

格子等価連続体化法による三次元 RC 構成則の構築及びその適用

名古屋大学工学部 学生会員 牧 真也
名古屋大学大学院 学生会員 Kongkeo PHAMAVANH
名古屋大学大学院 学生会員 伊藤 睦
名古屋大学大学院 7ED-会員 田邊 忠顕

1. はじめに

格子等価連続体法は、鉄筋コンクリート(RC)構成物の二次元問題に対し、十分な精度を有する解析手法であることがこれまでに確認されている。しかしながら、実際の構造は3次元的なものであり、例えばRCスラブの押し抜きせん断破壊や、はり部材の二軸曲げ問題等を扱う場合には、3次元解析モデルが必要となる。そこで本研究では、格子等価連続体化法における、三次元 RC 構成式の構築を試み、押し抜きせん断破壊するRCスラブの解析を行うことにより、本モデルの妥当性と問題点について検討を行った。

2. 格子等価連続体化法

格子等価連続体化法は、RC要素が有する異方性とRC部材内の力の流れを、コンクリート及び補強筋の格子成分を想定することにより表現するモデルである。

2.1 RC 三次元構成則の定式化

RC要素に $\Delta\{\varepsilon_g\} = \Delta\{\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}\}^T$ なる増分ひずみが発生した場合、図-1のようなコンクリート及び補強筋の格子成分におけるひずみに座標変換させる。ここでコンクリートの格子成分は主ひずみ方向(局所座標系)とする。また、各格子成分における一軸応力-ひずみ関係より、応力増分ベクトル $\Delta\{\sigma_l\}$ が求められる。局所座標系における $\Delta\{\sigma_l\}$ を全体座標系に変換することより、応力増分 $\Delta\{\sigma_g\}$ が求められる。

全体座標系の応力-ひずみ関係は次式のように表すことができる。

$$\Delta\{\sigma_g\} = [L_\sigma]^T [R_n] [L_\varepsilon] \Delta\{\varepsilon_g\} \tag{1}$$

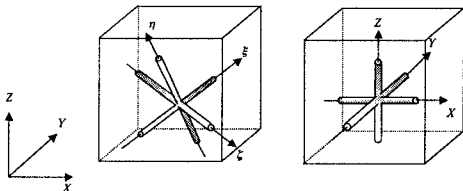
$[L_\sigma]$; 応力変換マトリクス, $[L_\varepsilon]$; ひずみ変換マトリクス
 $[R_n]$; 各格子の一軸応力-ひずみ関係の接線勾配

ひび割れ発生基準は主応力がコンクリートの引張強度に達した時とした。ひび割れ発生後は固定ひび割れモデルを使用する。なお、コンクリートの引張剛性モデルに破壊力学の概念を導入している。

2.2 三次元的せん断伝達モデルの定式化

一つのひび割れ面に対し、ひび割れ面進展方向を ξ 軸、ひび割れ開口方向を η 軸、 $\xi\eta$ 面に垂直方向を ζ 軸とし、ひび割れは、 ζ 軸方向に局所領域を貫通しているものとする。本せん断伝達モデルでは、図-2に示すようにひび割れ面を大胆にモデル化し、このひび割れ面における凹凸の接触という観点から、ひび割れ面におけるせん断伝達挙動をモデル化する。ひび割れ面の山と山が接触する面の垂直方向に新たな格子成分(Shear lattice)を想定し、この格子成分に一軸の接触ひずみ-接触応力関係を仮定することにより、次のように定式化される¹⁾。

