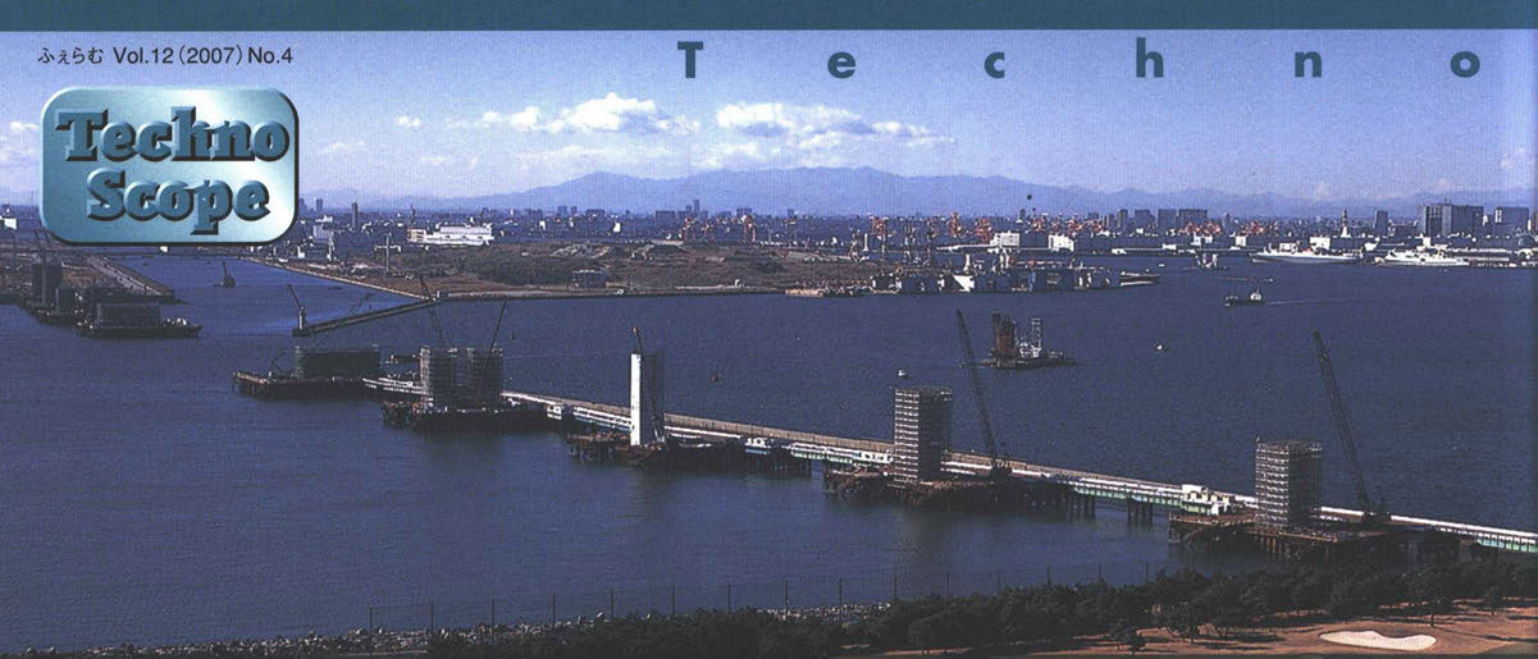




注目される 環境配慮型鋼管杭

地面から地中の堅固な支持層まで杭を入れることで、長期間確実に構造物を支える鋼管杭は、土木や建築の構造物の基礎としてなくてはならない存在である。しかし工事中に周辺への騒音や振動の影響が指摘されるようになり、周辺環境に配慮した鋼管杭および鋼管杭工法の開発が進められてきた。最近では施工実績も増え、鋼管杭は環境にやさしい鉄鋼製品の一つとして注目されるようになっている。



建設が進む東京港臨海大橋（仮称）工事では、高度な鋼管矢板基礎技術が適用されている。（2006年12月撮影、写真提供：国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所）

