

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2 開口部弦材の耐力算定式と計算精度

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

Part.2

○増田雄太¹, 小川智輝¹, 小池正大², 福井剛³

*Yuuta Masuda¹, Tomoki Ogawa¹, 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

本報告では、開口部弦材におけるトラス機構の残余分の耐力評価に曲げ耐力式を用いた計算手法を示し、その実験結果に対する適合性について検討する。

2. 解析上の仮定と式の誘導に際しての方針

仮定 1) 開口部の耐力は圧縮弦材と引張弦材の耐力の和で与え、それぞれの耐力は、下界定理に基づき、

Fig.1 に示す傾斜角 45 度のトラス機構のせん断耐力と **Fig.2** に示す曲げ耐力の和で評価する。

2) 弦材はフィーレンデル部材として挙動し、開口部に作用する断面力の値は反曲点位置とする (**Fig.3 (a)**)。

3) 軸方向鋼材の応力許容範囲は **Tab.1** のように設定。

方針 開口部の耐力は、仮定 1) でも示したように、圧縮弦材と引張弦材の耐力の和で評価するが、その誘導に際しては、圧縮弦材と引張弦材で区別する必要はない。次節以降では、式の誘導は圧縮弦材、引張弦材の区別なく開口部弦材として一括した取り扱いを行う。

3. トラス機構のせん断耐力

開口部圧縮弦材と引張弦材のトラス作用によるせん断力は **(1)式** で与えられる。

$$Q_w = p_w \cdot f_{wy} \cdot b \cdot j_c \text{-----(1)}$$

ただし、 $Q_w \leq 2 \cdot j \cdot T_y / (L_o + j)$

Tab.1 軸方向鋼材の応力許容範囲

主筋	開口部軸筋	PC 鋼材
$-T_y \leq T_r \leq T_y$	$-T_y \leq T_r \leq T_y$	$0 \leq T_p \leq T_{pu}^*$

*アンボンド PC 鋼材: $T_{pu} = P_e + 800 a_g (D/L_{ub})$

通常の PC 鋼材: $T_{pu} = T_{py}$

ここに、 T_y = 弦材において、上端筋、下端の降伏荷重の

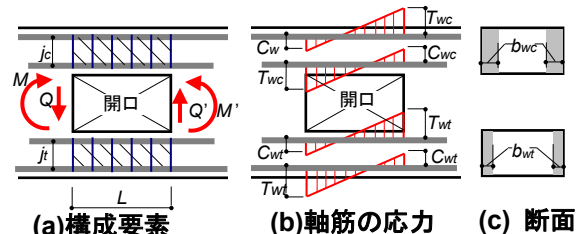


Fig.1 Truss mechanism

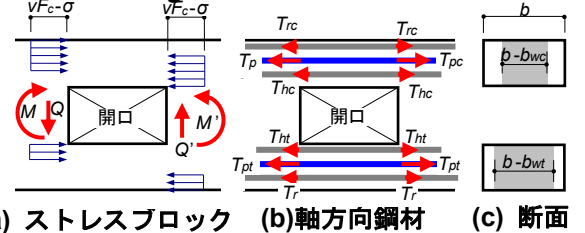


Fig.2 Bending resistance mechanism

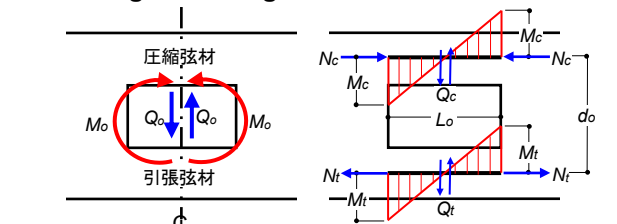


Fig.3 Feulendele models

うち、小さい方の値

(1)式 のせん断力によって、圧縮弦材と引張弦材の軸筋と開口部軸筋には、それぞれ **(2)式** に示す引張力と **(3)式** に示す圧縮力が生じる。

$$T_w = (Q_w/2) \{ (L_o/j) + 1 \} \text{-----(2)}$$

$$C_w = (Q_w/2) \{ (L_o/j) - 1 \} \text{-----(3)}$$

トラス作用によって圧縮弦材と引張弦材は、**(4)式** で示すコンクリート幅分が使われる。

$$b_w = 2Q_w / (vF_c j) \text{-----(4)}$$

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

4. 曲げ耐力

圧縮弦材と引張弦材におけるトラス機構の残余分は、(5)式に示す曲げ耐力式で与える。

$$Q_b = (h/L_o)(1 - C/N_o)C \quad \text{-----(5)}$$

ここに、 $N_o = v(b - b_w)hF_c$

C =圧縮弦材と引張弦材のストレスブロック合力

v =PC 技術基準式による

Q に極値を与えるストレスブロック合力 C_m は、

$\partial Q_b / \partial C = 0$ より、

$$C_m = N_o / 2 \quad \text{-----(6a)}$$

軸方向力に関する釣合より C は、

$$C = N + S \quad \text{-----(6b)}$$

ここに、 S は弦材の軸方向鋼材応力の合計であり、(7)式による。

$$S = T_p + T_r + T_h \quad \text{-----(7)}$$

上式において、圧縮弦材と引張弦材の軸筋の応力(T_r)、開口部軸筋の応力(T_h)およびPC 鋼材の応力(T_p)は、トラス作用の残余分として **Tab.1** の範囲を取り得る。

