

鋼コンクリート界面における接触を考慮した 合成桁の数値的性能評価

構造強度学研究室

鎧 一彰

2013年2月13日

研究背景

鋼コンクリート合成桁

…ずれ止めにより鋼桁とコンクリート床版を接合

(ずれ止めの大きさ) $\ll$ (構造全体の大きさ)



ずれ止め周辺の接触を考慮した
全体解析を行うことは計算負荷の面から難しい



押し抜き試験などで平均的な力学特性を評価

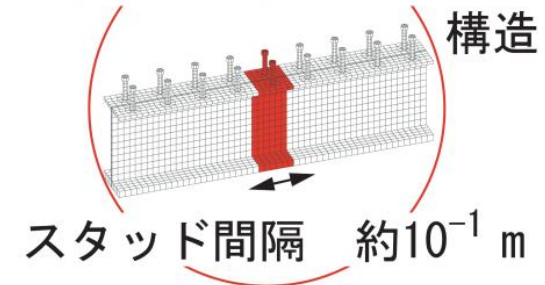


評価した平均的な力学特性を持つ
単純な梁要素としてモデル化し全体解析を行う

構造全体

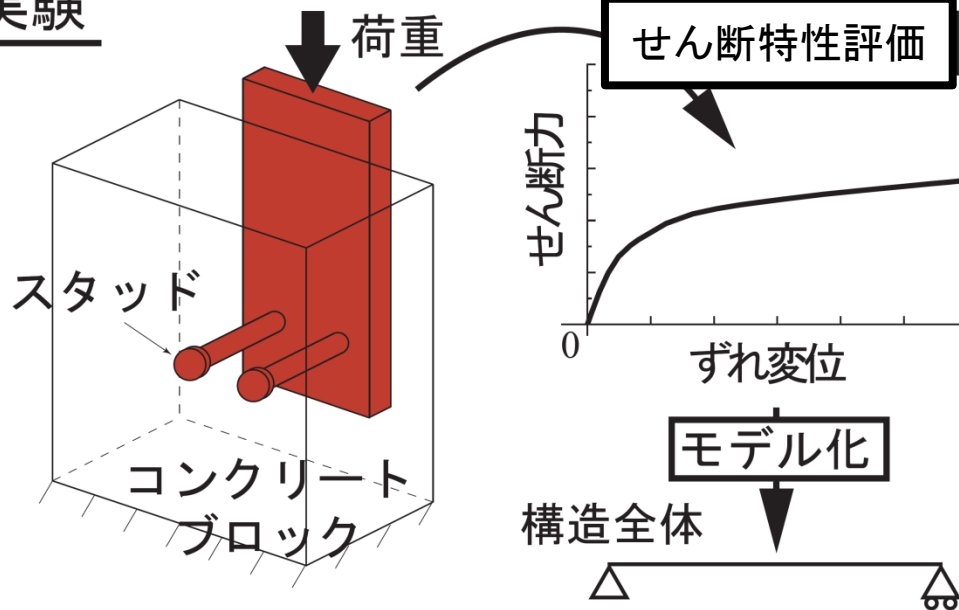


異種材料一体化のための構造

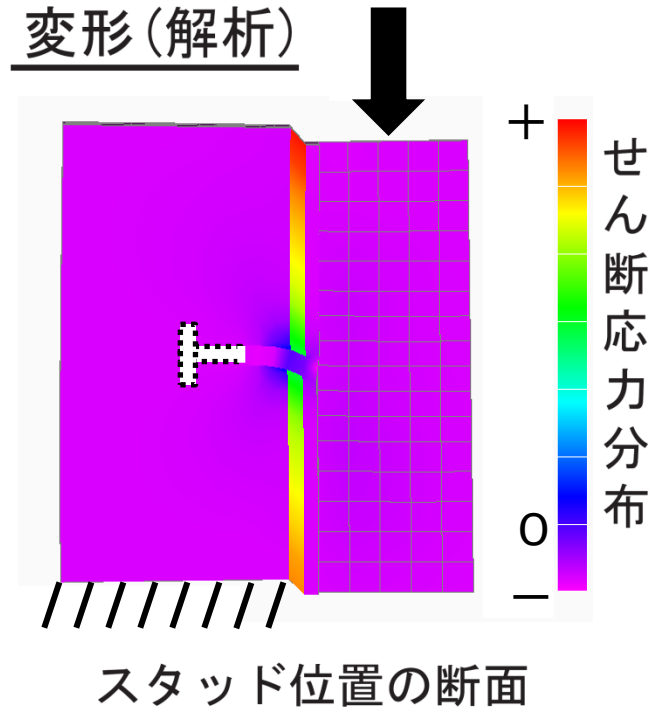


押し抜き試験

実験



変形(解析)