高度経済成長とともに躍進した鋼管杭

1894年、横浜港大棧橋の工事に鋼製の杭が使用されたという記録が残っている。この杭はイギリスから輸入された鉄製で、杭の先端部には螺旋形の羽根が付いていたそうだ。これはまれな例で、当時の日本では基礎杭には一般的に松杭が使用されていた。現在のような鋼管による杭が日本で初めて使用されたのは、1953年の宮城・塩釜港棧橋といわれている。

重量のある構造物を建設する場合、必ずしも地表部分に十分に支持する力があるとは限らない。たとえば地表部に堅固な層がない場合は、支持できる層まで杭を入れることにより、長期にわたり、確実に安定して構造物を支えることができる。このような基礎工事に用いられるのが鋼管杭である。

1960年代、日本が高度経済成長期を迎えると、橋梁や建築物などの基礎として、鋼管杭が徐々に使用されるようになっていった。需要が増大したことに加え、鉄鋼業が成長し、鉄鋼製品を大量に製造、提供できるようになったことが鋼管杭の普及を進めた一因と思われる。また工場生産できる鋼管杭は、各種寸法の製品が入手しやすく、品質が安定しており、設計者や施工者からも歓迎されたことだろう。

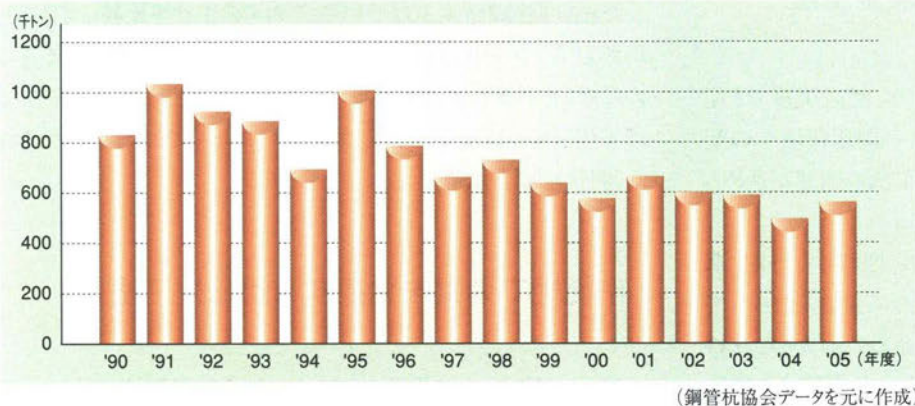
とくに1973年から81年にかけて、鋼管杭（鋼管矢板含む）の需要量は年間合計100万トン超にまで成長した。この多くは道路・橋梁建設や港湾整備などの官公庁土木向け需要であり、多いときは7割を占めていた。その後も公共工事の動向とともに需要量が増減してきていたが、最近では民間需要の占める割合が増加してきた。

最近では年間50万トン程度で推移してきたが、2007年度には、羽田空港再拡張工事などの影響で需要量は前年比15%程度増の60万トン超に伸びると期待されている。需要の内訳では、2005年度に初めて民間需要が官公庁需要を上回り、また用途別では土木向けが55.8%、建築33.5%となっている（2005年度）。

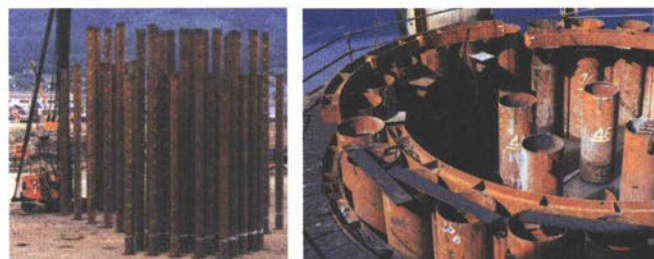
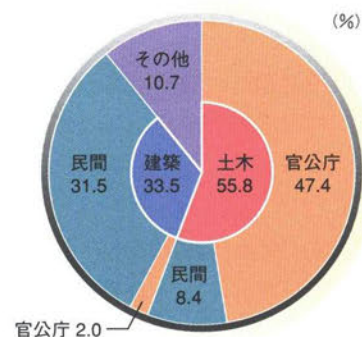
大きな支持力が得られ、施工がしやすい鋼管杭

