

2.6 2011年(平成23年)～2020年(令和2年)

	2010	2015	2020
時代背景			
各種基準、 示方書類	<道路>	★ 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編改訂(2012)	★ 改訂(2017)
		★ 杭基礎設計便覧改訂(2015)	★ 改訂(2020)
		★ 杭基礎施工便覧改訂(2015)	★ 改訂(2020)
		鋼管矢板基礎設計施工便覧	
	<鉄道>	★ 鉄道構造物等設計 標準・同解説(基礎 構造物)(2012)	
		★ 鉄道構造物等設計 標準・同解説(耐震 設計)改訂(2012)	
<港湾>			★ 港湾の施設の技術上の 基準・同解説 改訂(2018)
	<河川>		★ 河川事業関係例規集/ ハット形追記(2020)
	<建築>		★ 建築基礎構造設計 指針改定(2019)
施工機械、 施工方法			
鋼材	<機械式継手> ★ ハイメカネジ/土木(2011)	★ ガチカムジョイント(2016)	
JIS 制定 (鋼管杭、鋼管矢 板、鋼矢板)	<鋼管ぐい>	★ 改正(2014)	★ 改正(2019)
	<熱間圧延鋼矢板>	★ 改正(2012)	★ 改正(2021)
	<溶接用熱間圧延鋼矢板>	★ 改正(2012)	★ 改正(2021)
	<鋼管矢板>	★ 改正(2015)	★ 改正(2019)
世の中の動き	★ 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災) (2011)	★ 熊本地震(2016)	★ 東京五輪 (2021)
	★ 笹子トンネル天井板 落下事故(2012)	★ ゴム支承改ざん問題(2015)	
	★ 東京港臨海大橋 (東京ゲートブリッジ)完成(2012)	★ 横浜マンション問題(2016)	★ 豊洲市場(2018)
	<九州新幹線(武雄温泉―長崎間)>		
	<北海道新幹線(新青森―新函館北斗間)>	★ 開業(2016)	
	<北陸新幹線(金沢―敦賀間)> ★ 着工(2012)		
<北陸新幹線(長野―金沢間)>		★ 開業(2015)	
	<九州新幹線(博多―新八代間)> ★ 開業(2011)	<中央新幹線(東京―大阪間)> ★ 着工(2014)	

1. 共通

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)、熊本地震の発生

2011年(平成23年)、読者の記憶にも新しいと思われるが、日本周辺における観測史上最大の地震であった東北地

方太平洋沖地震が発生している。また、2016年(平成28年)には、熊本地震が発生しており、熊本県と大分県を中心に大きな被害をもたらした。

2011年(平成23年)3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード(以下、M)が9.0、最大震度が宮

城県栗原市で観測された震度7という規模であった。宮城県、福島県、茨城県、栃木県の4県37市町村で震度6強を観測した¹⁾ほか、東日本を中心に北海道から九州地方にかけて、震度1から6弱を観測するなど、如何に広範囲にわたる地震であったのかが図2.6.1からわかる。この地震は、北アメリカプレートと太平洋プレートとの境界域(日本海溝付近)で断層破壊が起きたことにより発生した地震であり、場所によっては波高が10m以上の津波が発生し、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害が発生している(東日本大震災)。これらの被害に対して、迅速な復旧・復興を進めるため、鋼管杭・鋼矢板技術協会は独自に震災調査に取り組み、2011年(平成23年)10月に1次調査報告書²⁾、2012年(平成24年)12月に2次報告書³⁾を取りまとめている。被害状況については、各分野で詳述する。

熊本地震は、2016年(平成28年)4月14日にM6.5の地震(前震、図2.6.2)が、4月16日にM7.3の地震(図2.6.3)が発生し、いずれも最大震度7を記録した。震度6弱を上回る地震は計7回観測されている。本地震の特徴としては、内陸の活断層の活動によること、震源の近くでは強い揺れに何度も襲われた地区があること等が挙げられる⁴⁾。

(2) 基礎ぐい工事に関する問題(横浜マンション問題)

2005年(平成17年)の構造計算書偽造事件を契機とした法律改正により、建築物の構造設計に対する信頼性は高まったものの、その後、約10年が経過した2014年(平成26

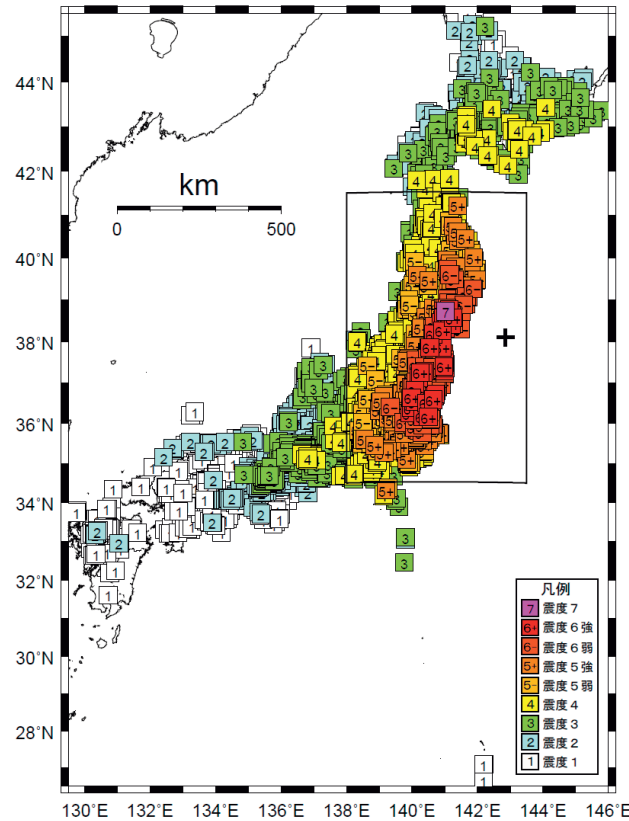


図2.6.1 東北地方太平洋沖地震 地震分布図⁹⁾

年)に不適切な施工管理に起因する建物の傾斜が横浜市内の分譲マンションにおいて確認された。様々な調査の結果、支持層へ到達していない杭が6本、支持層への根入れが不足している可能性が高い杭が2本あること、支持層への到達判断に資する施工データの偽造も確認され、業界に大きな衝撃を与えた(基礎ぐい工事問題)。これを受け、国土交

