

P C鋼棒とコンクリート版の接触問題としての一解析法

山口大学工学部 (学会員) ○後藤 仁

山口大学工学部 (正会員) 高海 克彦

山口大学工学部 (正会員) 浜田 純夫

まえがき コンクリート曲面部材は、橋梁をはじめ、トンネル、各種容器など様々な構造に用いられている。その中で、近年長大化の傾向にあるP C曲線箱桁のウェブのように、比較的薄肉のコンクリート曲面版へボストテンション形式でプレストレスが導入されるケースがある。こうした曲面版には軸方向圧縮力のみならず、曲面版の影響による腹圧が作用する。この腹圧は、コンクリートと鋼棒の接触によって伝達されるものである。本報告は、コンクリート曲面版へのプレストレス導入時挙動の有限要素解析において、新たに考案したジョイント要素をコンクリートと鋼棒間に挿入し、一種の接触問題として解析する方法を試みたものである。

解析方法 本解析においてはコンクリート曲面版は1節点5自由度の図1に示すアイソパラメトリックのシェル要素を用いている。この要素ではシェルの中央面に節点を持ち、要素内の変位場を x, y, z 方向の u, v, w と図2に示すように、シェルの厚さ方向ベクトル V_1, V_2 まわりの回転角 α, β によって定めている。鋼棒の要素には、アイソパラメトリックの線要素を用いており u, v, w の変位場を持つ。コンクリートと鋼棒間の影響を考慮する要素として図3のようにシェル要素中央面上で同一座標上となる両要素の6つの節点を有するアイソパラメトリックのジョイント要素を考える。この要素内で鋼棒に一致する各節点では x, y, z 方向の3つの自由度を持つのに対しコンクリートに一致する節点では u, v, w, α, β の5つの自由度を持たせる。コンクリートと、鋼棒間のズレによる回転角への影響を関係づける式を以下のとおり表す。

この要素内において変位場を次のように仮定する

$$u(\xi) = \sum N_i u_i \quad v(\xi) = \sum N_i v_i \quad w(\xi) = \sum N_i w_i \quad \alpha(\xi) = \sum N_i \alpha_i \quad \beta(\xi) = \sum N_i \beta_i \quad (1)$$

$N_i = N_i(\xi)$: ξ に関する形状関数

u, v, w : x, y, z 方向の変位

α, β : コンクリート節点の回転変位

s, n, t 軸方向の変位差 U と s 軸方向の変位差と鋼棒の偏心距離による t 軸まわりの回転 θ を以下のよう表現する

$$\begin{Bmatrix} U_s \\ U_n \\ U_t \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} l_s, m_s, n_s, 0 & 0 \\ l_n, m_n, n_n, 0 & 0 \\ l_t, m_t, n_t, 0 & 0 \\ d, 0, 0, \sin \gamma, \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{top} - u_{bottom} \\ v_{top} - v_{bottom} \\ w_{top} - w_{bottom} \\ \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} \quad \begin{array}{l} d : \text{コンクリート中心軸と鋼棒中心軸の変心量} \\ \gamma : t \text{軸と} \beta \text{の回転軸とのなす角} \\ l, m, n : s, n, t \text{軸の方向余弦} \\ top : \text{鋼棒の節点} \\ bottom : \text{コンクリート節点} \end{array} \quad (2)$$

ジョイント内に働くバネの力 (P) は、

$$(P) = \begin{bmatrix} K_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_s \\ u_n \\ u_t \\ \theta \end{Bmatrix} \quad \begin{array}{l} K_s, K_n, K_t \text{ は } s, n, t \text{ 方向のバネ剛性} \\ K_r \text{ は回転バネ剛性} \end{array} \quad (3)$$

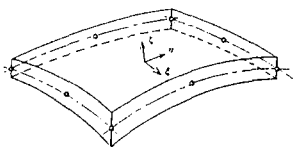


図1 アイソパラメトリック系
シェル要素

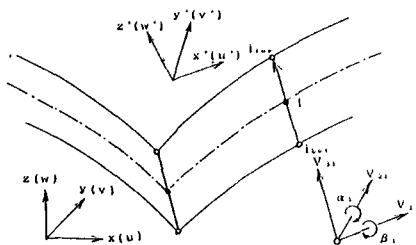


図2 シェル要素の変位場

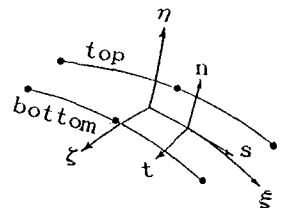


図3 アイソパラメトリック
ジョイント要素

解析モデル

解析対象は昨年発表した実験供試体で、曲率半径400cm、厚さ10cm、幅50cm、長さ2mの曲面版である。鋼棒は板厚中央に配置されている。解析はプレストレス導入端側の半分について行い、その諸元、要素分割を図4に示す。コンクリートの弾性係数、ポアソン比をそれぞれ $3.73 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、0.17、鋼棒の弾性係数、断面積をそれぞれ $2.03 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、 4.15 cm^2 とする。ジョイント要素におけるコンクリート中心軸と鋼棒中心軸の偏心量 d はシースの直径と鋼棒の直径との差より算出し2mmとする。ジョイント要素の各バネ剛性

