

論文 逆 T 型埋設型枠を用いた長スパン合成床板の長期曲げ性状

岩原 昭次*¹ ・ 山下 正吾*²

要旨: 比較的長大なスパンで、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について経過日数約 1000 日までの実験結果を考察し、解析的検討を行った。長期たわみの最終値は実験的には経過日数約 1000 日程度における値で推定できることが分かった。長大スパンの合成床スラブに対しても、先に通常スパンの合成床スラブに対して定式化した長期たわみ解析法が長期たわみの経時履歴を実用上十分に予測できることを示した。また、合成床スラブの長期たわみにおいても端部引張鉄筋の拔出しや乾燥収縮による影響を無視できないことが示された。

キーワード: 一方向合成床板, 長期曲げ, 長スパン, クリーブ, 乾燥収縮

1. はじめに

合成床スラブの断面がプレストレスを導入したプレキャストコンクリート板の上に場所打ちコンクリートを打設して得られる合成断面の場合、この 2 つの異種コンクリート間のクリープ差・収縮差と端部のひび割れによる鉄筋の拔出しとの関係等が明確に定式化されていないため、今のところ、長期たわみ性状等を検証した解析的な資料は余り見られない。

本研究は、スパンが長大で、底面が平らな逆ダブル T 形断面のプレレストプレキャスト板(以後、埋設型枠と略する)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考察し、更に、先に提案した合成床スラブの長期たわみ解析法¹⁾の妥当性を検討することを目的とする。

なお、長期荷重実験は持続荷重期間約 1000 日まで実施し、その後、荷重荷重を除去した。本実験の詳細及び持続荷重期間約 450 日迄の実験結果については既に発表している²⁾。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は 3 体であり、試験体名と主な実験要因を表-1 に示す。このうち、試験体 CFRS はクリープ差と収縮差による反りを実験的に検証するものであり、自重の影響を除く為に立て掛けて、両端を単純支持状態でセットしている。CFRL1、CFRL2 及び CFRS の、全体形状を図-1 に、合成断面と埋設型枠の形状を図-2 に示す。

埋設型枠には、プレテンション方式でプレストレスを導入されている。その際、埋設型枠中の PC 鋼より線に加えた緊張力は応力レベルでその降伏点応力度の 8 割とした。また、埋設型枠のスタブへのかかり代は 3cm とした。なお、3 体の試験体は全て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。養生と脱型方法は文献 2 に示しているので省略する。

2.2 測定の種類とその方法

たわみは試験体中央に変位計を取り付けて測

表-1 試験体一覧

試験体名	断面の種類	スラブ厚 (cm)	埋設型枠の高さ (cm)	PC 鋼より線の公称径	支持条件	内法スパンあるいは支持点間距離 (cm)	備考
CFRL1	合成	30	18	φ 12.4	両端固定	930	
CFRL2		25	15	φ 10.8		805	
CFRS	合成		15	φ 10.8	両端単純	791	*

注): * クリーブ差と収縮差による影響の検討

*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)

定した。PC 鋼より線の歪と鉄筋歪の測定位置を図-3に示す。

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はφ15×30cmのテストピースを用いて、試験体と同じ場所で、測定した。また、CFRSについても埋設型枠のリップ部分に埋込型歪ゲージを埋め込み、試験体中央の乾燥収縮歪を測定した。

2.3 載荷方法

載荷は埋設型枠のコンクリートの材齢で70日(場所打ちコンクリートの材齢29日)に開始した。

CFRL1とCFRL2に対しては、はじめにスラブ下中央に設置していた仮支柱を撤去し、その後、図-1に示すように、積載荷重として、2段半のコンクリート製インゴットをスパン上に均等に載荷した。積載荷重の大きさは住宅用積載荷重(等分布荷重に換算すると2.35kN/m²)を対象としている。

