

# 支保工の存置期間に関する研究

高橋久雄 小柳光生

## Study on Removal Time of Formwork Shoring

Hisao Takahashi Mitsuo Koyanagi

### Abstract

This report proposes calculation methods for the proper times for removing slab shores and shows the calculated figures of the periods until removal for any slab span. It describes the strengths and creep behaviors of concrete at early age data for deriving the proposed equations, and gives design values of construction loads and allowable flexural strengths.

### 概要

本報は、スラブ下支保工の適正な存置期間に関する合理的な計算法について提案しており、一般的な、はり架構における支保工存置期間の図表を提示している。また、提案式を誘導するための実験データとして、若材令コンクリートの強度やクリープ性状を述べるとともに、施工荷重の設定値と許容曲げ強度の設定値を示している。

### 1. はじめに

筆者等は、スラブの有害なひびわれ・たわみ防止を計るとともに適正な支保工存置計画を立てる目的で、現場での支保工伝達荷重やたわみの測定を行ない、施工時の床スラブ荷重および変形挙動の把握を試みてきたが、今回この一連の研究成果として、スラブ下支保工の適正な存置期間計算式を提案する。

本報告の内容は、若材令コンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係やクリープ性状などの実験結果を述べ、施工荷重の設定、許容曲げ強度の設定を行ない、支保工存置期間提案式を誘導している。

なお、本報は、建築業協会の共同研究委員会「型わく支保工研究委員会」として実施してきたものを紹介するとともに筆者等が独自に研究してきた作業内容を述べている。また、同委員会報告は日本建築学会大会<sup>1)</sup>等で、発表しているのを参照されたい。

### 2. 若材令コンクリートの圧縮強度と曲げ強度

合理的な支保工除去時期の決定の基本は、施工荷重の作用によって有害なひびわれ・たわみを生じないように支保工存置期間を確保することと考え、そのためには若

材令コンクリートの力学特性の把握、特に圧縮強度と曲げ強度の関係を知らることが重要と思われる。

建築業協会「型わく支保工研究委員会」において、養生条件・材令の違いをパラメータとして実験研究を行なったので、その結果を抜粋して述べる。表-1に実験計画を示し、実験結果を、図-1~3に示す。この図-3の結果から、曲げ強度は養生条件別に、圧縮強度の関数として求められ、養生温度・材令がこれらの関数に及ぼす影響は無視できること、また気中養生、水中養生、それぞれの曲げ強度： $f_b$ は、

$$\text{気中養生 } f_b \cong 1.8\sqrt{f_c} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{水中養生 } f_b \cong 2.4\sqrt{f_c} \quad \dots\dots\dots(2)$$

( $f_c$ : 圧縮強度)

で、おおよそ表わされることが判った。

### 3. 若材令コンクリートのクリープ性状

#### 3.1. 一軸圧縮クリープ実験

コンクリートのクリープ変形は、その載荷材令の違いによって影響を受けるため、若材令コンクリートのクリープ性状を把握する目的で、一軸圧縮クリープ実験を行なった。実験は、シリーズ I、II の 2 回、同一実験を繰返し行なったが、それぞれダイヤルゲージ法、埋込みゲ

