

鋼・コンクリート界面の付着・摩擦則のモデル化に関する基礎的検討

東北大学工学部	○学生員	田中 光
東北大学大学院工学研究科	正 員	斉木 功
東北大学大学院工学研究科	学生員	戸塚 祐
東北大学大学院工学研究科	正 員	岩熊 哲夫

1. まえがき

近年、様々な構造物に鋼・コンクリート複合構造が用いられている。鋼とコンクリートの複合構造では界面に付着が存在し、複合構造全体の挙動に大きな影響を与える。したがって、合理的な設計をするためには付着を考慮する必要があるが、現状では設計において付着は考えられていない。そこで斉藤ら¹⁾は界面の付着性状を明らかにするためにせん断試験を行った。しかし、実験では界面のせん断応力を一様にするのが難しく、数値解析の面からも検討する必要がある。本研究では鋼とコンクリートの界面に生じる付着・摩擦をモデル化し、それを有限要素接触解析プログラムに組み込み、鋼とコンクリート界面の付着特性について接触解析結果と実験結果との比較から検討を行う。

2. 解析手法

解析対象は複合構造の異種材料間の界面挙動であり、材料は最初から接触しているものと仮定する。したがって、有限要素に分割したとき、接触する節点は自明となり、節点間接触³⁾の概念を利用できる。また、節点間の相対変位は対象の大きさに比べ十分小さいものとし、大きなずれ変位を生じるような解析は対象外とする。斉藤ら¹⁾はこのような仮定のもと、古典的 Coulomb 摩擦および完全剛塑性の付着モデルを用いて接触解析を行った。本研究では古典的な Coulomb 摩擦およびトライボロジーの分野で付着を表すために用いられている Lennard-Jones ポテンシャル関数²⁾を付着モデルに適用し、付着応力 σ_b を

$$\sigma_b = 10\sigma_{b0} \left\{ \left(\frac{B}{z} \right)^7 - 2 \left(\frac{B}{z} \right)^{13} \right\}, \quad z = \alpha + C(B) \dots\dots\dots (1)$$

と定義した。ここで、 σ_{b0} は初期付着応力、 B はずれ変位の長さを規定するパラメータ、 C はある関数であり、 α はずれ変位量の総和を表している。この付着モデルの付着応力－ずれ変位の関係は図-1 のようになる。

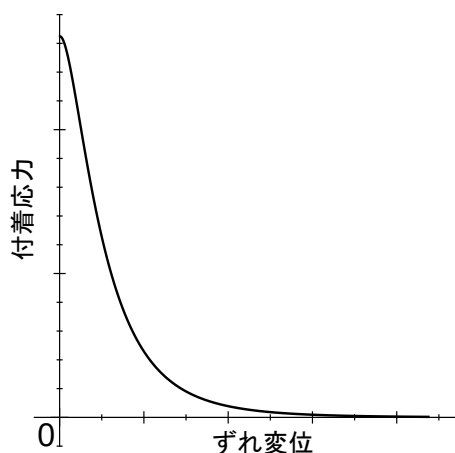


図-1 付着応力－ずれ変位関係

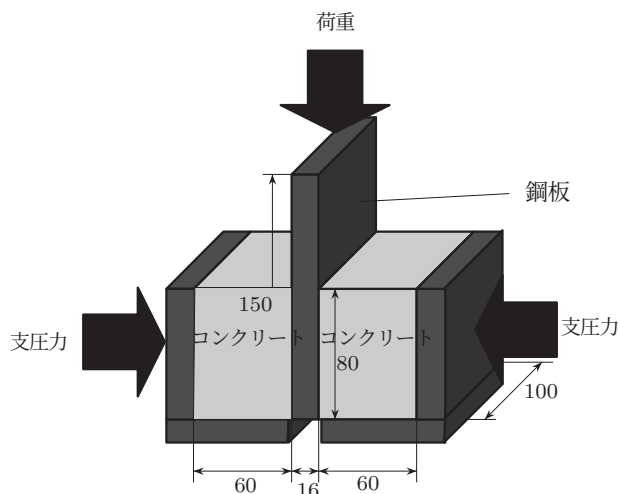


図-2 押し抜き要素試験体 (mm)

物体間に生じる接触力は、ペナルティ法により節点を結ぶ剛なばねを用いて表した。法線方向と接線方向にそれぞれ独立したばねを考え、接線方向は付着・すべりを表現するために弾塑性のばねとし、その降伏条件を

$$\phi = |f_t| - \mu |f_n| - \sigma_b A \dots\dots\dots (2)$$

とした。ここで、 f_t は接線方向の力、 f_n は法線方向の力、 μ は摩擦係数、 σ_b は接線方向の付着応力、 A は接触面積を示している。

3. 押し抜き試験と解析結果の比較

本研究で提案した付着・摩擦モデルの妥当性を検討するために、図-2 に示した押し抜き試験の結果との比較を行った。この押し抜き試験では、試験体の側面から支圧力を与えた後、鋼板の上部に荷重を加え、荷重とずれ変位を計測した。解析モデルは、二次元 4 辺形要素で、要素数 990、節点数 1116 とした。実験での支圧力に相当する強制変位を両側面から与えた後、鋼板上部の節点に強制変位を与えることで試験を再現した。いくつかの荷重ステップでの変形を図-3～5 に示す。濃淡は鉛直方向の変位をあらわしており、鉛直方向変位が不連続になっている点で剥離が生じている。この結果から、鋼とコンクリートの付着は下の方から剥離が発生し、上に向かって進行していることが分かる。これは、コンクリート下面が受ける反力により、界面の下端にせん断応力が集中するためだと考えられ、実験で一様なせん断応力が実現されていないことを示している。また、実験結果と解析結果の荷重－ずれ変位曲線を図-6 に示す。付着モデルのパラメータについて、まだ詳細な検討はしていないが、定性的に見ると従来の剛塑性モデルに比べて実験結果に近い特性を示している。

