

総説 鋼管矢板基礎の計画と適用上の留意点

松浦 康博*

1. はじめに

私が最初に鋼管矢板基礎に接したのは、東北新幹線小野地区の鋼管矢板基礎の解析¹⁾を行なったときであった。それ以来約10年間は、鋼管矢板基礎に関する設計・解析、基準の策定などに携わり、私の技術者経歴の中で最も集中し熟意を注いだ時代であったといっても過言ではない。

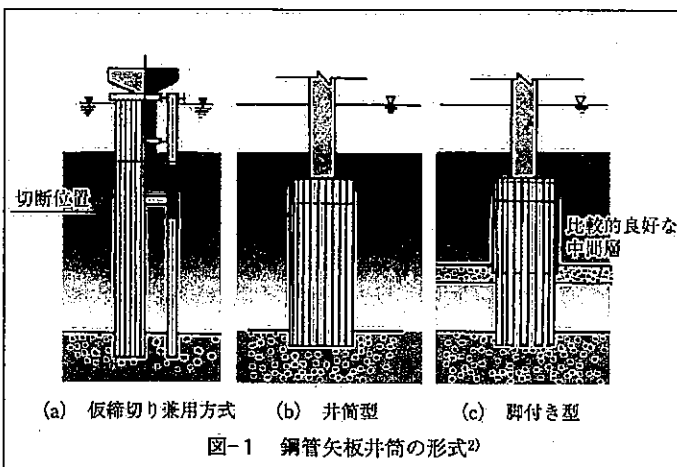
当時は、橋梁基礎としての鋼管矢板基礎の設計法が確立されていたわけではない。日本国有鉄道の暫定的な設計法に基づき設計された鋼管矢板基礎の現場試験、現場計測や解析結果を反映させて設計・施工法の集大成を行なったのが、1981年発行の日本国有鉄道「鋼管矢板井筒の設計施工指針(案)」²⁾であった。この集大成は、道路橋の「鋼管矢板基礎設計指針・同解説」³⁾や1990年に改訂された「道路橋示方書Ⅳ下部構造編」⁴⁾にも引継がれ、鉄道および道路での橋梁基礎としての基準は整備された。

