

# 複合ハーフプレキャスト部材における鋼材と PCa 版の接合部に関する解析的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○細尾 誠 岩本拓也 曾我部直樹

## 1. はじめに

RC 躯体における頂版の鉄筋, 型枠および支保工の省略による施工合理化を目的として, 鋼材ユニットと PCa 版から構成される鋼コンクリート複合ハーフプレキャスト (HPCa) 部材の開発を進めている. その一環として, 抜き防止筋を有する鋼管を PCa 版へ設置し, 同鋼管内に鋼材ユニットの頭付きスタッドを挿入してモルタルを充填することで鋼材ユニットと PCa 版を一体化する接合構造を考案し, せん断実験と引抜き実験によりその性能を検証したり. 考案した接合構造を有する複合 HPCa 部材が, 単独でコンクリート打込み時の支保工を省略できるかを解析で評価するためには, 接合部の挙動を再現できる解析モデルが必要となる. そこで, 本稿では, 考案した接合構造に対する前述の実験を対象として, FEM 解析による再現解析を試みた.

## 2. 解析対象とした試験体

図-1, 2 に解析対象とした試験体を示す. せん断試験体は, コンクリートブロックと鋼板を考案した接合構造で一体化したものであり, 鋼板に鉛直力を加力することで接合部にせん断力を作用させた. 鋼管には配管用炭素鋼管を使用し, 鋼管内には頭付きスタッドと凸型の抜き防止筋を設置し, 無収縮モルタルを充填した. 引抜き試験体は, コンクリートブロックにせん断試験体と同じ接合構造を設置したものであり, 加力フレームと油圧ジャッキを用いて接合部に引抜き力を作用させた.

## 3. 解析概要

図-3 に解析モデルの概要, 表-1 に材料特性を示す. 解析ケースは, 両解析対象に抜き防止筋の有無をパラメータとした 4 ケースとし, せん断力, 引抜き力に対する抜き防止筋の効果についても検証した.

解析モデルは 1/4 対称モデルとし, 強制変位による漸増荷重を行った. コンクリートおよびモルタルの材料特性は, 圧縮側には Parabolic モデル, 引張側には Hordijk モデルを使用した. ひび割れモデルは固定ひび割れモデルとし, せん断伝達モデルには AI-Mahaidi モデルを適用した. 各種鋼材の構成則は降伏後の剛性を考慮したバイリニアモデルとした. 各種鋼材とコンクリートおよびモルタルとの境界や, コンクリートとモルタルとの境界, せん断試験体におけるコンクリートブロックの下面と剛体要素との境界には, 表-2 に示す界面要素を配置した.

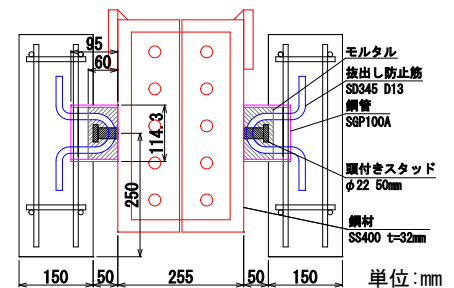


図-1 せん断試験体<sup>1)</sup>

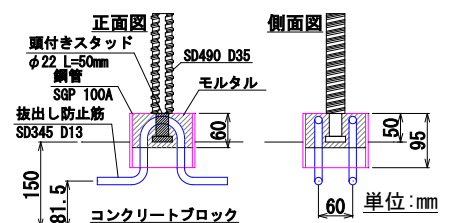


図-2 引抜き試験体<sup>1)</sup>

表-1 材料特性

コンクリート	圧縮強度: 60N/mm <sup>2</sup>
モルタル	圧縮強度: 85N/mm <sup>2</sup>
頭付きスタッド	降伏強度: 396N/mm <sup>2</sup>
その他鋼材	降伏強度: 各鋼材の規格値

表-2 界面要素

コンクリート・モルタルと鋼材	クーロン摩擦モデル (tan φ=0.36, c=0.7N/mm <sup>2</sup> , f <sub>t</sub> =0.0N/mm <sup>2</sup> , 複合標準示方書 <sup>2)</sup> を参考に設定)
コンクリート・モルタルと鉄筋	引張強度 1.0N/mm <sup>2</sup> , せん断強度 4.2N/mm <sup>2</sup> の剥離を考慮したバイリニアモデル
コンクリートとモルタル	引張強度 3.2N/mm <sup>2</sup> (コンクリート引張強度), せん断強度 0.53N/mm <sup>2</sup> (文献 <sup>3)</sup> を参考) の剥離を考慮したバイリニアモデル
ブロック下面と剛体要素	クーロン摩擦モデル (tan φ=0.36, c=f <sub>t</sub> =0.0N/mm <sup>2</sup> , コンクリートブロックの挙動を再現可能なパラメータに設定)

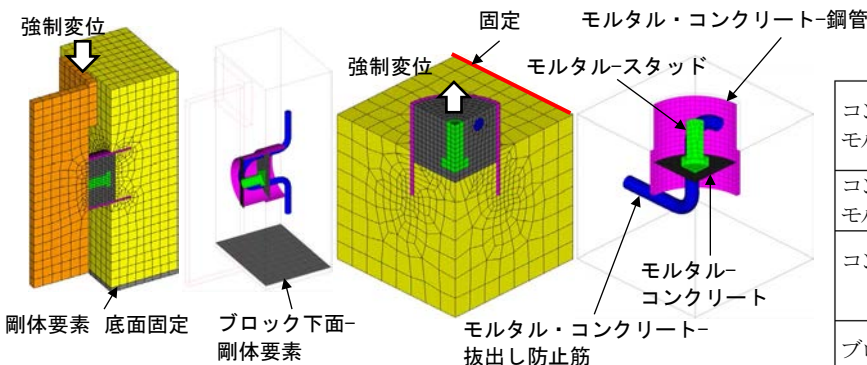


図-3 解析モデル概要と境界要素 (左: せん断 右: 引抜き)

