

# 杭頭接合部の耐震性能向上および施工の省力化技術 鋼板補強型杭頭接合法 TO-SPCap 工法の開発

福田 健・石塚 圭介

近年杭基礎の設計において、杭の高支持力化に伴う鋼管コンクリート杭の採用が増加している。鋼管コンクリート杭の耐力は高いものの、パイルキャップに定着するための杭頭接合筋量が多くなることから過密配筋となり基礎躯体の施工が困難となる傾向が見られる。そこで、筆者らは杭頭接合部の過密配筋の解消および耐震性能の向上を目的とした、TO-SPCap 工法（以下、「本工法」という）を開発した。本稿では本工法の抵抗機構、施工方法の概要および現場への適用事例を紹介する。

キーワード：建築，基礎，杭基礎，杭頭接合部，鋼管コンクリート杭

## 1. はじめに

鉛直支持力が大きい高支持力杭の採用などに伴い杭 1 本あたりの負担水平力が増大するため、耐力に優れた外殻鋼管付きコンクリート杭（SC 杭）や場所打ち鋼管コンクリート杭（以下、これらを鋼管コンクリート杭と呼ぶ）の適用が増えている。鋼管コンクリート杭の耐力が高くなるため、杭頭接合筋の必要本数が多くなることから、基礎梁主筋との干渉により杭頭接合筋の配置に偏りが生じることや、干渉を回避するために杭径を必要以上にサイズアップするケースが見られる。

本稿ではこの問題を改善し、杭頭接合部の構造性能向上と施工性の確保が同時に実現可能となる工法として開発した図-1 に示す本工法の概要と適用事例について紹介する。

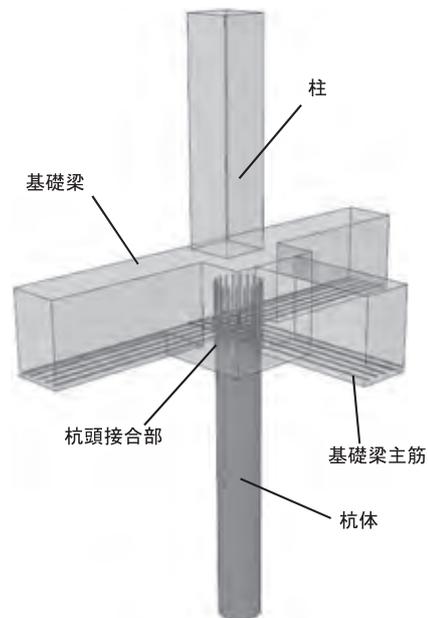


図-2 基礎躯体

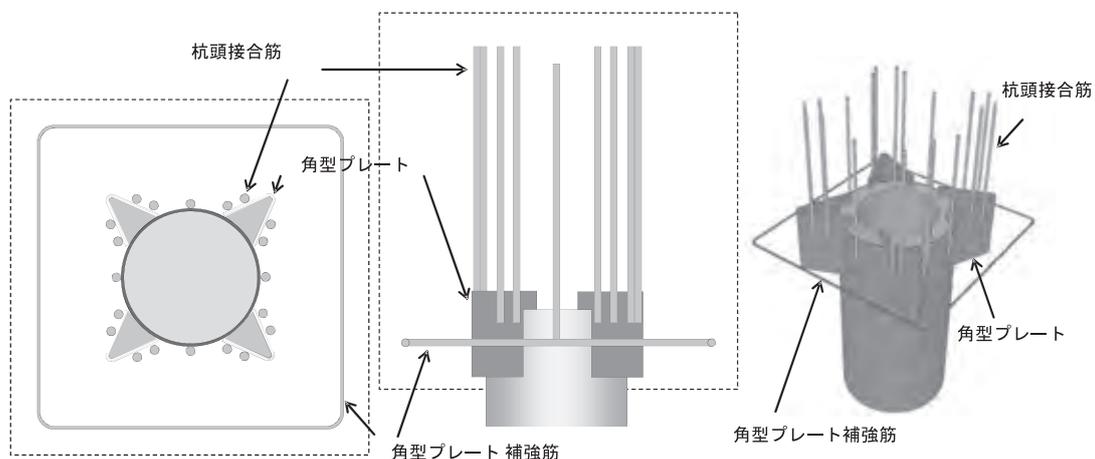
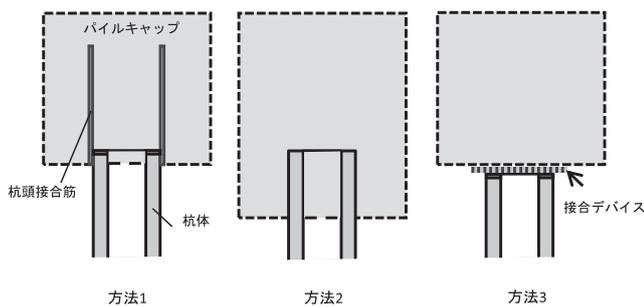


