

複数開口を有する PC 梁の設計法 その1 設計法の提案

日本大学理工学部 正会員 工学博士 ○浜原 正行
 (株)ピーエス三菱 正会員 博士(工学) 福井 剛
 日本大学理工学部 学生会員 小西 智貴

1. はじめに

プレストレストコンクリート(以後、PC と略称)規準では、開口間隔を梁せい以上、かつ開口長さの2倍以上とすることが規定されている。しかし、この規定は、実験的な裏づけに乏しく、過剰設計となっている場合もありうる。構造設計者は、設備上の多様な要求にできるだけ柔軟に対応する必要があるが、上記の開口に関する規定は、この活動を阻害する要因となる可能性がある。

本報告は、開口部束材の破壊を母材曲げ破壊に先行させないための条件式を提案し、既往の実験資料から得られた実験結果に対する適合性について検討しようとするものである。

2. 開口部束材破壊の回避条件

2.1 検討に用いた実験資料

検討に用いた試験体は文献 2)～5) に掲載されているものである。これらの試験体は、いずれも複数の矩形開口を有する PC 梁である。載荷は自由端側に集中荷重をうける片持梁形式となっている。なお、文献 6) の手法により、開口部弦材の破壊が開口部束材の破壊に先行すると判断された試験体は、検討から除外している。図-1 に記号の定義を示す。

2.2 解析上の仮定

開口部束材の破壊を母材曲げ破壊に先行させないための条件式の誘導に際しては、以下の仮定を設定した。

(1) 開口部弦材と開口部束材は、図-2 中の太線で示すように、重心軸を材の軸心とするフィーレンデル部材として挙動し、曲げモーメントの反曲点位置は、弦材が開口の長さの中央、束材は開口の高さの中央とした。また、束材の断面力の算定に際しては、試験体自重の影響を無視した。

(2) 束材内のスターラップは、付着を喪失しており、その応力は降伏点に達している(図-3(a))。

(3) 開口部束材の付け根位置におけるコンクリート圧縮応力は、矩形分布とし、圧縮強度に達している(図-3(b))。開口部束材は、コンクリートストラットと束材内のスターラップによって構成されるアーチ機構によって曲げ、せん断に抵抗していると考えられるが、上記の仮定(3)では、簡単のため、コンクリートストラットに生じる圧縮力のうち、水平方向成分は無視し、鉛直方向成分のみを考慮した。

