

立命館大学理工学部 正会員 児島孝之

立命館大学理工学部 正会員 高木宣章

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 日比野憲太

立命館大学理工学部 学生員 〇鶴橋宏昌

1. はじめに

コンクリートのせん断耐荷機構の一つである軸方向鉄筋のダウエル作用を表現することを目的として、2次元有限要素法解析を行った。2次元解析では部材厚さ方向への要素の定義ができないため、部材中の鉄筋は、その配置やかぶりの影響を要素特性として定義しなければ解析精度が低下する。そこで本研究では、3次元有限要素法解析の結果を2次元有限要素法解析に適用する逆解析的な手法を用い、ダウエル作用を適切に表現する付着要素の開発を行った。

2. 要素特性

(1) 2次元付着要素

ダウエル作用は、鉄筋径やかぶりコンクリート厚さに大きく依存する。そこでこのような影響を要素特性としたアイソパラメトリック付着梁要素を提案した(図1参照)。図2に示すように要素の中心線に対して法線方向の相対変位を δ_n 、接線方向を δ_t 、法線方向の応力 σ_n 、接線方向の付着応力を τ_t とすると、次式の関係が導ける。

$$\begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \tau_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{nn} & B_{nt} \\ B_{tn} & B_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_t \end{Bmatrix} = D\delta \quad (1)$$

要素剛性マトリックス $[K_e]$ は、次式で表せる。

$$K_e = \int_0^L B^T DB ds = \int_{-1}^1 B^T DB \left(\frac{d\xi}{ds} \right) ds \quad (2)$$

B_{nn} はダウエル作用による鉄筋の支圧応力をつ

かさどり、 B_{tt} は鉄筋の引抜き試験結果から得られた荷重—すべり曲線の逆解析により求められた値である。また、解析の簡易化のために、軸法線方向の影響はないものと仮定し、 B_{nt} 、 $B_{tn}=0$ とした。

(2) コンクリート要素・鉄筋要素

2次元解析では、コンクリート要素はアイソパラメトリック四辺形要素を用いた。鉄筋要素は、軸力に加え曲げ剛性も考慮し、アイソパラメトリック梁要素を用いた。一方、3次元解析では、鉄筋とコンクリートは完全付着とし、いずれもアイソパラメトリック六面体要素を用いた。要素特性は、コンクリートのヤング係数 $E_c=3.0 \times 10^5 (\text{kgf/cm}^2)$ 、ポワソン比 $\nu=0.1667$ 、鉄筋のヤング係数 $E_s=2.1 \times 10^6 (\text{kgf/cm}^2)$ とした。なお、解析に使用した要素はすべて2次元要素である。

3. 解析供試体、および境界条件

供試体長さ40(cm)、高さ15(cm)、厚さ15(cm)、鉄筋比0.01

の解析モデルを用い、3次元解析、2次元解析とも同様の境界条件

で解析を行った。2次元解析の要素分割を、図3に示す。高さ方向(y)へのダウエル作用を強制的に引き起こすため、中心位置にスリットを挿入し、左側ブロックの端面($x=0$)を固定し、右側ブロックの端面($x=40$)にy方向へ強制変位を与えることにより、解析を行った。この場合、鉄筋要素は上記付着要素によりコンクリートに接続されている。また、スリット部で左右ブロックが接触しないように、コンクリートのx方向の変位を拘束した。

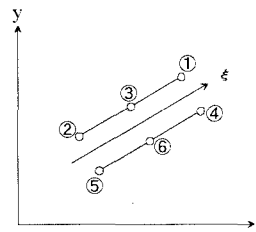


図1 付着要素

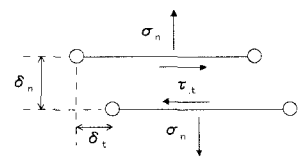


図2 付着要素間での
応力・変位関係

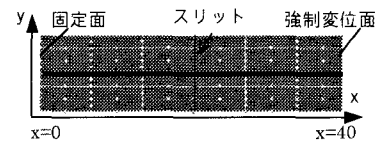


図3 2次元解析の要素分割

4. 解析結果、および考察

3次元解析におけるダウエルひび割れ方向の応力分布を2次元でモデル化するため、3次元解析結果に対する逆解析を行った。まず3次元解析で、 $x=20, 30(\text{cm})$ における鉄筋位置で

