

支保工の存置期間に関する研究（その2）

高橋久雄 小柳光生

Study on Removal Time of Formwork Shoring (Part 2)

Hisao Takahashi Mitsuo Koyanagi

Abstract

In the previous report a proposal was made regarding the period of time shores under slab forms should remain in place. This report furnishes calculation methods from the viewpoint of slab deflections. It describes field measurements of slab deflection and estimates deflections during construction.

概要

前報¹⁾ではスラブ下支保工存置期間の提案を行なったが、この提案は、施工時は有害な曲げひびわれが生じないような所要強度が得られた時点で支保工を除去することを基本としている。本報では、前報に引き続き、スラブたわみの面から適正な支保工存置計画の、フォローを行なう。内容としては、建築現場の施工期間中のたわみ測定事例を紹介しながら、たわみ推定によるたわみ管理の考え方を述べている。

1. はじめに

前報¹⁾ではスラブ下支保工存置期間の提案を行なったが、この提案は、予想される施工荷重に対してコンクリートスラブが有害な曲げひびわれを生じないような曲げ強度を有する材令をもって支保工存置期間と考え、支保工除去可能な所要圧縮強度の算定方法を示している。また、その中でこの算定式から得られる所要圧縮強度が、設計基準強度に達していれば支保工を除去して良いがこの F_c を大幅に上まわる場合には有害なひびわれたわみの恐れがないかどうか検討の余地があることを示唆している。

本報では、前報の支保工除去提案式について、スラブのたわみ変形の面からのフォローを行なう。

内容としては、建築現場の施工期間中の床スラブたわみ測定事例を紹介しながら、スラブ構造体の施工期間中のたわみ推定による曲げたわみ評価の考え方を示す。さらに将来たわみ障害の恐れのあるケースの事前対策について触れる。

2. 現場スラブのたわみ測定事例

2.1. 建物概要と測定計画

当該建物は、5階建工場で、その平面図は図-1に示すスパン6.4m×0.9mの日型スラブでスラブ厚は18

cmである。測定項目は(i)スラブ中央たわみ、(ii)はりスパン中央側面変形について約3カ月間にわたり測定するとともに、参考のため支保工の荷重履歴についても計測した。型わく支保工は在来工法であり、コンクリート打込み時2層受けとし、その後、数日して支保工を除去している。

2.2. たわみ測定結果

2階～4階スラブのうち各階それぞれ5枚の連続スラブについてたわみを測定し、その経時的なたわみ挙動を図-2に示す。この時、図中の測点No.は、図-1中の平面図に示すNo.と対応している。測定方法は精密レベル(ニコンAS精度1/10mm)を用いた。コンクリート打込み後2～3日以内の測定値を基準値とし、固定点は壁の取付いた位置No.1としている。

また解体後まもない時期および材令3カ月程度でのたわみ曲線として整理して、図-3に示す。たわみ測定結果から、3カ月でのスラブ中央たわみは、平均2.6mm(3階)、2.4mm(4階)で、小ぶりもスラブ中央と同程度のたわみを生じている。なお、測定値と計算値の比較検討は後述する。