2.4 使用材料の機械的性質

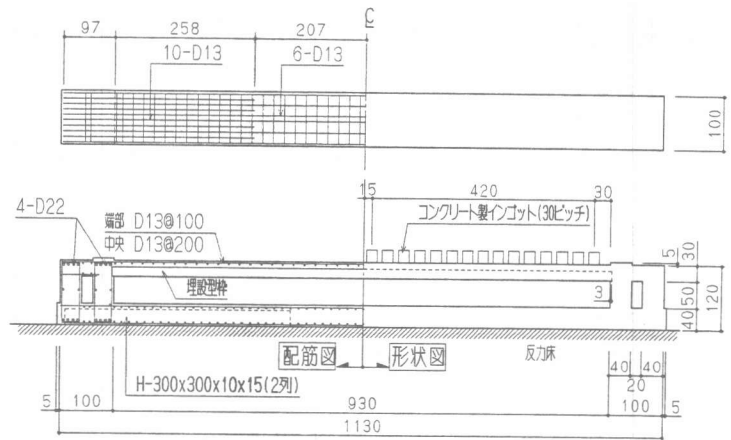
使用したコンクリートの機械的性質を表-2に、PC鋼より線と鉄筋の機械的性質を表-3に示す。また、埋設型枠用コンクリートと場所打ちコンクリートのクリープ係数φ_tと乾燥収縮歪ε_{sht}の経時変化を図-4と図-5に示す。この2つの図から、最小二乗法を用いて、クリープ係数と乾燥収縮歪の回帰式を次のように求めた。

[埋設型枠用コンクリート]

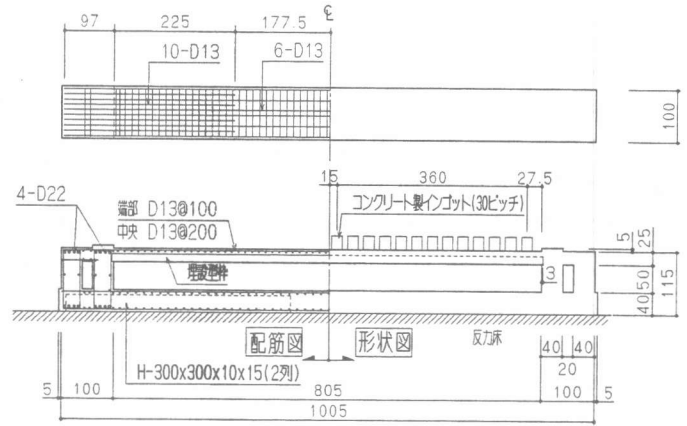
$$\varphi_t = \frac{1.33\sqrt{t}}{27.38 + \sqrt{t}}$$

$$\varepsilon_{sht} = 4.23\varphi_t \times 10^{-4}$$

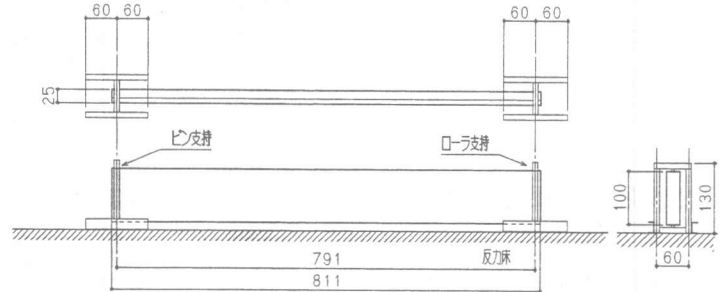
[場所打ちコンクリート]



(a) CFRL1



(b) CFRL2



(c) CFRS

図-1 試験体の全体形状(寸法単位:cm)

$$\varphi_t = \frac{4.41\sqrt{t}}{19.12 + \sqrt{t}}$$

$$\varepsilon_{sht} = 1.23\varphi_t \times 10^{-4}$$

回帰式による値を図-4と図-5に破線で示す。

図-5にはCFRSの埋設型枠部分の乾燥収縮歪も合わせて示した。

表-2 コンクリートの機械的性質

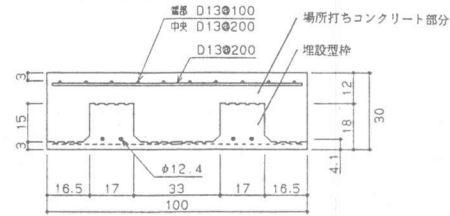
	養生方法	圧縮強度 (MPa)	E	割裂強度 (MPa)	スラン プ(cm)
	水中養生(7)	33.3	24.9	—	
	蒸気養生(29)	63.8	27.4	4.13	
	水中養生(29)	61.0	28.9	4.19	
	蒸気養生(57)	50.6(注1)	27.4	4.90	
場所打ちコ ンクリート	湿潤養生(29)	32.6	23.9	2.95	22
	水中養生(29)	29.9	23.1	2.82	