実際の桁では観察されない曲げモーメントが発生(境界条件が不適切)

実験の改善が試みられている(島ら)が難しい



数値解析による力学特性の評価が求められている

過去の研究(押し抜き試験のモデル化)

- 鋼コンクリート界面における接触 : Coulomb摩擦

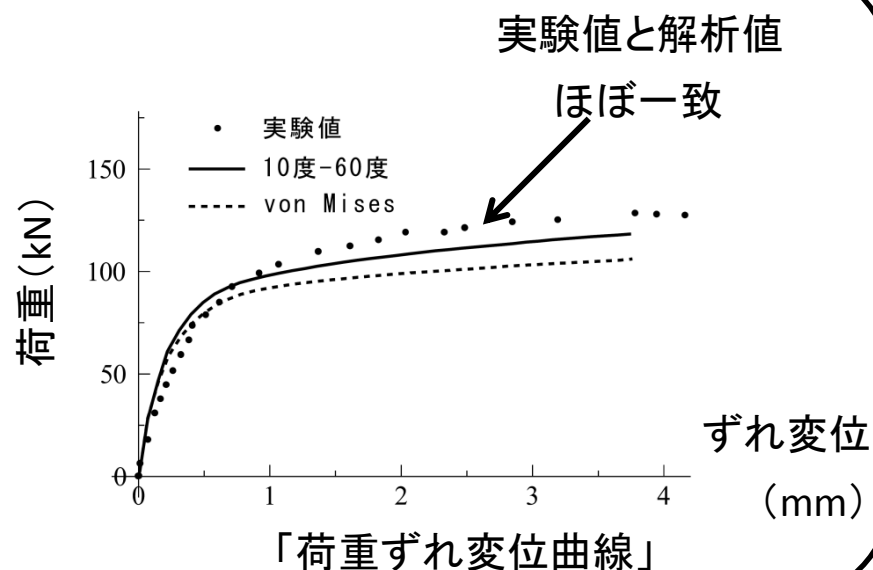
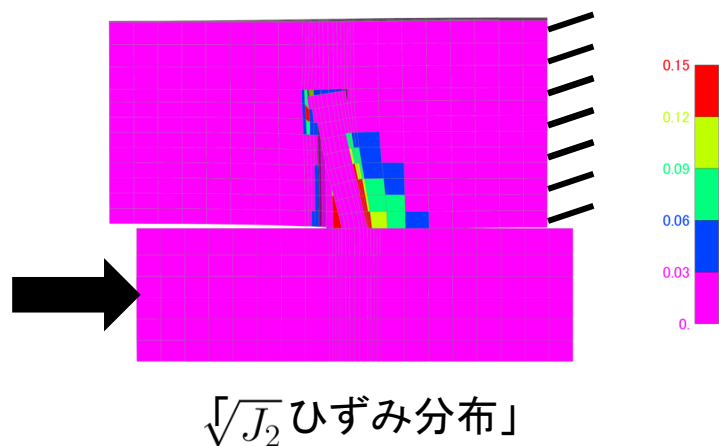
- 材料モデル

鋼材 : von Misesの降伏条件

コンクリート : von Mises (Lamら)の降伏条件

Druker Prager (田中ら)の降伏条件

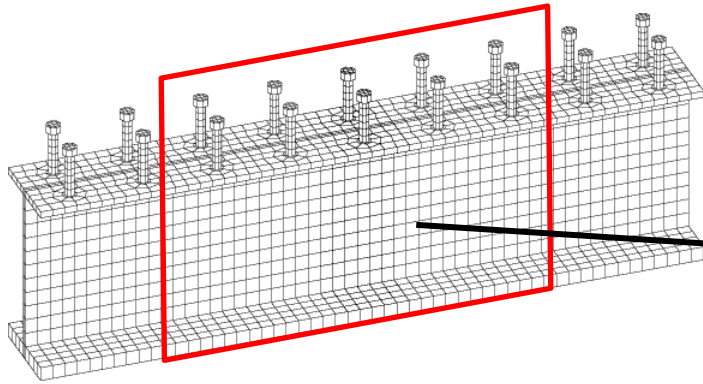
押し抜き試験の解析



提案されたモデル化によって, 押し抜き試験の再現が可能

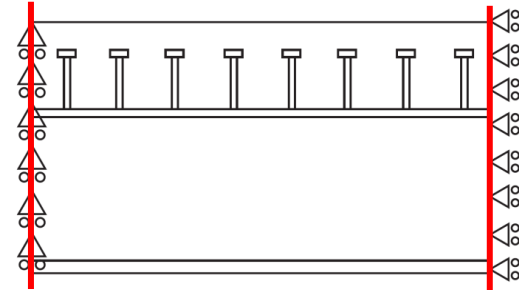
過去の研究(実構造物を模擬した解析)

