

インフラ

Infrastructure



夢舞大橋



長良川河口堰



13.6m地上発進/到達シールド



GPS波浪計

柴田 弘	Hiromu Shibata	①
桑原 浩二	Koji Kuwabara	①
伊墻 昭一郎	Syoichiro Igaki	②
田窪 宏朗	Hiroaki Takubo	②
花岡 泰治	Yasuharu Hanaoka	②

佐藤 譲治	Joji Satoh	②
松下 泰弘	Yasuhiro Matsushita	①
西村 史睦	Hitoyoshi Nishimura	③
仲保 京一	Kyoichi Nakayasu	②

1. はじめに

インフラセグメントにおいては、社会的経済基盤整備に資する製品群を100余年を超えて生み出し続けてきた。これらの製品群は、それぞれの工場の長い歴史とともに、分社化等の組織的改編を経ながらも技術的な進化を伴って生産活動が継続され続け、2009年4月にHitzものづくりの拠点として機械・インフラ本部に統合され現在に至っている。

本稿では、代表的な製品である橋梁、水門、シールド掘進機ならびに海洋防災機器について、これまでの歩みと将来展望について述べる。

2. 橋梁

2.1 創業期から第二次世界大戦まで 桜島工場（当時は桜島造船場）の副業として、また将来の需要が見込めることに着目して、当社は1900年（明治33年）の七尾鉄道の鉄道橋（54トン）を皮切りに橋梁事業に着手した。翌年には現在でも歩道橋として供用されている明治橋（50トン）を大分県に納入している。

当社の橋梁事業が本格化したのは1910年代に入ってからで、1915年から1926年にかけて橋梁の製作は鉄道橋を中心に5,000トンに達し、大正末の1926年には7,000トンに及ぶ手持ち工事を有して繁忙を極めた¹⁾。

1923年の関東大震災や1929年に始まる世界大恐慌による不況の中にあっても公共事業は重要な位置を占

め、1928年には橋梁工事は当社受注高の45%となり、橋梁事業は引き続き当社の経営にとって重要な役割をつとめた。この時期には地元の大分はもちろんのこと、北海道を始めとして全国に亘って数々の名橋を手掛けている²⁾。創業以来、第二次世界大戦の終了までに当社が製作した橋梁は、国内向けに約63,000トン、海外（朝鮮、満州、台湾）向けに約10,000トンに及んだ。

この時代の当社の橋梁技術について記録された資料は少ないが、ここでは社内外の文献を参考にして、当時としては高度な技術を要したと推測される工事例を挙げることにしたい。

(1) わが国最古の供用中の道路用桁橋 民間では二、三の造船所で手掛けていた以外は官製が殆どを占めていた明治期の鉄製橋梁は海外の技術に負うところが多く、当社が1901年（明治34年）に製作した明治橋（図1）も鋼材はイギリスから調達したとされている。しかしながらその構造は、現在橋梁形式として一般化している「合成床版を有する鋼2主桁橋」と酷似しており、大分県の安田技師による設計は100年を先取りした特筆に値するものである。現在、永久供用を目指して地元臼杵市で補修が進められており、その第1ステップとして2010年に床版と高欄が復旧された。

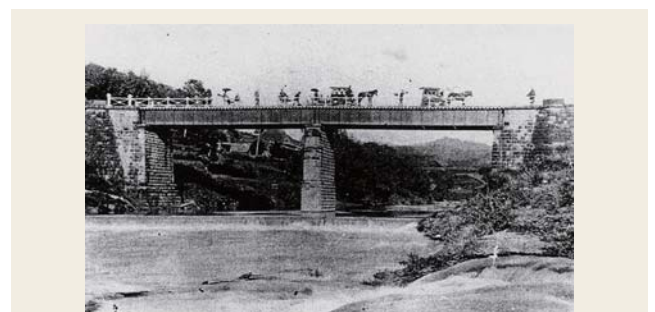


図1 建設当時の明治橋

① Hitz日立造船(株) 機械・インフラ本部 鉄構ビジネスユニット

② Hitz日立造船(株) 機械・インフラ本部 産業機械ビジネスユニット

③ Hitz日立造船(株) 機械・インフラ本部 開発センター

(2) わが国初のケーブルエレクション斜吊工法

岐阜県から受注して1926年（大正15年）に完成した木曾川を渡る太田橋（単純トラス3連）は中山道の難所の一つである「太田の渡し」のすぐ上流にあり、しかも架橋位置が高いため、当時一般的に用いられていた足場式工法による架設は不可能であった。そこで考え出されたのが造船台で船を組み立てる方法を応用した工法であった。これはわが国の橋梁では初めての架設工法で、このあと信濃川橋梁（1927年、飯山鉄道）、第三長良川橋梁（1928年、当時の越美南線）、益田川橋梁（1928年、高山線）などの鉄道橋や濁澄橋（1932年、石川県）もこの方法で架設している。この工法はやがて業界でケーブルエレクション斜吊工法と呼ばれるようになった。

(3) 数々のアーチ橋 明治期の橋梁は鉄道橋が中心で、構造形式としては桁橋以外ではトラス橋が多かった。大正に入ると自動車や市電が普及するようになり道路橋が増えてくるとともに、その形式にはアーチ橋が採用されることが多くなってきた。更に昭和に入るとアーチ橋の数はトラス橋を凌駕するようになる。このような背景のもとに大正末期から昭和初期にかけて当社は様々な形式のアーチ橋を製作・架設している。主なものに、後曳橋（スパンドレル・ブレースドアーチ）、堂島大橋や天神橋（2ヒンジアーチ）、十三大橋（ブレースドリブ・タイドアーチ）、伊勢大橋（ランガートラス）などがある。これらの橋梁は建設当時いずれも高い技術力を要したものと思われる。

(4) 溶接橋 この時代の部材の組み立てはリベットによる方法が通常であったが、造船分野ではすでに溶接技術が普及し始めており、当社でも1918年（大正7年）から電気溶接技術の研究を開始していた。その成果を用いて1931年（昭和6年）の御坊駅跨線橋（トラス橋）には全溶接構造が適用された。しかしこれは試験的に用いられたようで、当社で溶接橋が本格的に製作され始めるのは第二次世界大戦後の1951年以降になる。

2.2 戦後の復興期から高度経済成長期まで

第二次世界大戦による国土の荒廃の中で当社は終戦の翌年には早くも橋梁の製作を始めて、大阪市向けに大和田川橋を、また翌1947年（昭和22年）には現在も国道24号の交通を支えている勸進橋を完成させ、復興の一助としている。

その後、1954年に「第一次道路整備5箇年計画」が策定され、高度経済成長とともに道路橋の建設が本格的に推進されることになった。これにあわせて当社は戦前の実績を足掛かりにして積極的な営業活動を展開し、また業界に先駆けて長大橋の設計・施工に関する技術開発を行った。

わが国の長大橋の曙は若戸大橋の建設である。当社は1958年（昭和33年）にその両主塔の製作・架設工事を受注し、床型横中ぐり盤での部材端面切削による塔柱鉛直出来形精度の確保やクリーパークレーンによる

架設（図2）、現場継手への高力ボルトの採用など幾多の課題を克服して1961年（昭和36年）に無事完工した。本工事で開発した新技術・新工法はこのあとの長大吊橋主塔工事で大々的に採用されることとなる。

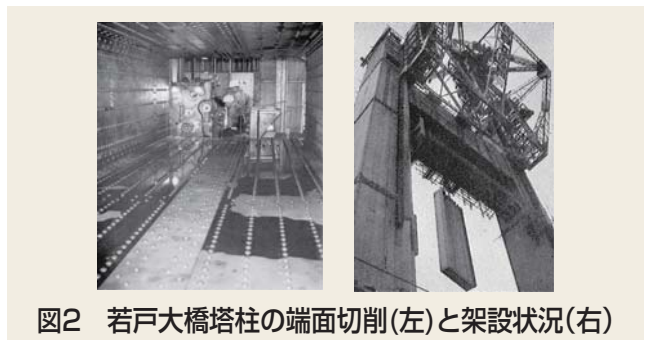


図2 若戸大橋塔柱の端面切削(左)と架設状況(右)

一方1955年に完成したスウェーデンのストレームズンド橋から始まった近代斜張橋は、この時期西ドイツを中心にヨーロッパ各地で建設され始めていた。わが国でもその優れた構造特性に着目して数橋の小規模なものが建設されていたが、支間長200mを超える本格的な斜張橋は、当社が計画から設計・製作・架設までを受注し1968年（昭和43年）に完成した尾道大橋が最初のものである。特に船舶の航行の激しい尾道水道上の架設を本体のケーブルを利用した張り出し工法で行ったことは、斜張橋の構造上の特徴を最大限に利用したわが国では初めての試みであった（図3）。



図3 建設中の尾道大橋

この時代の最後を飾るのは、1974年（昭和49年）に完成したゲルバートラス橋では世界第三位の港大橋（主径間長510m）で、本州四国連絡橋のテストケースとして注目されていた。当社は築港側の定着桁（側径間）約200mを製作したが、その範囲には多量の70キロ鋼や80キロ鋼が使用されていた。高張力鋼の工作法や溶接法に関して当社は1950年代から50キロ鋼や60キロ鋼について、また1960年代に入ってから80キロ鋼について研鑽を重ねてきており、本橋の製作を無事遂行することが出来たのはこれらの成果に負うところが多い。なお、ゲルバートラス橋は吊橋に次ぐ長支間橋梁形式として世界各地で建設されてきたが、港大橋を最後にして、構造解析法や高強度ケーブルなどの技術開発により急速に支間長を伸ばしてきた斜張橋に取って替わられることになる。この意味で斜張橋である尾道大橋の成功は当社にとって大きな実績となり、この

あと豊里大橋やかもめ大橋などの新技術を採用した斜張橋建設の参画へと繋がってゆく。

またこの時期は大型電子計算機の普及に伴って、設計面では構造解析技術が進んで複雑な高次不静定構造物の応力状態が解析可能となり、桁橋では自動設計が使われ始めた。製作面ではNCシステムを導入することにより原寸から切断、孔明け、パネル溶接までを一貫して処理できるようになり、部材製作において高精度・高効率化が図られた。当社でもこの時期は設計部門や研究所で有限要素解析、骨組構造物の固有値解析や影響線解析、各種橋梁の自動設計、鋼床版の解析などのプログラムの開発が精力的に行われた。中でも鋼床版の解析については業界に先駆けて取り組んでいる。また製作面では桜島工場でNCシステムが導入され始めている。

2.3 ビッグプロジェクトの時代 1978年に本州四国連絡橋児島・坂出ルートが着工されわが国の本格的な長大橋時代が始まった。このように、1970年代から1990年代にかけては都市部を含めた全国的高速道路網や海峡横断架橋を始めとしたビッグプロジェクトが次々と実現に向かって動き出した時代であり、後半の1987年から1999年にかけては鋼橋の発注量は60～80万トン/年に達していた。当社でもこの時期の受注量は年間3万トンを越えることが珍しくなく、これに対して桜島または堺と向島の2工場体制で対応した。

