

論 文

[2056] 鉄筋コンクリートばりの長期たわみ解析と
その適合性について

正会員 杉野目 章(室蘭工業大学)
同 井 野 智(北海道大学工学部)
伊 藤 正義(北海道工業大学)
正会員 ○駒 込 環(北海道大学大学院)

はじめに 筆者らは先に、曲げひび割れの生じたはりや床スラブの剛性を、同じたわみを与える弾性曲げ部材の有効断面2次モーメントで表し¹⁾、はり柱の連成を考慮した床スラブの初期たわみとコンクリートの時間依存性を考慮した長期たわみ解析法を提案した²⁾。この解析方法は、ACI規準(1983)に準拠して行っている点が多く、例えば、ひび割れ発生部材のスパン方向の剛性を一様とし、部材のスパン中央の配筋のみで長期たわみを算定するなど、ひび割れ領域や配筋状況を正確に反映していない。これらの計算上の不備を補うためには、はりまたは床スラブのスパン方向の剛性分布が不均一な、所謂、変断面部材について解析を行う必要がある。

本論文では、まず、使用荷重下でひび割れが生じ変断面となる鉄筋コンクリートはりまたは一方向床スラブをスパン方向に分割し、節点の断面性能を修正しながら有限差法による弾性解析を繰り返して初期たわみを求め、さらにコンクリートの材料性状を修正することにより任意材令における長期たわみを予測し得ることを示した。次いで、既往の長期載荷実験によって本解析方法の適合性を検討したのち、境界条件、断面寸法等の異なる多数のはり材について、材令を無限大とした時のたわみ(終局たわみと呼ぶ)計算を行い、常用断面のはり材の長期たわみ性状や使用限界等について論じた。

1 解析方法

1. 1 基本式と弾性たわみ

はり左端からの距離 x における曲げモーメントを M_x 、たわみを y 、分布荷重と断面2次モーメントが変化する場合も扱えるようにそれぞれ q_x 、 I_x で表すと、これらに関する微分方程式は以下のようになる。

$$\frac{d^2 M_x}{dx^2} = -q_x \quad (1)$$

または

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(I_x \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = \frac{q_x}{E_c} \quad (3)$$

ただし、 E_c : コンクリートのヤング係数

図1のようにはり材を m 等分したときの

(2)式と(3)式の差分表示は

$$M_i = -EI_i(y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1})/\Delta x^2$$

$$k_{i-1}y_{i-2} - 2(k_{i-1} + k_i)y_{i-1} + (k_{i-1} + 4k_i + k_{i+1})y_i - 2(k_i + k_{i+1})y_{i+1} + k_{i+1}y_{i+2} = q_i \Delta x^4 / EI_i \quad (5)$$

ここで、 k_i : 分割点の剛比($=I_i/I_0$)、 I_0 : 基準断面2次モーメント、 Δx : 分割幅($=Lx/m$)

単純支持端の境界条件は、両端において $y=0$ すなわち $y_0=0$ 、 $y_m=0$ であり、 $M=0$ すなわち $d^2y/dx^2=0$ を差分表示すると

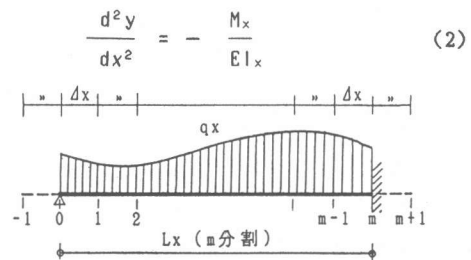


図1 はり材の分割と節点番号

(4)

注: 本論文は著者らの既発表の方法^{13, 14)}を進展させ適合性の検討と計算例を付加したものである。

$$(y_{-1} - 2y_0 + y_1)/\Delta x^2 = 0, \therefore y_{-1} = -y_1, (y_{m-1} - 2y_m + y_{m+1})/\Delta x^2 = 0, \therefore y_{m+1} = -y_{m-1}$$

固定端の境界条件は $y=0$ 、すなわち $y_0=0, y_m=0$ であり、 $dy/dx=0$ ゆえこれを差分表示すると

$$(y_1 - y_{-1})/2\Delta x = 0, \therefore y_{-1} = y_1, (y_{m+1} - y_{m-1})/2\Delta x = 0, \therefore y_{m+1} = y_{m-1}$$