実構造物の模擬(田中ら)

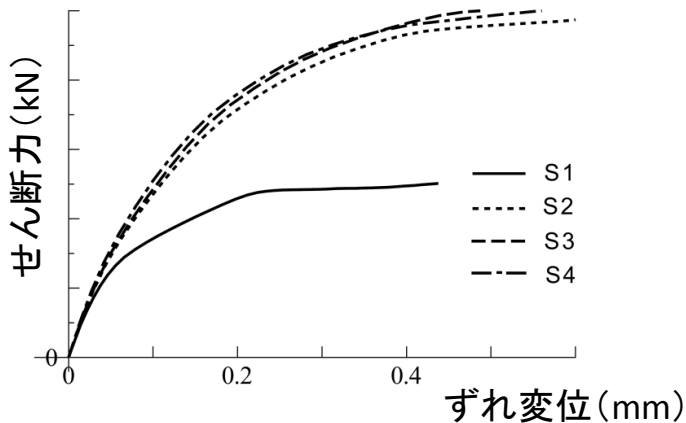


境界条件

S4 S3 S2 S1



強制変位



スタッド位置によって

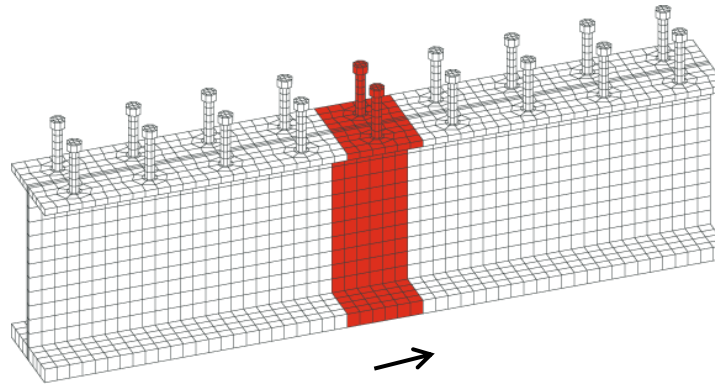
- 荷重ずれ変位曲線
- 曲げモーメント

が異なる



位置によって異なる曲げモーメントの影響を受けない解析が必要

均質化法による梁の平均物性評価



一次元的な周期性を持つ梁

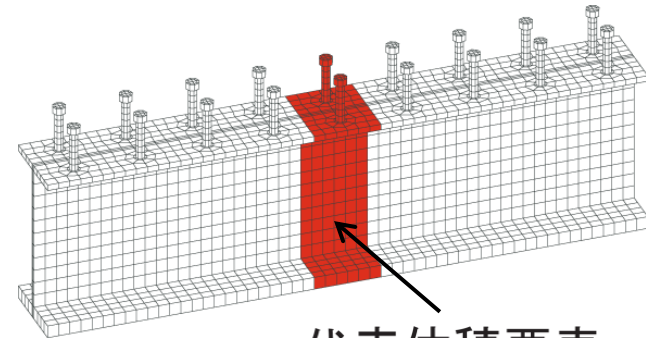
周期的に繰り返される微視構造の平均物性評価には均質化法が適しており、様々な提案がなされている

- 周期構造を有する「梁」に対する漸近展開法の適用. (寺田, 京谷ら)
- 骨組で構成される平面セルを平板としてモデル化する一般化収束論に基づくマルチスケール解析. (齊木ら)

いずれもせん断変形を考慮していない

卒業論文で提案した解析手法

一次元的な周期性を考慮し、
梁の変形を代表体積要素の相対変位として与える



軸変形

梁軸方向の相対変位 = (軸ひずみ) (長さ)

曲げ変形

梁軸方向の相対変位 = (曲率) (高さ) (長さ)

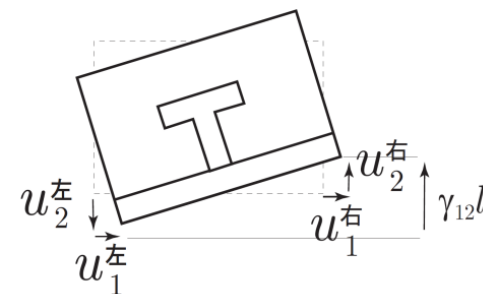
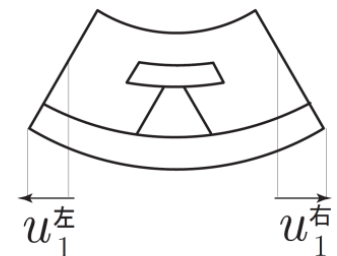
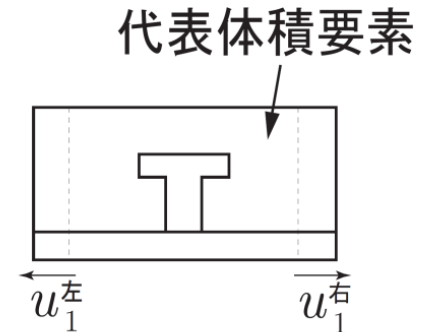
せん断変形

