

立命館大学大学院理工学研究科 学生員○服部由貴子 学生員 日比野憲太

立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1. はじめに

RC部材は、支点に近い断面など大きなせん断力を受ける部分において、梁の腹部に斜めひび割れが生じて急激な破壊に至ることがある。本研究では、コンクリート間に発生するひび割れの界面および鉄筋とコンクリート間の界面で生じる表面力の伝達を表現する離散型要素およびその解析手法を提案し、RC梁の有限要素法解析に適用したものである。さらに各荷重レベルでの離散型要素の受け持つ負担せん断力の算出を行い、各破壊モードにおける分担せん断力の相違を明らかにした。

2. 要素特性

ひび割れ面での応力伝達を表現するため、ひび割れ面で発生する相対変位をひび割れ面に対して垂直方向に δ_n 、接線方向に δ_t とすると、垂直応力 σ_n およびせん断応力 τ_t は式(1)のように表される。

$$\begin{Bmatrix} \sigma \\ \tau \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \tau_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{nn} & C_{nt} \\ C_{nt} & C_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_t \end{Bmatrix} = [D_c] \{\delta\} \tag{1}$$

τ_t は、マトリクス $[D_c]$ 中の係数 C_{tt} に図1に示すせん断応力－変位関係を導入し、 δ_n 、 δ_t 両方向の相対変位の影響を考慮している。また、対角項 C_{nt} 、 C_{tn} は簡易的に0としている。せん断応力－変位関係は、最大せん断力を τ_{max} 、最大せん断力に到達するせん断変位を $\delta_{ty}=0.5\times\delta_{tu}$ (δ_{tu} :引張軟化曲線の最大ひび割れ幅)とする直線式としている。せん断応力軟化域は、せん断応力を伝達する最大せん断変位 δ_{tu} と τ_{max} を結ぶ三次曲線として簡易的に定義している。また、 δ_n の増大による τ_{max} の軟化を考慮するため、ひび割れ開口幅に応じて伝達せん断力の大きさを変化させるモデルを仮定している。図2中に示す τ_{maxin} は、Mohr-Coulomb型の降伏基準を参考として式(2)を用いた。

$$\tau_{maxin} = 0.14 \times f'_c - \tan \varphi \times f_t, \quad \varphi = 37^\circ \tag{2}$$

3. 解析モデル

図3に解析モデルを示す。解析モデルは梁の対称性を考慮し、左側半分のためのモデルを使用している。境界条件は支点をy方向に固定し、中央部分をx方向に固定した。軸方向鉄筋は、軸力および曲げの相関関係を考慮した梁要素を使用しているため、中央部分の節点のx方向と同時に回転角方向

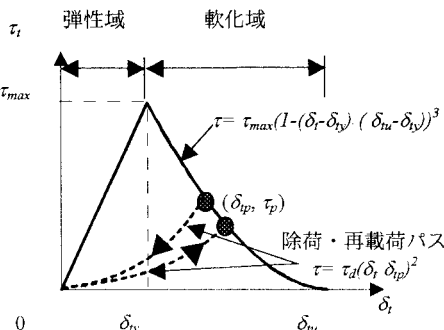


図1 せん断応力－変位関係

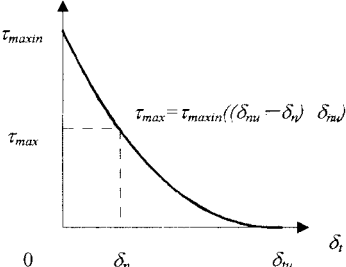


図2 ひび割れ幅－かみ合わせ抵抗関係

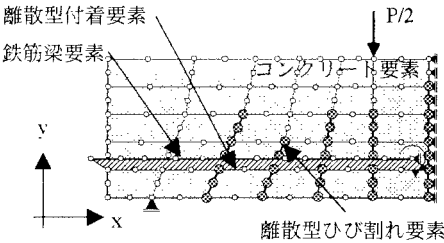


図3 解析モデル

表1 コンクリートの力学的特性

静弾性係数 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
35500	26.7	2.88	5.05

表2 引張鉄筋の力学的特性

呼び名	公称直径 (mm)	周長 (mm)	公称断面積 (mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	最大強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
D16	15.9	50	198.6	396	601	206000

を固定した。また、コンクリートおよび鉄筋の力学的特性を、それぞれ表 1、2 に示す。

4. 解析結果および考察

各 a/d における荷重－変位関係、および分担せん断力－変位関係をそれぞれ図 4、図 5 に示す。なお、図 4 に示す荷重－変位関係は、考察を簡約化するためにスナップバックを省略している。図 5 の分担せん断力－変位関係は梁に作用する全せん断力を、各矢印の領域で示すひび割れ面での骨材のかみ合わせ作用(V_{ay})、圧縮部コンクリートのせん断耐力(V_{cd})および鉄筋のダウエル作用(V_d)で示したものである。

