

[68] 載荷材令の異なる一方向スラブの長期たわみ実験

正会員 山本俊彦 (東急建設技術研究所)

1 はじめに

鉄筋コンクリート造スラブは、通常の施工法によれば、いわゆる「施工荷重」を受ける。スラブの負担荷重は自重のほぼ2倍に達する¹⁾。比較的設計荷重の小さい住居用建物等では、設計荷重を越える場合も少ない。そしてこの荷重は、コンクリートが4週強度に達する前に、スラブに作用する。ところが、この様な若材令時にかかる施工荷重の影響については、現在までのところ、十分解明されているとは言えない。

このため、ここでは、両端拘束一方向帯スラブ試験体を用いて、施工荷重が及ぼすスラブの長期性状への影響を明らかにしようとするものである。実験は、載荷時材令の違い、施工荷重の有無、スパンの大小等によるスラブの長期たわみへの影響を調べることを目的とした。

2 実験概要

2.1 試験体

試験体の形状、寸法を図1に示した。試験体は、両端拘束一方向帯スラブで、S1～S7の主筋は、異形鉄筋、S8、S9は普通丸鋼である。内のり有効スパンは、S1～S5が3.6m、S6～S9が5.0mである。コンクリートの打設は、S1～S7とS8、S9で時期が異なっている。

2.2 使用材料

表1に鉄筋の機械的性質を、表2にコンクリートの調査を示した。表3に実験終了後材令638日でS1～S7のスラブから抜き取ったコンクリートコアによる試験結果を示した。 σ_c の平均値は22.9MPaで、各試験体間での差は余りなかった。表4に、コンクリートの各材令での実験室内養生供試体(10^φ×20cm)による σ_c 、 ϵ_c および曲げ強度 σ_b を示した。

2.3 実験室の温度および湿度

実験は、仮設建物内で行なったので、温度および湿度は、外気の影響を受けた。各試験体は、コンクリート打設後、実験室内で空中放置した。但し、型枠は、支保工解体時までそのままとした。

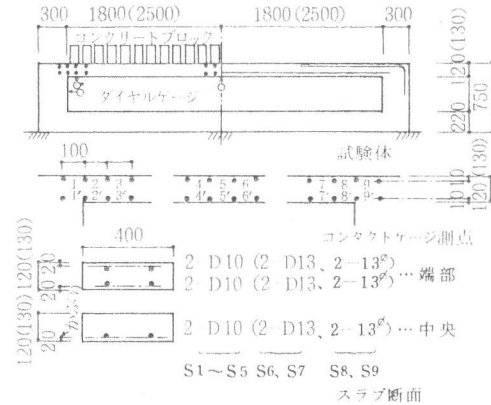


図1 試験体

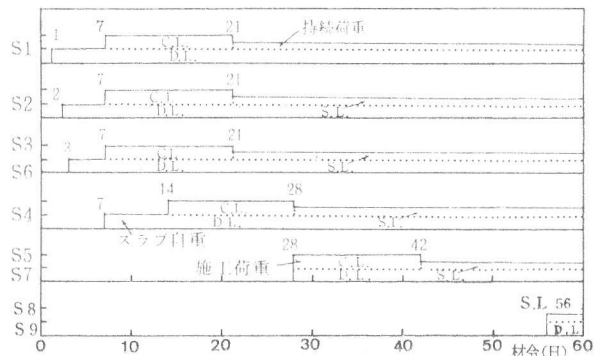


図2 荷重条件

表1 鉄筋の機械的性質

直径 mm	形状	降伏点 MPa	引張強度 MPa	試験体
10	異形	375	547	S1 ~ S5
13	"	382	549	S6, S7
13	丸鋼	345	492	S8, S9

表2 コンクリートの調査

セメント kg/m ³	細骨材 kg/m ³	粗骨材 kg/m ³	水 kg/m ³	試験体
293	845	1012	170	S1 ~ S7
297	845	999	178	S8, S9

表3 抜取コア試験結果

試験体	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	平均
σ_c [MPa]	20.2	22.0	22.7	22.7	24.4	24.6	23.6	22.9
ϵ_c [GPa]	19.4	17.3	22.2	18.8	20.6	21.5	23.7	20.5