(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(GPa)
 ()内 :コンクリートの材齢(日)

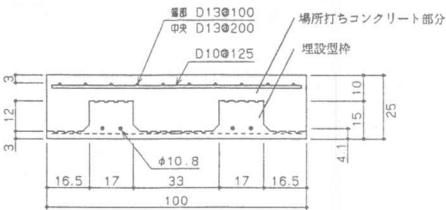
表-3 鋼材の機械的性質

	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 ²)	0.929	0.697	1.267(1.116**)
降伏点応力(MPa)	1636	1787	370.5
最大応力(MPa)	1773	1956	554.5
ヤング係数(GPa)	187.3	187.3	197.1

(注1) * :ミルシートによる
 (注2) ** :実断面積



(a) CFRL1



(b) CFRL2, CFRS

図-2 断面形状(寸法単位:cm)

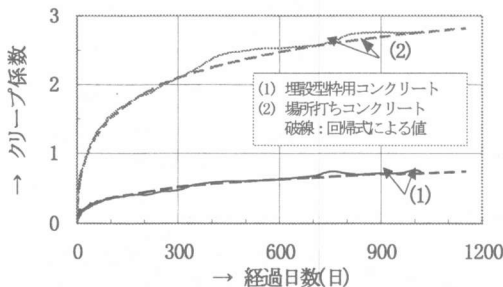
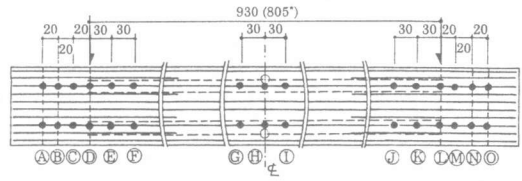
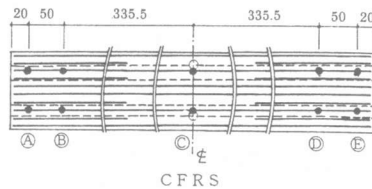


図-4 クリープ係数

また、持続荷重期間中の試験体周囲における温度の経時変化を図-6 に示す。更に、クリープ係数と乾燥収縮歪を求める過程で得られるテストピースの温度変化によるコンクリート歪の経時変化を図-7 に示す。但し、荷重実験時を基準とした温度変化(ここでは相対温度と呼ぶことにする)によるコンクリート歪である。同図に試験体 CFRS 中央の



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-3 鉄筋とPC 鋼より線の歪ゲージ位置(単位:cm)

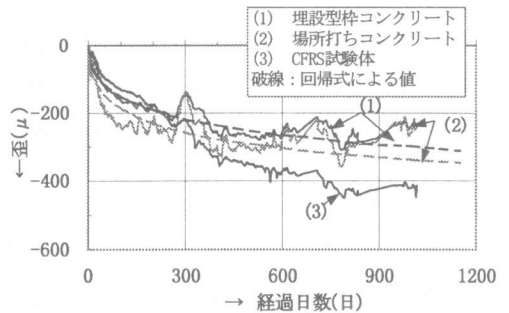


図-5 乾燥収縮歪

コンクリート歪の経時変化も合わせて示した。

単純支持された試験体 CFRS のコンクリートの経時歪は、φ 15×30cm の大きさのテストピースによるものほとんど同じとなっている。このことから、部材厚が比較的薄い床スラブに対しては、この程度の大きさのテストピースによる乾燥収縮歪のデータを用いて解析できることが分かる。

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2.37KN/m²)終了直後に、CFRL2は2段載荷(等分布荷重に換算して1.90 KN/m²)直後に端部上面に1本程度のひび割れを生じた。経過日数997日における最終ひびわれ状況を図-8に示す。最終時の最大ひび割れ幅は0.2~0.3mmであった。

3.2 中央点の長期たわみ

図-9に仮支柱撤去直前を基準にした長期たわみの経時変化を示す。また、表-4に主な時点での長期たわみ実験値を一覧する。なお、CFRL1とCFRL2は経過日数997日で載荷荷重を除去している。除荷後の経時たわみを図-9に拡大して示す。

