

## 論文 PC埋設型枠を用いた長大スパン合成床板の長期曲げ性状に関する研究

**要旨：**本研究は、長スパンで、底面が平らな逆T形埋設型枠を有する両端固定一方向合成床スラブの長期曲げ性状を実験的に検討し、確認することを目的とするものである。また、クリープ差と収縮歪差がたわみなどに及ぼす影響についても実験的に検討した。その結果、本実験の範囲内で、予想される終局時たわみは載荷終了時のたわみの約2.3倍程度であること、及びクリープ差と収縮歪差によるたわみは長期たわみに差程影響を与えないことなどが分かった。

**キーワード：**長スパン、一方向合成床板、長期曲げ、クリープ、乾燥収縮

### 1. はじめに

近年、建築における床スラブのスパンはより長くなる傾向にある。埋設型枠と場所打ちコンクリート部とから構成される合成床板については数々の断面形状のものが開発・実用化されているが、このようなスパンの長大化に対して、長期曲げ性状を十分に検証した合成床板は余り見られないようである。

本研究は、スパンの長大化に対して、底面が平らな逆T形埋設型枠を有する両端固定一方向合成床スラブの長期曲げ性状を実験的に検討し、確認することを目的とするものである。また、クリープ差と収縮歪差がたわみなどに及ぼす影響についても実験的に検討した。なお、本論文では持続載荷期間を約100日迄とした。

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体

実験に用いた試験体は、スパン長が異なる2つの両端固定一方向合成床板と、クリープ差と収縮歪差による反りを実験的に検証する合成床板の合計3体である。

前者2体の試験体はスラブ内法寸法(930cmと805cm)、スラブ丈(30cmと25cm)及び埋設型枠の中のPC鋼より線の大きさ(φ12.4とφ10.8)がそれぞれ異なる。スラブ内法寸法が930cmである試験体をCFRL1、一方、それより短い805cmである試験体をCFRL2と表示することにする。また、クリープ差と収縮歪差による反りを検討する合成床スラブをCFRSと表示することにする。CFRSは、自重の影響を除く為に、立て掛けてセットし、その両端を単純支持とした。CFRL1、CFRL2及びCFRSの全体形状を図1に、断面形状を図2に示す。なお、3体の試験体は実験室内に置かれており、周囲の温度・湿度の影響を受ける。

埋設型枠及び試験体の製作方法については文献1等に示す通りである。但し、試験体製作のために埋設型枠の下に仮支柱を2ヶ所設置した(図3)。また、プレストレス導入のため緊張力の大きさは、応力レベルでPC鋼より線の降伏点応力度の8割とし、埋設型枠のスタブへのかかり代は3cmとした。

\*1 熊本工業大学助教授 建築学科 工博(正会員)

\*2 (株)富士ピー・エス 建築事業部 課長(正会員)

## 2.2 養生と脱型

養生と脱型方法は文献2と同じであり、ここでは省略する。

## 2.3 測定の種類とその方法

CFRL1とCFRL2のたわみは検長10cmの電動式変位計を試験体中央の両側面に2ヶ所、CFRSに対しては検長3cmの電動式変位計を試験体中央の埋設型枠側に上下2ヶ所に取り付けて測定した。PC鋼より線の歪は、3試験体とも、4本のPC鋼より線のうち外側2つの中央に歪ゲージ（FLA-2）を貼付け、プレストレス導入時から測定した。鉄筋歪は、CFRL1とCFRL2に対してスラブの両端付近にそれぞれ12点、中央部付近に6点、合計30点に、CFRSに対して中央部に2点、両端付近にそれぞれ4点、合計10点に歪ゲージ（FLE-2）を貼付けて測定した。PC鋼より線と鉄筋歪の測定位置を図4に示す。

また、埋設型枠用コンクリートと場所打ちコンクリートのクリープ係数と乾燥収縮歪をφ15×30cmのテストピースを用いて測定した。テストピースは、その中央に検長10cmの埋込型歪ゲージを埋込み、また、試験体と同じ場所に置いた。クリープ係数の測定にあたってはスプリング式クリープ試験機を用い、圧縮強度の1/3の応力を一定持続負荷させ、乾燥収縮歪に対してはテストピースをそのまま放置して測定した。

