

V-149 有限要素解析による弾性係数の異なる補強筋を用いたRCスラブの押抜きせん断特性の解明

北海道大学大学院 学生員 佐藤 靖彦
 新日本製鉄(株) 正会員 風野 裕明
 北海道大学工学部 正会員 上田 多門
 北海道大学工学部 正会員 角田 史雄

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート部材のせん断問題に対し、有限要素解析を利用した研究が数多くみられる。特に、RC壁、RCはりといった2次元問題に対しては、除荷、載荷、再載荷といった荷重経路において、その変形及び耐力を精度良く追跡できることが示されている¹⁾²⁾。しかし、RCスラブの押抜きせん断破壊のような3次元問題では、あまり例をみない。この大きな理由として、3軸応力下での鉄筋コンクリートの非線形性を表現できる精度良い構成則が存在しないことが挙げられ、この構成則の開発が囑望されるところである。よって、厳密に言えば、精度良い3次元構成則を用いなければ、有限要素解析により3次元問題であるRCスラブの押抜きせん断特性を的確に捉えることができないといえるが、本研究では、RCはりのせん断問題に対して開発された信頼性の高い非線形有限要素プログラム²⁾の平面応力構成則を軸対称構成則に拡張することにより、3次元の軸対称RCスラブの押抜きせん断特性を解析的に把握することを試みることにした。

2. 軸対称非線形有限要素プログラムの開発

2-1 基本仮定

本研究で開発した非線形有限要素プログラム²⁾は、RCはりのせん断問題に対して開発された2次元の非線形有限要素プログラムを、軸対称RCスラブに適用できるように拡張したものである。これは、2次元応力下での構成則を、軸対称構成則に拡張することにより行われた。以下、その概要を述べる。

図-1に示すような軸対称要素を考える。図-1において、高さ方向(z 方向)、半径方向(r 方向)および周方向(θ 方向)よりなる3軸状態を、 $r-z$ 面と $z-\theta$ 面の2組の平面応力面を組み合わせることにより、軸対称応力状態を表現する。ここで、この2組の面には、それぞれ鉄筋とコンクリートの構成則を重ね合わせた鉄筋コンクリート板要素モデル³⁾を適用するものである。

2-2 ひび割れ発生前の軸対称構成則

ひびわれ発生前の構成則は、上述した2組の面に対してそれぞれ平面応力状態における等価応力-等価ひずみ関係¹⁾を用いることとした。

2-3 ひび割れ発生後の軸対称構成則

発生するひびわれは、図-2に示すような周方向ひび割れ($r-z$ 面に直交)と半径方向ひび割れ($z-\theta$ 面に直交)の2つひび割れに分けられる。ひび割れの発生条件には、それぞれの平面で2軸応力下のひびわれ発生基準を適用するものである。ひび割れ発生後の構成則については、いずれか1つのひび割れのみ発生した場合は、ひびわれ直交方向(x 方向)は引張剛性モデルとせん断伝達モデルの重ね合わせで表現し、ひび割れ面内方向($y-\theta$ または $y-r$)は、ひび割れていない2次元問題として、平面応力構成則を適用する(図-3(a))。また、2つのひびわれがともに発生する場合は、 x 方向、 θ 方向に引張剛性モデル、 y 方向に圧縮剛性モデルを適用する(図-3(b))。

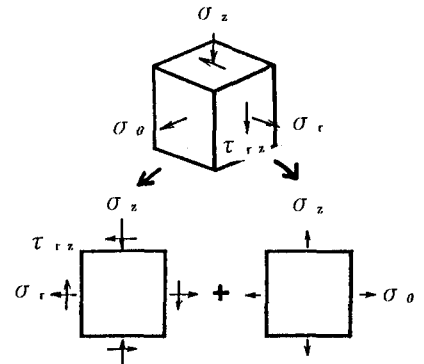
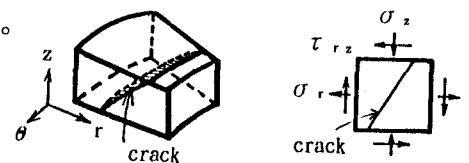
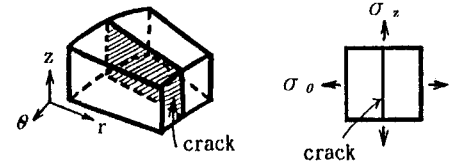


