

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1)

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 1)

Hisao Takahashi Mitsuo Koyanagi
Toshikazu Takeda Takeshi Ohike

Abstract

Experiments were conducted on model specimens with varied factors in an investigation of deflection due to sustained loads on slabs. This report describes comparison studies of results of measurements made during approximately 200 days as part of the experiments and the analyses carried out thereon. The place where the experiments were conducted has a temperature of 10°C and humidity of 50% at the time of loading and in the early days following, which became about 15 ~ 20°C and 70 ~ 90% respectively in the long term. The results showed prominent movement in deflection of simply-supported and cantilevered slabs in the early days after loading to become approximately double at 10 days. The movement in deflection after about 10 days was slowed down and the deflection at 200 days was 1.2 ~ 1.5 times that at 10 days. Calculated results obtained by the creep analysis method were in good agreement with test results. For cantilevered slabs, calculations were made considering added deflections due to rotations of fixed ends.

概要

床スラブの長期にわたるたわみ挙動を調べるために要因の異なる模型スラブの実験をおこなった。本報はその一部について約200日間のたわみ実測と計算値を比較、検討したものである。試験場所は加力時期に温度約 10°C、湿度約50%、長期にわたると約15~20°C、70~90%である。その結果、単純支持、はね出しスラブのたわみの動きは加力後初期期間に著しく、材令10日で約2倍となった。材令約10日以降の動きは緩慢となり、材令10日のたわみを1.0とすると材令200日で、1.2~1.5程度となった。曲げクリープを用いて、求めた計算値は、実測値とほぼ近似した。なお、はね出しスラブの場合は固定端の回転による付加たわみも考慮して計算した。

1. まえがき

以前より床スラブのたわみ障害がよく問題にされている。この原因は、施工、材料、設計などの各方面からの要因が考えられよう。なお、長期的な変形チェックに対する考え方がまだ一般化されていないことも問題であると思われる。

本報告は、変形性状の事前把握、つまり予測計算法の確立のための一助として、また変形障害の防止を計ることをめざして行った長期荷重による一方向模型スラブ実験結果の報告である。現在なお継続中であるが、約200日にわたる実測結果の一部についてまとめ、報告する。

2. 実験概要

2.1. 試験体の形状および配筋

スラブ No.	荷重	形状種別	調査	配筋	Parameter	その他		
1	1・P	単純支持 スラブ	A	a	加力条件の相違	基準試験体		
2	1/2・P							
3	2/3・P							
4	1/3・P							
5	1・P		B	A	b	コンクリート調査相違	A 調査との比較	
6						c	主筋の被り厚5cmとする	スラブ他は全部3cm
7						a	主筋に溶接金アミ筋使用	
8						a	試験場所の相違	野外に放置
9	1・P	はね出しスラブ	A	B	コンクリート調査の相違			
10								
11	1・P	固定支持スラブ	A	B	コンクリート調査の相違			
12								
13	なし	乾燥収縮測定スラブ	A	B	コンクリート調査の相違	軟練りコンクリート		
14						硬練り "		