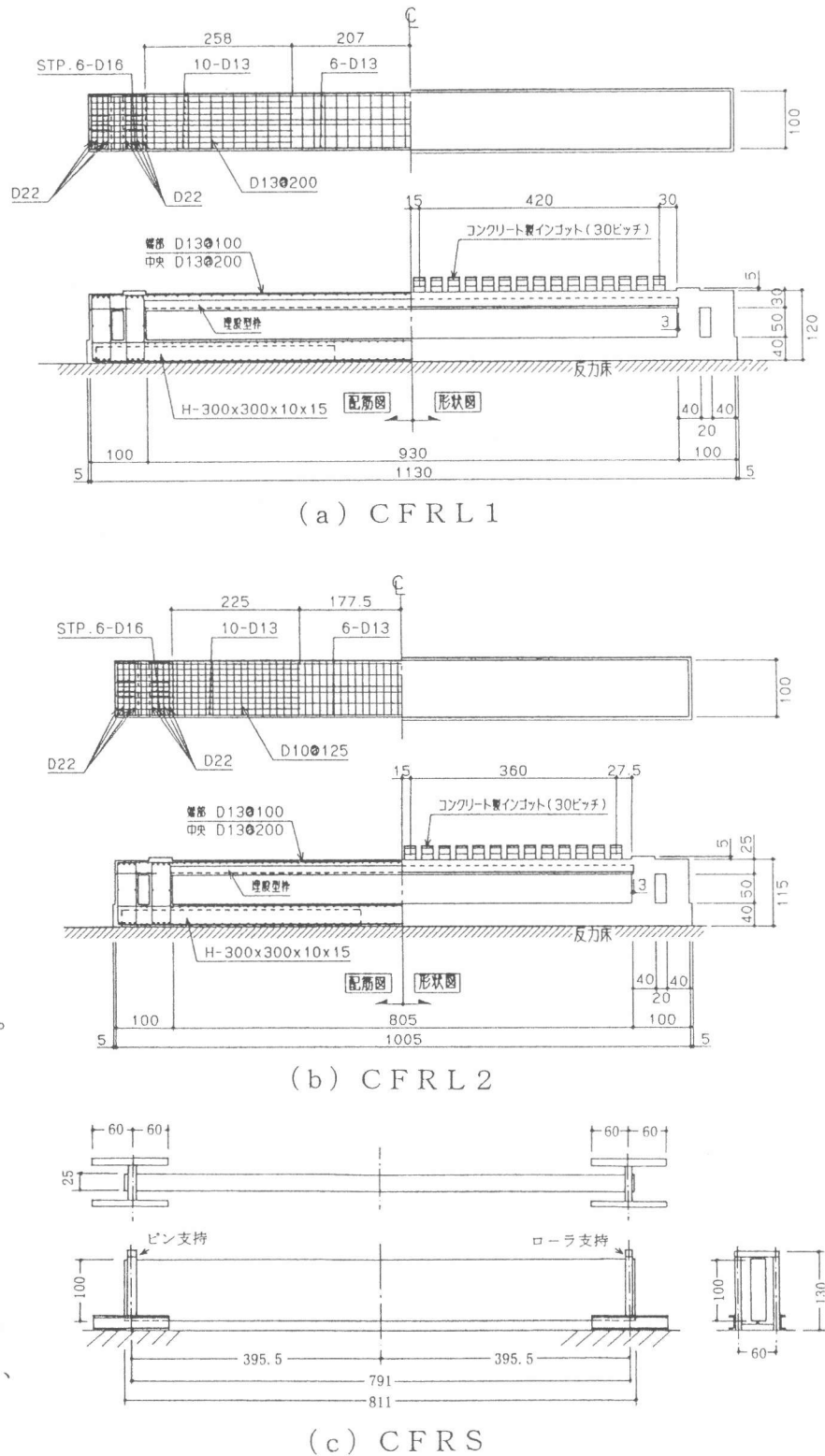
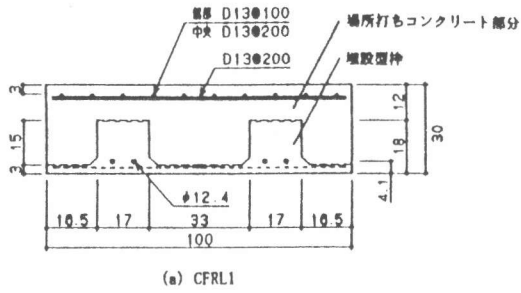
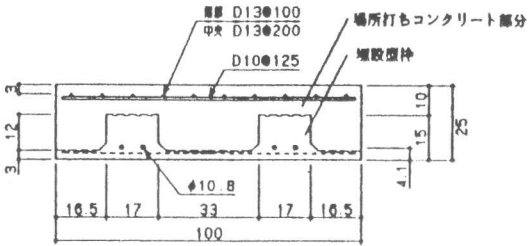