となる。全節点の剛比 $K_i (i=0, 1, \dots, m) = 1.0$ において、(5)式と境界条件より作成した $y_i (i=1, 2, \dots, m-1)$ に関する連立1次方程式を解き、弾性たわみ Δe を得る。

1. 2 初期たわみ

前項の計算結果を(4)式に代入して得られる各分割点の曲げモーメント M_0 が、同点のひび割れモーメント M_{cr} を超過するか否かを吟味し、超過する場合には、鉄筋を無視した全コンクリート断面とひび割れ断面の断面2次モーメント I_{g0}, I_{cr} を用い、次のBranson式で当該分割点の有効断面2次モーメントを算定する¹⁾。

$$I_e = (M_{cr}/M_0)^4 I_{g0} + [1 - (M_{cr}/M_0)^4] I_{cr} \quad (7)$$

長方形断面の I_{cr} は

$$I_{cr} = b(cd)^3/12 + bcd(cd/2)^2 + nA_s(cd-d)^2 + nA_s(d-cd)^2 \quad (8)$$

ここで、 b : はり幅、 c : 中立軸比、 d : 圧縮縁から引張鉄筋重心までの距離、 d : 圧縮縁から圧縮鉄筋重心までの距離、 n : ヤング係数比、 A_s : 引張鉄筋断面積、 A_s : 圧縮鉄筋断面積
ただし、引張鉄筋比 $\rho (=A_s/bd)$ と圧縮鉄筋比 $\rho' (=A_s'/bd)$ を用いると中立軸比 c は

$$c = \sqrt{2n(\rho + \rho'd/d) + n^2(\rho + \rho')^2} - n(\rho + \rho') \quad (9)$$

正の曲げ領域ではスラブの接合効果を考慮する必要があるが、スラブの協力幅 B は学会規準式によるものとし、 $\rho = A_s/Bd, \rho' = A_s'/Bd$ とおき、(9)式で計算した中立軸がスラブ内にある場合のT形断面の I_{cr} は

$$I_{cr} = B(cd)^3/12 + Bcd(cd/2)^2 + nA_s(cd-d)^2 + nA_s(d-cd)^2 \quad (10)$$

中立軸がスラブ外にある場合は、

$$I_{cr} = Bt^3/12 + Bt(cd-t/2)^2 + nA_s(cd-d)^2 + nA_s(d-cd)^2 \quad (11)$$

$$c = \frac{t^2/d^2 + 2n(\rho + \rho'd/d)}{2[t/d + n(\rho + \rho')]} \quad (12)$$

一方、 M_0 の絶対値が M_{cr} 以下となる部分の

$I_e (=I_0)$ は鉄筋の影響を考慮するものとし、

計算に必要な諸元を図2のように表すと

$$I_0 = bh^3/12 + bh(h/2 - cd)^2 + (B-t)t^3/12 + (B-b)t(cd-t/2)^2 + nA_s(d-cd)^2 + nA_s'(cd-d)^2$$

$$c = \frac{t^2/d^2(1-b/B) + bh^2/(Bb^2) + 2n(\rho + \rho'd/d)}{2[t + b(h-t)/B]/d + 2n(\rho + \rho')} \quad (13)$$

$$c = \frac{t^2/d^2(1-b/B) + bh^2/(Bb^2) + 2n(\rho + \rho'd/d)}{2[t + b(h-t)/B]/d + 2n(\rho + \rho')} \quad (14)$$

(13),(14)式はT形断面用であるが、長方形断面に適用するときは、 $t=0, B=b$ とする。(7)~(14)式で求めた I_e を用いて、はり材各分割点の剛比を修正しながら、解が収束するまで前項の計算を繰り返すことにより、コンクリートの曲げひび割れを考慮したはり材の初期たわみ Δi が求まる。

1. 3 定着筋の滑りによる付加たわみ

床スラブ固定端の定着筋の滑りによる付加たわみ Δs は、スラブのスパン板厚比が大きい場合、特に端部上端筋が施工不良で沈降している場合に大きく、はりにおけるこの影響は十分無視できる程度のものである²⁾。従って、定着筋の滑りはスラブに対してのみ勘案することとした。

