

[160] RC 造床スラブの有効丈の違いによる長期曲げ性状について

正会員 岩原 昭次 (熊本工業大学)

§ 1. はじめに

鉄筋コンクリート造 (RC 造と略す) 床スラブの長期曲げ性状に影響を及ぼす力学的要因として、コンクリートのクリープと収縮、荷重レベル、有効丈、引張鉄筋と圧縮鉄筋との比率、付着抵抗及び支持端の拘束度等があげられる。本研究は、これら諸要因のうち、引張鉄筋の有効丈がひびわれを生じているスラブの長期曲げ性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、等分布持続荷重の単純支持一方向スラブの実験結果とその検討をまとめたものである。なお、荷重によるひびわれ発生の有無による長期曲げ性状の違いについても実験を行ったので合わせて報告する。

§ 2. 実験概要

2-1: 試験体

図1及び表1に示すように、試験体は全部で5体であり、その配筋は引張側単配筋(2D-10)で、全断面に対する鉄筋比 = 0.275% (全試験体とも共通) である。有効丈 d の相違によって試験体は3タイプに分れる。支持条件は、4体が支点間距離300cmの単純支持(図2(a))であり、他の1体が試験体の収縮を測定するための

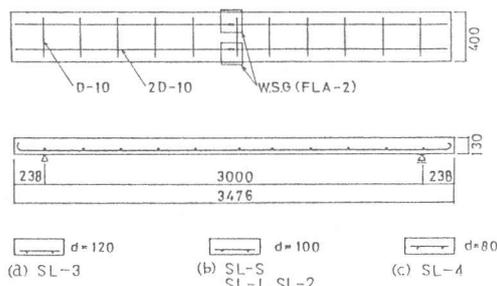


図1 試験体形状及び配筋図

のダミースラブ (SL-S) である。荷重 (自重も含む) 程度として、スラブ中央点の最大曲げモーメント M_{max} が、荷重と同時にひびわれを生じるものとして $M_{max} = \frac{1}{2} \times (M_c + M_y)$ になるものと、荷重ではひびわれを生じないものとして $M_{max} = \frac{1}{2} M_c$ になるものとの2形式とした。荷重は等分布荷重を想定し、コンクリート製のインゴットを用い図3に示すように10等分9点集中荷重とした。この積載荷重と自重とによって生じる最大曲げモーメントは、SL-1、3及び4の各スラブで0.3337tm、SL-2で0.1573tmであり、SL-1の長期設計曲げモーメント $M_d^{(1)} (=0.2503$ tm) に対し、前者は約1.3倍強、後者は約0.6倍強である。