経過日数約370日と750日あたりでCFRL1とCFRL2のたわみはやや増大しているが、この経過日数はいずれも7月末から9月中旬の間にあり、温度上昇の影響を受けていると思われる。また、たわみは、温度の影響を受けて一旦増加すると、その後の温度低下に対しては減少しないようである。経過日数約900日以後たわみの進行は見られない。

CFRL1とCFRL2の除荷直前(経過日数997日)における長期付加たわみ(長期たわみ-初期たわみ)はそれぞれ11.49mm、10.11mmであり、初期たわみの2.62、2.10倍を示した。なお、初期たわみは載荷開始時の全たわみである。

CFRL1とCFRL2の除去直後の戻り量はそれぞれ1.44mmと1.31mmであり、初期たわみ中の積載荷重によるたわみ量の65~83%程度であった。その後、約20日間ほどであるが、経時たわみは極めて緩やかにしか減少していない。このことは、荷重を除去しても、長期付加たわみが減少することではなく、更に、ひび割れが生じて

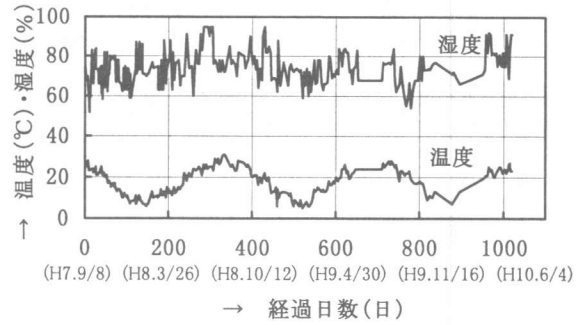


図-6 温度・湿度の経時変化

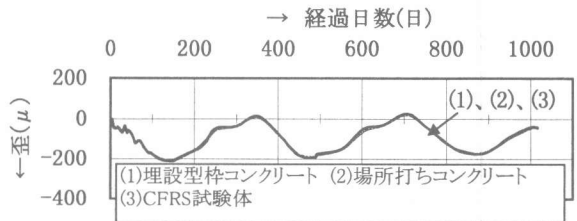


図-7 相対温度によるコンクリート歪の経時変化

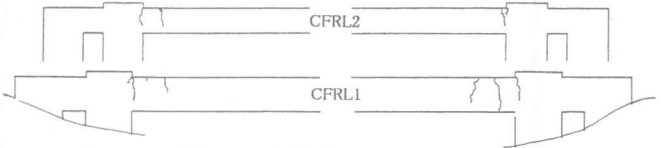


図-8 最終ひびわれ状況

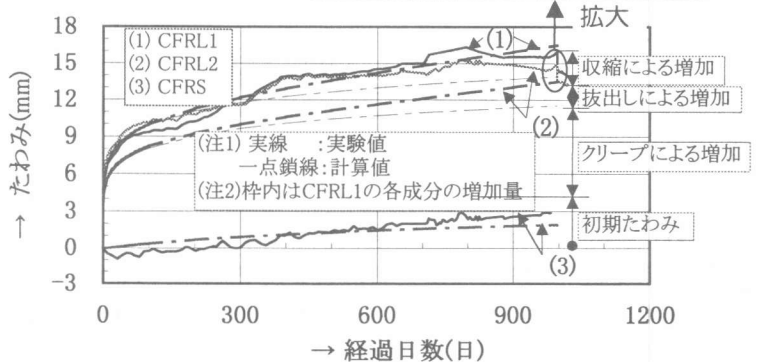
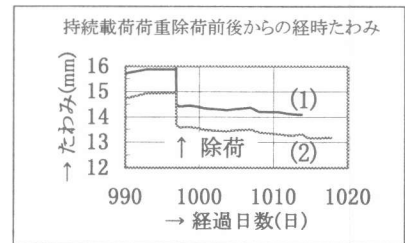


図-9 たわみの経時変化

た時の初期たわみ量よりも小さいことを示している。

表-4 長期たわみ(mm)実験値一覧

試験体名		仮支柱除去直後	積載荷重載荷開始直後	経過日数		積載荷重除荷直前(997日)	積載荷重除荷直後(997日)	積載荷重除荷から15日後
				1(日)	300(日)			
CFRL1	実験値	2.64	4.38	5.10	11.55	15.87	14.43	14.19
	計算値	-	4.51	5.42	12.16	16.50	-	-
CFRL2	実験値	2.82	4.82	5.56	11.55	14.93	13.62	13.32
	計算値	-	3.72	4.48	9.97	13.47	-	-
CFRS	実験値	0	0	-0.13	0.02	2.87*	2.87	-
	計算値	-	0	-0.03	0.92	1.91	-	-

