

杭頭結合部の応力伝達に関する一考察

金沢大学大学院 学生員○田中恵一  
 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

構造物の基礎として杭基礎を用いる場合、杭とフーチングの結合部（以下杭頭結合部）は、断面が急変するため応力が集中し、構造上の弱点となりやすい。そのために杭頭結合部の安全性には十分な配慮が必要とされているが、応力伝達機構については、なお不明な点が多いとされている。。これらの点を解明すべく、数々の模型実験がなされてきたが、(1) 莫大な費用、(2) 現象の支配パラメーターの特定が困難、などの問題点が伴うため、数値計算によるパラメトリックスタディが有力な一手段として考えられる。しかしながら、従来は、実験的な研究が主であり、数値解析による検討はごくわずかである。また、現在の結合方法<sup>1)</sup>は、従来の結合方法<sup>2)</sup>に比べ、ずれ止め・中詰コンクリートなどの点で改良が加えられている。そこで、本報告では、有限要素法を用いて数値解析を行い、応力伝達機構を解明するとともに、ずれ止め・中詰コンクリートの効果を検討するものである。

表1 モデルの分類

2. 解析例

(1) 解析モデル

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、フーリエ級数の直交性を利用した半解析的手法を採用することとした。また、杭とフーチングの境界部分の剝離・滑動状況を表現するために、軸対称ジョイント要素を導入することとした。

杭頭結合部のモデル化を行う際に、結合方法の改良<sup>1)</sup>によりどれだけの効果が得られたかを調べるために、新結合方法<sup>1)</sup>と旧結合方法<sup>2)</sup>の双方をモデル化した。また、ずれ止め・中詰コンクリートの効果を調べるために、

	モデルCase		Joint 要素の条件	荷重Case
PC杭	PCA	新A 方法	C = 0.0 5.0	PC1 PC2
	PCAO	旧A 方法		
	PCB	新 IEB 方法		
	ZPCA	新A 方法 (ずれ止め)		
	ZPCAO	旧B 方法 (ずれ止め)		
	ZPCB	新B 方法 (ずれ止め)		
	HPCA	新A 方法 (中詰半分)		
SC杭	SCA	新A 方法 (ずれ止め2)	C = 0.0 5.0	SC1 SC2
	SCAO	旧A 方法		
	SCB	新B 方法 (ずれ止め2)		
	SCBO	旧B 方法		
	ZSCA	新A 方法 (ずれ止め3)		
	ZSCB	新B 方法 (ずれ止め3)		
	HSCA	新A 方法 (ずれ止め0)		
	HSCB	新B 方法 (ずれ止め0)		

ずれ止めの数、中詰コンクリートの深さを変化させることとした。そのモデルの分類を表1に示し、モデルPCAの有限要素解析モデル及び有限要素分割を図1に示す。また、解析に用いた諸物性値を表2に示す。ここで、表3に示す荷重は、文献1)に示されている杭基礎の設計計算例を採用し、軸力は荷重の0次調和成分で、水平力及びモーメントは1次調和成分で表現される。

表2 諸物性値

	Footing	PC pile	SC pile	ずれ止め	Joint要素
E (MPa)	3.43×10 <sup>4</sup>	3.43×10 <sup>4</sup>	2.06×10 <sup>5</sup>	2.06×10 <sup>5</sup>	—
ν (—)	0.17	0.17	0.3	0.3	—
k <sub>x</sub> (MPa/m)	—	—	—	—	7.50×10 <sup>5</sup>
k <sub>y</sub> (MPa/m)	—	—	—	—	1.50×10 <sup>4</sup>
k <sub>θ</sub> (MPa/m)	—	—	—	—	7.50×10 <sup>5</sup>
c (MPa)	—	—	—	—	0.0 5.0
φ (°)	—	—	—	—	30°

(2) 解析結果

図2にモデルPCAのθ=0、π断面でのジョイント要素に隣接するソリッド要素の、杭とフーチングの境界面に近いGauss積分点における応力を示す。ここで、破線はジョイント要素のない線形解を、実線は杭とフーチングの境界面における剝離、滑動を考慮した非線形解を

表3 荷重条件

Pile	V (MN)	H (MN)	M (MNm)	Case
PC杭	1.26	0.00	0.08	PC1
	1.26	0.11	0.08	PC2
SC杭	2.26	0.00	0.40	SC1
	2.26	0.25	0.40	SC2

