

# 港湾技術の最近の進歩

正員 工学博士 松尾春雄\*

## I 戦後の港湾事情

戦後わが国の船舶の極度の減少ともなつて、海運界は非常な不況に陥つた。これともなつて港湾の必要性、特に商港の必要性が減じて、港湾修築工事は一時停止の状態となつた。ただ米軍のために大型船の繋岸壁が専用され、これに関係する工事が多少あるという状態であつた。

戦前はわが国の直轄土木工事及び土木行政は内務省土木局において河川、港湾及び道路が統一して行われていたが、戦後河川と道路とは建設省内において、港湾だけはこれらと分れて、運輸行政の一環として運輸省において行われるようになった。このために港湾の工事面においては、従来の大世帯が小さい範囲でやりくりをしなければならぬこととなつて、運輸省港湾局は苦境に立つこととなり、わづかに沈船防波堤工事とか、海岸の干拓工事を農林省と提携して行うという状態であつた。

その後次第に貿易も恢復して、商港の必要性が増してきたが、主要岸壁及びその付近の土地が米軍に接収されていたために、これを補うための工事が安全保障費などにより行われることとなつた。そして戦後初めての大工事が行われるようになり、港湾技術界はやや活気を呈するに至つた。戦前頃から国内における港湾の大工事はほとんど停止の状態となり、わづかに戦時中は北支<sup>チベット</sup>の塘沽港修築工事などに建設意欲を満ちた状態であつて、港湾修築の経験を有する技術者は次第に少なくなつてきていた。神戸や横浜で最近行われた工事は、若い技術者の養成には非常に役立った。他日港湾の修築工事が盛んになるときは、これらの技術者が大いに活躍することになると思うので、上記の二大工事はそうした意味でも、きわめて重要な役割を果たしたと思う。

戦後海洋資源の開発の必要性がいよいよ増大して、漁港に対する関心が増してきた。漂砂のある海岸に新しく漁港を築く必要がある場合が多く、漂砂対策が新しい問題となつてきた。このために二、三の新考案が提案された。すなわち水射による噴流によつて港口に堆積した土砂を排除すること、また潮差の相当にある海岸に高潮時に貯水する池を設けて、その水を一時に排出することによつて港口の水深を維持するなどの方

法であるが、これらについて水理試験及び模型実験が行われ、前者については必ずしも有効でないことが確かめられ、後者についてはその有効性が認められ、経済的に有効に採用しうる場所において計画が進められている。また台風によつて災害が九州などの漁港に多く起り、これに対する応急及び復旧工事が、漁港の大きな問題となつている。

港湾に付帯する灯台、導標などは戦時中外国ではいちじるしく変貌したので、このおくれた技術を取り入れるために技術者が派遣されたりしたのであるが、わが国の経済事情は新しい技術を導入するまでの余裕がない状態である。

戦後新しく港湾法が設定されて港湾行政に变革を生じ、港湾の運営は民主的な港務局で行われるようになった。しかし現在までのところ港湾法によつて新しく港務局を設定した港の数は少なく、将来に期待がもたれる状態である。

## II. 技術の進歩

一般的の港湾修築の技術上の進歩としては、最近いちぢるしく発達した土質力学を取り入れて、軟弱地盤上にその工法を応用することがある。わが国では横浜港の工事に大いにこれが取り入れられた。また長崎港や塩釜港ではサンドパイル工法が応用されて、軟弱地盤に対する新しい工法となつた。

戦時中米国では日本本土上陸作戦の必要上から、気象と海岸の波との関係が大いに研究された。その結果は海岸の波を気象状況から予報できるまでに発展し、港湾技術上に貢献するところが多く、わが国にもこれが取り入れられつつある。

港湾関係の技術研究機関としては、運輸技術研究所内の港湾物象部及び施設部があつて、波、土圧、浚渫技術に対する研究が行われており、わが国独特の新しい研究が次々と発表されている。九州大学では空気防波堤の研究が模型試験を終つて、実際の港湾で試験する段階になつている。