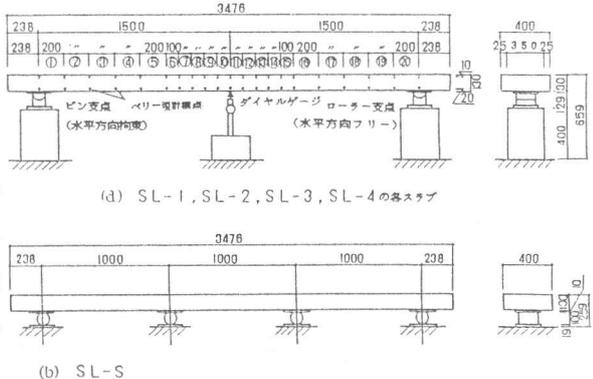


図2 スラブの支持状態

2-2: 測定項目及び測定方法

- ① コンクリートの長期歪
- ② ダミースラブの収縮歪
- ③ スラブ中央点のたわみと鉄筋歪の経時変化
- ④ スラブ側面の曲率、きれつ幅等。

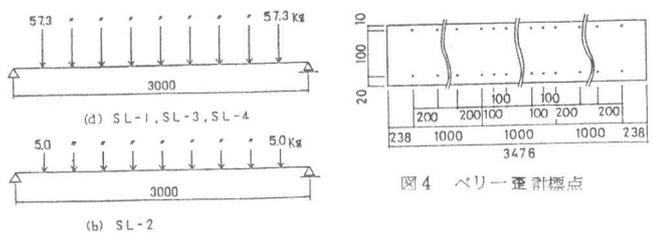


図3 載荷状態

①についてはテストピース (φ15cm×30cm) を2本 (CS及びSHテストピース) 作成し、CSテストピースにはスプリング式圧縮クリープ試験機により $\frac{1}{3} F_c$ (F_c = 圧縮強度) の圧縮持続荷重 (実際には $0.3 \times F_c$ となった) を行いその長期歪を、またSHテストピースは試験体設置位置に放置しその収縮歪を測定した。①と②の測定には、①に対しテストピース中央に、②に対しダミースラブ中央部の上表面から深さ2.5cmの位置に埋込んだ埋

表1 要因別による試験体の種類

スラブ名	M_{max} (tm)	d (cm)	長期性状	目的
SL-S	0	10	乾燥収縮	試験体の乾燥収縮率の測定
SL-1	$\frac{1}{2} M_c$	10	乾燥収縮 + クリープ	ひびわれ等の長期性状の測定
SL-2	$\frac{1}{2} M_c$	10	乾燥収縮 + クリープ	ひびわれが生じていない場合の長期性状の測定
SL-3	$\frac{1}{2} M_y$	12	乾燥収縮 + クリープ	配筋量の相違による長期性状の測定
SL-4	$\frac{1}{2} M_y$	8	乾燥収縮 + クリープ	配筋量の相違による長期性状の測定

M_{max} : 最大モーメント
 M_c, M_y : SL-1のひびわれモーメント、降伏モーメント
 d : 引張鉄筋の有効丈

込み型歪ゲージによった。④については試験体の両側面に図4に示すように2列の標点を設け、ベリ-歪計によって測定した。

2-3: 試験体の養生、脱型及び載荷

コンクリート打設後、材令31日まで1日2回散水し常に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覆い、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と同じとした。試験体の脱型は材令32日で行い、材令35日(昭和57年11月25日)に載荷と共に実験を開始した。なお、試験体は屋外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。

2-4: 使用材料の性質

表2にコンクリートの使用材料を、表3にコンクリート調合を、表4に材令28日でのコンクリートの性質を、図5に圧縮強度 P_c とヤング係数 E_c の経時変化を、また表5に鉄筋の機械的性質を示す。

表2 コンクリート材料

セメント	普通ポルトランド
細骨材	川砂(練川産、最大寸法5mm)
粗骨材	砕石(鹿北産、最大寸法20mm)
水	水道水
その他	FE減水剤(デュ-ポールEX)

表3 コンクリート配合

水セメント比(%)	指定スランジ(%)	空気量(%)	細骨材率(%)	粗骨材率(%)	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤
59	180	4	50.3	191	324	874	993	0.324

表4 コンクリートの性質

4週圧縮強度 P_c (Kg/cm^2)	標準水中養生圧縮強度 P_c (Kg/cm^2)	ヤング係数 E_c (Kg/cm^2)	弾性限度 N_a (Kg/cm^2)	最大歪(%)	所費スラブ cm
278	265	2.96×10^4	24.4	0.178	18.5

表5 鉄筋の性質

種別	品名	直径 cm	断面積 cm^2	降伏強度 Kg/cm^2	引張強度 Kg/cm^2	降伏歪(%)	ヤング係数 Kg/cm^2	伸び率(%)
D-10	SD30	0.953	0.71	3761	5369	0.2088	18.2×10^4	15.74

§ 3. 実験結果とその検討

3-1: コンクリートのクリープと収縮

図6に実験期間中の温度・湿度の経時変化を月平均で示す。

図7に圧縮持続載荷下におけるCSテストピースのクリープ係数 φ_t^* 、 φ_t 及びその回帰式による曲線を示す。 φ_t^* 、 φ_t はそれぞれ見掛けのクリープ係数、真のクリープ係数で次式で表わされるものとする。

$$\varphi_t^* = \text{長期歪} / \text{初期歪} \quad \varphi_t = (\text{長期歪} - \text{収縮歪}) / \text{初期歪}$$

