

明日を築く



創立50周年記念講演会

Japanese Technical Association
for
Steel Pipe Piles and Sheet Piles

特 別 号

「半世紀を振り返り、
次の半世紀へ」

50th
Anniversary
Since 1971

89



一般社団法人
鋼管杭・鋼矢板技術協会

ホームページ <http://www.jaspp.com/>

ごあいさつ

Greeting

一般社団法人
鋼管杭・鋼矢板技術協会

創立50周年記念講演会

『半世紀を振り返り、
次の半世紀へ』



鋼管杭・鋼矢板技術協会
代表理事

岡原 美知夫

（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会（以下本協会）の前身である鋼管杭協会が1971年に発足して、昨年で50年になりました。これを記念して、「鋼管杭・鋼矢板技術協会設立50周年記念誌 半世紀を振り返って、次の半世紀へ」を発刊するとともに（約2200部配布済）、2022年2月21日に創立50周年記念講演会をオンラインで開催しました。コロナ禍であるにもかかわらず、講演会には300名近くの方が参加され、内容的にも大変濃いものになりました。

最初の講演では、50周年記念誌の取りまとめを担当された本協会広報WG長の鈴木友之氏によって、「鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ」と題して、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術的進化や基準化に向けて、本協会が取り組んできた活動が時系列的に分かり易く報告されました。

2番目の講演では、鉄道分野において長年基礎構造物の設計施工に取り組んでこられた（株）レールウェイエンジニアリング技術統括部長の青木一二三氏により、「新幹線鉄道における鋼管杭の技術変遷」と題して、大型インフラ整備の代表的なものである新幹線建設において、鋼管杭基礎が高い信頼を得て、着実に発展してきていることが報告されました。

3番目の講演では、本四架橋に長年携われた本州四国連絡高速道路(株)長大橋技術部次長の西谷雅弘氏により、「本四架橋における長寿

命化への取り組み」と題して、美しい瀬戸内海の自然環境と見事に調和した長大橋が、先進的な維持管理技術によって守られていることが報告されました。

最後の講演では、IT技術に精通されている東洋大学情報連携学部教授の曾根真理氏により、「建設DXの基礎知識と今後の動向」と題して、一般に分かりにくいと言われている建設DXについて分かり易く報告されました。建設DXが、今後のインフラ整備にどのような価値をもたらしてくれるのか、本当に待たれるところですよ。

素晴らしい講演内容で、資料的価値も高いことから、講演内容を編集して「明日を築く」の特別号として発刊することにしました。講演会に参加できなかった方、内容を改めて勉強したい方等にとって、大いに役立つものと思っています。

快く講演を引き受けて頂いた4名の講師の先生方に改めて厚く御礼申し上げます。

鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、今後も変わることなく、インフラの主要部材としての役割が期待される場所です。質の高いインフラ整備を目指して、関係機関と連携を図りながら、本協会としての使命を誠実に果たしていく所存です。

本協会の活動につきまして、今後とも御支援、御協力のほどよろしくお願い申し上げます。



創立50周年記念 講演会 講演プログラム

Program



1. 開会あいさつ
(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会 会長
日本製鉄(株) 常務取締役
今井 正
2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ
(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会 広報WG長
鈴木 友之
3. 新幹線鉄道における鋼管杭の技術変遷
(株) レールウェイエンジニアリング
青木 一二三 技術統括部長
4. 本四架橋における長寿命化への取組み
本州四国連絡高速道路(株) 長大橋技術部
西谷 雅弘 次長
5. 建設DXの基礎知識と今後の動向
東洋大学 情報連携学部
曾根 真理 教授
6. 閉会あいさつ
(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会 代表理事
岡原 美知夫

目次 Contents

- | | |
|----|---------------------|
| 4 | 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ |
| 10 | 新幹線鉄道における鋼管杭の技術変遷 |
| 17 | 本四架橋における長寿命化への取組み |
| 25 | 建設DXの基礎知識と今後の動向 |
| 35 | 協会からのお知らせ |

鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会
広報WG 長 鈴木 友之

鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2022年2月21日

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会

鋼管杭・鋼矢板技術協会の鈴木です。本日は短い時間ではありますが、「鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ」と題しまして、話をさせていただきます。本日の講演内容はこちら（「はじめに」、「鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ」、「おわりに」）になります。

本日の講演目次

1. はじめに
2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ
 2. 1 ~1970年（昭和45年）
 2. 2 1971年（昭和46年）～1980年（昭和55年）
 2. 3 1981年（昭和56年）～1990年（平成2年）
 2. 4 1991年（平成3年）～2000年（平成12年）
 2. 5 2001年（平成13年）～2010年（平成22年）
 2. 6 2011年（平成23年）～2020年（令和2年）
3. おわりに

2022年2月21日 50周年記念講演会

2

1. はじめに

現在の鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の製品仕様、設計基準類、施工方法等の技術は、その時代の要請に応えるべく、関係者の方々のたゆまぬ努力と試行錯誤の繰り返しによって実現したものと考えます。本日は、主な項目に限定することとなりますが、製品・設計や施工方法等、様々な方面での技術の変遷について、当協会の活動も関連させながら紹介します。

2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2.1 ~1970年（昭和45年）

この時期は、戦後の高度経済成長期を背景に、鋼材が一般的な基礎材料として認知され、各分野における設計基準類の整備等により、本格的に鋼管杭が用いられるようになり始

めた時期になります。そもそも基礎杭としての歴史は古く、1955年までの国内の基礎杭は、松杭を主体とする木杭が主流でした。日本最古の木杭は、旧相模川橋脚と言われており、国内最初の鋼杭は高麗橋と言われております。その高麗橋には、スクリューパイルが使用されており、横浜港山下大棧橋にも使用されていることでも有名です。

鋼管杭が本格的に使用され始めたのは、1954年の塩釜港棧橋においてですが、鋼管を基礎杭として使用したことが契機となっております。この背景としては、木材の枯渇や資源保護のほかに貴重な鉄材が市場へ流通し始めたことに加えて、地震国である我が国において、軟弱地盤が多い臨海部を主体とした都市形成のニーズに対して、鋼管杭の特長が適合したことによるものと考えられます。また、鋼管は地すべり抑止杭としても多く使用されており、初採用は現在の新潟県十日町市と言われています。

鋼管杭の施工方法も、時代とともに大きく変化してきておりますが、明治以前では人力の打撃による杭の打込みなどが一般的でした。その後、明治中期以降には、蒸気エンジンを動力としたドロップハンマ、スチームハンマ、ディーゼルハンマのように、機械を動力としたハンマが輸入、あるいは国産化されています。時代を追うごとに施工能力は高まっていったものの、ディーゼルハンマについては、大きな騒音の発生、排気の際の油散などの課題が顕在化しました。また、社会問題化した公害に対する国民意識の高まりや、騒音規制法の施行といった背景があり、騒音を抑える施工方法の開発が進んでいくことになります。そこで開発されたのが、ディーゼルハンマを防音カバーで覆う防音カバー工法です。これにより杭の打設時に生じる騒音及び油煙の飛散の低減が実現されました。

2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2. 1 ~1970年（昭和45年）

	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975
時代背景	第二次世界大戦	戦後復興期	高度経済成長期	高度経済成長期	高度経済成長期	高度経済成長期	高度経済成長期	高度経済成長期
世の中の動き		●昭和憲法公布(46)		●新国民教育法(50)	●新国民教育法(50)	●新国民教育法(50)	●新国民教育法(50)	●新国民教育法(50)
設計基準		●港湾建設設計基準(44)	●港湾建設設計基準(44)	●港湾建設設計基準(44)	●港湾建設設計基準(44)	●港湾建設設計基準(44)	●港湾建設設計基準(44)	●港湾建設設計基準(44)
施工機械・工法			●ディーゼルハンマ導入(54)	●ディーゼルハンマ導入(54)	●ディーゼルハンマ導入(54)	●ディーゼルハンマ導入(54)	●ディーゼルハンマ導入(54)	●ディーゼルハンマ導入(54)
製品			●鋼管杭の本格的な採用(54)	●鋼管杭の本格的な採用(54)	●鋼管杭の本格的な採用(54)	●鋼管杭の本格的な採用(54)	●鋼管杭の本格的な採用(54)	●鋼管杭の本格的な採用(54)
JASPP								●JASPP(71)

2022年2月21日 50周年記念講演会

4

1960年代には、鋼管矢板基礎の開発が開始されています。あらためて説明するまでもありませんが、鋼管矢板基礎は、鋼管矢板を現場で良質な支持層に円形、小判形、矩形の閉鎖形状に組み合わせて設置し、継手管内をモルタル充填して、頭部を頂版により剛結することで所定の水平抵抗、鉛直支持

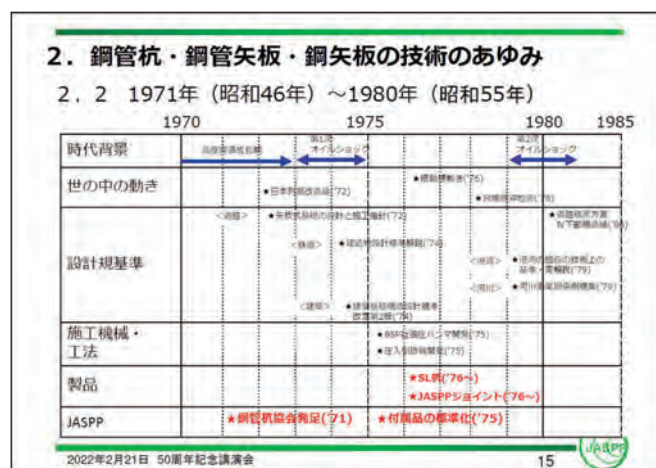
力が得られるようにした弾性体基礎です。そのアイデアは旧西ドイツのパイネ社が1930年にパイネパイルと称したボックスパイルを用いて橋梁基礎やドルフィンなどを築造したことが始まりと言われています。本基礎では、1961年から開発が開始されておりますが、1967年に大型高炉基礎として、1969年には橋梁基礎として石狩河口橋に初採用されています。その年に「矢板式基礎の剛性と基礎特性に関する研究」が鉄鋼メーカー5社により開始され、その後、1970年に矢板式基礎研究委員会が発足し、この研究を鉄鋼メーカーより引き継ぐことになります。打込みの精度や土中における遮水効果など、様々な研究の成果の取りまとめとして、鋼管矢板基礎の最初の指針である「矢板式基礎の設計と施工指針」が発刊されています。

続いては、鋼矢板についてです。鋼矢板も鋼管杭同様、当初は松材を用いた木製が主流でした。1930年～1940年代には鉄筋コンクリートを用いた矢板が開発されていますが、これらの矢板では、断面強度や耐久性、密閉性を確保しがたい、大型の機械が必要などの課題がありました。それに対して鋼矢板は、これらの短所を補うように、高強度、加工性、急速施工、継手の密閉性を確保といった特長を有する材料として登場しました。また、鋼矢板は1990年前後に、欧米の製鉄会社により製造されており、ラカワナ式やラルゼン式など、現行の鋼矢板の断面に近い様々な形状が誕生しています。そのような中、1923年に関東大震災が起き、迅速な復旧のため、世界各国から大量の鋼矢板が輸入されました。これが鋼矢板の画期とされています。1931年に国内で初生産され、その後、国内の製鉄会社が参入するなど、国内の活況に伴って需要も拡大していくこととなります。以上のように、高度経済成長期において、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の活躍の場は拡大し始め、技術の進歩、ユーザーの要望、メーカーの製造面の取り組み等を反映するように、各分野の設計基準類が整備されました。ここでは主だったものを紹介します。戦後から1970年までについては、海外からの技術の導入と戦後の復興の相乗効果により、構造物の基礎材料が木材から鋼材へと転換し始め、また、様々な分野の設計基準類の整備も始まり、地震等の自然災害や騒音、これらへの対策も含めた技術的要請が高度化する等、絶え間なく変容を続ける社会への即応が高まってきました。そのような背景の中で、1971年に当協会の前身である鋼管杭協会が発足しています。次からは、1971年以降について触れていきます。

2.2 1971年（昭和46年）～1980年（昭和55年）

先ほども述べましたが、この年代は様々な社会からのニーズに応えるべく、社会環境に応じた施工方法の開発への着手、あるいは実用化がなされ、現在の製品や施工方法の礎が築かれ始めた時代です。技術的要請の高度化、海洋開発やその他新規需要分野の開拓の必要性、これらのニーズに応えるべく、1971年に鋼管杭協会が設立されています。当協会では「赤本」と呼んでいます。技術資料である「鋼管ぐい」を刊行するとともに、様々な活動を行ってきました。それらを踏まえつつ、この年代の技術変遷を紹介します。

まずは、附属品の標準化です。当時、吊金具や補強バンドなど、附属品についての規定はなく、過去の実績を基に個別に設計、その形状と寸法を定めていました。そのため、ユーザーからは利便性向上を目的とした標準化が望まれていました。そこで、補強バンド、十字リブ、吊金具といった附属品について、用語の統一、形状や寸法の標準化を主要内容とした「鋼管ぐい付属品の標準化」が発刊されました。また、溶接継手が標準化されたのもこの時期です。きっかけは1964年に発生した新潟地震における鋼管杭基礎（昭和大橋）での落橋事故です。これにより、手溶接による強度不足や、杭の大径化に伴う溶接時間の長時間化の解消などが強く望まれるようになりました。そこで、鋼管杭メーカーでは半自動溶接継手の開発を進めることになります。ところが、開先仕様が統一されていないことや別々のメーカーでの継杭ができないなどの課題が明らかになりました。それらの課題を解決するため、日本鋼構造協会が溶接施工試験などを行い、標準案として2種類の継手が作成されました。その後、当協会が研究を進展させ、2種類の継手の長所を取り入れた半自動溶接現場継手を標準化しています。これがJASPPジョイントです。



次にSL杭についてです。当時は構造物の大規模化や多様化、用地取得難に伴う軟弱地盤や埋立て地への進出など、社会ニーズに対応するように、軟弱地盤を貫いて深い支持層へ達する鋼管杭の施工が増加しました。それに伴い、ネガティブフリクションによる構造物の被害も増加していました。そこで、ネガティブフリクション対策の一つとして標準化されたのがSL杭です。群杭や二重管方式による対策よりも安価で、ネガティブフリクションへの対策が可能であること、欧州での実績も多く、国内でも一般的に使用されるようになりました。当協会では、SL杭の製造方法、品質、取り扱い等の標準的な仕様を作成し、「SLぐい製品仕様書、付属資料SLぐい取り扱い書」を発刊しました。

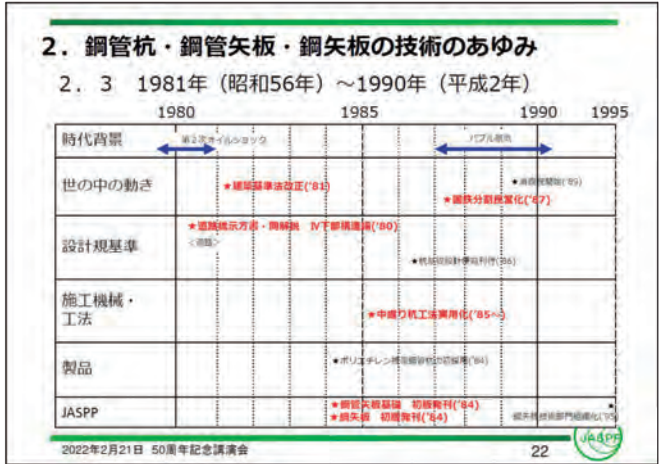
また、中掘り杭工法についてもこの時期に開発されています。当時、安価で施工速度も速いことから打込み杭工法が主流でしたが、1968年に騒音規制法、1976年に振動規制法が施行されたことに加え、施工現場の周辺住民からの苦情が増加したことから、都市部での打込み杭の工法の採用は大幅に減少しました。そこで打込み杭に代わる低騒音・低振動工法と

して杭施工会社とメーカーが協力し開発したのが、中掘り杭工法です。中掘り杭工法は社会のニーズともマッチしていたため、都市部での採用を伸ばし、建設大臣認定工法として定着しました。

最後にJASPP-P型継手です。当時、東京一極集中化と過密化が進み、ごみが急増していました。これに対応するため、東京都は東京都ゴミ対策専門委員会を発足し、中央防波堤外側地区、及び羽田沖地区の2つの廃棄物処分場の建設を決定します。これらの地域では、地盤が軟弱で支持層まで深いこと、水質環境保全を考慮した早急な建設が必要等の課題があったことから、外周護岸には当協会が開発したJASPP-P型継手が二重式鋼管矢板護岸に初めて採用されました。なお、P型継手については、現在もJISに継手の形状例として掲載されています。

2.3 1981年（昭和56年）～1990年（平成2年）

この年代は、第2次オイルショックやバブル景気があったりと、激動の年代となりました。また、建築基準法改正、国鉄分割民営化などがありましたが、技術的なトピックスとしては、「道路橋示方書（・同解説）Ⅳ 下部構造編」の発刊、中掘り杭工法の実用化、技術資料として「鋼管矢板基礎」「鋼矢板」などがJASPPより発刊されたということが挙げられます。



この年代では、高度経済成長を背景に、東京湾アクアライン、関西国際空港、湾岸道路等の大型プロジェクトが計画・着工されていきました。大型の長大橋には大径鋼管杭や鋼管矢板基礎が採用され、下部工の設計法の確立のため、鋼管矢板基礎の実大水平載荷試験が実施されました。この実大載荷試験の結果が、後のレベル2地震動に対応した非線形設計法の確立にも活用されました。また、この頃、当協会では現在の土木研究所と共に、杭頭結合部の模型載荷実験を実施し、現在の仕様の基となる杭頭処理方法について検討しています。これにより杭頭結合部の耐力に関する支配的要因を明確にするとともに、設計基準類へ紹介される等、結合方法の統一が図られました。

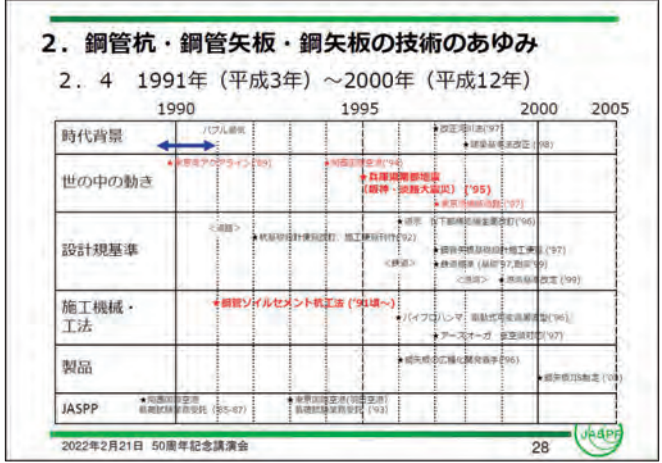
多くの構造物の基礎に鋼管杭が採用される中、1960年～1970年代に構築された鋼構造物に腐食問題が顕在化してきました。その問題解決のために、現在も適用されている様々

な被覆防食工法がこの時期に開発されています。鋼管杭の防食方法に関する研究としては、現在の港湾空港技術研究所、沿岸技術研究センターと当協会による波崎暴露試験が1984年に開始されています。35年以上経過した今もなお、継続して観察調査が行われています。

最後に、鋼矢板壁ですが、主流であるU型鋼矢板については、鋼矢板1枚の中立軸と壁構造の中立軸が一致していないため、撓んだ際に生じる嵌合継手のずれを考慮した設計、すなわち継手効率を考慮した設計を行う必要があります。これを踏まえ、仮設構造物だけではなく、永久構造物にも適用することを念頭に、確性試験が実施されました。その結果、鋼矢板の継手のずれが剛性に及ぼす影響が評価され、公的に認知されることとなりました。

2.4 1991年（平成3年）～2000年（平成12年）

この年代では、近畿圏の広域で甚大な被害をもたらした兵庫県南部地震が発生しています。技術的トピックスとしては、鋼管ソイルセメント杭工法の開発、兵庫県南部地震での被害を基にした各分野の指針、基準の改定が挙げられます。また、1980年代からの継続プロジェクトとして、関西国際空港や東京湾アクアライン等の建設が進められています。



1991年ごろには、それまで多く用いられてきた打撃工法、中掘り工法、パイプロ工法から、より高支持力、排土量の低減、低騒音・低振動といった社会のニーズに応えるため、高支持力杭である鋼管ソイルセメント杭工法が開発されています。

続いて、兵庫県南部地震についてです。1995年に発生した当時最大級のマグニチュード7.3の活断層型の地震は様々な社会インフラに甚大な被害をもたらしました。当協会では、現在の日本鉄鋼連盟と共に、護岸や棧橋、道路橋基礎などの被害状況を合同で調査しました。その結果、多くの鋼管杭・鋼管矢板は概ね健全、ケーソン岸壁に比べて鋼管矢板岸壁ではほとんど水平変位が見られなかったことから、鋼の有する靱性と耐震性能の高さが確認されました。一方、一部の基礎杭に着目すると、地震動による液状化に伴う側方流動の影響や過大な水平力の影響で機能上支障が出た被災事例もありました。上部構造を中心に下部構造にも甚大な被害をもたらした兵庫県南部地震の発生は、各分野の設計基準類に大きな影

響を与えることとなりました。例えば道路分野では、従来の震度法による耐震設計を大幅に改定し、レベル2地震動に対する地震時保有耐力法を導入しました。鉄道分野でも耐震設計を初めて規定し、部材や地盤抵抗の非線形特性を評価できる降伏震度スペクトル法を導入した「鉄道（構造物等設計）標準」の耐震設計編が発刊されました。港湾分野では直杭式栈橋の耐震設計法が「港湾（の施設の技術上の）基準」で導入され、河川分野では「液状化対策工法設計・施工マニュアル」が発刊されました。建築分野では性能設計が導入され、液状化・側方流動の知見が取り込まれています。また、従来の許容応力度法から限界状態設計法および部分係数設計への移行が行われていますが、そのきっかけとなったのも兵庫県南部地震です。

ところで、1991年はバブル期末ですが、多数の大型プロジェクトが出版しています。例えば、20世紀最大級の海洋土木工事である東京湾アクアラインの建設、全国各港での国際海上コンテナターミナルの整備、岸壁耐震強化工事でも多数の鋼管杭基礎が使われています。また、沖縄県・古宇利大橋、大阪ウォーターフロント夢舞大橋、北海道・美原大橋では大型の鋼管矢板基礎が採用されています。スーパーウェイ第2東名・名神高速道路では鋼管ソイルセメント杭を含む鋼管杭・鋼管矢板が多用されています。当協会では、このような大型プロジェクトでの載荷試験評価業務を受託し、羽田空港、東京湾横断道路、関西国際空港では鋼管杭の特性を確認するための大規模な鉛直載荷試験を実施しました。これらの知見が以降の港湾プロジェクトの基礎杭設計に生かされています。

2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2. 4 1991年（平成3年）～2000年（平成12年）

（3）大型プロジェクト



東京湾アクアライン



古宇利大橋と鋼管矢板基礎



大井コンテナ埠頭の斜杭



大井コンテナ埠頭の斜杭

同年代には他にも

- ・大阪ウォーターフロント夢舞大橋
- ・北海道・美原大橋
- ・第2東名・名神高速道路
- ・伊勢湾岸道路

2022年2月21日 50周年記念講演会 34

2.5 2001年（平成13年）～2010年（平成22年）

2001年から2010年にかけては、回転杭や機械式継手の登場、ハット形鋼矢板の開発、鋼材特有の性質を生かした製品、より高支持力、施工効率化を目指した製品が投入された時代です。当協会は2008年、公益法人関連の改正法が施行されたことを機に、2009年より一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会として新たな出発を果たしています。

