

B-12

アンボンドプレキャスト PC 部材のせん断抵抗機構に関する解析的研究
その2 圧縮側コンクリートの応力に対する検討
Analytical Study on Shear Mechanism of Unbonded Precast Prestressed Concrete Members
Part.2 Examination of Stresses in Compressed Concrete

小池正大¹, ○増田雄太², 奥祐太朗², 福井剛³
 Shohdai Koike¹, Yuta Masuda², Yutaro Oku², Tsuyoshi Fukui³

This study presents a rationale that the stress state of concrete at maximum load for unbonded precast prestressed concrete (PCaPC) members subjected to inverse symmetric bending moment, when evaluated using beam theory, is such that vertical stresses develop in the concrete in the end-compression zone, thereby reducing the maximum principal stress to zero. This rationale indicates that unbonded PCaPC members subjected to inverse symmetric bending moment will not develop diagonal shear cracks until they reach the flexural strength assuming stress block.

1. はじめに

浜原らの研究¹⁾で提案されている梁理論を用いた曲げ理論(以後、曲げ耐力式)は、破壊モードに関わらず、曲げと一定せん断(以後、逆対称曲げ)を受けるアンボンドプレキャスト PC (以後、アンボンド PCaPC) 部材の耐力を精度よく評価できる事が示されており、この結果は、曲げ耐力に到達する前にせん断破壊を起こさないことを示している。しかし、梁理論を仮定すると、材端圧縮域でコンクリート引張強度に対して、最大主応力が非常に大きくなり、圧縮縁応力が圧縮強度に達するよりもかなり早い段階で、材端圧縮域でせん断ひび割れが発生し、せん断破壊を起こすことになるという問題点がある。

本報告では、逆対称曲げを受けるアンボンド PCaPC 部材の材端圧縮域では、材軸直交方向の応力(以後、鉛直応力)が発生し、最大主応力がゼロとなることで、一軸圧縮応力状態となる理論的根拠を示す。

2. 梁理論による圧縮コンクリート応力に対する検討

文献 1) で提案されている逆対称曲げを受けるアンボンド PCaPC 部材を対象とした曲げ耐力式では、材端圧縮域のコンクリート応力分布として長方形ストレスブロックを仮定しているが、本節以降、コンクリートの応力状態を精緻に評価するため、材端圧縮域のコンクリート応力分布は三角形分布とする。

軸方向応力と圧縮合力

図 1 は逆対称曲げを受けるアンボンド部材の曲げ応力を示したものである。この図に示すように、曲げの釣合条件より、各断面のコンクリート圧縮応力の合力

(以後、圧縮合力)は、部材両端の圧縮合力作用位置を結んだ対線上に作用する。また、各断面における軸方向の釣合条件より、圧縮合力は、どの断面でも等しくなる。

図 2 は、図 1 の微小区間を圧縮縁から y の位置で切り取ったフリーボディに作用する水平方向の応力を示したものである。

図 2 に示すように、曲げ危険断面のコンクリート圧縮応力とひずみの関係を σ_B と ε_B を頂点とする直線と与えられると仮定し、圧縮縁応力を σ_C で与えると、圧縮合力 C 、せん断力 Q は下式で与えられる。

$$C = \frac{\sigma_C \cdot b \cdot n_0}{2} \text{ ----- (1a)}$$

$$Q = \lambda \cdot C = \frac{\lambda \cdot \sigma_C \cdot b \cdot n_0}{2} \text{ ----- (1b)}$$

ここに、 n_0 = 曲げ危険断面の中立軸深さ

(1b)式を σ_C について解くと、 $\sigma_C = \frac{2Q}{\lambda \cdot b \cdot n_0}$ ----- (1c)

図 2 より、圧縮縁から y 離れた位置の左断面の軸方向応力 σ_x は下式で与えられる。

$$\sigma_x = \sigma_C \left(1 - \frac{y}{n_0}\right) = \frac{2Q}{\lambda \cdot b \cdot n_0} \left(1 - \frac{y}{n_0}\right) \text{ ----- (1d)}$$

せん断応力

図 2 に示すように、フリーボディの検討断面に作

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

用する左右断面の圧縮合力を $C_L(y)$, $C_R(y)$ とすると, X 方向の釣合条件より, (2a)式が成立する.

$$\tau \cdot b \cdot \Delta x = C_L(y) - C_R(y) \text{ ----- (2a)}$$

圧縮合力 $C_L(y)$, $C_R(y)$ は, 軸方向応力 σ_x を $[0, y]$ で積分すると以下のように求められる.

$$C_L(y) = \frac{\sigma_c \cdot b \cdot n_0 \cdot y}{n_0} \left(1 - \frac{y}{2n_0}\right)$$

$$C_R(y) = \frac{\sigma_c \cdot b \cdot n_0 \cdot y}{n_0 + 3 \cdot \lambda \cdot \Delta x} \left\{1 - \frac{y}{2(n_0 + 3 \cdot \lambda \cdot \Delta x)}\right\}$$

