

論文

[2039] 逆T型PC板埋設型枠を用いた合成床スラブの長期曲げ性状

正会員 ○山下正吾 (富士ピー・エス建築事業部)

正会員 岩原昭次 (熊本工業大学 建築学科)

正会員 小森清司 (長崎大学 構造工学科)

1. はじめに

プレストレス導入型の埋設型枠を用いた既往の合成床板の開発、実用化は、スラブ工法の合理化、工期短縮、スラブの大スパン化およびスラブの高品質化等を主目的としたものであるが、更に小梁の省略化を目指す、底面がフラットな形式でかつ幅広のリブを有する逆T字型断面形状のものを提案することができる。

本研究は、このような逆T字型のプレストレストコンクリートプレキャスト板を埋設型枠とし、その上に現場打ちコンクリートを打設する複合方式の合成床板が、両端固定支持されている場合の長期曲げ性状を実験的に明らかにし、また、それを検討することを目的とする。なお、本論文では変形・歪履歴等の考察・検討を行い、応力性状等の解析については次報で述べる。

2. 実験概要

2.1 試験体

埋設型枠の上に現場打ちコンクリートを打設して得られる試験体の数は2体であり、形状およ

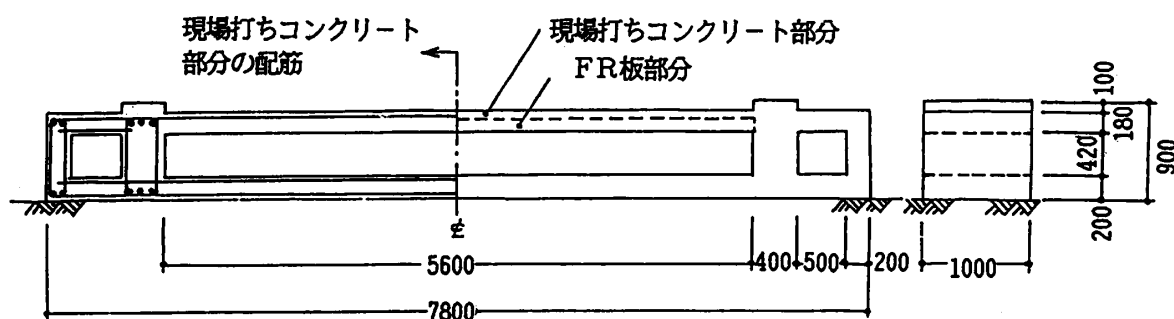


図1 試験体形状図 (単位: mm)

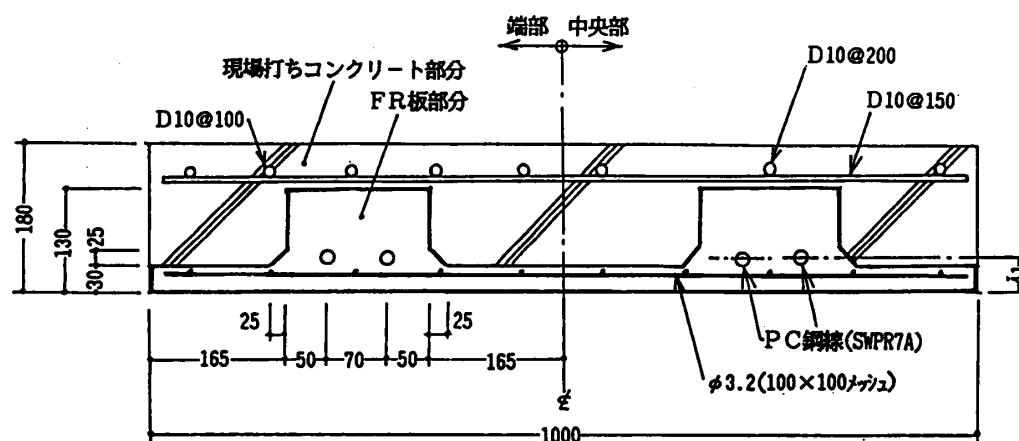


図2 断面詳細図 (単位: mm)