土木構造物に使用される一般的な材料は鋼とコンクリートであるが、同一の強度を有する部材を比較すると鋼で構成されたものはコンクリートからなるものに比べて軽くて小型化できるという利点があり、このような特性を持つ材料を大量に必要とした長大橋は鋼橋の独断場となった。このため、この時代は鋼橋メーカーは競って長大橋に対する技術開発を行った。当社もわが国の長大橋の原点となった若戸大橋（吊橋）や尾道大橋（斜張橋）の実績を基に様々な技術開発を行ってきた。図4にその要点を整理して示す。

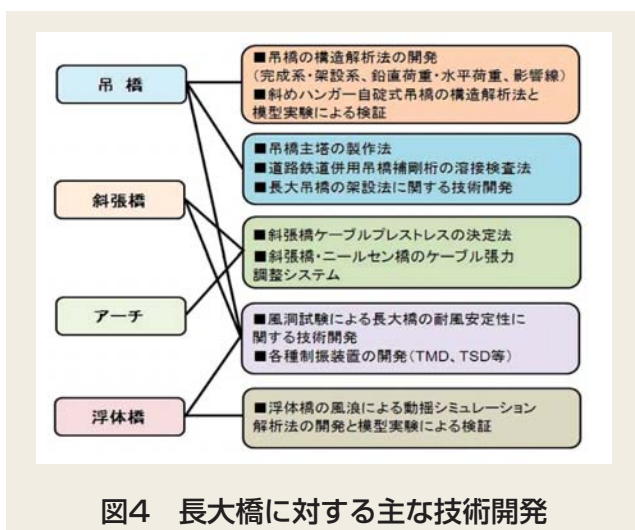


図4 長大橋に対する主な技術開発

当社はこれらの技術を駆使して海外橋梁についても取り組んできた。いずれも長大斜張橋で、コンソーシ

ムあるいは共同企業体の一員として1987年（昭和62年）にはラマ九世橋（タイ）を、1997年（平成9年）には汲水門橋（香港）を、そして2010年（平成22年）にはストーンカッターズ橋（香港）を完成させている。

そのほかこの時期に施工した特徴ある橋は文献（2）に挙げられているのでここでは省略するが、堺工場では舞鶴クレインブリッジや夢舞大橋、向島工場では明石海峡大橋補剛桁や新尾道大橋がこの時代の締めくくりにふさわしい長大橋工事であった。

2.4 現代から未来へ 1990年代に入ってわが国の経済が長期に亘って低迷し始めるとともに、公共事業においても建設費の削減が叫ばれるようになってきた。また1999年に西瀬戸自動車道が開通することにより長大橋を始めとしたビッグプロジェクトも終焉を迎えて鋼橋の発注量は減少の一途を辿ることになった。それにあわせて当社の最近の鋼橋受注量は図5に示すように1998年以降漸減傾向にある。

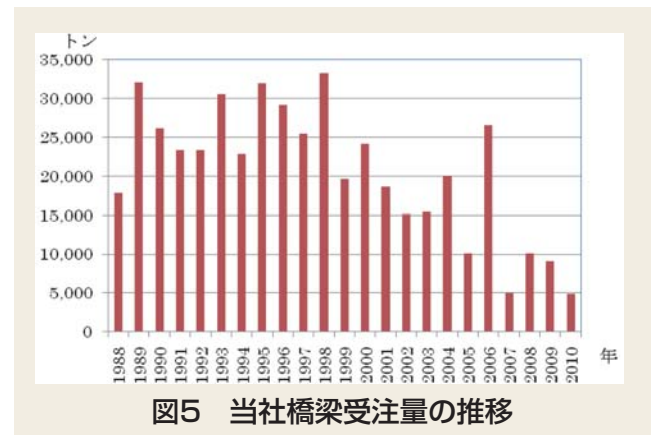


図5 当社橋梁受注量の推移

今後の社会資本整備の指針として2009年に「社会資本整備重点計画（平成21年3月31日閣議決定）」が策定された。公共事業の発注量が減り、かつ建設コストの縮減が重要視されるなか、この「社会資本整備重点計画」によると、これからの技術開発の対象となると考えられるのは、建設費の縮減、耐久性の確保、交通渋滞対策、防災・減災対策、既存施設の長寿命化・老朽化対策といったキーワードで表される技術である。鋼橋でも経済性を重視して、例えば長支間床版を使用した構造の簡素化、単純化などが進んでいる。また鋼橋の弱点である腐食や疲労損傷を考慮した耐久性の確保も重要な課題となっている。さらにここ数十年の間に増大してゆく老朽橋の架け替えや延命化などの問題もある。これからの橋梁事業にとって高度成長期やビッグプロジェクトの時代とは視点の違った、限られたコストの中で上記の課題を解決できるきめ細かい技術を有することが必要とされている。

このような状況の中で、当社では1998年（平成10年）から鋼2主桁橋などの合理化橋梁の基本技術である長支間床版（プレストレスト・コンクリート床版、鋼・コンクリート合成床版）の研究を行い、さらに今後有用な技術としてプレストレスト・コンクリート橋との競合を念頭に置いた低コスト橋梁（図6）の開発や交

差点の立体化を迅速に行える急速施工法（図7）の開発などを進めてきた。

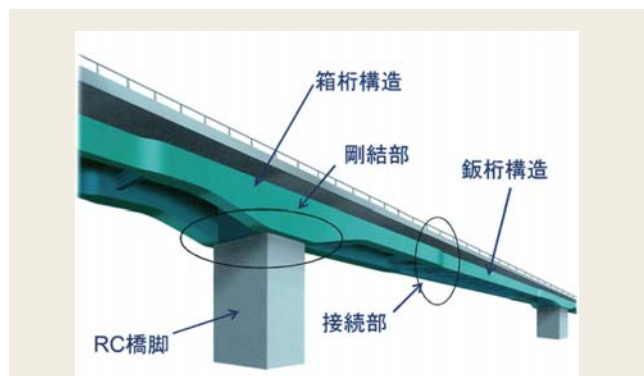


図6 コンボガーダー複合ラーメン橋

工法名	UFO工法	Hi-FLASH工法
開発年	平成33年	平成17年
概略図		
基礎形式	鋼製直接基礎	大口径場所打ちRC杭
有効な地盤条件	比較的良好な地盤に対応	軟弱な地盤に対応
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 基礎にプレファブ化した鋼部材を採用 鋼製上下部工と鋼製直接基礎が一体になったラーメン構造 	<ul style="list-style-type: none"> (株)土木研究所、(株)フジタとの共同開発 鋼製上下部工とRC場所打ち杭とを合理的な接合構造(UAS)で一体化

図7 交差点立体化に対する急速施工法

それらのうち急速施工法の一つであるUFO工法については、2010年に竣工した間屋町立体交差橋を含めてすでに3橋の実績を有している。またHi-FLASH工法の根幹技術であるユニ・アンカーシステム（図8）については立体交差橋だけではなく、都市部の狭隘な箇所での一般橋梁への適用についても検討している。

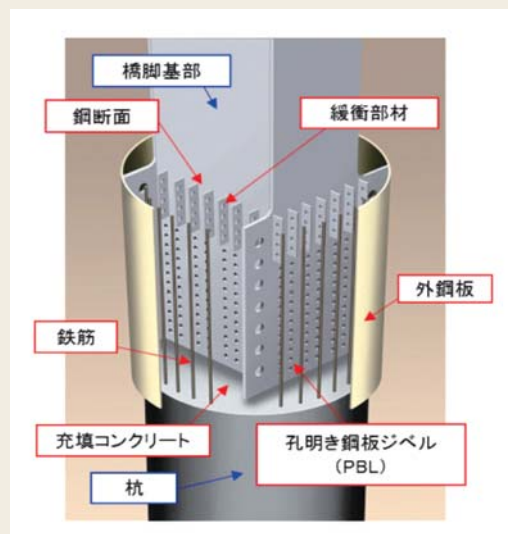


図8 ユニ・アンカーシステム

一方、防災や長寿命化など保全工事の最近の受注実績は図9に示すとおりで今後の伸長が期待できる分野である。保全技術については普遍的な技術開発は難し

いため、現在、港大橋、天保山大橋、かもめ大橋などの特殊技術を要した大規模補修・補強工事を始めとして、これまで手掛けてきた数多くの保全工事の実績を基にした広範囲に適用可能な設計・施工技術のデータベース化を進めている。

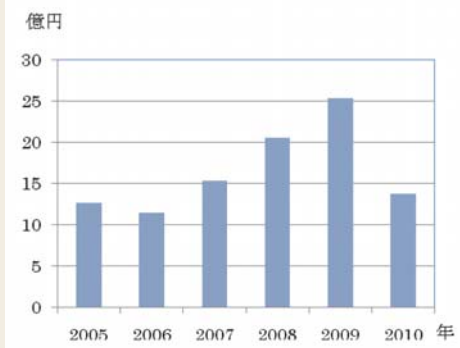


図9 保全工事受注額の推移

また要素技術として、工期短縮やコスト削減を図るために現地計測の省力化を目指したソフト技術も開発中である。その一例として、図10に示すレーザースキャナを利用したシステムにより既設橋梁の3次元形状寸法を計測し、コンピュータ上に3次元モデルを再構築する状況を示す。本システムによれば足場が不要で、複雑な構造も忠実に再現できるため、工事費の削減や工期短縮、出来形成果品質の向上を図ることが出来る。さらに損傷状況や補修・補強履歴を3次元モデル内に蓄積することにより保全データベースとして活用することも出来る。

今後の保全に関しては、当社関連部門が有する調査・診断技術も含めてこれらの技術を総合的に活用できる体制の構築を目指している。

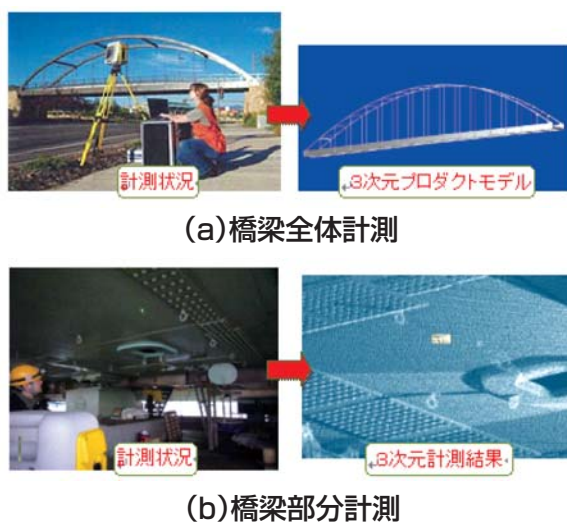


図10 レーザースキャナを用いた橋梁三次元データベース化システム

2.5 橋梁事業の将来展望 高度経済成長期に建設された多くの橋梁が、近い将来ほぼ同時に老朽

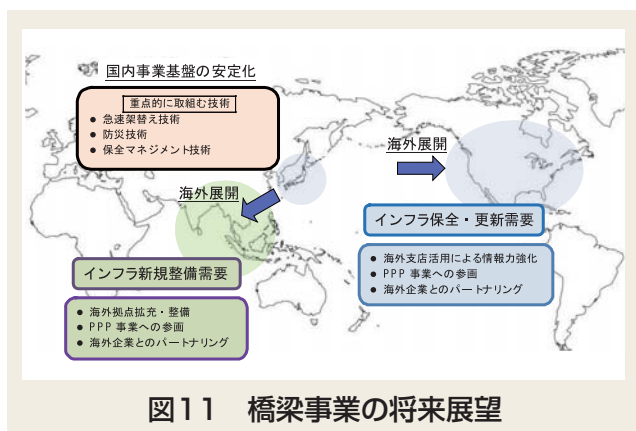
化時期を迎えることで、維持管理の重要性が改めてクローズアップされている一方で、少子高齢化に伴う財源不足はインフラ保全においても深刻な問題となっている。

