

# 鋼・コンクリート複合構造の有限要素解析のための界面のモデル化に関する基礎的検討

東北大学工学部 学生員 荒木 真隆  
 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 正員 岩熊 哲夫

## 1. まえがき

複合構造において重要な異種材料の一体化は、化学的な付着作用、物理的な摩擦作用およびずれ止め等により確保される機械的作用によって界面で力が伝達されることによってなされる。界面における応力伝達を簡便に解析する手法が確立されていないため、複合構造の結合部の照査には課題が残されている。そのため有限要素解析による照査への期待が高まっており、そこで用いるずれ止めや鋼・コンクリート界面の付着・摩擦の力学特性の解明とそれに基づく力学モデルの構築が必要となってきた。そこで本研究では鋼・コンクリート界面に働く付着・摩擦力を考慮した手法に、過去の実験から得られたずれ止めの巨視的な数値モデルを組み込んだ有限要素接触解析を行い、ずれ止めや界面の付着・摩擦のモデル化が結果に及ぼす影響について検討する。

## 2. 解析手法

接触問題の定式化には、ペナルティ法を採用した。これにより、物体間に生じる接触力は節点間を結ぶ剛なばねにより表される。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は弾塑性のばねとし、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、 $\sigma_b$  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、 $\mu$  は摩擦係数、 $\langle \rangle$  は ramp 関数である。

また、スタッドは接線方向と法線方向にそれぞれ独立なばね要素によりモデル化する。鉛直方向ばねは弾性ばね、水平方向ばねは Ollgaard et al.<sup>1)</sup>によって提案されたせん断力  $V$  とすべり  $\delta$  の関係式

$$V = V_u \left( 1 - e^{-\alpha \frac{\delta}{\phi}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (3)$$

を硬化曲線とする弾塑性ばねとした。ここに、 $V_u$  はスタッドのせん断耐力であり、 $\phi$  はスタッドの直径である。 $\alpha$  はせん断力 - すべり関係式における無次元の係数であり条件によって異なる。この  $\alpha$  の値が大きければそのスタッドは剛性が高いことを示す。

## 3. 連続合成桁の載荷試験における界面のモデル化の影響

図-1 に示す中島ら<sup>2)</sup>の連続合成桁試験体を解析対象とし、界面のモデル化が解析結果に及ぼす影響を考察する。

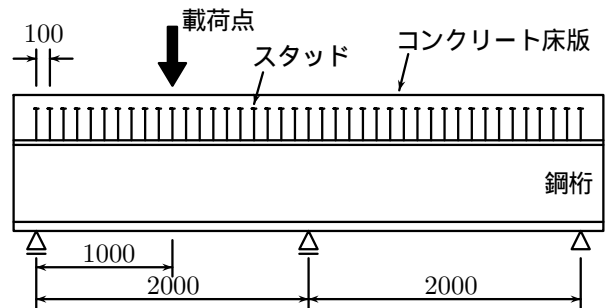


図-1-a 側面図 (単位: mm)

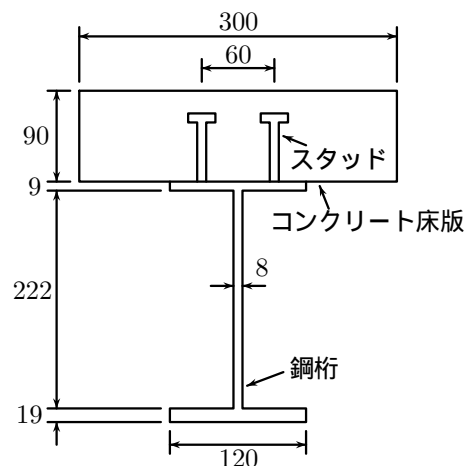


図-1-b 断面図 (単位: mm)

図-1 試験体

### (1) 付着力の影響

鋼とコンクリートの付着力を 0.0, 0.2, 0.8, 2.0MPa としたときの、荷重 50kN におけるコンクリート床版裏側と鋼桁上フランジとのずれ変位を図-2 に示す。左側スパンでは、付着力が小さいモデルほど鋼・コンクリート界面の多くの節点で剥離が生じ、付着力ゼロのモデルのずれ変位に近くなっている。右側スパンでは付着力のあるどのモデルでも剥離が生じていないため、付着力ゼロのモデル以外ではずれ変位はほとんどゼロとなっている。次に、左側スパンで剥離が発生し始める荷重 (剥離が開始する荷重) および最終的にほとんどの節点で剥離が生じる荷重 (剥離が終了する荷重) と、付着力との関係を図-3 に示す。剥離が開始または終了する荷重と付着力には、ほぼ線形の関係があることがわかる。このことから、鋼・コンクリート界面の付着力がわかれば、剥離が発生・終了する荷重を予想することができると思われる。

