

論文 フルプレキャスト長スパン床スラブの長期たわみ性状

杉山 智昭*1・石井 映二*2・増田 正樹*2・成原 弘之*3

要旨: 近年, 建物の長寿命化や良質な室内空間の要望から, 間仕切りの変更等が容易である大空間の要求が強まっている。本論文では, 住宅系の壁式鉄筋コンクリート造建物において約 7.3m の長スパン床スラブの実現を目指し, ボイドを有するフルプレキャストスラブに対して, 約 900 日間の長期載荷試験を実施して長期性能を把握した。長期載荷試験より長期たわみ倍率が 3.5~4.0 程度に収束することを確認し, また, 長期載荷後に実施した曲げ試験の結果, 長期載荷が構造性能(剛性・耐力)に及ぼす影響が小さいことを検証した。さらに, これらの性能について既往の手法を準用して評価可能であることを示した。

キーワード: スラブ, プレキャスト, 軽量コンクリート, 弾性たわみ, 長期たわみ, クリープ係数, 収縮

1. はじめに

近年, 建物の長寿命化や, 良質な室内空間の要望から, 間仕切りの変更等が容易である大空間の要求が住宅においても強まっている。鉄筋コンクリート(RC)造の壁式構造でこれらの空間を実現するためには, 床スラブの長スパン化が一つの方法となる。本研究は, 住宅を主用途とする RC 造壁式構造を対象に, 全断面を工場でコンクリート打設したフルプレキャスト部材を現場で接合する方法により, 7m を超えるスパンの床スラブを実用化することを目指している。この際の床スラブは, 構工法, 施工の制約からプレストレスを導入せずに構築することが求められ, また, 床スラブの支持位置は壁板頂部となるため, 端部の固定度は, 部材配置の条件によって通常の床スラブよりも非常に低い状況が想定される。

RC 建築物における床スラブに関しては, 通常の外周部(梁)と一体化された床スラブ¹⁾について, また, 床板の底面側を工場で生産し, 現場で上部コンクリートを打設する, いわゆる, ハーフプレキャストの合成床板²⁾について, 長期たわみに関する実験資料が蓄積されてきている。さらに, プレストレスを導入した床スラブについても長スパン領域を含めて開発がされており, 実験資料が得られている³⁾。しかしながら, フルプレキャストコンクリートかつプレレストが未導入の長スパンスラブに関する構造性能については, 十分な実験資料が示されていないのが現状である。

一方, これら床スラブの長期たわみ性状に関しては, 長期載荷を実施して, 性能を把握することが一般的である。しかしながら, これまでに実施された実験資料の大部分は 400 日以下, 多くても 600 日程度の載荷期間であり, 複数年の変化, 特に環境変化を含めた実験資料は少ない状況である。

そこで, 本論文では, 壁式 RC 造における住宅用のフルプレキャスト長スパン床スラブの実現を目指し, 2 年を超える長期載荷を実施して長期性能を把握することを目的としている。具体的には, 長期載荷によって, 長期たわみ, コンクリートのクリープ・収縮ひずみに関する資料を得るとともに, 載荷除荷後に 2 点集中載荷の曲げ試験を実施して, 長期載荷後の構造性能について検証する。さらに, これら長期たわみ等の評価手法に対する検討を行う。

2. 長期載荷実験

2.1 実験概要

(1) 試験体概要

試験体一覧を表-1, 試験体形状・配筋図を図-1, および断面詳細図を図-2 に示す。

試験体は実大の大きさで, スパン 7280mm (= 8P, 1P=910 mm), 幅 455mm (=0.5P), 長さ 7460mm とした。中央部(一般部)の断面は, 厚さが 350mm で, 高さ 120mm, 幅 150mm のボイド(切欠き: 発泡ポリスチレン)を 2 個有する I 断面である。なお, 本断面は, コンクリート全断面を有効とし, 自重および積載を考慮して算出した引張側の縁応力度が曲げひび割れ発生強度($0.56\sqrt{Fc}$)の 80%程度となるように決定している。これは, 長期荷重が曲げひび割れ発生荷重よりも小さい場合, 長期たわみ

表-1 試験体要因一覧

	コンクリート	断面 B × t [mm]	スラブ筋(軸筋)		せん断補強筋
			上端	下端	
No.1	軽量	455 × 350 ボイド寸法: 2-150 × 120	5-D10 (SD295A)	5-D13 (SD295A)	C-D10@182 (SD295A) +2-C-D10@910 (SD295A)
No.2	普通				

