

B-7

トラス機構耐力と曲げ耐力の和で与えた PC 有孔梁の耐力
その1 有孔梁の応力伝達と母材耐力式

Ultimate Strength of Prestressed Concrete Beams with Web Openings Given by Sum of Flexural Strength and Shear Strength of Truss Mechanism
Part.1

○小川智輝¹, 増田雄太¹, 小池正大², 福井剛³

*Tomoki Ogawa¹, Yuta Masuda¹, Shoudai Koike², Tsuyoshi Fukui³

Abstract: Test results in past investigations are analyzed on behavior of PC beams with web openings, and it is found that the maximum load of these members can be evaluated by using the sum of shear strength of arch mechanism and that of truss mechanism. Taking this finding into account, equations for predicting ultimate strength of the solid portion of the PC beams with web openings, using flexural strength instead of shear strength transferred by the arch mechanism.

1. はじめに

RC 終局強度型耐震設計指針¹⁾, RC 靱性保障型耐震設計指針²⁾では, 有孔梁母材のせん断耐力は, トラス機構のせん断耐力のみで評価し, アーチ機構によるせん断耐力は考慮できないとしている. しかし, 文献3)では, せん断破壊が先行するような母材でも, アーチ機構の負担分に見合うだけの耐力を有していることが示されている. このことは, 母材と開口部弦材のコンクリートの応力伝達はアーチ機構ではなく, 文献4)のアンボンド部材同様, 平面保持の条件下でなされることを示唆している.

本報告では, 文献3)の結果に対して考察を加え, さらに, 文献3), 4)に掲載されている有孔梁の耐力推定式中のアーチ機構の耐力式を曲げ耐力式に置き換え, その実験結果に対する適合性についての検討を行う.

2. 有孔梁の耐力と応力伝達機構に対する考察

Fig.1 は, 計算値に対する最大荷重実験値の比 Q_{eu}/Q_u と母材の耐力に対する開口部耐力の比 Q_{uo}/Q_{usld} , 付着の有無, せん断スパン比, 開口寸法を主要因とする12体の有孔梁試験体の結果³⁾をプロットしたものである. これらの試験体は, 断面の幅×せいが200×450mmであるのに対し, 開口は長さ×高さが300×150mmのもの4体, 225×225mmのもの6体, 90×90mmのもの2体となっており, 最後の2体以外は, 開口を避けるようにアーチ機構を形成させることはできない.

試験体の耐力 Q_u は, 母材破壊が先行した試験体では母材耐力 Q_{usld} , 開口部破壊が先行した試験体では開口部弦材耐力 Q_{uo} を用いた. そして, 開口部弦材の耐力は

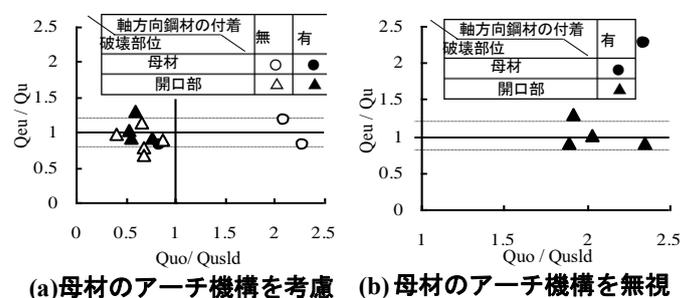


Fig.1 Strength of web openings

トラス機構とアーチ機構の和で与えた. これら2つの図の違いは, Fig.1(a)では母材耐力をアーチ機構とトラス機構の和で, Fig.1(b)では指針1), 2)に倣いトラス機構のみの耐力で与えている点である. なお, アンボンド試験体は, 母材耐力がゼロとなり, Fig.1(b)にはプロットできないため, この図には, 軸方向鋼材に異形棒鋼を用いた試験体のみをプロットした. これらの図より以下のことが指摘できる.

1) Fig.1(a)のように, 母材の耐力にアーチ機構を考慮すると, ボンド試験体も含めて, 概ね有孔梁試験体の最大荷重を評価できている. また, 開口部破壊が先行した試験体, 母材破壊が先行した試験体ともに, プロット位置, 破壊部位も実験結果にほぼ対応している.

2) ボンド試験体についても, 母材のアーチ機構を無視すると, Fig.1(b)に示すように, 母材破壊試験体(図中, ●)の耐力は, 計算値が実験値の1/2以下となり, 明らかに過小評価となっている. また, 開口部破壊が先行した試験体(図中, ▲)についても, 母材耐力が過小評価されている. そのため, 開口部耐力が母材耐力を大きく上回り, 計算上では, 母材破壊となっている.