び断面寸法は全て同一である。試験体の形状を図1 に、断面の詳細を図2 に示す。

埋設型枠となる逆T字型並列一方向スラブ（以後、単にFR板と略す）の断面形状は図2 中に示している通りで、その長さは566cmである。FR板上面には、現場打ちコンクリート部分とのせん断ずれを防ぐために、粗面として格子状の溝を刻んでいる。また、2つのリブ部分にはフランジ下面から4.1cmの位置に各々2本のPC鋼より線SWPR7A（以後単にPC鋼線と略す）を配置し、また補強筋として厚さ3cmのフランジ部分に直径 $\phi=3.2$ mmの溶接金網を100×100ピッチで敷き並べている。なお、PC鋼線には初期緊張力として12tf/cm²を加えている。また、断面性能表を表1 に示す。

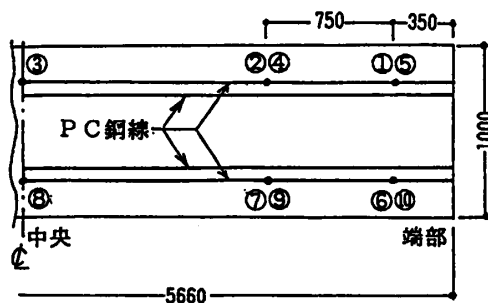
試験体は、FR板を両端に配置したスタブ型枠の上にかかり代 3cmとして架けわたして、更にそれを中央で支柱で支え、リブ上に、両端で10-D10/m, 中央で6-D10/m の配筋を施こした後、スラブ部分とスタブ部分に現場打ちコンクリートを同時に打設して製作した。

2. 2 実験要因及び試験体の養生と脱型

実験要因は載荷レベルのみであり、表2 に示す通りである。載荷レベルの違う 2体の試験体をそれぞれCFR1、CFR2と名付ける。

FR板は、PC鋼線に所定の緊張力を加えた状態で早強コンクリートを打設し、その後 4時間経った時点で約14時間蒸気養生を行った。打設日翌日にコンクリート強度が300kgf/cm²を上廻ったことを確認した後、緊張力を解除すると共に脱型を行った。脱型後は合成スラブ製作時（場所打ちコンクリート打設）まで自然放置とした。

合成床板CFR1とCFR2は現場打ちコンクリート打設後材令 2日までそのままシー



(注1) ●は歪ゲージ位置

(注2) ⑤、④、⑩及び⑨は①、②、⑥及び⑦と対称の位置にある測定位置番号

図4 FR板部分PC鋼線歪測定位置

表1 断面性能表

種 別	FR単体	合成床版
断面積 (cm ²)	640	1336
中立軸位置 (cm)	上縁	8.05
	下縁	4.95
断面二次モーメント (cm ⁴)	9792	36566

場所打ちコンクリートのヤング係数比を0.6とした

表2 要因別試験体

スラブ名	載荷レベル		ひび割れ
	載荷時	載荷後	
CFR1	住宅用設計荷重	同左	載荷時に無し
CFR2	端部にひび割れが発生する荷重	事務所用設計荷重	載荷時に強制的に発生させる

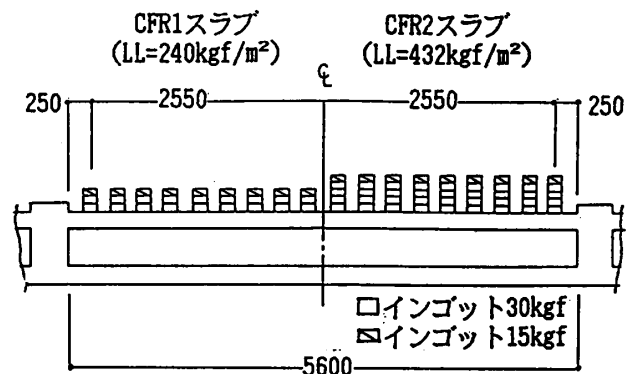
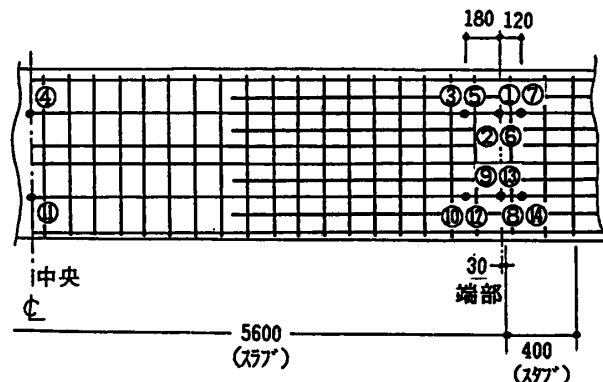