k_n 、 k_t 、 k_r 、 k_θ に付いては具体的な数値が定められていないので実験値との比較から、鋼棒軸に直交な2方向については、ほぼ完全剛性、軸方向と、回転バネの剛性についてはそれぞれ、 50 kgf/cm 、 8000 kgfcm/rad とする。以上のモデルに35tfプレストレスが導入時の曲面版を解析し実験値との比較から、本解析を検証した。

解析結果

図5、6に鋼棒上のコンクリート表面の内側と外側の軸方向ひずみの軸方向の分布を示している。図5は回転の影響をいれていないジョイント要素を用いた結果である。導入端では鋼棒付近に軸力が集中して作用しているためその値が大きく、中央ほど小さくなっている。しかし内と外のひずみ差は全域でほぼ一定となっており実験値を捉えてはいない。一方図6は今回考案したジョイント要素を用いた結果である。実験値にみられるように導入端で内側と外側のひずみ差が大きく、中央による程その差が小さくなっており導入端ほど折れる方向に変形し、中央では曲面がまっすぐなる方向に変形することによるひずみ特性を解析結果は捉えている。図7は中央における鋼棒上とその上下12.5cmのコンクリート表面の内側と外側の軸直角ひずみの分布を示したものである。鋼棒直下のコンクリートは応力集中により引っ張りひずみが発生すると考えられるが、本解析では定性的には捉えているが、その最大値を把握できない。

結論として、今回考案したジョイント要素は、曲面版の挙動特性を表現するのに有効な方法であると考えられる。今回は実験値との比較によりジョイント要素内のバネ剛性を決めたが、今後この点に付いて、具体的な値を決める必要がある

参考文献

後藤、浜田、高海：P C 曲面版の緊張時挙動について
第43回中国四国支部概要集, 1991

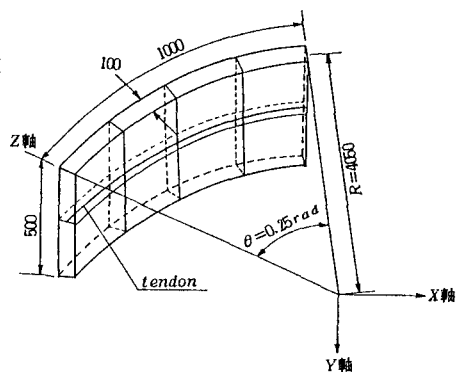


図4 解析モデルの諸元と要素分割

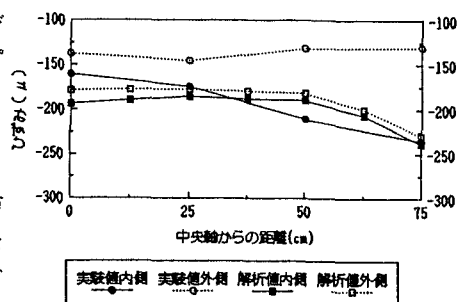


図5 回転を考慮していないひずみ分布

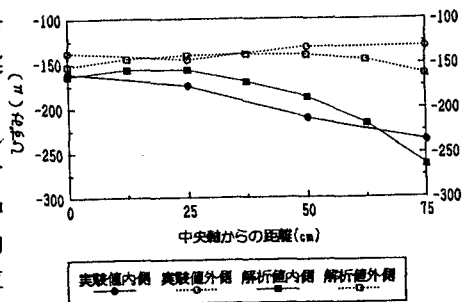


図6 回転を考慮したひずみ分布

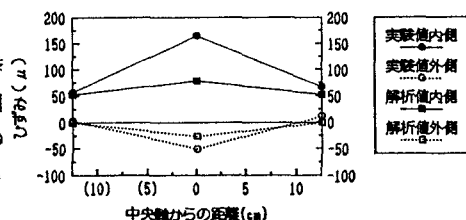


図7 中央における軸直角方向ひずみ分布