スラブの端部上端鉄筋定着部の滑り量 u による固定端の回転角 θ は、(9)式からひび割れ断面の中立軸を求め、これを回転軸と考えると、次式で計算できる。

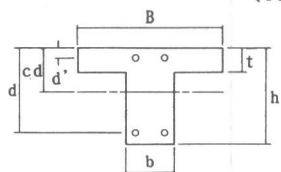


図2 T形断面の I_g 計算に必要な諸元

$$\theta = u/(d - cd) \quad (15)$$

スラブ筋定着部の滑りによる付加たわみ Δs は、固定辺に沿って節点ごとに θ を算出し、これによって床スラブの周辺を強制変形したときの解から計算される。すなわち、(5)式で $q_i=0$ とし、 $(y_1 - y_{-1})/2\Delta x = 0$ 、 $(y_{m-1} - y_{m+1})/2\Delta x = 0$ によって外点に関する項を消去することにより、付加たわみを算出する連立方程式を得る。

1. 4 長期たわみ

初期たわみ Δi とクリープたわみの和 $\Delta i + \Delta cp$ を求める方法として、Large、Branson、Mayer、Beeby等の論文^{13, 14)}に見られる「ヤング係数比増大法」を採用する。これは、クリープのひずみ増大のたわみに及ぼす影響を表すのに、有効ヤング係数とよばれる見掛けのヤング係数を導入することにより、弾性または初期たわみと同じように $\Delta i + \Delta cp$ の計算を行おうとするもので、載荷開始材令、載荷期間、環境条件などで決まるコンクリートのクリープ係数 ϕ_t を用い、コンクリートの有効ヤング係数 E_{ct} と鉄筋のヤング係数比 n_t を

$$E_{ct} = E_c / (1 + \phi_t) \quad (16) \quad n_t = n(1 + \phi_t) \quad (17)$$

で表し、(7)式の l_o および(13)式の l_o を再計算する。曲げモーメントは変わらぬものとして求めた各分割点の l_o から剛比を計算して(5)式の係数を定め、同方程式の右辺の E_o を E_{ct} としたときの解が $\Delta i + \Delta cp$ となる。

$\Delta i + \Delta cp$ を求めたと同じ手順で、 $\Delta i + \Delta cp$ に収縮たわみ Δsh を加算したたわみ $\Delta i + \Delta cp + \Delta sh$ を算定する。クリープと乾燥収縮の影響を考慮したコンクリートの有効ヤング係数 E_{ct} と鉄筋のヤング係数比 n_t は、次のYuとWinterの提案式による³⁾。

$$E_{ct} = E_c / (1 + 0.93\alpha E_c Y t^{1/3} / a^{1/2.5}) \quad (18) \quad n_t = E_s / E_{ct} \quad (19)$$

ここで、 E_c ：(前出)、 Y ：載荷年数による倍率、 t ：載荷日数（ただし1年以上は $t=365$ ）、 a ：載荷開始材令（日数）、 α ：筆者が導入したコンクリートスラブの影響係数（スラブが18cm内外では1.25）⁴⁾、 E_s ：鉄筋のヤング係数

(18)式の分母の2項目は、コンクリートのクリープと収縮ひずみに関するShankの実験式であり¹³⁾、年単位の Y 値が与えられているが、これらを回帰分析すると、次の3次多項式が得られる。

$$Y = 1.259 + 0.0592(N-3) - 0.0236(N-3)^2 + 0.0058(N-3)^3 \quad (20)$$

ただし、 N ：載荷年数

2 解析手順

コンクリートの曲げひび割れと時間依存性、並びに定着筋の滑りを考慮したはりまたは一方向床スラブのたわみ解析の手順を以下に要約する。

(1) 部材をスパン方向に等分し、有限差法による弾性解析を行い、長期持続荷重下の弾性たわみ Δe を求める。

(2) 弾性解から荷重履歴中最大荷重（通常は施工時荷重）下の曲げモーメントを求め、コンクリートのヤング係数を E_o 、ヤング係数比を n として、各節点の有効曲げ剛度 $E_o I_o$ 、 $E_o I_o$ を決める。

(3) 有限差法によりひび割れ領域では $E_o I_o$ 、ひび割れ領域外では鉄筋を考慮した $E_o I_o$ を曲げ剛度とする部材のたわみ解析を行い、最大荷重下の曲げモーメント M_1 を求める。