図3 持続載荷時載荷状態（18点集中載荷）



(注1) ●は歪ゲージ位置

(注2) ⑦、⑥、⑤、④、⑩及び⑨は①、②、③、⑧、⑨及び⑩と対称の位置にある測定位置番号

図5 現場打ちコンクリート部分鉄筋歪測定位置

トをかぶせて放置し、その後材令 6日まで試験体を湿潤状態に保つ様にした。材令 7日以降は自然放置とした。なお、試験体は、仮設建物内に置いているため、温度、湿度の影響を受ける。

2. 3 載荷方法

CFR1スラブでは住宅用設計荷重を対象とし載荷荷重 $W_L=0.24\text{tf/m}^2$ (全荷重=自重+積載荷重 $=0.673\text{tf/m}^2$) を負荷し、そのまま持続載荷する。CFR2スラブでは載荷時に $W_L=0.53\text{tf/m}^2$ まで載荷してスラブ端部にひびわれを生じさせた後、事務所用設計荷重 $W_L=0.43\text{tf/m}^2$ (全荷重 $=0.866\text{tf/m}^2$) まで低減して持続載荷させる。実際の載荷はコンクリート製インゴットによって18点集中載荷を段階的に徐々に行う。載荷荷重位置は図3 に示す通りである。インゴットは、 $W_1=30\text{kgf}$ 、 $W_2=15\text{kgf}$ の2種類で、CFR1スラブでは載荷点 1点当たり $P=2\times W_1+W_2$ 、CFR2 では最大載荷時の段階で $P=5\times W_1+W_2$ まで負荷した後、持続載荷として $P=4\times W_1+W_2$ を載荷した。

2. 4 PC鋼線と鉄筋歪の測定位置

PC鋼線と鉄筋の歪測定位置を各々図4 と図5 に示す。

2. 5 使用材料及びその機械的性質

コンクリートおよび鋼材の機械的性質を各々表3 と表4 に示す。

3. 実験結果および考察

3. 1 乾燥収縮歪

乾燥収縮歪はFR板用コンクリートと現場打ちコンクリートについてそれぞれ材令 7日、材令 18日から測定を開始しており、図6 にFR板の材令 7日を基準にした歪変化を示す。測定は $\phi 10\text{cm}\times 20\text{cm}$ の円柱テストピース中に埋込んだ埋込み型歪ゲージによっている。載荷実験はFR板用コンクリートの材令が53日で、現場打ちコンクリートの材令が28日で行っているが、FR板用コンクリートは載荷実験開始以後ほとんど乾燥収縮歪が進行していない。

3. 2 支柱荷重

試験体はFR板をスタブ間に架け渡し、その中央を、歪をほとんど生じない大きな軸剛性を有する支柱で支えた状態で現場打ちコンクリートを打設して作製した。その際、支柱に荷重計を据えて載荷日までの経時変化を測定した。現場打ちコンクリートの打設直後の支柱荷重はCFR1で755kgf、CFR2で690kgfであり、その後の実験開始迄の支持荷重の経時変化を図7 に示す。

支柱は、打設直後の初期荷重755kgfと690kgfの大きさより、スパン長の約 5割弱部分の現場打ちコンクリートの重量を支えたことが分かる。経過日数4、5日で荷重が急激に増加しているのは、養生シートに溜った雨水の影響と推測される。経過日数約 7日以降、急速に荷重が低下している

