

# 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7)

武田 寿一 小柳 光生

## Studies of Deflection of Reinforced Concrete Slabs under Sustained Loads (Part 7)

Toshikazu Takeda Mitsuo Koyanagi

### Abstract

The authors previously presented experimental results and an analysis method regarding long-term deflection of one-way slabs. In this paper, a new moment-curvature model for developing a practical deflection formula is proposed and a single numerical method of obtaining the model is introduced. The rationality of the proposed model is confirmed by comparing with several experimental data of long-term deflection (one-way slabs) presented previously by some Japanese researchers. Furthermore, the model is applied to an analysis of long-term deflection of two-way slabs using FEM with three-dimensional solid elements and the results are investigated through comparisons with experimental data of two-way slabs.

### 概 要

筆者らはこれまで、床スラブの長期たわみに関する実験研究に関連して、1方向スラブの長期たわみ測定結果および解析法をすでに報告した。本報では、2方向スラブの実用的なたわみ解法へ展開するための試みとして、モーメント-曲率モデルを新たに提案し、そのモデルを数式から求める簡便法を示した。この簡便法を使って国内の研究者によって報告されている多数の長期たわみ実験データ(1方向スラブ)とたわみ計算値を比較し、このモデル提案の妥当性を確認した。さらにこのモデル材料特性を使って、3次元ソリッド要素を用いたFEM解法から2方向スラブ長期たわみ解析を行ない、2方向スラブ実験データと比較・検討している。

### 1. まえがき

これまで、床スラブの過大なたわみに及ぼす要因の検討やその障害防止とともに、長期たわみの予測計算法を確立するための一連の実験的研究を報告してきたが<sup>(1)~(3)</sup>、本報では2方向スラブの実用的なたわみ解法へ展開するための試みとして、新たにモーメント-曲率モデルを提案しそのモデルを数式から求める簡便法を示す。さらにおもに国内の研究者によって報告されている多数の長期たわみ実験データ(ただし1方向スラブ実験対象)を用いて長期たわみ解析値と比較し、新たなモーメント-曲率モデル提案の妥当性を検討している。

またこのモーメント-曲率モデル材料特性を使って、3次元ソリッド要素を用いたFEM解法から、2方向スラブ長期たわみ解析を行ない、2方向スラブ長期たわみ実験データと比較・検討している。

### 2. 長期たわみ実用式の提案

#### 2.1. モーメント-曲率のモデル化

本節では、2方向スラブの実用的な長期たわみ解析法を得るため、これまでの解析法(修正ヤング係数法)を応用したモーメント-曲率モデルを提案する。筆者らが長期たわみ実験として実施した、単純支持スラブ中央曲げ区間の約1年間での曲率と縁応力の関係を、図-1に示す。この時、見かけの縁応力 $\sigma_e$ とは、下式で表わされる。

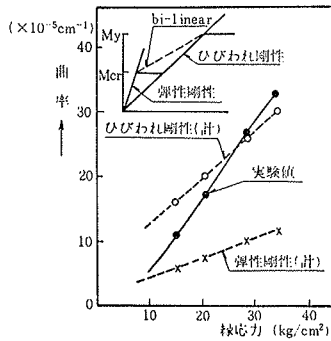
$$\sigma_e = M / (1/6 B \cdot D^2) \quad \dots\dots\dots(1)$$

M: モーメント, B: 部材幅, D: 部材厚

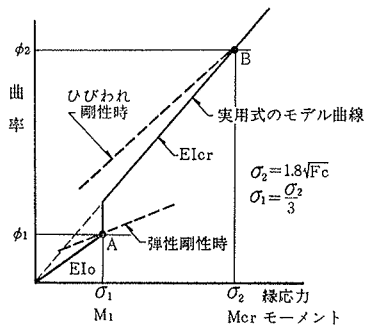
モーメント(縁応力 $\sigma_e$ )と剛性の関係は、一般にそのモーメントが小さい段階では弾性剛性、ある段階から先はひびわれ剛性となるはずであり、その間は過渡的段階とし、それらの限界点を、図-1の実験データを参考に、 $0.6\sqrt{F_c}$  および  $1.8\sqrt{F_c}$  ( $F_c=199 \text{ kg/cm}^2$  実験値)と仮定する。縁応力 $\sigma_e$ (あるいはモーメント)と曲率の関係式を図-2のようにモデル化する。つまり、