鉛直方向の相対変位 = (せん断ひずみ) (長さ)

⇒ 相対変位のみ与えると代表体積要素は剛体回転

⇒ 剛体回転の拘束が必要 (卒論にて解決済)

$$\frac{1}{(\text{長さ})} \int_{\text{左}}^{\text{右}} (\text{断面の回転角}) dx_{(\text{はり軸})} = 0$$

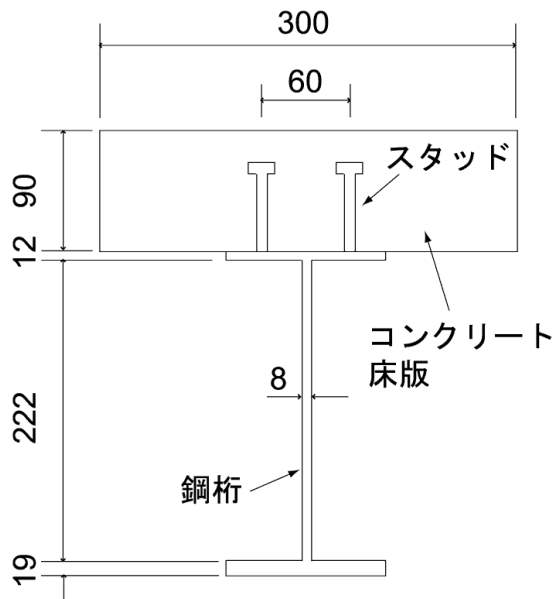


位置によって異なる曲げモーメントの影響を受けない解析が可能に

合成桁の力学特性の評価

荷重ずれ変位曲線を本手法による解析と押し抜き試験の解析によりそれぞれ求める

断面図



- スタッド： 直径 13mm
高さ 70mm
- スタッド間隔：
橋軸方向 100mm
橋軸直角方向 60mm

有限要素解析

- 汎用ソフト NX Nastran を使用
- 要素は8節点ソリッド要素
- 鋼コンクリート界面における接触を Coulomb 摩擦(摩擦係数=0.2)とする
(ただし, スタッド基部の応力集中部における接触は考慮しないものとする.)

材料特性

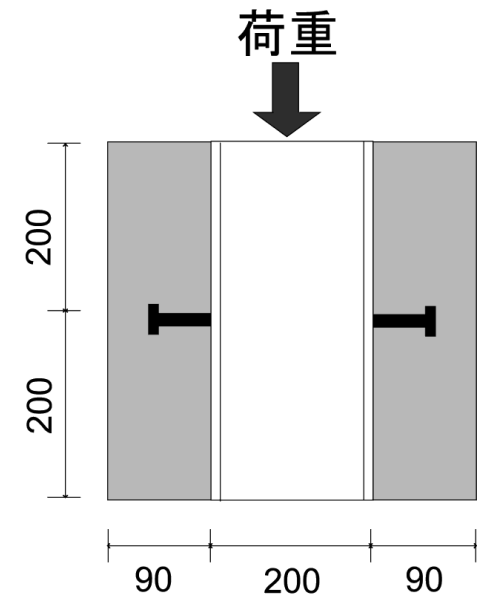
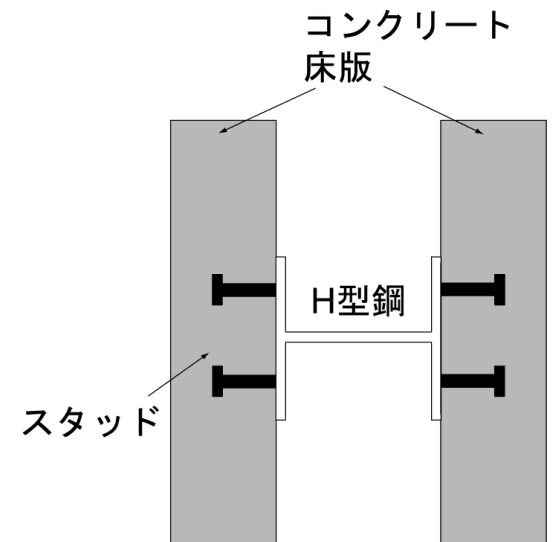
鋼材, コンクリート：
完全弾塑性, von Mises の降伏基準