鋼管杭の大きな特徴は、鉛直・水平方向にきわめて大きな耐力を持っているので、杭先端の支持層に十分に力が伝達され、大きな支持力を得られることである。また断面の剛性が大きく、大きな水平抵抗力があるため、地震のような横方向からの荷重にも耐えられる。また、鋼管杭と同じように使用されるコンクリート杭に比べ、鋼管杭は軽量で破損の心配がなく運搬や取扱いが容易なため、施工効率が高く、工期短縮、工費節減の効果が期待できる。

■鋼管杭の需要量推移(受注量、鋼管矢板含む)



■鋼管杭の用途別内訳(2005年度)



■鋼管杭と鋼管矢板

鋼管杭による基礎は、鋼管を1本ずつ地中の支持層に入れ構造物の基礎とする。一方、鋼管矢板は鋼管側面に継手を溶接したもので、鋼管矢板を壁のように組み合わせ、円形などの形状を作って基礎とする。

一般に鋼管杭は、土木構造物や建築物などの基礎用支持杭として、長さ10～60m程度、直径400～1,500mm程度の鋼管を地中に入れて使用される。鋼管杭の性能はJIS規格によって決められており、工業製品として安定した品質を保っている(鋼管杭JIS A 5525、鋼管矢板JIS A 5530)。鋼種は鋼管杭の場合SKK400、490(鋼管矢板の場合はSKY、数字は引張強さ)が使用されることが多い。

鋼管杭に使われる鋼管は、鋼帯をスパイラル状に成形して溶接するスパイラル管であるため、直径2,500mmを超える大口径杭の製造が可能である。また、溶接による継ぎ杭ができるため、100mを超える杭長も可能である。

鋼管に継手を溶接し、壁のように構成したものを鋼管矢板といい、断面性能にすぐれ、曲げ剛性がきわめて大きい。鋼管矢板を円形や小判形の井筒(閉鎖した形状)につないで閉合した鋼管矢板基礎は、鋼管矢板が基礎杭と仮締切り用の壁体を兼ねるため、港湾・河川(岸壁・護岸・波除堤)、都市土木(土留め・締切り)、橋梁(鋼管矢板基礎)などに広く使用されている。

使用環境に応じた腐食対策の適用

鋼管杭は、鉄鋼製品であるため、長期間使用によりさびが発生することは避けられない。鋼管杭の腐食対策の基本的な考え

方は、耐用期間中の鋼材の腐食量に見合った肉厚をあらかじめ「腐食しろ」として見込むというものであり、土木、建築分野で使用される鉄鋼製品では一般的な考え方である。現在、特別な防食措置をとらない場合には、腐食しろは一般に1～2mm程度としている(土木、建築とも)。

腐食しろは、地中のように腐食が平均的な場合や、腐食速度が比較的小さい場合には適した考え方である。しかし、海洋環境のように腐食速度が大きい場合や集中腐食が発生しやすい環境ではあまり適していない。とくに、海洋の波の飛沫帯から平均干潮面直下までの箇所は、最も腐食性が厳しい箇所といわれる。

1984年、海洋環境における鋼管杭について、各種防食工法の効果や耐久性を検証するため、運輸省港湾技術研究所(現(財)港湾空港技術研究所)、(財)沿岸開発技術研究センター(現(財)沿岸技術研究センター)、鋼管杭協会の3者により「鋼管杭の防食法に関する研究」の共同研究が開始された。研究に用いられた防食工法は、有機ライニング、無機ライニング、ペトロラタムライニング、塗装、電気防食であり、試験用の栈橋下部には各工法が干潮面付近に適用された鋼管杭が打設されている。

試験開始後10年目の調査では、一部の塗装系を除き、被覆防食工法(有機ライニング等)においては良好な防食状態が維持されていることが確認されている。この研究ではその後、超長期耐用を考慮した防食工法であるチタンや耐海水性ステンレス鋼を用いた工法の試験も追加され、現在も継続されている。

