

段差付きフルプレキャスト PC 床版の長期載荷実験

Long-term Loading Tests on Precast Prestressed Concrete Slabs with Step Portion

江頭 寛 HIROSHI EGASHIRA
 小坂 英之 HIDEYUKI KOSAKA
 山中 久幸 HISAYUKI YAMANAKA
 谷垣 正治 MASAHARU TANIGAKI

建築生産計画部 松本 啓二 KEIJI MATSUMOTO

集合住宅のバリアフリー床および大スパン床に対応する段差付きフルプレキャスト PC 床スラブの長期載荷実験を行った。試験体は、端部を固定支持とした内法スパン 10.58m の実大 PCa 床版 3 体で、プレストレスの導入方式や導入量をパラメータとした。約 600 日間にわたる計測の結果、3 体の長期たわみは約 9.1~9.7mm でほぼ等しく、本実験で設定したパラメータが長期たわみの大きさに与える影響は小さいことや、たわみ倍率が 4~5 程度になることを確認した。

キーワード：一方向スラブ、フルプレキャスト、ポストテンション、プレテンション、長期たわみ

The long-term loading tests were conducted on the precast prestressed concrete slabs with the step portion to be provided for the barrier-free or the long span floors at the high-rise housings. The tests were carried out on the three numbers of the full-scaled precast RC slabs fixed at the both ends with 10.58m net span. The parameters of the tests are the prestressing methods and the amount of the introduced prestress. As the result of the measurement for about 600 days, the long-term deflections among the three specimens showed almost same values between 9.1 to 9.7mm, notwithstanding the variety of the test parameters, and the ratios of the long-term deflection against the initial deflections were between 4 to 5.

Key Words: One-way Slab, Precast, Post-tensioning, Pre-tensioning, Long-term Deflection

1. はじめに

集合住宅の床スラブには、自由度の高い住戸計画を可能とする大スパン化、仕上げ床のバリアフリー化、および所定の構造階高の範囲内で高い天井高を確保する床構造が求められており、これらの要求は今後も高まる傾向にある。これらのニーズに対応した床工法の一つとして、本研究では段差付きのフルプレキャスト・プレストレストコンクリート（以下、フルPCaPC）床工法に着目し、これまでに構造安全性および使用性に関わる種々の実験的検証^{1)~3)}を行ってきた。大スパンの床スラブで一般に懸念される長期たわみに関しては、本床工法では、スラブにボイド型枠を設けて自重を抑え、さらにプレストレスを導入することで対応しているが、プレストレスの導入方式や導入量が長期たわみに及ぼす影響については把握するまでに至っていない。そこで本報告では、プ

レストレスによるスラブ自重のキャンセル率が同じで導入方式をプレテンションあるいはポストテンション方式とした実大床版 2 体と、これらよりプレストレス量の若干少ないポストテンション方式の実大床版について長期たわみ観測を実施し、長期たわみ性状の相違について検討した。

2. 実験概要

(1) 試験体

表-1に試験体の諸元を、表-2に配筋と PC 鋼線の一覧を、図-1に試験体図を示す。本床工法は、スパン中央部に床段差を有する一方向のフル PCa-PC 床版で、発泡ポリスチレン製のボイド型枠で軽量化を図っている。

試験体は UB1, UB2, PRT の 3 体である。いずれも内法スパン $L=10,580\text{mm}$ 、厚さ $t=300\text{mm}$ の実大床スラブ

表-1 試験体の諸元

試験体名	UB1	UB2	PRT
床版の種類	フルプレキャスト中空PC床版		
プレストレスの導入方式	ポストテンション(アンボンド)	プレテンション	
内法スパンL(mm)	10,580		
版幅w(mm)	1,780	1,670	1,850
版厚t(mm)	300		
重量等価厚 t_e (mm)	269	262	282
中空率 $((t-t_e)/t)$	0.10	0.13	0.06
平均床重量(N/m ²)	6,450	6,280	6,770
載荷重量(N/m ²)	1,610	1,570	1,600
平均有効プレストレス σ (N/mm ²)	1.62	1.19	1.45
荷重キャンセル率	0.30	0.22	0.30