2.4 荷重条件

試験体にかかる荷重を、図2に示した。スラブ支保工の解体は、コンクリート打設後、S1は1日、S2は2日、S3、S6は3日、S4は7日、S5、S7は28日で行なった。S8、S9は56日で解体した。

施工荷重は、実測データを基に、スラブの負担する荷重を自重の2倍とした。S1～S7は、2週間の施工荷重を作用させたのち、持続荷重として、自重の1/2を引続き載荷した。S8、S9は、施工荷重を作用させず、材令56日に支保工を解体し、自重の1/2の持続荷重を作用させた。

2.5 測定方法

測定は、スラブの中央のたわみ、軸方向の伸縮をダイヤルゲージにより測定した。スラブの圧縮側および引張側のコンクリートの歪は、コンタクトゲージにより測定した。また、スラブの固有振動数についても各材令で測定した。

3 試験体の弾性的性質

FEMにより、試験体の弾性計算を行なった。図3に計算モデルを、表4に計算結果を示した。応力状態は、両端固定としたスラブとやや異なるが、梁で支持されたスラブとほとんど同じである。また、拘束端部の内側への回転によるたわみの増加の割合は、全たわみの5%程度で小さい。

曲げひび割れの発生については、表4、表5および図2の荷重条件から、S6、S7は施工荷重の載荷によって曲げひび割れが発生するが、他は曲げひび割れは生じないと想定した。

4 実験結果

4.1 コンクリートの乾燥収縮

図4にコンクリートの乾燥収縮を示した。10×10×40cmの角柱を実験室内に空中放置して測定した。S1～S7のコンクリートは、材令1日から、S8、S9のコンクリートは材令35日から乾燥を始めた。材令300日以降で、 800×10^{-6} 前後の収縮ひずみを示した。

4.2 たわみ

表6にたわみの一覧表を示した。図6にスラブの長期たわみを、図5には、支保工解体時、施工荷重載荷時および持続荷重載荷時(S8、S9)のスラブの弾性たわみを示した。

スラブの弾性たわみは、表4に示す E_c に比例してお

表4 コンクリートの性質

S1～S7材令(日)	1	2	3	7	14	28	91
σ_c [MPa]	3.59	7.39	10.8	14.7	19.4	21.7	22.1
E_c [GPa]	11.2	17.0	19.5	21.7	22.6	22.8	21.8
σ_b [MPa]	1.06	1.52	1.84	2.15	2.47	2.61	2.63

S8 S9 材令(日)	28	56	183	377	756
σ_c [MPa]	23.2	30.0	27.9	26.8	27.8
E_c [GPa]	24.8	23.7	19.7	23.0	23.0
σ_b [MPa]	2.70	3.07	2.96	2.90	2.95

曲げ強度 σ_b は $\sigma_b = 0.56\sqrt{\sigma_c}$ として計算で求めた

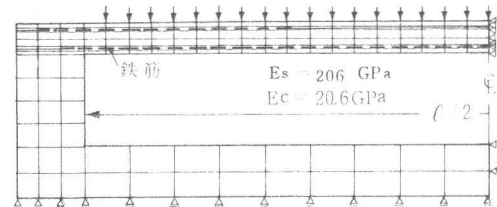


図3 計算モデル

表5 試験体の応力とたわみ〔計算値〕

荷重条件	試験体	スラブ中央たわみ (mm)	縁 応 力 [MPa]			
			端 部		中 央 部	
			上 端	下 端	上 端	下 端
施工荷重	S1～S5	0.945	1.97	-2.78	-1.43	1.22
	S6, S7	2.86	3.54	5.00	-2.47	2.09
持続荷重	S1～S5	0.716	1.48	-2.09	-1.07	0.915
	S6～S9	2.15	2.66	-3.75	-1.85	1.57

