示す。本実験では、CFT 柱に充填する高流動コンクリートの種類を要因とした。その際、コンクリートの使用セメントを低熱ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメントおよび普通エコセメントの 3 種類とした。また、低熱ポルトランドセメントの場合には、ブリーディング量の多いケースとして、遅延剤を添加したものと別途用意した。

### 2.2 使用材料および調合

表-2 に使用材料を示し、また、表-3 にコンクリー

表-1 実験ケース

記号	使用セメント	W/C(%)	遅延剤
L34R	低熱ポルトランドセメント	34	使用
L34			不使用
N35		35	
EC35		35	

表-2 使用材料

材料	記号	仕様
セメント	C	低熱ポルトランドセメント (密度 : 3.22g/cm <sup>3</sup> )
		普通ポルトランドセメント (密度 : 3.16g/cm <sup>3</sup> )
		普通エコセメント (密度 : 3.17g/cm <sup>3</sup> )
細骨材*	SA	市原産山砂 (表乾密度 : 2.58g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 2.24%)
	SB	鳥形山産碎砂 (表乾密度 2.62g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.64%)
粗骨材	G	鞍馬産石灰岩碎石 (表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup> , 実積率 60.0%)
高性能 AE 減水剤	HAE	ポリカルボン酸系
遅延剤	R	変性リグニンスルホン酸化合物と オキシカルボン酸の複合体

\* SA : SB = 50 : 50 (体積比) で使用

\*1 名城大学 理工学部建築学科教授 博士(工学) (正会員)

\*2 名城大学大学院 理工学研究科建築学専攻 大学院生 (正会員)

\*3 前田建設工業(株) 技術本部ものづくりセンター (正会員)

トの調合を示す。本実験では、コンクリートの目標スランプフローを  $60 \pm 10$  cm、目標空気量を  $3 \pm 1.5\%$  に設定した。

### 2.3 試験項目および試験方法

#### (1) 沈降試験

本実験では、模擬鋼管として高さ 1m、直径 25cm の塩ビ管 (VU 管) を用意し、その内部にコンクリートを打ち込んで、ブリーディングなどに伴う沈降挙動を測定した。なお、試験は、室温を制御していない実験室内で行った（実験室の室温は、平均的に  $20^{\circ}\text{C}$  前後であった）。

図-1 および写真-1 に、沈降試験装置の概要を示す。この試験では、図-2 に示すような治具を用いて、底面から 25, 50 および 75cm の位置のコンクリートの沈降量を経時的に測定した。この治具は、下端にステンレス製の金網を取り付けたピアノ線を真鍮管の中に通したものであり、金網に接する部分のコンクリートの沈降挙動をピアノ線の上端に伝達する仕組みになっている。本実験では、ピアノ線の上端にレーザー反射板を取り付けて、その変位をレーザー変位計により測定した。また、この他に、コンクリートの天端（底面から 100cm）の沈降量をレーザー変位計で測定した。

なお、本実験では、レーザー変位計用のマグネットスタンドを塩ビ管の天端に固定した。そのため、レーザー変位計の測定値には、塩ビ管の温度変化に伴う変形量が含まれてしまう。そこで、データ整理時のこの補正を目的として、塩ビ管側面の温度を熱電対により測定した。また、塩ビ管の外周面にひずみゲージを貼付してその温

度ひずみを測定した。

#### (2) その他の試験

表-4 に、沈降試験以外の試験項目および試験方法を示す。CFT 柱の場合、一般に、充填されたコンクリートに乾燥収縮は生じないとされているため、本実験では、コンクリートの硬化過程の収縮として自己収縮ひずみを測定した。自己収縮試験では、封かん養生としたコンクリート供試体 ( $10 \times 10 \times 40$  cm) を調合ごとに 2 個ずつ用意し、供試験体内部に埋設した埋込み型ひずみ計により経時的にひずみを測定した。

なお、凝結試験および自己収縮試験は恒温恒湿室内（温度  $20^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 60%）で実施し、ブリーディング試験は沈降試験と同一環境下で実施した。