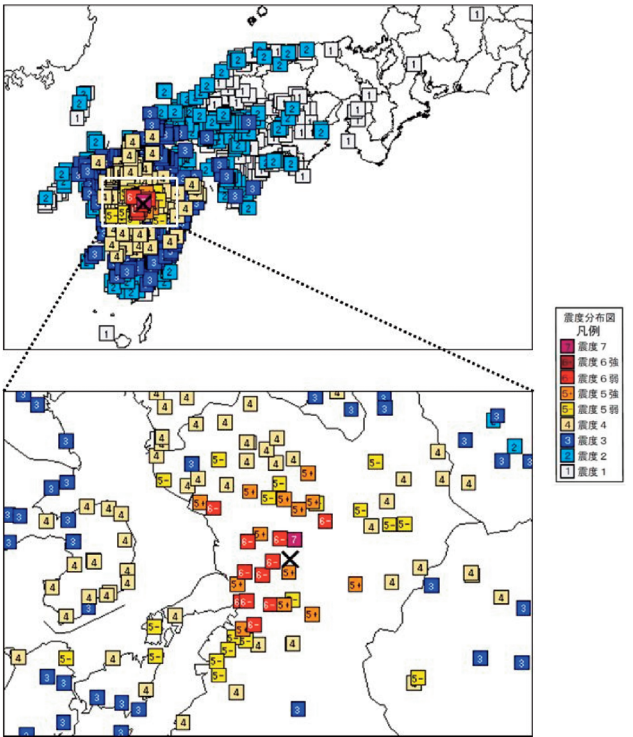


図2.6.2 熊本地震地震分布図(4月14日)¹⁰⁾

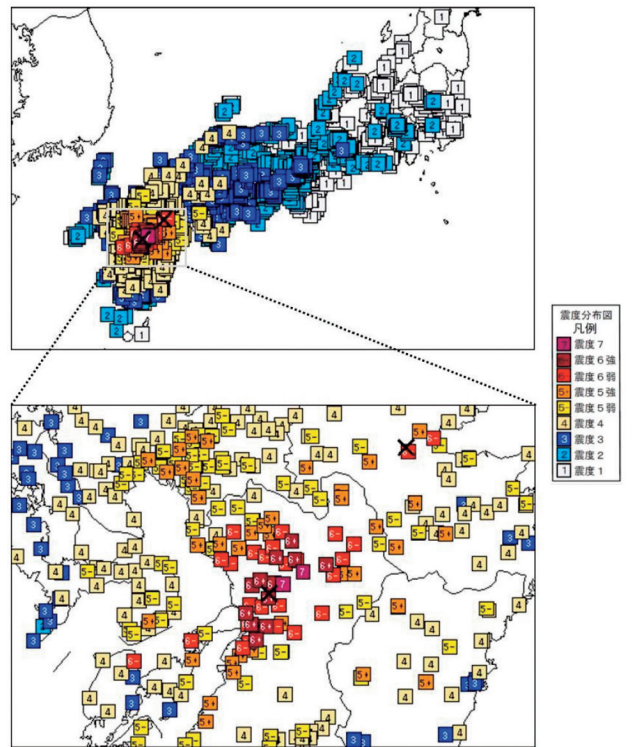


図2.6.3 熊本地震地震分布図(4月16日)¹¹⁾

通省では、基礎ぐい工事問題に関する対策委員会を立ち上げ、これら実態や要因等について検討した上で、再発防止策を「中間とりまとめ報告書⁷⁾」として取りまとめるとともに、「基礎ぐい工事の適正な施工を確保するために講ずべき措置⁸⁾」として、施工体制、杭の支持層到達、施工記録に関する規定を告示として公布している。このように、施工に対する管理、品質管理のニーズは更に高まっていった。

(3) 設計基準類について

このような中、前述の地震などの被災事例を踏まえて、各分野における設計基準が改訂(改定)されている。各分野の改訂(改定)内容については、後述を参照されたい。

道路分野においては、2012年(平成24年)では、前回の改訂以降に蓄積された技術的知見を取り込むことおよび維持管理への配慮と品質確保の重要性の視点から「道路橋示方書・同解説」の改訂がなされている⁵⁾。下部構造についての主な改訂内容としては、東北地方太平洋沖地震での被災事例を踏まえ、支承部、落橋防止構造等からの荷重に対する橋脚及び橋台の設計に関する規定の充実や、橋台と背面側の盛土等との間に位置する構造部分を橋台背面アプローチ部として新たに位置づけ、設計及び施工について規定されたことが挙げられる。また、適用事例が増えてきていた回転杭工法の設計及び施工について規定されたものこの改訂からである。2017年(平成29年)では、多様な構造、新材料に対して的確な評価を行うための性能規定化の一層の推進、長寿命化の合理的な実現、熊本地震における被災を踏まえた対応を主な内容として改訂されている⁶⁾。

鉄道分野においては、道路分野と同様、東北地方太平洋沖地震での被災事例を踏まえつつ、性能照査型設計法の導入、地盤抵抗モデルと設計限界値の検討(見直し)を実施している。また、鋼管ソイルセメント杭工法や回転杭工法が新たな工法として導入されるなどして、2012年(平成24年)、15年ぶりに「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)」として改訂されている。

港湾分野においては、近い将来に発生が危惧される南海トラフ、首都直下等の巨大地震に対し、東北地方太平洋沖地震や熊本地震等を教訓とした新たな知見や2014年(平成26年)に発生した笹子トンネル天井板落下事故を契機とした維持管理・点検業務の強化を踏まえて2018年(平成30年)5月に基準の改訂を行っている。

建築分野においては、東北地方太平洋沖地震での直接的な地震被害や津波災害、地盤の液状化による建物の沈下・傾斜被害等を踏まえるとともに、基礎構造の性能を明らかにして巨大地震に対してもより安全となるよう、18年ぶりに「建築基礎構造設計指針(2019年)」の改訂が日本建築学会により行われている。

(4) 鋼管杭・鋼矢板技術協会の主な活動

従来、鋼管杭・鋼矢板技術協会の主な活動は、材料、構造・工法面での規格・基準類の整備を主体とした活動であったが、前述の基礎ぐい工事に関する問題を背景に、各分野での構造物基礎分野における施工・品質管理の厳格化、信頼性設計法への移行への順応のため、杭の性能・品質を左右する「施工」に焦点を当て、施工技术や施工管理にかかわる様々な課題に対しても取り組んでいる。

1) JASPP 版施工管理要領の発刊

2015年(平成27年)より鋼管杭施工業者をメンバーとした施工管理普及委員会を立ち上げ、これまでに蓄積した技術、知見、ノウハウを取りまとめ、専門家・学識経験者等を委員に迎えて設立した施工専門委員会にて審議を頂いた中掘り杭工法(図2.6.4)、回転杭工法(図2.6.5)、鋼管ソイルセメント杭工法(図2.6.6)、打撃工法(図2.6.7)の施工管理要領を作成・発刊している。

2) 鋼管杭施工管理士資格制度の創設

施工管理要領の作成・発刊に加え、鋼管杭工法のより広範で高度な能力を有する主任技術者または杭工事管理者などの施工管理者を育成するため、民間資格として「鋼管杭施工管理士」資格を創設した。詳細については、後述の「4

章鋼管杭施工管理士資格の創設と実施」を参照されたい。

現在、鋼管杭・鋼矢板技術協会では、上記のように「鋼管杭工法の施工管理要領の整備・標準化」の他、「鋼管杭の新しい設計法の整備」や「補強・補修・更新ニーズへの対応」を主軸として活動している。各々の今後の活動により、我が国の社会基盤発展に寄与していく所存である。

2. 道路分野

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)と道路橋示方書の改訂

2011年(平成23年)に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)では、地震による被害のみならず、巨大津波発生により、東北地方から関東地方の太平洋沿岸にかけて広範囲かつ甚大な被害をもたらすことになった。「1.共通(1)」で述べた鋼管杭・鋼矢板技術協会による被災した橋梁基礎(鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎)の現地調査結果のうち、道路橋の被害状況に着目すると、トラス桁橋の基礎に鋼管斜杭が使われている新北上大橋(1976年に竣工)は、津波直撃によりその上部工の一部(全長556mのうち155m)が流失したが、地震のみによる下部工への影響はほとんどなく、健全性を保っていたことが確認された。このように巨大大津波により、上部工と下部工の一部が流失した橋梁(気仙大橋、小泉大橋など)はあったものの、地震による杭基礎本体の損傷は軽微でほぼ健全であったことから、鋼管杭基礎の優れた引抜き抵抗力や水平抵抗力、災害に対する強靱さを示す結果となった¹⁶⁾。

ところで、東北地方沿岸部に位置する高規格道路(三陸縦貫自動車道、常磐自動車道、仙台東部道路)は、大津波の影響を受けたが、高架・盛土区間であったため被災することなく、救急救命活動や緊急物資輸送などに重要な役割を果たした。そこで、東日本大震災からの復興に向けたリーディングプロジェクトとして、国土交通省が中心となって、高規格道路を含む復興道路・復興支援道路の路線全長570kmの整備を進めることになった。復興道路と位置付けられた三陸沿岸道路(三陸縦貫自動車道、三陸北縦貫道路、八戸・久慈自動車道)や、復興支援道路として位置付けられた宮古盛岡横断道路、東北横断自動車道釜石－花巻線、東北中央自動車道の整備区間は、震災後加速的に整備が進められ2021年7月、全線開通を果たした(写真2.6.1)^{17), 18)}。これら整備事業でも地震に対して強靱な鋼管杭・鋼管矢板が多く採用されている。

2012年(平成24年)の「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」の改訂では、東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)などの近年の地震による被災事例を踏まえて、地震動などの見直しや維持管理に関する内容の充実が図られた。その他には、「杭基礎設計便覧(日本道路協会:2007年)」、「杭基礎施工便覧(日本道路協会:2007年)」の改訂内容を取り込み、既製杭工法(鋼管杭)として回転杭や斜杭構造

の規定が、鋼管杭の継手として機械式継手が追記された。また、鋼管杭の現場縦継ぎは「道路橋における鋼管杭現場縦継ぎ溶接作業要領(鋼管杭・鋼矢板技術協会:2012年)」を参照して溶接するよう記載されるとともに、現場溶接部の許容応力度を工場溶接と同じ値としてもよいことが明記された(それまでは90%)^{20), 21)}。杭とフーチングの接合部に関しても大幅に見直しされ、従来方法A(フーチングの中に杭を一定長さだけ埋め込む方法)については実態として使用されていなかったことから表記が削除され、従来方法B(フーチングへの杭の埋込み長を最小限に留め、主として鉄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)に関しても、当時広く使用されていた杭外周に補強鉄筋を溶接する方法が削除され、中詰め補強鉄筋を用いた鉄筋かご方式に統一されるなど照査方法が大きく変更された²²⁾。

