

## 講座

## アンボンドスラブ

## その3 設計編(2)

## 8 設計法(続き)

## (2) フラットスラブ

アンボンド工法の適用によって、高機能ながらローコストという再評価を得て、フラットスラブは、ここ数年来、ショッピングセンターを中心に数多く建設されるに至った。ただしそのほとんどは、「便宜的 PRC」(鉄筋コンクリートとして断面の強度設計をしておき、ひびわれ・たわみ止めにアンボンド tendon を、強度上は余分に投入)として設計されている。Tendon を強度上も勘定に入れた「本格的 PRC」(建築学会 PRC 指針に沿った)としてのアンボンドフラットスラブは、まだ設計法が一般化されていない、というのが現状である。

以下、その本格的 PRC であるアンボンドフラットスラブの設計法を紹介しよう。

なお、フラットスラブは、ラーメン骨組に支えられたスラブの場合と異なり、それ自身若干の水平力を考慮する必要があるなど、建物全体の耐震設計から完全に切り離して断面設計できるものではない。しかしここでは、紙面の都合もあり、設計例として、以下の構造計画上の仮定が成り立つことを前提に、フラットスラブ部分のみの断面設計法を示すことにする。

- (a) 建物全体の耐震設計フローの中で、本計算例の部分は「一次設計」に相当する。もしくは、構造規定により「ルート1」をとり得たものとする。
- (b) 地震時水平力は、建物外周部に設けたラーメン部分および耐震壁にすべて負担させる。ただし、フラットスラブ部分にも、それ自身の重量に基づく水平力の30%が負担できるよう配慮する。

手順 1. フラットスラブの形状・寸法の仮定

図-8 に示すような、たて横とも多スパン連続のフラ

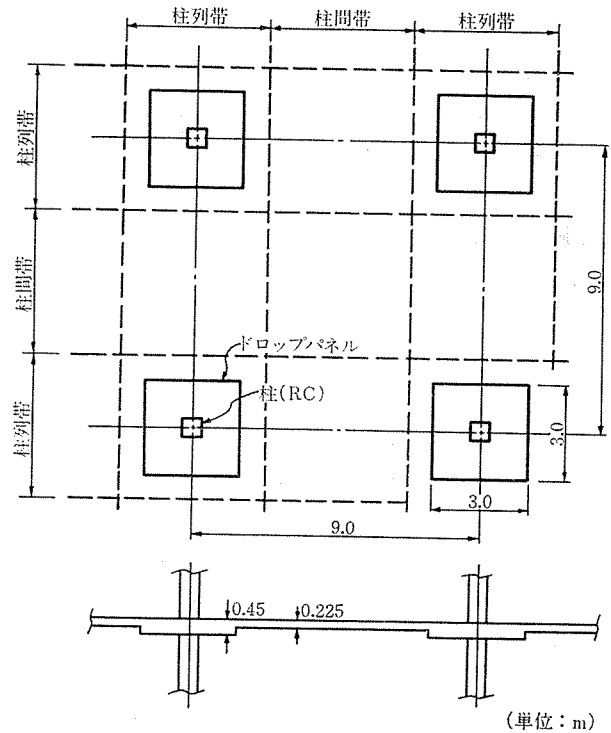


図-8 アンボンドフラットスラブ

ットスラブ(用途:ショッピングセンター)を例にとる。フラットスラブでは、スラブ厚のほかに、ドロップパネルの厚さと大きさを決める必要がある(ドロップパネルのないものをフラットプレートというが、日本ではまだ例がないと思われるので、ここでは触れない)。

スラブ厚さや、ドロップパネルの寸法に関する決まりはない(建築学会 RC 規準ではスラブ厚と柱寸法の下限を与えているが、実用上これに抵触することはない)が、過去の実例を見ると、ほぼある「範囲」のあることがわかる。表-5 に、それらの数例(ただしいずれも便宜的 PRC)を示す。これらによれば、スラブ厚はスパンの  $1/40 \sim 1/35$ 、ドロップパネルは厚さが  $1/20 \sim 1/15$ 、大き

表—5 アンボンドフラットスラブ (便宜的 PRC) の例

用途	階数	スパン (m)	ドロップ パネル辺長 (m)	スラブ厚 (cm)	
				一般部	ドロップ パネル
事務室	3	7.2×7.2	2.9×2.9	18	40
倉庫	6	7.2×8.1	2.7×2.7	20	45
売場	4	8.0×8.0	2.6×2.6	22	50
売場	4	8.1×8.1	2.7×2.7	20	45
売場	2	9.0×9.0	3.0×3.0	25	45

さがスパンの 30~40% といったところである。

スパンは、7~9m の正方形が多い。長方形スラブの例もあるが、RC 規準の応力略算法を適用できるのは、短辺  $\geq 0.8 \times$  長辺の範囲である。

