

V-311

鋼材の付着状態の変化を考慮したP C板の曲げ変形解析

名古屋大学工学部

学生員

○崔 益暢

名古屋大学工学部

学生員

館江 宏明

名古屋大学工学部

正会員

二羽 淳一郎

1. はじめに

プレストレストコンクリート構造物の挙動は、プレストレス用のテンドンとコンクリートとの付着状態によって異なっている。付着には、完全付着、部分付着、完全未付着の状態があるが、通常の解析では、この種の取扱は厳密には行われていない。

本解析は、P C板部材に対してP C鋼材とコンクリートの間の付着状態の変化を考慮した積層要素法によりP C板の変形及び終局挙動を数値的に明らかにしようとするものである。解析においては付着状態の他にコンクリートのひびわれ、圧壊および鋼材の降伏を組み入れている。

2. 解析理論

2-1 コンクリートの剛性マトリクスの定式化

本解析では、対象とするP C板を四辺形要素に分割し、更に分割された各要素において、図-1に示すような層状分割を行う積層要素法により解析を行った。この四辺形要素の各節点に関して5自由度(X、Y、Z方向変位、X、Y軸回りの回転角)をとり、1つの要素について、全部で20自由度とした。この要素について、仮想仕事の原理により導かれる剛性方程式は以下ようになる。

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{F}_{V_1} \\ \mathbf{F}_{V_2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum (t_{i+1} - t_i) \int_S \mathbf{B}_1^T \mathbf{D}_i \mathbf{B}_1 dS & \sum \frac{1}{2} (t_{i+1}^2 - t_i^2) \int_S \mathbf{B}_1^T \mathbf{D}_i \mathbf{B}_2 dS \\ \sum \frac{1}{2} (t_{i+1}^2 - t_i^2) \int_S \mathbf{B}_2^T \mathbf{D}_i \mathbf{B}_1 dS & \sum \frac{1}{3} (t_{i+1}^3 - t_i^3) \int_S \mathbf{B}_2^T \mathbf{D}_i \mathbf{B}_2 dS \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{Bmatrix}$$

ここで、 $\mathbf{F}_{V_1}, \mathbf{F}_{V_2}$: 各要素にかかる外力ベクトル、 $\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2$: 各要素の節点変位ベクトル

t_{i+1}, t_i : 中央面から層*i*の下端、上端までの距離、 $\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2$: 弾性ひずみマトリクス

$\mathbf{D}_i$: 平面応力状態での応力-ひずみマトリクス

2-2 テンドンの剛性マトリクスの定式化

テンドンを含む任意の要素*i*において、付着係数 K_s ($K_s=0.0$: 完全付着、 $K_s=1.0$: 完全未付着)を考慮すれば同じ位置でのテンドンのひずみ増分とコンクリートのひずみ増分は以下のような関係になる。(図-2)

$$\Delta \epsilon_t = K_s \left(\frac{1}{L} \int_0^L \Delta \epsilon_c dx - \Delta \epsilon_c \right) + \Delta \epsilon_c$$

ここで $\Delta \epsilon_t$: テンドンのひずみ増分

$\Delta \epsilon_c$: コンクリートのひずみ増分

L : テンドンの総延長

K_s : 付着係数 $0 \leq K_s \leq 1$ ($K_s=0.0$: 完全付着、 $K_s=1.0$: 完全未付着)

