

## 講座

## アンボンドスラブ

## その2 設計編(1)

## 6

## 適用法規, 設計規準

プレストレストコンクリートに関する建設大臣告示に定められていた『グラウトの義務』(旧, 949号)が, 昭和58年7月に公布された新告示(1320号)によって緩和され, 非耐力壁・床・小梁に限るものの, アンボンド工法の本格的適用が可能となった<sup>1)</sup>。

また, 日本建築学会では先に, プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説(1975年版)において, アンボンドスラブに関する一条項を設け<sup>2)</sup>, その設計の考え方を紹介してきたが, さらに, プレストレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種PC)設計指針・同解説の刊行(本年末)<sup>3)</sup>により, 計算例を混じえたくわしい設計法を示している。

本講座で紹介するアンボンドスラブの設計法は, 以上の法規・設計規準等に沿ったものである。

## 7

## 使用材料

## (1) PC 鋼材

アンボンド工法用のPC鋼材(テンドン)は, 日本建築学会編『アンボンド工法用PC鋼材と施工時の取扱いについて(昭和54年7月)』に示す品質規定に従ったものでなければならないが, 現在市販され, 実績を持つ鋼材は, いずれもその点問題がないようである。

スラブ用として一般によく用いられるアンボンドテンズンを, 表-2に掲げる。

また, アンボンド工法用の定着具については, 建設省建築指導課長通達(第404号, 昭和58年12月)によって耐力試験を義務づけられている。すでにその試験法に従って安全性を確かめ, 日本建築センターの評定を取得

表-2 スラブによく用いられるアンボンドテンドン

PC 鋼より線		許容引張荷重 (定着完了時)	シース	防錆剤
7本より	12.7 mm	12.72 t	ポリエチレン	グリース
	15.2 mm	18.08 t		
19本より	17.8 mm	26.88 t		

注) 19本より線は, 特に大型のスラブに用いられる

した専用定着具がいくつか市販されているので, 実施に際してはそれらを利用すればよい。

## (2) コンクリート

前記新告示では, コンクリートの設計基準強度の下限值は  $300 \text{ kgf/cm}^2$ , ただし, 構造計算または実験で耐力上の安全性が確かめられたときは  $210 \text{ kgf/cm}^2$ , と定めている。また, 建築学会 PRC 指針(前記)では, PRC 構造の場合, 同下限値を  $240 \text{ kgf/cm}^2$ , ただし, 特別の調査検討に基づいて安全性・耐久性に関する配慮を行う場合は低減できる, としている。したがって, アンボンドスラブ(通常 PRC)のコンクリートとしては, 設計基準強度  $240 \text{ kgf/cm}^2$  の例が多いが, 前述のような, 試験によって安全性を確かめた定着具の使用を前提として, 設計基準強度  $210 \text{ kgf/cm}^2$  のコンクリートを採用する場合も少なくはない。

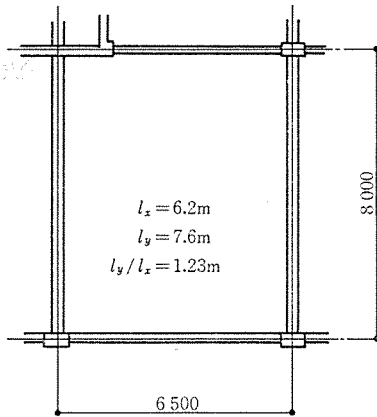
## 8

## 設計法

前号③で分類した各種アンボンドスラブの中から, 連続スラブとフラットスラブ(次号)について, 簡単な計算例とともに設計法を紹介しよう。

## (1) 連続スラブ

ここでは, 集合住宅によく見られる多スパン連続の, 一方向テンドンスラブを例にとる。②で説明したように, テンドン両端部で緊張力の反力としてコンクリート



図—4 計算例のスラブ伏図

に伝えられた軸方向プレストレス力は、柱・梁あるいは壁といったスラブ以外の部材に流れ、端から 3~4 スパンでほぼ全量が消滅してしまうので、設計上は、この軸力を無視し、テンドンの曲線配置に基づく吊上げ力のみを考慮する。端寄りのスパンで実際にスラブに入る軸力は、ひびわれ制御上の余力とみなすことができる。

以下、図—4 に示したスラブ（前号、図—2 参照）について、計算手順に従って説明していく。

**手順 1. スラブ厚の仮定と荷重の算出**

建築学会 RC 計算規準の値よりやや薄く仮定する<sup>4)</sup>

$$0.02 \left( \frac{1.23 - 0.7}{1.23 - 0.6} \right) \left( 1 + \frac{230}{1000} + \frac{620}{1000} \right) 620 = 19.2 \rightarrow 18 \text{ cm}$$