この様な状況の中、当社でも、より低コストで、より効率的にインフラ保全を行うことを目的とした「アセットマネジメント」の概念を活用した取り組みとして、GPS測位技術を活用した橋梁モニタリングシステムや3次元モデルデータベース、従来から開発してきた合理化橋梁・急速立体交差技術を活用した架け替え工法など、Hitzグループの保有する多様な技術を結集し、インフラ保全・更新に活用できる要素技術の開発を進めているところである。今後更にこれら要素技術を統括し、総合的に活用できる当社独自のインフラ保全マネジメントシステムの構築を目指している。

一方、急速な成長を続けるアジア等新興地域では、インフラ整備が経済成長を支える重要な課題となっており、PPP (Public Private Partnership) などの新たな官民連携事業を用いてパッケージ型インフラの海外展開を進める動きが国交省主導で既に始まっている。

当社では、PPP事業への取り組みとして、官民連携で設立された「PFI/PPP推進協議会」に参画し、PPP事業参画に関わる検討を開始している。また、現地生産方式によるコスト競争力の強化や、橋梁上下部一式で発注される海外工事に対応するため、海外企業とのパートナーリングやM&Aを含めた海外拠点の拡充・整備について既に取り組んでいるところである。

このように、国内では、橋梁保全・更新や防災技術を含めたインフラ保全マネジメントに関わるビジネスにより国内事業基盤を安定させると共に、海外へのビジネス展開、特にアジア新興地域でのインフラ整備に関わる成長や、米国でのインフラ保全に関わる需要を取り込むビジネスに重点的に注力し、橋梁事業の成長・拡大を図っていく (図11)。



3. 水門

3.1 事業の端緒

当社の水門事業のはじまりは、1900年(明治33年)に神戸市水道局へ納入したφ600mm～φ1980mmのリベット継ぎ手鋼管である。

これは、日本で最初に使用された水道鋼管といわれている¹⁾。これを機に、1908年(明治41年)備後電気鉄道へφ1220mm×142mの水圧鉄管(鉸鉸管)を納入し、1924年(大正13年)宇治川電力(現関西電力の前身の一部)大峰発電所へ余水吐ラジアルゲート(幅6.157m×高さ3.10m計9門)を初めて納入した。

続いて1925年(大正14年)には、大都會の中心(堂島川)に設置する河川浄化を目的とした堂島川可動堰(ラジアルゲート4門)を大阪市へ納入した。本可動堰は、現存する最古のトラス構造ラジアルゲートで、景観設計の先駆けとなったものである³⁾。昭和に入ってから、土佐堀川(ラジアルゲート4門)、道頓堀川(ラジアルゲート)、長堀川(ラジアルゲート)、江戸堀川(ローラゲート)及び京町堀川(ローラゲート)の各可動堰を順次、大阪市へ納入した。このうち、堂島川(水晶橋とも呼ばれる)及び土佐堀川(錦橋とも呼ばれる)だけ残されている。

3.2 昭和初期から終戦まで 1931年(昭和6年)満州事変を契機として、軍需産業に不可欠な電力を確保するため、全国的に大規模水力発電所が建設された。この時代から終戦までの間に納入した工事の主要なものは、1936年(昭和11年)宇治川電力笠置発電所向水門設備(ラジアルゲート14門)、1938年(昭和13年)伊予電気鉄道(現四国電力の前身の一部)禰原川第2発電所向水門設備(ラジアルゲート4門)、1943年(昭和18年)宇治川電力兼山発電所向水門設備(ラジアルゲート14門 図12)である。



図12 宇治川電力兼山発電所

しかしながら、1941年(昭和16年)の太平洋戦争勃発とともに、水力発電所建設計画の大部分が、戦争激化による資材不足から中止のやむなきに至った。

3.3 終戦直後(昭和20年代)の時代 戦後の水門のスタートは、1948年(昭和23年)四国配電(現四国電力の前身)仁淀川発電所向水門設備(ローラゲート3門)である。

その後、朝鮮戦争勃発による特需景気と、電力再編成とが契機となって、戦前中止のやむなきに至った水力開発計画が見直されるとともに、国民生活の安定のための治水事業が積極的に推進された。現在でも有数な規模を誇るダムや水力発電所がこの時期に建設された。

この時期の納入実績は、1953年（昭和28年）東北電力片門発電所向水門設備（ローラゲート5門）、1954年（昭和29年）関西電力丸山発電所向水門設備（ローラゲート5門）、同年東北電力本名発電所向水門設備（ローラゲート4門）などの大形水門である。このうち、片門発電所の水門は、幅12.8m×高さ12mという国内最大のもので、扉体に多段分割ヒンジ結合式を初めて採用した。

3.4 昭和30年代 水力開発は、昭和20年代後半から本格化し、昭和30年代に最盛期を迎え、1963年（昭和38年）アーチ式ダムとして、西日本一の規模を誇る九州電力一ツ瀬発電所の堰堤制水門6門、同年当社がこれまでに手がけたダムゲート工事中最大規模の東北電力向揚川発電所堰堤洪水吐15門などを納入した。

また、1957年（昭和32年）の多目的ダム法、1961年（昭和36年）の水資源開発促進法等の施行に伴い、翌年水資源開発公団（現独立行政法人水資源機構）が設立されたのを契機に、ダム建設が急速に推進された。

この間、土木技術の目覚ましい発展により、従来困難とされていた地点での開発も可能になり、水門技術もより高度なものが要求されるようになった。また、水力開発は大型化して、設置される水門も大型化・高水圧化が進み、扉体形式や巻上方式等に種々の新形式が採用された。1960年（昭和35年）末までに当社が開発した水門の新技術は100数件に上った（表1）。

表1 主な水門の新技術(水力発電所用水門)

完成年	注文主	工事名	設備・種類	新技術
1953	東北	片門（発）	堰堤制水門（余水吐）	多段分割ヒンジ結合式扉体
1954	関西	丸山ダム	堰堤制水門	戸溝部への給気（給気管の設置）
1956	四国	祖谷川ダム	〃	シェル構造ローラゲート（日本初）
1956	関西	殿山ダム	リフタゲート	アーチダム用リフタゲート（日本初）
1957	〃	〃	堰堤制水門	ドロップゲート
1958	東北	上野尻（発）	魚道水門	フラップ多段配置魚道水門
1960	中国	滝山川（発）	堰堤制水門	世界でも珍しい扉体嵩上げ
	関西	黒部川第4（発）	取水口水門	ダウンブル軽減の底部形状（実験） バイパスバルブ注水時の減勢
1965	電発	魚梁瀬（発）	取水口水門	電力向初の多段式表面取水ゲート

防潮水門に対する需要も昭和30年代から増加傾向にあった。特に、我が国では、毎年台風による高潮の被害が大きく、1950年（昭和25年）のジェーン台風、1959年（昭和34年）の伊勢湾台風、1961年（昭和36年）の第2室戸台風の災禍で、防潮対策が急ピッチで促進された。

1959年（昭和34年）大阪府・市向けの三軒家防潮水門は、ジェーン台風以来、大阪府と大阪府が協力して進めた大阪市内高潮対策事業の関連工事であった。

当社も防潮水門の技術を数多く開発した。大阪市新淀川河口右岸に設置した建設省近畿地方建設局（現国土交通省近畿地方整備局）向西島水門（1950年（昭和35年））は、当社独自の設計による2段分割式防潮水門

で、業界の注目を集めたものの一つである。建設省中部地方建設局（現国土交通省中部地方整備局）向日光川河口防潮堤水門（1961年（昭和36年））は、水門18門を有し、伊勢湾台風で大災害を受けた日光川両岸の低湿地を塩害・風水害から守るために計画されたもので、その後の防潮堤工事のモデルケースとなり、当時国内最大のものであった。

一方、治水事業も昭和20年代後半から本格的に着手され、戦中戦後の河川の荒廃を復興するのみならず、治水利水を総合的に捉え水系全体の改修計画が検討されるようになり、重要水系の改修計画に多目的ダムによる洪水調節を導入するようになった。

当社はこのような環境の中、多目的ダムに設置される主放流設備として、1955年（昭和30年）関東地方建設局（現関東地方整備局）向五十里ダム非常用洪水吐設備（ローラゲート3門）を納入したのを始め、1960年（昭和35年）北海道開発局向大夕張ダム常用洪水吐設備（高圧ラジアルゲート1門）、1961年（昭和36年）近畿地方建設局（現近畿地方整備局）向大野ダム主放流設備（高圧ラジアルゲート3門）を納入し、高圧ゲートメーカーとして現在に至っている。

特に、大野ダムは、初めて水密方式として扉体圧着式を採用し、水密構造、扉体圧着装置の技術を確立し、その後の1964年（昭和39年）九州地方建設局（現九州地方整備局）向鶴田ダム及び1969年（昭和44年）同向松原ダムに受けつがれた。

次に、治水問題と同時に、大都市の水不足が深刻化してきた昭和30年代後半より都市用水確保のため河口付近に堰（河口堰）を設け、河口の淡水化を計り、新規の水源を求めることが本格的に行われるようになった。

この河口堰に設置される水門は、必然的に長径間となり、従来のダムに設けられていた水門とは構造的に異なるものが要求された。

当社は、祖谷川ダムで確立したシェル構造ゲートを改良して、我国の本格的河口堰の先駆けともいえるべき水資源開発公団向秋ヶ瀬取水堰を1965年（昭和40年）に納入した。

3.5 昭和40年代

順調に推移してきた当社の水門は、1967年（昭和42年）関西電力和知発電所向余水吐ラジアルゲートの脚柱座屈事故で大きな打撃を受けた。

この苦難を乗り越え、当社は技術的に新しい試みがなされた大阪府向安治川大水門を1970年（昭和45年）完成させた。（図13）

安治川大水門は、大阪府が西大阪一帯の防潮対策の切札として計画したもので、従来の防潮堤の嵩上げや防潮鉄扉による高潮対策が限界に来たことから採用した、全く新しい高潮対策であった。高潮時、市内を流れる主要3河川（安治川、尻無川、木津川）の河口をアーチ型のバイザーゲート（回転によって開閉する形式の一つ）で一時的に締切り、高潮の上流への遡上を防ご

うという画期的な方法であった。ここで使用されるバイザーゲートは、オランダで実用に供されているだけで、我が国最初のものであった。



図13 安治川大水門(上流側より見る)

一方、国内市場においては、水力開発が一段落したこととその後石油火力が発電の主流となったことにより、昭和40年代半ばから水力発電所向けの水門需要は減少していった。このような市場規模縮小のなかにおいて、当社は、1973年（昭和48年）水資源開発公団向早明浦ダムの主放水設備（幅10.4m×高さ18.8m×6門のローラゲート）を完成させた。この水門は片門発電所堰堤制水門で開発された技術（表1参照）を継承した大形ローラゲートで完成当時東洋一の規模を誇った。