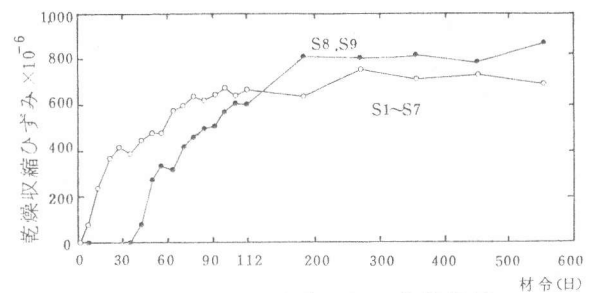


図4 コンクリートの乾燥収縮

表6 たわみ一覧表〔mm〕

試験体	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
支保工解体時	0.93	0.56	0.47	0.44	0.38	1.47	1.20	1.21	0.98
施工荷重載荷時	2.23	1.78	1.49	2.05	0.91	7.52	5.23	—	—
持続荷重載荷時	4.24	3.71	3.66	3.27	1.99	14.24	9.68	2.25	1.95
材令 91日	5.47	5.09	5.18	4.65	3.62	18.72	13.88	7.06	5.74
” 183日	6.32	6.05	6.22	5.57	4.56	21.74	16.92	13.91	12.63
” 365日	7.32	7.00	7.30	6.42	5.46	24.29	19.47	22.19	19.38
” 548日	7.55	7.29	7.60	6.61	5.69	25.28	20.41	25.99	22.82
戻り量	1	0.24	0.25	0.25	0.24	1.09	1.03	—	—
	2	0.27	0.27	—	—	—	1.21	1.23	—

※1: 1/2 施工荷重除荷時、2: 持続荷重除荷時(終了時)

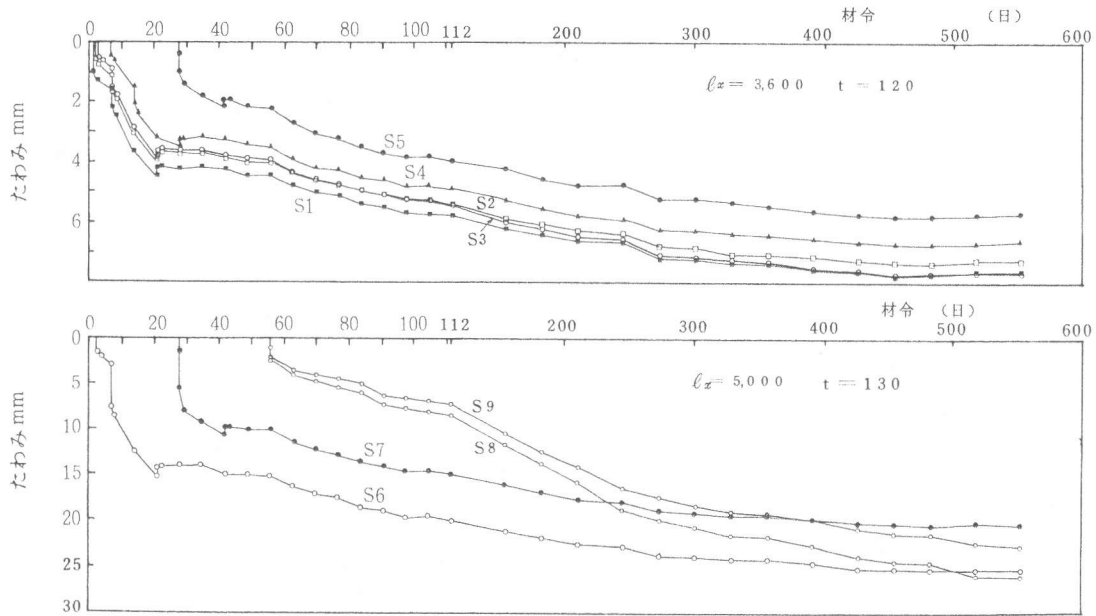


図5 スラブの長期たわみ

り、材令3日以降で計算値にはほぼ等しくなる。S1～S5は、支保工解時および施工荷重載荷時に曲げひび割れの発生はなかった。S6、S7は、施工荷重の載荷により、端部上端・中央下端にそれぞれ曲げひび割れが発生し、計算値に比して大きなたわみが生じた。ひび割れを考慮したスラブの等価剛性をACIによる式³⁾により求め、たわみを計算し比較すると、S7の実測値5.23 mmに対し計算値は4.85 mmとなった。S8、S9は、持続荷重によるひび割れの発生は見られなかった。しかし、その後全ての試験体で乾燥収縮によりひび割れが発生した。