※載荷荷重は, 仕上げ 0.6kN/m² + 住宅居室の積載 1.8kN/m²

*1 大成建設(株) 技術センター 博(工) (正会員)

*2 大成建設ハウジング(株) 技術統括部

*3 大成建設(株) 技術センター 博(工)

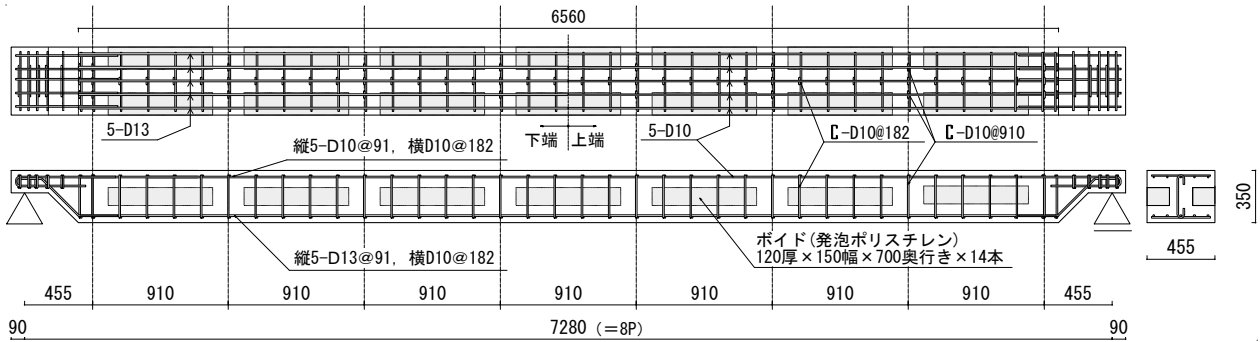


図-1 試験体形状配筋図

は小さく抑えられると考えられるため⁴⁾、「鉄筋コンクリート構造計算規準 付録7」⁵⁾に示されているひび割れ発生強度($0.50\sqrt{F_c}$)を参考に設定したものである。試験体の両端部は、施工時に壁頂部へ設置するため、端部より250mmの区間を厚さ150mmとし、テーバーを設けている。また、長手方向では910mm毎に長さ210mmのリップを設置した。実建物の床スラブは、試験体形状の部材を幅方向に連結して1枚板に構成するものとしている。

配筋は、軸方向鉄筋を上端筋で5-D10、下端筋で5-D13とし、せん断補強筋は両端180度フックのD10@182とし、さらにリップ部分では2-D10を追加している。なお、軸方向鉄筋は、軸と直交方向の配力筋(D10@182)と溶接で格子状に形成されている。使用鉄筋の材質はすべてSD295Aであり、鉄筋の材料試験結果一覧は表-2に示すとおりである。

試験体は2体設定し、変動要因はコンクリート種類とした。具体的には、形状・配筋を同一とし、No.1に1種軽量コンクリート、No.2に普通コンクリートを用いた。コンクリートの設計基準強度 F_c は 36N/mm^2 であるが、表-3に示す様に耐久性の対策から、4週の目標強度(実強度)が約 50N/mm^2 程度となる水セメント比の配合としている。表-4がコンクリートの長期荷重開始時および短期荷重時の材料試験結果の一覧である。

試験体は工場製作とし、部材全体を一回でコンクリート打設した後、蒸気養生、打設翌日に脱型、その後2週間強の養生を行った。長期荷重の開始は、コンクリート打設から約3週間後(軽量コン:21日、普通コン:23日)に実施した。

(2)加力方法

加力は、1方向スラブとみなし、試験体の支点間距離は、図-1に示すとおり7280mm(=8P)、支点は、実状の配置状況より、ピン・ローラーの単純梁支持とした。

載荷荷重 w_0 は、通常の仕上げ 0.6kN/m^2 に住宅居室の積載荷重 1.8kN/m^2 を想定し、試験体長さ1mあたり 1.09kN/m (= $2.4\text{kN}/0.445\text{m}$)の等分布荷重とした。荷重は、鉄筋棒をスラブ上面に設置することで試験体に与え

