

# 合成部材の非線形せん断特性の数値的評価

瀬戸川 敦

構造強度学研究室

2014年2月12日

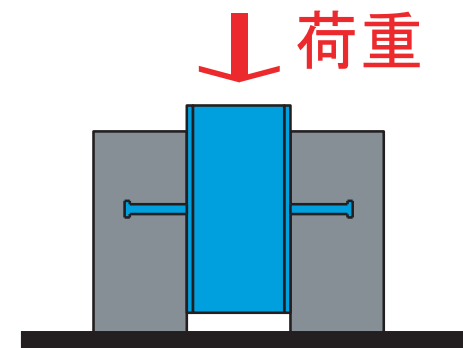
# 背景

- 橋梁における鋼 - コンクリート合成構造
  - 長スパン化，少数主桁化を可能にする
  - ずれ止めによる材料の一体化が必要となる
- ずれ止め
  - 適切にモデル化することが望ましいが  
構造物全体に対して非常に小さい上に数が多い
  - 全体解析で陽にモデル化するのは計算負荷が大きい
  - 平均物性評価を行なって等価なバネと置き換える
- スタッド (ずれ止め) の物性評価手法
  - 押し抜きせん断試験      境界条件を再現できない
  - 数値解析      モデルが構築できれば条件を理想的に再現可能



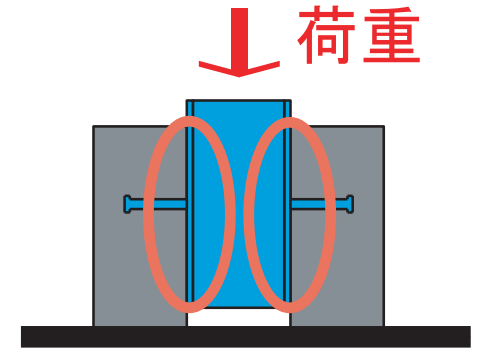
## 押し抜き試験

- スタッドの物性評価手法として一般的な手法で多くの実験結果が存在する
- スタッドのせん断耐力算定式は押し抜き試験の結果に基づいている
  - 道路橋示方書などは山本・中村の試験結果 (1961) よる耐力式
  - 複合構造標準示方書などでは平城らの耐力式 (1989) を採用
- どの程度再現できているのか
  - 鋼材とコンクリートブロックの間の摩擦力を含んでいる
  - コンクリートブロックの支持条件によって結果が異なる (島 (2011))



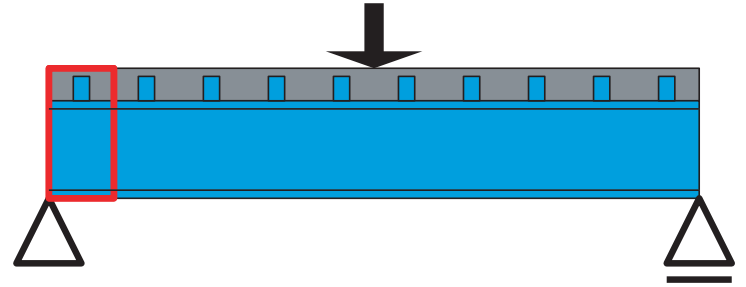
## 押し抜き試験

- スタッドの物性評価手法として一般的な手法で多くの実験結果が存在する
- スタッドのせん断耐力算定式は押し抜き試験の結果に基づいている
  - 道路橋示方書などは山本・中村の試験結果 (1961) よる耐力式
  - 複合構造標準示方書などでは平城らの耐力式 (1989) を採用
- どの程度再現できているのか
  - 鋼材とコンクリートブロックの間の摩擦力を含んでいる
  - コンクリートブロックの支持条件によって結果が異なる (島 (2011))



## 数値解析

- 実構造物中の条件を再現できる
- 合成桁は周期性を有している
- 周期性を有する構造の平均物性評価
  - 多くが鉛直方向のせん断を考慮していない
  - せん断を考慮するが界面の接触や材料の弾塑性を考慮していない線形解析