押し抜き試験の解析(解析モデル)

- 合成桁中の一対のスタッドを取り出した
押し抜き試験の有限要素解析を行った
- スタッド形状, 材料定数, 摩擦など
合成桁と同条件とする

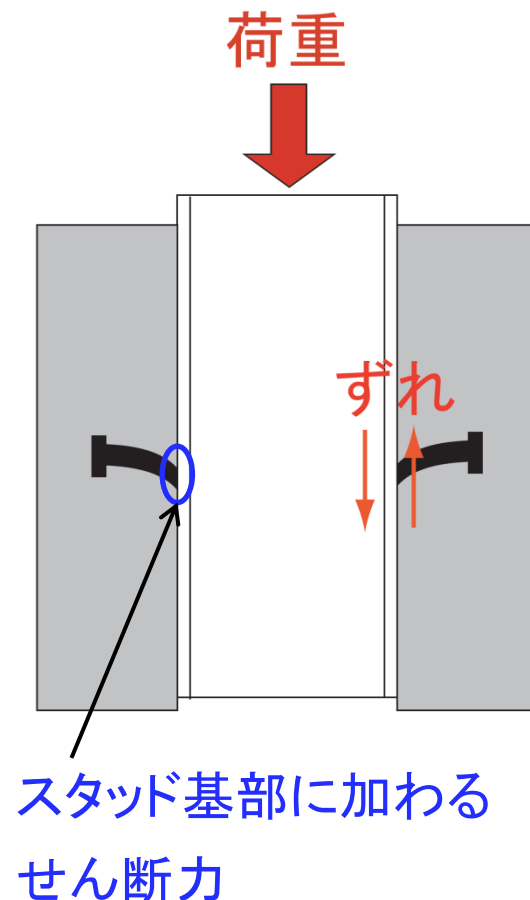
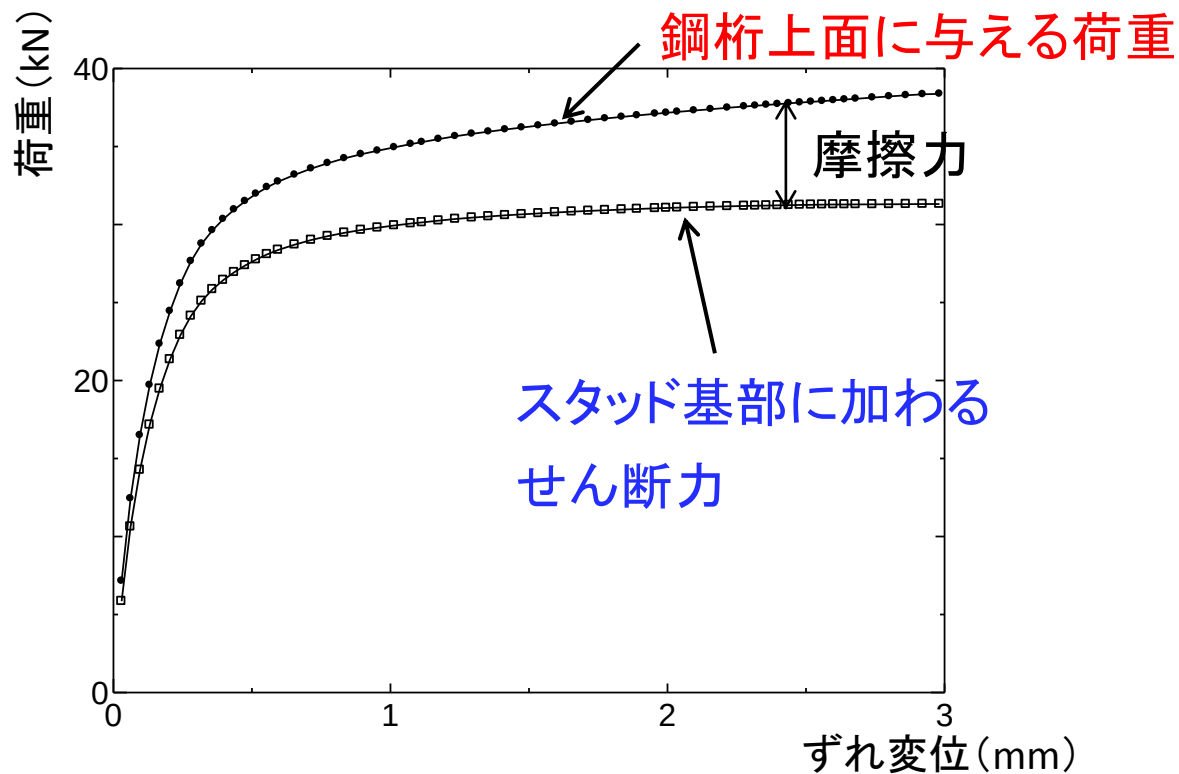
有限要素モデル