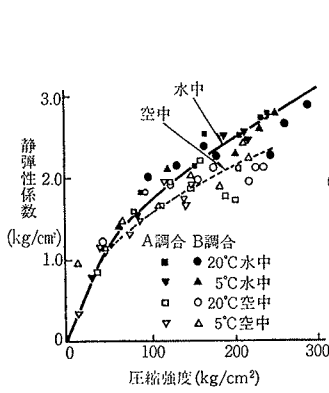


図-1 圧縮強度と静弾性係数

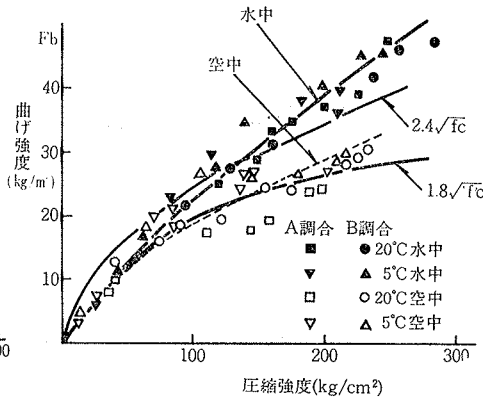


図-2 圧縮強度と材令<sup>1)</sup>

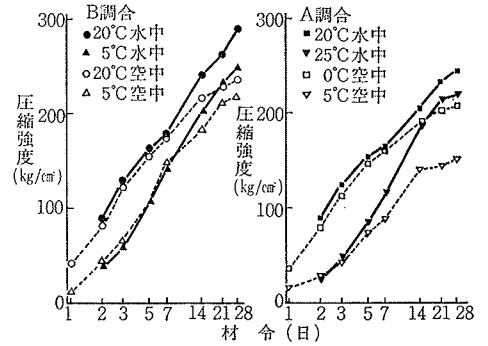


図-3 圧縮強度と曲げ強度<sup>1)</sup>

因子		水準
コンクリートの調合	強度	A調合 (Fc=240kg/cm <sup>2</sup> ) B調合 (Fc=300kg/cm <sup>2</sup> )
	スランプ	18cm
養生条件	温度 (°C)	5, 20
	湿度 (%)	100 (水中), 60
材令 (日)		1, 2, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 91

表-1 若材令コンクリート実験内訳

ージ法 (KM-100F 東京測器製) と測定法だけは異なる。載荷材令は、3日、7日、14日、21日、28日の5ケースで、コンクリート所要条件は  $F_c=210 \text{ kg/cm}^2$  (4週)、スランプ 18 cm、普通ポルトランドセメント、川砂・川砂利使用でその圧縮強度試験結果を、表-1に示す。載荷応力はすべて  $40 \text{ kg/cm}^2$  としている。

載荷期間約 150 日におけるクリープ係数試験結果を、図-4に示す。この結果ではシリーズ I, IIの係数値に多少違いが見られ、例えば4週載荷の場合、それぞれ 2.6, 2.0 (期間 150 日) であった。周囲の結果を用いて、載荷材令の影響を考察する。

載荷材令28日のクリープ係数値を基準として、載荷材令の異なる各試験体のクリープ係数比率を、同一載荷期間100日時点で求め、図-5に示す。同図に CEB/FIP 国際指針の載荷材令に関する係数  $K_d$  の値<sup>2)</sup>も示すが、今回の実験結果は、この指針に比べて載荷材令の影響はやや小さく、4週載荷に対する1週載荷のクリープ係数増大率は、せいぜい2~3割であった。

### 3.2. 単純支持スラブのクリープたわみ実験

3.2.1. 実験計画 本実験は、載荷応力の大きさと載荷時期の違いをパラメータにしたたわみ比較試験であり、その目的は施工期間中のひびわれ・たわみが施工荷重によって予想される最大曲げ応力度 (施工荷重応力度と定義) とその時点でのコンクリート曲げ強度の関係だけで大まかに取扱うことができるのか、あるいは他に、載荷材令の影響が大きく寄与するのかどうか検討することに

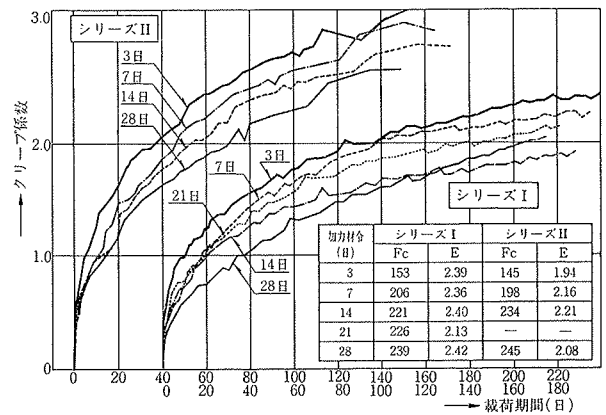


図-4 クリープ係数の動き

ある。また、支保工除去可能なコンクリート曲げ強度設定値の参考にも供する。

試験体は、一方向単純支持スラブで、その形状は厚さ 13 cm、スパン 250 cm の計16体である。試験体内訳は、表-2に示すとおり、載荷材令 (1週、4週)、