圧縮弦材と引張弦材の軸方向鋼材の軸方向力 S_c, S_t の取りうる範囲は、(8)式で与える。

$$-S_t \leq S_c \leq S_u \quad \text{-----(8)}$$

ここに、 S_t, S_u : 弦材の圧縮強度、同引張強度

(8)式中の弦材の圧縮強度 S_t と引張強度 S_u は、(9)式で与えられる。

$$S_t = T_{ry} + T_{hy} - 2C_w \quad \text{-----(9)}$$

(7)式、(8)式、(9)式の条件下で(5)式に下界定理を適用すると、弦材の耐力は、(10)式ようになる。

$$N_c < C_m - S_u : Q_b = (h/L_o) \{ 1 - (N + S_u/N_o) \} (N + S_u) \quad \text{-----(10a)}$$

$$C_m - S_u \leq N \leq C_m + S_t : Q_{bc} = N_o \cdot h / (4L_o) \quad \text{-----(10b)}$$

$$N_c > C_m - S_u : Q_u = (h/L_o) \{ 1 - (N + S_t/N_o) \} (N + S_t) \quad \text{-----(10c)}$$

5. 開口部の耐力

圧縮弦材と引張弦材の耐力は、4 節で求めたトラス機構耐力と曲げ耐力の和で与えられる。すなわち、

$$Q_{uc} = Q_{wc} + Q_{ac} \quad \text{-----(11a)}$$

$$Q_{ut} = Q_{wt} + Q_{at} \quad \text{-----(11b)}$$

開口部の耐力 Q_{ou} は圧縮弦材と引張弦材の耐力の和として(12)式で与えられる。

$$Q_{ou} = Q_{uc} + Q_{ut} \quad \text{-----(12)}$$

4 節では、軸方向力を与えた上で、開口部の耐力を求めた。しかし、**Fig.4** から分かるように、開口部弦材に働く軸方向力は、試験体の開口耐力との間に(13)式

の関係が成立してはならない。

$$N_c / Q_{ou} = a_o / d_o \quad \text{---(13)}$$

ここに、

d_o =圧縮弦材から引張材までの重心間距離

a_o : 母材反曲点から開口部の中心までの距離

開口部の耐力は、開口部

耐力と(13)式に関する収斂計算によって求まる。

6. 実験結果との比較検討

Fig.5 は縦軸と横軸にそれぞれ最大耐力実験値 Q_{eu} と開口部耐力 Q_{ub} を母材耐力 Q_u (母材)除したものを取り、文献1)で用いた試験体198体をプロットしたものである。このとき、試験体の耐力 Q_u の算定には、母材破壊が先行したものは前報(その1)で示した母材耐力式を、開口部破壊が先行したものは(1)式~(13)式による開口部弦材の耐力式を適用した。**Tab.2**は試験体耐力の実験値/計算値(Q_{eu}/Q_u)の平均値、変動係数、母材破壊領域(Q_{uo}/Q_u (母材) > 1)に開口部破壊した試験体がプロットされる割合 P を示したものである。

Fig.5, Tab.2より、本報告で示した解析手法の実験結果に対する適合性は比較的高いことが分かる。

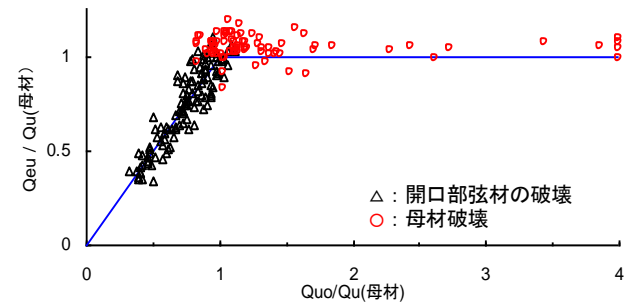


Fig.5 Correlation between Q_{eu}/Q_u and Q_{uo}/Q_u

Tab.2 Statistical results of test results/Calculated value

破壊部位	資料数	平均値	変動係数 (%)	P (%)
弦材	117	1.001	11.95	6.837
母材	81	1.044	5.63	---
弦材+母材	198	1.019	9.97	---

7. まとめ

アーチ機構耐力の代わりに曲げ耐力式を用いた母材と開口部弦材の耐力評価法は、実験結果に対する適合性が比較的高かった。

【参考文献】

1) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 : PC 有孔梁設計施工指針, 2012,6