この頃には建物や橋梁の大スパン化に伴い、より経済的な杭として、高支持力杭が求められるようになっていきます。鋼管杭としては回転杭工法、高支持力埋め込み杭工法等が1990年代より開発され、2000年代に実用化されました。

2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2. 5 2001年（平成13年）～2010年（平成22年）

時代背景	2000	2005	2010	2015
世の中の動き		●九州新幹線（新八幡～鹿児島中央駅間）（04）	●リーマン・ショック（09）	●東日本大震災（11） ●宮崎トンネル 事故（12） ●北陸新幹線（17） ●熊谷駅構内（10）
設計規基準	●建築 ●建設省（当時）建築技術基準（01）	●建設省（当時）建築技術基準（02） ●建設省（当時）建築技術基準（03）	●建設省（当時）建築技術基準（04） ●建設省（当時）建築技術基準（05）	●建設省（当時）建築技術基準（06） ●建設省（当時）建築技術基準（07）
施工機械・工法	●回転杭工法実用化	●潜水掘削機工法	●PSC工法	
製品	●回転杭（00～） ●機械式継手（02～）		●ハット形鋼矢板（厚さ900mm）の開発（05～）	
JASPP				●一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会設立（09）

2022年2月21日 50周年記念講演会 36

2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2. 5 2001年（平成13年）～2010年（平成22年）

（1）一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会発足

- ・2008年（平成20年）公益法人関連の改正法施行
- ・2009年（平成21年）4月1日 技術協会として新たな出発と法人化



協会の活動イメージ



協会の活動イメージ



協会の活動イメージ

2022年2月21日 50周年記念講演会 37

今回は皆様もよくご存じの回転杭工法にフォーカスして説明します。回転杭は杭の先端に鋼製の羽を取り付け、その推進力を用いて地中に貫入させることで、完全無排土を実現した工法です。先端の羽の形状は、1枚の螺旋状のものや、2枚羽のもの、開端や閉端のものがあり、杭径の小さいものは杭頭回転方式で、杭径の大きいものは胴体回転方式で施工されています。環境に優しい工法として、道路、鉄道、建築の分野で広く活用いただいております、2019年に土木学会の田中賞を受賞しています。

先ほどの回転杭と同様、世の中は環境配慮への高まりが顕著になっていきました。その一環として、水質汚染を防ぐため、廃棄物処分場に対する高い遮水性能が要求されるようになったことから、当協会では漏洩防止ゴム付き継手を開発しました。港湾空港技術研究所との共同研究によって鋼管矢板遮水壁としての性能を確認し、その技術は徳島栗津港海面処分場や神戸沖処分場といった各種処分場において適用されています。また、鋼管矢板基礎の水平変位を抑制することを目的として、高いせん断耐力を期待できる継手管として縞鋼管高耐力継手を当協会が開発、実用化しています。高耐力継手については、他にもハイパーウェルSPやSuper Junctionといったものが開発されています。

この時代にはハット形鋼矢板の製造が開始されています。先ほど1980年代でも述べましたが、鋼矢板壁での設計では、継手効率により材料の剛性を低減するのが一般的です。ハット形鋼矢板は革新的な形状により、それらの中立軸を一致さ

せ、継手効率100%、すなわち剛性の低減が不要な材料として信頼性の高い設計を行うことが可能となりました。更に、当協会ではハット形鋼矢板のNETIS登録も行い、2015年には一般化・標準化技術として認定を取得しています。継手構造の信頼性に加えて、世界最大の有効幅である900ミリによる施工効率アップや、薄肉大断面化による材工費の縮減等、ハット形鋼矢板特有のメリットにより、公共工事のコスト削減に資する材料として評価され、様々な分野で広くご利用されています。

2.6 2011年（平成23年）～2020年（令和2年）

2011年～2020年にかけては東日本大震災や熊本地震など皆様の記憶にも新しい大きな災害に加え、杭業界に衝撃をもたらした横浜マンション問題が発生しています。それら大きな災害や問題によって、各指針に影響が及びました。施工に関する当協会の取り組みについても併せて紹介します。先ほども述べましたが、2011年に発生した東日本大震災、2016年に発生した熊本地震は皆様の記憶にも新しいと思いますが、いずれも大きな被害をもたらした災害でした。東日本大震災については、当協会として独自に震災調査に取り組み、2011年に1次調査報告書、2012年に2次調査報告書を取りまとめています。

2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2. 6 2011年（平成23年）～2020年（令和2年）

	2011	2015	2020	2025
時代背景	東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）（「11」）	- 熊本地震（「16」） - 横浜マンション問題（「16」）	東日本大震災（「21」）	
世の中の動き	九段建設（現・新八木建設）	- 北陸新幹線（新青森・新大宮間） - 北陸新幹線（金沢・新大宮間）	東日本大震災（「21」）	
設計規基準	- 道路橋示方書・鋼管杭・鋼管矢板設計規基準（「12」） - 鉄道橋示方書・鋼管杭・鋼管矢板設計規基準（「12」）	- 改正（「17」） - 改正（「17」）	- 改正（「20」） - 改正（「20」）	
施工機械・工法			改正（「19」）	
製品			改正（「19」）	
JASPP		- 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ（「15」） - 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ（「19」）		

2022年2月21日 50周年記念講演会

41



道路・鉄道分野では津波による橋梁の流出、地震による鉄道橋の橋脚損傷が見られましたが、地震による杭基礎本体の損傷は軽微で、ほぼ健全だったという結論です。港湾分野では太平洋沿岸の広範囲にわたって港湾施設の被害は甚大で、岸壁のはらみだしや液状化被害、地盤沈下等が見られた一方で、総じて鋼構造物の被害は少なかったと言えます。しかしながら、一部の鋼構造物については、これまでにないような被災事例が確認されたことから、当協会では3事例を取り上げ、その原因究明に取り組みました。建築分野では地震による建物の倒壊など被害は少なかった一方で、地震後に襲来した津波による被害が甚大でした。また、関東地方では広範囲にわたって液状化が発生し、戸建て住宅や直接基礎の建物に不同沈下や傾斜など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ませんでした。当協会としては鋼管杭が使用された453件の建物

調査を行いました。全てにおいて鋼管杭建物の被災事例は確認されませんでした。これらの各分野の調査によって鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の持つ地震に対する強靱性が明らかとなったと言え、これがその後の基準類に影響を与えることとなります。

2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2. 6 2011年（平成23年）～2020年（令和2年）

(1) 東日本大震災

① JASPPによる鋼管杭・鋼矢板・鋼管矢板の地震被害の調査

道路・鉄道橋

津波による橋梁の流出や地震による鉄道橋の橋脚損傷が見られたが、地震による杭基礎本体の損傷は軽微でほぼ健全



東日本大震災（鋼管杭基礎）

新潟県下高田橋（鋼管杭基礎）

新潟県下高田橋（鋼管杭基礎）

新潟県下高田橋（鋼管杭基礎）

2022年2月21日 50周年記念講演会

42



2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2. 6 2011年（平成23年）～2020年（令和2年）

(1) 東日本大震災

① JASPPによる鋼管杭・鋼矢板・鋼管矢板の地震被害の調査

港湾

鋼構造物の被害は少ないものの、一部構造物で被災事例も確認



5号T字橋脚2号橋脚の被災（はらみだし）

石巻市：港湾施設の鋼管杭基礎状況

石巻市：港湾施設の鋼管杭基礎状況

石巻市：港湾施設の鋼管杭基礎状況

2022年2月21日 50周年記念講演会

43



2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2. 6 2011年（平成23年）～2020年（令和2年）

(1) 東日本大震災

① JASPPによる鋼管杭・鋼矢板・鋼管矢板の地震被害の調査

建築

鋼管杭基礎建物（453件）の被災事例は確認されなかった



石巻市：港湾施設の鋼管杭基礎状況

石巻市：港湾施設の鋼管杭基礎状況

石巻市：港湾施設の鋼管杭基礎状況

2022年2月21日 50周年記念講演会

44



先ほども述べましたが、この時代の基準類の改訂（改定）には、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板にとっても大きな内容が含まれていますので、併せて説明します。まず道路分野には、地震動の見直しや維持管理に関する内容の充実、性能照査型設計の本格的な運用に影響がありました。また、2000年代で述べた回転杭や斜杭、機械式継手が新たに追記されています。同じく鉄道分野でも、性能照査型設計への促進、新たに4

工法が追記されたほか、斜杭基礎に関する記述の見直しが図られています。港湾分野では、鋼材の「粘り強さ」の概念が導入され、鋼管部材の構成則の見直しが図られています。河川分野でもレベル2地震動に対する治水安全性の照査法が確立し、“鋼材を用いた工法”として法尻矢板工法が記載されることとなりました。建築分野では、2019年に改定された指針において、これまでレベル1地震時の設計が主流でしたが、レベル2地震時の設計を行うことが基本方針とされたほか、基礎構造の性能グレードが設定されました。また、付録として当協会が研究を重ねてきた鋼管杭の保有性能についても明記されました。

2014年には、横浜市内のマンションにおいてコンクリート杭の不適切な施工管理に起因する建物の傾斜が確認され、大きな話題となりました。このことをきっかけに国土交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、実態や要因について検討した上で、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交付しています。当協会としても施工や品質管理の厳格化から杭の施工に焦点を当てた取り組みを始めました。その一環が、2015年に立ち上げた施工管理普及委員会であり、中掘り杭工法、回転杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、打撃工法について施工管理要領を作成、発刊しています。

2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2.6 2011年（平成23年）～2020年（令和2年）

（3）横浜マンション問題と、鋼管杭の施工管理

- ・2014年：横浜市内のマンションにおいて、コンクリート杭の不適切な施工管理に起因する建物の傾斜が確認
→ 施工体制、杭の支持層到達、施工記録に関する規定を告示公布

JASPPとして、

- ・2015年より「施工管理普及委員会」を立ち上げ、**施工管理要領**作成・発刊

2022年2月21日 50周年記念講演会 48

2. 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術のあゆみ

2.6 2011年（平成23年）～2020年（令和2年）

（3）横浜マンション問題と、鋼管杭の施工管理

鋼管杭施工管理士資格制度の創設

- ▶ 2017年創設、2018年度より検定試験を実施
- ▶ 2021年度までの4年間で490名の資格認定者を排出
- ▶ 公的規程への本資格の掲載
→ 【土木分野】
・ 杭基礎施工便覧(令和2年度版)
【建築分野】
・ 建築工事監理指針(令和元年版)

今後

- ・ 資格更新に向けた講習内容の検討
- ・ 登録基礎ぐい工事試験制度に基づく民間資格への格上げ

2022年2月21日 50周年記念講演会 49

ています。これまでの4年間で490名の資格認定者を排出するに至りました。本資格は杭基礎施工便覧、建築工事管理指針などの指針類にも記載され、今後は登録基礎ぐい工事試験制度に基づく民間資格への格上げを目指し、鋼管杭の施工の信頼性向上に努めていきたいと考えます。

3. おわりに

本日の内容は、先日発刊しました協会50周年記念誌の技術変遷の章を基に説明しています。協会の50周年記念誌はURLからダウンロード可能ですので、ぜひご覧いただければと思います。また、当協会では現在、鋼管杭の新しい設計法の整備・オーソライズによる普及促進、鋼管杭工法の施工管理要領の整備と標準化、信頼性向上、補強・補修・更新ニーズへの対応、この3つのテーマを軸として活動をしています。今後ともこれらのテーマ、分野での技術発展に寄与していく所存であります。

3. おわりに

- ・ JASPP50周年記念誌 ダウンロードURL
http://www.jaspp.com/topics/50th_anniversary_magazine.html
▶ 各章ごとのダウンロードも可能

JASPP50周年記念誌の全体コンセプト

- （1）技術伝承**
 - ・ 過去の社会ニーズに応じた鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術変遷（設計規基準類、施工方法、細部ノウハウ等）を整理
 - ・ 技術伝承における参考となる資料の位置づけ
- （2）震災復興・防災**
 - ・ 地震大国である我が国において、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板がどのような場面で採用され、被害を抑えることに対してどの程度の貢献をしてきたか。
 - また、被害を未然に防ぐことに対する取り組みを整理

2022年2月21日 50周年記念講演会 50

以上で本講演を修了します。最後になりますが、今後とも当協会の活動に対するご支援・ご鞭撻のほど、よろしくお願い申し上げます。ご清聴ありがとうございました。

講演者紹介

一般社団法人 鋼管杭・鋼管矢板技術協会
広報WG長 鈴木 友之
所属会社：株式会社 クボタ

協会活動に関する略歴

- ・ 2014年9月：道路・鉄道技術委員会に参画
- ・ 2015年4月：施工管理普及委員会を兼務
- ・ 2017年4月：技術総括委員会および道路・鉄道技術委員会／鋼管矢板チーム長を兼務
- ・ 2018年4月：広報WG長兼務
- ・ 2021年4月：赤本改訂編集WGおよび建築基礎技術委員長を兼務

また、鋼管杭工法の施工管理者育成に向けて鋼管杭施工管理資格を2017年に創設し、2018年度より検定試験を実施し

新幹線鉄道における鋼管杭の技術変遷

株式会社 レールウェイエンジニアリング
青木 一二三 技術統括部長

鋼管杭・鋼矢板技術協会 50周年記念講演会

新幹線鉄道における鋼管杭の技術変遷

2022年2月21日

(株)レールウェイエンジニアリング 青木 一二三

ご紹介いただきました青木です。「新幹線鉄道における鋼管杭の技術変遷」について、お話ししたいと思います。

1. はじめに

新幹線建設の経緯と鋼管杭に関する技術変遷についてはこの表にある通りです。国鉄分割民営化までは軟弱地盤で打込み鋼管杭を用いていましたが、整備新幹線建設になると、鋼管ソイルセメント杭と回転杭を主に採用しています。整備新幹線では、北陸新幹線糸川・富山間上市川地区の被圧地下水地盤で初めて鋼管ソイルセメント杭が採用されました。回転杭は、九州新幹線博多・新八代間八代地区の液状化地盤の高架橋に初めて採用されました。

鉄道分野における鋼管杭および鋼杭工法の変遷

鋼杭

- 1962年東海道新幹線の超軟弱で被圧地下水のある地盤に位置する江尾橋梁で長さ58mの鋼管杭を用いた。
- その後、東北新幹線の超軟弱地盤で鋼管杭が用いられた。

SC杭

- 1977年上越新幹線燕三条駅高架橋に用いられた。
- 高い性能に着目し、1983年頃京葉線湾岸立地の液状化地盤中の高架橋基礎杭の上杭に多く用いられた。

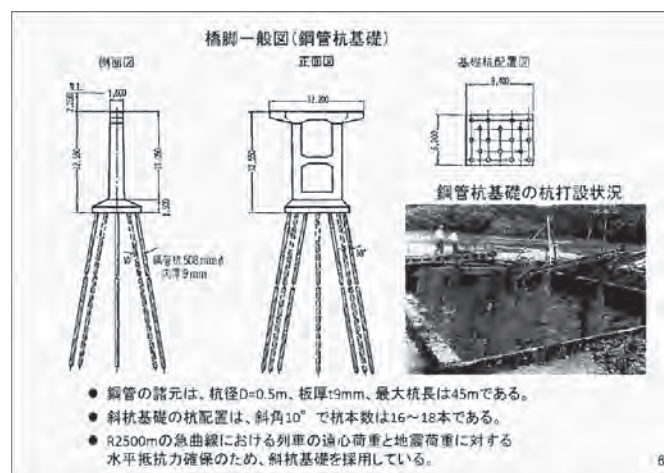
鋼管ソイルセメント杭工法

- 1995年秋田新幹線盛岡アプローチ高架橋において初めて採用された。
- 2001年からJR四国土讃線高知駅連続立体交差事業で採用されている。
- 鉄道総研により、2001年にガンテツパイル、ハイスシー(HYSC)杭が支持力等の地盤抵抗特性の設計法について評価を受けている。
- 整備新幹線では、2008年に北陸新幹線糸川・富山間の上市川の被圧地下水地盤で初めて用いられた。

回転杭工法

- 2001年に名古屋臨港鉄道金城ふ頭線に用いられた。
- 整備新幹線では、2002年に九州新幹線博多・新八代間の八代地区の液状化地盤の高架橋に初めて用いられた。
- 鉄道総研により、2004年にNSエコパイルが、2008年につばさ杭とジオウイングパイルが支持力等の地盤抵抗特性の設計法について評価を受けている。

の急曲線による列車の遠心荷重と地震荷重に対する水平抵抗力確保のため、斜杭基礎を採用しています。上部工は、軽量の単線開床式2主桁プレートガータであり、現在は騒音対策として防音壁と下面遮音工が設置しています。



次は、柳沢高架橋と同様の軟弱地盤の鋼管杭基礎を江尾高架橋です。支持層が深く、被圧地下水がある範囲で鋼管杭を採用しています。鋼管杭の最大杭長は58mで、打込みにディーゼルハンマを用いています。ここでは鋼管杭と試験採用した場所打ち杭について、鉛直載荷試験と水平載荷試験を実施しています。鉛直載荷試験では6Pのオールケーシング杭が1400kNで沈下が著しく試験中止、水平載荷試験でも60kNで変位量37mmと大きく試験中止、6Pは被圧地下水等による施工不良杭とみなし、鋼管杭4本で補強しました。被圧地下水地盤の場所打ち杭の施工は問題が多いと言えます。江尾高架橋の江尾高架橋の現状は柳沢高架橋と同様に騒音対策として防音壁と下面遮音工を設置しています。

鋼管杭及び試験採用した場所打ち杭(オールケーシング杭)の設計鉛直支持力と水平支持力の確認のため鉛直載荷試験と水平載荷試験を実施している。

試験杭の諸元と載荷試験結果

項目	橋脚番号	オールケーシング杭		鋼管杭
		6P	7P	
試験杭諸元	杭径 (mm)	0.98	0.98	0.80
	杭長 (m)	50	50	57
設計鉛直支持力 (kN)		1500	1500	2200
	設計水平支持力 (kN)	200	200	140
試験荷重	鉛直	3000kN	3000kN	2500kN
	水平	200kN	200kN	140kN
設計水平力による許容変位量		16mm	16mm	15mm
試験結果	鉛直	1400kNで沈下著しく中止	300kNで沈下量6.7mm (弾性変形)	2500kNで沈下量14mm (弾性変形)
	水平	60kNで変位量37mmのため中止	150kNで変位量16mm	140kNで変位量13mm

注: 当時は重力単位 (t, kg) であるが、現在のSI単位に換算、簡略のため1t=10kNで換算した。

試験結果の設計への反映

6P: 被圧地下水等のため施工不良杭とみなし、鋼管杭(杭径0.5m×4本)で補強
7P: 補強無し

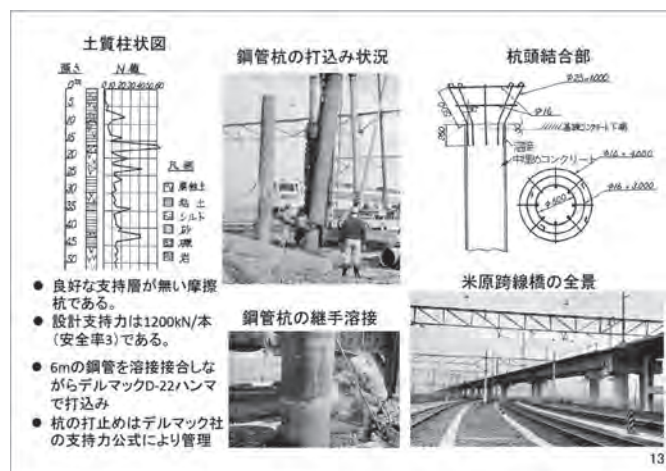
2. 新幹線建設における鋼管杭の採用

2.1 東海道新幹線における鋼管杭の実績

最初は、打込み鋼管杭による斜杭基礎を採用した柳沢高架橋です。愛鷹火山麓の溺れ谷に腐植土と粘性土が埋積した軟弱地盤で、被圧地下水があり、表層が極めて軟弱な腐植土です。斜杭基礎は、斜角10度、杭本数は16～18本です。R2500m

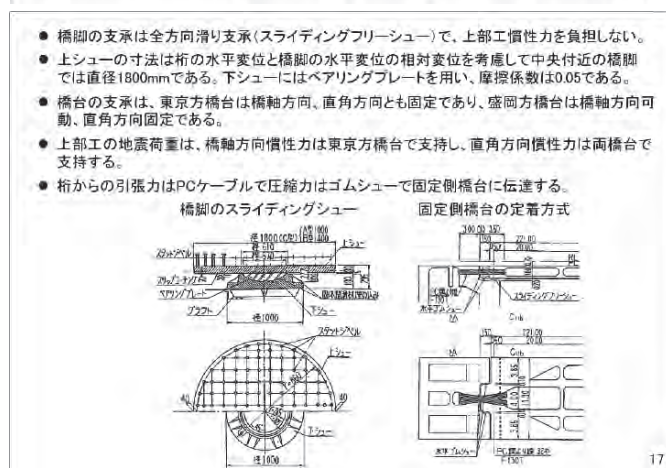
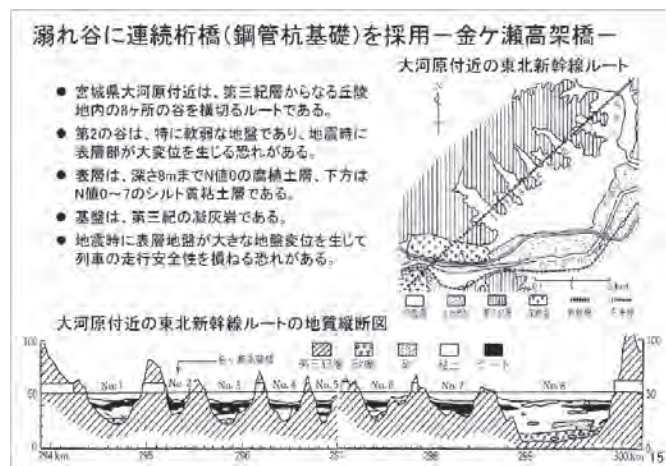
最後は、軟弱地盤の狭隙箇所鋼管杭基礎を採用した米原跨線橋です。在来線11線を渡る跨線橋で、鋼管杭は杭径0.5m、最大杭長39mで、良好な支持層が無いと、摩擦杭と

しています。近接施工のため6mの鋼管を溶接接合しながら打ち込んでおり、杭の打止めはデルマック社の支持力公式により管理しています。打込み状況、継手溶接、杭頭結合部の構造はこうなっています。当時は中詰めコンクリートを中空部に入れていたようです。



2.2 東北新幹線における鋼管杭の実績

最初は、溺れ谷に鋼管杭基礎を用いた連続桁橋を採用した金ヶ瀬高架橋です。宮城県大河原付近で、小さな溺れ谷が7カ所あり、表層は、上方がN値0の腐植土層、下方がシルト粘土層、基盤は凝灰岩です。地震時に軟弱な表層地盤で大きな地盤変位を生じて列車の走行安全性を損ねる恐れがあり、特に第2の谷に位置する金ヶ瀬高架橋は、極めて軟弱な地盤