(注) *:但し、経過日数 987 日での値

CFRL1 と CFRL2 について、クリープ係数の場合同様な表示の回帰式を用いて最終時(ここでは、20 年後とした)の長期付加たわみを推測すると、CFRL1 の場合で 17.04mm、CFRL2 の場合で 12.94mm となる。この値は初期たわみに対しそれぞれ 3.8 倍、2.6 倍となる。一方、クリープ差及び収縮差による長期たわみを検討するための CFRS の中央点のたわみは経過日数 26 日で場所打ちコンクリート側に最大で 1mm の進行を示し、その後、反転して埋設型枠側(即ち、CFRL1,2 のたわみと同方向)にたわみが進行し、経過日数 987 日で埋設型枠側に 2.87mm のたわみを示した。

3.3 PC鋼より線と鉄筋の経時歪

試験体の埋設型枠部分の中央に位置する PC 鋼より線の経時歪を、仮支柱撤去直前を基準にして図-10 に示す。仮支柱撤去直前の PC 鋼より線の歪値は、緊張直前を基準にすると、CFRL1 で 5734 μ 、CFRL2 で 5348 μ である。両試験体共、経過日数約 1000 日までの間に歪は約-250 μ から 60 μ まで周期的に変化しているが、その変化量は仮支柱撤去直前の値の約 4%にすぎず、極めて小

さい。また、その周期的な変化は CFRS の場合と同じ傾向であり、図-6、7 との比較から、温度の経時変化の影響をかなり受けていることが分かる。

図-11 と図-12 に仮支柱撤去前を基準にした、CFRL1 と CFRL2 の鉄筋の経時歪を示す。両試験体の固定端位置(歪 D と L の平均)の鉄筋歪は経過日数約 40 日の間に 150 μ 程度増大している。これは、持続載荷開始後のその期間までの間に、端部に新たなひび割れが発生したことによると思われる。その後、固定端位置の鉄筋歪は、CFRL1 の場合で経過日数約 150 日頃までから徐々に減少し、その後大きく増加する傾向を示した。一方、CFRL2 の場合では、経過日数約 400 日位までほぼ一様に推移し、その後徐々に減少する傾向を示した。コンクリートのクリープや乾燥収縮の他に、個々の試