のは端部が固定支持の状態に近くなっているためと思われる。打設後から

表3 コンクリートの機械的性質

		圧縮強度	ヤング係数	割裂強度	最大歪	所要スパン
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	%	%	cm
FR板	蒸気養生 (材令7日)	509	2.97×10^{-5}	43.6	—	2
	水中養生 (材令7日)	475	3.04×10^{-5}	46.8	—	
	気中養生 (材令53日)	536	3.42×10^{-5}	42.3	0.200	
	水中養生 (材令57日)	500	3.66×10^{-5}	44.5	0.152	
	気中養生 (材令28日)	200	2.46×10^{-5}	20.3	0.236	
現場打ち	水中養生 (材令28日)	187	2.42×10^{-5}	18.4	0.188	16.9
	水中養生 (材令28日)					

(注) FR板：FR板用コンクリート 現場打ち：現場打ちコンクリート

表4 鋼材の機械的性質

種別	PC鋼線	D-10
品質	SWPR-7A $\phi 12.4\text{mm}$	SD-30A
標準直径(mm)	12.4	9.53
公称断面積(cm ²)	0.929	0.71(0.619)
降伏点応力(kgf/cm ²)	15572	3820
最大強度(kgf/cm ²)	15623	5559
ヤング係数(kgf/cm ²)	2.02×10^6	1.92×10^6
降伏点歪(%)	0.875	0.200
伸び率(%)	—	15.23

28日までにCFR1で114kgf、
CFR2で86kgf減少している。

3.3 ひびわれ状態

CFR1は、荷重によってはひびわれを生じなかったが、経過日数9日でスラブ両端部の現場打ちコンクリート部分にひびわれが生じているのを発見した。経過日数9日に相当する現場打ちコンクリートの収縮歪は 2.03×10^{-4} を示している。CFR2は荷重時（荷重荷重.386 tf/m）にスラブ両端部にひびわれを生じたが、中央部には生じてない。

図8にCFR2スラブのひびわれ状態を示す。図中に「」で囲んでいる部分が荷重終了時に生じていたひびわれ部分、「」枠外に伸びているひびわれはその後経時的に進展したひびわれである。経過日数65日時点でひびわれはわずかに進展しているだけで貫通するに至っていない。また、スラブ中央部には生じていない。

3.4 スラブ中央点の変形

変形の測定は支柱撤去、インゴット荷重の順で行った。支柱撤去後の変形はCFR1,2共1.0mmである。CFR1は荷重終了段階で1.9mmであり、CFR2は最大荷重段階で3.3mm、持続荷重開始時で3.1mmとなった。

図9にスラブ中央点の変形の荷重時から経過日数65日までの経時変化を示す。横軸は荷重段階（自重を含む全荷重で表示）、荷重終了時から経過日数1日まで（分あるいは時間で表示）及び1日以後の経過日数の3区分で示されている。このグラフの表し方は、以後のPC鋼線及び鉄筋の経時歪に対しても同じである。

荷重終了時のたわみを瞬時たわみとすれば、経過日数1日までのたわみの増加量は瞬時たわみに対しCFR1で0.21倍、CFR2で0.11倍となっている。通常現場打ちコンクリートスラブで荷重時にひび割れを生じた場合、荷重直後から経過日数1日の間に数割程度急激に増大するが、CFR2につい

