

立命館大学大学院○学生員 鶴橋宏昌 立命館大学理工学部 学生員 藤本康人
立命館大学大学院 学生員 日比野憲太 立命館大学理工学部 正会員 高木宣章
立命館大学理工学部 正会員 児島孝之

1. はじめに

近年の鉄筋コンクリート構造物は、設計・施工技術の向上により、次第に大型化する傾向にある。寸法が増大するとせん断強度は低下すると言われ、これを寸法効果と呼んでいる。今後の更なる構造物の大型化を考えると、寸法効果の実験的な検討が困難になることが予想される。それと同時に不適切な評価のまま設計式に取り入れられることは、構造物の安全性に影響を及ぼす可能性がある」と指摘されている。本研究では、同じ形状でサイズの異なる鉄筋コンクリート梁に関する2次元有限要素法解析を実施し、せん断耐力に及ぼす寸法効果の影響を検討した。

2. 要素特性

コンクリートは2次のアイソパラメトリック四辺形要素で表現し、Mohr-Coulombの引張縁切断型の破壊基準を用いた。鉄筋は、軸力のほかに曲げ剛性も考慮した2次のアイソパラメトリック梁要素で表現し、ひずみ硬化も考慮した要素特性を用いた。コンクリートと鉄筋間の応力伝達を表現するためにアイソパラメトリック付着要素を使用した。付着要素は、鉄筋の引抜試験やRILEMの梁型付着試験¹⁾から逆解析によって得られた特性を用いた。ひび割れにはアイソパラメトリックひび割れ要素を使用した。ひび割れ要素は、引張軟化、せん断軟化特性を有している。またその相関関係も考慮し、ひび割れが開く引張状態にあるときは、図-1に示す構成則を定義した。

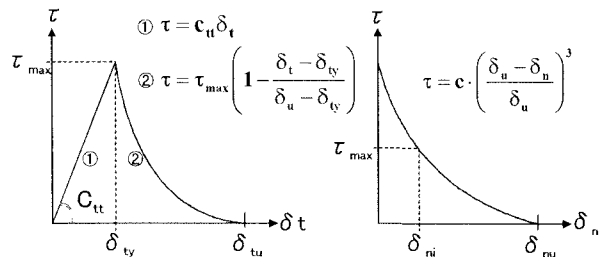


図-1 ひび割れの引張—せん断関係

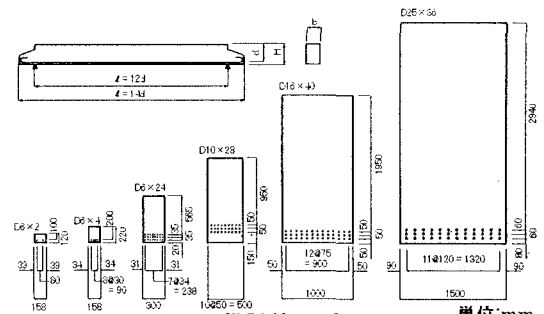


図-2 供試体モデル寸法

2. 解析概要

対象とする供試体モデルの寸法は、井畔らの実験²⁾を参考に、図-2に示すものを用いた。有効高さ d は100, 200, 600, 1000, 2000, 3000mmの6種類である。その要素分割を図-3に示す。梁の対称性を考慮し、梁支点部の y 方向と梁中心部の x 方向の変位を、また軸方向鉄筋の梁中央部の x 方向と回転を拘束することで、左側半分のモデルとした。ひび割れ要素はあらかじめ挿入して解析を行った。その配置については、実験結果のひび割れ図を参考に、モデル中央部から支点方向に向かって45度の方向にせん断ひび割れを挿入し、このひび割れは梁上面まで貫通させている。せん断ひび割れから梁中心線側のコンクリート要素間に曲げひび割れを配置した。ただし、曲げひび割れは最上部のコンクリート要素間には挿入せず、梁はせん断ひび割れによってのみ破壊するようにした。解析は変位増分法によって進展させた。また、荷重は梁上部に分布荷重として作用させた。

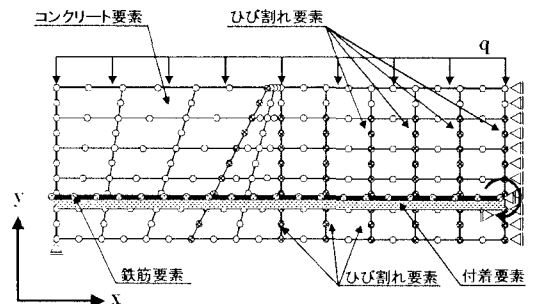


図-3 要素分割図

3. 解析結果および考察

図-4 に応力-たわみ関係を示す。応力とは、載荷荷重を供試体上面の面積で除した値を意味し、たわみは供試体中央部での変位である。せん断強度は $d=1000, 2000\text{mm}$ で逆転しているが、それ以外の解析結果からは有効高さが增大するとせん断強度は低下する傾向が確認でき、せん断に対する寸法効果を表現できている。

