

# [161] 鉄筋コンクリート一方向床スラブの載荷直後の 曲げ性状について

正会員 ○岩原昭次 (熊本工業大学工学部)  
嘉戸通幸 (熊本工業大学工学部)

## 1. はじめに

載荷によってひびわれを生じる床スラブのような板厚が薄い曲げ部材で、長期にわたって持続載荷を受ける場合、クリープ及び乾燥収縮が終局状態に達するまで、その経時たわみは載荷直後から著しく増大する様相を示す。また、通常の梁せいを有するRC曲げ部材の場合とは異なり、引張鉄筋の経時歪もかなり増大する場合が多い。このため、長期たわみを「<sup>(\*)1</sup>長期たわみ=瞬時たわみ+長期付加たわみ<sup>(\*)2</sup>」で表わされるとし、これを実験によって検討する際、瞬時たわみと長期付加たわみとを明瞭に区別できないのが実状であり、またこのことは鉄筋の経時歪についてもあてはまる。

本研究は床スラブの長期予測に関する基礎的研究として、持続載荷における瞬時たわみ及び瞬時鉄筋歪の位置付けを明らかにすることを目的に、次の2点に着目した持続載荷実験(測定時間約1日)を行い、その結果と考察をまとめたものである。① 曲げひびわれを生じる場合と生じない場合とのたわみと鉄筋歪の経時変化 ② 端部鉄筋の有効せいの相違によるたわみの経時変化

なお、材料上のひびわれ防止対策として有効性が認められている膨張コンクリート使用の床スラブについても、普通コンクリート使用の場合との長期性状の相違を検討する目的で測定を行ったので、その持続載荷初期の性状もあわせて報告する。

## 2. 実験方法概要

2-1 試験体 試験体は両端固定鉄筋コンクリート造一方向床スラブで支点間距離は360cm、スラブせい13cm(目標値)、幅45cmである。普通コンクリートを使用したもの4体(SNシリーズ)と膨張コンクリートを使用したもの2体(SXシリーズ)の合計6体である。

形状及び配筋を図1に、要因別一覧を表1に示す。

載荷程度として床スラブ両端部で曲げひびわれをおこし中央部では生じないことを想定して固定端で曲げモーメントが $\frac{1}{2}(M_c+M_y)$ 以下となるものと、スラブにひびわれが発生しないように $\frac{1}{2}M_c$ となるものの2形式の等分布載荷を目標とし

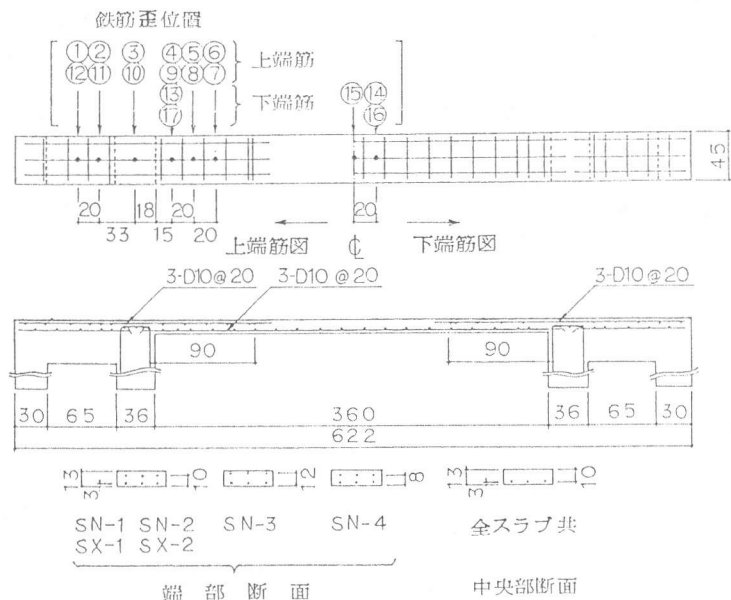


図1 試験体形状及び配筋図 (寸法単位: cm)