表一 1 試験体の形状と要因

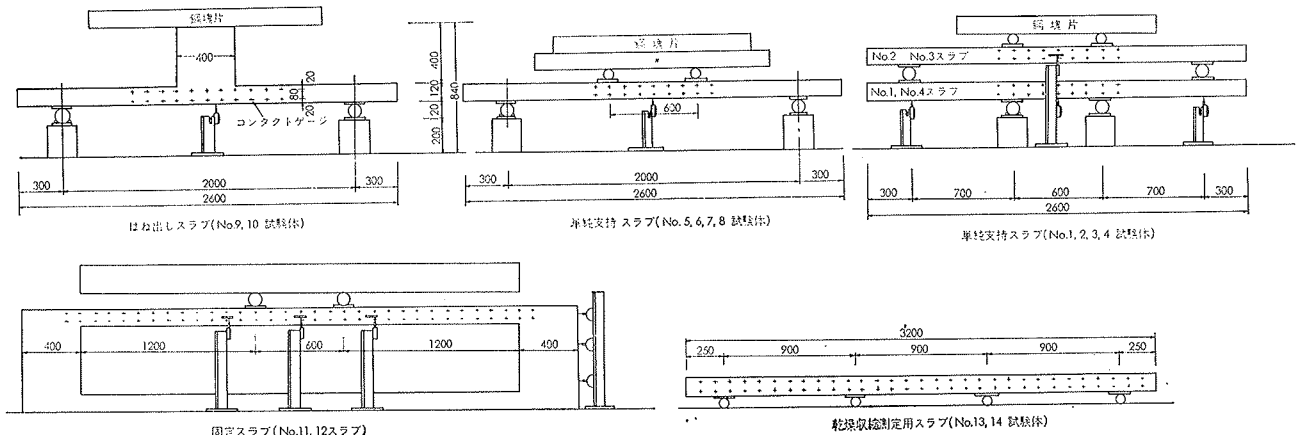


図-1 試験体と載荷方法図

試験体の形状は単純支持、はね出し、固定支持スラブおよびダミースラブの4種であり、幅50cm、スラブ厚12cmの一方方向試験体である。図-1にその形状と加力方法を示す。図中でNo. 2とNo. 1スラブが対でNo. 3とNo. 4スラブが対となる。この時下側試験体は裏返して置く。主筋はSD30-D10を使用し、その配筋図を図-2に表わす。単純支持スラブは単筋配筋で鉄筋比0.48%、はね出しスラブは複筋で鉄筋比 $P_t = P_c = 0.48\%$ でこれらの定着長は26dフック付(d:鉄筋径)とし、固定支持スラブはベンド筋を用い、定着長を36dフックなしとした。溶接金アミ筋使用のNo. 7スラブは(鉄筋量)×(降伏応力)を他スラブと合うように配筋した。コンクリートとしては生コンを使用し、その調合条件は設計基準強度 210 kg/cm^2 で、川砂(鬼怒川、荒川産混合)、川砂利(荒川産)を使用した。コンクリートの性質は表-3に示す。スラブの違いによる影響を検

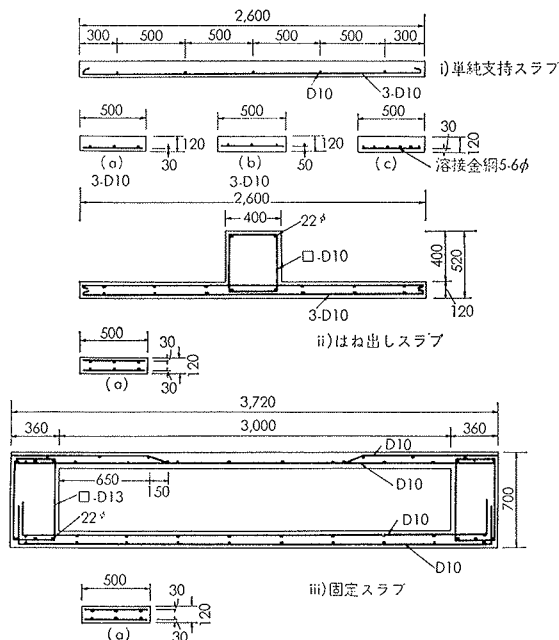


図-2 配筋図

コンクリート No.	コンクリート1M ³ 中の重量 kg/m ³					スランプ (cm)
	セメント	水	細骨材 (2.5mm以下)	粗骨材 (2.5mm以下)	混和剤 ビンゾール	
A	308	180	751	1053	0.092	18.0
B	262	153	759	1154	0.092	8.0

表-2 コンクリートの調合

コンクリート No.	8週 圧縮強度 (kg/cm ²)	8週 弾性係数 (×10 ³ kg/cm ²)	標準水中養生 圧縮強度 (kg/cm ²)	スランプ (cm)	コンクリート 練上り温度 (°C)
A	189	1.99	337	21.3	6.8
B	141	1.40	248	10.7	6.5

表-3 コンクリートの性質

討するため軟練り(調合:A)、硬練り(調合:B)の2種を計画したが強度に差があらわれ、結果的には強度差をもつコンクリートの比較試験となった。

打設日は1月中旬で降雪があり試験場所が低温度(10°C前後)と低湿度(50%前後)だったこともあって、コンクリート強度発現が悪くこのため加力は材令8週で開始した。試験場所は当研究所大型実験棟地下2階室内でありその室内温度は季節では変化(冬季10°C、夏季22~23°C)しているが日内の温度差は殆んどない。室内湿度は、加力時期は50~60%それ以降材令200日あたりまでは70~90%となる。

