

I-243

杭頭結合部の安全性評価方法に関する一考察（鋼管杭、結合方法A）

金沢大学 工学部 正会員 近田康夫
 銚子市中務店 正会員 中島正毅
 金沢大学 工学部 正会員 小堀為雄

1. まえがき

橋梁などの杭基礎における杭頭結合部の安全性評価は、現行示方書や杭基礎設計便覧に規定されているように、主にフーチングコンクリートの支圧応力に着目した安全性評価式を用いて行われており、杭体自体の安全性評価は杭体の設計として独立に行われている。しかし、杭頭結合部においては応力集中が生じて局所的に複雑な応力状態になるものと推測され、杭頭結合部の安全性評価も杭を含んだ形でなされることが必要と考えられる。そこで本報告では、この点に着目して有限要素法を用いた解析結果から、杭頭結合部の安全性照査方法に関して検討するものである。

2. 解析手法

杭とフーチングの境界面に軸対称ジョイント要素を配した軸対称体モデルをフーリエ級数を利用した半解析的手法を用い、応力分配法により境界面での応力解放を行う。解析手法の詳細に関しては、文献1)を参照されたい。得られた解を用いて、杭頭結合部のどの部位で破壊が生じ易いかを要素毎に検討してみる。降伏条件として、フーチングコンクリートに対してはMohr-Coulomb、杭（鋼管杭）、鉄筋に対してはVon-Misesの降伏条件式を適用する。

i) 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 、 ϕ はコンクリートの圧縮強度 σ_c と引っ張り強度 σ_t を用いて、Eq. (2)で決定した。

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

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

ただし、 σ_1 、 σ_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っ張り強度比である（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ほかに、圧縮および引っ張り強度による照査も次式により行なう。

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

ii) Von-Misesの降伏条件式

降伏条件式は次式で示される。

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

ただし、 J_2 ：第二偏差応力不変量、 σ_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る鋼管杭のAタイプ(SC-A1)、ずれ止めを無くしたタイプ(SC-A2)およびずれ止めと中詰めコンクリートを無くしたタイプ(SC-A3)の3モデルを設定する。

Fig. 1～Fig. 3は、上述したモデルタイプSC-A1～SC-A3の杭頭結合部において、有限要素解析結果から支圧応力を大きく受ける部位をそれぞれ杭とフーチングに分け、与えた荷重を降伏ポテンシャルのスカラ一倍することによって描いた Intraction-Curve である。したがって、この図で最も内側の曲線をつなぐことで、そのモデルタイプの安全性指標が設定できるはずである。

Tab.1 Mechanical Properties

	Footing	SC Pile	Joint要素
E (MPa)	2.94×10^4	2.06×10^5	—
ν	0.17	0.30	—
k_e (MPa/m)	—	—	7.5×10^5
k_n (MPa/m)	—	—	1.5×10^5
k_θ (MPa/m)	—	—	7.5×10^5
c (MPa)	—	—	0.0
ϕ (DEG)	—	—	30

SC-A1 のモデル(Fig.1) では、ずれ止めおよび $\theta=0$ 子午面のフーチング下面近傍で破壊に対する危険性が高くなっているが、ずれ止め自体の破壊に対する危険性は比較的低く、フーチング下面のフーチングコンクリートでの危険性が高い。

Fig.2 のずれ止めを無くしたモデル(SC-A2) では、Fig.1 に対しずれ止めが無い分支圧応力が杭頂部に集中することから、 $\theta=0$ 子午面の杭頂部のフーチングコンクリートが最も破壊に対して危険性が高い結果となっている。

また、中詰めコンクリートの無いモデル(SC-A3) では $\theta=0$ 子午面のフーチング下面近傍のフーチングコンクリートが最も危険性が高く、SC-A2 と比較すれば中詰めコンクリートの摩擦によるせん断力により押込み力を支持していることが検証できる。