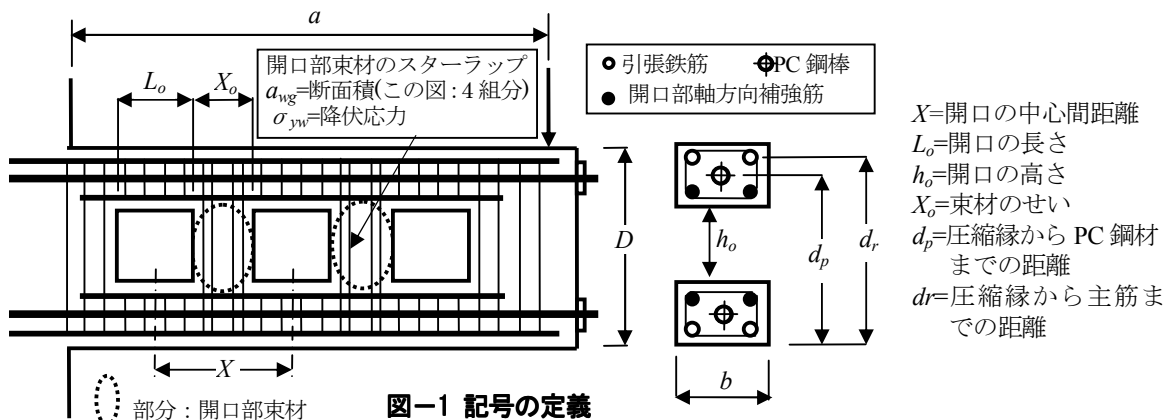


図-1 記号の定義

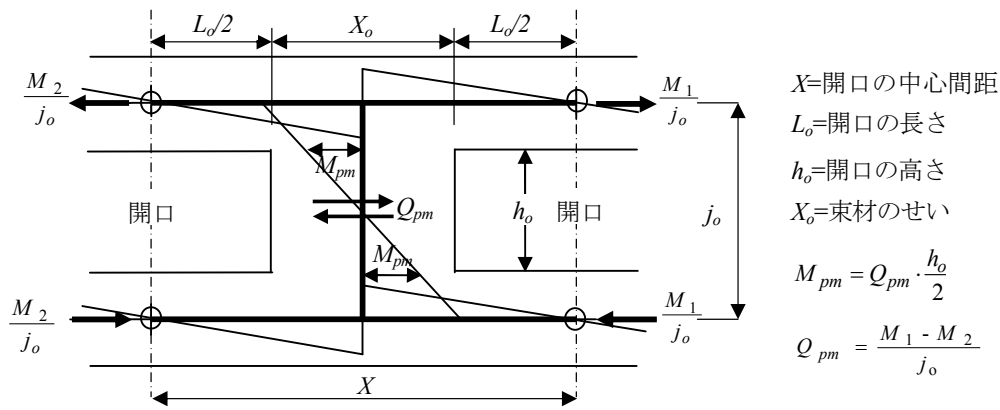


図-2 フィーレンデルモデルと曲げモーメント分布

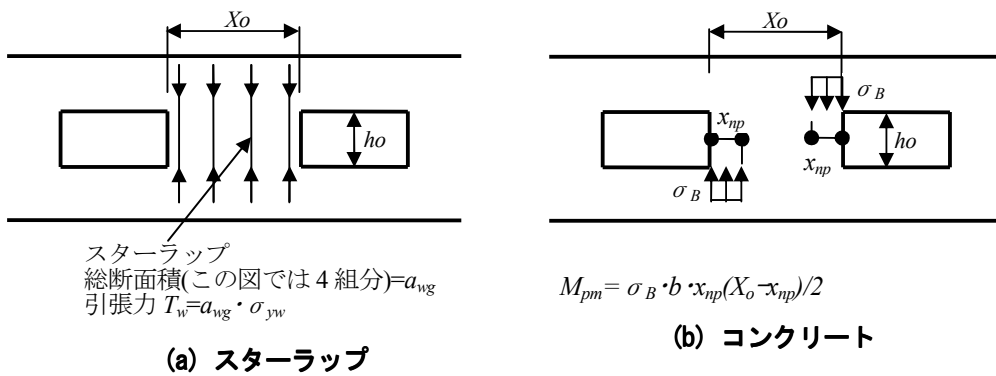


図-3 束材の応力状態

2.3 条件式の誘導

図-2 より、母材曲げ終局時に束材に入力する水平方向せん断力 Q_{pm} は、開口部弦材の反曲点位置での曲げモーメント(同図中、 M_1 、 M_2)による偶力の差として(1)式で与えられる。

$$Q_{pm} = \frac{M_1 - M_2}{j_o} = \left(\frac{X}{j_o}\right) \cdot \left(\frac{M_1 - M_2}{X}\right) \cong \left(\frac{X}{j_o}\right) \cdot Q_{mu} \quad \text{-----(1)}$$

ここに、 X =開口の中心間距離

j_o =上弦材の重心位置から下弦材の重心位置までの距離

(1)式中、 Q_{mu} は母材曲げ終局時に開口部束材の軸心位置に作用する鉛直方向せん断力である。図-4に示すように、母材曲げ終局時には、主筋と引張側のPC鋼材が降伏し、コンクリートの応力が矩形分布で圧縮強度に達しているとする、文献2)~5)に掲載されているような試験体の Q_{mu} は(2)式で与えられる。

$$Q_{mu} = \left[T_{ry} \cdot d_r + T_{py} \cdot d_p - \left(\frac{x_n}{2}\right) \cdot (T_{ry} + T_{py}) \right] \cdot \left(\frac{1}{a}\right) \quad \text{-----(2)}$$