図-1 本工法の杭頭接合部形状

## 2. 杭頭接合法

杭頭接合部は上部構造と杭体を構造的につなぐ部分であり、上部構造および杭体からの力を相互に伝達する役割がある。これらの設計および施工は構造物の安全性を検討するうえで極めて重要な部分である（図—2）。杭頭部の接合法について以下にそれぞれの特徴を示すが、設計の考え方や建物形式によって採用方法が異なる<sup>1)</sup>（図—3）。なお、鋼管コンクリート杭では杭頭接合は方法1を採用することが多い。



図—3 既往の杭頭接合法

方法1：フーチング内の杭の埋め込み長さは最小限（100 mm 程度）に留め、主に杭頭接合筋で補強することにより杭頭曲げモーメントに抵抗する方法。杭頭接合筋と基礎梁主筋、パイルキャップ内配筋が干渉するおそれがある。

方法2：フーチングの中に杭を一定長さ（杭径分）だけ埋め込み、埋め込み部分により杭頭曲げモーメントに抵抗する。根切りが深くなりパイルキャップ配筋、コンクリートが増量する。

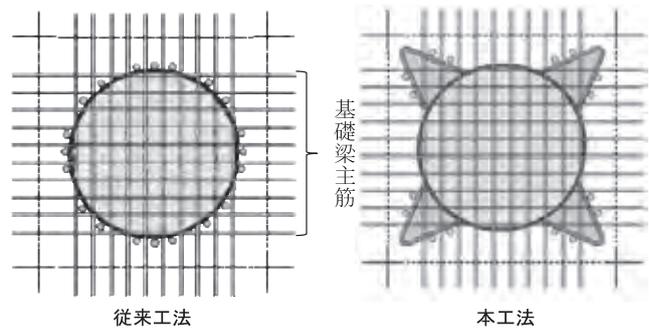
方法3：杭頭半固定工法と呼ばれ、デバイスを用いることで地震時の杭頭モーメントを低減でき杭や基礎梁の合理化が可能。ただし、大きな引抜き力が発生した場合抵抗がなくなる。

## 3. 工法概要

### (1) 杭頭接合部の仕様

杭鋼管の円周上に配置された杭頭接合筋により杭頭曲げモーメントに抵抗するため、格子状に配筋された基礎梁主筋と交差してしまうこと（干渉）が問題であった。

本工法は鋼製の角型プレートに杭鋼管に隅肉溶接



図—4 基礎梁主筋との干渉

し、杭頭接合筋を角型プレートに沿ってフレア溶接し、矩形に近い配置とする。これにより、基礎梁主筋の過密配筋部を避けた配置となり基礎梁主筋との干渉を防ぐことが可能となる（図—4）。

また、杭頭曲げモーメントに対して接合部端面の有効性を大きく取れるとともに、パイルキャップに杭径の半分程度を埋め込んだ半埋め込み方式とすることで杭頭曲げモーメントの一部を杭埋め込み部側面の支圧抵抗により負担する。これにより従来工法に比べ、杭頭接合筋の必要本数を減らすことが可能となる。なお、杭頭接合筋の先端に定着板を取付けることで、杭頭接合筋の長さを半分程度に抑えることが可能となり、パイルキャップの深さを浅くし、掘削および残土処理等の費用削減が期待できる。

