

エコセメントを用いた環境配慮型 CFT 造に関する研究

梶田 秀幸・宮野 和樹

Study on Environment-conscious Concrete filled Tubular Structure using Environment-conscious Cement

Hideyuki KAJITA, Kazuki MIYANO



写真 実大施工実験状況

研究の目的

循環型社会の構築に向けた取り組みのひとつとして、廃棄物を利用した環境配慮型セメント「エコセメント」の利用が注目されている。エコセメントは、普通ポルトランドセメントとほぼ同等の性能を有することが明らかになってはいるものの、廃棄物の原料に起因してセメント中の塩化物量が若干大きくなる、長期強度の増進が小さい、などの理由から建築分野での普及が拡大していない。そこで、エコセメントの適用対象拡大を目的として、CFT 造充填コンクリートにエコセメントを用いたコンクリートを採用することができるよう、調合や施工技術、構造体としての一体性などの技術的な課題について、実験・解析を行いながら検討した。

技術の説明

本技術は、エコセメントを用いた CFT 造用充填コンクリートの調合および施工技術であり、廃棄物の再利用に貢献する環境配慮技術の一つである。

主な結論

エコセメントを用いた場合でも、従来から使用されているセメントを用いた場合と同様に、CFT 造の各種性能を有する上で必要な充填コンクリートの諸性状を確保することができ、実務上問題なく CFT 造に適用可能であることが確認できた。また、関連する実用上の有益な各種数値データを蓄積することができた。

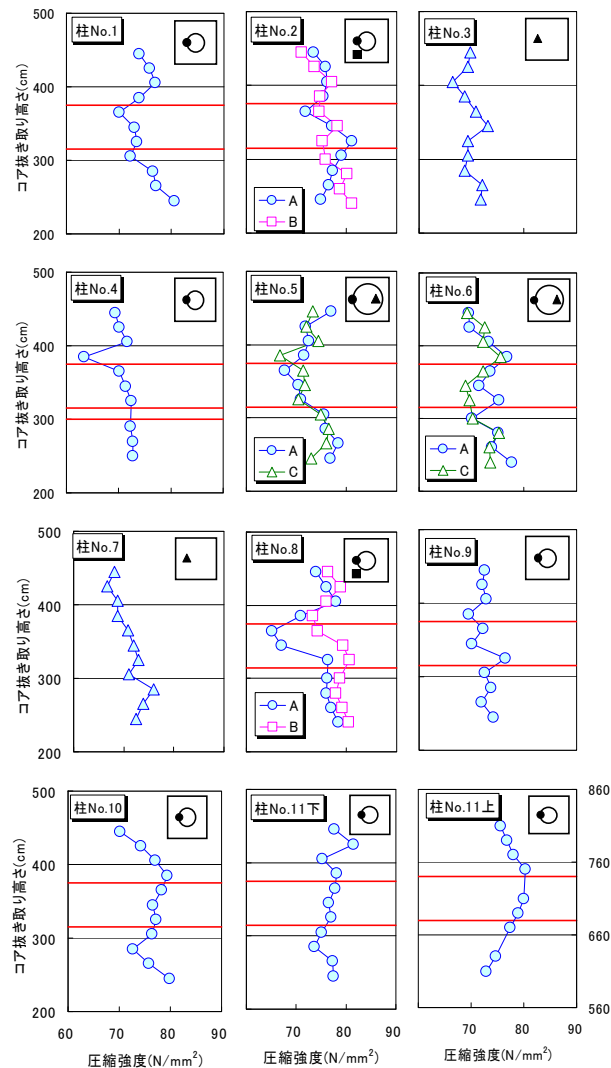


図 コア供試体圧縮強度

エコセメントを用いた環境配慮型CFT造に関する研究

梶 田 秀 幸

宮 野 和 樹

要 旨

循環型社会の構築に向けた取り組みのひとつとして、廃棄物を利用した環境配慮型セメント「エコセメント」の利用が注目されている。エコセメントは、普通ポルトランドセメントとほぼ同等の性能を有することが明らかになってはいるものの、廃棄物の原料に起因してセメント中の塩化物量が若干大きくなる、長期強度の増進が小さい、などの理由から建築分野での普及が拡大していない。そこで、エコセメントの適用対象拡大を目的として、CFT造充填コンクリートにエコセメントを用いたコンクリートを採用することができるよう、調合や施工技術、構造体としての一体性などの技術的な課題について、実験・解析を行いながら検討した。その結果、CFT造充填コンクリートにエコセメントを適用していく上で必要な知見を得ることができ、大きな実用上の成果が得られた。

本報告では、実施した実験・解析の中から、実大CFT柱の施工実験およびCFT柱内のひずみ分布の解析的検討結果について報告する。

キーワード 環境配慮／エコセメント／CFT造／高流動コンクリート／ひずみ／圧縮強度／構造体コンクリート強度／FEM解析

目 次

- | | |
|----------------|-----------------------|
| 1. はじめに | 4. 実大CFT柱内ひずみ分布の解析的検討 |
| 2. 開発の目的および概要 | 5. 本開発の総括 |
| 3. 実大CFT柱の施工実験 | 6. おわりに |

Study on Environment-conscious Concrete filled Tubular Structure using Environment-conscious Cement

Hideyuki KAJITA

Kazuki MIYANO

Synopsis:

Applicability of high strength / high fluidity concrete using environment-conscious cement to environment-conscious CFT was examined. As a result, the following conclusions were obtained. (1) According to the mock up test, data for concrete construction about concrete filled tubular structure was almost obtained. (2) According to the finite element analysis, concrete filled tubular structure with diaphragms caused much tensile strain to concrete around diaphragms. (3) The necessary knowledge in applying concrete using environment-conscious cement as concrete filled tubular concrete was almost obtained.

1. はじめに

循環型社会の構築に向けた取り組みのひとつとして、廃棄物を利用した環境配慮型セメントの利用が注目されている。従来の環境配慮型セメントは、ポルトランドセメントにフライアッシュや高炉スラグといった粉末状の産業廃棄物を混合するものであったが、昨今の技術革新によって、都市ごみ焼却灰や下水汚泥を原料としたエコセメント¹⁾が開発された(図-1 参照)。また、2002 年 7 月には JIS²⁾化もされており、今後の循環型社会の形成に大きく貢献するものと期待されている。

これまでの研究成果から、エコセメントは普通ポルトランドセメントとほぼ同等の性能を有することが明らかになっているものの、下記のような理由から建築分野での普及が拡大していないと考えられる。

- (1) 廃棄物の原料に起因してセメント中の塩化物量が若干大きくなるため、単位セメント量の多い調査には適用が難しくなる。
- (2) 長期強度の増進が小さい傾向にあるため、管理材齢を延長してもセメントを減量しにくい。

一方、高層建築物の柱を中心として普及が進んでいる「コンクリート充填鋼管造(CFT 造)」(図-2 参照)における充填コンクリートは、鋼管に被覆された状態であるため、RC 造などに比べて飛来塩分など外部からの劣化要素の影響を受けにくく、乾燥なども起こりにくいと考えられている。従って、耐久性能がポルトランドセメントよりも若干低いと考えられているエコセメントの有効利用先としては理想的な構造形式といえる。

このような背景から、(社)新都市ハウジング協会 CFT 造施工技術研究会を中心とした研究グループでは、図-3 に示すように「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」と題して 22 社による共同技術開発コンソーシアムを立ち上げ、エコ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に着手した。

なお、本開発の期間は、平成 18 年度および 19 年度の 2 年間(平成 18 年 4 月～20 年 3 月)であり、実施にあたり国土交通省の「平成 18 年度および 19 年度 住宅・建築関連先導技術開発助成事業」の助成を得て実施した。

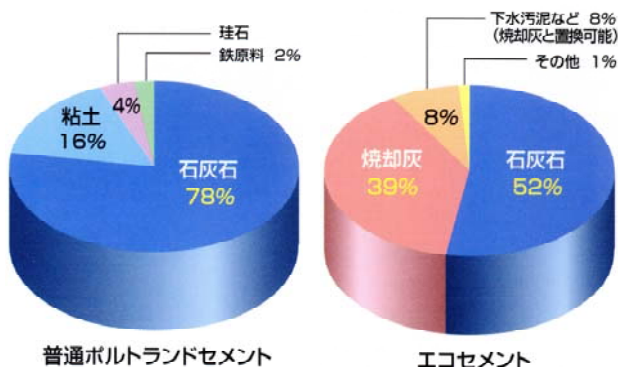


図-1 エコセメントの構成材料(例)

2. 開発の目的および概要

本開発では、エコセメントを CFT 造に適用する上で必要な技術的データの収集を目的とした。特に、エコセメントを用いた CFT 造の施工性や構造体としての一体性に関する技術的な知見が不足しており、その解明を中心に各種の実験・解析を行った。

①施工性

エコセメントを用いたコンクリートを、実際に CFT 柱に充填施工した事例は皆無である。本開発では、エコセメントを用いた高流動コンクリートの製造、ポンプ圧送、CFT 造への充填施工などに関する一連の課題について、実務上問題がないことを実験などにより明らかにした。

②構造体としての一体性

CFT 造において充填されたコンクリートが収縮すると、空隙の発生などによって構造体としての一体性が損なわれる。特に、エコセメントを用いた高流動コンクリートの場合、収縮が大きいことが予想される。さらに、充填コンクリートの収縮は、内部ひずみが発生する要因ともなる。こうした内部ひずみは、ダイアフラム周辺で大きくなる可能性が高いと考えられ、CFT 造特有の現象であるダイアフラム近傍における構造体コンクリート強度の低下と密接に関連していると推察される。よって本開発では、充填コンクリートの収縮とそれに伴う構造体コンクリート強度低下のメカニズムについて、内部ひずみの測定と解析により明らかにすることを試みた。

