

論文 長大スパン合成床板の長期曲げ性状に関する研究

岩原 昭次*1 ・ 山下 正吾*2

要旨：スパンが比較的長大（8.05mと9.30m）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450日までの実験結果を考察をした結果、長期たわみ最終値は初期たわみの約3.1～3.5倍と推定され、特に、クリープ差と収縮差による長期付加たわみは長期たわみに差程大きな影響を与えないこと等が分かった。更に、この種の合成床スラブに対して先に示した長期たわみ解析法は長期たわみ実験値をある程度予測できそうであることを示した。

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、集合住宅を中心にして、建築における床スラブのスパンは8～9m以上のものが要求されつつあり、より長大化して行く傾向にある。このような傾向に対して床スラブのような板厚が薄い構造部材は過大なたわみを防ぐことが第一に重要であるが、長大な床スラブに対して過大なたわみを防止するための、換言すれば、長期たわみに関する実験資料は少ない。また、場所打ちコンクリート一体式床スラブの替りに、埋設型枠と場所打ちコンクリート部とから構成される床スラブが種々開発・実用化されているが、この合成床スラブについても、より長スパンに対して長期たわみを含む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。

以上の観点から、本研究はスパンが長大で、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考察し、更に、この種の合成床スラブの長期たわみ等に対して先に提案した解析法[1]の妥当性を検討することを目的とする。なお、長期載荷実験結果は持続載荷期間約450日迄でまとめている。本実験の詳細及び持続載荷期間約100日迄の実験結果については既に発表している[2]。実験概要については簡述する。

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（ ϕ 12.4と ϕ 10.8）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、805cmである試験体をCFRL2、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板を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ると共に、両端が単純支持状態となるようにセットしている。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。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

*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）

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。養生と脱型方法は文献2、3と同じである。

2. 2 測定の種類とその方法

CFRL1とCFRL2のたわみは試験体中央の側面に変位計を取り付けて測定した。PC鋼より線の歪と鉄筋歪の測定位置を図3に示す。

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はφ15×30cmのテストピースを用いて測定した。なお、CFRSには試験体中央の埋設型枠のリブ部分中央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. 3 載荷方法

載荷は埋設型枠のコンクリートの材令で70日（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、始めにスラブ下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、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。載荷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240kgf/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1に、PC鋼より線と鉄筋の機械的性質を表2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の経時変化を図4と図5に示す。回帰式を用いて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