図1 試験体の全体形状 (単位: cm)



(a) CFRL1



(b) CFRL2, CFRS

図2 断面形状 (単位: cm)

なお、CFRS には試験体中央の埋設型枠のリブ部分(埋設型枠の底面から6cmの位置)に埋込型歪ゲージを埋め込み、埋設型枠部分の乾燥収縮歪も測定した。

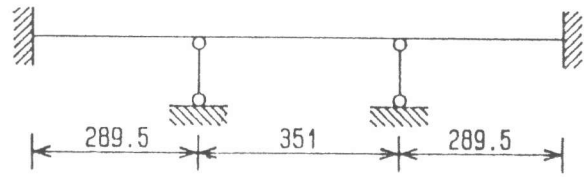
## 2.4 荷重方法

荷重は埋設型枠のコンクリートの材令で70日あるいは場所打ちコンクリートの材令で29日に開始した。CFRL1とCFRL2に対しては、始めに埋設型枠の下に2点設置されていた仮支柱を撤去し、その後、図1に示すようなコンクリート製インゴットを1段ずつ順次重ねて合計2段半をスパン全長にわたり均等に荷重(CFRL1では30点、CFRL2では26点)することにより行った。2段半を重ねた時の荷重荷重の大きさは住宅用積載荷重を対象としており、等分布荷重に換算すると240kgf/m<sup>2</sup>となる。

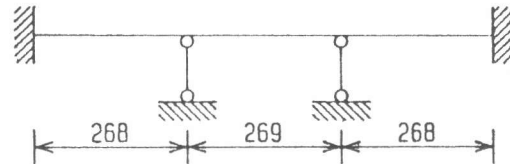
## 2.5 使用材料の機械的性質

使用したコンクリートの機械的性質を表1に、PC鋼より線と鉄筋の機械的性質を表2に示す。これらの性質は文献2と同じである。

また、埋設型枠用コンクリートと場所打ちコンクリートのクリープ係数と乾燥収縮歪の経時変

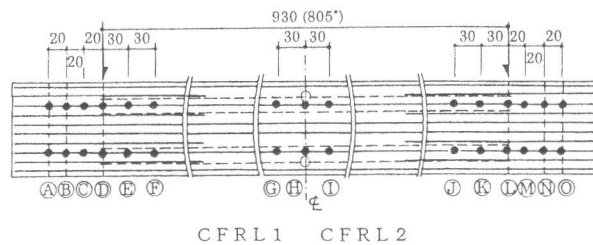


CFRL1

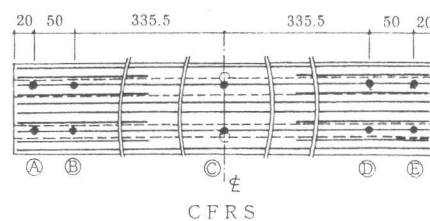


CFRL2

図3 仮支柱の設置位置 (単位: cm)



CFRL1 CFRL2



CFRS

- (注1) ●: 鉄筋歪ゲージ位置
- : PC鋼より線歪ゲージ位置
- (注2) \*: CFRL2の内法長さ
- (注3) ▲: 固定端位置

図4 鉄筋及びPC鋼より線の歪ゲージ位置 (単位: cm)

