

杭頭結合部の応力伝達について

金沢大学 工学部 正会員 ○近田康夫, 同 小堀為雄

1. はじめに 橋梁の杭基礎における杭—フーチング結合部（杭頭結合部）は、上部工からの力を円滑に杭へ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が多く、より合理的な設計・施工方法の確立への努力が重ねられている。¹⁾本報告は、従来の実験的研究により指摘されている、杭頭結合部の耐力に対する軸力および杭周面の摩擦抵抗の効果を、数値計算による応力分布の傾向から検討したものである。

2. 解析手法 杭頭結合部は図1に示すように、非軸対称荷重下の軸対称体としてモデル化した。解析には、円筒座標系において、荷重や変位を円周軸方向にFourier級数表示し、Fourier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3次元解析を可能とする、半解析的有限要素法を採用した。また、応力伝達機構に大きく影響すると考えられる、杭とフーチングとの境界面での剥離や滑動の発生を表現するために、軸対称joint要素を導入した。^{2),3)}このjoint要素は、法線方向に引っ張り強度をもたず、圧縮力下では、Mohr-Coulomb型の構成関係に従って、粘着力Cおよび内部摩擦角 ϕ により滑動発生の判定がなされるものとした。解析に用いた諸条件および物性値は表1および表2に示すとおりである。

3. 解析結果 解析結果の一部を図2に示す。図2には杭軸に直交する幾つかの断面における杭外周面近傍のフーチング・コンクリート応力の円周方向分布を示してある。各図では、解析結果の応力を実線で、また、比較のためにjoint要素を用いない場合の解析結果（杭周面で剥離、滑動が発生しない場合に相当する）を破線で表示してあり、表1の各解析条件のもとで、剥離、滑動の発生により応力状態がどのように変化するのかが検討できる。さらに、図中のC-12、C-22、C-32およびC-42の各図をそれぞれ比較すれば軸力の効果が、一方、C-31、C-32およびC-33の各図をそれぞれ比較すれば杭周面の摩擦抵抗の効果が検討できる。

以下に、図から読み取れる主な特徴を列挙すると、(1)支圧応力(σ_r)に注目すると、軸力が引っ張り若しくは圧縮の小さい場合（C-12、C-22）には、剥離や滑動の発生によりフーチング下面の支圧応力が増加するが、大きな圧縮軸力のもとでは（C-32、C-42）杭—フーチング間の摩擦によるフーチングの巻き込み現象が生じ、支圧応力は却って減少している。(2)剥離や滑動が発生した場合には、支圧応力の最大値は殆ど変わらないが（C-12、C-22、C-32、C-42）、軸力の大きい場合程圧縮域が広いことがわかる。(3)杭周面の摩擦抵抗が小さくなるにつれて（C-31、C-32、C-33）、フーチングの巻き込みはなくなり、支圧応力は増加している。(4)剪断力(τ_{rz})に関しては、やはり、分布域が軸力の増加にともなって拡大する傾向にある。

以上の解析結果の傾向から、軸力および杭周面の摩擦抵抗が杭頭結合部における応力の集中を緩和し、結果的に結合部の耐力を高めていることがうかがえる。

4. おわりに 杭頭結合部の応力状態に対する、軸力および杭周面の摩擦抵抗の効果を有限要素解析を通して検討し、従来の実験結果の傾向を間接的にではあるが説明できた。

謝辞 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。また、数値計算には金沢大学情報処理センター設置のFACOM M-360APを使用した。記して感謝の意を表す次第である。

- 参考文献 1) 大志万和也・堀井次郎：新しい鋼管杭の杭頭結合方法、土木技術資料、27-1、pp.33~39、1985。
2) 櫻並 昭ほか：鋼管杭頭部の支圧及び付着に関する研究（その1—その6）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.2021~2032、1980。

- 3) たとえば、駒田敬一・足立義雄：くい頭部とフーチング結合部の試験について、昭和48年度建設省技術研究会報告。
4) 小堀為雄・近田康夫：非軸対称荷重を受ける軸対称体の有限要素解析における不連続面の取り扱いについて、構造工学論文集、Vol.31-A、pp.245~250、1985。

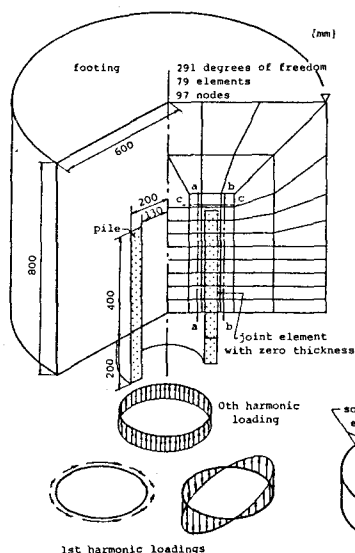


Fig.1 Pilehead connection model and joint element

Table 1 Material properties.

