

# RCスラブの長期におけるひびわれ変形に関する研究(その2)

高橋久雄 小柳光生  
武田寿一 大池武

## Studies of Deflection of Reinforced Concrete Slabs under Sustained Loads (Part 2)

Hisao Takahashi Mitsuo Koyanagi  
Toshikazu Takeda Takeshi Ohike

### Abstract

Part 1 of this report described comparison studies of results of measurements made during a period of about 200 days on deflections from sustained loads on slabs and analyses of long-term deflections in terms of creep. The present part describes the results of measurements for a period of about 800 days. The results show deflection at 350 days to be 1.5 to 2.0 times that at 200 days because of relative humidity being 30 to 50% after the 200th day whereas it had been 60 to 90% during the first 200 days, and the effect of moisture is prominent. Calculated time-dependent deflections in terms of creep and shrinkage are compared with experimental values.

### 概要

前報はスラブ試験体の持続載荷材令200日までの変形実測結果、および解析としてコンクリートのクリープを要因と考えた長期変形計算を行なったが、本報告は約800日間の実測結果をまとめた。その結果、材令200日以降350日あたりまで相対湿度が30~50%になった(材令200日あたりまでの湿度は60~90%)ため、その環境の変化に伴いたわみ挙動も大きく変化し、200日のたわみを1.0とすると350日で1.5~2.0というたわみ量を示し、湿度がたわみに及ぼす影響が極めて大きいことがわかった。変形計算法としてコンクリートのクリープの他に収縮も考慮して解析を行なったところ収縮の影響を取り入れると実験値との近似が良くなった。

### 1. まえがき

本報告は、RCスラブの過大なたわみに及ぼす要因を探り、その障害防止とともに変形性状の予測計算法の確立のための基礎実験として行なった持続荷重による一方向スラブ模型実験結果をまとめたものである。

前報告(その1; 所報 No. 12)では実験概要および約200日間にわたる実測結果についてまとめたが今回は約2年間にわたる実測結果の一部を単純支持スラブについてまとめ報告する。

実験室内温度・湿度は大気中の自然変化の影響をいくらか受けるため載荷後から約200日間の室内湿度は60~90% R. H (R. H: 相対湿度)であったが、その後約150日間は30~50% R. Hに変わったため、その変化に伴い、コンクリートは急激な収縮の進行が見られた。この時、試験体のたわみ挙動も著しい伸びが見られた。長期たわみに及ぼす要因としてコンクリートの

クリープが挙げられるが、その他に収縮の影響を無視できないと考え、本報告では計算法としてクリープの他に収縮作用も考慮した解法を用いて実験結果を比較、検討した。

### 2. 実験結果

#### 2.1. たわみの全体的傾向

試験体の支点からの中央たわみ実測結果を図-1に示す。

表-1に代表的な材令におけるたわみを整理して示すが、この結果から加力後短期間のうちにたわみの急激な伸びが見られ、加力後材令10日で瞬時たわみの2.0~3.0倍を示すことがわかる。材令200日になるとその動きは緩慢となり、荷重レベルにかかわらず材令10日たわみを1.0とすれば、1.20~1.40と緩やかなたわみ進行度合を示した。図-2に室内の温度・湿度の様子を示すが、この図から材令200日あたりまで

は高湿度を維持しており、この様な場合には短期間の持続載荷から長期たわみの推測が可能であると考えられる。

更に、後に述べている 3.1 瞬時弾性たわみ計算法による瞬時計算たわみ（ひびわれ考慮）と比較し、その結果を代表的な材令について表一 2 に示す。この表から長期設計荷重以下の応力を受ける試験体 No. 2, No. 3 は加力後材令 200 日で瞬時計算たわみの 3.0~4.0 倍を示し、試験体 No. 4, No. 5 は 2.0~3.0 倍を示した。