変位 1.2mm 程度までの曲げひび割れ進展領域では、全ての a/d で V_{cd} によりせん断力が負担されている。この領域では部材の曲げ変形が卓越するため、部材のせん断変形により発生する V_{ay} および V_d が作用しないためである。

この領域を越えると、破壊モードの違いによるせん断耐荷機構の変化が確認できる。 $a/d=3.6$ での変位 3.2mm、 $a/d=3.0$ での変位 2.8mm 程度までの曲げの定常域および曲げせん断ひび割れ発生域では、徐々に曲げせん断ひび割れが解析モデル上面に進展し、その進展に伴って V_{cd} が減少し V_{ay} が増加していく傾向が確認できる。そして、斜め引張破壊する $a/d=3.6$ では V_{ay} によるせん断耐荷力が顕著となり、同時に V_d が増加しながら最大耐力に到達する。せん断引張破壊する $a/d=3.0$ では $a/d=3.6$ 同様に V_{ay} によるせん断耐荷力が顕著となり、同時に V_d が増加するが、最大耐力付近でさらに V_d が増大した後、最大耐力に到達している。一方、 $a/d=2.0$ では変位 1.8mm 程度までは V_{ay} が増加するが、その後 V_{ay} は低下し、変位の増大とともに V_{cd} および V_d が急激に増加しながら最大耐力に到達している。

以上の解析結果から、 V_{ay} が低下した後の V_{cd} および V_d の増大率が小さければ斜め引張破壊するのに対して、増大率の大きい場合にはせん断引張、圧縮破壊に移行し、せん断破壊モードの推移に V_{cd} および V_d の増大率が大きな影響を与えていることが確認できる。

5. 結論

- (1) 離散型ひび割れおよび付着要素を RC 梁の有限要素法解析に適用することにより、せん断破壊する RC 部材の破壊モードおよび部材のせん断耐荷機構をシミュレートすることが可能となった。
- (2) 再メッシュ分割プログラムを開発し、ひび割れ増分法を用いて解析することにより、各荷重レベルでのひび割れの進展および最終的な破壊モードの推定が程度可能となった。
- (3) 各離散型要素の負担せん断力を算出することにより、各荷重レベルでのせん断耐荷機構の要因ごとの分担せん断力が明らかとなった。

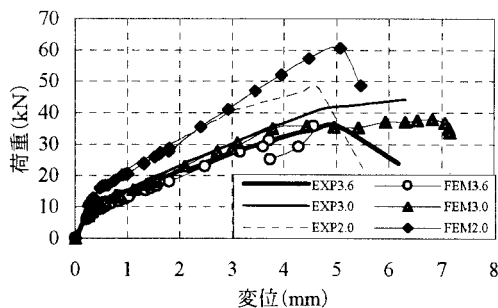


図 4 荷重－変位関係

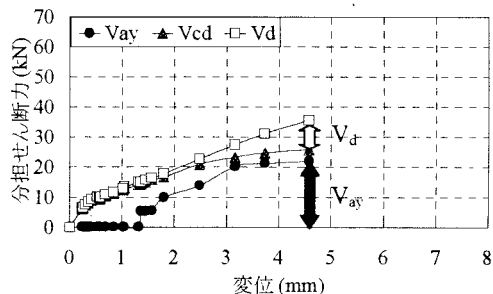


図 5(a) 分担せん断力－変位関係 ($a/d=3.6$)

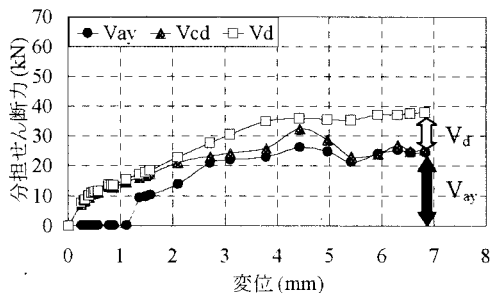


図 5(b) 分担せん断力－変位関係 ($a/d=3.0$)

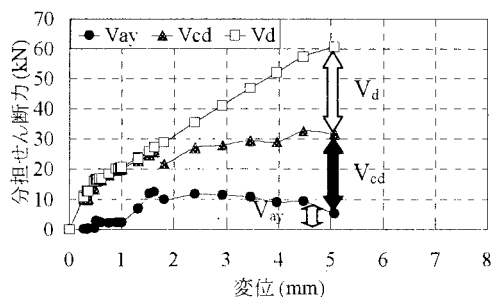


図 5(c) 分担せん断力－変位関係 ($a/d=2.0$)