2.3. 直交大ばり側面の変形

図-1の位置Aでの直交大ばりスパン中央側面のひずみの動きを調べるため、図-4のようにコンクリートゲ

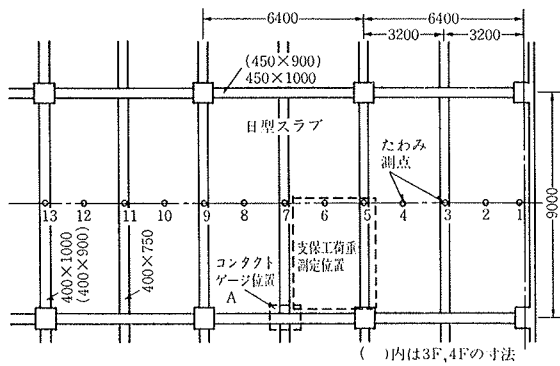


図-1 建物平面図およびたわみ測点位置

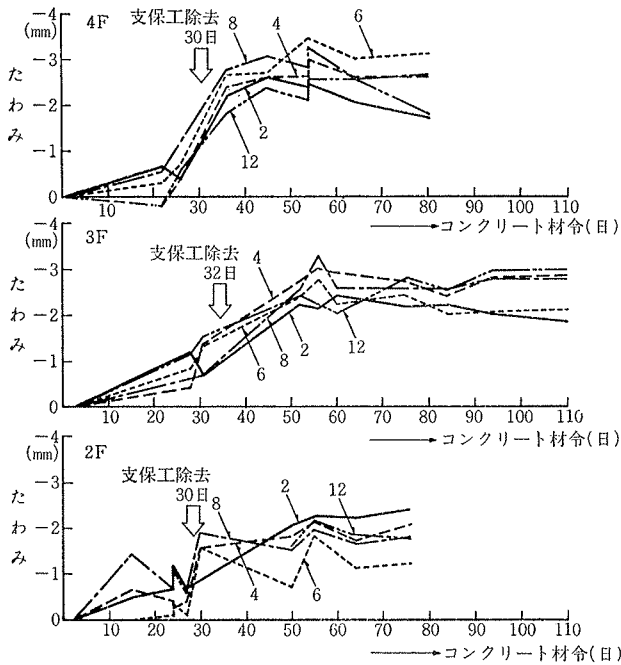


図-2 スラブたわみの経時変化

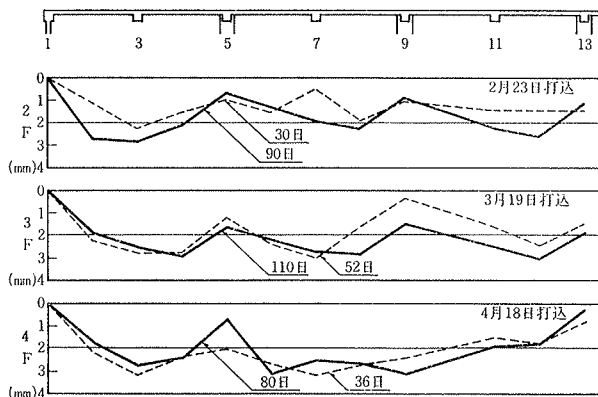


図-3 スラブ・はりのたわみ測定結果

ーシ標点をはり、2階～4階の大ばりについて測定した。測定結果を平均曲率として整理したものを、図-5に示すがこの図から、支保工除去直後の曲率値は、2、3、4階それぞれ $2.94, 4.59, 4.61 \times 10^{-6} \text{cm}^{-1}$ であり、各階とも除去直後に同位置に、曲げひびわれと思われるひ

びわれが発生した。このひびわれは除去直後には幅 $0.05 \sim 0.10 \text{mm}$ であったが、材令3カ月程度では $0.1 \sim 0.3 \text{mm}$ に発展した。ひびわれ状況は、図-4中に示す。なお2階はりに比べて3、4階はりの曲率が大きいのは、はりせいが小さいためと思われる。

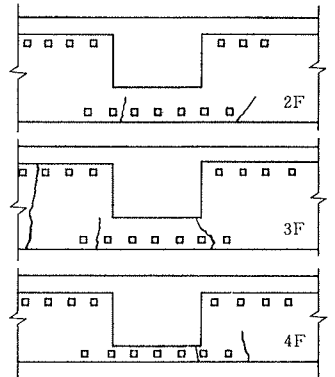


図-4 直交大ばり側面ひびわれ

施工荷重を受ける時の直交大ばりの曲げひびわれの可能性は計算上からも予想されたがこの点については後述する。

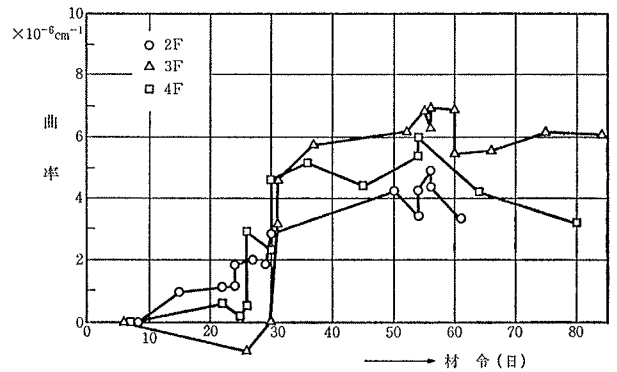


図-5 直交大ばりスパン中央側面曲率の動き

2.4. 支保工荷重の動き

スラブたわみの他に支保工の荷重についても計測したのでその結果を参考のため簡単に示す。2、3階スラブ下の支保工荷重を単位面積当りの荷重に整理して、図-6に示す。この図には打込み前の型わく重量も含んでいる。この図から、2階スラブ下支保工除去直後に同スラブに作用する全荷重は自重 (432 kg/m^2) の他に 527 kg/m^2 であるため $959 / (D \cdot L + w_r) = 1.81$ を示しており、これは前報の支保工存置期間算定法に用いている施工荷重設定値 $1.80 \times (D \cdot L + w_r)$ とほぼ同じであることを確認した。