(4) 固定端がひび割れ領域となる場合、前項で得られる端モーメントを用い、定着筋の滑りによる付加たわみ Δs と曲げモーメント M_2 を求め、付加モーメントを前項の M_1 に加算し、ひび割れ領域の曲げ剛度を修正する。

(5) 各節点の曲げ剛度が収斂するまで(3)、(4)の手順を繰り返す。

(6) コンクリートの有効ヤング係数 E_{ot} と有効ヤング係数比 n_t を用いて部材の曲げ剛度を修正し、(3)の解析を行い、長期持続荷重下における載荷材令 t 日のたわみ $\Delta t = \Delta i + c_p$ を得る。ただし、 l_o の計算には、上記の $M_1 + M_2$ を用いる。

(7) 前項の E_{ot} 、 n_t を E_{ot} 、 n'_t に変えると $\Delta t = \Delta i + c_p + s_h$ を得る。

(8) 総たわみ $\Delta s + \Delta t$ を計算する。

3 本解法の適合性の検討

Washa & Fluck^{5,6)}、Yu & Winter³⁾、岩原^{7,8)}、山本⁹⁾、松崎¹⁰⁾、小森¹¹⁾らが行った等分布荷重による鉄筋コンクリートのはりまたは一方向床スラブの長期載荷実験8例を採り上げ、本解法によって求めた初期たわみと長期たわみを、実測値と比較してみる。

検討対象は、単純支持62体、一端固定他端単純支持18体、両端固定11体で、単純支持部材の内6体がT形断面、あとは全て長方形断面である。計算に当たっては、コンクリートの引張強度を $1.8\sqrt{F_c}$ （ただし、 F_c ：コンクリートの圧縮強度）としたが、比較のスパンが小さくひび割れの少ない国内の実験については同値を $1.2\sqrt{F_c}$ とし、分割数を10とした。各試験体の諸元とたわみ実測値並びに本解法によるたわみ予測値を一括して表1に掲げる。

