

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

〈CDIT鼎談〉

羽田空港D滑走路整備と技術開発

石原 研而 氏〔東京大学名誉教授〕

梅山 和成 氏〔関東地方整備局副局長〕

〈特集〉

D滑走路建設を支えた現場の技術

関東地方整備局東京空港整備事務所



Vol.33



表紙写真

読者の皆様に機関誌「CDIT」の発信する情報を、よりダイレクトにお伝えするために、毎号ご紹介する記事内容より写真等を一部抜粋・掲載しております。記事内容ともども毎号変化する表紙写真にもご注目ください。

○鼎談 羽田空港 D滑走路
整備と技術開発 (4P)
写真提供：羽田再拡張D滑走路建設工事共同企業体

○鼎談
(9P)

○鼎談
(9P)

○鼎談
(4P)

3

CDIT鼎談

羽田空港D滑走路 整備と技術開発

ゲスト

石原 研而氏

東京大学名誉教授

梅山 和成氏

関東地方整備局副局長

10

特集 羽田空港D滑走路

D滑走路建設を支えた 現場の技術

関東地方整備局東京空港整備事務所

16

沿岸レポート

技術課題の克服 (D滑走路)

大里睦男

18

第12回国土技術開発賞受賞技術

寄稿1

ジャケット式栈橋の長期防食システム

関口 太郎 新日鉄エンジニアリング株式会社
海洋事業部羽田空港再拡張プロジェクト部 シニアマネジャー

20

寄稿2

非接触肉厚測定装置

吉住 夏輝 (独)港湾空港技術研究所
施工・制御技術部 計測・制御研究チーム 特別研究員

22

寄稿3

油圧ハンマ騒音低減装置

山本 耕三

24

ONE POINT LECTURE

滑走路と空港

26

CDIT News

羽田空港D滑走路 整備と技術開発

CDIT鼎談
沿岸の未来を見据えて



今回のCDIT鼎談では羽田空港D滑走路建設にあたっての
技術検討委員会の座長を務められました石原研而東京大学名誉教授と
梅山和成関東地方整備局副局長をお迎えし、D滑走路が完成段階に至るまでの経緯を、
特に技術面を中心にお話していただきました。



石原 研而氏

東京大学名誉教授



梅山 和成氏

関東地方整備局副局長



小原 恒平

(財)沿岸技術研究センター 理事長

はじめに

小原▽いよいよ10月21日に羽田空港の4本目の滑走路となるD滑走路（以下、Dランと略す）がオープンします。Dランは設計施工一括方式で実施されたわけですが、限られた時間内にあれだけの規模のものをつくるのは、わが国は勿論、世界でもほとんど例のないプロジェクトではないかと思っています。発注者である国をはじめ、検討委員会の先生方、施工者など関係者の皆さんのご協力、ご努力によってできたものだと思います。あらためて皆様に敬意を表したいと思います。

本日は発注者の立場から関東地方整備局の梅山副局長と、技術検討委員会の座長として大変ご苦労されました石原先生に、これまでを振り返りながら今後に生かせる方向性まで含めましてお話しいただければと思います。

最初にDランに対する印象からお聞かせいただければと思います。

梅山▽もう2年前になりましたが、赴任して現場に足を運び最初に感じたのは「ものすごく



D滑走路 航空写真(2010年9月2日撮影)
写真提供：羽田再拡張D滑走路建設工事共同企業体

第三者委員会の役割と期待

施工一括方式という方式になったわけですが、コストの問題もありますし、埋立と棧橋のハイブリッドで、技術的な意味でいろいろな知恵と工夫が必要だったのではないかと思います。二つの第三者委員会が設置されたわけですが、委員会設置の役割とどういう期待があったのかをお聞かせ下さい。

梅山▽このプロジェクトは非常に大規模でもありませんし、技術的にも埋立、棧橋、浮体と、まったく違った構造形式が提案されました。また非常に短期間でやらなくてはいけなくて、国民の期待、関心も非常に高く、通常の公共事業とは大きく異なる周辺環境にあつたと思います。

それと同時に当時は公共事業全般について、いろいろな意味で変革の時期で、入札契約制度についても一般競争入札が順次導入、拡大され、コスト面も含め、民間の創意工夫の導入ということが非常に求められた時代だったと思います。そうした中で工法選定会議で徹底的に議論されたコストの縮減と工期を担保するため、設計施工一括方式が提案されることになったのだと私は理解しています。

その後、入札の実施段階になり、民間からの技術提案をどう審査していけば良いのかということについて、指導、助言を頂く場として平成16年11月に石原先生を座長とする技術検討委員会ができました。もう一つはコ

スト縮減委員会です。こちらは飯島英胤東レ株式会社特別顧問に座長になっていたいただきました。これら二つの委員会と、透明性のある入札を行い、かつ非常に高い技術を導入し、コストの縮減を図っていくということで進めたわけですね。

小原▽両委員会はそれぞれ個別にも、さらに合同でも開かれています。特に技術検討委員会は16年11月に始まって22年1月まで都合9回開かれています。座長に就任されたときの印象はいかがでしたか。

石原▽お話をいただいたのは16年の10月の初めぐらいだったと思いますが、第1回が11月19日に開かれました。要求水準書に基づいて提出された技術提案書というものがございました。要求水準書は400ページ近いのですが、技術提案書は1万ページあつたと伺っています。当日はその概略版の説明が



最初のジャケット据付

あつたわけですね。

その時に私が感じたのは、発注者と受注者の間に立つ中間的なことは、誰がやるのだろうということでした。特に設計施工一括発注の場合には、外国では必ず中間のコンサルタントが入ってきます。ところが今回は、コンサルも入っておらず、また私共も具体的に何をすればいいのかという役割と責任を文章化した契約書がないのです。口頭ではお伺いしましたが、書いたものがないので不安がありました。

しかし、いろいろお話を伺っているうちに、だんだん責任の重大さが分かってきました。「新しい工法を使う場合には、それが実際に役に立つかどうか検証する必要がある」ということでしたので、北九州市若松での腐食の現地試験や桑名市でのUFCの練り混ぜの実験などを全部欠かさずに行きました。そんなことで、だんだん自分自身を体験的に慣らしていったというのが初めのころの状態です。

小原▽技術検討委員会の最初のころは入札前で、技術提案に対するコメントをまとめるということが主な主題だったと思います。契約の前に検討委員会が果たした役割については、副局長はどのようにお考えでしょうか。

梅山▽委員会には座長のほか、耐震、地盤材料、橋梁などの専門家の先生にそれぞれ入っていただいて、技術提案書の中から空港としての使用性、構造物の安全性、腐食、耐久性など、検討を行う必要がある項目について、いろいろなご意見を頂戴しました。

「プロジェクトだな」ということです。間近に見て、こんなに大きなことが行われているのだと、我が所管のことながらびびりしました。それと同時に、施工にあたっておられるJV各社の間に、非常に張りつめた空気が流れているのがわかりました。工期が限られ、このまま進めていて本当に間に合うのだろうかという意識を各社が持たれているのを肌で感じ、非常に責任の重いところへ来たなと思えました。

小原▽Dランは特に工法面から「広く知恵を集めて、議論したらどうか」ということがありました。その結果、最終的に設計



最終的には技術提案書に関するコメントとして石原座長におまとめいただき、それを基にして、我々が技術の水準書を満たしているかどうかのチェックをさせていただいたわけですね。

特にハイブリッドという特殊かつ初めての構造なので、埋立と栈橋の接続部の埋立側の沈下の問題、耐震性などがテーマでした。また100年間の供用を前提にしていますので、特に鋼材を使うということで、その維持管理計画の点について多く議論をし、コメントをいただいたと理解しています。

小原▽そうしたコメントを取りまとめるに至ったときに感じられたことや印象はございますか。

石原▽大きな項目は耐震の問題とハイブリッドの接続でしたが、もう一つは、圧密沈下の課題がありました。当時は関西新空港の第1期が終わって、第2期事業の埋立を施工中でしたので、2期工事を見学に行ったりしました。特に2次圧密沈下が予測よりうまいくのかということに関心を持っていました。

東京湾ではいままででない高盛土設計になっていて、たぶん45mぐらいあると思います。現場海域はN値0ぐらいの沖積軟弱層が15mとか20mありますので、その沈下もさることながら、その下の少し硬い沖積層、あるいは新しい砂がまざったような粘土層があって、その長期の沈下がどうなるかというのが大きな課題でした。

小原▽圧密沈下という点に関しては、軽量

化を図るなどの工夫があったと思いますが、これは他ではあまりない部分と考えていいでしょうか。

梅山▽そうですね。圧密沈下が大きな問題だということで、なるべく護岸の周りには管中混合処理土の比重が1・4ぐらいのものを使い、さらにその接続部は軽量混合処理土で、比重が1少しのものを使って沈下を抑えるということを行っています。

また実際の施工にあたっては、埋立をしながらそれぞれ層別の埋立の沈下を測量しながら、埋立荷重や側方変位を測定していくということ、GPSも使って現場での状況をつぶさに把握しながら、当初の設計と乖離していないかどうかをチェックしながら施工を進めていきました。

石原▽GPSなどによる情報化施工は、技術検討委員会として強く申し入れをした記憶がありますが、それをちゃんとやっていただいて、精度の高い施工が実現できています。

小原▽埋立施工中の情報化施工に関し、実際のデータを見ながら次のステップに移るということについて委員会からご指摘があったというお話ですが、そのへんをもう少し具体的に解説していただきたいと思っています。

埋立地の情報化 施工への取組

石原▽実は独立行政法人港湾空港技術研究所で詳しいボーリングや室内実験などもず

いぶん丁寧に行っていたので非常に助かりました。内容を要約しますと、関空とか北九州空港の場合と同じように、施工途中でボーリングして、サンプルを試験して確認するということは工期的に無理だと考えていました。そこでまた急速施工ということでコー

ンの貫入抵抗、それにRI（ラジオアイソトープ）を組み合わせた貫入装置を用いて貫入値を求め、この測定値にもとづき、工程を少しずつ修正して施工を行ったわけです。前もってサンプルを取って置いて3軸試験とか1軸せん断試験を実施し、せん断強度と拘束圧の比である強度増加率がどのぐらいあるのかということを確認しておきます。確か0・28ぐらいだったと思います。強度のCuはコーンの貫入抵抗から推定し、この値と強度増加率がわかっていれば、Cuを強度増加率で割ることにより有効拘束圧が判る。一方、間隙比はRIの測定値から求める。よって、拘束圧と間隙比を両軸にプロットすることにより、有効拘束圧が増えるなどのぐらいい沈下してくるかという圧密の特性がわかります。それもすぐ自動的に計測が可能になるという方法を採用したわけ

で、これは革新的な技術の応用だったと思います。

小原▽結果的には、いまではかなりのところ

がその範囲に収まっているわけですね。

梅山▽例えば、滑走路の一番東側が一番高盛土でAP17・8mにしてあるのですが、これまでの施工中の沈下が6・6mでほぼ予測値と合っているので、今後の沈下を70cmと見

込んで設定しました。

石原▽施工の進行とともに測定データが出てきますから、それを逆に戻して、再び予測式をアップデートして精度を上げて、予測値と実測値が一致するように修正しながら施工計画を微調整するわけです。

小原▽そういう意味では現場でデータを取りながら、ある程度リアルタイムでフィードバックするような感じですね。通常の埋立工事では、なかなかそこまでやれないだろうと思います。

石原▽羽田の地盤は比較的一様なので、それも幸いしたんじゃないかと思えます。関空の苦い経験から生まれたプログラムもありますので、それも参考にしました。



栈橋と埋立地の接続部における耐震化施工

小原▽今回特にハイブリッドの特徴としては、埋立地と栈橋部をどうつなげるか、これもいろいろな工夫をされているように聞いております。何かご紹介できるものがあればお願いします。

梅山▽接続部はある意味では一番弱点となるような部分ですので、当初からその設計については、ずいぶんいろいろな議論があったと聞いています。最終的には鋼管矢板井筒工法が採用されまして、地震時の挙動、埋立側からの土圧について相当綿密な検討で設計し、施工時も変位の状況などをモニタリングしながら進めていきました。

小原▽構造と構造の橋渡しというか、ある程度動くことも許容した設計になっていますね。

梅山▽埋立側の挙動と栈橋側の挙動はどうしても違いが出ますので、いわゆるローリンググリーフというかたちで、水平の変位が±60cm、高さ2cmという範囲の中で、航空機の走行に支障がないように変位を吸収していくという方法で、処理されています。

小原▽接続部の設計について委員会では、何か特別に議論されたのでしょうか。

石原▽実際に土圧が加わる高さは、下の部分も含めて30m近くあるんですね。だから下のほうの締め固めが重要になりますので、サンドコンパクションパイルで30%の改良率で行



鋼管矢板井筒護岸(通水前)