これらの基準は、兵庫県南部地震後の耐震設計法の改訂や性能規程化などを経て、現在の設計・施工に関する基準に至っている。

本総説では、鋼管矢板基礎の特性を整理し、基礎形式を選定するうえでの適用性および構造計画において留意すべき点を中心に解説する。

2. 鋼管矢板基礎の特性

ここで述べる鋼管矢板基礎としては、図-1に示す仮締切り兼用方式の井筒型および脚付き型を想定して、その特性を構造特性と施工特性に分けて述べることにする。



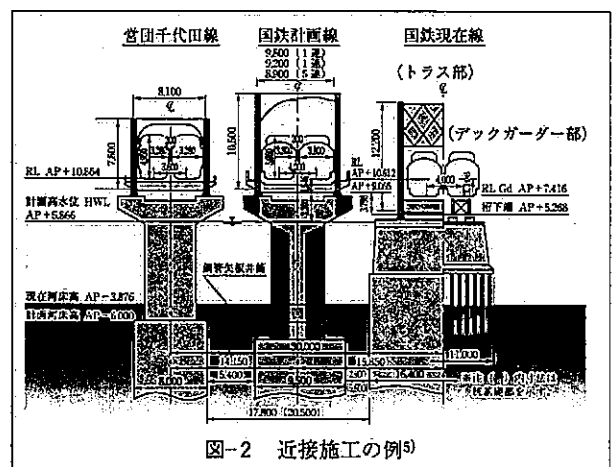
2.1 構造特性

鋼管矢板基礎は継手管を有する鋼管矢板を井筒状に閉合した基礎であることから、その構造特性は、

- ① 大きな剛性と支持力を有する基礎：比較的大きな剛性と支持力が得られる基礎形式であり、ケーソン基礎や連壁基礎と並ぶ大型高剛性基礎である。
- ② 仮締切りが兼用できる：図-1(a)の仮締切り兼用方式の場合、鋼管矢板を地上もしくは水面まで立上げることにより別途必要な仮締切り工や築島工を設置する必要がないため、工期短縮および工費節減が可能となる。また、河川内の場合には施工時占有面積を他の基礎より小さくすることができ、河積阻害率を抑えられるため有利となる。
- ③ 近接施工に有利な基礎：仮締切りが兼用できることと高剛性基礎であるため施工時に必要とする幅が狭く、また土留め工の剛性が高いため、近接する構造物への施工時の影響が少ない基礎形式である(図-2)。
- ④ 大水深や軟弱地盤に適用：ケーソン基礎は水深が深い場合高圧気下での作業安全性に注意が必要となるが、鋼管矢板基礎は地上または水上からの施工が可能であるため、大水深での施工も問題ない。
- ⑤ 高い耐震性能を有する基礎：兵庫県南部地震が発生した後の鋼管矢板基礎の調査結果によると、特に異常は見られなかったことが報告されており、高い耐震性能を有する基礎形式といえる。

2.2 施工特性

鋼管矢板基礎は、鋼管矢板を打設・閉合した後に井筒



* MATSUURA Yasuhiro 八千代エンジニアリング(株) 取締役 内部統制室長兼鉄道担当役員 | 東京都新宿区西落合2-18-12

内を掘削し頂版コンクリートを施工することから、

- ① 打込み時残留ひずみの発生：井筒状に閉合する際に鋼管矢板の継手相互がせりあいながら地盤中に打込まれるため、残留ひずみが発生する。設計時には、この打込み時残留応力を適切に取り入れることが打込み時の先端部座屈防止に有効である^{6)~8)}(図-3)。
- ② 仮締切り時残留応力の発生：仮締切り兼用鋼管矢板基礎は、仮締切り時に土・水圧により変位した状態で頂版コンクリートにより鋼管矢板井筒が一体化されるために、仮締切り時の応力が残留する。図-4に示すように、仮締切り時に発生する応力は円弧部にはアーチ作用が働き変位・応力が抑制されるため、これらを適切に反映させることが合理的な設計となる^{8)~10)}。
- ③ 騒音・振動の発生：鋼管矢板の打込みは、パイプハンマやディーゼルハンマなどが使用されるが、騒音・振動が発生しやすい。騒音・振動が問題となる場合は中掘り工法などが用いられるが、支持力が低下す

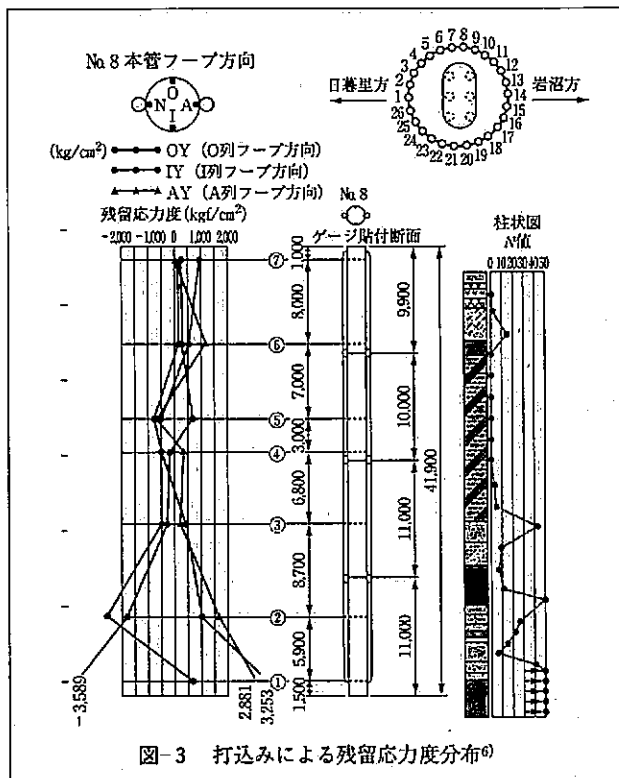


図-3 打込みによる残留応力度分布⁶⁾

ることに注意が必要である。

3. 基礎形式の選定

2.の鋼管矢板基礎の特性を踏まえ、基礎形式の選定を行なううえでのポイントを述べる。なお、鋼管矢板基礎と比較対象となる基礎形式は、ケーソン基礎、連壁井筒基礎、場所打ち杭基礎を考える。基礎形式の選定に当たっては、全体構造計画と合わせて(1)構造物条件、(2)地盤条件、(3)施工環境条件に適合し、かつ経済的となるように選定することが大切である。