加力は鉄筋応力 2000 kg/cm^2 を基準とするが、単純支持スラブは応力の変化を与えてその関係を示すように4種に荷重を変えた。

測定方法は以下の通りである。

試験体たわみ量:ダイヤルゲージ(1/100mm精度)
引張鉄筋ひずみ:ワイヤーストレインゲージ(4ゲージ法)

コンクリート内自己歪:カールソソ型歪計(ダミースラブ)

側面ひずみ:コンタクトゲージ(検長10cm)

3. 単純支持スラブ

3.1. 実測結果

たわみの動きを表-4に示す。この中には計算値で

あるが自重によるたわみ量(0.20mm), およびNo. 1, No. 4 スラブはさらに2枚重ねによるたわみ量(0.46mm)を加えている。なお表-1に示す単純支持スラブの荷重の比率とは載荷した載荷物の比を示すものであり, 自重を含めた実際の試験体の存在応力の比率は同表-4に示す。

たわみ実測結果から, 加力後10日あたりまでにたわみの急増がみられ, また材令200日ではそのたわみ値は, 瞬時たわみを1.0とすると2.0~4.0程度となる。なおNo. 1スラブはその存在応力に対しかなり大きいたわみ値を示した。No. 5スラブは試験室の一番南側に面し, 養生温度が有利に作用しコンクリート強度が他より高くなっていることが考えられる。

スラブ No.	存在応力 (t.m)	存在応力 比率	瞬時たわみ (mm)	t=10日たわみ (mm)	t=200日たわみ (mm)	たわみ比率 t=200/瞬時	たわみ比率 t=200/t=10
2	0.180	0.52	0.60	1.50	1.80	3.0	1.20
3	0.245	0.71	0.80	2.05	2.70	3.4	1.32
1	0.343	1.00	3.76	7.01	8.76	2.3	1.25
4	0.407	1.19	3.96	7.16	8.86	2.2	1.24
7	0.343	1.00	1.80	4.90	6.50	3.6	1.33
5	0.343	1.00	1.44	4.12	5.60	3.9	1.36

表-4 単純支持スラブたわみ

試験体の引張側, 圧縮側歪の変化を図-3に示す。この値は中央部の応力一定区間60cmの平均歪である。なお基準実測値は, 加力後数時間経過して測定したものである。引張側歪の伸びが大きいことがわかる。

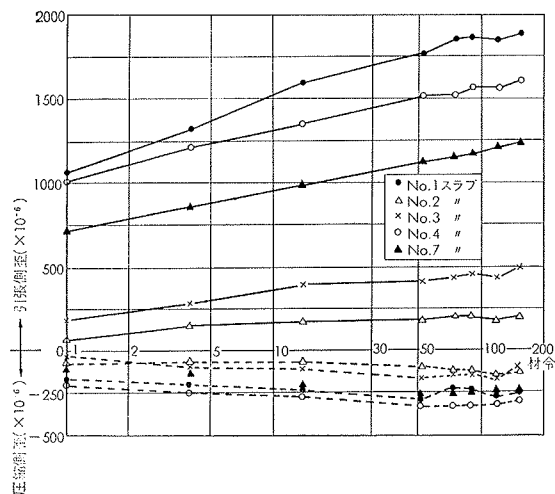


図-3 圧縮側, 引張側両歪の変化

3.2 解析方法

以下に供試体 No. 1 を例にとって解析の手順を示す
 $M_d = 0.337t \cdot m$ $M_C = 0.305t \cdot m$ $M_Y = 0.560t \cdot m$
 $E_{I_0} = 14.73 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ $E_{I_Y} = 2.42 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$
 M_d : 長期設計モーメント M_C : ひびわれモーメント
 M_Y : 降伏モーメント E_{I_0} : 初期剛性
 E_{I_Y} : 降伏時剛性

M_d はRC規準の床スラブ断面算定法に従い M_C は同

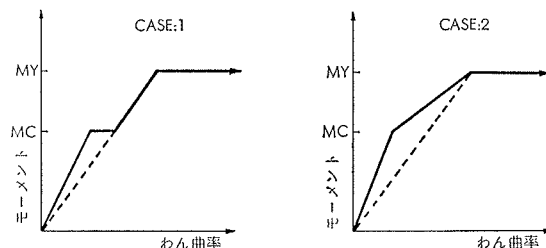


図-4 モーメント=わん曲率の関係

規準式 $\sigma_t = 1.8\sqrt{F_C}$ より算出する。 M_Y はe関数法の終局強度式から求める。 E_{I_0} は全断面を有効と考慮して算出する。 E_Y は引張側コンクリートを無視し計算して得られた中立軸を使って圧縮側コンクリートと引張側鉄筋を有効断面と考えた剛性計算から求めている。コンクリート強度, 弾性係数はシリンダー圧縮試験から得られた結果を用いる。たわみ計算で使用するモーメント=わん曲率の関係は図-4の2通りを考えた。