わが国の港湾に対する大きな問題は、構造物を地震時においても破壊しないようにすることであるが、これについては筆者は模型及び現地実験結果から地震時土圧計算法を提案した。これは実験によつて在来計算法の不備が明らかとなつたので、これに代るものとして提案されたもので、なお今後の研究によつて補正さ

\* 九州大学教授、工学部土木教室

れなければならないが、これによると、在来の地震による被害現象を在来理論よりはるかによく説明することができる。新計算法によれば物揚場などの水深の小さいものほど地震に対し、より危険な状態にあるのであるが、実際の地震の被害にも、このことは明らかに示されている。しかし水中にある土砂が振動中にいかなる圧力を壁体に及ぼすかについて、筆者は既発表の計算法の不備を補う研究を進めつつある。

III. 最近のおもな港湾工事

わが国の最近の港湾技術を紹介する意味で、運輸省港湾局の代表的な工事を本項において紹介する。

(1) 横浜港高島3号棧橋工事 本棧橋は昭和27年度港湾改修費及び昭和28年度安全保障条約締結にともなう代替施設費より計8億5000万円の予算をもつて、29年9月末完成した。

これは護岸法線に60°の角度をもつて突出した脚柱構式棧橋であつて水深10m、将来2万tまで着岸できるように考え、年間36万tの貨物取扱能力を有している。棧橋建設位置付近の海底地質は厚さ約30mに及ぶ粘土層よりなる軟弱地盤であるため、地震時を考慮して棧橋型式とし、できるだけ自重の軽減をはかるとともに構造物の自重及び載荷重はすべて摩擦杭によつて支持されるよう考慮してある。なお地震時において基礎工に加わる最大荷重をなるべく少なくするために、できるだけ基礎フーチングを拡げ、また脚

柱構は従来のケーソンの壁の一部を除いた形に作り、これを現場へ曳航するときは、脚柱構の周囲に鉄製の蓋板を取り付け浮遊させておこなつている。上層は鉄骨平屋建とし、鉄道を引き込み、エプロンには能力3tのクレーンを設置するなど近代的設備を施してある(図-1)。設計並びに工事概要は次のとおりである。

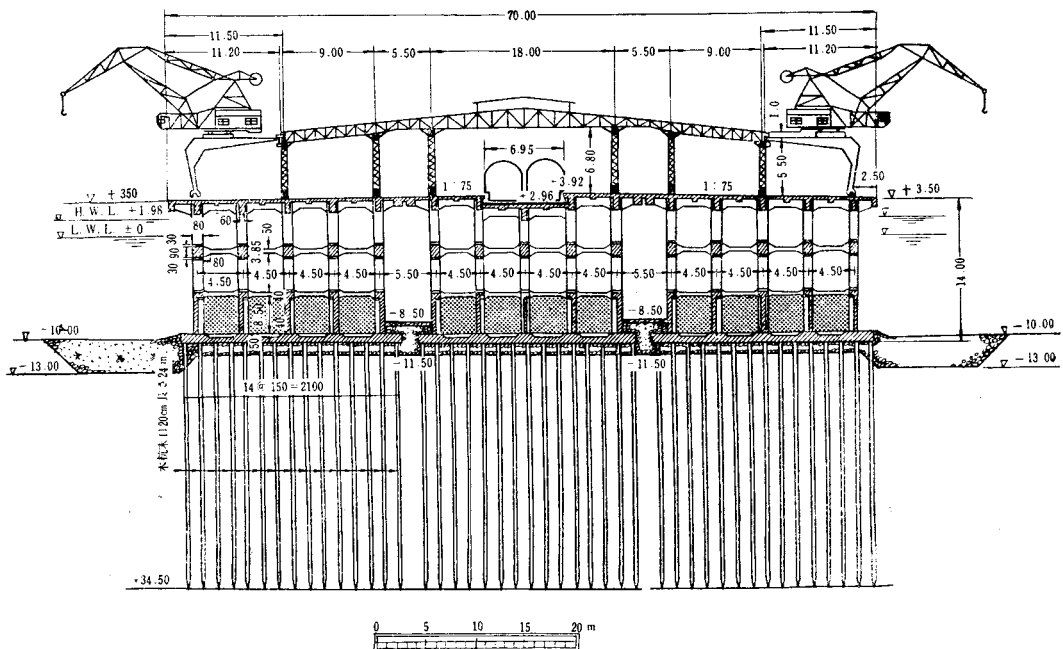
棧橋延長	190 m	許容載荷重	3 t/m <sup>2</sup>
棧橋巾員	70 m	設計震度	0.2
棧橋総面積	13 200 m <sup>2</sup>	列車荷重	KS-12
エプロン巾員	11 m	起重機荷重	60 t (能力3 t)
水深	-10 m	上屋面積	6 200 m <sup>2</sup>
バース	15 000 t, 2 バース		