表す。また、応力値は引張を正とする。

まず、(a) において線形解と非線形解とを比較してみると、 $\theta = 0$  断面における杭外周面のフーチング下面近傍、 $\theta = \pi$  断面における杭内周面の中詰コンクリート下面近傍と杭頂部での応力分布に違いがみられる。つまり、杭周面の下面に剥離が発生したことにより、剥離発生前に伝達されていた応力が伝達されなくなり、そのため剥離発生以前に伝達されていた応力が杭頭部に流れ、杭頭部の杭内周面の応力、杭頂部の応力が圧縮側に大きくシフトしたものと考えられる。つぎに、(a) と (b) において杭とフーチングの境界面の摩擦の有無の効果について考察すると、杭頂部の応力分布および杭内周面の応力分布傾向が大きく異なり、摩擦によって本来杭頭部に伝わるべき応力が、杭周面で受け持たれることになったものと考えられる。

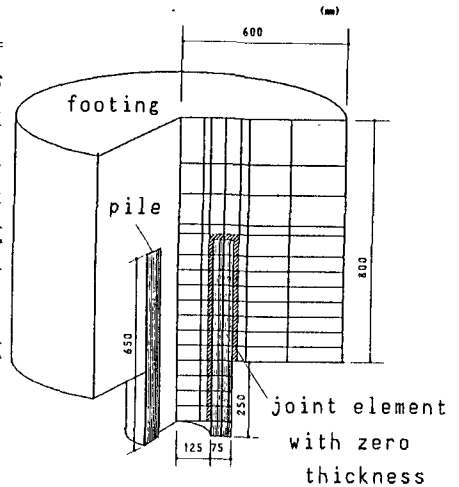


図1 有限要素解析モデル  
及び有限要素分割

(c), (d) の剪断力分布について考察すると、(c) における線形解と非線形解との比較では、特に、杭外周面と中詰コンクリート下面近傍での応力分布に違いがみられ、垂直応力の場合と同様に、剥離が生じたため剪断力が伝達されなくなったものと考えられる。つぎに(c) と (d) を比較すると、(d) の方がより線形解に近い応力分布となっており、境界面の摩擦により、かなりの応力が伝達されていることが示されていると言える。

### 3. 結言

半解析的手法を用いた有限要素解析により、杭頭結合部の応力伝達機構の解明を試みた。得られた結果より、中詰コンクリート下面近傍、フーチング下面近傍で剥離、滑動が発生した場合、杭頭部に大きな応力が伝達されることがわかった。また、杭とフーチングの境界面における摩擦は、とくに軸力の伝達に対し大きな効果を及ぼすことがわかった。

最後に、本報告では、紙面の都合上他のモデルについて省略したことをおわびします。また、本報告の数値計算には、金沢大学情報処理センター設置のFACOM M 360 を使用したことを付記する。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：杭基礎設計便覧，丸善，昭和61年1月
- 2) 日本道路協会：道路橋示法書（I 共通編・下部構造編），同解説，丸善，昭和57年。

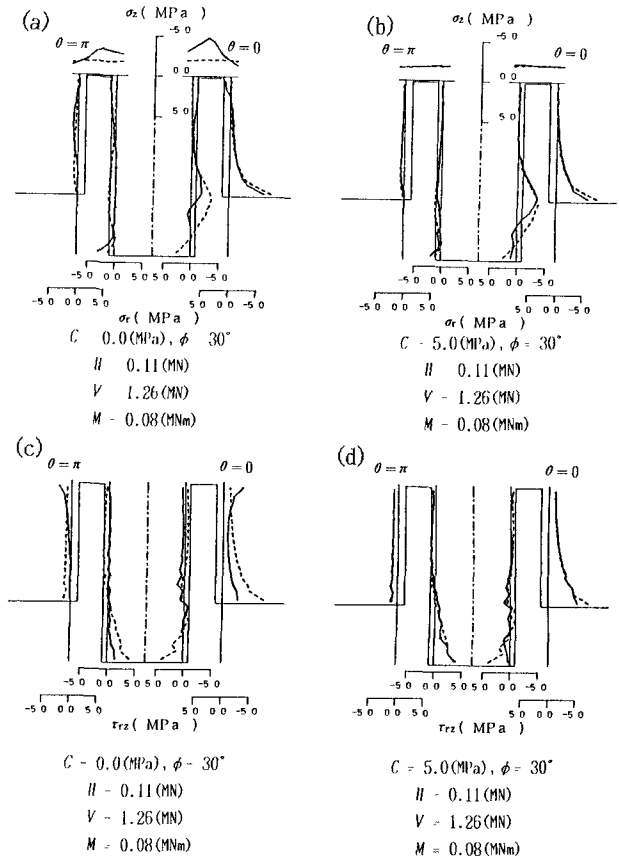


図2 ジョイント面近傍のフーチング内応力