3. 小ばりをもつスラブの応力解析

3.1. はじめに

前報¹⁾に示した計算図による日型、目型スラブ下支保工除去所要強度曲線は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(1982年版、以後RC規準と呼ぶ)13条床スラブ解説の表-13.2小ばり付き床スラブによるたわみ略算式を用いて作成したものであるが、この解法の妥当性を

確認するため、FEM による精密解析と比較する。

3.2. 施工荷重の大きさ

コンクリート打込み時、支保工2層受けとする時の施工荷重条件を以下に示す。

スラブに作用する施工荷重; W は

$$W = 1.8(D \cdot L + w_f)$$

D : スラブ自重 w_f : 型わく自重

となる。また、小ばり、平行大ばりに作用する等荷重: W_b , W_{BY} はそれぞれ

$$W_b = W \cdot L_x + 1.8 \text{ (小ばり自重)}$$

$$W_{BY} = W \cdot L_y + 1.8 \text{ (小ばり自重)}$$

とする。直交大ばりに作用する集中荷重 P は、

$$P = W \cdot L_x \cdot L_y + 1.8 \text{ (小ばり自重)} \cdot L_y$$

とする。(図-7 参照)。

3.3. 解析モデルによる検討

解析モデルとして日型スラブで、スラブ厚 12 cm, スパン比 $\lambda = L_y/L_x = 1.5$, 大ばりせい=スパン/10, 小ばりせい=スパン/12, 直交大ばり幅 40 cm, 平行大ばり・小ばり幅 30 cm という条件とする。施工荷重は3章2節の数値を用いる。また、短辺スパンをパラメータとして、本解法の略算式と FEM による精密解析からそれぞれのスラブやはりの応力, 変形を求め、解析法による差異を比較する。

この時、FEM による解析は、汎用プログラム ADINA によるシェル要素解析としその要素割りは、図-8 を用いている。また、はり要素もシェルとして取扱っているため、はりせい中央部にスラブが取合う形状の仮定となっている。

同一条件でのケーススタディによる解析結果の比較を、図-9 に示す。なお同図中に略算修正式曲線も示しているがこれは、RC 規準の表-13.2での直交大ばりのたわみ σ_{Bx} の項で、はり自重によるたわみを無視しているため、この自重による影響も考慮した修正解析値である。

この図-9 から、以下のことが判明した。

- ① コンクリートの見かけ上の縁応力度は、略算式と FEM 式は良く一致している。
- ② たわみは略算式の方が約 2 割程大きい値を示す。
- ③ 直交大ばり縁応力度は、短辺スパンが長くなるに伴い FEM 式と比較して略算式の方が多少低めの値となる。
- ④ 略算修正式の比較では、見かけ上の縁応力度・たわみについてはほとんど同じ値であった。