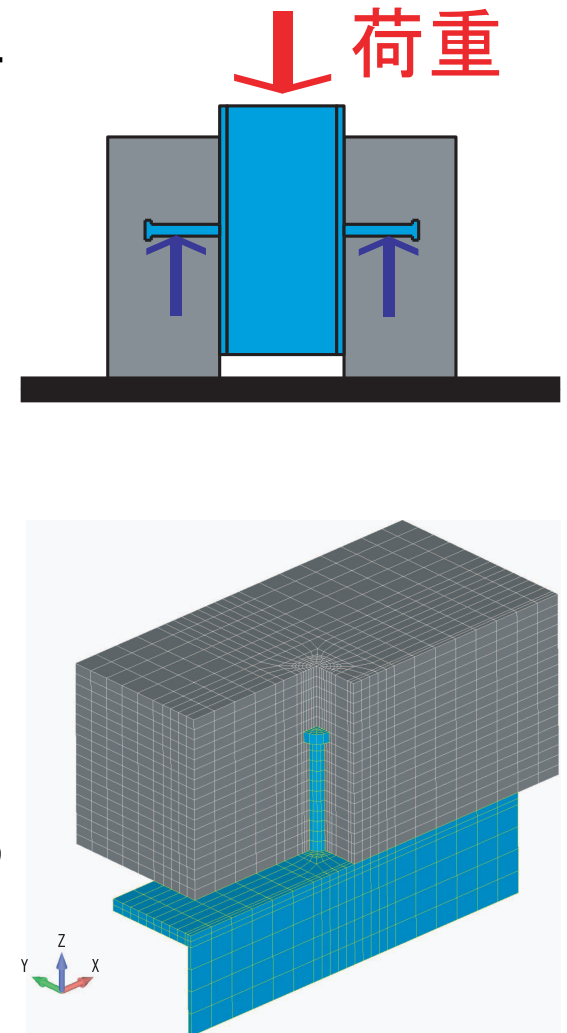


## 本研究の目標

合成桁のスタッドの変形を忠実に再現可能な接触・弾塑性を考慮した周期境界条件を構築し、ずれ止めの正確な非線形せん断特性評価を行う

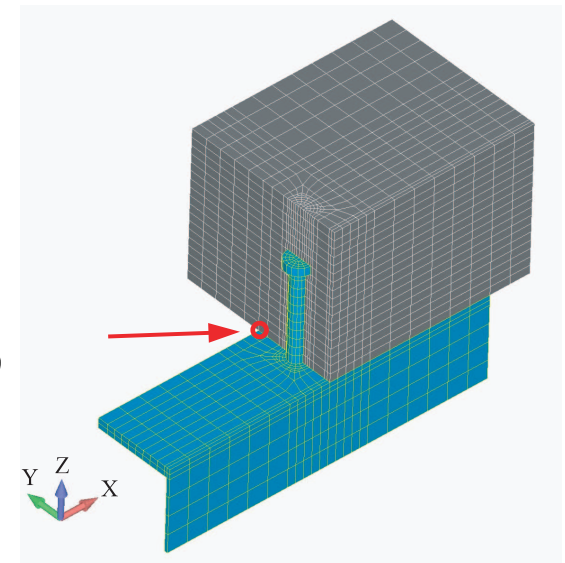
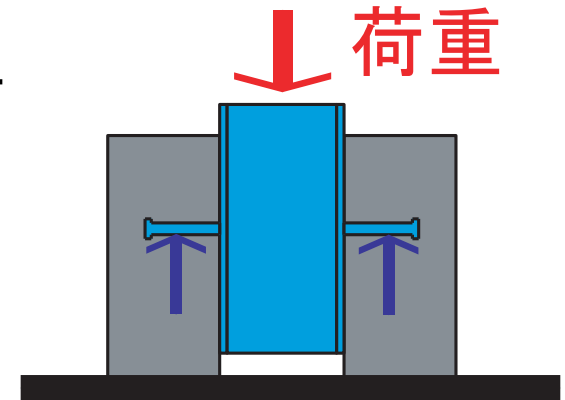
# 押し抜き試験モデル

- 周期境界条件による解析に先立ち，比較対象として押し抜き試験をモデル化
- 日本鋼構造協会の試験方法 (案) に準じたものの
- 対称性から解析モデルは 1/4 解析とした
- 通常は「荷重」をスタッドをせん断する力とする
- 「ずれ」は鋼材とコンクリートブロックの相対変位