2015年(平成27年)には、「道路橋示方書・同解説(2012年)」の改訂内容を基に「杭基礎設計便覧」、「杭基礎施工便覧」が改訂されている。

これまで述べてきたように、「道路橋示方書・同解説」ではその時々で得た技術的知見や社会的な情勢の変化等を踏まえて改訂が行われてきたが、2017年(平成29年)には制定以来の大幅な改訂が行われた。着目すべき改訂点は、性能照査型設計・信頼性設計の本格的な運用として、それまでの許容応力度設計法を基本とした照査体系に代わって限界状態設計法及び部分係数設計法を導入した点、そして設計供用期間100年を実現するための耐久性設計とその前提としての維持管理についての内容も盛り込まれた点である。鋼管杭・鋼管矢板関連項目では、統計的データが少なかったことなどの理由から、打込み杭工法からパイプロハンマ工法の記載が削除された²³⁾。このことをきっかけに、2019年(令和元年)に鋼管杭・鋼矢板技術協会では、打込み杭工法の設計・施工管理技術に関する特別研究委員会を発足し、パイプロハンマ工法の支持力発現メカニズムの解明や、パイプロハンマの打ち止め管理手法の信頼性向上を目的に活動を進めている。その成果が今後の基準類改訂に向けた基盤整備につながることを期待したい。



写真2.6.1 開通した気仙沿岸橋を通行する車両¹⁹⁾

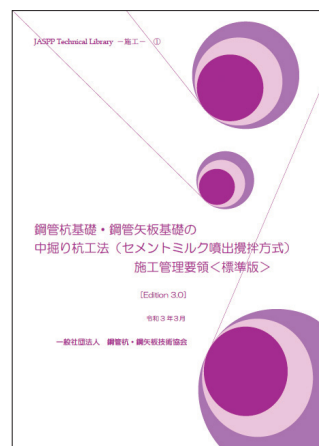


図2.6.4 中掘り工法(セメントミルク噴出攪拌方式)施工管理要領<標準版>¹²⁾



図2.6.5 回転杭工法 施工管理要領¹³⁾



図2.6.6 鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領¹⁴⁾

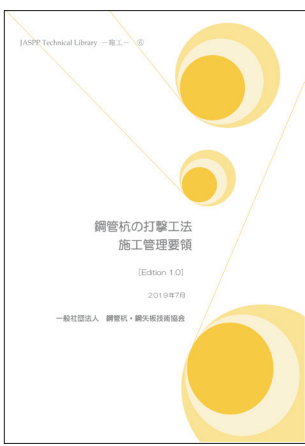


図2.6.7 打撃工法 施工管理要領¹⁵⁾

なお、2020年(令和2年)には、「道路橋示方書・同解説(2007年)」の改訂内容を基に「杭基礎設計便覧」、「杭基礎施工便覧」が改訂されている。

(2) 道路施設の老朽化対策

高度経済成長期に建設された道路橋をはじめとするインフラは、建設後50年以上が経過している。今後数十年でその割合は加速度的に高くなるといわれており、老朽化する道路施設の維持管理の重要性が問われている。2016年(平成28年)に着工された首都高速道路の高速1号羽田線更新工事(東品川栈橋・鯉洲埋立部)は大規模更新・修繕として計画され、橋梁の架け替えや床版の取り換えによる更新が行われている。このような都市部の工事では、様々な鋼管杭・鋼管矢板基礎工法が、低騒音・低振動や景観の配慮、狭隘な施工スペースなどの施工環境による厳しい要求をクリアして、工期短縮と安全性の確保に貢献している(写真2.6.2)²⁴⁾。今後は、このような大規模道路施設の維持管理を目的とした補修・補強・更新工事が年々増加していくことが予想される。それら構造物の基礎構造では、鋼管杭・鋼矢板・鋼管矢板をはじめとする多種多様な鋼材の活躍が望まれる。



写真2.6.2 高速1号羽田線更新工事(東品川栈橋・鯉洲埋立部)での低空頭圧入機での施工の様子²⁴⁾



3. 鉄道分野

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)による鉄道構造物基礎の状況

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)の鉄道構造物における被災状況は、橋脚等の損傷が主体で、基礎構造物に関しての被災報告はあがっていない。鋼管杭・鋼矢板技術協会に設置された震災対策チームによる現地調査結果から、東北新幹線小野地区高架橋における鋼管矢板基礎に変状が確認されていないとの報告がある²⁵⁾。この報告からも分かるように、過去の被災状況を振り返り知見等を設計基準等に取り込んだ成果が実構造物における被災影響なしという成果となっているものと考えられる。

(2) 鉄道分野における斜杭基礎

鉄道分野では、地震時の列車走行の安全性を確保するために、水平剛性が高い構造物とすることや、構造物境界での不同変位を小さくすることが求められる。斜杭基礎を鉄道構造物へ適用することで、構造物の水平剛性が向上し、これら課題を解決することが期待できる(図2.6.8)。

過去には東海道新幹線の軟弱地盤区間の一部で水平抵抗を高めるために、斜杭として鋼管杭斜角10～15度が採用された事例があったが、当時は打込み杭工法に限定されていたため、騒音・振動を避けたいという近年のニーズに合致していなかった。

一方、近年回転杭工法や中掘り根固め杭工法で斜杭が適用可能とされたことから、現場地盤が非常に軟弱である北陸新幹線延伸工事で、鉄道分野において初めて回転杭を斜杭として採用し、地震時の水平力に抵抗でき、経済的な設計が実現した(写真2.6.3)。また、東海環状自動車道(大野神戸IC～大垣西IC)本線ランプ橋でも回転杭(斜杭)が施工されている(写真2.6.4)²⁷⁾。

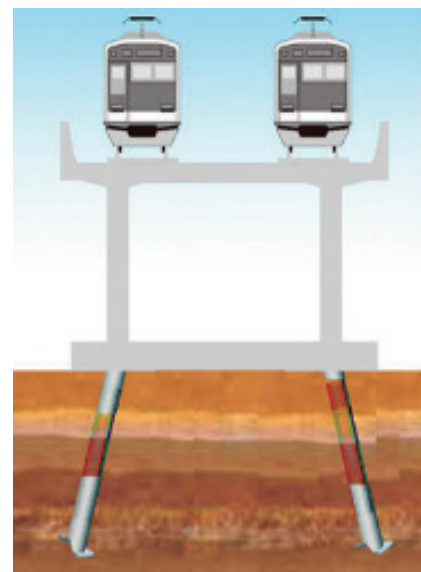


図2.6.8 鉄道構造物基礎の斜杭イメージ²⁶⁾

(3) 性能規定化と「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)」の改訂

2001年(平成13年)に「鉄道に関する技術上の基準を定める省令(国土交通省令第151号)」が制定された。この省令の中で、国土交通省が所管する鉄道分野の設計に関わる技術基準は仕様規定から性能規定へと改訂され、構造物の基本的要求性能として「安全性」、「使用性」、「修復性」が示されることになった。

これら考えを採り入れ、2012年(平成24年)に、「鉄道構造物等設計基準(基礎構造物)」が大幅改訂され、性能照査型設計法が導入された。そのほかの主な改訂点として地盤抵抗モデルと限界値の検討、材料等の適用範囲の拡大、新工法基礎の導入等が記載された。新工法基礎としては、杭基礎にプレボーリング根固め杭工法、回転杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法等を、鋼管矢板基礎に中掘り根固め杭工法が追加されている。なお、(2)で述べた斜杭基礎に関する記述も大幅に見直されている²⁸⁾。

(4) 整備新幹線延伸と中央新幹線整備

2021年現在進められている整備新幹線建設は、図2.6.9に示すように北海道新幹線(新函館北斗～札幌)、北陸新幹線(金沢～新大阪)、九州新幹線西九州ルート(新鳥栖～長崎)の3路線であり、全線開業に向けた建設が急ピッチで進められている。これら直近の整備新幹線の建設にあたっては、地