前式と仮想仕事の原理により、1要素内でのテンドンの剛性マトリクスは

$$K_{ii} = A_s E_s \int_{x_{i-1}}^{x_i} \mathbf{B}_i^T \mathbf{B}_i dx$$

ここで、 $\mathbf{B}_i$: テンドンにおけるひずみマトリクス

よって、構造物全体の剛性マトリクスは以下になる。

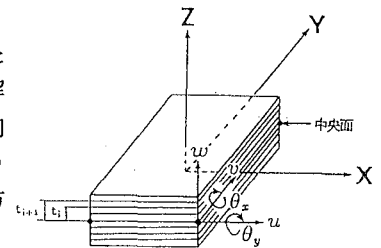


図-1 要素の層状分割と自由度

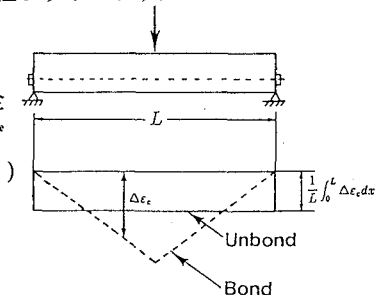


図-2 付着状態によるひずみ分布の変化

$$[K] = [K_c] + \sum_{i=1}^n K_{s,i}$$

ここで $[K_c]$: コンクリートの剛性マトリクス

3. 解析モデル

実験供試体及びモデル1を図-3, モデル2を図-4に示す。スラブをz方向に8層に分割し、下から第2層目の中央に tendon を配置した。

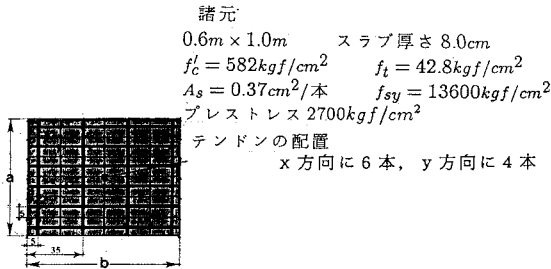


図-3 実験体の tendon の配置

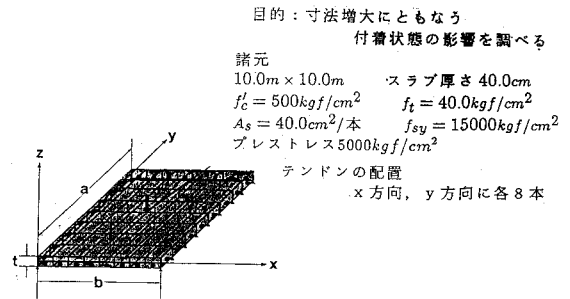


図-4 モデル2の tendon の配置

支点条件はいずれも2辺単純支持とし、載荷方法としては、供試体もしくはモデルの中央に一点集中載荷を行い、変位制御で荷重を加えた。

4. 解析結果および考察

図-5は実験値と解析値を載荷点における荷重-変位曲線で比較したものである。解析値としては付着係数 $K_s = 0, 0.5, 1$ の3通りの解析結果を用いた。この図から実験値が $K_s = 0$ の値から $K_s = 1$ の値へと移行しているのがわかる。これは、コンクリートと tendon の付着が完全付着状態から完全未付着状態へと移行していることを示している。また完全未付着状態における曲げ耐荷力が高い値を示し、しかも実験値と近い値を取っているのは供試体が $60\text{cm} \times 100\text{cm}$ と小さい PC スラブであったため、完全未付着状態にもかかわらず tendon が降伏したことによるものと思われる。

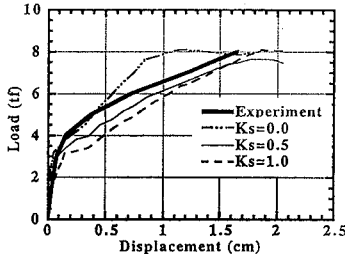


図-5 実験値と解析値

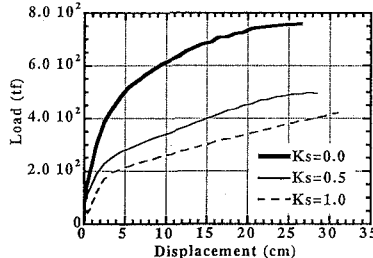


図-6.1 荷重-変位曲線 (モデル2)

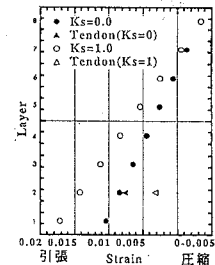


図-6.2 ピーク時のひずみ分布

図-6.1は $10\text{m} \times 10\text{m}$ の供試体の載荷点 (モデル2の中心) における荷重-変位曲線で、パラメータとして付着係数 K_s を設けている。この図によると前述の小さい PC スラブに対して大型の PC スラブの場合は付着状態の違いによる曲げ耐荷力の差が非常に大きなものとなっている。そこでピーク時の載荷点におけるひずみ分布を図-6.2に示すと、完全付着の場合は tendon が降伏ひずみに達しているが、これに対し完全未付着状態におけるひずみ分布はコンクリートのひずみと tendon のひずみとが大きく離れ、しかも降伏ひずみは完全付着の tendon のひずみの半分しか達しておらず、 tendon が降伏する以前にスラブ上部のコンクリートの圧縮破壊が起こることを示している。これにより解析対象物の寸法増大に伴う付着状態の変化による曲げ耐荷力の変化は無視することのできない重要な問題であることがわかる。