

押抜き試験における頭付きスタッドの耐荷挙動に関する解析的検討

東洋技研コンサルタント(株)

南 人 杰

1. はじめに

鋼コンクリート複合構造が成り立つためには、鋼材とコンクリートとの間で力の伝達が必要不可欠で、両者を機械的に接合するずれ止めが多く用いられている。その一つである頭付きスタッド(以下、スタッド)は、最も普及しているずれ止めの一つである。構造物中における頭付きスタッドに作用するせん断力とずれ量の関係(せん断力-ずれ関係)については、複合構造標準示方書1)において押抜き試験に基づいた予測式が示されている。しかし、コンクリートブロック内部で破壊が進展することや、境界条件の制御が難しいことから、押抜き試験におけるスタッドの耐荷挙動は十分に明らかにされておらず、この式の適用範囲が限られている。

ずれ止めは複雑な荷重作用下で使用されることから、作用の組合せや諸元に対して十分な適用範囲を有する性能予測式が必要である。そのためには耐荷挙動の解明が必要であるが、前述のように実験による解明は難しい。そこで、本研究では数値解析実験によるスタッドの耐荷挙動解明を目指し、3次元非線形有限要素法(以下、FEM)を用いた押抜き試験のシミュレーションを行い、スタッドの要素レベル解析への3次元非線形FEMプログラムの適用性について検証するとともに、スタッドの耐荷挙動に影響すると考えられる鋼板厚さ、スタッド軸径、スタッド間隔をパラメータとした解析的検討を行った。

2. 解析概要

2-1. 解析対象

島ら2)による頭付きスタッドのせん断力-ずれ変位関係の定式化に関する実験のうちの一部を解析対象とした。図1に解析対象供試体の寸法を示す。スタッド降伏強度は326 N/mm²で、コンクリート圧縮強度は19.5 N/mm²である。

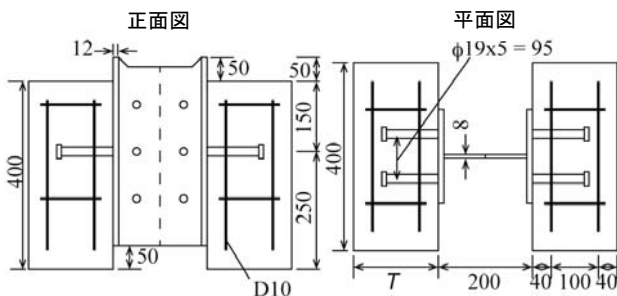


図1 解析供試体寸法

2-2. 解析手法

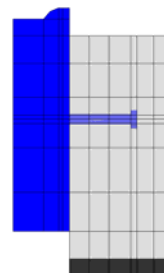


図2 解析メッシュ

解析には3次元非線形有限要素プログラムを用いた。非線形解析手法は修正Newton-Raphson法である解析メッシュを図2に示す。解析メッシュは実験供試体の対称性から1/4モデルとし、コンクリートと鋼板は8節点4 Gauss積分点のアイソパラメトリックソリッド要素でモデル化した。鋼板、スタッドとコンクリート間、及びコンクリートと支承の間には8節点4 Gauss積分点の平面接合要素を用いた。また支承は、床支持を再現するため弾性係数の極めて大きい鋼材とした。コンクリート構成則3)は、ひび割れ前は3軸効果を考慮した弾塑性モデルとし、ひび割れ後はひび割れ面を基準とする座標系の各方向に1軸応力-ひずみ関係を用いるモデルとした。ひび割れは固定分散モデルで表現し、2方向まで考慮した。鋼材は2直線モデルでミーゼスの降伏基準を用いている。鋼板とコンクリート間の摩擦は、既往の実験結果4)に基づきモデル化した。