*プレストレス有効率を $\eta = 0.85$ (ポストテンション), 0.80 (プレテンション)として計算

表-2 配筋とPC鋼線の一覧

試験体名	種別	左端	中央	右端
UB1	上端筋	18-D13	10-D13	18-D13
	下端筋	4-D22	19-D13	10-D13
	配力筋	D10@200		
	PC鋼より線	SWPR19-19.3mm×3 (アンボンド鋼線)		
UB2	上端筋	17-D13	9-D13	17-D13
	下端筋	5-D19	17-D13	9-D13
	配力筋	D10@200		
	PC鋼より線	SWPR19-19.3mm×2 (アンボンド鋼線)		
PRT	上端筋	18-D13	10-D13	18-D13
	下端筋	4-D22	19-D13	10-D13
	配力筋	D10@200		
	PC鋼より線	SWPR7B-15.2mm×5		

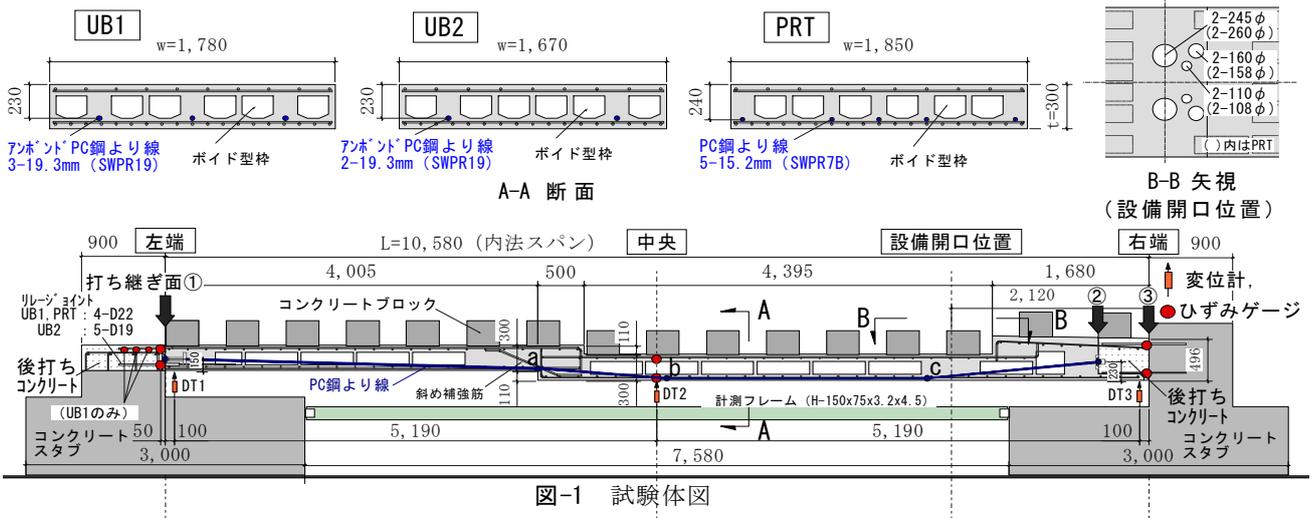


図-1 試験体図

表-3 材料試験結果

(1) コンクリート

部位	試験体名	圧縮強度* N/mm ²	割裂強度* N/mm ²	弾性係数* ×10 ⁴ N/mm ²
フルPCa部	UB1	53.0	4.04	2.91
	UB2	47.3	3.90	2.73
	PRT	55.8	3.41	3.58
後打ち部	共通	49.8	3.26	3.01

*コンクリートの材料試験結果は、支保工撤去時の値

(2) 鉄筋

部位	呼び (SD295A)	試験体 名	降伏強度 N/mm ²	降伏歪 ×10 ⁻⁶	引張強度 N/mm ²	弾性係数 ×10 ⁵ N/mm ²
フルPCa部	D10	UB1, UB2	377	2,100	510	1.88
		PRT	362	2,040	508	1.85
		UB1, UB2	344	1,800	487	1.93
	D13	PRT	361	1,910	498	1.90
		UB2	388	2,120	586	1.89
	D22	UB1	388	2,070	571	1.93
		PRT	385	2,190	554	1.90
	右端後打ち部	D13	共通	336	1,710	491