スラブの長期たわみは、施工荷重を受けている期間は、たわみの増大が大きいが、その後持続荷重に移行したあとは、たわみの増加は少なくなる。載荷材令による初期のたわみ量には違いがあるが、その後のたわみの増加は、S3、S8、S9を除いて同一スパンの試験体ではほとんど違わなくなる。表7にクリープたわみの一覧表を示した。材令548日での各試験体でのクリープたわみを、下式により求め(記号表7)、

$$\delta_{cp} = \delta_{e48} - (\delta_e + \delta_{sh}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

δ_e : 表6の戻り量2のたわみ及びCEB⁴⁾による遅れ弾性たわみ

δ_{sh} : ACI式³⁾による。収縮量はS1とS6の実測値

CEB⁴⁾による載荷材令を考慮したクリープ係数と比較した。材令28日で載荷したものを1.00として比較すると、S8、S9を除いて実測値の方が、CEB計算値

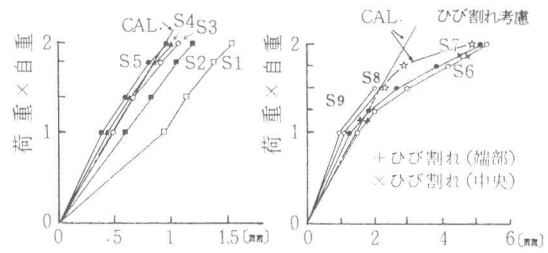


図6 スラブの弾性たわみ

表7 クリープたわみ一覧表 [mm]

δ_{e48} (材令548日たわみ)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
δ_e 弾性(含遅れ)たわみ	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	5.08	5.08	5.17	5.17
δ_{sh} 乾燥収縮たわみ	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86
δ_{cp} クリープたわみ	5.57	5.31	5.65	4.63	3.71	19.35	14.48	19.97	16.80
同比(対28日載荷)	1.50	1.43	1.52	1.25	1.00	1.34	1.00	1.38	1.16
クリープ係数比(CEB)	1.65	1.59	1.53	1.35	1.00	1.53	1.00	0.70	0.70
ϕ 基本クリープ係数	5.54	5.48	6.05	5.57	6.09	4.68	5.35	10.4	8.78

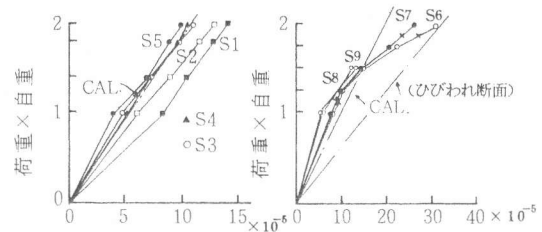


図7 スラブの弾性ひずみ(端部圧縮縁)

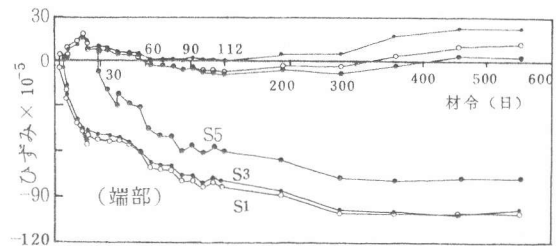


図8 スラブの長期ひずみ(S1, S3, S5)

より低い値を示した。基本クリープ係数は、S1～S7の平均で5.5となった。一方、主筋が丸鋼のS8、S9では、平均で9.6と大きな値を示した。

4.3 ひずみ

図7にスラブの端部圧縮縁の弾性ひずみを示した。コンタクトゲージの測点2'と8'の平均ひずみから直線補間により圧縮縁ひずみを求めた。たわみと同様、スラブの圧縮縁ひずみも E_c に比例するが、曲げひび割れの発生した、S6・S7では、ひずみは、ひび割れ断面として計算した値に近い値を示した。