- 要素数19400, 節点数22769
- コンクリート下面を固定
- 鋼桁の上面に強制変位4mmを
100ステップで載荷
- 対称性により1/4解析とする



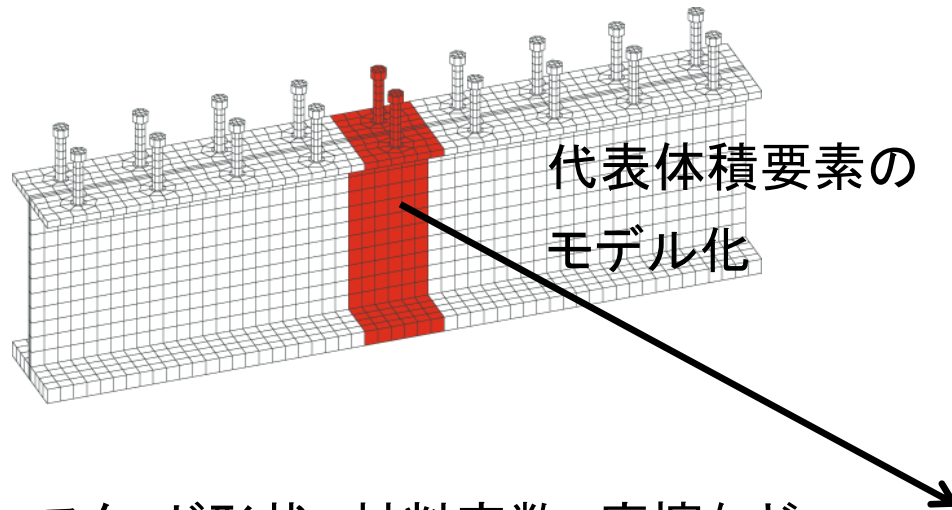
押し抜き試験方法(案)による
日本鋼構造協会

押し抜き試験の解析(荷重ずれ変位曲線)

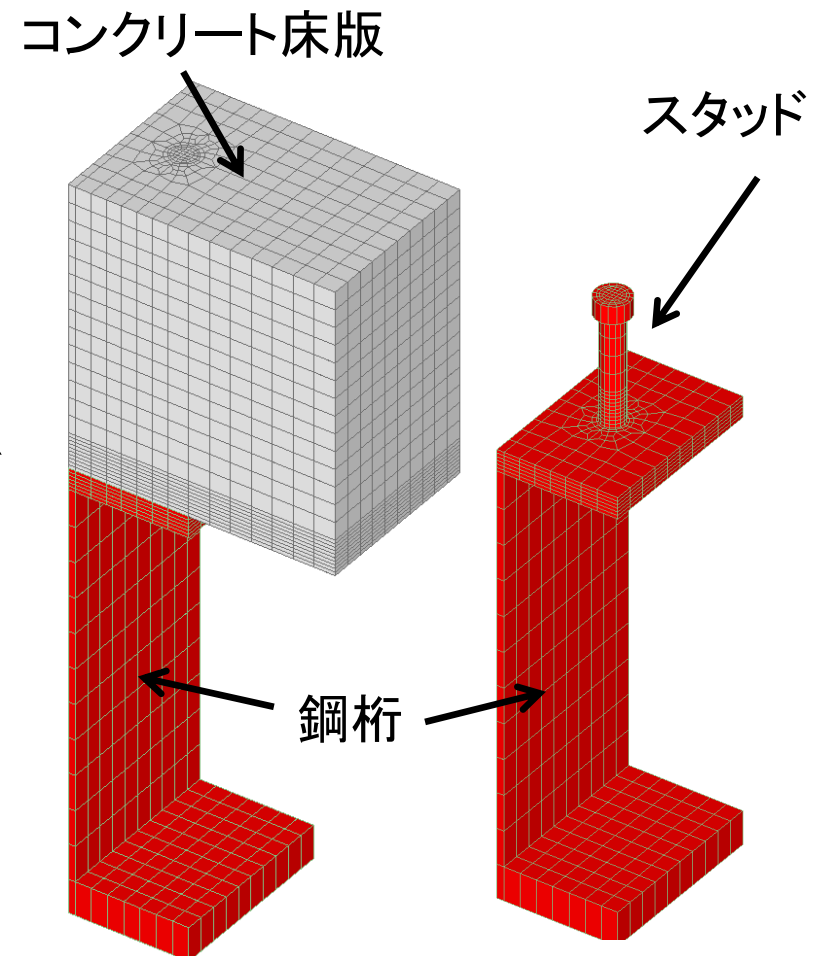


- 現行の押し抜き試験では、**鋼桁上面に与える荷重**を測定し**スタッドが受け持つせん断力**とし等しいとしている。
- しかし、解析を行ったところ、押し抜き試験で測定している**荷重**には、スタッドが受け持つせん断力だけでなく、鋼桁とコンクリート床版の**摩擦力が20%程度含まれている**ことがわかった