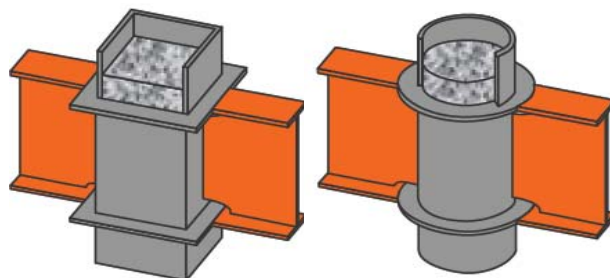


図-2 一般的な CFT 造の部材構成

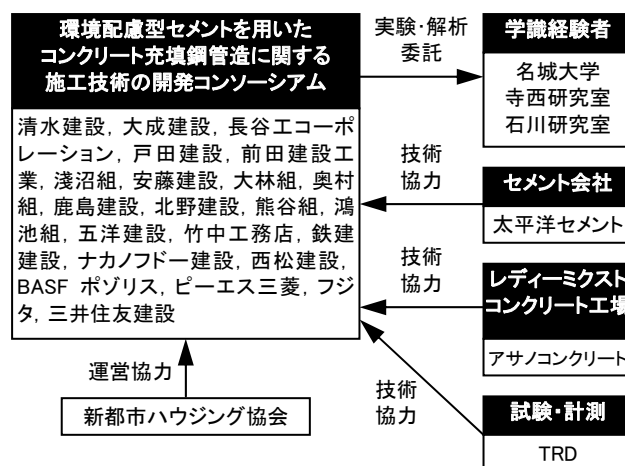


図-3 開発組織

図-4 に、年度ごとに検討した項目と、そのために実施した実験・解析の概要を示す。この中から、本報告では平成 19 年度に計画・実施した実大CFT柱の施工実験、およびCFT柱内のひずみ分布の解析的検討結果について報告する。なお、本報告はコンソーシアムの成果として発表した文献^{3,4)}の一部を再構成したものである。

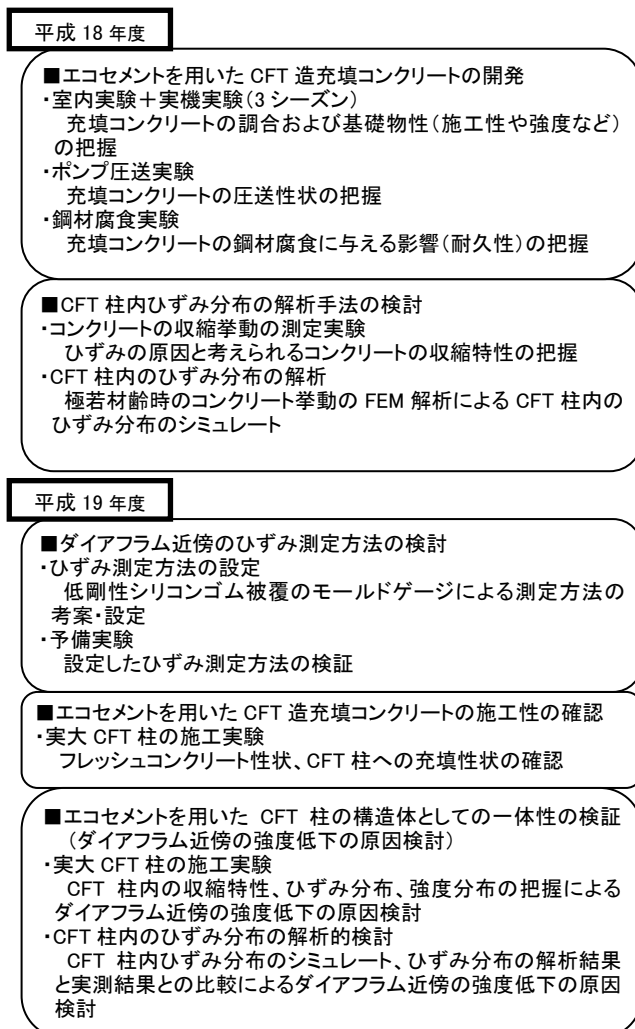


図-4 本開発の検討項目と実験・解析の概要



写真-1 実大施工実験状況

3. 実大 CFT 柱の施工実験

3.1 実大施工実験の概要

写真-1 に実大施工実験の状況を、表-1 に実大施工実験の実験要因を示す。

(1) 試験体

施工性ならびにダイアフラムの影響を検討するため、ダイアフラムの間隔および開口率や、打込み方法などを実験要因とした。図-5 に試験体形状を示す。柱試験体は、□600mm×600mm の形状で板厚が 16mm の冷間成形角型鋼管(BCP325)を用いた。各試験体は、A タイプを基準として、ダイアフラムの極小間隔を加えた B タイプ、3 層分の高さの C タイプ、ダイアフラム無しの D タイプの計 4 種類である。ダイアフラム部は梁貫通型とし、ゴムシートを挟んで柱鋼管とボルト締めとした。圧入口はφ135mm として、高さ 500mm の位置にシャッターバルブとともに設けた。

(2) コンクリートの調合条件

次に、コンクリートの調合条件による影響、特に収縮特性による影響を検討するため、ブリーディングの多い調合、少ない調合、極めて少ない調合を検討した。また、使用したセメントは、普通エコセメント(以下、ECO と略記)を中心として、普通ポルトランドセメント(以下、OPC と略記)、中庸熱ポルトランドセメント(以下、MPC と略記)の 3 種類のセメントを用いることとした。表-2 に、充填コンクリートの使用材料および調合を示す。調合を設定するにあたっては、事前に試験練りを行って所要の性状を確認し、ECO を用いたもの 2 種、OPC を用いたもの 1 種、MPC を用いたもの 1 種の計 4 種類の調合を設定した。この中で、ブリーディングの多い調合として ECO35R(遅延剤使用の調合)を、ブリーディングの少ない調合として ECO35 および OPC35 を、ブリーディングの極めて少ない調合として MPC28 を、それぞれ設定した。なお、全ての調合において、スランプフローは 60cm、空気量は 3.0%とした。

(3) コンクリートの製造および打込み

コンクリートの製造は、東京都港区のレディーミクストコンクリート工場で行い、施工実験場所までトラックアジテータ車(運搬時間 45~60 分)で運搬した。コンクリートの打込みは、ピストン型のコンクリートポンプ車(最大吐出圧 8.3MPa)を用い、落とし込み時にはポンプ車のフレキシブルホースを直接鋼管内に差し込んだ。打上がり速度は、0.5m/分となるように、柱頭部のレーザー距離計と時間計測によりポンプ車のストロークを調整した。また、圧入時には圧入圧力が鋼管降伏強度を超えることのないように圧力計により管理した。

(4) 試験項目

表-3 にフレッシュコンクリートの試験項目および試験方法を、表-4 に硬化コンクリートの試験項目および試験方法を示す。

表-1 実大施工実験要因

柱試験体 No.	試験体・施工条件					調合条件				
	柱試験体 Type	高さ (mm)	ダイアフラム 間隔(mm)	ダイアフラム 開口率	打込み 方法	ブリー ディング	調合No.*	W/C (%)	混和剤	共通事項
No.1	A-1	4750	600	15%	圧入	少	ECO35	35.0	高性能AE減水剤	・スランプ フロー60cm ・空気量 3.0% ・単位水量 170kg/m ³
No.2							OPC35			
No.3	D		DF無し	100%			ECO35			
No.4	B		600+150	15%			OPC35			
No.5	A-2		600	40%			ECO35			
No.6							OPC35			
No.7	D		DF無し	100%			OPC35			
No.8	A-1		600	15%			多			
No.9						極少	MPC28	28.0	高性能AE減水剤	
No.10						落とし込み	少	ECO35		
No.11	C	12,250		圧入		ECO35				

*: 調合の詳細は表-2参照

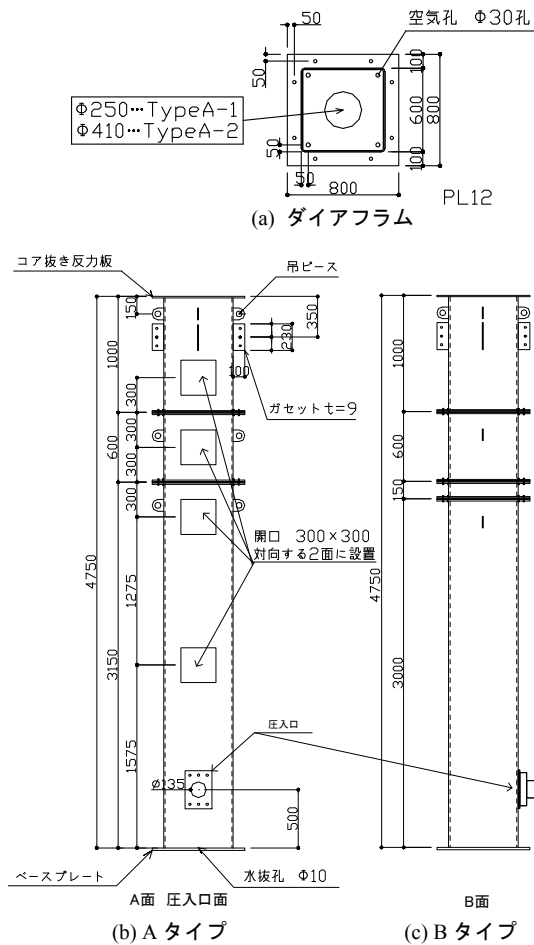


図-5 試験体形状の一例

表-4 硬化コンクリート試験の項目と方法

試験項目	試験方法
コンクリートひずみ	埋込み型ひずみゲージ
標準養生圧縮強度	JIS A 1108
簡易断熱養生圧縮強度	(材齢28日、出荷・荷卸し)
コア供試体圧縮強度	
ヤング係数	JIS A 1149(材齢28、91日) 標準養生供試体・コア供試体
超音波伝播速度	建築学会(案)(コア供試体)
塩化物量	JIS A 1154(エコセメントのみ)

表-2 コンクリートの使用材料と調合

調合No.	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 使用量 (C×%)	遅延剤 使用量 (C×%)
		W	C	S	G		
ECO35	35.0	170	486	822	891	1.40* ¹	—
OPC35	35.0	170	486	822	891	1.35	—
ECO35R	35.0	170	486	822	891	1.35+ 0.05* ²	0.40
MPC28	28.0	170	608	724	891	1.3	—

使用材料

- セメント(C) ECO: 普通エコセメント(密度3.17g/cm³)
OPC: 普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³)
MPC: 中庸熟ポルトランドセメント(密度3.21g/cm³)
- 細骨材(S): 鳥形山産石灰系砕砂
(表乾密度2.62g/cm³、吸水率1.64%)
市原産天然砂(表乾密度2.58g/cm³、吸水率2.24%)
混合比率 砕砂:天然砂=50:50(質量比)
- 粗骨材(G): 嵯朗産石灰系砕石2005
(表乾密度2.70g/cm³、吸水率0.48%)
- 水(W): 上水道水(東京都)
- 混和剤: ポリカルボン酸系高性能AE減水剤
- 遅延剤: リグニンスルホン酸系遅延性減水剤