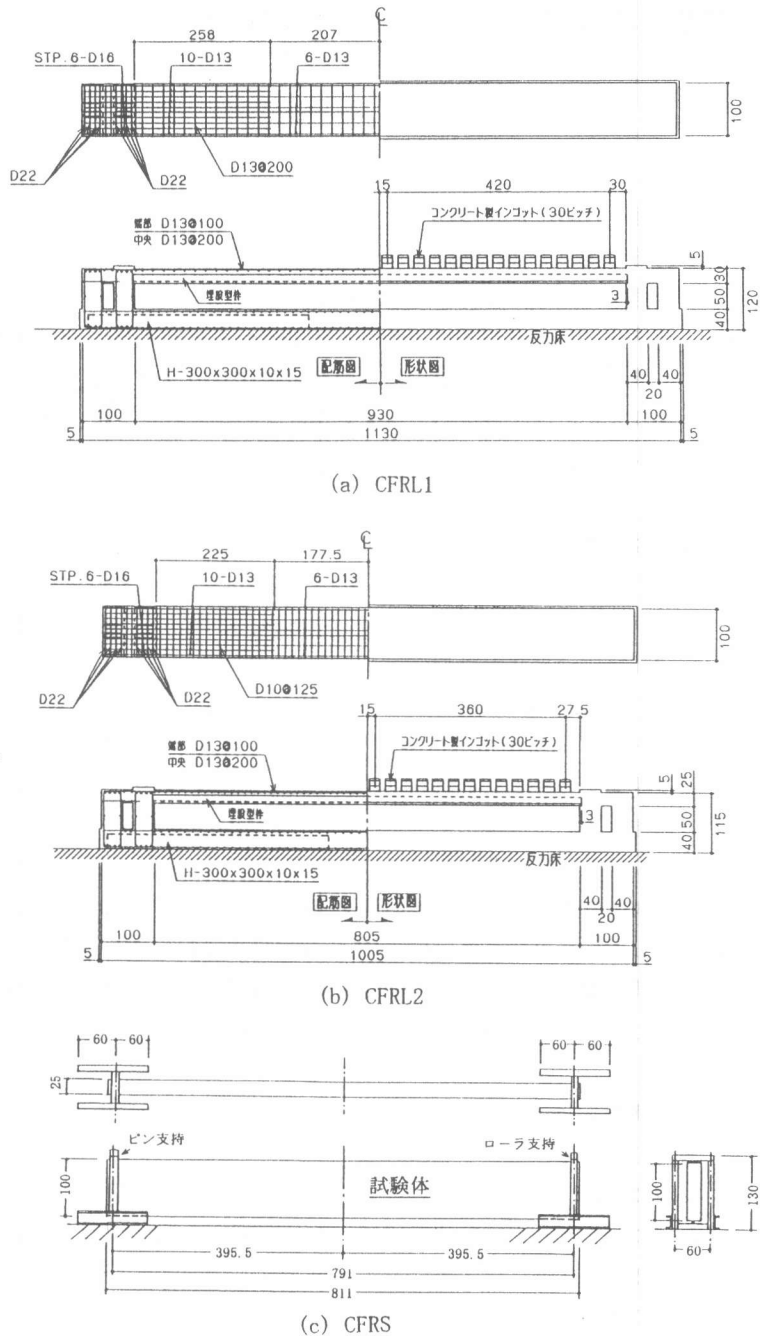
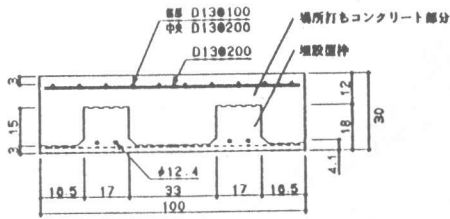
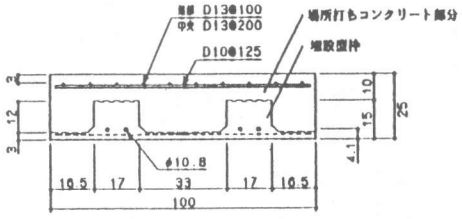


図1 試験体の全体形状（寸法単位：cm）



(a) CFRL1



(b) CFRL2, CFRS

図2 断面形状 (寸法単位: cm)

トで 0.47、場所打ちコンクリートで 2.76 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 3.27×10^{-4} 、場所打ちコンクリートで 3.84×10^{-4} と推定される。なお、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。

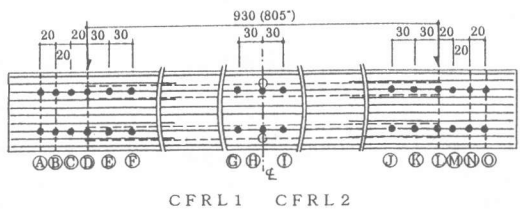
3 実験結果とその考察

3.1 ひび割れ状態

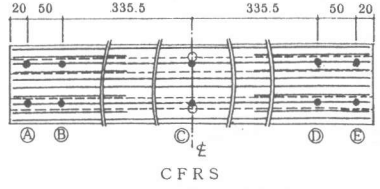
CFRL1はインゴットを2段半載荷(等分布荷重に換算して 0.242tf/m^2)終了直後に、CFRL2は2段載荷(等分布荷重に換算して 0.194tf/m^2)した直後に端部上面に1本程度のひび割れを生じた。なお、CFRL2では仮支柱撤去直前までにおいて端部上面に乾燥収縮によるものと考えられる微細なひび割れが生じていた。その後、経過日数42日でCFRL1とCFRL2共に2~3本のひび割れが端部付近に生じ、この時の最大ひび割れ幅は0.2mm程度であった。その後、新たなひび割れが更に生じた。端部に最も近い位置にあるひび割れは、両試験体共、経過日数100日あたりで下面から5cmぐらいの深さに達した。しかしながら、最大ひび割れ幅は経過日数約450日迄殆ど変化していない。但し、中央下面にはひび割れは生じていない。