いしましたが、特に根元の部分は80%ぐらいの改良率にして、ジャケットの一番近くの柱を守るということも設計上は考えました。

鋼管矢板井筒基礎ですが、護岸沿いはいいとして、隔壁のところに土圧が加わつくと結構わん曲するので、それに対して剛性がどのぐらいあるのか正確に掴まなければいけないということで、ゼネコンの研究所で実際に実験をして剛性を確認したということがありました。

そして一番怖いのは地震でした。地震はレベル1とレベル2を想定し、レベル1は最大439ガル、レベル2は486ガルを考えましたが、レベル2地震に対して構造体が耐えるかどうか確認する必要があるのが最新の土の変形構成則を用いた解析を行い、土の横方向の変位は、だいたい50〜60cmだろうという予測をしました。ローリンググリーフが乗っている架台とその下の部分がずれても対応できる構造になっています。盛り上がった部分は後で修復できるので、レベル2の地震でも、実際に起こったとしても、短時間で使用可能になるという配慮をしております。

小原▽おそらく知恵の出どころだったのでしょうか。



石原▽これはゼネコンの方、JVの方が本当によくやっていただいたと思います。

ジャケット部の新技術

小原▽そのほか新しい技術で何かご紹介できるものはありますか。設計供用年数は100年で現在の契約では30年の維持管理責任を持たないといけないということでした。

梅山▽特に海水の影響の大きい厳しい環境の中で耐久性が一番大きな問題だろうと思います。ですからジャケットの桁の下部にはカバープレートをつくって、そこはチタンを張り、その上にポリイソシアヌレートフォームでカバーを作って、直接ジャケットの下部に風雨あるいは塩分がつかないような構造形

式を取っています。

またカバープレートの内部空間は除湿システムを導入して、湿度が50%以下になるように管理することになっています。その内部空間は、点検や維持管理をするうえで人が入れるような高さになっていて、そういった意味でも維持管理がしやすいような形に工夫しています。

またジャケットの足は耐海水性のステンレス鋼でカバーリングしています。光っているように見えるので、人によっては「きれいだ」とか、いろいろなことを仰いますが、そういう特徴のあるような形になっているのは耐久性を考えたらうでのことです。

もう一つ構造上と言いますと、UFC床版、超高強度繊維補強コンクリートを使っています。これは通常使っているPCに比べると半分ぐらいの重量なので、これで上部の軽量化を図り、それによってジャケットや杭の構造をスリム化して、結果としてコストダウンを図っていくという工夫をしています。

直接航空機が乗るところは従来型のPC床版を使っていますが、着陸帯など全体で52haの栈橋部のうち20haはUFC床版です。また、UFCは耐久性にも非常に優れているので、そういう意味からも効果があるので、そういう意味から効果があるので、はないかと思えます。

小原▽冒頭に石原先生からお話があった中で、若松での防食の話とか、UFCの練り込みを実際にご覧になったということがありましたね。実際に見たり、いろいろ聞かれた中で、そうした新しい工夫を技術委員会



の中ではどう評価されていたのでしょうか。

石原▽さつき仰ったように上部工の周辺はカバプレートを入れて、湿度を50%ぐらいに保持して、上部工の鉄材、コンクリートとの接触部を保護して、その下の飛沫帯とか干満帯は0・7mmのステンレスを巻き、さらに水面下1・5mより下部は電気防食が使われており、その3種類で防食に対処しています。

問題は飛沫帯のステンレスです。これは何か漂流物が当たったり、あるいは船がぶつかったり、貝がくっついたり、いろいろな外的障害が発生しやすいところです。もう一つは修理が非常ににくいということがありませんね。それで暴露試験というのを若松にある新日鐵の現場で実施して、それを見に行きました。

実際に壊れたところを水中で修理するといったことをシミュレートした実験を実施しました。そのくらい防食についてはいろいろな工夫をしましたが、これは100年寿命ということですので維持管理に非常に重要なことですね。

D滑走路の耐震化施工について

小原▽先程お話のあったように、設計とか施工で地震の問題をいろいろ工夫されていますが、地震については現空港も新しい滑走路も含めて、しっかりとモニタリングし、観測していかなければならないということで、我々

も興味を持つているところです。その部分について先生からコメントはございますか。

石原▽接合部は、あのような耐震構造になっています。棧橋の部分は副局長が仰ったようにUFC床版なので、かなり軽くなつて対地震という意味では楽になったと思います。

設計は有効応力解析に基づくプログラムを使って、地盤の深さ方向に、どういう変形の時刻歴が出てくるかを算定しました。これを入力して上下一体とした構造物の耐震性を評価しました。もう一つはブッシュオーバー解析です。これは慣性力に相当する力を上部工に対して横方向に加え、加えた力と変形の関係を全般的に見るという方法です。杭とか、鉛直の柱などの部材にどういう力がいっ発生してくるのか、変形がどう分布しながら進行していくかということが確認できます。そこまで考察してあるので、ジャケットの部分はたぶん問題ないと思います。

このほか埋立部は、まず盛土ですが、一番下の粘土の部分はサンドドレーンで固めてあります。しかし、それは海底より15〜20mの深さまでで、そこから海面までの盛り立て部分は岩ずりとか砂を船で運んできて埋立て



揚土の様子

ましたので、その部分は締め固めをしていないのです。勿論、海面より上の陸の部分はちゃんと締め固めをしております。陸の部分は15〜17mぐらいで非常に分厚く丈夫になっているので、下に対する影響はないだろう、また下から上に影響が伝わってくることは少ないだろうと考えています。大きな地震が来ても、液状化で大きく流動することはないと思います。下の部分が多少沈下することはあるかもしれませんが、地震というのは実際に起こってみないとわからないという、一種の経験工學みたいなところがあつてなかなか難しいのですが、万全の措置はしてあるとお考えいただいで結構だと思います。

梅山▽技術検討委員会からも、後々必要なデータを計測するようにというご指導をいただいています。大規模な地震が来たときにごく短期間で復旧して使用できるというのがそもそも我々の要求水準であり、そのための技術提案がなされたと理解しているので、いま言われた「設計段階のものが実際の地震時にどのようになつていくか」ということを、我々もフォローしながら、逐次チェックしていきたいと思っています。

1000億円以上のコスト縮減を実現

小原▽新しい技術に対していろいろな提案があつて、それに対して様々なチェックをするのが技術検討委員会の大きな役割だつたと思います。並行してコスト縮減委員会が開

かれていますね。今回の契約制度、あるいはそれに伴って生じたいろいろな課題は、コスト縮減委員会で議論されたのでしょうか。一般の方は「実際にどれだけのコスト縮減になつたのだろうか？」という疑問を持つと思います。そのへんについての経緯とか、お話があれば伺いたいと思います。

梅山▽現実にプロジェクトの検討が始まったのは平成14年の工法評価選定会議です。そこからスタートして、3工法を含めて議論が始まったわけですが、それ以来、まさにコスト縮減というのは、このプロジェクトの一番重要なテーマの一つでした。注目されているプロジェクトだからということもあるでしょうが、我々も大きなテーマとして取り組んできています。

もともと評価選定会議の中では、民間の





方々からもいろいろな知恵を出していただいて、コストの縮減が提案されています。さらに平成16年以降入札段階に入ってきた中

で、我々役所側も空港計画について埋立の面積、あるいは滑走路の路面の高さなどを見直していくということもありました。

それから諸経費率も、従来のスケールとは大きく違うので、縮減しています。また資材についても、大量調達することで安く購入できる可能性があるのではないかとという観点から、資材単価の調査も綿密に行いコストを縮減しました。これらを含め、コスト縮減委員会の中で様々な観点からご意見をいただきながら、発注者側として努力してきました。

その後も入札時、あるいは入札後のバリュー・エンジニアリングの中で、JV側からいろいろな提案をしていただいて、コストの縮減に努めて来ています。

一言で「いくら」と言うのはなかなか難しいのですが、我々が積算してみると、従来の公共事業のやり方では7000億ぐらいではないかと思えます。それが実際に契約する段階では5985億円になっていますので、コスト縮減の努力は十分活かされている

と思います。

石原▽これは時間が短縮されたこともコスト縮減に結びついているのですか。

梅山▽今回、着工が概ね1年遅れ、本格的な準備もそこから始めることになりました。一方で、従来は我々の工事が完成した後に航空局のほうで灯火や無線の工事をを行い、その後飛行検査などを控えていますので、実際の供用までの間に10カ月ぐらいの時間を見ていたんですね。でも着工が遅れたその部分を圧縮し早く供用しようということになり、8月末に我々の工事が終わり、供用が10月21日ですから、そこを2カ月に短縮しました。このため、航空局の工事や飛行検査をJVの皆様には大変、苦勞をかけました。

小原▽一般的にコストというと単純にお金だけを考えてしまいますが、実はそこには違うコストの概念があつて、時間軸が短くなることによつて、国民経済的にいうと安くなつていく部分があるのではないかと思います。

石原▽コスト削減の裏にはJVの方が非常に努力されたということがあつて、24時間昼夜兼行でやるとか、苦勞されたと思います。このことは、よく覚えておかなければいけないという気がします。

梅山▽そう言っていたら、彼らも非常に喜ぶと思います。

小原▽この施工期間中はほとんど24時間態勢ですが、「やればできる」と言われてしまうと彼らは立場がないという思いが私自身にはあります。JV企業の皆さんを始め携わつ

たすべての方々の思いと英知がここに結実したのではないかと思います。

石原▽最初に申し上げたように、いわゆる中間のコンサルタントの仕事はほとんどJVのほうでやつていて、発注者もそれを信頼しているという前提というか、根拠があつたわけですね。したがつてうまくいったということであつて、これはどの国でも出来るというものではないと思います。

100年対応の維持管理

小原▽滑走路というインフラ施設で100年という、現在の感覚で言えば、半永久的な構造物になりますね。100年の設計供用年数ということ自体いままで例がなく、それをどうやって担保するかというのは議論のあるところだと思いますが、そうは言いつつも取り換え可能なものではありませんので、相当神経を使つて維持管理をしなければならぬと思います。今後という観点で維持管理、メンテナンスに取り組んでいかれるのかについて、お話しいただけますか。

梅山▽まさに、これから未知の世界に入っていくなあと思えますが、要求水準書の中に100年の供用期間と明記され、それに対応したかたちでJVの方から維持管理計画が提案されています。それに基づいて第一歩を踏み出したばかりで、8月上旬に維持管理契約をしたところで。

維持管理計画の中で挙げている基本方針は、設計施工上二貫して管理を行っていくと

いうこと、予防保全という考え方、それから継続的に維持管理計画の見直しができるような体制を実行していくということです。

100年後を想定した維持管理を建設当初から行うという新しい世界でもありますので、我々としても維持管理にかかわるデータを今後ともきつちりと集め、それをチェックしながら、当初の考え方から言つて正常の範囲にあるのか、あるいは新たに何らかの措置を講じる必要があるのかという事を特に受注者を含めて取り組んでいかなければいけません。これは非常に大きなテーマだと思っています。

石原▽いま仰つた予防保全というのは非常に重要だと思えます。100年あつたとして、何か大きな欠陥が起こり、その時に直していると非常にコストが高くなるわけですね。少しずつ悪いところを見つけて直していくというライフサイクルマネジメントの考え方を導入して、予防措置をしていくことが重要です。

小原▽普通の事業は設計、建設、維持管理と、それぞれ担当する人が違つています。今回は一貫して責任ある者が見るかたちになっています。ですから非常に大きなプロジェクトではありますが、ライフサイクルマネジメントという意味で、ここですべてのことがなされることによつて、今後続くモデル的なプロジェクトであつてほしいですね。

石原▽そのためには挙動の観測と、何か起こったときにすぐ対応できる体制をつくることです。



羽田の実績を未来に 引き継ぐこと

小原▽副局長は当事者として、石原先生は技術的な権威として携わっていただきました。私自身も羽田空港が技術的にも、あるいは経済的にも、いろいろな意味で世界からいい空港だと思つていただけのものにしたいと考えております。最後に、そういう意味での感慨と今後に向けてのお話をいただければと思います。

梅山▽工期内に完了させて10月21日に供用させるということが、我々の最大の責任だということ而努力してきましたが、おかげ様でそういう方向に向かいつつあるということで、少しずつ重荷を下ろしつつあるところで。ここまで至つたのはまさにJVの方、あるいは協力会社等の方々の強い熱意、意志と、その下敷きになる技術力があってこそであり非常に感謝しております。

また技術検討委員会の石原座長をはじめとする委員、コスト縮減委員会の皆様、関係する国、東京都、大田区をはじめとする自治体、漁業関係者等、多くの方にご協力をいただきました。皆様が早く、安く、いいものをという思いでやってくださつたことで今日まで来られたのだと思ひ、本当に感謝を申し上げます。

若干振り返りますと、大規模な設計施工一括ということで、契約した後に環境アセスメントをやるとか、漁業関係者をはじめ、い



連絡誘導路の施工

ろいろな調整をするという異例のやり方だったので、そういう意味で国側の責任も非常に重かつたと思っています。結果として着工が1年ほど遅れ、工事の関係の方々は非常に苦勞されたと思います。しかし、このような大規模プロジェクトで構想段階から供用まで10年弱という短期間で行うことができたのは、日本では初めてではないかと思ひます。関係者のご努力、ご協力のおかげだと思ひます。