*1: 生コン車1台目は1.35%で出荷し、荷卸し時に0.05%後添加, 2台目以降は1.40%で出荷

*2: 荷卸し時に0.05%後添加

表-3 フレッシュコンクリート試験の項目と方法

試験項目	試験方法
スランブフロー	
50cmフロー到達時間	JIS A 1150(出荷・荷卸し・筒先)
フローの流動停止時間	
空気量	JIS A 1128(出荷・荷卸し・筒先)
コンクリート温度	JIS A 1156
塩化物量	JASS 5T-502(エコセメントのみ)
ブリーディング量	JIS A 1123(屋外条件で測定)
沈降量	(社)新都市ハウジング協会「CFT造技術基準・同解説」の運用及び計算例等の方法 (φ150×300mm型枠、屋内で測定)
凝結	JIS A 1147(屋外条件で測定)
自己収縮	JCI 超流動コンクリート研究委員会(案)
柱頭沈降量	接触型変位計(柱頭で測定)
打ち上がり高さ	レーザー距離計
圧入口圧力	圧力計(2MPa)

3.2 実大施工実験の結果

3.2.1 フレッシュコンクリートの性状

(1) フレッシュコンクリート性状

荷卸し時のフレッシュコンクリートは、概ね目標値を満足しており、良好な流動性が確保された。図-6、7に荷卸し時のスランプフローおよび空気量を示す。荷卸し時のスランプフロー、空気量は全ての調合において許容値を満足し、運搬車両による大きな変動はなく、安定した状態であった。出荷から荷卸しまでの輸送時間は30～60分程度、スランプフローロスは最大で6.5cmであった。

(2) 塩化物量

エコセメントを用いた調合を中心に、JASS 5T-502 のモール法で塩化物量を測定した結果、 $0.172\sim0.207\text{kg/m}^3$ となり、いずれも上限値 0.30kg/m^3 を下回った。図-8に、ECO35 の1台目と6台目の塩化物量の経時変化を示す。過去の実験³⁾では、練上がりから約60分までの間に測定値が増加する傾向が確認されたが、今回の実験でも経過時間に伴う増加が認められた。また、ECO35 については、JIS A 1154 に準じ全塩化物イオン濃度を測定したところ0.007%（質量比）となった。これを調合上の塩化物量に換算すると 0.165kg/m^3 となり、モール法による測定値と概ね近似した。さらに、エコセメントの塩化物イオン濃度を測定し、調合上の塩化物量を算定すると 0.170kg/m^3 となり、これもモール法による測定値とほぼ合致した。

3.2.2 各種供試体の圧縮強度

図-9に標準養生および簡易断熱養生した供試体の圧縮強度試験結果（全車平均値）を示す。OPC35 とECO35 を比較すると $2\sim3\text{N/mm}^2$ 程度ECO35 の方が高い結果となり、ECO35 とECO35Rの標準養生ではECO35Rの方が 6N/mm^2 程度高い結果となったが、その差は絶対値に比べ小さく、有意差があるとは言えない。なお、運搬車両の違いによる強度発現の差異は認められなかった。

3.2.3 コンクリートの収縮性状

ダイアフラムの有無や開口部の寸法、および圧入・落とし込みなどの打込み方法が柱頭部の沈降量に与える影響を検討するため、ブリーディング量、凝結時間、 $\phi 150\times 300\text{mm}$ 型枠を使用しての沈降量、試験体の柱頭部での沈降量、ならびに、自己収縮を測定した。

(1) 凝結、ブリーディング

気温が 30°C を超える屋外環境では、いずれの調合でもブリーディングの発生は認められなかった。一方、凝結時間は、 $\text{ECO35R} > \text{ECO35} > \text{OPC35} > \text{MPC28}$ の順に遅延し、室内試験練りと同様であった。なお、凝結時間の最も早い MPC28 の始発が4時間15分であるのに対し、超遅延剤を併用した ECO35R は8時間15分であった。

(2) 沈降量

表-5に沈降量の測定結果を示す。 $\phi 150\times 300\text{mm}$ 型枠での沈降量は、いずれの調合も新都市ハウジングで規定される2mm以下であった。また、凝結の遅い調合ほど、沈降量は大きな値を示す傾向にあるものの、ECO35R と ECO35 では、凝結時間が大きく異なるにもかかわらず、沈降量は1.3mm とほぼ同等であった。図-10に示すように、柱頭部で測定した最終沈降量は、 $\text{ECO35R} > \text{ECO35} > \text{OPC35} > \text{MPC28}$ の順であり、沈降量の大小は凝結時間に依存する傾向がみられた。図-11に沈降量の経時変化の一例を示す。凝結の遅い ECO35 は、OPC35 よりも沈降が収束するまでの時間が長く、沈降量も大きくなったと考えられる。図-12に、ダイアフラムの開口率と沈降量の関係を示す。ECO35 では、ダイアフラム無しの柱（開口率100%）の沈降量が、ダイアフラム有りの柱の約1.5倍であり、その影響が認められたが、開口率40%と15%との沈降量に大きな差異は認められなかった。一方、OPC35 ではダイアフラムの有無や、開口率が沈降量に対して与える影響は認められなかった。本実験の範囲では、柱頭部の沈降量に対するダイアフラムの影響は、凝結の遅延する調合ほど顕著であること、開口率の大きさよりもダイアフラムの有無が支配的であることが推察された。また、ダイアフラムの枚数や打込み方法の影響は本実験の範囲では認められなかった（図-13参照）。

(3) 自己収縮

図-14に、自己収縮量の測定結果を示す。ECO35、ECO35R とともに、OPC35 と比較して自己収縮が大きくなる傾向にあったが、その差は ECO35 で比較すると、 50μ 程度であり有意差は認められなかった。一方、MPC28 は最も富調合であり、OPC35 に対して2倍程度の自己収縮量であった。

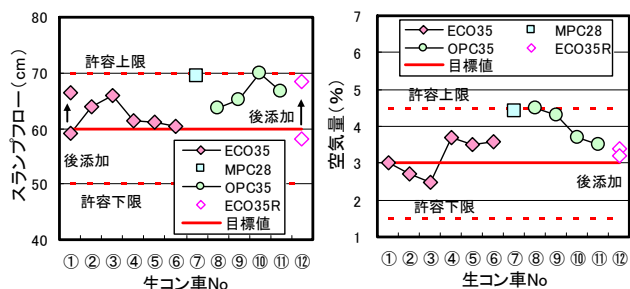


図-6 スランプフロー

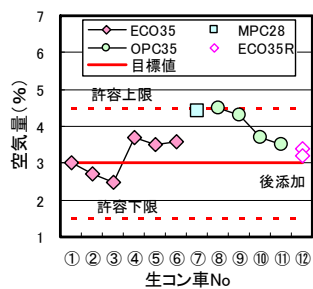


図-7 空気量

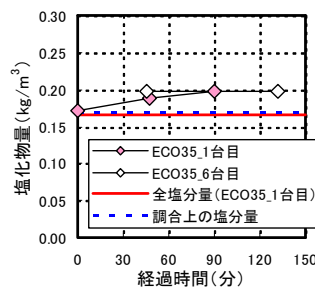


図-8 塩化物含有量の経時変化

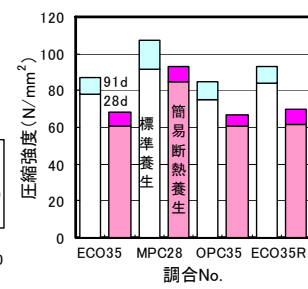


図-9 圧縮強度

表-5 沈降量の測定結果

調査	ダイアフラム		打込み方法	沈降量(mm)	
	開口率	枚数		φ150×300	柱頭部
ECO35	100%	なし	圧入	1.30	3.37
	15%	2枚	圧入		2.33
	15%	2枚	落込み		2.40
	40%	2枚	圧入		2.01
ECO35R	15%	2枚	圧入	1.32	2.73
OPC35	100%	なし	圧入	0.29	0.36
	15%	2枚	圧入		0.37
	15%	3枚	圧入		0.46
	40%	2枚	圧入		0.34
MPC28	15%	2枚	圧入	0.41	0.33

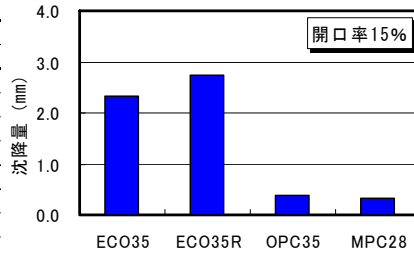


図-10 調査と柱頭部最終沈降量

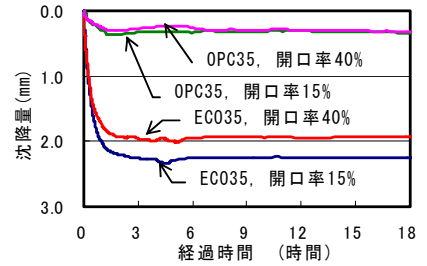


図-11 柱頭部沈降量の経時変化

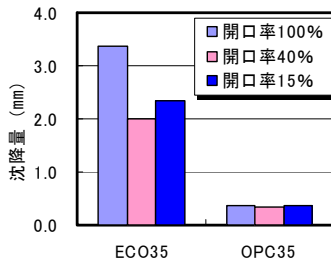


図-12 ダイアフラム開口率と柱頭部沈降量との関係

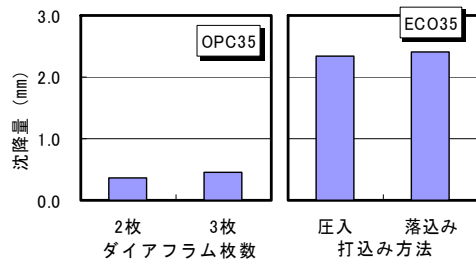


図-13 ダイアフラムの枚数・打込み方法と沈降量の関係

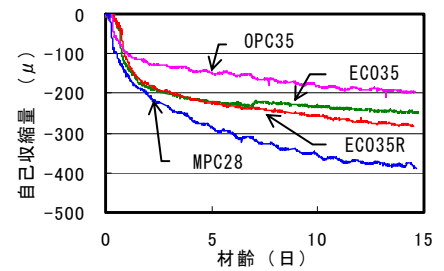


図-14 自己収縮試験結果

3.2.4 実大 CFT 柱内のひずみ測定位置およびコア供試体採取位置

CFT 柱のダイアフラム近傍で発生する圧縮強度のバラツキの原因を検討するために、CFT 柱内コンクリートのひずみの測定と、コア供試体の圧縮強度の測定（材齢 91 日）を行った。

