

## Ⅲ-A 426

## 引揚力を受ける杭のひずみ軟化を考慮した FEM 解析

東電設計(株) 正会員 大矢 孝 正会員 安 雪暉 正会員 松島 学  
東京電力(株) 正会員 佐藤 博

## 1. はじめに

杭に引揚力が作用したときの杭周辺地盤の破壊メカニズムに関し、Stewart と Kulhawy の研究<sup>1)</sup>があり、杭近傍でのすべり層の形成は(1)引張クラックの発生、(2)杭に沿った断続的なクラックの発生、(3)クラックがつながってすべり層が形成という順に破壊が進展すると説明されている(図-1)。

本研究では、杭に引揚力が作用したときの杭周辺地盤の破壊メカニズムを確認する目的で、軸対称 FEM 解析を行った。

## 2. 解析条件

解析に用いた地盤と杭の物性値を表-1 と表-2 に、解析モデルを図-2 に示す。杭は外径 40cm( $t=9\text{mm}$ )、長さ  $L=3.0\text{m}$  の中詰めなしの鋼管杭を想定し、軸対称モデルで杭頭に引揚力を作用させた。地盤の自重は考慮し、杭と地盤の間にジョイント要素等は設けていない。ひずみ軟化構成則は、強度定数(粘着力  $C$ )の低減をひずみの増大に伴うせん断強度( $\tau$ )の低下として表現するモデル<sup>2)</sup>である。つまり、モールクーロンの破壊基準をひずみの関数として表し( $\tau(\gamma)=C(\gamma)+\sigma \tan \phi$ )、軟化後にせん断応力  $\tau$  が低下するように粘着力を設定する。地盤の軟化特性は、図-3 に示す地盤特性により設定した。

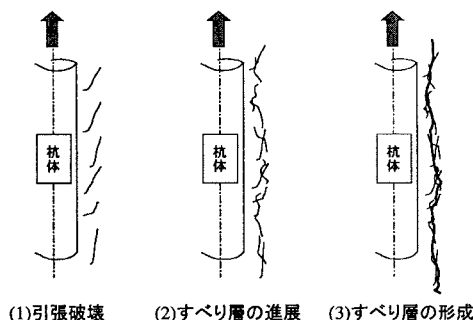
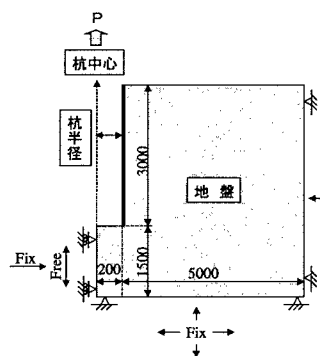
図-1: 引揚時のすべり層の形成過程<sup>1)</sup>

図-2: 解析モデル

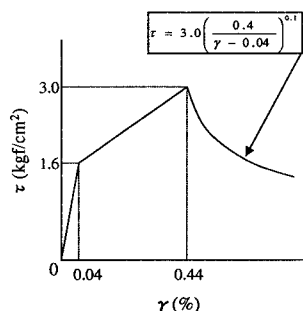
図-3: 地盤特性(拘束圧  $\sigma=0$ )

表-1: 地盤の物性値

| 項目        | 単位                 | 物性値   |
|-----------|--------------------|-------|
| 粘着力(初期)   | tf/m <sup>2</sup>  | 1.6   |
| 粘着力(ピーク時) | tf/m <sup>2</sup>  | 3.0   |
| 内部摩擦角(一定) | 度                  | 30.0  |
| 臨界塑性歪み    | %                  | 0.8   |
| 引張強度      | kgf/m <sup>2</sup> | 0.8   |
| 単位重量      | t/m <sup>3</sup>   | 1.7   |
| 弾性係数      | kgf/m <sup>2</sup> | 10000 |
| ポアソン比     |                    | 0.3   |

表-2: 杭の物性値

| 項目   | 単位                 | 物性値               |
|------|--------------------|-------------------|
| 外径   | mm                 | 400.0             |
| 鋼材厚  | mm                 | 9.0               |
| 杭長   | m                  | 3.0               |
| 弾性係数 | kgf/m <sup>2</sup> | $2.1 \times 10^6$ |

## 3. 解析結果

地盤の塑性化進展状況を図-5 に示す。図-5 のメッシュ中にマークされている部分が引張破壊領域を、黒塗り部分がせん断破壊領域を表している。“Step”は、図-4 の引揚力—杭頭変位解析結果上に示した各荷重段階を示している。