今後は、まずDランを供用しその利用に支障がないように維持管理を行つていきたいと考えています。さらに、羽田空港に対する国民の期待は非常に大きいものがありますので、さらなる機能の向上を図るため引き続き全力を挙げたいと思ひています。

石原▽私の感じでは、このプロジェクトはい

ままでない、未曾有の最新技術を駆使した総合マンモス事業だと思ひのですね。東京という過密メガシティで、41カ月という短期間にこのような巨大な工事が実施されたということは、非常に記念すべきとともに驚くべきことですので、ぜひ今後続いてくる人のために、しっかりと記録を残しておいて頂きたい。もう一つは、世界に対しても情報発信していく必要があります。

また国の関係者やJVのご苦勞が後に何らかのかたちで残るような記念碑を作りたいと思ひます。栢原元土木学会会長が無名碑では駄目だと提言されましたが、そういうものを作つていただきたいというのが私の願望です。米国フーパー・ダムへ行くと工事関係者全員の氏名が刻まれた名碑が設置してあるそうです。

更に申しますとこのプロジェクトの名前で。いままで羽田空港Dランとか、第4滑走路という名前が表に出ていましたが、それだと羽田空港のごく一部だというイメージしかありません。もう少しアピールできる名称（例えば、新生羽田空港）をお考えいただきたいと思ひます。

小原▽設計施工というのは最近割合よく出てくる方式ですが、これ程の何から何まで一括というのは例がないと思ひます。ややもすると任せてしまうのだからという発想もありがちですが、先ほどお話があつたように当然国の責任は重いので、国としても全部民間に任せるのではなくて、要求水準書をつくるときに発注者と受注者の分担関係など

も相当な議論があつて、ああいう厚いものになっていきます。

これからいろいろなかたちで設計施工の発注方式が増えていくだろうと思ひます。そういう意味でもDランは一つの大きなモデルになると思ひます。そのためにも先ほど先生が仰つたように、きちんと技術を残しデータベースにしておくこと、それから世界にも発信することが大事になると思ひます。本日は大変貴重なお話をいただき、ありがとうございました。



※本稿は平成22年8月末に収録したものです



写真2 SCP夜間施工状況



写真1 SD夜間施工状況

D滑走路建設を支えた現場の技術

関東地方整備局東京空港整備事務所

写真提供：東京国際空港D滑走路外建設工事共同企業体

特集

羽田空港D滑走路



平成19年の現地工事着工から3年5ヶ月を経て完成した羽田空港D滑走路。本稿では数々の制約を乗り越えながらD滑走路建設を支えた数々の技術を紹介していきたい。

はじめに

24時間365日の稼働、現地着工から3年5ヶ月での完成。大量急速施工のD滑走路の建設は、数多くの現場の技術とこれらをコーディネートしたプロジェクトマネージメントに支えられた。

多くの作業船が制約のある工事区域内に入り、施工時間帯の制約の中で、高い精度を求める工程、大量の資材の使用の必要など、品質の確保のための多くの苦労と工夫、努力があった。ここでは、いくつかの代表的な事例を紹介する。

高さ制限、時間制約の下での地盤改良工事

軟弱地盤改良工事は着工当初の平成19年4月から開始され翌年3月末に完了した。地盤改良の範囲はC滑走路先端部、高さに制限のある区域を含み、地盤改良船や砂運



写真3 投錨システム画面



写真4 高さ管理システム画面

搬船が輻輳する中、位置決めシステムを含む航行安全監視システムや投錨システムにより、SCP（サンドコンパクションパイル）杭長約132万m（本数約6・9万本）、SD（サンドドレーン）杭長約391万m（本数約18・4万本）が打設された。

埋立部でのSCP工では、SCP船の稼働隻数は最大で13隻/日、砂供給船であるガット船の搬入隻数は約50隻/日であり、昼間に制限区域外で作業（一部は待機）を行い、制限が解除される夜間（20・45～7・45）に制限区域内に移動して作業が進められた。

高さ制限のある中、作業船が輻輳することから、全てのSCP船がRTK（リアルタイムキネマティック）・GPSによる作業船高さ管理システムを搭載して施工を進め、各船の位置情報全てが、航空安全情報管理室にて常時モニターされ、制限表面への抵触がないか等が確認されながら作業を



すすめた。
また、隣接船がアンカーワイヤーをクロ
スさせて施工せざるを得ないほど海域に
余地がない中、より安全にかつ効率良く
アンカー作業を行う必要があった。このた
め、他船のアンカー位置も把握できる全船
統一の投錨管理システムにより、GPSと
パソコンを装備した自船及び揚錨船が無線
LANにより接続され、揚錨船の誘導や
投錨結果の転送がなされ、またアンカー位
置やアンカーワイヤーのクロス状況をモニ
ター画面により直接確認出来るようになっ
ている。

また、輻輳、制約のある海域で24時間安
全に施工するため、船員の確保・教育、進
入表面下トラブル時のケーシング切断訓練
などの準備を整え、地盤改良工が着手され
た。
(1) 夜間における大型作業船の移動
通常、地盤改良船は、現場に入域した後
は、ひんばんに移動することはほとんどな
い。しかし、この工事では、ほぼ毎日夜間
に大型作業船を移動した。このため、船首
に曳船、船尾にブレイキ船兼舵取り船を
使用した。夜間の作業後、制限区域から
離脱する必要があるが、この離脱時間帯で

の天候の悪化が作業船の離脱を遅らせ、空
港の運用に制約してしまうおそれもある。
天候の変化の可能性も含め、作業を行うか
どうか判断した。
SD船は前面のケーシング部に風を受け
る。このため、向かい風の時は通常より倍
以上の移動時間が必要になる。このような
時は、曳船2隻で曳航するが、天候の急激
な変化などから、対応に手間取り、制限時
間ぎりぎりまで離脱したこともあった。
(2) 投錨管理システム
作業船管理に貢献した投錨管理システム
も、当然ながら導入当初から円滑だったわ
けではない。従来、アンカー打設は過去の
経験を元に、船団長が各作業員に指示を
出していた。現場は、この方法に慣れてい
る。このため、今回の新たな方法であるパ
ソコンのモニター上で示す位置にアンカー
を誘導する方法への変化に、習熟が必要
だった。この習熟期間の短縮のため、多く
の慣熟訓練を行った。

**管中混合処理土と軽量混合
処理土による大量埋立**
埋立部護岸の背面全周の埋立では、護岸
断面のスリム化、原地盤の圧密沈下量の低
減、および工事で発生する浚渫土砂の有効
利用を目的として、固化処理土（管中混
合固化処理土、軽量混合処理土）約550
万m³が施工された。
本工事までのSGM（スーパージオマテ
リアル）軽量混合処理土）の総打設量は、
44件、約52万m³（2009年3月まで）
であった。しかし、本工事では接続部護岸
背面に約79万m³を2009年5月末〜11
月末の約半年間の短期間で行うという、こ
れまでにない大量急速施工であった。
本工事ではSGMは、沈下後残留水位以
下となる部分の水中配合（目標密度1・
17g/cm³）と、その上部に打設する気中
配合（目標密度1・02g/cm³）の2種類
の配合とし、どちらの配合も設計基準強度
は200kN/m²としている。



写真5 位置決めシステム写真

このようなシステムを導入しても、狭い
海域での作業である。例えば、揚錨船がア
ンカー打設位置に操船することに気を配り
すぎ、他船のアンカー明示ブイに衝突しそ
うになったこともある。システムと現場が
一体となった時に初めて作業が円滑に進捗
する。
操作に慣れてくると、「今後システム無
しではアンカー打設作業が出来ない」とま
で言っていた作業員もいた。

従来の工事では、施工能力は時間当たり
100〜200m³/時間程度、日当たり
の施工数量は500〜1000m³/日程
度である。それに対して、本工事では施工
能力が時間当たり300〜350m³/時
間の専用船2隻による日当たり施工量は
約6000〜8000m³/日である。し
たがって、気泡製造機や打設用ポンプなど
の施工機械も従来の数倍の能力が必要と
なる。

さらに、圧送距離も既往実績の約2倍の
最長700mと長く、気泡が消える割合が
大きくなる。また、東京港第1航路の移



写真7 SGM機装船



写真6 SGM専用船

設に伴い発生する土砂などの浚渫土を使用したが、様々な土質があり、原料土の変化が大きく、品質のばらつきが懸念された。このため、原料土ごとに細かい配合設計を行うこととした。土運船ごとの土砂判別と配合設定を行うため、短時間で行える方法として、浚渫された位置情報の他に事前配合試験結果をもとに、現場で簡易に行うことができる湿潤密度試験とシリンドラーフロー試験、セメント混合前後のフロー値の変化を調査することによって土砂判別と配合設定を行った。

SGMの製造工程は、1300m³級の土運船によってSGM船まで浚渫土を運搬、浚渫土をSGM船のバックホウで均一に解泥、土運船内の浚渫土を別途採取し、船内にある試験室で浚渫土の試験を行い、浚渫



写真8 SGM打設時

(1)原料土内に含まれる粗粒分への対応

原料土は、浚渫土砂であり均一ではない。しかもSGMは砂利は苦手であり、砂利はSGMのプラントを痛め、品質を落とすしてしまう。今回も砂利の量が比較的多い土砂があった。砂利は、ポンプや攪拌翼運転に支障をきたす原因となった。これらの砂利を除去する為に、ホッパーにより細かいメッシュを設けることとした。メッシュの大きさは細かすぎると土砂自体が通過しない為、最適な大きさのものにたどりつくまで試行錯誤した。メッシュ変更後は、ポンプや攪拌翼が停止するトラブルはほとんどなくなった。

(2)土砂の供給

浚渫土砂は、今回のD滑走路事業以外の工事からも供給されている。空港側では、

位置や試験結果から、SGMの配合を決定する。

土運船で均一に解泥された浚渫土をホッパーに揚土し、振動ふるいにより異物を除去した後、解泥土は3つある調泥槽で適切な含水量となるまで順次調整し、その後ミキサーに送られ、所定量の固化材および気泡と十分に混練りされる。そして内径25cmの鋼製配管2系統で打設位置までポンプ圧送、100t吊クローラークレーンによってトレミー管を用いて打設される。

圧送距離は、打設位置によって異なり、おおよそ300〜700mの範囲である。

打設はSGM全体で6層の打設を行った。(水中部3層、気中部3層) 1層あたり約2〜2.5m程度の仕上がり高さで管理し、約1ヶ月間で打設した。

管中固化・SGM工は、護岸工や山土による埋立工といった異工種との並行作業であり、作業船を設置する場所を、その調整により逐次変更する必要がある。しかし、一般に作業船に機動性が求められることは稀であり、作業船は頻繁な移動を前提とした仕様になっていない。

管中固化については空気圧送船・固化材供給船・打設船の3隻を同時に移動するが、これを頻繁に行う。特に、船体長が約70mもある打設船を施工幅100mの場所での回転移動作業をしなければならぬ。このため、打設船の回転移動についてはそのつど開口部まで船を引き出し旋回させることにより対応した。風が強い時はアンカーを打ち替える方法により旋回・移動したが、複雑な手順となるため、作業開始前にアンカーの打ち替え手順を全員で再確認し、万全を期した。

早期供用のため昼夜を問わずに管中混合やSGMの施工を行う計画となっている。このため、供給側もそれにそった運転が求められる、工事間の調整を相互に綿密に行い、各方面に協力を頂き施工した。

(3)台風等による荒天避難

管中船団・SGM船団は排砂管を接続しているため、通常の船舶より、避難に多くの時間が必要となる。一方、安全側をみて速く避難すれば、その分大きく工事が遅れてしまう。このため、避難の判断のため、高精度な天気予報提供機関からの情報を基に、台風対策委員会により元請や協力会社間の協議により慎重な判断を行い、安全と工期の両方を守って行った。

(4)各工種との調整

管中固化・SGM工は、護岸工や山土による埋立工といった異工種との並行作業であり、作業船を設置する場所を、その調整により逐次変更する必要がある。しかし、一般に作業船に機動性が求められることは稀であり、作業船は頻繁な移動を前提とした仕様になっていない。

管中固化については空気圧送船・固化材供給船・打設船の3隻を同時に移動するが、これを頻繁に行う。特に、船体長が約70mもある打設船を施工幅100mの場所での回転移動作業をしなければならぬ。このため、打設船の回転移動についてはそのつど開口部まで船を引き出し旋回させることにより対応した。風が強い時はアンカーを打ち替える方法により旋回・移動したが、複雑な手順となるため、作業開始前にアンカーの打ち替え手順を全員で再確認し、万全を期した。