であり、地震時に表層部が大変位を生じる恐れがありました。金ヶ瀬高架橋は上部構造が11径間連続RC箱桁橋で橋長220mです。橋脚は鋼管杭基礎で、鋼管内に中詰めコンクリートを打設しています。起点方橋台は、地震時の橋軸方向の全水平力を支持するため、箱型躯体内に土砂を入れて基礎底面の摩擦力を増した水平抵抗に期待した直接基礎です。橋脚の支承は全方向滑りのスライディングシューであり、上部工の地震力、橋軸方向慣性力は東京方橋台で、直角方向慣性力は両橋台で支持する構造です。固定側橋台はPC鋼棒で定着しています。直角方向の桁の慣性力は220mスパンの両橋台で支持することから、連続桁に相当大きなモーメントが生じますので、両外側ウェブに大量の鉄筋を配置しています。なお、第5の谷にも金ヶ瀬高架橋と同様な高架橋があります。

次は、軟弱粘性土地盤のラーメン高架橋に鋼管杭基礎を用いた横枕高架橋です。仙台の新幹線車両基地に近く、沖積の軟弱粘性土が20m程度分布しています。333~334kmは特に軟弱地盤であり、鋼管杭が採用されました。

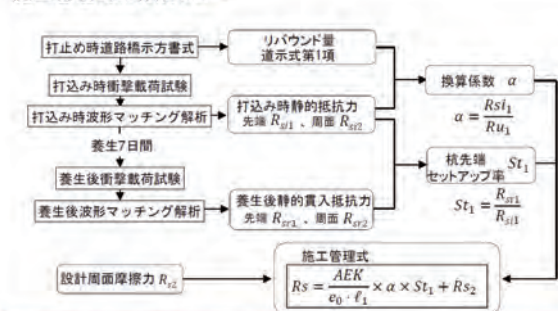
3. 整備新幹線における鋼管杭採用と技術開発

3.1 衝撃載荷試験にもとづく打込み杭の施工管理式

最初に開業した整備新幹線における鋼管杭の施工実績をお話しします。打込み鋼管杭は、東北新幹線2カ所で用いられています。回転杭は、北陸新幹線10カ所、九州新幹線10カ所、北海道新幹線2カ所で用いられています。鋼管ソイルセメント杭は、北陸新幹線4カ所、北海道新幹線1カ所です。

次は東北新幹線の軟弱地盤における打込み鋼管杭基礎を用いた川去川橋梁等です。ここでは、本杭施工に先立ち、試験杭により地盤の極限支持力を確認するとともに当該地盤に合った精度の高い施工管理式を作成するために衝撃載荷試験を実施しています。実施箇所は、起点方の大浦山BLのA1橋台、川去川BのP1橋脚の2カ所です。衝撃載荷試験は、試験杭の杭頭部を補強、計器を取り付けて重錘20tで打撃しました。打込み直後及び7日間のセットアップ後に衝撃載荷試験を実施しました。施工管理式の作成において、先端支持力については、道示式の第1項に換算係数・セットアップ率を乗じて、乱れを考慮した施工管理式にしています。周面摩擦力については、設計値に比べ試験結果が大きかったため、安全

施工管理式の作成フロー

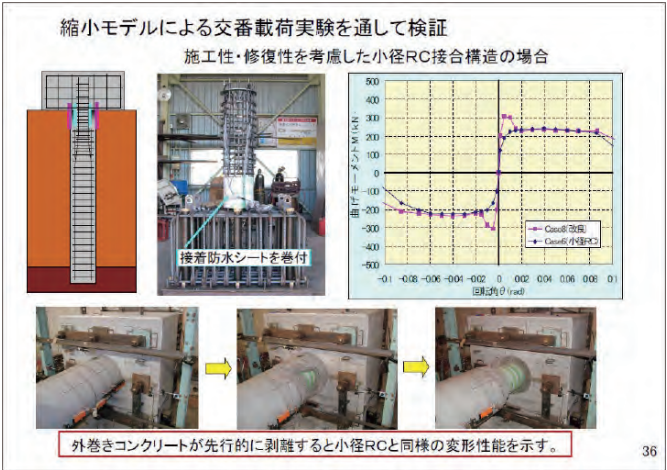
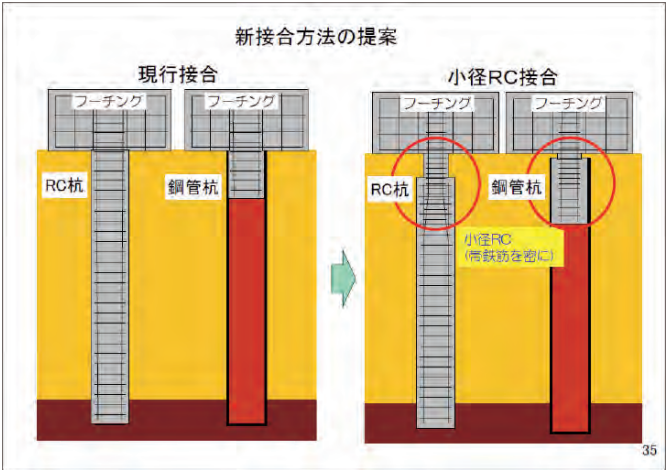
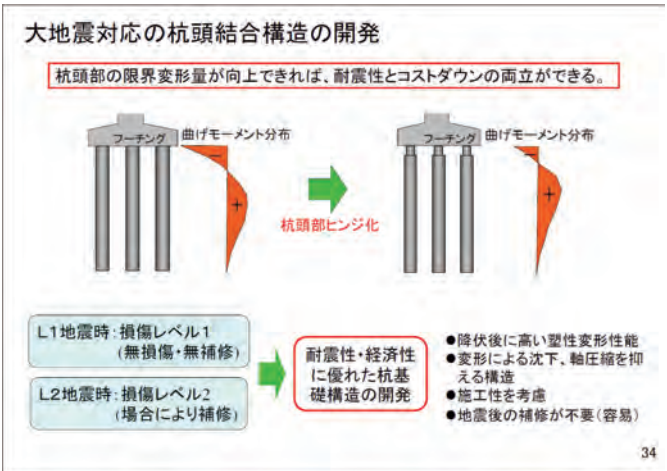


- 先端支持力は、道示式第1項に換算係数・セットアップ率を乗じて乱れを考慮した施工管理式となっている。
- 周面摩擦力は、設計値に比べて試験結果が大きいため、安全側に設計値を加算している。

側に設計値を加算しています。養生後の載荷試験による支持力は、必要支持力に対して十分大きな値になっており、施工管理式の換算係数 α とセットアップ率St1の両方とも1.2程度で、道示式の1.2倍の支持力になります。

3.2 変形性能を向上させた小径杭頭結合構造

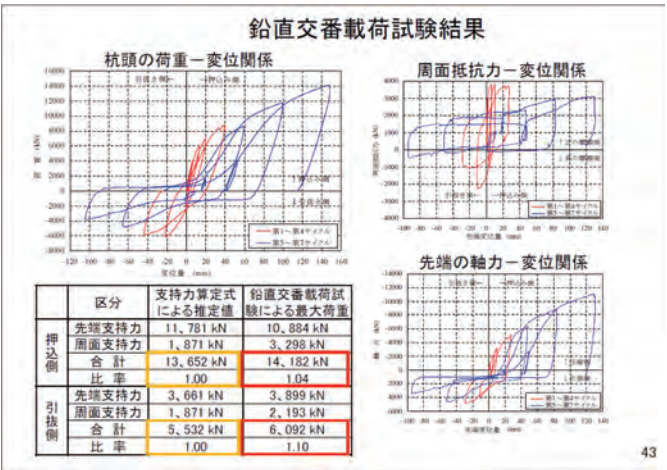
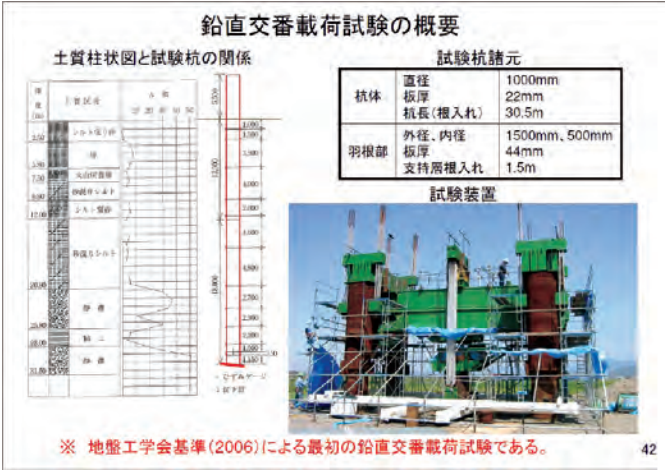
まず、大地震対応の杭頭結合構造の開発です。杭頭部の限界変形量が向上できれば、耐震性とコストダウンの両立ができるということで、性能レベルとして「L1地震では損傷レベル1、L2地震時では損傷レベル2」を満足する「耐震性と経済性に優れた杭基礎構造」を目指しました。ここでは小径RC接合構造を考案しており、RC杭（場所打ちコンクリート



杭)、鋼管杭とも杭頭を小さくして帯鉄筋を密に配筋しています。ただし、場所打ちコンクリート杭では鉄筋の外側にコンクリートが回らないので、帯鉄筋の外側に接着防水シートを巻き付けて、被りコンクリートに期待しない構造にしました。これらの模型杭で水平交番載荷試験した結果、被りコンクリートの有無にかかわらず、極めて変形性能が大きくなりました。耐力算定には帯鉄筋による拘束効果（コンファインド効果）を評価した算定式を採用し、塑性変形性能算定には帯鉄筋比の効果の上限を設けないことにしました。試設計では、現行設計が杭径1500mm、帯鉄筋比0.54%に対して、提案モデルは杭径1100mm、帯筋比1.87%と経済的になりました。

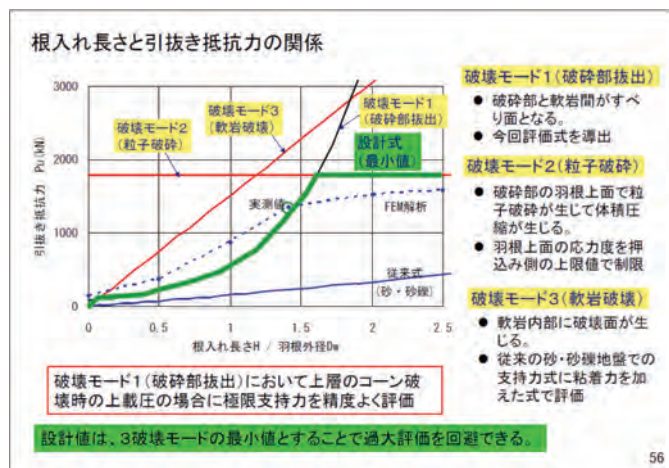
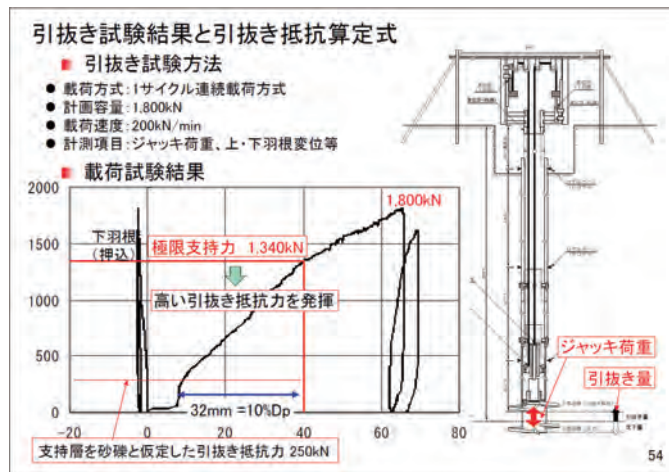
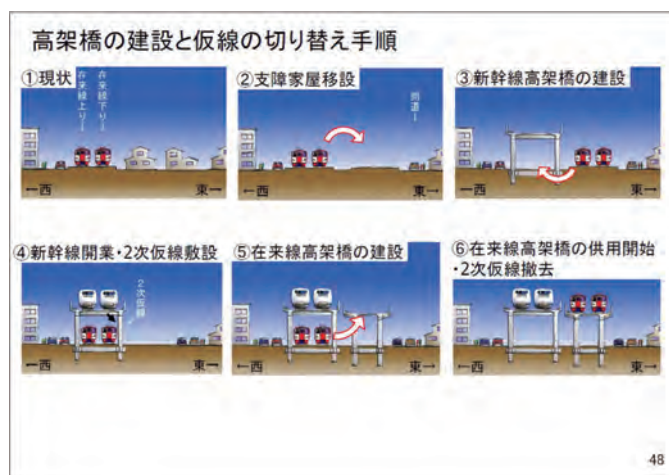
3.3 鉛直交番載荷試験による支持力特性確認（回転杭）

九州新幹線博多～新八代間新島田北BLの液状化地盤に回転杭を採用しました。回転杭は新幹線で初めての採用であること、押込みと引拔きの繰り返し載荷による支持力特性が不明なことから、押込みと引拔きの支持力特性を同時に得る鉛直交番載荷試験を実施しています。この試験は、2006年改定の地盤工学会基準を適用した最初の鉛直交番載荷試験です。試験装置は結構大掛かりになりました。試験結果は、支持力算定式による推定値を十分満足しています。この他に貫入後の残留応力について考察しています。回転杭の貫入による残留応力は、模型杭では引張軸力＝正の摩擦力ですが、実杭では圧縮軸力＝負の摩擦力でした。これは新しい発見でした。



3.4 軟岩に支持された回転杭の引抜き抵抗

熊本市の在来線並行区間で鹿児島本線の高架化事業と新幹線建設事業が同時進行のため、狭隘箇所には回転杭を採用しました。施工の手順等と切り替え手順はこのとおりです。余分な用地が全くなく、回転杭を施工しながら工事用道路も確保するという厳しい条件です。設計での課題は回転杭の引抜き抵抗です。表層地盤は軟弱層でその下に溶結凝灰岩の支持層があります。引抜き抵抗を期待するため、支持層への貫入性が問題となり、引抜き抵抗のメカニズムは？引抜き抵抗は？ということで施工試験と荷重試験を実施しました。固結した溶結凝灰岩は、羽根径の1.5倍(0.9m)貫入するのに2時間かかりましたが、施工可能と判断できました。引抜き



試験は先端にジャッキを付けた先端荷重方式で行ました。試験結果は、杭軸径の10%相当で1340kNが得られました。破壊モード1が破砕部抜け出し、破壊モード2が粒子破壊、破壊モード3が軟岩破壊とすると、破壊モード1はこの試験値を精度よく評価しています。設計では破壊モード1に上限を設けて過大評価を回避しています。

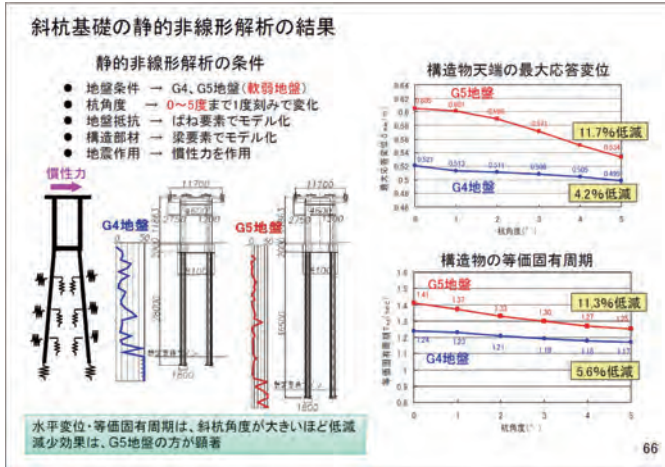
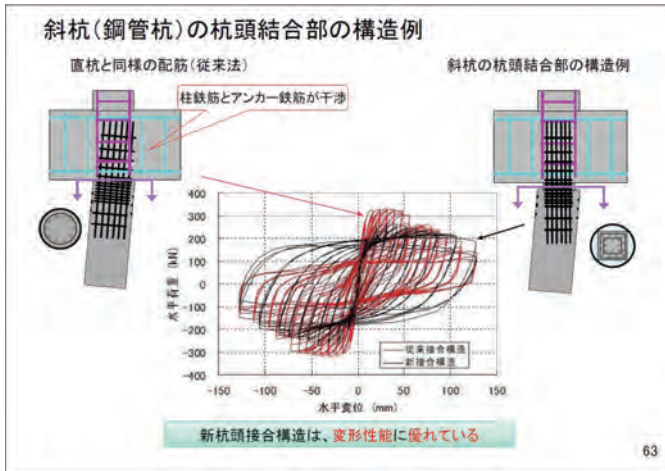
3.5 斜杭基礎における制震効果の評価と設計手法の構築

回転杭を用いた斜杭基礎の開発についてお話しします。ラーメン高架橋については、軟弱地盤では地震時における列車の走行安全性の確保が重要で、これまでは柱寸法や杭径を増大して剛性を高めていましたがコスト増の問題がありました。このため、地震時の水平剛性が高く変位を抑制、経済性も向上できる杭基礎の斜杭化を検討しました。地震時の走行安全性の照査は、①軌道面の不同変位の照査及び②地震時の振動変位に関する照査があります。①については、構造物の固有周期を隣接したものと同程度に保つことによって対応できます。②については、G5地盤では固有周期を1.1秒にしなければならないということで非常に厳しい条件になります。軟弱地盤では、背の高い構造物の固有周期を小さくするのは難しいということで、斜杭基礎を考えたわけです。斜杭基礎を適用できる条件としては、用地境界を考慮すると杭長40mぐらいでは傾斜角5度、施工法としては斜杭が可能な回転杭工法、当然大きな引抜き抵抗が必要ということもあります。

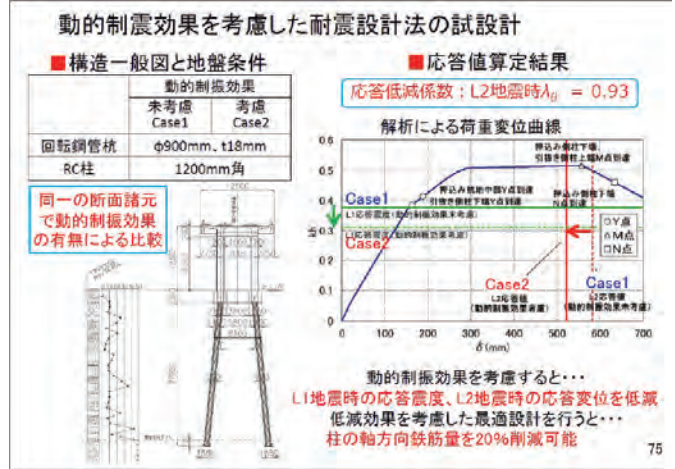
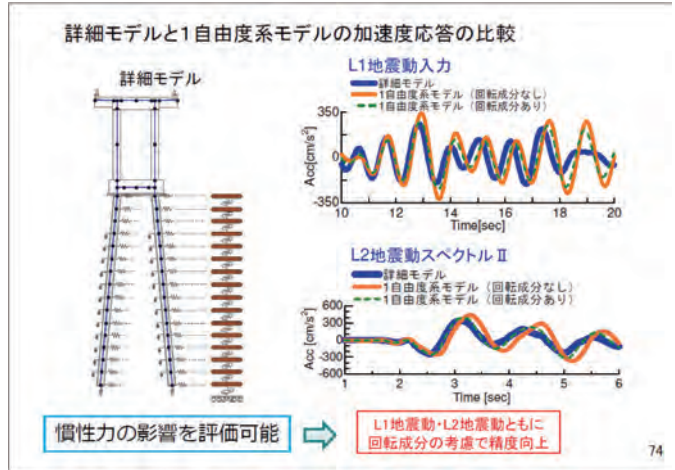
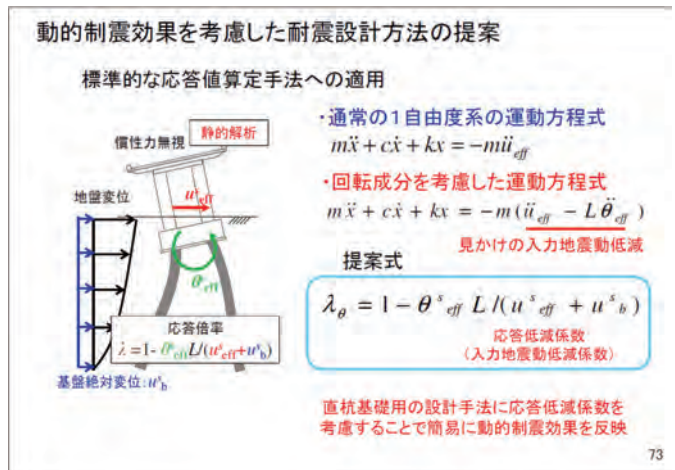
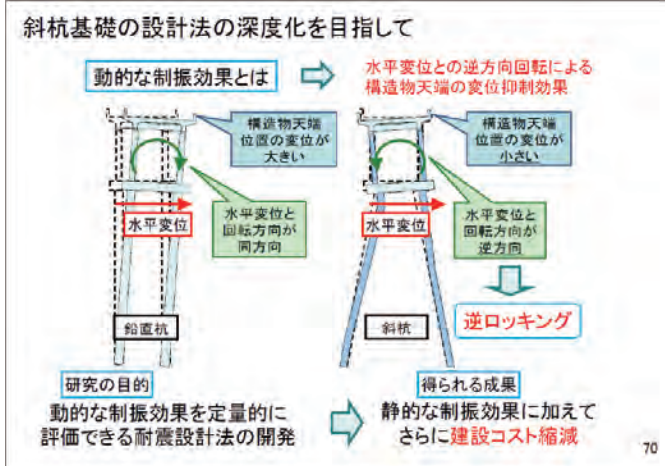
斜杭基礎構造の研究開発は、2006～08年の第1期、2009～10年で実構造物での斜杭の施工試験、それから2011～14年で斜杭基礎の制振効果による構造物の経済化について深度化を図っています。まず、2006～08年の研究では、斜杭基礎の静的荷重実験、斜杭の新しい杭頭結合部の荷重実験、設計法提案と試設計を行っています。杭頭結合部の新結合方法は、柱鉄筋と競合せずに柱断面中に収まるよう矩形配置の配筋をしています。杭頭は小さい断面にして、荷重試験を行いました。最大曲げモーメントは小さいが、非常に変形性能が優れたものになりました。静的非線形解析の結果については、G5地盤の方が効果的、斜角度が大きくなるほど水平変位・等価固有周期が小さくなり、軟弱地盤ほど効果的でした。動的非線形解析では、斜杭の角度が大きいくほど水平変位量が減少し、G5地盤の方が顕著になる結果です。静的解析と動的解析



の変位量の比較をすると、鉛直杭は変位量の最大値に大きな差はないが、斜杭は変位量の最大値に大きな差がありますこれは斜杭基礎の制震効果ではないかということで、後に動的制震効果として研究、深度化しています。