材令 200 日あたりまでは室内湿度 50~90% R. H であったが、それ以降湿度が低下し加力後材令 350 日あたりまで 30~50% R. H を示し、その後また湿度回復する。この様に自然変化によって、湿度の年間サイクルを受ける試験室であるため、たわみ挙動は大きく影響を受けた。表一 2 からわかるように試験体 No. 2, No. 3 では加力後材令 350 日で瞬時計算たわみの 7.0~8.0 倍を示し、試験体 No. 4, 5 では 3.0~5.0 倍という著しいたわみ変形を示した。

その後 2 回目の温度、湿度の年間サイクルを受けるため湿度は回復する。しかし、それに伴いたわみが減少し、元に戻るという現象は見られず、横ばいか、わずかに減少する程度であり非回復性状と言える。

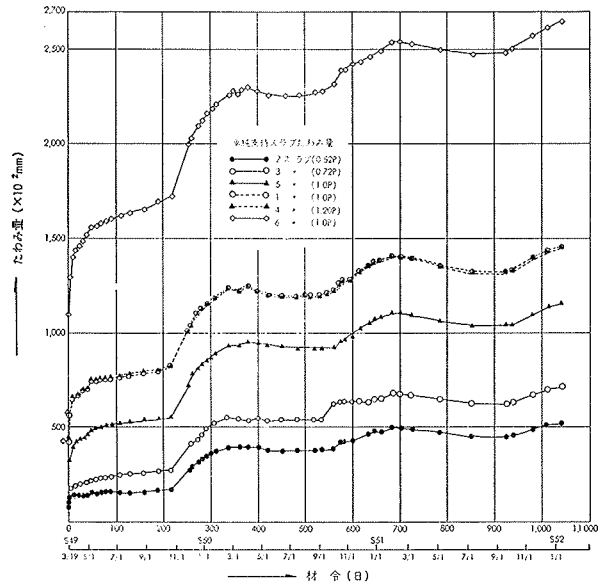
2.2. 側面の圧縮側、引張側ひずみ

スパン中央部の曲げ応力一定区間 (60cm) のひずみ分布の動きを調べるため、試験体側面に上端、下端からそれぞれ 2cm 位置にコンタクトゲージ標点を貼り、ひずみ測定を行ないそれぞれの平均ひずみの動きを No. 2~No. 5 について図一 3 に示す。この図から加力後材令 200 日以降コンクリートが著しく収縮するに伴い圧縮側ひずみが収縮方向に増えることがわかる。次に、引張側ひずみについて考える。一般的に、ひびわれが生じていない場合はコンクリートの収縮の影響を受けて引張側ひずみも収縮方向に動くことが考えられるが、本実験結果では逆に伸張方向に伸びる傾向を示す。

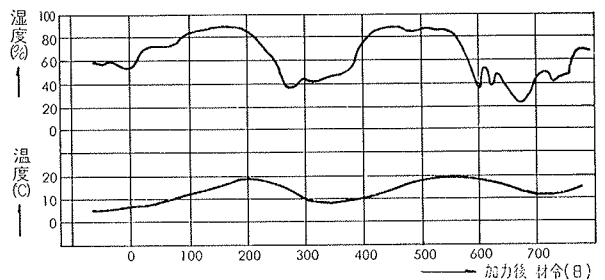
この結果、収縮作用が著しければ曲率が増大することとなり、そのためたわみ変形が伸びることがわかる。

2.3. 要因の異なる試験体の変形比較

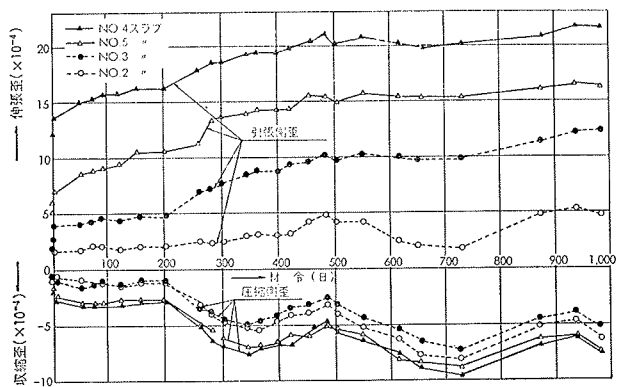
荷重レベルが異なる同一形状試験体 (No. 2~No.