施工荷重を想定した荷重レベル (施工荷重応力度 18, 21, 26, 34  $\text{kg/cm}^2$ ) を因子としており、同一水準 2 体づつとしている。施工荷重作用期間は、3週間とし、その後は自重の 1/2 の積載荷重を約 3 カ月間持続載荷させ、長期たわみ、ひびわれを測定した。

3.2.2. たわみ実験結果 1週、4週載荷シリーズの約 120 日までの中央たわみ挙動をまとめて、図-6に示す。この結果を用いて、同一載荷応力で、載荷材令の異なる場合のたわみ比較を行なう。4週載荷シリーズのたわみに対する1週載荷シリーズのたわみ比率として整理

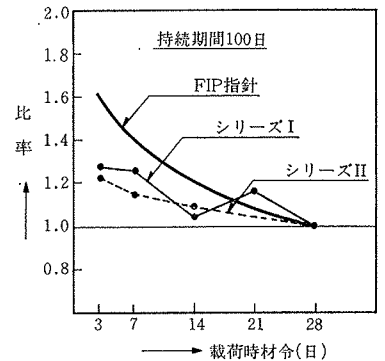


図-5 クリープ挙動に及ぼす載荷材令の影響

したものを、図-7に示す。載荷時期が早い場合コンクリート強度、弾性係数、クリープ性状などの力学特性の面で不利となるため、たわみが大きくなることが予想される。この図-7から、載荷期間120日でこのたわみ比は1.1~1.3倍程度であった。

一方、見方を変えて、横軸に、施工荷重応力度に対するその載荷時点での曲げ強度比を取り、縦軸をたわみ(100日時点)として表わし、図-8に示すが、この図から1週、4週載荷シリーズともほぼ同一直線上になすことができ、たわみは(施工荷重応力度/曲げ強度)比が同じであれば、載荷材令に余り影響されないと考えて良いことがわかる。このことは(予想される施工荷重応力度 ≤ 任意材令のコンクリート曲げ強度設定値)を満足する時点で支保工存置を管理するという考え方が特に問題ないことを裏付けている。

**3.2.3. ひびわれ実験結果** ひびわれ状況について述べる。施工荷重応力度が 26 kg/cm<sup>2</sup> 以上の試験体(26-4w, 26-1w, 34-4w)は、載荷直後に幅 0.03 mm 以下の小さな曲げひびわれが1~2本認められた。また、施工荷重応力度 21 kg/cm<sup>2</sup> の試験体(21-1w, 21-4w, 21s-1w)は持続載荷中にひびわれが発生したが、一方、18 kg/cm<sup>2</sup> の試験体は、全くひびわれが見られなかった。

ひびわれ強度が、 $k \cdot \sqrt{f_c}$  ( $f_c$ : 載荷時点の圧縮強度)で表わされると仮定すれば、ひびわれ発生時の応力度 26 kg/cm<sup>2</sup> をひびわれ強度と見なし、 $f_c=145$  (1週), 219 (4週) kg/cm<sup>2</sup> を適用して  $k=1.76 \sim 2.14$  が得られる。

#### 4. 支保工存置期間の算定法

##### 4.1. 基本的な考え方

支保工除去時に予想される施工荷重がスラブに作用する時、有害なひびわれ・たわみを生じないコンクリート強度が発現しておれば支保工の除去が可能と考える。そのため、予想される施工荷重に対して、コンクリートスラブが十分な曲げひびわれ強度を有する材令をもって支保工存置期間と考え、その存置期間を算定する。なお構造体の寸法によっては、コンクリートの圧縮強度が、設計強度に達しても、スラブ・はりの緑応力が許容曲げ応力を越える場合がある。この場合、原則として設計強度に達していることが確認されれば支保工を除去して良い。ただし、緑応力が許容曲げ強度を大きく越えるような場合は有害なひびわれ・たわみの恐れがあるので検討の余地がある。また、逆に多少のひびわれの発生が予測されるにしても将来長期のたわみの恐れが少ない場合には支保工を除去するという考え方もあり得る。許容長期たわみは構造物の用途によって異なるが一般的な値として Rc 規準書に示されている最大のたわみ 20 mm かつ、