鋼管杭の防食対策は、鋼管杭基礎の長寿命化だけでなく、構造物の耐用年数を延ばすために、きわめて重要であり、今後も有効な防食技術が適切に使用されていくことが求められている。



紋別港の水展展望塔ではチタンクロード鋼のライニングを干満部に適用している。([「海洋鋼構造物へ適用される防食工法に関する研究」資料より])

社会的な要請が高まる環境配慮型工法

環境問題への関心が高まる昨今では、土木、建設工事でも環境への配慮が欠かせない。なかでも施工時の周辺環境への配慮は不可欠であり、それに対応する鋼管杭工法の開発が進められてきた。

思えば高度成長期に建設需要が飛躍的に増加した時期、鋼管杭の打撃音は、日本経済の繁栄の象徴として受け入れられていた。鋼管杭の打撃工法は、支持層に打ち込むため大きな支持力が得られる、施工速度が速い、経済性が高いなど、多くの特徴を持つ工法である。しかし、施工時に発生する騒音・振動が次第に問題となり、1968年に騒音規制法、1976年に振動規制法が制定され、以後市街地での施工が制限されるようになった。

騒音や振動の少ない工法の1つとして、コンクリートの場所打ち杭工法（現場で組んだ円筒状の鉄筋を掘削穴の中に落とし込み、後からコンクリートを穴の中に流し込む工法）が挙げられる。しかし場所打ち杭工法では、掘削による発生土や地下水の処理を行う必要がある。建設発生土に関する問題は1980年代前半から深刻化した。発生土が大量に場外に排出されると、受け入れ場所の確保が困難となり、不法投棄などのトラブルにもつながる。また発生土を搬出するためのトラック輸送による交通渋滞などの問題も指摘されるようになった。

またコンクリート打ち込み時に、セメントミルクが流出することにより地下水が汚染することも懸念された。

このような問題を解決するため、さまざまな鋼管杭工法が開発された。代表的なものとしては、振動工法（施工機械で杭に上下方向の強制振動を加えながら地中に貫入させる）、中掘り杭工法（先端が開放した杭内部に掘削機を入れ、掘削しながら地中に沈設させ、先端部をコンクリートなどで固める）、鋼管ソイルセメント杭工法（地盤にセメントミルクを注入攪拌して、築造された固

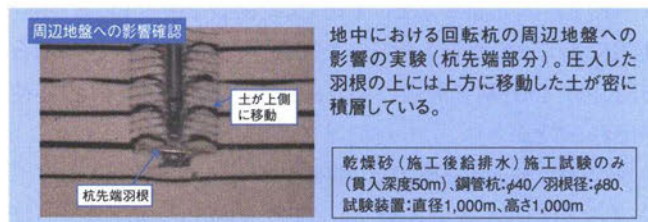
化体、球根、鋼管とで構成される）、などがある。

たとえば建設発生土について、これらの工法を比較してみると、場所打ちコンクリート杭が杭体積の100%にあたる発生土があるのに対し、中掘り工法では平均30%、鋼管ソイルセメント工法では平均20%、打撃工法や振動工法にいたっては0%とされている（鋼管杭協会試算による）。