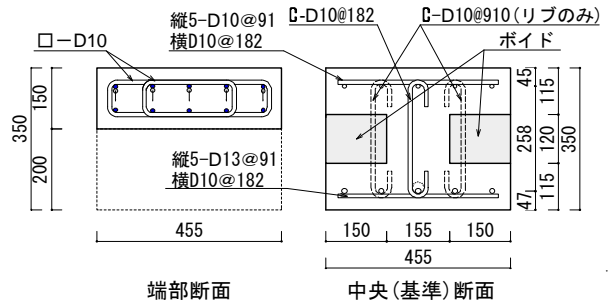


図-2 試験体断面詳細図

表-2 鉄筋材料試験結果

種別	降伏点強度 σ_y N/mm ²	引張強度 σ_u N/mm ²	ヤング率 E_s $\times 10^5\text{N/mm}^2$
D13(SD295A)	365	512	1.86
D10(SD295A)	365	509	1.83

表-3 コンクリート配合表

	W/C [%]	空気量 [%]	S/a [%]	単位量 [kg/m ³]				
				セメント	水	細骨材	粗骨材	AE減水剤
軽量	40.0	4.5	43.0	363	145	777	441(砕石) 328(軽量)	2.00
普通	39.5	5.0	42.0	375	148	763	1117(砕石)	2.00

W/C: 水セメント比, S/a: 細骨材率,
 軽量: 膨張頁岩軽量粗骨材, 最大径15mm, 砕石: 最大径20mm

表-4 コンクリート材料試験結果

種別	材齢*	圧縮強度 σ_B N/mm ²	引張割裂 強度 σ_t N/mm ²	ヤング率 E_c $\times 10^4\text{N/mm}^2$	単位容積 重量 γ kN/m ³
軽量	21日: 長期	50.7	2.77	2.47	21.6
	973日: 短期	61.6	4.29	2.96	21.4
普通	23日: 長期	57.4	3.79	3.61	25.1
	974日: 短期	84.0	5.16	4.39	25.0

*長期: 長期荷重開始時, 短期: 短期荷重時

表-5 弾性たわみ実験値・計算値一覧

試験体	載荷荷重 w_0 kN/m	スラブ自重 w_s kN/m	総和 $w_{T.L}$ $=w_0+w_s$ kN/m	縁応力		実験			計算	比較
				計算	ひび割れ $\epsilon_s \delta_0$ N/mm ²	載荷 $\epsilon_s \delta_0$ mm	自重 $\epsilon_s \delta_s$ mm	弾性 $\epsilon_s \delta_e$ mm		
No.1 軽量	1.09	3.04	4.13	2.79	3.99	0.97	2.70	3.66	3.58	1.02
No.2 普通	1.09	3.50	4.59	2.92	4.24	0.68	2.18	2.85	2.73	1.04

※荷重は、幅455mmあたりの値、 $\epsilon_s \delta = \epsilon_s \delta_0 + \epsilon_s \delta_s$
 縁応力計算値は $w_{T.L}$ より算出した値、ひび割れは $0.56\sqrt{\sigma_B}$

た。載荷は、実験棟内で実施し、2009年3月25日から2011年10月7日までの926日間実施した。

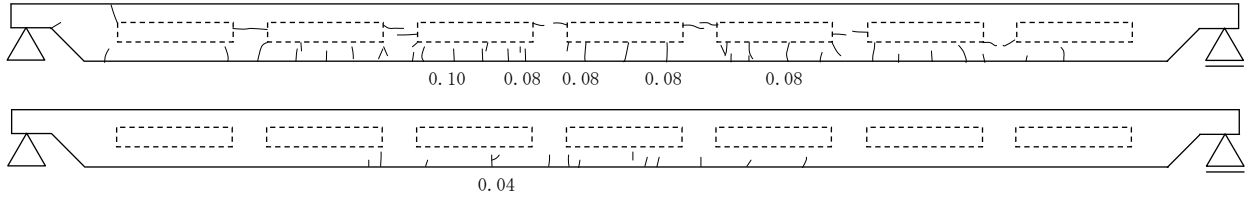


図-3 長期荷終了時ひび割れ状況(上段：軽量コンクリート，下段：普通コンクリート，数値はひび割れ幅[mm])

2.2 実験結果

(1)弾性たわみ量

表-5に長期荷開始時における弾性たわみ量 δ_e の実験値と計算値の一覧を示す。ここで、弾性たわみ量 δ_e は、試験体中央における値である。

実験の弾性たわみ量 δ_e は、積荷荷重 w_0 と自重 w_S により生じた変形量を総和した値($\delta_e = \delta_0 + \delta_S$)として示している。荷重 w_0 によるたわみ量 δ_0 は、実験の実測値を用いており、これにより求められる剛性 $eK_0 (= e\delta_0/w_0)$ を用いて、自重 w_S によるたわみ量 $\delta_S (= eK_0 \cdot w_S)$ を算出した。また、計算のたわみ量 δ_e は、端部の断面形状の変化を考慮せず、一様に一般部(中央部)の断面が連続しているものと仮定して算出している。なお、その際の断面性能には軸方向鉄筋を考慮し、材料の機械的性質には長期荷開始時の材料試験結果、また、ヤング係数比 n は9として算出している⁵⁾。なお、リブについては、重量を等分布荷重に置換して考慮(軽量コン：0.25kN/m，普通コン：0.27kN/m)した。