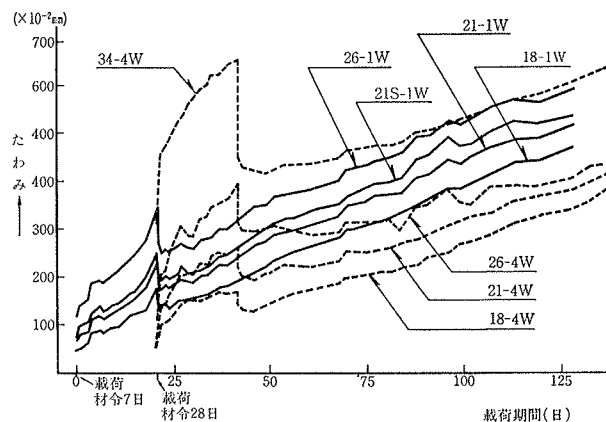


図-6 単純支持スラブのたわみ挙動

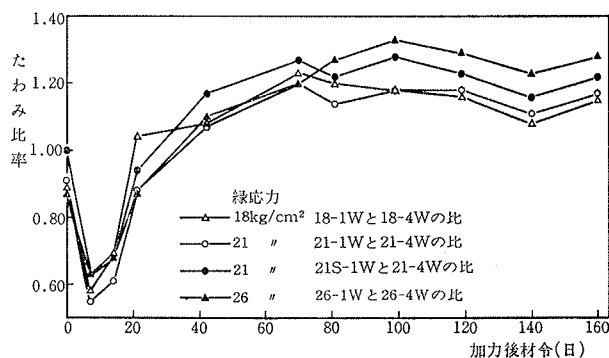


図-7 4W 加力シリーズに対する 1W 加力シリーズのたわみ

$l_x/250$  ( $l_x$ : 短辺有効スパン)をとることとする。なお施工期間中のたわみ推定については別の機会に述べる。なお算定のフローチャートを図-9に示す。

##### 4.2. 許容曲げ強度の設定

若材令コンクリートの曲げ強度試験結果の式(1),(2)を参考にして、スラブ躯体の曲げ強度推定式として下式を採用する。

$$f_b = 2.0 \sqrt{f_c} \quad \dots\dots(3)$$

これはスラブ躯体の場合、気中養生供試体より有利であることや ACI318-77の曲げ強度式<sup>3)</sup>とも良く一致する

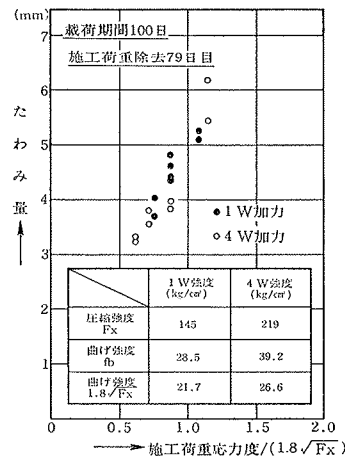


図-8 施工荷重応力比に対するたわみ量

試験体 No.	載荷荷重 (kg)	緑 応 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	載荷材令 (日)	鉄筋応力 (kg/cm <sup>2</sup> )
21-1W	445	21.0	7	(2-D10) 1,800
26-4W	625	26.0	28	(2-D10) 2,229
18-1W	337	18.0	7	(2-D10) 1,543
21-4W	445	21.0	28	(2-D10) 1,800
18-4W	337	18.0	28	(2-D10) 1,543
21S-1W	445	21.0	7	(3-D10) 1,200
26-1W	625	26.0	7	(3-D10) 1,486
34-4W	914	34.0	28	(3-D10) 1,944