長期たわみ計算のため次のように仮定する。

- i) クリープたわみ計算は坂博士式計算法*に拠る。
- ii) コンクリートクリープ係数式 $\phi_t = 1.43 \cdot t / (0.34t + 14.60)$ と仮定する。t: 日数

i) 計算法の基本的な考え方を述べると, コンクリートが持続載荷を受けるとクリープ変形するがこの変形をヤング係数 E_t の変化と考える。鉄筋のクリープは考えないため, ヤング係数比が変わり中立軸が動く。更に鉄筋応力, コンクリート応力を求め回転角を得る。各存在応力毎にこの方法を用いて計算しクリープたわみを求める。なお材令 t において $E_t = E_0 / (1 + \phi_t)$ とする, E_0 : 初期弾性係数

3.3 解析結果と考察

前項の解析方法を用いて得られたモーメント=わん曲率 ($M \sim 1/\rho$) の関係式の計算値(加力直後)を図-5に示し, 比較のために加力後数時間経て実測した値と3日後の実測値も図中に表わす。計算値はCASE:1,

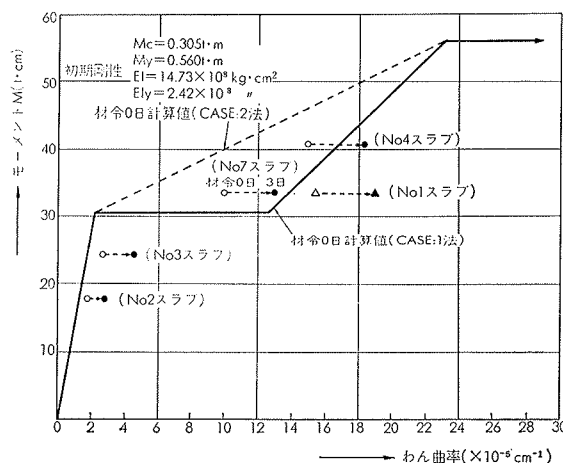


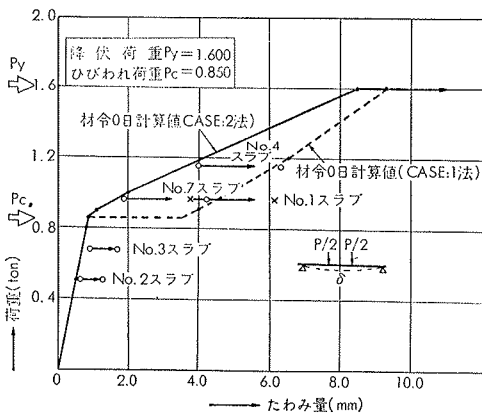
図-5 モーメント=わん曲率実測値と計算値

2法を示し、実測値はコンタクトゲージによる歪値から求めている。荷重—たわみ曲線の計算値と実測値の比較を図—6に示す。実測点は瞬時たわみおよび3日後の(瞬時+クリープ)たわみを記す。

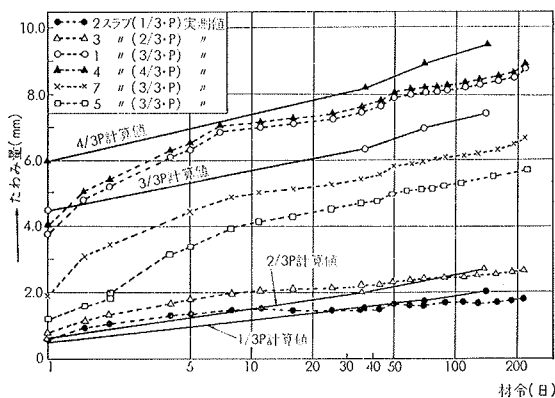
加力後数日間に変形の急増がみられ、計算法CASE:1に近づく傾向を示すことが図—5, 6からわかる。これはNo. 1, No. 4スラブはひびわれ荷重より大きい荷重で載荷しているため加力直後ひびわれが発生し、時間的なずれを伴って圧縮クリープ、鉄筋のすべりなどが作用しひびわれ幅、長さが拡大するためと思われる。図—3からも引張側歪の伸びが大きいことがわかる。