写真9 ジャケットを据えつける作業。
高さ制限があるため、低頭式起重機船を使用



写真10 ジャケットの据えつけにはGPSで
正確な位置が決められる



写真11 連絡誘導路も含めて全部で238基の
ジャケットが据えられる

一方、SGMにおいては陸上打設機の移動、排砂管の切り直し等により、打設箇所を移動することにより、輻輳作業の調整を行った。

工程計画にそった施工展開を基に、日々の施工場所の選定や作業船の配置を決定した。様々な要因により施工進捗にズレが生じた場合は常に工程・施工展開を見直し、工種間や工区間での綿密な調整を行うことにより、無駄のない施工を行った。

ジャケットの据付

ジャケットの据付では、制限表面の影響を受ける範囲をなるべく小さくするため、3000t吊級起重機船を当該工事にジブを改造した低頭式起重機船(2400t吊級)を用いることなど、起重機船でのこれまでの経験をもとに、多くの制約のある今回の工事を、どのように施工することが可能か、着工以前から現場の技術者が議論しながら施工を検討した。

制約条件からは、リフトも、リーチも、

数十センチ単位で制約される。そのため、起重機船の操船、係留が、限られた時間の中でスムーズにできるのか、そして、ジャケットをつり下げ、6本の杭にレグを同時に挿入することができるのか、大きな課題があった。

D滑走路建設工事の専用船である低頭式起重機船は、

- ① 随時、船体のトリム、ヒールのレベルを確保するためのバラストシステム
- ② つり金具が360度回転することで施工効率、安全性を向上させるスイベル機構

と、船体の動揺に対応できるガイド構造等

- ③ つり金具の位置、航空制限までのクリアランスの微調整を素早くできるジブ俯仰式の導入
 - ④ 航空制限までのクリアランスをリアルタイムで把握できる、位置・高さシステム
 - ⑤ レグ内に設置したカメラ、ジャケット内に設置した傾斜計により、クレーン操船室で、船長、オペレーターがモニターし、クリアランスを確認しながら据え付けるネットワークカメラシステム
- といった、これまでの経験を生かした改造



写真12 発注者側検査の様子

が行われた。

それでも、埋立部と棧橋部の間、最後に残る3列のわずか、150m幅しかない狭い水路の中での据え付けは緊張する。トラクションによる目視誘導、位置・高さシステムによる誘導、船団長の曳船への指示、曳船長の操船、これらが、船員、作業員の素早い行動で、的確、安全に据え付けを完了させる。

これらの結果、ジャケットの平面誤差は、規格値±10cm以内に対して半分以下の±5cm以内の高精度を確保し、施工を完了した。

しかし、据え付け担当者は、その前工程である90mもある杭打ちの精度の高さが、円滑な据え付けにつながったと語る。こ

のように、様々な個々の技術が総合され、D滑走路が建設されていった。

ジャケット製作における発注者側の溶接の確認

D滑走路でもっとも特徴的な構造は、いわゆる杭打ち棧橋方式のジャケット工法である。D滑走路の島の約1/3、52haの面積である。使用した鋼材量は、ジャケット部分だけで26万tにも達する。ジャケットは分割され工場で作成後、据え付けられ、その後ジャケット相互が溶接で接合される。このように、工場と現場で膨大な溶接が行われた。

ジャケットの設計では、航空機荷重を受ける滑走路部分など、航空機の繰り返し荷

重により断面が決まっている。このため溶接には高度な品質が求められる。通常、公共事業では発注者側の検査は完成時のみの確認であるが、D滑走路の重要性から、製作途中においても、施工者の自主検査を確認している。

今回の溶接の特徴は、航空機が滑走する400tに達する繰り返し荷重に対して、疲労を考慮し、完全溶込み溶接するという、従来にない規模である。

このため、外観検査では、応力集中を発生させるような溶接である、アンダーカット、オーバーラップ、余盛り形状などについて注意する。

ジャケット制作では20箇所にも及ぶ全国各地の製作工場がある。当然ながら、各工場では、それぞれの伝統、独自のノウハウがある。そのような状況で統一された基準での溶接を求めていくため、製作サイドと様々な議論を重ね、理解を高めていった。

また、内部きずについても、最も厳しい許容きずは、航空機荷重がくりかえし作用する疲労部材であり、板厚の1/6以下となっている。発注者側検査では、要領書どおり自主検査がされているかを書類と抜き取りにより行う。現場での抜き取り確認は、MUT（手動超音波探傷検査）で行っている。また、AUT（自動超音波探傷検査）装置については、事前にテストを行い、テストピースのきずとAUT装置により検出されたきずとの比較をすることで性能を評価した。この結果、不採用となるAUT装置もあった。

内部きずは、狭い場所や溶接姿勢が悪

く作業がしにくいところで発生しやすい。BH桁の首溶接部などについてはきずが出やすかったが、次第に改善されるなど、溶接技術者、自主検査、発注者側の検査により溶接品質の改善につながっていった。

技術の継承のために

羽田空港には、困難な制約を克服するため、これ以外にも様々な技術が導入されている。しかし、その技術を現場に適用するのは、人間であり、人間の技術に対する習熟、熟練が必要とされる。

また、各技術の組み合わせで、D滑走路のようなモノが作られる以上、ひとつの技術を成立させるためには、前工事の技術、後工事の技術との調和が必要である。そこにも人間が介在する。そしてその人間は、一人ではなく集団であり、集団の中の調和が必要とされる。当然、集団と集団の調和も求められる。

技術を支えていくためには多くの人間が必要であり、このD滑走路の建設で培われた総合的な技術を継続していくことが望まれる。



写真13 D滑走路と共に新設された国際線ターミナルビル



空の日フェスティバル2010

9月20日の「空の日」を記念して、日本各地の空港等で様々なイベントが開催されます。

羽田空港でも、9月11日（土）、12日（日）の2日間、様々なイベントが開催されました。東京空港整備事務所では、オープニングセレモニー、D滑走路歩き初め、再拡張事業展を行い、たくさんの方に参加いただきました。2日間とも晴天に恵まれ、「空の日フェスティバル2010」は、大盛況の裡に無事終了しました。ここでは、その様子をご紹介します。

①オープニングセレモニー

9月11日午前10時から、D滑走路の完成と新たな国際化を祝って、地元大田区内の小中高校9校の児童・生徒87人、JV、航空会社の整備士計90人が、東京都立つばさ総合高等学校プラスバンド部の演奏を背に、D滑走路上を聖火リレーしました。

最初に松原忠義大田区長から、聖火が第一走者に手渡され、次々とリレーされ、最終走者がトーチに込めた「羽田空港の現在から未来へ」のメッセージを発表しました。その後、空港長途子供たちが声を合わせて、「空の日フェスティバル」の開会を宣言しました。



東京都立つばさ総合高等学校プラスバンド部の演奏



メッセージがトーチに込められ伝えられた

②D滑走路歩き初め（家族バスツアー）

供用されると一般の方が立ち入れなくなる滑走路ですが、(財)沿岸技術研究センター、(財)港湾空港建設技術サービスセンターの協賛を得て、9月11日、12日の2日間、「家族バスツアー」を行いました。事前に参加者を募集したところ、定員600人に対し、約2倍の応募がありました。ツアーは、1日に3回、それぞれ100人ずつに分かれて、新国際線ターミナル前からバスでD滑走路へ向かいました。滑走路に着くと、バスからおりて歩き、また、記念撮影もしました。参加者のなかには、滑走路に寝ころんだり、暑さをものともせず元気に走ったりしている人もいて、皆さん楽しんでいるようでした。



D滑走路に到着する家族連れのバス

③再拡張事業展

D滑走路の事業の概要をパネルやビデオ等を使って紹介しました。また、「羽田空港の現在から未来へ」として寄せられた大田区内の小中高校の児童・生徒の皆さんの作文や絵を展示しました。2日間で約3000人の方にご来場いただきました。



D滑走路の展示物に興味を示す来場者たち

「空の日」とは？

「空の日」の起源は今から約60年前の昭和15年（1940年）に制定された「航空日」に遡ります。この年は、明治43年（1910年）の日本初の動力飛行からちょうど30周年にあたります。以降、第二次世界大戦終戦後の一時休止期間がありましたが、様々な行事が行われてきました。そして、民間航空再開40周年にあたる平成4年（1992年）、より多くの皆様に航空に対するご理解と関心を高めていただくとの趣旨により、9月20日に「空の日」、9月20日～30日に「空の旬間」が設けられました。

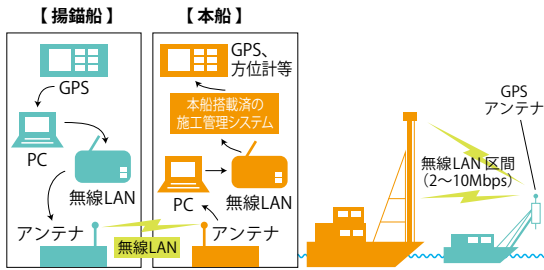


図1 GPSシステム



技術課題の克服 (D滑走路)

(財)沿岸技術研究センター 調査役
大里睦男



軟弱地盤対応

(1) 地盤の改良

埋立部地盤改良には低置換SCP（サンドコンパクションパイル）工法やSD（サンドドレーン）工法が適用された。供用中の空港のため制限表面が設定されている中での施工となる。

▼技術課題…制限表面下の狭い施工海域に最大13隻のSCP船が輻輳する工事であるため、各船が干渉せず、効率良く作業する必要がある。

○解決策…GPSを用いた作業船高さ管理システム及び投錨管理システムの導入（図1）

(2) 施工中の地盤強度測定

▼技術課題…施工段階毎の地盤の強度、沈下、変形を予測することが設計及び施工上重要となる。

○解決策…原位置試験（電気式静的コーン貫入試験と湿潤密度を計測できるRI-CPT）を用いた地盤強度管理（図2）

(3) 地盤の沈下予測

▼技術課題…施工段階から原地盤の圧密沈下や変形挙動を的確に捉えて滑走路島としての長期安定性を確保することが必要である。

○解決策…HASP（圧密沈下予測・管理システム）を開発（図3）

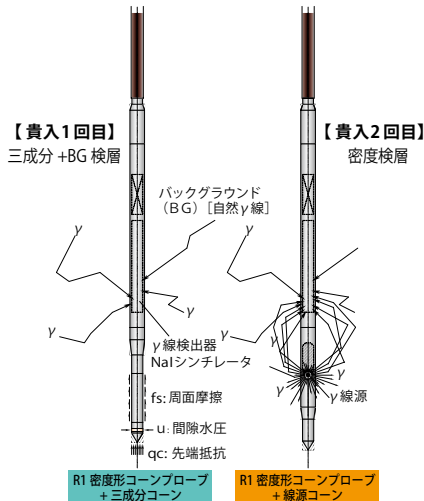


図2 RI-CPT実施概要

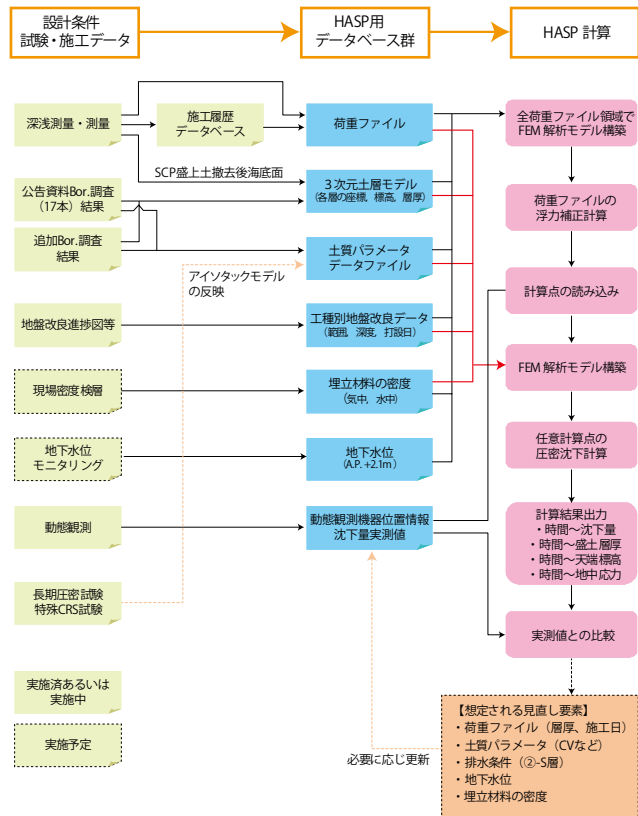


図3 HASPのフロー

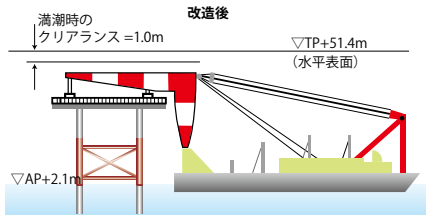


図6 低頭式起重機船



図4 防食対策

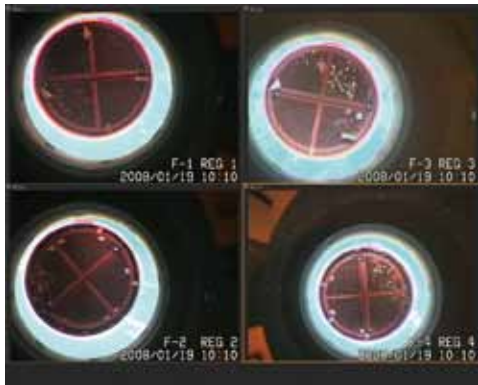


図5 レグ内カメラ

低頭式起重機船の採用 (図6)