表1 要因別による試験体の種類

スラブ名	有効せいで(端部) d (cm)	最大曲げモーメント(端部) M <sub>max</sub> (t.m)	膨張剤使用の有無	長期変形要因
SN-1	10	$\frac{1}{2}(M_c+M_y)$	無	クリープ + 乾燥収縮
SN-2	10	$\frac{1}{2}M_c$		
SN-3	12	$\frac{1}{2}(M_c+M_y)$		
SN-4	8	$\frac{1}{2}(M_c+M_y)$		
SX-1	10	$\frac{1}{2}(M_c+M_y)$	有	
SX-2	10	$\frac{1}{2}M_c$		
SN-0	10	0	無	乾燥収縮
SX-0	10	0		

M<sub>c</sub>: ひびわれモーメント  
M<sub>y</sub>: 端部での降伏モーメント

表2 試験体の実寸法及び実荷重

試験体名	内のり長さ l (cm)	全せい h (cm)	鉄筋断面積(c㎡)	上筋筋 かぶり厚 (cm)		下筋筋 かぶり厚 (cm)		有効せい (cm) 中央部 端部	全荷重 W(t/m)
				中央部	端部	中央部	端部		
SN-1	360	21.4	2.14	3.7	3.7	10.0	10	0.430	
SN-2				3.5	3.6	9.9	10	0.168	
SN-3				1.5	3.1	10.4	12	0.429	
SN-4				5.3	3.2	10.1	8	0.427	
SX-1				3.4	3.6	10.0	10	0.426	
SX-2				3.6	3.6	10.0	10	0.170	

(注) 鉄筋断面積: 梁中央部下筋筋、端部上筋筋、端部下筋筋共通  
かぶり厚: 鉄筋中心までの距離

た。但し、実際の積載はコンクリート製のインゴットを用い、10等分9点集中載荷とした。

なお、試験体の実寸法及び載荷荷重（自重を含む）はコンクリート打設後に測定した結果、表2のようになった。他に、普通コンクリート及び膨張コンクリートを使用した床スラブの乾燥収縮歪を測定するためのダミースラブの支持は4点ローラとした。

表3 コンクリート材料

2-2 使用材料及び性質 表3~表6に示す。

2-3 測定項目及びその測定方法 測定の主な項目は次の通りである。

- ①テストピース (Φ15cm×30cm) による乾燥収縮歪、長期歪 (クリープ+乾燥収縮)
- ②ダミースラブの乾燥収縮歪
- ③スラブ中央部の長期たわみ
- ④スラブ中央部及び両端部の鉄筋歪 (ワイヤーストレインゲージ貼付け位置は図1)。

セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	製品砂(横川産 最大寸法5mm)
粗骨材	砕石(鹿北産 最大寸法20mm)
水	地下水
その他	AE 減水剤(チューポールE) 膨張剤(エクспан)

表4 コンクリート配合

種別	水セメント比 (%)	指定空隙率 (cm <sup>3</sup> )	空気量 (%)	粗骨材率 (%)	単位水量	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤	膨張剤
					(kg/cm <sup>3</sup> )	(kg/cm <sup>3</sup> )	(kg/cm <sup>3</sup> )	(kg/cm <sup>3</sup> )	(kg/cm <sup>3</sup> )	(kg/cm <sup>3</sup> )
普通コンクリート	59	18	4	50.3	191	324	871	993	0.324	-
膨張コンクリート	59	18	4	50.3	191	294	871	993	0.324	3.0

①については普通コンクリート用 (TN-N、TN-Y) 及び膨張コンクリート用 (TX-N、TX-Y) 各々2体ずつ計4体作成した。このうちTN-YとTX-Yテストピースは長期歪を測定するためスプリング式圧縮クリープ試験機を用いた。TN-NとTX-Nは乾燥収縮歪を測定するため放置した。①に対してはテストピースの内部の中心部に材軸方向に、②に対してはスラブ上面中央点から深さ6.5cmの位置に埋込み型歪ゲージを埋込むことにより歪測定を行った。③については床スラブ下面中央部に電動式変位計を当てた。