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

3) Fig.1(a)からも分かるように、ボンド試験体も、母材には、アーチ機構に見合うだけの耐力が保持されており、このアーチ機構に見合う耐力は、アンボンド部材同様、曲げ耐力で肩代わりされていると思われる。このことから、トラス機構の残余分も、曲げ耐力式によって評価できることが類推できる。

3. 母材の耐力

3.1 主筋が定着されている PC 部材, あるいは PC 鋼材が異形棒鋼か撚り線の圧着 PCaPC 部材

3.1.1 曲げ耐力

母材の曲げ終局時の応力を Fig.2 のように仮定すると、曲げ耐力は、以下ようになる。

$$M_u = T_{py}d_p + T_{ry}d_r + T_p(D - d_p) - \frac{(T_{py} + T_p + T_{ry})^2}{2bF_c} \quad \text{-----(1a)}$$

上式に極値を与える T_p は、 $\partial M_u / \partial T_p = 0$ より、

$$T_p = b(D - d_p)F_c - (T_{py} + T_{ry}) \quad \text{-----(1b)}$$

ただし、 $0 \leq T_p \leq T_{py}$

3.1.2 せん断耐力

トラス機構 トラス機構の耐力 Q_t は、(2)式で与えられる主筋とせん断補強筋が同時に降伏するときのせん断補強筋比 p_{wcr} によって場合分けされる。

$$p_{wcr} = 2T_y / \{b \cdot (L + j_r) \cdot f_{wy}\} \quad \text{-----(2)}$$

ここに、 T_y = 主筋降伏荷重、 f_{wy} = せん断補強筋降伏強度 $p_w < p_{wcr}$ の部材では、

$$Q_t = p_w \cdot f_{wy} \cdot b \cdot j_r \quad \text{-----(3a)}$$

$p_w > p_{wcr}$ の部材では、PC 鋼材に丸鋼が用いられている場合は (3b) 式、異形または撚り線が用いられている場合は (3c) 式で評価する。

$$Q_t = p_{wcr} \cdot f_{wy} \cdot b \cdot j_r \quad \text{-----(3b)}$$

$$Q_t = b \cdot f_{wy} \cdot \{p_{wcr}(j_r - j_p) + p_w \cdot j_p\} \quad \text{-----(3c)}$$

ここに、 j_r = 主筋トラスせい j_p = PC 鋼材トラスせい

トラス機構残余分の耐力 トラス機構の残余分は、Fig.2 に示す応力下から求まる耐力 Q_m に極値を与える (4) 式で評価した。このとき、コンクリート圧縮強度の有効係数 ν は PC 技術基準式によった。これより、

$$Q_m = b \cdot D^2 (\nu \cdot F_c - 2p_w \cdot f_{wy}) / (4 \cdot L) \quad \text{-----(4)}$$

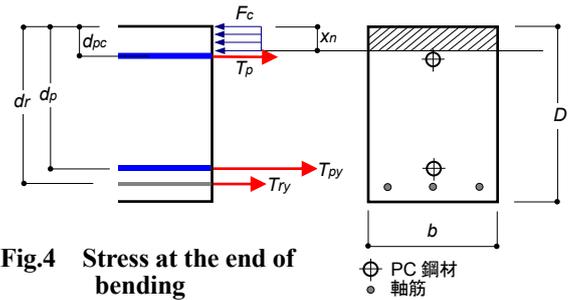


Fig.4 Stress at the end of bending

ここに、 $\nu = \alpha \cdot L_r (1 + \eta_g)$ $\alpha = \sqrt{60/F_c}$ ($\alpha \leq 1$)

$$L_r = L / (4D) \quad (L_r \leq 1)$$

ただし、PC 鋼材に丸鋼が用いられ、 $p_w > p_{wcr}$ の場合は、式中の p_w を p_{wcr} に置き換える。

3.2 PC 鋼材がアンボンドか丸鋼の圧着 PCaPC 部材

アンボンドタイプの PC 鋼材が用いられている場合、曲げ終局時の PC 鋼材の引張力は下式で与える。

$$T_u = P_e + c \cdot (D/L_{ub}) \cdot a_{pg} \quad \text{-----(5a)}$$

ここに、 $c = 800 \text{ N/mm}^2$ a_{pg} = PC 鋼材の総断面積

P_e = 有効プレストレス力

L_{ub} = PC 鋼材のアンボンド領域長さ

ただし、 $T_u \leq 2T_{py}$

丸鋼タイプの PC 鋼材が用いられている場合は、下式で評価する。

$$T_u = 2T_{py} \quad \text{-----(5b)}$$

下界定理を適用し、曲げ耐力は下式で与えられる。

ここに、 $N_0 = \alpha \cdot b \cdot D \cdot F_c$ $\alpha = \sqrt{60/F_c}$

$$T_u < N_0/2 : Q_u = (D/L) \cdot (1 - T_u/N_0) \cdot T_u \quad \text{-----(6a)}$$

$$T_u \geq N_0/2 : Q_u = N_0 \cdot D / 4L \quad \text{-----(6b)}$$

4. まとめ

1) 有孔梁母材と開口部弦材のトラス機構残余分は、アンボンド部材同様、曲げ耐力によって評価できる。

2) このことを勘案した母材の耐力式を示した。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，pp.142-146, 1990,10
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，pp.169-175, 1997,7
- 3) S. Iida, et al. : Arch Mechanism in Reinforced Concrete Beams with Web Openings, Proceedings of the first fib congress, Concrete Structures in the 21th Century, Vol.2 pp.59-60
- 4) 浜原ほか：平面保持仮定に基づいたせん断伝達機構(その 1)-(その 3), 日本建築学会大会梗概集, pp.691-696, 2020,9