図3は、横軸に予測値をとり、縦軸に実測値をとって初期および長期たわみをプロットしたも

表1 既往の鉄筋コンクリートはりおよび一方向スラブの長期載荷実験のたわみ実測値と予測値の比較

発表者、 構造型式	試験体 番号	コンクリート 材齢 (日数)		コンクリート 材料性状 (kg/cm ²)		スパン Lx mm	断 面 諸 元							鉄筋 荷重 (kg/m)	たわみ 実測値		たわみ予測値			備 考
		鉄筋 時	測定 時	Fc,	Ec x10 ⁵		B mm	b mm	t mm	h mm	A's (mm ²)	q _x kg/m	d _i mm	d _t mm	d _i mm	d _t mm	d _{i scale} d _{t test}			
Yasha-Fluck [5] 単純支持長 方形はり	A1, A4	14	900	255	2.08	6.1	20.3	20.3	—	30.5	A _s	563	1.35	2.36	1.50	2.51	1.06	スラブは15.2cm		
	A2, A5	14	900	255	2.08	6.1	20.3	20.3	—	30.5	A _s /2	563	1.57	3.23	1.57	3.23	1.00			
	A3, A6	14	900	255	2.08	6.1	20.3	20.3	—	30.5	—	563	1.70	4.47	1.65	5.88	1.32			
	B1, B4	14	900	212	1.91	6.1	15.2	15.2	—	20.3	A _s	159	2.34	5.11	2.57	4.89	0.96			
	B2, B5	14	900	212	1.91	6.1	15.2	15.2	—	20.3	A _s /2	159	2.49	6.50	2.63	5.95	0.92			
	B3, B6	14	900	212	1.91	6.1	15.2	15.2	—	20.3	—	159	2.64	8.64	2.70	9.58	1.11			
	C1, C4	14	900	208	1.88	6.3	30.5	30.5	—	12.7	A _s	122	4.01	8.00	4.29	7.48	0.94			
	C2, C5	14	900	208	1.88	6.3	30.5	30.5	—	12.7	A _s /2	122	4.34	10.06	4.42	9.27	0.92			
	C3, C6	14	900	208	1.88	6.3	30.5	30.5	—	12.7	—	122	4.78	14.07	4.61	16.00	1.14			
	D1, D4	14	900	205	1.85	3.8	30.5	30.5	—	12.7	A _s	341	1.19	2.77	1.57	2.72	0.98			
	D2, D5	14	900	205	1.85	3.8	30.5	30.5	—	12.7	A _s /2	341	1.42	3.30	1.63	3.37	1.02			
	D3, D6	14	900	226	1.92	3.8	30.5	30.5	—	12.7	—	341	1.78	4.45	1.65	5.83	1.31			
	E1, E4	14	900	210	1.88	5.3	30.5	30.5	—	7.6	A _s	57	5.94	12.40	5.28	10.30	0.83			
	E2, E5	14	900	210	1.88	5.3	30.5	30.5	—	7.6	A _s /2	57	5.59	12.88	5.39	12.40	0.96			
	E3, E6	14	900	210	1.88	5.3	30.5	30.5	—	7.6	—	57	6.30	18.49	5.53	19.35	1.05			
Yu-Winter [3] 単純支持 T形はり	A	30	180	259	1.80	6.1	30.5	15.2	6.4	30.5	—	655	3.40	6.73	3.22	5.66	0.84	スラブは6.4~8.9cm		
	B	29	180	273	1.76	6.1	30.5	15.2	6.4	30.5	A _s /2	656	3.14	5.66	3.18	4.89	0.86			
	C	28	180	248	1.76	6.1	30.5	15.2	6.4	30.5	A _s	653	3.02	5.18	3.15	4.44	0.86			
	D	31	180	259	1.80	6.1	61.0	15.2	6.4	30.5	—	1196	3.23	6.71	3.51	5.90	0.88			
	E	29	180	299	1.84	4.3	30.5	15.2	6.4	30.5	—	1253	1.30	2.92	1.56	2.83	0.97			
	F	34	180	299	1.84	6.1	30.5	15.2	5.1	20.3	—	387	5.59	10.03	5.91	10.80	1.08			
Yasha-Fluck [6] 2スパン 連続/長 方形はり	*X1, X4	14	900	227	1.99	6.1	15.2	15.2	—	20.3	A _s	283	1.42	2.90	1.70	3.20	1.10	スラブは10.2~15.2cm		
	*X2, X5	14	900	227	1.99	6.1	15.2	15.2	—	20.3	A _s /2	283	1.45	3.23	1.72	3.60	1.11			
	*X3, X6	14	900	227	1.99	6.1	15.2	15.2	—	20.3	—	283	1.57	3.78	1.75	4.74	1.25			
	*Y1, Y4	14	900	236	2.04	6.3	30.5	30.5	—	12.7	A _s	217	2.26	4.60	2.70	4.73	1.03			
	*Y2, Y5	14	900	236	2.04	6.3	30.5	30.5	—	12.7	A _s /2	217	2.36	4.98	2.75	5.35	1.07			
	*Y3, Y6	14	900	236	2.04	6.3	30.5	30.5	—	12.7	—	217	2.54	5.99	2.81	7.28	1.22			
	*Z1, Z4	14	900	232	2.10	5.3	30.5	30.5	—	7.6	A _s	101	2.64	5.89	3.48	6.60	1.12			
	*Z2, Z5	14	900	232	2.10	5.3	30.5	30.5	—	7.6	A _s /2	101	2.87	6.78	3.52	7.38	1.09			
岩原[7],[8] 一方 向 帯スラブ	*Z3, Z6	14	900	232	2.10	5.3	30.3	30.3	—	7.6	—	101	3.05	7.98	3.56	9.54	1.20	スラブは18.5cm(SL) 19.2cm(SN)		
	SL-1	35	140	278	2.96	3.0	40.0	40.0	—	13.0	—	297	0.37	1.70	0.37	1.62	0.95			
	SL-2	35	140	278	2.96	3.0	40.0	40.0	—	13.0	—	140	0.02	0.55	0.07	0.45	0.82			
	SL-3	35	140	278	2.96	3.0	40.0	40.0	—	13.0	—	297	0.20	0.90	0.32	1.28	1.42			
	SL-4	35	140	278	2.96	3.0	40.0	40.0	—	13.0	—	297	0.68	1.92	0.41	2.06	1.07			
	*SN-1	30	856	204	2.32	4.0	45.0	45.0	—	13.7	—	430	0.14	2.22	0.91	1.94	0.87			
	*SN-2	30	856	204	2.32	4.0	45.0	45.0	—	13.5	—	168	0.37	—	0.53	0.40	—			
	*SN-3	30	856	204	2.32	4.0	45.0	45.0	—	13.5	—	429	0.16	1.57	0.71	1.52	0.97			
山本[9] 一方 向 帯スラブ	*SN-4	30	856	204	2.32	4.0	45.0	45.0	—	13.3	—	427	0.17	1.78	1.51	2.92	1.64	スラブは18.0cm		
	S3	56	350	306	2.42	4.0	40.0	40.0	—	13.0	—	195	—	3.25	0.83	2.78	0.86			
	S4	56	350	306	2.42	4.0	40.0	40.0	—	13.0	—	195	—	3.05	0.83	2.78	0.91			
	*S1	56	350	306	2.42	5.3	40.0	40.0	—	13.0	—	231	—	2.30	1.49	2.61	1.13			
松崎[10] 一方 向 帯スラブ	*S2	56	350	306	2.42	5.3	40.0	40.0	—	13.0	—	231	—	2.00	1.49	2.61	1.31			
	*A1	30	350	168	1.85	4.2	100.	100.	—	12.0	—	576	0.15	1.60	0.76	1.61	1.00			
	*A2	30	350	168	1.85	4.2	100.	100.	—	12.0	—	468	0.10	1.16	0.47	1.23	1.06			
小森[11] 一 方向帯スラブ	*A3	30	350	168	1.85	4.2	100.	100.	—	12.0	—	288	0.06	0.82	0.10	0.54	0.66			
	*S1-A	56	90	205	1.62	5.3	25.0	25.0	—	10.0	—	60	3.10	6.30	3.38	5.61	0.89			
注	*S2-B	56	90	205	1.62	5.3	25.0	25.0	—	10.0	—	60	1.30	4.60	3.16	5.46	1.19			