(1) 瞬時荷重でのひびわれ強度 $\sigma_2$ を $\sigma_2=1.8\sqrt{F_c}$ とする。

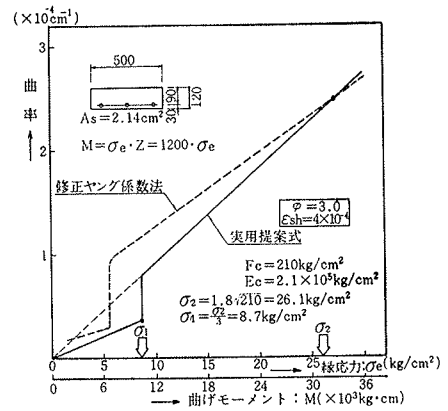
(2) クリープや収縮作用に対しても全断面剛性範囲を



図一 曲率と縁応力の関係(実験値)



図二 曲率と縁応力関係モデル



図三 実用式による曲率と縁応力例

保持する応力限度  $\sigma_1$  を  $\sigma_1 = 0.6\sqrt{F_c}$  とする。

(3)  $\sigma_1$  以下の縁応力  $\sigma_0$  での曲率は  $\sigma_1$  での全断面剛性時曲率値  $\phi_1$  を使って原点を通るような直線で表わされるものとする。

(4)  $\sigma_1$  を超える縁応力  $\sigma_0$  での曲率は、持続荷重でひびわれが入ると見なし、瞬時荷重でのひびわれ応力  $\sigma_2$  のひびわれ剛性時曲率値  $\phi_2$  を使って、原点を通る直線で表わされるものとする。

ただし、上記のモデル関係式は、あくまでも持続荷重が長期間作用した場合のたわみに限って適用できる。なおこれまでのひびわれ発生の条件式である引張ひずみ限度  $2 \times 10^{-4}$  の値とは、クリープ係数  $\phi_t = 3.0$  のとき、加力直後の弾性ひずみ  $\epsilon = 2 \times 10^{-4} / (1 + \phi_t) = 0.5 \times 10^{-4}$  に等しい。仮にヤング係数を  $2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  とすれば、縁応力は  $10.5 \text{ kg/cm}^2$  となり、この値が上述の  $\sigma_1$  に対応していることになる。

曲率  $\phi_1, \phi_2$  の算定はこれまでの修正ヤング係数法<sup>2)</sup>で引張ひずみ限度を無限大あるいはゼロという仮定から求めるが、ここで数式から簡便に求める方法を示す。

### 2.2. 曲率の算定

まず全断面剛性における長期の曲率  $\phi_1$  を算定する。単筋配筋断面において、中立軸  $x_n$  は、

$$x_n = \frac{0.5 \cdot B \cdot D^2 + n \cdot A_s \cdot d}{B \cdot D + n \cdot A_s}$$

$n$ : ヤング係数比  $d$ : 有効せい  $A_s$ : 鉄筋量であり、全断面剛性  $E_c \cdot I$  は、

$$E_c \cdot I = E_c \cdot \{B \cdot D^3 / 12 + n \cdot A_s \cdot (d - x_n)^2\} \dots \dots \dots (2)$$

となる。次に、持続荷重時の曲率  $\phi_1$  を求めるためにクリープ係数の考慮は  $E_t / E_c / (1 + \phi_t)$  と置き換えて式(2)に代入すればよい。この時、同時に  $n$  の代わりに、 $n_1 = (1 + \phi_t) \cdot n$  とする。そうすれば  $M_1 = 1/6 \cdot B \cdot D^2 \cdot \sigma_1$  におけるクリープを考慮した曲率:  $\phi_{c1}$  は下式から簡便に求まる。

$$\phi_{c1} = M_1 / (E_t \cdot I) \dots \dots \dots (3)$$

また、乾燥収縮ひずみ:  $\epsilon_{sh}$  による曲率増加:  $\phi_{sh1}$  は下式で表わされる。

$$\phi_{sh1} = \frac{\int E \cdot y \cdot \epsilon_{sh} da}{\int E \cdot y^2 da} \dots \dots \dots (4)$$

このとき、 $\int E \cdot y \cdot \epsilon_{sh} da$  は中立軸まわりの断面1次モーメントに  $E \cdot \epsilon$  を乗じたものであるから、

$$\phi_{sh1} = \frac{0.5 E_t \cdot \epsilon_{sh} \cdot B \cdot (x_n^2 - (D - x_n)^2)}{E_t \cdot I} \dots \dots \dots (4)'$$