で、両端のコンクリートスタブで支持された形状になっている。3体の相違点は、プレストレスの導入方式と導入量および版幅である。UB1(版幅1,780mm)は、ポストテンション方式のPC床版で、 $\phi 19.3$ mmのアンボンドPC鋼より線を3本使用した標準仕様タイプである。UB2(版幅1,670mm)は、同じくポストテンション方式のPC床版であるが、 $\phi 19.3$ mmのアンボンドPC鋼より線の使用数を2本に低減したタイプである。一方、PRT(版幅1,850mm)は、PCa工場での生産性を考慮してプレテンション方式としたPC床版で、 $\phi 15.2$ mmのPC鋼より線を5本使用している。平均有効プレストレスは、UB1, PRT, UB2の順に大きいが、荷重キャンセル率は、UB1とPRTが0.30で、UB2が0.22である。PC鋼線は、すべて図-1に示すようなスパン中央の段差部付近に反曲点a,bを有する配置^{4),5)}となっている。プレテンション方式であるPRTでは、点a,b,cの位置に配線形状を保持する金物を設けて緊張した。なお、各試験体とも床版右端から1/5Lの位置に断面欠損率が最大約30%の円形の設備開口群(B-B矢視)を有している。床版とコンクリートスタブは後打ちコンクリートで一体化され、回転と水平移動が拘束された支持状態となっている。

表-3に材料試験結果を示す。



写真-1 載荷状況



写真-2 自由振動測定状況

表-4 長期載荷による1次固有振動数の変化

試験体名	錘載荷前	錘載荷直後	600日経過後	比
	f_{t0} (Hz)	f_{t1} (Hz)	f_{t2} (Hz)	
UB1	11.6	10.5	10.4	0.99
UB2	11.6	10.5	10.4	0.99
PRT	11.5	10.5	10.4	0.99

表-5 たわみ倍率の比較

試験体名		UB1	UB2	PRT
弾性たわみ*(mm)	計算値 δ_e	2.20	2.51	1.80
	実験値 δ_0	2.40	2.49	2.14
長期たわみ**(mm)	δ_L	9.07	9.65	9.64
たわみスパン比	δ_L/L	1/1,170	1/1,100	1/1,100
たわみ倍率	δ_L/δ_e	4.1	3.8	5.4
	δ_L/δ_0	3.8	3.9	4.5

*床版自重と錘載荷によるたわみの和, **600日経過後の実験値

(2) 載荷および計測方法

写真-1に載荷状況を示す。計測は、床版の支保工撤去の直前から開始した。支保工撤去後、約12日間の無載荷状態を経て、住戸の実荷重を想定したコンクリートブロック錘（仕上げ荷重 1,000 N/m²+ 積載荷重 600 N/m²= 合計 1,600 N/m²）を載荷し、約 600 日間の計測を行った。試験体の設置場所は屋外であるが、錘載荷の後、仮設の屋根と外壁を設けた。

主な計測項目は、床版の両端・中央の鉛直変位と同部位の上下主筋のひずみで、各々変位計とひずみゲージで計測した。なお、UB1試験体に関しては、左端上端筋のコンクリートスタブへの定着部に4枚のひずみゲージを130mm間隔で貼付け、長期載荷における上端筋定着部の付着の状態を計測した。また、各床版の自由振動の測定を、無載荷の状態、錘載荷直後の状態、長期載荷 600 日経過後でそれぞれ行い、固有振動数の比較を行った。

3. 実験結果

(1) 長期載荷後の試験体の状況と固有振動数

錘載荷から 600 日経過に至るまでに、各試験体とも、図-1に示す床版端部の打継ぎ面①, ②, ③において、幅 0.15mm 程度の目開きの進行が確認されたが、その他の