(1) ひずみ測定位置

ひずみの測定には、予備実験によって凝結の終結以降のひずみ測定が可能と判断された、埋込型の軟質ひずみゲージ（低剛性シリコンゴム被覆のモールドゲージ）を用いた。なお、一部には、硬質ゲージ（高剛性のプラスチック製モールドゲージ）も併用した。ひずみゲージはコンクリート中にユニットに固定して設置した。図-15 にゲージユニットを、写真-2 に CFT 柱内への吊込み状況を示す。図-16 には埋め込んだゲージの配置図を示す。基本的な測定位置は、高さ方向はダイアフラムの近傍とそれ以外の一般的な鋼管部に、水平方向は柱の中心部、ダイアフラムの開口辺縁部分、および柱外周部とした。

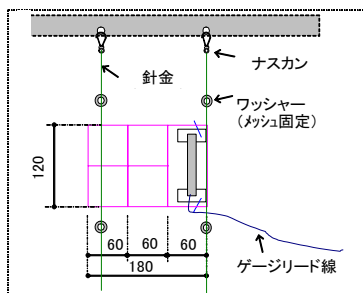


図-15 ゲージユニット

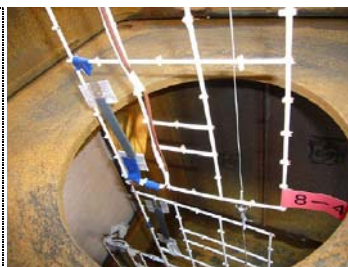


写真-2 柱内吊込み状況

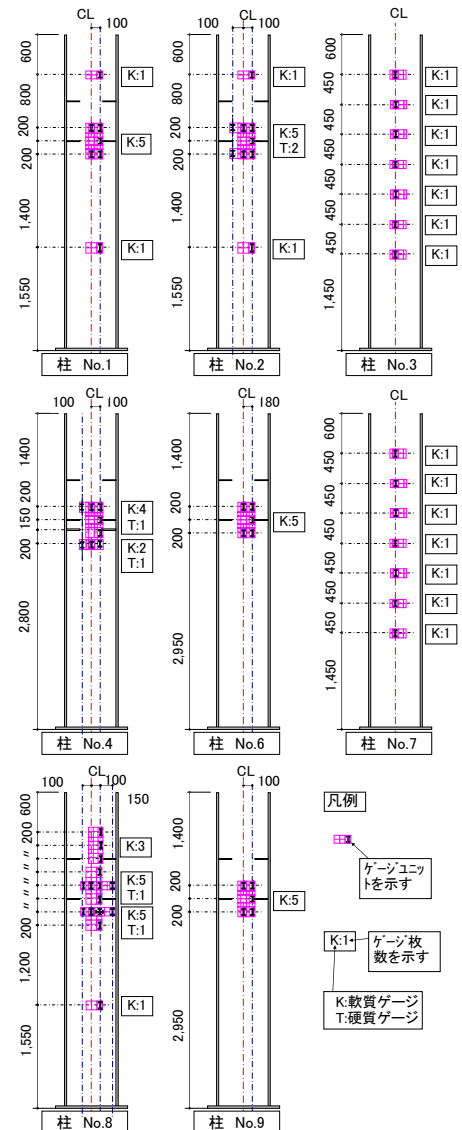


図-16 埋込型ひずみゲージ配置図

(2) コア採取位置

材齢 91 日において各模擬柱から、コア供試体を採取し、圧縮強度やヤング係数などを測定した。図-17 に、コア供試体の抜き取り位置を示す。なお、No.11 柱試験体のみ柱試験体中間の高さから採取したコア供試体についても測定した。また、全てのコア供試体について超音波伝播速度法による試験を行い、圧縮強度試験結果と対応させ、ダイアフラム近傍から採取したコア供試体など、強度の低下を示している供試体を見出す手法として有効であるかを検討した。コア供試体は柱頭部より縦抜きとした。抜き取り後のコアは、所定の箇所までカットし両端を研磨仕上げとした。コアは、ダイアフラム近傍において分断することなく一体で抜き取ることができた。なお、圧縮強度試験までの間は気中養生とした。

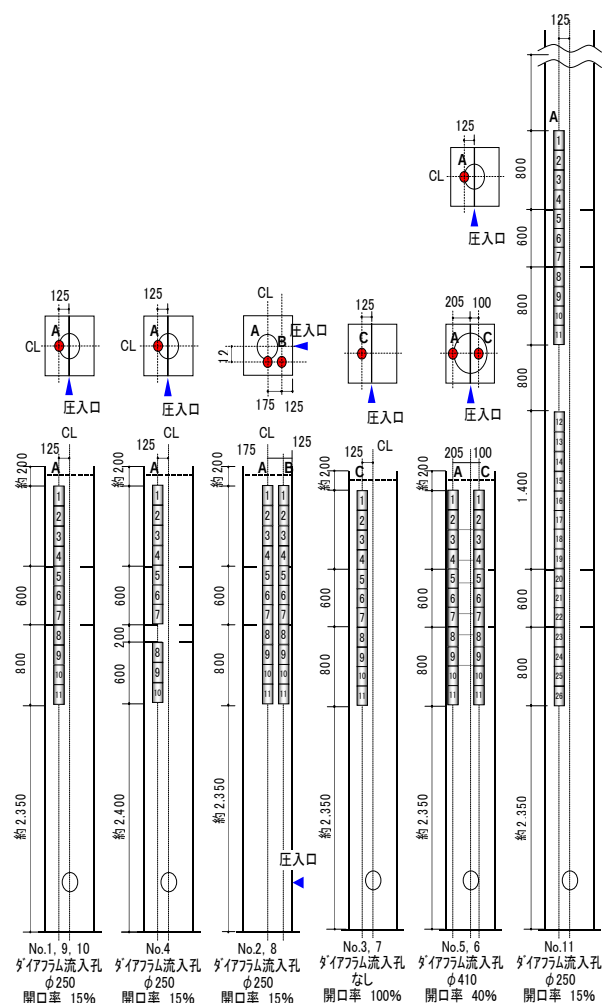


図-17 コア採取位置

3.2.5 構造体コンクリートの性状

(1) 採取位置による圧縮強度の分布

図-18 に、コア供試体における圧縮強度の分布を示す。柱 No.11 を除き、柱下部の強度が高くなる傾向が認められた。これは、セメントの種類によらず、同様の傾向がみられており、主に圧密の影響によるものと推測できる。

柱 No.2 と No.8 (開口率 15%) および柱 No.5 と No.6 (開口率 40%) において異なる位置からコアを採取しており、採取位置による圧縮強度への影響について比較・検討した。柱 No.2 においては、コア A とコア B を比較すると、コア B の方がダイアフラム近傍での強度の変動が小さかった。柱 No.8 においては、その傾向がより顕著であり、コア A のダイアフラム近傍での強度低下が大きかった。この要因については、コア A では凝結が遅れることによってダイアフラムによる強度への影響が大きくなり、コア B はこの影響が小さかったによるものと推察される。なお、柱 No.5 と No.6 におけるコア A とコア C の間には、その傾向に大きな差異は認められなかった。

(2) ダイアフラムの圧縮強度への影響

ダイアフラムを有する柱試験体 9 本中、ダイアフラムの近傍において強度低下が認められた柱試験体は 7 本であった (No.1,2,4,5,6,8,9)。逆に強度低下が認められない同一形状の柱試験体は No.10 (ECO35) であり、これは落し込みによる充填であることから、打込み方法の違いによる影響である可能性が考えられる。

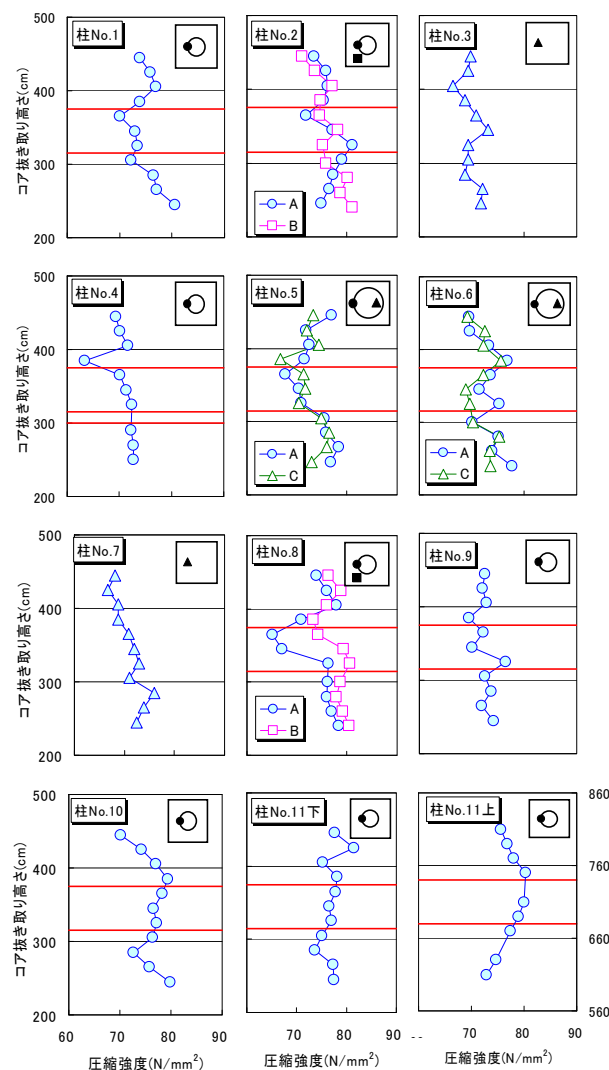


図-18 コア供試体圧縮強度

(3) ヤング係数

図-19 に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。併せて、1999 年版日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」⁵⁾に採用されている「NewRC式」も示す。同図より、エコセメントを用いたコンクリートは概ね「NewRC式」によって、ヤング係数を推定できることが判った。全体的な傾向として、ダイアフラムの直上から採取したコア供試体のヤング係数は、ダイアフラム直下や柱試験体下方から採取したコア供試体よりも小さな値を示す傾向にあった。今回の試験結果を、「NewRC式」の推定値と比較すると、ダイアフラム直上のヤング係数は推定値よりも 10～15%程度、ダイアフラム直下は 5～10%程度小さな値を示した。

(4) 超音波伝播速度

図-20 に音速と圧縮強度の関係を示す。本実験の範囲では、測定値は圧縮強度の範囲に比べ小幅なものであり、超音波伝播速度により、強度低下しているコア供試体を見出すことは難しいと考えられる。

