

### (3) PC床版の押し抜きせん断耐荷力について

大阪大学大学院 ○東山 浩士  
 大阪大学大学院 太田 博士  
 大阪大学工学部 朴 淳珍  
 大阪大学工学部 松井 繁之

#### 1. はじめに

外ケーブル方式による合成桁橋コンクリート床版への橋軸方向プレストレス導入による耐久性向上に関する実験的研究<sup>1)</sup>を進めてきており、基本的にプレストレス導入による耐荷力の向上も確認している。しかし、プレストレストコンクリート床版（以下、PC床版）の押し抜きせん断耐荷力の評価式がまだ確立されていない。コンクリート床版の押し抜きせん断耐荷力は疲労耐久性を評価する上で重要なパラメータのひとつであり、プレストレスされた床版の押し抜きせん断耐荷力を算定する評価式を提案する必要がある。そこで、鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）の押し抜きせん断耐荷力を精度よく評価できる松井の評価式<sup>2)</sup>をPC床版へ拡張することを試みた。本報告では、押し抜きせん断破壊モデルからプレストレス導入による押し抜きせん断耐荷力に与える影響パラメータを挙げ、それぞれについてプレストレス導入による影響度を検討し、実験事例に対する適用性を照査した。それらを以下に報告する。

#### 2. 影響パラメータ

松井が提案しているRC床版の押し抜きせん断耐荷力算定のための力学モデルを図-1に示す。せん断破壊面の破壊角度を $45^\circ$ とし、圧縮側コンクリート部で純せん断破壊、引張側鉄筋部でダウエル効果によるかぶりコンクリートの剥離破壊が生じるとし、整理した力学モデルから次式の評価式が誘導された。

$$P = \tau_{s \max} \{ 2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m \} + \sigma_{t \max} \{ 2(a + 2d_m)C_d + 2(b + 2d_d + 4C_d)C_m \} \quad (1)$$

ここに、

$a, b$  : 載荷板の主鉄筋方向、配力鉄筋方向の辺長

$x_m, x_d$  : 主鉄筋および配力鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸

$d_m, d_d$  : 引張側主鉄筋、配力鉄筋の有効高さ

$C_m, C_d$  : 引張側主鉄筋、配力鉄筋のかぶり

$$\tau_{s \max} = 0.252\sigma_{ck} - 0.000246\sigma_{ck}^2 \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (2)$$

$$\sigma_{t \max} = 0.583\sigma_{ck}^{2/3} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (3)$$

$\sigma_{ck}$  : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

この破壊モデルに対して、プレストレスを導入することによって、変化すると思われるパラメータとして、(1)せん断破壊面の角度変化、(2)圧縮側コンクリート部での純せん断強度の変化、(3)引張側鉄筋部でのダウエル効果による剥離破壊領域の引張応力分布の変化、(4)床版中立軸の変化の4項目を考えた。以下に、これら4つの項目についてプレストレス導入による押し抜きせん断耐荷力に与える影響度を検討することとした。

##### (1)せん断破壊面の角度変化

輪荷重によるせん断応力と導入プレストレスとによって主応力作用方向が変化する。そこで、せん断破壊面の角度をコンクリートのせん断ひびわれ発生耐力と導入プレストレスとから求めることにした。すなわち、

せん断ひびわれが発生すれば破壊までひびわれ面の角度は変化しないと仮定し、式(4)で表される最大主応力が式(3)により求められるコンクリートの引張強度に達したときにせん断ひびわれが発生するとし、理論的に導かれた式(5)<sup>3)</sup>によりせん断ひびわれ発生耐力を算定することにした。

$$\sigma_1 = -\frac{\sigma_p}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_p}{2}\right)^2 + \tau_{cr}^2} \quad (4)$$

$$\tau_{cr} = 1.005\sqrt{\sigma_{t\max}^2 + \sigma_{t\max}\sigma_p} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (5)$$