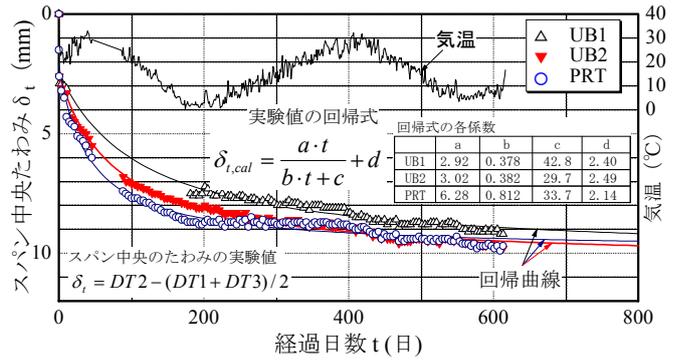


図-2 経過日数とスパン中央たわみの関係

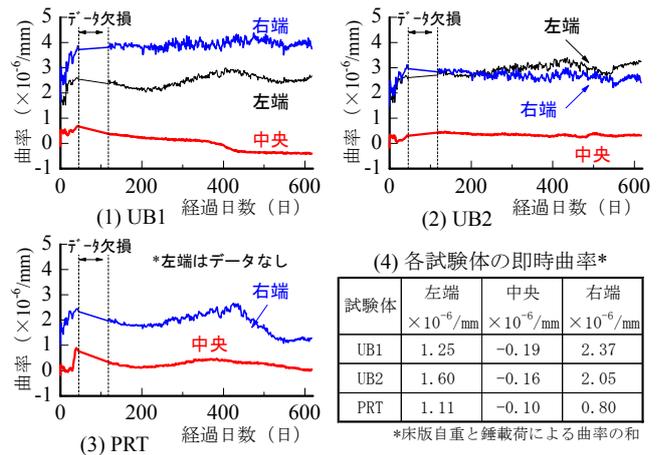


図-3 床版の曲率と経過日数の関係

部位にひび割れは観察されなかった。

写真-2に自由振動測定状況を、表-4に長期載荷による1次固有振動数の変化を示す。自由振動測定は、78Nの砂袋を28cmの高さからスパン中央部に落下させる方法で行った。表-4に示すように、各試験体の1次固有振動数は、各計測時においてほぼ同値である。各試験体の錘載荷直後の1次固有振動数 f_{t1} は10.5Hzで、600日間の長期載荷経験後の1次固有振動数 f_{t2} は10.4Hzとなっており、長期載荷による床版の剛性低下は、ほとんど生じていないことが分かる。

(2) たわみの推移とたわみ倍率

図-2に、経過日数 t とスパン中央たわみ δ_t の関係を示す。 δ_t は、床版両端からの相対たわみで表し、支保工撤去前をゼロとしている。同図には、実験値の回帰式とその回帰曲線、および気温を併記している。約 200 日までは、PRT, UB2, UB1の順にたわみの進行が大きい。それ以降は、各試験体のたわみの差は小さくなった。表示した回帰曲線から推定すると、各試験体の長期たわみは、10mm程度に収束する傾向にある。

表-5にたわみ倍率の比較を示す。弾性フレーム解析による弾性たわみの計算値 δ_e は、UB1, UB2, PRTの順に 2.20, 2.51, 1.80mm で、実験値 δ_0 もこれにほぼ対応し

ている。各試験体の600日経過後の長期たわみの実験値 δ_L は、約9.1～9.7mm（たわみスパン比 δ_L/L 換算で約1/1,200～1/1,100）で、ほぼ同程度である。弾性たわみの計算値に対するたわみ倍率 δ_L/δ_e は、UB1, UB2, PRTの順に4.1,3.8,5.4となり、実験値に対するたわみ倍率 δ_L/δ_0 は、順に3.8,3.9,4.5となった。

(3) 曲率の推移

図-3に床版の左端、中央、右端の上下主筋のひずみ値から求めた床版の曲率と経過日数の関係を示す。曲率は正值が上端引張りを、負値が下端引張りの状態を示している。なお、同図には各試験体の即時曲率（床版自重と錘載荷による曲率の和）の一覧を併記した。曲率の推移は、各試験体とも同様な傾向を示した。後打ちコンクリート部分である左端と右端の曲率は、初期には増大するが、数十日以降はおおむね $2 \sim 4 \times 10^{-6}/\text{mm}$ の間を推移している。一方、PCa床版中央の曲率は端部に比べて小さく、おおむねゼロ付近を推移している。これは、床版端部の固定度の変化が小さく、PCa床版内のPC鋼線による吊上げ力が、版中央の曲げ変形を抑制していることに起因する現象であると考えられる。

(4) 上端筋定着部の付着応力度の推移

図-4に、UB1の左端上端筋D13のコンクリートスタブ定着部における平均付着応力度と気温の推移を示す。平均付着応力度 τ_{ave} は、PCa床版端から130mm間隔の区間①、②、③およびこれらの合計区間④（390mm）について両端のひずみ測定値から(1)式を用いて算出した。

$$\tau_{ave} = \frac{E_s \cdot \Delta \varepsilon_s \cdot A_s}{\Delta L \cdot \phi} \quad (1)$$