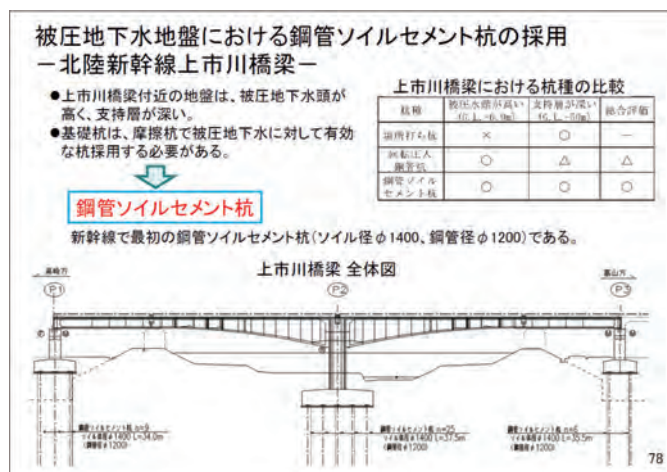
次に2011~14年の研究では、動的な制震効果とは「水平変位との逆方向による構造物天端の変位抑制効果」ということで、鉛直杭と斜杭を比較すると逆方向に回転しようとする力、変形が生じますが、これを「逆ロッキング」と称しました。この逆ロッキングの効果、動的な制震効果を定量的に評価できる耐震設計法について研究・開発を行いました。ここでは縮尺モデル、動的解析、列車走行シミュレーション等を行い、



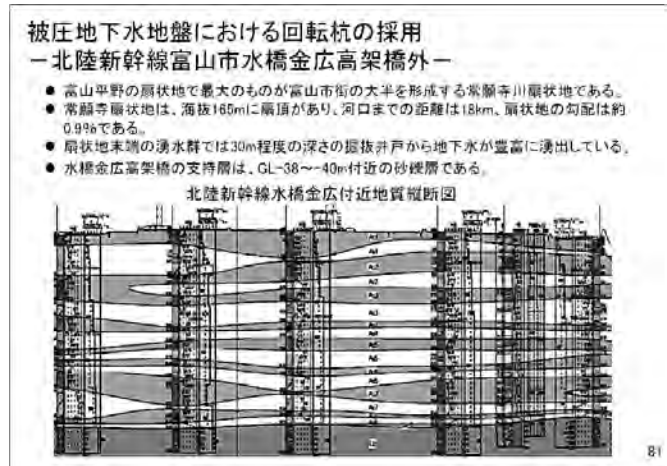
動的な制震効果を解明して、設計に反映しています。特に、地盤変位による逆ロッキングの動的制震効果を設計法に反映するために、回転成分を考慮した運動方程式を用いて見かけの入力地震動低減と見なした提案式を与えています。これを直杭基礎用の設計手法の応答低減係数として考慮することで簡易に動的の制震効果が反映できます。静的解析と動的解析による比較では、回転成分の考慮によって動的解析の結果と同程度の変形加速度が得られています。これを考慮した試設計では、応答低減係数が0.93になり、L1地震時の応答震度、L2地震時の応答変位が低減し、柱の軸方向鉄筋量が20%削減可能という効果がありました。これらの成果により、2014年に鉄道運輸機構は「斜杭基礎高架橋耐震設計の手引き」を作成し、実構造物の設計が可能になりました。

3.6 被圧地下水地盤における施工

北陸新幹線長野～金沢間の富山平野の被圧地下水地盤で鋼管ソイルセメント杭と回転杭を採用しています。最初は、鋼管ソイルセメント杭を採用した上市川橋梁です。ここでは、遅延材を用いたソイルセメント配合の検討を行っていますが、結果的に追加配合試験を実施して配合を変え、実際の施工を行っています。鋼管杭の現場溶接継手では、特に鋼管の板厚が厚い上杭の溶接に時間がかかるので、当初、横継ぎ溶接を採用しましたが、非破壊検査で溶接不良が確認されたため、縦継ぎ溶接に変更しました。



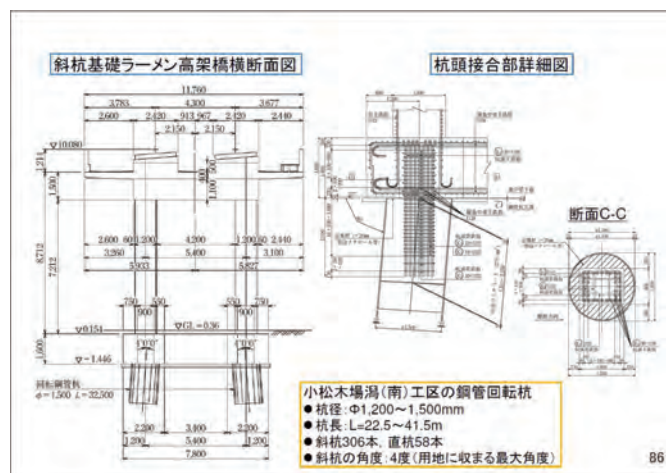
次は、回転杭を採用した富山市の水橋金広高架橋等(10カ所)です。ここは富山平野の常願寺側の扇状地であり、扇状地末端の湧水群では掘抜井戸から地下水が豊富に湧出しています。支持層は砂礫地盤で、被圧地下水頭が2m以上の区間が2kmもありました。また、豊富な被圧地下水を被圧利用の自噴井戸を使って、飲料水、生活用水として利用しています。以上から回転杭を採用しましたが、一部で杭先端の低止まりが発生しました。もっと密に追加ボーリングをする必要があるようです。



3.7 軟弱地盤における回転杭を用いた斜杭基礎

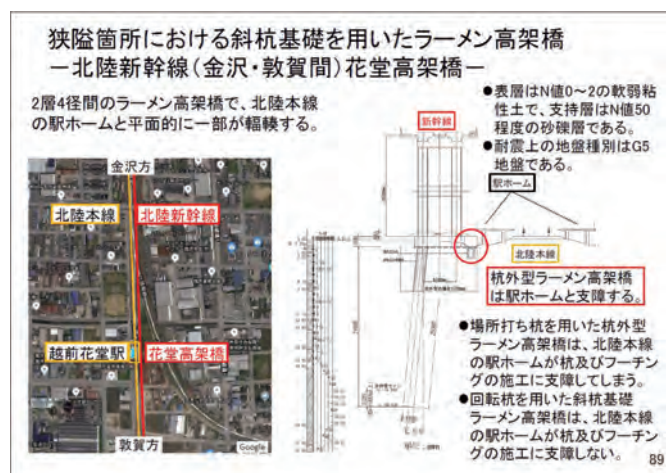
現在建設中の北陸新幹線金沢～敦賀間の軟弱地盤において回転杭による斜杭基礎を採用しています。まず、小松木場潟工区の高架橋では、極めて軟弱な地盤で地下水位も高く、列車の走行安全性が厳しくなることから、ラーメン高架橋に回

転杭による斜杭基礎を採用しています。剛性が比較的大きい橋脚は回転杭の直杭基礎です。回転杭を用いた高架橋延長は斜杭基礎が3.2km、直杭基礎が0.9kmです。杭頭の結合鉄筋は、矩形で密に配置し、拘束効果を高めるため帯鉄筋を二重に巻いています。斜杭が306本、直杭58本、斜杭の角度は用地限界から4度で設計しています。斜杭の杭頭位置の施工精度については、概ね7mm内に収まっており、十分な施工精度を確保しています。



3.8 狭隘地に斜杭基礎を適用したラーメン高架橋

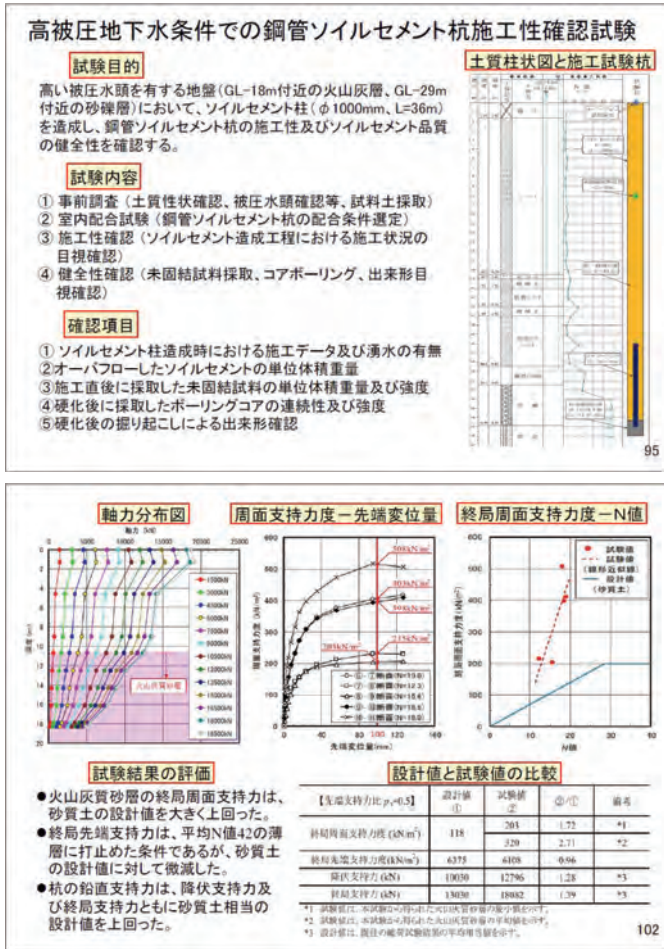
次は、狭隘箇所斜杭基礎を用いたラーメン高架橋を採用した花堂高架橋です。ここは北陸本線の越前花堂駅のホームに直杭基礎がぶつかるということで、斜杭基礎を採用しています。設計計算における斜杭の応答低減係数がL1地震時で0.90、L2地震時で0.92になり、振動変位に関する走行安全性の照査を満足することになりました。



3.9 被圧地下水・火山灰質地盤における施工

最後は、北海道新幹線の新函館北斗～札幌間の事例です。北海道新幹線の倶知安付近で被圧地下水を有する火山灰質地盤で、鋼管ソイルセメント杭の試験施工及び鉛直載荷試験を実施しています。被圧水に対する安全性は安全率1.25です。高被圧地下水条件での施工性確認試験を実施した結果は、特に問題がないという結論です。鉛直載荷試験の試験目的は火山灰質土における鋼管ソイルセメント杭の杭周面摩擦力性状

を確認することです。周面摩擦力については、設計値に対して相当大きな値になりました。その結果は実設計に反映することになっています。



ちょっと時間が過ぎてしまいましたが、ご清聴ありがとうございました。

参考文献

- 1) 静岡幹線工事局編：東海道新幹線工事誌，日本国有鉄道東京第二工事局，1965.3
- 2) 大阪幹線工事局編：東海道新幹線工事誌，日本国有鉄道大阪工事局，1965.10
- 3) 森重龍馬：基礎の選定と設計例，pp.121-123，集文社，1975.6
- 4) 池田俊雄：新編地盤と構造物—地質・土質と鉄道土木—失敗と成功の軌跡—，pp.76-79，鹿島出版会，1999.1
- 5) 仙台新幹線工事局編：東北新幹線（黒川・有壁間）工事誌，1983.3
- 6) 西村昭彦：軟弱地盤中の連続げたの設計，基礎工，Vol. 7，No.11，pp.65-72，1979.11
- 7) 池田俊雄：新編地盤と構造物—地質・土質と鉄道土木—失敗と成功の軌跡—，pp.147-150，鹿島出版会，1999.1
- 8) 野沢太三・森重龍馬：土木構造物の問題点と対策，pp.214-216，吉井書店，1987.2
- 9) 東北新幹線建設工事写真画報，日本合同通信社，1982.4
- 10) 中島浩哉：鋼管杭の衝撃載荷試験—東北新幹線川去川橋梁—，基礎工，Vol.39，No.8，pp.47-49，2011.8
- 11) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説 第1回改訂版，2002
- 12) 棚村史郎・西岡英俊・青木一二三・小松章：回転圧入鋼管杭の鉛直交番載荷試験，基礎工，Vol.30，No.8，pp.50-53，2002.8
- 13) 吉原伸行・木下哲龍：液状化地盤における回転圧入鋼管杭の設計・施工，基礎工，Vol.34，No.11，pp.42-45，2006.11
- 14) 青木一二三：回転圧入鋼管杭の施工時残留応力を考慮した支持力度特性の一考察，第42回地盤工学会研究発表会，2007.7
- 15) 白秀徳・澤石正道・山下晃・飛松直樹：九州新幹線熊本地区における狭隘箇所の高架橋の回転圧入鋼管杭の設計・施工，基礎工，Vol.39，No.8，pp.83-85，2011.8
- 16) 澤石正道・飛松直樹・青木一二三・山崎貴之：軟岩に支持された回転圧入鋼管杭の引抜き載荷試験，第40回地盤工学会研究発表会，2005.7
- 17) 西岡英俊・青木一二三・澤石正道・小松章：軟岩に支持された回転圧

- 入鋼管杭の引抜き抵抗力に関する一考察，第40回地盤工学会研究発表会，2005.7
- 18) 西岡英俊・山崎貴之・青木一二三・堀口知日・小松章・澤石正道：軟岩に支持された回転圧入鋼管杭の引抜き抵抗力に関する研究，第50回地盤工学会シンポジウム，pp.295-302，2005.11
 - 19) 清田三四郎・米澤豊司・青木一二三・神田政幸・西岡英俊・出羽利行：斜杭基礎の水平抵抗特性と鉄道構造物への適用性の検討，地盤工学会ジャーナル，Vol.5，No.2，pp.293-307，2010
 - 20) 陶山雄介・山東徹生・森野達也・飯田浩平・西岡英俊・本山紘希：斜杭基礎の地震時応答を考慮した列車走行シミュレーション解析，第17回鉄道工学会シンポジウム論文集，pp.57-64，2013.7
 - 21) 本山紘希・仲秋秀祐・室野剛隆・西岡英俊・森野達也・陶山雄介・青木一二三：斜杭基礎高架橋の地震応答算定における静的解析法の適用性，性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム論文集，Vol.16，pp.85-90，2013.7
 - 22) 仲秋秀祐・本山紘希・室野剛隆・西岡英俊・森野達也・陶山雄介・青木一二三：斜杭基礎高架橋における地震慣性力の評価手法の提案，性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム論文集，Vol.16，pp.91-94，2013.7
 - 23) 高野裕輔・山東徹生・陶山雄介・西岡英俊・松浦光佑・本山紘希：斜杭基礎の動的制振効果を考慮した鉄道高架橋の耐震設計手法の提案と試設計，第18回鉄道工学会シンポジウム論文集，pp.213-220，2014.7
 - 24) 佐名川太亮・西岡英俊・本山紘希・室野剛隆・高野裕輔・陶山雄介・米澤豊司・青木一二三：斜杭ラーメン高架橋を対象とした地盤変位作用時の動的挙動に関する実験的検討，土木学会論文集C（地圏工学），Vol.71，No.3，pp.163-176，2015
 - 25) 本山紘希・室野剛隆・高野裕輔・青木一二三：動的相互作用の観点から見た斜杭基礎を有する高架橋の地震時応答特性，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.71，No.1，pp.152-166，2015
 - 26) 佐名川太亮・西岡英俊・室野剛隆・高野裕輔・米澤豊司・青木一二三：ラーメン高架橋柱端部の塑性化が斜杭基礎の制震高架に及ぼす影響，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.72，No.2，pp.302-314，2016
 - 27) 佐名川太亮・陶山雄介・西岡英俊・山崎貴之・青木一二三：斜杭を用いたラーメン高架橋とその杭頭接合構造，基礎工，Vol.45，No.11，pp.97-102，2017.11
 - 28) 曾我大介・陶山雄介・阪田暁・長谷川利晴・前田龍一：斜杭基礎を用いたラーメン高架橋の設計施工，第22回鉄道工学会シンポジウム論文集，pp.188-192，2018.7
 - 29) 長谷川利晴・阪田暁・山本二郎：斜杭基礎を用いたラーメン高架橋—北陸新幹線小松場湯南高架橋—，橋梁と基礎，建設図書，Vol.52，No.8，pp.81-84，2018.8
 - 30) 齋藤真秀・宮寄俊彦・高原英彰：斜杭基礎を用いたラーメン高架橋の設計・施工—北陸新幹線小松場湯（南）高架橋—，基礎工，Vol. 47，No.11，pp.59-62，2019.11
 - 31) 曾我大介・川中島寛幸・黒田晴・佐名川太亮：被圧地下水を有する地盤における鋼管ソイルセメント杭の品質確認，第56回地盤工学会研究発表会，12-8-3-04，2021.9
 - 32) 川中島寛幸・曾我大介・黒田晴・佐名川太亮：火山灰質地盤における鋼管ソイルセメント杭工法の鉛直載荷試験と支持力度評価，第56回地盤工学会研究発表会，12-8-3-03，2021.9

講演者紹介

株式会社 レールウェイエンジニアリング
青木 一二三 技術統括部長

略歴

- ・ 1971年：中央鉄道学園大学課程 土木科卒業
- ・ 1976年：国鉄 構造物設計事務所 基礎土構造
- ・ 1987年：日本鉄道建設公団（現 鉄道建設・運輸施設整備支援機構）本社設計室
- ・ 2005年：株式会社 レールウェイエンジニアリング〔鉄道建設・運輸施設整備支援機構〕本社 設計技術部 勤務
- ・ 2009年：東京大学 大学院工学系研究科 博士（工学・論文）
- ・ 2016年：株式会社 レールウェイエンジニアリング（日本交通技術 株式会社 勤務）

鉄道建設・運輸施設整備支援機構では、整備新幹線、都市鉄道建設における橋梁・高架橋の基礎構造・土構造物の路盤・開削トンネルの設計・施工の技術支援及び技術開発に携わる。この間に土木学会技術開発賞を3度、地盤工学会技術開発賞を1度受賞する。

また、1996年の兵庫県南部地震災害復旧工事や2011年の東北地方太平洋沖地震災害復旧工事の支援に参加する。

本四架橋における長寿命化への取組み

本州四国連絡高速道路 株式会社
長大橋技術部 西谷 雅弘 次長

本四架橋における長寿命化への取組み

本州四国連絡高速道路株式会社
長大橋・技術部
西谷 雅弘

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited
Bridge · Communication & Technology

本州四国連絡高速道路株式会社・西谷と申します。本日はどうぞよろしくお願い致します。冒頭で恐縮ですが、本日、鋼管杭・鋼矢板技術協会の50周年ということ、大変おめでとうございます。それから記念講演会ということで、貴重なお時間を頂戴いたしまして講演させていただけること、大変光栄に思っています。本日はどうもありがとうございます。それでは早速ですが、このような内容で進めさせていただきたいと思います。最初の方で本州四国連絡橋の概要、それから後ほど、3番目以降が主な話題となりますが、長寿命化への取組みと技術開発ということで4項目ほど用意しています。

目次

1. 本州四国連絡橋の概要
2. 予防保全の取組み
3. 長寿命化への取組みと技術開発
 - (1) 主塔点検ロボット
 - (2) 赤外線サーモグラフィを用いた鋼床版ビード貫通亀裂の検出技術・下面補修法
 - (3) 吊橋ハンガーロープ画像診断システム
 - (4) 近赤外線カメラによる塗膜の劣化評価技術
4. まとめ

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited
Bridge · Communication & Technology

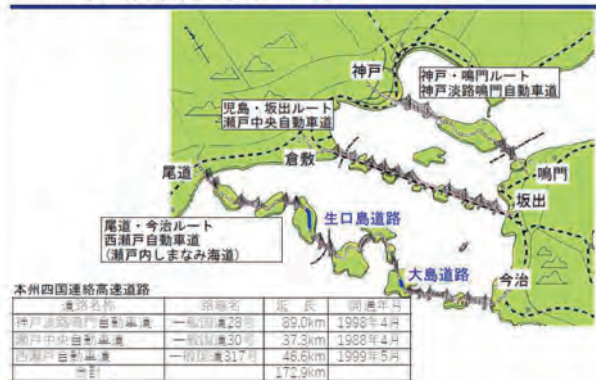
1. 本州四国連絡橋の概要

当社（本州四国連絡高速道路株式会社）ですが、瀬戸内海を渡る3ルート of 道路、橋梁を管理しています。総管理延長は約173km、1999年5月に3ルートが完成しました。橋梁延長は173kmと短いですが、その中で長大橋17橋を管理しています。最初に完成した長大橋は西瀬戸自動車道の大三島橋で、今年供用して43年目を迎えるところです。最初に全通したルートは、真ん中のルート、現在、瀬戸中央自動車道と呼

んでいます。1988年の供用、こちらは34年が経過しています。西瀬戸自動車道には新しい橋梁もありますが、例えば多々羅大橋とか来島海峡大橋、供用して23年が経過するということで、供用年数が段々と増えてきたところです。主な長大橋をいくつか紹介したいと思います。

兵庫県神戸市と徳島県鳴門市を結ぶ神戸淡路鳴門自動車道ですが、こちらには2つの吊橋が架かっています。淡路島の北側には、世界最長（講演当時、現在第2位）の支間長を有する明石海峡大橋、それから南側には本州四国連絡橋の中では一番自然環境条件の厳しい所に立地している大鳴門橋、この2橋があります。そこから真ん中を見ると、岡山県倉敷市と香川県坂出市を結ぶ瀬戸中央自動車道ですが、その中央部分には道鉄併用橋である瀬戸大橋、海上部約9.4km、道路・鉄道併用橋としては12.3kmの橋梁です。岡山県側から一番手前に見えるのが下津井瀬戸大橋です。この橋の真ん中が両県の県境になっています。一番西側のルート、西瀬戸自動車道と呼んでいます。広島県尾道市と愛媛県今治市を結ぶ「しまなみ海道」の愛称が親しまれていますが、このルートには完成時に世界最大支間長(890m)であった斜張橋の多々羅大橋、それから世界初の三連吊橋である来島海峡大橋など、9橋の長大橋があります。西瀬戸自動車道の長大橋には他のルートと異なり自歩道を併設しています。

1. 本州四国連絡橋の概要



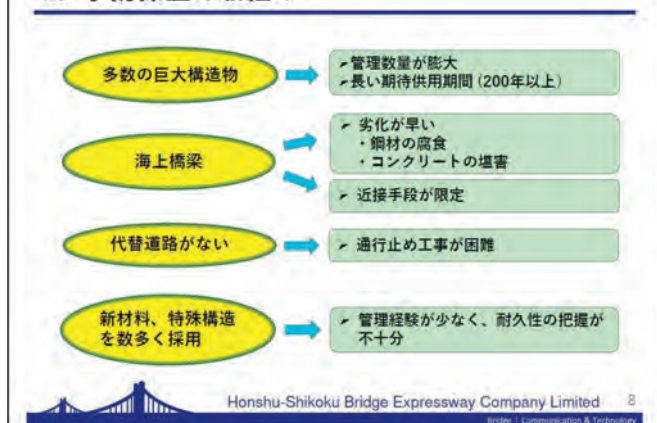
Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited
Bridge · Communication & Technology

2. 予防保全の取組み

このスライドには簡単に海峡部長大橋の維持管理にあって特徴的なことをまとめています。それぞれの長大橋は非常に大きな構造物で、鋼重とか、塗装面積とか、管理数量が膨大なものとなっています。一方、架け替えは現実的ではないため、200年以上の健全性確保が期待されています。海上部にあるため環境条件は厳しく、特に鋼材の腐食とか、コンクリートの塩害、劣化の進行が懸念されているというのが現状です。一方、全ての部位に容易に近接できるといった状況下にはないというのも現実のところ。また、海峡部に位置す

るので代替となる道路がありません。長期の通行止めを伴うような工事ができないという条件の下、維持管理を実施しています。建設時には技術開発を行いながらプロジェクトを進捗させていたこともあって、新材料とか、特殊な構造が多数含まれています。これらについては、耐久性の把握など試行錯誤をしながらの維持管理といったところです。