表-3 調合

記号	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	質量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (C×%)
				W	C	S	G	
L34R	$60 \pm 10$	$3 \pm 1.5$	34	165	485	843	891	0.85
L34			34	165	485	796	989	0.81
N35			35	170	486	731	991	1.43
EC35			35	170	486	732	991	1.34

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプフロー試験	JIS A 1150
空気量試験	JIS A 1128
コンクリート温度	JIS A 1156
凝結試験	JIS A 1147
ブリーディング試験	JIS A 1123
自己収縮試験	JCI 超流動コンクリート 研究委員会の方法 <sup>6)</sup> を準用
圧縮試験	JIS A 1108

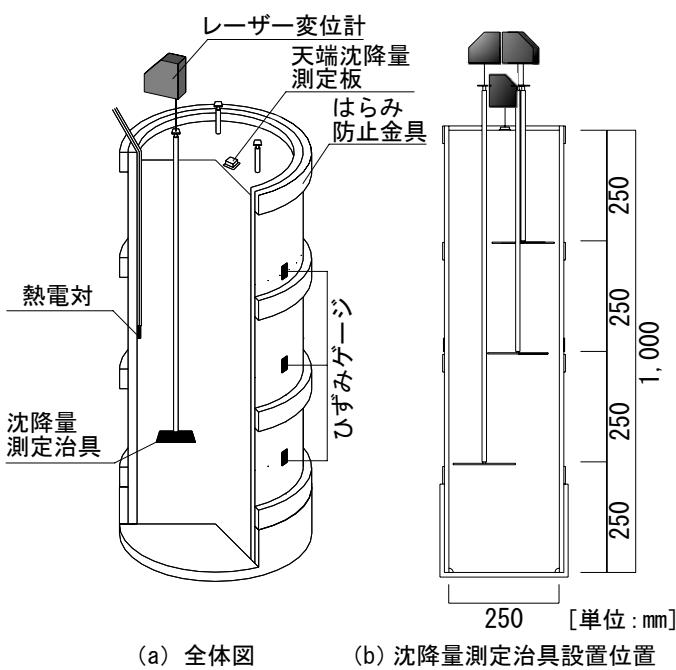


図-1 沈降試験装置の概要



写真-1 沈降試験装置

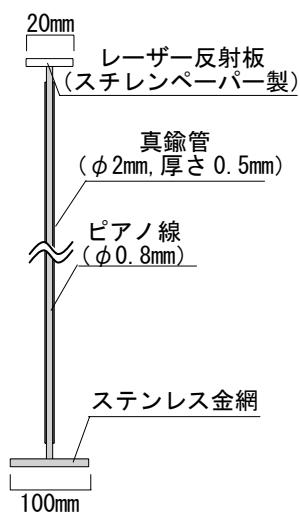


図-2 沈降量測定治具の概要

### 3. 実験結果

表-5に、沈降試験および自己収縮試験以外の試験結果の一覧を示す。スランプフローおよび空気量は全てのケースで目標値を満足した。

#### 3.1 凝結試験の結果

図-3に凝結試験の結果を示す。同図および表-5からわかるように、L34Rでは、遅延剤添加の効果により、始発および終結時間がL34の2倍程度に伸びている。また、残りのケースの中では、エコセメントを用いたEC35の凝結時間が他のケースよりも長くなっている。

#### 3.2 ブリーディング試験の結果

表-5からわかるように、ブリーディング量は、遅延剤を添加したL34Rでは、CFT造技術基準<sup>5)</sup>に規定された上限値( $0.1\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )を上回り、それ以外のケースではこの上限値を下回った。図-4に、ブリーディング試験の結果を示す。同図によると、L34Rでは、凝結遅延の影響により、ブリーディング終了までにL34の2倍近くの時間を要している。

#### 3.3 沈降試験の結果

図-5に沈降試験の結果を示す。ここで、図中に示し

表-5 試験結果一覧

記号	スランプフロー (cm)	フロー時間		空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	ブリーディング		凝結時間 (h:m)		28日 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
		50cm (秒)	停止 (秒)			ブリーディング量 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )	終了 時間 (h:m)	始発	終結	
L34R	66.5	3.5	30.1	3.3	24.0	0.123	10:36	12:36	15:12	60.3
L34	63.5	4.1	27.6	3.6	21.0	0.016	5:40	6:25	8:36	68.6
N35	52.0	4.9	21.3	2.5	22.0	0.006	5:05	6:10	8:22	78.4
EC35	59.0	3.6	32.2	3.3	22.0	0.004	4:33	10:10	13:29	77.5