写真2.6.3 北陸新幹線延伸工事(金沢～敦賀間)小松木場湯高架橋の斜杭施工²⁶⁾



写真2.6.4 東海環状自動車道(大野神戸IC～大垣西IC)本線ランプ橋の斜杭施工²⁷⁾

盤条件・施工環境に応じた基礎形式の選定方法が確立し、各種杭工法の特長が活かされ施工が行われている。

ところで、首都圏～中京圏～近畿圏(東京～名古屋～大阪)を結ぶ高速鉄道である東海道新幹線は、開業から55年以上が経過し、大規模改修工事を実施している一方で、将来の経年劣化に伴う大幅な設備更新のリスクが懸念されるようになった。また地震大国である日本においては、今後予測されている南海トラフ巨大地震といった大規模災害により、日本の大動脈が断絶するリスクもある。そこで全国新幹線鉄道整備法に基づき、東海道新幹線の役割を代替する中央新幹線の整備計画が、2011年(平成23年)に国土交通省により決定された(図2.6.10)。高架橋、トンネルから構成される施設の建設が進められ、2021年(令和3年)7月現在、東京(品川)から名古屋間の開業は2027年を予定している。新幹線で初となる超電導磁気浮上方式(超電導リニア)の技術により、供用時には、時速500kmにより東京

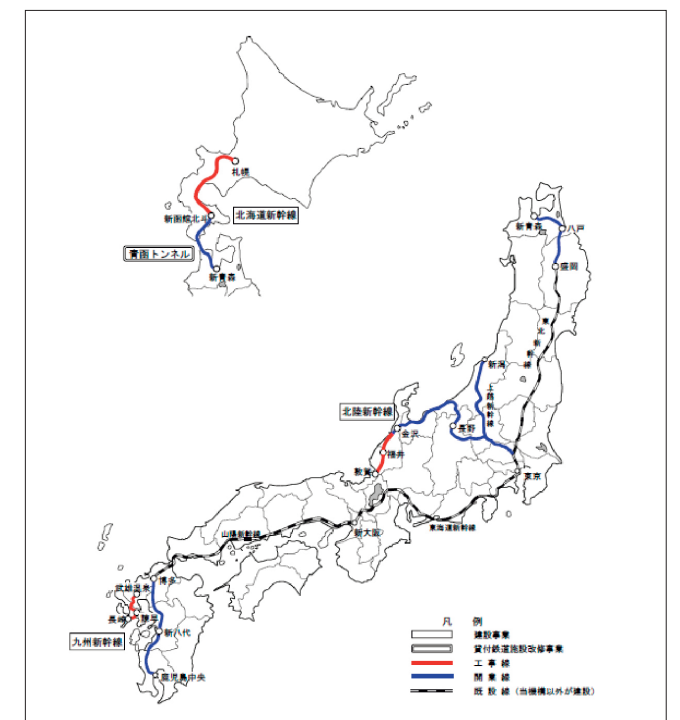


図2.6.9 整備新幹線建設路線図²⁹⁾



図2.6.10 中央新幹線ルートと南海トラフ巨大地震の想定震度の最大値の分布図³⁰⁾を参考にトレース

(品川)～名古屋間を約40分、2037年にさらに延伸して東京-大阪間を約67分で結ぶ計画となっている。当協会としては、こういった分野においても、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の持つ特長が認められ、活躍できることが望まれる。

(5) 鉄道構造物の維持管理

(4)で述べたように、東海道新幹線を含め、多くの鉄道構造物が高度経済成長期に整備されたものであり、全国において約100,000橋ある橋梁のうち約50%が建設後50年以上経過している。今後においては、これまで建設された施設の維持・補修が大変重要である。鉄道構造物の維持管理基準については、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」(平成13年国土交通省令第151号)内の第87条に鉄道施設の保全として「列車等が所定の速度で安全に運転することができ的状态に保持しなければならない」旨が規定されており、その具体的な方法として、構造物の保全については、「鉄道構造物等維持管理標準(平成19年1月)」によることとされている。また、鉄道をはじめ、国・地方公共団体・その他民間企業等が管理するあらゆるインフラを対象に「インフラ長寿命化基本計画(平成25年11月)」が取りまとめられた。鉄道事業においても、この基本計画に基づき、鉄道構造物の維持管理・更新を戦略的に進めている。

今後は、鉄道施設の新規建設に適用されてきた鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が、基礎構造物の維持・補修時にも採用されることを期待したい。

4. 港湾分野

(1) 鋼管杭の「粘り強い」性能

2011年(平成23年)に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)においては、青森県八戸市から茨城県に至る太平洋沿岸の広範囲な地域における港湾施設の被害が甚大であった(写真2.6.5、写真2.6.6)。鋼管杭・鋼矢板技術協会として1次調査報告(2011年10月)、2次報告(2012年12月)を実施した。港湾構造物に関しては、青森から宮城にかけては津波による被害が大きく、栈橋式岸壁の渡板、床板の流失・矢板式岸壁のはらみ出しが見られた(写真2.6.7)。福島～茨城にかけては液状化による被害が大きく、相馬港、小名浜港、那珂湊漁港(写真2.6.8)では矢板式岸壁が被災し、矢板のはらみ出し、控え式構造のタイ材の破断、背後地盤の沈下等が見られたが、総じて鋼構造物の被害は少なかった³¹⁾。しかしながら一部鋼構造物においてこれまでにないような被災事例も確認されたことから、その被災例として①耐震強化岸壁「S港T埠頭2号岸壁」でのほらみだし(図2.6.11)、②控え組杭式鋼矢板岸壁の一部区間においてタイワイヤー破断と鋼矢板爪の離脱が見られた「相馬港1号埠頭岸壁」の一部倒壊(写真2.6.9)、③カーテンウォール式波除堤において鋼管杭の破断が発生した「石巻漁港波除堤」の鋼管杭の破断(写真2.6.10)、の3事例を

取り上げ、被災原因の究明に取り組んだ。その結果、当時の設計基準では発生した現象の再現が難しい面があることが明らかとなり、設計法の改善へ向けた取り組みの必要性を提言した。一方で、港湾分野の塑性化を考慮した設計(地震応答解析やプッシュオーバー解析)では全塑性モーメントを折れ曲がり点とするバイリニアモデルを用いることが



写真2.6.5 釜石湾口防波堤の被害³¹⁾

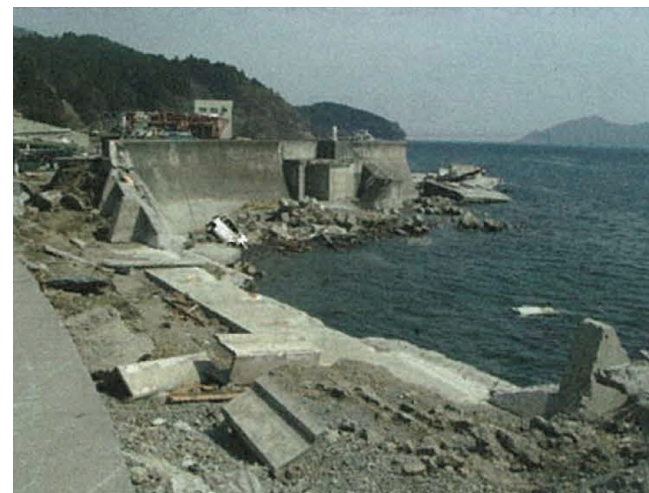


写真2.6.6 大船渡市三陸町の防波堤被害³¹⁾

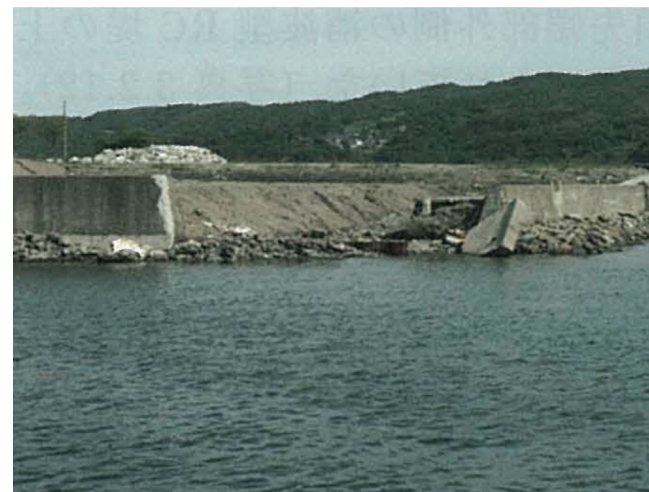


写真2.6.7 久慈漁港の被災状況³¹⁾

多いが、全塑性後の限界値(許容塑性率や限界ひずみ)まで考慮することで、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が「粘り強さ」を発揮できるポテンシャルを有していることを明らかにした³²⁾。本取り組みが、後に記載する2018年(平成30年)の港湾基準における鋼管杭の「粘り強さ」を活かした記述へと発展する。