本例では、図—8 に記入したような各寸法とする。この場合は「本格的 PRC」なので、過去の「便宜的」に比べて、やや軽快な断面を狙う。

以上の仮定により、荷重は、

$$\left. \begin{array}{l} \text{コンクリート } 24 \times 22.5 = 540^{*1} \\ \text{仕上げ等 } 30 \\ \text{積載荷重 (売場) } 300^{*2} \end{array} \right\} 870 \text{ kgf/m}^2$$

( $g=570, p=300$ )

手順 2. 鉛直荷重時モーメントの計算

建築学会 RC 規準解説に示された略算法によるのが簡便である。内部スパンスラブのモーメントを表す公式、および本例をそれに当てはめた時の結果を、表—6 に示す。応力を求めるには、コンピュータを使って精算することもある。その一例として、薄板要素による FEM 解析の結果を、表—6 にあわせて示す。学会式による結果と比べると、トータルモーメントの配分比率がかなり違う。すなわち、柱頭部分へのモーメントの集中度が、学会式より著しくなっている。これは、ドロップパネルの補剛効果が大きいためと思われる。学会式によるモーメントで断面算定を行うとき、このことを念頭に置いて、柱頭部の配筋にやや余裕を持たせるのが賢明であろう。

表—6 スラブの曲げモーメント分布 (単位: tf·m/m)

	端部負モーメント		中央正モーメント		
	AIJ 式	FEM	AIJ 式	FEM	
柱列帯	$\frac{l^2}{10}(g+p)$	7.05	$l^2 \left( \frac{g}{26} + \frac{p}{13} \right)$	3.64	2.14
柱間帯	$\frac{l^2}{30}(g+p)$	2.35	$l^2 \left( \frac{g}{32} + \frac{p}{16} \right)$	2.96	1.70

手順 3. 水平荷重時モーメントの計算

フラットスラブ自身にも負担させる地震時水平力とし

\*1 鉛直荷重時モーメントの算出時には、ドロップパネル部分の重量増分を無視できる。

\*2 地震力算出用: 130 kgf/m<sup>2</sup>

では、そのスラブを支える柱 1 本の負担面積分重量の 30% に、水平震度を乗じた値をとる。すなわち、

固定荷重 (柱断面 0.6m 角, 階高 4.0m として):

スラブ部分  $(0.54 + 0.03) \times 9^2 = 46.17$

ドロップパネル部分  $0.54 \times 3^2 = 4.86$

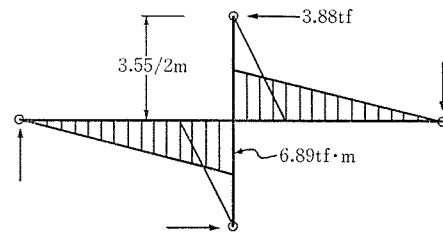
柱  $2.4 \times (4.0 - 0.45) \times 0.6^2 = 3.07$

積載荷重 (地震力用):  $0.13 \times 9^2 = 10.53$

合計 64.63 tf/柱 1 本につき

柱 1 本当りの水平力:  $64.63 \times 0.3 \times 0.2 = 3.88 \text{ tf}$

スラブ全幅についてのモーメント (図—9 参照)



図—9 地震力による曲げモーメント (1 スパン幅)

$$3.88 \times \frac{(4.0 - 0.45)}{2} \times 2 \times \frac{1}{2} = 6.89 \text{ tf} \cdot \text{m} / 9 \text{ 幅}$$

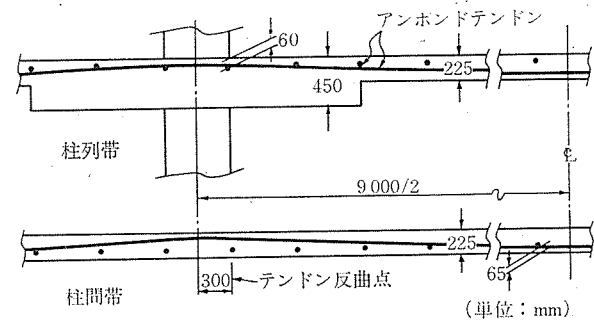
この値を RC 規準解説に従って柱列帯と柱間帯に分けると、

$$\left. \begin{array}{l} 6.89 \rightarrow \text{柱列帯 } 70\% \quad 4.82 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ \quad \quad \quad \text{柱間帯 } 30\% \quad 2.07 \text{ " } \end{array} \right\}$$

手順 4. テンドンプロフィールの決定

図—10 に示したようにアンボンドテンドンを配置。

この場合、テンドンは、2 方向なので随所で交差することを忘れてはならない。



図—10 テンドンプロフィール

スパンの端部上と中央下でのテンドンのかぶり厚さとしては、計算上はたて横の平均値を用いればよい (ライズ値をいちいち変えるのは面倒だから)。図中に記入した寸法は、その平均値である。