○解決策…3000t吊級起重機船を改造したことが重要である

▼技術課題…制限表面下の影響を極力少なくすることが重要である

(1) 据付精度

▼技術課題…後から挿入するジャケットの据付のための基礎杭の高精度施工が要求される。

○解決策…パイルキーパーとGPS、レグ内カメラ、RTK (リアルタイムキネマティック) GPSを使用したジャケット誘導据え付けシステムの導入 (図5)

(2) 制限表面

栈橋部の防食・管理

▼技術課題…厳しい腐食環境にある海上栈橋のため、部材の長期耐久性の確保が重要となる。

○解決策…防食システムとして、チタンカバープレート、除湿システム、耐海水性ステンレス鋼ライニングの採用 (図4)

ジャケット据え付け

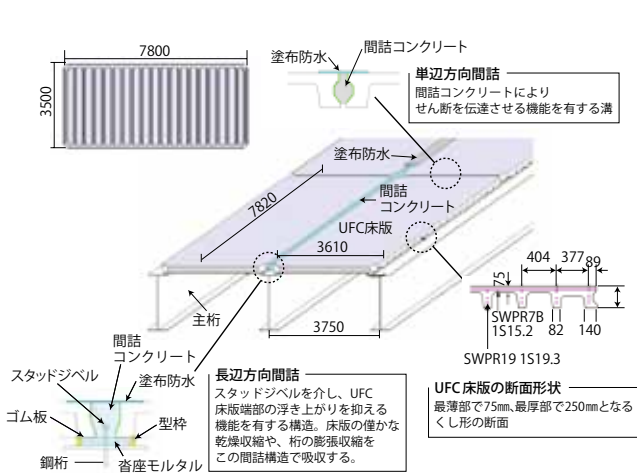


図7 UFC床版構造図

異種構造物間の接続

▼技術課題…背面埋立部の土圧による護岸変位抑制のため、せん断抵抗が大きい継手が必要となる。

○解決策…供用期間中及び地震時の異種構造物間の相対変位を抑制する構造が必要である。

▼技術課題…設計供用期間に対する長期耐久性疲労耐久性の確保、外周部はさらなる軽量化が要求される。

○解決策…滑走路や誘導路部にはプレキャスト床版、外周部にはUFC (超高強度繊維補強コンクリート) 床版を採用 (図7)

減 (図8、9)

処理土を使用した圧密沈下および側方変位の低減 (図8、9)

床版の長期耐久性、軽量化

ここでは大規模建設工事を支えた技術の一部しか紹介できませんでしたが、これら技術が今後の土木技術の更なる発展に貢献するものと確信いたします。

今後の発展

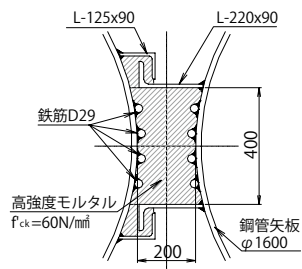


図9 鋼管矢板井筒継手

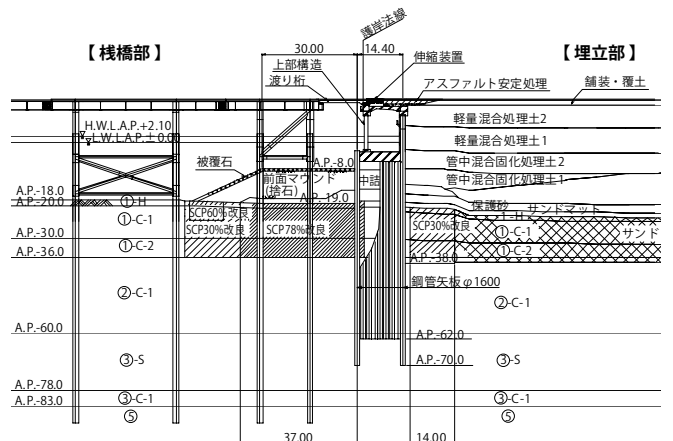


図8 接続部(鋼管矢板井筒護岸)

技術開発の背景及び契機

近年、社会資本の老朽化に伴う維持管理費用の増大が大きな懸念事項となっており、新設土木構造物についてもライフサイクルコストの低減に向けた取り組みが各所で進められている。その中で、港湾施設として用いられる鋼構造物については、厳しい塩害環境に加えて、海上、海中での点検・補修作業が陸上に比べて容易でないことから、特に長期耐用が期待でき、ライフサイクルコストに優れた防食技術の確立が求められている。

港湾施設を中心に適用実績を増やしつつあるジャケット式栈橋についても同様なニーズがあり、工場で製作されるという施工上の特徴を活かして、高耐食性金属を利用して長期耐久性が期待できる防食システムの開発を行った。また、橋梁で一部実施されている除湿による防食システムについても、平面的な広がりをもつジャケット式栈橋への適用を図ることとした。

本技術は、本年10月に供用開始される羽田空港D滑走路建設工事において、長期耐久性や適切な維持管理性の確保、短工期・大量施工への対応、ライフサイクルコストの低減を目的として、大規模に採用された。

従来の技術

鋼管構造の干満・飛沫帯における従来の長期防食工法としては有機被覆工法がある。ポリエチレン樹脂あるいはウレタン樹脂、エポキシ樹脂を1〜3mm程度の厚さで被覆するものであるが、期待耐用年数は30

寄稿 1
第12回
国土技術開発賞
受賞技術



ジャケット式栈橋の 長期防食システム

関口 太郎

新日鉄エンジニアリング株式会社
海洋事業部羽田空港再拡張プロジェクト部 シニアマネジャー

D滑走路の建設にあたっては、百年に対応するさまざまな技術が施されているが、なかでも鋼材の防食はもっとも難しいものの一つ。本稿ではそのシステムについて取り上げた。

年々40年程度とされておられ、現地での補修に課題がある。耐食性金属を構造物に被覆する工法としては、東京湾アクアライン橋脚へのチタンクラッド鋼ライニングや、ステンレス鋼厚板（1・5mm程度）をアーク溶接で被覆する工法などがあるが、初期コストが従来工法の数倍高く、鋼管への適用が困難であるなど、適用条件が限定されている。

上部鋼桁の防食工法としては、下塗りに鋼材との付着性に優れた無機ジンクリッチペイントを用い、その上にエポキシ樹脂塗料を塗り重ね、上塗りに耐候性に優れたフッ素樹脂を用いる重防食塗装系が海上橋梁等で採用されている。しかしながら、海上の厳しい腐食環境においては期待耐用年数が15年〜30年程度とされており、また、海上での点検作業や塗替え作業に大規模な仮設足場が必要となるなど、施工性や環境面に課題がある。

受賞技術の内容

本技術は、腐食環境が干満・飛沫帯にあたる下部工部分に適用する耐海水性ステンレス鋼ライニングと、海上大気部にあたる上部工部分に適用するチタンカバープレートと大空間桁内除湿システムに大別できる。

(1) 下部工

耐海水性ステンレス鋼ライニング

干満・飛沫帯には、構造用鋼管の表面を海洋環境での耐食性に優れた耐海水性ステンレス鋼の薄板で覆う耐海水性ステンレス鋼ライニング工法を開発した。使用するステンレス鋼は一般のステンレス鋼

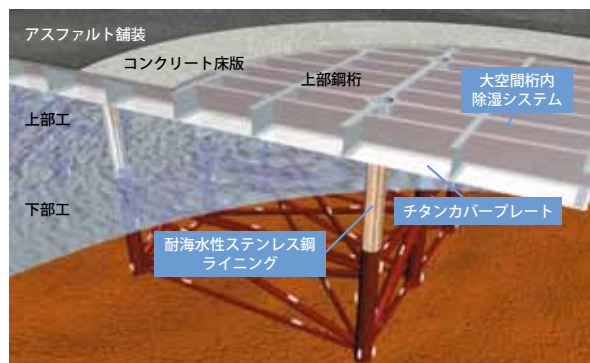


図2 長期防食システム概念図

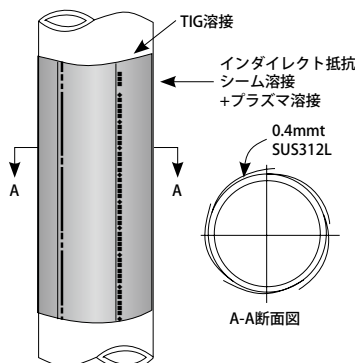


図1 ステンレス鋼ライニング概念図

(SUS304系、SUS316L系)に對して耐孔食性や耐除間腐食性を向上させたSUS312Lを選定した。材料の耐食性が優れているため腐食代を見込む必要はなく、ライニング材料は0・4mmの薄板を採用して初期コストの低減を図った。耐衝撃試験によって、従来の有機ライニング工法と比べて、漂流物などによる耐衝撃性に

も格段に優れていることを確認している。

薄板ステンレス鋼の溶接施工法としては、従来のアーク溶接で生じる溶損を避けるために、インダイレクトシーム溶接を適用した。インダイレクトシーム溶接は、薄板の重ね合わせ部を連続的に溶接できる抵抗シーム溶接の一種で、板の同じ面に溶接線に平行に配置した一对の電極輪間に高電流を通じて、その電流による抵抗発熱で溶接部の温度を上昇させて溶接する方法であり、薄いライニング材を高速溶接できる。特に、電極による加圧を与えながら溶接するため、溶接熱による変形の影響を回避できることから、薄板および熱膨張率の大きい材料の溶接には合理的な溶接法である。

インダイレクトシーム溶接後の重ね部の隙間を塞ぐ目的として、プラスマ隅肉溶接を併用して、溶接部の高耐食性を図った。複合溶接により溶接能率を低下させないように、インダイレクトシーム溶接とプラスマ溶接を同時に行うことができる自動溶接機を開発した。これにより、0・4〜0・6mmのライニング材を1m/分程度の速度で安定して溶接することが可能となった。また、溶接面の事前研削方法や、溶接後の処理方法などの周辺施工技術を開発することににより、安定した品質で低コスト、大量生産への対応が可能となった。

(2) 上部工 チタンカバープレート+大空間桁内除湿システム

コンクリート床版を支持する鋼桁の下面及び外周全体に、雨水や塩分の進入を防止するカバープレートを設置し、床版とカバープレートで覆われた内部空間の相対湿度

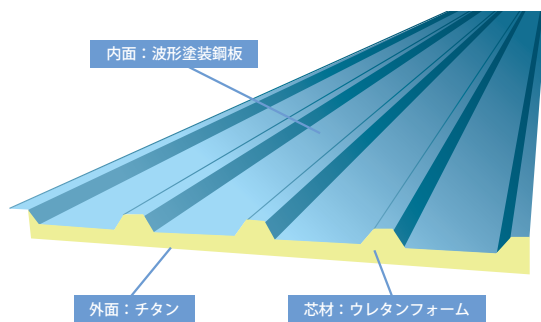


図3 チタンカバープレート概念図

度を除湿システムにより低減することによって、鋼桁の塗装寿命を大幅に延長する工法である。

チタンカバープレートは、外面にチタンの薄板(0・35〜0・4mm)を配置して耐久性を高めた金属サンドイッチパネルであり、1m²当たり10kgと軽量で、風速40m/s程度の風荷重および作業荷重に耐える強度、剛性を有している。金属サンドイッチパネルは被覆材としての建築屋根材で実績が豊富であり、外皮材と内皮材(波形塗装鋼板0・6mm)の間にポリイソシアネートの芯材を充填させた構造である。パネルは軽量鋼によって鋼桁に取り付けられ、鋼桁の下面、側面全体を覆って内部空間を構築する。パネル間の目地は振動に追随し、施工性に優れ、一定の気密性を有する構造となっている。チタンカバープレートの設置によって、航空機や車両が走行するコンクリート床版の下面を塩害から守り、耐久性を向上させる効果も期待でき

る。チタンカバープレートは作業足場としての強度、剛性、歩行性を有しており、上部工の維持管理性の向上が図れる。また、カバープレートは断熱性が高いため、外気と比べて内部空間の温度変化が小さく、後述する湿度管理に有利な形式になっている。

除湿システムは、内部空間に設置した除湿機、送風機と乾燥空気を送気する配管等で構成され、内部空間の相対湿度を50%以下に管理可能な自動運転機能を有している。配管を上部工全体に配置し、除湿機から排出される乾燥空気を配管にかけた横穴よりほぼ均等な風量で吹き出すことで、平面的に広がりを持つ内部空間が様な湿度となるように工夫している。内部空間の相対湿度は鋼桁に設置した温湿度センサーによって計測され、所要の相対湿度を上回った場合に、該当する除湿機、送風機が運転を開始する。除湿機の運転に伴って相対湿度が所要値を下回った場合は自動的に運転を停止する。また、除湿機の稼働状況や温湿度の変化を監視するモニタリングシステムも併せて開発した。

