

立命館大学理工学部 正会員 児島 孝之 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 〇服部由貴子

1. はじめに

本研究は奥行き方向の内部応力の表現が困難な2次元有限要素法解析において、ダウエル作用によって生じる部材内の応力伝達機構のモデル化を目的としたものである。ダウエル作用は、コンクリートにひび割れが発生し、ひび割れ面に相対変位が生ずると鉄筋の曲げ剛性および鉄筋とコンクリート間で伝達される支圧応力によって外力に抵抗する作用である。鈴木、中村らによる実験[1]から逆解析を試み、せん断面での応力伝達をモデル化することで、ダウエル作用を適切に表現することのできる付着要素の構成則の開発を行う。

2. 解析モデル

供試体モデル概要図を図1に示す。実験では、中央ブロックのせん断面付近4箇所に载荷し、強制的にダウエル作用を表現している。本解析では図2に示す要素分割を用いた。対称性を考慮し、はり中央部のx方向を固定することにより、左側半分のハーフモデルとした。試験装置上に設定される供試体モデル下面は固定せず、圧縮応力のみを伝達する接触要素を挿入することで部材の反りを表現した。また、せん断面最上部のコンクリート節点に、下方に向かって1ステップあたり0.5mmずつ変位を与え、変位増分法により解析を行った。

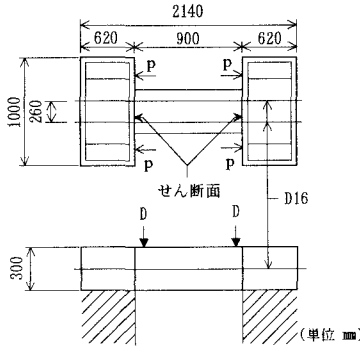


図1 供試体寸法、载荷模式図

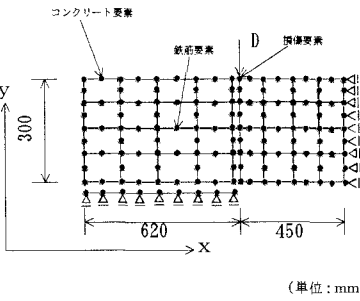


図2 解析モデル

3. 要素特性

本研究では、かぶりコンクリート厚さ、鉄筋径等の影響を要素特性として持つアイソパラメトリック付着要素を提案する。図3に示すように、支圧応力を σ_n 、付着応力を τ_t 、要素間相対変位を δ_n 、 δ_t とすると、応力-相対変位関係は式(1)で表される。

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

式(1)中の支圧応力(σ_n)と要素に対し垂直方向の相対変位(δ_n)を図5に示す支圧応力-相対変位量関係として仮定した。またその曲線を式(2)、(3)とした。

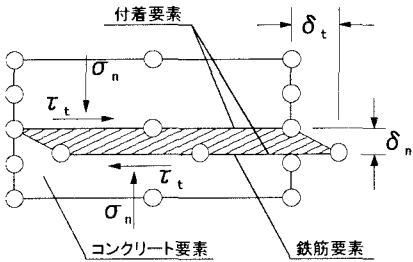


図3 付着要素

$$\sigma_n = \sigma_0 \times \left(1 - \left(1 - \frac{\delta}{\delta_y} \right)^\alpha \right) \quad 0 < \delta < \delta_y \quad (2) \quad \sigma_n = \sigma_0 \times \left(1 - \left(\frac{\delta - \delta_y}{\delta_u - \delta_y} \right)^\beta \right) \quad \delta_y < \delta < \delta_u \quad (3)$$

最大支圧応力(σ_0)・最大支圧応力時の相対変位量(δ_y)および乗数 α 、 β の値を実験結果の荷重-変位関係と解析結果が一致するように調整することで適合を図った。コンクリートの応力-ひずみ関係は非線形弾性とし、表1に本解析で用いる材料特性を示す。また鉄筋は断面分割法により曲げと軸力の相対関係を考慮した。