このため結論として、本解法略算式を用いてスラブ下支保工存置期間を求めることは特に問題ないことを確認した。また、施工荷重作用時の弾性たわみ計算値にこの

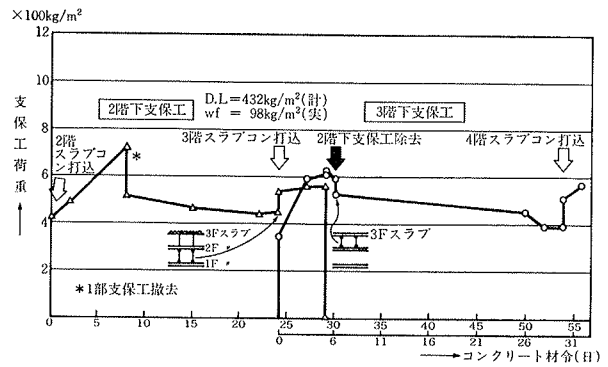


図-6 スラブに作用する平均支保工荷重

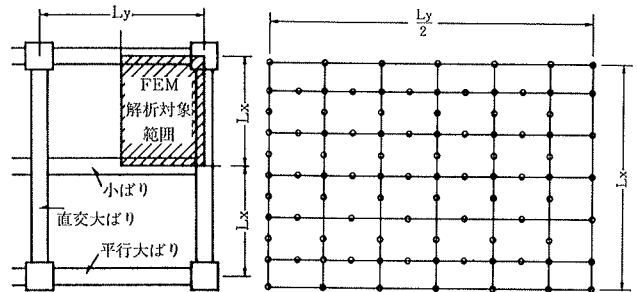


図-7 日型スラブ

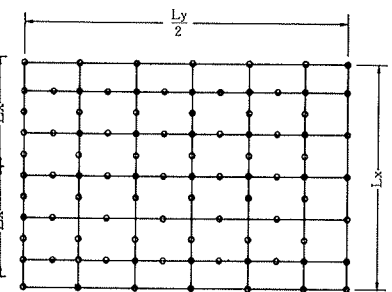


図-8 FEM解析用メッシュ割り

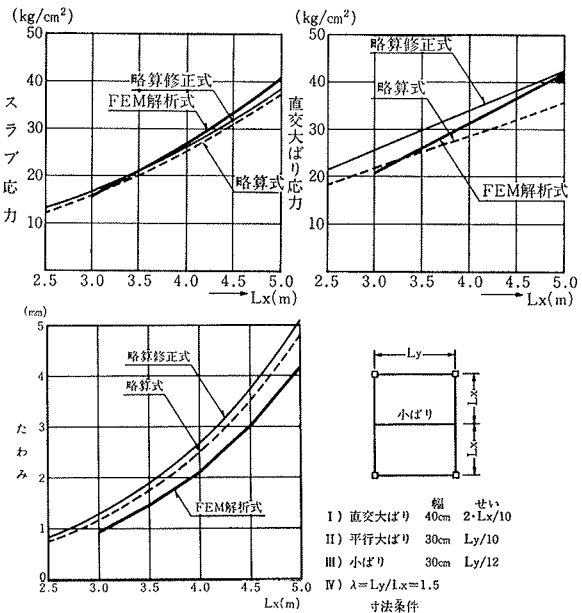


図-9 略算式と FEM 解析式の比較

略算式を用いることが可能であることが分かった。

3.4. 建物スラブ変形測定事例と解析値の比較

2章で述べた建物スラブ事例を対象にして、略算式による解析結果と変形測定結果とを比較する。解析はパソコン PC 8800 により作成した解析プログラムを使用し、そのアウトプットを3階はり・スラブについて表-1に示す。この表から、コンクリート打込み時2層受けという条件のもとでは、スラブ下支保工除去のための所要強度 F_x は、 $F_x = 133 \text{ kg/cm}^2$ で良いという結果になる。また、

スパン		スラブ厚	Xばり	スラブ厚	スラブ厚	スラブ厚	小ばり	Xばり	たわみ
Lx	Ly	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	mm
3.29	9.62	18.0	7.0	-7.8	-10.4	132.2	-23.8	-23.2	0.177

表一 1 パソコン PC-8800 による解析結果の例

直交大ばり (Xばり) スパン中央縁応力計算値は、33.0 kg/cm² が得られており、これはコンクリート曲げ強度を上回ると思われるが実際の大ばりにも前述の通り、曲げによると見られるひびわれが発生している。もちろんこのひびわれ発生には水和熱による温度応力あるいは収縮応力などが付加されていることが考えられる。

次に、スラブたわみについては、施工荷重による弾性たわみ計算値は 1.77 mm であるが、支保工除去まもない時期のたわみ測定値は 3 階、4 階それぞれ 2.49, 2.34 mm が得られ、これは 1.5 倍程度の値であった。施工荷重履歴を受けその後自重だけが作用している材令 3 カ月でのたわみは前述の通り 2.6 mm (3 F)、2.4 mm (4 F) と余り増加していない。

4. 施工期間中のスラブたわみ管理

4.1. たわみ推定とその評価

ここではスラブたわみ管理の面から、施工期間でのたわみ推定について述べるとともに、許容たわみの目安について言及する。

施工期間中のたわみ挙動についてはその支保工除去時期や荷重履歴が様々なこともあってその予測はなかなか困難であるが、ここではこれまで調査してきた現場での施工時たわみ測定データを施工荷重時弾性たわみ計算値と比較することによって、経時的なたわみ増大比を考える。

施工荷重を受ける小ばり付きスラブの中央たわみ弾性計算図表を、図-10, 11に示す。これは、3章2節に示す荷重条件下において、RC 規準の略算式表-13.2 から求めたもので、はりのたわみも含む。同一スパンせい比であれば日型、目型に関わりなくこの図を適用できる。これは直交大ばり (Xばり) のたわみはスパンの 3 乗に比例し、はりせいの 3 乗に反比例することから、ほぼ同じたわみを得られることが確認されたためである。