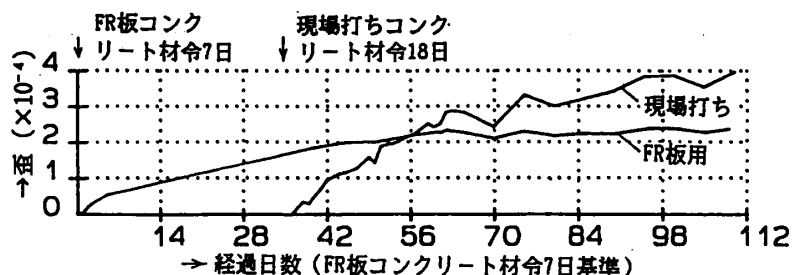


図6 FR板用コンクリートと現場打ちコンクリートの乾燥収縮歪

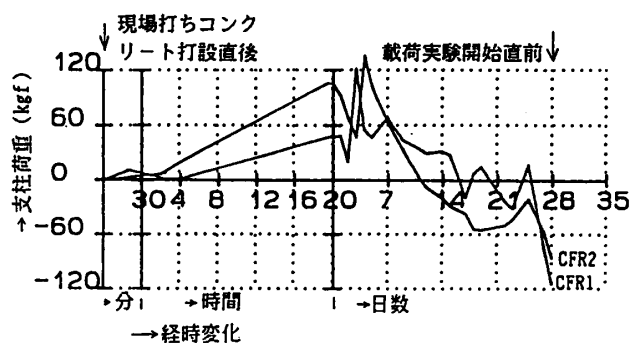


図7 支柱荷重の経時変化

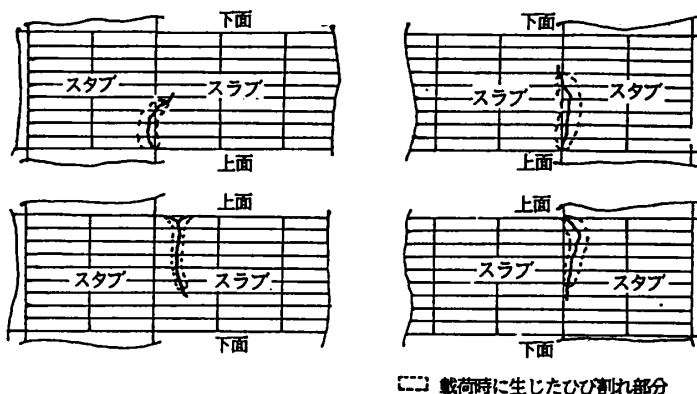


図8 CFR2スラブの端部ひび割れ図

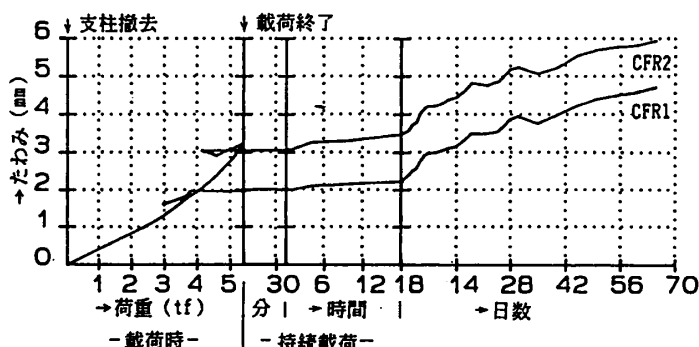


図9 スラブ下面中央のたわみ

てはこの様な傾向が見られない。

経過日数65日でのたわみの増加量は瞬時たわみに対しCFR1で1.55倍、CFR2で0.95倍になっている。更に経過日数65日時点でのたわみはスパン長L (560 cm) で示すとCFR1でL/1186、CFR2でL/941である。

CFR2のたわみの倍率がCFR1に対して低いのは一度最大載荷を行い、その後で載荷荷重を低減しているためと、CFR1 スラブは経過日数7日程度で端部にひびわれが発生したことによるたわみの増大によるためと考えられる。

載荷後の長期付加たわみ量を瞬時たわみで除した値（長期たわみ係数） ϕ を $\phi = t / (At + B)$ で推定すると次の回帰式を得る。

CFR1に対し

$$\phi = \frac{t}{9.05 + 0.572t} \quad (1)$$

CFR2に対し

$$\phi = \frac{t}{14.02 + 0.922t} \quad (2)$$

この式から、終局時長期たわみ係数 $\phi(\infty)$ はCFR1に対し1.75、CFR2に対し1.08、あるいは終局たわみで示すとCFR1に対し約5.1mm、CFR2に対し約6.4mmと推定される。

3.5 PC鋼線の経時歪

図10(a)と(b)にCFR1とCFR2スラブのプレストレス導入から載荷直前までのPC鋼線の経時歪を示す。

プレストレスはプレテンション方式で導入されており、FR板コンクリート打設後材令1日でPC鋼線の両端に加えている緊張力を除去している。プレストレス力は初期緊張力として $P = 12 \text{ tf/cm}^2$ を負荷している。この負荷による歪は $4900 \sim 5100 \times 10^{-6}$ の値を示しており、緊張力除荷後両端付近（端部から35cmの位置）の歪値は初期緊張力の約3～4割に低下しているが、端部から120cmの位置および中央部の歪値は、せいぜい5～10%程度の低下しかしていない。その後載荷実験開始時まで顕著な変化はなく、ほぼ一様に推移している。