材端は * 印が両端固定 (スパンははり心スパン), † 印が一端単純支持他端固定, 他は単純支持
(1) スパン中央の片端純粋, (2) 自重を含む []内は文献番号を示す

注 材端は *印が両端固定（スパンははり心スパン）、†印が一端単純支持他端固定、他は単純支持
(1) スパン中央の圧縮鉄筋、(2) 自重を含む、[]内は文献番号を示す

のである。予測値と実測値は、両端固定一方向床スラブの幾つかの初期たわみに大きな隔たりが見られるが、他の初期たわみと、長期たわみについてはほぼ全部材が良い対応を示している。なお、本解法の適合性の検討と併行して、付13.2として新たに日本建築学会RC規準に掲載予定の小柳らの方法¹²⁾、CEBとBS規準による

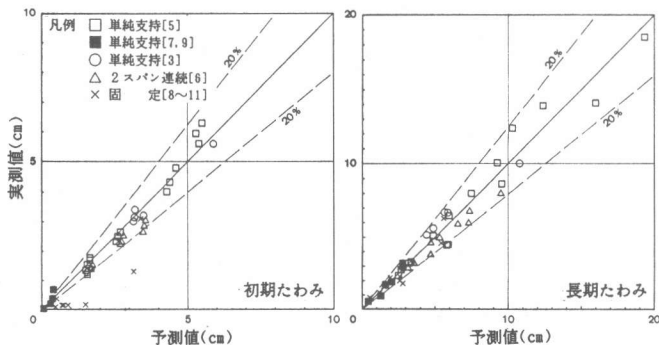


図3 たわみ実測値と予測値の対応

方法でも同じ計算を行ったが¹³⁾本解法の適合性が最も良好であった。

4 はり材の終局たわみ

4.1 計算の概要 境界条件が両端単純支持、一端単純支持他端固定、両端固定となる3種類の小ばりと、1乃至2本に小ばりが取り付く両端固定の大ばりのスパン L_x 、支配幅 L_y 、はり幅 b 、スラブ厚 h 、材料性状、荷重等の諸元を表2のように設定し、はり丈は $0.1L_x + 20\text{cm}$ を上限とし、5cm間隔で、あばら筋D10、主筋D19による2段配筋が可能なもの全てを検討対象とした。