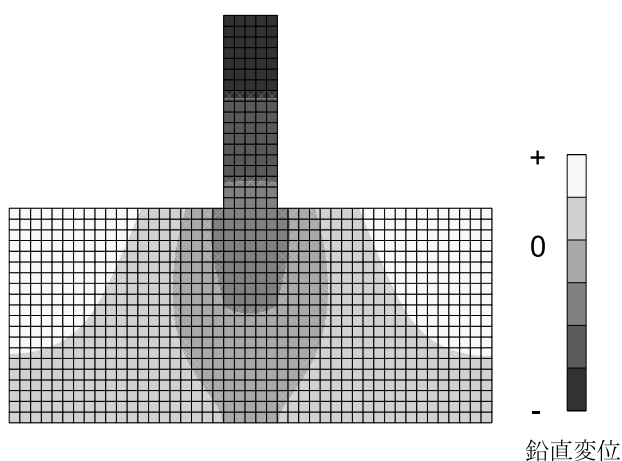


図-3 解析モデルの変形図と鉛直方向の変位 (a)

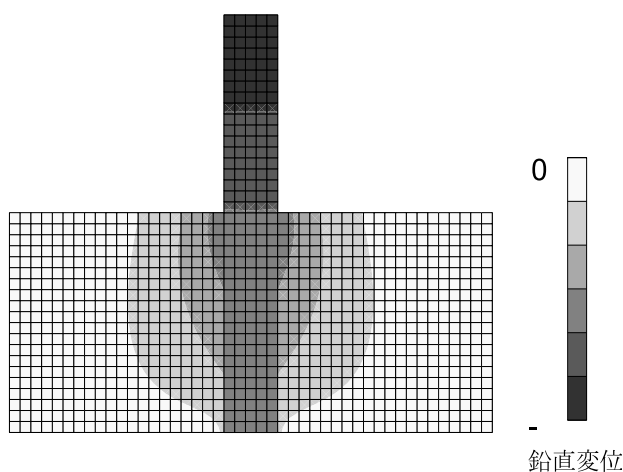


図-4 解析モデルの変形図と鉛直方向の変位 (b)

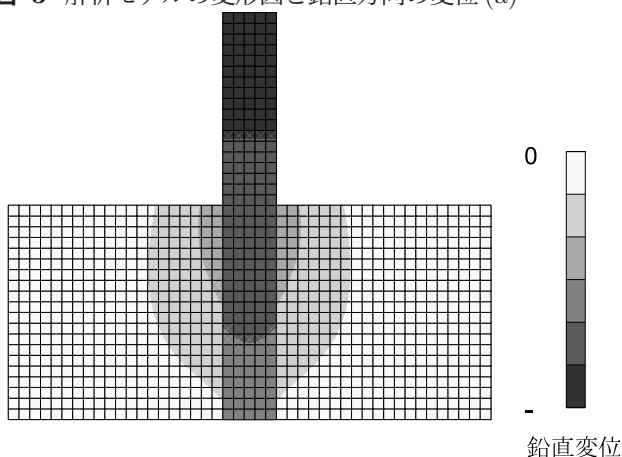


図-5 解析モデルの変形図と鉛直方向の変位 (c)

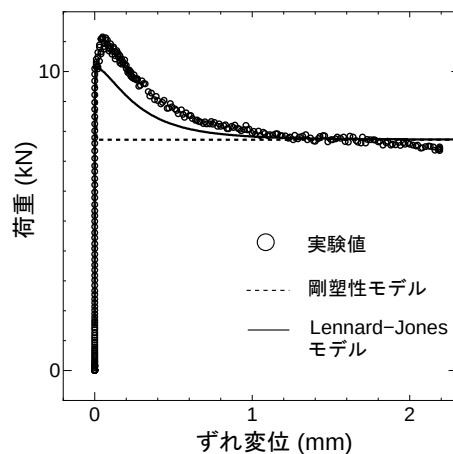


図-6 実験結果と解析結果の比較 (荷重－ずれ変位関係)

参考文献

- 1) 齊藤誠, 齊木功, 中島彰典: 複合構造の有限要素接触解析のための界面モデル生成に関する一考察, 第6回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, CD-ROM, 2005.
- 2) Johnson, K.L.: Mechanics of adhesion, *Tribology International*, Vol.31, pp.413-418, 1998.
- 3) Wriggers, P.: Computational Contact Mechanics, Wiley, 2002.