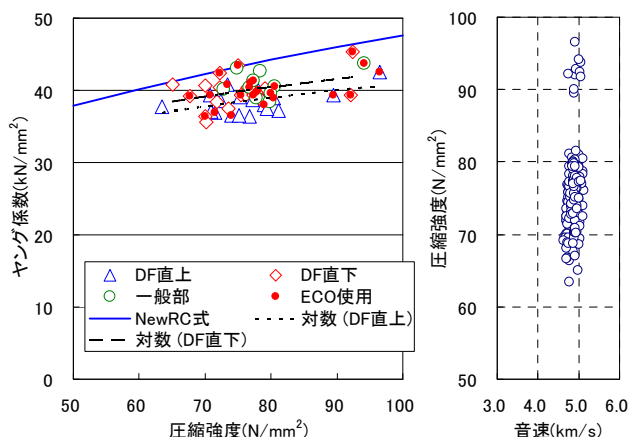


図-19 圧縮強度とヤング係数

図-20 音速と圧縮強度

3.2.6 コア強度の分析

(1) 指標の定義

ここでは、以下の指標を用いて検討する。

- ・平均 $_{28}S_{91}$ ：柱試験体ごとの材齢 91 日平均コア強度と材齢 28 日標準養生円柱供試体強度の差
- ・最大 $_{28}S_{91}$ ：柱試験体ごとの材齢 91 日最低コア強度と材齢 28 日標準養生円柱供試体強度の差⁶⁾
- ・変動係数：柱試験体ごとの材齢 91 日コア強度変動係数
- ・ダイアフラム影響係数：当該柱試験体の変動係数を、同じ種類のセメントを用いたダイアフラムのない模擬 CFT 柱の変動係数で除した数値⁷⁾
- ・ダイアフラムによる強度低下率：平均コア強度に対するダイアフラム近傍の強度低下率（＝1－ダイアフラム近傍の最低コア強度／平均コア強度）

(2) エコセメントを用いたコンクリートの S 値

表-6 に各指標の算定結果を示す。また、図-21 にエコセメントを用いたコンクリートの最大 $_{28}S_{91}$ 、平均 $_{28}S_{91}$ 、

簡易断熱養生供試体強度による $_{28}S'_{91}$ 、および過去に実施した夏期の実機試験³⁾において同調合で作製した模擬柱部材（□1m×1m）から求めた $_{28}S_{91}$ と同実験での $_{28}S'_{91}$ を示す。凝結遅延剤を添加した柱No.8を除き、柱試験体におけるS値は、最大 $_{28}S_{91}$ を含めて、模擬柱部材から採取したコア強度による $_{28}S_{91}$ とほぼ同等あるいは小さい結果となった。よって、エコセメントを用いたコンクリートのS値は、他のセメントを用いた場合と同様、模擬柱部材から求めたS値が適用可能であると考えられる。一方、 $_{28}S'_{91}$ は、最大 $_{28}S_{91}$ および平均 $_{28}S_{91}$ と同等あるいは若干大きい値であり、簡易断熱養生供試体強度が構造体コンクリート強度の代替指標として品質管理上有効であると確認できた。平均 $_{28}S_{91}$ は、夏期の実績値³⁾の $_{28}S_{91}$ よりも小さい値であった。これは、模擬柱部材の中心最高温度79.6℃に対し、今回の柱試験体中心付近の最高温度は62.2～65.1℃の範囲であり、高温履歴による強度への影響が小さかったことが一因と考えられる。

表-6 強度補正值等算出結果

柱 No.	最大 $_{28}S_{91}$ (N/mm ²)	平均 $_{28}S_{91}$ (N/mm ²)	変動係数 (%)	ダイアフラム 影響係数	強度低下率 (%)
1	8.7	3.9	3.9	1.44	6.4
2	3.0	-1.4	3.3	0.85	5.8
3	6.5	4.2	2.7	1.00	5.0
4	11.4	0.7	4.0	1.03	10.2
5	6.4	1.4	4.6	1.70	7.8
6	4.1	1.6	3.9	1.00	4.5
7	10.7	10.2	3.9	1.00	6.2
8	19.2	6.5	6.0	2.22	12.2
9	-1.1	1.9	2.1	—	3.2
10	7.5	1.6	3.8	1.41	—
11	4.7	0.0	2.9	1.07	—

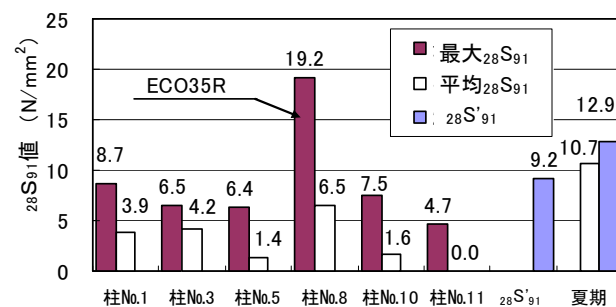


図-21 $_{28}S_{91}$ の比較（ECO35、ECO35R）

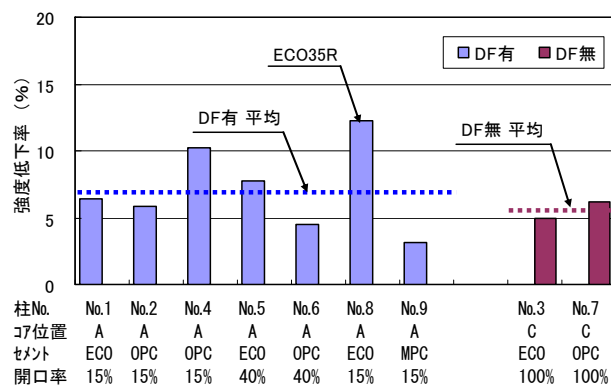


図-22 ダイアフラムによる強度低下率

(3) ダイアフラムの影響

図-22 に、ダイアフラム近傍で強度低下の傾向が認められた柱試験体、およびダイアフラムの無い柱試験体における強度の低下率を示す。強度の低下率は、柱 No.8 (ECO35R) で最も大きく、10%を超える値を示した。このことから、凝結遅延はダイアフラムによる強度低下に影響を与えるものと推察できる。また、ダイアフラムによる強度低下率の平均は 6.7%であり、ダイアフラムの無い柱試験体における強度低下率の平均は 5.6%であった。よって、今回の実験では、ダイアフラムによる強度低下の傾向が認められたものの、ダイアフラムの有無による影響は小さい結果であった。セメントの種類による影響については、同一の条件である柱 No.1 と No.2、および No.5 と No.6 を比較すると、いずれも普通ポルトランドセメントに比べて、エコセメントを用いた場合において強度低下率が大きい傾向が認められた。

(4) 凝結時間の影響

図-23 に、凝結の始発時間とダイアフラム影響係数の関係を示す。今回、凝結時間はセメント種類に対応しており、ECO35R > ECO35 > OPC35 の順に凝結時間が遅く、凝結時間が遅くなるほどダイアフラム影響係数が大きくなる傾向が認められた。

(5) ダイアフラム開口率の影響

図-24 に、ダイアフラム開口率とコア強度の変動係数の関係を示す。コア強度の変動係数は、凝結遅延させた ECO35R を除き、2.0~5.0%程度の範囲に分布しており、ダイアフラム開口率の影響が小さい傾向が認められた。

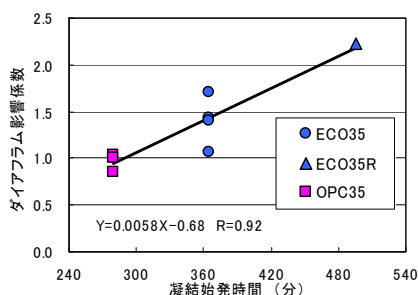


図-23 凝結の始発時間とダイアフラム影響係数

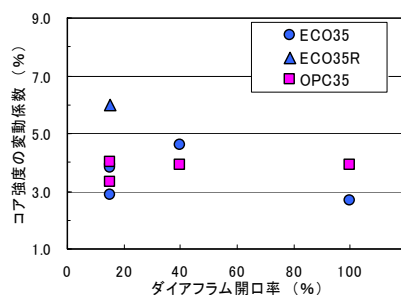


図-24 ダイアフラム開口率の影響

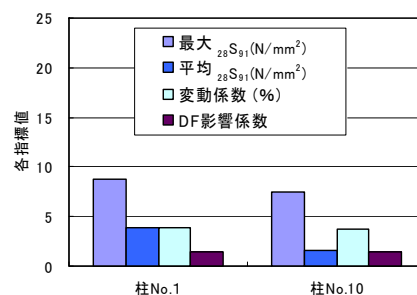


図-25 打込み方法の影響

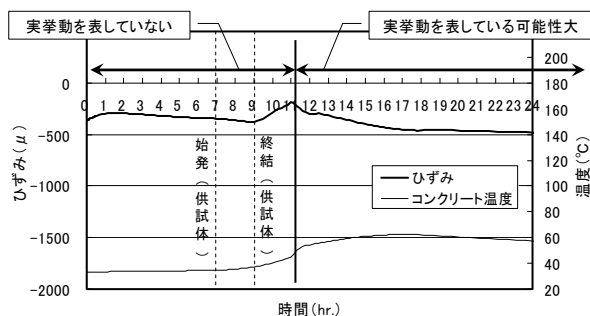


図-26 軟質ゲージのひずみ測定結果(柱 No.8)

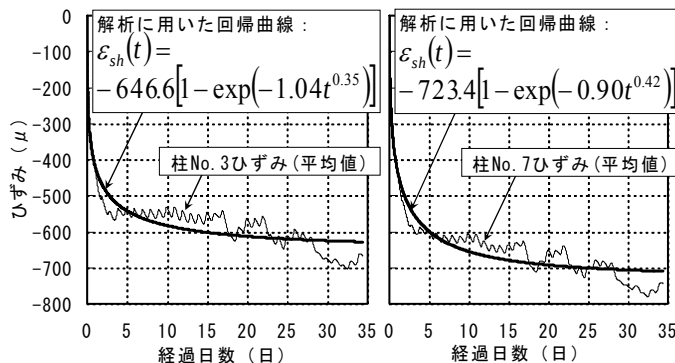


図-27 柱 No.3,7 のひずみ履歴(各高さの平均値)

また、今回の実験結果では、変動係数はECO35Rの 6.0% が最も大きな値であり、CFT造技術指針⁸⁾において規定されているダイアフラム開口率 15%以上の範囲では、構造体コンクリート強度の変動は小さな範囲におさまることが確認できた。

(6) 打込み方法の影響

図-25 に、圧入充填した柱No.1 と落とし込み充填した柱 No.10 の各指標値を示す。最大₂₈S₉₁および平均₂₈S₉₁の値は若干差が認められるものの、いずれも比較的小さな値であり、打込み方法による構造体コンクリート強度への影響は小さい結果であった。