本震災を受け2011年(平成23年)に国土交通省より「港湾における総合的な津波対策のあり方(中間とりまとめ)」が発表され、「粘り強い構造を目指す」旨が記載された。これらにより、鋼材の特長である粘り強さの災害時優位性が世間に着目されるようになったと言える。

上記のような鋼材の優位性が認識されたこと、これまで



写真2.6.8 那珂湊漁港の被災状況³¹⁾

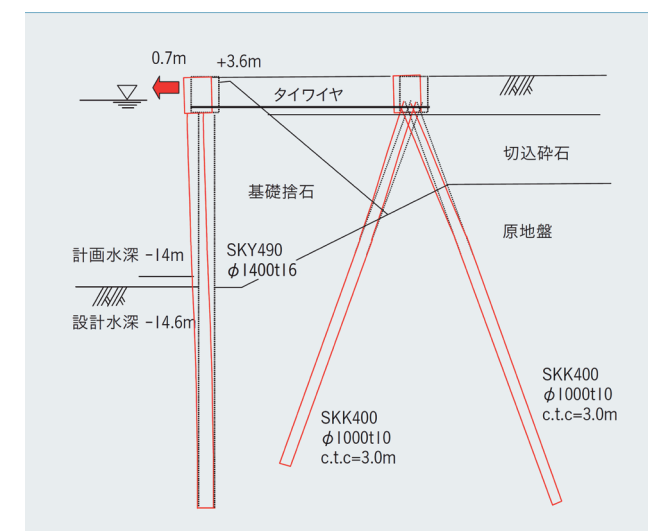


図2.6.11 T埠頭2号岸壁の被災概要³³⁾

の技術変遷における鋼材の特長が活かされたのが、その後の復興工事(図2.6.12)である。復興地域においては想定津波高さの増幅に伴い巨大防潮堤が建設されるようになった。防潮堤基礎に鋼管杭が採用されたのは、津波の洗掘にも耐えられるよう裏法の傾斜を大きく取った防潮堤の構造とコンクリート被覆による大きな荷重を支える必要があったためである。巨大防潮堤は、一部景観配慮型の防潮堤商品等も生まれてはいるものの、海岸地域における海との断絶や景観問題が未だに解決されていない地域も多い。本震災を含むこれまでの大災害を受けて、2013年(平成25年)に内閣官房に国土強靱化推進室が設置され、全国的な防災・減災・国土強靱化に向けた取り組みが開始された。東南海・南海トラフ大地震等の大規模津波も想定される中、鋼管杭・鋼管矢板の特長を活かした防潮堤の施工が行われている。

(2) 港湾に関する基準類

1995年(平成7年)の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)による神戸港係留施設の被害から始まった設計高度化移行の流れにおいては、レベル2地震動に対する変形量照査(2次元地震応答解析)による耐震設計体系が示された。この流れを受けて、2018年(平成30年)に改訂された「港湾の



写真2.6.9 相馬港1号埠頭の被災状況³³⁾



写真2.6.10 石巻漁港波除堤の被災状況³³⁾

図2.6.12 鋼管杭を用いた震災復旧・復興工事の実績³⁴⁾

(画像提供：丸泰土木)

施設の技術上の基準・同解説」では、前回(2006年)改訂における限界状態設計法がより簡略に適用できるような修正に加え、設計における「粘り強さ」の概念が導入、鋼管部材の粘り強さを考慮できる構成則の見直しが図られた。具体的には、 t/D の大きい(肉厚の厚い)鋼管杭においては耐力低下が起こりにくく変形が進んでも耐力を保ち続ける効果が構成則に反映されたのである^{35), 36)}。一方で実際の構造設計において「粘り強さ」をどのように評価・具現化するかについては試行錯誤の状況であり、今後の設計技術の確立に期待する。

(3) 防食技術

1984年度(昭和59年度)から実施されてきた波崎海洋研究施設破砕帯観測用栈橋の暴露試験が、2014年度(平成26年度)に30年が経過し、その調査報告が実施され、ポリエチレン被覆工法の長期耐久性が確認されるとともに、鋼面まで達する疵部の影響が確認され、疵部に対する補修対策が維持管理上重要であることがわかった。本報告によって劣化指標の適用可能性として体積固有抵抗を提案したが、その測定手法の確立については今後の課題とされた³⁷⁾。本報告を反映した「港湾構造物防食・補修マニュアル」の改訂が現在進められている。

(4) 東京オリンピック・パラリンピック関連施設

1970年代から埋め立てを行ってきた中央防波堤内側と外側との間に位置する「東西水路」と呼ばれる水路部分が、2020東京オリンピック・パラリンピック競技大会(2021年に開催)のボート・カヌー競技場として有効活用された(写真2.6.11)。ボート・カヌー競技場は通常池や湖などの淡水面が利用されるが、本競技場は世界的にも珍しい海水面の利用が特徴となっている。一方で、潮位変動の課題を解決するために、確実な遮水性能が求められた。そこで「2.5節 4. 港湾分野(1)」に記載した漏洩防止ゴム板付き継手を利用した鋼管矢板と遮水鋼矢板を組み合わせ、それらの間にモルタルを充填することで止水性能を強化した特殊鋼管矢板が採用(写真2.6.12, 写真2.6.13, 写真2.6.14)、入念な施工検討・精度確保に細心の注意が払われ、施工が完了した。使用される鋼管杭の重防食についても、周囲の景観に配慮した塗装色が採用された(写真2.6.15)³⁸⁾。鋼管杭・鋼管矢板が海上での急速施工に対応し、優れた経済性を発揮、世界的イベントかつ大規模社会資本のひとつに、景観といった環境面でも貢献した事例である。

写真2.6.11 海の森水上競技場³⁹⁾

(写真提供：東京都)

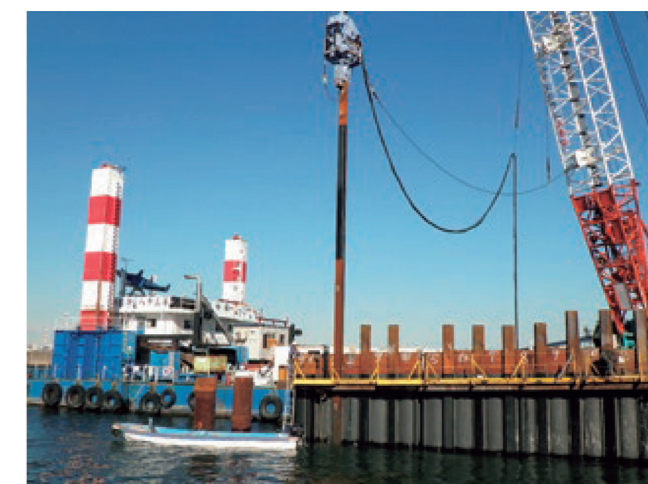
写真2.6.13 東側締切堤 油圧ハンマによる鋼管矢板の打設状況³⁸⁾*写真2.6.14 鋼管矢板と遮水鋼矢板による締切構造³⁸⁾*写真2.6.12 バイプロハンマによる遮水鋼矢板の打設状況³⁸⁾*写真2.6.15 現地にサンプルを持ちこみ行われた重防食のカラー検討³⁸⁾**



写真2.6.16 東京国際クルーズターミナル⁴⁰⁾
(写真提供：東京都港湾局)

(5) クルーズ拠点の整備

近年訪日外国人の増加が著しく、世界のクルーズ人口も増加傾向にある中、世界的に船舶の大型化も進んできた。2017年(平成29年)7月、国際旅客船拠点形成港湾として、「横浜港、清水港、佐世保港、八代港、本部港、平良港」の6港を指定し、「訪日クルーズ旅客を2020年に500万人」の目標の実現に向けて既存岸壁の改良・延伸、クルーズ船の誘致を目指す自治体とクルーズ船社との商談会の実施など、ハード・ソフト一体となったクルーズ船の受入環境の整備として、岸壁の整備や改修等に取り組んでいる。