# 押し抜き試験モデル

- 周期境界条件による解析に先立ち，比較対象として押し抜き試験をモデル化
- 日本鋼構造協会の試験方法 (案) に準じたもの
- 対称性から解析モデルは 1/4 解析とした
- 通常は「荷重」をスタッドをせん断する力とする
- 「ずれ」は鋼材とコンクリートブロックの相対変位



## 材料モデル

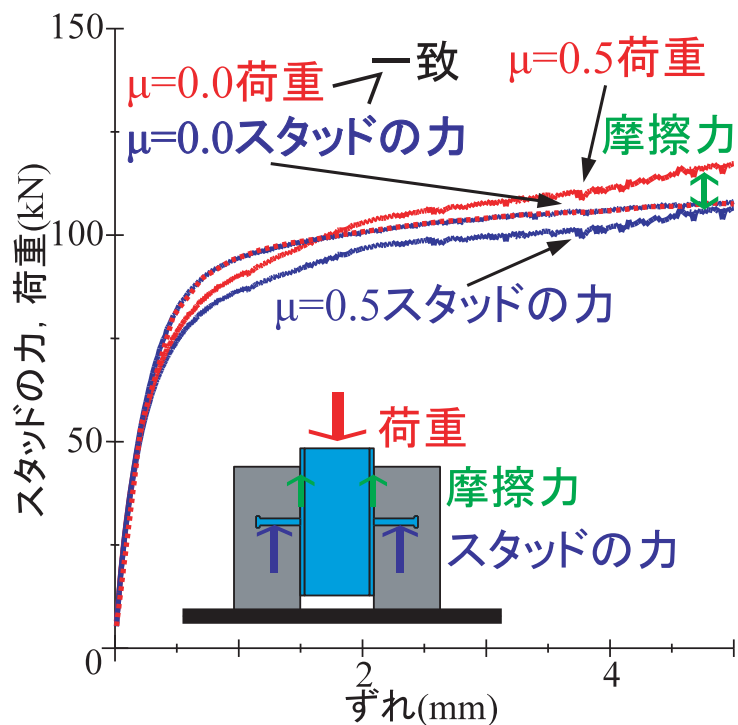
- 材料は共に弾塑性としてモデル化
  - 鋼材とスタッドは von-Mises の降伏基準．弾完全塑性
  - コンクリートは Drucker-Prager の破壊基準
- 流れ則は関連流れ則