表に示す様に、実験の弾性たわみ量 δ_e は、ヤング係数の小さいNo.1(軽量)がNo.2(普通)よりも大きい値であるが、両者とも計算値とほぼ対応する結果となっている。また、荷重時にひび割れの発生は、想定どおり認められなかった。

(2)ひび割れ状況，長期付加たわみ量および収縮歪み

図-3に長期荷終了時ひび割れ状況を示す。図中の数値は、その直上位置における最終時(積荷除荷時)のひび割れ幅を示している。試験体のひび割れは、荷重後1週間程度より生じ始めており、約1年間でほぼ大部分のひび割れが生じた。ひび割れ幅は、時間の経過とともに大きくなる傾向ではあるが、軽量コンで0.1mm，普通コンで0.04mm以下と微小な幅にとどまっている。ひび割れの本数・発生範囲は、軽量コンが普通コンよりも多い・広い傾向となっているが、前述の様に著しく大きいひび割れは認められない。

図-4に長期付加たわみ，図-5に荷重時の気温・湿度関係，表-6に長期付加たわみ量，たわみ倍率の実験値・計算値一覧を示す。

図-4の長期付加たわみ δ_L は、試験体中央における値であり、荷重終了時を零とし、積荷直後からの変化量を

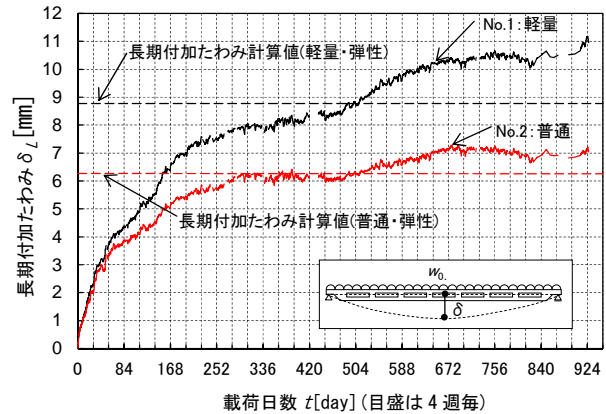


図-4 長期付加たわみ量

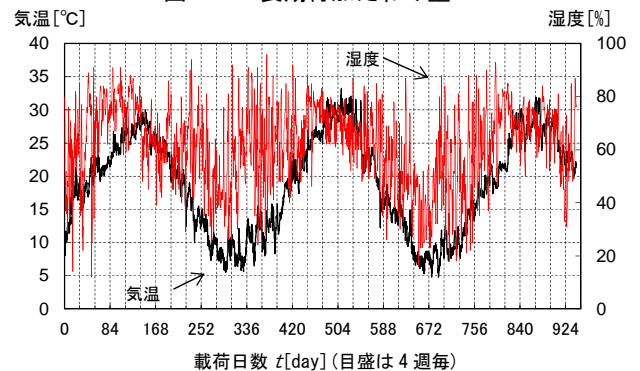


図-5 長期荷時気温・湿度

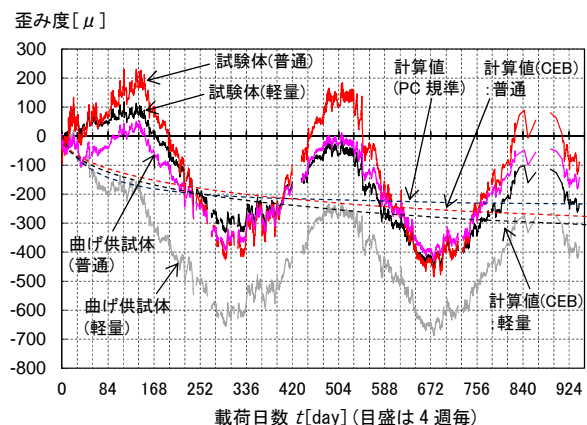


図-6 コンクリートの収縮歪み

示している。なお、図中の計測点の無い区間は、計測機器の関係より計測の行っていない期間を示している。長期付加たわみ δ_L は、時間の経過とともに増加する傾向であり、400日以降にもたわみの増大がみられた。そして、約700日経過以降、両試験体ともにたわみの増加が非常に緩やかとなった。前述のとおり、荷重期間の全体で徐々