ここに、 x_n = 中立軸距離 = $(T_{ry} + T_{py}) / (b \cdot \sigma_B)$

a = 載荷点から試験体付け根までの距離

b = 梁幅

d_p = 圧縮縁から引張側のPC鋼材までの距離

d_r = 圧縮縁から主筋までの距離

T_{ry} 、 T_{py} = 主筋とPC鋼材の降伏荷重

σ_B = コンクリートの圧縮強度

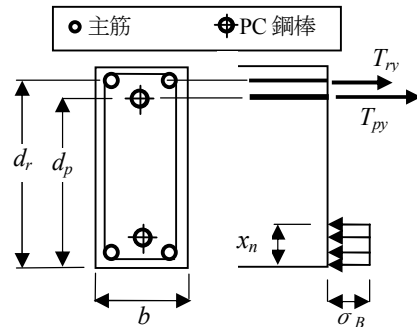


図-4 母材曲げ終局時の応力

仮定(1)より、束材の最大曲げモーメント M_{pm} は、(3)式で与えられる。

$$M_{pm} = \left(\frac{h_o}{2}\right) \cdot Q_{pm} \text{ ----- (3)}$$

ここに、 h_o =開口の高さ

仮定(2)より、開口部束材のスターラップには梁せい方向に様な引張が生じている。仮定(3)より、このような条件下での束材の終局モーメント M_{pmi} は(4)式で与えられる。

$$M_{pmi} = \frac{\sigma_B \cdot b \cdot x_{np}}{2} \cdot (X_o - x_{np}) \text{ ----- (4)}$$

ここに、 X_o =束材のせい

x_{np} =束材の中立軸距離

(3)式=(4)式とし、 x_{np} について解くと、(5)式を得る。

$$x_{np} = \frac{X_o}{2} - \sqrt{\left(\frac{X_o}{2}\right)^2 - \left(\frac{Q_{pm} \cdot h_o}{b \cdot \sigma_B}\right)} \text{ ----- (5)}$$

仮定(2)より、束材内スターラップの引張力 T_w は(6)式で与えられる。

$$T_w = a_{wg} \cdot \sigma_{yw} \text{ ----- (6)}$$

ここに、 a_{wg} =束材内スターラップの総断面積

σ_{yw} =束材内スターラップの降伏強度

仮定(3)より、コンクリートの圧縮力 C は(7)式で与えられる。

$$C = b \cdot x_{np} \cdot \sigma_B \text{ ----- (7)}$$

束材の軸方向の釣合条件より、

$$a_{wg} \cdot \sigma_{yw} = b \cdot x_{np} \cdot \sigma_B \text{ ----- (8)}$$

が成立する。(8)式を a_{wg} について解くと、(3)式に示した曲げモーメントに抵抗するために必要な束材内のスターラップの総断面積 $a_{wg}(req)$ が以下のように求まる。

$$a_{wg}(req) = b \cdot x_{np} \cdot \sigma_B / \sigma_{yw} \text{ ----- (9)}$$

(9)式に(1)式、(5)式を代入すると、 $a_{wg}(req)$ の推定式として(10)式を得る。

$$a_{wg}(req) = \left(\frac{b \cdot \sigma_B}{\sigma_{yw}}\right) \cdot \left[\frac{X_o}{2} - \sqrt{\left(\frac{X_o}{2}\right)^2 - \left(\frac{Q_{mu} \cdot X \cdot h_o}{j_o \cdot b \cdot \sigma_B}\right)}\right] \text{ ----- (10)}$$

$$\text{ただし, } X_o \geq 2 \sqrt{\frac{Q_{mu} \cdot X \cdot h_o}{j_o \cdot b \cdot \sigma_B}} \text{ ----- (11)}$$

ここに、(11)式の右辺は束材スターラップの補強限界を示しており、束材のせいが(11)式以下の梁では、コンクリートの圧壊が束材内スターラップの降伏に先行することになる。

