

## 水平せん断力を受ける頭付きスタッドの3次元FEM材料非線形解析

東洋技研コンサルタント 正員 島田 功  
 摂南大学工学部 正員 平城弘一  
 森 組 正員 梅井康寛

1. まえがき 頭付きスタッドは、鋼・コンクリート合成構造のずれ止め、またはアンカー材として広く用いられている。従来のスタッドに関する研究は実験的な研究が主流であり、スタッドの耐荷力、ずれ性状および疲労強度などのような強度・挙動特性を巨視的な形で把握するに過ぎないものであった。しかしながら、近年ではコンピュータの急速な進歩により解析手法が発達し、これまで説明が不可能とされてきた問題までも、微視的な観点に立って明らかにされようとなっている。そこで、本研究ではコンクリートに埋込まれたスタッドにせん断力が作用した場合について、FEMによる解析プログラムを開発し、スタッド周辺の力学挙動を知るための3次元応力解析を行った。既往のスタッドに関するFEM解析には、2次元問題<sup>1)</sup>と3次元問題<sup>2)</sup>として応力解析を試みたものがあるが、前者の2次元的な取り扱いではスタッド近傍の応力状態を説明するには極めて不十分である。一方、後者の3次元解析は主として組み合わせ応力に着目されたものである。スタッドにせん断力のみが作用した場合のスタッドおよびその周辺の材料非線形を考慮した3次元応力状態は、いまだ説明されていない部分が多いようである。

2. 解析方法 図-1は解析用モデルの要素分割を示したものである。このモデルは鋼板に溶接されたスタッドがコンクリートに埋め込まれている状態を想定したもので、その形状寸法は過去の押抜き供試体に近似させている。なお、スタッドおよびコンクリートの断面・高さ方向の分割数は、種々変化させた解析を行い、解の収束性から判断して決定したものである。解析は鋼板の一端に強制変位を与えて行い、コンクリート側の拘束条件は押抜き試験に近いものとした。

本解析プログラムは、スタッドとコンクリートとの接触面に起こる剝離・すべり(図-2参照)、さらにコンクリートにはひび割れと圧壊(図-3参照)、鋼板とスタッドには降伏も考慮できる。スタッドは直径19mmで高さ100mmのものに

表-1 材料係数

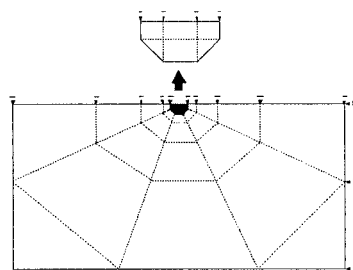
|                                                  | 鋼                 | コンクリート            |
|--------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| ヤング係数 $E(\text{kgf/cm}^2)$                       | $2.1 \times 10^6$ | $2.7 \times 10^5$ |
| ポアソン比 $\nu$                                      | 0.3               | 0.167             |
| せん断弾性係数 $G = E / (2(1 + \nu)) (\text{kgf/cm}^2)$ |                   |                   |

について解析された。図-2と図-3に示された  $\tau_0$  と  $\phi$  は既往の研究<sup>3), 4)</sup>で得られたものを使用した。表-1に鋼とコンクリートの材料定数を示す。

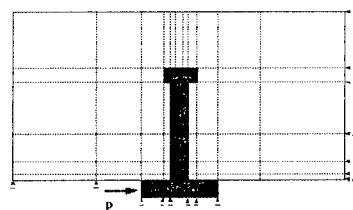
## 3. 解析結果と考察

荷重-ずれ関係の解析結果を図-4に示す。同図には押抜き試験結果も直接比較するために併記されている。また参考のために、道示の許容せん断力( $Q_a$ )も記されている。この図より明らか

スタッド部分拡大図



平面図



断面図

図-1 解析モデル

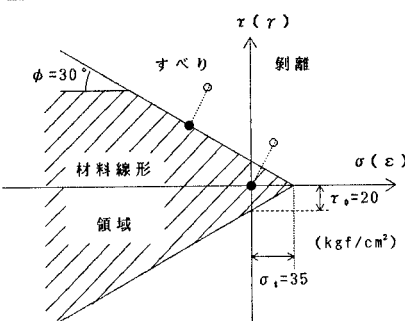


図-2 スタッドとコンクリートのすべり・剝離関係

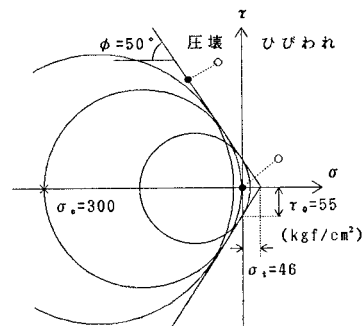


図-3 コンクリートの降伏条件

のように、非線形の本解析値（直径19mmスタッド）のずれは、許容せん断力レベルまで実測値<sup>5)</sup>より若干大きい値を示しているが、傾向的にはほぼ近似していると言える。