次いで1974年（昭和49年）建設省近畿地方建設局向淀川大堰（第一期工事 図14）の幅55.0m、(扉高7.8m)にも達する日本一の長経間水門も完成させた。その後、長径間ゲートとして、1983年（昭和58年）水資源開発公団向筑後大堰（5門）、1994年（平成6年）同長良川河口堰（3門）、2001年（平成13年）近畿地方整備局向紀の川大堰（5門）を納入した。



図14 淀川大堰(下流側より見る)

3.6 昭和50年代～現在まで 50年代に入り、従来、治水を目的に建設されてきた多目的ダムで、冷水・濁水の流出などのダム公害問題が起り、選択取水設備に関する技術開発が必要となった。

当社では、従来得意としたダム主放流設備や河口堰・水門とは異なる技術分野のものであったため、最適呑

口形状決定法の確立や、シリンダゲート扉間水密構造の開発、ジェットフローゲートの開発など、選択取水設備関連技術の確立に努力を傾け、1979年（昭和54年）山口県向生見川ダム選択取水設備、1980年（昭和55年）岡山県向鳴滝ダム選択取水設備へこれらの新技術を取り入れた。

さらに、ダムゲートのコンピュータ制御が一般化するとともに操作を単純化しかつ操作時間を短縮する必要が生じ、高圧ラジアルゲートにおいて、従来の圧着式水密方式から摺動式水密方式が主流を占めるようになった。

摺動式水密方式は、1976年（昭和51年）島根県向八戸ダム（2門）を始めとして、1977年（昭和52年）北陸地方建設局（現北陸地方整備局）向大石ダム（1門）、1983年（昭和58年）同向大川ダム（5門）、1993年（平成5年）東北地方建設局（現東北地方整備局）向三春ダム（1門）、1998年（平成10年）中部地方建設局（現中部地方整備局）向長島ダム（3門）、中国地方建設局（現中国地方整備局）向苦田ダム（1門）、2002年（平成14年）近畿地方整備局向大滝ダム（3門）がある。

また、摺動式水密方式をさらに高水深化へ適用するため、ゴム圧着式を当社独自で開発した。本水密方式は、1987年（昭和62年）中国地方建設局向弥栄ダム（水深約70m：3門）、1994年（平成6年）関東地方建設局（現関東地方整備局）向宮ヶ瀬ダム（水深約115m：1門）に適用した。特に、宮ヶ瀬ダムは、高圧ラジアルゲートとしては国内最大水深であることから、次のような設計がなされた。高圧ゲートの設計で全水圧荷重とともに重要な要素が設計水深であり、80m以上の設計水深となる高圧ゲートを一般に超高压ゲートと称して分類されている。超高压ゲートは不確定な外力が発生するおそれがある高圧下で操作されるため、振動の発生やその他の不測の外力に対し構造的・機械的・水理的な配慮を行う必要がある。ダム・堰施設技術基準（案）における許容応力度の補正係数は、「高圧水門において常時の水門扉の90%、設計水深が80mを超える高圧ゲートも高圧水門に準じるが、許容応力度の補正について十分な検討を行う」としている。常用洪水吐設備として国内で初めて設計水深80mを超える設備が宮ヶ瀬ダムの115.163m（高圧ラジアルゲート国内第1位）であり未確定要素への配慮から補正係数75%を採用した⁴⁾。

(1) 揚水発電向水門 昭和40年代後半から原子力発電所が次々と運転に入ったが、これに呼応して夜間の余剰電力の活用とピーク時発電のための揚水発電所の建設が進み、ここに新しい水門の需要が生れた。

揚水発電所向けの水門は取水口や放水口の制水が主で構造的には従来の取水口水門と大差はないが、流入吐出時の流速が大きいため、呑口部（吐口部）に設置されるスクリーンは、カルマン渦による振動が発生しやすいため、これに対する配慮が要求された。

当社は、振動解析および水理実験によりこれに対す

る技術を確立し、1976年（昭和51年）中国電力向南原発電所、1980年（昭和55年）中部電力向奥矢作発電所、同年東北電力向第2沼沢発電所へ反映した。

(2) 老朽発電設備の取替（改造）工事 昭和初期に建設された発電設備の老朽化に伴い、昭和40年代初めより、既設水門の取替需要が出て来た。その後、昭和49年の第一次オイルショック以降、水力発電の見直しとともに取替（改造）需要が本格化して来た。1966年（昭和41年）にラジアルゲート1門の取替を行った東北電力向豊実発電所以来、多くの工事を実施している。

その中でも1975年（昭和50年）関西電力向殿山ダムは、1956年（昭和31年）に完成した摺動式水密のオリフィスローラゲート6門のうち2門を流量調節可能な扉体圧着式水密に変える大がかりなもので、改造内容、工法とも特筆すべきものである。

(3) 利水放流設備のコスト縮減 ダム利水放流設備は、対応する放流量（河川維持放流量や洪水時放流量）に応じて大容量放流用と小容量放流用の2系列になる場合が一般的であるが、近年公共事業に対するコスト縮減が求められ、2系列化されている放流設備を1系列にすることによるコスト縮減が検討されるようになった。

しかし、大容量放流から小容量放流までを同一の放流設備で行う場合、微小開度放流による流量制御は避けることができない。そのため、微小開度放流時における安定な放流水脈が求められる。

また、小容量放流時には細かい流量制御、すなわち精密なゲート開度の制御が必要となる。

そこで、従来型ジェットフローゲート（以下JFGと称する）とは異なる精密な開度計及び油圧制御システムを実装するとともに、従来直線であるゲートリップを円弧形状にした改良型JFG（以下円弧リップ型JFGと称する）を考案した。

本ゲートの特徴は、ゲートリップを円弧形状にしたことである。これにより、小容量放流時のゲート開度を大きくして微少開度放流を極力避けるとともに、ゲート開度の変化に対する通水断面積の変化量、すなわち放流量の変化量を小さくすることにより、細かい流量制御を可能とした。

さらに、円弧リップ型JFGは放流水脈の拡幅・飛散を従来型JFGよりも小さくすることが可能となった。

上記の円弧リップ型JFGの水理特性については土木研究所において水理模型実験を行い、所定の機能を満足することを確認した。

なお、円弧リップ型JFGは、2004年（平成16年）東北地方整備局摺上川ダム放流設備に採用された。（図15・16）本設備の諸元は、設計水深104m、口径2800mm、最大放流量157.8m³/sと国内最大規模のものである⁵⁾。

3.7 海外工事 当社の海外工事は、1956年（昭和31年）日立製作所向アバニャンダバ発電所（ブ

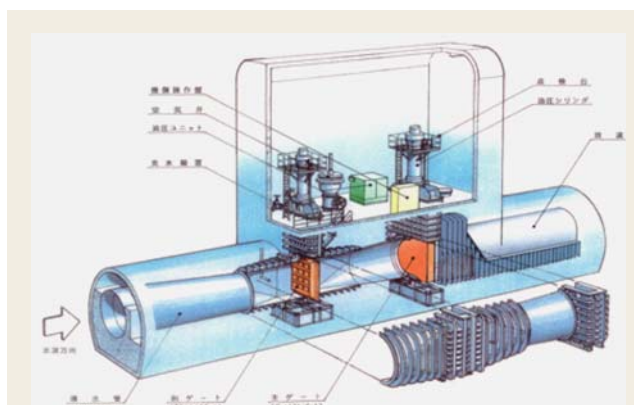


図15 摺上川ダム放流設備鳥瞰図



図16 摺上川ダムジェットフローゲート(下流側より見る)

ラジル)用取水口(ローラゲート)・放水口(スライドゲート)各6門計12門が最初である。

その後、東南アジア、西パキスタンなど発展途上国向けに多くの実績を作った。特に1967年（昭和42年）西パキスタン向けのコーデラバット（56門）、1968年（昭和43年）マララ（80門）、1970年（昭和45年）チャスマ（68門）の各貯水池の水門は合計204門にも達した。

この他にも、1966年（昭和41年）米国向バウンダリーダム（8門）、1980年（昭和55年）アフガニスタン向カジャカイ（8門）、1987年（昭和62年）バングラデッシュ向キャプタイ（5門）、2001年（平成13年）ベトナム向ハムツアン（12門）がある。

3.8 ダム再開発 ここ10年間においては新設ダムの建設に加え、コスト縮減と既存ストックの有効活用を図るため、ダム再開発が行われ始めている。ダム建設後30年以上経過したものが今後増加していく中で、既設ダムでは老朽化による更新ニーズに加え、要求機能の変更・機能向上と付加価値を含めたダム再開発事業の取り組みが行われている。

ダム再開発においては、ダムを運用しながら施工する方法(ダム貯留水を空にすること無く施工が行える)が求められる。このため、ダム上流面を締切り、ドライ施工が可能となる仮締切り工法が開発施工されてき

た（図17）。鎧畑ダムを筆頭に田瀬ダム、五十里ダム等で適用拡大されてきている。初期の仮締切りは安全性を確保するため、仮設専用の大規模締切りが設置されたが、実績データから仮締切りの挙動が把握できたことで、近年は本設備兼用の仮締切りや、田瀬ダムの仮締切りの一部を五十里ダムで再利用するなど、仮設備削減工法が実施された。



図17 五十里ダム仮締切設備

また、放流能力の増大に対しては、ダムにトンネルを掘削し、放流管を挿入設置し、放流管末端に放流ゲートを設置する工法開発が行われ、上記仮締切り工法との組み合わせにより再開工法が確立してきている。加えて、洪水放流設備だけでなく取水放流設備を増設する再開工事も行われ始めており、仮締切り工法の活用が求められてきている⁶⁾。

当社は、今後、新設ダムの建設が減少していくなかにおいて、既存ストックの有効活用を実現するための新技術の開発を目指し、前述の施工経験を踏まえながら技術開発を推進している。

3.9 排砂設備 ダムの排砂は、貯水容量の減少というダム機能への直接的影響はもちろん、ダムの上下流、さらには水系全体に対する影響等が重要課題となっている。

ダムの堆砂低減対策としては、流域全体の土砂生産を抑える方法や流水の力により土砂をダム下流へ排出する方法、堆積した土砂を掘削浚渫する方法等がある。この中でダム堤体における対策として排砂設備を用いたフラッシングによる方法がある。貯水位を低下させて流水の掃流力による排砂を行う方法である。また、排砂設備では、摩耗・劣化が避けられないことから、ゲート操作での土砂の噛み込みが生じない構造や仕組み、耐摩耗性、維持管理性の配慮を特徴とする排砂設備が開発されている⁷⁾。

当社はJVの一員として、これらの技術開発を適用した、出し平ダム、宇奈月ダムに摩耗対策技術を適用したフラッシング排砂設備を施工した。

3.10 水門事業の将来展望 今まで述べて来たように水門の用途は、時代を反映し大正時代から昭和30年代までの水力発電主体の時代から、多目的ダムの主放流設備、選択取水設備、或いは河川河口に設置

される河口堰や都市を高潮の被害から守る防潮水門と種々変化してきた。

当社は時代の要請に応じてその都度新しい試みに挑戦し先行メーカーとしての地位を築き、維持して来た。これからも今まで以上に水門に要求される機能は多様化し複合するものと予想される。水門の将来を明るくものとするためには変化する客先ニーズに細心の注意を払って、積極的に対応することと、日常のたゆまぬ技術開発の努力しかない。