3.1 構造物条件

- ① 荷重規模：鉛直荷重が50MNを超える場合には、場所打ち杭基礎は他の基礎形式と比べて不経済となりやすい。
- ② 支持方式：場所打ち杭基礎と連壁井筒基礎は周面支持が可能であるが、鋼管矢板基礎とケーソン基礎は明確な支持層に支持させることが条件である。

3.2 地盤条件

- ① 支持層の深さ：支持層の深さが40mを超えるとオールケーシング杭基礎およびニューマチックケーソン基礎は適用が難しくなる。
- ② 中間層の状態：中間層が非常に硬い層の場合や礫径が10cmを超える場合には、鋼管矢板基礎やリバース杭基礎は何らかの対策が必要となる。
- ③ 被圧地下水および流動地下水：場所打ち杭や連壁井筒基礎の場合は坑壁崩壊の恐れがあるため不適合である。鋼管矢板基礎、ケーソン基礎は問題ない。

3.3 施工環境条件

- ① 水上施工：連壁井筒基礎は不適合である。
- ② 騒音・振動対策：鋼管矢板基礎は、打込み工法の場合には騒音・振動が問題となる。したがって、中掘り工法などの対策を行なう必要がある。
- ③ 隣接構造物に対する影響：鋼管矢板基礎は、基本的に先端開放杭であるため打設時の影響が少ないことに加え、剛性が高い土留め工であるので掘削時に周辺に与える影響も少なく有利である。
- ④ 河川内施工：鋼管矢板基礎は仮締切り工を兼用できるため、他の基礎に比べて施工時の河積阻害率を小さくすることができるのと同時に、仮締切り工に対する費

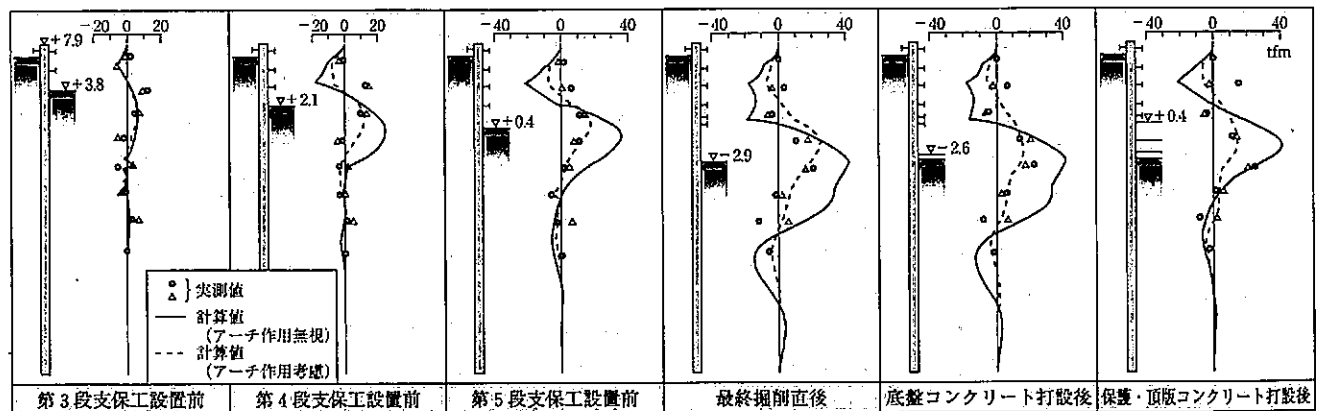


図-4 仮締切り時曲げモーメント¹⁰⁾

表-1 他基礎との比較

		鋼管矢板基礎	ケーソン基礎	連壁井筒基礎	杭基礎
構造条件	高剛性, 大きな支持力	○	○	○	△
	周面支持	×	×	○	○
地盤条件	支持層の深さ (40m以上)	○	△	○	△
	硬質地盤への適用	△	○	○	△
	被圧地下水, 流動地下水	○	○	×	×
施工環境条件	水上施工	○	○	×	○
	占有面積の縮小	○	○	○	×
	騒音・振動対策	△	△	○	○
	近接施工	○	△	△	△
	河川内施工	○	△	×	△
	仮締切り兼用	○	×	×	×