また、2020東京オリンピック・パラリンピック競技大会開催に向けてクルーズ客船を利用した旅行客の増加が見込まれる中、世界最大クルーズ客船の発着・寄港に対応するため2020年(令和2年)9月、「東京国際クルーズターミナル」(写真2.6.16)がオープンした。ターミナル基礎はφ2000mmの大口径鋼管杭84本、鋼製のジャケット4基からなる全長252m、幅41mの栈橋構造であり、4階建てターミナルビルの建築柱との一体化構造となっている(写真2.6.17、図2.6.13)。国内で施工事例の少ない大口径杭であり、大きな支持力を得るため、杭先端内側には井桁の先端補強金物を取り付けて閉塞率向上を図っている^{41)、42)}。

(6) ICT 技術活用

2016年(平成28年)より、建設現場の生産性向上を目的に、港湾分野においてICT活用のための基準類の検討を行う「ICT導入検討委員会」が国土交通省内に発足し、新たな取り組みが進んでいる。鋼管杭・鋼矢板技術協会としては2019年(令和元年)より、施工管理の質的向上の一環として「打込み杭特別研究委員会」を設立し、打撃工法の打ち止め管理手法の高度化と信頼性向上を目的に、施工管理データの自動かつ連続的な計測可能な新たな打ち止め管理手法の構築に取り組み活動中である。本手法が今後の鋼管杭における支持力性能の信頼性、ひいては鋼管杭を用いる構造物の信頼性向上の一助となることを期待する。

(7) 維持管理

高度経済成長期に集中的に整備した施設の老朽化が進行



写真2.6.17 東京国際クルーズターミナル 鋼管杭打設状況⁴²⁾

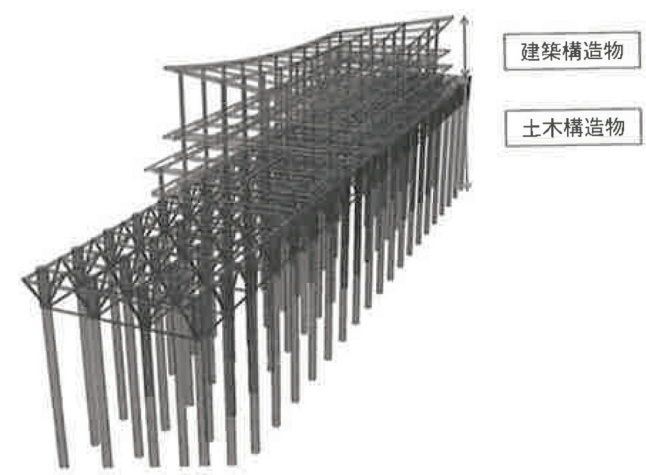


図2.6.13 ターミナル施設および鋼管杭と一体化した建築柱⁴²⁾

しており、建設後50年以上の施設が2034年(令和16年)には60%となる。政府として2013年(平成25年)11月に「インフラ長寿命化基本計画」を策定し、港湾局として今後の港湾施設の維持管理などの課題に対する対応方針を2014年(平成26年)5月に策定した。また「港湾の施設の点検診断ガイドライン」が同年7月に発行され、点検の実施要領がまとめられた。

船舶の大型化による増深、耐震性能の向上、老朽化への対策などで既設の係留施設の改良が必要な事例が増加している。2018年(平成30年)に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」では既存施設の改良設計に関する記載が追加されたが、具体的な設計法の明記には至っていない。現在当協会において既設港湾施設の更新設計の具体的な解析・設計手法を取りまとめており、今後の更新設計に役立てて頂ければ幸いである。

5. 河川分野

(1) 河川護岸における要求性能の高度化および多様化

河川護岸の設計は、2020年(令和2年)全国防災協会より発刊されている「災害復旧工事の設計要領」に準じて検討されることが標準的であり、地震時も震度法を導入した静的な設計が可能となっている。さらに重要度の高い護岸に対しては、2012年(平成24年)国土交通省水管理・国土保全局治水課より発刊されている「河川構造物の耐震性能照査指針・解説―Ⅲ. 自立式構造の特殊堤編―」に準じ、レベル2地震動や液状化も考慮した耐震性能の評価を行えるようになっている。河川堤防を設置する用地がすぐには確保が難しい現場においては、より省スペースに築堤が可

能となる自立式構造の特殊堤の設置が認められる場合がある。とりわけ住宅地の多い都市河川などで、流下能力の確保・高潮や津波遡上への対応・液状化による影響の考慮等も図りながら既設護岸の更新などを実施する場合は、この特殊堤の形態が採用されることがあり、その省スペースで粘り強い特長を活かし、鋼矢板・鋼管矢板・鋼管杭^{*}が多く採用されている。

その他、国(各地方整備局)や地方自治体が策定した河川分野の設計基準としては、「国交省中部地整／河川構造物設計要領(H28年11月)」、「国交省北陸地整／設計要領(河川編H25)(H28年改訂版)」、「H27河川構造物設計基準〔設計編〕〔計画編〕東京都建設局」等があり、鋼矢板を用いた護岸等に関して詳細な記載がなされる。

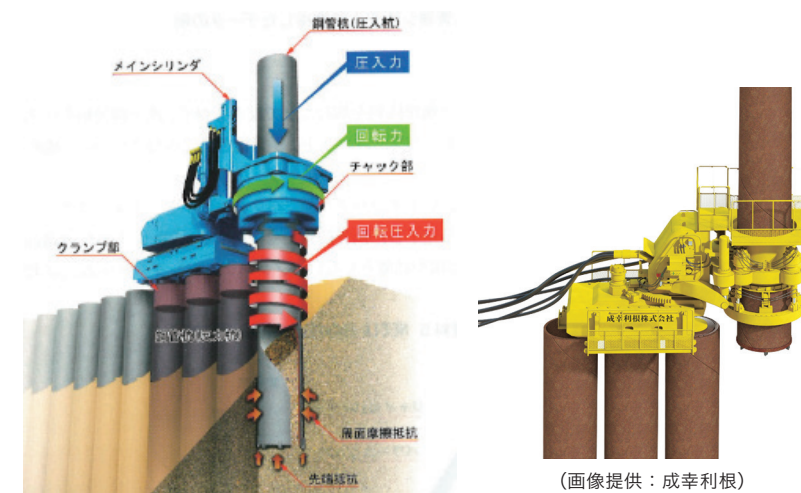


図2.6.14 回転切削圧入機(左：株式会社技研製作所製⁴³⁾、右：成幸利根株式会社製⁴⁴⁾)



図2.6.15 鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料



図2.6.16 本設壁体用新世代鋼矢板 ハット形鋼矢板 900 (パンフレット)

※都市部の河川改修工事等では、既設護岸に近傍にビル・住宅等の構築物があることによる用地制約のみならず、振動・騒音等の影響や、近接施工・空頭制限施工・既設構造(障害物)の打抜き施工等において技術的な課題があり、これに対応するために先端にビットを有する鋼管杭と特殊な圧入機(図2.6.14)を用いた回転切削圧入工法の適用も進められている。

(2) 河川堤防の液状化対策技術の再評価

2011年(平成23年)3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、河川堤防も多大な被害を受けたが、レベル1地震動相当の対策がなされた区間では未対策区間のような大規模な変状は確認されなかった。このことにより、これまで実施されてきたレベル1地震動相当の対策が、レベル2地震動にも効果があり、耐震性向上に寄与することが証明された。このことを踏まえ、レベル2地震動に対する河川堤防の液状化対策の効率的な設計法整備を目的に、(国研)土木研究所主導の下、液状化に関する有識者らによる「河川堤防の液状化対策の設計手法検討委員会」が設置され、当協会も参画し、共同で検討を進めてきた。

ここでは、先述した既存マニュアル(「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)(土木研究所:1997年)」、「液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)(土木研究所:1999年)」)を踏襲し、河川堤防の液状化対策の設計をレベル1地震動に対して行うこととしながらも、堤防本来の機能である治水安全性がレベル2地震動に対しても確保できるよう、堤体の許容沈下量に基づいた照査方法の確立について議論してきた。この取り組みの成果として、2016年(平成28年)3月に「河川堤防の液状化対策の手引き」が、次いで2017年(平成29年)8月には、「河川堤防の液状化対策の手引き<設計計算例>」が土木研究所資料として発刊された。これらは耐震性能を満足しないと判定された河川堤防で液状化対策を実施する場合に適用される。ここには、基礎地盤の液状化対策として、鋼材を用いた工法、締固め工法、固結工法が記載されている。

当協会ではさらに、上記の手引きおよび設計計算例の中で、鋼材を用いた液状化対策工法についての記載と設計計算例の補充、実務的なQ&A等を取り纏め「鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料」(図2.6.15)を発刊している。