となる。縁応力  $\sigma_1$  (モーメント  $M_1$ ) に対する曲率値  $\phi_1$  (図二のA点) は  $\phi_{c1}$  と  $\phi_{sh1}$  の和、すなわち下式から求まる。

$$\phi_1 = \phi_{c1} + \phi_{sh1} \dots \dots \dots (5)$$

次に、ひびわれ剛性における長期の曲率  $\phi_2$  を算定する。中立軸  $x_n$  は、釣合い条件から、

$$x_n = \frac{x_n \cdot A_s}{B} \left\{ \sqrt{1 + \frac{2 \cdot B \cdot d}{n \cdot A_s}} - 1 \right\}$$

となる。また、ひびわれ剛性は

$$E_t \cdot I = E_t \cdot \left\{ \frac{1}{3} B \cdot x_n^3 + n \cdot A_s \cdot (d - x_n)^2 \right\} \dots \dots \dots (6)$$

となる。このとき、弾性剛性の場合と同様に  $E_t = E_c / (1 + \phi_t)$ 、 $n = (1 + \phi_t) \cdot E_s / E_c$  を代入する。そうすれば、 $M_2 = 1/6 \cdot B \cdot D^2 \cdot \sigma_2$  におけるクリープを考慮した曲率  $\phi_{c2}$  は  $\phi_{c2} = M_2 / (E_t \cdot I)$  から求まる。また  $\epsilon_{sh}$  による曲率増加:  $\phi_{sh2}$  は式(4)と同様に

$$\phi_{sh} = \frac{0.5 \cdot E_t \cdot \epsilon_{sh} \cdot B \cdot x_n^2}{E_t \cdot I} \dots \dots \dots (7)$$

となる。その結果、 $\phi_2$  (図二のB点) は  $\phi_{c2}$  と  $\phi_{sh2}$  の和で表わされる。

$$\phi_2 = \phi_{c2} + \phi_{sh2} \dots \dots \dots (8)$$

以上、単筋配筋断面における曲率  $\phi_1, \phi_2$  の算定法を示したが、これらの式を以下実用(提案)式と呼ぶ。

次に複筋配筋つまり圧縮の効果について触れる。各種断面形状における圧縮筋の有無による曲率への影響をケ

名称	断面 B×D	有効 せい (cm)	鉄筋量 A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	スパン (cm)	たわみ 実験値 (mm)	たわみ 計算値 (mm)	たわみ 比 実/計	クリー プ係数	収縮 ひずみ (10 <sup>-5</sup> )	収縮 期間 (日)	大 小 圧縮 応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 ×10 <sup>5</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	
岩原 SL-1 <sup>1)</sup>	40×13	10	1.42	300	17.0	18.98	0.91	3.00	420	140	29.6	278	2.96
岩原 SL-2	10	10	1.42	300	5.5	8.30	0.66	3.00	420	140	29.6	278	2.96
岩原 SL-3	12	12	1.42	300	9.0	13.16	0.68	3.00	420	140	29.6	278	2.96
岩原 SL-4	8	8	1.42	300	19.2	30.00	0.64	3.00	420	140	29.6	278	2.96
山本 <sup>2)</sup> S3, S4	40×13	10.4	2.66	400	30.5	32.11	0.95	(3.21)	(50)	350	34.1	306	2.42
小柳 <sup>3)</sup> No.2	50×12	9	2.14	200	3.9	5.84	0.67	3.21	370	350	14.9	189	1.99
小柳 No.3	7	7	2.14	200	5.8	8.10	0.72	3.21	370	350	14.9	189	1.99
小柳 No.5	7	7	2.14	200	9.5	11.38	0.83	3.21	370	350	14.9	189	1.99
小柳 No.4	7	7	2.14	200	12.8	13.57	0.94	3.21	370	350	14.9	189	1.99
小柳 No.6	7	7	2.14	200	22.0	19.60	1.17	3.21	370	350	14.9	189	1.99
小柳 <sup>3)</sup> 8-3	16×7	5.5	0.64	150	11.1	12.24	0.91	2.50	350	350	47.1	176	2.04
小柳 21-3	11	11	0.64	150	11.3	11.55	0.98	2.28	350	350	47.1	198	2.10
本本 <sup>4)</sup> P <sub>1</sub> =0	8×10	7.5	0.71	170	7.2	7.38	0.98	恒 (2.31)	(300)	200	49.1	217	2.06
本本 P <sub>1</sub> =1	7.6	7.6	0.71	170	8.45	0.90	3.00	420	140	29.6	278	2.96	