但し、長期歪=クリープと収縮による経時歪。

また、回帰式は次式となり、終局クリープ係数は $\varphi_\infty^* = 8.2(0)$ 、 $\varphi_\infty = 6.71$ と推測される。但し、 t は経過日数である。

$$\varphi_t^* = t / (11.59 + 0.12t), \quad \varphi_t = t / (18.49 + 0.15t) \quad (1. a, b)$$

図8に、載荷時材令を基準としたSHテストピースとダミースラブS L-1、3及び4の収縮歪を示す。同図中の破線はSHテストピースの収縮歪回帰式による曲線であり、 φ_t に比例すると仮定して次式が得られる。

$$\text{コンクリートの収縮歪} = 1.09 \varphi_t \times 10^{-4} \quad (2)$$

3-2: ひびわれの経時変化

図9に各スラブの載荷直後と経過日数788日でのスラブ下面のひびわれ図を、図10には、S L-1、3及び4のひびわれ幅の経時変化を示す。図10中の測定値は、経過日数220日まではスラブ中央位置のベリ-歪計標点区間④での値であり

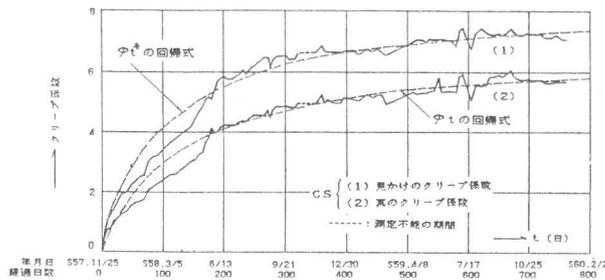


図7 コンクリートのクリープ係数

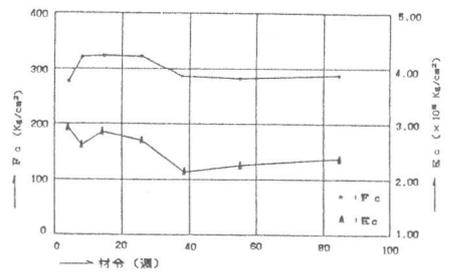


図5 圧縮強度 P_c とヤング係数 E_c

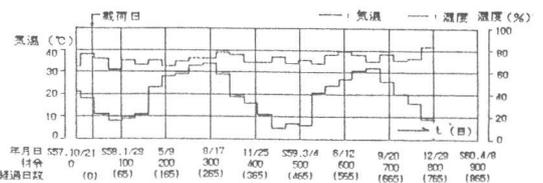


図6 月平均温度・湿度の経時変化

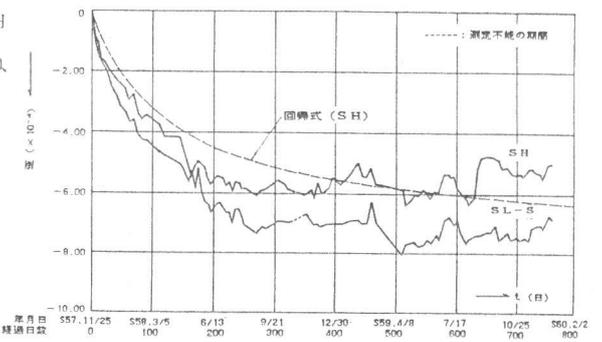


図8 コンクリートの収縮

それ以後は同区間中に存在するスラブ下表面におけるひびわれの最大幅である。経過日数741日では、SL-4のひびわれ幅(0.8mm)はSL-3のそれ(0.27mm)の約3倍となっており、有効丈が高い程載荷直後のひびわれ幅が小さいことは当然としても、その後の経時的なひびわれ幅の進展もより低いことが示されている。

