

ずれ止めの力学特性評価における境界条件の影響に関する一考察

東北大学大学院工学研究科	正員	斉木 功
株式会社 IHI インフラシステム	正員	瀬戸川敦
東北工業大学工学部	正員	山田真幸
東北大学大学院工学研究科	正員	岩熊哲夫

1. はじめに

鋼コンクリート合成桁をはじめとする合成部材に用いられるずれ止めの力学特性は、一般的に押抜きせん断試験によって行われている。しかし、押抜きせん断試験は試験方法、すなわち境界条件の違いが試験結果に影響を及ぼすことも指摘されている¹⁾。実際の合成桁と同様の境界条件を、要素試験である押抜きせん断試験において実現することは困難である。そこで、合成桁中のずれ止めの変形状態を忠実に再現できる数値モデルを開発することを本研究の目的とする。

2. 解析手法

周期性を有するはりを対象とし、著者らの提案する Timoshenko 梁の平均物性評価手法²⁾に従い、合成桁をモデル化する。この方法では、周期境界上の対応する点に、平均せん断ひずみと代表体積要素長さ、すなわち周期ベクトルのノルムから決定される軸直角方向の相対変位を与えることによりせん断変形が与えられる。さらに、相対変位のみを与えた場合、代表体積要素は変形せず剛体回転してしまうため、断面の回転の平均を代表体積要素の回転とし、これを拘束することで剛体回転を拘束する。

本解析では、鋼とコンクリートのような異種材料界面に生じるずれや剥離を考慮するために接触解析を行った。合成部材の異種材料は初期状態で接触しており、ずれによって生じる相対変位も微小であることから、節点間接触を採用した。接触解析には penalty 法を用い、界面における接触力は弾塑性 penalty ばねによって伝達される。摩擦には Coulomb 摩擦則を用いることとし、摩擦係数 μ により

$$f_t = \mu \langle -f_n \rangle \quad (1)$$

と表されるとする。ここに $\langle \bullet \rangle$ は ramp 関数である。接触力の更新には return mapping 法を用いた。

3. 解析モデルと結果

弾塑性解析のための材料モデルについては、鋼材には von Mises の降伏基準を用い弾完全塑性とし、コン

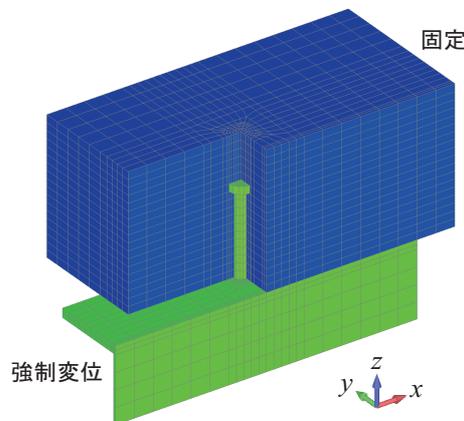


図-1 押抜きせん断試験の解析モデル

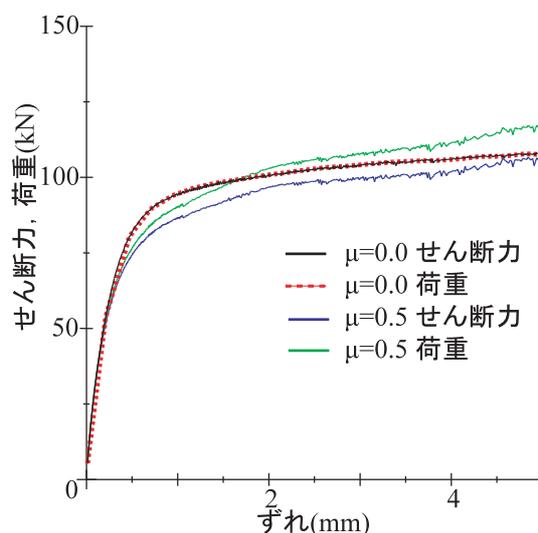


図-2 押し抜きせん断試験モデルのせん断力-ずれ変位、荷重-ずれ変位関係

リートには Drucker-Prager の破壊基準を用いた。

軸径 19mm、全高 120mm のスタッドを用いた押抜きせん断試験を模擬した解析モデルを図-1に示す。一般的に行われている押抜きせん断試験³⁾と同程度のプロポーションとし、対称性により 1/4 解析としている。実際の試験と同様に、コンクリートブロックを固定し、鋼材先端に変位を与えることで界面に沿ったせん断力を使用させた。