今後の利用

本技術は、従来技術に比べて、鋼構造物の防食寿命を飛躍的に延長できるものであり、ジャケット式栈橋をはじめ、海洋・港湾施設のライフサイクルコストの低減に大きく寄与するものである。羽田空港D滑走路では、河川流への影響や現空港に近接した施工などの条件よりジャケット式栈橋が必要とされたが、本技術の確立によって、50万haという大規模鋼構造物の実現が現実

的なものとなった。

耐海水性ステンレス鋼ライニングについては、引き続きジャケット式港湾施設への適用が期待される。チタンカバープレートや桁内除湿技術は橋梁上部工への広汎な適用も期待でき、建設時点から維持管理性に配慮した計画の立案が可能である。また、カバープレートについては、陸上の腐食環境に対応したより安価なパネル構造を開発中であり、維持管理の足場機能を橋梁上部工に付与し、塗装寿命の延長を図る予定である。カバープレートと除湿は本体構造物や建設地点の特性及び必要とされるニーズに応じて個別の適用も可能であり、今後の適用範囲の拡大が期待できる。



写真1 羽田D滑走路栈橋部外観

港湾鋼構造物の維持管理

周囲を海に囲まれたわが国には、多くの港湾施設が存在している。高度経済成長期の1960年代半ばからは、時代の要請もあり、数多く整備されるようになった。中でも港湾としての機能を直接発揮する岸壁（水深1.4・5m以上）は、建設後50年を経るものが2016年には全岸壁の14%、2026年には42%に達すると予測されている。このため今後は、維持管理のための調査・検査、リニューアル工事、補修工事等が増加すると考えられる。

鋼材はコンクリートに並ぶ構造部材である。鋼構造物は、短期間の施工でも高い信頼性が得られるため、鋼矢板岸壁や鋼管杭式栈橋等の港湾施設が大量に建設された。このような公共施設を安全に供用していくためには、適切な時期に、適切な手法で、その健全度を診断して、必要に応じた対策を行う維持管理が重要となる。

港湾鋼構造物の場合、海水や砂に直接曝される厳しい環境下に置かれているため、腐食から免れられない。したがって、腐食による劣化の状況が設計通りであるかどうかについて、常に把握しておく必要がある。もし、予想外に劣化が進んでいる場合などには、何らかの対策を打たなければならぬ。ここで、劣化の指標となるのが肉厚である。施設を構成する鋼構造物が現存する肉厚から構造物としての耐力を推定し、その健全度を診断する。

肉厚の測定には、超音波厚み計による接触式の方法が標準的な手法として用いられている。超音波センサを被測定物の表面に

寄稿 2
第12回
国土技術開発賞
受賞技術



非接触肉厚測定装置

吉住夏輝

(独) 港湾空港技術研究所
施工・制御技術部 計測・制御研究チーム 特別研究員

港湾施設の腐食による劣化状況を効率的な作業で把握できる
今までにない超音波を利用した非接触式測定装置の開発に成功した。

密着させて、超音波が表面から裏面まで伝搬する時間を測定し、これに鋼材中を伝搬する超音波の速度（音速）を乗することで肉厚が得られる。実験室内のような理想的な測定環境であれば、信頼性の高い高精度な測定が可能である。

しかし、港湾鋼構造物を対象とする場合、理想的な測定環境を確保することは極めて難しい。海にある構造物の表面には、貝や海藻等の海生生物が付着して生息していることが当たり前である。それらを取り除いておかなければ測定することが出来ない。海生生物は化学的にも強力に付着しており、潜水士はケレン棒やハンマーを用いて物理的に削り落としている。反力の取れない水中作業であるため、多くの時間と労力を要し、作業効率悪化の主な原因となっている。また、測定面を少なからず傷つけてしまうことや除去物を産業廃棄物として処理する費用負担なども問題である。測定作業上の問題としては、波や流れの影響下にあるため、潜水士が姿勢を制御することが難しいことが挙げられる。ミリメートル以下の精度で測定をしようにも、海中においてミリメートル以下の精度で姿勢を制御することは事実上不可能である。以上のように理想的な測定環境でないことからカタログスペックに示される測定精度を確保することは困難であろう。

また、維持管理のための構造物の調査では、対象とする構造物が供用中であるため、十分な作業時間を確保し難い、或いは係船の調整が必要になり、サービスイズ水準が下がるなどの問題がある。このため限られた作業期間内で調査を行うために、限られ

た測定点でのサンプル調査とするなど、維持管理のための実測データが犠牲になれば、診断の信頼性が下がる可能性も出てくる。このため迅速で効率的な調査が求められている。

非接触肉厚測定装置

従来の測定手法では、接触式であるが故に問題が生じていたため、非接触式の測定手法とすることさえできれば、既存の問題を解決できると見込まれた。しかし、一般的には非接触での肉厚測定は困難であり、専門家の間では非常識とされていた。港湾空港技術研究所では、あえてこの困難に立ち向かい、非接触測定という従来とは異なる概念に基づく装置の完成を目指して研究開発に着手した。図1は単一センサによる非接触肉厚測定系（左側）と超音波の多重反射の様子（右側）を時系列で図示している。離れた場所にあるセンサから超音波を放射し、付着物を透過、被測定物に収束させて肉厚を測定する。

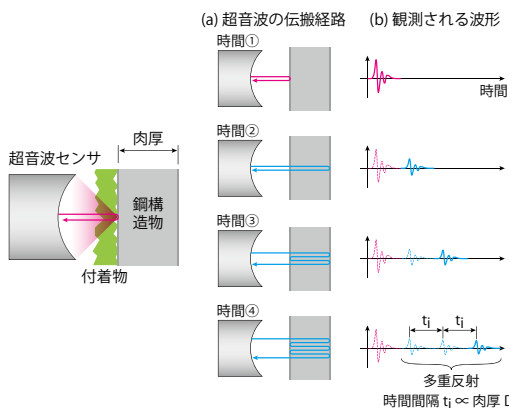


図1 単一センサによる非接触肉厚測定系と超音波の多重反射

性が著しく低下することになる。

超音波を含む音波には、音響的な性質が異なる境界面において反射・透過する特徴がある。この性質は、固有音響インピーダンスと呼ばれる量で表され、工学的には、音速と密度の積によって定義される。インピーダンスの差は反射強度に対応している。鋼は海水に比べると、音速と密度が共に大きく、インピーダンスの差も大きい。図1（右側）は、超音波の伝搬する様子と、その時に観測される波形を時系列で図示している。放射された超音波の持つ音響エネルギーのほとんどは被測定物の表面で反射する（時間①）。残りの一部分が鋼に進入して裏面に達する（時間②）。鋼から水に入射する場合も同様の強い反射となるため、結果的に超音波は鋼の内部に閉じ込められることとなり、板の厚み方向に超音波が往復して反射を繰り返す多重反射の状態となる（時間③及び時間④）。多重反射時には、一定の時間間隔 t の波形が観測される。この間隔 t は、超音波が表面と裏面を往復するのに要した時間であり、これに鋼の音速を乗することで肉厚 D が求められる。

本装置では、貝や海藻等の分厚い付着層を透過して被測定物に到達できる強力な超音波を発生させるために、有効直径80mm、曲率半径400mmの収束型の超音波センサーを採用した。また、収束型としたことでも超音波を受けることが可能となっている。もし、非収束型の平面センサーであった場合、超音波は鏡面反射してしまい、センサーと被測定物が正対している時にしか超音波を受けることが出来なく、現場での運用

本装置は、平成16年に開発計画がスタート、平成17年に測定原理を検証、平成18年に信号処理方法を検討、平成19年に要素技術を確立、水槽で実証試験を実施、平成20年に実海域（関門港田野浦岸壁）で実証試験を実施、平成21年に実用機を開発、実用化を果たした。現場における測定精度は1mm程度であり、従来の手法による測定精度に及ばない。しかし、従来の手法は接触式であるため、点状の測定しか行えなかったのに対して、本装置は非接触式であるため、線状、即ち、連続測定が可能となった。測定点数を飛躍的に増加させることができるため、健全度診断の信頼性向上へ寄与することが期待される。従来の手法は、ピンポイントの精密測定を得意としているのに対して、本装置は施設全体の簡易測定を得意とするため、詳細点検前のスクリーニング調査や目視点検の代替への活用が望まれる。

鋼管矢板岸壁現況調査への活用

現場で活用するのに当たっては、本装置の特徴を生かすために、潜水士が装置をハンドヘルドで操作する運用方法や昇降装置を用いることで水中作業を無人化した運用方法などが開発の過程で考案された。図2は、ミニショベルを利用する最も機械化された運用方法の一例である。バケットに専用ジグでアルミトラスを取り付け延長し、更に、これにガイドレールを据え付けた。陸側からアーム等を操作して、ガイドレールと被測定物が平行となるよう調整する。ガイドレールに沿ってセンサーを取り付けた

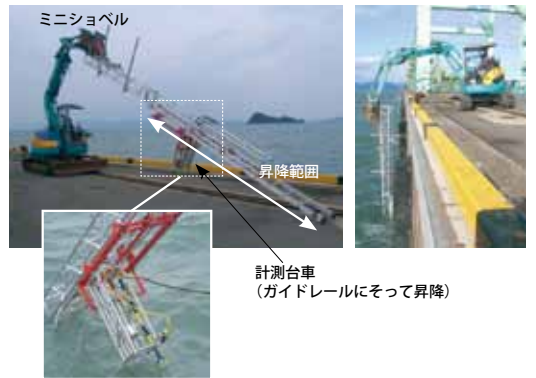


図2 非接触肉厚測定の実施状況

計測台車をウインチで昇降させることで水深方向に連続測定する。また、クローラでミニショベルを走行させることで水平方向に連続測定する。図3は、連続測定して得られたデータの振幅を輝度で表示した映像である（医療用超音波診断装置の映像と同じ表示方法）。肉厚の情報だけではなく、付着物の状況や構造物の形状等の情報についても映像で確認することが出来るようになった。

非接触での肉厚測定は不可能であると考えられてきたが、今後は非接触で測定ができることを前提に調査方法を検討できるようになった。各施工の場面で、現地の条件に合わせた現場適用技術の工夫や場合によっては開発を行うことで本装置の普及に努めたい。

港湾・空港構造物の維持管理のために必要な技術は、これまであまり研究開発されてこなかった。陸上では、既に耐用年数が過ぎ様々な建造物について、歴史的な価値

や純粋なコスト比較により、適切な補強や補修で使用し続けられたり、リニューアルされたりしている。いずれも供用中でサービスマンレベルを極力下げない施工管理や手法がとられている。今後は、港湾・空港の現場においてもそうした技術がますます必要である。

水中音響技術はその鍵となる技術である。水中において、ある程度の距離まで到達してセンシングに利用できるのは超音波のみであることから、水中機器で多く利用されている。電磁波・光の場合、至近距離以外では、吸収と散乱による減衰で実用上利用することが出来ない。今後維持管理事業の効率的な実施のためには、新たな検査用センサー等の超音波デバイスの開発による飛躍的な技術の向上が必要とされる。

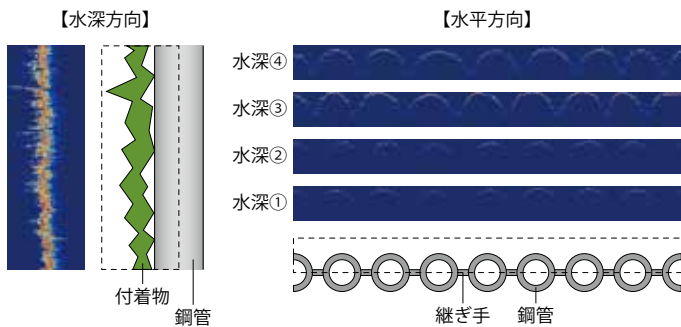


図3 非接触肉厚測定装置による水深方向及び水平方向の連続測定

はじめに

このたび「油圧ハンマ騒音低減装置」地域の生活環境を守る工事騒音低減工法の開発」が、第12回（平成22年度）国土技術開発賞入賞をいただいた。

ここでは、この開発技術の概要と適用事例について紹介する。

開発経緯

油圧ハンマによる打撃工法は、鋼管などの杭を用いた基礎構造を構築する工法として広く使われている。打設力が強く、固い支持層への最終打込みには必要とされる工法であるが、施工時の発生騒音が非常に大きく、工事現場周辺地域に大きな騒音影響を与える。

港湾等の工事は、従来、民家や学校、病院などから遠く離れた場所での施工が多かったのに対し、最近では、港湾のリニューアルや再開発をはじめ、都市化が進んだ地域での工事も多くなっており、騒音問題への対応は喫緊の課題である。しかしながら、現在のところ劣弱な防音機能の装置しか国内にはない状態であったため、高い防音機能を持ち、かつ軽量・安価な装置を開発し、実施工において、その効果を確認した。