3.2 中央点の長期たわみ

図6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。持続載荷開始時のたわみ(初期たわみ)はCFRL1で4.38mm、CFRL2で4.81mmであった。経過日数437日での長期付加たわみ(長



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(寸法単位: cm)

表1 コンクリートの機械的性質

	養生方法	圧縮強度 (N/mm ²)	E	割裂強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)
埋設型枠用 コンクリート	蒸気養生(7)	39.5	26.0	—	2
	水中養生(7)	33.4	24.9	—	
	蒸気養生(29)	63.9	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	4.91	
場所打ち用 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	23.2	2.83	

- (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 (×KN/mm²)
- ()内 : コンクリートの材令 (日)

表2 鋼材の機械的性質

品質	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 (N/mm ²)	1637	1788	370.6
最大応力 (N/mm ²)	1774	1957	554.7
ヤング係数 (KN/mm ²)	187	187	197

- (注1) *: ミルシートによる
- (注2) **: 実断面積

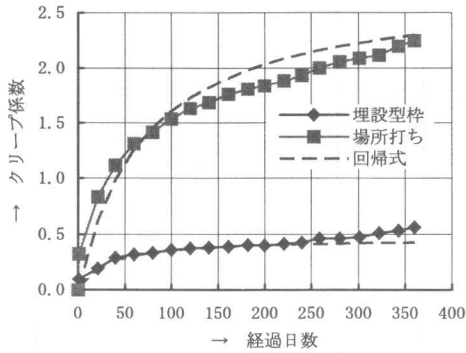


図4 クリープ係数

期たわみ-初期たわみ)はCFRL1で9.68mm、CFRL2で9.09mmであり、それぞれ初期たわみの2.21倍、1.89倍を示した。経過日数約320~370日あたりでCFRL1とCFRL2はやや大きく増大するが、この経過日数の期間は7月末から9月中旬であり、外気の温度・湿度の影響を受けたものと思われる。その後はほぼ一定で推移しており、長期たわみは最終値に近づいていると思われる。CFRL1とCFRL2について、 $\delta = t / (A + Bt)$ の形式で表される回帰式を用いて最終時の長期付加たわみを推測すると、CFRL1の場合で10.98mm、CFRL2の場合で10.04mmとなる。この値は初期たわみに対しそれぞれ2.5倍、2.1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437日で、埋設型枠側に0.71mmのたわみを示した。このCFRSのたわみ履歴から、少なくとも、本実験における試験体のような断面を有する合成床板ではコンクリートのクリープ差及び収縮差は長期たわみにさほど大きな影響を与えないことが分かる。

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7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。CFRL1とCFRL2のPC鋼より線の経時歪は載荷直後から経過日数約150日まで圧縮側に進行し、その後反転して現在に至っている。また、この2つの試験体の経時