ここに、

$$\sigma_p : \text{導入プレストレス} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

式(5)のせん断ひびわれ発生耐力と導入プレストレスを用いて、せん断破壊面の角度は次式から計算することができる。

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\tau_{cr}}{\sigma_p} \quad (6)$$

(2) コンクリートの純せん断強度

プレストレスを導入することによって、圧縮側コンクリート部の純せん断強度の向上が考えられる。そこで、既往の研究から、佐伯ら<sup>4)</sup>のコンクリートシリンダーによる圧縮とねじりを受けたときのせん断強度に関する図-2のような実験結果を適用可能として選んだ。

しかし、一般に、コンクリート床版に導入されるプレストレス量はコンクリート強度の10%前後であることを考えると、せん断強度の向上はプレストレスゼロでのばらつき範囲であると言える。そこで、コンクリートの最大せん断強度については式(2)のままよいとする。

(3) 剥離破壊部の引張応力分布

押し抜きせん断破壊時には引張側鉄筋部のダウエル効果によりかぶりコンクリートの剥離破壊が生じる。松井が提案する式(1)では、剥離破壊領域をかぶりCの2倍とし、引張応力分布は直線的に三角形分布すると仮定している。この引張応力分布がプレストレス導入により、どのように変化するかを確認するためにFEM解析を行った。解析モデルは図-3に示すような梁モデルとし、鉛直荷重を直接鉄筋に作用させ、かぶりが2.5cmのものについて計算を行った。また、プレストレス量は15kgf/cm<sup>2</sup>、30kgf/cm<sup>2</sup>である。解析結果は図-4に示すように、プレ

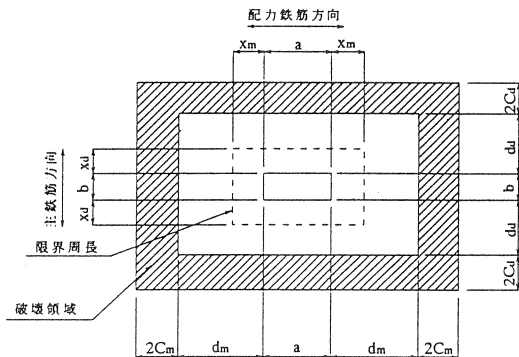
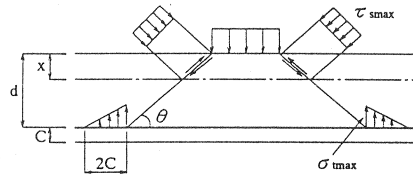
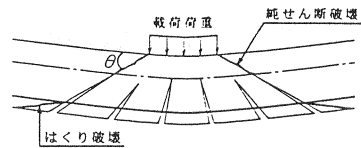


図-1 押し抜きせん断破壊の力学モデル

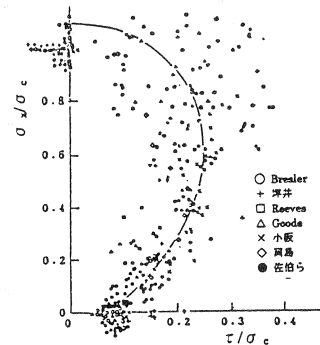


図-2 圧縮応力とせん断強度との関係

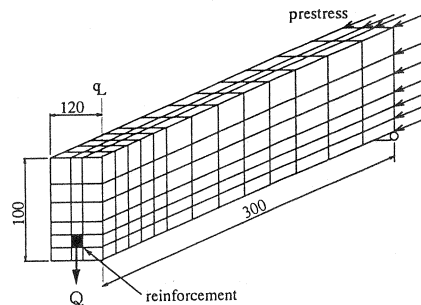
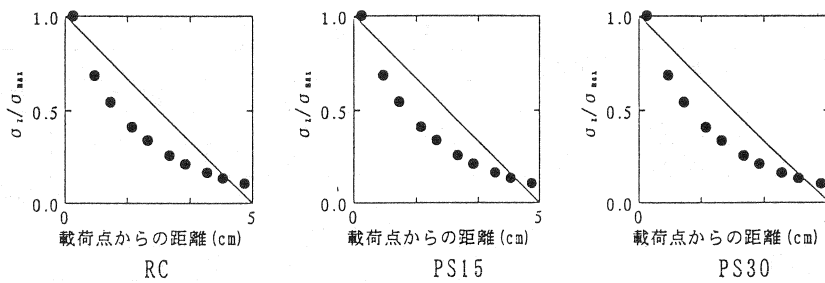


