

急速立体交差化工法 Q C I B 工法の杭頭結合構造の性能確認実験

J F E 技研(株) 正会員 恩田 邦彦* 同左 正会員 長山 秀昭*
 J F E エンジニアリング(株) 正会員 小泉 幹男**

1. はじめに

急速立体交差化工法として開発した Q C I B 工法では、鋼製フーチングと杭の結合に関して、簡略で急速施工が可能な方法として、図1に示す二重管式杭頭結合構造を採用している。本構造は、鋼管にずれ止めを設けて、径の大きな鋼管内に、それより径の小さな鋼管杭を直接埋め込み、環状の隙間にコンクリートを充填して一体化する剛構造である。本稿では、交番载荷試験により、杭頭結合部の耐荷特性、変形性能を確認するとともに、設計法について検討した結果を報告する。

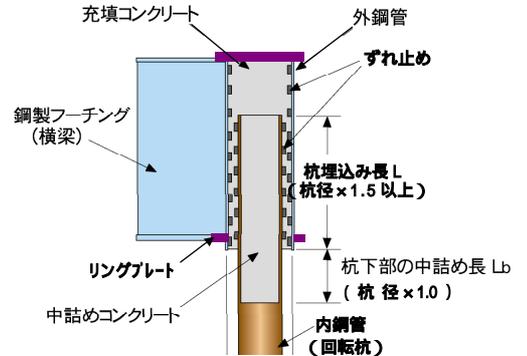


図1 二重管式杭頭結合構造

2. 実験目的

実験の目的および項目を以下に示す。

供用時荷重（常時，レベル1地震時）における杭頭結合部の荷重伝達機構の確認，および結合部の設計法を構築する。

終局状態に至るまでの杭頭結合部の変形・破壊状況を確認し，構造の安全性を検証する。

3. 実験概要

図2に試験体，表1に実験ケースを示す。試験体はフーチング横梁を含めた杭頭結合部試験体とし，実験ケースは，軸力の有無，偏芯の有無をパラメータとした3ケースを設定した。内鋼管（杭） 508mm×t12（STK400），外鋼管 711mm×t16（STK400），ずれ止めは厚さ12mm×幅20mmの平鋼(SS400)を5段配置，埋込み長は，杭径の1.5倍としている。

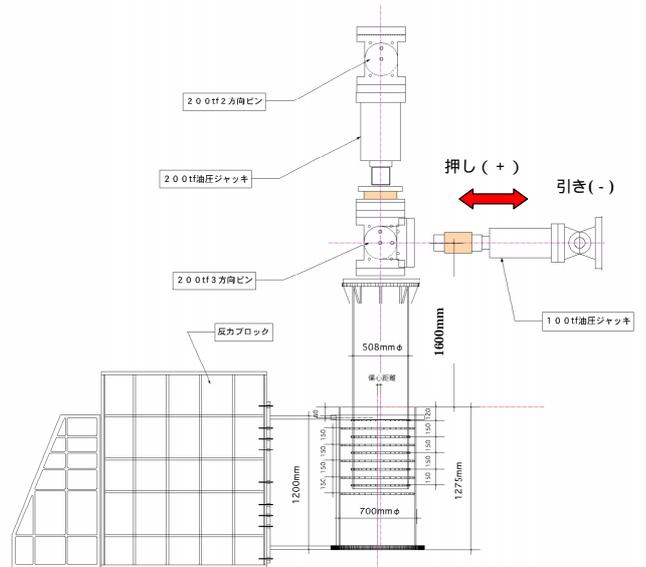


図2 試験体および試験方法

表1 実験ケース

試験体	B - 1	B - 2	B - 3
軸力	1800kN (軸力比N/Ny=0.4)	なし	なし
偏芯	なし	なし	65mm

载荷試験では，杭と外鋼管を上下逆にして载荷した。軸力は，1800kNとし，これは杭断面の降伏軸荷重の40%程度で，設計上地震時の作用軸力に相当する。実験は杭頭部から1.6m位置に水平荷重を载荷し，杭の圧縮側が降伏した時点での水平変位を y とし，制御変位を y の整数倍として漸増させながら繰り返し载荷した。

(1)荷重 - 変位関係

図3に载荷位置における荷重 - 変位の履歴曲線の包絡線を比較して示す。

・軸力有り（B - 1）と軸力無し（B - 2，B - 3）は，いずれも，杭の座屈で最大荷重に達し，結合部は健全な状況であった。図中に，それぞれ杭の全塑性モーメント Mu に相当する水平荷重 Pu(計算値)を示す。結合部耐力の実験値は，杭体の耐力を上回ることを確認した。写真1に試験終了後の状況を示す。杭体は