本工法は（一財）日本建築総合試験所の建築技術性能証明（GBRC 性能証明第 16-07 号）を取得しており、設計で保証すべき短期荷重時および終局耐力までの構造性能を有することを確認している。本工法の杭種の適用範囲は杭頭接合筋の必要本数が多くなることが想定される SC 杭（杭径  $\phi$  300 ~ 1200）、場所打ち鋼管コンクリート杭（杭径  $\phi$  600 ~ 2500）である。

### (2) 設計法の概要

図—5 に本工法の設計で想定する杭体から杭頭接合部への応力伝達および抵抗機構の概念を示す。杭頭部に生じるせん断力、曲げモーメントの一部は、パイルキャップに埋め込まれた杭側面からの支圧応力によりパイルキャップへ伝達し、残りのせん断力、曲げモーメントおよび軸力が杭天端面と角型プレートを介した杭頭接合筋よりパイルキャップに伝達できていることをパイルキャップおよび杭体を模擬した試験体の構造実験（写真—1）および有限要素解析により確認している。なお、誌面の都合上、構造実験および解析等の詳細については説明を割愛する。それらの詳細については既報文献<sup>2)</sup>を参照されたい。

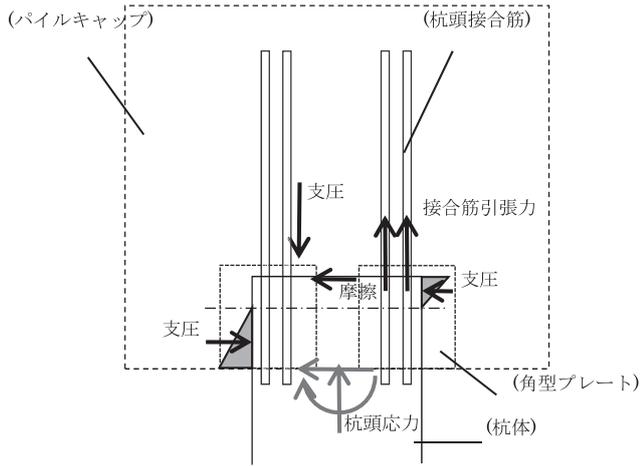


図-5 応力伝達機構

### (3) 施工方法と管理項目

本工法の主な施工手順を図-6に示す。角型プレートと杭鋼管、杭頭接合筋の取付けは主に現場にて溶接を行う。角型プレートは杭鋼管に直接隅肉溶接するため、杭鋼管から杭体コンクリートに伝わる熱影響によるコンクリート強度低下が懸念されており、溶接時の品質管理は本工法の重要な管理項目である。そのため、溶接熱による影響確認を目的とした施工試験を実施した。施工試験方法は写真-2に示すφ400mmのSC杭に角型プレートおよび杭頭接合筋を溶接し、事前に杭体コンクリート内に埋め込んだ熱電対により施工中の温度測定を行った。溶接終了後、杭体コンクリートから小径コア(φ25mm)を採取し、圧縮強度試験を実施することで溶接熱により杭体コンクリート強度が低下していないかを確認した。なお、溶接時の姿勢は現場と同様に立ち向き溶接とし、平面的な施工範囲が制限されることを考慮して杭を中心とした1m

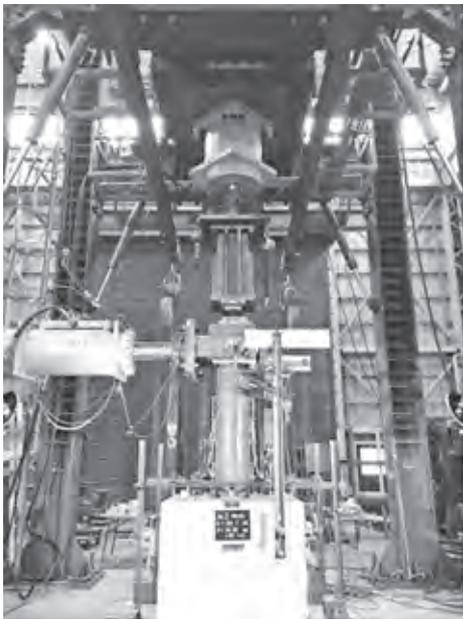


写真-1 構造実験 (φ400)