荷重	コンクリート	24 × 18 = 432	} 662 kgf/cm <sup>2</sup>
	仕上げ等	50	
	積載荷重	180	

**手順 2. スラブ曲げモーメントの計算**

RC 計算規準の計算図表を利用

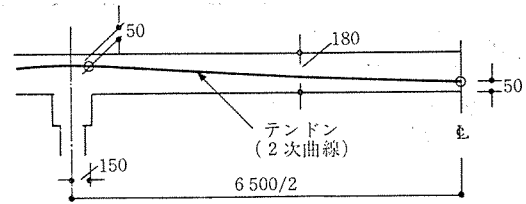
$$M_{x1} = 0.057 w \cdot l_x^2 = 1450 \text{ kgf} \cdot \text{m/m} \text{ (以下省略)}$$

**手順 3. 最大ひびわれ幅制御目標値の設定**

発生しうるひびわれの最大幅を、どのような値に抑えるかについては、建築学会 PRC 指針は、0.2 mm 以下の範囲で設計者自身が決めること、と表現しているにすぎない。すなわち、構造物の用途・期待する耐久性・環境条件・部材の種類・仕上げの種類などをすべて勘案し、設計者が自主的に設定して、それを断面計算で裏づけることが要求されているわけである。

部材の置かれた条件に対するひびわれ幅制限値は、内外の諸設計規準・指針で数多く提示されており、上記 PRC 指針に一括引用されているので、参考にすることができる。

ここでは、集合住宅の屋内スラブという、有利な条件を考慮して、最大ひびわれ幅を、 $w_{\max} = 0.2 \text{ mm}$  と定める（屋上スラブだけは 0.1 mm に抑える、といった



図—5 テンドンプロフィール

表—3 荷重キャンセル率の範囲

用途	積載荷重 kg/m <sup>2</sup>	ひびわれ幅制御目標値		
		0	0.1 mm	0.2 mm
屋根	100 以下	0.8 以上	0.6~0.9	0.5~0.7
居室	180~360	0.7 以上	0.5~0.8	0.3~0.6
車庫	550	0.6 以上	0.5~0.7	0.3~0.6

現実的な選択がよく行われる)。

**手順 4. テンドン配置形状（プロフィール）の決定**

図—5 のようにアンボンドテンドンを配置する。このときのテンドンライズ（スパン端部と、中央におけるテンドンの高さの差） $a$  は、8 cm となっている。

**手順 5. 荷重（応力）キャンセル率の仮定**

前号 ②「原理」の項で述べた、テンドンの吊上げ力による荷重の（一部の）打消し量を、荷重に対する比、「キャンセル率」として仮定する。設定した最大ひびわれ幅に対応する適切なキャンセル率は、設計諸条件によって異なるが、大まかな目安として、表—3 を示す<sup>5)</sup>。

ここでは、キャンセル率 = 0.4 を仮定する。

**手順 6. 必要有効プレストレス力（緊張力）の計算**

テンドンの必要吊上げ力  $W_P$  は：

$$W_P = 662 \times 0.4 = 265 \text{ kgf/m}^2 \dots\dots\dots (1)$$

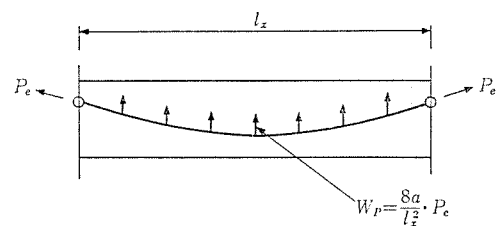
これだけの吊上げ力をもたらす、その位置のテンドン緊張力、すなわち有効プレストレス力  $P_e$  は：

$$P_e = \frac{W_P}{8a/l_x^2} = \frac{0.265}{8 \times 0.08/6.2^2} = 15.92 \text{ tf/m} \dots\dots\dots (2)$$

スラブ幅 1 m につき、これだけのテンドン緊張力があれば、仮定したキャンセル率が満足される。

**手順 7. 必要導入力の計算**

設計断面での必要有効プレストレス力が決まれば、それに、導入時の摩擦損失分と、コンクリートのクリープ・乾燥収縮による損失分を見込んだ値が、緊張端での



図—6 曲線テンドンの吊上げ力

必要導入力となる。

導入時の摩擦損失は、緊張端から設計断面位置までの tendon 長さ (=距離)  $x$  と、tendon 角変化の累積  $\alpha$  を算出し、適切な摩擦係数  $\mu$  および  $\lambda$  を選んで、おなじみの摩擦損失計算式：

