鋼管杭とフーチングの接合部に関する研究（その２：モデル化手法）

鉄道総合技術研究所　正会員○江口　聡*　鉄道総合技術研究所　正会員　神田　政幸*
鉄道総合技術研究所　正会員　谷口　望*　新日本製鐵株式会社　正会員　平田　尚**

１　はじめに

筆者らは，接合部の合理的な設計手法の一環として，鋼管によるコンクリートの拘束効果を考慮した，耐荷性能の評価法を提案した[1)]．しかし鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計[2)]（以下，耐震標準）では，部材の塑性化を許容した設計体系となっており，耐荷性能を照査指標とすることは必ずしも合理的とはいえない．そこで今回，新たに行った追加実験の結果も踏まえて，変形性能に着目した設計モデルを提案する．

２　接合部の変形モデル

接合部断面の変形特性については耐震標準における RC 部材モデルをもとに，交番載荷実験結果より M-θ関係を，以下の算定式により計算される，図１に示すようなトリリニアモデルとして推定した．

・Ｙ点（降伏点）

①　曲げモーメント M_y：引張側の最外縁の鉄筋が降伏する時の曲げモーメントとする．

②　θ_y：引張縁鉄筋の降伏時の部材角とし，杭側・フーチング側両方での鉄筋の抜け出しを考慮する．

$$\theta_y = 2\Delta L_y/(d-x_y) \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

ただし，d：鋼管厚を考慮した杭頭接合部の有効高さ，　x_y：降伏時の中立軸

$$\Delta L_y = 7.4 \cdot \alpha \cdot \varepsilon_y(6+3500\varepsilon_y)\phi/(f_{fcd})^{2/3} \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

α：鉄筋間隔の影響を表す係数で，一段配筋の場合は式(3)により算定する．

$$\alpha = 1+0.9e^{0.45(1+Cs/\phi)} \quad \cdots\cdots\cdots(3)$$

f_{fcd}：部材接合部のコンクリートの設計圧縮強度で，材料係数γc=1.0 として算定する．

Cs：アンカー鉄筋の中心間隔，　ϕ：アンカー鉄筋の直径

・M1 点（最大耐力到達点）

①　Mm（最大曲げモーメント）：コンクリートの圧縮ひずみがコンクリートの終局ひずみε'_cに達する時の曲げモーメント．ε'_cはコンクリート充填鋼管柱部材（CFT 柱部材）と同等の終局ひずみが期待できるので，杭頭接合部の終局ひずみは CFT 柱の終局ひずみの式を用いる．

$$\varepsilon'_c = 1.474(f_{syd}/E_s)(D/t/100)^{-1}+0.006 \quad \cdots\cdots\cdots(4)$$

ここに，f_{syd}：鋼管の設計降伏強度，　E_s：鋼管の弾性係数

②　部材角θ_{m1}：$\varepsilon=\varepsilon'_c$時の部材角とし，$M_1$時における軸方向鉄筋抜け出しによる回転角の２倍として計算する．

$$\theta_{m1} = 2\{(2.7k_{w1} \cdot p_w+0.22)(1-N'/N'_b)+1\}\theta_y \quad \cdots\cdots\cdots(5)$$

・M2 点（M_mを維持できる最大の部材角θ_{m2}点）

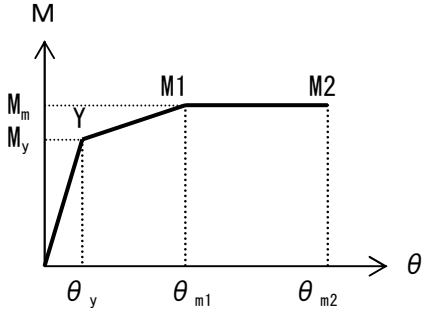

図１ 接合部変形モデル

表１ 実験ケースおよび結果

	アンカー主筋	軸力(kN)	拘束	M_y	M_m	θ_y	θ_{m1}	θ_{m2}	記事
CASE1	SD345　24-D22	0.3N'y＝1175	－	560	751	0.0059	0.0207	0.0286	標準的な設計を想定
CASE2	SD345　20-D19	0.3N'y＝1175	考慮	445	582	0.0048	0.0169	0.0317	
CASE3	SD345　18-D16	0.3N'y＝1175	考慮	325	418	0.0024	0.0085	0.0393	
CASE4	SD345　20-D19	0.0N'y＝0	考慮	282	411	0.0032	0.0117	0.0478	無軸力下での検証
CASE5	SD345　20-D19	−0.3N'y＝−1175	考慮	81	173	0.0019	0.0088	0.0369	引張軸力下での検証
CASE6	SD345　20-D19	0.6N'y＝2349	考慮	548	683	0.0039	0.0121	0.0281	

Key Words：鋼管接合部，耐荷性能，変形性能，終局ひずみ

*〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　TEL.042-573-7280　FAX.042-573-7472
**〒293-8511　千葉県富津市新富 20-1　TEL.0439-80-3085　FAX.0439-80-2745