手順 5. 荷重キャンセル率の仮定

ひびわれ幅制御目標値を 0.1 mm 程度として、キャンセル率を設計荷重 ( $g+p$ ) の 60% と置く。

手順 6. 必要有効プレストレス力, 必要導入力の計算

テンドンの必要吊上げ力  $W_p$ :

$$W_p = 0.87 \times 0.6 = 0.522 \text{ tf/m}^2$$

必要有効プレストレス力  $P_e$  :

$$P_e = \frac{0.522}{8 \times 0.1/8.4^2} = 46.04$$

(テンダンの反曲点間長さ : 8.4 m)

摩擦損失の計算 : 緊張端から 4 スパンめのスラブの中

央点を対象にとったとして,

$$\text{角変化 } \sum \alpha = \frac{2 \times 10}{840/2} \times 4 \times 3.5 = 0.665 \text{ ラジアン}$$

テンドン長さ  $x = 9 \times 3.5 = 31.5 \text{ m}$

$$\text{摩擦損失率 } 1 - e^{-(0.06 \times 0.665 + 0.002 \times 31.5)} = 0.10$$

長期間のプレストレス力有効率  $\eta = 0.85$

以上より, 緊張端での必要導入力  $P_0$  は :

$$P_0 = 46.04 / (1 - 0.1) \times 0.85 = 60.18 \text{ tf/m}$$

手順 7. 使用テンダンの種類と量

アンボンドテンドン 7 本より 15.2 mm とすれば, 許容荷重が 18.08 tf/1 本 なので, 最大ピッチは (2 方向配置であることを思い起こして) :

$$18.08 \times 2 / 60.18 = 0.60 \text{ m} \rightarrow @ 60 \text{ cm}$$

手順 8. 鉄筋量の算出

長期荷重と地震時荷重の両方について, 告示に示された破壊に対する安全度を確保できる鉄筋量を算定する。

破壊安全度検査用応力組合せ (PRC 指針) :

長期荷重  $1.7(G+P)$  および  $1.2G+2P$

地震時荷重  $G+P+1.5K$

鉄筋量についての条件式 :

$$a_t \geq \frac{(1.7-r) \cdot M_{G+P}}{a_{sy} \cdot j}; \frac{(1.2-r)M_G + (2-r)M_P}{a_{sy} \cdot j}$$

(第 2 式は通常, 無視できる)

$$a_t \geq \frac{(1-r)M_{G+P} + 1.5M_K}{a_{sy} \cdot j}$$

キャンセル率  $r = 0.6$ ,  $a_{sy} = 3.0 \text{ tf/cm}^2$  (SD 30)

$j = 35$  (ドロップパネル部), 16.63 (スラブ部) cm

柱列帯端部上端筋 (柱列帯全モーメントをドロップパネル幅で負担) :

$$a_t \geq \frac{(1.7-0.6) \times 705 \times 4.5}{3 \times 35} = 33.24 \text{ cm}^2/3 \text{ m}$$

$$a_t \geq \frac{(1.0-0.6) \times 705 \times 4.5 + 482 \times 1.5}{3 \times 35} = 18.97 \text{ cm}^2/3 \text{ m}$$

→ D 13 @ 100 (38.1 cm<sup>2</sup>/3 m) とする (たて横とも)

他の部位についても同様に計算すればよい (省略)。

手順 9. ひびわれ幅の検査 (概算)

柱列帯端部上端を例にとる。

鉄筋応力度

$$\sigma_t = \frac{(1-0.6) \times 705 \times 4.5}{38.1 \times 35} = 0.95 \text{ tf/cm}^2$$

コンクリート応力度

$$\sigma_{ct} = \frac{(1-0.6) \times 705 \times 0.004 \times 4.5}{300 \times 45^2/6} = 12.5 \text{ kgf/cm}^2$$

前号, 表-4 によれば, ひびわれ幅は, ほぼ 0.1 mm 程度内に納まっているものと判断できる。

手順 10. パンチングシアの検討

フラットスラブに特有の問題として, 柱頭部のパンチングシアがある。ただし, 積載荷重が特別には多くない場合 ( $p \leq q$ ) で, かつ, 本稿の始めに述べたドロップパネルの寸法の範囲に入っておれば, パンチングに対しては, かなりの余裕が保証される。本計算例の場合も, 検討不要の領域ではあるが, 念のため計算しておく。

パンチングの検討は, 柱面からスラブ (ドロップパネル部) の有効せいの 1/2 離れた位置の鉛直断面について行われる (RC 規準解説より……図-11 参照)。