図-5 から、杭の引揚に伴う周辺地盤の破壊は、以下のように進展していくことがわかる。

キーワード: 杭、引揚、FEM 解析、ひずみ軟化、すべり層

連絡先: 〒110-0015 台東区東上野 3-3-3 TEL 03-5817-7790 FAX 03-5818-7608

- ① 地表付近の地盤と杭先端が最初に塑性化し、深さ方向に進展していく。水平方向への進展は杭から20cm程度までとどまっている。この段階では、荷重－変位関係はまだ弾性的である。
- ② 杭近傍地盤の塑性化が深さ方向へ進展すると同時に、引張破壊領域（クラック）が地表に向かって斜め方向に伸びていくと同時に、杭底部地盤の引張破壊も進行する。発生した斜めクラックの間隔は深度方向にはほぼ一定の間隔となっているが、これは2本のクラックが発生したときその中央部で引張応力が最大となることに起因し、鉄筋コンクリートの鉄筋引抜の際にも同様に観察される現象である。
- ③ 杭近傍において、杭に沿ってせん断破壊（すべり）が生じる。すべりが発生するのは Step10 以降であるが、これは図-4 の荷重－変位曲線が曲がり始めるポイントとほぼ一致する。
- ④ すべり層が杭先端から地表近くまでつながることにより終局を迎える。

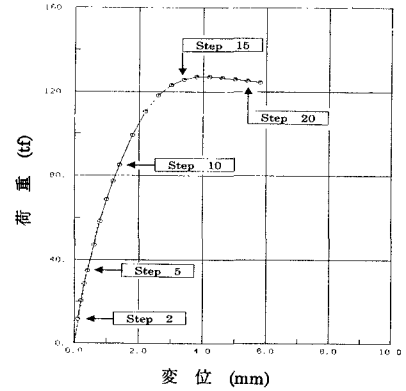


図-4：P- $\delta$  関係

このような地盤の破壊メカニズムは、図-1 で示した既往の研究で指摘されている地盤の破壊モードと一致する。

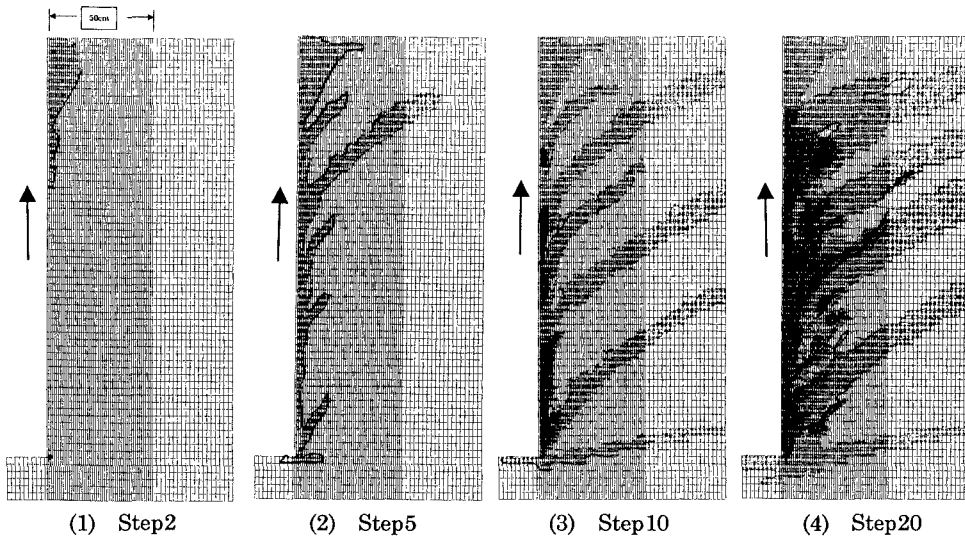


図-5：地盤の破壊進展状況

#### 4. まとめ

軸対称 FEM 解析により、杭の引き揚げに伴う周辺地盤の破壊は、杭から地盤中斜め上方への引張破壊領域の発生・進展、杭近傍における引張破壊領域の杭軸平行方向への連結（すべり層の形成）という順序で進行するという結果が得られた。これは既往の研究で示されている地盤の破壊モード<sup>1)</sup>と一致する。

（参考文献）

- 1) Stewart, J.P. and Kulhawy, F.H.: Behavior of Drilled Shafts in Axial Uplift Loading, Contract Report B-49(5), Niagara Mohawk Power Corporation, Syracuse, NY, pp.261, Jan., 1980
- 2) 安・高橋・松島・田邊：Strain-softening Model of Soil for Finite Element Analysis、土木学会第 53 回年次学術講演会
- 3) 佐藤・松島・高橋：引揚力を受ける杭の荷重変形関係モデル、構造工学論文集、Vol.44A、1998.3