図一 1 試験体中央たわみ



図一 2 室内温度・湿度



図一 3 曲げ区間の側面平均ひずみ

スラブ No.	存在応力 (t-m) 比	存在応力 (t-m) 率	瞬時たわみ (mm)	たわみ比率 t=10日/瞬時	たわみ比率 t=200日/瞬時	たわみ比率 t=350日/瞬時	たわみ比率 t=200日/t=10日	たわみ比率 t=350日/t=10日
2	0.180	0.52	0.60	2.5	3.0	6.67	1.20	2.67
3	0.245	0.71	0.80	2.56	3.4	7.01	1.32	2.80
4	0.407	1.20	3.96	1.81	2.2	3.26	1.24	1.80
5	0.343	1.00	1.44	2.86	3.9	6.59	1.36	2.32
7	0.343	1.00	1.80	2.72	3.6	5.67	1.33	2.08
1	0.343	1.00	3.76	1.86	2.3	3.43	1.25	1.85
6	0.343	1.00	4.33	3.26	4.0	5.72	1.22	1.62

表一 1 瞬時実験たわみに対する比率

スラブ No.	瞬時計算たわみ (mm)	たわみ比率 瞬時(実)/瞬時(計)	たわみ比率 t=10日/瞬時(実)	たわみ比率 t=200日/瞬時(実)	たわみ比率 t=350日/瞬時(実)
2	0.55	1.09	2.73	3.27	7.27
3	0.72	1.11	2.85	3.75	7.78
4	3.60	1.10	1.99	2.46	3.59
5	1.85	0.78	2.23	3.03	5.14
6	8.70	0.46	1.62	1.98	2.63

表一 2 瞬時計算たわみに対する比率

5)のたわみ比較を行なう。No. 5 スラブは、長期設計許容応力度 ( $M_d=0.343t \cdot m$ ) を受けるが、このたわみ挙動を 1.0 と考えれば No. 2 スラブ ( $0.52 \cdot M_d=0.180t \cdot m$ ) のたわみ量は、加力後材令 200 日あたりまではその 0.3~0.4 であり、No. 3 スラブ  $0.71 \cdot M_d=0.245t \cdot m$  のたわみは 0.5 程度である。一方、No. 4 スラブ ( $1.20 \cdot M_d=0.407t \cdot m$ ) は 1.6~1.7 とかなり大きくなっている。上記の結果から曲げひびわれ応力  $M_e=0.305t \cdot cm$  以上の部材応力が働くとたわみ変形が大きくなり、障害の原因になると言える。なお、No. 1 スラブは載荷準備中誤って負載荷をし圧縮側コンクリートにマイクロクラックが入ったことも考えられるので比較の対象から除くことにし、代りに同一載荷荷重を受ける No. 5 スラブは B 配合コンクリートであるが、収縮量は A 配合と殆んど同じであり、強度はやや低いがたわみ変形はそう変わらないと判断し No. 5 スラブを基準試験体と同一に扱った。追加実験<sup>\*3)</sup>からも裏付けが得られた。次にかぶり厚の大きい No. 6 スラブについては図-1 の様に加力直後 4.3mm のたわみを生じたが、載荷数時間を経て 10.0mm 以上の大きな変形となり、その後も進行し続けた。このたわみ量は No. 5 スラブの約 3.0 倍という極めて大きいたわみであり、正しい鉄筋位置関係はたわみ障害防止に重要な要因であることがわかる。

溶接金網筋を主筋に使用した試験体 (No. 7) は No. 5 スラブよりやや大きい程度の変形量であった。なお、No. 7 スラブの一般部の鉄筋量は  $a_s=1.41cm^2$  であり、 $a_s \times$  (降伏応力) が他試験体と合うように配筋されているため、他試験体の鉄筋量  $2.13cm^2$  よりかなり小さい。