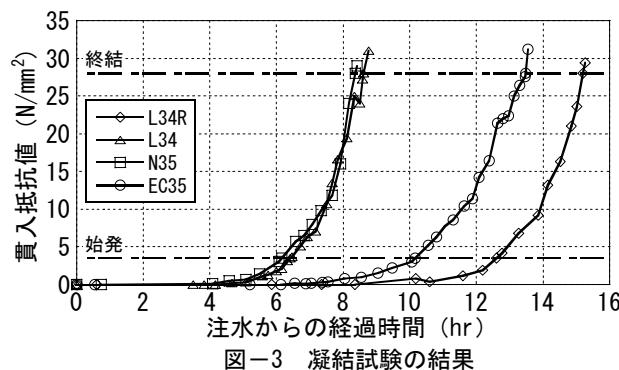


図-3 凝結試験の結果

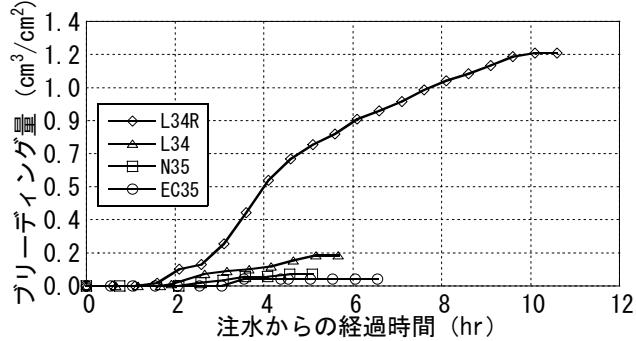
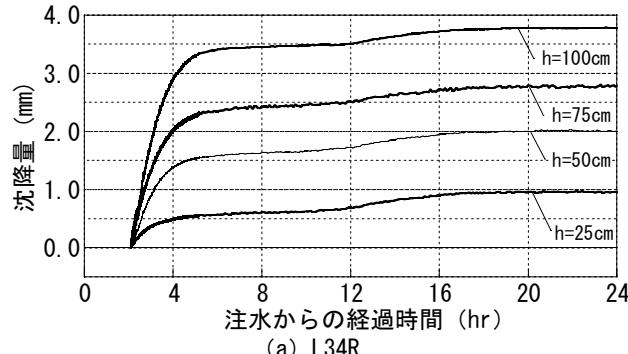
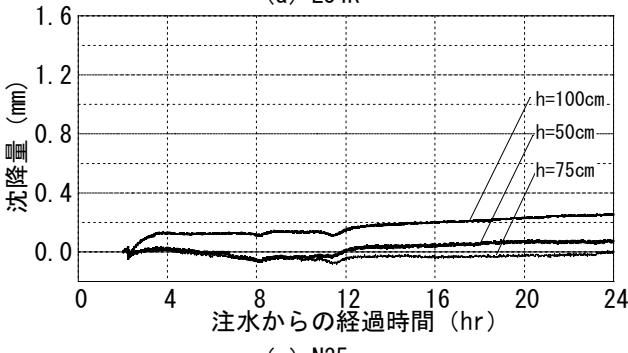