3-3: たわみ及び剛性低下の経時変化

表6に瞬時たわみ実験値を示すと共に、bi-linear型のモーメント-曲率関係による剛性低下率を用いて算出した瞬時たわみ計算値及びACI318-83にもとづく有効断面2次モーメントを用いて算出した計算値を示す。但し、これらの実験値、計算値には自重による瞬時たわみが含まれていない。有効断面2次モーメントによる方法ではたわみを低く目に評価しているが、これはその方法が統計的な手法から得られた実験式でありその適用範囲に問題があるということの他に、本実験に関する限りではコンクリートの引張低抗を過大に見積っていることを示している。

図11と図12にスラブ中央の経時たわみとその増加率を示す。図11では自重による瞬時たわみが含まれていないが、図12ではそれが弾性たわみ計算値(各スラブ共0.6mm)として、経時たわみ測定値に加算されている。また、図11にはスラブ側面のベリ-歪計標点の測定から得られた曲率分布によるたわみ計算値を破線で示し、同図と図12中にACI435委員会報告による長期たわみ計算値及び同増加率を一点鎖線で示す。但し、長期たわみ計算値を求める際の瞬時たわみには剛性低下率使用による計算値を、クリープ係数と収縮歪には(1.α)式と(2)式を用いた。

図13に載荷によってひびわれを生じたスラブの剛性低下率の経時変化を示す。但し、剛性低下率 α_t は次式で求めた。

$$\alpha_t = \{P / (\delta_t + \delta_0)\} / k_e \quad (3)$$

ここで、P:全荷重(自重+積載荷重)、 δ_t :経時たわみ測定値、 δ_0 :自重による瞬時たわみ計算値、 $k_e = (384/5\ell^3) E_c I_g$ (ℓ =支点間距離)

表6 瞬時たわみ実験値と計算値との比較 (単位: mm)

スラブ名	計算値		実験値
	剛性低下率使用による	ACI318-83による	
SL-1	3.47	1.47	3.69
SL-2	0.7*	0.7*	0.17
SL-3	1.97	1.40	1.99
SL-4	7.62	1.81	6.79

(注1) *印:弾性変形計算値
(注2) 計算値には自重によるたわみを含まない

離):弾性剛性計算値。図11~図13から次のことがいえる。

同一載荷下でひ

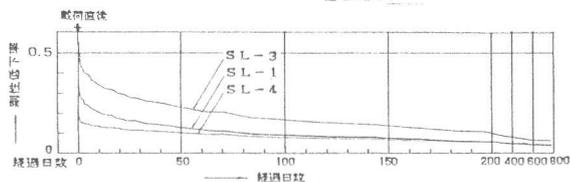


図13 剛性低下率の経時変化

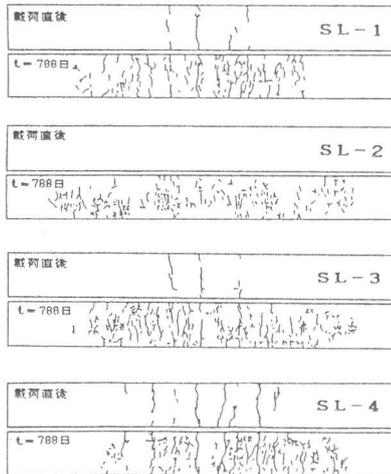


図9 ひびわれ状態 (t=経過日数)