表5 コンクリートの性質

種別	4週圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	標準水中養生圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kg/cm <sup>2</sup> )	割裂強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	最大歪 (%)	所要スラブ厚 (cm)
普通コンクリート	204	226	2.32×10 <sup>7</sup>	18.6	0.189	19.5
膨張コンクリート	225	-	2.41×10 <sup>7</sup>	16.6	0.183	20.0

表6 鉄筋の性質

種別	品質	直径 (cm)	断面積 (cm <sup>2</sup> )	公称強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	降伏点歪 (%)	ヤング係数 (kg/cm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
D-10	SD30	0.953	0.71	3577	5066	0.193	1.85×10 <sup>7</sup>	19.21

2-4 試験体の養生と脱型 昭和58年9月19日(気温25度、湿度77%)にコンクリートを打設し、その後材令18

日間は1日2回散水をして、常にぬらしている布等でコンクリート露出面をおおい湿潤状態を保つようにすると共に、更に試験体全体をシートでかぶせ日よけや風よけを設けた。ダミースラブ及びテストピースの養生期間及び養生方法もこれに同一とした。試験体の型枠の取りはずしは材令22日で行ったが、底板と支柱は実験開始時に撤去するものとした。なお、試験体は屋根をビニール波板で張った仮設建物内に設置されており、外気の温湿度の影響を受ける。

2-5 載荷方法 材令30日(同年10月19日、気温18度、湿度88%)に実験を開始した。最初に支柱及び底板を撤去して自重によるたわみ及び鉄筋歪を測定した。その後SN-2及びSX-2スラブは載荷点9点に各々約9Kgのコンクリート製インゴットを一段だけ載せ、他の各スラブに対しては約29kgのものを一段ずつ合計4段まで逐次加増した。

3. 実験結果と考察

3-1 コンクリートの長期歪と乾燥収縮歪

図2に打設直後から材令42日までのダミースラブのコンクリート経時歪を示す。SN-0及びSX-0の載荷時材令(30日)の歪は各々 $-0.6 \times 10^{-4}$ 及び $1.2 \times 10^{-4}$ であった。

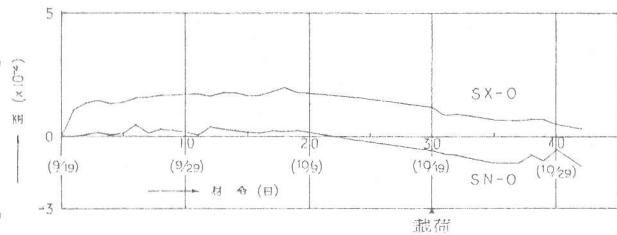


図2 ダミースラブの乾燥収縮歪の経日変化

図3にテストピースTN-YとTX-Yの経過時間約20時間までの経時歪結果を示す。圧縮載荷荷重は12tとした。載荷終了から62分及び20時間後のコンクリート歪の値は載荷直後の値のに対し2本共それぞれ約1.1倍及び1.4倍であった。

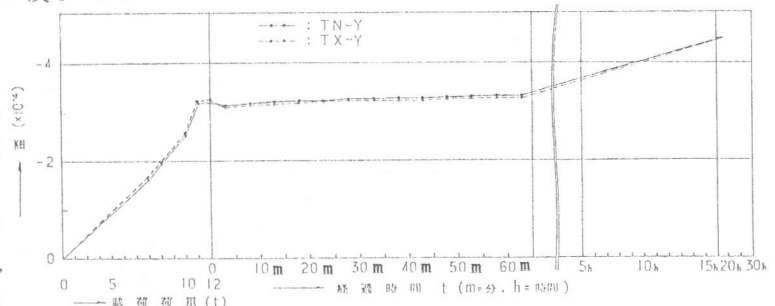


図3 コンクリート歪の経時変化 (テストピース)