次に本工事で特に考慮された点をあげてみよう。

(i) 棧橋築造位置の基礎地盤は-45mで硬地盤に達するので、構造物底面から長さ35mの杭を打てば完全な支持杭となる。これに対して-(37~40)m付近の粘土はかなり良質であるので、長さ27~30mの杭を打てば摩擦杭として設計できる。どちらを取るかについては次の理由から摩擦杭として設計されている。

- a) 厚さ30mの粘土層の圧密を考えると摩擦杭の場合、構造物は杭に支持されて沈下しないから、構造物底面に間隙を生じて地震時にかえつて危険である。
- b) 長さ35mの杭が硬盤で先端を支えられ杭頭に重い構造物が載つた場合、杭の彎曲あるいは座屈につ

図-1 横浜港高島3号棧橋横断面図



いて危険な状態となるが、現在のところこれを明確に計算し設計する方法はない。

c) 木杭の設計荷重としては55t程度が最大であつて、それ以上は地盤支持力より杭の強度によつておさえられる。継杭の場合はさらに低い荷重しか取れない。

(ii) 従来の円筒構は耐震構造としてはきわめて有利な条件をそなえているが、上載荷重が大きくなると、シリンダー基部に杭が集中しているの、支持力を増すためにはこの部分を極度に大きくしなければならぬ。また摩擦杭として必要な杭間隔を取ることもむづかしい。従つて摩擦杭の場合は、できるだけ構造物の底面を広くして単位面積当りの地盤反力を小さくするとともに、杭間隔を大きくして、各杭の支持力を有効に利用するようにしてある。

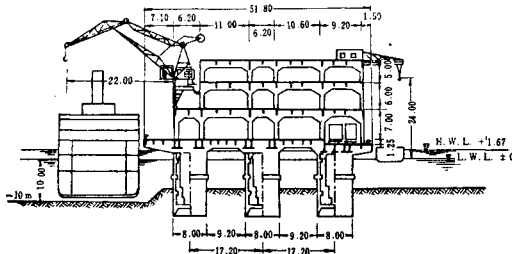
(iii) 棧橋上部に上屋を計画したため、荷重は柱を通じて全部集中荷重となつてケーソンに作用する。従つて脚柱構の構造は普通のケーソンと異なり所要箇所に柱を設け、また側壁は下部1/3のみにとどめて、上部2/3は進水用の防水板を取りつけるようにしてある。これにより吃水を減少させ、施工を容易ならしめ、また側壁のある場合のようにケーソン内部の海水に対する地震時水平力を考える必要がなくなつてゐる。

(iv) 棧橋横断方向の安全度を高くするため、ケーソンは長手の方向に3列並べてあつて、水平力に対しては縦断方向より安全になつてゐる。なお不等沈下を予想して脚柱ケーソン相互の床部における連絡は単桁とし、縦断方向には2基づつをヒンヂで連絡してある。上屋は鋼構造とし脚柱ケーソン相互の連絡に準じて、柱と床版との取つけはヒンヂとして上部よりの曲げモーメントを下部構造に伝達しないようにしてある。

