

I-308

# 引抜き力を受ける杭頭結合部の応力伝達機構に関する一考察(鋼管杭、結合方法A)

金沢大学 工学部 正会員 近田康夫  
 住友金属 正会員 市野博司  
 金沢大学 工学部 正会員 小堀為雄

## 1. まえがき

橋梁基礎の杭頭結合部は荷重伝達および杭基礎全体の変位特性に関して大切な部分であり、橋台・橋脚より作用する荷重を円滑に作用させることは基礎を設計する上で重要な条件である。したがって、杭頭結合部では作用する軸力、水平力および杭頭拘束モーメントの全てについて安全に抵抗できるように結合する必要がある。しかし、現行示方書や杭基礎設計便覧における杭頭結合部の照査は、引抜き力に対してはあまりなされておらず、杭頭結合部の引抜き力に対する挙動や破壊の傾向を調べることは重要である。

現在、この問題に関する研究は模型実験が主体であるが、模型実験は莫大な経費と時間を費やすにも関わらず、様々な現象の支配パラメータを特定することが困難であった。そこで、本報告では、数値計算による解析を行うことにより、応力伝達の諸因子の効果をより詳細に検討する。すなわち、有限要素解析により、引抜き力を受ける杭頭結合部の応力伝達から破壊の機構を明らかにすることを試みた。特に、引抜き力を受けた場合の応力伝達に対するずれ止めの効果と影響に着目している。

## 2. 解析手法

杭頭結合部を、杭とフーチングコンクリートの境界面に軸対称ジョイント要素を配した軸対称としてモデル化し、有限要素法解析を行った。境界面での応力開放は、応力分配法により行う。解析手法の詳細については文献1)を参照されたい。得られた解を用いて、杭頭結合部の応力伝達から破壊の様子を検討してみる。降伏条件としては、フーチングコンクリートに対してはMohr-Coulomb、鋼管杭、鉄筋に対してはVon Misesの降伏条件式を適用する。

1) Mohr-Coulombの降伏条件式： 降伏条件式は、Eq. (1)のように示され、式中のパラメータ  $c$ 、 $\phi$  はコンクリートの圧縮強度  $\sigma_c$  と引張り強度  $\sigma_t$  を用いて、Eq. (2)で決定した。

$$\sigma_1 \cdot (1 + \sin \phi) / (2c \cdot \cos \phi) - \sigma_3 (1 - \sin \phi) / (2c \cdot \cos \phi) = 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$c = \sigma_c / 2 \sqrt{m}, \quad \phi = \sin \{ (m-1) / (m+1) \} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ はそれぞれ最大、最小主応力であり、 $m$ はコンクリートの圧縮引張り強度比である(すなわち、 $m = \sigma_c / \sigma_t$ )。また、Eq. (1)によるせん断破壊の基準の他に、圧縮および引張り強度による照査も次式により行う。

$$\sigma_c > \sigma_1, \quad \sigma_t < \sigma_3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

2) Von Misesの降伏条件： 降伏条件式は次式で示される。

$$\sqrt{3 \cdot J_2} = \sigma_y \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $J_2$ ：第二偏差応力不変量、 $\sigma_y$ ：鋼材の降伏応力

なお、解析に用いた諸物性値をTab. 1に示す。

## 3. 結果及び考察

解析モデルは、杭基礎設計便覧に規定されているAタイプ鋼管杭を一例にとり、ずれ止めを無くしたタイプ(SC-A1)、ずれ止めを1段設けたタイプ(SC-A2)およびずれ止めを2段設けたタイプ(SC-A3)の3タイプを設定する。また、荷重条件としては、軸力として軸対称引抜き力のみを作用させ、水平力、モーメント力は載荷していない。

Tab. 1 Mechanical Properties

|                              | Footing            | SC Pile            | Joint Element      |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $f'c$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 350.0              | —                  | —                  |
| $E$ (kgf/cm <sup>2</sup> )   | $3.00 \times 10^5$ | $2.10 \times 10^4$ | —                  |
| $\nu$                        | 0.17               | 0.20               | —                  |
| $m$                          | 8                  | —                  | —                  |
| $k_s$ (kgf/cm <sup>3</sup> ) | —                  | —                  | $7.50 \times 10^4$ |
| $k_e$ (kgf/cm <sup>3</sup> ) | —                  | —                  | $1.50 \times 10^5$ |
| $c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )   | —                  | —                  | 0.0                |
| $\phi$ (DEG)                 | —                  | —                  | 30                 |