表-2 スラブ試験体の内訳

ことによる。

また支保工解体の判定に用いる許容曲げ強度は、上式(3)にとりあえず安全率25%を考慮して下式を提案する。

$$F_b = 1.6 \sqrt{f_c} \quad \dots\dots\dots(4)$$

4.3. 最大施工荷重の設定

スラブ支保工除去時に予想される最大施工荷重は下式を用いることができる。

(1) コンクリート打込み時、支保工2層受けとし、材令3日間は支保工を除去しない時、最大施工荷重  $W_n$  は

$$W_n = 1.8 \times (D.L + w_f) \quad (\text{kg/m}^2) \quad \dots\dots\dots(5)$$

D.L: スラブ自重,  $w_f$ : 型わく自重

(2) コンクリート打込み時、支保工1層受けの時、

$$W_n = 2.1 \times (D.L + w_f) \quad (\text{kg/m}^2) \quad \dots\dots\dots(6)$$

ただし、荷揚げ場所などのため資材荷重が予想される場合にはその資材荷重を見込む必要がある。

4.4. 小ばりの無い固定支持スラブ曲げ応力度算定

スラブの曲げモーメントは、RC 規準9条を適用して下式で表わすこととする。

$$M_x = \frac{1}{12} \cdot \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} \cdot W_n \cdot l_n^2 \quad (\text{kg} \cdot \text{m/m}) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$l_x$ : 短辺内法寸法 (m)  $l_y$ : 長辺内法寸法 (m)

$W_n$ : 最大施工荷重

またスラブに生じる縁応力つまり施工荷重応力度:  $\sigma_x$  は、スラブ厚:  $t$ (cm) に対して、

$$\sigma_x = 6 M_x / t^2 \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots(8)$$

で表わされる。この  $\sigma_x$  が(4)式で示す許容曲げ強度を下回る時点で支保工を除去できる。

4.5. 小ばりをもつ固定支持スラブ曲げ応力度算定

小ばり付きスラブの場合、その小ばり剛性が小さければ、小ばりたわみに伴いそのスラブには相当大きい付加応力がスラブ端部に作用することが指摘されている。RC 規準13条、床スラブ、解説によれば、連続スラブの場合小ばりせいはスパンの1/12以上であればこのような問題は少ないとしながらも、付加応力算定略算式を誘導している。そこでこの算定式を利用して、小ばり付きスラブの施工荷重による縁応力  $\sigma_x$  を算定する。ここでは日形架構について計算法を示す。

付加たわみ  $4\delta$  は、下式で表わされる。

$$4\delta = \delta_b + \delta_{Gx} + \delta_{Gy} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$\delta_b$ : 小ばり中央たわみ