(3) 継手のずれが生じないハット形鋼矢板壁に関する公的認知

当協会では2004年(平成16年)に「新世代鋼矢板 ハット形鋼矢板900」(図2.6.16)を発刊し、公共事業におけるコスト削減に寄与するものとして、ハット形鋼矢板のメリット(施工性・構造信頼性・経済性)を発信し続けてきた。

施工実績が増えるにつれ、国の積算基準である「国土交通省 土木工事積算基準」、「国土交通省 土木工事標準積算基準書」や、物価誌である「建設物価(建設物価調査会)」、「積算資料(建設物価調査会)」にも標準的な単価(積算の根拠)が明示されたことにより、標準的な施工条件においては従来型の鋼矢板(U形鋼矢板・広幅鋼矢板)に比べハット形鋼矢板の方が合理的な設計が可能であることが広く浸透してきている。

河川事業関係例規集では、これまでの申し合せ事項には「ハット形鋼矢板」に関する記載はなされていなかったが、2020年度(令和2年度)版に初めて「護岸用鋼矢板も含めた鋼矢板を使用する工事の設計に当たっては、安全性、現場条件及び鋼矢板の市場性を考慮した上で、従来通知されて

いるU形に加えて、ハット形も含めて経済比較を行うなどして、適切な鋼矢板を選定し使用するものとする」旨、記載がなされた。また、応力計算をする場合の鋼矢板護岸の断面二次モーメントに関する継手効率について、U形鋼矢板の最大0.8(頭部固定・根入十分の場合)に対し、ハット形鋼矢板が常に1.0をとれることについても事務連絡があり、各地方整備局から管内の都道府県経由で管内市町村に対しても同様に周知された旨、記載がなされた。

6. 建築分野

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)

2011年(平成23年)に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)については「1. 共通」で前述したが、当協会においても、建築基礎技術委員会にて基礎を含む建築物の被災状況を調査している。各地で観測された震度に対比して、地震による被害(建物の倒壊等)が少なかった一方で、地震後に襲来した大津波は、東北地方から関東地方を中心に、多くの地域で建物の流出・転倒・移動・崩壊・傾斜、漂流物の衝突も含めた外壁や開口部の破壊・内外装材の破壊・流出等、甚大な被害をもたらした。特に宮城県牡鹿郡女川町においては、既製コンクリート杭を使用したRC造・S造建物が転倒・流出するという被災事例も確認された(写真2.6.18)^{45), 46)}。

また、茨城県・千葉県・埼玉県では広範囲にわたって液状化が発生し、戸建住宅や直接基礎の建物に不同沈下や傾斜等、甚大な被害が発生した一方で、支持地盤まで基礎杭を打設した建物については、被害の発生は確認されなかった。

北海道・東北・関東東地区では建物453件(うち東北地方31件)に鋼管杭が使用されていたが、全建物について地震および液状化による構造躯体の被災事例は確認されなかった。当協会では、津波により被災した宮城県石巻市内の鋼管杭基礎建物の①遊戯施設(写真2.6.19)、②飼料工場(写真2.6.20)、③原料サイロ(写真2.6.21)を対象として現地調査したが、建物の損傷は外壁部の一部のみであり、周辺の直接基礎の建物で発生した洗掘による沈下のような被害は発生していなかった⁴⁵⁾。

(2) 熊本地震

2016年(平成28年)に発生した熊本地震においては、震度7を観測した益城町や南阿蘇といった地域で建物被害が確認された。上部構造の被害がほとんどないにもかかわらず、使用されていた既製コンクリート杭が破損したことにより傾斜が発生し、機能停止となった建物があった(写真2.6.22)^{47), 48)}。この建物は、防災拠点となるべき重要構造物であったが、その機能が果たさなかったことが社会的に問題視された。東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)と同様に、災害時に防災活動の拠点となる施設、あるいは避難場所となる施設が、地震により機能不全に陥ったことが、その後の「機能継続ガイドライン」発刊の契機となった。

写真2.6.18 宮城県牡鹿郡女川町の被災建物^{45), 46)}写真2.6.20 宮城県石巻市内の被災建物(飼料工場)⁴⁵⁾写真2.6.19 宮城県石巻市内の被災建物(遊戯施設)⁴⁵⁾写真2.6.20 宮城県石巻市内の被災建物(飼料工場)⁴⁵⁾写真2.6.19 宮城県石巻市内の被災建物(原料サイロ)⁴⁵⁾写真2.6.22 熊本地震で被災した庁舎建物⁴⁸⁾
(写真提供: 熊本県益城町)

(3) 防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン

2011年(平成23年)の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)と、2016年(平成28年)の熊本地震の発生などをはじめ、これまでの大地震においては、倒壊・崩壊には至らないまでも、構造物の部分的な損傷、非構造部材の落下等により、地震後の機能継続が困難となった事例が多く見られた。そのため、大地震に防災拠点等になる建築物(庁舎、避難所、病院など)については、大地震時の安全性確保に加え、地震後も機能を継続できるように、より高い性能が求められるようになった。そこで、2017年(平成29年)に国土交通省によって「防災拠点等となる建築物に係る機能

継続ガイドライン」が策定された。災害防災拠点等の対象とされる建築物としては、庁舎、避難所、病院などが想定されているが、対象外の一般の共同住宅やオフィス等であっても、被災後に継続使用できれば、避難所等の負担を減らし、災害に強い地域の形成に大きく貢献できる。ガイドラインでは、杭基礎に対する具体的な要求性能を「大地震時における建築物の機能継続に支障となる損傷、沈下、傾斜を生じさせないこと」、「地盤の変形によって杭体に作用する力の影響も考慮する」と定義したことにより、「建築基準法」上は高層評定や免震評定などの個別評定案件のみにしか適用されなかった「二次設計」や「地盤変位を考慮した

設計(応答変位法による設計)」が、対象構造物に対して実質的に義務化される流れとなった。また、杭部材に対しては「杭の損傷が発生、進展しても上部構造物に対する支持性能を喪失しにくい部材を採用」と定義されたことで、脆性的な破壊を起こすコンクリート杭よりも、鋼管杭のような靱性に優れた杭の使用を暗に示唆したとも受け取れる。

(4) 建築基礎構造設計指針の改定⁴⁹⁾

2019年(令和元年)に「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)」の第3版が発刊された。2001年(平成13年)に発刊された第2版では基礎構造に性能設計の考え方が採り入れられ、使用限界、損傷限界、終局限界状態が定義され、それに対応する要求性能が設定されたが、安全性の検証に用いる荷重・耐力係数法における安全係数(耐力係数、荷重係数)や限界値について具体的に言及されていなかった。また、上部構造では大地震に対する設計が必須となっており、二次設計の道筋が示されていたが、基礎構造については、建物重要度、継続使用の必要性を考慮した二次設計の道筋は示されていなかった。さらに、第2版の発行から10年以上が経過し、その間に発生した地震被害や新たに得られた教訓・知見、対策技術等に加え、施工管理の不備による基礎の不具合への対応策等、基礎構造と地盤に関する様々な学術・技術の発展を指針に反映させる必要があった。これらの背景により、2019年(令和元年)に「建築基礎構造設計指針」の第3版が発刊された。

上部構造に合わせて基礎構造に対してレベル2荷重時の設計を行うことを基本方針としてその道筋を示し、建物の重要度を考慮した基礎構造の性能グレートを設定した。これにより、「地震荷重(地盤変位による荷重を含む)」ならびに「地震荷重に対する設計」に係わる事項については大幅な改定となった。

また、これまで明確に記載されていなかった常時からレベル2荷重時に対する安全性の検証方法、検証に用いる荷重・耐力係数法の耐力係数と限界値あるいは設計用限界値が各章本文と解説に明示された。しかしながら、荷重係数・耐力係数の両方を個別に提示することができなかったことから、暫定的に荷重係数を1.0として耐力係数のみが設定された。また、レベル2荷重時に対応する性能グレードは、当初S、A、B、Cの4段階が検討されていたが、最終的に検証法が示されたのはSとAとなり、それ以外のグレードについては今後の学術・技術の向上を待つこととなった。

付録1に鋼管杭の保有性能が明記されたことも改定の大きなポイントである。これは、鋼管杭・鋼管矢板技術協会が東北大学とともに実施した杭体性能に関する実験結果を基に、杭体の耐力と変形性能の算定方法としてまとめた研究成果である。この保有性能については下記で述べる。