(v) 本工事の工程を促進することのできた施設として特筆すべきは、わが国港湾工事で初めてと言われる近代的バッチャープラントが造函工場内に設置されたことである。

## (2) 神戸港第七突堤工事 第七突堤 (西側)は昭

図一2 神戸港第七突堤断面図



和 26 年度港湾改修費 4 億 5 500 万円を投じ、3 カ年計画で完成された (図一2)。

下部構造は鉄筋コンクリート棧橋で巾員 51.8 m、長さ 200 m、上部構造は鉄筋コンクリート 3 階建、上屋倉庫延 21 300 m<sup>2</sup> で、神戸市が公私共同企業の神戸埠頭株式会社を設立して、この建設及び経営に當つてゐる。この第七突堤建設計画は終戦後の接収による繋船岸不足に端を発し、港湾諸掛りのやすい神戸港に復興しようとする一つのモデルケースとして取りあげられたもので、その建設計画、経営方式なども在来の慣習とは異なつたものがあり、この点にも第七突堤建設の大きな意義がある。本突堤の対象船舶は 1 万総 t 級純貨物船で、年間取扱量雑貨 20 万 t の能力を持つてゐる。工事概要は次のとおりである。

突堤長さ……200 m (先端のドルフィン長さ20 m)

突堤巾員……51.8 m

スリップ巾員……本船側 143.4 m 舳側 45 m

水深及びバース……10 m, 10 000 G.T., 1 バース

上屋倉庫……鉄筋コンクリート 3 階建 21 300 m<sup>2</sup>,

1 階は輸出上屋を、2, 3 階は輸入倉庫を対象とする。

岸壁荷役機械…本船側はダブルリンク式水平引込起重機・舳・機帆船側は遠隔操作式複線固定テルフアー。

道路・鉄道…いずれも一階上屋内に二車線を設ける。

棧橋構造は基礎の不同沈下、温度変化による伸縮を防ぐために 9 本の脚柱を 1 組とする 50 m づつの 4 つのブロックに分断してある。脚柱は柱ニューマチックケーソン工法によつて堅固な地盤まで下げ、固定支承として計算してある。各ブロックごとにこの脚柱をプレキャスト桁及び床版で剛結し、その上に上屋倉庫が建ててあり全体がラーメン構造になつてゐる。

外力としては次の値を取つてゐる。地震については当地における最大加速度を測定値から推定し各階の震度を次のごとく決めてゐる。

1 階床下以下……0.15                      2 階床面………0.20

3 階床面………0.23                      屋上面………0.24

風力としては風洞内の模型実験より 60 m/sec の風に対する各部分の風圧分布を求め、これにより細部設計の外力としてゐる。上載荷重としては次の値を取つてゐる。

1 階……3 t/m<sup>2</sup>, 2 階……2.5 t/m<sup>2</sup>, 3 階……2 t/m<sup>2</sup>

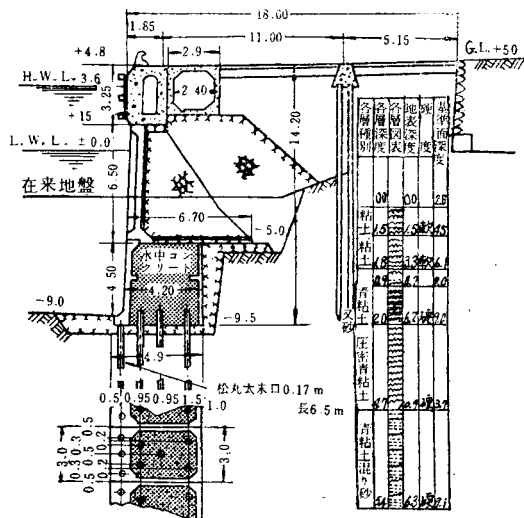
施工計画としては全長 200 m のうち 50 m 角の 4 つのブロックごとに次の 3 つの流れ作業に分け、これらの 4 つのブロック、3 つの流れ作業単位を組み合わせることによつて工程を立ててゐる。