$$P_x = P_0 \cdot e^{-(\mu\alpha + \lambda x)}$$

によって計算すればよい。アンボンド tendon の摩擦係数は、ボンド方式の場合より著しく小さく、通常、下記の値が用いられる<sup>6)</sup>：

$$\mu = 0.06 \quad \lambda = 0.002$$

設計対象スラブを、緊張端から 5 スパン目として計算した結果、 $P_x/P_0 = 0.89$  が得られたものとする。

コンクリートのクリープ等による緊張力の損失は、常用の有効率  $\eta = 0.85$  で表現できる。

結局、緊張端での必要プレストレス導入力は：

$$P_0 = 15.92 / (0.89 \times 0.85) = 21.04 \text{ tf/m} \dots\dots(3)$$

**手順 8. 使用 tendon の種類と量の選定**

表-2 の中から、7 本より 15.2 mm を用いるとすれば、許容引張荷重 (定着直後) は 18.08 tf なので、ピッチは：

$$18.08 / 21.04 = 0.86 \text{ m} \dots\dots(4)$$

これより、採用ピッチは、80 cm とする。このように定めたときの、実際のキャンセル率は、(1)~(4) 式を逆に辿って：

$$0.4 \times 0.86 / 0.8 = 0.43 \dots\dots(5)$$

**手順 9. 鉄筋量の算定**

建設大臣告示に示された「破壊に対する安全度」検査用応力組合せ、(設計モーメント  $\times 1.7$ ) 時に、鉄筋応力が降伏点以下に納まるよう、鉄筋断面積を決める。

この時、tendon 吊上げ力によってキャンセルされるモーメントは、破壊耐力検査時にも変わらない (tendon 自身の応力や、プロフィールは変わらない) と考えて、上記モーメントからそのまま差し引く。

今、SD 30 を用いたとして、必要鉄筋量は：

$$a_t \geq \frac{145 \times (1.7 - 0.43)}{3.0 \times 12.25} = 5.01 \text{ cm}^2/\text{m} \dots\dots(5)$$

$$a_{s,y} = 3.0 \text{ tf/cm}^2, \quad j = (18 - 4) \times 7/8 = 12.25 \text{ cm}$$

D 13 @ 200 とすれば、 $a_t = 6.35 \text{ cm}^2/\text{m}$  なので充分。スパン中央下端や、 $y$  方向についても同様にして断面算定すればよい。

なお、アンボンド tendon は一方向配置であっても、その吊上げ効果 (荷重キャンセル効果) は、スラブの縦、横の方向には無関係であるから、 $y$  方向の鉄筋量算定時にも、キャンセル分を差し引くことを忘れない。

**手順 10. ひびわれ幅の検査**

設計モーメントからキャンセルモーメントを差し引い

た残りに対して、最大ひびわれ幅のチェック計算を行う。

これには、建築学会 PRC 指針・同解説<sup>9)</sup> に示されているひびわれ幅計算式および同計算図表を用いれば、比較的精度のよい結果が得られる。

紙面の都合で計算法の紹介と計算過程の詳述は割愛するが、本設計例をこの建築学会式に適用すること、コンクリートの乾燥収縮ひずみを  $3 \times 10^{-4}$  と仮定して、最大ひびわれ幅 (スパン端部上縁における)  $w_{\max} = 0.13 \text{ mm}$  が得られ、当初設定した制御値を満足したことがわかる。

ここではさらに、より簡便な計算で「見当」をつけたい場合の方法を示しておこう。

スラブということに限定すれば、部材寸法やかぶり厚さ、鉄筋のサイズやピッチなど、ある範囲に納まっているので、鉄筋の存在応力度もしくはコンクリートの (ひびわれなしと仮想した) 見かけの引張縁応力度のレベルによって、ひびわれ幅がほぼ推定できる。

スラブにおける最大ひびわれ幅と、鉄筋および見かけのコンクリートの引張応力度の関係は、概略、表-4 で表わされよう。この場合のひびわれ幅には、コンクリートの乾燥収縮 (ひずみ、 $3 \times 10^{-5}$  程度) によるものを考慮してある。

本設計例の場合：

鉄筋応力度

$$\sigma_t = \frac{(1 - 0.43) \times 145\,000}{6.35 \times 12.25} = 1\,063 \text{ kgf/cm}^2 \dots\dots(7)$$

コンクリート応力度

$$\sigma_{ct} = \frac{(1 - 0.43) \times 145\,000}{5\,400} = 15.3 \text{ kgf/cm}^2 \dots\dots(8)$$

これらを表-4 と比べると、最大ひびわれ幅は、このスラブの場合、0.1 mm は少し超えそうだが、0.2 mm にはかなり余裕がある、という程度の見当はつく。学会式による結果ともよく合っていると云えよう。