表1 コンクリートの機械的性質

	養生方法	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	E	割裂強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	スラン プ(cm <sup>2</sup> )
埋設型枠用 コンクリート	蒸気養生(7)	403	2.65	—	2
	水中養生(7)	340	2.54	—	
	蒸気養生(29)	651	2.79	42.1	
	水中養生(29)	622	2.95	42.7	
	蒸気養生(57)	516 (注1)	2.79	50.0	
場所打ち用 コンクリート	湿潤養生(29)	332	2.44	30.1	22
	水中養生(29)	305	2.36	28.8	

(注1) キャッピング部分のモルタルがはがれた

(注2) E : ヤング係数 (×10<sup>9</sup>kgf/cm<sup>2</sup>)

( ) 内: コンクリートの材令 (日)

化を図5と図6に示す。クリープ係数と乾燥収縮歪の測定は長期載荷実験の開始後3日から、即ち埋設型枠用コンクリートで材令73日、場所打ちコンクリートで材令32日から行い、経過日数は約100日迄とした。回帰式を用いてのクリープ係数最終値を推定すると、埋設型枠用コンクリートで0.47、場所打ちコンクリートで2.07となる。また、乾燥収縮歪最終値は埋設型枠用コンクリートで $3.27 \times 10^{-4}$ 、場所打ちコンクリートで $3.84 \times 10^{-4}$ と推定される。

なお、図6にはCFRSの埋設型枠部分の乾燥収縮歪も合わせて示した。

### 3 実験結果とその考察

#### 3.1 ひび割れ状態

CFRL1は(インゴットを2段半載荷(等分布荷重に換算して $0.242 \text{tf/m}^2$ )直後に、CFRL2は2段載荷(等分布荷重に換算して $0.194 \text{tf/m}^2$ )直後に端部上面に1本程度のひび割れを生じた。その際のひび割れ幅は $0.1 \sim 0.15 \text{mm}$ であった。その後、経過日数42日で、CFRL1とCFRL2共に2~3本のひび割れが端部付近に生じていた。最大のひび割れ幅は $0.2 \text{mm}$ 程度であり、その後も殆ど変化していない。但し、両者の試験体共、それらのひび割れは経過日数100日で下面から $5 \text{cm}$ ぐらいの深さに達した。中央下面にはひび割れは生じていない。

#### 3.2 中央点のたわみ

図7に仮支柱撤去直前を基準にしたたわみの経時変化を、表3に載荷時と経過日

数1日と99日におけるたわみ値を示す。また、表3には仮支柱撤去時荷重、ひび割れ荷重及びたわみ計算値も合わせて示してある。これらの諸計算は文献2に示す増分計算法によっている。

仮支柱撤去時のたわみ計算値はCFRL1で $2.40 \text{mm}$ 、CFRL2で $2.25 \text{mm}$ であり、いずれもスパン長としてスタブ芯々間距離を採用した弾性計算値である。この値は実験値に対してそれぞれ90%、80%となった。試験体の端部上面のひび割れ発生荷重も、同じスパン長を用いて弾性計算を行うと、CFRL1で $0.1746 \text{tf/m}^2$ 、CFRL2で $0.1771 \text{tf/m}^2$ となる。実験では、CFRL1については計算値よりも大きい載荷時点(2段半載荷)で、CFRL2については計算通りの第2段載荷直後でひび割れが生じた。このことから、ひび割れ発生時の荷重はスパン長としてスタブ芯々間距離を採用し、また仮支柱

表2 鋼材の機械的性質

	PC鋼7本より線*		鉄筋D13
	φ 12.4	φ 10.8	
品質	SWPR7AN		SD295A
標準直径 (mm)	12.4	10.8	1.27
公称断面積 (cm <sup>2</sup> )	0.929	0.697	1.267 (1.116**)
降伏点応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	16685	18226	3778
最大応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	18084	19948	5654
ヤング係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	$1.91 \times 10^6$	$1.91 \times 10^6$	$2.01 \times 10^6$