表-6 長期たわみ・たわみ倍率 実験値・計算値一覧

試験体	実験				計算						実験-計算比較値			
	弾性 たわみ mm	長期付加 たわみ mm	長期 たわみ 倍率	除荷時 たわみ mm	弾性		長期付加たわみ mm		長期たわみ倍率		除荷時 たわみ mm	長期たわみ倍率		除荷時 たわみ
					弾性	ひび割れ	弾性	ひび割れ	弾性	ひび割れ		弾性	ひび割れ	
No.1 軽量	3.66	11.18	4.05	1.03	3.58	8.76	26.75	3.45	8.47	0.79	1.17	0.48	1.30	
No.2 普通	2.85	7.19	3.52	0.59	2.73	6.27	21.44	3.30	8.87	0.53	1.07	0.40	1.11	

※除荷時たわみは、 載荷荷重 $w_0=1.09\text{kN}/(\text{m}\cdot 0.455\text{m})$ を除荷した際の戻りたわみ量

にたわみ量が増加する傾向であるが、気温(それに伴う湿度変化)の影響を受けており、秋季から冬季にかけては増加傾向、夏期では微増からやや減少傾向であり、後述のコンクリートの収縮歪みとも対応する結果となっている。コンクリート種類の差異を見ると、当初の50日程度は、両者とも同様な変形の増加傾向であるが、その後、No.1の軽量コンクリートのたわみ量は、No.2の普通コンクリートより多くなり、特に50~200日、および、420~600日間の秋季~冬季にかけて増加量が顕著となっている。最終的な長期付加たわみは、軽量コンクリートで約11mm、普通コンクリートで約7mm程度であり、弾性たわみと総和した量においても十分な使用性能を有すると考えられる。評価値との対応を含めて、考察は後述のたわみ倍率で検討する。

図-6は、試験体における無応力位置のコンクリートの収縮歪みと時間の関係を示している。「曲げ供試験体」は、試験体と同一のコンクリートで製作した曲げ試験供試体(100×100×400mm)に貼りつけた歪ゲージによる歪みであり、「試験体」は、試験体端面に貼りつけた歪みゲージによる歪みであり、それぞれ4点(2供試体・各2面)、2点(2面)の計測点の平均としている。なお、値は、長期載荷開始時の歪を零として示しており、温度歪みの影響を含めて表記している。また、図中には、建築学会PC規準⁶⁾、CEB-FIP⁷⁾における収縮量の評価値も併せて示している。なお、CEB-FIPの評価値の算出において、コンクリート強度は、載荷時(材齢約3週)の値を用いており、載荷中の温湿度の平均値はそれぞれ20℃、60%と仮定している。試験体と供試体の歪みの経時変化は、軽量コンクリート供試体の歪度が他の3点よりも収縮側にやや大きいものの、全体的にはほぼ同様な挙動であり、時間の経過とともに収縮量が増加する特性である。歪み度は、実験開始時と同様な温湿度環境(春期・秋期)では、既往の評価値とほぼ同等な値であり、載荷除荷時には100~400 μ の値が生じていると推測される。そして、夏期・冬期では試験体周辺の温湿度の影響を大きく受けて、これら既往の評価値を中心に、200~400 μ 前後、伸び側と収縮側に振幅する挙動であった。

(3)長期たわみ倍率

図-7に長期たわみ倍率と経時変化の関係、また、表-6に長期たわみ倍率実験結果および計算結果の一覧を

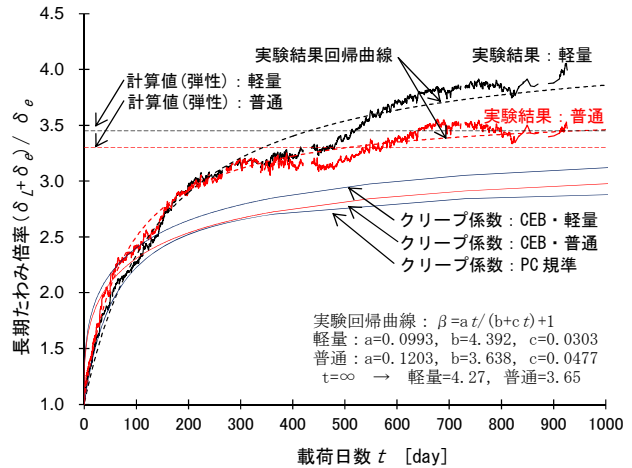


図-7 長期たわみ倍率

示す。図-7中には、建築学会RC規準付録7⁵⁾を用いて算出した長期たわみ倍率計算値、および、建築学会PC規準⁶⁾とCEB-FIP⁷⁾におけるクリープ係数の計算値も併せて示している。