#### 2.4. ひびわれ幅

試験体のひびわれ幅の動きを図-4 に示す。ひびわれはコンクリート下面から 2cm 位置でのコンタクトゲージ実測値をひびわれ幅と見なす。

その結果、No. 2 スラブは加力後数日してひびわれが 2 本発生し、その他のスラブは加力直後にひびわれが発生した。また加力後材令 200 日あたりで湿度の低下に伴いその幅が拡大しているのがわかる。加力後材令 350 日あたりから湿度が回復するがそれにもかかわらずひびわれ幅の減少は見られなかった。

#### 2.5. コンクリート収縮ひずみ

ダミースラブ (No. 13, No. 14) からコンクリートの自由収縮ひずみを測定する。試験体設置は自重によるたわみを除去するため、4 点ローラー支持とした。測定法を以下に示す。(1)カールソン型埋込みゲージを用いて内部ひずみを測定。(2)側面にコンクリートゲ-

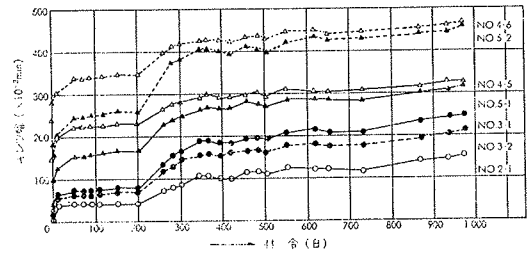


図-4 ひびわれ幅の動き

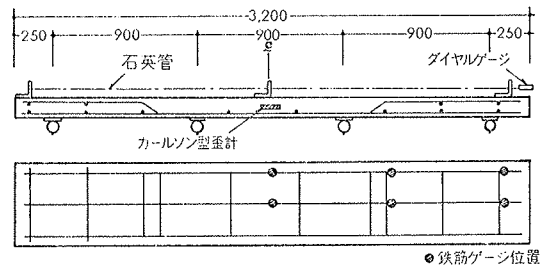


図-5 ダミースラブのゲージ配置

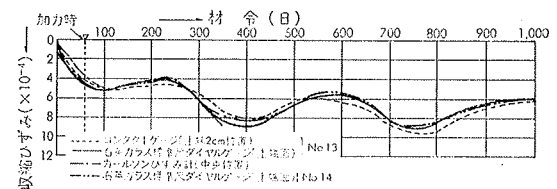


図-6 コンクリート収縮ひずみ

ジ標点を貼り、表面ひずみを測定。(3)温度変化の少ない石英ガラス管 ( $16\phi$ , 検長 300mm) を基準尺としダイヤルゲージによる全長の平均ひずみを測定。(4)W. S. G により鉄筋ひずみを測定。

その実測結果を図-6 に示す。実測の結果、打設後材令 260 日 (No. 1~No. 7 スラブの加力後材令 204 日) あたりから湿度低下に伴い収縮ひずみが大きく進行していることがわかる。また、打設後材令 100 日~200 日で変形が膨脹気味なのは夏季に入り高温、高湿の影響が表れたものと思われる。400 日以降 600 日にかけて約 200 日間、収縮が戻っているのも同様に温度、湿度が高くなっているためと考えられる。No. 14 スラブの収縮ひずみは No. 13 スラブの収縮ひずみと殆んど差が見られなかった。

### 3. 解析方法

#### 3.1. 瞬時弾性たわみ計算

加力直後の瞬時たわみ計算は R C 規準同解説の変形の算定式に準じ、モーメント-曲率関係としてひびわれ点 C と降伏点 Y を直線でつないだ bi-linear 直線式を用いてたわみを求める。なお、コンクリート圧縮強