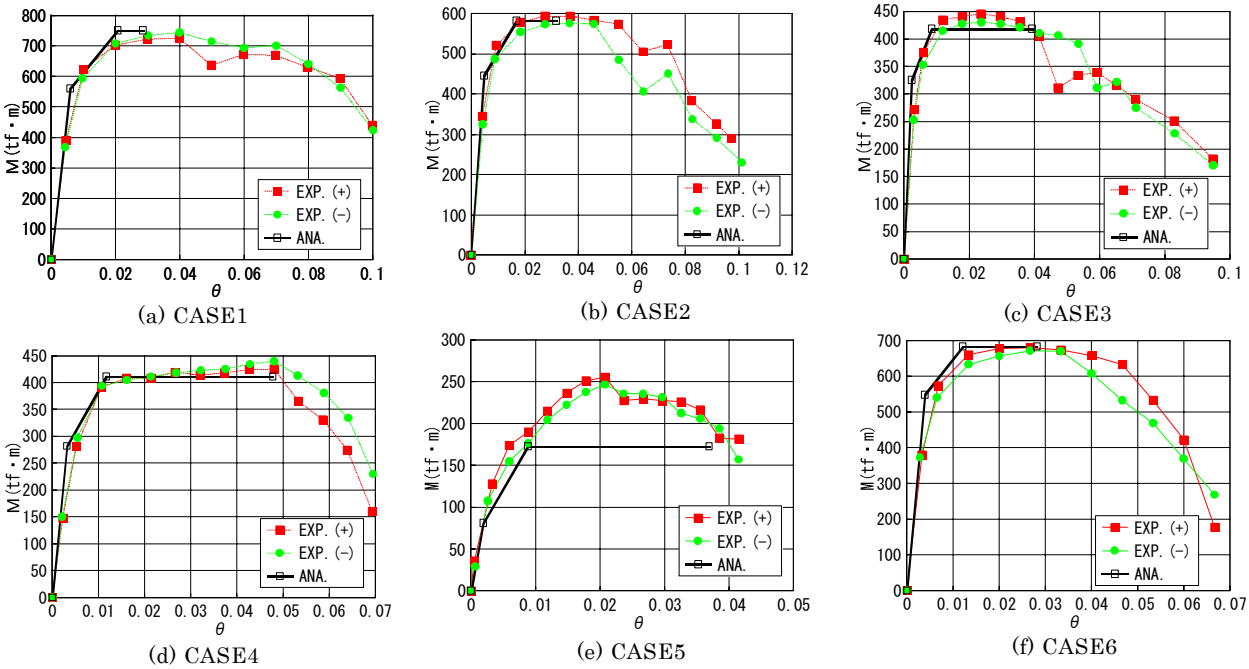

図 2 M−θ 曲線（実験値・理論値）

① M_2：M_1 と同値とする．

② θ_{m2}：接合部が最大曲げモーメント M_m を維持できる最大の部材角で式(6)により表される．

$$\theta_{m2} = \phi_m \cdot L_P \qquad \cdots\cdots\cdots(6)$$

ここに，　ϕ_m：コンクリートの終局ひずみに達した時の曲率 ϕ_{cm}（$\phi_{cm} = \varepsilon'_c/x$）と最外縁の鉄筋が終局ひずみ（=0.05）に達した時の曲率 ϕ_{sm}（$\phi_{sm} = \varepsilon_{stu}/(d-x)$）のうち小さい方の値．

L_P：等価塑性ヒンジ長(＝鉄筋定着長 300mm)

3　実験結果との比較

表 1 に交番載荷実験結果[3)] を示す．実験値と計算値をケースごとにプロットしたものを図 2 に示す．なおグラフは正方向載荷 EXP.(+)，負方向載荷 EXP.(-)を同一象限に描いている．図 2 より以下が読み取れる．

(1) 全ケースについて，M1 点および，M2 点の計算値のプロットはほぼ，実験値と一致している．

(2) 圧縮軸力のケースでは，最大耐力ともよく一致し，M2 点を仮定した点以降，グラフは負勾配となり耐力が急激に低下している．一方で，引張軸力作用時（CASE5）においては，最大耐力に開きが見られる．

4　まとめ

実験結果との比較を受けて，本研究において以下のような知見が得られた．

(1) 接合部の設計モデルはM1 点では，フーチングと鋼管の両方からの抜け出し量を考慮（2 倍）することにより，またM2 点については引張側鉄筋の終局ひずみを仮定することにより設定可能である．

(2) 計算で仮定した M2 点以降の実験での挙動より，M2 点を損傷レベル 3 の限界点と定義することができるため，実際の設計における構造物系の耐震照査では本提案モデルは有効であると考えられる．

本手法の考え方において，終局時の回転角が杭径によって決まることが十分考えられるため，一定値と仮定した終局点における回転角と，杭径あるいは拘束効果などの他の影響要因との関連について，今後行われる追加実験等の結果を含めながら理論的に明らかにし，合理化設計に反映させることが今後の課題である．

参考文献

1) 吉村剛：鋼管杭とフーチング接合部の耐荷力の評価，第 153 回鉄道総合技術研究所月例発表会講演要旨，PP15-18，2002.

2) 運輸省鉄道局監修　鉄道総合技術研究所編　鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計，丸善，1999.

3) 平田尚，木下雅敬，谷口望，濱田吉貞：鋼管杭とフーチングの接合部に関する研究（その 1 ：交番載荷試験），土木学会第 58 回年次学術講演概要集，2003，投稿中．