2. 予防保全の取組み



長大橋の上部工は特に鋼構造物が多数用いられており、鋼構造物の二大劣化要因と言われている疲労や腐食、これらに対する適切な維持管理が重要な課題と考えています。ライフサイクルコストの低減を意識しながら予防保全に取り組み、長期の安全性、耐久性の確保に努めているところです。点検のための施設とか、設備を写真で紹介します。海峡部長大橋の点検の状況です。先ほど説明したような課題は建設時から認識し、管理用通路や点検・補修作業車を設置したり、改造・増設しながらの点検を実施しています。また、アクセスが困難な部位に対する建設手段や重要部材に対する腐食対策、こういったものについては、予防保全を実践するための技術開発をこれまで進めてきました。

まず、これまでに開発した技術について、簡単にその概要を紹介したいと思います。これは吊橋主塔などの鋼構造物の点検、補修作業の効率化、安全性向上を目的として、鋼構造物の表面に吸着して移動可能なゴンドラです。磁石車輪ゴンドラと呼んでいます。車輪の中に磁石を埋め込んでおり、これで鋼材面に吸着することができます。反力を受けるような作業でも安定して実施可能なゴンドラとなっています。これはコンクリート構造物用のゴンドラです。真空吸着車輪ゴンドラと呼んでいます。吊橋のアンカレッジとか高橋脚などのコンクリート製の構造物に掃除機の吸い込み口のような機構になりますが、コンクリートの面に吸着して移動できるゴンドラです。

こちらは吊橋の中でも最も重要な部材の一つである主ケーブルの腐食を抑制するための技術として、世界に先駆けて当社が開発したケーブル送気乾燥システムのイメージ図です。乾燥した空気をつくって、それを主ケーブルの内部に送り込んで主ケーブル内部の湿度を低下させるという仕組みです。相対湿度が60%以下では腐食しないことを実験で確認しており、40~60%以下に保つよう稼働させて

磁石車輪ゴンドラ

- 車輪内の強力なネオジウム磁石で2,450N(約250kg)の力で常に鋼壁面に吸着
- 風等で揺れずに操舵装置で任意に移動、反力が必要な補修作業でも安定して作業可能



Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited 10

真空吸着車輪ゴンドラ

- 車輪の真空吸着パッドで1輪当たり最高490N(約50kg)常に壁面に吸着可能
- 風等で揺れずに移動でき、反力が必要な補修作業でも安定して作業可能



Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited 11

います。このシステムは温度や湿度を自動計測するようになっていますが、10年に1回程度主ケーブルを開放して内部のワイヤーの状況を目視で観察し良好な環境が保持されていることを直接的にも監視しています。このケーブル送気乾燥システムは1998年に完成した明石海峡大橋への導入が世界で初めてのこととなります。それ以降、当社の管理する吊橋全部で10橋ありますが、全てに導入が完了しています。また、国内の大規模な吊橋のほとんどに現時点でほとんど導入されています。海外の吊橋においても新設の物、既設の物を問わず導入が進められています。現時点では吊橋には必要不可欠な維持管理技術の一つ、確実に効率的な腐食対策の一つということで、世界中の管理者から高い評価を受けた技術です。

それから橋梁の耐震補強、強靱化についても推進しています。明石海峡大橋、大鳴門橋、瀬戸大橋については既に完了、現在、西瀬戸自動車道の長大橋の工事を進めています。瀬戸大橋の中ほどに位置する約100mの単径間トラス橋の耐震補強においては、道路・鉄道併用橋、あるいは鉄道橋としても初めてとなる免震支承を採用して、耐震補強を完了しました。

ケーブル送気乾燥システム

銅線は温度60%以下では腐食しないことを実験で確認
 → 常に湿度60%以下に保つ「ケーブル送気乾燥システム」を開発
土木学会田中賞(作品部門)(技術)(平成30年度受賞)

送気管 送気カバ 排気カバ 捕剛桁 主塔基礎 乾燥空気

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited 12

長大橋梁の耐震補強

兵庫県南部地震を入力地震動とした
 明石海峡大橋の時刻層応答解析
 (変位を50倍に拡大)

* 橋石置具梁組(トラス部)の耐震補強 **土木学会田中賞(作品部門)(改築)(令和元年度受賞)**

企業者: 本州四国連絡高速道路(株)
 設計者: 本州四国連絡高速道路(株), 大日本コンサルタント(株), (株)渡河ブリッジ
 施工者: (株)渡河ブリッジ, 西国旅客鉄道(株)

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited 15

(1) 主塔点検ロボット

- ① 明石海峡大橋主塔の塔柱外側面・外隅面を点検対象
- ② 外隅面の点検では、幅が狭く、L字断面のため近接が難しい
- ③ 壁面上には、添接板、高力ボルト、化粧ボルト等の高段差あり

上部水平材 主ケーブル 斜材 塔柱 主塔高さ295.5m 主塔東西面(塔柱外側面) 主塔南北面(塔柱外側面) 点検対象壁面の状況

添接板と高力ボルト 化粧ボルト 添接板等の段差 15mm~43mm

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited 18

(1) 主塔点検ロボット

壁面走行装置の開発

- ① 走行装置の課題: 自重・風で滑り・剥がれない。
 ⇒ 磁石で強力に吸着し摩擦力で駆動する磁石車輪を採用
- ② 添接板・ボルト部 ⇒ 磁石吸着力が約1/3に低下。
- ③ 車輪径が小さい ⇒ 段差乗り越え時にスリップ。
 ⇒ 吸着力、車輪数、径、配置等の最適・小型化・軽量化

磁石車輪 ⇒ φ170mm, 3輪配置, 吸着力Max 3.9kN(400kgf)
 走行機構 ⇒ 全輪駆動かつ全輪旋回操舵(昇降, 斜行, 横行)

高い壁面走行性能&高い小回り性能を確保

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited 19

3. 長寿命化への取組みと技術開発

さてここで長寿命化への取組みと技術開発ということで、紹介をしていきたいと思います。長大橋の長寿命化に向けた取り組みですが健全度の診断とか補修計画の立案、こういったことのための情報収集手段である点検について、さらなる効率化、安全性の向上、確実な変状の発見、精度の向上などに着目し、さらに遠隔から非接触で、あるいは非破壊をキーワードとして、技術開発に取り組んでいます。本日、主塔点検ロボットとか赤外線カメラを使った技術、ハンガーロープの診断システムなどについて紹介したいと思います。

(1) 主塔点検ロボット

まず主塔の点検ロボットについてです。明石海峡大橋の主塔の高さは約300mあります。その点検にあたって、安全かつ効率的に高い所まで接近できて近接目視に代わる技術ということで、主塔の基礎上から遠隔操作できる主塔点検ロボットの開発に着手し、完成しました。ロボットによる点検の対象ですが、左の図にある赤く着色した塔柱の外側面です。タワーの基部で、幅約12m、塔頂部に行くと8mほどの幅があります。この塔柱の両側ですが、少し狭いL字型になった所があります。この部分もロボットによる点検の対象にしています。主塔の壁面は、平坦に見えますが、添接板と高力ボルトによる段差があります。一番大きい所で約43mmあります。それが10mピッチにありますので、これがロボットを走

行させる上で障害になると考えていました。ロボットが段差を乗り越えるための走行装置は、当然のことながら自重や風が吹いて、強風下でも滑り、剥がれが発生しないようにする必要があります。そこで先ほど紹介しましたが、磁石を内蔵した車輪を採用しました。また、段差を乗り越える際に必要な吸着力や車輪の数、直径、配置については、ロボット全体の小型化を考慮しながら、最適化の検討を行いました。その結果ですが、車輪の配置は右の写真に示したように、3輪の配置とすることに決めました。点検作業の効率化ということを最大限に優先して、この3輪の全輪駆動、それから3輪の同時ステアリングとすることによって、高い走行性能を確保することができました。

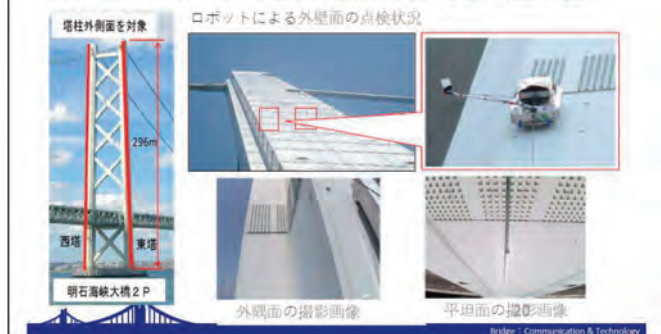
ロボット完成後、明石海峡大橋の神戸側主塔の外側面において、試験運用を実施しました。主塔基部から塔頂まで約300mありますが、この間ロボットの走行性能を確認しながら、この面を2往復させることによって壁面の点検が可能であることを確認できました。また、両側のL字型になった部分ですが、カメラポールと呼んでいますが、これを90°横方向に張り出して、塔柱の壁部分の端を走行させることによって、この部分も写真撮影や点検できることが確認できました。結果として、この1面ですが、2日間で点検が可能であるという結論を得ました。ロボットの性能ですが、走行速度は1分間に約10m、リチウムイオン電池を搭載しており、フル充電で1.5往復の連続走行が可能となっています。それからこのカメラポールですが、可視光カメラに加えて赤外線カメラを取り

付けられる構造となっています。ここで実際に動いている状況をご覧いただければと思います。添接板を越えながら上昇していく様子です。上からワイヤーが出ていますが、これは落下防止対策のためのロープです。このロープ、常に一定の張力を与えており、段差を乗り越える際には、この張力も補助としています。横移動の状況です。もう一つ下側にもロープがありますが、もしトラブルがあってロボットが停止してしまった場合、このロープを下側に引っ張ることによって回収できるようにしています。次は斜め方向の移動です。

このように、主塔基礎上から遠隔操作ができて主塔の壁面を点検できるロボットということでグループ会社と協力しながら、開発できたところです。

(1) 主塔点検ロボット

- ①明石海峡大橋 2P主塔の東西塔柱外側面の点検を実施
- ②基礎上から操作、塔頂部までの走行性能、壁面の観察・撮影を実施
- ③カメラポール90°横に張出し、端部走行し、塔柱外側面を確認



(2) 赤外線サーモグラフィを用いた鋼床版ビード貫通亀裂の検出技術

2つ目の話題です。赤外線カメラを使った鋼床版の疲労亀裂の検出技術の開発を進めてきました。疲労亀裂の点検ですが、塗膜割れや錆汁の発生を目視で確認し、その後、非破壊検査を行って、詳細調査を行うという手順が一般的です。ところが、目視点検では塗膜割れを伴わない亀裂の発見が非常に困難であること、それから塗膜割れや錆汁が発生している場合、亀裂はかなり進展していることも想定されます。非破壊検査の実施にあたっては、塗膜を除去することが必要になってきます。また、非破壊検査の場所に接近するための足場の設置や撤去などが必要になりますので、疲労検査、疲労点検は時間、費用、労力を要する作業というのがこれまでの一般でした。そこで赤外線カメラを使って、遠隔から非破壊、そして効率良く、ということを目標にして技術開発を行ってきました。

長大橋では死荷重の低減を目的として、鋼床版が多く採用されています。その数量は橋梁延長で約26kmになります。「本四」3ルート of 供用延長が173kmですので、その約15%に達します。それを車線延長に換算すると約100kmにも及びます。大型車の通行に起因して、デッキプレートとUリブの間の溶接部分、この部分においてルート部から溶接部を貫通するような亀裂の発生が当社を含め他機関からも多く報告されています。鋼床版は近接するのが難しい上に、目視による亀裂の発見は非常に困難が伴いますので、今回の技術開発に至ったといったところです。

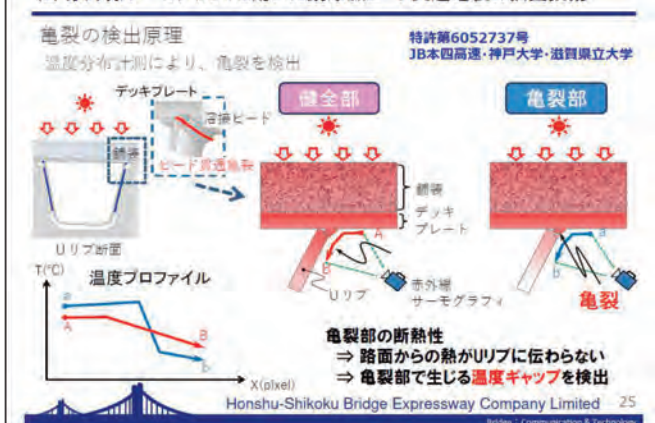
(2) 赤外線サーモグラフィを用いた鋼床版ビード貫通亀裂の検出技術



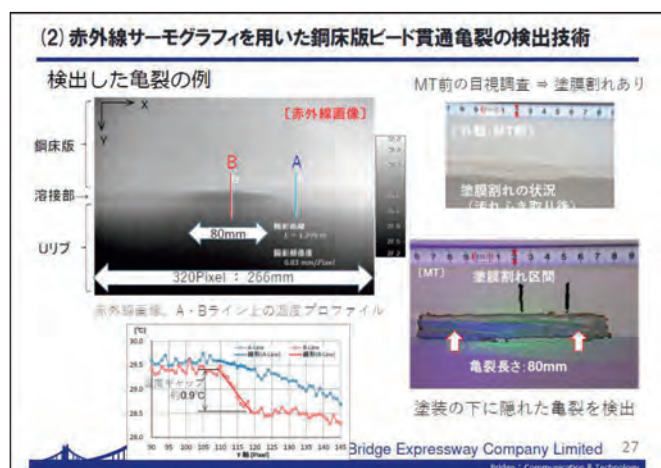
亀裂を検出するための原理を簡単に書いています。点検する部位は、繰り返しになりますが鋼床版デッキプレートとUリブの溶接部分、この部分です。日照を受けて舗装が温められると、この温められた舗装からデッキプレート、溶接部、Uリブへと温度が伝わっていきます。亀裂がないデッキプレート、溶接部、Uリブですが、この部分を赤外線カメラで温度画像を取得すると、左下のグラフA-Bのように温度勾配がなだらかに変化する、このA-Bに沿ってなだらかに落ちていくことが確認されています。一方、溶接部分に亀裂がある箇所においては、この亀裂の微小な隙間、空気層によって熱伝導が阻害される現象が発生します。赤外線カメラを使って、この青いa-bの部分の温度画像を撮影すると、左下のグラフのa-bのように温度差が生じます。この温度差を赤外線カメラで確認・検出することによって亀裂の発生場所が特定できる仕組みになっています。

疲労点検の結果の映像をこの後ご覧いただきますが、鋼床版の可視画像が右側の写真になります。この部分の赤い枠で囲われた部分、デッキプレート、溶接箇所があってUリブ、この部分の赤外線画像を拡大したものが左側です。鋼床版、デッキプレート、溶接部、Uリブの部分になります。赤外線画像では、白っぽく明るい部分は温度が高く、暗い部分は温度が低いことを示しています。左下のグラフですが、赤いラインと青いラインのそれぞれのライン上の温度変化を表しています。今は両方とも健全な部分なので、なだらかな温度勾配を示しています。この左右が橋軸方向ですが、この後、この部分（デッ

(2) 赤外線サーモグラフィを用いた鋼床版ビード貫通亀裂の検出技術

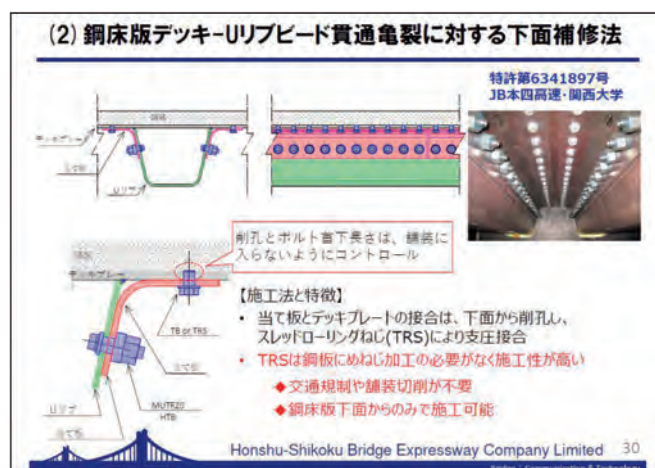


キプレート)が少し、左の方に動いていきます。こちらのグラフを見ると、ある所で段差が生じるような温度が見られます。最後に段差、亀裂のある所の映像ですが、ほんのわずかですが温度差が生じていることが分かるかと思えます。画像としても、少し黒っぽくなっている所が分かるかと思われます。先ほどの最後の画像です。Aのラインは健全な所なので、温度勾配はなだらかになっています。青いラインは、この青いラインですが、なだらかな温度勾配を示しています。Bライン上にある黒っぽい所、この黒っぽい所の長さが80mmほどと計測できました。この部分の温度差ですが、ほんの僅かですが、0.9℃ほど落ちていることが確認できると思います。また、この部分を近接目視した写真が右上の写真です。本当にわずかですが、この部分に塗膜割れが生じています。塗膜割れの長さは約40mmです。そして、この塗膜を全部剥いだ結果が右下の写真です。実際見えていた所がこの部分なのですが、塗膜を剥がすと亀裂が約80mmあったということがわかりました。赤外線画像と長さがほぼ一致したことで、塗膜割れでは確認できなかった塗膜に隠れた亀裂も、赤外線画像で検査できたことが分かります。



現在、鋼床版の疲労点検を継続しています。右側の写真では赤外線カメラを自走式の台車の上に乗せて、それを移動させて連続的に温度画像を撮るようなことを実施しています。赤外線カメラを使って、遠隔から非破壊で亀裂の検出が可能であるという技術を開発し、現在、使っているところです。亀裂があった所に対する補修ですが、それについても技術開発を行ってきました。通常、このような箇所では亀裂が発生すると、再溶接による補修や高力ボルトによる当て板補修が多かったようです。再溶接による補修では、上向き溶接になったり、自動車による振動で溶接の品質確保が難しく、亀裂が再発するという懸念もあります。また、このようなピンク色の当て板補修をする場合には、高力ボルトで締結する必要があり、上側の舗装撤去が必要になります。そのためには交通規制も必要になり、こういった手法がこれまでは行われていましたが、好ましくないということで、開発したものが右側のものになります。ここではTRSというボルト、特殊なボルトを使うことにしています。このTRSというボルト、自らのねじ山によって孔壁や当て板、鋼床版のデッキプレ

ートを塑性変形させることで、雌ねじを形成しながら締結できるワンサイドボルトの一種です。このボルトの軸の長さを調整すれば、デッキプレートからはみ出さずに締結できるので、今ある舗装を傷めずに作業ができる、なおかつ、作業はデッキプレートの下面からのみです。右側が当て板補強をした箇所の写真です。繰り返しになりますが、雌ねじの加工の必要がなく施工性が高い、交通規制や舗装の切削の必要がない、鋼床版下面からのみ施工できるということで、こういった箇所の補強方法として、これから使っていくことになります。



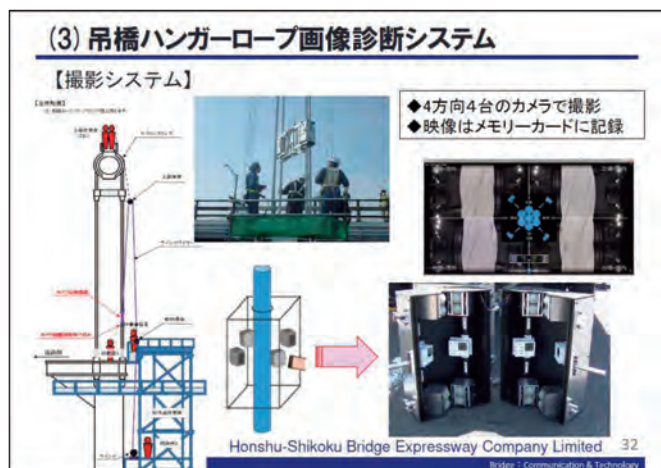
(3) 吊橋ハンガーロープ画像診断システム

3つ目の話題ですが、吊橋ハンガーロープの画像診断システムです。ハンガーロープは主ケーブルから垂れ下がっており、橋桁を支えるためのロープになります。吊橋ハンガーロープは路面上、もしくは主ケーブルを歩きながら、カメラ撮影による画像に基づいて変状の有無を確認してきました。ただ、ハンガーロープが長くなると、遠望目視となる可能性が高くなり、点検精度の確保に課題がありました。そこで、ロープの全長・全周にわたる連続画像を効率よく撮影するシステム、AI技術を活用して変状分析を行う画像診断システム、こういった開発にグループ会社と連携しながら着手したところです。

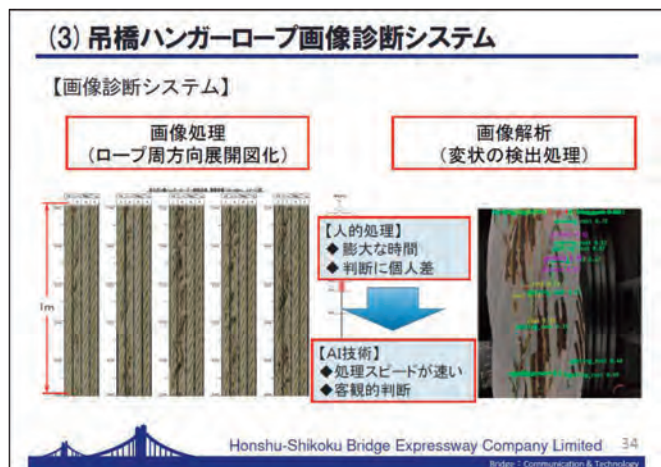
まず、撮影システムですが、主ケーブルがあって、ハンガーロープがあって、このハンガーロープに登らせるためにウィンチを設置して、滑車を使って上昇させます。ハンガーロープ1本に対して、4方向から4台のカメラを使って撮影します。これも映像でご覧いただきたいと思います。撮影システムを設置して、上昇させながら撮影をしている状況です。ここでは2本のハンガーロープを同時に撮影しています。

また、非破壊検査技術と連携させて、健全度評価も併せて実施する検討も始めています。

取得した連続画像を基にして、1つの合成画像を作成します。この画像から画像診断システムということで、塗膜の割れや剥がれ、錆などを検出・判別するために、AI技術の活用に取り組んでいるところです。これまでの点検では撮影した画像の量が膨大となるため、点検員では時間がかかる、複数の点検員の作業では判定に個人差が生じることが課題でした。AI技術の活用が可能となれば処理スピードが上がり、安定した判定も期待できることになります。



また、ここで映像での紹介になりますが、AI技術による判定の状況を示す一つの例ということで、ご覧いただきたいと思います。これは4台のカメラにより撮影した画像を合成した画像になります。左下に色で分けていますが、ひび割れや点錆、剥がれや錆、腐食など、こういった凡例での色分けに応じた色枠がつけられるようになっています。現状、同種の変状であっても、形や大きさが異なる場合には異なる判定をしまっている所も多々あります。今後、教師画像の蓄積とともにAI技術の精度の向上といったところが非常に大きなカギだと思っています。ハンガーロープのシステムに関しては、ロープ全長・全周にわたる連続画像を撮影するシステムについては開発が終わり、この先、画像診断システムということでAI技術を活用した技術、これの精度向上がポイントとなります。