$\delta_{Gx}$ : 直交大ばり中央たわみ

$\delta_{Gy}$ : 平行大ばり中央たわみ

付加モーメント  $4M$  は、略算的にフェースモーメントとして0.8を乗じて、

$$4M = 4\delta \cdot 6EI \times 0.8 / L_x^2 \quad \dots\dots\dots(10)$$

となる。固定支持モーメント(7)式に、この付加モーメン

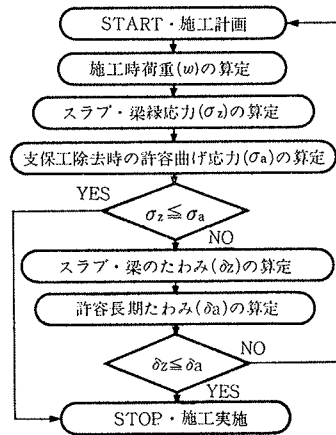


図-9 支保工存置期間のためのフローチャート

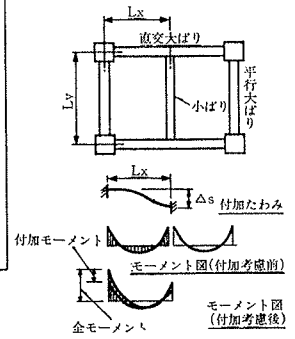


図-10 付加モーメントの考慮

トを加算すれば、全モーメントが求まる。その他の計算手順は4.4.と同じである。

5. 計算図表による提案式の適用例

5.1. 計算図表の適用条件

4章の支保工存置期間算定法を用いれば適切な撤去時期が求まるが、この提案式を簡便に用いるために、一般的なスラブ部材について所要強度・はり応力・施工荷重時弾性たわみが得られる解析プログラムを、パソコンPC-88で作成した。ここではこのプログラムを用いて、スパン・スラブ厚・はり寸法をパラメータにしたケーススタディを行ない所要強度の計算図表を作成したので紹介する。ただし、この計算図表を適用できる条件は、以下のとおりである。

- ①コンクリート打込み時の支保工は2層受け
- ②小ばり付きはり架構のはり下支保工存置は、設計基準強度の100%以上とする。
- ③コンクリート設計基準強度 210 kg/cm<sup>2</sup> 以上
- ④部材寸法は下記を満足すること。  
スラブ厚 ≥ 12 cm, 小ばり幅 ≥ 30 cm, 小ばりと直交する大ばり幅 ≥ 40 cm, 小ばりと平行ばり幅 ≥ 30 cm, 小ばりせい ≥ スパンの1/12, 大ばりせい ≥ スパンの1/10
- ⑤はり架構は、口形(小ばりなし), 日形, 目形架構の3形状に限る。

5.2. 支保工存置期間計算図表

ケーススタディによる計算結果を整理して、縦軸と横軸をそれぞれ長辺スパン, 短辺スパンとして、スラブ下支保工除去時所要強度ラインを描き、図-11~13に示す。この図を用いれば、任意のスパン  $L_x, L_y$  に対して除去に必要な強度を簡単に探し出すことができる。なおこの図中、有害なひびわれラインとは、スパン  $L_x, L_y$  の交点がこのラインの上側の位置であれば施工中に構造ひび

