

金沢大学工学部 正員 近田康夫

金沢大学工学部 正員 小堀為雄

1. はじめに

杭基礎における杭一フーチング結合部(杭頭結合部)は、上部工からの力を杭へ円滑に伝達するうえで、構造上極めて重要な部位であるが、その応力伝達機構には、未だ不明な点も多く、合理的な設計、施工方法の確立への努力が重ねられている。本報告では、杭頭結合部を非軸対称荷重を受ける軸対称体としてモデル化し、有限要素法を用いて応力伝達機構の把握を試みた。さらに、解析結果と、現行示方書¹⁾における杭頭結合部の応力照査式のための仮定応力分布との比較を行い、応力照査方法の検討を行った。なお、杭一フーチング間の境界面上における剝離、滑動の発生は、応力伝達機構に大きく影響すると考えられることから、これを、軸対称ジョイント要素を用いて表現した。

2. 解析

解析モデルを図1に示す。荷重条件は、文献2)の杭基礎設計計算例を用い、表1、表2のような解析条件のもとで解析を行った。解析は、円柱座標系において変位及び荷重を円周軸方向にフーリエ級数表示し、フーリエ級数の直交性を利用して平衡方程式を調和次数ごとに分離することにより、一子午面に関する要素分割のみで解析を可能とする、半解析的手法に従った。ジョイント要素は、法線方向に引っ張り強度をもたないものとし、また、圧縮下での滑動条件は、Mohr-Coulomb型の構成条件を与え、粘着力C及び内部摩擦角 ϕ により規定した。解析手法の詳細に関しては、文献3)、4)を参照されたい。

3. 解析結果とその考察

解析結果の一部を図3～4に示す。図3～4には、図2に示すように、 $\theta = 0$ 、 π 子午面における、杭一フーチング境界面近傍のフーチングコンクリート支圧応力(σ_r 及び σ_z)の分布を示してある。応力値は図1中の、a-a、b-b、c-cの各断面上のガウス積分点における値である。なお、破線はジョイント要素を用いない線形解(境界面上で剝離、滑動が発生しない場合)を、実線はジョイント要素を用いて剝離、滑動を考慮した場合の解を、そして二点鎖線は、示方書の杭頭結合部の応力照査式による応力値である。

図5に示す示方書の応力照査式で仮定する応力分布と、本解析結果とでは、かなり傾向が異なっている。これは、示方書では、軸力に関しては杭上面の支圧のみで抵抗させ(従って、図5のような一様分布を仮定する)、水平力及びモーメントに関しては、杭周面の支圧のみで抵抗させているのに対して、本解析では、杭周面での付着抵抗や摩擦抵抗を考慮していることに起因すると考えられる。図3～4では、杭周面において、剝離や滑動が発生すると、それまではフーチング下面近傍で伝達されていた引っ張り応力($\theta = \pi$ 子午面)が、圧縮側杭周面下方($\theta = 0$ 子午面)と引っ張り側杭上面($\theta = \pi$ 子午面)による変則的テコ支持機構へと変化している様子がよみとれる(ただし、杭上面は、アンカー鉄筋などで補強されるのが一般的であることから剝離が生じないものとしている)。この解析結果をみると、部分的に、示方書の仮定応力分布を上回る場合があり、これはさきに述べた杭周面の付着や摩擦の効果を、そして、各作用荷重の応力分布への複合的な寄与、たとえば、杭上面の支圧には軸力のみならず水平力やモーメントの効果を、応力照査において考慮すべきであることを示唆しているといえる。

4. 結言

杭一フーチング境界面における剝離、滑動を考慮した有限要素解析結果に基づいて、杭頭結合部の安全性照査に関する若干の考察を行った。今後、鉄筋要素の導入などにより、さらに現実に近いモデル化を行い、具体的な応力照査方法への提案を試みる予定である。なお、本報告の一部は、文部省科学研究費(奨励研究A)によるものである。

参考文献

(1)道路橋示方書・同解説Ⅳ 下部構造編

(2)浅間ほか, くいおよびケーソン基礎の設計計算例, 山海堂, 1982

(3)O.C.Zienkiewicz, マトリックス有限要素法 (3 訂版), 培風館, 1984

(4)小堀, 近田, An Axisymmetric Joint Element Under Non-axisymmetric Loading in Semi-analytical Finite Element Method, Proc. of JSCE, No.368 (I-5), 1986.4.