曲げ危険断面におけるせん断応力は(2a)式を τ について解き, $\Delta x \rightarrow 0$ と置くと, 圧縮縁から y 断面内側に入ったせん断応力は(2b)式のようになる.

$$\tau = \frac{6 \cdot Q}{b \cdot n_0} \left\{ \frac{y}{n_0} - \left(\frac{y}{n_0}\right)^2 \right\} \text{ ----- (2b)}$$

曲げ危険断面の圧縮域の最大主応力と最小主応力は, (3)式に(1d)式, (2b)式, $\sigma_y = 0$ を代入することによって求まる.

$$\sigma_{1,2} = -\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2} \text{ ----- (3)}$$

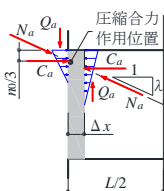


図1 逆対称曲げ部材

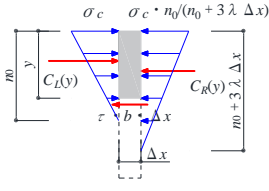


図2 軸方向釣合条件

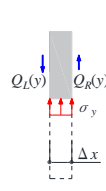


図3 垂直方向釣合条件

3. 材端圧縮域における鉛直応力の評価方法と主応力

前節で示したように, 逆対称曲げが作用するアンボンドPCaPC部材では, コンクリート圧縮合力の作用位置は, 曲げの釣合い条件から, 部材両端の圧縮域を結ぶ対角線上に作用する. これに伴い, 中立軸深さは部材端部に近づくほど減少し, 圧縮域のコンクリートで作用するせん断応力が増加する. 以下で理論的な根拠を示すように, 鉛直応力は, このせん断応力の増加によってもたらされる.

鉛直応力

図3に示すフリーボディに作用するせん断力 $Q_L(y)$ は, (4b)式を $[0, y]$ で積分することによって以下のように求まる.

$$Q_L(y) = Q \left\{ 3 \left(\frac{y}{n_0}\right)^2 - 2 \left(\frac{y}{n_0}\right)^3 \right\}$$

同様に右側断面は,

$$Q_R(y) =$$

$$Q \left\{ 3 \left(\frac{y}{n_0 + 3 \cdot \lambda \cdot \Delta x}\right)^2 - 2 \left(\frac{y}{n_0 + 3 \cdot \lambda \cdot \Delta x}\right)^3 \right\}$$

鉛直方向の釣合条件より, 曲げ危険断面の鉛直応力 σ_y は(4b)式で与えられる.

$$Q_L(y) - Q_R(y) = \sigma_y \cdot b \cdot \Delta x \text{ ----- (4a)}$$

$$\sigma_y = \frac{18\lambda \cdot Q \cdot y^2}{b \cdot n_0^3} \left(1 - \frac{y}{n_0}\right) \text{ ----- (4b)}$$

(4b)式により, 曲げ危険断面の圧縮域では, 鉛直応力が存在することを示す.

主応力

曲げ危険断面の圧縮域における最大主応力と最小主応力は, (3)式に(1d)式, (2b)式, (4b)式を代入することによって以下のように求まる.

$$\sigma_1 = 0 \text{ ----- (5a)}$$

$$\sigma_2 = \frac{2Q}{\lambda \cdot b \cdot n_0} \left(1 - \frac{y}{n_0}\right) \left\{ 1 + 9 \left(\frac{\lambda \cdot y}{n_0}\right)^2 \right\} \text{ ----- (5b)}$$

(5a)式は, (4b)式で与えられる鉛直応力によって, 材端圧縮域の最小主応力が一軸圧縮応力状態となっていることを示している. これが, 文献2)で示めされているような逆対称曲げを受けるアンボンドPCaPC部材で, 曲げ耐力に達するまでは, 対角線状せん断ひび割れが発生しない原因となっている.

4. まとめ

本報告では, 逆対称曲げを受けるアンボンドPCaPC部材の応力状態を梁理論を用いた曲げ理論で評価する場合, 材端圧縮域のコンクリートには鉛直応力が発生し, それにより, 最大主応力がゼロとなる理論的根拠を示した. この理論的根拠は, 逆対称曲げを受けるアンボンドPCaPC部材は, 文献1)による曲げ耐力に達するまで, 対角線状せん断ひび割れが発生しないことを示している.

参考文献

[1] 浜原ほか: アンボンドプレキャストプレストレストコンクリート部材の耐力, 日本建築学会構造系論文集, 第86巻, 第789号, 1549-1557, 2021年
 [2] 宮原ほか: アンボンドPCaPC梁部材の破壊過程とせん断抵抗機構に関する実験的研究(その2), 日本建築学会構造系論文集, 構造IV, pp.623-624, 2022.9