○: 適合性が高い △: 不適合とはいえないが検討を要する ×条件に不適合

用と工期を縮減できる。

表-1 に基礎形式の選定を行なううえでの各基礎工法の適合性の目安を示す。表-1 の評価には幅があるので、実際に基礎形式の選定を行なう場合には現地の具体的条件を鑑み、この表の比較項目などで比較検討を行なうことが望ましい。

4. 構造計画における留意点

4.1 井筒平面形状

4.1.1 井筒平面形状

鋼管矢板基礎の平面形状は円形・矩形・小判形に分類される。河川内橋脚基礎には、円形または小判形が流れの抵抗を少なくすることから用いられる。仮締切り兼用工法の場合には、アーチ作用による仮締切り時応力の低減効果がある円形および小判形が有効である¹⁰⁾。井筒径が15m以上で荷重の大きさが直角2方向で20%以上差がある場合や、河川内で施工時の河積阻害率を小さくしたい場合には、井筒の形状を小判形もしくは長方形にするのがよい。

4.1.2 井筒径と隔壁・中打ち単独杭

① 井筒外径が10mを超える場合には、井筒内部に中打ち単独杭を打設して支持力を分担するとともに、頂版の応力軽減を果たすことが構造上望ましい。中打ち単独杭の本数は分担する支持力の関係から決定する。

② 井筒外径が15mを超える場合には、図-5に示すように隔壁鋼管矢板および中打ち単独杭を打設し、井筒形状の平面保持、剛性の増大、頂版の応力軽減、支持力向上を行なうことが構造上望ましい。

4.2 根入れ比と変形挙動

鋼管矢板基礎は継手のせん断抵抗で一体化しているため、井筒としての挙動が図-6のように根入れ比 L/D (井筒長/井筒径)により変わることが確認されている²⁾。すなわち、目安としては L/D が1.5以下の領域ではせん断変形が主体となり、通常の継手を用いた場合は杭頭部を固定された単独杭の集り(群杭)に近い挙動を示す。これは、継手のせん断力がせん断耐力を超え各鋼管矢板

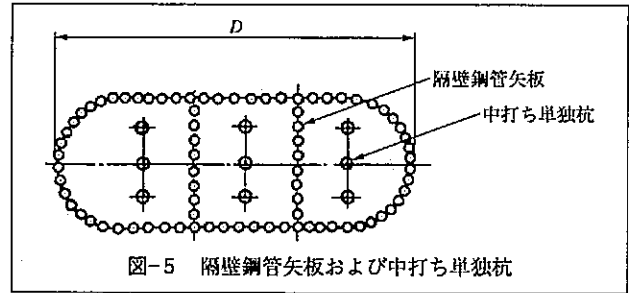


図-5 隔壁鋼管矢板および中打ち単独杭

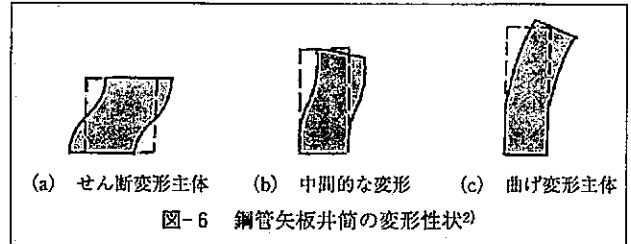


図-6 鋼管矢板井筒の変形性状²⁾

が単独に挙動しやすいため、井筒としての高い剛性を確保するためには、高いせん断耐力を有する継手を用いることが有効である。一方、 L/D が1.5を越える場合は曲げ変形が主体となり、せん断力的には通常タイプの継手で高い井筒剛性を得られる場合が多い。