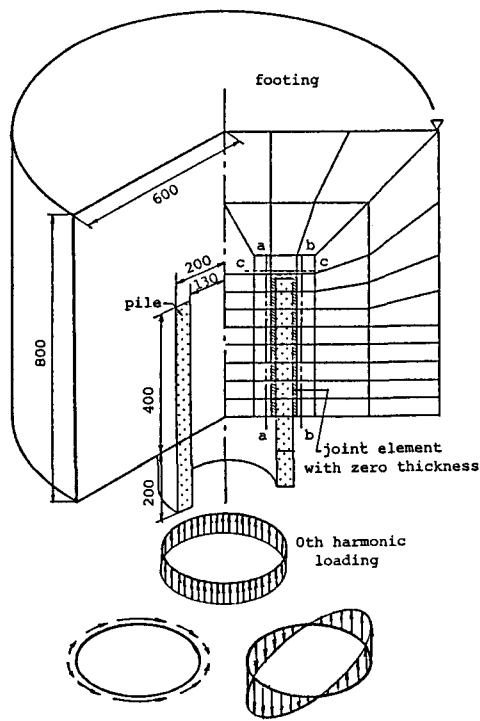


図1 有限要素解析モデル

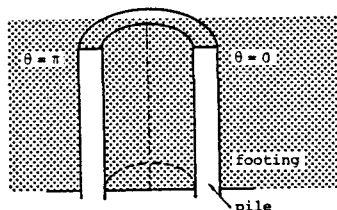
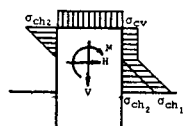


図2 応力分布表示子午面



$$\sigma_{cv} = \frac{4V}{\pi D^2} \leq \sigma_{ca}$$

$$\sigma_{ch} = \sigma_{ch1} + \sigma_{ch2} \leq \sigma_{ca}$$

$$\sigma_{ch1} = \frac{H}{D L}, \quad \sigma_{ch2} = \frac{6M}{D L^2}$$

図3 応力照査式

表1 荷重条件

pile No.	V (MN)	H (MN)	M (MNm)	Loading case No.
I	-6.27×10^{-2}	6.08×10^{-2}	3.63×10^{-2}	LC-1
II	7.45×10^{-2}	6.08×10^{-2}	3.63×10^{-2}	LC-2
III	4.19×10^{-1}	6.08×10^{-2}	3.63×10^{-2}	LC-3
IV	5.57×10^{-1}	6.08×10^{-2}	3.63×10^{-2}	LC-4

表2 物性値

	Footing	Pile	Joint
E (MPa)	3.43×10^4	3.43×10^4	—
v (—)	0.17	0.17	—
k_{ξ} (MPa/m)	—	—	7.50×10^5
k_{η} (MPa/m)	—	—	1.50×10^6
k_{θ} (MPa/m)	—	—	7.50×10^5
C (MPa)	—	—	0.0 0.05 5.0
ϕ (°)	—	—	0 30

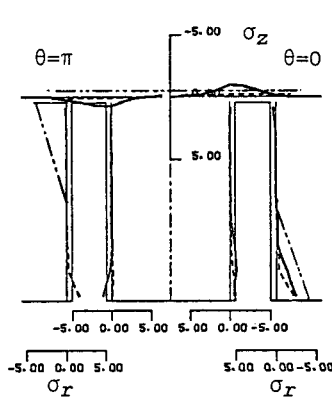


図3 支圧応力分布図

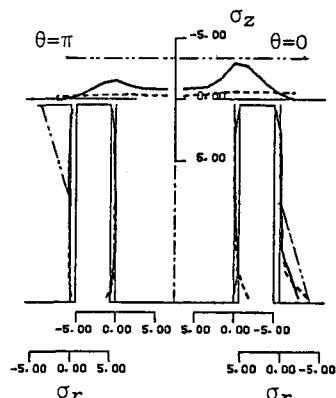


図4 支圧応力分布図