市街地で効果を発揮する回転杭工法

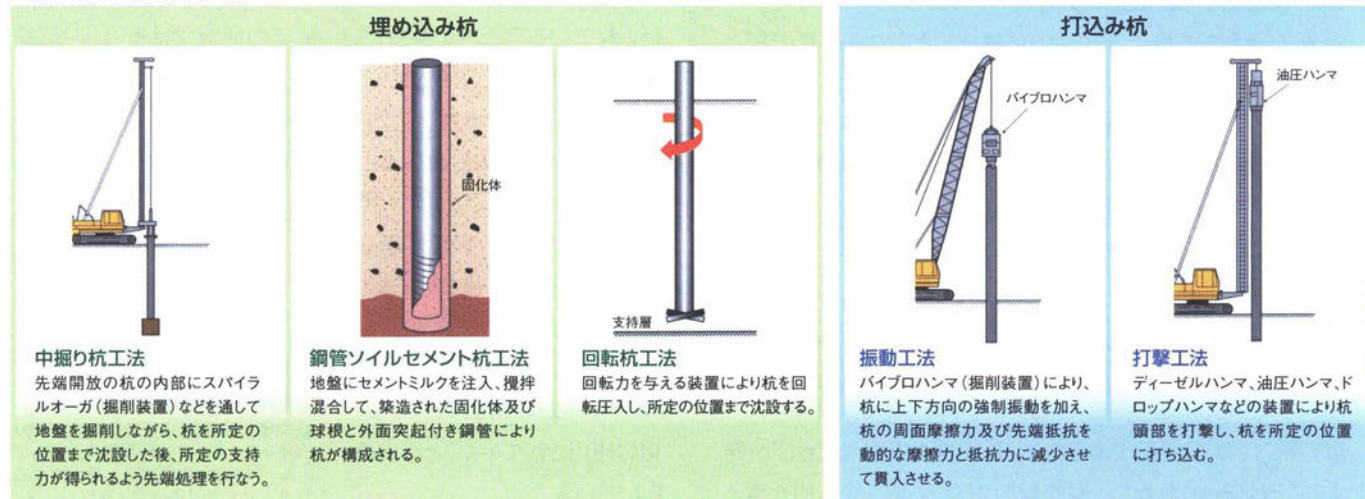
環境に配慮し、建設発生土をゼロにする鋼管杭工法として、注目を集めているのが回転杭である。その考え方は、冒頭に紹介した横浜港棧橋の例にも見られるが、現代の回転杭工法はとくに市街地での使用を考慮して開発されている。回転杭に関する研究は1980年代後半から行われるようになり、各種の回転杭工法が開発され、1990年代後半から建築構造物基礎、鉄塔基礎、鉄道橋基礎などに採用され始めた。

回転杭は、杭の先端にらせん状の羽根を持つ形状で、羽根が回転推進力となって土を側方に押しつけて地盤に杭が圧入される。先端部の羽根の形状は種類によって異なるが、羽根が一体のものや半円形に分かれているもの、また杭先端の形状も端が開いているものや閉じているものなどがある。回転杭の一般的な適用寸法は、杭径400～1,200mm、羽根外径600～2,400mmであり、羽根外径は杭径の1.5倍あるいは2.0倍が標準となっている。



（資料提供：新日鉄エンジニアリング（株））

■さまざまな鋼管杭工法



（鋼管杭協会資料を元に作成）

最近では、土木構造物基礎に適した杭径1,000～1,600mmの大径の回転杭も使用されている。

施工時には、杭をネジのように地上から地中へ回転しながらねじ込むだけなので、建設発生土がなくなるばかりでなく、低騒音、低振動で施工ができる。そのため市街地のビルや高架橋などの基礎工事にはきわめて適した工法だといえる。

以前、サラブレッド牧場に隣接した地域の橋梁基礎に回転杭が使用されたことがある。これは施工時の騒音、振動が他の方法に比べきわめて小さく、大切に育てられているサラブレッドへの影響がきわめて少なく抑えられることが評価された証しということだろう。



回転杭工法が全面的に採用された愛知万博のペDESTリアンデッキ。会期終了後、施工時と逆回転して引き抜いたところ、工事後も周囲への影響が少なく、同時に杭の健全性が確認された。

回転杭の適用例【土木分野】 九州新幹線高架基礎工事

現在工事が進行している九州新幹線博多・新八代間では、区間の約6割(72km)が橋梁あるいは高架橋である。区間内には軟弱地盤や住宅が密集している都市部も多く、工事時の騒音、振動、建設発生土処理など、環境問題を考慮した杭工法が求められ、一部区間において、回転杭工法が採用された。

