

B-3

PC 鋼材の付着が PCaPC 圧着部材のせん断耐力に及ぼす影響に関する実験的研究

その3 耐力評価式の提案

Experimental Study on The Effect of Bond Stress of Prestressing Steel on Shear Strength of PCaPC Members  
Part.3 Propose a force-resistance evaluation formula

奥祐太郎<sup>1</sup>, 高木翔<sup>2</sup>, 宮原椋一<sup>1</sup>, 浜原正行<sup>3</sup>, 福井剛<sup>3</sup>

Yutaro Oku<sup>1</sup>, Syo Takagi<sup>2</sup>, \*Ryoichi Miyahara<sup>1</sup>, Masayuki Hamahara<sup>3</sup>, Tsuyoshi Fukui<sup>3</sup>

Abstract: In this study, as the remainder of the truss mechanism, a bearing strength equation based on the bending resistance mechanism was derived, which was applied not only to unbonded PC members but also to bonded PC members, and the calculated values obtained by summing the bending strength equation and the truss mechanism equation using the critical shear reinforcement ratio were compared with the experimental values. As a result, it was found that the calculation accuracy of this equation was relatively better than that of the experimental data, and the failure mode could be evaluated appropriately.

1. はじめに

本報告では, 文献1)で提案されているアンボンド PC 部材のせん断耐力評価に用いる曲げ抵抗機構による耐力式を, ボンド PC 部材まで適用範囲を広げ, これとトラス機構の和で求められるせん断耐力の計算値と, その2で得られた実験結果の比較を行う。

2. 現行の PC 部材せん断耐力評価式

PC 技術基準式<sup>2)</sup>のせん断耐力は(1)式で与えられる。

$$Q_u = b \cdot j_p \cdot p_w \cdot f_{wy} \cdot \cot \phi + C_a \cdot \tan \theta \quad \text{-----(1)}$$

ここで,  $C_a = b \cdot D \cdot (\nu \cdot \sigma_B - 2 \cdot p_w \cdot f_{wy}) / 2$

$$\tan \theta = \sqrt{(2M/Q \cdot D)^2 + 1} - (2M/Q \cdot D)$$

$f_{wy}$ : せん断補強筋の降伏強度

$j_p$ : 上端 PC 鋼材から下端 PC 鋼材までの距離

$b, D$ : 断面の幅, 断面の全せい

$\sigma_B$ : コンクリート圧縮強度

$\nu$ : コンクリート有効係数 ( $= \alpha \cdot L_r \cdot (1 + \eta_g)$ )

$$\alpha = \sqrt{60/\sigma_B} \quad (\alpha \leq 1)$$

$$L_r = \left( \frac{M}{2Q \cdot D} \right) \quad (L_r \leq 1), \quad \eta_g = P_e/b \cdot D \cdot \sigma_B$$

ただし,

$$0.65 \leq \nu \leq 1, \quad f_{wy} \leq 390 \text{N/mm}^2, \quad p_w \leq 0.012$$

3. 試験体の耐力評価式

試験体の耐力評価式は文献1)による。本報告ではボンド PC 部材を適用した一連の式を以下に示す。また, 曲げ耐力式に用いるコンクリートのストレスブロック合力, 鋼材張力ともにトラス機構残余分とする。

(1) 材料強度

**軸方向鋼材** 鋼材とコンクリートの応力は, 以下のよう規定した。

$$\text{ボンド PC 鋼材: } 0 \leq T_{bo} \leq T_y \text{-----(2)}$$

$$\text{アンボンド PC 鋼材: } 0 \leq T_{ub} \leq T_p \text{-----(3)}$$

ここに,  $T_{bo}, T_y$ : 全ボンド PC 鋼材に働く引張力, 同降伏時引張力

$T_{ub}, T_p$ : 全アンボンド PC 鋼材に働く引張力, 同上限引張力の総和

アンボンド PC 鋼材の上限引張力の総和  $T_p$  は, 下式により評価する。

$$T_p = P_{eub} + 800 \cdot A_{ub} \cdot D / L_{ub} \text{-----(4)}$$

ここに,  $P_{eub}$ : 全アンボンド PC 鋼材の有効引張力

$A_{ub}$ : アンボンド PC 鋼材の総断面積

$L_{ub}$ : アンボンド領域の長さ (=2,240mm)