ここで、 E_s は鉄筋のヤング係数、 $\Delta \varepsilon_s$ は2つの測定点の鉄筋ひずみの差分値、 A_s は鉄筋の断面積、 ΔL は両測定点間の距離、 ϕ は鉄筋の周長である。なお、同図には、当該コンクリートスタブの後打ちコンクリート部分の実強度（ $\sigma_B=49.8\text{N}/\text{mm}^2$ ）を用いて計算した上端筋定着部の長期許容付着応力度⁶⁾（ $f_a=1.14\text{N}/\text{mm}^2$ ）を併記した。

上端筋定着部の平均付着応力度は、区間①で $1.3 \sim 1.5\text{N}/\text{mm}^2$ 、区間②で $0.5 \sim 0.8\text{N}/\text{mm}^2$ 、区間③で $0.2 \sim 0.3\text{N}/\text{mm}^2$ の間を気温の影響を受けながら緩やかに推移している。区間①の約400日以降の付着応力度は、気温の低下に対応して減少しているが、区間②、③と全区間④の平均付着応力度は、ほぼ横ばいで安定している。また、全区間④の600日経過後の平均付着応力度の長期

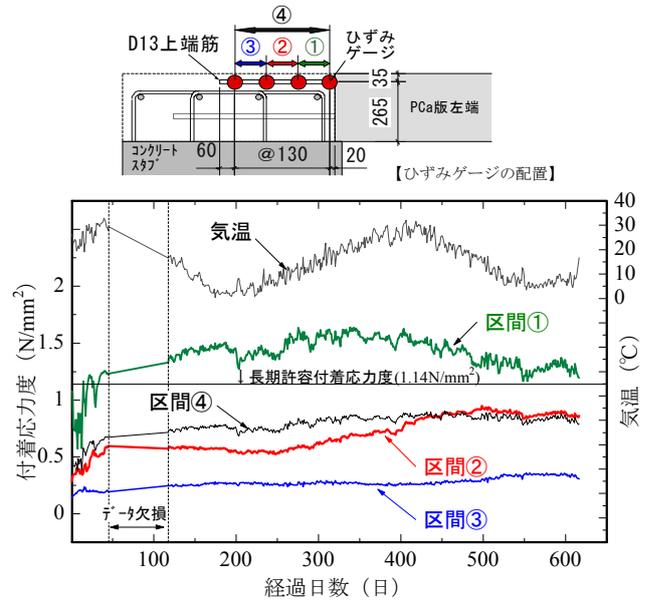


図-4 左端上端筋定着部の平均付着応力度と気温の推移

許容付着応力度に対する比は、約0.75になっている。

現時点では、長期荷重に伴う付着劣化の傾向は見られないが、今後も観測を継続し、端部上端筋の付着応力度と長期たわみの関係について検討する予定である。

4. まとめ

段差付きフルPCa-PC床版の約600日間にわたる長期荷重実験を行った。その結果、以下の知見を得た。

- ①UB1とUB2、およびPRTの600日経過後の長期たわみは、約9.1～9.7mmとなり、本実験で設定したプレストレスの導入方式や導入量の相違が長期たわみの大きさに与える影響は小さいことを確認した。
- ②弾性たわみの計算値に対するたわみ倍率は、UB1とUB2が約4、PRTが約5となった。
- ③後打ちコンクリート部分である左端と右端の曲率は、3体ともおおむね $2 \sim 4 \times 10^{-6}/\text{mm}$ の間を推移しているが、PCa床版中央の曲率はおおむねゼロ付近を推移していることを確認した。
- ④端部上端筋の定着部における平均付着応力度の長期許容付着応力度に対する比は、600日経過後で約0.75であり、許容値以内であることを確認した。

参考文献

- 1) 鈴木ほか：段差付き一方向アンボンドスラブの長期荷重実験，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2，pp.471-472，2005.9
- 2) 松本ほか：フルプレキャストアンボンドPC床工法の開発その1～その2，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2，pp.223-226，2006.9

- 3) 江頭ほか：フル PCa アンボンド PC 床工法の長期載荷実験と曲げ載荷実験，三井住友建設技術研究所報告No.4， pp.149-154， 2006.9
- 4) 鈴木ほか：段差付き一方向アンボンドスラブの曲げ載荷実験その 1～その 2，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2， pp.163-166， 2004.8
- 5) 江頭ほか：段差付き一方向アンボンドスラブの曲げ載荷実験，三井住友建設技術研究所報告No.2， pp.99-104， 2004.12
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説， p.7， 1999