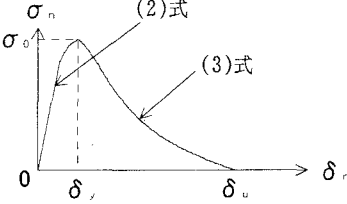


図4 支圧応力-相対変位量

4. 結果および考察

鉄筋の支圧応力は図 5-(1)に示すように鉄筋径に支配されており、鉄筋上で支圧応力は除々に最大となり、鉄筋から離れるにつれてその応力は小さくなる。よって、2 次元解析に適用する場合、図 5-(2)に示すように適切な支圧応力伝達幅を仮定することで支圧応力-相対変位量関係を求めなければならない。本解析では、支圧応力の伝達幅を鉄筋径の 1, 4, 6 倍として逆解析を行った。図 6 に $d \times 6$ における荷重-変位曲線の解析値および実験値を、図 7 にそれぞれのケースを逆解析して求めた支圧応力-相対変位関係を示す。支圧応力の伝達幅を鉄筋径の 1, 4 倍としたケースでは、最大支圧応力がコンクリートの圧縮強度を超えている。これは最大支圧応力が作用した場合コンクリートが圧壊してしまうこととなり、より理論的な最大支圧応力を求めるには、コンクリートの圧縮強度を超えない程度の支圧応力伝達幅である鉄筋径の 6 倍の値を採用するのが適切であると考えられる。

図 7 に $d \times 6$ の支圧応力分布の変位増分による経時変化を示す。変位が増加するに伴い支圧応力も増大するが、ある値を超えると支圧応力はせん断面では低下し、その周辺部では増大している。これはダウエルひび割れが発生することによりコンクリートが軟化し、鉄筋の曲げの影響がせん断面から離れた位置に移行するためであると考えられる。本解析ではコンクリートの応力-ひずみ関係に軟化域を設けることによりダウエルひび割れによるコンクリートの軟化を表現した。今後ひび割れ要素 [2] 等の離散型要素とともに用いる場合、再メッシュ分割によってひび割れ要素をダウエルひび割れ発生位置に導入する再メッシュ分割プログラムの改良が必要である。

5. 結論

- (1) アイソパラメトリック付着要素により 2 次元有限要素法解析でダウエル力の軟化特性を表現することが可能となり、応力伝達幅は支圧応力に大きく影響すると考えられる。
- (2) 今後、本要素を用いてせん断解析を行う場合、本要素とひび割れ要素や付着要素等の他の離散型要素との相関関係を定義し、さらにダウエルひび割れを表現するひび割れ要素の導入可能なメッシュ分割プログラムの改良が必要である。

【参考文献】

- [1] 鈴木、中村、堀内、尾坂：軸方向鉄筋のダウエル作用に及ぼす引張力の影響に関する実験的研究、土木学会論文集、第 426 号/V-14 1991 年 2 月
- [2] 児島・高木・松尾・日比野：ひび割れ要素を用いたコンクリートの曲げひび割れの進展に関する有限要素法解析、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.61-66, 1999

表 1 コンクリートおよび鉄筋の材料特性

コンクリート特性				鉄筋特性 D16(SD345)	
圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数	ポアソン比	降伏強度 (N/mm ²)	最大強度 (N/mm ²)
35	3	3.0×10^4	0.1667	386	444

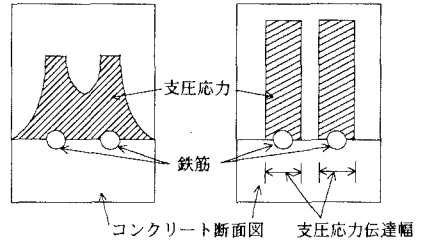


図 5-(1)

図 5-(2)

ダウエル応力図

2 次元解析での
ダウエル応力図

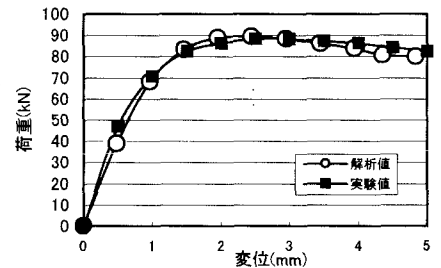


図 6 荷重 - 変位曲線

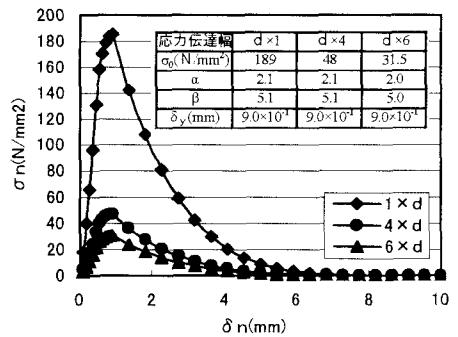


図 7 支圧応力-相対変位関係

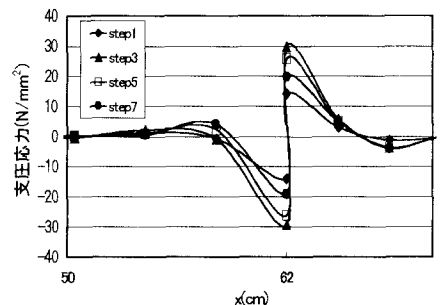


図 8 支圧応力分布