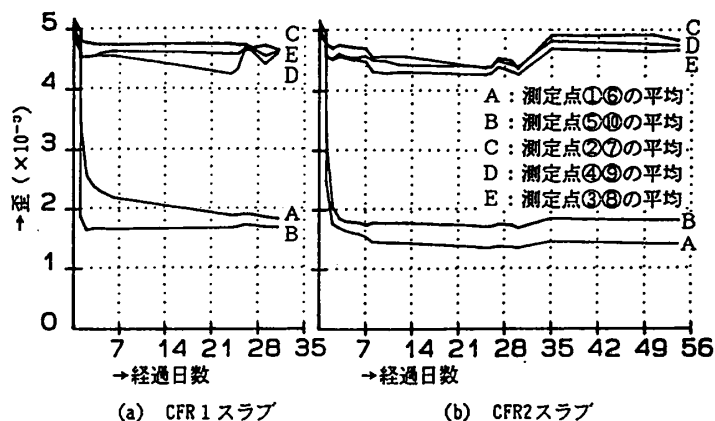


図10 PC鋼線の経時歪（プレストレス導入時～載荷直前）

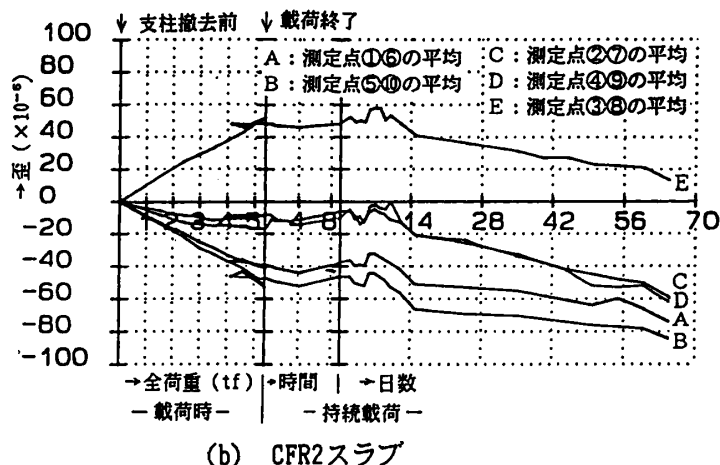
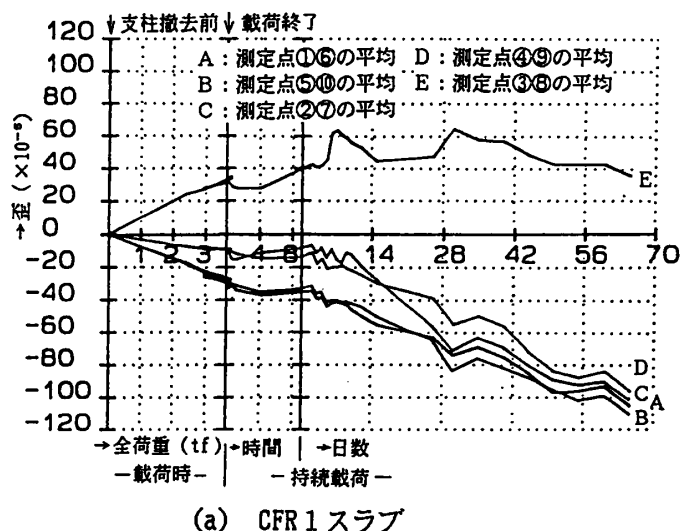


図11 PC鋼線の経時歪（載荷時支柱撤去前基準）

図11(a)と(b)に支柱撤去前を基準にしたPC鋼線の経時歪を示す。載荷によって生じる歪は CFR1、CFR2 両スラブ共、あまり大きくなく、また直線的に増大しており、弾性的挙動を示している。端部付近では圧縮歪を示しているが、この位置では載荷直前まで大きい引張歪 $1500 \sim 2000 \times 10^{-6}$ を示しているの、全体として引張歪を示していることが分かる。

