有限要素法による鉄筋のダウエル作用のモデル化

立命館大学大学院理工学研究科	学生員	鶴橋	宏昌	学生員	日比點	予憲太
立命館大学理工学部	正会員	児島	孝之	正会員	高木	宣章

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をモデル化 することを目的としている。ダウエル作用は、コンクリートに鉄筋を横切 るひび割れが発生し、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。解析結果の荷重-変位曲線を実験結果に適合させる逆解析を実 施し、せん断面でのダウエル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要素特性の開発を行う。

2. 解析概要

本解析では、鈴木・中村らによる実験結果¹⁾を用いて逆解析を実施した。 その概要図を図1に示す。せん断面にはスリットを設けている。解析に おいては、図2に示す解析モデルを使用した。対称性を考慮し、はり中 央部の×方向を固定することにより、左側半分の解析モデルとした。支 点面上の供試体モデル下面には圧縮応力のみを伝達する接触要素を挿入 し、部材の反りを表現した。スリット面最上部のコンクリート節点(図 2中のダウエル力Pの作用位置)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。

3. 要素特性

かぶりコンクリート厚さ、鉄筋径など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 n、付着応力を t、要素間相対変位を n、 とすると、応力 -相対変位関係は式(1)で表される。

 $\begin{cases} \boldsymbol{s}_n \\ \boldsymbol{t}_t \end{cases} = \begin{bmatrix} B_{nn} & B_{nt} \\ B_{in} & B_{it} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{d}_n \\ \boldsymbol{d}_t \end{bmatrix} \quad (1)$

式(1)において、支圧応力(n)と要素垂直方向の相対変位(n)の 関係を図4のように仮定し、その曲線を式(2)、式(3)で表現した。

 $\boldsymbol{s}_{n} = \boldsymbol{s}_{0} \times \left(1 - \left(1 - \frac{\boldsymbol{d}_{n}}{\boldsymbol{d}_{y}} \right)^{\boldsymbol{a}} \right) \quad 0 \qquad n \qquad y \quad (2) \quad \boldsymbol{s}_{n} = \boldsymbol{s}_{0} \times \left(1 - \frac{(\boldsymbol{d}_{n} - \boldsymbol{d}_{y})}{(\boldsymbol{d}_{u} - \boldsymbol{d}_{y})} \right)^{\boldsymbol{b}} \quad < \quad n \qquad u \quad (2)$

解析結果の荷重-変位関係が実験結果と一致するように、最大支圧応力(₀)、最大支圧応力時の相対変位量(_y)および乗数 、 **b** の値を求めた。コン クリートの応力-ひずみ関係は非線形弾性とし、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。本解析で用いるコンクリートおよび鉄筋の要 素特性を表1に示す。

キーワード:有限要素法、ダウエル作用、アイソパラメトリック付着要素 連絡先:〒525 8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 TEL/FAX 077-561-2805



図1 供試体モデル



図 2 解析モデル





4. 解析結果および考察

鉄筋の支圧応力は図 5-(1)に示すように鉄筋 径に大きな影響を受け、鉄筋上で最大となり、 鉄筋から離れるにつれてその応力は小さくなる。 したがって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る必要がある。本解析で は、支圧応力の伝達幅を鉄筋径(d)の1、4、6倍として逆解析 を行った。図6にd×6の伝達幅における荷重-変位曲線の解析 値および実験値を、図7に各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。支圧応力伝達幅を鉄筋径の1、4倍と すると、最大支圧応力がコンクリートの圧縮強度を超える。最 大支圧応力が作用するとコンクリートが圧壊するため、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として鉄筋 径の6倍程度を採用するのが適切であると考えられる。

図8に支圧応力伝達幅をd×6とした時の変位増分による支圧 応力分布の経時変化を示す。変位の増加に伴い支圧応力も増大 する。しかし、5ステップ(変位:2.5mm)以降、支圧応力は スリット面では低下し、支圧による影響が徐々にスリットから 離れた部分にまで及んでいることが確認できる。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 の支圧応力の影響がスリット面から離れた位置に移行するため であると考えられる。本解析ではダウエルひび割れによるコン クリートの軟化を、コンクリートの応力-ひずみ関係に軟化域を 設けることにより表現した。今後ひび割れ要素²⁾などの離散型 要素と本付着要素を同時に用いる場合、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 でダウエルカの軟化特性を表現することが可能となった。ま た、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	鉄筋特性 D16(SD345)			
圧縮強度	引張強度	ヤング係数	ポアソン比	降伏強度	最大強度
(N/mm²)	(N/mm²)			(N/mm ²)	(N/mm ²)
35	3.0	3.0 × 10 ⁴	0.1667	386	444





図 6 荷重 変位曲線



図 8 支圧応力分布

靦友