(4) 近赤外線カメラによる塗膜の劣化評価技術

最後の話題になりますが、こちらは赤外線カメラを使った塗膜の評価技術について、検討状況を紹介します。まず前段として、塗装系のお話をしたいと思います。長大橋の塗装面積は、約400万 m^2 と膨大な数量に達します。鋼部材を腐食から守るため、重防食塗装を採用しています。重防食塗装ですが、鋼材の上面に電気的な防食作用が期待できる無機ジンクリッチペイントを下地として、その上にエポキシ樹脂塗料、もう1つエポキシ樹脂塗料、それぞれ耐水性が期待できる層、接着剤の役割をする層ということで、2つのエポキシ樹脂塗

料の層を下塗、中塗として塗布した後、耐候性に優れたふっ素樹脂塗料を上塗として塗布しています。こういった塗装系を重防食塗装と呼んでいます。塗装そのものは紫外線や水分によって劣化が進んでいきますので、いつかは塗替えが必要になります。定期的に塗膜調査を行いながら劣化予測を行い、



補修塗装あるいは塗替塗装についての計画を立案するというような保全方針を取っています。右の図ですが、横軸は供用後からの経過年数、縦軸に各塗装系の膜厚をプロットしています。無機ジンクリッチペイントは現場での塗替えが非常に困難と考えられますので、それを保護する下塗が露出する前、言い換えると、上塗と中塗が消耗しきる前に塗替塗装を完了するという塗装管理の方針を予防保全として導入しています。塗膜調査によって、残存膜厚や消耗速度を把握しながら、劣化予測を行うことにより、いつ上塗と中塗が消耗しきるか、あるいは下塗が露出するか、ということを確認した上で、ここが塗替えの完了時期になります。そこから施工期間を考慮して、塗替着手時期を決めます。塗膜調査では左側の図に示していますが、非常にたくさんの点を定期的に調査する必要があります。時間と費用と労力を要するというところで、課題となっています。これに代わる技術の開発ということで、ここでも赤外線カメラを使った開発を現在行っています。赤外線カメラによる塗膜の劣化評価ということですが、例えば橋梁をブロック分けした後に、塗替えの時期や順番などを把握するために使えないかと考えています。もし使えることになればコスト削減にもつながるため、遠隔から非破壊、かつ面的な塗装評価に着目して、赤外線カメラを使った塗膜の劣化評価技術の開発に着手しました。

ここでは、まず、言葉の紹介をしたいと思います。電磁波には波長の短いX線から、波長の長いものまでたくさんあります。人間の目で見えるのがこの可視光線の領域です。その外側、それよりも波長の長い領域が赤外線です。赤外線の中でも可視光線に近い波長の所が近赤外線と呼ばれる領域になります。この近赤外線を塗膜に照射すると反射・吸収・透過します。この反射・吸収・透過した光の情報を分析することによって塗膜の評価ができないかということに着目しました。この後、少し言葉が出てきますが、パッシブ法とアクティブ法という方法を採用しています。パッシブ法ですが、日照、太陽が照っている自然な環境下を利用して赤外線カメラ

(4) 近赤外線カメラによる塗膜の劣化評価技術

- 再施工が困難な構造物層層を保護するため、下塗が露出する前に中塗りと上塗り塗りを塗り替える予防保全の考えを導入。
- 塗替塗装の時期は、塗膜調査結果から劣化予測を行い、最適な時期を決定。

調査(定点塗膜調査)



【調査項目】

- ・塗膜厚料量
- ・光沢度
- ・付着性

塗膜調査状況

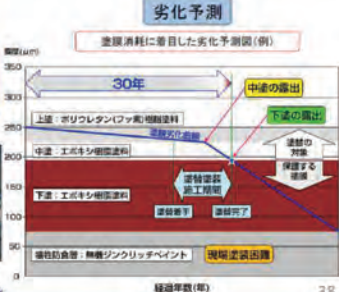


塗替塗装状況



劣化予測

塗膜消耗に着目した劣化予測図(例)



経過年数(年)

Honshu-Str

38

Bridge - Communication & Technology

(4) 近赤外線カメラによる塗膜の劣化評価技術

The diagram illustrates the electromagnetic spectrum with wavelength markers from 1pm to 10km. Key regions include X線, 紫外線, 可視光線 (0.4 to 0.78 micrometers), 近赤外線 (0.78 to 4 micrometers), 中赤外線, 遠赤外線, マイクロ波, 超短波, 短波, 中波, and 長波. Below the spectrum, two measurement methods are shown: 'パッシブ法' (Passive Method) using a '近赤外線カメラ' (Near-infrared camera) to detect reflected light from a '試験体' (Test specimen), and 'アクティブ法' (Active Method) using a '近赤外線カメラ' and 'ハロゲンランプ' (Halogen lamp) to measure light reflected from a '試験体'.

近赤外線は可視光線に近い赤外線。近赤外線を塗膜に照射すると、反射・吸収・透過する。反射・吸収・透過した光の情報を分析することにより、塗膜の劣化度や損耗度などを間接的に評価。直接的な評価ではないので、データの蓄積が不可欠。

パッシブ法は、日照など自然な環境下を利用して計測を行うこと、一方、アクティブ法は、照明を照射するなど強制的に作り出した状況下において計測を行うこと。

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited 40

これは中塗が露出している試験片です。これを太陽光が当たる自然な環境下で近赤外線カメラ撮影を行いました。これはパッシブ法になります。まず、右上のグラフですが、横軸が赤外線の波長、縦軸が吸光度という指標を取ったものです。 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ ぐらいを境にして、それよりも大きい波長に対しては上塗と中塗の吸光度がほぼ同じになるのに対して、 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ よりも

(4) 近赤外線カメラによる塗膜の劣化評価技術

Figure 4 illustrates the near-infrared camera-based coating degradation evaluation technology. It consists of three main parts:

- Photograph (Top Left):** A person is using a camera on a tripod to inspect a bridge deck. The camera is labeled "撮影風景" (Photography Landscape).
- Graph (Top Right):** A line graph showing absorbance (吸光度) on the y-axis (ranging from 0.15 to 0.75) versus wavelength (波長) on the x-axis (ranging from 1.0 to 2.5 $\times 10^3 \mu\text{m}$). The graph compares two coating conditions: "上塗" (Top Coat, red line) and "中塗" (Middle Coat, blue line). The graph is divided into three regions: "Open" (wavelengths 1.0 to 1.5 $\times 10^3 \mu\text{m}$), "SP" (Short-Wave-Pass, wavelengths 1.5 to 1.75 $\times 10^3 \mu\text{m}$), and "LP" (Long-Wave-Pass, wavelengths 1.75 to 2.5 $\times 10^3 \mu\text{m}$). The "Open" region shows a significant increase in absorbance for the "上塗" condition compared to the "中塗" condition.
- Camera Images (Bottom):** Three camera images of a bridge deck are shown, labeled "Open", "LP", and "SP". The "Open" image shows a clear view of the bridge deck. The "LP" and "SP" images show a blurred view of the bridge deck, indicating degradation.

凡例 (Legend):

- 赤線範囲: 上塗り (Red line range: Top coat)
- 青線範囲: 中塗り (Blue line range: Middle coat)
- 白色部: 中塗り (White part: Middle coat)
- 赤色部: 下塗り (Red part: Bottom coat)

可視光カメラ (Visible light camera)

Open LP: Longwave-Pass SP: Shortwave-Pass

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited 42

Bridge Construction & Technology

(4) 近赤外線カメラによる塗膜の劣化評価技術

パッシブ法（太陽光）波長帯0.9〜1.7μmにおける計測

微細な（ペイントカー）に上塗りされた結果
0μm 5μm 10μm 15μm 20μm

可視画像

赤外線画像

Line

平均化領域

赤外線画像

可視画像

線上の輝度値ラインプロファイル
⇒ 上塗の膜厚が大…輝度が小

各エリアでの輝度値の平均値と上塗膜厚
⇒ ほぼ線形近似
上塗の膜厚を推定することが可能

Y = -117.09X + 9511.3
R² = 0.9959

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited 43

今度はこの状況の下、もう1つライトを持ってきて、これ全体を1つのライトで照らした状態で撮影を行いました。これはアクティブ法になります。もともと光が当たっていた所と陰になっていた所、この2つを比較すると、アクティブ法を適用することによって、上塗の膜厚と輝度に相関があるとともに、両者とも同じような値を示すことが分かりました。光のムラがあるような試験体でも、アクティブ法を適用すれば、上塗の膜厚を推定できそうだとことが確認できました。

実際に、現地で実証のための試験を行ってみました。場所は因島大橋です。1983年に供用して、その15年後ぐらいから5年ほどかけて塗替塗装を1回実施しています。現在、20年ぐらい経過した状況下にあります。その起点側の側径間、上塗の塗装膜厚を赤外線カメラで撮影しました。これは、その時の状況です。14カ所を測定した結果ですが、測定した後、各ポイントで実際に塗装をカッターで切り取って、上塗の膜厚も実測しています。その実際に切り取った塗膜から計測された膜厚を横軸に、縦軸には近赤外線カメラで撮った輝度をプロットしたものです。先ほどまでの試験の結果とは異なり、大分ばらつきがあるようには見えますが、それでも相関係数は0.83ということなのでそこそこ相関が得られたと考えています。アクティブ法を使うことによって、光のムラがある状況下の部材でも、それなりに上塗の膜厚が計測できそうだとことが確認できました。赤外線カメラを使うことによって膜厚の計測、あるいは評価ができることを確認できました

くというような機会もあろうかと思います。世界最大級の長大橋梁群の維持管理にあたり、更なる長寿命化やコストの最小化をこれまで以上に意識しながら、万全な保全に努めていきたいと考えております。

以上、本日、「本四架橋における長寿命化への取組み」ということをご紹介をさせていただきました。ご清聴どうもありがとうございました。

講演者紹介

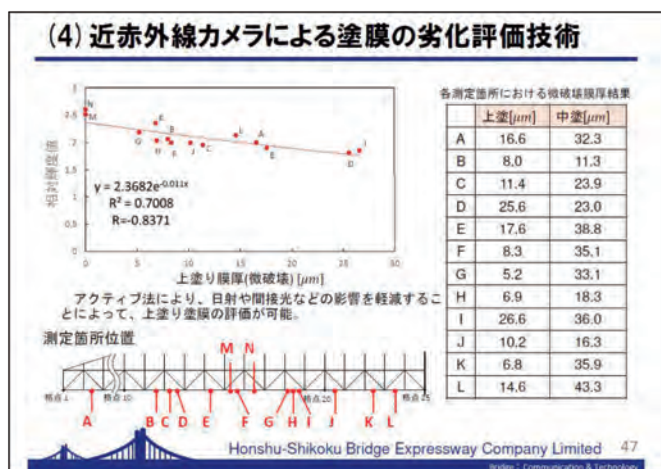
本州四国連絡高速道路 株式会社 長大橋技術部
西谷 雅弘 次長

略歴

- ・1986年：長岡技術科学大学 建設工学課程 卒業
- ・1988年：長岡技術科学大学 建設工学専攻 修了
- ・1988年：本州四国連絡橋公団 入社
- ・2004年：(独) 国際協力機構 (JICA) 長期専門家として、
バングラデシュ国道路庁に派遣 (～2006年)
- ・2012年：本州四国連絡高速道路 株式会社
経営計画室審議役
- ・2013年：トルコ国イズミット湾横断橋施工監理団に派遣
(～2015年)
- ・2018年：同社 坂出管理センター所長
- ・2020年：同社 長大橋技術センター次長 兼
診断・構造グループリーダー
- ・2021年：同社 長大橋・技術部次長 兼
総括・耐震・耐風グループリーダー

坂出管理センターにて、瀬戸大橋の運営・維持管理等を担当した後、点検・診断等に関する技術開発を担当。

現在、本州四国連絡道路の耐震強靱化に取り組むとともに、長大橋技術の知見や経験・ノウハウを活用した技術支援を担当。



ので、実用的な観点からどういうことに着目をして今後、技術開発を行っていくかということについて、もう一度考え直した上で、この技術の確立に向けて調査を行っていききたいと思っています。

4. まとめ

今回、4つほど技術開発途上のものもありますが、主に点検に関連する技術開発状況と開発成果といったものを紹介しました。当然のことながら、点検実施上のニーズだけではなく、業務全般にわたって、様々なニーズがあります。ニーズを確実に把握した上で、技術開発を進めていきたいと思いますし、また、異分野・他業種の皆様との連携なども考えてい

建設DXの基礎知識と今後の動向

2022年

東洋大学 情報連携学部 教授 曾根真理

まず最初に、50周年、本当におめでとうございます。それから、今日は、協会・鋼管杭の歴史を説明して戴いたり、鉄道における現代の技術、橋梁分野における最先端のDX関係の講演も戴きまして、非常に私としても参考になったところでございます。

それではこれから私の「建設DXの基礎知識と今後の動向」ということについて説明したいと思います。今回、基礎知識ということで、あまり最先端な話ではなくて、基本的なことを皆さんに説明しようかと思っております。それでは、本日なんですけれども、まず、最初は「DXの流れは止まらない」ということについて説明します。

1. DXの流れは止まらない

DXによってITユーザー企業へ変化する
DXの波に遅れてはならない。
DXによって人員不足を解決する

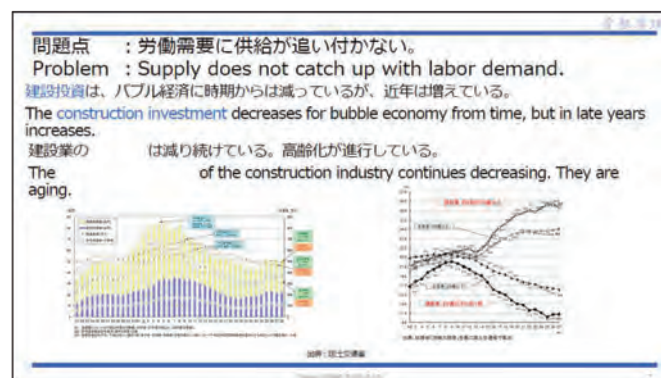
DXによってITユーザー企業へ変化する、DXの波に遅れてはならない、DXによって人員不足を解決する、みたいなことが流れになっています。最初に、ここの図を見てみましょう。上の方、左上は「Apple」ですね、真ん中は「LINE」、それから「富士通」もあります。こういう企業はIT企業と言われているですね。では、下の方へ行って、左下の方、「ZOZOTOWN」というのもIT企業ですよ。「ASKUL」も大IT企業です。「セコム」もIT企業になっています。ところが、同じIT企業でもちょっと違いますね。上の方の「Apple」とか「LINE」とか「富士通」というのはIT技術そのものを提供する会社です。それに対して「ZOZOTOWN」というのは洋服を売る会社ですね。「ASKUL」というのは文房具、事務用品を売ったりする会社です。「セコム」というのは警備会社ですね。そうすると、「ZOZOTOWN」や「ASKUL」や「セコム」というのもIT企業なんだけれども、よくよく考えてみると、こちらの方はITユーザー企業と言います。上の方をITベン

ダー企業と言います。それで、皆さん、これからここに参加されている方々も、このDXを導入することによってITユーザー企業へ変化するというのがこの流れになってきます。

次に、これちょっと古い資料（2019年、2年ぐらい前の資料）なんですけれども、まず、アメリカだと、もう既にICT取引が主役になっています。どういうことかという、例えば、この上の図が百貨店とか、ウォルマートとか、いわゆる従来型の店ですね。それに対して、この下が「Amazon」に代表されるような通販の売上げです。2019年の時点で、もうアメリカでは、いわゆる店で売っているような総合小売りに対して、もう通販が売上げを超えています。これ、日本でも同様の傾向なんですけど、やはり日本でも、この無店舗小売り（ここでいう小売りの売上げで、2017年までしかなくて、ちょっと古いんですけど）、要は「通販」がグングン、グングン伸びているということがあります。こうして見ると、日本でもこの傾向が続いているのがあります。

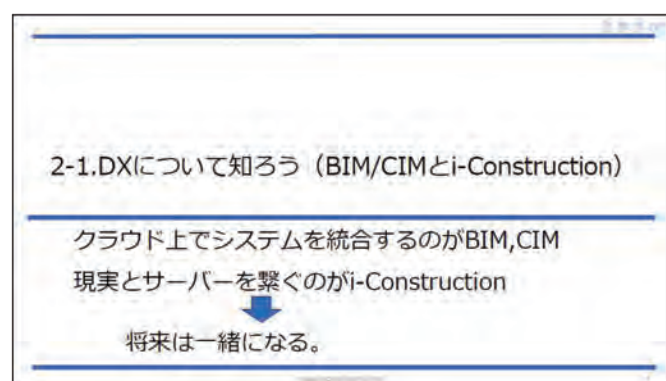
では、「実際、DXの対応に遅れると？」ということなんですけど、例えば、先ほどのアメリカだと、既に通販（ネット販売）が、こっちのリアルな販売を超えているわけですね。そうすると、実はもう、乗り遅れた企業としてよく挙げられているのが「トイザラス」ですね。「トイザラス」というのは、昔はものすごい。クリスマスの時期になったらみんな買っていたんですけど、それがなくなってしまいました。これは、なぜかという、結局通販に対応しきれなかったということなんです。こう見ると、やっぱり「トイザラス」もITを導入していたら違った結果になっていたかもしれないというのがあります。例えば、我々の身近な所でも、「TSUTAYA」ですね。「TSUTAYA」は昔、おそらく10年か20年ぐらい前は、ビデオを借りるんだったら「TSUTAYA」みたいな感じだったんですけど、今は街中で「TSUTAYA」を見ません。「TSUTAYA」と言ったら、今はTポイントの会社みたいになっています。こうして見ると、やはりITを導入するか、しないか、というところで、全然違う結果になっている可能性があるということです。

2つ目ですが、実際、これも、もう皆さん散々見てるとは思いますが、まず、建設投資で最近若干増えてきつつあるんですが、人員が減っているということです。



建設人口、就労人口は減り続けていて、高齢化が進んでいるというようになります。これに対して、どういうことが起きているかという、これは各業界がこういう技能継承についてどう考えているかということです。このオレンジというのが建設業、青が製造業、このグレーが全業種なんです。例えば、この建設業というのは技術継承に対してどう対応してきたかという、建設業は新規卒者の採用を増やすということで技能継承を行ってきました。しかしながら、製造業とか全業種で少ないわけですね。それから建設業だと中途採用を増やすということも割と一生懸命行ってきたということになります。ここにいる皆さんも割とそういう対応をしていると思います。

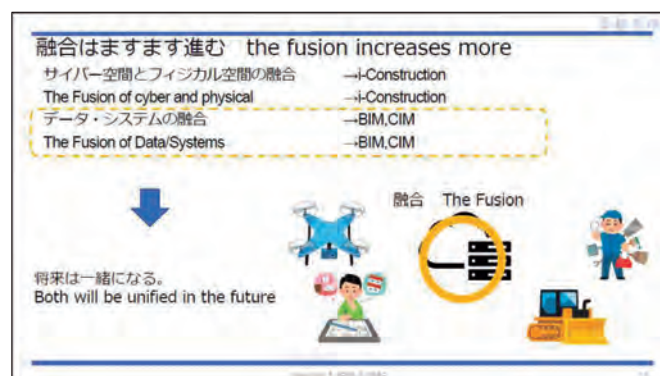
ところが、製造業、特にどうしているかということなんです。こちらの方が製造業の特徴になってきます。つまり伝承すべき技能・ノウハウなどを文書化する、データベース化・マニュアル化するということが（建設業はこれじゃなくて、新しい人を雇っていたんですが）。この製造業は、こういうマニュアル化とか文書化をしたりしています。それから高度な技能・ノウハウなどが不要なように、仕事のやり方や設計を変更するということが、技能・ノウハウなどを絞り込んで伝承するというようなことがあります。こういう対応というのは、大事な話でして、実際、私も大学の先生をしていると分かるんですが、学生は建設業に行きたがらないです。やっぱり、今の学生、特にうちの学部はそうなんです。IT企業に行きたがるんですね。建設業にするにしても、やっぱり外で作業するよりは室内で、例えばBIMとかCIMをやりたい。そのように考えていくと、こういう新卒の採用を増やすとか、中途の採用を増やすというよりは、仕事の仕方を変えていくことの方が、現在は主流になりつつあります。ということが、これがDXをしなければいけないという背景になります。



次に、DXについて、簡単に説明しようと思います。まず、BIMとか、CIMとか、よくあるのがi-Constructionですね。これがどういうものなのか？ということを中心に簡単に説明したいです。今だったら、こういうふうに建設分野において、DXが色々行われています。ドローンレーザーとか、BIM・CIM、RPA、画像解析、センシング、IoTなどがあるということです。

では実際に、イメージとして、どういうことなのかを簡単に説明します。まず、BIM・CIMというのは、大体イメージ

としてどうなるかという、こういういろんなデータがクラウドに乗っていて、それをいろんな人が融合する、統合するみたいなのがBIM・CIMのイメージになります。どういうことかという、今だったらGlobal BIMというのがあって、これは、実は情報の世界でいうとクラウドと言われるものなんです。クラウド上にデータを置いて、いろんな所から、そのクラウド上のデータにアクセスしてそれを変更するみたいな作業になってきます。これが良いのは、クラウド上には色々なデータがありますから、このデータを使って、色々なことができるようになっていくわけです。



この例だと、クラウド上にあるCADデータを使って、「風」の計算をするとか、色々な合意形成の時に、クライアント（施主）に建物を見せたりするみたいな感じになります。あと、色々なチェックで、不整合をチェックするなんていうこともできます。つまり、建設業界でいうとBIM・CIMという言い方をしていますが、情報の世界でいうと、これクラウド化ですね、クラウド化だと思ってください。これがBIMと言われるものです。こういうものが、データを色々なクラウド上で、融合していくというのがBIM・CIMのイメージになります。

一方で、よく皆さんi-constructionなんて言われていますね。i-constructionというのはどういうイメージかという、これは、ここにあるサイバー空間ですね。あと、フィジカル空間を融合するというのが、i-constructionになってきます。どういうことかという、例えばドローンで測量します。そのデータをクラウド上に入れる、融合するということです。これも建設機械のi-constructionで、これだったらブルドーザーを動かすのも、こうやって動かすと。つまり、情報の世界（バーチャルの世界）とリアルの世界を融合していくみたいなことが、i-constructionになってきます。

よくあるのがこういうものですね。これも国交省のICTのホームページに載っていますが、こういうところですね。建機を自動で動かしますよという、このデータを動かすのはクラウドが動かすと。それから、こういう色々な施工もあります。今度は逆に、トンネルとかを掘っていく時に、トンネルの地盤をクラウド上で診断して、それをこれに投射するみたいなことがあって、これはバーチャルからリアルに投影していますね。こっちはリアルからバーチャルの方にいくみたいな形です。つまりi-constructionというのは、どちらかというと、リアルとバーチャルとを結ぶみたいなことになってきます。ただし、これは今、そう言っているだけなんで、将来

これ一緒にになります。だから将来は全て基本的にデータがクラウド上で統合されていって、かつそれぞれのBIM・CIMのデータが、このリアルでの各種色々なi-constructionみたいなデバイスとつながっていくという、将来はこれ一緒になっていくというものです。しかしながら、今はちょっとこんな感じで分かれているというだけなので、だからいずれこのi-constructionとかBIM・CIMとかそういった言葉もそのうち私はなくなっていると思っています。もうつまり当たり前の話になってしまうという感じです。



次に、DXの採用技術は異なるということについての説明をしたいと思います。よく皆さんもIT系の会社と相談すると、結構話がかみ合いません。(私は、もともと土木屋で、最近、情報の業務をやっているんですけども) IT業者と建設業者ですね、話をしているんですけど、実は「全然かみ合っていないよ!」みたいなことがあります。で、こういうことについて簡単に説明します。