図8、図9にスラブの長期ひずみを示した。引張側は測点1～3及び7～9の平均を、圧縮側は2'と8'の平均を示した。S1～S5では、施工荷重によって曲げひび割れは発生しなかったが、その後の乾燥収縮によってスラブ端部引張側にひび割れが生じた。しかし、引張側のひずみの増大は少ない。圧縮側は、クリープと乾燥収縮によってひずみはかなり増大し、S1では 1000×10^{-6} 程度となった。圧縮側のひずみの増大割合は、初期のひずみ量の差を除けば、長期的には各試験体ともほとんど同じ量だけ変化し、たわみの変化と関連している。なお、S3の引張側ひずみがやや大きくなっているが、これはS3のたわみが、他より若干大きくなっている原因の1つと考えられる。

S6、S7では、曲げひび割れが生じたため、引張側のひずみは大きな値を示し、S6で 2000×10^{-6} 程度となった。S8、S9では、コンクリートの乾燥収縮に伴って発生した端部引張側のひび割れ巾の材令の増加に伴う拡大が著しく、S8で 2100×10^{-6} 程度のひずみを生じた。また、圧縮側のひずみも大きく増大する。これらのひずみの変化は、S1～S5と同様、たわみの変化と密接に関連している。

4.4 スラブの固有振動数

表8にスラブの固有振動数の変化を示した。材令の増加に伴って振動数は低下する傾向を示す。これは乾燥収縮によるひび割れの進展、コンクリートの静弾性係数の変化等によるものと考えられる。しかし、同一スパンの試験体では、載荷材令に関係なく、ほとんど同じ値を示した。

参考文献

- 1) 山本、高橋、小柳：型わく支保工の存置期間に関する研究-6-建築学会大会 昭和57年9月
- 2) 山本：鉄筋コンクリート造床板の長期たわみに関する実験(その3) 建築学会大会 昭和54年9月
- 3) ACI Committee 435:ACI journal, June 1978
- 4) CEB/FIP:Recommandation Internationales pour le Calcul et L'exécutions des Ouvrages en Béton, 1978

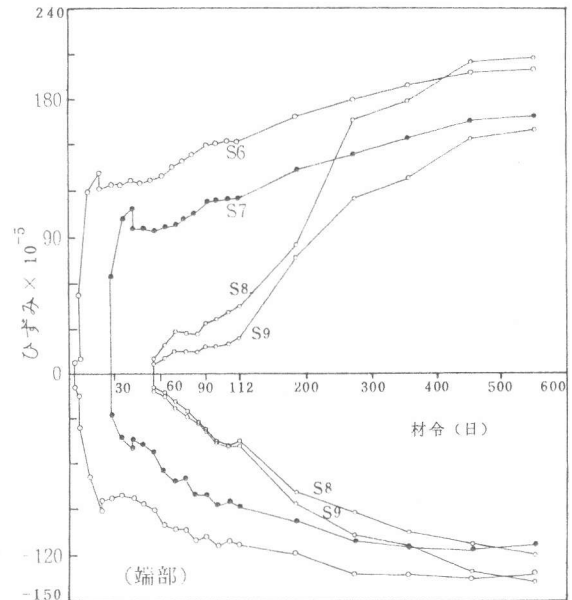


図9 スラブの長期ひずみ(S6～S9)

表8 スラブの固有振動数[H_z]

試験体	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
持続荷重開始時	21.2	21.5	21.5	21.5	22.0	11.0	11.2	12.9	13.6
材令 183日	21.2	21.5	21.2	21.5	21.5	10.5	10.8	10.8	11.1
365日	20.5	20.8	20.5	20.8	20.5	10.0	10.5	10.6	10.8
548日	20.5	20.5	20.3	20.8	20.3	9.77	10.3	10.2	10.5

注) 図3モデルによる計算値20.9 Hz (S1～S5) 11.9 Hz (S6～S9)

5 まとめ

(1) 若材令時に施工荷重を受けたスラブは、材令28日から荷重を受けたものに比して、長期たわみは大きくなるが、その後の持続荷重載荷後のたわみの増加は、載荷時材令に関係なくほとんど同じになる。

(2) スラブの長期たわみは、載荷時材令を考慮したクリープ係数(CEB)によって、おおよそあらわすことができる。この場合、スラブの長期的な剛性低下を把握する必要がある。

(3) 丸鋼スラブの場合、上記(1)、(2)は当てはまらず長期たわみは異形鉄筋スラブより増大する。これは、端部のひずみの増大による影響も大きいと考えられ、鉄筋の付着性能を含めた検討が必要と考えられる。