キーワード 頭付きスタッド, 複合構造, せん断力, 引抜き力, FEM 解析

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL: 042-485-1111

#### 4. 解析結果

図-4 にせん断実験と FEM 解析で得られた接合部に作用するせん断力と頭付きスタッドのずれ変位の関係を示す。写真-1 に実験の損傷状態，図-5 に解析で得られた最大主ひずみ分布図を示す。

実験と拔出し防止筋を考慮した解析の結果を比較すると，せん断力に対する荷重初期の剛性は概ね一致しており，モルタルの損傷状態やコンクリートブロック下面に発生したひび割れを解析で再現できている。一方，最大せん断力は実験よりも解析の方が小さい。ずれ変位が 0.5mm 以降では，頭付きスタッドの基部周辺の約 5mm で要素分割されたモルタル要素でひずみが局所化しており，同部分のひずみに対して要素寸法依存性の影響が大きくなったことが乖離の要因として考えられる。拔出し防止筋を考慮しない解析によるせん断力 35kN 程度までの挙動は，実験や同鉄筋を考慮した解析結果とほぼ同様であった。また，35kN 以降のせん断力に対して剛性が若干，低くなる傾向が確認されたものの，本解析の範囲では同鉄筋の有無が接合構造のせん断特性に及ぼす影響は限定的であった。

図-6 に引抜き実験と FEM 解析で得られた引抜き力と頭付きスタッドの拔出し変位の関係を示す。写真-2 に実験の損傷状態，図-7 に解析で得られた最大主ひずみ分布図を示す。実験と拔出し防止筋を考慮した解析の結果を比較すると，引抜き力に対する荷重初期の剛性や，20kN 付近で頭付きスタッドの先端付近にひび割れが生じて剛性が低下する様子を再現できていることが分かる。また，頭付きスタッドと拔出し防止筋の間のモルタルがせん断破壊して引抜き力が低下する破壊過程についても再現できた。拔出し防止筋を考慮しない解析では，20kN 付近で頭付きスタッドの先端付近にひび割れが生じた直後に，引抜き力が低下した。頭付きスタッドの先端から生じるコーン状の拔出しに対して，鋼管による拘束力と摩擦力のみで抵抗できなかったことを示す結果であると考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では，複合 HPCa 部材における鋼材ユニットと PCa 版との接合構造に対するせん断，引抜き実験の再現解析を行った。その結果，設定した FEM 解析モデルによって，同接合部のせん断力，引抜き力に対する剛性や，損傷状態，破壊過程を再現できることを確認した。また，同接合部における拔出し防止筋が，引抜き力に対する抵抗性を高める上で有効に機能していることが示唆された。今後，本研究で妥当性が示された解析モデルを用いて，本接合構造を有する複合 HPCa 部材のコンクリート打込み時の曲げ挙動に関する評価を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 安田ら：複合ハーフプレキャスト部材における鋼材と PCa 版の接合に関する実験的検討，土木学会第 77 回年次学術講演会(投稿中)，2022。
- 2) 土木学会：複合標準示方書【設計編】，丸善，pp.478-480，2014。
- 3) 金ら：有限要素逆解析による補修モルタルと躯体コンクリートの付着構成則構築，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，pp.577-582，2008。

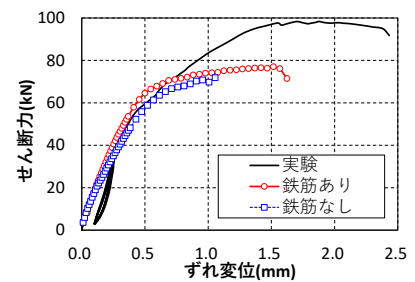


図-4 せん断力-ずれ変位関係



写真-1 せん断試験体 損傷状態

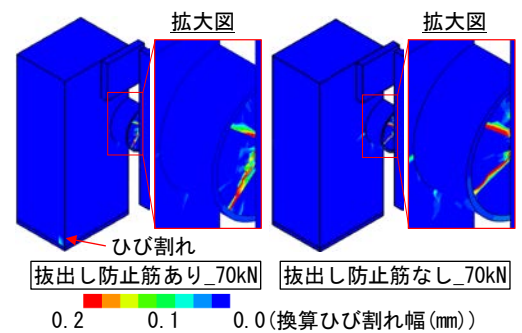


図-5 せん断解析 最大主ひずみ分布図

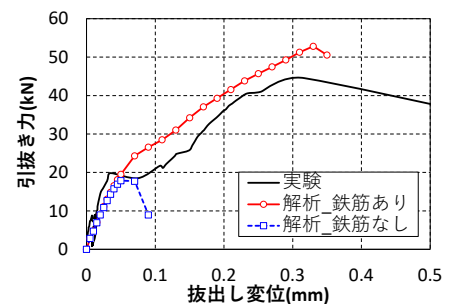


図-6 引抜き力-拔出し変位



写真-2 引抜き試験体 損傷状態

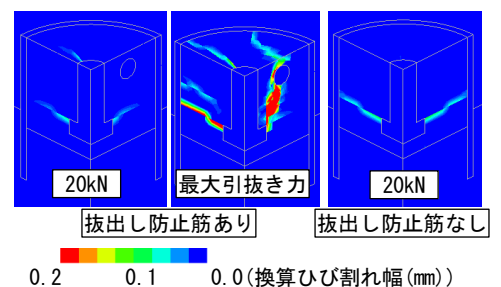


図-7 引抜き解析 最大主ひずみ分布図