図-3 ダウエル力による剥離応力解析モデル



図—4 引張応力分布

ストレス量を変えてもRCの場合とほとんど同様の分布であり、剥離破壊領域へのプレストレスの影響は無いようである。これらの結果から、PC床版での剥離破壊領域はRC床版と同じようにかぶりCの2倍とする。

(4) 床版中立軸の変化

使用限界状態までの範囲では、プレストレスを導入することによりRC部材と比べひびわれ深さは当然のことながら小さくなる。しかし、終局時にはひびわれが発生し、内部応力はRC部材の場合と本質的に変わらないことから、中立軸は引張側コンクリートを無視したときの深さにまで達しているものと仮定してもよいと言える。

3. PC床版の押し抜きせん断耐荷力の評価式

2.で検討した4項目から、プレストレス導入による押し抜きせん断耐荷力に与える影響は押し抜きせん断破壊面の角度のみであるという判断に至った。そこで、その影響を式(1)に取り込むと次式のようなになる。

$$P = \tau_{s, \max} \left\{ 2(a + 2x_m / \tan \theta_m) x_d / \tan \theta_d + 2(b + 2x_d / \tan \theta_d) x_m / \tan \theta_m \right\} + \sigma_{t, \max} \left\{ 2(a + 2d_m / \tan \theta_m) C_d + 2(b + 2d_d / \tan \theta_d + 4C_d) C_m \right\} \quad (7)$$

ここに、

$\theta_m, \theta_d$  : 式(6)による主鉄筋方向、配力鉄筋方向の破壊面の角度

プレストレスを導入することによって押し抜きせん断破壊面の角度が小さくなり、荷重に対する抵抗範囲が広がる。それによってPC床版の押し抜きせん断耐荷力が向上することになる。

4. 実橋PC床版の押し抜きせん断耐荷力

PC床版の押し抜きせん断耐荷力実験のデータはほとんど見当たらず、式(7)の適用範囲を設定するためにはデータの蓄積が必要である。ここでは、著者らが調査して得ることができた2ケースの実験PC床版について、式(7)の適用の可能性を評価するために、押し抜きせん断耐荷力の算定を試みた。

文献5)では内ケーブルによる橋軸方向のみプレストレスされた床版厚18cmのもの、文献6)では橋軸方向および橋軸直角方向にプレストレスされた床版厚18cmのものである。それぞれのPC床版に関する諸元を表—1にまとめてある。ただし、文献6)の橋軸直角方向プレストレスは床版の厚さ方向で台形分布であるため、平均したプレストレスを用いることにした。また、表—1から、これらの床版コンクリートの圧縮強度はいずれも500kgf/cm<sup>2</sup>を越えており、図—5に示すように式(2)が適用できなくなる。そこで、500kgf/cm<sup>2</sup>

以上の高強度コンクリートに対しても最大せん断強度を算出できるように次式<sup>7)</sup>を用いることにした。

表—1 PC床版の諸元

床版タイプ	床版厚(cm)	コンクリート		プレストレス (kgf/cm <sup>2</sup> )	
		σ <sub>c</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	橋軸方向	橋軸直角方向
文献5)	18	598	3.44 × 10 <sup>5</sup>	34	0
文献6)	18	576	3.30 × 10 <sup>5</sup>	40	69*