## 接触解析

- 節点間接触を用いる
- 摩擦は Coulomb 摩擦を適用する
- 付着は考慮しない



# 押し抜き試験の解析結果



鋼材とコンクリートブロックの間には摩擦力が存在する

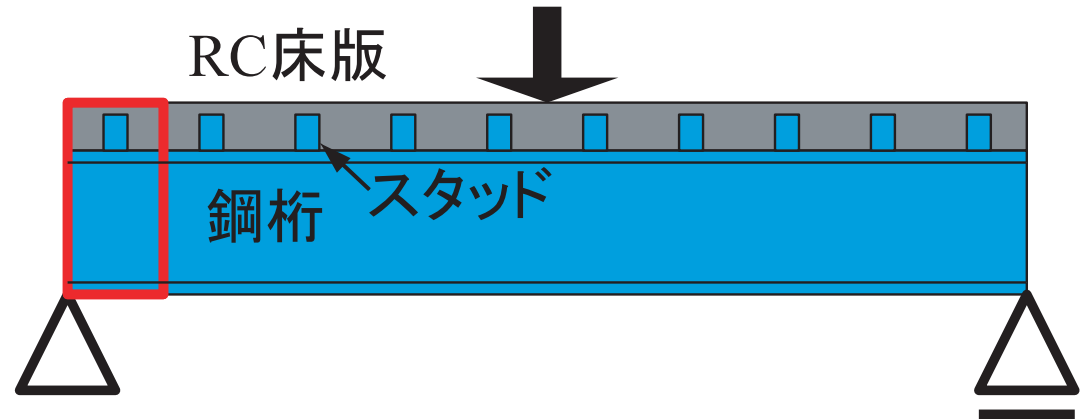
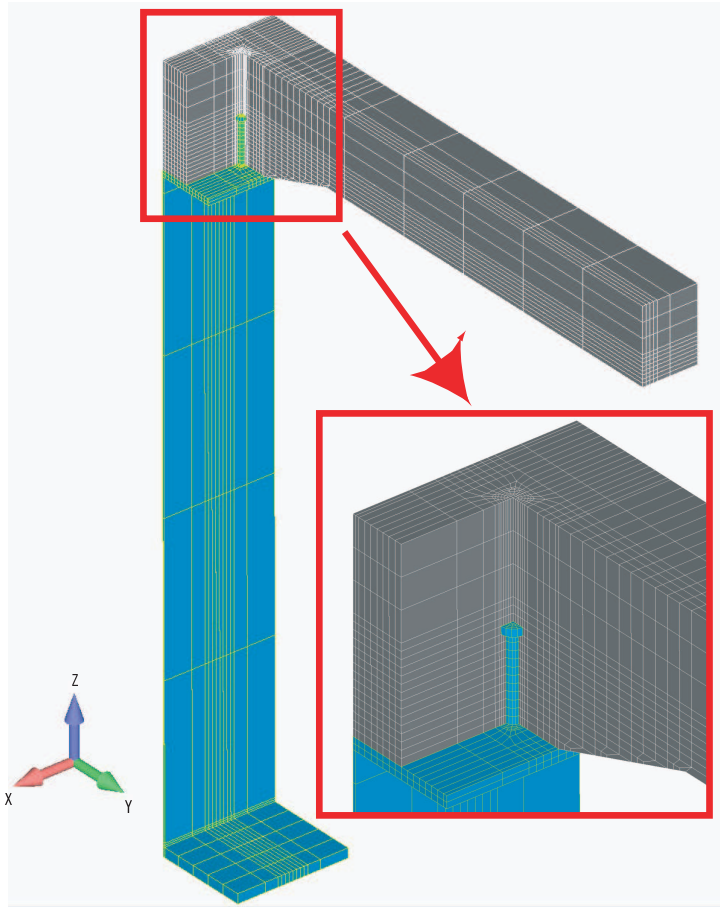
荷重には摩擦力が含まれている

- スタッドの力  
：スタッドをせん断する力
- 荷重：スタッドの力 + 摩擦力

- 摩擦を考慮しない時 ( $\mu = 0.0$ ) は一致するが摩擦を考慮すると ( $\mu = 0.5$ ) 最大で 14% もの差が生じる

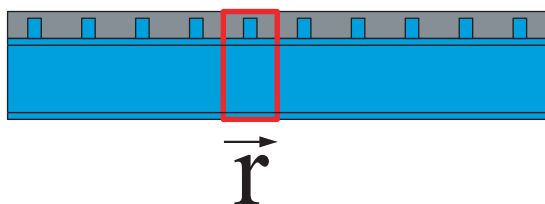
スタッドの特性評価に荷重を使うのは不適切

# 合成桁モデル



- 周期境界条件を適用して，純せん断状態を再現する
- 橋軸 - 鉛直面で対称なので半解析
- 材料や接触に関しては押し抜き試験モデルと同じ
- スタッドは同一のもの

# 周期境界条件によるせん断変形



- 一方向の周期性を有する梁を対象とする
- 橋軸 - 鉛直面内のせん断を考える

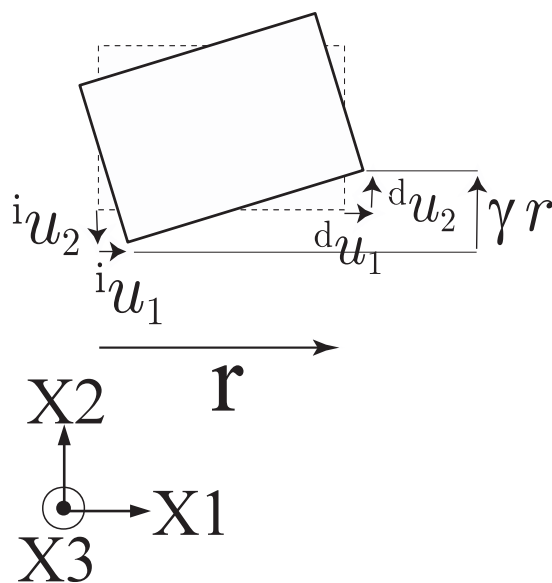
$${}^d\mathbf{x} - {}^i\mathbf{x} = \begin{Bmatrix} r & 0 & 0 \end{Bmatrix}^T$$