既存の機種、現有の技術に甘ずることなく安全性と性能の向上はもちろんのこと、コストダウンにもより一層の努力をしていく所存である。

4. シールド掘進機

4.1 シールド事業の変遷 シールド工法は、1826年に英国テムズ川トンネル工事において世界で初めて採用された。日本では1936年に関門トンネル工事において本格採用され、その後急速に発展した。当社のシールド事業は1967年に始まり、40年以上の歴史がある。その間、市場のニーズに応え、常に最新技術を提供、シールド掘進機のトップメーカーとして発展してきた。1999年に1,000台に到達、2011年3月現在で1,221台の実績がある。

当社で最初に生産を始めたのは舞鶴工場であったが、輸送の問題から築港工場へ移り、その後神奈川工場・堺工場でも生産を実施した。1981年に神奈川工場へ集約したが、工場能力の不足から大口径については桜島工場でも生産を行った。1985年に大型組立工場を新設、その後は神奈川工場にて一貫して生産を続けた。

2002年に競争力・シェアの拡大・技術力の向上を目指し、競合先であった日立建機のシールド部門と統合会社（ジオテックマシナリー株式会社）を設立、神奈川工場を生産拠点とし、当社の大阪本社の設計部門も神奈川工場に移転、それまでは分かれていた工場の設計部門との統合とともに、日立建機の設計部門・スタッフ部門も集結し、事業の拡大を推進した。

2006年に日立建機はシールド事業から事実上撤退、2008年には日立造船完全小会社として、「Hitzマシナリー株式会社」に姿を変えた。Hitzマシナリーは、堺工場で産業機械を製作していた「株式会社ニチゾウ桜島製作所」と小口径シールド・セグメントを設計・製作していた「日機装置株式会社」が統合した会社であった。

その半年後に神奈川工場が閉鎖され、堺工場へ集結、神奈川工場のシールド生産設備・大型工作機械の移設を実施し、28年ぶりに堺工場でのシールド生産が開始した。2009年には、ものづくり事業の統合によって、Hitzマシナリーがそのまま日立造船本体へ合流し、現在に至っている。

4.2 国内シールド⁸⁾ 当社の製作実績の中で特徴的な機械を年代別に表わしたのが図18である。

1967年に開放型手掘シールドの製作を始め、1977年に直径1.8mの密閉型シールドを始めて製作、1983年には当時世界最大級の11.22m泥水式シールドを製作した。その頃より国内では大口径シールド技術が発展し、当社も1992年に当時世界最大径の14.14m泥水式シールドを製作した。

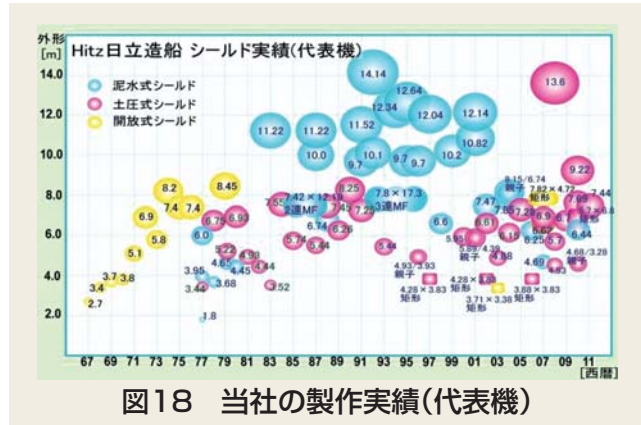


図18 当社の製作実績(代表機)

岩盤対応型としては2001年に当社最大の直径10.82mの泥水式シールドを納入した(図19)。

泥土圧式シールドとしては、直径13.6mのシールドを製作しており、これは国内最大径の泥土圧式シールドである。このような大型シールドに限らず、長距離掘進、急曲線施工、自動化、特殊施工対応(親子・複円・矩形・機械式地中接合など)においても特徴あるシールドを製作納入してきた。これらの製品開発は日本のシールド工法技術をリードし、一方で発展に歩調をあわせたものであった。



図19 ϕ 10.82
岩盤泥水シールド

4.3 海外シールド⁸⁾ 海外シールドとしては、1983年にシンガポール地下鉄建設用の開放型手掘シールドを納入したのが初めてで、2005年にトルコ・ボスポラス海峡横断鉄道トンネル建設用シールド4台を納入、現在までに台湾、タイ、韓国、中国、米国、香港、インド各国向けに計112台受注した。図20に年度別受注実績を、図21に国別受注実績を示す。

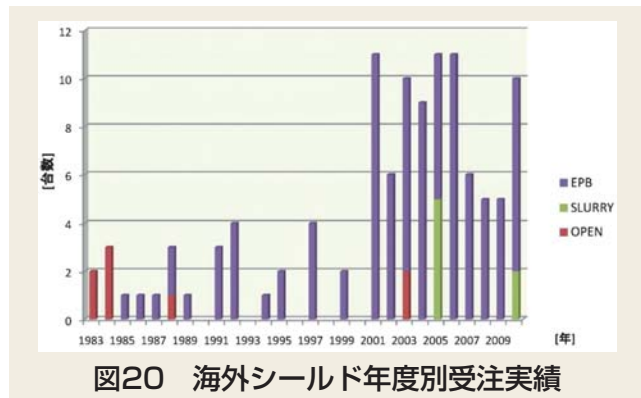


図20 海外シールド年度別受注実績



図21 国別受注実績

海外工事ではシールド機械本体だけでなく後続の付帯設備も要求され、トンネル設備全体を取りまとめるエンジニアリング技術が要求される。

2010年に今後需要が拡大すると期待されるインド向けシールドを初受注、バンガロール地下鉄工事に用いた ϕ 6.44m泥水式岩盤対応シールドで、泥水輸送・泥水処理設備も含めて納入し、現地での活躍が期待されている(図22)。



図22 バンガロール向け
6.44m岩盤泥水シールド

中国市場については、2008年に中国メーカーと協業を開始し、当社から技術支援と設計・主要部品供給を実施している。

4.4 技術の推移

4.4.1 特殊シールド⁹⁾¹⁰⁾

図23はマルチフェイスシールドで、複数の円形泥水式シールドを前後にずらして組み合わせたもので、地下鉄駅部の掘削に使用された。中央のカッタがプラットホーム部分を掘削し、左右のカッタが軌道部分を掘削する。



図23 3連
マルチフェイスシールド

図24は親子シールドで、親機から子機が発進するものである。地下鉄駅部を掘進した後、軌道部を子機で掘進する用途や、上流部と下流部でトンネル断面が異なる下水道トンネルの施工に使用される。



図24 ϕ 5.89/4.39m
泥土圧親子シールド

図25は側面接合シールドのイメージを示し、すでに完成しているトンネルに新たに掘削



図25 接合イメージ 図26 接合状況

してきたトンネルを接合するために使用される。

特殊切削ビットを取り付けたリングを内蔵してお

り、既設のトンネル壁を直接切削し接合する。実際の接合状態が図26である。図27がこのマシンの通常掘削時の状態で、図28が既設トンネル切削時において、切削リングを最大ストロークに突出させた状態である。



図27 掘削時 図28 既設管切削時

従来の接合方法では、事前に地盤改良やスライドフード等を用いて防護する必要があったが、今後進む大規模・大深度化、施工条件の制約増加において、この側面接合工法は施工の安全性・工期短縮が図れ、需要が拡大するものと期待している。

図29は、側面接合シールドとは逆に、シールド機内から子機が直角方向に発進し、分岐トンネルを施工する分岐シールドである。図30は本マシンの子機が格納される分岐胴で、旋回式のゲートが閉じた状態を示している。分岐位置に到達するとゲートを開き、子機を機内から発進させ分岐トンネルを構築する。従来の分岐工事のように地盤改良の必要がなく、安全に短時間で施工することが可能である。



図29 分岐シールド 図30 分岐胴

図31は矩形シールドで、カッタビットが取り付けられた3本のアームを回転させて矩形の断面を掘削する。3本のアームの回転軸はシールド中心から偏心した位置にあり、この回転軸をシールドの中心軸の周りに所定の速度で回転させることでアームの先端は機械的に矩形の軌跡を描く。

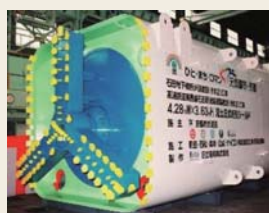


図31 矩形シールド

地下通路などの浅いトンネルを施工するのに使用され、矩形シールドを左右につなぎ合わせることで、様々な矩形断面にも対応することができる。

図32はアンダーパスシールド (URUP) 工法のイ

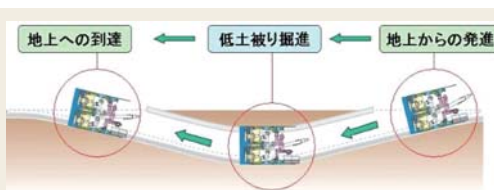


図32 アンダーパスシールド(URUP工法)

メージ図で、従来のシールド工事では考えられなかった地上発進・地上到達を行うものである。図31の矩形シールドを配列して大断面とし、個々の矩形シールド単位できめ細かく土圧管理をすることで低土被りでの施工を可能にしたものである。開削工事と比較し工期が短く騒音も少ない。最適断面とすることができ掘削土量の低減が図れ、掘削後の転用も容易であるので環境負荷が非常に少ない工法である。図33がその実験機で、図34が円形断面でURUP工法を実現したφ13.6m泥土圧シールドである。



図33 URUP実験機



図34 URUP実機

図35は、近年では珍しい開放型半機械式シールドで、外形は曲率が異なる円弧を連続させ扁平な矩形になっており、楕円に近い形状を持つ。トンネル構造として強度的に有利で、かつ経済的な断面で、小土被りであること、基礎杭の機内撤去が必要なこと、狭隘な発進基地のため小ブロックでの搬入しできないこと等、特殊な条件により採用されたものである。切羽の崩落から掘削作業員を保護するムーバブルフードを装備、積込機はシールド専用のバックホーを2機装備し、効率的な掘削を可能としている。

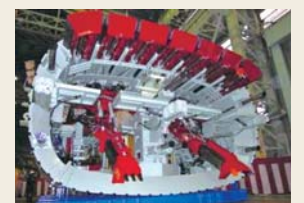


図35 矩形半機械式シールド

図36は切羽の掘削状況で、図37は坑内状況を示す。



図36 切羽の掘削状況 図37 坑内状況

4.4.2 自動化技術⁹⁾ 密閉型シールドは、地山を機械的に掘削することができるため、トンネル坑内での主な作業はトンネル坑壁となるセグメントの組立である。セグメントの組立作業は狭隘な重労働作業であり3K作業の典型となっている。図38は大口徑シールドのセグメント自動組立システムで、セグメントの供給からボルト締結までの一連の工程を自動化したものである。重量10トンのセグメントを±2mm以下の精度で組み立てることができ、組立精度の向上に加え、組立時間の短縮と安全性の向上が図られる。図39はセンシングの状況を示したもので、画像処理と