写真-2 施工試験

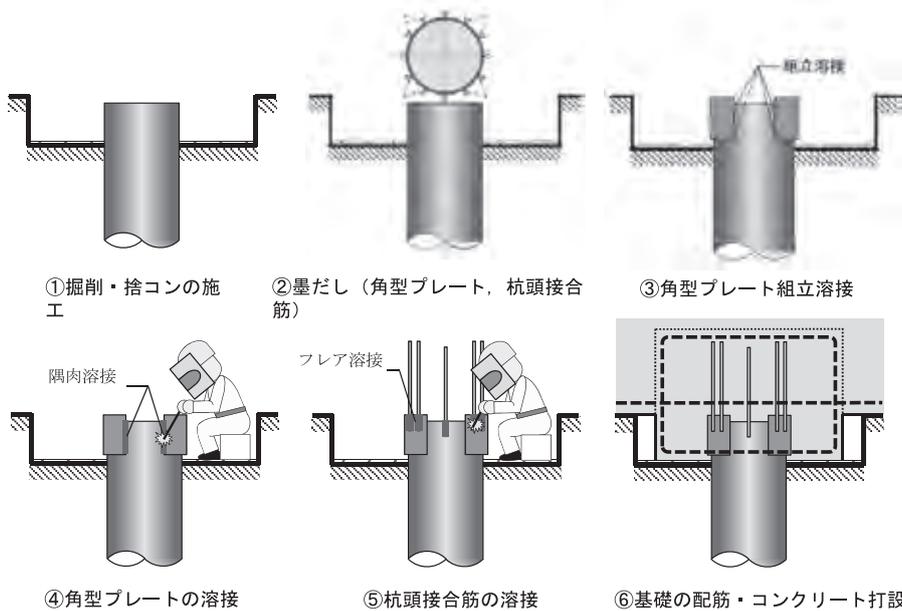
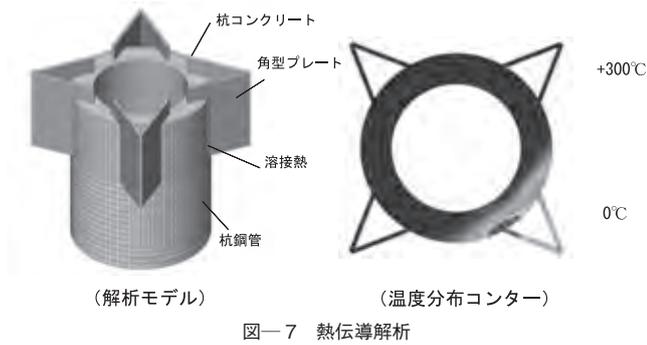


図-6 施工手順



図一七 熱伝導解析

四方に範囲を限定した。また、施工試験においては、角型プレートおよび接合筋を杭鋼管へ溶接する際の溶接部直近のコンクリート温度が測定できなかったため、杭体コンクリートの溶接熱の伝達について試験結果の補完を目的とした有限要素法による熱伝導解析を実施した(図一七)。

試験および解析結果より、高温となる部分は溶接位置付近の鋼管およびそれに接する杭体コンクリートのごく一部であり、立向き溶接における標準的な入熱量(24~30 kJ/cm)<sup>3)</sup>において「インターバル2分以上を目安に溶接部近傍部のパス間温度200℃以下」とすることで、杭体の構造性能を確保できていることを確認した。