持続載荷時ではCFR1、CFR2スラブ共圧縮方向に歪が向っているが、これはプレテンション方式によるプレストレス力の効果が載荷によるものより非常に大きく影響していることを示している。支柱撤去後を基準にして表すとPC鋼線の歪が載荷後大きく変動しているように見えるが、プレストレス導入後を基準としてみれば経過日数65日時点での変動範囲は大概1割以下にすぎない。

3. 6 鉄筋歪

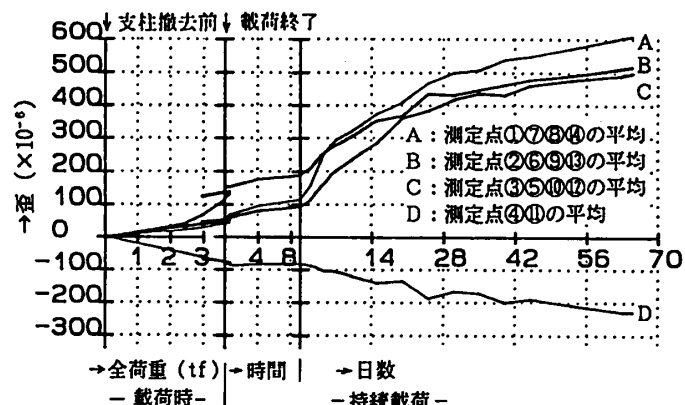
現場打ちコンクリート部分の鉄筋歪の経時変化を図12(a)、(b)に示す。CFR1とCFR2は載荷レベルが異なるが、鉄筋歪の経時変化でみる限り、載荷時を除いて両者の差がほとんどない。わずかに経過日数65日でCFR2の中央部圧縮側鉄筋歪がCFR1の約1.3倍となっているにすぎないようである。このようにCFR1とCFR2の鉄筋歪が、経過日数を経るに従い、差がなくなってくるのはPC鋼線の応力が非常に大きく、また経時的にも主にPC鋼線が応力を負担しているためと考えられる。

4. まとめ

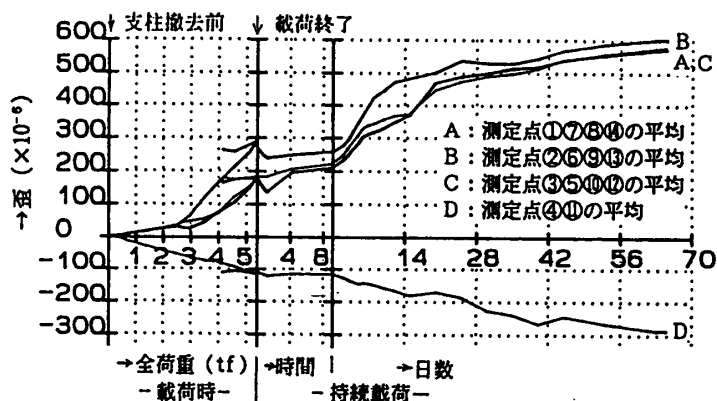
逆T字型埋設型枠を使用した合成スラブについて経過日数65日までの長期曲げ性状について次の結果を得た。

- (1) ひび割れは経過時に大きく進展する傾向が見られず、また、このひび割れは変形、PC鋼線および鉄筋の各歪に対して顕著な影響を与えないようである。
- (2) 変形は経過日数65日時点でも進行しているが、長期たわみ係数の終局値はCFR1で約1.8、CFR2で1.1と予想され、終局時たわみは極めて小さいと考えられる。
- (3) 本実験においては載荷時にひびわれを発生させるもの(CFR2)とさせないもの(CFR1)の2種類を実験要因としたが、両試験体のPC鋼線と鉄筋の歪は、経過日数を経るにしたがって定性的に同じような傾向を示し、また、定量的にも顕著な違いが現れなかった。

(謝辞) 本論文をまとめるに当たって熊本工業大学卒論生小中宏高及び師井健司両君に厚く感謝します。



(a) CFR1スラブ



(b) CFR2スラブ

図12 鉄筋の経時歪 (載荷時支柱撤去前基準)