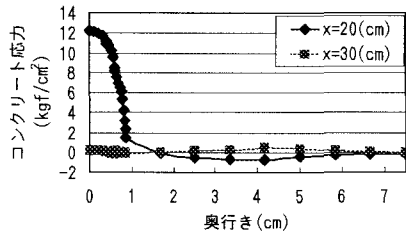


図4 奥行き方向コンクリート応力分布

の奥行方向のコンクリート応力分布を図4に示す。この図で、中心より鉄筋半径(0.85cm)までは鉄筋の支圧応力を表しており、その他の部分ではコンクリートの応力を表しているものと考えられる。本解析においては、 $x=20(\text{cm})$ での図4に示した応力を鉄筋半径まで平均化した値をダウエル作用による鉄筋の支圧最大応力とした。

次に、2次元解析を行ったときの変形性状を図5に示す。スリットを挟んだ片側のコンクリートがy方向にずれ、鉄筋がダウエル変形を起こしている。

変位を $1.8 \times 10^{-3}(\text{cm})$ 与えた時の、 $B_{nn}=1.0 \times 10^5(\text{kgf/cm}^3)$ のx方向のコンクリート応力、鉄筋の曲げモーメント、鉄筋の支圧応力を図6に示す。鉄筋の支圧応力の分布がスリットを介して強制変位側で引張応力、固定側で圧縮応力を伝達していること、スリット部付近で鉄筋要素が最大曲げモーメントを受け、その部分で鉄筋の支圧応力が最大となっていることがわかる。

付着要素の鉄筋支圧応力の伝達をつかさどる B_{nn} の値の変化による影響を調べるために、 B_{nn} の値を $1.0 \times 10^2 \sim 1.0 \times 10^5(\text{kgf/cm}^3)$ まで変化させたときの、x軸中心部の鉄筋真上でのコンクリート応力分布を図7に示す。 B_{nn} の増加に伴い応力も増加している。今回採用する3次元解析の平均化したコンクリート応力も図7に示す。この交点が適切な B_{nn} の値となり、解析結果からその値は $B_{nn}=1.1 \times 10^4(\text{kgf/cm}^3)$ が得られた。この B_{nn} を導入して2次元解析を行ったときのコンクリート応力、鉄筋の支圧応力、および3次元解析での $x=20(\text{cm})$ のコンクリート応力を図8に示す。

5. 結論

(1)2次元有限要素法解析においては、アイソパラメトリック付着線要素の導入によりダウエル作用をある程度表現することが可能である。

(2)今回の解析では、初期の弾性域での B_{nn} の値を検討したが、実験結果等を参考にし非線形特性を検討する必要がある。

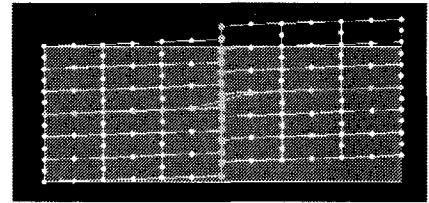


図5 供試体モデルの変形性状

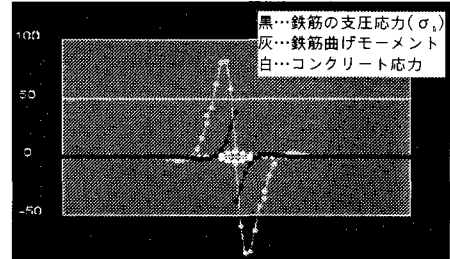


図6 鉄筋の曲げモーメントおよび σ_n 、コンクリート応力分布

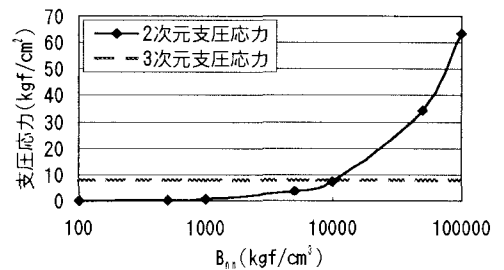


図7 B_{nn} の変化によるコンクリート応力

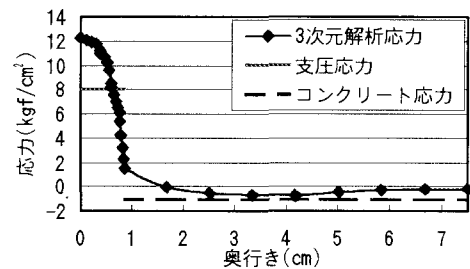


図8 2次元、3次元解析結果