度、弾性係数は同材令のシリンダー圧縮試験結果から得られた値を用いる。

ひびわれモーメント： $M_c$

$$M_c = 1.8 \cdot \sqrt{F_c} \cdot Z_c = 0.305t \cdot m$$

長期設計曲げモーメント： $M_d$

$$M_d = a_s \cdot f_t \cdot j = 0.337t \cdot m$$

ただし、本実験では荷重物（インゴット）の関係で  $M_d = 0.343t \cdot m$  として扱っている。

降伏曲げモーメント： $M_y$

$$M_y = 0.560t \cdot m$$

降伏曲げモーメント  $M_y$  は e 関数法の終局強度式から求めている。

### 3.2. 長期変形計算（クリープと収縮）

持続荷重が長期間作用する場合の変形問題には、コンクリートのクリープ、収縮の作用を解明する必要がある。クリープを考えた曲げ変形計算は数多く報告されているが収縮を考慮した研究は少ない。

本解法はこれらの要因を同時に考慮して変形計算できる特色をもつ。ただし、単純支持という静定架構を取り扱っているため、構造物の場合に生じる部材端拘束に伴う拘束力は考えておらず、鉄筋の拘束による収縮応力だけを考えた形となっている。

クリープの考慮は坂博士によるクリープ応力計算法<sup>1)</sup>を使用する。この計算法は持続載荷材令 t 日におけるクリープ係数を  $\phi_t$  とすれば次式のように弾性係数を修正して使用する簡便な方法である。

$$E_t = E / (1 + \phi_t) \quad (3.2.1)$$

$E_t$ ：クリープ後の修正弾性係数

$E$ ：瞬時における弾性係数（今回は8週時）

次に、自由収縮ひずみ（自己ひずみ）をもつ断面の計算式を誘導する。単筋部材に収縮ひずみ  $\epsilon_0$  が発生すると考えれば図-7のように内部ひずみを生じ、内部応力が起こる。部材内のコンクリート拘束ひずみ（ハッチ部）： $\epsilon_c$  は

$$\epsilon_c = \epsilon_{xn} + 1/\rho \cdot y - \epsilon_0 \quad (3.2.2)$$

一方、鉄筋のひずみ  $\epsilon_s$  は

$$\epsilon_s = \epsilon_{xn} + 1/\rho \cdot y \quad (3.2.3)$$

$\epsilon_{xn}$ ：中心軸位置のひずみ、 $1/\rho$ ：曲率、 $y$ ：中心軸からの距離（上向きを正）

で表される。なお符号は圧縮側ひずみを正とし、右回りの回転を正とする。

外力曲げモーメント  $M$  だけが作用する時の断面内軸力、曲げモーメントのつり合い式は

$$\int \sigma_y \cdot da = 0 \quad (3.2.4)$$

$$\int \sigma_y \cdot y \cdot da - M = 0 \quad (3.2.5)$$

$\sigma_y$ ： $y$  位置の応力  $da$ ：分割部分断面積である。この式に式 (3.2.2)、(3.2.3) を代入して  $1/\rho$ 、 $\epsilon_{xn}$  について解く。ここで、中心軸は断面一次モーメントの計算の図心であるから

$$\int E_c \cdot y \cdot da_c + \int E_s \cdot y \cdot da_s = 0$$

となり、その結果次式が得られる。

中心軸位置のひずみ

$$\epsilon_{xn} = \frac{\int E_c \cdot \epsilon_0 \cdot da_c}{\int E_c \cdot da_c + \int E_s \cdot da_s} \quad (3.2.6)$$

曲率

$$1/\rho = \frac{\int E_c \cdot \epsilon_0 \cdot y \cdot da_c + M}{\int E_c \cdot y^2 \cdot da_c + \int E_s \cdot y^2 \cdot da_s} \quad (3.2.7)$$