	Footings	Pile	Joint
E (MPa)	3.43×10^4	3.43×10^4	—
ν (—)	0.17	0.17	—
k_c (MPa/m)	—	—	7.50×10^3
k_n (MPa/m)	—	—	1.50×10^4
k_θ (MPa/m)	—	—	7.50×10^3
C (MPa)	—	—	0.0 0.05 5.0
ϕ (°)	—	—	0 30

Table 2 Conditions of analyses.

case No. of analysis	strength constants of joint	debonding at pile top	loading case
C-11	$C=5.0, \phi=30^\circ$	No	LC-1
C-12	$C=0.05, \phi=30^\circ$	No	
C-13	$C=0.0, \phi=0^\circ$	No	
C-14	$C=0.05, \phi=30^\circ$	Yes	
C-21	$C=5.0, \phi=30^\circ$	No	LC-2
C-22	$C=0.05, \phi=30^\circ$	No	
C-23	$C=0.0, \phi=0^\circ$	No	
C-24	$C=0.05, \phi=30^\circ$	Yes	
C-31	$C=5.0, \phi=30^\circ$	No	LC-3
C-32	$C=0.05, \phi=30^\circ$	No	
C-33	$C=0.0, \phi=0^\circ$	No	
C-34	$C=0.05, \phi=30^\circ$	Yes	
C-41	$C=5.0, \phi=30^\circ$	No	LC-4
C-42	$C=0.05, \phi=30^\circ$	No	
C-43	$C=0.0, \phi=0^\circ$	No	
C-44	$C=0.05, \phi=30^\circ$	Yes	

pile No.	V (MN)	H (MN)	M (MNm)	Loading case No.
I	-6.27×10^{-2}	6.08×10^{-2}	3.63×10^{-1}	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

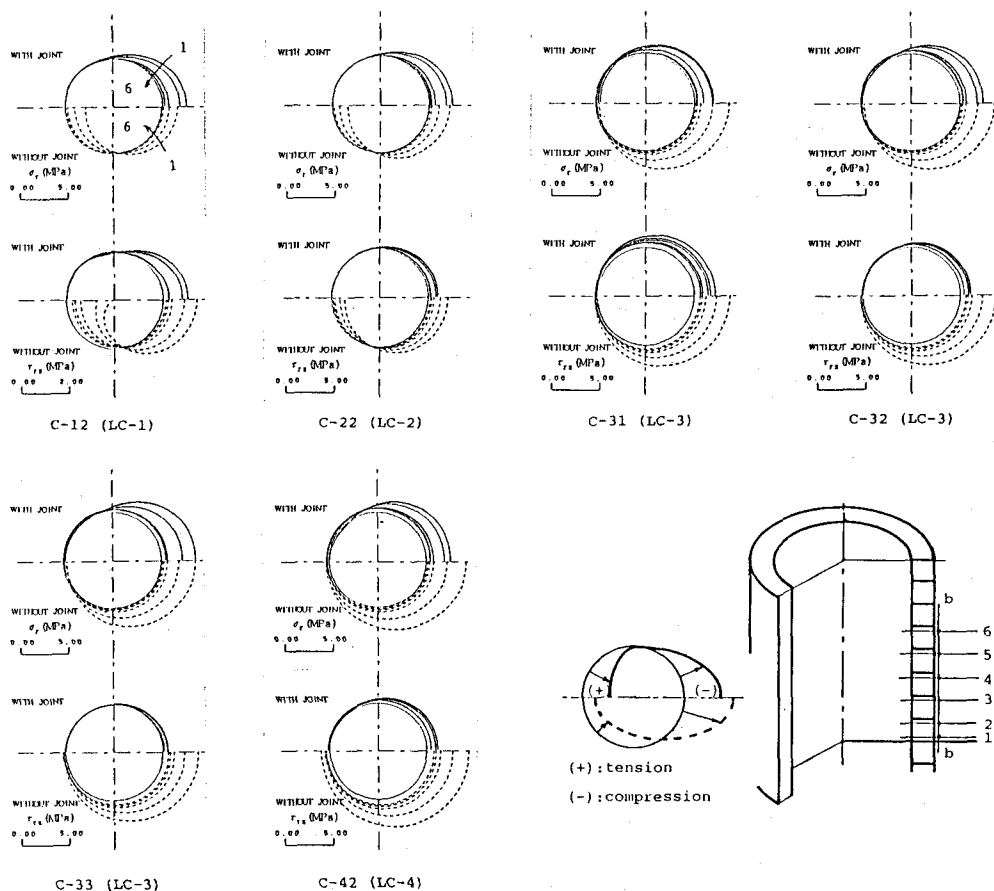


Fig.2 Stress distribution profiles along circumferential axis