を満たす節点ペア  $i$  と  $d$  に対して

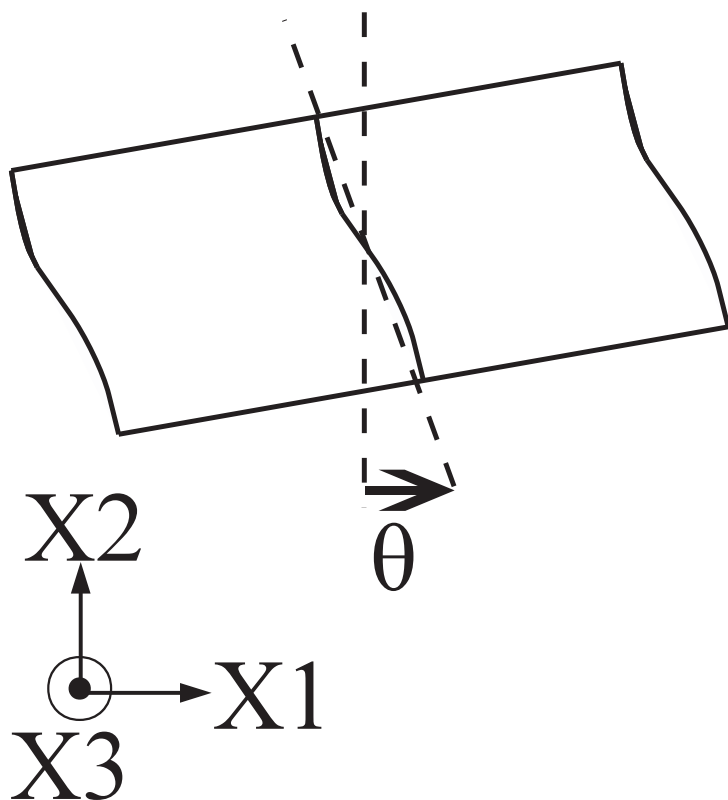
$${}^d\mathbf{u} - {}^i\mathbf{u} = \begin{Bmatrix} 0 & \gamma r & 0 \end{Bmatrix}^T$$

と相対変位を与える

- 相対変位だけでは剛体回転してしまう



# 剛体回転の拘束



- 断面の回転  $\theta$  の平均をゼロにする

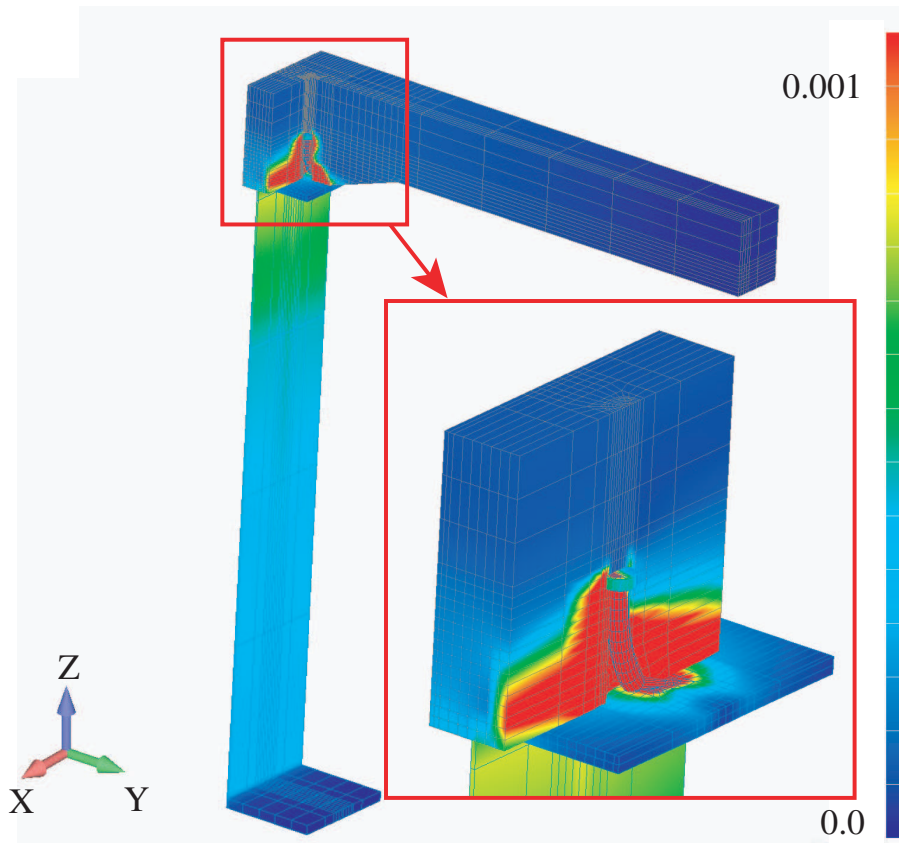
$$g := \frac{1}{r} \int_{-r/2}^{r/2} \theta(x_1) dx_1 = 0$$