3-2 載荷に伴うひびわれ発生状況

SN-1、SN-3及びSX-1の各スラブに対し通常の初等計算にもとずき、載荷によって両端上端部分にひびわれ発生を許すが、中央部下

端部分には発生しないような負荷状態としたが、実際にはSN-1、SN-3及びSN-4の3体は第3段目のインゴット載荷直後に端部上端部分に、更に第4段目のインゴット載荷直後に中央部下端部分にひびわれが発生した。SX-1は第4段目のインゴット載荷直後に端部上端部分にひびわれが発生したが、載荷後約50日すぎた時点で中央部下端部分に目視できる程度のひびわれを発見した。載荷後12日でのスラブ上面と下面のひびわれ図を図4に示す。

3-3 たわみの経時変化 図5に各スラブのたわみの経時変化を示す。図中点A及びA'はそれぞれスラブを支えている支保工の撤去直後及びスラブ底板をはずした直後の測定時を表わす。この両点における値はスラブ自重によるたわみを示す。点B<sub>1</sub>~B<sub>4</sub>の各たわみ値はそれぞれインゴットの第1段載荷直後~第4段載荷直後の測定値を表わす。但し、SN-2及びSX-2は点B<sub>1</sub>で載荷終了であるが、その後も他のスラブの載荷時点に合わせて測定してある。経過時間は点B<sub>4</sub>を0として60分までは分(m)単位で後時間(h)単位で表わした。支保工及びスラブ底板撤去の際若干の不手際があり、SN-2スラブ以外測定が正確に行われなかった。しかしながら、SN-2スラブの自重によるたわみの計算値(0.29mm)が測定値(0.29mm)と一致すること及び他の各スラブのたわみ計算値と近似することにより、他のスラブの実験値もSN-2スラブのそれに近似すると判断し、他のスラブのたわみの経時変化はSN-2スラブの支保工撤去直後のたわみ測定値を加算して描いた。

図中、一点鎖線は(自重+積載荷重)による各スラブの瞬時たわみ計算値 $\delta_i$ である。SN-2とSX-2スラブは弾性変形計算に、他のスラブはACI規準に準じた計算にもとづく。但し、SX-1スラブのたわみ計算に対しケミカルプレストレスを考慮していない。計算に用いた諸寸法は表2の値である。

表7に瞬時たわみ計算値と載荷後の経時たわみの測定値を示す。

図5と表7とから次のことが言えよう。ひびわれを生じている普通コンクリート造スラブ(SN-1、SN-3及びSN-4)の載荷直後のたわみ測定値の瞬時たわみ計算値に対する比 $\delta_0/\delta_i$ は0.8~1.0の範囲であり、ACI規準による計算値と比較的良く近似する。ひびわれを生じていない場合(SN-2、SX-2)、 $\delta_0/\delta_i$ は約1.1であり、普通コンクリート・膨張コンクリートの使用種別に関係なく弾性たわみ計算値に近似する。ひびわれを生じている膨張コンクリート造スラブ(SX-1)の $\delta_0/\delta_i$ は6割程度を示すにすぎないが、これはACI規準によるたわみ計算式中のひびわれモーメント $M_{cr}$ の算出に対し、支持端及び鉄筋の拘束によって生じるケミカルプレストレスを考慮していないためと考えられる。

載荷直後のたわみ測定値に対する経時たわみの増大率は全体的に、載荷後約1時間で約1.1~1.3倍、載荷後約1日で約1.2~1.5倍であり、この増大率は図3の経時歪のそれに略々近似するとみなされよう。また、この増大率について、ひびわれを生じている場合と生じていない場合の差異、端部鉄筋の有効せいの相違及び普通コンクリートと膨張コンクリート使用との差異に顕著な相違がみられない。

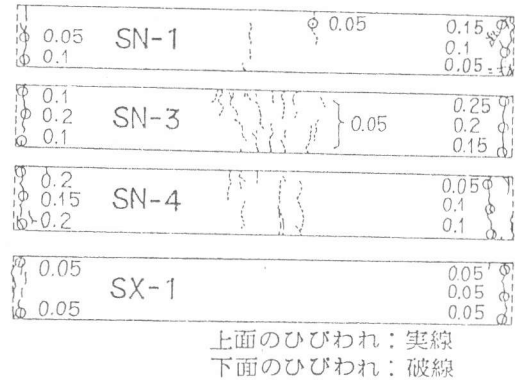


図4 ひびわれ図 (単位: mm)