本解析で用いているひび割れ要素は、ひび割れ間変位-伝達応力の関係として定義しており、その関係は部材寸法にかかわらず一定である。したがって、同じ荷重段階では寸法が大きいほど発生するひび割れのひび割れ間変位は増大することが予測される。その結果、早い段階で強度軟化域に入り、寸法効果が現れたと考えられる。

せん断寸法効果を評価する上で、最大骨材寸法による影響も考慮する必要がある。本解析においては、骨材のかみ合わせは、骨材寸法によってではなく、ひび割れ要素の要素特性によって表現している。本解析では、その要素特性は変化させていないが、より多くの実験結果を参照することで要素特性を詳細に検討し、決定する必要がある。

部材強度と寸法（有効高さ）との関係を評価するために、解析から得られるせん断強度を、実験結果および実験の材料特性から式-(1),(2)により算出される計算値と比較した（図-5 参照）。式-(1)は土木学会コンクリート標準示方書式、式-(2)は CEB-FIP モデルコード 1990 式である。

$$V_c(\text{JSCE}) = 0.20 \sqrt{100\rho_w} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \sqrt{l/d} \quad (1)$$

$$V_c(\text{CEB-FIP}) = 0.15(100\rho_w \cdot f'_c)^{1/3} (1 + \sqrt{0.2/d}) \quad (2)$$

有効高さ $d=100, 200\text{mm}$ のときは、解析値は実験値より低く、 $d=600\text{mm}$ 以上では解析値が実験結果を上回った。実験によると、 $d=100, 200\text{mm}$ のときに曲げ破壊を起こしているのに対し、本解析では斜めひび割れによりせん断破壊させている。そのため、実験値に比較してせん断強度が低くなったと考えられる。また、解析結果は各式から算出される強度に近い値を示しており、本解析手法により寸法効果と比較的適切に表現できていると考えられる。

4. 結論

- (1) せん断における寸法効果は現象として明確に確認できた。また、せん断強度は CEB-FIP モデルコード式から得られる理論計算値に近い結果が得られた。
- (2) 今後の検討課題として、本解析ではあらかじめひび割れを挿入し、破壊断面を決定しているため比較的安定した解析結果が得られたと考えられるが、今後は自動的に再メッシュ分割を行うプログラムにおいても寸法効果による影響を検討する必要がある。また、骨材のかみ合わせも考慮したひび割れ要素の要素特性の検討を行い、決定していかなければならない。

【参考文献】

- 1) 山田崇雄, 日比野憲太, 高木宜章, 児島孝之: 有限要素法による鉄筋とコンクリート間の付着性状の表現, 土木学会第 55 回年次学術講演会, V-550, 2000
- 2) 井畔瑞人, 塩屋俊幸, 野尻陽一, 秋山暉: 等分布荷重における大型鉄筋コンクリートはりのせん断強度に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.348/V-1, 175-184, 1984

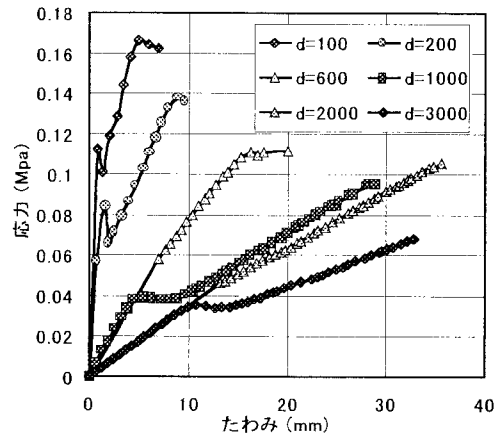


図-4 応力-たわみ関係

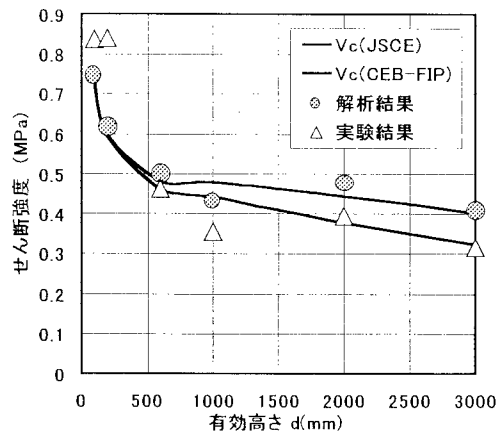


図-5 最大強度の比較