これは典型的な例ですけれども、例えば舗装道路の損傷をAIが判定するみたいなことが最近よく行われています。こうやって見ると一見同じに見える舗装の維持・管理・点検、でも中身は違うということです。どういうことかという、例えば、高速道路会社ですが、これは非常に高度な維持管理を行います。それに対して地方自治体では、点検コストを削減するというようなことが結構重要なテーマになってきます。よくよく考えてみると、高速道路には高いレベルの維持管理が必要になってきます。例えば東名ですけども、こんな感じで非常に、(ちょっとこれは渋滞しているんですが、)非常に高度な道路の維持管理レベルが必要になってきます。



それに対して地方道では、このように維持管理コストを下げるということが重要なことになってきます。こうやって見

ると、どういうふうになるかということなのですが、高速道路だったら、まず水平方向の轍を測定したりするとか、進行方向のひび割れ、縦断方向の断面の測定といったことをします。それに対して地方道だと、舗装が剥がれているか、剥がれていないかみたいな、同様にもう壊れているか、壊れていないかみたいなことを判定します。つまり高速道路と地方道路で求められる水準が違うということです。

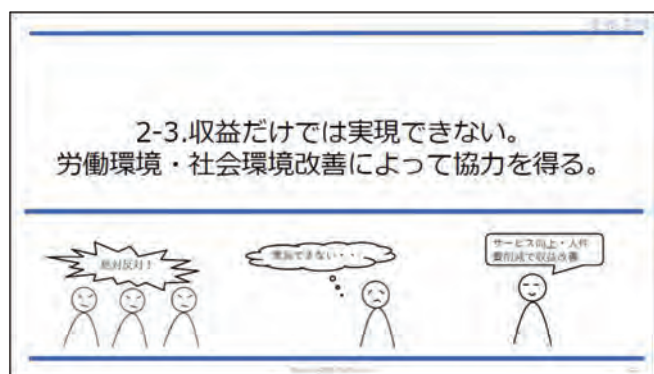
では今度は、高速道路でいうと、実際にはこういう専用の、何千万もするような専用の車両を使って点検を行います。それに対して地方道レベルでいうと、このドライビングレコーダーみたいな感じで、ビデオをフロントガラスにつけて、それで路面を撮影すればいいぐらいの感じになります。つまり、これも全然同じ舗装道路を診断するといっても機械が全然違います。値段もコストも違います。それから、それをこういうふうに解析する時も、例えばこの轍、縦断方向の轍だったら、こんな感じで実際、調べたりしますね。これがレーダー、今だとレーザー測量、ライダーを使ったりします。それに対して、これは画像診断を使って、ひび割れを作ったりする、これも画像診断AIを使ったりします。それからこれは進行方向での流れなので、同じく重力加速度を使ってやるみたいなことをします。それに対して地方道レベルだと、ビデオ画像で大まかな、この割れ目がAI使って解析できればいいやみたいな、こんな感じになります。

そうすると、これで結局どうなるかということなんですけれども、こういう高速道路会社は非常に高度な維持管理を行うことが目的なので、非常に高度な管理を行っています。それに対して地方自治体は点検コストを削減するということがあります。こう見ると、例えば、高速道路会社では、この車両自体が何千万もかかります。このシステム自体も開発するのもっと何億ってかかったりします。それに対して地方自治体レベルでは、この機械(ドライブレコーダー)をつけるだけですから、5~6万円かかったりすると。それから、このAIがいろんな舗装の場所を計測したりするのもかなり汎用化しているので、数百万レベルですみたいなことが出たりします。

こうして見ると、同じものを、一見同じに見えるんですが、実は全然違うということがあります。こういうのが、実際に見ると、一見同じでも最適な手法は異なるということです。舗装道路の損傷をAIが判定するみたいなことがあるわけですね。だけど、要請レベルは異なる、必要なプログラムは異なる、予算も異なる、ということなので、例えば高速道路会

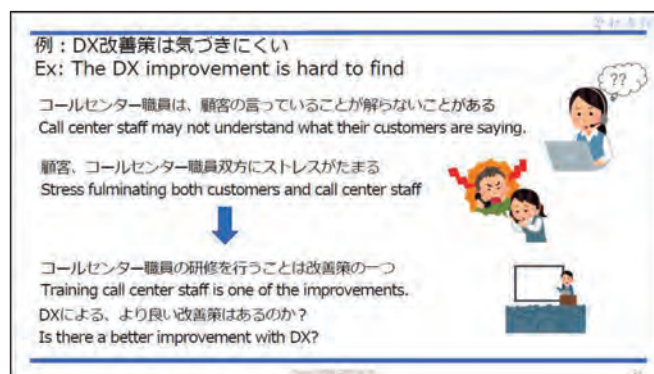


社にAIが得意なIT業者が、「我々が××県庁に納入してAIが判定しますよ」って言うても、高速道路会社の人にしてみると役に立たない、みたいな感じになります。逆に、××県庁の人が、こっちのIT業者が「いや、うちは高速道路会社で導入して、すごい実績がありますよ」と言うても、××県の人には「値段高過ぎ。」みたいな。そもそも「コスト下げたいのに、高いシステム売らないでよ！」って思うわけです。このように見ると、同じ損傷でも全然、お互いが全然話が通じていないということがあります。お互い、こっちは「いや、AIで舗装を判定しますよ。」、こっちは「AIで舗装を判定しますよ」って言うても、全然話がかみ合っていないということが割とよくあります。こういうことがあるので、気をつけましょうねということです。



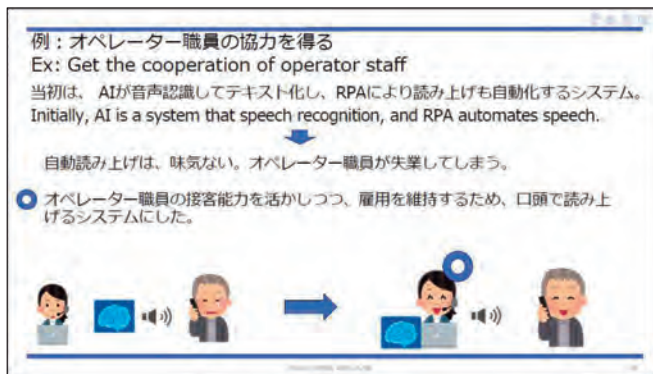
次に、もう一つ、やはりDXをする時、導入している時に色々気をつけないといけないのは、収益だけでは実現できないということです。労働環境・社会環境改善によって協力を得るというのがあります。例えばよくあるのが、どこかの会社でDXを導入しようというわけです。それでRPAとIT系の業者が「これを入れると、サービス向上して、人件費削減で収益改善しますよ。」と言っているわけですね。ところがこういうのに対して、今まで働いている人が、自分たちがクビになるのでは困るということで「絶対反対」なんてことになったりします。この間に立って、DX担当者が、「どっちにすりゃいいのかな？」みたいなことになるというのもよくあります。では、これをどうやるか？ということも説明していきたいと思います。

最近のDXで一番典型的に進んでいる例というのがコールセンターです。最近のコールセンターは非常に良いんですが、昔はコールセンター職員って、例えばカスタマーサービスでもお客様が言っていることがよく分からないことがあったりします。こんなふうですね。それに対して、このカスタマーの方は、このコールセンターの人が自分の言っていることが分からないと怒っちゃうわけですね。可哀想なことに、こういう人はクレーマーなんて呼ばれたりします。だけど、別にこういう人も困っているから電話していて、お互いに話がイマイチ通じないから、この人は怒りだして、最後はクレーマーなんて言われたりするわけですね。そうすると、顧客やコールセンター職員、双方にストレスがたまると言うことになります。

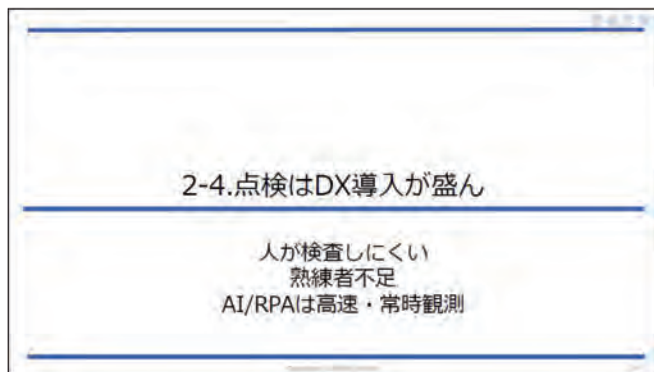


昔はどうやって対応していたかということ、コールセンターの職員、「お客さんを怒らせないように丁寧な電話の仕方をしましょうね。」とか、そういうことをやっていました。だけど、よくよく考えたら、DXによって最近は良い改善策があるのではないかとということで、DXによって大幅に改善されています。どうしているかということ、最近、皆さん、コールセンターに電話すると、最初に向こうの電話が「お客様の音声は応答精度向上のため録音させていただいております。ご理解とご協力をよろしくお願いします。」とかいうのが出てくると思います。これは何をやっているか？ということなんですが、皆さんが電話をすると、実は音声認識AIによって、言葉を文字にしています。どういうことかということ、実はコールセンターの職員さんって、今は皆さんの話はほとんど聞いていないです。ここに、こうやって言葉が出てきて、この言葉を見ているだけです。それから、これに対して、基本的にこうやって答えたらどうですか、みたいな答えのアイデアが出てきます。あとで説明しますが、これはRPAというのが論理を判断して応答を作成する、というようなことがあります。こうやって見ると、コールセンターの業務の改善化に非常につながっています。今は本当にコールセンターの応答精度かなり上がってきていて、ここ3年か4年の間にものすごく精度が上がりました。これは、今では、ほぼコールセンター標準装備みたいな感じになっています。

これがオペレーター職員の協力を得るという形なんですが、当初はAIが自動認識してテキスト化して、RPAにより読み上げも自動化するシステムというのを、開発会社の方が提案していました。つまり、テキストで、今でも分かると思いますが、テキストを機械で読み上げるって簡単な技術なんです。だから最初はこういうふうにした方がいいんじゃないのって提案していたんですが、これだとオペレーターは失業してしまうんですね。オペレーター職員がものすごい反対していました。一方で、聞いている方も自動音声でやられると味気ないというか、頭に來ますよね。例えば、皆さんも、やった時に、最初はちょっとむかつく（ムカツと来る）のが、例えば「ご用件をお聞きます。〇〇に関する場合は[1]のボタンを、△△に関する場合は[2]のボタンを。」とかって、あれやられるとちょっと頭に來ることがありますよね。やっぱり、自動音声の読み上げって味気ないんですね。一方で、オペレーター職員も失業すると。ここでどういうことをしたかということなんですけど、オペレーター職員が接客能力を



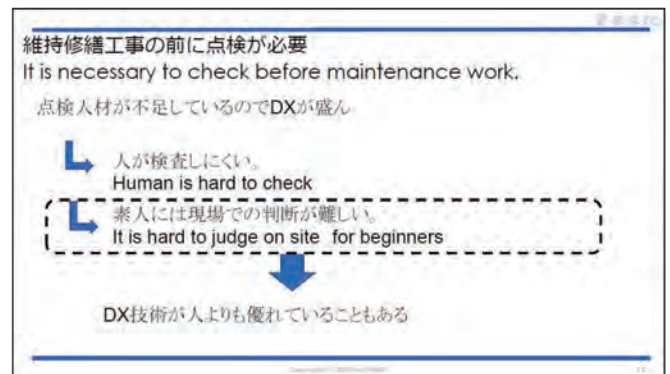
活かしつつ、雇用を維持するため、これを口頭で読み上げるような方式にしたということです。そうするとお互いに、オペレーターの職員にしてみれば、この顧客が何を言っているか分からないというところについては、AIが判定してくれますと。それで顧客の方は、機械が読み上げて非常にぞんざいに扱われているような感じがするということがなくなって、人が読んでいるから良くなった。これがお互いに良くなったということです。つまり、こういうふうにお互いが簡単に、単純にやるんじゃなくて、やっぱり最適な方法というのが、それなりに工夫がいるということです。



次に、先ほど「本四」の例が出ていましたが、今、点検分野でDX、非常に導入が盛んになっています。これはどういうことかという、人が検査しにくいとか、熟練者が不足している、それからAI・RPAは高速・常時観測みたいなことがあります。簡単に説明します。まず、維持修繕工事の前に大体点検が必要ですね。それで、点検人材が不足しているのでDXになっていると。一つは、例えば人が検査しにくいなんてことがあります。

先ほどの「本四」の例で言えば、非常に危険ですよ、人が検査するのは。そういったところでは、こういうことがあります。下水管の場合にも、こういう下水管の中の検査の時には、下水管の中って実は亜硫酸ガスがあったり、あと歩くと下に釘とかがたまに入っていたりして、ケガをしたりすることがあります。そういった色々な、これは非常にきれいな下水管ですが、結構尖ったものがあったりするとケガしたりします。こういう様々な危険があるので、人が入りにくいということで、下水管の調査ではドローンを活用しています。これは、たまたま飛行式のドローンですが、実際にはクローラー式ドローンも使ったりしています。こういうふう、検

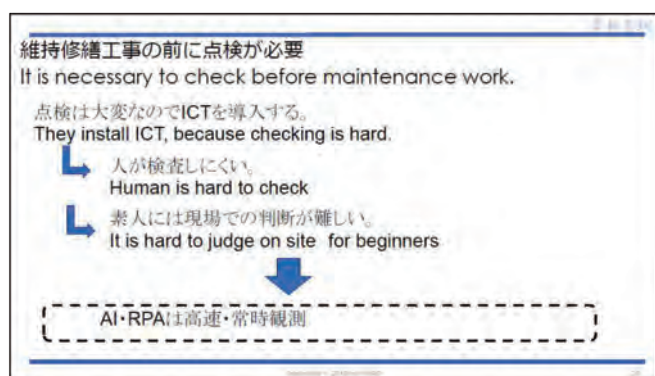
査しにくい所に人が入っていく、みたいなことがあります。それから、先ほどの橋梁ですね。これは打音検査ですけども、打音検査も何年か前はちょっとイマイチだったんですが、最近かなり精度が上がってきています。こういうふうに橋で打音検査をするみたいなのがあります。これは電力会社ですね。例えば何年か前に台風で電線が切れたとか、よくあるのは雷でボーンと落ちて停電になるみたいのがくるわけですね。そうすると、こういう高い所で検査するのがすごい大変なんです。次の日じゃないとできないです。ここ、はっきり言って、この線が夕方に雷が落ちてこれがおかしくなったら、その日、その夜、深夜、頑張って、みんな努力するんですが、すごい辛いです。これらも、このドローンで送電線を点検するみたいなことも行われています。だから、落雷直後に送電線を迅速に点検するのは非常に大変だということです。こんな感じで、人が検査しにくいとか、そういった所でDXの導入が盛んに行われているというのがあります。



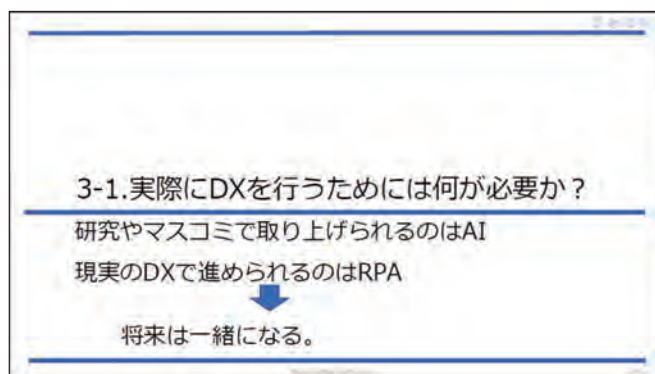
次に、素人には現場の判断が難しいというのがあります。これはどういうことかという、これよくあるんですが、水道ですね、水道のメーターを管理する時に、水漏れのチェックをします。水漏れのチェックをする時に（ちょろ、ちょろ、ちょろって）水道局の（囑託の）職員さんが、ここにこういう針みたいのがあって、ここから音を聞いて、水漏れの検査をしていました。で、これも熟練技術者だったらできるんですが、今はもう、こういう技術者がどんどん不足している状況だと、これを新人に教え込むだけの時間がないというようなことがあります。先ほどの、例えば建設業でいうと、新卒を採用するっていうのが今までの主力だったので、こういうのを教え込んだりしようとしていたんですが、それよりは方式を変えた方がいいんじゃないの？ということです。こういう時にAIを使うということです。つまり、これも音で、音のパターンを、これが正常な音に対して水漏れしているとこんな音になって、これが周波数とこれがデシベルで、（正常だと）こんな感じになっているのが、（水漏があると）こんなふうになるので、これで水漏れを検知できるみたいな形になります。こういうふうになると自動でAIが判定できるということで、AIは音声の波形から異常を検知するみたいなのが出てきます。こういうのが、非常に素人での現場の判断が難しいってことですね。あと、例えば、打音検査も、建設業界の方は、こういう橋脚の打音は聞いた瞬間に分かるだろうと思いますが、実はそれが初めての人だと、聞いた瞬間に分か

らないことがあったりします。だから、こういう打音検査も、こういう意味でいうとAI化していく、なんていうのは非常に重要な話になっていきます。

それから、これ以外にもAI・RPAというのは高速・常時観測みたいなものがあります。これはどういうことかという、先ほどの、舗装路面のひび割れの状況をチェックする時に、車（ドライブレコーダーみたいなもの）で、路面をずっと計っていくと。ずっと計ってきて、ビデオを撮ってきた後、こういうAIを使ってひび割れを解析するとGPS付きだとかいうふうに、ここに赤いのが、「こういうのが、実際に危険なところがありました！」ってパッとできてしまうわけですね。これを実際に人がこうやって検査しようと思うと、1回1回やって、「ここはダメ、ここは良い、ここはダメ。」とか、チェックしていくわけですね。で、これなんかは非常に高速にできるというのがあります。



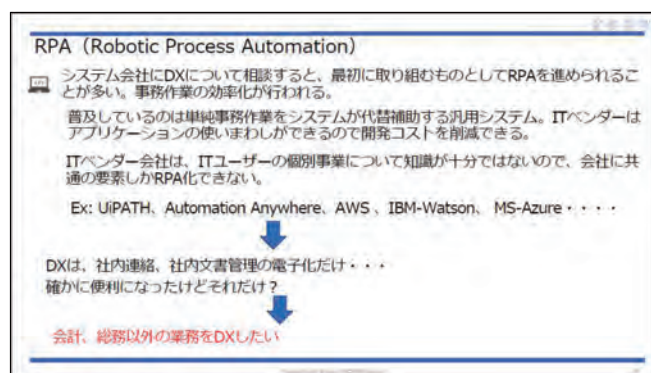
こういうところは、AIだと高速に判定できる場合もあるということで、そういうのは利点としてあります。それから、例えば24時間、先ほどの水道の水漏れチェックだったら、水道局の（嘱託の）方がいろんなチェックをするんですが、全部見るのは大変なんで、数年おきに実施するのが一般的でした。ところが、こういう計測機器を設定して、自動計測するようになると、ほぼ24時間、検知することができるような形になってきます。こういうふうにAI・RPAでは高速・常時観測というのが可能になるということで。



ただ、一方で、点検できないこともあるし、良い所だけ述べているので、そうじゃない所も当然あります。だけど、とりあえず、こういう所があったりするという事です。こういうふうに、非常に、維持管理の分野では今後、DXが盛んになってくるんじゃないかと思っています。

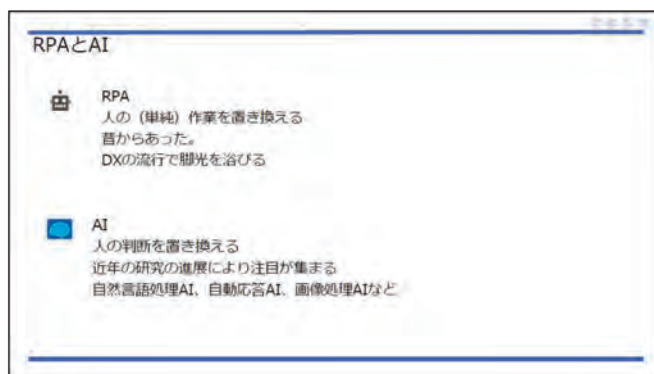
次に、実際、じゃあ皆さん、DXを行うために何が必要かっていうことなんですが、いわゆる研究やマスコミ。先ほどの「本四」の例では非常にAIを使っていましたが、研究ですね。マスコミで取り上げられるのはAIです。例えば、よく「NHK」でシンギュラリティとか言って、人間を超えとか言っているのはAIです。実際にはRPAと言われているものが使われています。RPAも30年ぐらい前はAIって言われていたんですが、今は画像解析とか、「ニューラルネットワーク」を使っているのがAIと言われるようになってしまったので、こういう古いタイプのAIですね。今はRPAと言われています。これも将来一緒になるんですけども、どういうのかっていうのをちょっと説明していきたいと思います。

RPAって何かっていうと、「Robotic Process Automation」と言われている、会社でよくシステム会社にDXについて相談すると、最初に取り組むものとしてRPAを進められることが多いと。よく事務作業の効率化に使われています。普及しているのは単純事務作業をシステムが代替（補助）する汎用システムで、ITベンダーはアプリケーションの使いまわしができるので、開発コストを削減できると。ただ一方で、ITベンダーというのは、ITユーザー個別の事業については知識が十分ではないので、会社に共通の要素しかできないというわけです。結局、何をやるかということ、DXをしようと思ったら、社内連絡とか、社内文書管理の電子化だけみたいになってしまいます。確かに便利になるかもしれないけれど、それだけ？みたいな感じがあるわけですね。この時にどういうふうに使っていくかということについて説明します。

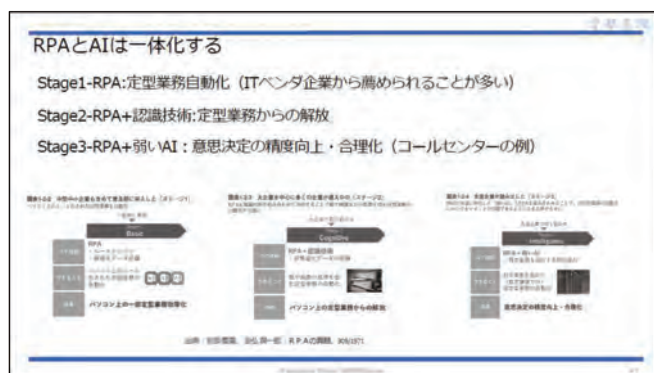


先程のRPAって何かというと、昔からあった、人の単純作業を置き換えることです。ただし、今、DXの流行で脚光を浴びているのはこっちです。AIというのは、人の判断を置き換える、近年の研究の進展により、注目が集まったりしています。自然言語処理AIとか、自動応答AI、画像処理AIとか。先ほどの「本四」の点検ではこういうのを使っていましたね。この自動応答AI、自然言語処理AI、（自動応答AI... 自動応答はしていないですが、）さっきのコールセンターは、その一例になっています。これがどういうことなのか？将来的にはRPAとAIは一体化します。

第一段階、どういうものかということ、定型業務の自動化。これは大体ITベンダー企業から進められることが多いです。例えば、事務作業ですね。色々な効率化とかそういうのですね。パソコンのルールとか、色々なことを一定化する感じの