(注1) \* : ミルシートによる

(注2) \*\* : 実断面積

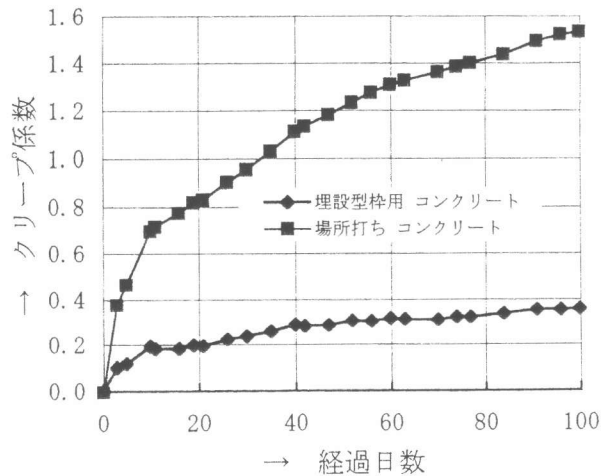


図5 クリープ係数

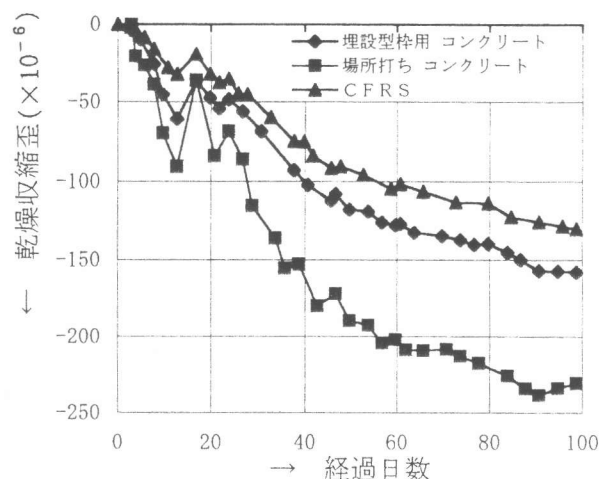


図6 乾燥収縮歪

撤去時の荷重を考慮すれば、推算可能であることが分かる。

積載荷重持続載荷開始時(インゴット載荷終了直後、以後単に、持続載荷開始時と略する)の計算値は実験値に対してCFRL1の場合80%、CFRL2の場合70%となった。計算値が実験値を2,3割下廻ったのは、ひび割れの分布域と端部引張鉄筋の抜出しを考慮していないことによるものと考えられる。

持続載荷開始時から経過日数1日までのたわみの増加量は、持続載荷開始時のたわみの約15%となっている。たわみが持続載荷開始時から経過日数1日の間により進行するのは、一体打ち式床スラブの長期持続載荷実験の

際に見られる現象と同じようである[3]。

経過日数99日における長期付加たわみ(長期たわみ-瞬時たわみ)はCFRL1の場合で4.92mm、CFRL2の場合で5.27mmであり、ともに持続載荷開始時のたわみの約1.1倍を示した。また、 $\delta = t / (A + B t)$ の形式で表わされる回帰式を用いて最終時の長期付加たわみを推定すると、CFRL1の場合で5.62mm、CFRL2の場合で5.99mmとなる。この値は両者の試験体とも持続載荷開始時の約1.3倍である。また、著者等が合成床板の

長期たわみを場所打ち式一体スラブと同様にして算定できるように提案した等価なクリープ係数[1]を埋設型枠用コンクリートと場所打ちコンクリートのクリープ係数を用いて計算すると約1.4倍となる。このことから、本実験におけるCFRL1とCFRL2の長期たわみは等価なクリープ係数を用い、端部引張鉄筋の抜出しを考慮すれば、ある程度推定できると考えられる。一方、クリープ差及び収縮差によるたわみを検討する為のCFRSでは、その

中央点のたわみは経過日数26日で埋設型枠側に(即ち、他の2つの試験体のたわみと同方向に)最大1mm進行し、その後徐々に減少している。このことは、本実験に用いた合成床板に対しては