3. 鋼板厚さがせん断挙動に与える影響

鋼板厚さがせん断挙動に与える影響を調べるため、鋼板厚さが6mm、12mm、18mmと異なる場合の押抜き試験解析を行った。せん断力-ずれ変位関係を図3に示す。

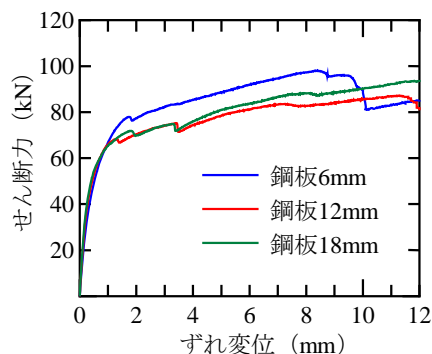


図3 せん断力-ずれ変位関係

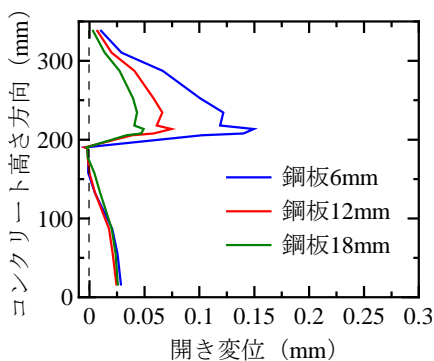


図4 開き分布

同一ずれに対するせん断力は、鋼板厚さ 6mm の場合が、鋼板厚さ 12mm と鋼板厚さ 18mm の場合に比べて大きくなった。ずれ変位が 1.0mm での鋼板フランジとコンクリートブロックの境界面の開き分布を図4に示す。ここで、正の値は開口を、負の値は押込みを表す。スタッド直上で鋼板とコンクリート間が大きく開き、スタッド直下ではコンクリートと鋼板が接触して押込まれている。スタッド直下の鋼板とコンクリートと鋼板が接触して押込まれている。スタッド直下の鋼板とコンクリートブロック間の接触方向の相対変位は、鋼板厚さ 6mm が 0.005mm, 12mm が 0.004mm, 18mm が 0.002mm となり、6mm の場合が最大となる。図8に接触力方向の相対変位最大となる位置の摩擦力-ずれ変位関係を示す。接触方向の相対変位で見られたように、鋼板厚さ 6mm の摩擦力は鋼板厚さ 12mm より大きい。以上から、スタッド周辺鋼板の変形による摩擦力がせん断力を増加させることがわかった。

4. スタッド間隔がせん断挙動に与える影響

鋼板厚さ 6mm の場合に、スタッドを2段配置とし、間隔を 1h (h:スタッド高さ), 2h とし、スタッド間隔の影響を調べた。せん断力-ずれ変位関係を図5に示す。スタッド間隔が 1h から 2h となると最大せん断力は 1.2 程度大きくなる。ずれ変位 0.0~0.5mm で発生したひび割れを図6に示す。1段配置の時と同様に、ひび割れはスタッド軸を中心に3角形分布を示す。スタッド間隔 2h 場合

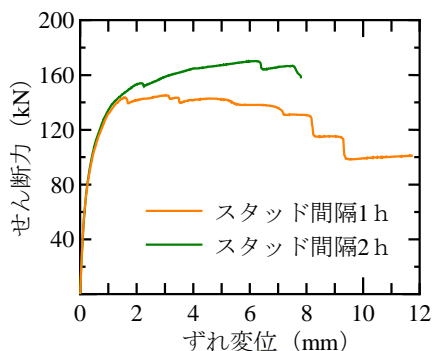


図5 せん断力-ずれ変位関係

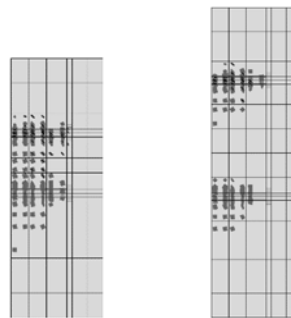


図6 ひび割れ図

には、ひび割れ領域は上段下段それぞれのスタッドで独立しているが、間隔が 1h となると上段スタッドと下段スタッドのひび割れの領域が重なることがわかる。このとき、上段スタッドの下側、下段スタッドの上側のひび割れ領域は、2h の場合に比べて明らかに増加している。これにより最大せん断力は減少した。今回の独立したひび割れ領域寸法は、高さ方向で 140mm であるから、スタッド間隔が 140mm (1.17h) 以下の時に最大せん断力が減少すると言える。よって、スタッドのひび割れ領域寸法を同定できれば、最小間隔の算定が可能となる。

5. 結論

本研究における解析的検討から以下の結論を得た。

- 1) 鋼板厚さが 18mm, 12mm から 6mm と小さくなると、スタッド基部鋼板が降伏するずれ変位以降のせん断力は、鋼板が厚い場合に比べて大きくなる。これは、降伏によりスタッド周辺の鋼板変形が大きく、大きな摩擦力が働くためである。
- 2) スタッド間隔が小さくなり、スタッドのひび割れ領域が重なるとせん断耐力が減少する。そのため、スタッド最小間隔は、ひび割れ領域の寸法に関係付ける必要があり、その寸法を算定することができれば、スタッド最小間隔を求めることが可能となる。

参考文献

- 1) 土木学会：複合構造標準示方書(2009年制定), 2009
- 2) 島弘, 渡部誠二: 頭付スタッドのせん断力-ずれ関係の定式化, 土木学会論文集 A, Vol64, No. 4, pp.935-947, 2008.11
- 3) Maekawa, K. et al.: Triaxial Elasto-Plastic and Fracture Model for Concrete, JSCE Journal of materials, concrete structures and pavements, No.460/V-18, pp.131-138, Feb.1993
- 4) 猪股勇希, 中島章典, 斉木功, 大江浩一: 支圧力を受ける鋼・コンクリート接触面の静的・疲労付着性状, 第6回複合構造の活用に関するシンポジウム講演集, pp.211-218, 2005