また同様に、小ばりのない口型スラブの弾性たわみ計算図表を、図-12に示す。

次にこれまでに測定した建築現場での施工時のたわみデータを用いて上述のたわみ計算値と比較したものを表-2 および、図-13に示す。この時、施工期間のたわみ測定値は、①材令 3 カ月程度のたわみである。②その時点での積載荷重は無く自重だけが作用、③測定原点は

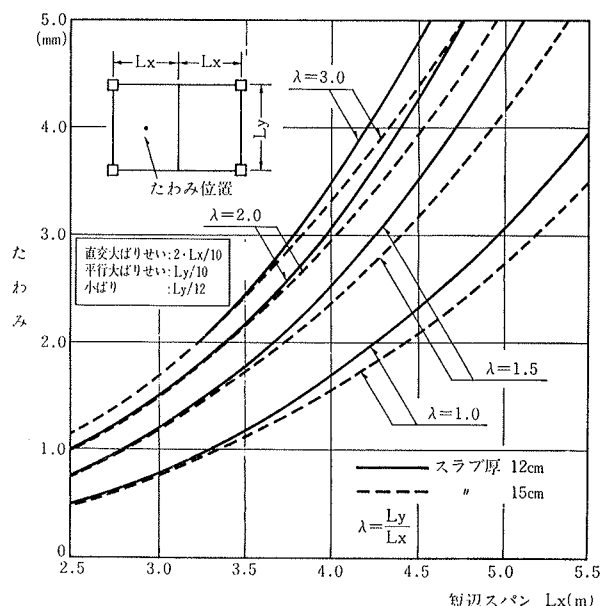


図-10 施工荷重時の日型スラブ弾性たわみ (その1)

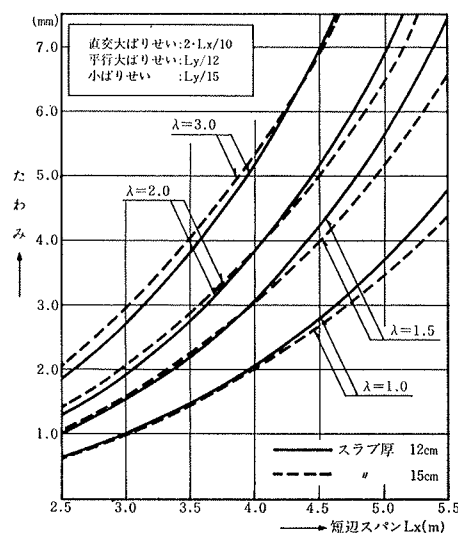


図-11 施工荷重時の日型スラブ弾性たわみ (その2)

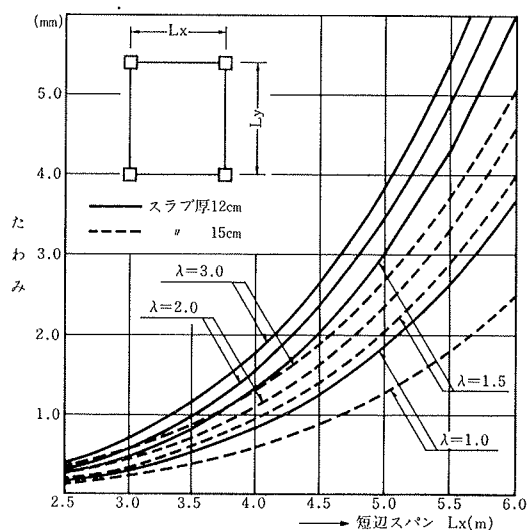


図-12 施工荷重時の口型スラブ弾性たわみ

打設後数日後という条件下で得られたものである。

図-13から、材令3ヵ月程度の施工期間における小ばり付きスラブのたわみははりのたわみも考慮した施工荷重弾性たわみ計算値の1.0～2.0倍で平均1.5倍と予想される。口型スラブの場合データが少ないがやはり、2.0倍程度と見て差しつかえないと思われる。

しかしこれらのデータは、はりには多少曲げひびわれも見られるものもあるが、スラブには全く曲げひびわれは入っていないケースであり、仮に施工荷重によって顕著な曲げひびわれがスラブに入るとすれば、その時の施工期間中のたわみは上記のたわみ推定値を大きく外れる恐れもあるのでスラブのひびわれについては注意が必要であろう。