図-1 軸対称モデル



<接線方向ひび割れ>



<半径方向ひび割れ>

図-2 ひび割れモデル

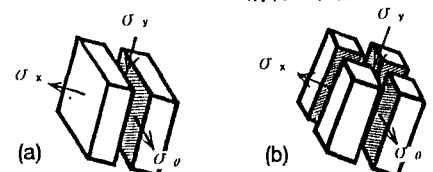


図-3 ひび割れ発生後のモデル

3. 解析結果

3-1 実験および解析の概要

平面応力構成則を拡張した軸対称構成則に基づく本解析プログラムの妥当性を検討するために、我々が過去に行ったRCスラブの実験結果⁴⁾との比較を行う。ここで用意した実験供試体は、スパン1000mm、スラブ厚100mm、有効高さ75mmの円形スラブで、載荷はスパン中央に直径200mmの円形鋼板を介して単調に行った。解析においては、スラブ中央点に鋼板要素を介し強制変位を与えた。本解析の要素分割を、図-4に示す。

3-2 実験結果との比較

図-5は、補強筋に焼き入れた高強度鉄筋を用いたRCスラブのスパン中央での荷重-変位曲線の実験値と本解析値を示すものであり、図-6は、両者の最大曲げモーメント付近での補強筋の応力-荷重曲線を示すものである。本解析は、変形および補強筋応力を概ね評価できるものである。また、終局耐力は、実験値の229kNに対し解析値は225kNであった。

3-3 補強筋の弾性係数大きさと押抜きせん断耐力

過去に行った実験において、RCはりのせん断耐力と同様に、補強筋の弾性係数が小さなほど押抜きせん断耐力は低下することが確認されている⁴⁾。図-6は、補強筋の弾性係数の大きさのみが異なる($E_s=69, 137, 206\text{GPa}$)3体の解析スラブの荷重-変位曲線を表すものである。本解析において、補強筋の弾性係数が小さいほど変形が大きく、最終的な終局耐力は小さくなることが示されており、実験と一致する結果が得られた。

4. まとめ

(1) 平面応力構成則を拡張した軸対称構成則よりなる本解析プログラムは、軸対称RCスラブの変形状態および耐力を概ね評価することができる。

(2) 補強筋の弾性係数が小さければ、押抜きせん断耐力が低下することが解析的に示された。

今後は、3軸構成則を取り入れることにより解析精度および信頼性の向上をはかり、押抜きせん断破壊特性の本質的な解明を行っていく予定である。

謝辞：本研究は、平成4年度吉田研究奨励金Aを受けて行われたものであり、ここに深く謝意を表す。

参考文献

- (1) 岡村 甫・前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則、技報堂出版、1991年5月
- (2) 八木 洋太郎：鉄筋コンクリート梁におけるせん断抵抗機構の有限要素解析、東京大学大学院学位論文、1991年3月
- (3) 出雲 淳一：正負繰返し載荷を受ける鉄筋コンクリート要素の解析モデルとその評価、東京大学大学院学位論文
- (4) 佐藤靖彦・上田多門・角田與史雄：連続繊維補強材を用いたRCスラブの押抜きせん断強度に与える補強材剛性の影響について、コンクリート工学年次報告論文集、Vol.14、N02、1992年6月

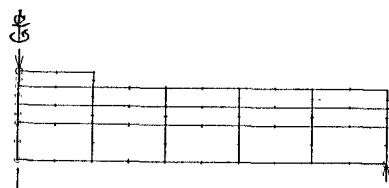


図-4 要素分割

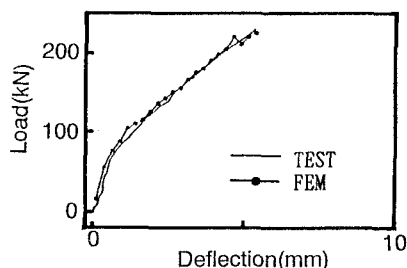


図-5 荷重-変位曲線

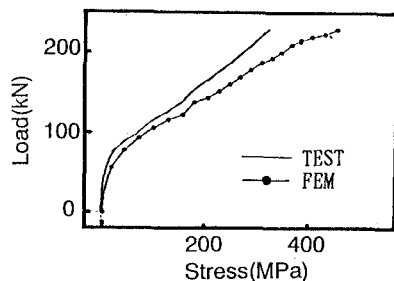


図-6 荷重-応力曲線

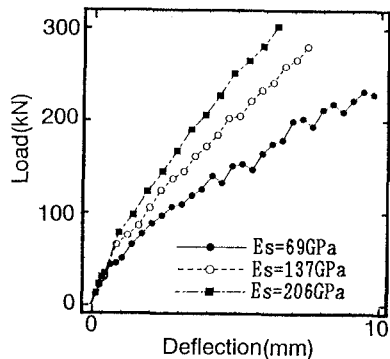


図-7 荷重-変位曲線