長期たわみ $c\delta_{TL}$ (長期たわみ倍率)は、弾性たわみ $c\delta_e$ と長期付加たわみ $c\delta_L$ の総和であり、式(1)に示す様に、弾性たわみ $c\delta_e$ に対する倍率として算出する。ここで、 $K_1\sim K_3$ は、それぞれ、ひび割れ、クリープ、乾燥収縮による係数である⁵⁾。

$$c\delta_{TL} = (c\delta_L + c\delta_e) = (K_1 + K_2 + K_3) \times c\delta_e \quad (1)$$

表-6、図-7中の「弾性」は、ひび割れによる係数 K_1 を1.0とした値であり、「ひび割れ」は、ひび割れ後の剛性低下を考慮して K_1 を算出した値を示している。また、算出に用いたクリープ係数および収縮量は、CEB-FIP⁷⁾の値を用いており、クリープ係数は、軽量:2.40、普通:2.24、収縮量は、軽量:433 μ 、普通:397 μ の値を用いている。なお、PC規準では、それぞれ2.00、250 μ となり、CEB-FIP model codeを用いた場合よりもやや小さい値となる。

また、図中には式(2)の曲線で実験結果を回帰した結果についても示している。

$$\eta = at/(b+ct) \quad (2)$$

a, b, c : 定数, t : 時間[day]

このとき、最小二乗法により定数 a, b, c を求めた値は、図中に示す数値であった。

たわみ倍率の実験結果は、軽量、普通共に載荷後約400日程度まで同様な値であるが、その後、軽量コンクリ

トの値が普通コンクリートの値よりも大きくなり、除荷直前には、軽量コンクリートで4.05、普通コンクリートで3.52となっている。なお、実験結果を回帰した曲線において、 $t=\infty$ とした場合の値ではそれぞれ4.27、3.65であり、長期載荷除荷時点の900日における長期たわみ量は、ほぼ収束に近い状況と推測される。

実験値と計算値を比較すると、実験の全体挙動は、クリープ係数の計算値とほぼ同様な曲線(増加)傾向であるが、実験値は計算値よりもやや大きい性状である。最終的な実験のたわみ倍率は、「ひび割れ」を想定した計算値よりも非常に小さく、No.1の軽量コンクリートでやや大きいものの「弾性」を想定した計算値と概ね対応する結果となっている。軽量コンクリートの差異は、図-3に示した様に長期載荷中にひび割れが発生し、剛性低下が若干生じたことが要因と推測され、この剛性低下は、実験の除荷時変形量が、計算値よりもやや大きいことから確認できる。

3. 短期載荷実験

長期載荷後の構造性能について把握するため、載荷除

荷後の試験体について曲げ試験を実施した。

3.1 実験概要

図-8に短期載荷加力模式図を示す。試験体は、長期載荷を除荷した軽量・普通コンクリートの試験体2体について、2点集中載荷の曲げ試験を行った。支点間距離は長期載荷と同様に7280 mm、せん断区間は3185 mm、純曲げ区間(加力点間距離)は910mmとし、リブ直上に集中荷重を与える形式とした。両端の固定条件も長期載荷と同様にピン・ローラーの単純梁形式とし、加力の制御は、中央変位で5,10,20,30,40,60mmを目標変位とする1方向の漸増載荷とした。