\*平均プレストレス

表—2 押し抜きせん断耐荷力

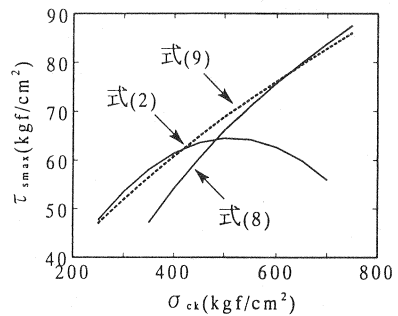
床版タイプ	実験値 (tf)	算定値 (tf) (実験値/算定値)					
		式(1)			式(7)		
		式(2)	式(8)	式(9)	式(2)	式(8)	式(9)
文献5)	101.5	78.1 (1.30)	85.1 (1.19)	85.4 (1.19)	92.2 (1.10)	101.2 (1.00)	101.5 (1.00)
文献6)	140.0	91.7 (1.53)	97.7 (1.43)	98.3 (1.42)	133.1 (1.05)	138.3 (1.01)	139.8 (1.00)

$$\tau_{s \max} = -264 + 53.1Ln\sigma_{ck} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (8)$$

また、図—5から式(2)と式(8)は圧縮強度 500kgf/cm<sup>2</sup>付近で連続性が無くなるため、最大せん断強度をひとつの式で算定できるように、これら2つの式を近似する式(9)を提案することにした。

$$\tau_{s \max} = 2.214\sigma_{ck}^{0.553} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (9)$$

式(1)およびプレストレス導入による破壊面の角度変化を考慮した式(7)の両方で算定した2ケースのPC床版の押し抜きせん断耐荷力をまとめると表—2のようである。また、最大せん断強度算定するための本論文で示した3つの式を用いた場合についても算定結果を示してある。ただし、式(2)については図



図—5 式(2)と式(8)の関係

—5に示す最大せん断強度の最大値を用いることにした。これらの結果から、式(7)によって実橋PC床版の押し抜きせん断耐荷力を精度よく算定することができた。また、提案した最大せん断強度を代入することで、式(8)と同等の精度の算定値を得ることができた。

## 5. まとめ

PC床版の押し抜きせん断耐荷力を算定するための評価式を提案したが、実験値が少ないために評価式の適用範囲、信頼性についてはまだまだ検討する必要がある。また、内ケーブル方式の場合、引張鉄筋部分だけでなく、内ケーブル部分でも剥離破壊が生じる可能性がある。しかし、本論文では、それについて検証を行うに至っていない。今後、実験を行い、できるだけ多くのデータの蓄積が望まれるところである。

### 【参考文献】

- 1) 松井繁之・東山浩士・林 功治：外ケーブルによりプレストレスした合成桁橋プレキャストRC床版の力学性状の向上に関する研究，鋼構造論文集，第4巻第13号，pp.9-18，1997.3.
- 2) 前田幸雄・松井繁之：鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐荷力の評価式，土木学会論文報告集，第348号，V-1，pp.133-141，1984.
- 3) 岡田 清・藤井 学・小林和夫：プレストレストコンクリート構造学，国民科学社，pp.114-115，1990.
- 4) 佐伯 昇・高田宣之・藤田嘉夫：圧縮—ねじり荷重下のコンクリートの変形と破壊挙動，土木学会論文集，第308号，pp.99-108，1981.
- 5) (財)災害科学研究所・ショーボンド建設(株)：SB床版の疲労耐久性に関する研究報告，平成7年3月
- 6) 松井繁之・中井 博・袴田文雄・竹中裕文：プレストレスを導入するプレキャスト床版の継目部の連続性と耐荷力に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.34A，土木学会，pp.285-296，1988.3.
- 7) 並木 哲・山本康弘・戸祭邦之・黒羽健嗣：高強度コンクリートの各種強度の検討，日本建築学会大会学術講演梗概要(近畿)，pp.737-738，昭和62年10月