

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

杭基礎における杭頭結合部の応力伝達機構を有限要素法を用いて解析する場合、杭頭結合部は軸対称体としてモデル化されるのが一般的である。しかし、非軸対称荷重、例えば水平力が作用する場合に対しては、もはや軸対称問題としては取り扱えず、Fourier 級数を用いた半解析的な手法を用いることになる¹⁾。さらに、杭とフーチングの間の剝離や滑動をどのようにモデル化するかも大きな課題の一つである。本報告では従来軸対称問題への適用にとどまっていたGoodman のジョイント要素²⁾を、上述の半解析的な手法に適用し得るように拡張し、杭頭結合部の応力解析への適用例を示すものである。

2. 非軸対称荷重下の軸対称ジョイント要素³⁾

図1に示すような4節点の軸対称ジョイント要素を考える。

導出の詳細は文献3)にゆずるが、要素中心で評価した要素剛性マトリックスKは、局部座標系において、

$$K = \frac{\pi \bar{r} L}{4} \begin{bmatrix} k & k & -k & -k \\ & k & -k & -k \\ \text{sym.} & & k & k \\ & & & k \end{bmatrix} \quad (n \geq 1) \quad (1)$$

ただし、 $k = \text{diag}[k_\xi \quad k_\eta \quad k_\theta]$ であり、 $k_\xi \quad k_\eta \quad k_\theta$ はそれぞれ、接線、法線、円周方向の単位長さ当りの接合剛性である。またnはFourier 級数項の次数であり、さらに、式(1)中の係数 $\pi \bar{r} L / 4$ は、 $n = 0$ の場合 $\pi \bar{r} L / 2$ となる。要素中心におけるジョイント内応力は、

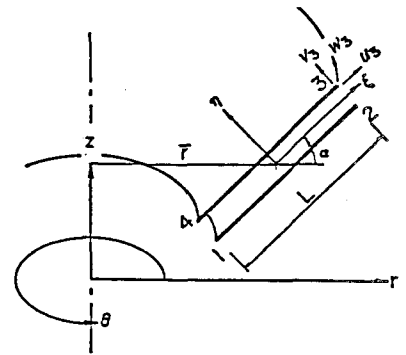


Fig. 1 Notation for joint element

$$\{\sigma\} = 0.5 \begin{Bmatrix} k_\xi (-u_1 - u_2 + u_3 + u_4) \\ k_\eta (-v_1 - v_2 + v_3 + v_4) \\ k_\theta (-w_1 - w_2 + w_3 + w_4) \end{Bmatrix} \quad (2)$$

u_i, v_i, w_i はそれぞれ節点 i の ξ, η, θ 方向変位成分
 また、 N を採用する級数項の数とすれば、

$$u_i = u_i^0 + \sum_{n=1}^N \bar{u}_i^n \cos(n\theta) + \sum_{n=1}^N \bar{v}_i^n \sin(n\theta) \quad (3)$$

解析手順は、(1)Fourier 次数ごとに平衡方程式を解いて未知変位のFourier 成分を求め、これに対応した応力を算出してFourier 合成することにより特定の θ 断面における応力を得る。幾つかの θ 断面について同様にして3次元解を得る。(2)応力を求めた θ 断面においてジョイント要素に剝離や滑動が生じたかどうかを判定する。ジョイント要素は、法線方向には引っ張り強度をもたず、滑動に関してはMohr-Coulombの降伏基準に従うものとする。(3)剝離や滑動が生じた場合には、それに対応して応力を解放し、応力伝達法⁴⁾に従って収束計算を行う。収束は、解放応力に対応した節点力のノルムが、作用荷重のノルムの何%になったかをもって判定する。

3. 解析例

図2に示すような水平力が作用する杭頭結合部を、図3のようにモデル化する。諸物性値は、表1に示すとおりである。表1からもわかるように、解析は、杭一フーチング間において(1)剝離のみが生ずる場合(case 1)、(2)剝離とともにMohr-Coulomb則に従って滑動が生じる場合(case 2)、(3)境界面では摩擦が働かない場合(case 3)の3通りについて行った。また、杭の上端は普通、鉄筋がはつり出されているので、ここでは剝離や滑動は生じないものとした。解析結果の一部を図4~7に、図3のa-a断面、b-b断面上での σ_z 、 σ_r の分布で示す。なお、紙面の都合により、結果はcase 1およびcase 3についてのみ示す。また、