3.2 実験結果

図-9に短期載荷の最終ひび割れ状況、図-10に荷重

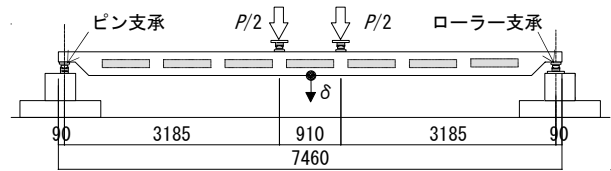


図-8 短期載荷加力模式図

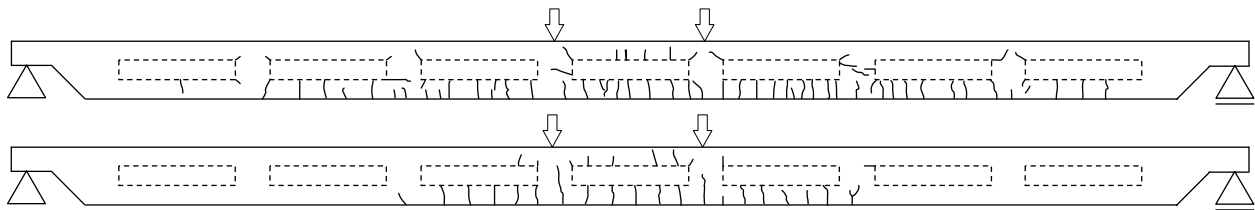


図-9 短期載荷終了時ひび割れ状況(上段: 軽量コンクリート, 下段: 普通コンクリート)

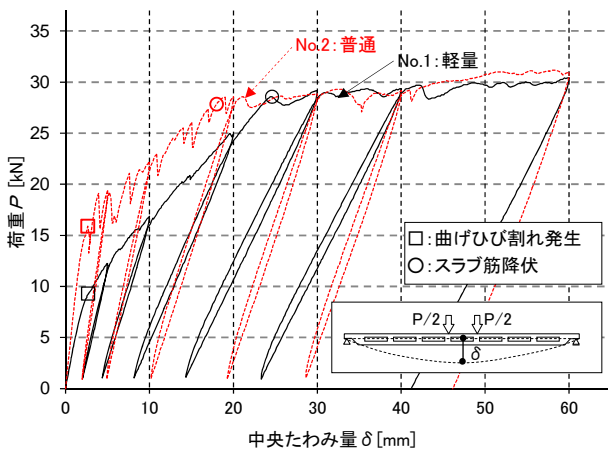


図-10 荷重-中央たわみ量関係

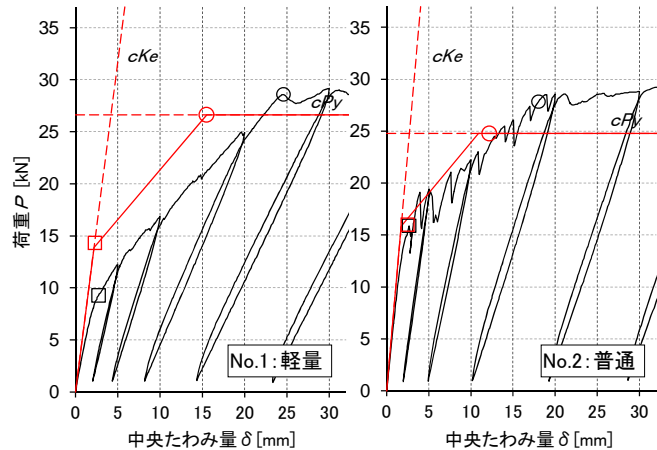


図-11 荷重-中央たわみ量関係 計算-実験比較

表-7 短期載荷実験結果および計算結果一覧

	曲げひび割れ発生 P_{or}				曲げ降伏 P_y				初期剛性 K_e		降伏時剛性 K_y	
	実験値		計算値		実験値		計算値		実験値	計算値	実験値	計算値
	eP [kN]	$e\delta$ [mm]	cP [kN]	$c\delta$ [mm]	eP [kN]	$e\delta$ [mm]	cP [kN]	$c\delta$ [mm]	[kN/mm]	[kN/mm]	[kN/mm]	[kN/mm]
No.1: 軽量	9.3	2.72	13.9	2.20	28.6	24.62	26.6	15.53	4.3	6.3	1.2	1.7
No.2: 普通	15.9	2.66	15.8	1.72	27.9	18.01	24.8	10.87	8.0	9.2	1.5	2.3

※計算値は、スラブ自重を考慮した(自重による最大モーメント M_s を差し引いた)値

$P_{or} = 2 \cdot (0.56 \sqrt{\sigma_B} \cdot Z_o - M_s) / a$ σ_B : コンクリート強度, Z_o : 断面係数, a : クリアスパン=3185 mm

$P_y = 2 \cdot (0.9at \cdot \sigma_y \cdot d - M_s) / a$ at : スラブ下端筋(引張鉄筋), σ_y : スラブ筋降伏点強度, d : スラブ下端筋までの有効せい