また紙面の都合上省略したが、有限要素解析結果の変位図ではSC-A2 のモデルで杭が抜け出すように変位し、SC-A3 のモデルではフーチング下面のフーチングコンクリートと杭との接点を支点に、杭が右に大きく折れ曲がるように変位していることが明らかとなっている。これより、ずれ止めおよび中詰めコンクリートが変位に対しても有効であることが確認できる。

したがって、鋼管杭でAタイプのモ

デルでは杭基礎設計便覧の規定するSC-A1 のタイプのモデルが最も安全性が高いといえるが、Fig.1 を見ても明らかのように $\theta=0$ 子午面のフーチング下面近傍でのフーチングコンクリート(F1)が極めて危険性が高い。従って、この部位に対しての安全性を十分に考慮する必要がある。

また本解析では解析の都合上、杭とフーチング間の粘着力を0としているが、粘着力を考慮した場合には支圧応力の集中する部位は多少分散し、最も危険性の高いこれらの部位の安全領域は広がり、地震時などモーメントが大きい組み合わせ荷重が作用するときの杭体自体の安全性を考慮する必要があると考えられる。

4. まとめ

有限要素解析の結果より、現行示方書の様にフーチングコンクリートの支圧応力のみに着目するのではなく、杭も含めた形で杭頭結合部の安全性を考慮する必要があることが分かった。

参考文献

- 1) 小堀、近田：剝離、滑動を考慮した杭頭結合部の応力伝達について、土木学会論文集，I-6，PP.583-592，1986。
- 2) 近田、小堀：杭頭結合部の安全性評価方法に関する一考察（要素の降伏に着目した安全性評価方法），構造工学論文集，Vol.35A，1989.3。

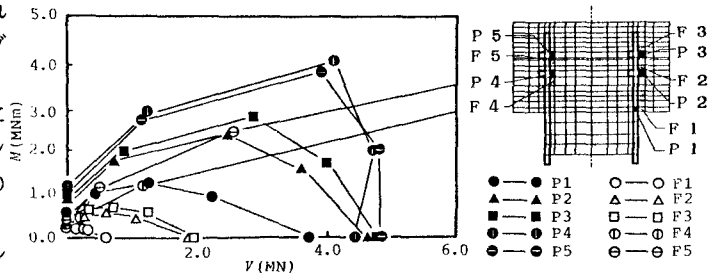


Fig.1 Interaction-Curve(SC-A1)

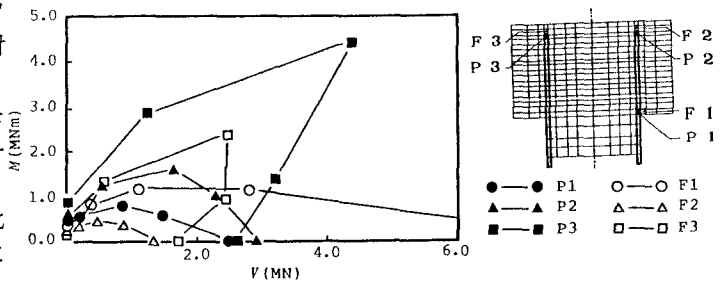


Fig.2 Interaction-Curve(SC-A2)

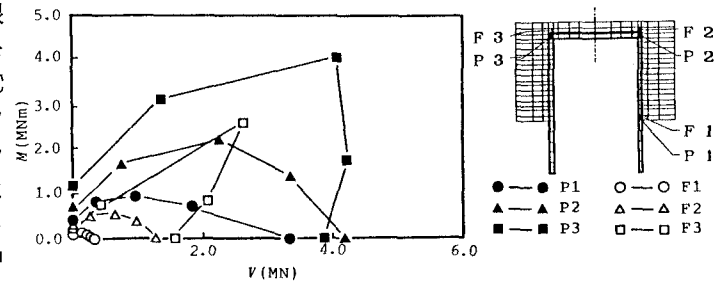


Fig.3 Interaction-Curve(SC-A3)