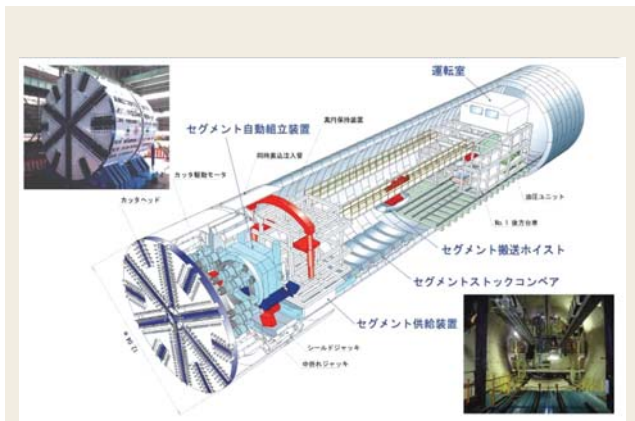


図38 セグメント自動組立装置



図39 位置決めセンシング状況

超音波変位計を使用している。この装置を4現場に納入し、所定の性能を発揮した。

近年の国内大口径シールドではボルトレスのセグメントが使用される工事が多く、より簡略化された自動化装置へとニーズが移ってきている。

その他、セグメントボルト増締ロボット・半自動エレクタ・半自動搬送装置・テールクリアランス計測装置・自動測量方向制御システム・遠隔監視システム等の技術があり、将来的には坑内無人化施工ということも可能となると考えている。

4.4.3 ビット交換技術 シールド工事は施工条件の制約やコスト縮減の要求から長距離化の傾向にある。従来1kmを超えると長距離と言われていたが、最近では2km程度の距離は一般的で、5kmを超える工事も出てきている。1台のシールド機で連続して掘削する距離を延ばすためには、機械式の Cutterビット交換技術がもっとも重要な課題となる。

図40は、気密に構成されたカッタヘッド内部へ作業者が直接入って交換するタイプのシールドで、中口径



図40 ビット交換装置搭載φ4.19m泥土圧シールド

から大口径に適用可能である。図41は交換装置の構造を示したもので、ビットを内部に引き込むと同時に回転式のシャッターを閉じることによって、大気圧下でビットを交換できるようになっている。独自構造でコンパクト化を実現しており、大口径のみに搭載可能だったシステムを中口径まで対応可能なものとしている。



図41 回転シャッター式ビット交換装置

このシステム以外にも、いくつかの交換システムを開発しており、用途・マシン径に応じた選択を行い、長距離への対応を行っている。

4.5 シールド事業の将来展望 シールド工法は日本で発展した技術で、施工サイドの要求に対して技術課題を順次解決し、あらゆる対応が可能になってきた。

当社のシールド技術は当社独自で開発したもので、技術研究所と設計製作部門が協力して、基礎実験や性能を確認するための実証実験を行いながら新製品・新技術の実用化を進めてきた。今後もトンネル施工の工期短縮、コスト縮減、品質・安全性向上といった個々の顧客ニーズを満足する技術開発を継続するとともに、従来の施工法を一変するような革新的なシールド技術の開発をしたいと考えている。

5. 海洋防災機器

5.1 海洋構造物 当社の海洋構造物への取り組みは、1970年代のオイル掘削リグから始まる。造船技術を応用した浮体式防波堤や浮桟橋などの浮体構造物だけでなく、沈埋函、ケーソン、鋼板セルなど堺工場のドックを活用した大型海洋構造物についても多くの実績がある。

沈埋函は、鋼とコンクリートのハイブリット構造である。これまでに、大阪港/咲州トンネル、神戸港/港島トンネル、大阪港/夢州トンネル、那覇港臨界道路、新若戸道路等40函以上の実績がある。堺工場の2号ドックで鋼殻の大組立を行い、3号ドックにシフト後、コンクリート打設するという手順で製作する。図42は堺工場の2号ドックから沈埋函を出渠している状況の写真である¹¹⁾。



図42 沈埋函

沈埋函以外にも、鋼構造とコンクリートの合成版で構成されるハイブリッドケーソン（図43）や栈橋に利用される鋼管トラス構造のジャケット（図44）、護岸工事に鋼板セルなど、多くの実績を有している。



図43 ハイブリッドケーソン



図44 ジャケット

5.2 GPS波浪計 GPS波浪計は、RTK-GPS測位により、海上に浮かべたブイの変位を計測し、適切なフィルター処理を行い波浪、潮位、潮位偏差を計測するシステムである。1997年に研究を開始し、2004年より室戸沖で実証実験を行った。

GPS波浪計のシステム構成を図45に、また外観図を図46に示す。海上のブイだけでなく、陸上局と観測

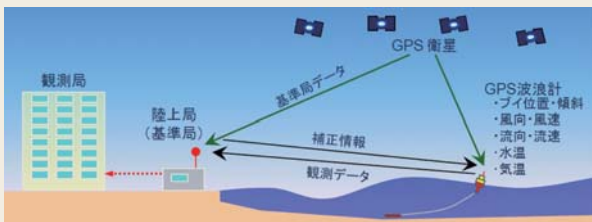


図45 GPS波浪計システム構成図

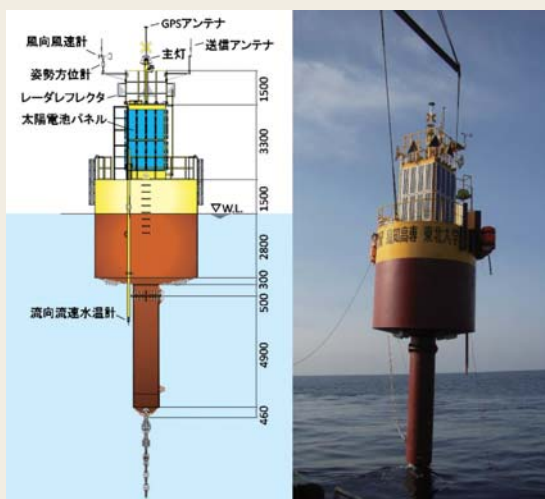


図46 室戸沖GPS波浪計の一般図と外観図

局で構成される。陸上局は、RTK測位の基準局であり、また、ブイから無線で送られる観測データを受信する無線局の役割もある。観測局は、陸上局から送られてきたデータをもとに波浪解析等を行い、データを公開する。

室戸沖での実証実験の成果が活用され、2006年から国土交通省港湾局によりGPS波浪計の整備が開始された。現在までに、沖合約20km水深100～400mの海域に全国で15基設置されている。観測データは、国土交通港湾局で運営されているナウファス（全国港湾海洋波浪情報網：NOWPHAS：Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS）のホームページで公開されている。

また、観測データは気象庁の津波警報にも利用されており、東日本大震災では、GPS波浪計の観測データをもとに津波警報のレベルが引き上げられた。図47に室戸沖GPS波浪計で観測した東日本大震災時の津波波形を示す。

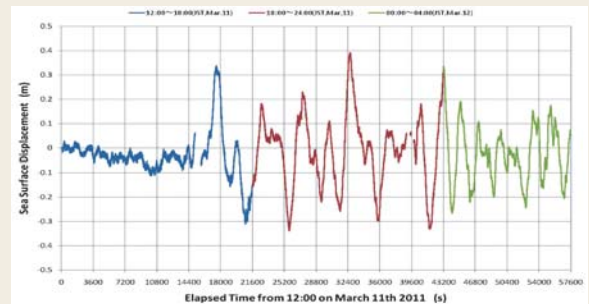


図47 室戸沖GPS波浪計で観測した東日本大震災時の津波波形

GPS波浪計は過去に多くの津波観測の実績があるが、RTK測位法で数cmの測位精度を確保するため20km以上沖合にGPS波浪計を展開できなかった。しかし、PPP-AR測位等の新しい測位技術を活用して、50～100km程度沖合への設置できるように開発を継続している。また、ブイ本体の小型化によるコストダウンの検討を行っている。

5.3 GPS連続観測システム 当社のGPS測位事業は、1985年に船舶航行支援装置の研究用機器として取り扱ったことが始まりである。その後、国土地理院のGPS連続観測システムGEONET（GPS Earth Observation Network System）の構築・運用など、高精度精密測位分野におけるさまざまな製品・システムを納入してきた。GEONETは、全国に約20km間隔で1300ヶ所以上に設置されているGPS観測局（電子基準点）と、茨城県つくば市にある観測センターで構成されている。図48にGPS観測局の配置図と外観を示す。GPS観測局は、高さ5mのステンレス製でピラー内部の収納箱にGPS受信機、通信装置が収納されている。観測センターの解析システムは、GPS観測局からリアルタイムに送られてくる観測データを受信し、最終解析・速報解析・緊急解析・リアルタイム解析など多種多様な解析を行っている。

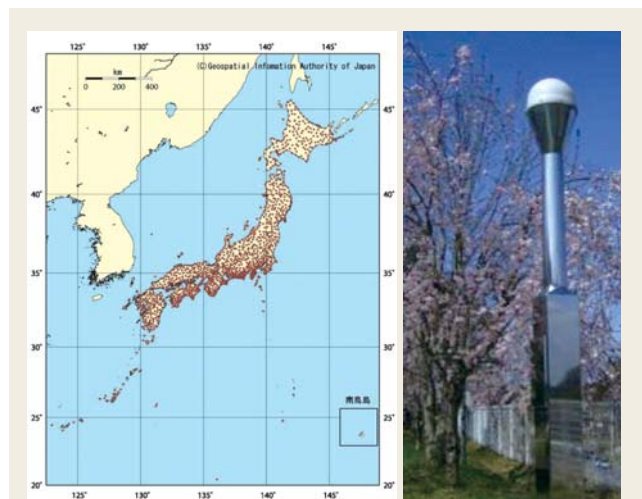


図48 GPS観測点の配置図と外観

GPS観測局は、従来の三角点と同様に公共測量の基準点として利用可能である。関係会社の日本GPSデータサービス(株)は、GPS観測局のリアルタイムデータを利用した高精度測位支援サービスを行っている。このサービスでは、最先端のVRS(仮想基準点)技術を使い、基準点からの距離に関係なく高精度測位を実現することのできるRTK用の補正データをリアルタイムに配信している。図49に配信システム概念図を示す。

GONETでは、地殻変動観測の監視が行われており、その観測データは、地震や火山噴火予知の研究に利用されている。東日本大震災では、GPS観測局のデータから地震による地盤変動が広がっていく状況を観測することができた。観測結果を図50に示す。

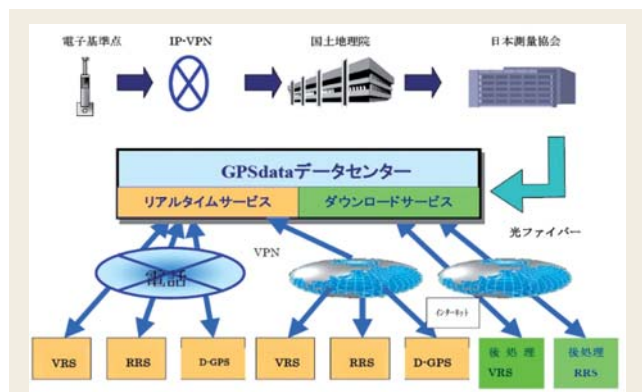


図49 配信システム概念図

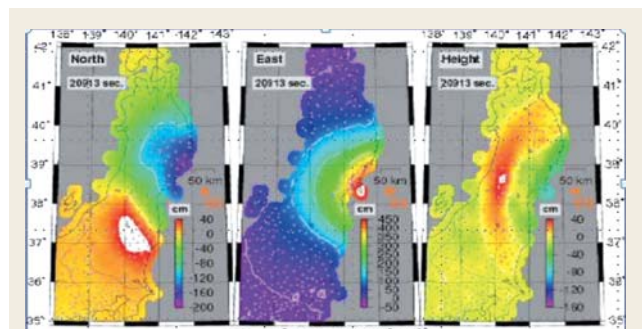


図50 GPS観測局で観測した東日本大震災時の地盤変動

また、GPS観測局のデータから対流圏の天頂遅延(ZTD)を推定し、地上気象データとあわせて可降水量(PWV)を約2分で解析することができる。可降水量は、ゲリラ豪雨などの局地的降雨の予測に利用できる。図51に可降水量の解析結果と実際の降雨量との比較例を示す。