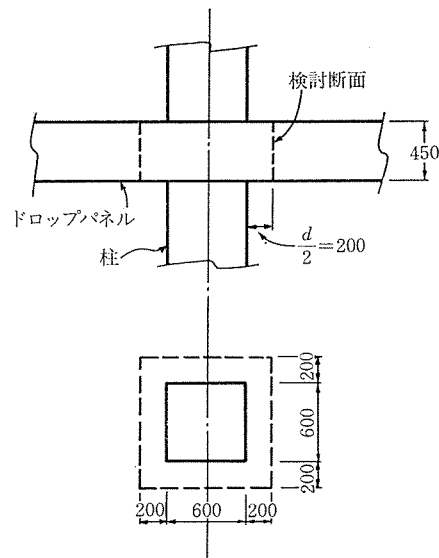


図-11 パンチング検討断面

この断面に作用するせん断力は :

スラブ・仕上げ  $0.57 \times (9^2 - 1^2) = 45.60 \text{ tf}$

ドロップパネル  $0.54 \times (3^2 - 1^2) = 4.32$

積載荷重  $0.30 \times (9^2 - 1^2) = 24.00$

合計 73.92 tf

テンダンの吊上げ力は, 柱頭部分を通するテンドンによるもののみが, せん断力キャンセルの効果を持つ。

この場合, 柱頭部 1 m 幅の中に含まれるテンドンは, 1 方向につき全 15 本中の 2 本であり, かつ, 全吊上げ力は設計荷重の 60% に相当するから, せん断力のキャンセル量は :

$$V_P = 73.92 \times 0.6 \times 2/15 = 5.91 \text{ tf}$$

したがって, パンチング破壊の検討用せん断力は, PRC 指針のせん断条項を準用して

$$V_D = 1.7 \times 73.92 - 5.91 = 119.8 \text{ tf}$$

## ◇講 座◇

柱頭まわりのせん断耐力は、同じく PRC 指針に準じてコンクリートのせん断強度を、 $11 \text{ kgf/cm}^2$  ( $F_c$  240) と置いて、

$$\begin{aligned} V_U &= 2 \times 40(2 \times 60 + 2 \times 40) \times 11 = 176\,000 \text{ kgf} \\ &= 176.0 \text{ tf} > 119.8 \end{aligned}$$

なお、柱の左右での不釣合モーメントを考慮したパンチングの検討をすることもあるが、本例のようなプロポーションでは、クリティカルになることはない (RC 規準解説に計算法が紹介されているから、試してみられるとよい)。

### オルタナティブ

① パンチングシアが厳しい時の有効な対策として、テンドンの柱頭部幅への集中配置がある。計算例でも示したように、テンドンの上向きに凸な部分が柱頭部に入っていると、そのテンドンの吊上げ力は、スラブのせん断力にならない。したがって、多数のテンドンを柱頭部幅内に集めると、パンチングが楽になる。欧米では (ドロップパネルを省くこともあって) この方法を、コラムストリップメソッドと称して多用している。ただし、この場合は吊上げ力が等分布ではなくなるので、計算が面倒 (単純に荷重を差し引くのではなく、テンドン分布に応じた吊上げ力計算が必要) となる。

② フラットスラブの場合は、梁がない (ただし、建

物外周にはラーメンが付属する場合が多い) ので、プレストレス導入により、スラブにある程度の「軸方向力」が発生するものと考えの方が妥当である。普通は、本例のように、それを無視して断面算定してさしつかえない (少なくともひびわれに対しては安全側) が、特に計算の厳密さを求めるのであれば、軸力も考慮する。その場合の断面算定法は、曲げと軸力が作用した部材、すなわち、RC の柱の計算法を準用すればよい (その場合も、吊上げモーメントを差し引いておくのは言うまでもない)。



## 9 おわりに

アンボンドスラブ、特にフラットスラブは、大いに興味があって、一度使ってみたいとは思っているものの、設計法について適当な参考書なり規準なりがないため、手を出し兼ねている、という若い技術者の方が多いと聞く。

本講座で紹介した設計法は、決してオーソライズされたものではないが、そういった技術者の方々に、ともかく一度やってみる、というきっかけを与える点で、お役に立てるのではないかと考えている。

【記：竹本 靖 (株)大林組技術研究所】

---

## 転勤 (または転居) ご通知のお願い

勤務場所 (会誌発送、その他通信宛先) の変更のご通知をお願いいたします。

会誌発送その他の場合、連絡先が変更になっていて、お知らせがないため郵便物の差し戻しをうけることがたびたびあります。不着の場合お互いに迷惑になるばかりでなく、当協会としても二重の手数と郵送料とを要することになりますので、変更の場合はハガキに新旧の宛先を記入のうえ、ただちにご一報くださるようお願いいたします (ご送金の際、振替用紙裏面の通信欄に記入されても差し支えありません)。

ご転勤前後勤務先に送ったものがそのまま転送されないでご入手できない場合、当方として責任を負いかねますのでご了承ください。