次に、許容される最終的な長期たわみ値という観点から、施工期間での許容たわみの目安を検討する。本来、許容たわみはその用途によっても異なると思われるので一律に取扱うことはできないが、スラブの長期たわみの許容値は、小ばり無しの場合短辺有効スパンの1/250、小ばり付きの場合20mm以下という考え方²⁾などを考慮して、小ばり付きスラブの場合の施工期間(3ヵ月)のたわみはせいぜい5mm以内に制限する方が望ましい。そうすれば、図-10, 11から得られる弾性たわみとしては3mm以下におさえる必要がある。

4.2. 施工時に有害なひびわれ・たわみを生じないための対策

スラブ下支保工存置計算により、支保工除去のための所要強度が設計基準強度を大幅に(例えば1.5倍以上)上まわり有害なひびわれ発生の可能性のある場合や施工期間のたわみ推定の結果、有害なたわみの恐れのある場合あるいは、測定の結果、当初設定したたわみ管理値を上まわるとたわみを生じた場合には、支保工存置期間を十分取る(材令28日以上)他に、以下のいずれかの対策を講じる必要がある。

(1) スラブ端部上端に余分の補強筋を入れる。鉄筋の割増しによるたわみ制御効果の解析的研究³⁾によれば鉄

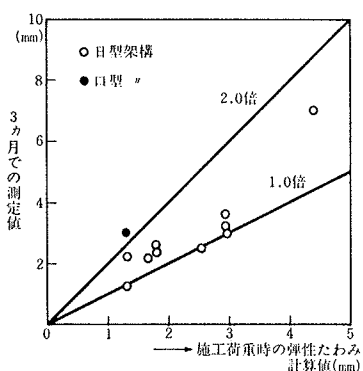


図-13 施工荷重時のたわみ計算値と測定値(材令3ヵ月)

No	スパン Lx (m)	スパン Ly (m)	はり架構	スラブ厚 (cm)	双ばり断面 Bx×Dx	Yばり断面 By×Dy	小ばり断面 b×D	たわみ測定値, 3ヵ月 (mm)	たわみ計算値 (mm)	たわみ比 (測/計)	スラブひびわれの有無
1	320	900	日型	18.0	45×100	40×100	40×75	2.2	1.65	1.33	無し
2	320	900	日型	18.0	45×90	40×90	40×75	2.6 2.4	1.77	1.47 1.36	無し
3	410	755	日型	15.0	40×81.8	40×81.8	30×61.8	3.2 3.6	2.93	0.75 1.23	無し
4	475	755	日型	15.0	40×81.8	40×81.8	30×61.8	7.0	4.39	1.59	スラブ中央部にひびわれ有り
5	430	540	日型	13.0	40×65	42×80	40×35	2.5	2.52	0.99	無し
6	475	660	日型	14.0	55×75*	72.5×75	35×50	3.0	2.95	1.02	無し
7	400	790	日型	16.0	35×50	35×73	-	3.0	1.27	2.36	スラブ上端にはひびわれ有り
8	300	540	日型	15.0	45×65	45×65	25×50	1.25 2.25	1.31	0.95 1.72	無し

*壁付きのため剛性を大きくする。

表-2 施工期間でのたわみ測定値と計算値

筋増大比Wによって、たわみ比 $1/\sqrt{W}$ となっている。さらに鉄筋の踏み荒らしによる乱れも少なくなると考えられるためその効果は大きい。

(2) スラブコンクリート調合を変更し、コンクリート強度を大きくする。

(3) スラブにアンボンド tendon によってプレストレスを入れ、曲げひびわれを防ぐ⁴⁾。

(4) スラブ厚あるいは小ばり寸法等の設計変更を行なう。

5. まとめ

施工荷重を受けるスラブの弾性たわみ変形を略算式から求め、たわみ算定図を示すとともにその妥当性をFEM解析式と比較検討した。また施工期間3ヵ月での実測たわみは、スラブに有害な曲げひびわれの無い場合、この弾性たわみの1.5倍前後と推定できる。

この期間でのたわみ管理値としては5mm以内が望ましく、その場合、たわみ算定図から得られる弾性たわみ計算値としては3mm以下におさえる必要がある。

参考文献

- 1) 高橋, 小柳: 支保工の存置期間に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 28, (1984), pp. 113~117
- 2) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 日本建築学会, (1982), p. 135
- 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) 大林組編: プレストレストコンクリート施工マニュアル; アンボンドスラブ Q & A, (1984. 4)