図-5は、許容せん断力（ $Q_a$ ）近くにおけるスタッドとコンクリートの接合面およびスタッド周辺のコンクリートの非線形挙動を示したものである。ここで、ずれ量（ $\delta$ ）はスタッド根元部中心の変位量である。非線形挙動の進展は、まず剥離がスタッド支圧側背面に起こり、その後、すべりがその側面に生じ、さらにひび割れも側面に発生し、やがてスタッド支圧面のコンクリートが圧壊していく。それ以後は、これらの非線形挙動がスタッドの高さ方向に進展し、許容せん断力（ $Q_a$ ）近くでは、約5cmの高さまで進展して行った。さらに、スタッド頭部にも剥離が生じた。

図-6(a), (b)は、スタッドの曲げ応力に相当する支圧側前面・背面における応力分布（ $\sigma_z$ ）を示したものである。応力（ $\sigma_z$ ）はスタッド根元部に集中し、ほぼ直径に等しい高さで応力が反転している。 $Q_a$ におけるスタッド背面の曲げ応力は、約1500kgf/cm<sup>2</sup>（圧縮）である。

図-7(a)は、コンクリートのスタッド前面の支圧応力（ $\sigma_x$ ）を示したものである。応力（ $\sigma_x$ ）はスタッド根元部に集中していることが分かる。図-7(b), (c)は、スタッド根元部における次の3つの応力を平面的に示したものである：① 応力（ $\sigma_x$ ）のスタッド側面中心から y 軸方向の分布、② 応力（ $\sigma_x$ ）のスタッド前面から y 軸方向の分布、③ 応力（ $\sigma_y$ ）のスタッド前面から x 軸方向の分布。これらの図から、コンクリートの応力はスタッド周辺に集中していることが分かる。スタッド背面の剥離およびスタッド側面におけるコンクリートのひび割れの進展に伴い、スタッドの水平せん断力のコンクリートへの伝達はスタッド前面に移行し、前面のコンクリートが塑性化する。スタッド前面では3軸圧縮応力状態であるが、スタッド前面からコンクリート内部に入ると応力（ $\sigma_y$ ）は引張となり、塑性化が進展するとコンクリートに割裂を生じさせる要因となろう。

1) Oehlers, D. J. : Univ. of Warwick, CE2, 1978.

2) 梶川・前田：土木学会論文集, No. 362 / I-4, 1985.

3) 川鉄研究資料, 1981.

4) 摂南大学構造研究室資料, 1994.

5) 平城：大阪大学学位論文, 1990.

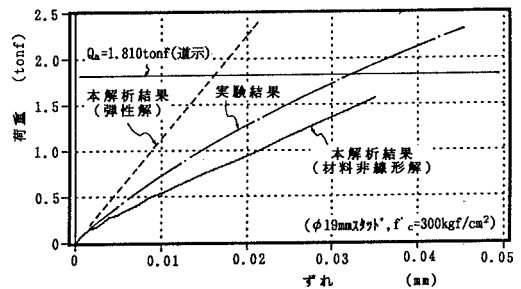


図-4 荷重-ずれ曲線（実験値と解析値との比較）

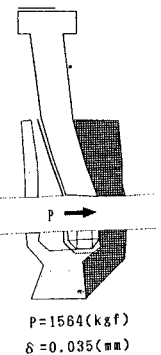


図-5 非線形状態およびズレ変形の進展図

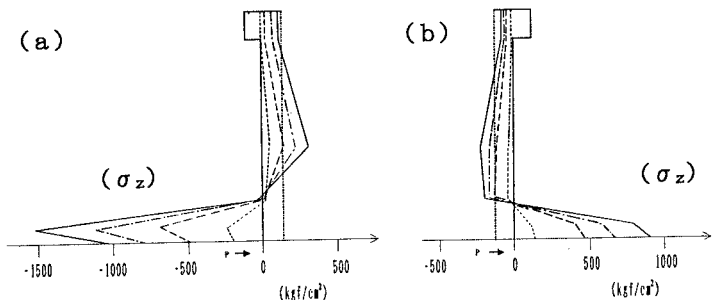


図-6 スタッドの応力分布図

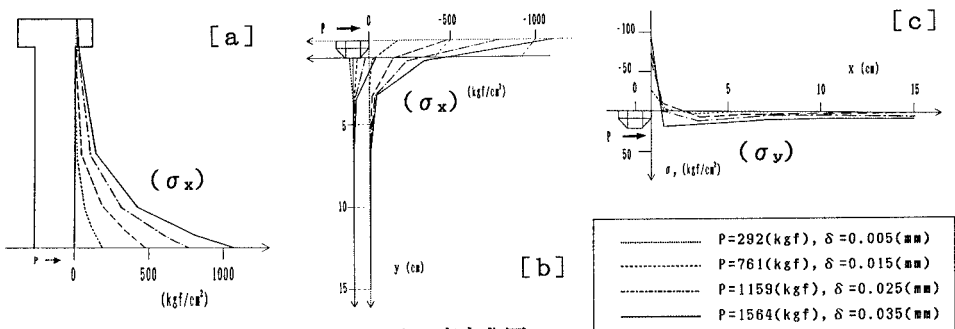


図-7 コンクリートの応力分図