

複合構造物中のずれ止めの力学特性評価 に関する基礎的検討

東北大学大学院工学研究科 学生員 ○田中 光
東北大学大学院工学研究科 正 員 齊木 功
東北大学大学院工学研究科 正 員 岩熊 哲夫

1. まえがき

複合構造は、異なる材料を組み合わせることで優れた性能を引き出す構造であり、土木分野では鋼とコンクリートからなる複合構造が一般的である。このような複合構造がその力学特性を十分に発揮するためには、異なる部材が一体として働くことが必須の条件となる。現行の設計指針では、鋼コンクリート複合構造の接合には機械的ずれ止めを用いることを標準としており¹⁾、部材に作用する軸力、せん断力、曲げモーメント等の力は接合部のずれ止めを介して伝達される。したがって、構造物の設計において、ずれ止めの耐力や剛性などの性能を明らかにしておくことは重要である。現在最も多く用いられている手法は押し抜き試験によりずれ止めのせん断耐力を測定する方法である。しかし、実構造物中のずれ止めは3次元的な応力状態にあり、押し抜き試験で再現することが難しい場合も多い。このような場合に、最近では数値解析が行われることが多くなってきている。そこで本研究では、材料界面の付着や摩擦、材料自体の非線形性を考慮し、スタッドの力学特性を数値的に評価できる三次元有限要素モデルを構築する。

2. 解析手法

(1) 接触解析

接触問題の定式化には節点間接触およびペナルティ法を用いた。これにより、界面に生じる内力は部材間を結ぶ剛なばねにより伝達される。ばねは接線方向と法線方向にそれぞれ独立して考え、界面の付着・すべりを表現するために接線方向のばねは弾塑性とし、降伏条件を

$$\phi = |f_t| - f_f - \sigma_b A \quad (1)$$

とした。ここで、 f_t は接線方向の接触力、 f_f は摩擦力、 σ_b は接線方向の付着応力、 A は接触面積である。摩擦については古典的な Coulomb 摩擦

$$f_f = \mu \langle -f_n \rangle \quad (2)$$

を適用した。ここに、 f_n は法線方向の接触力、 μ は摩擦係数、 $\langle \rangle$ は ramp 関数である。

(2) 材料モデル

鋼とコンクリートは弾塑性材料としてモデル化する。鋼材の降伏基準には von Mises の降伏基準を、コンクリートの破壊基準にはコンクリートの引張り強度と圧縮強度の違いを考慮できるように以下のような Drucker-Prager の破壊基準を用いている。

$$f(\sigma, \bar{\epsilon}^p) = \sqrt{J_2} + \alpha I_1 - k(\bar{\epsilon}^p) \quad (3)$$

J_2 は偏差応力の第二不変量、 I_1 は応力の第一不変量、 $\bar{\epsilon}^p$ は相当塑性ひずみ、 α と k は実験により決まる材料パラメータと関数である。

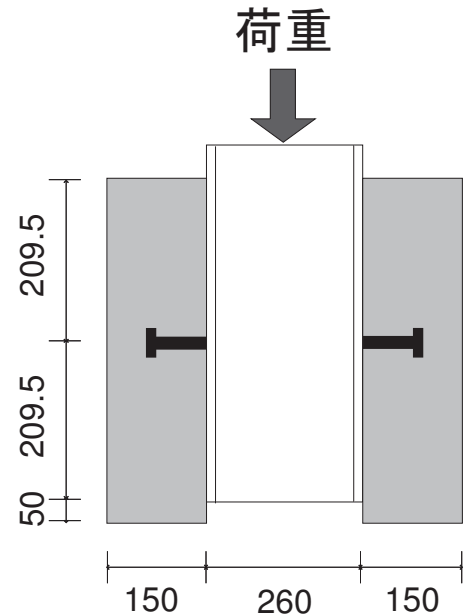


図-1 押し抜き試験体 (単位: mm)

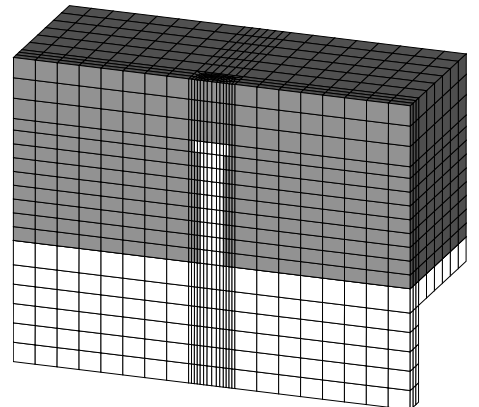


図-2 有限要素モデル

3. 押し抜き試験との比較

本研究のモデルの妥当性を検証するために、図-1 に示した押し抜き試験²⁾との比較を行った。スタッドは直径が 13mm、高さ 70mm、コンクリートは圧縮強度が 20MPa、50MPa の 2 種類について解析を行った。