表一 単純支持スラブたわみ実験値と計算値

ースタディにより検討したところ、クリープ  $\phi_t$  による曲率  $\phi_c$  の場合、圧縮筋の考慮は、係数:  $K_r$

$$K_r = 1 / (1 + 10(1 + \phi_c) \cdot P_t') - (P_t' : \text{圧縮筋比}) \dots (9)$$

を乗じることで大よそ表現できることが分かった。そこで、圧縮筋をもつ場合には、この式(9)を使って補正することとする。

なお、ACI 435 委員会<sup>4)</sup>では、この係数は  $1 / (1 + 50 \cdot P_t')$  としており、これは式(9)の  $\phi_c = 4.0$  の場合に等しいことが分かる。

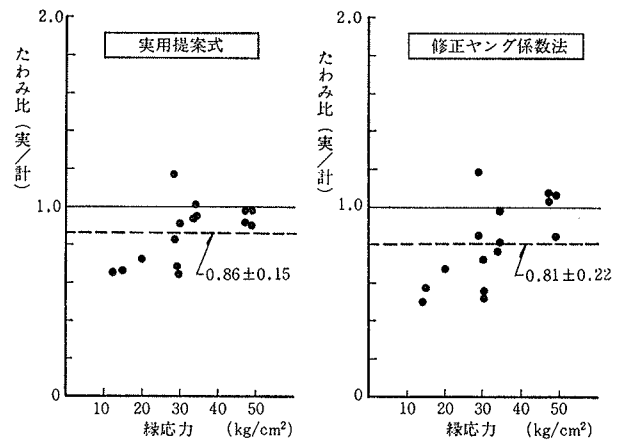
例題解析として、図一3に示すような断面  $50 \times 12$  cm、有効せい 9cm、引張鉄筋  $A_s = 2.14$  cm<sup>2</sup> ( $P_t = 2.14 / (50 \times 9) = 0.48\%$ ) について、提案式および修正ヤング係数式<sup>2)</sup>それぞれの曲げモーメントー曲率関係を比較する。この図から、持続荷重作用下でのひびわれ発生条件がそれぞれ異なることもあって、实用提案式の方が全体的に、若干小さい結果であるが、図一1の曲率実験結果が示すように鉄筋とコンクリートの付着作用などを考慮すれば、この実験提案式の方が実際の曲げ部材特性に近似しているとも言える。

### 2.3. 1方向スラブたわみ実験データと提案式の比較

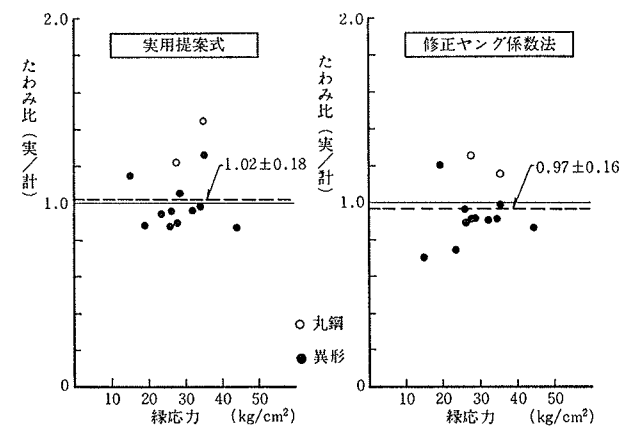
これまで国内で報告されている数多くの1方向スラブ長期たわみ実験データについて、本節の实用提案式および修正ヤング係数式を用いて長期たわみ解析を行ない、その妥当性を検討する。実験における断面形、スパン、荷重などの解析データおよび載荷期間1年でのたわみ実験値を、単純支持スラブ、固定支持スラブそれぞれ表一、表二に示す。なお、測定期間が満たないときは、その最終測定時期での値を用いる。また、クリープ係数、収縮ひずみの定数については実験値があればそれを使用することとし、実験値がない場合には推定値を用いる。