たとえば佐賀県鳥栖市の高架基礎工事では、杭位置が営業運転中の九州本線の軌道に隣接(最短約4m)しており、周辺は民家が多い地域であり、広い施工スペースを確保するのは難しかった。回転杭は杭径1,000mmおよび1,200mmのものが使用され、施工機械(旋回機)およびクローラークレーン、鋼管杭置き場などを合わせても15×30m程度の用地で済み、ダンプなどの出入りも少ないため、周囲への影響は少なく抑えられた。ちなみにコンクリート場所打ち杭を採用した場合は、発生土置場や鉄筋組み加工場などが必要なため、回転杭の2倍以上の施工スペースが必要となる。



回転杭(左)と場所打ち杭(下)の施工スペースの比較。既存の軌道に近接した狭いスペースでも回転杭は施工が可能である。



使用された回転杭の先端羽根形状



場所打ち杭では、回転杭に比べ広い施工スペースを必要とする。

(取材協力:新日鉄エンジニアリング(株))

回転杭の適用例【建築分野】 廃棄物処理施設基礎工事

沖縄県的那覇市環境センターごみ処理施設では、工場等基礎に回転杭を適用した。建設地は、埋め立て完了後約10年が経過した一般廃棄物最終処分場の跡地であり、地中の支持層までの数m～数十mの層は廃棄物層であるため地盤改良が難しく、建設地周辺には学校や住宅などが隣接しているため、排出土を出したくない、悪臭を発生させない、などの要望があった。また工事期間中に、地中に障害物が発生した場合でも、容易に引き抜けるなどの点が考慮され、回転杭が採用されたものである。

使用された回転杭は966本(杭径406.4～508.0mm)であったが、排出土はまったく発生しなかった。もしこれを場所打ち杭で行った場合、排出土の量は5,700m³程度と試算されるが、これは一般的なダンプカーの積載量を6m³/台とすると950台分の排出土量に相当する。

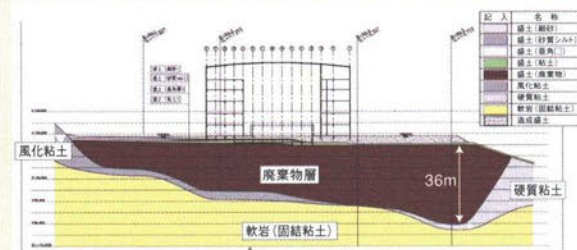
とくに公共施設の建設工事では、地域や環境への配慮が不可欠であり、回転杭の採用はますます増加することだろう。



那覇市環境センターでの施工状況



使用された回転杭の先端羽根形状



地層断面図(想定)。建設前の調査では、敷地内の最新36mまで廃棄物層が達している。

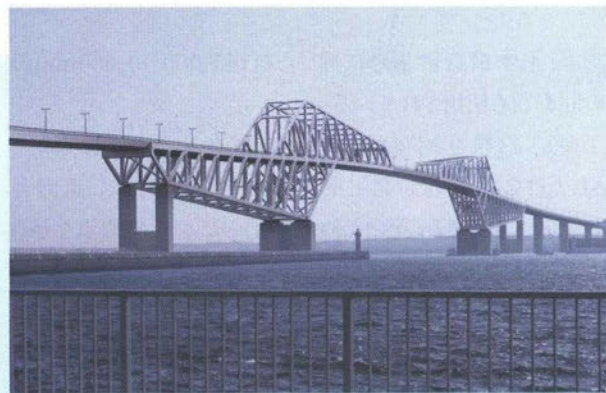
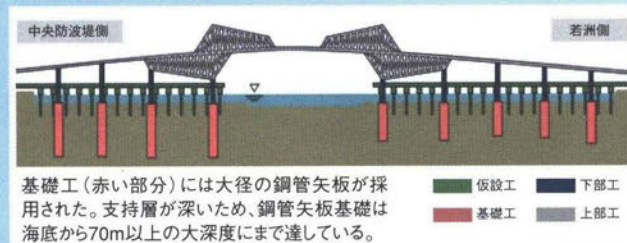
(取材協力:JFEスチール(株))