- $\theta$  は断面上の節点の変位を最小二乗近似した面の傾きとする
- 原点が図心であり，断面が一定であるとすると

$$g = \frac{1}{rI} \int_V x_2 u_1 dV = 0$$

が拘束条件式となる

# 合成桁モデル解析結果

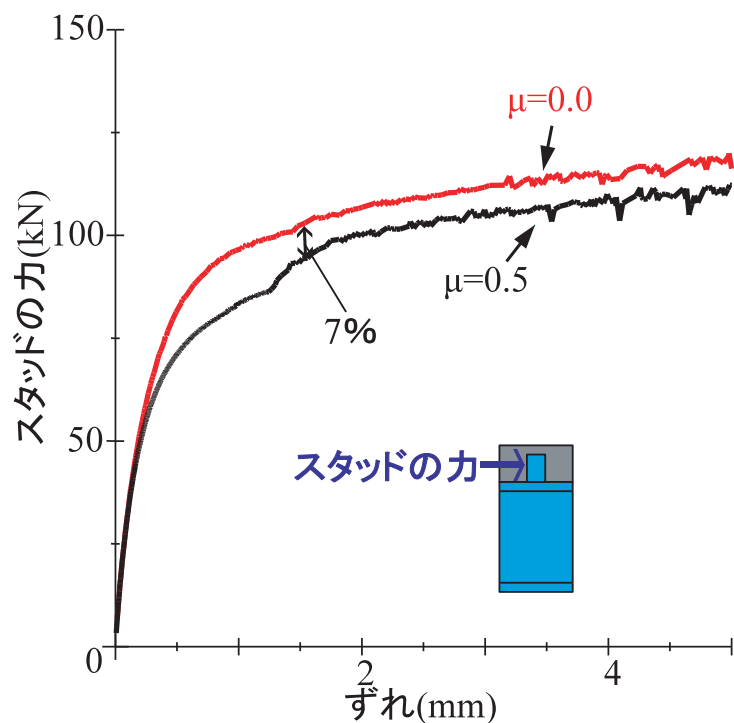


- 周期性とずれが再現されている
- スタッ드의基部に大きなひずみ
- ウェブにもひずみ

J2 ひずみ分布

(ずれ 2mm , 変形倍率 10 倍)