- a) 脚柱ケーソン(8×8×15.7 m, 36 基)の製作沈設, 中詰コンクリート現場打ち。
- b) 1階主桁のプレキャストによる製作, 現場架設, 床版コンクリート現場打ち。
- c) 上屋・倉庫建築工事。

その工程にともなつた理想的コンクリートプラントの設置により, 少数のしかも経験の少ない要員で短期間に工事を遂行することができ, 予想以上の効果をあげている。

(3) 宇部港 9 m 岸壁工事 本岸壁工事は宇部工業原材料, 生産品の海上輸送の合理化をはかるため宇部市委託工事として, 工費約 1 億円をもつて昭和 26 年 10 月着工, 28 年 8 月完成している(図-3)。

図-3 宇部港岸壁断面図



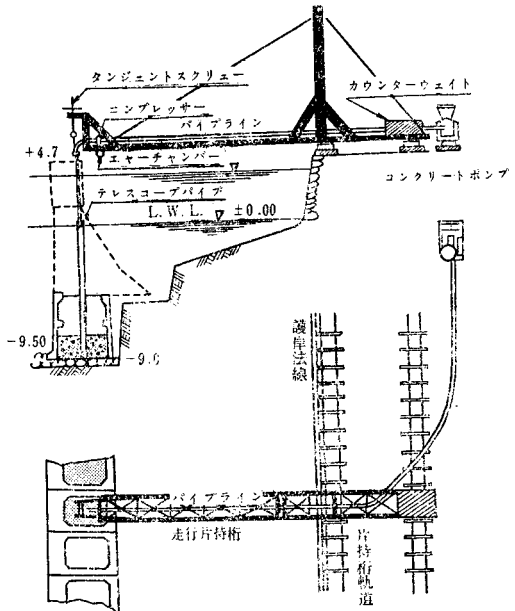
これは合成棚式岸壁とも称すべきもので, 大型岸壁としてはわが国異例の型式である。基礎地盤は圧密青粘土の堅固な地層であるので, 下部は思いきり底巾の小さい無底ケーソンを据え, この上にベースの広い L 型壁体を載せたもので, このため断面がずつと減少している。また基礎杭頭を場所打ち水中コンクリートで巻立てと柱を緊結しているのので, 理想的耐震性のものとなつている。これは従来杭打の観念が支持力増加のみを目的として水平力や滑動に対する安定に効果がなかつたのと異なり, 群集杭工法の耐震性を重力式工法に取り入れたもので, 巨大函塊法によらず総高 14.3 m の躯体が剛性を持つように考えてある。

本岸壁の水中コンクリート総量は 2 050 m<sup>3</sup> で施工水深も -13.5 m であり, わが国でも例を見ない深度であるので, 高度の水中コンクリート技術が必要である。このため漸新的な工法が取り入れられている。

この工法はトレミー管工法の最大の欠点である水圧

による管内浸水を防ぐため, トレミー管自体を潜函工法におけるエアーロックチャンバーと考え, これにニューマチック工法を行うもので, コンクリートポンプを利用して初めて実現しうる方法である。図-4 に示すとおり施工線に平行に走行できる懸出ガーダーを布設してポンプ配管の便と安定した作業足場が得られる

図-4 水中コンクリート施工設備



ようにしガーダー先端にはニューマチック処理のため次の装置を施してある。すなわち伸縮自在な完全気密のテレスコープパイプとその巻上棒, ベビーコンプレッサー, エアータンク(管内の気圧変化のクッションの役をする一種のサージタンク)及び気圧計である。

この装置によつて施工したコンクリートを海中ボーリングした結果, 細骨材の分布は均等でレイタンスはほとんど認められず, また採取コアは  $\sigma_{90} = 260 \text{ kg/cm}^2$  の強度で各所各層の強度もほぼ均等になつている。