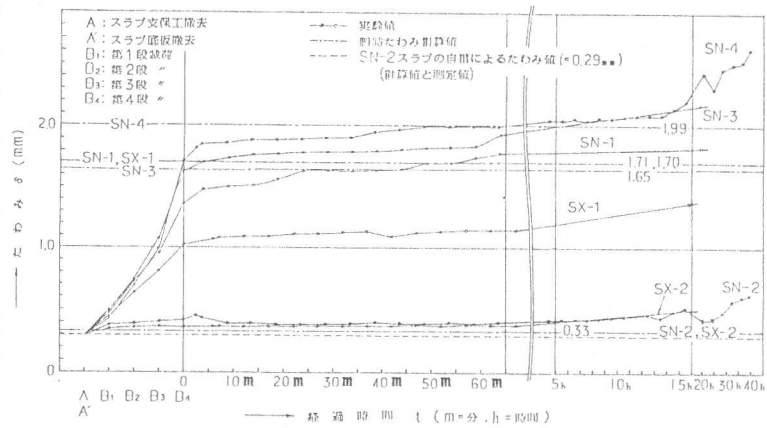


図5 スラブ中央点たわみの経時変化

表7 瞬時たわみ計算値と経時たわみ測定値

スラブ名	$\delta_i$ (mm)	$\delta_0$ (mm)	$\delta_1$ (mm)	$\delta_2$ (mm)	$\delta_3$ (mm)
SN-1	1.70	1.56 (0.80)	1.48 (1.09)	1.78 (1.28)	1.83 (1.35)
SN-2	0.33	0.37 (1.12)	0.40 (1.08)	0.40 (1.08)	0.43 (1.16)
SN-3	1.65	1.63 (0.99)	1.70 (1.04)	1.82 (1.12)	2.18 (1.34)
SN-4	1.99	1.71 (0.86)	1.86 (1.09)	1.99 (1.16)	2.29 (1.34)
SX-1	1.71	1.02 (0.60)	1.07 (1.05)	1.14 (1.12)	1.38 (1.35)
SX-2	0.31	0.35 (1.13)	0.37 (1.06)	0.38 (1.09)	0.51 (1.46)

(注)  $\delta_i$ : 載荷直後  
 $\delta_0$ : 瞬時たわみ計算値  
 $\delta_1$ : 載荷後4分~9分  
 $\delta_2$ : 載荷後約1時間  
 $\delta_3$ : 載荷後約1日

3-4 鉄筋歪の経時変化 図

6と図7に各スラブの端部及び中央部鉄筋の経時歪を示す。図中の点A、A'及び点B<sub>1</sub>~B<sub>4</sub>の測定位置及び経過時刻の表示方法は図5の場合と同様である。端部上端筋の歪として鉄筋歪ゲージ位置(図1)点④と⑨の平均値、端部下端筋の歪として点⑬と⑰の平均値で、また中央部下端筋の歪に対して点⑮での値で示してある。SN-2以外の鉄筋の経時歪は各スラブの支保工及びスラブ底板撤去後の測定値にSN-2の支保工及びスラブ底板撤去後の測定値を加算したものである。この理由は経時たわみの場合と略々同様である。

図6と図7とから次のことがいえよう。ひびわれを生じていないスラブ、及び生じているスラブでもひびわれが存在していない部分の鉄筋歪は載荷後1時間の測定範囲内では略々一定である。普通コンクリート使用でひびわれを生じるスラブの場合(SN-1とSN-3)、最初にひびわれが入った部分、即ち固定端上部