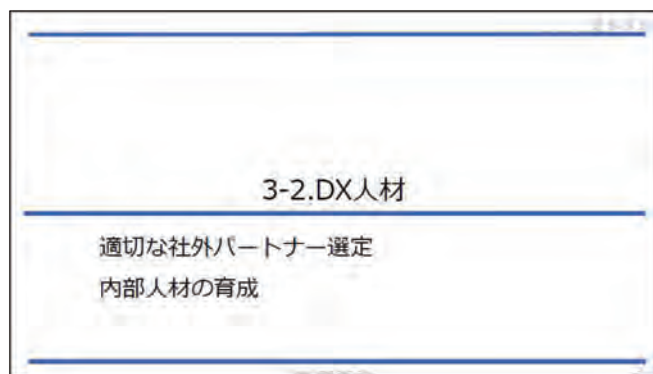


話です。それに対してRPA + 認識技術ということで、若干、定型業務からの解放ということになります。どういうものかという、色々な手書きの文章を機械に入れるみたいな時によく使われています。皆さんもOCRソフトというのを使ったことがあると思うんですが、手書きの文書とか、印刷された文書をテキスト化するようなソフトがあります。ああいうのを使って、例えば銀行が色々な申込みとか、色々な大量の手書きの申込みを受け付ける時に、一度OCRソフトを使ってテキスト化して、それを使って色々な業務を自動化するみたいなのが、大体ステージ2ぐらいのものです。それから、弱いAIとは何かというと、先ほどのコールセンターの例ですね。人がしゃべっているのを見て、テキスト化して、それに対して自動の案を作ってみたいな感じで。これが、今までは、通常だったら、ここでデジタル入力していたのが、OCRで入力すると。こっちは自然言語処理AIを使って入力するみたいな感じで。このRPAというのは、こういうふうに、段々段々、進化していくというのがあります。今だと、おそらく普通の企業では、ITベンダー企業から最初にこれを薦められ



ます。これだと「はあ？」みたいな感じですね。我々がさっきのコールセンターの業務みたいにやりたいと思っているのは、ここら辺ですよ。あと、点検もそうですね。点検も画像処理AIを使って、こういうデータに入力してくれて、それを基にして発注文書ぐらいまで作成してくれるみたいなのが、ステージ3、RPA + 弱いAIみたいな感じです。こんな感じがあるので、イメージとして、やっぱりいろんな段階があるんだということも理解しておいてください。

では実際にDXしようと思ったら、どういうことが必要か、ということになってきます。まず一つは、適切な社外パートナーを選定すること。あと、内部人材を育成しないと



いけないです。これはどういうことかということ、建設会社と同じようにITベンダーも業務が細分化されています。例えば、鋼矢板とか鋼管杭の方々がいると思うんですが、施主（建物を造ったりする人）がゼネコンに発注するわけですけども、杭を皆さんが打つなんてことは知りません。逆にいうと、例えば、鋼管杭・鋼矢板技術協会の方で、例えば親戚に「最近、建設業界に勤めているんだよ」なんて言ったら、その親戚が「じゃあ今度、私の家、建て替えるから、そちらにお願いしようかな」なんて言われたりします。だけど、鋼管（杭）を打っている人が戸建て住宅を建てられるわけじゃないですよ。このように、実際にはIT業界も業務が非常に細分化されています。だから、全然見当違いな依頼をしていることが結構多いです。そういうことも理解して欲しいです。

どういうことかということ、これ以外にもいろんな種類があります。でも、やはり、RPAベンダーといわれるのは、自社サービスの仕様や事例について、よくいわれているのはMicrosoftとかAmazonはこういうのだったりしますね。そのベンダーサービスですね。RPA代理店というのは、いわゆる販売店ですね。販売店で色々なものを持っています。SIer、昔はシステムインテグレーターと言っていたんですが、委託を受けて、社内の色々なAIシステムや電子化を受注して、社内用にカスタマイズするみたいなことをやっています。それからコンサルタント、これは色々な相談に乗ったりします。私がこれです。私がもしやるとなったらこれになります。そうすると、私だったら（私の場合）専門ノウハウがありますが、実際のオペレーション能力がないです。どういうことかということ、私は一人しかいないので、プログラムを作ったりはできないので、（私だったら）皆さんと相談しながら、このSIer（要するにプログラム）、色々な人材派遣という所に協力したりします。つまり、実際にはほとんどの業務を発注しようと、（皆さんも分かると思いますが、）例えば、建物を造ってほしいと言ったら、ゼネコンが全部造るわけではないんですね。色々な専門の会社が、寄ってたかって造るということになります。実はシステム開発というのもそういう状況になっています。なので、間違った所に発注したりすると、全然違うことになったりします。だから、そういう意味で、ちゃんと社外パートナーを選ばなくてはいけないということもあります。

空性法理

建設会社と同じで、ITベンダも業務が細分化されている。

RPAベンダーであれば、自社開発したRPAシステムを他者に売り込もうとする。

ex:自治体用に開発した舗装劣化診断システムをNEXCOでも使ってほしい。

タイプ	強み	弱み
SPA・SPA+	自社サービスの仕度や事例に精通している	自社製品のみに関連性が限られる
SPA+1F以上	複数のパッケージを販売する場合はノウハウや選定経験が豊富	企業戦略、体力にばらつきが大きい
SaaS	SPAのオカスカマイズや、SPA以外のシステム連携にも対応可能になる	海外ノウハウがあるとは限らず、業種・業種ごとの得意にばらつきが大きい
クラウド	専門分野に依り、SPAなどの強みを磨きながら	海外ノウハウがあるとは限らず、業種ごとの得意にばらつきが大きい

出典：通称主、「いばんやせしん」の戦車、人気漫画が教える知識のための学習自動化ノウハウ、「いばんやせしん」戦車」シリーズmin/19

次に、実際、最近の日本でも、よくあるのは何かというと、例えば、ユーザー企業の要請に応える能力を身に付けるって感じなんですけれども、ユーザー企業、例えば建設会社（〇〇鋼管でもいいですけれども）ですね、そういう所に例えばIT担当者がいたりします。そういう人はどういう所に問題があるかということ、提案力に乏しい、業務に関心が薄い、AIやIoTなどに対する知識が足りない、などです。これ、よくよく考えたら当たり前なんですけど、例えば、どこかの（建設）会社で、IT××室長とか、IT担当部長を作ったりします。例えば、ソフトウェアのプログラミング会社からその人を引き抜いて、こういう所の部長に据えると、その人はコンピュータのこと、システムのことしか知らないですから、建設のことは全然知らないです。

愛非羅路

ユーザー企業のIT部門では、1.提案力に乏しい、2.業務に関心が薄い、3. AIやIoTなどに対する知識が足りない、が課題。

In the IT department of the user company, 1. , 2. less interest in the work, 3. lacks of knowledge in AI or IoT are problems.



「DX提案力」と「業務への関心」、「ICTの知識」が必要
Both "DX proposal power", "interest for project" and "knowledge of ICT" are necessary.



出典：日経コンピュータ20180301

卷之五

- ### 1-1. DXの流れは止まらない

DX導入の進め

- 2-1. DXについて知ろう
- 2-2. DXの要求水準は異なる。
- 2-3. 収益だけでは実現できない。
- 2-4. 点検はDX導入が盛ん

- ・ 本来業務を見直す、ITについて知る

- 3-1.実際にDXを行うためには何が必要か？
3-2.DX人材

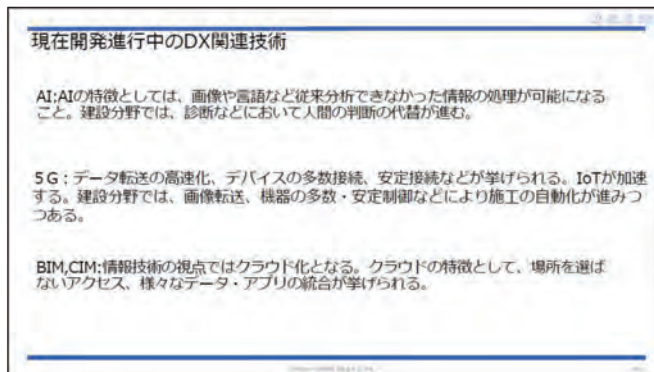
結局は人

だから、すぐできるっていうものでなくても、人材をどんどん育てていかなければいけないのかなと思っています。私もこういうことができるようになるまでに2~3年かかりましたから。ということで、こんな感じで、DXの流れというのは、結局は人ということです。ここまでが、実際DXを導入した時の話です。

では、今後、DXは、どういう方向に進んでいくんだろうかということを中心に説明していきます。今、関連技術としては、大きくAI、よくあるのが5Gですね。5Gも全然変わってきます。それからBIM・CIMもこうやってあったりします。まず最初に、AIだと、最近は画像処理AIや言語処理AIが結構進んできたので、先ほどの「本四」の診断などにおいて、人間の判断の代替が進んでいくということが予想されます。5Gではどうかというと、データ転送の高速化、デバイスの多数接続、安定接続などがあります。これによってIoTが加速していくということです。建設分野では、画像転送、機器の多数・安定制御などで、施工の自動化が進むと言われています。それからBIM・CIMはクラウド化ですね。クラウド化で場所を選ばないアクセス、様々なデータアプリの統合が挙げられます。

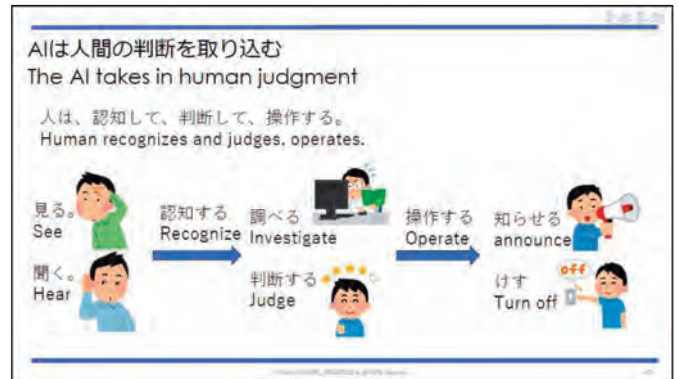
これを簡単に説明していきしたいと思います。まずAIなんです、AIというのは、まず人の判断を取り込むということです。人は（それを）どうやってやるかという、見たり聞いたりして、「あ、あそこにひび割れがあるな！」と認知したりします。それに加えて、例えば色々な技術基準を見たりして、「あ、こうしよう！」と判断するわけですね。その結果、「ひび割れが発生しているので、オペレーターを派遣して、直してください！」って知らせるようなことをします。それ

に対してAIは何をするかということなのですが、最近だとウェブカメラみたいなので見たりします。それからマイクで聞いたりします。これで認知して、要するにここで、ひび割れがあるよって認知する。それから、人（クライアント）が、何か困った中身を認知するというのがあったりします。それに従って調べて、何々類とか、基準類を調べたりして、判断して、こんな感じで、「ここにひび割れがあるので、ここを修復してください！」と言って教えたりするとか。ここにTurn offとかTurn onとかこういうのがあったりします。こういうのが、AIの、人の判断を取り込むということです。



最近進んでいるのは何なのか？ということなのですが、一番最初の（初期の）、今から1950年代とか60年代のものは、アルゴリズムが生まれたということです。この段階ですね。これは要するに一番簡単なプログラムですね。いわゆるif構文だと思ってください。それに対して1980年代、90年代ぐらいには、エキスパートシステムというのがあって、これはこの「操作する」という所の効率を上げていった結果になります。これが、80年代、90年代、エキスパートシステムとかと言っていたんですが、今はRPAって名前になっています。こんな感じになっています。では、今、何をしているかということなのですが、今は先ほどのいわゆるビッグデータを使って。何かというと、バイズ統計と言われているものがあります。これが、ここになります。

どういうことかということ、色々なビッグデータで、ものすごい量をいっぱい調べるんですね。それによって判断するみたいなのが、関連付けのAI、バイズ統計というのをやってるものがあります。それから、先ほどの「本四」の例で一番イメージしやすいですが、教師付き学習で認知力が上昇していると。つまり、今までだったら単なる、ワイヤーの写真だったらワイヤーの写真を送るだけだったんですが、ワイヤーの写真の中で、ここが危ないですよみたいなことを認知すると。それから舗装塗膜の剥れ状況について、遠赤外線とか使いながら、ここがどうも危険ですよ、みたいなことを認知するというのがあります。こういうのが（今の画像処理）AIとかです。いずれは、深層学習などに進んでいくんだと思うんですが、今はこんな感じでAIが使われています。だから、少し前はここだったんですけども、今は、こことここが一気に進んでいるというのがAIの状況になっています。



次にIoTについて説明したいと思います。よく皆さん、LANとかWANというのを会社の中で使っていると思います。WANとかLANって何かというと、この会社の中だけで通じるネットワークを作ったりするというのがLANです。こういうのがIoTの非常に典型的な例なんです、こういうのができます。それで、LAN、WAN、VPNってどうなっているかということなのですが、まずLANというのは、このインターネットではなくて、会社の中だけで色々つながるようなネットワークがあって、それがLANになります。

WANとは何かというと、これはよく「NTT」がやっているような、いわゆるWANっていうのは、ローカルではなくてワイドになっているだけなので、「NTT」などがそうですね。「NTT」はそれぞれ専用回線を使っている、インターネットには、例えば皆さんの自宅からインターネットつながるかもしれないですけども、実は「NTT」の基地局があって、その先にある「NTT」のデータセンター経由でインターネットにつながっています。つまり、「NTT」のデータセンターから内側というのは、専用回線を使って範囲は非常に広いんですが、インターネットのつながるものの内側、これがWANと言われているものです。

VPNというのは何かというと、「Virtual Private Network」と言われているものなのですが、これはインターネットに接続するんですけども、このインターネットの中、この疑似的に通常の社内のアクセスとか、社内のLANとかにパスワードを使ってデータにアクセスしたりするというのがVPNと言われているものだったりします。VPNがよく危ないって言われているのはなぜかということ、ここでパスワードとかがバレてしまうと、入られてしまうというのがあります。VPNというのは何かというと、1回インターネットを使って、インターネットというのは、色々な人が、誰がどうやって入って来るかよく分からないんですね。だからこの情報が取られる可能性があって、それがVPNの弱さと言われています。

これがいろんなネットワークなんです、これが5Gによってどう変わるかということです。5Gでは、大きく変化することが予測されているんですが、今、5Gと呼ばれているのは何かというと、高速大容量通信、これは娯楽系サービスの話。超信頼・低遅延通信、これは安全性能向上みたいな。多数同時接続というのがあって、これが主に建設業界で主に関

係してくると思います。先ほどのネットワークの話ですね。こちらが5Gなんですが、どうなるかという、まず(急遽作ったので分かりにくいですが)、5GというのはWANを強化します。どういうことかという、今、WAN(ワイドエリアネットワーク)を使っているのは「NTT」とか「ソフトバンク」とかの通信会社なんですが、それを専用回線で使うので、非常につながる範囲が広がるということです。何かというと、まず、皆さん会社の中でLANが無線で接続しているとすごい便利ですよ。だけど、何であれ、外で使えないかという、会社の中でWi-Fiでしかつなげないからなんですね。ところが、多数同時接続は、外でも、外の基地局を通じて色々な建設機械とかとつながることができます。無線で。それが非常に強力になります。つまり会社の中でLANやWi-Fiを使って、外でもこの基地局経由で機械がつながるとするのがこの多数同時接続になります。それから、このWANを使うので非常に広がります。極端な話、例えば、東京で北海道の建設機械を動かすことができるということです。つまり、北海道にある建設機械が基地局経由でつながって、インターネットを使ってということですね。

それに対して、WAN、他にも例えば高速のこの画像とか、高速の大容量通信ということなんですが、先ほどの画像解析の例がありましたけれども、画像を高速に転送することによって、制御することによってAIが非常に強くなるということ。それから、あとはこの超信頼、超低遅延って何かというと、建設機械が途中で止まったりしたら。会社でも、LAN、Wi-Fiを使っていると通じなくなったりすることがあります。そういうのが超低遅延ということによって、ずっとつながりっぱなしになって、高信頼になるというのがあります。5Gのこういうことによって、大きく環境が変化することです。だから、IoT環境は大幅に強化されるというのが5Gの例です。

次にこのBIM・CIMというのはクラウド化についてどうなのかということなんですが(ちょっとこれは先ほど配ったのと違うんですけど)、先ほどのBIM・CIMの例。実はここに専門工事業者というのがあります。皆さんだったら、鋼管杭とか鋼矢板なんですが、こういう所が実際にBIM・CIMに連携するみたいな話があります。で、今このBIM・CIMも色々な専門業者が、どんどん参入しています。よくあるのは(建築系は進んでいるので)、例えばお風呂とか、台所とか、そういうのは結構参加したりしています。後はエレベーターですね。エレベーターもきたりしています。今、こういうクラウド、BIMが、それぞれ色々な会社が、海外で色々なBIMの会社があります。これから大事なのは、例えば、鋼管杭とか、鋼矢板の人たちも、このBIMに参加しなければいけないんですが、それぞれそのシステムが違ってきますので、要するにAシステム、Bシステム、Cシステムなんていうと、これそれぞれが別の様式で入れてくれるっていうと、すごく大変なことになるわけですね。それだったら、やはり鋼管杭・鋼矢板技術協会みたいな所が、「BIMとか、CIMに入れるデータっていうのは基本的にこういったものでいきましょうね!」とかを決めた方が良くと思います。例えば、皆

さん(専門業者)が、ゼネコン(鹿島、清水、大成、竹中とか)が別々のBIMシステムを使って「こっちのシステムに参加しろ!」って言われたら、皆さん聞かざるを得ないですよ。鹿島、清水、大成、竹中が別のシステムを使っているのに「それぞれ対応しろ!」って言われたら、対応せざるを得ないので、専門業者にしてみると、3つの様式が出てきてしまう。そういう時に、協会みたいな所を使って一つの方式にある程度決めて欲しいなんていうことをお願いすれば良くなると思います。それから、先程のBIM・CIMの開発会社なんですが、BIM・CIMの開発会社(そもそもゼネコンでも結構危ない所があります)が、例えば鋼管杭とか、鋼矢板について十分な知識を有していないと、見当違いのことを「入れろ!」と言ってきたりすることがあります。そういう時のために、やはりBIM・CIMへのデータ方針をこうやって協会として定めていくということも一つの方向なのかなと思っています。

ということで、時間、若干超過しましたが、以上で終わりたいと思います。どうもご清聴ありがとうございました。

講演者紹介

東洋大学 情報連携学部

曾根 真理 教授

略歴

- 1988年：東京大学土木工学科卒業
- 1990年：東京大学土木工学科修了
- 1990年：建設省(現国土交通省入省)
- 1997年：フランスENPCへ招聘留学
- 2009年：国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路環境研究室長
- 2012年：国土交通省 国土技術政策総合研究所 国際協力推進室長
- 2013年：東京大学 都市工学科博士(工学・論文)
- 2017年：東洋大学 情報連携学部 教授
(専門：不動産・建設分野へのIT導入他)

東洋大学での教育活動に加え、AIを用いたトンネル施工補助、画像処理AIを用いた交通調査、自然言語処理AIを用いた道路点検補助、大都市近郊型IT農業、スマートシティ構想などの共同研究に参加。

1 鋼管杭施工管理士（資格制度のうごき）

- 2017年 8月 (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会、(一社) 全国基礎工事業団体連合会、
(一社) 全国圧入協会の3協会が鋼管杭施工管理士資格制度を創設
- 2018年 11月 鋼管杭施工管理士検定試験(第1回)を全国4会場(仙台、東京、大阪、福岡)で実施
- 2019年 2月 鋼管杭施工管理士検定試験(第1回)の合格者発表
- 2021年 11月 鋼管杭施工管理士検定試験(第4回)を全国4会場(仙台、東京、大阪、福岡)で実施
- 2022年 1月 鋼管杭施工管理士検定試験(第4回)の合格者発表

2 技術講習会・説明会開催実績

(1) 鋼管杭施工管理技術者育成講習会（共催）

- ・主 催：(一社) 全国基礎工事業団体連合会
- ・開催日：東京会場：2021年8月8日 連合会館(東京)＋同時WEB配信
- ・内 容：テキスト「鋼管杭－施工と施工管理－」

(2) その他

- 鋼管杭・鋼矢板技術協会 創立50周年記念講演会
- ・主 催：(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会
 - ・開催日：東京会場：2022年2月21日 WEB配信
 - ・内 容：鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術変遷他

3 協会発行の新出版物のご案内

- 自立式鋼矢板擁壁設計マニュアル 2021年4月
- 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 2021年6月
- 鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領 Edition 2.0 2021年6月
- 回転杭工法 施工管理要領 Edition 2.0 2021年6月
- 鋼矢板護岸の補修・補強・更新マニュアル 2021年10月
- 鋼管杭・鋼管矢板技術協会 設立50周年記念誌 半世紀を振り返って、次の半世紀へ 2021年12月
- 既設港湾施設の更新設計技術資料 2022年3月

4 各種技術活動

(1) 外部委員会活動

- ◇(公社) 日本道路協会
 - ・鋼管矢板基礎設計施工便覧改定WG
- ◇(一社) 日本建築学会
 - ・基礎構造部材の強度と変形性能小委員会
 - ・建築基礎構造設計指針 設計例改定小委員会
 - ・建築工事標準仕様書 JASS 3・4 改定小委員会
- ◇(一社) 公共建築協会 令和4年版 建築工事監理指針改訂委員会
- ◇東京都 東京港腐食対策技術検討会

(2) 共同研究

- ・「波崎海洋研究施設における鋼管杭の防食法に関する長期暴露試験に関する研究」(港空研ほか)

5 技術論文・報文の発表

- ① 廣瀬智治・齋藤智哉・古川幸・木村祥裕 著：縮小模型試験体を用いたコンクリート充填鋼管杭頭部の終局耐力評価 その1～2：2021年度日本建築学会大会(中国)
- ② 高橋洋敬・諸橋洋平・西村真二・相和明男 著：パイプロハンマ打込み杭における打設方法と養生期間が支持力に及ぼす影響に関する検討：第56回地盤工学研究発表会
- ③ 細田光美 著：鋼管杭・鋼管矢板の施工ずれの原因と対処・対策：基礎工2021年9月号 Vol.49, No.9
- ④ 古川幸・廣瀬智治・木村祥裕 著：縮小模型試験体を用いたコンクリート充填鋼管杭の終局耐力評価：第29回 鋼構造年次論文集
- ⑤ 時田知典・塩崎禎郎・北濱雅司・坂本俊彦・相和明男・宮北啓伍 著：ヤットコを用いた鋼管杭の打止め管理システムについて：第49回 関東支部 技術研究発表会(土木学会)
- ⑥ 著：測定用ヤットコを用いた鋼管杭の打ち止め管理について：第57回 地盤工学研究発表会
- ⑦ 廣瀬智治・柳悦孝・市川和臣・高野公寿・木村祥裕 著：鋼管杭におけるコンクリート充填部の終局曲げ耐力と変形性能の評価：日本建築学会 構造系論文報告集(第798号)
- ⑧ 古川幸・廣瀬智治・木村祥裕 著：ずれ止めを配したコンクリート充填鋼管杭頭部の圧縮力下における終局メカニズムと局部座屈耐力・変形性能評価：日本建築学会 構造系論文報告集

JASPP

Japanese Technical Association for
Steel Pipe Piles and Sheet Piles



50th
Anniversary

明日を築く No. 89

2022年9月30日発行 禁転載

発行 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10 (鉄鋼会館6階) (03) 3669-2437

制作 株式会社トライ

〒113-0021 東京都文京区本駒込3-9-3 (03) 3824-7230