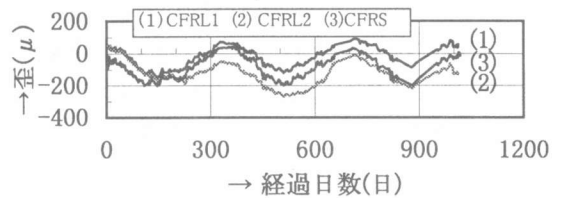


図-10 PC鋼より線歪の経時変化

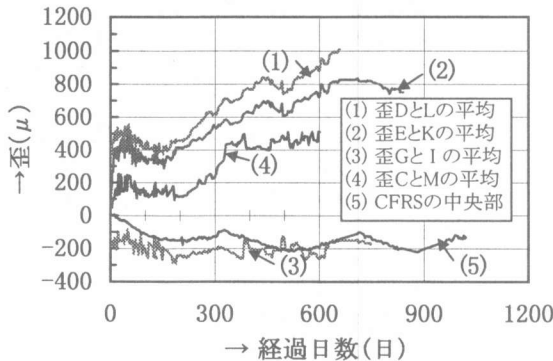


図-11 CFRL1の鉄筋の経時歪

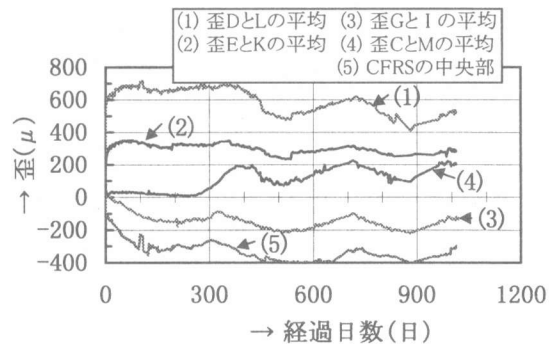


図-12 CFRL2の鉄筋の経時歪

験体によって経時的なひびわれの進展と鉄筋の拔出の影響が異なるために、固定端位置における経時的な鉄筋歪の系統的な考察は難しいことが示されている。

両試験体の中央部の場所打ち部にある鉄筋歪(圧縮歪)は経過日数約 150 日位まで増加し、PC 鋼より線歪の場合と同様に温度の影響を受けて周期的な増減を繰り返す傾向が見られるが、経過日数約 450 日以後一様に推移した。

4. 経時たわみの解析的検討

ここでは、スパン長が 5.6m である通常規模の合成スラブに対して定式化した解析法¹⁾を用いて、スパン長がより長大な CFRL1 と CFRL2 の長期たわみを計算した。この解析法の詳細は同文献に示してある。なお、計算にあたって、クリープ係数と乾燥収縮歪は 2.4 節で示した回帰式を用いた。

CFRL1、CFRL2 及び CFRS の長期たわみの計算結果を図-9 に太い一点鎖線で示し、表-4 にも示した。経過日数 997 日における CFRL1 と CFRL2 の長期たわみ計算値は、それぞれ実験値に対して約 1.04 倍と約 0.90 倍となった。持続載荷開始時から経過日数 997 日までの CFRL1 の経時たわみ計算値は実験値に非常に良く追随している。CFRL2 の場合、持続載荷開始前、即ち、スラブ下に設置していた仮支柱の撤去以前に既に試験体の端部に微細なひび割れが生じていて、これによる剛性低下によって初期たわみ実験値(4.81mm)が計算値(3.72mm)を約 3 割上廻ったために、経時たわみ実験値が計算値よりも大きくなったと推測される。いずれにしても本解析法は実用的には十分適用できると考えられる。CFRS についても計算値は経時たわみ実験値を定性的に捉えている。

CFRL1 に対しては長期付加たわみ計算値中のクリープによるたわみ増加量、端部引張り鉄筋の拔出によるたわみ増加量及び乾燥収縮による増加量をそれぞれ細い一点鎖線で示してある。経過日数 997 日において、CFRL1 での長期たわみ計算値に占める割合は初期たわみが 21%、クリープによるたわみが 48%、収縮によるたわみが 16%、端部

引張り鉄筋の拔出しによるたわみが 15%であり、クリープによるたわみが占める割合がかなり大きいことが示された。CFRL2 についても同様な結果を得た。

5. まとめ

経過日数約 1000 日までの実験結果とその長期たわみ解析について、次の結果を得た。

- (1) 長期たわみは経過日数約 900 日以降進行が見られず、このことから、その最終たわみは経過日数約 1000 日における値で推定できそうである。両端固定支持の CFRL1 と CFRL2 の場合、長期たわみの最終値は初期たわみの約 3.1~ 3.6 倍と推定できる。
- (2) 約 1000 日経過した時点での積載荷重除荷によるたわみの戻り量はそれを負荷した時の瞬時たわみ量より小さい。
- (3) PC 鋼より線や鉄筋の経時歪は周期的な温度変化の影響が見られる。経時たわみについてもわずかであるが、温度が上昇すると増加する。
- (4) クリープ差及び収縮差によるたわみ実験値は埋設型枠側に約 2.9mm であった。
- (5) 先に提案した長期たわみ解析法¹⁾は、長大スパンの合成床スラブに対しても、長期たわみを十分に追跡・予測できる。
- (6) 通常の場合打ちコンクリート床スラブの場合と同様に、合成床スラブの長期たわみに影響を及ぼす成分として端部引張り鉄筋の拔出しと乾燥収縮を無視することができず、この両者で全たわみの約 3 割を占める。

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, 第 480 号, pp.141-150, 1996.2
- 2) 岩原昭次, 山下正吾: 長大スパン合成床板の長期曲げ性状に関する研究, コンクリート工学年次講演会論文集, Vol. 19, No.2, pp.1125-1130, 1997
- 3) 渡辺明: プレストレストコンクリートの力学, pp.165-167, 技報堂, 1993
- 4) 日本建築学会: プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説, 丸善, 1998.11