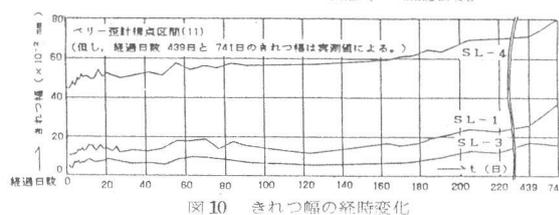


図10 きれつ幅の経時変化

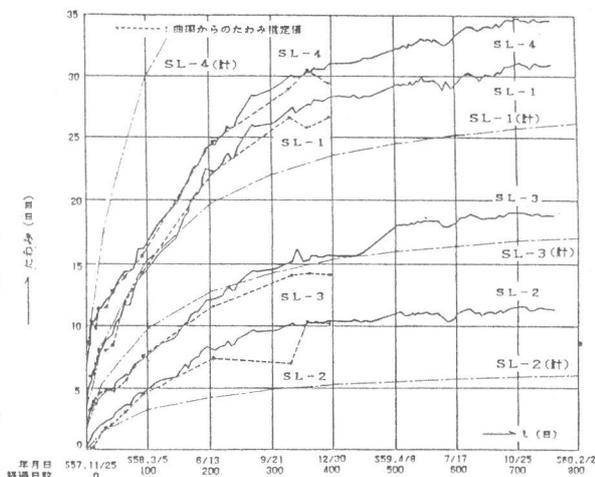


図11 経時たわみ

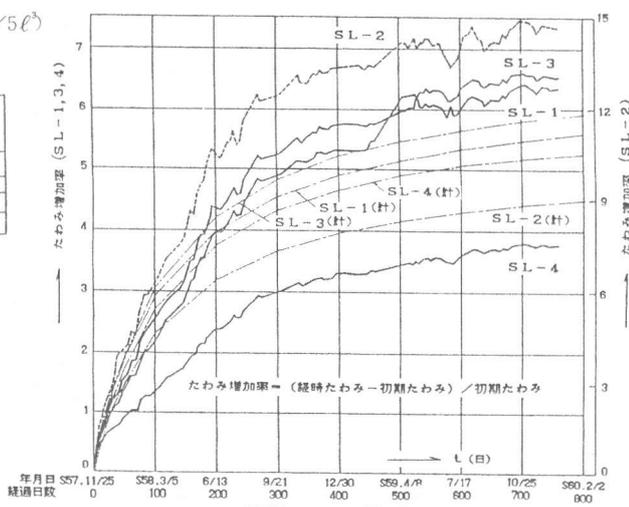


図12 たわみ増加率

びわれを生じるスラブの場合、有効せいの高いもの程経時たわみも大きい。一方、経時たわみの進展をたわみの増加率でみると、有効せいの低いもの程小さくなる傾向がみられる。また、載荷直後の剛性低下率が大きいもの程、載荷直後からの短期間における剛性低下率の減少程度が大きいという傾向がみられる。計算結果と実験結果を経過日数760日で比較すると、ACI435委員会報告による長期たわみ計算値は実験値に対し、SL-1で約0.8倍、SL-2で約1.8倍、SL-3で約0.9倍及びSL-4で約1.4倍となった。

3-4: 引張鉄筋の経時歪

図14にスラブ中央の引張鉄筋の経時歪を示す。歪値には自重による瞬時歪値が含まれていない。図中一点鎖線は降伏点歪値(実験値)を表わす。また、破線はクリープと収縮を考慮した有効弾性係数法による解で、記号Ⓜはbi-linear型のモーメント-曲率関係から得られる剛性低下率を算入した解、記号ⓐはそれを無視した解であることを示す。経過日数300日以後のSL-2、3及び4の鉄筋の経時歪が略々一定を保っているの、SL-1のそれも、測定不能になっているものの、略々一定と推察される。また、SL-4の鉄筋歪は経過日数250日以後降伏点歪を約2割越えているが、スラブのたわみ状態は不安定となっていない。経過日数100日~300日の間で全スラブの鉄筋歪が著しく増大しているが、図5によればその期間は温度の上昇期(経過日数100日で8℃、約300日で34℃)にあっており、主にこの温度上昇の影響を受けたものと考えられるが、これに対する検討は未だ行っていない。長短期の程度の差があるものの、載荷直後からある期間までにおいては実験値は全スラブとも計算値Ⓜあるいは弾性計算値と比較的近似し、経過日数300日以後ではSL-1及び3の実験値は計算値ⓐより約2~3割程度高くなった。ひびわれを生じているスラブで有効丈が高い程、鉄筋の経時歪の進展を低くする傾向にあることが示されている。