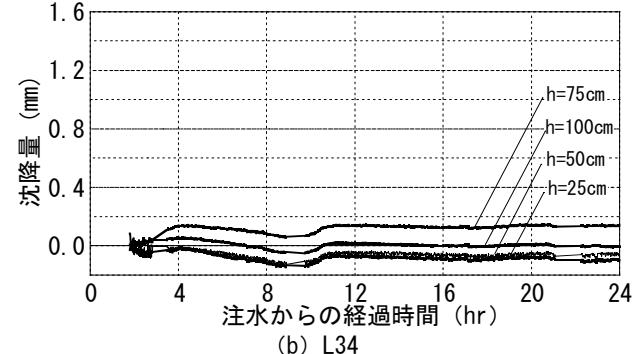
図-4 ブリーディング試験の結果



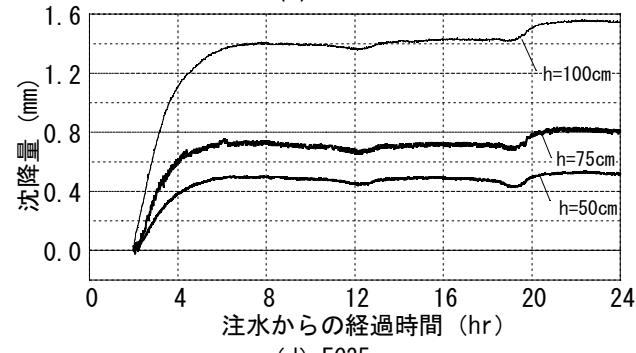
(a) L34R



(c) N35



(b) L34



(d) EC35

図-5 沈降試験の結果

た値は、塩ビ管の温度とひずみの関係から求めた線膨張係数を用い、レーザー変位計の測定値から塩ビ管の温度変化に伴う変形の影響を排除した値である。また、N35およびEC35における高さ25cmの位置の沈降量は、異常値を示したため、試験結果から除いてある。

同図からわかるように、L34およびN35では、コンクリートの沈降はほとんど生じなかった。それに対し、L34RおよびEC35では一定量の沈降が生じた。これらのケースでは、上方に位置するコンクリートほど沈降量が大きくなっている。また、急激な沈降は注水から6hr後程度までにほぼ終了している。

### 3.4 自己収縮試験の結果

図-6に、自己収縮試験の結果を示す。同図によると、L34RとL34の自己収縮ひずみは同程度であり、遅延剤添加の影響は見られない。また、普通エコセメントを用いたEC35の自己収縮ひずみは、普通ポルトランドセメ

ントを用いたN35の場合と同程度となっている。

## 4. 考察

### 4.1 沈降量の高さ方向の分布

図-7に、コンクリートの沈降量の高さ方向の分布を示す(経過時間24hr)。同図からわかるように、沈降量の分布は、いずれのケースの場合も原点を通る直線でほぼ表すことができる。このことから、少なくとも打込み高さが1m程度までの場合には、コンクリートの沈降は、ほぼ均一の割合で生じるものと判断される。すなわち、コンクリートの沈降に起因する収縮ひずみ(以下、沈降ひずみという)は、高さにかかわらずほぼ一定であるといえる。