4.2 大たわみの発生限界

計算した全てのはりの終局たわみをスパンで除したものの(終局たわみ率と呼ぶ)を、はり丈スパン比を指標値として整理すると、小ばりの場合が図4、大ばりの場合は図5のよ

表2 計算モデルの諸元

	小ばり	大ばり(目型・目型)	備考
スパン L_x (cm)	450, 650, 750, 800	600, 750, 900	スラブ厚は15cm
支配幅 L_y (cm)	200, 300, 400	450, 600, 750, 900	
はり幅 b (cm)	25, 30, 35 ($L_x=450$) 30, 35, 40 ($L_x=600, 750$) 35, 40, 45 ($L_x=900$)	30, 35, 40 ($L_x=600$) 35, 40, 45 ($L_x=750$) 40, 45, 50 ($L_x=900$)	目型・目型小ばり断面 25x40 ($L_x=450$), 35x60 ($L_x=750$) 30x50 ($L_x=600$), 40x70 ($L_x=900$)
材料性状	コンクリート強度 F_c 同ヤング係数 E_c 同有効ヤング係数 $E_{c,eff}$ 鉄筋のヤング係数 E_s	210 kg/cm ² 210000 26800 2100000	コンクリートの引張強度 $1.8\sqrt{F_c}$
荷重	仕上げ荷重 設計用積載荷重 長期積載荷重	80 kg/m ² 300 100	施工荷重はコンクリート自重の2.1倍

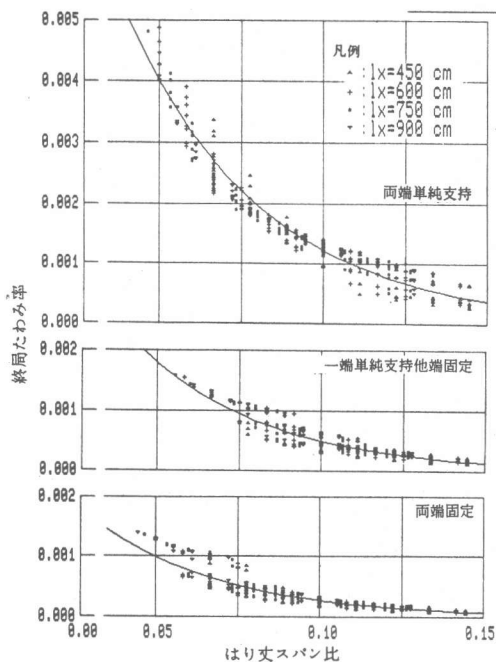


図4 はり丈スパン比と終局たわみ率(その1:小ばり)

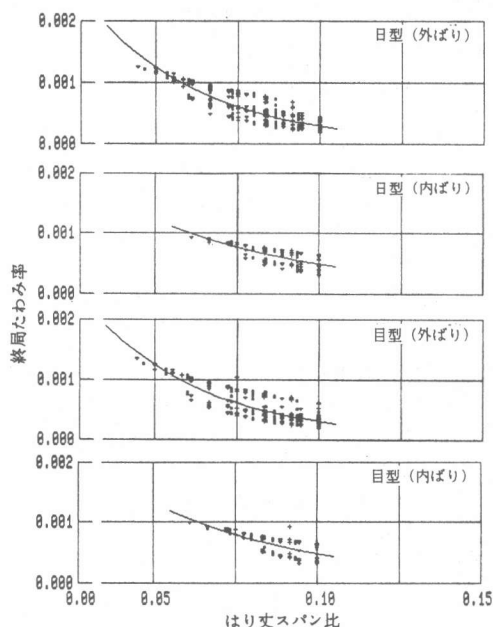


図5 はり丈スパン比と終局たわみ率(その2:大ばり)

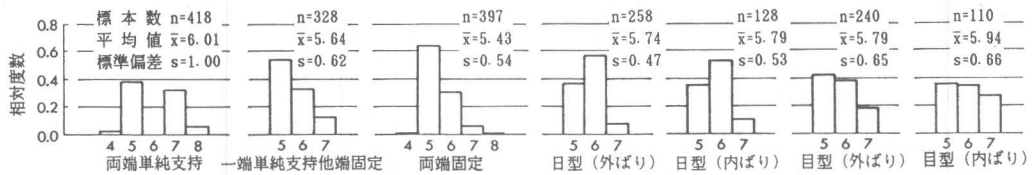


図6 弾性たわみを基準とした終局たわみ倍率の相対度数分布

うになる。本報告では、はり中央はT形ばりとして、曲げモーメントが負となる端部は長方形ばりとして配筋計算を行っている。従って、両端単純支持ばりの配筋可能なはり丈の下限値はかなり小さく、はり丈スパン比が0.075以下で終局たわみ率は急激に大きくなる。仮に、使用限界たわみ率を0.002とすると、両端単純支持ばりでもはり丈スパン比を0.08以上とすればよく、他の境界条件の小ばりや両端固定の大ばりでは、配筋可能な部材の終局たわみ率が0.0015を越えることは殆どない。