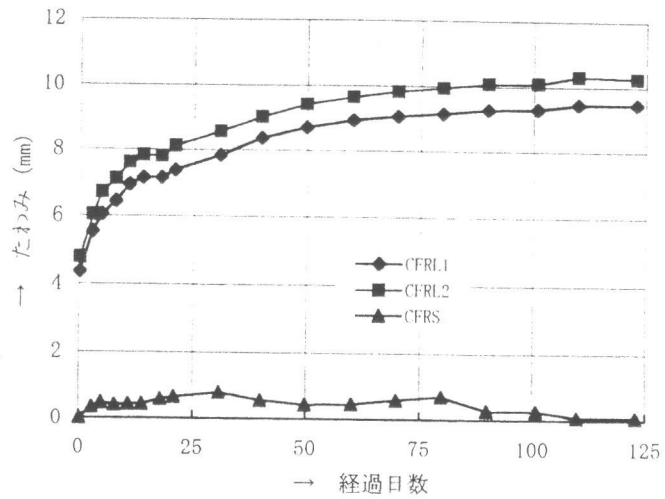


図7 中央点の経時たわみ

表3 荷重-たわみ関係

		仮支柱撤去直後の作用荷重(tf)	荷重(等分布荷重に換算、tf/m)			経過日数	
			$V_p=2.02^*$ $1.54^{**}$	1段載荷 $w_{L1}=0.097$	2段載荷 $w_{L2}=0.194$	2段半載荷 $w_{L3}=0.242$	1日
たわみ(mm)	CFRL1	2.64(2.40)	3.22	3.86	4.38(3.51)	5.10	9.30
	CFRL2	2.82(2.25)	3.54	4.38	4.82(3.34)	5.56	10.08
	備考	—	—	載荷終了直後に、CFRL2の端部に曲げひび割れが発生	載荷終了直後に、CFRL1の端部に曲げひび割れが発生	—	—

(注1) \* : CFRL1 に対する計算値

\*\* : CFRL2 に対する計算値

(注2)  $w_{Li}(i=1\sim 3)$  : 1段, 2段, 2段半の各載荷における載荷荷重の累加荷重

(注3) ( )内 : 解析値

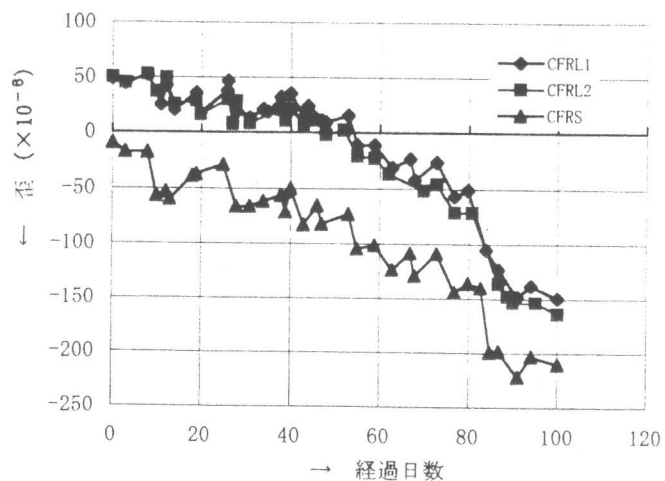


図8 PC鋼より線の経時歪

クリープ差及び収縮差によるたわみをかなりの時間が経過した後では差程考慮しなくてもよいことを示している。

### 3.3 PC鋼より線歪

仮支柱撤去直前を基準にして、試験体中央にあるPC鋼より線の、持続載荷開始時からの経時歪を図8に示す。仮支柱撤去前のPC鋼より線歪はCFRL1の場合で5734 $\mu$ 、CFRL2の場合で5348 $\mu$ であり、これに対して両試験体とも持続載荷開始時の歪は約50 $\mu$ で、仮支柱撤去前の値の約1%弱の変化にすぎなかった。経過日数を経るに伴い、CFRL1、CFRL2のPC鋼より線歪はともに次第に減少し、持続載荷開始時を基準にすると圧縮側に歪が転じるが、このような傾向は同図中に示したCFRSの場合の経時歪と同じであり、クリープや乾燥収縮の影響によってPC鋼より線のプレストレス力が減退していることが分かる。