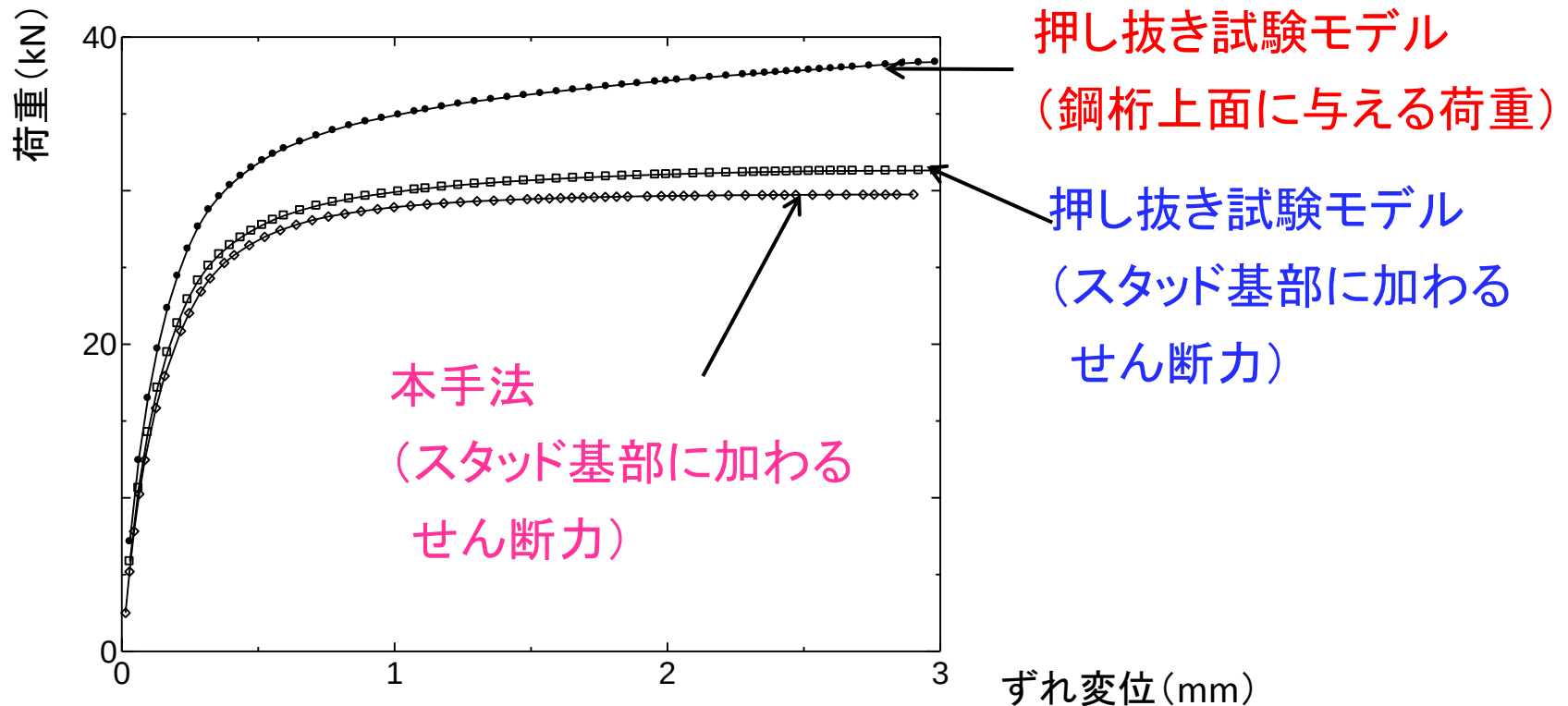
本手法による合成桁の解析(解析モデル)



- スタッド形状, 材料定数, 摩擦など
押し抜き試験と同条件
- 要素数 7154, 節点数 8887
(メッシュ形状も押し抜き試験と同じ)
- 周期性を考慮し, せん断変形を
代表体積要素の相対変位として与える
- 対称性により半解析とする



本手法による合成桁の解析(荷重ずれ変位曲線)



