

格子等価連続体化法による三次元 RC 構成式の構築及びその適用例

名古屋大学大学院	学生会員	牧 真也
名古屋大学大学院	学生会員	Ahamad Syed Ishtiaq
名古屋大学大学院	正会員	伊藤 睦
名古屋大学大学院	正会員	田邊 忠顕

1. はじめに

近年、外ケーブル工法を適用した PC 橋の合理化に関する研究が進められているが、未だ外ケーブル定着部、及びその周辺の破壊形態など明らかにされていないのが現状である。そこで本研究では、三次元格子等価連続体化法 RC 構成式を構築し、PC 箱桁定着部の破壊解析を行うとともに、予測された解析結果に基づき考察を行った。

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 三次元構成式の定式化

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のひずみに座標変換させる。ここでコンクリート格子成分は主応力方向（局所座標系）に配置されているとする。次に、各格子成分の一軸応力 ひずみ関係より、応力増分ベクトル $\Delta\{\sigma_l\}$ が求められ、この $\Delta\{\sigma_l\}$ 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。

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

$[L_a]$; 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、圧縮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、コンクリート引張、圧縮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

本せん断伝達モデルでは、ひび割れ面の凹凸を図-2 に示すように四角錐の集合と大胆にモデル化し、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。せん断格子の各方向の一軸応力 ひずみ関係から応力増分 $\Delta\{\sigma_s\}$ が求められる。

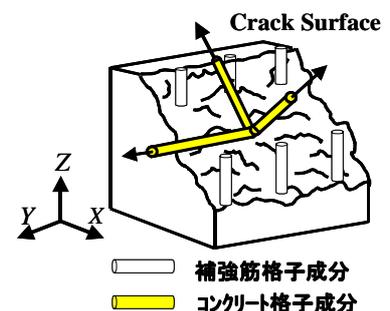


図-1 ひび割れが発生した RC 要素

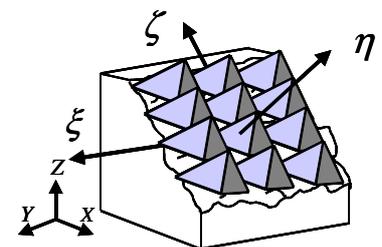


図-2 Crack Surface のモデル化

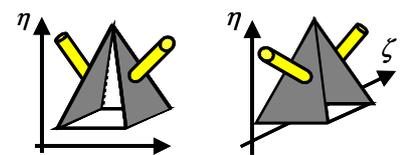


図-3 ひび割れ面の ShearLattice

キーワード 三次元格子等価連続体化法 RC 構成式, せん断伝達モデル, 外ケーブル工法, 定着部, 連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町1 名古屋大学大学院 TEL052-789-5478

$$\Delta \begin{Bmatrix} \sigma_{S1} \\ \sigma_{S2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{S1} & 0 \\ 0 & E_{S2} \end{bmatrix} [T_{\varepsilon,S1,S2}] \Delta \{\varepsilon_{lcr}\} \quad (2)$$

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. PC 箱桁定着部の破壊解析

本研究では、国土交通省土木研究所（現国土技術政策総合研究所）と（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究である外ケーブル定着体破壊実験¹⁾を解析対象とした。供試体の支持条件は支間 4m となるよう単純支持した。本解析では 2 方向対称性を考慮して、解析モデルを試験体の 1/2 とした。

耐荷力 定着体の変位関係を図-4、ピーク時の変形図を図-5 に示す。実験値と解析値の比較の結果、プレピークにおいて、解析値は実験値を精度良く評価できたと考えられる。しかし、ポストピークの挙動を追従するに至っていない。これには供試体の載荷方法、幾何学的境界条件、要素分割数、また定着体を下床板と固定する鉛直方向鉄筋のダウエル作用等が要因として考えられる。

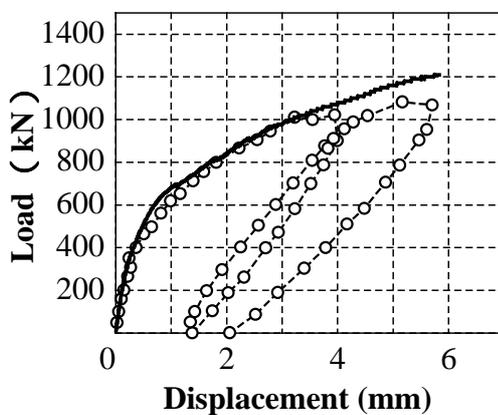


図-4 荷重変位関係

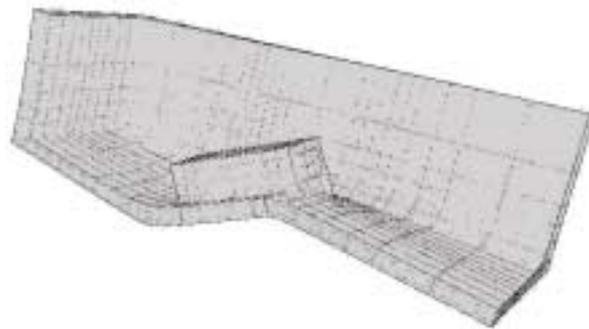


図-5 ピーク時の変形図(1/2 モデル)

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、PC 箱桁定着部の破壊解析を行った。実験値を精度良く予測するためには、特に現モデルの倍程度の要素分割が必要であると考えられる。

謝辞；本論文作成にあたり、国土交通省国土技術政策総合研究所と（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会には、「外ケーブル広報を適用した PC 橋の合理化に関する研究」より、外ケーブル定着部実験のデータを提供して頂き、心より感謝しております。

参考文献

- 1) 西川 和廣, 廣松 新, 伊藤 公彦; 外ケーブル定着突起の形状および配筋に関する研究, プレストレストコンクリート技術協会, 第 11 回シンポジウム論文集, 2001, pp. 781-786.