4.3 終局たわみ概算法について 図6は、計算した全てのはり材について、弾性たわみ Δ_e を規準とした終局たわみ Δ_t の倍率 Δ_t/Δ_e がどのような分布状況を示すかを表したもので、境界条件等によって若干異なる倍率の上限値を Δ_e に乗ずることにより、その Δ_t を概算できよう。

同じ境界条件下で L_x 、 L_y 、 b を一定とし、はり丈 h のみを変えたときの終局たわみは、4次多項式を当てはめ十分な精度でその推移を表すことが可能である。また、図7のように、たとえば $L_y=3.0\text{m}$ とし、 $L_x=6.0, 7.5, 9.0\text{m}$ 、はり幅を表2に掲げる三つの中央値にとると、上記4次多項式から得られるはり丈スパン比と初期または終局たわみ率との関係は、それぞれ一本の曲線で表示することができ、これから前述の倍率 Δ_t/Δ_e を式で表すことも可能である。

まとめ 以上のことから、①弾性たわみを基準とした終局たわみの倍率は4～8倍で平均約6倍、②配筋可能な両端固定ばりおよび連続ばり外端にたわみ障害は起こらない、③単スパンの小ばりは配筋可能であってもたわみ障害を起こす危険性があること、などが明かとなった。引続き、対象を単スパンに限定し、直交大ばりのたわみとねじれを考慮した長期たわみ解析を行う所存であるが、ここでは両端単純支持ばりの計算結果を用い、単スパンでははり丈スパン比を少なくとも0.08以上とすべきことを提案し、本報告の結論とする。

なお、終局たわみ実用計算法の提示は、紙幅の関係で次回に譲ることとする。

【参考文献】

- 1) Branson, D. E. : Deformations of Concrete Structures, McGrawhill, 1977, pp.118~120.
- 2) 杉野目・井野・山村：使用荷重下における鉄筋コンクリート床スラブたわみの予測計算，日本建築学会構造系論文報告集，No. 372, 1987/2, 103~113頁
- 3) Yu, W.-W., Winter, G. : Instantaneous and Long-Time Deformations of R/C Beams under Working Loads, ACI Journal, Jul. 1960, pp.29~50.
- 4) Rüsch, H., Jungwirth, D., Wilsdorf, K. : Creep and Shrinkage, Springer Verlag, 1983, pp.70.
- 5) Vasha, G. W., Fluck, P. G. : Effect of Compressive Reinforcement on Plastic Flow of Reinforced Concrete Beams, ACI J., V. 24, No. 2, Oct. 1952, pp.89~108.
- 6) Vasha, G. W., Fluck, P. G. : Plastic Flow (creep) of R/C Continuous Beams, ACI J., V. 27., No. 5., Jan. 1956, pp.549~561.
- 7) 岩原昭次・高戸通幸：ひびわれを生じた一方床スラブの長期曲げ性状，コンクリート工学会論文報告集 9-2, 1987, 615~620頁
- 8) 岩原昭次：両端固定鉄筋コンクリート造一方床スラブの長期曲げ性状：日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），1983/10, 1953~1956頁
- 9) 山本俊彦：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2），東急建設技研年報 No.27, 1979, 71~74頁
- 10) 松崎育弘・畑野肇・田中久雄：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），鹿島建設技研年報 No. 27, 1979, 63~68頁
- 11) 東洋一・小森清司：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），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），1975/10, 1039, 1040頁
- 12) 小柳先生：長期たわみの計算法（日本建築学会R/C規準付13.2案），日本建築学会長期設計小委員会資料，1987/10.
- 13) 杉野目・井野・駒込・伊藤・山田：使用荷重下における鉄筋コンクリート梁のたわみについて，日本建築学会北海道支部研報，No. 61, 1987/3, 65~68頁
- 14) 杉野目・井野・駒込：使用荷重下における鉄筋コンクリート梁のたわみ解析（その1，2），日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），1987/10, 611~614頁

図7 はり丈スパン比と弾性および終局たわみ率の関係