$E_c$ ：コンクリート弾性係数  $E_s$ ：鉄筋弾性係数

$da_c$ ：コンクリート断面積  $da_s$ ：鉄筋断面積

なお、中立軸  $x_n$  は図心位置として求められるから次式が得られる。このとき  $Z$  は圧縮側端からの距離、

$$x_n = \frac{\int E_c Z \cdot da_c + \int E_s \cdot Z \cdot da_s}{\int E_c \cdot da_c + \int E_s \cdot da_s} \quad (3.2.8)$$

以上の方程式は収縮と限らず温度によるひずみを考えた温度応力計算にも応用されている<sup>2)</sup>。なお、部材内面と表面で収縮ひずみ差を与えて計算することも可能であるが今回は一様分布とした。

### 3.3. 長期変形計算の仮定

長期変形計算法を 3.2 に示したが、この時の仮定条件を以下に示す。

- (1) コンクリートは弾性体とする。
- (2) 平面保持の法則が成立つとする。
- (3) コンクリートは圧縮側、引張側共に同一クリープ係数をもつ。
- (4) クリープ係数はその応力度にかかわらず同一値を示す。
- (5) クリープ応力計算は、簡便な修正弾性係数法を用いる。部材がクリープを起こす時、中立軸の移動などに伴い内部応力の変動が生ずるが、この時

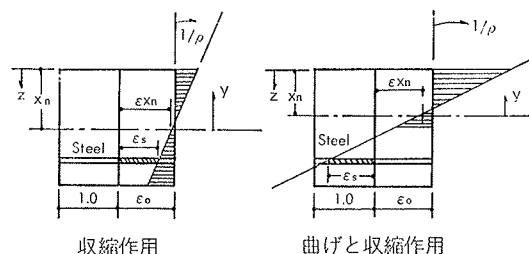


図-7 収縮によるひずみ分布

のクリープ係数の変化を無視する。

- (6) 引張ひずみ限界値を超える引張ひずみをもつ層分割部分のコンクリートはその断面積を全く無視して計算する。そのため引張ひずみが引張ひずみ限界値以内かどうか検討する必要がある。

そこで試験体のせい方向にいくつかの層に分割した断面を考え、上記の計算法から得られた曲率からそれぞれの分割部分についてひずみ度のチェックを行ない、限界値を越す場合、改めて応力がつり合うまで再度計算をくり返す。

- (7) 引張ひずみ限界値  $\epsilon_{tmax}$  は瞬時加力で  $\epsilon_{tmax} = 100 \times 10^{-6}$  とするが持続荷重の場合、ひずみ限界値が伸びることが予想されるため持続荷重時で  $\epsilon_{tmax} = 200 \times 10^{-6}$  とする。

3.4. 計算定数の決定

長期変形計算に使用するクリープ係数を考える。クリープ係数学会式は、下式のように示されている。

$$\rho_t = a \cdot b \cdot t / (1.5 + 0.25 \cdot t) \quad (3.4.1)$$

t: 材令(週数), a: 形状に関する係数, b: 湿気に関する係数

なお、スラブ実験荷重後6ヶ月程経過して行なった圧縮クリープ実験の結果<sup>3)</sup> から得られた実験式を以下に示す。

$$\rho_t = b \cdot X / (10.5 + 0.25 \cdot X) \quad (3.4.2)$$

X: 材令(日数), b: 湿気に関する係数

ただし、Xとは荷重後からの材令(日数)であり、(3.4.1)式の打設後材令とは異なる。

本変形計算に用いるクリープ係数定数は、実験式(3.4.2)を用いて求め、その値を表-3に示す。また、係数bの値は実験場所の状態から決定し、同表-3に示す。荷重後材令360日以降から約500日まで湿度が70~90% R.H に回復するが、この期間中クリープの戻りは無いと考え、t=350日の最大クリープ係数を維持するとする。

なお、比較のためクリープ係数定数として(3.4.1)式を用いたたわみ計算値も示した。(図-9, 10)。

変形計算に用いる自由収縮ひずみは表-3に示すがこれは No. 13 スラブ収縮実験結果のうち、ダイヤルゲージによる全長変形結果について加力直前を原点として求めたものである。