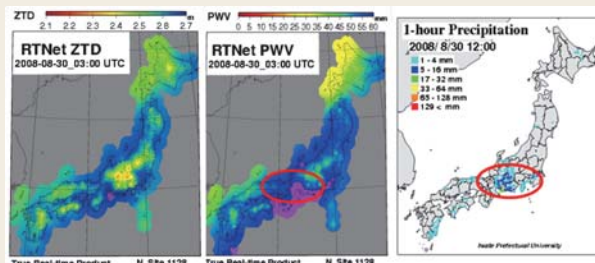


図51 可降水量の推定値と実際の降雨データの比較

5.4 フラップゲート式可動防波堤

5.4.1 概要 フラップゲート式可動防波堤は、河川ゲートで採用実績の多い起伏ゲートをベースに、同じく河川ゲートで採用実績の多いフラップゲートの開閉原理を取り入れた可動式の防波堤である(図52参照)。

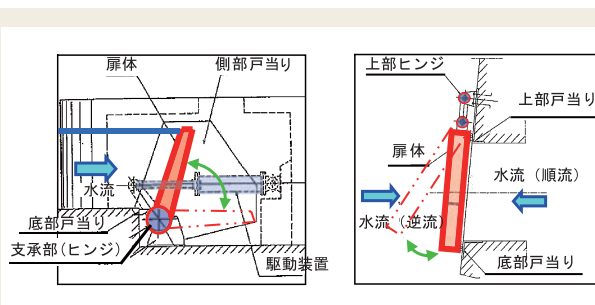


図52 起伏ゲート(左)・フラップゲート(右)の概要

すなわち、回転支承部が扉体の下側に配置され、これを中心に扉体が旋回運動を行うが、扉体を動かすための動力に津波や高潮に伴う水位上昇等、自然の力を有効活用するため、従来水門に必要な扉体駆動のための機械装置類が最小化され、建設費用や保守管理費用の大幅な縮減が期待できる。なお、フラップゲート式可動防波堤はその設置場所や目的により次の3タイプに分類される。

- ①海底設置用 フラップゲート式津波・高潮防波堤
- ②海底設置用 フラップゲート式波除堤
- ③陸上設置用 フラップゲート式防潮堤

当社では2002年に本形式の立案を行い2004年から本格的な開発に着手している。現在、海底設置用の2タイプについては、日立造船株式会社、東洋建設株式会社、五洋建設株式会社の3社協同開発として、静岡県焼津市の新焼津漁港において実海域試験による性能検証中である(図53)。陸上設置用は、図54に示すように平面水槽における動作確認を実施済みであり、ほぼ実用段階である。



図53 実海域試験状況 図54 平面水槽による動作確認

5.4.2 フラップゲート式津波・高潮防波堤

本施設は、使用時の動作不良が周辺へ与える影響が甚大となるため、非常に高い信頼性が求められる。特に浮上操作は失敗が許されないことから、極力シンプルな操作となるよう、扉体浮上に必要な空気は平常時に給気を完了しておく方式を採用している。本方式の採用により、いざというときの浮上操作は、係留フックを解放するだけの極めてシンプルな操作とすることができ、停電時においても短時間のうちに浮上を完了することができる。また、平常時に扉体の浮上を防止するための係留フックを設けたことで、係留フックの挙動をモニタリングすることにより、陸上にいながらにして容易に水中部の状態監視が可能となるだけでなく、海底面以下での動作点検も可能となることから、設備の保守管理性が格段に向上している。施設の動作イメージを図55に示す。

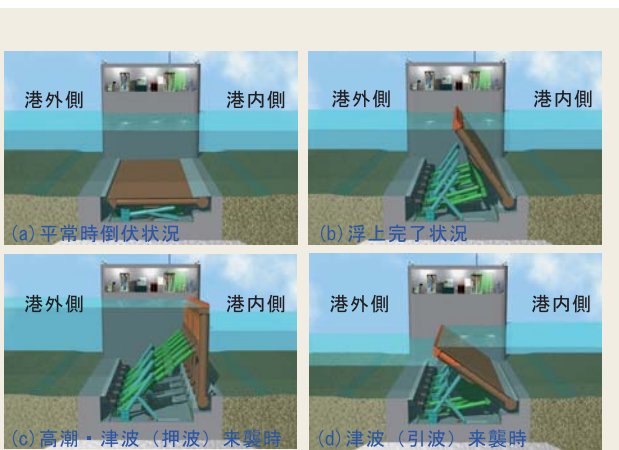


図55 フラップゲート式高潮・津波防波堤の動作イメージ

5.4.3 フラップゲート式波除堤

本施設は、外郭施設の整備が遅れている港湾における稼働率向上の応急的な措置や、地形的な制約により外郭施設の整備ではこれ以上の静穏度向上が難しい場合の静穏度確保策としての採用を想定している。津波・高潮防波堤では、浮上状態における扉体の動揺を許容しているが、波除堤では扉体を固定した方が背後域の静穏度を高める点で有利であるため、空気室への給気操作のみで扉体の起立を完了・固定できる仕組みを採用している。図56に施設の動作イメージを示す¹²⁾。

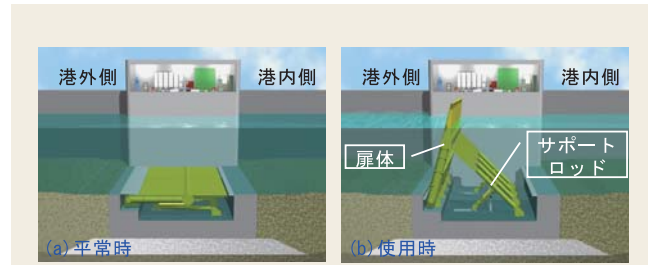


図56 フラップゲート式波除堤の動作イメージ

5.4.4 陸上設置用フラップゲート式防潮堤

本施設は、海底設置用フラップゲート式防波堤の開発過程で得られた知見をもとに、陸上設置型のニーズを受けて開発されたものである。緊急時の動作信頼性向上を目的とし、ゲートを動かすための動力源に津波・高潮に伴う水圧を活用することにより、無動力かつ人為操作なしに開口部閉塞を可能とすることを最大の特徴としている。図57に施設の動作イメージを示す。



図57 陸上設置用フラップゲート式防潮堤の動作イメージ

5.5 海洋防災機器の将来展望

海洋構造物、GPS波浪計、GPS連続観測システムは、これまでに多くの実績がある。また、陸上用フラップゲートは、実証実験を終え実用段階にあり、海底設置型のフラップゲートについては新焼津港で実証実験中である。今後は、陸上のGPS観測局と海上のGPS波浪計を組み合わせ、地殻変動や海上の波浪・潮位・津波等を観測するソフト的な技術とフラップゲートや鋼板セル・ケーソン等のハード的な技術を組み合わせた総合的な防災システムとして、国内の実績をもとに海外にも積極的に提案していきたい。

6. ま と め

以上 橋梁、水門、シールド掘削機および海洋防災機器について述べてきた。表2から表5にそれぞれの製品の年表を示す。インフラセグメントでは、この他にも、鋼製煙突、放電破碎、スラリーアイス機器などを扱っている。

本年（2011年）3月11日の東日本大震災から半年が過ぎようとした今、復興に向けた諸活動が動き始めている。当セグメントが保有する技術、製品はこの復興

活動に大いに役立つものであり、また、GPS波浪計やフラップゲートなど将来の災害に備えた防災・減災技術ならびに製品も保有している。今後も社会の要求を先取りした技術開発を進め、世界のインフラ整備に貢献していきたいと考える。

表2 橋梁事業年表

西暦 和暦	1900 M33	1910 T1	1920 T9	1930 S1	1940 S10	1950 S20	1960 S30	1970 S40	1980 S50	1990 S60	2000 H2	2010 H12	2010 H22	
橋梁業界の歴史	欧米からの技術導入の時代		都市部インフラ基盤整備の時代				高度経済成長のための全国インフラ整備の時代					インフラ保全・防災の時代		
生産体制	桜島工場						向島工場			堺工場				
橋梁製品	<ul style="list-style-type: none"> 土屋鉄道橋(石川県) 当社初の橋梁 昭治橋(大分県) 供用中の日本最古の道路用桁橋 		<ul style="list-style-type: none"> 太田橋(岐阜県) 日本初のケーブルエレクション斜吊り工法 		<ul style="list-style-type: none"> 若戸大橋 日本初の本格的長大吊橋 		<ul style="list-style-type: none"> 尾道大橋 日本初の本格的斜張橋 湊大橋 世界第3位の長大トラス橋 		<ul style="list-style-type: none"> 此花大橋 世界初の1面ケーブル吊橋 生口橋 当時世界最長の複合斜張橋 		<ul style="list-style-type: none"> 北花田踏道橋 日本初の急速施工工法(UFO工法) 菱舞大橋 世界初の旋回式浮体橋 		<ul style="list-style-type: none"> ラマ9世橋 当時世界最長の1面吊り斜張橋 ストーンカッターズ橋 世界第2の複合斜張橋 	
その 他の 当社 代表 橋	思川鉄橋		堂島大橋 淀川大橋 肥後橋 淀川大橋 後曳橋 吉野川橋 渡辺橋 幣舞橋(初代)	十三大橋 天神橋 天満橋 手浜川橋 長生橋 長柄橋(初代) 伊勢大橋	伝法大橋 大和田橋 勸進橋 小丸大橋	五名橋 榎谷橋 五条大橋	新島銅大橋 港新橋 新伝法大橋 新淀川橋梁 鬼怒川大橋 旭西橋(第2代)	関門橋 泉大津大橋 豊里大橋 かもめ大橋 長柄橋(第2代) 南港東高架橋 幣舞橋(第2代)	因島大橋 南北備讃瀬戸大橋 菅原城北大橋 奥阿蘇大橋	天保山大橋 浪水門橋 鶴見つばき橋 舞鶴クレンブリッジ 名港トリトン 音無瀬橋 舞鶴由良川大橋 明石海峡大橋	多々羅大橋 東島海峡大橋 新尾道大橋 宇品橋 原田高架橋 矢形川虹の大橋	東京ゲートブリッジ 広島スカイゲート 新湊大橋 問屋町立体交差橋		