RC要素に発生したひずみをひび割れの座標である局所座標系へと変換し、さらにせん断格子方向へと座標変換する。せん断格子の



(a)コンクリート格子 (b) 補強筋格子

図-1 ひび割れが発生した RC 要素

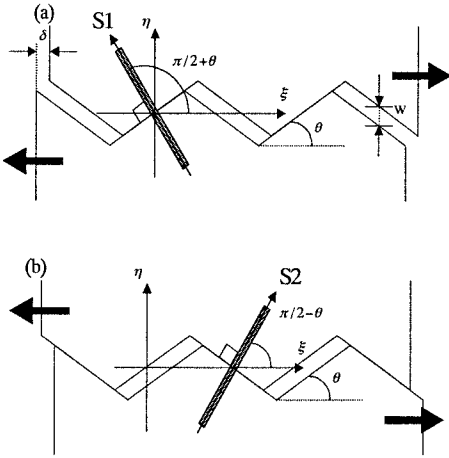


図-2 Crack Surface のモデル化

各方向の一軸応力一ひずみ関係から応力増分 $\Delta\{\sigma_s\}$ が求められる。

$$\Delta\begin{Bmatrix}\sigma_{s1} \\ \sigma_{s2}\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{s1} & 0 \\ 0 & E_{s2} \end{bmatrix} [T_{\varepsilon,s1,s2}] \Delta\{\varepsilon_{lcr}\} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta\{\varepsilon_{lcr}\}$ は、ひび割れ幅をひずみに換算した増分量であり、 $[T_{\varepsilon,s1,s2}]$ は、 $\Delta\{\varepsilon_{lcr}\}$ を Shear lattice 方向のひずみ増分を変換するひずみ変換マトリクスである。

$\Delta\{\sigma_s\}$ を式 (3) を用いて局所座標系に変換し、さらに全体座標系へと変換する事により、ひび割れ面を介して伝達されるせん断応力、直圧縮応力が求められる。

$$\Delta\{\sigma_g\} = [T_\sigma]^{-1} [\Omega] [T_{\sigma,s1,s2}]^{-1} \Delta\begin{Bmatrix}\sigma_{s1} \\ \sigma_{s2}\end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここで $[T_{\sigma,s1,s2}]$ は、Shear lattice 方向から局所座標系へ応力を変換するマトリクスである。また、 $[T_\sigma]$ は、局所座標系から全体座標系へ応力を変換するマトリクスであり、 $[\Omega]$ はせん断伝達制御マトリクスである。

3. RC スラブの押し抜きせん断破壊性状

本研究では、八若らによる RC スラブの静的押し抜き実験²⁾を解析対象とした。試験体は、中央部に強制変位が与えられ、観察された破壊モードは押し抜きせん断破壊であった。スラブの支持条件は、相対二辺がローラー支持されており、他の二辺は自由端としている。本解析では、構造の 2 方向対称性を考慮して、解析モデルを試験体の 1/4 とした。

耐荷力 - 載荷板直下の変位関係を図 - 3 に示す。実験値と解析値の比較の結果、初期剛性はほぼ一致するものの、解析値の最大耐荷力は実験値よりも低い値となった。実験値と解析値の間に耐荷力の差異が生じた要因はいくつか考えられるが、格子におけるコンクリートの圧縮側の応力一ひずみ関係に対する三次元効果を考慮する必要があると思われる。また実験では、補強鉄筋によるダウエル作用等も耐荷力に貢献したと思われる。

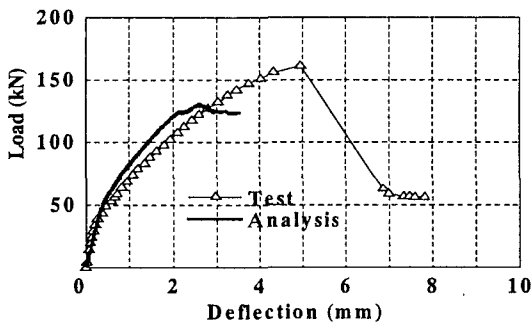


図-3 荷重変位関係

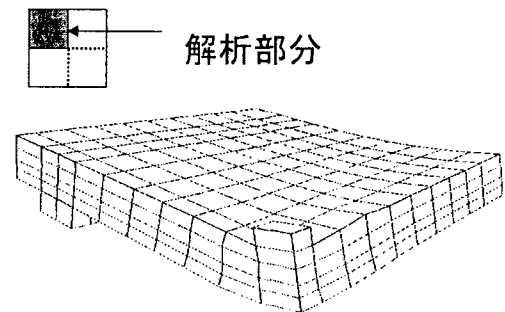


図-4 ピーク時の変形図(1/4 モデル)

4. まとめ

本研究では、格子等価連続体化法を三次元モデルに拡張し、押し抜きせん断破壊する RC スラブの解析を行った。実験値を精度良く予測するためには、特に格子の応力一ひずみ関係の更なる改良が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 舟田武, 田辺忠顕; 格子等価連続体化法に基づくひび割れ面でのせん断伝達のモデル化, コンクリート工学年次論文集 Vol.23, No.3, 2001, pp. 1003-1008.
- 2) 八若幹彦, 檜貝勇, 中村光, 斎藤成彦; 3D-FEM による RC スラブの押し抜きせん断破壊性状の解析, 構造工学論文集 Vol.47A, 2001, pp. 1339-1346.