4. 実測結果と計算結果

4.1. 曲率

試験体の側面にコンクリートゲージ標点を貼り、その側面ひずみを使って曲率を求める。すなわち、圧縮側、引張側それぞれの曲げ区間平均ひずみを  $\epsilon_c, \epsilon_t$

材令(日)	0	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
収縮量( $\times 10^{-5}$ )	0	0	20	-40	-70	-50	200	330	370	300	190	120	40	200
係数 d	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.9	0.9	0.9	—	—	—	0.9	0.9
クリープ係数	0	0.75	1.09	1.41	1.56	1.65	3.08	3.16	3.21	3.21	3.21	3.21	3.34	3.36

表-3 計算定数

とすると曲率は  $1/\rho = (\epsilon_c + \epsilon_t)/d$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) (d: 圧縮側測点から引張側測点までの距離: 8cm) となる。このようにして得られた曲率の実測結果を No. 5 スラブについて示し、計算結果との比較を図-8に示すがこの結果から計算値と実験値との近似は良い。

コンクリートの収縮ひずみが変形性状に及ぼす影響を調べるために収縮ひずみのパラメーターを除き、長期変形の要因としてクリープ性状だけを考慮して曲率計算したものを No. 5 スラブについて同図-8に示し、収縮ひずみ、クリープ性状をともに考慮した曲率計算値と比較する。この結果、材令200日までは収縮が少ないためにこれらの計算値の差は殆んど見られないが、湿度が低下する材令200日から350日間で約  $400 \times 10^{-6}$  の収縮ひずみが進行しており、そのために曲率にかなりの影響を生じた。材令200~350日間の全曲率増加量の5~7割程度の負担を収縮ひずみが負っているとも言える。以上より、曲げひびわれを生じた試験体の場合、収縮ひずみが変形に及ぼす影響はかなり大きいと考えられる。

次に、収縮ひずみの要因が部材の応力に及ぼす影響を考えるためにクリープ性状だけを要因と考慮して曲率計算したものの応力分布を各材令毎に計算した。この結果<sup>3)</sup> は紙面の都合で省略するが、収縮ひずみは  $0 \sim 370 \times 10^{-4}$  の範囲で作用しており、この範囲では計算結果から両者に余り差がなく、収縮作用が部材応力に及ぼす影響は小さいことがわかった。

4.2. たわみ

荷重直後の瞬時実測たわみと3.1瞬時弾性たわみ計算の結果を比較し、表-2に示しているが No. 2~5

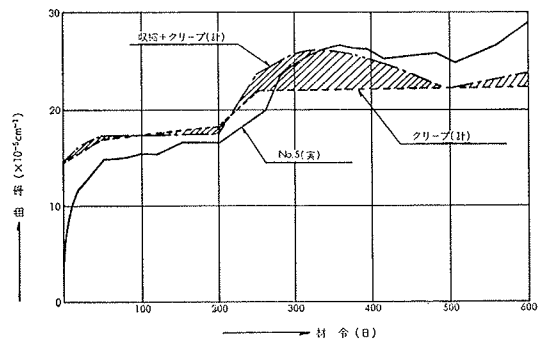


図-8 No. 5 スラブの曲率(実験値と計算値)

スラブでは近似性は良好と思われる。

長期たわみの動きを 3.2 長期変形計算にもとづき 50 日ピッチにたわみ計算した結果と比較し図-9, 図-10 に示す。なお, 同図中の瞬時計算たわみ値は引張界ひずみとして  $100 \times 10^{-6}$  を仮定した計算値であり, 3.1 の  $M \sim 1/\rho$  関係式として bi-linear 直線式を用いたものとは異なる。

長期たわみ計算結果と実験値について検討する。たわみ計算値はクリープ係数として本仮定定数の場合と (3.4.1) 式の場合の 2 通りについて示したが, この結果, 両者は No. 2, No. 3 スラブの材令 200 日以前の場合には顕著な差が見られるもののその他の場合, つまり No. 2, 3 スラブの材令 250 日以降, および No. 4, 5 スラブの全材令では余り差が見られない。これは No. 2, 3 スラブの材令 250 日以降で曲げひびわれが発生し, そのメカニズムが曲げひびわれ部材と同等に変動することによると思われる。