3.2.7 実大 CFT 柱内コンクリートのひずみ分布

(1) ひずみ履歴

図-26 に施工実験で測定した柱試験体内コンクリートの軟質ゲージによるひずみ測定結果の一例を示す。コンクリートには、打込み直後は引張りひずみが生じており、その後圧縮側に転ずるものの、凝結の終結付近で引張側となる。これは、ほとんどの測定点で認められた。凝結の始発以前の極若材齢における線膨張係数の変化が影響している可能性もあり、終結以前の履歴は実際のひずみの挙動を表しているとは言い難い。しかし、終結以降の履歴を取り出すと、図-27 に示すように、コンクリートの温度上昇とともに、一般的な収縮ひずみを示す履歴⁹⁾に変わった。これらのひずみデータから、本報告において検討するひずみは、軟質ゲージによって測定された終結以降のデータとした。

(2) ひずみ分布

いずれの CFT 柱試験体のひずみ履歴も、凝結の終結後 1～2 週間ではほぼ一定の値を示したため、測定した最後のデータ（経過日数約 35 日）を最終ひずみとした。図-28 に、柱試験体内のコンクリートの最終ひずみ分布を示す。ダイアフラムの無い柱 No.3, No.7 のひずみは高さ方向によらずほぼ同じ値となった。それに対し、ダイアフラムを有する柱試験体のひずみはダイアフラム上下・近傍で顕著な違いが認められた。特に、柱 No.1, No.8 におけるダイアフラム位置（ $H=3,150\text{mm}$ ）では、 $1,000\mu$ 程度の大きな引張ひずみが生じており、ひび割れが発生したと推察される。

①ダイアフラム開口率の影響

ECO35 の柱 No.1, No.3 をみると、ダイアフラム開口率の違い（15%,100%）により、ひずみ分布に顕著な違いがみられた。ひずみは概ね圧縮側となったが、上述したように、柱 No.1（開口率 15%）のダイアフラム位置（ $H=3,150\text{mm}$ ）で引張側のひずみ（ $+953\mu$ ）が認められた。一方、OPC35 の柱 No.2, No.6, No.7 では、ひずみは全て圧縮側となった。ダイアフラムの開口率の違い（15%, 40%, 100%）によるひずみ分布に顕著な違いは認められなかったが、ダイアフラム位置のひずみ（ $H=3,150\text{mm}$ ）は開口率が小さくなるほど小さい値を示した。

②ダイアフラム枚数の影響

ダイアフラムの枚数（柱 No.2：2 枚、No.4：3 枚）によって、ひずみ分布に顕著な違いは認められなかった（全て圧縮側のひずみ）。

③コンクリートの調合の影響

柱形状が同一で、ECO35 と ECO35R の柱 No.1 と No.8 のひずみ分布を比較するとほぼ同じであることがわかる。また、OPC35 と MPC28 の柱 No.2 と No.9 を比較してもほぼ同じであった。しかし、柱 No.1・No.8 のひずみ分布と、柱 No.2・No.9 のひずみ分布とを比較すると、ダイアフラム位置（ $H=3,150\text{mm}$ ）のひずみに顕著な違いがみら

れた。柱 No.1, No.8 は引張ひずみ（ $+953\mu$, $+1,159\mu$ ），柱 No.2, No.9 は圧縮ひずみ（ -97μ , -333μ ）となった。この違いは、コンクリートの収縮性状の違いによるものと推察される。

(3) ひずみの分析

上述したように、ダイアフラムの有無によってひずみ分布が大きく異なることがわかった。そこで、ひずみに影響を与えるコンクリート物性について検討した。また、ひずみがコンクリート強度の全般に影響を与えているか確認した。

①コンクリートの諸物性とひずみの関係

ダイアフラムを有する柱試験体の内、同一の形状の柱 No.1, No.2, No.8, No.9 を対象に検討した。図-29 に、ひずみとの関係が深いと考えられるコンクリートの凝結時間・自己収縮ひずみ・沈降量と、ダイアフラムの有無によって生じるひずみの差（ $\Delta \varepsilon_{DF}$ =ダイアフラム位置のひずみ量－ダイアフラム上下のひずみ量の平均値）との関係を示す。同図より、凝結時間や沈降量は $\Delta \varepsilon_{DF}$ に影響を与えているものと考えられる。しかし、自己収縮ひずみについては相関が認められなかった。

②ひずみとコア強度の関係

同様に、同一の形状の柱 No.1, No.2, No.8, No.9 を対象に検討した。図-30 に、 $\Delta \varepsilon_{DF}$ と、最大 $_{28}S_{91}$ ・コア強度の変動係数・ダイアフラム影響係数・ダイアフラムによる強度低下率との関係を示す。同図より、 $\Delta \varepsilon_{DF}$ が大きいほど、コア強度に与える影響は大きくなることがわかる。本実験では、ダイアフラム位置におけるコアを採取することができなかったことから、直接的にひずみ量とコア強度を比較することはできなかったが、ダイアフラムを有する CFT 柱の場合、ダイアフラム上下・近傍では大きなひずみ差が生じ、それがコア強度分布に影響を与えていることが確認された。

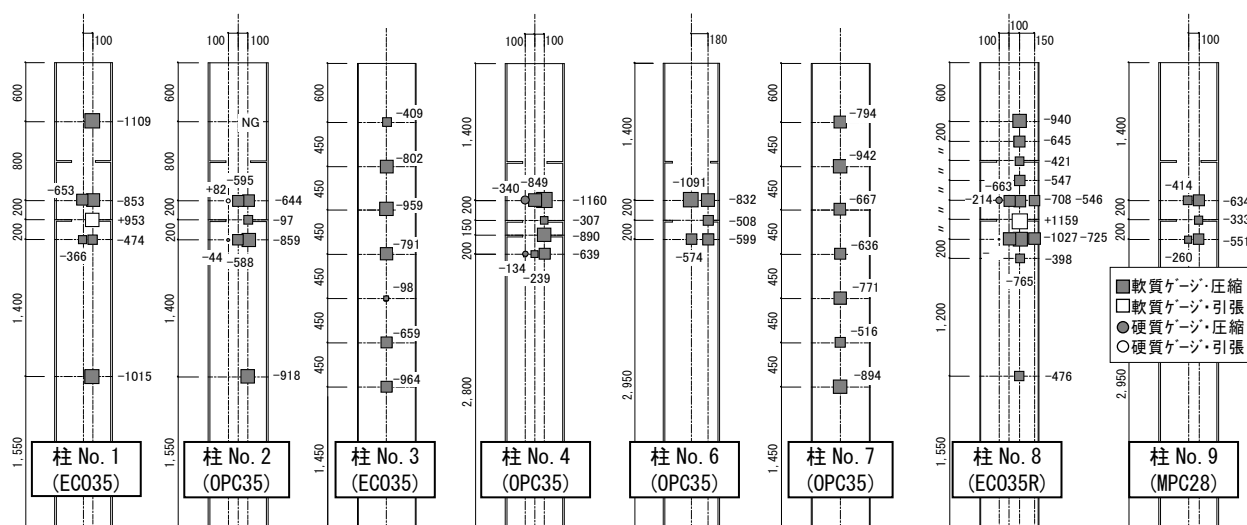


図-28 柱試験体内のコンクリートの最終ひずみ分布

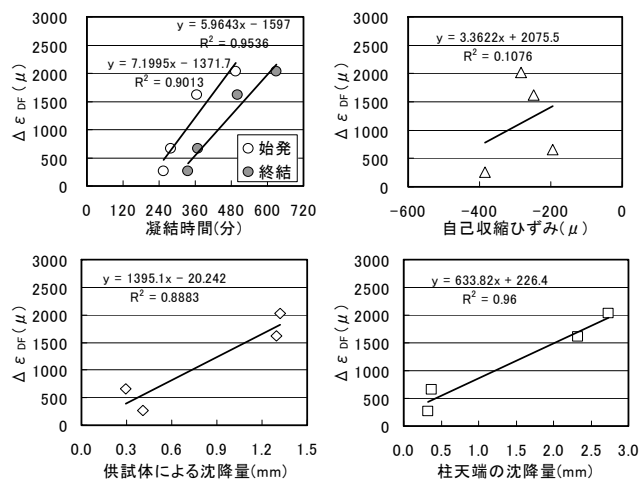


図-29 コンクリートの諸物性とひずみ差

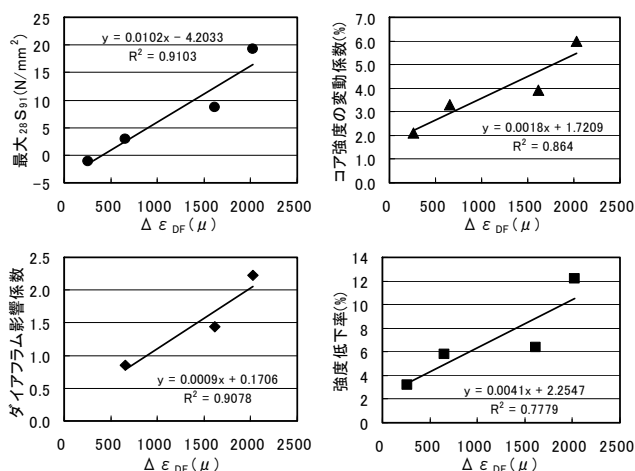


図-30 ひずみ差とコア強度

3.3 実大施工実験結果のまとめ

エコセメントを用いた CFT 造充填コンクリートを市中のレディーミクストコンクリート工場で製造し、実大の CFT 柱に充填する施工実験を実施した。

その結果、エコセメントを用いた CFT 造の充填コンクリートにおけるフレッシュコンクリート性状全般（スランプフロー、空気量など）、塩化物量の経時変化、各種養生（標準養生、簡易断熱養生）の供試体強度、各種の収縮特性（ブリーディング、凝結、沈降量、自己収縮）、CFT 柱への充填性状（圧入性状、落とし込み性状）など、CFT 造の充填施工に関するデータをほぼ収集できた。

また、CFT 柱内のコンクリートのひずみ分布を、凝結以降ではあるが実測し、コア強度分布と比較した。その結果、ダイアフラムを有する CFT 柱では、ダイアフラム近傍で大きなひずみ差が生じることが判った。さらに、そのひずみ差が CFT 柱のコンクリート強度に影響を与えることが確認された。これは、凝結や沈降が大きいエコセメントを用いたコンクリートで顕著であったことから、エコセメントを用いる場合はダイアフラムによる強度低下が生じやすいことを考慮して調合を定める必要がある。