名称	断面 B×D	有効 せい (cm)	鉄筋量 A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	スパン (cm)	たわみ 実験値 (mm)	たわみ 計算値 (mm)	たわみ 比 実/計	クリー プ係数	収縮 ひずみ (10 <sup>-5</sup> )	収縮 期間 (日)	大 小 圧縮 応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 ×10 <sup>5</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	
山本 <sup>2)</sup> S-1, S-4	40×13	10.4	2.66	400	23.0	15.91	1.44	(3.21)	450	350	35.4	306	2.42
松崎 <sup>1)</sup> A-1	100×12	9.5	4.75	380	16.0	15.26	1.05	(3.21)	600	350	28.5	168	1.85
松崎 A-2	11.6	11.6	4.75	380	12.40	0.94	(3.21)	600	350	28.5	168	1.85	
松崎 A-3	8.2	8.2	4.75	380	7.11	1.15	(3.21)	600	350	28.5	168	1.85	
小柳 <sup>3)</sup> No.1	75×20	17.0	6.35	600	16.0	16.64	0.96	(2.54)	450	100	31.8	197	1.83
小柳 No.2	75×16	13.0	8.89	20.0	23.22	0.86	(2.54)	450	100	31.8	197	1.83	
小柳 No.3	75×20	17.0	8.89	13.0	13.29	0.98	(2.54)	450	100	31.8	197	1.83	
小柳 <sup>3)</sup> No.1	25×10	7.0	0.57	500	46.0	51.68	0.89	(2.46)	(300)	90	27.5	205	1.62
小柳	63.0	63.0	0.57	500	51.68	1.22	(2.46)	(300)	90	27.5	205	1.62	
安部 <sup>4)</sup> B-4	100×11	8.5	5.27	360	35.0	40.26	0.87	3.51	(500)	270	19.2	184	1.39
小柳 <sup>3)</sup> P <sub>1</sub> =0	50×12	9.0	2.14	308	11.2	11.84	0.95	3.21	370	350	26.0	189	1.99
小柳	14.3	14.3	2.14	308	16.41	0.87	3.21	370	350	26.0	189	1.99	

表二 固定支持スラブたわみ実験値と計算値



図一4 単純支持スラブたわみ実験値と計算値



図一5 固定支持スラブたわみ実験値と計算値

クリープ係数推定式は下式を採用した。

$$\phi_t = \frac{K \cdot t}{10.5 + 0.25 \cdot t}$$

ここに、K: 湿分に関する係数で恒温恒湿室で0.9, t: 載荷期間(日数)

収縮ひずみ  $\epsilon_{sh}$  は、環境条件、材令などを考慮して、同表のわき内のように推定した。

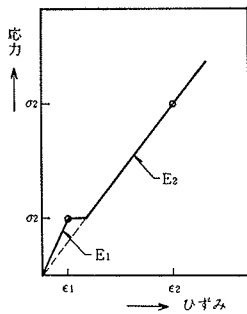
たわみ実験値と解析値の比較を、实用提案式について同表一1, 2に示す。また、たわみ比について整理し、図一4, 図一5に示す。これらの図から、単純支持スラブ実験の場合、縁応力  $\sigma_e$  が小さい場合の近似が多少悪いものの、全体として解析値（实用提案式、修正ヤング係数法）とよく近似していると判断される。また实用提案式は、修正ヤング係数法と比較して、その実験たわみとの近似性は遜色ないことが確認された。

### 3. 2 方向スラブ長期たわみ解析法

#### 3.1. 解析法の概要

2章で導いた曲げモーメント—曲率関係の实用提案式は1方向スラブのたわみ解析法として妥当性のあることを確認したが、本章ではこの関係式を2方向スラブに適用する。解析法としては、3次元ソリッド要素によるFEM解析を行なう。そのために、モーメント—曲率 ( $M-\phi$ ) 関係を、応力度—ひずみ ( $\sigma-\epsilon$ ) 関係に置き換える必要がある。

弾性計算の場合、 $\phi = \sigma_e / (E \cdot D/2)$  で表わされることを利用して、図一2のモデル図は図一6のように置き換えることが可能である。このとき、見かけ上のヤング係数  $E_1$  は  $\phi_1, \sigma_1$  が既知数であるから、 $E_1 = \sigma_1 / (\phi_1 \cdot D/2)$  として簡単に求まる。同様に、ヤング係数  $E_2$  は、 $E_2 = \sigma_2 / (\phi_2 \cdot D/2)$  から求まる。以上から、クリープ、収縮およびひびわれの考慮を見かけ上のヤング係数  $E_1, E_2$  という形で表現できることになる。