アンボンド PC 鋼材とボンド PC 鋼材の引張力の取り得る範囲は, (2)式, (3)式の和で与えられる。

$$\text{すなわち, } 0 \leq S_r \leq S_y \text{-----(5a)}$$

$$\text{ここに, } S_y = T_y + T_p - T_w \text{-----(5b)}$$

$$T_w = Q_w(L/j_p + 1) \text{-----(5c)}$$

$T_w$ : トラス機構により PC 鋼材に働く引張力

$L$ : 部材の内法長さ(=1,200mm)

**コンクリート** コンクリートの圧縮強度は以下による。

$$\sigma_{Be} = \alpha \cdot \sigma_B \text{-----(6)}$$

$$\text{ここに, } \alpha = \sqrt{60/\sigma_B} \leq 1$$

(2) 耐力評価式

**トラス機構によるせん断耐力**

文献3)より, トラス機構の耐力とコンクリート圧縮ストラット応力は, それぞれ(7)式, (8)式による。

$$Q_w = p_w \cdot f_{wy} \cdot b \cdot j_p \text{-----(7)}$$

$$\sigma_w = 2p_w \cdot f_{wy} \text{-----(8)}$$

ただし,  $p_w > p_{wcr} = 2(T_{py} - T_{pe}) / \{b \cdot (L + j_p) \cdot f_{wy}\}$  のときは,  $p_w = p_{wcr}$  とする。

ここに,  $T_{py}$ : 片側のボンド PC 鋼材の降伏時引張力

1: 日大理工・院(前)海建 2: 日大理工・学部・海建 3: 日大理工・教員・海建

$T_{pe}$  : 片側のボンドPC鋼材の有効引張力  
 $p_w, p_{wcr}$  : せん断補強筋比, 臨界せん断補強筋比  
 トラス機構残余分による耐力

トラス機構の残余分の耐力 $Q_r$ は下式による. Fig.1のような長方形ストレスブロックを仮定すると, (9)式のようなになる.

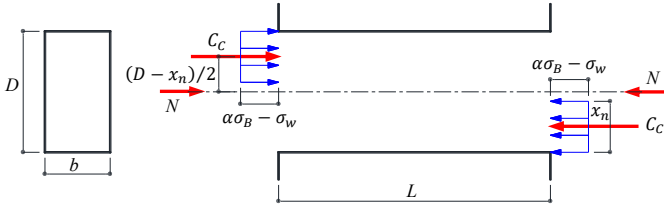


Fig.1 Stress Block

$$Q_r = \frac{D}{L} \cdot \left(1 - \frac{C_c}{N_0}\right) \cdot C_c \quad \text{-----(9)}$$

ここに,  $N_0 = b \cdot D \cdot (\alpha \cdot \sigma_B - \sigma_w)$

$C_c$  : ストレスブロック合力

(9)式に極値を与える $C_c = C_{cu}$ は,  $\partial Q_r / \partial C_c = 0$ より,

$$C_{cu} = N_0 / 2 \quad \text{-----(10)}$$

(5)式, (6)式, (10)式の条件下で(9)式に下界定理を適用すると, ストレスブロック合力は以下のようなになる.

$$N < C_{cu} - S_y \quad : C_c = N + S_y \quad \text{-----(11a)}$$

$$C_{cu} - S_y \leq N \leq C_{cu} \quad : C_c = C_{cu} \quad \text{-----(11b)}$$

$$N > C_{cu} \quad : C_c = N \quad \text{-----(11c)}$$

ここに,  $N$  : 軸方向力

曲げ耐力は(11)式を(9)式に代入すると求まる.