東京港の軟弱地盤で、 橋脚を支える鋼管矢板基礎

現在、東京港臨海大橋（仮称、中央防波堤埋立地～江東区若洲、約2.9km、H22年度完成予定）の建設が進められている。この橋は船舶の航路を確保するため桁下に高さ制限があり、また航空機の空域制限があるため、主橋梁部は高さを抑えた、特徴ある連続トラスボックス複合構造をしている。

この橋の基礎には、鋼管矢板基礎が採用された。採用の理由としては、建設時に矢板井筒内の海水を取り除いた状態で橋脚基礎を建設でき、基礎と橋脚を一体化させることができることが挙げられる。基礎部分の海底はきわめて軟弱な地盤で、支持層は海面下50～70mと深いため大深度施工が必要となった。また橋桁が船の航路をまたぐため中央部には橋脚がなく、個々の橋脚への荷重は大きくなる。このような条件を考慮し、長尺の大径鋼管（杭径1.5m）による矢板基礎が採用された。環境への影響では、基礎の面積が小さい鋼管矢板基礎であるため、排出土が少なく抑えられたという。

鋼管矢板同士の継手には、縞鋼管継手（直径165.2mm）が採用された。これは、地震時に鋼管矢板同士をつなぐ継手部分で生じる



東京港臨海大橋（仮称）の完成予想図。羽田空港に近く、付近は船舶の往来も多い。



杭基礎工事の状況



縞鋼管継手の形状

ずれを防ぐためである。継手には、縞鋼板の縞の面を内面に使用した鋼管が使用された。この継手には、内部に高強度モルタル（40MPa）が充填されている。これにより継手部のせん断耐力は従来継手から約5倍向上、基礎杭本数も16%削減することができた。

基礎以外でも、上部構造では溶接性にすぐれた橋梁用高性能鋼材を採用したり、耐震性を高めるため橋脚部に大型すべり型免震支承を組み込むなど、新技術を積極的に取り入れている。このような数々の取り組みにより、100年の耐用年数を考慮した、長寿命化設計としたことがこの橋の大きな特徴だといえる。

（取材協力：国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所）

基礎としての信頼性においても、回転杭は高い評価を得ている。回転により地盤に杭を圧入するので、先端地盤の締め固め効果があり、大きな鉛直支持力を得ることができる。軟弱地盤（液状化地盤等）でも高い信頼性を発揮する。

施工に必要なスペースは、地上に設置した旋回機とクレーンなどのみであり、既存の構造物脇など、狭いスペースでも施工が可能である。また現場溶接により杭長を長くすることができるので、50mを超えるような長尺杭の施工も可能である。

環境配慮と経済性で選ばれる鋼管杭

回転杭工法は、すぐれた施工品質を確保できるという特徴があるが、地質状況をリアルタイムに把握することができる点も注目される。これは、地上からの掘削作業と同時に、杭にかかるトルクや貫入量などを掘削機に取り付けたセンサーで測定しながら、地

質状況を随時把握するものである。この状況に応じて施工することが可能であり、異常などが発生した場合には逆回転により引き抜くこともできる。

鋼管杭の設計・施工の指針としては、建築関係では建築基礎構造設計指針（日本建築学会）、土木関係では道路橋示方書および杭基礎設計・施工便覧（ともに日本道路協会）などがある。このうち道路橋示方書では2004年に鋼管ソイルセメント工法が追加されている。今後もこのような指針の改訂などを機に、新たな鋼管杭工法が認められ、普及の弾みとなっていくことが期待される。

鋼管杭を使用した場合の大きな利点は安定した品質が得られることであり、これまで経済性や環境に配慮した多くの工法が開発され、多くの実績を重ねてきた。実際の建設工事の条件は、物件ごとにさまざまに異なるが、どのような条件でも最適な工法を選択、適用することができることから、今後も鋼管杭の活躍のフィールドはますます広がっていくことだろう。

- 取材協力 鋼管杭協会、新日鉄エンジニアリング（株）、JFEスチール（株）、国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所
- 取材、文 杉山香里