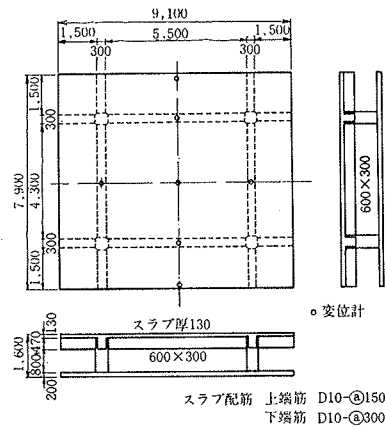


図一6 クリープ、収縮およびひびわれを考慮した応力—ひずみモデル

具体的にはメッシュ割りされた平板スラブにおいて、まず  $E_1$  の材料特性でFEM弾性解析し、そのときの縁応力が  $\sigma_1$  を上まわる場合、その要素部分については材料特性を  $E_2$  に変化させ、再度弾性解析する。このようにして材料特性値が安定するまで繰り返し解析すれば、ひびわれを考慮した弾性解析が可能となる。このときひびわれには方向性があるところから、異方性材料特性を使って解析する。また、端部上端筋の抜け出しも、トラスによる回転ばねとしてモデル化する。このときの回転軸は、ひびわれ断面時中立軸  $x_n$  とする。

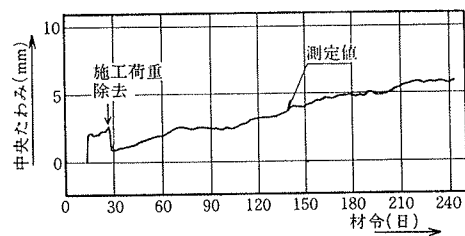
#### 3.2. 2方向スラブ実験たわみ値

2方向スラブの長期たわみ実験と今回の3次元ソリッ

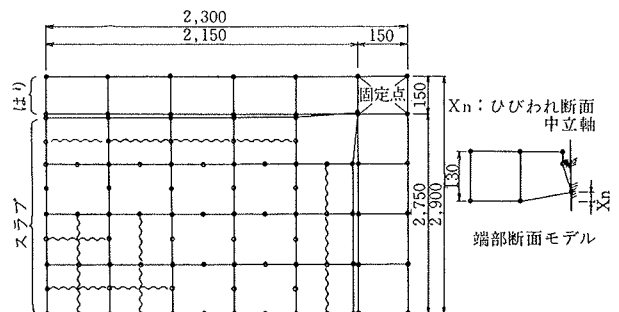


図一7 2方向スラブ形状

ド要素によるたわみ解析値とを比較する。この2方向スラブ実験は、建築業協会で「型わく支保工の存置期間の研究」に関連して実施したもので、その実験計画概要を以下に示す<sup>13)</sup>。形状は、図一7に示す実大規模のスラブで、連続ばりに囲まれたスラブを想定し、周辺にはね出しを設けている。配筋は端部上端、下端それぞれ D10-@150, D10-@300 であり、また中央部下端短辺方向は、D10-@150, 長辺方向で D10-@300 である。荷重履歴は材令14日で支保工を除去し、直ちに自重の他、施工時荷重を想定して、1層分の自重相当荷重を作用させた。さらに2週間後（材令28日）、自重のほか0.36倍の自重荷重に調整し、約230日間の長期にわたり、たわみ挙動を測定した（図一8）。その結果、載荷期間230日でスラブ中央たわみ6.20 mm（自重0.5 mm含む）が得られた。



図一8 2方向スラブの中央たわみ



図一9 2方向スラブ解析のためのメッシュ割り

なお、コンクリート強度は2週で、 $F_c=210 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E_c=2.38 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ であった。また、スラブひびわれは上面はり周辺部と下面中央部ともに認められた。