実験結果と計算結果を比較すれば, 高応力を受ける No. 4, 5 スラブの場合, 両計算値ともたわみ挙動の傾向については実験値とほぼ近似していると言える。低応力を受ける No. 2, 3 スラブの場合, 載荷材令 1 年未満の動きについては近似性は良くないが, 長期材令になるとやや計算値の方が大きい値を示すものの近似は良くなってくる。

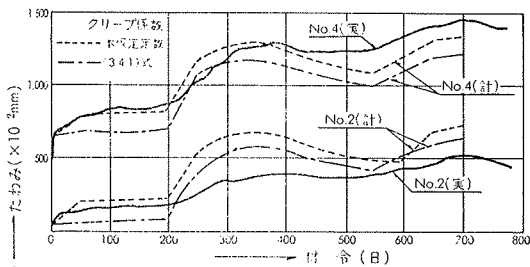


図-9 No. 3 および No. 5 スラブのたわみ

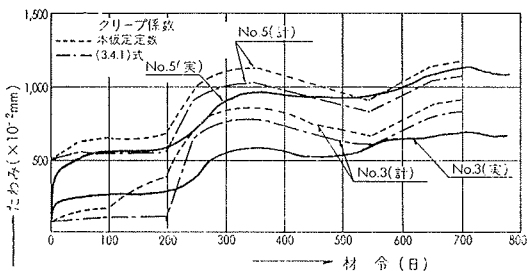


図-10 No. 2 および No. 4 スラブのたわみ

大まかにではあるが, 以上の結果から単純支持スラブの変形予測がある程度可能であると判断する。

なお, 図示は省略するが No. 6 スラブ (配筋の乱れを想定) の実測たわみと長期変形計算たわみの比較をしたところ, 実測値の方がやや大きい変形量を示した。

## 5. まとめ

ひびわれ荷重以上の持続荷重を受ける試験体は短期間のうちに引張側コンクリートを無視したひびわれ剛性に近くなりたわみが増大しており, このため障害の原因にもなり易いと言える。

たわみ実測結果から最終変形を大まかに考えると, 室内湿度 60~80% R. H の時, 瞬時弾性たわみ計算値を 1.0 とすれば最終変形は 2.0~4.0 となり, 一方湿度が途中で 30~50% R. H に変動する時, 最終変形は 4.0~8.0 に伸びると言える。(表-2 参照)。このため長期たわみは湿度の影響をかなり受けることが判明した。また, 当然ながらこの変形の伸びそのものの値は曲げひびわれモーメント以上の高応力の試験体で大きく, 低応力試験体では小さいが, 瞬時計算値に対する伸び率にして考えると逆の傾向を示す。これは低応力を受ける試験体では持続載荷中, ひびわれ発生が起これりその剛性低下によるためと思われる。

長期変形の解折的な検討として, 今回コンクリートを弾性体として修正弾性係数法をもとに収縮を考慮した計算値と実験値を比較した。その結果, 湿度の低下がたわみ増加をもたらす要因としてコンクリートのクリープ係数の増加の他に収縮ひずみの影響を考慮すれば, このたわみ変化の現象をある程度説明できた。言い換えれば, コンクリート収縮作用のたわみに及ぼす影響は大きく, 無視できない要因であることが判明した。

## 参考文献

- 1) 坂 静雄: 鉄筋コンクリートの研究, 産業図書
- 2) 古村福次郎他: 火災時における RC 構造および鉄骨構造の熱応力に関する研究, 日本建築学会論文報告集, (昭46. 5)
- 3) 小柳光生他: 床スラブの長期たわみに関する研究, コンクリート工学, Vol. 14, No. 10, (1976)