(4) 新潟港海岸浸食防止工事 新潟港付近の海岸は信濃川の流送土砂により形成されているが, 信濃川の河身及び河口改良工事が実施されて以来, 流送土砂が激減して海岸欠潰を生じている。欠潰は河口付近で最もはなはだしく, 西海岸では 60 年間に最大 325 m 年平均 5.4 m 後退し, また東海岸でも 25 年間に最大 250 m 年平均 10 m も後退している。

この浸食防止工事として次の対策が考えられている。信濃川河口西海岸の欠潰の激しい部分の沖合 100 ~ 150 m, 水深約 3 m の線に 1 500 m の潜堤を設ける。潜堤にはこれに沿う流れを阻止するため約 80 m

の間隔で沖向きの短い突堤を設けるとともに、ところどころに天端高の低い潜堤 20 m を設ける。上記の工事で西海岸には突堤を設置する。潜堤内を走る流れを阻止するため約 250 m 間隔に、潜堤と海岸を連結する潜堤を設け現在以上に海浜の砂が取り去られないようにし、また毎年港内埋没土砂をできるだけ多量にポンプ船によつて潜堤岸側の海面に排出するようにしている。河口東海岸は移動する土砂を捕捉するために長さ 50 m の突堤 5 本を設けるとともに、海岸の砂が強風で移動するのを防止するため飛砂防止工を施工し、汀線の後退を許す余地のない工場用地の前面には鉄矢板護岸を施工するようにしている。なお潜堤として、石詰ふとん籠、石詰セルラーブロック、有孔ブロックなど各種の型式が施工されたが、ふとん籠は破壊状況がはなはだしく、セルラーブロックと有孔ブロックとは一長一短があるということである。

#### IV. 将来への展望

戦後の苦況を切り抜けて、港湾技術者には新しい黎明が訪れつつある。海外の新しい技術を取り入れて、わが国に適した工法が研究的態度をもつて施されつつあることはまことに喜ばしいことである。しかしなおわが国で解決しなければならない問題が多くある。すなわち耐震工法、経済的防波方法、海岸及び河口漂砂対策などについての解決がそれである。また経済的な港湾配置計画の樹立は貧しい国としては大切な問題である。

これらの問題についてよい解決が与えられて、港湾が日本経済に大きな貢献をすると同時に、日本の心が港を通じて世界に開かれ、世界の平和に大きな貢献をするようになることを期待する。

明治、大正、昭和を通じての日本の先覚者内村鑑三はその著「地人論」の中で、日本の港湾から日本の使

命を論じて次のように述べている。

「日本の港湾に米国に向つて東開するもの多きは、米国とアジャ間の媒介者たる我の位置を確定するものなり。見よ我の横浜、四日市などの東向して旭日に向うに對し、米のバンクーバー、タコマ、フランシスコなどが西向して我に應ずるを。我の神戸、関門、長崎、三角が西に開いて我が西隣を迎うるに對して、黄河、揚子江は我に向つて流れ、その天津、上海、漢口、福建は悉く我に向つて開き、我の招待に應ぜんとする状を、我は一手を伸して米を迎え、他手を伸して亜を招き、二者をして我に合一ならしめんとするが如し。……日本の天賦は如何、地理学は答えて曰く、彼女は東西兩洋間の媒介者なりと。……西隣若し西洋を学ばんと欲するか、必ず我よりこれを学ばん。東隣若し東洋の長を取らんとするか、必ず我においてこれを認めん。西洋我において合す。パミール高原の東西において正反對の方向に向い分離流出せし兩文明は、太平洋中において相会し、二者の配合によりて胚胎せし新文明は、我より出て再び東西兩洋に普ねからんとす。」

この先覚者によつて示された日本の使命達成を、わが港湾技術者によつて促進されることを期待するものである。先覚者は日本の世界文明に対する寄与をこのように論じているが、最近の米ソの激しい対立の中にあつて、日本は両者を融和して世界平和に寄与する使命を負わされていることを感ずる。この尊い使命達成の一環を港湾技術者が担つていることを想起することは、きわめて愉快なことである。

最近のおもな港湾工事については運輸省博多港工事事務所、山東、和田両技官をわづらわした。付記して厚く謝意を表す。