4. 実大 CFT 柱内ひずみ分布の解析的検討

4.1 解析概要

4.1.1 解析・検討手順

解析は、まず、実大施工実験におけるダイアフラムが無い柱試験体のひずみ測定結果から、各種コンクリートの収縮ひずみの入力値を求めた。それを用いて、再度、ダイアフラムが無い柱試験体の解析を行い、実験結果と解析結果の比較から解析手法の妥当性を検証した。

次に、実大施工実験におけるダイアフラムを有する柱試験体の解析を行い、柱内部のコンクリートの挙動に対するダイアフラムの仕様（開口率および間隔）、コンクリートの調合などの影響について検討し、ダイアフラム近傍のひずみ挙動の結果と比較・検討を行った。

4.1.2 解析方針

解析では、柱 No.1～No.4 および No.6～No.8 を対象とした。また、図-31 に要素の分割図の一例を示すように、解析にあたっては柱試験体の片側半分を擬似的な 2 次元モデル（奥行き方向が 1 要素のモデル）にモデル化し、解析対象をコンクリート要素と鉄骨要素（鋼管およびダイアフラム）に分割した。解析期間は、コンクリートの打込み直後から材齢 35 日までとした。

4.1.3 温度解析

温度解析では、コンクリートの水和による発熱に伴う柱試験体の温度分布の経時変化を、非定常熱伝導解析によって計算した。解析にあたっては、解析モデルの外気に接する面を対流熱伝達境界とし、それ以外の面を断熱境界とした。

表-7 に材料特性値を示す。エコセメントを用いたコンクリートの断熱温度上昇量は、既往の研究結果¹⁰⁾を踏まえて、普通ポルトランドセメントを用いた場合と同一とみなした。また、外気温には、気象庁の日平均データを入力した。

4.1.4 応力解析

(1) 解析方法

応力解析は、ひび割れを考慮した材料非線形解析¹¹⁾により行った。コンクリートのひび割れは、最大主応力がその材齢の引張強度を超えたときに発生するものとし、ひび割れ発生以降は直交方向の応力が引張軟化することを考慮して低減した。

(2) 解析モデル

解析にあたっては、平面応力状態を仮定して、解析のモデルにおける鋼管節点の水平方向を固定した。また、CFT 柱の場合、コンクリートと鋼管の付着強度が非常に小さい¹²⁾ため、両者の境界面には図-32 に示すように、すべり・剥離要素（剛性およびせん断剛性を 0 に近い値とした要素）を配置した。

(3) 入力値

応力解析では、①温度解析結果から得られた各柱試験体の温度ひずみ、および②実大施工実験におけるダイアフラムの無い柱試験体で測定されたひずみ、の2種類を初期ひずみとして入力した。その際、ひずみ②はコンクリートの全ての位置で均一に生じるものとし、その時間関数は図-27に示した回帰式(ECO35およびECO35Rは柱No.3の回帰式、OPC35は柱No.7の回帰式)を与えた。

また、表-8に、初期ひずみ以外の材料特性値を示す。コンクリートの圧縮強度は、図-33に示すように、各柱試験体でひずみ(実挙動を表すひずみ)が測定され始めた時期(t_0)までは一定で、その後が増大するものとした。

4.2 温度解析の結果

図-34に、温度解析で得られた温度分布の一例を示す(柱No.2、経過日数1日)。同図から、柱の中心部付近では、ダイアフラムが熱橋となり、その近傍のコンクリートの温度が低下している様子がわかる。また、図-35に、柱No.2の高さ2,150mmにおけるコンクリート温度履歴の解析結果を、実験の結果と併せて示す。同図からわかるように、両者の履歴はほぼ一致している。

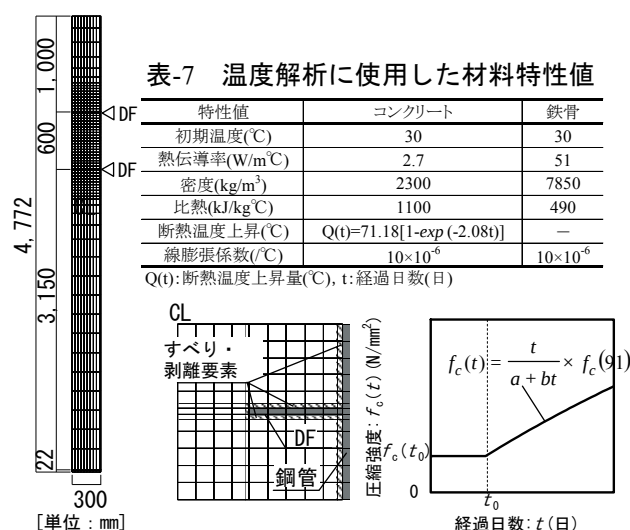


図-31 解析モデル(A-1) 図-32 すべり・剥離要素の配置 図-33 コンクリートの圧縮強度

表-8 応力解析に使用した材料特性値

特性値	コンクリート	鉄骨
圧縮強度(N/mm ²)	$f_c(t) = \frac{t}{a+bt} \times f_c(91)$ ただし、 $t < t_0$ のときは $f_c(t_0)$	400
ヤング係数(N/mm ²)	$E(t) = \phi \times 4700 \times f_c(t)^{0.5}$	2.0×10^5
引張強度(N/mm ²)	$f_t(t) = 0.44 f_c(t)^{0.5}$	400
ポアソン比	0.2	0.3

$f_c(t)$:圧縮強度(N/mm²), a, b :強度発現に関わる係数(OPC35の場合は $a=4.5, b=0.95$, ECO35およびECO35Rの場合は $a=5.8, b=0.95$), t :経過日数(日), t_0 :ひずみが測定され始めた時期(日), $E(t)$:有効ヤング係数(N/mm²), ϕ :クリープの影響の補正係数($t < 3$ の場合は0.73, $t \geq 3$ の場合は1), $f_t(t)$:引張強度(N/mm²)

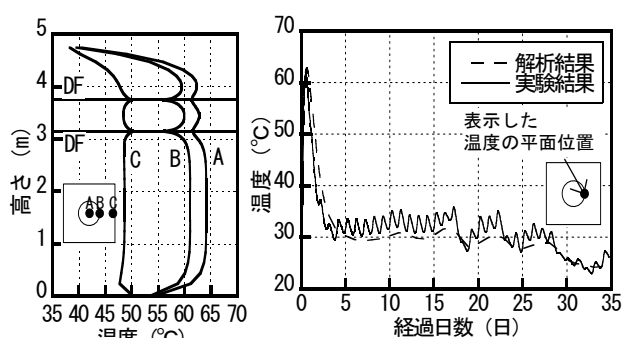


図-34 温度分布 (柱No.2) 図-35 温度履歴(柱No.2)

4.3 応力解析の結果

4.3.1 垂直方向のひずみ

図-36に、応力解析で得られた垂直方向のひずみ解析結果(経過日数:35日)の分布を示す。同図によると、ダイアフラムを有する全ての柱試験体において、解析値の大きさは異なるものの、実験結果と同様、下段ダイアフラム近傍に非常に大きな引張ひずみが生じた。また、それ以外の位置におけるひずみの解析値と実験値は概ね一致した。このことから、本解析では、実大施工実験における柱試験体の挙動をほぼ追跡できているものと判断できる。

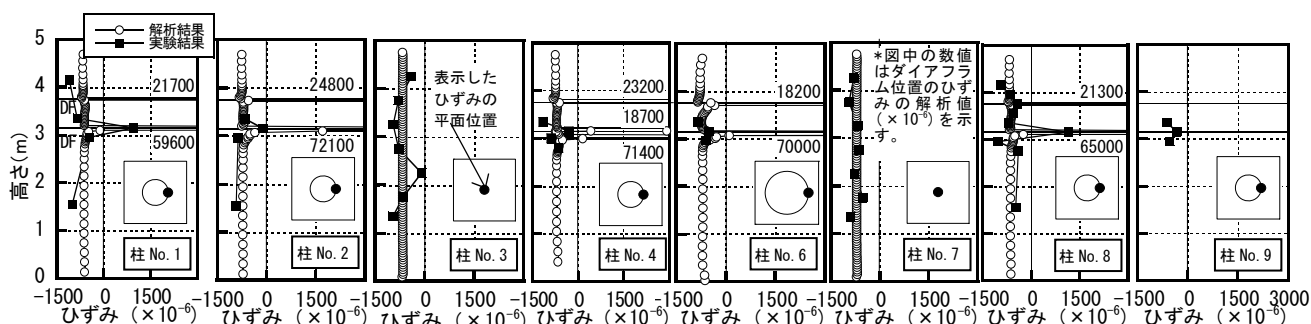


図-36 垂直方向のひずみの分布

4.3.2 変形状況

図-37 に、ダイアフラム近傍の変形状況の例を示す（経過日数 35 日）。同図によると、下段のダイアフラム直下のコンクリートが沈降していることがわかる。また、ダイアフラムの開口部分のコンクリートが下方に向かい沈み込んでおり、開口の中心部ほど顕著になっている。

4.3.3 主ひずみ

図-38 に、経過日数 35 日におけるダイアフラム近傍の主ひずみ（拘束ひずみ）の例を示す。ここで図中には、引張ひずみのみを示した。同図によると、ダイアフラムの近傍のコンクリートに垂直方向の大きな引張ひずみが生じており、解析上ではこの位置にひび割れが発生したことになる。また、このひび割れの発生により収縮応力が解放されたため、経過日数 35 日の時点では、いずれの柱試験体においても、コンクリートにはほとんど応力が生じなかった。

4.4 コンクリートの挙動に対する考察

解析の結果によると、ダイアフラム近傍の大きな引張ひずみ（または、ひび割れ）は、柱部分のコンクリートの収縮に起因する応力集中により発生すると考えられる。なお、水和発熱に伴うコンクリートの膨張は、この応力集中を緩和する方向に作用する。

本解析では、ECO35 と OPC35 の初期ひずみの入力値が近い値であったため（図-27 参照）、両解析結果にほとんど差異は生じなかった。しかし、上記のことを踏まえると、コンクリートの収縮ひずみはダイアフラム近傍のコンクリート挙動に大きな影響を与えると推察される。

4.5 解析的検討結果のまとめ

3 章で報告した実大施工実験の CFT 柱を対象として、FEM による温度・応力解析を実施し、柱試験体のひずみ分布を計算した。また、ひずみの実測結果と解析結果を比較し、ダイアフラム近傍のコンクリート挙動について検討した。

その結果、ダイアフラムを有する CFT 柱では、ダイアフラム近傍のコンクリートに大きな引張ひずみが生じることがわかった。これは、実測結果および解析結果ともに確認された現象であり、CFT 柱内のダイアフラム近傍のコンクリートには、少なからず引張ひずみが集中すると言える。