表3 水門事業年表

西暦 和暦	1900 M33	1910 T1	1920 T9	1930 S1	1940 S10	1950 S20	1960 S30	1970 S40	1980 S50	1990 S60	2000 H2	2010 H12	2010 H22
水門業界の歴史	欧米からの技術導入の時代		都市部インフラ基盤整備の時代				高度経済成長のための全国インフラ整備の時代					インフラ保全・防災の時代	
生産体制	桜島工場						向島工場			堺工場			
水門製品	水道銅管(神戸市) 当社初		大峰(発) (宇治川灌漑) 当社発の水門		祖谷川ダム 日本初のシェル構造ローゲート		和知(発) 脚柱座屈事故		早明浦ダム 東洋一のローゲート		宮ヶ瀬ダム(主) ラジアルゲートとして日本一の高水深		
その 他の 当社 代表 水門			堂島川可動堰 土佐堀川可動堰 道頓堀川可動堰 長堀川可動堰 江戸堀川可動堰 京町堀川可動堰	笠置(発) 橋原川第2(発)	兼山(発) 仁淀川(発)	丸山(発) 本名(発) 片山(発)	上野原(発) 滝山川(発) 三軒家水門 西島水門 日光川水門 五十里ダム(非) 大夕張ダム(主) 鶴田ダム(主)	松原ダム(主) 生見川ダム(取) 八戸ダム(主) 大石ダム(主)	鳴滝ダム(取) 筑後大堰 大川ダム(主)	長良川河口堰 三春ダム(主) 長島ダム(主) 吉田ダム(主)	紀の川大堰 大滝ダム(主)		

表4 シールド事業年表

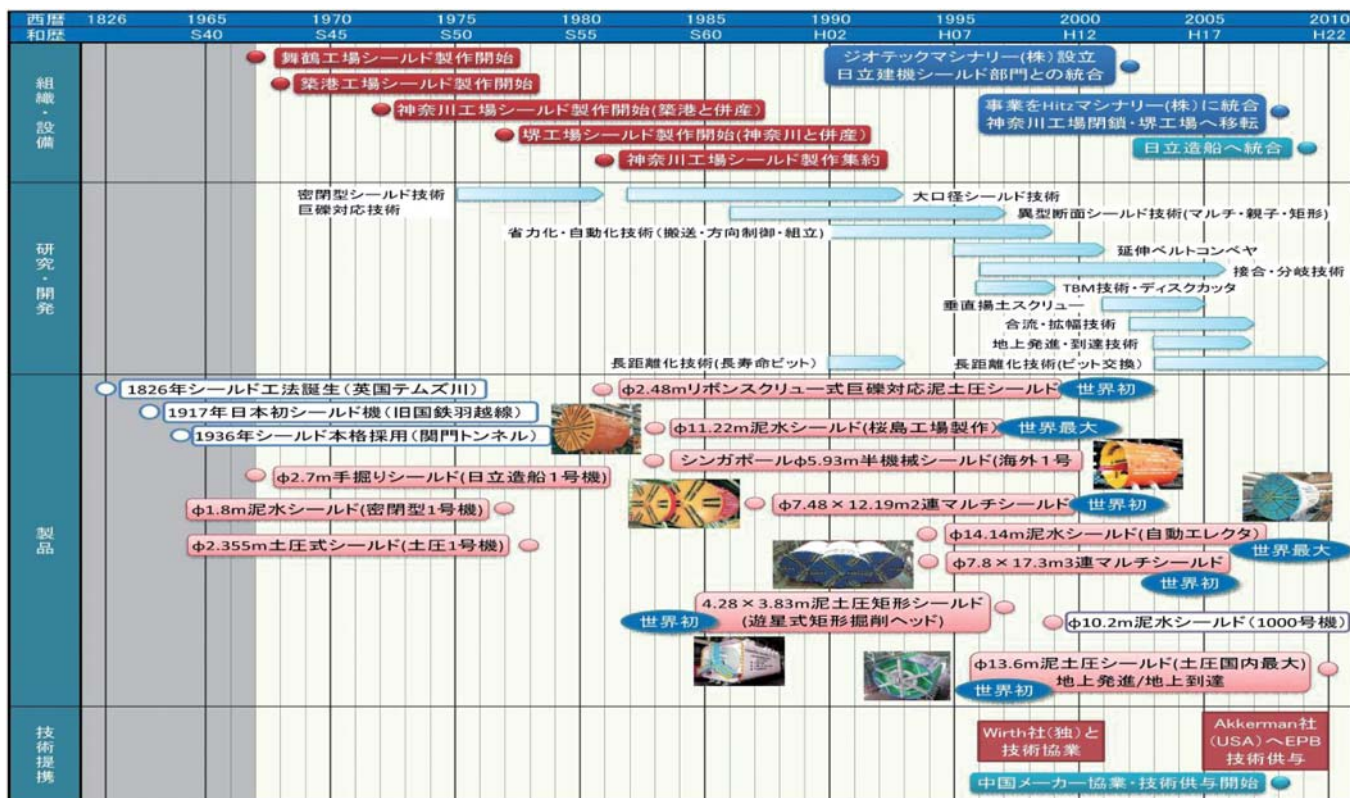
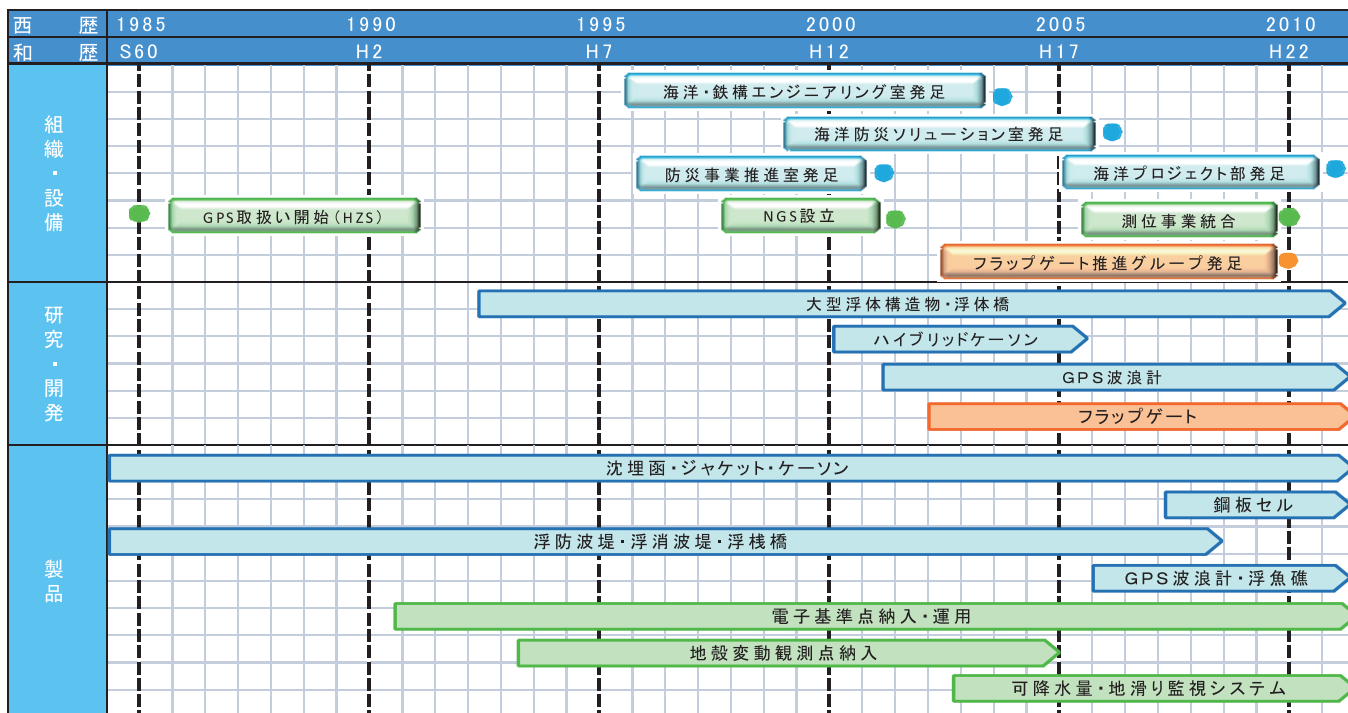


表5 海洋防災事業年表



参考文献

- (1) 日立造船(株)：日立造船百年史、1985.3
- (2) 若林保美、福本和弘ほか：橋梁、日立造船技報、2009.11 70 (1)
- (3) 水門の風土工学研究委員会：鋼製ゲート百選、技報堂出版(株)、2000、90.
- (4) (社) ダム堰施設技術協会：ゲート総覧V 解説編 2006.3 16.
- (5) 巻幡敏秋ほか：円弧リップを有する改良型ジェットフローゲートの開発 日立造船技報 65-2 2004 86.
- (6) (社) ダム堰施設技術協会：ゲート総覧V 解説編 2006.3 19.
- (7) (社) ダム堰施設技術協会：ゲート総覧V 解説編 2006.3 18.
- (8) 今井憲治ほか：シールド掘進機、日立造船技報、2009、70 (1)、82-86.
- (9) 今井憲治ほか：日立造船のシールド新技術、日立造船技報、1999、60 (2)、76-82.
- (10) 花岡泰治ほか：シールド掘進機、建設機械、2008、8月号、40-44.
- (11) 武田純男ほか、海洋土木製品紹介、日立造船技報、2003、64 (2)、2-5
- (12) 新里英幸ほか、フラップゲート式可動防波堤の実用化に向けて、日立造船技報、2010、70 (2)、18-24

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 機械・インフラ本部
鉄構ビジネスユニット 鉄構ソリューション室
桑原浩二
Tel : 06-6569-7052 Fax : 06-6569-7033
e-mail : kuwabara_ko@hitachizosen.co.jp

産業機械ビジネスユニット 水門部
伊墻昭一郎
Tel : 072-243-6818 Fax : 072-243-6823
e-mail : igaki@hitachizosen.co.jp

産業機械ビジネスユニット 技術部
花岡泰治
Tel : 072-243-6786 Fax : 072-243-6794
e-mail : hanaoka_y@hitachizosen.co.jp

鉄構ビジネスユニット 海洋プロジェクト部
松下泰弘
Tel : 06-6569-0126 Fax : 06-6569-7033
e-mail : matsushita_ya@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Machinery & Infrastructure Headquarters
Steel Structure Business Unit
Steel Structure Solutions Dept.
Koji Kuwabara
Tel : +81-6-6569-7052 Fax : +81-6-6569-7033
e-mail : kuwabara_ko@hitachizosen.co.jp

Industrial Machinery Business Unit
Hydraulic Gates Execution Dept.
Shoichiro Igaki
Tel : +81-72-243-6818 Fax : +81-72-243-6823
e-mail : igaki@hitachizosen.co.jp

Industrial Machinery Business Unit
Engineering Dept.
Yasuharu Hanaoka
Tel : +81-72-243-6786 Fax : +81-72-243-6794
e-mail : hanaoka_y@hitachizosen.co.jp

Steel Structure Business Unit
Marine Civil Engineering Project Execution Dept.
Yasuhiro Matsushita
Tel : +81-6-6569-0126 Fax : +81-6-6569-7033
e-mail : matsushita_ya@hitachizosen.co.jp



柴田 弘



桑原 浩二



伊墻 昭一郎



田窪 宏朗



花岡 泰治



佐藤 譲治



松下 泰弘



西村 史睦



仲保 京一