開発への取り組みとその効果

油圧ハンマの打撃時における防音機能、施工性（安全性）、装置重量および製作費用に対し、以下のとおり開発目標を設定し、推進した。

(1) 安全性…施工時の安全性を確保する。

寄稿 3

第12回
国土技術開発賞
受賞技術



油圧ハンマ騒音低減装置

山本耕三

東洋建設株式会社
総合技術研究所 美浦研究所 室長

工事現場で広く使われている油圧ハンマだが、騒音が大きな問題となっていた。ここでは、騒音低減装置開発の取り組みを紹介する。

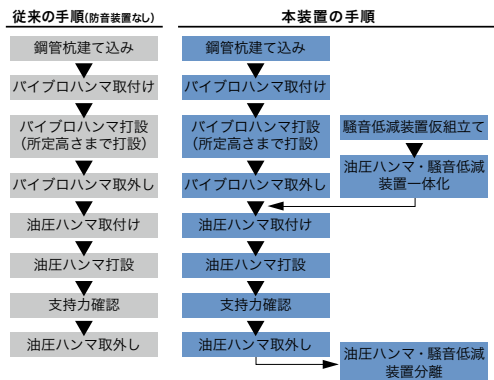


図1 従来手順と本装置の手順の比較

杭の着脱に関して、防音装置がない従来手順と本騒音低減装置（以下、本装置）を用いた手順の比較を図1に示す。本装置と油圧ハンマは事前に一体化させているので、杭打設のメイン手順は従来と大きく変わらず、油圧ハンマ取付け、取外しの手順内で合計10分程度の時間が増えるのみである。

(2) 施工性…杭の着脱が問題なくできる構造を確保する。
上部（上蓋と円筒状胴体部）と下部（底蓋とポリエチレン管）の二つのパーツに分割させ、杭の着脱が可能な構造とすることで、施工性の低下を防止するようにしている。

騒音低減装置本体の外殻を堅固な鋼管製の蓋との接触部に緩衝材を充填することにより、隙間の発生を防止し、かつ杭打設時の振動が装置本体に伝搬しづらい構造としている。これらの工夫により、杭打設能力を低下させずに、安全に施工できるようにしている。

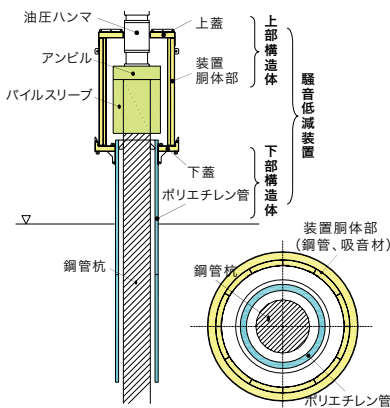


図2 装置断面図/平面図

本装置の断面および平面を図2に示す。
騒音低減装置は、上部構造体（上蓋、装置胴体部）と下部構造体（ポリエチレン管）で構成されている。また、装置本体も鋼管と吸音材の多層構造とすることで、40dB以上の遮音性能が得られるようにしている。さらに、鋼管杭部を覆うポリエチレン管は、下部が常に海中に達する長さにしておくことで、下部からの発生騒音の回り込みも防止できるようにしている。

(3) 防音機能…従来の国内で使用されている防音装置より格段に高い防音性能をもたせる。
これまでの防音装置は、作業性を優先し、油圧ハンマを鋼管、ポリエチレン管および防音シートなどで覆うが、その上下は開放されており、遮音性能が10dB以下（たとえば文献※ではA特性音圧レベルで7・6dBの低減効果が示されている）と大きな騒音低減効果が期待できないものであった。そこで、飛躍的な騒音低減が可能となるよう、以下の特徴をもつ本装置を開発した。

本装置は、装置胴体部と上蓋、鋼管杭部を覆う円筒形状のポリエチレン管と底蓋が、それぞれ一体構造（上部構造体および下部構造体）となっており、これら上下構造体間にクッションゴムを介在させることで、各構造体が上下にずれず、隙間が発生しないようにしている。また、装置本体も鋼管と吸音材の多層構造とすることで、40dB以上の遮音性能が得られるようにしている。さらに、鋼管杭部を覆うポリエチレン管は、下部が常に海中に達する長さにしておくことで、下部からの発生騒音の回り込みも防止できるようにしている。

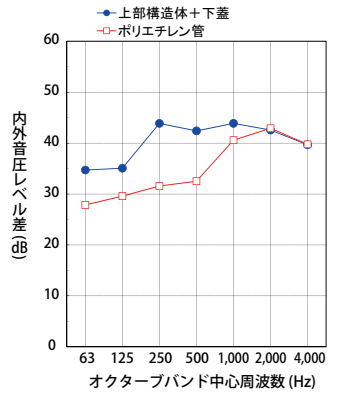


図3 騒音低減装置の遮音性能

また、JIS A 1417…2000

付属書2(規定)「特定場所間音圧レベル差の測定方法」に準拠して実施した本装置の遮音性能測定結果を図3に示す。遮音性能(内外音圧レベル差)は、装置本体(上部構造体+下蓋)で42・4 dB(500 Hz帯域)である。なお、ポリエチレン管(鋼管杭部遮へい用)については32・5 dB(500 Hz帯域)である。

(4) 装置重量：陸上クレーン補巻きでも支持できる重量まで軽量化させる。

施工中にハンマ打設による付加質量が作用しても、十分に支持できるよう、陸上クレーン補巻きによる施工限界重量の13〜15 tに対し、フック重量を含めて合計で10 tにおさまるようにしている。

具体的には、堅固でありながら軽量化できるよう装置胴体部を円筒構造とする、鋼材重量もできるだけ軽くなるよう装置本体内側の吸音材支持にはC T鋼などを用いる等により、軽量化を実現させている。

(5) 製作費用：製作費用を安価なものとする。

使用材料を国内で調達可能な市販品とし、また一般の工場で製作可能な構造とすることで、大幅な製作費用の縮減(同等機能を有する海外製品に比べ、半額以下)を

達成している。ここで、海外製品とのコスト比較を行っているのは、本装置と同等の遮音性能を有する防音装置が国内にはないためである。

開発技術の適用

本装置の適用事例は、那覇港(泊ふ頭地区)岸壁および臨港道路築造工事である。この現場では、公園を挟んで小学校と民家が近接しており、地域の音環境保全に配慮した施工が求められていた。

本工事は大型旅客船バースを那覇港(泊ふ頭地区)に整備するもので、完成後、平常時は増加傾向にあるクルーズ船の寄港に対応する係留施設として、また大規模地震等災害時には緊急物資輸送のための岸壁として利用される。

現場周辺の海上は離島フェリーや漁船等が輻輳する泊航路となっているため、現地での海上作業をできるだけ低減でき、工期短縮が可能な、「ジャケット式」構造が採用されていた。

鋼管杭の諸元は、臨港道路部分が1 000 mmφ、L=60 m、33本、岸壁部分分が1 200 mmφおよび1 300 mmφ、L=65 m、27本である。鋼管杭の打込み方法は、打撃工法(油圧ハンマ)と振動工法(パイプロハンマ)の併用である。

油圧ハンマに本装置を用いたときの施工状況を写真1に示す。使用した油圧ハンマはHCS280(エネルギー出力：1 000〜1 400 kJで打設)である。鋼管杭を覆うポリエチレン管は、杭打設の進捗により、海面より上の杭の長さに合わせて海中に没する部分が多くなっていく。



写真1 油圧ハンマ騒音低減装置を用いた鋼管杭打設

油圧ハンマから38 m離れた地点(陸上部)での騒音測定結果を図4に示す。測定値は施工中の1打撃ごとの最大値(時間重み特性F)の平均で示している。ここには、下部構造体ははずして試験的に実施した「上部構造体のみ設置」および「上部構造体+鋼管杭内注水」(さらに鋼管杭内部に海水を注入)の結果も併せて載せている。

測定されたA特性音圧レベル(A P(A)、騒音レベル)は、本装置を用いた場合78・5 dBであった。また、上部構造体のみ設置時：84・9 dB(本装置使用時より6・4 dB増加)、上部構造体+鋼管杭内注水時：82・1 dB(本装置使用時より3・6 dB増加)であった。

この結果から、油圧ハンマ本体を遮音するとともに、鋼管杭部からの音の発生を抑えることも重要となる事がわかる。本工事は、小学校や民家への騒音影響を極力小さくするために、敷地境界付近

に防音シート2層構造による遮音壁(壁厚1・2 m、幅100 m、高さ5 m)も設置した。これにより、小学校側の敷地境界では工事騒音を60 dB以下に抑えることができ、全施工期間を通じて、周辺住民から工事騒音に対する苦情は全くなかった。また、施工時間帯を選ばないため、工程の短縮および工費の縮減にも寄与した。

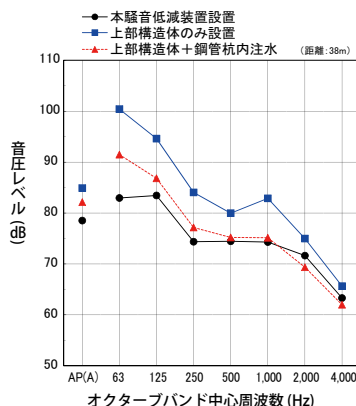


図4 遮音仕様の違いによる油圧ハンマ鋼管杭打設音

おわりに

ここに紹介した「油圧ハンマ騒音低減装置」は、市街地に近い海上(水上)工事の騒音低減に寄与し、民家や学校、病院近傍など、静穏な音環境が要求される地域での施工時に、良好な音環境の保全が図れ、社会資本整備を進める上で大いに貢献できるものと考えている。

今後は、本装置の活用を進めるとともに、さらなる適用範囲の拡大やコストダウンに向けた努力を続けてゆく所存である。

最後に、本装置の開発に共に携わった東洋建設九州支店の関係者をはじめ、実用化へのご理解と多大なご指導を賜った内閣府沖縄総合事務局の関係者の皆様に対し、誌面を借りて篤く御礼申し上げます。

参考文献

※ 杉谷哲治・富安真一郎(2004)：鋼管杭打撃工法における騒音低減策(佐伯港-14m岸壁築造工事)、平成16年度九州国土交通研究会資料、<http://www.qsr.mlit.go.jp/n-event/kenkyu/pdf/ii-9.pdf>

Q & A



本年10月21日から、羽田空港のD滑走路の供用が開始されました。D滑走路は、多摩川の自然環境を配慮して、埋立部と栈橋部のハイブリッド構造で話題になっています。D滑走路の完成によって、羽田の航空機の離着陸数は年間現在の約1・4倍の40・7万回まで可能になるようです。今回は、空港の最も重要な施設の一つと言える滑走路について理解を深めたいと思います。

Q.1

羽田空港D滑走路の特徴は何ですか

沿岸部にある空港は世界的に見ても埋立構造のものをもっとも一般的です。D滑走路のように、栈橋構造と埋立構造の両者を取り入れている空港は国内にはありません。

海外の例としては、ニューヨークのラガーディア空港がD滑走路と同じく、埋立部と栈橋部で構成されています。ラガーディア空港にある2本の2100mの滑走路のうち、栈橋部はそれぞれ600mと300mとなっています。ポルトガルのマ

デイラ島にあるファンシャル空港は陸地部分に継ぎ足して栈橋構造を取り入れています(供用2000年)。両空港とも、現在乗り入れている航空機は小型機・中型機に限られています。

D滑走路は世界に類を見ない大規模なものです。「設計供用期間100年」を標榜しています。それを支えているのはこれまでに触れたような新しいさまざまな土木、海洋技術と現場の工夫なのです。

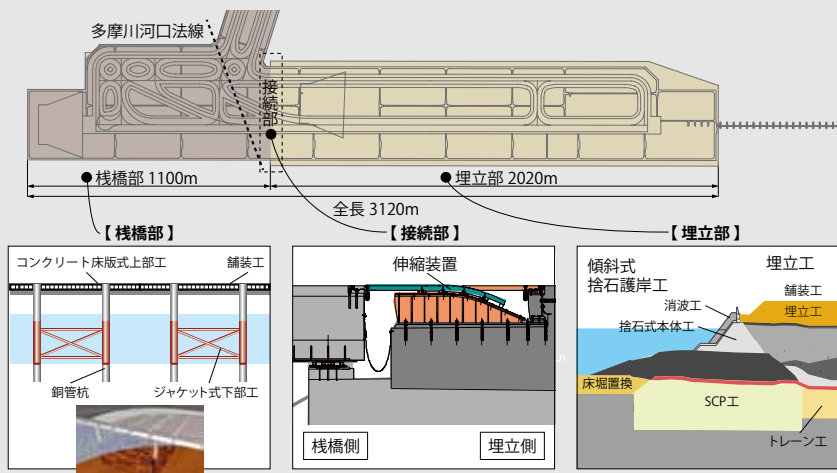


図1 Dランの埋立部、栈橋部、接続部

Q.2

滑走路の設備はどのようになっていますか?