変形関係、表-7に実験値および計算値一覧を示す。

試験体のひび割れは、純曲げ区間を中心に発生しており、軽量コンクリートを使用したNo.1では、普通コンクリートを使用したNo.2と比べて試験体全長の広い範囲で曲げひび割れが生じる結果であった。純曲げ区間の曲げひび割れは、断面の下フランジに相当する高さからボイド位置を貫通して、上フランジに相当する高さまで鉛直に発生する傾向があり、平面保持が成立していると推測される。そして、ボイドの隅角部からリブ区間に向かって、壁の開口隅角部のひび割れに似たひび割れが発生しているが、これらが大きく口開く性状は見られなかった。したがって、ボイドの有無にかかわらずスラブ全体が一体的な曲げ挙動となっていると推測される。

荷重変形関係は、長期載荷時のひび割れが大きいNo.1では、No.2よりも剛性低下が早い性状であった。しかしながら、2次勾配は両者とも同様な傾向であり、また、最大耐力は、スラブ筋の降伏で決定しているため、大きな差異は見られない。なお、長期載荷時のひび割れが少ないNo.2では、コンクリート強度が高いこともあり、曲げひび割れ発生直後に保持荷重が低下する挙動が繰り返して生じた。一方、既にひび割れが多数生じているNo.1では、上記の現象は見られず、見かけ上、滑らかな荷重-変形関係となっている。

図-11は、両試験体の荷重-変形関係の実験値と計算値を比較した図である。計算値は、Tri-linearの骨格曲線で表しており、第一折れ点はひび割れ発生荷重 P_{cr} 、第二折れ点はスラブ筋の降伏荷重 P_y であり、それぞれ自重を考慮して求めた。また、剛性(変形量)については、弾性剛性 K_e は、長期載荷における弾性たわみ量と同様の仮定で算出し、降伏時剛性 K_y は、弾性剛性に対して、梁の剛性低下率 α (菅野式⁵⁾)を用いて算出した。

図に示すとおり、曲げひび割れが既に多数生じていたNo.1において、実験の初期剛性、ひび割れ発生荷重がやや小さいものの、全体的に実験値と計算値は対応する結果であった。したがって、本実験の範囲のスラブ形状・配筋、応力状態においては、長期載荷が構造性能へ及ぼす影響は小さいといえる。

4. まとめ

1 種軽量コンクリートおよび普通コンクリートを使用したフルプレキャストの長スパンボイドスラブに対する長期載荷実験および短期載荷実験を実施し、以下の結論を得た。

- 1) 約900日の長期載荷試験を行った結果、500日を経過した後もたわみ量の増加を観察し、最終的には、軽量コンクリートを使用した試験体で約11mm、普通

コンクリートを使用した試験体で約7mmの長期付加たわみ量が生じた。

- 2) 乾燥収縮量は、気温・湿度の影響を大きく受けているものの、既往の評価手法による値と概ね対応する挙動であった。
- 3) 長期たわみ倍率は、約900日の載荷でほぼ収束に近い値となり、軽量コンクリートを使用した試験体で4.0程度、普通コンクリートを使用した試験体で3.5程度となった。両者の差異は、ひび割れによる影響と推測される。
- 4) 引張側の縁応力度を曲げひび割れ発生強度($0.56\sqrt{F_c}$)の80%程度となるように決定した断面のスラブにおいて、長期たわみ量は、RC規準の「弾性」を想定した算出手法を用いて概ね評価できる。
- 5) 長期載荷後に曲げ試験を行った結果、本実験の範囲のスラブ形状・配筋、応力状態においては、長期載荷が構造性能へ及ぼす影響は小さい。

謝辞

本研究の実施にあたり、東京理科大学 松崎育弘名誉教授にご助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) たとえば、椎名国雄,矢野瑞徳：鉄筋コンクリートスラブの長期たわみに関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.41~42, 1969.9 など
- 2) たとえば、時田伸二,荒川総一郎,法量良二,小堀隆治,ほか：バリアフリー対応型ボイドスラブに関する実験研究 その5長期たわみ実験概要と結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.339~340, 1999.9
- 3) たとえば、上田忠男,原誠,山本正幸,岡本晴彦,平出亨：プレストレスの導入されたプレキャスト板を用いたスパン10mの合成スラブの長期たわみ性状に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1071~1072, 1992.8, など
- 4) たとえば、松崎育弘,畑野筆,田中久雄：鉄筋コンクリート造床スラブの長期たわみに関する実験的研究(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1571~1572, 1979.9
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造構造計算規準・同解説, 2010
- 6) 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, 1998
- 7) CEB-FIP：CEB-FIP MODEL CODE 1990,1991.7