### 3.3. 解析方法とその結果

メッシュ割りを、図-9に示す。端部上端筋の抜け出しは、同図に示すようにひびわれ断面の中立軸を回転軸とした回転バネとしてモデル化する。クリープ、収縮ひずみは、それぞれ  $2.29, 5 \times 10^{-4}$  (実験値, 荷重期間230日)を用いる。このクリープと収縮を考慮した見かけ上のヤング係数  $E_1, E_2$  の算出は2.2.節から  $\sigma_1=0.6\sqrt{F_c}=8.7 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_2=1.8\sqrt{F_c}=26.1 \text{ kg/cm}^2$  におけるそれぞれの曲率  $\phi_1, \phi_2$  を計算し、3.1.節の  $E_1, E_2$  算定式に代入した結果、スラブ端部で  $E_1=6.08 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E_2=2.21 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、スラブ中央部で  $E_1=4.47 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E_2=2.05 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$  (短辺)、 $E_1=5.41 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E_2=1.45 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$  (長辺) が得られる。なお、はり部材についてはとりあえず、クリープ係数によるヤング係数の低下だけを考慮し、 $E_1=E_2=7.23 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$  とする。

解析としての荷重は、一時的な施工荷重履歴を受けるためその考慮は困難であるが、2.0・D.L (D.L: 自重) の荷重が作用するときの長期たわみ解析を行なった。その結果、繰返し3回の解析で、最終的にひびわれ判定値  $\sigma_1$  を上まわる要素の範囲は、図-9の波線部で示す部分であった。このときの長期たわみ解析値は11.7 mm が得られたが、自重も含めて1.36倍の持続荷重が作用するときの長期たわみを求めるため、その剛性は2.0・D.L作用時の剛性と考えると、その長期たわみは、

$$11.7 \text{ mm} \times \frac{1.36}{2.00} = 7.60 \text{ mm}$$

となる。この解析値7.60 mm が実験値6.20 mm に対応しており、この種の予測としてはほぼ良い近似が得られていると言えよう。

## 4. まとめ

2方向床スラブの長期たわみ予測式を提案する目的で実用的な曲げモーメント-曲率 (M- $\phi$ ) 関係モデルを誘導し、その妥当性を1方向スラブ長期たわみ実験データとの比較で、確認できた。この結果を踏まえ、そのM- $\phi$  関係モデルを応力-ひずみモデルに展開し、FEM解析法を使い、2方向スラブの長期たわみ予測を行なう方法を導いた。

## 謝辞

本研究をまとめるにあたり、多くの方々の研究報告を引用させて頂きました。また、前室長 高橋久雄氏をはじ

め本社 電子計算センター 徳永正博氏、技術研究所 大内一研究員に貴重な御助言を頂きましたことをここに感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 武田, 高橋, 小柳: RCスラブの長期たわみに関する研究(その6), 大林組技術研究所報, No. 27, (1983), pp. 134~138
- 2) 武田, 高橋, 小柳, 大池: 床スラブの長期たわみに関する研究(単純支持スラブ実験), コンクリート工学, (1976.10), pp. 10~18
- 3) 武田, 高橋, 小柳: 床スラブの長期たわみに関する研究, コンクリート工学(論文), (1983.9), pp. 115~124
- 4) Proposed Revisions by Committee 435 to ACI Building Code and Commentary Provisions on Deflections, ACI Journal, (Jun. 1978), pp. 229~238
- 5) 岩原, 嘉戸: ひびわれを生じた一方向床スラブの長期変形状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和58), pp. 1953~1954
- 6) 山本: 鉄筋コンクリート造床床板の長期たわみに関する実験(その2), 東急建設技術研究所報, No. 6, (1980), pp. 71~74
- 7) 武田, 高橋, 小柳, 大池: 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3)-軟練り・硬練り調合によるRCスラブたわみ実験結果一, 大林組技術研究所報, No. 18, (1979), pp. 44~48
- 8) 岩倉, 大谷, 木本, 窪倉, 渡辺: 載荷材令の異なるRC梁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, (昭和51), pp. 385~386
- 9) 松崎, 畑野, 田中: 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, No. 27, (昭和54), pp. 63~68
- 10) 小倉, 梅村, 矢島, 伊藤, 高山, 田中: RCスラブ長期たわみ性状に関する研究(その1), (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和53), pp. 1497~1500
- 11) 東, 小森: 鉄筋コンクリート帯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, (昭和50), pp. 1039~1040
- 12) 石川, 安部, 福士: 施工条件を考慮した鉄筋コンクリート床版の耐力と変形状に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和49), pp. 1229~1230
- 13) 高田, 野中, 松尾, 富岡: 型わく支保工の存置期間に関する研究-その11, 実大規模スラブの長期たわみ実験II-1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和58), pp. 467~468