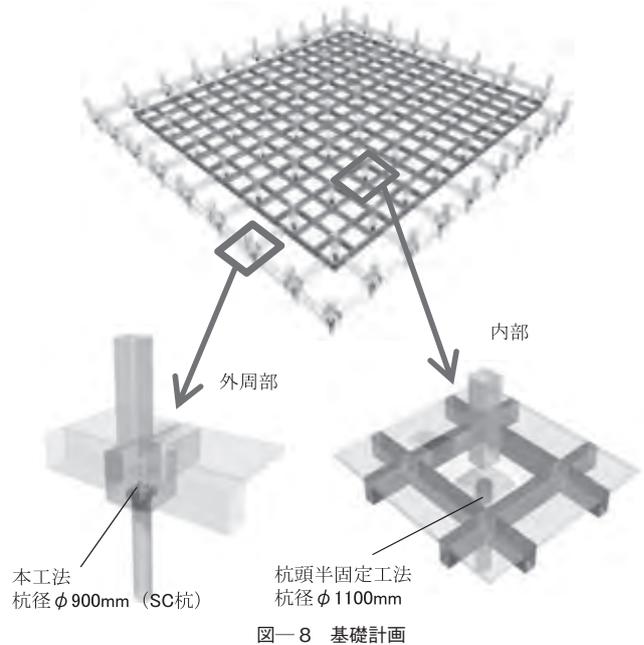
また、角型プレート-杭頭接合筋溶接部の品質を確保するために万能試験機を用いた溶接部の目視(溶接長、余盛、アンダーカット、ビードの不整、オーバーラップ、溶接表面部の傷)による調査と溶接部を切り出した試験片の引張試験を実施した。結果として杭頭接合筋が破断し、溶接部の強度が接合筋母材以上であることを確認している。

これらの施工試験に基づき、本工法の施工品質および構造性能が確保可能となる施工手順および管理項目を規定している。

#### 4. 適用事例

本工法の適用事例を以下に示す。建物は地上5階、地下無しの物流施設である。敷地は埋立て地であり、表層から30m程度までが粘性土主体の埋土となっている。それ以深は粘性土が主に堆積し、支持層は固結シルト層である。基礎構造は既製コンクリート杭(プレボーリング拡大根固め工法)であり、外周部の上杭をSC杭としている。

杭頭接合部は外周部を本工法、内部を杭頭半固定工法と杭頭固定度の異なる杭頭接合工法を採用することで、地震時に発生する水平力を主に外周部のSC杭で



図一八 基礎計画



写真一三 角型プレートの溶接



写真一四 杭頭接合筋の溶接

負担する設計としている(図一八)。

事前に施工試験を同現場で行い角型プレートおよび杭頭接合筋の溶接を含め、規定された一連の施工を実施し、施工方法および品質を確認している(写真一三、四)。

本工法施工完了時の杭頭接合筋配置は矩形に近い配



写真一五 本工法施工状況



写真一六 本工法施工完了状況



写真一七 パイルキャップ内配筋の取合い

置で施工できており、後に実施した基礎梁主筋およびパイルキャップ内の複雑な配筋との干渉を回避でき、配筋作業が効率化できていることを確認した（写真一五～七）。

## 5. おわりに

近年、杭1本あたりの負担水平力が增大していることから、杭頭接合筋の必要本数が多く基礎躯体配筋時の施工性が低下する問題が見受けられる。本稿では、基礎梁筋との干渉を回避するために開発した本工法TO-SPCap工法の概要と適用事例について紹介した。鋼管コンクリート杭の適用にあたっては、杭頭接合部の適切な設計の実施と施工における品質の確保が特に重要であり、今後は鋼管コンクリート杭の使用を検討している物件に関して構造性能向上と施工性の確保が可能となる本杭頭接合工法の適用拡大を図りたい。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編, 2012.3
- 2) 福田健ほか：杭頭接合工法の開発（その2：構造性能の検証と設計手法の整備）, 戸田建設技術研究報告, vol.42, 2016
- 3) 松浦知樹ほか：高張力鋼用フラックス入りワイヤを用いた立向溶接における溶接条件と性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp.1025-1026, 2014.9

### 【筆者紹介】

福田 健（ふくだ たけし）  
戸田建設  
技術開発センター



石塚 圭介（いしづか けいすけ）  
戸田建設  
構造設計部