束材の破壊を回避するためには、束材内スターラップの総断面積 a_{wg} を、

$$a_{wg} \geq a_{wg}(req) \text{ ----- (12)}$$

とする必要がある。

2.4 既往の実験結果との比較

図-5は、縦軸に(10)式による開口部束材の破壊を母材曲げ破壊に先行させないために要求される束材スターラップの総断面積 $a_{wg}(req)$ を試験体の束材スターラップの総断面積 a_{wg} で除した値を、横軸に $r \tau_p = Q_{pm} / (b \cdot X_o \cdot \sqrt{\sigma_B})$ を取り、文献2)~5)に示した実験資料から得られる結果をプロットしたものである。この図より以下のことが指摘できる。

- 1) $a_{wg}(req)/a_{wg} \leq 1$ ，すなわち、束材内のスターラップの総断面積 a_{wg} が $a_{wg}(req)$ を上回る試験体は束材の入力せん断力レベル $r \tau_p$ の値に関係なく母材の曲げ破壊が先行している。
- 2) 開口部束材の破壊は、開口部束材内に配置したスターラップ量に強く依存する。
- 3) 以上より、(10)式は、束材破壊の有無の判別に有効であることが分かる。

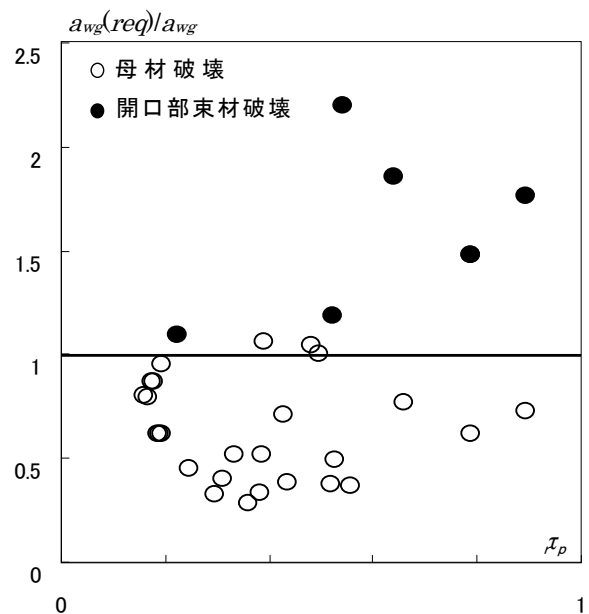


図-5 $a_{wg}(req)/a_{wg}$ と破壊モードの関係

3. まとめ

矩形開口を有する PC 梁において、開口部束材の破壊を母材の曲げ破壊に先行させないために必要な束材のスターラップ断面積の推定式を提案した。この推定式を用いて既往の実験資料から得られる実験結果を検討したところ、束材のスターラップ断面積が上記推定式から求まる断面積を上回る試験体は、すべて母材曲げ破壊型であることが分かった。これにより、限られた資料数ではあるが、この推定式は開口部束材の破壊を母材の曲げ破壊に先行させないための条件式としての適合性が高いことが分かった。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説，1998年11月，pp. 240-251
- 2) 日本建築総合試験所“有開口プレストレストコンクリート梁の正負繰り返し曲げせん断実験報告書”平成6年2月22日
- 3) 日本建築総合試験所“有開口プレストレストコンクリート梁の正負繰り返し曲げせん断実験報告書(プレストレス応力およびPC鋼棒の配置形式による影響)”平成7年3月3日
- 4) 建設省建築研究所ほか“共同研究PC構造設計・施工指針の作成 平成8年度研究報告書”，pp. II-2-111~139，平成9年3月
- 5) 前田潔：“矩形開口を有するプレストレストコンクリート梁の終局強度に関する実験的研究(連続した開口部を有する場合の基礎的研究)，昭和61年度日本大学理工学部建築学専攻修士論文，昭和62年2月
- 6) 浜原ほか：プレストレストコンクリート有孔梁の終局強度設計法，日本建築学会構造系論文報告集，No. 442，pp. 133-139，1992,12