各図では、比較のためにジョイント要素を入れない場合の結果を破線で示している。

図4、図6では、剥離が生じたために σ_z の分布が杭一フーチング境界面上で不連続になっている様子がよくわかる。

図5、図7からは、境界面での摩擦の有無によって、フーチング下面近傍での σ_x の値が大きく異なることが注目される。また、剥離の発生によって、支持機構がテコ作用に近い状態になっていることもわかる。

この例では、水平力のみを作用させているので断定はできないが、剥離や滑動の発生によって、杭中の σ_z が極端に大きくなること、 σ_x の値は、摩擦が働く場合には余り大きくないことがわかった。

4. 結言
Goodman のジョイント要素を拡張し、杭一フーチング間の剥離や滑動を表現することを試みた。その結果、応力分布状態の変化や支持機構の変化をかなりよく表現することができた。

ここでの結果は、従来の実験結果の傾向をよく再現しており、今後は種々のパラメトリック・スタディを行うとともに、定量的な検討が望まれよう。

参考文献

1) 小堀, 近田: 土木学会論文集, No.356, pp. 90~96, 1985.4.

2) R.E.Goodman et al : ASCE, 95, SM3, pp.637 ~659, 1968.

3) 小堀, 近田: 構造工学論文集 Vol.31A, 1985.

4) O.C.Zikiewicz et al : Geotechnique, 18, pp. 56~66, 1968.

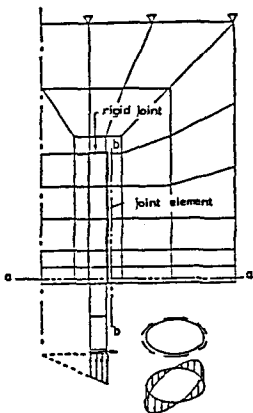


Fig. 3 Finite element mesh

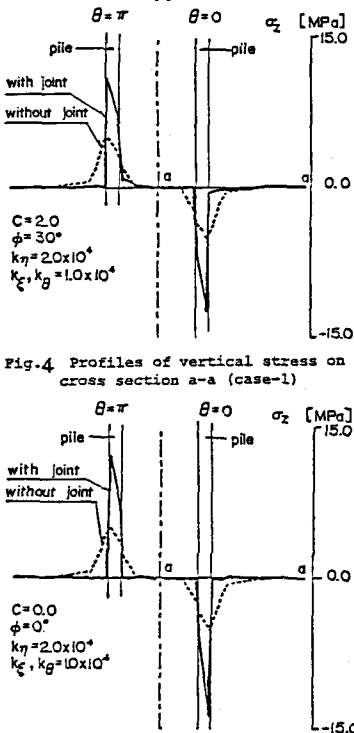


Fig. 6 Profiles of vertical stress on cross section a-a (case-3)

Table 1 Physical properties

		case-1	case-2	case-3
Pile, Footing	Young's modulus E	2.0×10^4 (MPa)	2.0×10^4 (MPa)	2.0×10^4 (MPa)
	Poisson ratio ν	0.17	0.17	0.17
Joint	k_ξ	1.0×10^4 (MPa/m)	1.0×10^4 (MPa/m)	1.0×10^4 (MPa/m)
	k_η	2.0×10^4 (MPa/m)	2.0×10^4 (MPa/m)	2.0×10^4 (MPa/m)
	k_g	1.0×10^4 (MPa/m)	1.0×10^4 (MPa/m)	1.0×10^4 (MPa/m)
	C	2.0 (MPa)	0.5 (MPa)	0.0 (MPa)
	ϕ	30°	30°	0°

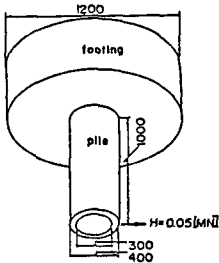


Fig. 2 Connection between pile-head and footing

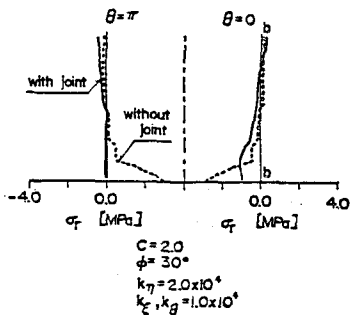


Fig. 5 Profiles of horizontal stress on cross section b-b (case-1)

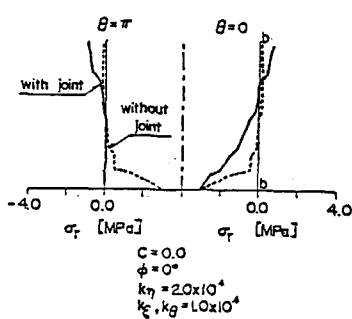


Fig. 7 Profiles of horizontal stress on cross section b-b (case-3)