(1) 解析モデルと結果

解析モデルを図-2 に示す。要素はすべて 8 節点双 1 次の 6 面体要素を用いている。スタッドとコンクリート床板界面、コンクリート床板と鋼桁界面の節点は二重にし、接触節点ペアとしている。界面の付着および摩擦についてはここでは考慮していない。実験と解析における荷重ずれ変位関係を図-3、4 に示す。ずれ変位はスタッド位置での鋼フランジとコンクリート床板裏側の節点の相対変位をとっている。実験で荷重が最大となるずれ変位は 4mm なので、そのときの解析値と実験値を比較してみると、コンクリート強度が 20MPa と 50MPa の両方の場合で解析結果は実験結果に一致している。

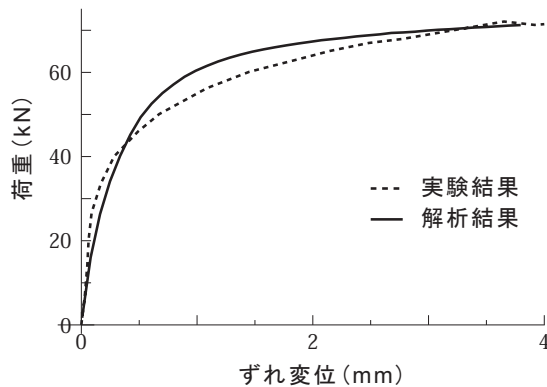


図-3 荷重ずれ変位関係 (コンクリート圧縮強度 20MPa)

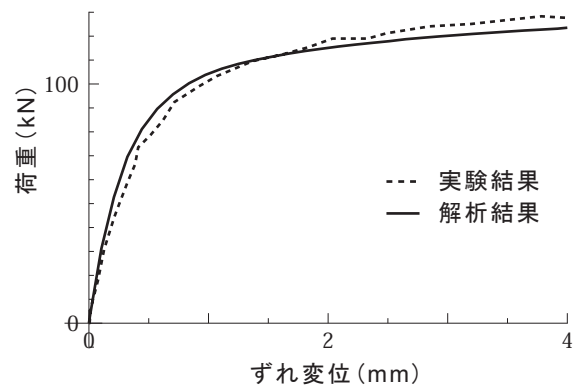


図-4 荷重ずれ変位関係 (コンクリート圧縮強度 50MPa)

(2) 破壊モード

図-5、6 に $\sqrt{J_2}$ ひずみ分布と変形を示す。ここでは、変形が見やすいように実際の変形の 3 倍で表示している。コンクリート強度が 20MPa のときには、スタッド根元付近のコンクリートが大きく変形しており、スタッド頭と接触しているコンクリート部分が局部的に変形している。一方、スタッドは全体的に傾いているが、局所的な変形は見られない。したがって、この場合にはスタッドはコンクリートの支圧破壊により耐荷力を失うと考えられる。

コンクリート強度が 50MPa では、コンクリートは一部に変形が見られるが、大部分は健全なままである。反対にスタッドは根元に局所的なせん断変形が起こっている。この場合、スタッドは最下端のせん断破壊により破壊に至ると考えられる。

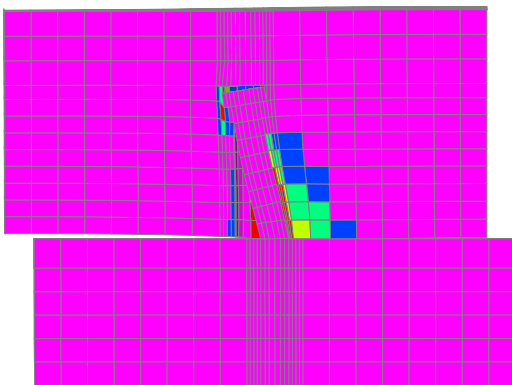


図-5 コンクリート圧縮強度 20MPa

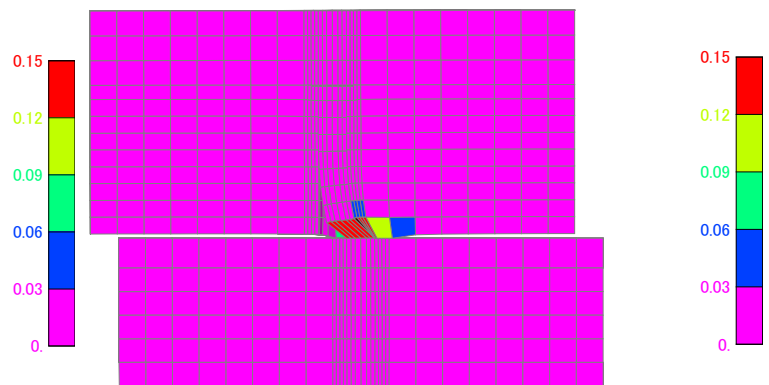


図-6 コンクリート圧縮強度 50MPa

参考文献

- 1) (社) 土木学会：複合構造物の性能照査指針 (案)，構造工学シリーズ 11，(社) 土木学会，2002.
- 2) Lam, D. and El-Lobody, E.: Behavior of headed stud shear connectors in composite beam, *ASCE J. Struct. Engrg.*, Vol.131, pp.96-107, 2005.