の引張鉄筋歪は載荷直後から徐々に伸び、1時間経過後に載荷直後の値の約1.3~1.4倍に達し、また第4段載荷直後にひびわれが入った中央部下端部分の鉄筋歪は1時間後に載荷直後の値の約1.0~1.2倍となる。このことから固定端にひびわれが入った場合、その位置にある引張鉄筋の経時歪の方が他の位置にあるものより載荷直後からより増大する傾向にあることがうかがえる。この増大する要因として、図3のテストピースの増大よりも大きいことから、クリープと乾燥収縮よりもむしろひびわれが入ったことによる剛性の逐次的な低下とそれに伴う応力再配分の変動が考えられよう。

なお、膨張コンクリート使用のスラブの場合(SX-1)、ひびわれが入っている端部上端部分の鉄筋歪は約1日経過してもほとんど変動がなかった。

SN-4スラブの鉄筋の経時歪については測定値の変動が激しく信頼できないので除いた。

4. まとめ

以上の実験結果の考察をまとめると次のようになる

- (1) 載荷直後あるいは載荷後約10分内のたわみは実用上瞬時たわみとみなしてよい。
- (2) 普通コンクリート造で、ひびわれを生じている一方向床スラブの瞬時たわみはACI規準に準じた変形計算で近似することができる。
- (3) ひびわれを生じていないスラブの、あるいはひびわれを生じていない位置にある鉄筋歪は載荷後1時間の測定範囲内ではほとんど変動しない。
- (4) ひびわれを生じている固定端位置にある引張鉄筋歪が載荷後短時間のうちに増大する場合、この原因としてクリープ及び乾燥収縮以外の要因が大きく関係する。

[謝辞] 本実験を行うにあたり、小野田セメントK・K 岩根孝昭氏の協力と同中央研究所神保和己氏の助言をいただき、厚く感謝致します

[参考文献] (文1) 例えば、松崎育弘他「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)」、鹿島建設技術研究所年報第27号、昭和54年 6月 (文2) 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(1982)」P.135 (文3) C.G Salmon, A.Fattah & Saeed Mirza「Coputation of Deflection for Beams and One-Way Slabs」sp43-2. p.15~p.53. 1974

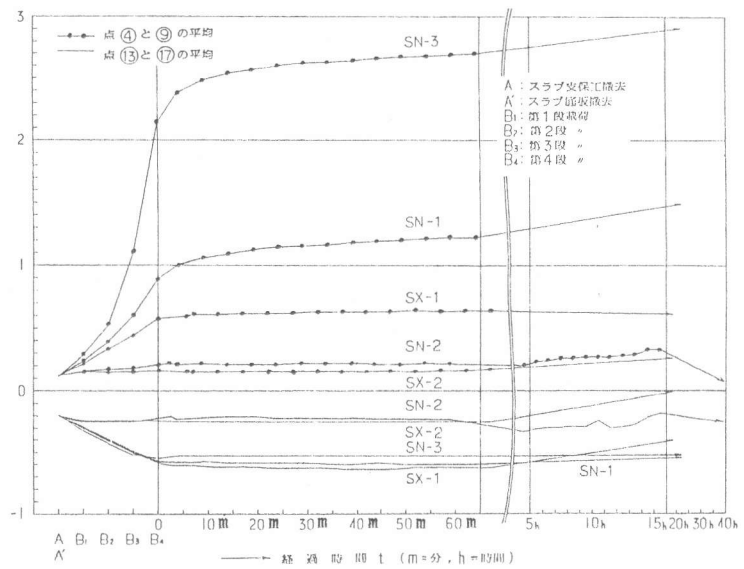


図6 端部鉄筋歪の経時変化

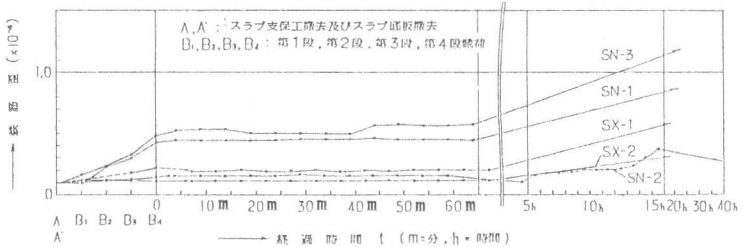


図7 中央部鉄筋歪の経時変化