存在応力の低いNo. 2, No. 3スラブでも加力後数日間の動きが大きい。これは加力直後に生じなかった小ひびわれが加力後1日でNo. 2で1本, No. 3で2本それぞれ発生したのでその影響によるものと思われる。また加力時期の室内湿度が低かったことも原因していると考えられる。

ともかく打設時期の条件が芳しくなかったとは言え、持続荷重を受けるRC床スラブの変形を扱う場合、CASE:1法を使って解析すると良いと言えよう。そこで次の長期たわみの解析にはこのCASE:1法を用



図—6 荷重—たわみ実測値と計算値



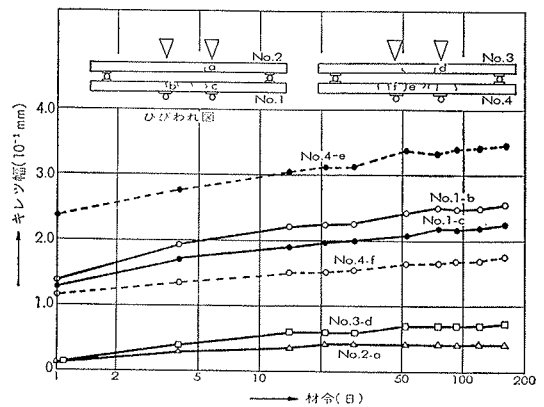
図—7 たわみ実測値と計算値

いて計算し検討する。

応力がひびわれを越す場合とそうでない場合では、それぞれ剛性が異なるがこれらを組合わせて $M \sim 1/\rho$ 関係式を各材令毎に求めてたわみ計算する。

実測値との比較を図—7に示す。クリープ係数の仮定値 ($\rho_{t \rightarrow \infty} = 4.17$) については、やや大きすぎる値と思われたが、この程度の仮定値を使うと実測たわみと近似する傾向を示した。

なお、ひびわれ図とひびわれ幅の動きを図—8に示す。図中、試験体内の記号は主要なひびわれ位置を示し、さらにその位置のひびわれ幅の動きを下面から2cm上がった所で測定し、記した。この結果、No. 1, No. 4スラブは10~15cmピッチにひびわれが生じており、幅は大きい所で0.3mmとなっている。原点は加力後数時間経過した時点をとっている。

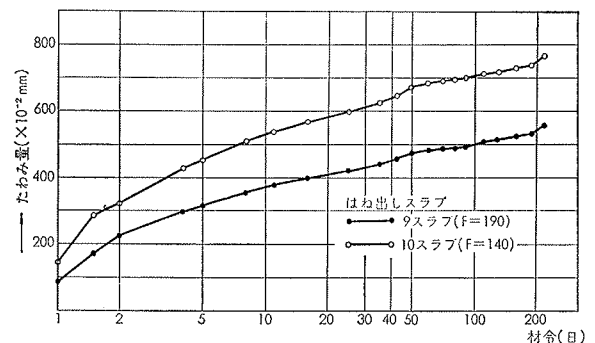


図—8 ひびわれ図とひびわれ幅の動き

4. はね出しスラブ

はね出しスラブの場合は、固定端付近の応力がひびわれ耐力を越すと、ひびわれが発生しスタブ内からの鉄筋のすべり出しも生じてそれによる回転がたわみに及ぼす影響を無視できないと思われる。

No. 9, No. 10スラブの実測たわみを図—9に示す。同荷重にもかかわらず実測たわみは1:1.5と差があ



図—9 はね出しスラブ実測たわみ

る。これはコンクリート調合が異なるため、強度差、弾性係数の差(1:1/1.43)の影響によるものと言えよう。また、加力直後の瞬時たわみに対し材令200日ではそれぞれ5倍程度に増大しておりこの動きは単純支持スラブより著しい。また材令10日のたわみを1.0とすると材令200日では、1.46, 1.42となる。

図一10に、はね出しスラブ持続材令0日と90日について実測わん曲率分布と計算値(CASE:1法)との比較をおこなう。計算値は、それぞれのスラブのコンクリート調合のシリンダー強度、ヤング係数を用いて算出する。この図から、スタブ付近10cm区間の平均わん曲率実測値は、ひびわれ耐力を越える部分の引張側コンクリートを無視して求めた計算わん曲率より大きな値を示すことがわかる。このことから、スタブ内か