このように構造計画を行なううえでの一応の目安として、 L/D が1.5以下の場合には高耐力継手の採用を比較検討することが望ましい。なお、 $L/D < 1.5$ はこれまでの経験上の目安²⁾であり、周辺地盤の強度や荷重規模によりこの境界は変化するというを頭に入れたうえで、構造計画・構造比較を行なうことが望ましい。高耐力継手については4.3で解説する。

4.3 継手タイプ

鋼管矢板基礎は一般的にP-P型継手が用いられ、継手の耐力により大きく3タイプに分類される。

- ①通常耐力継手：外径165.2mmの平鋼板継手管に普通モルタルを充填するタイプ
- ②高耐力継手1：外径165.2mmの縞鋼板継手管に高強度モルタルを充填するタイプ
- ③高耐力継手2：外径267.4mmの縞鋼板継手管に高強度モルタルを充填するタイプ

継手のせん断耐力は①<②<③となる。一般的に耐力の高い継手を使う方が井筒径は小さくできることから、河川内橋脚基礎や近接構造物がある場合には高耐力継手の採用を検討してみるのがよい。また、荷重規模が大きい場合や根入れ比が1.5以下の場合、軟弱地盤の場合には、経済性を考慮して高耐力継手の採用を検討するのがよい。なお、耐力が大きいほど継手管の費用が高くなるため、経済比較により個々の条件に最適となる継手タイプを比較検討するのがよい。

4.4 構造形式

鋼管矢板基礎の構造形式は、一般的には図-1(b)の井筒型であるが、特殊タイプとして脚付き型および複合基礎型¹¹⁾がある。

① 脚付き型：図-1(c)に示す形式で、支持層が深く比較的良好的な中間層がある場合に、半数の鋼管矢板を支

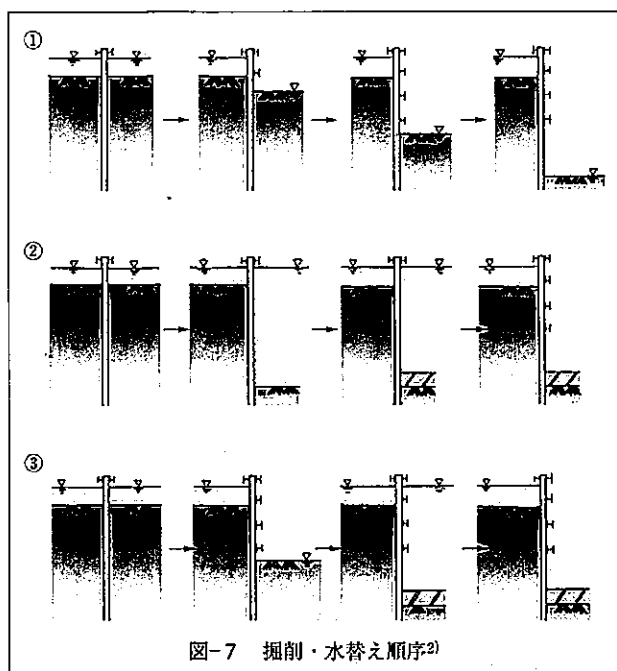


図-7 掘削・水替え順序²⁾

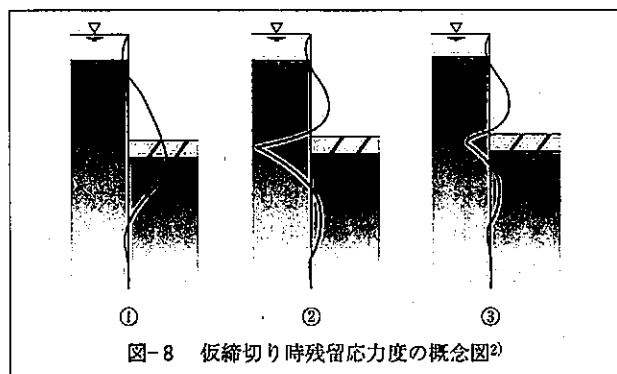


図-8 仮締切り時残留応力度の概念図²⁾

持層まで打設し、残りを中間層に打止める形式である。比較的荷重規模の小さい場合に採用される。また、中間層が硬質で継手管の損傷が予想される場合には、脚付きタイプの検討を行なうことが望ましい。