### 4.2 沈降ひずみ

図-8は、図-5に示した各高さにおける沈降量の差分から、コンクリートの沈降ひずみの平均値を計算した

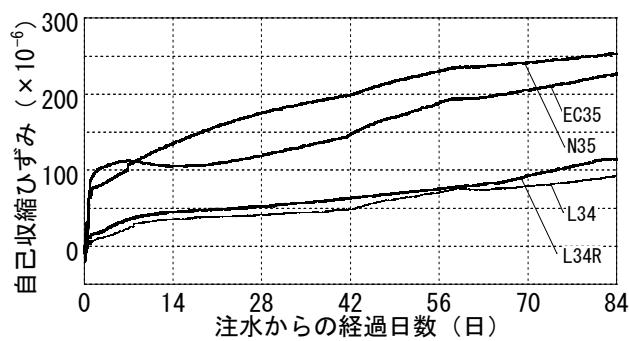


図-6 自己収縮試験の結果

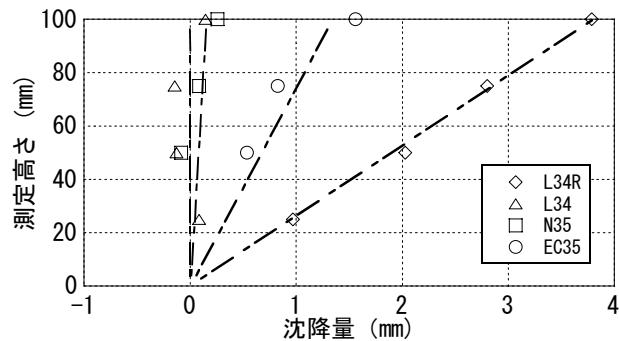
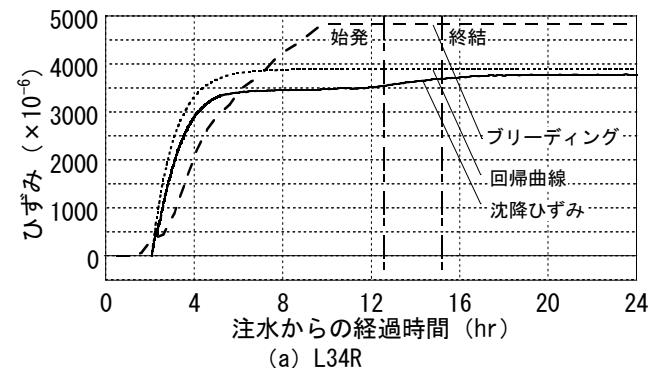
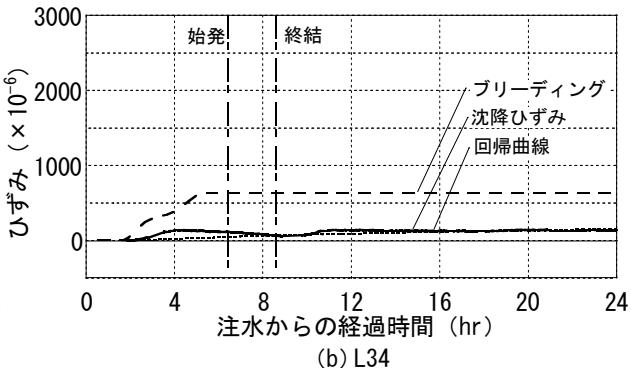


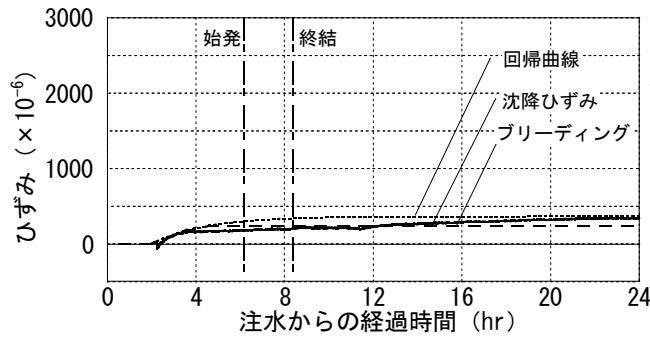
図-7 沈降量の高さ方向の分布



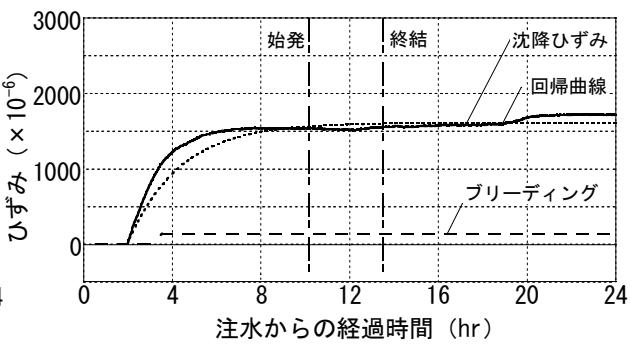
(a) L34R



(b) L34



(c) N35



(d) EC35

図-8 沈降ひずみおよびブリーディングひずみ

結果を示したものである。また、図中には、この沈降ひずみの回帰曲線（表-6に回帰式を示す）と、その他に、ブリーディング試験で生じたコンクリートの収縮ひずみ（以下、ブリーディングひずみという）も併せて示してある。ここで、ブリーディングひずみの値は、図-4に示したブリーディングの分だけコンクリートが収縮したと考えて計算したものである。

図-8によると、EC35以外のケースでは、沈降ひずみとブリーディングひずみの時間変化曲線は類似した形状になっており、また、ひずみの収束値も比較的近い値になっている。このことから、極若材齢のコンクリートに生じる沈降はブリーディングを主因としたものであると判断される。ただし、EC35の場合は、ブリーディングひずみがほとんど生じていないにもかかわらず、沈降ひずみが大きくなっている。すなわち、コンクリートの沈降がブリーディングとは別の原因により発生した可能性が高いものと考えられる。