らの鉄筋すべりが生じ、その結果、ひびわれ幅を拡げたことが考えられる。

したがってのはね出しスラブの変形計算をする場合、曲げ応力によるたわみ(a)と、固定端の回転に伴う付加たわみ(b)との和として計算する必要がある。付加たわみ(b)は $\delta = l \times \theta$ (l :スパン長, θ :端部回転角)であらわされる。今回の計算では、 θ はコンタクトゲージによる上端、下端歪の実測値から決定した。

実測値と計算値を比較するために、曲げによるたわみを計算法CASE:2法から求め、付加たわみを実測回転角から求めてみた。ただし、実測回転角の中には曲げ応力によるひずみも含まれているため、この分を計算値から求め、差し引いている。結果を表一5に示す。この表から、実測値と計算値はほぼ近似することがわかる。また、付加たわみの全計算たわみ値に占める割合は5~6割とかなり大きい。曲げによるたわみを計算法CASE:1法から求めても付加たわみ量は2~3割を占めた。

5. まとめ

今回は、単純支持、はね出しスラブについて実測結果を示し、検討を加えた。

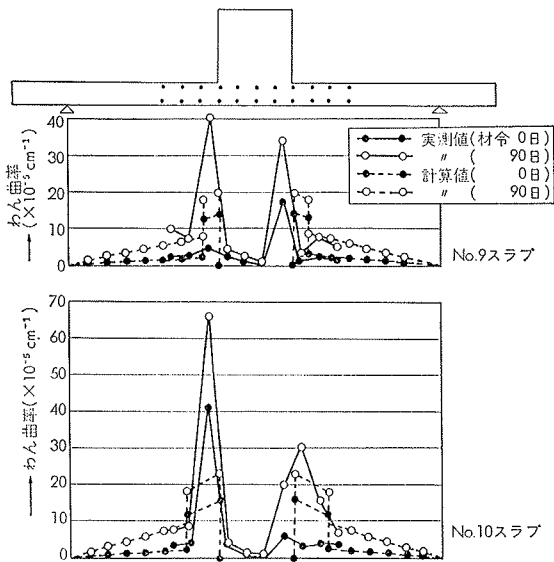
加力による瞬時たわみに対し、加力後初期期間にたわみの動きが著しい。材令10日で2倍前後となった。

温度20°C前後、湿度70~90%という状態の試験場所では、材令約10日以降の動きは緩慢となり、材令10日のたわみを1.0とすると材令200日で単純支持で1.2~1.4、はね出しスラブで1.4~1.5程度となった。各試験体とも同程度の増加率を示しており、このような環境条件下の試験では、初期期間の動きから長期たわみの動きが予測可能と思われる。

長期たわみの計算法としては、単純支持スラブの場合、ひびわれを越える引張側コンクリートを無視したCASE:1法を用い、坂博士式曲げクリープ解法を使用し、最終クリープ係数4.0程度のクリープ係数式を用いてたわみ計算すると実測値とほぼ近似した。はね出しスラブの場合、曲げによるたわみの他に固定端のひびわれ発生に伴う付加たわみを考慮する必要があり、実測ひずみから求めた端部回転角を使って付加たわみを計算すると、実測値とほぼ近似した。

参考文献

- 1) 鉄筋コンクリートの研究 坂静雄著
- 2) 鉄筋コンクリート帯スラブのたわみとスラブ内の付着について 東洋一他(建築学会梗概集S43)



図一10 はね出しスラブわん曲率分布

試験体	材令(日)	曲げによるたわみ(mm)	付加たわみ(mm)	全計算たわみ(mm)	実測値(mm)	計/実
No.9 スラブ (F=190)	0	0.36	0.52	0.88	0.90	0.98
	35	1.25	2.03	3.28	4.40	0.75
	70	1.57	2.11	3.68	4.90	0.75
	140	1.83	2.04	3.87	5.20	0.74
No.10 スラブ (F=140)	0	0.76	1.31	2.07	1.40	1.48
	35	2.05	2.92	4.97	6.20	0.80
	70	2.52	3.37	5.89	6.90	0.85
	140	2.94	3.36	6.30	7.25	0.87

表一5 はね出しスラブ計算値と実測値