### 3.4 鉄筋歪

図9と図10に仮支柱撤去前を基準にして、載荷終了後からのCFRL2とCFRSの鉄筋歪を示す。持続載荷開始時の固定端位置の歪はCFRL2で約550 $\mu$ （応力換算で1106kgf/cm<sup>2</sup>）であった。CFRL2の引張り側鉄筋の歪はいずれも経過日数5日前後でやや増加したが、その後経過日数約100日まで略一定で推移している。CFRL1に対しても、ここでは省略したが、各測定点の歪は全体として、同様の傾向を示した。一方、CFRSの鉄筋歪は乾燥収縮の影響を受けて、経過日数約100日まで略直線状に圧縮歪として進展している。

なお、CFRSの鉄筋歪とPC鋼より線歪の経時歪は略同じような傾向で推移しており、このことからクリープ差及び収縮差によるたわみは余り大きくないと推測される。

## 4. まとめ

経過日数約100日までの実験結果について、本実験の範囲内で、主として次の結果を得た。

(1) 両端固定支持のCFRL1とCFRL2の最終時の長期付加たわみは持続載荷開始時のたわみの約1.3倍と推定される。

(2) 両端単純支持としたCFRSにおいて、クリープ差及び収縮差によるたわみは最大で1mm程度であり、合成床板の長期たわみにあまり影響を与えないようである。

#### 【参考文献】

- 1) 岩原昭次、山下正吾、小森清司、鈴木功：逆T型PC埋設型枠を用いた合成床スラブの長期曲げ性状に関する研究、日本建築学会論文報告集、1996.2.第480号
- 2) 山下正吾、岩原昭次：PC埋設型枠を用いた長スパン合成床板の短期曲げ性状に関する実験的研究、コンクリート工学年次講演会論文集、Vol. 18、1996年
- 3) 岩原昭次他：鉄筋コンクリート方向床スラブの載荷直後の曲げ性状について、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、PP.641~644、1984
- 4) 日本建築学会：プレストレスコンクリート設計施工規準・同解説、昭和62年1月、丸善

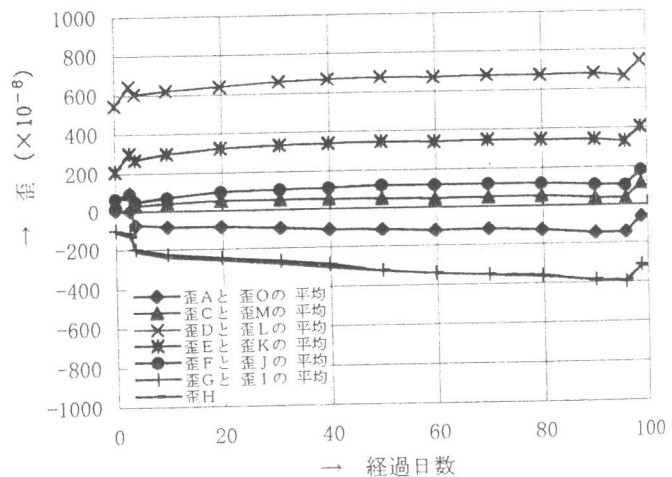


図9 CFRL2の鉄筋の経時歪

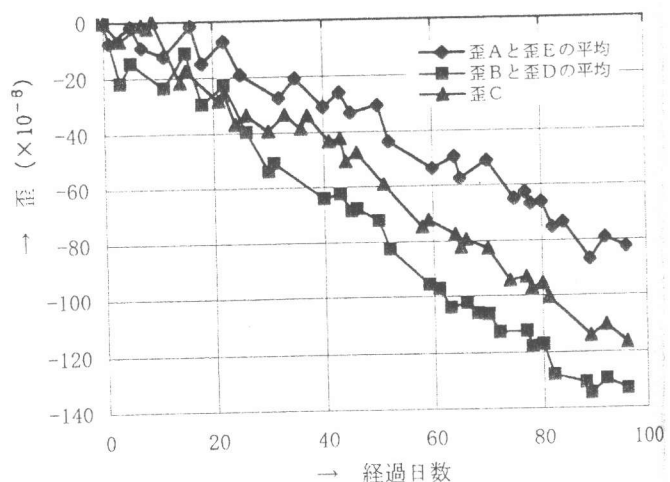


図10 CFRSの鉄筋の経時歪