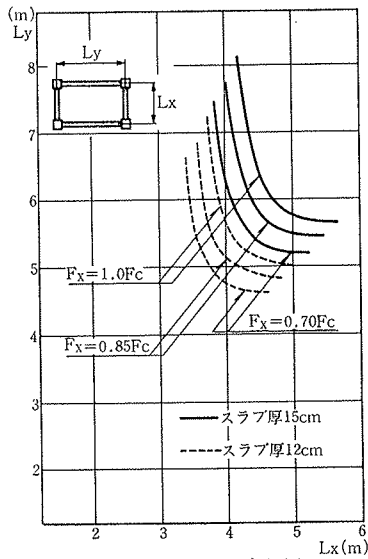


図-11 口形スラブ支保工除去所要強度曲線

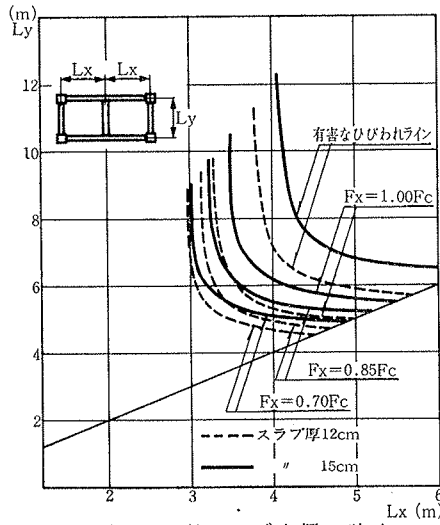


図-12 日形スラブ支保工除去所要強度曲線

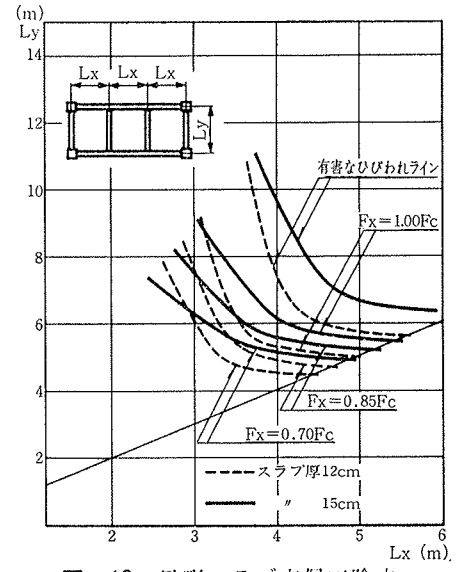


図-13 目形スラブ支保工除去所要強度曲線

われ発生の恐れが大きいことを示している。

はり下支保工除去については、前述のように日形、目形架構は、 $F_c$  の100%以上とするがこれは、小ばりと取合う直交大ばり  $G_x$  のスパン中央にかなり大きい施工荷重時応力が予想されるためこのように決めている。一方、小ばりのない口形架構では、図-14を用いれば、スラブと同様に、所要強度ラインに応じて除去が可能となる。

なお、支保工除去時の圧縮強度下限値はとりあえず  $f_c = 120 \text{ kg/cm}^2$  とする。

### 5.3. 材令1週間で支保工除去できるスラブ規模

支保工除去時の圧縮強度の下限値  $120 \text{ kg/cm}^2$  で除去できるスラブは材令で考えれば1週間程度で除去できるわけで転用の早さや作業能率の面でかなりメリットがあると思われる。この下限値で除去できるスラブ規模の範囲を以下に検討する。この場合、打込み時一層受けとなるため、施工荷重として、 $W = 2.1 \times (D.L + w_f)$  の考慮が必要であり、この荷重で再度計算した結果、口形架構でかつ短辺スパン  $L_x = 3.0 \text{ m}$  以下であれば、スラブ下支保工を  $f_c = 120 \text{ kg/cm}^2$  で除去できることになる。またその時のはり下支保工についても4.1.のはり寸法適用条件を満足しかつ  $6.0 \text{ m}$  以下であれば同じく  $f_c = 120 \text{ kg/cm}^2$  で除去できることが判った。このことは、廊下スラブなどのようにスパン  $3.0 \text{ m}$  以下でかつ一体打ちコンクリート壁があり、小ばりの付加応力の考慮が必要ない場合に、活用する機会が見込まれよう。

## 6. まとめ

支保工存置所要期間とは、有害なひびわれ・たわみを生じないように養生する期間であるという前提のもと

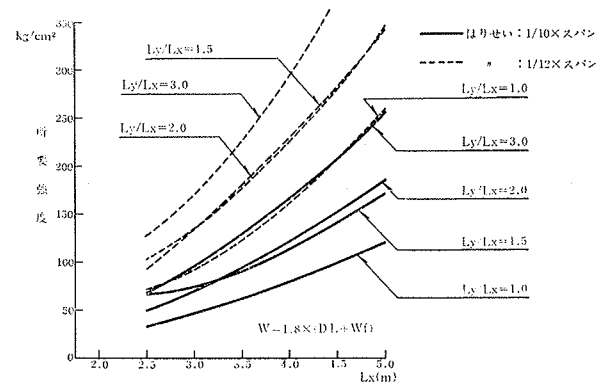


図-14 口形架構大ばり支保工除去所要強度

に、各々の曲げ部材のもつ曲げ変形性能に応じたスラブ下支保工存置期間式を提案している。そのため支保工除去の決定は、従来に比べて多少、煩雑にならざるを得ないが、施工荷重によるスラブ部材の応力状態などの予測も可能となり、必要に応じて事前のひびわれ対策が取り易いなど、合理的でかつ安全な支保工存置計画となる。

## 参考文献

- 1) 野中, 他: 型わく支保工の存置期間に関する研究 (その1)~(その11), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭56~58)
- 2) コンクリート構造物設計施工国際指針, CEB/FIP, (1970), p. 52
- 3) Building Code Requirements for Reinforced Concrete, (ACI318-77)