$N < C_{cu} - S_y$  :

$$Q_r = \frac{D}{L} \cdot \left(1 - \frac{N + S_y}{N_0}\right) \cdot (N + S_y) \quad \text{---(12a)}$$

$$C_{cu} - S_y \leq N \leq C_{cu} : Q_r = \frac{D}{L} \cdot \frac{N}{4} \quad \text{-----(12b)}$$

$$N > C_{cu} : Q_r = \frac{D}{L} \cdot \left(1 - \frac{N}{N_0}\right) \cdot N \quad \text{-----(12c)}$$

### 最大耐力

部材の最大耐力はトラス機構の耐力 $Q_w$ とトラス機構残余分の耐力 $Q_r$ の和で与えられる.

$$\text{すなわち, } Q_u = Q_w + Q_r \quad \text{-----(13)}$$

### 4. 実験値と計算値の比較

Table1にPC技術基準式による計算値, Table2に提案式による計算値及び実験値を示す. 各試験体の計算値におけるトラス機構の耐力が占める割合は, PC技術基準式でB1試験体が22.0%, B2試験体が22.0%, B3試験体が21.1%, 提案式でB1試験体が17.5%, B2試験体が22.6%, B3試験体が20.8%である. また, Fig.2にPC技術基準式の計算精度, Fig.3に提案式の計算精度を示す. 図中,  $Q_{eu}$ は最大荷重,  $Q_u$ はせん断耐力計算

値,  $Q_M$ は曲げ終局耐力計算値を表す.

Table1に示すようにPC技術基準式は, 付着を有する軸方向鋼材が少ない場合, 耐力を大きく見積もる傾向がある. 一方で, Table2に示すように, 提案式は付着を有する軸方向鋼材が全くないB0試験体の場合でも計算精度は良好で, それ以外の試験体でも系統的な誤差は見られず, 計算精度は比較的良い. また, Fig.2, Fig.3に示すように, アンボンドPC部材であるB0試験体と, 付着を有する軸方向鋼材が少ないB1試験体の破壊モードを適切に判別できていない. これは, PC技術基準式がアンボンドPC部材を対象としていないためである. 提案式は, 軸方向鋼材の付着に関係なく全ての試験体で破壊モードを適切に評価できている.

Table1 Experimental Value vs. Calculated Value of PC Technical Standards

試験体名	B0	B1	B2	B3
実験値(kN)	487.2	630.0	735.4	751.1
計算値(kN)	538.2	633.7	636.3	663.4
実験値/計算値	0.91	0.99	1.16	1.13

Table2 Experimental Value vs. Calculated Value of Proposed Equation

試験体名	B0	B1	B2	B3
実験値(kN)	487.2	630.0	735.4	751.1
計算値(kN)	494.0	556.0	616.8	670.8
実験値/計算値	0.99	1.13	1.19	1.12

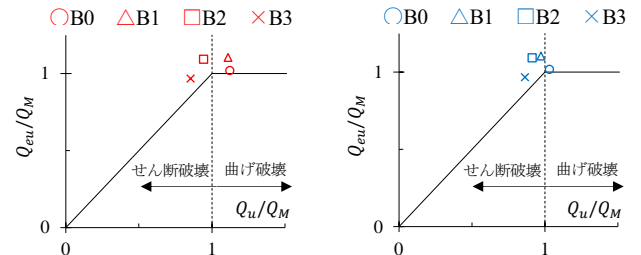


Fig.2 Calculation Accuracy of PC Technical Standards

Fig.3 Calculation Accuracy of Proposed Equation

### 5. まとめ

アンボンドPC部材だけではなく, ボンドPC部材まで適用範囲を広げた曲げ抵抗機構と, 臨界せん断補強筋比を用いたトラス機構の和で求められるせん断耐力式の提案を行い, 提案式による計算値と実験値との比較を行った. その結果, 付着を有する軸方向鋼材の割合によらず, すべての試験体でこの式の実験値に対する計算精度は比較的良く, 破壊モードを適切に評価できる事が分かった.

### 【参考文献】

- 1) 浜原ほか: アンボンドPCaPC部材の曲げ耐力式の提案 (その2), 日本大学理工学部学術講演会 pp.49-50, 2020, 12
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人建築研究所: 2009年版プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計・計算例, pp.126-128, 2009
- 3) 金庭ほか: PC技術基準式のせん断式の修正案(その2 修正案の提案), 日本建築学会大会梗概集(構造IV)pp.699-700, 2020, 9