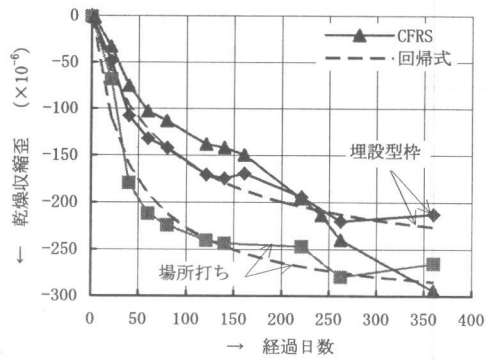


図5 乾燥収縮歪

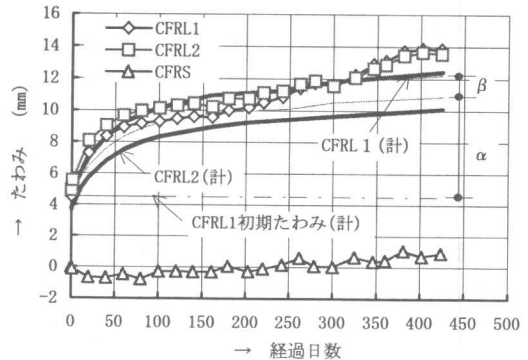


図6 たわみの経時変化

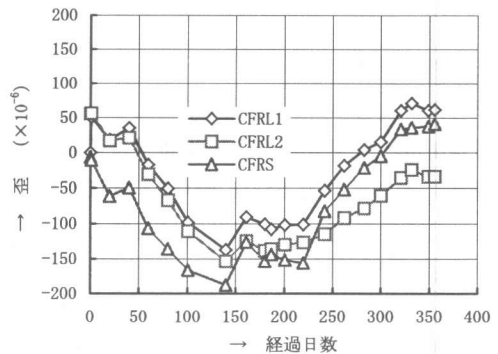


図7 PC鋼より線の経時歪

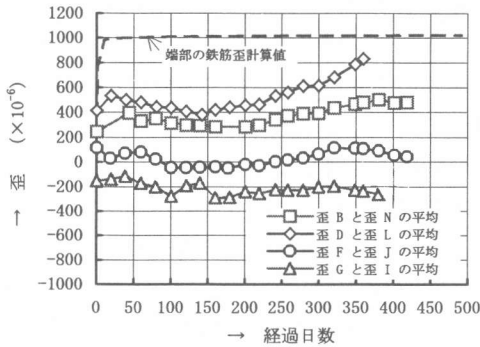


図8 CFRL1の鉄筋の経時歪

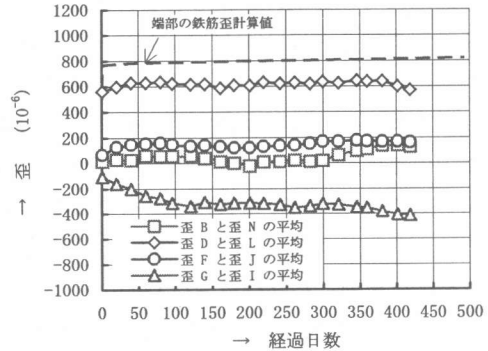


図9 CFRL2の鉄筋の経時歪

歪の変動状態は無荷重でかつ自重の影響を除いた試験体 CFRS の場合のそれと同じような傾向を示している。3つの試験体のPC鋼より線の経時歪がこのような曲線を描くのは、プレストレス導入による圧縮クリープ歪、収縮歪差によるクリープ歪及び荷重によって生じる引張りクリープ歪の和で表わされる埋設型枠部分の長期付加歪（長期歪－初期歪）の圧縮側への進行が、経過日数約150日までは、収縮歪差によるクリープ歪と荷重によって生じる圧縮クリープ歪の和で表わされる場所打ち部分の長期付加歪の圧縮側への進行よりも大きいためと考えられる。特に、プレストレス導入による圧縮クリープ歪の影響が大きいと考えられる。その後、経過日数150日を過ぎると、プレストレス導入による圧縮クリープ歪の影響が小さくなる一方で、場所打ち部分における長期付加歪の影響が大きくなり、PC鋼より線の経時歪は引張り側に転じるものと推測される。しかしながら、長期持続荷重を受けるCFRL1とCFRL2の経過日数約360日までの経時歪の変動幅は約200 μ 程度であり、仮支柱撤去直前の歪値の約3%にすぎず、極めて小さい。

図8と9に仮支柱撤去前を基準にした、CFRL1とCFRL2持続荷重開始時からの鉄筋の長期歪の経時変化を示す。CFRL1の固定端位置（歪DとLの平均）と、固定端からスタブ側40cmの位置（歪BとNの平均）の鉄筋歪は経過日数約3,40日の間に約150 μ 増大している。これは、持続荷重開始後のその期間の間に、端部に新たなひび割れが発生したことによるものと思われる。その後、両位置の歪とも徐々に減少し、経過日数約150日以後増加する傾向を示した。固定端位置の鉄筋歪は経過日数約200日頃から徐々に増加していったが、経過日数約350日過ぎから測定不可能となった。固定端位置以外の測定点の鉄筋の経時歪は、若干の増減はあるものの、ほぼ一定で変化していない。なお、経過日数約300日以後、CFRL1では固定端からスタブ側に40cm入った位置の鉄筋の長期歪は約400 μ 前後を示しており、固定端位置の鉄筋歪に次いで大きな値を示した。