**フィードバック**

ひびわれ幅が目標値を超過した場合は、それがわずかであれば、鉄筋を少々増せばよい。ある程度以上の超過になれば、キャンセル率を上げる。tendon 量が非常に多くなる (例えば、ピッチが 30 cm 以下になるとい

表-4 ひびわれ幅と応力度の関係 (スラブ)

引張応力度 kgf/cm <sup>2</sup>	最大ひびわれ幅	
	0.1 mm	0.2 mm
鉄筋	800~1000	1500~2000
コンクリート (見かけの)	10~20	30~45

◇講座◇

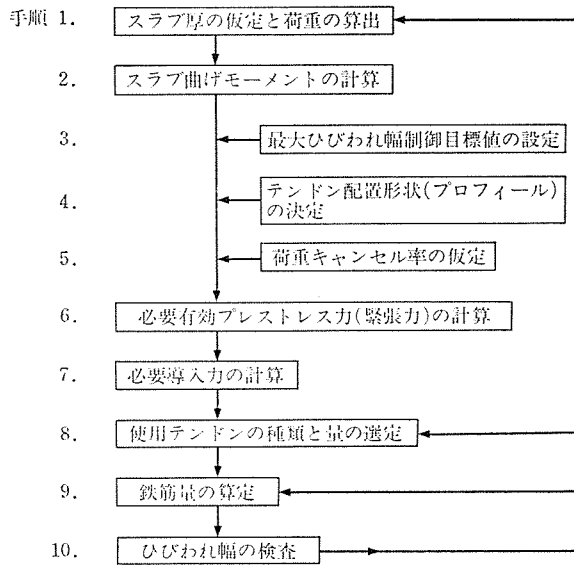


図-7 連続スラブ断面設計フロー

た)ようであれば、それは、設計条件(積載荷重、スパンなど)に対して設定したスラブ厚さが過小ということなので、設計は振出しに戻らざるを得ない。さらには、ソリッドスラブという前提が無理であった、ということにもなりうる。

逆に、せっかくひびわれ幅を設定したにもかかわらず計算の結果、著しく小さなひびわれしか生じないか、または発生しない、という場合、さらに経済性を追求するのであれば、キャンセル率を下げてテンドンを減らすことを考えればよい。ただし、コンクリートの乾燥収縮ひずみを  $3 \times 10^{-4}$  程度見込む限り、計算上 0.05 mm 前後

のひびわれ幅は避け難いものである。

オルタナティブ

本例では、テンドンをスラブ長辺方向の端から端まで 0.8 m の等間隔で配置するよう決めた。テンダンの吊上げ力によって重力(鉛直荷重)を軽減するという趣旨からすれば、等分布は当然であろうが、結果的にクリティカル部分の応力を緩和できればよい、という考えを導入して、テンダンのより効果的配置——長辺スパンの中央寄りに集中させ、本数も減らす——という代案をとることもできる。これについては別稿にくわしく説明してあるので参照されたい<sup>7)</sup>。

(以下、次号に続く)

【記:竹本 靖(株)大林組技術研究所】

参考文献

- 1) 日本建築センター編“プレストレストコンクリート 造設計施工指針”1983 年版, pp. 22~24
- 2) 日本建築学会編“プレストレストコンクリート 設計施工規準・同解説”1975 年版, pp. 291~308
- 3) 同上,“プレストレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種 PC) 構造設計施工指針・同解説”1985 年版(予定)
- 4) 同上,“鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説”1982 年版
- 5) 竹本 靖:“アンボンド PRC スラブの実用設計法”プレストレストコンクリート技術協会, 第 22 回研究発表会講演概要, 1982.11, pp. 27~28
- 6) 竹本 靖:“アンボンド PC 鋼材の摩擦係数について”プレストレストコンクリート, Vol. 24, No. 4, 1982. 7, pp. 38~40
- 7) 竹本 靖ほか:“集合住宅におけるアンボンド PRC スラブの合理化設計法”プレストレストコンクリート, Vol. 26, No. 6, 1984.11, pp. 73~82

◀刊行物案内▶

PC 定着工法

(1982 年改訂版)

本書は、現在我が国において多く用いられている PC 定着工法 19 種についてとりあげ、それぞれの工法の概要、構造、施工法、特長、注意事項などを解説したものであります。

設計者、施工者の利用とともに教育用テキストなどにも広く使用できることと思えます。

また付録として PC 鋼材一覧表(改訂版)等を添付してあります。

ご希望の方は代金を添え(現金書留かまたは郵便振替東京 7-62774) プレストレストコンクリート技術協会宛(電 03-261-9151)お申し込みください。

体 裁: B5 判 94 頁

定 価: 2,800 円(会員特価 2,500 円)

送 料: 350 円