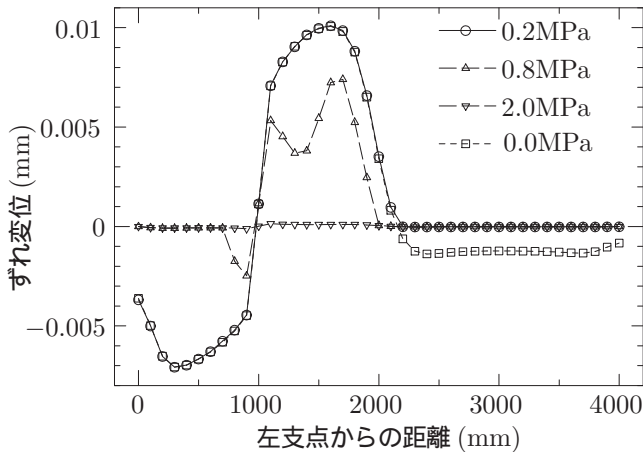


図-2 荷重 50kN でのずれ変位

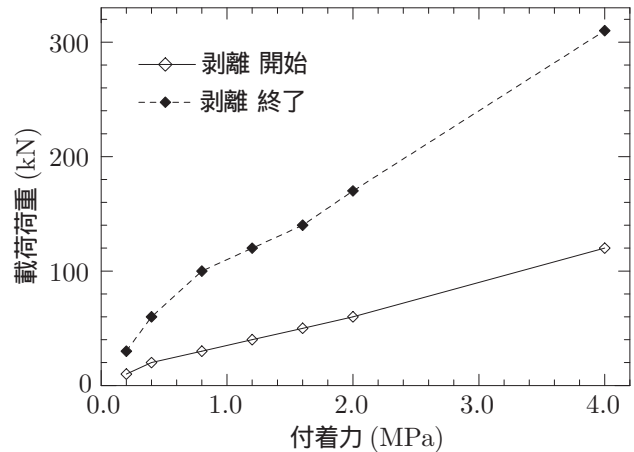


図-3 左側スパンでの剥離の開始・終了の荷重

### (2) スタッドの剛性を表す係数 $\alpha$ の影響

スタッドの剛性を表す係数  $\alpha$  を 4, 13.5, 27 としたときの荷重 300kN でのずれ変位を図-4 に示す。 $\alpha$  の値が大きくなれば、スタッドの剛性が高くなるため、ずれ変位が小さくなっている。係数  $\alpha$  とその  $\alpha$  のモデルにおけるずれ変位の最大値との関係は図-5 のようになり、その変化率は  $\alpha$  が大きくなるにつれて小さくなる。ずれ変位の最大値を  $\alpha = 4$  のモデルと比較すると、9 のモデルは約 71%、13.5 のモデルは約 61%、20 のモデルは約 53%、27 のモデルは約 48% となっている。

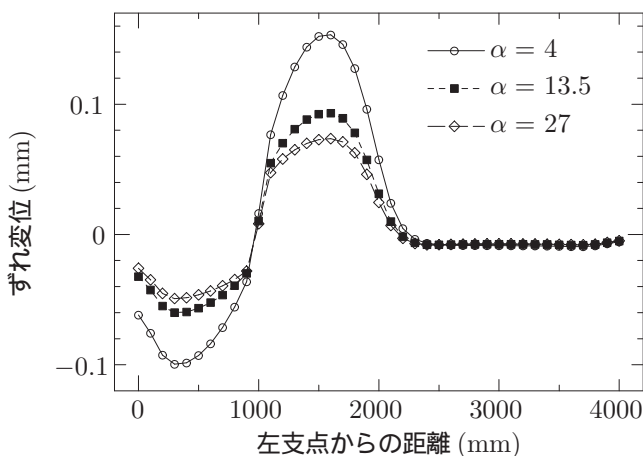


図-4 荷重 300kN でのずれ変位

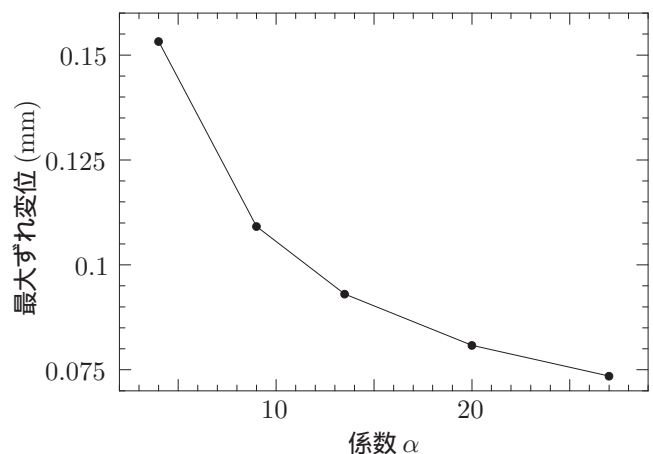


図-5 荷重 300kN でのずれ変位の最大値

### 参考文献

- 1) Ollgaard, J.G., Slutter, R.G. and Fisher, J.W.: Shear strength of stud connectors in lightweight and normal-weight concrete, *AISC Engineering Journal*, pp.55-64, 1971.
- 2) 中島章典, 浅井貴幸, 斉木 功: 連続合成桁の弾塑性挙動についての実験と数値解析の比較, *鋼構造論文集*, Vol.10, No.40, pp.77-82, 2003.