3-5: 曲率の経時変化

図15に、測定することのできた期間までの曲率の経時変化(実線)を示す。載荷によってひびわれを生じるスラブについては、引張鉄筋の有効丈を高くすることはそれに応じて曲率の経時的な進展も低減されることが示されている。また、図中破線は有効弾性係数法による解(但し、SL-1、3及び4の解は剛性低下率を無視した場合の解)を示した。SL-1、3及び4の計算値は実験値の約2/3以下であり、SL-2については近似した。

§4. まとめ

単純支持一方向スラブについて、主に有効丈の違いによる長期載荷実験(経過日数776日まで)の結果及びその検討をまとめると次のようである。同一載荷で、載荷によってひびわれを生じるスラブについて、有効丈が高い程、たわみ、引張鉄筋歪及び曲率の経時的な進展をより低減させる。但し、たわみの増加する割合(たわみ増加率)に対しては有効丈が高い程高くなる傾向がある。有効丈が長期曲げ性状に及ぼす影響については既往の何らの計算法あるいは実験式で求めることができるが、計算結果と実験値との間には定量的に検討の余地がある。

謝辞 本研究をまとめるにあたり、木学建築学科助手藤戸通幸氏及び学生諸氏に協力をいただき厚く感謝致します。

なお、本研究の一部は昭和57年度文部省科学研究費(奨励研究A)助成による。

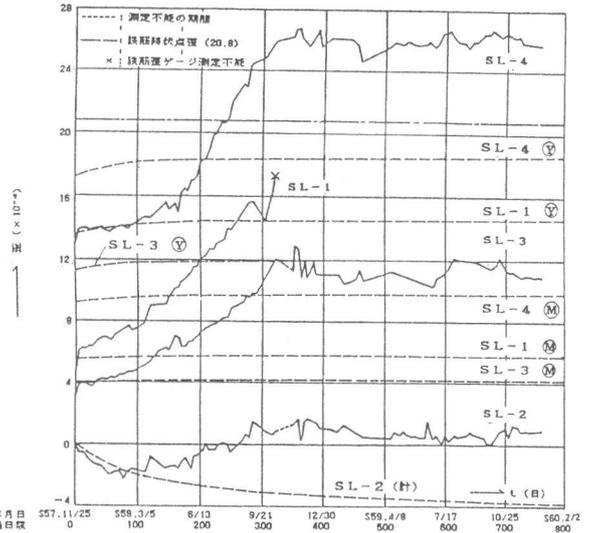


図14 中央部鉄筋の経時歪

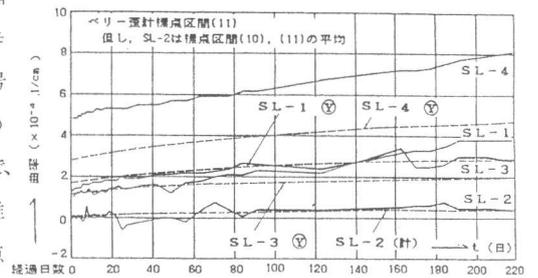


図15 曲率の経時変化

(参考文献)
 文1) 日本建築学会「鉄筋コンクリート造計算基準・同解説」(1982), P. 19
 文2) 同上 P. 65
 文3) コンクリート工学「ACI318-83鉄筋コンクリート構造設計基準(その2)」Vol.22, No.6, June 1984, P.40
 文4) ACI Committee 435 「Proposed Revisions By Committee 435 to ACI Building Code and Commentary Provisions on Deflections」ACI Journal, June 1978
 文5) 荻原昭次「曲げひびわれを生じている鉄筋コンクリート部材のクリープと、乾燥収縮の影響に関する解析的分析」日本建築学会中国・九州支部研究報告 昭和59年3月