(5) 鋼管杭の保有性能について⁵⁰⁾

鋼管杭の保有性能は、各限界状態において、使用限界性能、損傷限界性能、終局限界性能に分類される。構造安全性

の検証では、各限界状態における応力(圧縮・引張・曲げ等)に対して、各部位が十分に安全であることを確認する。ただし、安全限界状態における鋼材の材料強度は、より現実に近い損傷メカニズムを設計に反映させるため、鋼管杭の材料降伏点の分布やひずみ硬化による応力上昇を考慮して F 値(基準強度)の1.1倍としている。「建築基礎構造設計指針」における杭体性能(主に耐力と変形性能)を以下に記す。

1) 杭体

圧縮応力・引張応力および軸力作用下での曲げ応力に対して、各部位の構造安全性を検証する。

① 耐力

管内にコンクリートが打設されていない杭体中間部・下部では、鋼管の局部座屈を考慮した耐力とする。更に、液状化発生の可能性がある地盤においては、圧縮耐力についてのみ曲げ座屈による耐力低下も考慮する。管内にずれ止めを取り付け、コンクリートを打設した杭体頭部については、鋼管の耐力と管内ずれ止め部コンクリートの支圧耐力の足合せ耐力とする。

② 変形性能(終局状態のみ)

杭体中間部・下部については基準化径厚比と軸力比から、杭体頭部については鋼管の基準化径厚比と軸力比、充填コンクリートの換算中詰め長比から、変形性能(限界回転角)を算定する。

2) 杭頭接合部

軸力作用下での曲げ応力に対してのみ、構造安全性を検証する。

① 耐力

鋼管径 $\times 1.25 + 100\text{mm}$ を直径とする仮想鉄筋コンクリート円柱として、軸力を考慮して算定した曲げ耐力とする。

② 変形性能(終局状態のみ)

同様に、鋼管径 $\times 1.25 + 100\text{mm}$ を直径とする仮想鉄筋コンクリート円柱にて、引張側の最外縁鉄筋が材料強度に達した時の回転角を降伏回転角として算定し、その15倍を変形性能(限界回転角)とする。

(6) 建築分野における今後の鋼管杭について

建築分野における基礎構造については、「建築基準法」上では一部の建物を除き、義務化されているのは未だ一次設計のみである。しかしながら、「想定外」の大地震を3度も経験した現状を踏まえると、今後は大地震を想定した設計(レベル2荷重に対する設計：いわゆる二次設計)体系と具体的手法が早期に構築されることが望まれる。(4)、(5)に述べたように、当協会では日本建築学会や日本鋼構造協会(JSSC)での活動・取り組みを通じて鋼管杭の特性の解明と把握、それを活かした設計手法を提案してきた。今後も継続してこれらに取り組むことにより鋼管杭の信頼性を更に向上させ、大地震が発生した際においても鋼管杭が上部構造を安全に支持することで、人々の生命・身体・財産の保護に貢献できれば幸いである。

【参考文献】

共通

- 1) 宮城県：東日本大震災－宮城県の発災後1年間の災害対応の記録とその検証－ 概要版, 平成27年3月
- 2) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 1次調査報告書, 平成23年10月
- 3) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕, 平成24年12月
- 4) 国土交通省：熊本地震における建築構造物の原因分析を行う委員会報告書<概要版>
- 5) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成24年3月
- 6) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成29年11月
- 7) 国土交通省：中間とりまとめ報告書, 基礎ぐい工事問題に関する対策委員会, 平成27年12月
- 8) 国土交通省：基礎ぐい工事の適正な施工を確保するために講ずべき措置(平成28年告示国土交通省告示468号), 平成28年3月
- 9) 国土交通省 気象庁, 各種データ・資料, 顕著な地震の観測・解析データ, 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/index.html
- 10) 国土交通省 気象庁, 各種データ・資料, 顕著な地震の観測・解析データ, 平成28年(2016年)熊本地震, 震度分布図, 平成28年4月14日21時26分の熊本県熊本地方の地震, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/shindo_bunpu1.pdf
- 11) 国土交通省 気象庁, 各種データ・資料, 顕著な地震の観測・解析データ, 平成28年(2016年)熊本地震, 震度分布図, 平成28年4月16日01時25分の熊本県熊本地方の地震, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/shindo_bunpu2.pdf
- 12) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会:JASPP Technical Library－施工－① 鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法(セメントミルク噴出攪拌方式) 施工管理要領 <標準版> [Edition 3.0], 令和3年3月
- 13) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－④ 回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0], 令和3年3月
- 14) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－⑤ 鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0], 令和3年3月
- 15) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－⑥ 鋼管杭の打撃工法 施工管理要領 [Edition 1.0], 2019年7月

道路分野

- 16) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.80, 2012年3月
- 17) 宮城県：災害に強いまちづくり宮城モデルの構築～東日本大震災からの創造的復興～, <https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/637808.pdf>
- 18) 国土交通省東北地方整備局：復興道路・復興支援道路情報サイト, <http://www.thr.mlit.go.jp/road/fukkou/content/summary/index.html>
- 19) 株式会社時事通信社：時事通信ニュース, 復興道路、宮城県内が完成, <https://sp.m.jiji.com/article/show/2523745>
- 20) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成24年3月
- 21) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭・鋼矢板基礎の設計と施工「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(平成24年)」鋼管杭・鋼管矢板に係る改定のポイント, 平成24年8月
- 22) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.41 No.2, 2013年2月
- 23) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, 平成29年11月
- 24) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.88, 2020年3月

鉄道分野

- 25) 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 1次調査報告書, 平成23年10月
- 26) 日鉄エンジニアリング株式会社：お知らせ, <https://www.eng.nipponsteel.com/news/2017/20171218.html>
- 27) 公益社団法人土木学会：土木学会賞 田中賞受賞一覧, https://www.jsce.or.jp/prize/prize_list/7_tanakasakuhin.shtml
- 28) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物), 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合研究所編, 2012年2月
- 29) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構：鉄道建設, 鉄道建設関係予算, 整備新幹線建設路線図, https://www.jrnt.go.jp/construction/R2jigyougaiyou_v2.pdf
- 30) 東海旅客鉄道株式会社(JR東海)：超電導リニアによる中央新幹線計画, <https://company.jr-central.co.jp/company/linear-chuo-shinkansen/plan.html>

港湾分野

- 31) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 1次調査報告書, 平成23年10月
- 32) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕, 平成24年12月
- 33) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.81, 2012年3月
- 34) 丸泰土木株式会社：施工実績, 16. 震災復旧・復興工事, <https://marutaidoboku.co.jp/works/16.html>
- 35) 大矢陽介, 塩崎慎郎, 小濱英司, 川端雄一郎：耐震性能照査における鋼管部材のモデル化法の提案, 港湾空港技術研究所報告, 第56巻第2号, 2017年
- 36) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.88, 2020年3月
- 37) 鋼管杭の防食法に関する研究グループ：鋼管杭の防食法に関する研究 2014年度(平成26年度)調査報告書, 2015年
- 38) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.86, 2018年3月
* 海の森水上競技場整備工事・大成JVより提供(平成29年12月), ** 景観検討委員会資料(平成28年6月)より
- 39) 海の森水上競技場マネジメント共同企業体：海の森水上競技場, <https://www.uminomori.tokyo/>
- 40) 東京港埠頭株式会社：東京港客船ターミナル, TOKYOクルーズ(客船寄港情報), 東京国際クルーズターミナル, <https://www.tptc.co.jp/terminal/guide/cruise>
- 41) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.45 No.1, 2017年1月
- 42) 柳井健二：東京国際クルーズターミナルの整備, 基礎工, Vol.48 No.7, 株式会社総合土木研究所, 2020年7月

河川分野

- 43) 一般社団法人全国圧入協会：工法冊子. https://atsunyu.gr.jp/general/files/catalog/Press-in_Gyropress_IPA_ver043ja03.pdf ? 210902
- 44) 成幸利根株式会社：工法・技術, 鋼管矢板・鋼管杭圧入, http://www.seikotone.co.jp/work/kokan/kokan_a02.html

建築分野

- 45) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 1次調査報告書, 平成23年10月
- 46) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕, 平成24年12月
- 47) 金子治, 成田修英：2016年熊本地震での杭基礎の被害とその要因に関する解析, 日本建築学会構造系論文集, 82 巻 737 号, 2017年7月
- 48) 熊本県益城町：平成28年熊本地震 益城町震災記録誌, 令和2年4月
- 49) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 2019年11月
- 50) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.48 No.2, 2020年2月