#### 4.3 CFT柱のダイアフラム近傍におけるコンクリートの強度低下の原因

CFT柱に充填されるコンクリートの自己収縮ひずみは、図-6に示したように、 $100 \sim 250 \times 10^{-6}$ 程度である（材齢84日の時点）。それに対し、沈降ひずみ（すなわち、ブリーディングひずみ）は、L34Rの場合に $4000 \times 10^{-6}$ 程度に達し、自己収縮ひずみに比べて非常に大きい。したがって、CFT柱のダイアフラム近傍におけるコンクリートの強度低下が、筆者らの仮定したように、コンクリートの収縮に起因して発生するのであれば、その主な原因是、自己収縮などよりも、極若材齢のコンクリートのブリーディングに伴う沈降である可能性が高いものと推察される。

#### 5.まとめ

本研究では、CFT柱のダイアフラム近傍におけるコンクリートの強度低下の原因を解明するために、その基礎資料の収集を目的として、充填コンクリートの沈降試験や自己収縮試験などを行った。その結果から得られた知見は、以下の通りである。

- (1) 極若材齢のコンクリートに生じる沈降は、ブリーディングを主因としたものである。ただし、普通エコセメントを用いたコンクリートの場合は、ブリーディングとは別の原因により発生する可能性が高い。
- (2) 少なくとも打込み高さが1m程度までの場合には、極若材齢のコンクリートの沈降は、高さにかかわらず均一の割合で生じる。すなわち、コンクリートの沈降に起因する収縮ひずみは高さにかかわらず一定である。

表-6 沈降ひずみの回帰式

記号	沈降ひずみ
L34R	$\varepsilon_{sh}(t) = 3886.1 \left[ 1 - \exp(-23.77t)^{1.09} \right]$
L34	$\varepsilon_{sh}(t) = 225.8 \left[ 1 - \exp(-1.27t)^{0.48} \right]$
N35	$\varepsilon_{sh}(t) = 361.6 \left[ 1 - \exp(-2.40t)^{0.72} \right]$
EC35	$\varepsilon_{sh}(t) = 1612.5 \left[ 1 - \exp(-10.27t)^{0.85} \right]$

[記号]  $t$ ：経過日数（日）、 $\varepsilon_{sh}(t)$ ：沈降ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )

- (3) 極若材齢における沈降に起因する収縮ひずみは、長期材齢における自己収縮ひずみに比べて非常に大きい。したがって、CFT柱のダイアフラム近傍におけるコンクリートの強度低下が、コンクリートの収縮に起因して発生するのであれば、その主な原因是、極若材齢のコンクリートのブリーディングに伴う沈降である可能性が高い。

本報は、「環境配慮型セメントを用いたコンクリート充填鋼管造に関する施工技術の開発コンソーシアム」が国土交通省平成18年度住宅・建築先導技術開発助成事業の助成を得て実施した研究の一部を報告するものである。

#### 参考文献

- 1) 山口育雄、上田弘樹、今村輝武、鈴木忠彦：CFT構造設計・施工の現状報告、コンクリート工学、Vol.37, No.4, pp.25-31, 1999.4
- 2) 梅本宗宏、榎島修、松本和行、西田浩和、森浩之、大内千彦、梶田秀幸、黒島毅：CFT柱の構造体コンクリート強度確認実験（その3 硬化コンクリートの試験結果）、日本建築学会学術講演梗概集、A-1, pp. 847-848, 2002.8
- 3) 中川雄二、川崎三十四、松本範義、成川史春、和田真平：鋼管コンクリート構造柱の実用化実大施工実験（その3 鋼管の応力分布、硬化コンクリート）、日本建築学会学術講演梗概集、A-1, pp.851-856, 1998.8
- 4) 中込昭、江口清、寺西浩司、西川秀則：充填形鋼管コンクリート柱の圧入施工実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15, No.1, pp.1055-1060, 1993.6
- 5) 新都市ハウジング協会：コンクリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説の運用及び計算例等, pp.2-36-2-40, 2003.9
- 6) 日本コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書(II), pp.209-210, 1994.5