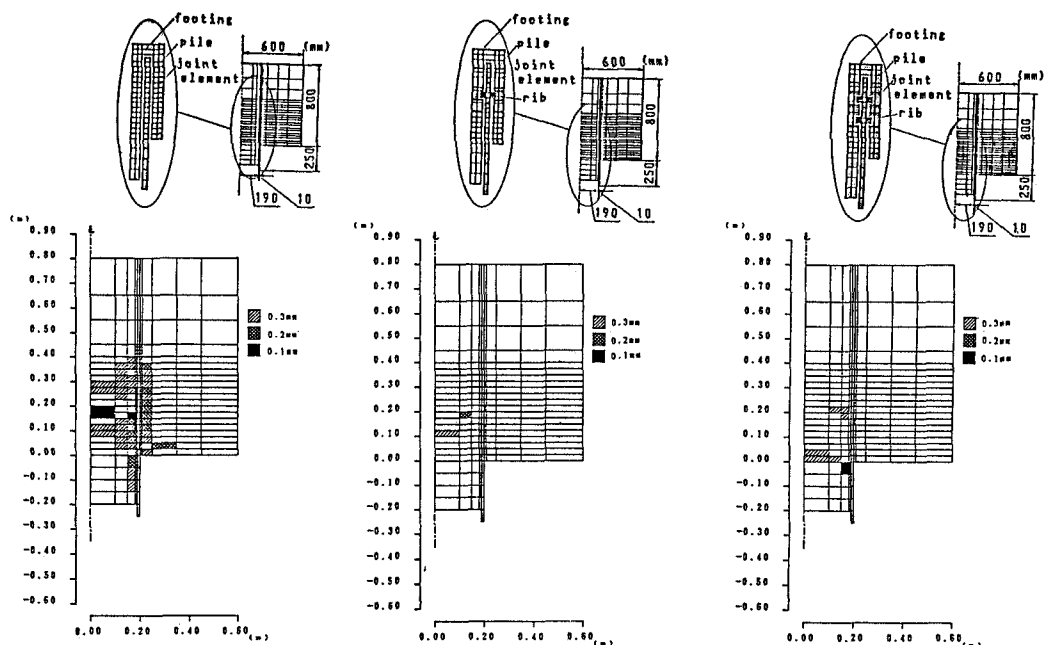


Fig.1 Yield Territory(SC-A1)

Fig.2 Yield Territory(SC-A2)

Fig.3 Yield Territory(SC-A3)

Fig1～fig3は、有限要素解析の結果を用い上述したモデルタイプSC-A1～SC-A3の杭頭結合部の降伏領域図を示したものである。凡例の数値を説明すると、0.1mmとは、引抜き量を0.1mmとした場合に降伏した領域を表している。

SC-A1のモデル(Fig.1)では、鋼管周辺部、杭埋め込み部分に破壊が進んでいる。紙面の都合により省略したが、この部分は圧縮応力の応力集中位置とほぼ一致していることから、圧縮応力による破壊であると考えられる。フーチング内の中詰めコンクリートは、杭の半径方向(内側)への変形に伴って生じる圧縮応力によって降伏するものと推察される。

SC-A2のモデル(Fig.2)、SC-A3のモデル(Fig.3)を見ると、この場合も鋼管周辺に降伏が進んでいるのが分かるが、SC-A1と比較すると降伏領域は明らかに狭く、降伏に対しずれ止めが有効に働いている。また、全体的に降伏部分がSC-A1より下側に生じている。これは、ずれ止めの影響で応力がずれ止めの下部周辺に集中して働くためであると考えられる。

また、SC-A2とSC-A3を比較した場合、ずれ止めが2段の場合の有効性は認めにくく、ずれ止めの段数よりも、むしろずれ止めの位置が、降伏に影響していることも考えられる。但し、さらに荷重を増加させた場合には、ずれ止めの数の効果が生じてくることを確認している。

#### 4. まとめ

- ①降伏に対しては、主に杭埋め込み部、鋼管周辺が弱く、これは圧縮応力により生じる。
- ②ずれ止めは、降伏に対し極めて有効に働く。
- ③ずれ止めの数は1段より2段の場合が、杭全体に変位、応力を伝達する働きを増すが降伏に対してはずれ止めの下部または、ずれ止め周辺において降伏しやすく、ずれ止め段数よりずれ止めの位置が降伏に対し、より重要な要因となる。

最後に、本研究の一部は文部省科学研究補助金によるものであることを付記する。

#### 参考文献

- 1) D.R.J.Owen, E.Hinton: "FINITE ELEMENTS IN PLASTICITY(Theory and practice)" Pineridge Press Limited, Swansea, U.K.
- 2) 日本道路協会：杭基礎設計便覧、丸善、1986.1