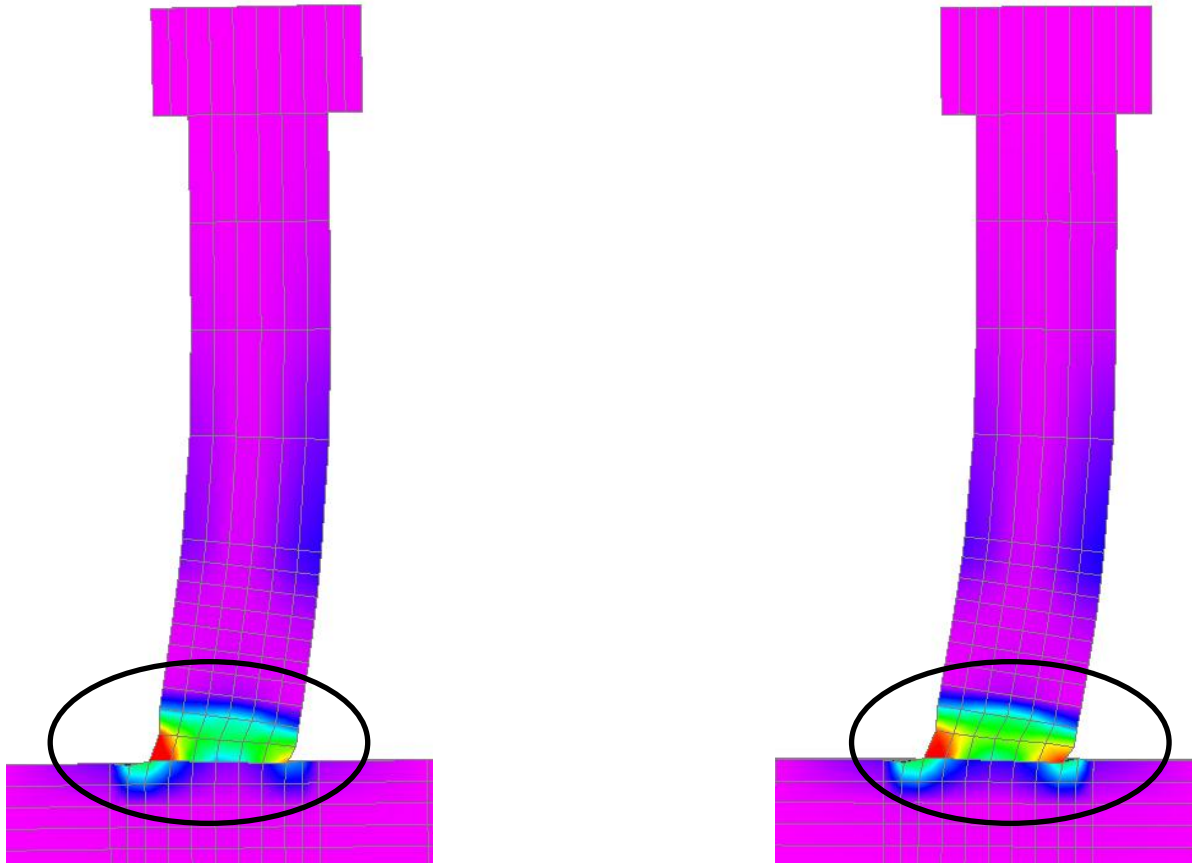
本手法による合成桁最大せん断力よりも

- 押し抜き試験モデルのスタッド基部に加わる最大せん断力は5%程度高い
- 押し抜き試験モデルの鋼桁上面に与える荷重は25%程度高い

本手法と押し抜き試験の変形モードの比較

本手法

押し抜き試験モデル



相当塑性ひずみ分布(ずれ変位1mm)

押し抜き試験のスタッド基部に変形の集中がみられ、
相当塑性ひずみが大きくなっている。

結論

- 鋼コンクリート界面における接触と材料非線形性に加え，周期性を考慮することで，合成桁の力学特性を適切に評価することができた.
- 押し抜き試験で評価している荷重には，スタッドが受け持つせん断力だけでなく，鋼桁とコンクリート床版の摩擦力が20%程度含まれていることが分かった.
- 本手法による合成桁中のスタッドに作用する最大せん断力よりも，押し抜き試験で計測される荷重は25%程度高いことが分かった.

材料定数

鋼桁, スタッド, コンクリート : すべて完全弾塑性, von Mises の降伏基準

材料	ヤング率	降伏応力	ポアソン比
鋼桁	206GPa	275MPa	0.3
スタッド	206GPa	470MPa	0.3
コンクリート	23MPa	40MPa	0.2

(圧縮強度 50MPa)

コンクリートの材料定数(Lam の論文より)

$$f_y = 0.8f_c$$

$$\epsilon_y = 0.00024\sqrt{f_c}$$

$$E = f_y/\epsilon_y$$