押し抜き試験モデルで得られたせん断力-ずれ関係、荷重-ずれ関係を図-2に示す。ここで「ずれ」は実験

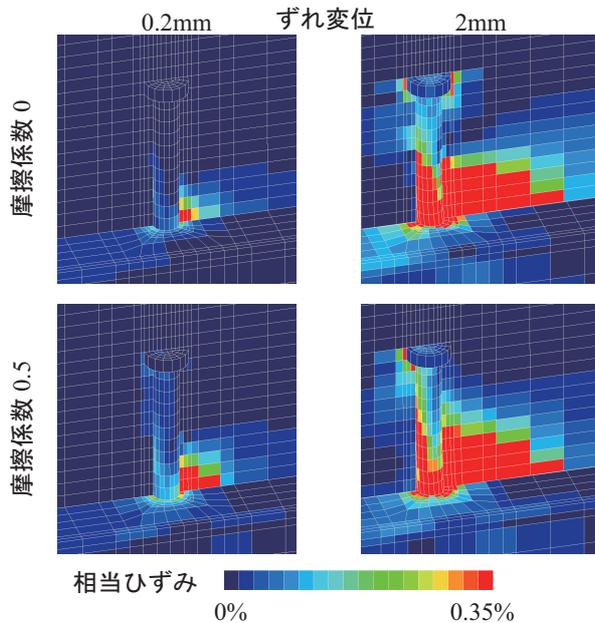


図-3 スタッドの変形とひずみ分布

で計測するずれと対応するように、押し抜き方向に垂直で、かつスタッドの中心軸を含む面と鋼材・コンクリートブロック界面の交線の鋼材の端の位置における相対変位とした。また、「せん断力」はスタッド表面に生じる押し抜き方向の接触力の総和、「荷重」は強制変位を与える鋼材端に生じる反力の総和とする。

摩擦係数 $\mu = 0$ のケースでは荷重とせん断力が一致するが、 $\mu = 0.5$ のケースでは荷重とせん断力の間には13.7%の差が生じた。また、 $\mu = 0.5$ のせん断力は、 $\mu = 0$ のせん断力と比較すると最大で9.20%小さい。摩擦によってスタッドに作用するせん断力が低減されていることが分かる。また、 $\mu = 0.5$ のケースではずれが1.6mmまでの範囲における荷重が $\mu = 0$ に比べて低下している。両ケースにおけるずれ変位0.2mmおよび2mmのときのスタッド周辺の変形の様子を図-3に示す。図中には相当ひずみ（ここでは、比例載荷であることを考慮し、偏差全ひずみの第2不変量の $\sqrt{3}$ 倍とした）を示した。摩擦が存在することによって、スタッドおよび周辺のコンクリートの変形が大きくなっており、これが荷重の低下をもたらしていると思われる。

次に、合成桁を模擬した解析モデルを図-4に示す。押抜きせん断試験のモデルと同じ寸法のスタッドを用い、単純I型合成桁の設計例⁴⁾に準じた断面とし、対称性により半解析としている。全断面の剛体回転を拘束しつつ、周期長(300mm)離れた2断面に対して、鉛直方向の相対変位を与え、せん断変形を与えた。

$\mu = 0$ としたときの押抜きせん断モデルと合成桁モ

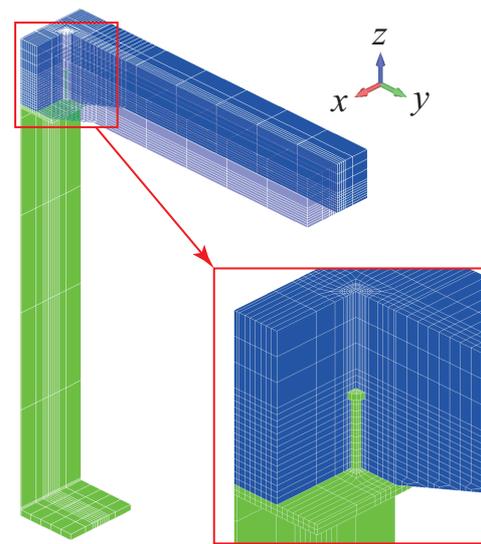


図-4 合成桁の解析モデル

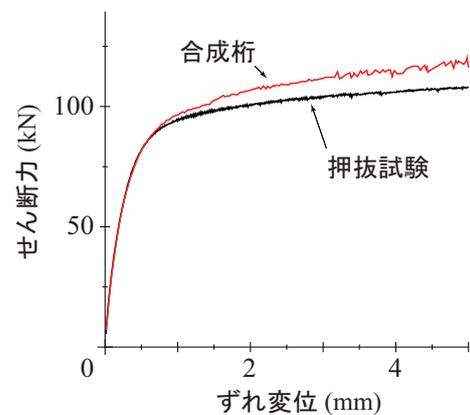


図-5 合成桁と押抜き試験のせん断力-ずれ変位関係

デルによって得られたスタッドのせん断力-ずれ変位関係を図-5に示す。両モデルを比較すると、ずれ変位が0.5mm程度と小さい範囲では差は見られないが、ずれ変位が1mmより大きな範囲では合成桁モデルのスタッドの方が押抜き試験モデルのスタッドよりも最大で7%ほど大きなせん断力を負担している。変形がある程度大きくなり非線形性が表れると、スタッドに作用するせん断力におよぼす両モデルの境界条件の影響が表れてくるという結果となった。

参考文献

- 1) 島 弘：頭付きスタッドのせん断力とずれ変位およびスタッド軸方向挙動との関係に及ぼす試験方法の影響，土木学会論文集A1, Vol.67, No.2, pp.307-319, 2011.
- 2) 斉木 功，鏝 一彰，山田真幸，瀬戸川敦，岩熊哲夫：非均質なTimoshenko梁の平均物性評価，土木学会論文集A2, Vol.68, No.2, pp.L161-L169, 2012.
- 3) 日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)，JSSCテクニカルレポート, No35, 1996
- 4) 菊池洋一，笹戸松二：橋梁設計例(第5版)，オーム社, 1985.