ただし、実測結果では、ダイアフラムの近傍に生じた引張ひずみは、エコセメントを用いた場合の方が、普通ポルトランドセメントを用いた場合に比べ大きくなったが、解析では検証されなかった。これは、ECO35 と OPC35 の初期ひずみの入力値が近い値（図-27 参照）であったことから、両者の解析結果にほとんど差異が生じなかったためである。

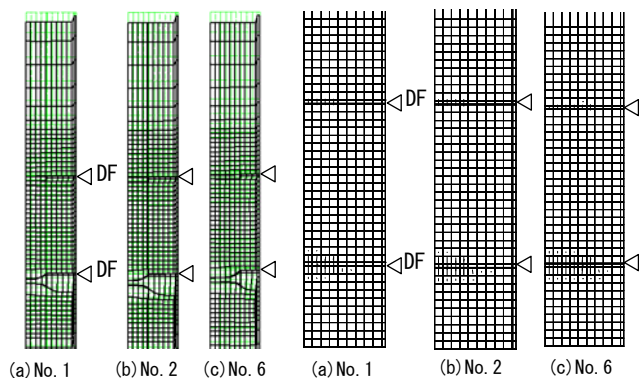


図-37 変形状況の例

図-38 主ひずみ図の例

5. 本開発の総括

廃棄物を利用した環境配慮型セメントの適用対象拡大を目的として、エコセメントを用いたコンクリートを CFT 造の充填コンクリートとして採用する上での技術的な課題について検討を行った。以下に、本開発において得られた知見および成果について総括する。

5.1 本開発で得られた知見と成果

5.1.1 施工品質について

一般的に、CFT 造の各種性能を確保する上で主に必要な施工品質の目標としては、以下の二点があげられる。

- ・鋼管内にコンクリートを密実に充填させる
- ・硬化後の構造体コンクリートが所定の性能を発揮する

これらについては、エコセメントを用いた場合でも、従来から使用されているセメントを用いた場合と同様に、必要な性状を確保することができ、実務上問題なく CFT 造に適用可能であることが確認できた。また、関連する実用上有益な各種数値データの蓄積が実現できた。

5.1.2 耐久性能について

エコセメントでは、原料となっている廃棄物に起因し、セメント中の塩化物イオン量が若干大きくなる。加えて、CFT 造で採用される高流動コンクリートでは、単位セメント量が多くなるため、耐久性能に及ぼす影響がさらに大きくなることが懸念される。本開発ではこれらを検討するために、コンクリート中の塩化物イオン量と鋼材に対する腐食抵抗性について、相対的な比較検討を行った。

その結果、エコセメントを用いた場合の塩化物イオン量の実用的な評価方法を提示するとともに、通常の充填コンクリートの調合であれば、普通コンクリートと同等以上の腐食抵抗性の確保が可能であることを確認した。

5.1.3 構造体としての一体性について

CFT 造特有の現象として、ダイアフラム近傍の構造体コンクリート強度の低下が報告されている⁷⁾。以前より、充填コンクリートの収縮などに伴う内部ひずみがダイア

フラムの拘束により局部的に集中することが一因であると考えており、特に収縮量が大きいと予想されたエコセメントを使用したコンクリートでは、この点を明らかにする必要があった。そこで、本開発では実大施工実験を実施し、ダイアフラム近傍におけるコンクリートの充填直後からのひずみ挙動の測定を試みた。さらに、これらの結果と実際の構造体コンクリート強度（コア強度）との関係から、ダイアフラム近傍における強度低下のメカニズムについて考察を行った。

(1) 収縮特性

収縮現象との関係が深い凝結については、凝結が遅いものほどダイアフラム近傍でひずみが集中し、コア強度もばらつく傾向がみられた。これは、初期の収縮現象がダイアフラム近傍での構造体コンクリート強度の低下に影響を与えている可能性が考えられる。

(2) ダイアフラムの影響

ダイアフラム開口率とひずみとの関係では、実測結果およびコア強度から有意な関係性は認められなかった。本実験では一般的な開口率を対象としており、この範囲では影響は小さいものと判断できるが、極端な条件下で何らかの影響が現れる可能性も考えられる。一方、ダイアフラム近傍でひび割れ発生が推測されるほどの大きなひずみが検出されたのに対し、採取コアの外観、圧縮強度、超音波伝播速度からは過度な損傷を示す結果が得られておらず、今回着目した収縮に伴う内部ひずみの影響のみで全ての現象を説明するには至らなかった。また、本実験で得られたコア強度のばらつきの程度は、既往のデータに比べ小さなものであった。類似の結果としては、本実験と同様にコア強度の材齢が 91 日の際に見られ⁷⁾、材齢の経過に伴い構造体コンクリート強度のばらつきが減少したことと併せて報告されている。このような現象の原因としては、CFT 柱内では乾燥が生じにくく長期間湿潤状態が保持されるとともに、圧密作用を受けるため、コンクリートの自己修復が生じたのではないかと推察される。これは、今回初期に大きなひずみが発生したにもかかわらず、硬化後の物性への影響が顕著ではなかったことの説明とも合致する。

5.2 残された課題と今後の展望

5.2.1 材料特性のばらつきへの対応

本開発では 2 年間にわたって各種の材料・施工関連の実験を実施したが、エコセメントを使ったコンクリートの性状を横断的に比較すると、例えば混和剤の添加量と沈降量との関係に再現性が認められないなど、セメント自体のばらつきに起因すると思われる事象が見られた。この理由としては、廃棄物を原材料としていることから化学成分の構成が生産ロットにより変動することに対し、現時点では製造量が少ないために、調整が難しいこと、製品化されて日が浅く改善策も未だ発展途上であること、

などがあるものと推察される。CFT 造に用いる充填コンクリートではフレッシュコンクリート性状の安定が欠かせない条件であることから、実際に充填を行う直前には同一ロットのセメントを使った試験練りを行って調合を調整するなど、品質管理面での対応を講じておく必要があると考えられる。

5.2.2 耐久性能関連規定の緩和

CFT 造では飛来塩分など外部からの劣化要素の影響を受けにくく、乾燥に伴う内部での水分移動が生じにくいなど、部材構成上の理由に基づく耐久性能の向上が期待できるが、本研究では具体的な効果に対する定量的把握は行わなかった。今後は、CFT 造を対象とした耐久性能関連規定の緩和まで視野に入れながら、関連するデータの蓄積・評価などを進めていきたい。

5.2.3 合理的な調合設計手法の確立

本開発では、前述した通りダイアフラム近傍における構造体コンクリート強度低下の影響因子を一部把握することができたが、ひずみ計測中のコア採取を避けたため、若材齢のコア強度が確認できなかったなど、不十分な点も多く、構造体コンクリート強度の低下のメカニズムを明らかにするまでには至らなかった。この点については、初期だけでなく、ある程度長期材齢の挙動も考慮に入れながら、今回の各実験の結果および既往データの詳細な分析・評価を中心に、引続き検討を行いたい。さらに、この結果を踏まえ、調合条件や部材の形状・寸法をパラメータとした構造体コンクリート強度の補正値を提案し、CFT 造充填コンクリートの合理的な調合設計手法を確立したいと考えている。具体的には、例えば、凝結時間に応じて強度補正値（Sd 値⁸⁾）を調整する、凝結が遅れる要因となる①冬期施工、②エコセメントや混合セメントの使用、③遅延型混和剤の使用、④貧調合、などの場合以外は Sd 値を低減する、などの方法がイメージされる。

6. おわりに

本開発の結果、エコセメントを使用したコンクリートを CFT 造充填コンクリートとして適用していく上で必要となる知見をほぼ得ることができ、大きな実用上の成果が得られた。

その中で、凝結前後の収縮など、初期の挙動が構造体コンクリート強度など硬化後の物性に対し及ぼす影響について考察を行ったが、本分野は従来あまり着目されていなかった領域であり、既往の研究も少ない。その理由としては、一般的な RC 造では、収縮を拘束する鉄筋が部材内に分散されているため、問題となるような強度の低下現象が生じにくいといったことがあると思われる。この点 CFT 造では、①柱筒体部には収縮を拘束するものがない反面、仕口に強力な拘束材であるダイアフラムが

存在し、ひずみの集中という面で非常に厳しい構造形式となっている、②充填性確保のためにフレッシュ性状の保持性が高い高流動コンクリートを採用するなど結果的に凝結が遅くなる材料を使うことが多い、などの問題を顕在化させる条件が揃っており、当該分野について研究した価値は高いと考えられる。このことから、本研究は、新しい研究分野を発掘して今後の発展に向けた契機を与えたということで有意義なものであったと言える。

謝辞

本開発では、名城大学寺西研究室および石川研究室、アサノコンクリート(株)、太平洋セメント(株)、(有)TRD、(社)新都市ハウジング協会のご協力を得た。ここに記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 小野義徳，大森啓至，田熊靖久：都市ゴミ焼却灰から製造されるエコセメント，セメント・コンクリート，No.586，pp.1～8，1995.12
- 2) JIS R 5214 :2003 「エコセメント」
- 3) 香田伸次，陣内浩，金森誠治，唐沢智之，菅谷泰幸，竹内博幸，多田克彦，起橋孝徳，山田一徳，水野陽介，他：環境配慮型 CFT 造に関する研究（その 1～その 10），日本建築学会学術講演梗概集 A-1，pp.1155～1174，2007.8
- 4) 梅本宗宏，金森誠治，森浩之，大倉真人，西田浩和，山宮浩信，鈴川衛，立山創一，森多毅夫，梶田秀幸，山田一徳，香田伸次，他：環境配慮型 CFT 造に関する研究（その 11～その 22），日本建築学会学術講演梗概集 A-1，pp.533～556，2008.9
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－，1999.11
- 6) 梅本宗宏，他：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），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp.847～848，2002.8
- 7) 新都市ハウジング協会 CFT 造施工技術研究会：ダイヤフラムが構造体コンクリート強度に与える影響を考慮した CFT 造用コンクリートの調合強度算定式の提案，日本建築学会技術報告集，Vol.19，pp.5～9，2004.6
- 8) 新都市ハウジング協会：コンクリート充填鋼管(CFT)造技術指針・同解説，2005
- 9) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制制御設計・施工指針(案)・同解説，2006.2
- 10) 藤田仁，長塩靖祐，三谷祐二，梶尾聡，吉本稔：エコセメントを使用したコンクリートの強度および断熱温度上昇，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.261-262，2006.8
- 11) 田辺忠顕：初期応力を考慮した RC 構造物の非線形解析法とプログラム，技報堂出版，2004.3
- 12) 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