CFRL2の鉄筋の経時歪は中央部付近で少しずつ減少していく傾向を示しているが、それ以外の測定点では、経過日数約50日以後、ほぼ同じような値で推移している。

ここでは図を示していないが、CFRSの中央に位置する鉄筋の経時歪は経過日数約200日までほぼ直線状に圧縮歪として進展した後、約-100～-150 μ の範囲で推移している。

4. 解析的検討

ここでは、以前に、この種の合成スラブに対して定式化した解析法[1]を用いて、CFRL1とCFRL2の長期たわみと鉄筋の長期歪を求めた。この解析法の主な特徴は次の3点である。

① 長期たわみは初期たわみと長期付加たわみの和で表わす。長期付加たわみはクリープ、収縮

及び端部でひび割れが生じる場合には端部の引張鉄筋の拔出しによるたわみの和とする。

- ② 埋設型枠部分と場所打ちコンクリート部分とではそのクリープ性状が異なるが、この両者のクリープを埋設型枠コンクリートを基準にした1つの等価なクリープで考慮する。
- ③ ひび割れ発生以後の断面剛性の経時変化を考慮する。

以上の仮定によるCFRL1とCFRL2の長期たわみの解析結果を図6に太実線で示した。

経過日数437日における長期たわみ計算値はCFRL1で12.45mm、CFRL2で10.14mmであり、それぞれ実験値に対して約0.87倍、約0.73倍となった。また、最終時（経過日数を無限大とした場合）における長期たわみ解析値はCFRL1で14.04mm、CFRL2で11.41mmとなるが、これらは経過日数437日までの長期たわみ実験結果から予測される最終時の長期たわみ値（CFRL1で15.36mm、CFRL2で14.85mm）に対して、それぞれCFRL1の場合で0.91倍、CFRL2の場合で0.77倍となった。CFRL1の長期たわみ解析結果は実験結果に比較的良く追従しているといえる。一方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が初期たわみ実験値を大きくするとともに持続載荷時の長期たわみ実験値をも大きくし、この結果、長期たわみ解析結果は長期たわみ実験結果よりも約2.5割程度小さくなったと推測される。

CFRL1については長期付加たわみ解析値中のクリープによるたわみ量を α 、端部引張り鉄筋の拔出しによるたわみを β で、それぞれ細実線で同図中に示した。但し、収縮によるたわみは、CFRSに対する実験結果でも示されているように、かなり小さい解析結果であったので、図中ではその表示を省略した。経過日数437日において、CFRL1での長期付加たわみ解析値に占める割合はクリープによるたわみが80%、端部引張鉄筋の拔出しによるたわみが17%、収縮によるたわみが3%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かった。CFRL2についても同様な結果であった。

なお、図8と図9には端部固定端位置における鉄筋歪の解析結果を破線で示した。

5. まとめ

経過日数約450日までの実験結果とその解析結果について、本研究の範囲内で次の結果を得た。

- (1) 両端固定支持のCFRL1とCFRL2の最終時の長期たわみは持続載荷開始時のたわみの約3.1～3.5倍（長期付加たわみで表現すれば約2.1～2.5倍）と推定される。
- (2) 端部引張り鉄筋の経時歪は経時的に増大するかあるいはほぼ一様に推移するかの傾向が、中央部付近の圧縮鉄筋の経時歪は徐々に減少していく傾向が見られた。
- (3) クリープ差及び収縮差によるたわみ実験値は最大で1mm程度であり、実験的にも解析的にも、この種の合成床板の長期たわみにあまり影響を与えないことが分かった。
- (4) この種の合成床スラブに対して先に示した長期たわみ解析法[1]による解析結果は、長期たわみ実験結果に対して約0.73～0.91倍となった。

[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、PP.141-150
- 2) 岩原昭次、山下正吾：PC埋設型枠を用いた長スパン合成床板の長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、PP.1073-1078、1996年
- 3) 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、PP.1067-1072、1996年
- 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、昭和62年1月、丸善