# 合成桁モデルにおける摩擦の影響

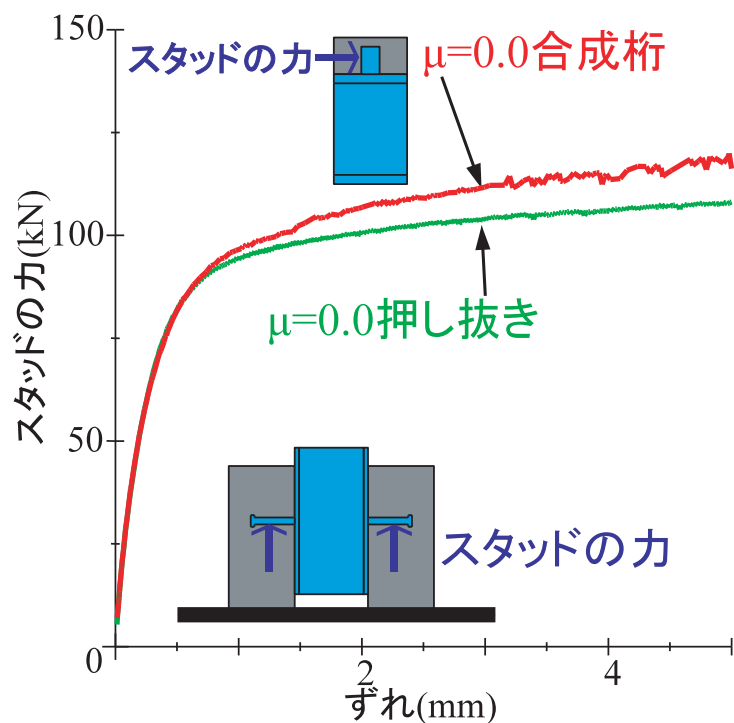


- ずれ：上フランジとRC床版の相対変位
- スタッドの力：スタッドをせん断する力

- 摩擦を考慮しない時 ( $\mu = 0.0$ ) と摩擦を考慮する時 ( $\mu = 0.5$ ) で 7% もの差が生じた

正確な予測をするには摩擦を適切に考慮する必要がある

# 境界条件による差

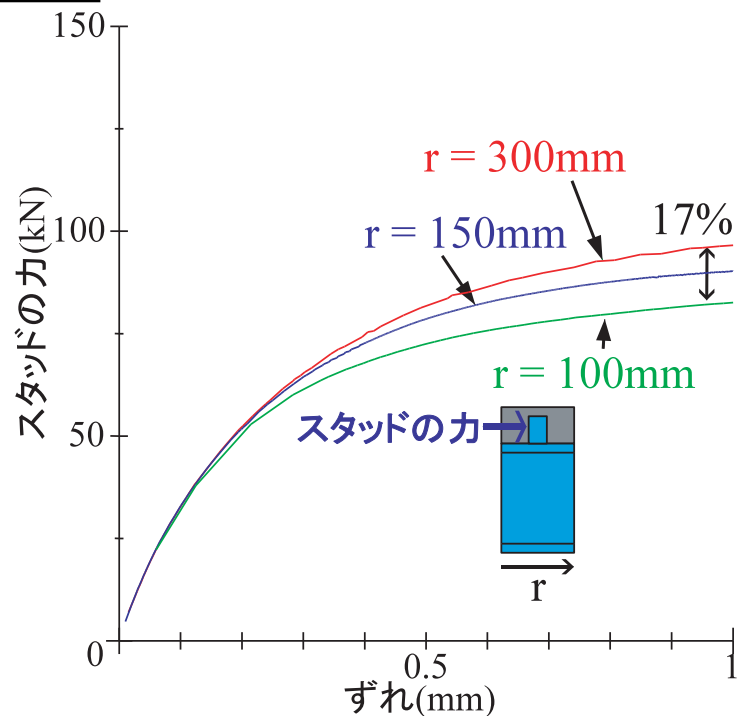


- ずれ：上フランジ (鋼材) と RC 床版 (コンクリートブロック) の相対変位
- スタッドの力：スタッドをせん断する力

- 合成桁モデルと押し抜き試験モデルの間で摩擦が無い場合 ( $\mu = 0.0$ ) でも 7% の差

押し抜き試験では合成桁中のスタッドの変形状態が再現できていない

# スタッド間隔の影響



## スタッド間隔（周期長）の影響

- スタッド間隔によってスタッド一本あたりの力が異なる

100mm 以上なら間隔によらず同じ力を受け持つとする示方書は適切でない



## まとめ

- 合成桁中のスタッドの変形を忠実に再現可能な接触・弾塑性を考慮した周期境界条件を用いた数値解析手法構築した。
- 構築した周期境界条件による合成桁中のスタッドの挙動を押し抜き試験と比較し、境界条件の影響について検討した。
- 摩擦やスタッド間隔が合成桁中のスタッドの力に及ぼす影響について検討した。

# 境界条件による差