キーワード 杭頭結合構造，急速施工，交番载荷試験，耐荷特性，QCIB 工法

連絡先：*〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1番1号，TEL044-322-6592，FAX044-322-6519

**〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2丁目1番地，TEL045-505-7570，FAX045-505-7542

座屈しているが、充填コンクリートは健全な状態にあることが分かる。

・ 偏芯無し（B - 2）と偏芯有り（B - 3）の比較では、荷重 - 変位関係の包絡線で見ると、両者は同等の挙動を示しており、杭は、偏芯の影響を受けていないことが分かる。以上より、杭頭結合部は、偏芯の有無にかかわらず、鋼管の全塑性荷重以上の耐力を保持していることを確認した。

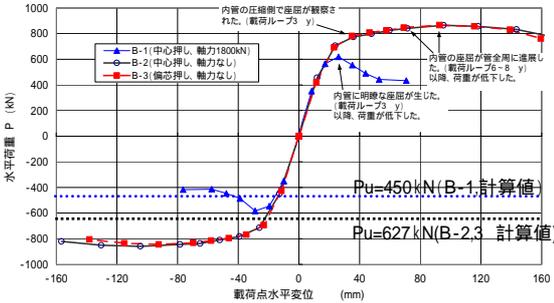


図3 荷重 - 変位履歴曲線の包絡線の比較



(a) 杭の座屈

(b) 充填コンクリート

写真1 試験終了後の状態

(2)外鋼管のひずみ分布

外鋼管の軸ひずみ、周方向ひずみ分布を計測した。その結果、軸方向は圧縮・引張り応力状態、周方向はフープテンションの応力状態になることから、水平力・曲げは、コンクリートの支圧力で外鋼管に伝達されること、軸方向の圧縮・引張りは内外鋼管ずれ止めとコンクリートの付着によることを確認した。

4. 設計法の提案

供用時荷重（常時，レベル1地震時）における杭頭結合部の設計法として，以下に示す方法を提案する。曲げせん断に対する耐荷機構を，模式的に示すと図4のようになる。すなわち，作用モーメントMは，支圧による抵抗 M_c と付着による抵抗 M_t の和で表される。計測結果に基づき， M_c ， M_t はそれぞれ1/2M程度となることを確認した。図4の力のつりあいより，外鋼管の発生応力および応力照査は以下の式を用いて算定することができる。

$$p_0 = \sigma_{ch} \cdot d / (2t) \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_{ch} = \frac{Q}{d \cdot L} + \frac{6M_c}{d \cdot L^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$v_0 = T / A_{t0} \dots\dots\dots (3)$$

$$T = \frac{\pi}{2\sqrt{2} \cdot D} M_t \dots\dots\dots (4)$$

$$e_q = (\sqrt{v_0^2 + p_0^2} - v_0 - p_0)^{1/2} \quad sa \dots\dots (5)$$

ここに，

p_0 ：外鋼管の周方向応力度（N/mm²），

図4 曲げせん断時の抵抗機構

σ_{ch} ：支圧応力（N/mm²）， v_0 ：外鋼管の軸方向応力度（N/mm²）， e_q ：外鋼管の相当応力度（N/mm²）， sa ：外鋼管の許容応力（N/mm²）， A_{t0} ：外鋼管1/4円分の断面積（mm²）， T ：外鋼管に作用する付着力（N）， Q ：作用せん断力（N）， t ：外鋼管の板厚（mm）， D ：外鋼管の径（mm）， d ：杭径（mm） L ：埋込み長（mm）

5. まとめ

杭頭結合部の終局曲げ耐力は，杭降伏，外鋼管降伏，コンクリートのせん断破壊の三者の最も小さい耐力で決まる。今回は杭降伏（座屈）により，最大強度が決定した。

杭の偏芯による影響に関して，杭を外鋼管に近接させた状態で載荷試験を行った結果，結合部の耐力に与える影響は少ないことを確認した。

供用時荷重（常時，レベル1地震時）における杭頭結合部の曲げせん断の応力照査に対して，外鋼管への応力伝達機構を確認し，応力照査式を提案した。

謝辞：本研究は，独立行政法人土木研究所とJFEエンジニアリング・JFEスチール・JFE技研・鴻池組が平成14年度から16年度まで実施した「上下部一体橋梁による急速交差点立体化工法の開発」に関する共同研究成果の一部である。御指導・御助言を頂いた関係各位にここに記して謝意を表す。