② 複合基礎型：複合基礎型は、従来の鋼管矢板基礎に改良を加えたものであり、鋼管コンクリート合成構造と場所打ちコンクリート杭の複合杭を高耐力継手により連結する構造である。このタイプは、高い井筒剛性と高い耐力、高い支持力を有するため、荷重規模の大きい大規模橋梁への適用が考えられる¹¹⁾。

4.5 仮締切り時残留応力の制御

鋼管矢板基礎の底盤コンクリートの位置が水面よりかなり深い場合には、仮締切り時残留応力が大きくなる。この場合、井筒内掘削・水替えの方法を工夫することにより残留応力を低減することが可能である²⁾。

井筒内掘削・水替えの方法として、①すべてドライで掘削した場合、②すべて水中掘削し、底盤コンクリートを水中打設した後ドライアップした場合、③途中までドライ掘削、その後水中掘削を行ない底盤コンクリートを水中打設した後にドライアップした場合、の3タイプの掘削・水替え順序(図-7)と、そのときの残留応力度

分布の概念図(図-8)を示す。残留応力の制御の方法は、ドライ掘削から水中掘削に切替えるときの掘削深さと底盤コンクリート打設時の井筒内水位を調整することで、残留応力度の分布をある程度制御できる。

4.6 鋼管矢板の打設と騒音・振動

鋼管矢板の打設は、振動工法によりある程度の深さまで建込み、その後、打撃工法により所定の深さまで打込むのが通常である。しかし、打撃工法の場合、騒音・振動が発生することから、適用範囲が制限される場合がある。この問題の対応策として、中掘り・先端根固め工法の採用、ウォータージェット併用、オーガー併用などが考えられるので、環境上の問題がある場合はこれらの対策を検討する必要がある。

また岩盤への根入れは、岩盤を全回転型オールケーシング工法で削孔し、砂を投入置換した後に鋼管矢板を建込む方法などがある。

5. おわりに

鋼管矢板基礎の計画と適用上の留意点について、これまでの計画や設計の経験に基づいてまとめてみた。以前は、継手の耐力が限られていたため適用範囲が限られるか、他基礎より不経済になる場合があったが、高耐力継手などの開発により経済性が向上し、適用範囲が広がった。今後は、騒音・振動の問題が解決できれば、さらに鋼管矢板基礎の適用範囲が広がると思われるので、今後の関係者の努力を期待したい。

最後に、鋼管矢板基礎について自分自身の集大成をする機会を与えて下さった関係各位に深く感謝の意を表します。

■参考文献

- 1) 大植, 宗澤: 小野地区鋼管矢板井筒の現場試験報告, 構造物設計資料, No58, 1979.
- 2) 国鉄構造物設計事務所編: 鋼管矢板井筒の設計施工指針(案), 1981. 6.
- 3) 日本道路協会: 鋼管矢板基礎設計指針・同解説, 1984. 2.
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 下部構造編, 1990. 3.
- 5) 日本国有鉄道: 鋼管矢板井筒と近接施工, 構造物設計資料, No62, 1980.
- 6) 大植, 宗澤, 松浦: 鋼管矢板井筒打込み時の残留ひずみと二, 三の考察, 構造物設計資料, No62, 1980.
- 7) 大植, 宗澤, 松浦: 鋼管矢板井筒基礎の打込み時の残留応力の設計計算への反映, 第16回土質工学研究発表会概要集, 1981.
- 8) 国鉄総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 丸善, 1999. 10.
- 9) 大植, 宗澤, 篠田, 松浦: 鋼管矢板井筒仮締切兼用工法にみられる仮締切時応力について, 第16回土質工学研究発表会概要集, 1981.
- 10) 海野, 大植, 宗澤, 篠田, 松浦: 鋼管矢板井筒仮締切時の実測値とアーチ作用を考慮した解析について, 第17回土質工学研究発表会概要集, 1982.
- 11) 大久保, 宮川, 勝谷, 佐藤: 鋼管矢板複合基礎工法の概要と構造性能, 基礎工, 2003年8月.