羽田空港では滑走路がどれぐらいの頻度で使われているかご存知ですか。驚くことに2分に1回なのです。このことは、数珠繋ぎのように順番を待つ航空機が次から次へと離着陸していくことで実感できます。

安全に離着陸ができるように、滑走路にはさまざまな設備が備えられています。滑走路灯もそのひとつで、滑走路の両側に60メートルおきに設置されています。灯火の色は、滑走路の終端600メートルの範囲が黄色、それ以外は白となっています。

また、滑走路にはさまざまな標識がありますが、これは航空機に行先や経路や分岐点などを示す誘導案内灯です。誘導案内灯の黒色背景に黄色文字は現在地、赤色背景に白色文字は行先の情報を示しています。写真2は羽田空港の誘導案内灯ですが、「現在地点はD4で、この先は

23滑走路で右側は05滑走路」の意味となります。

滑走路の端には図2のように白色で文字が書かれています。「34」というのはその滑走路が向いている方向を示しています。北を0度として時計回りに360度まで数字を付け、そのアタマの2文字を表示したものです。したがって「34」というのはほぼ北北東に向いているということです。「R」というのは滑走路が平行に走っているときに区別するために、右側を「R」、左側を「L」とし、3本あるときは中央を「C」としています。

右側の白いラインは滑走路の末端を示したものです。



図2 滑走路上の記号



写真1 滑走路灯



写真2 誘導案内灯

MRJ

MRJ (Mitsubishi Regional Jet) は日本で開発中の小型旅客機です。2013年から運用が開始されるとのことですから、これで日本自前の飛行機が世界の空を駆け巡ることになります。

思いおこせば、40年前に戦後初めて国産機YS11が製造され、それこそ戦前の零戦や隼など、世界一の航空技術の再生ということで話題を呼びましたが、182機で製造中止となりました。その後、小型旅客機に関していろいろな計画があったようですが、いずれも実現しませんでした。

MRJは国の助成を受け、ナショナルプロジェクトとして開発が進められています。外国航空機メーカーの下請けや国際共同開発プロジェクトの参画者として技術を蓄積してきた我が国航空機メーカーが、「全機インテグレーター」として旅客機の開発に取り組むのは、YS-11以来のこととなります。

MRJの特長は、低燃費（他社より20%削減）・低騒音・低排出ガス、および優れた運航経済性、そして快適な客室空間です。同様の旅客機は海外他社も生産していますが、こうした点においても、MRJは優れているとのこと。

なかでも運航経済性については、格安航空運賃の常態化によって、東京～アジアの往復航空運賃が1万円という時代がいずれやって来るようなので、MRJは戦略的にも合致していると考えられます。エアバスA380などの最新鋭超大型旅客機の逆を行く、まさに日本独自の戦略と発想に基づいた結晶といえるでしょう。

航空機は、高度な先端技術が要求されるものであり、また、裾野が広い産業です。MRJプロジェクトを通じて、我が国の技術的競争力を更に高めることが期待されます。



沿岸虫めがね
日本製のエコ飛行機

Q.3

世界の空港の規模はどのようになっていますか？

空港は、その国の規模や空港がある地域の状態によってさまざまです。表1にもあるように、アメリカは国土が広く、しかも都市が分散していて、鉄道網があまり発展していないために上位20の中で10ヶ所の空港がランクインしています。ニューヨークは上位とはいえませんが、これはJ・F・ケネディ空港の他に、ラガーディア空港、ニューアーク空港があり、目的地、航空会社等により空港を使い分けているためです。また、アメリカの航

空会社は、会社ごとに複数のハブ空港を持っていて、空港によっては発着便の半分以上がその航空会社というところもあるようです。アメリカは当に航空国家といえるでしょう。

羽田空港の特徴としては、着陸回数の割りに乗降客が多いことですが、これは大型機が多いことを示しています。

現在4位の羽田空港ですが、D滑走路が供用され、今後順位が上がる可能性もあるでしょう。

表1 世界の主要空港の比較(乗降客数による)

順位	空港名	国名	都市名	滑走路本数	乗降客数(千人)	着陸回数(千回)
1	Hartsfield-Jackson Atlanta International	アメリカ	アトランタ	5	89,597	978.8
2	Chicago O'Hare International	アメリカ	シカゴ	7	69,282	881.6
3	Heathrow	イギリス	ロンドン	2	66,910	478.5
4	Haneda	日本	東京	3	66,754	339.6
5	Paris-Charles De Gaulle	フランス	パリ	4	60,688	559.8
6	Los Angeles International	アメリカ	ロサンゼルス	4	59,498	622.5
7	Dallas/Fort Worth International	アメリカ	ダラスフォートワース	7	57,093	656.3
8	Beijing Capital International	中国	北京	3	55,937	431.7
9	Frankfurt/Main	ドイツ	フランクフルト	3	53,234	485.8
10	Denver International	アメリカ	デンバー	6	51,245	619.5
11	Madrid/Barajas	スペイン	マドリード	4	50,503	469.7
12	John F. Kennedy International	アメリカ	ニューヨーク	4	47,808	441.4
13	Amsterdam Schiphol	オランダ	アムステルダム	6	47,392	446.6
14	Hong Kong International	中国	香港	2	47,141	309.7
15	Mccarran International	アメリカ	ラスベガス	4	43,209	578.9
16	George Bush Intercontinental	アメリカ	ヒューストン	5	41,709	576.1
17	Sky Harbor International	アメリカ	フェニックス	3	39,891	502.5
18	Suvamabhum International	タイ	バンコク	2	37,097	249.4
19	San Francisco International	アメリカ	サンフランシスコ	4	37,067	387.7
20	Dubai International	アラブ首長国連邦	ドバイ	2	36,592	270.4

(注)乗降客数及び離発着回数は「ACI world airport traffic report 2008」滑走路長は、2010年2月現在の各国の「AIP aeronautical information publication」による。

平成22年6月1日から4日間の日程で洋山深水港、連雲港の港湾施設等の視察をする機会を得た。本稿では、これらの概要について報告する。(視察者：(財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員 山下徹、関谷千尋)

(1) 洋山深水港への訪問

上海港洋山港区は、洋山深水港、東海大橋、洋山保税港区から成り、洋山深水港(写真1) およびその背後にある洋山保税港区は、長さ32.5kmの東海大橋(写真2) で結ばれている。



写真1 洋山深水港 第4コンテナターミナル



写真2 東海大橋

洋山深水港は、現在、第1から第4ターミナルまでであり、岸壁延長5.6km、水深-17.5mである。第1と第2ターミナルを上海盛東国際コンテナターミナル社が、第3と第4ターミナルを上海冠東国際コンテナターミナル社が運営している。

今回訪問した上海冠東国際コンテナターミナル社の話では、洋山深水港の全体の取扱量は、設計上は最大800万TEUまで可能であるが、実績では300万TEUとのことであった。取扱い実績が施設規模に追いついていない状況であるが、現在、さらに第4期の拡張工事が進められており、2012年に工事が完成すれば岸壁延長が10km、1500万TEUの取扱いも可能になるとのことである。

(2) 連雲港への訪問

中国東海岸、青島と上海の中間・江蘇省に位置する連雲港は、中国沿岸の最後のフロンティアとして中国政府が最も注目している港湾都市の一つとなっている。中国本土の南北を連結、東西を貫通させるという戦略的位置づけ(図1)にあり、温家宝首相が来訪された際には、「連雲港は中国地域経済の調和の取れた発展にとって重要だ」と語ったとされている。

連雲港市は工業化と港湾を核とする物流基地化による都市開発



図1 連雲港の位置づけ

を目指しており、そのため日本企業を含む海外からの投資、及び進出が期待されている。他の沿岸都市と違い、連雲港市はまだ発展の初期段階にあるため、投資

コストは相対的に低く、さまざまな観点で有利な条件を備えている。例えば、労働力コストが低い、不動産が安価、発電能力が大きい、鉱石資源が豊富といった巨大な潜在能力を持った都市となっている。

現在、港湾物流インフラがある程度整備され、公共埠頭は43バース、石炭・コンテナ・鉱石・木材などの専用埠頭が18バース建設されている(写真3)。

このように連雲港市の港湾を中心とした開発は、ビジネスチャンスが溢れ、魅力的であるが、その一方で、アクセス面においては、日本や韓国から直接乗り入れる国際航空便がなく、また現在の空港も港湾から遠いといった状況にある。



写真3 連雲港の港湾施設の現況

(3) 所感

将来計画のスケールと事業のスピードには、驚く内容ばかりであるが、中国側の関係者からのプロジェクト説明(写真4)では、環境第一、省エネ推進、自然エネルギーの利用、ゼロエミッションといった用語も頻出し、どこまでが具体性のある話であるのか判然としない側面もあった。しかしながら、都市開発に対する関係者の信念・自信と中国の現在の情勢を俯瞰すると、実際に結果を出してしまうような雰囲気も感じられる。

現地では、新空港建設や上海と青島を短時間で結ぶ高速鉄道建設の話もあり、中国の都市開発は、日本をベースとした物差しで考えてはいけなかったと感じた訪問でもあった。



写真4 連雲港経済技術開発区からの説明会

NEWS 04
CDIT講演会in神戸

平成22年10月14日（木）～16日（土）、神戸国際会議場（神戸市）において、わが国で唯一定期的（隔年）に開催されている海洋の科学・技術、工学、産業にかかる本格的な国際コンベンション「テクノオーシャン2010」が開催されました。沿岸技術研究センターでは、同時開催行事といたしまして10月14日（木）『CDIT講演会in神戸～沿岸域の活力・安全を支える技術～』を開催いたしました。講演会では、「高波防災における課題」と題して京都大学防災研究所平石哲也教授より、「津波防災の現状と残された課題」と題して関西大学社会安全学部高橋智幸教授よりご講演いただきました。また、技術講座として、沿岸技術研究センターの港湾関連民間技術の確認審査・評価事業により審査・評価を受けた技術、第12回国土技術開発賞を受賞した港湾空港関連技術についてそれぞれ紹介いただきました。

会期中、国際展示場のブースにおいて、沿岸気象海象情報システム（COMEINS）のデモンストレーションを行いました。

NEWS 03
沿岸技術研究センター
創立記念特別講演会

去る9月27日、恒例となりました沿岸技術研究センターの創立記念特別講演会を開催いたしました。本年は、鳥取大学上田茂名誉教授より、最近注目を集めている海洋開発に関し、「海域利用と大水深海洋施設の発展」と題してご講演いただきました。海域利用や海洋構造物の歴史的経緯、現状等、また、海洋基本法の下での海洋開発について、興味深いお話をいただきました。詳細については、次号にてご紹介します。



写真6 上田茂名誉教授による講演

NEWS 02
港湾の施設の技術上の
基準に係る登録確認機関の
更新について

平成19年4月に施行された改正港湾法により、技術上の基準が性能規定化されるとともに、基準への適合性を確認する民間の機関を国土交通大臣が登録する制度が創設されました。

沿岸技術研究センターは、この制度により平成19年8月24日に登録され、10月1日から確認業務を始めております。平成21年度末までに62件について技術基準への適合性を審査し、確認証を交付しております。

登録は3年毎に更新が必要とされており、平成19年の登録から3年が経過したことから更新を申請し、平成22年8月24日付けで更新されました。



写真5 林田国土交通省港湾局長から小原理事長に登録更新証が伝達

NEWS 05
「TSUNAMI」英語版・インドネシア語版土木学会出版文化賞受賞記念講演会開催

「TSUNAMI」英語版・インドネシア語版が平成21年度土木学会出版文化賞を受賞したことは既にお知らせいたしました。沿岸技術研究センターでは、去る8月4日これを記念し講演会を開催いたしました。講演会では、22名の受賞者を代表し、東京都市大学の加藤一正客員教授から「TSUNAMI—ご—読いただくために—」と題して、更に、関西大学社会安全学部長の河田恵昭教授から「『稲むらの火』から『百年後のふるさとを守る』へ—語り部による披露—」と題して御講演いただきました。河田教授のご講演には、奥様の英子様にも語り部として一緒にご講演いただきました。



写真7 加藤一正教授による講演



写真8 河田恵昭教授による講演



写真9 語り部河田英子様による講演

当センターは、今後の誌面づくりに反映させるため、皆様のご意見ご感想をお待ちしております。詳細は当センターHPをご覧ください。

URL:<http://www.cdit.or.jp/>

【編集後記】

最近よく羽田空港を利用します。その際、京浜急行で行くことが多いのですが、すでに「羽田空港国際線ターミナル駅」が完成しています。本号が発行されるころには「羽田空港国際線ターミナル駅」で降り、D滑走路から海外に出発できるようになっているのでしょうか。楽しみです。(Y.M)

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

発行 財団法人 沿岸技術研究センター
〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16 住友半蔵門ビル6F
TEL. 03-3234-5861 FAX. 03-3234-5877
URL <http://www.cdit.or.jp/>
2010年10月29日発行