

4-3 知のストックと他の分野とのネットワークづくり

4-3-1 はじめに

『広義の設計』を行っていくためには、設計者は幅広い知識を有して広い視野で港湾計画の立案、構造物の設計、維持管理をすることが求められる。これを遂行していくには、技術をストックしていくことや他分野との連携・ネットワークづくりが非常に重要で必要不可欠である。このため、技術ストックや他分野との連携・ネットワークづくりをしていく上で必要と思われる事項について述べる。

4-3-2 計画・設計した施設のフィードバック

港湾計画や設計をした技術者には、自分たちが計画・設計した施設に対してフィードバックが必要である。

現状では、施工中や施工完了後の状況をあまり把握していないと思われる。設計した時には問題ないと思っていた事項が、実際は施工できずに断面諸元の変更や施工方法の変更がなされている場合がある。しかし、設計者は変更されたことが把握できていないことが多いことから、同様な条件の施設を設計すると同じ設計をして、その結果として施工できない断面となり、これが繰り返される可能性がある。

従って、国が情報をストックして、その情報を民間の設計者でも自由に閲覧できるなど、設計者が情報を得られる仕組みづくりが必要である。具体的には、以下のようなことが挙げられる。

- ① 施工中及び施工完了時の施工情報データなどについて、設計者が発注者に要望すれば提供してもらえるようにする。
- ② 港湾工事において、BIM/CIMが導入されているので、BIM/CIMのデータを有効活用する。
- ③ 港湾施設の維持管理データを更新、蓄積し、これらデータを設計する際に有効活用する。
- ④ 現在、国土交通省が推進している「港湾関連データ連携基盤」(図4-3-1 参照)を有効活用する。

また、計画する者(コンサルタントの計画担当者)は、完成後の施設の利用状況が把握できていないなど、利用状況のフィードバックがなされていないことが多い。港湾計画や事業評価などを計画する時には、利用者や管理者とヒアリングをしているが、完成後に対して、計画したとおりで運用できているか確認できていないのが実情である。更に、設計者は、設計した施設に対して完成後の利用状況の確認がなされていない。例えば、係船柱、防舷材等は技術基準に準拠した諸元や配置で設計しているが、実際の運用では利用づらい施設になっている可能性がある。従って、設計者が施設完成後の利用状況に関する情報が得られる仕組みづくりが必要である。具体的には以下のようなことが挙げられる。

- ① 定点カメラ(監視カメラ)や衛星データなどの情報が提供してもらえるようにする。(但し、監視カメラは保安上の観点から非常にハードルが高いと想定される。)
- ② 施設完成後に施設の利用者とヒアリングを行い、施設利用に関する情報を蓄積する。この際、ヒアリング業務を別途業務として発注しても

らうことにより業務として実態調査を行うことが望ましい。

上記のことを実行すれば、「要求機能」を規定するための基礎資料になり、「要求機能」を幅広く設定することが可能になると考える。但し、実行されなければ、今まで通りの基準に準拠又は過去の事例をもとに「要求性能」「性能規定」を規定することになる。

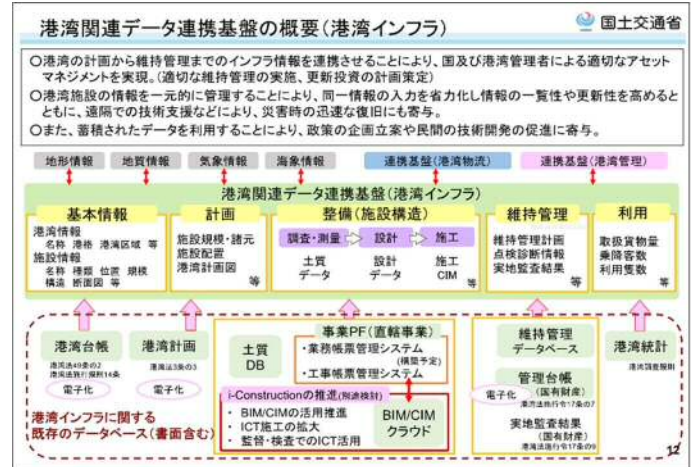
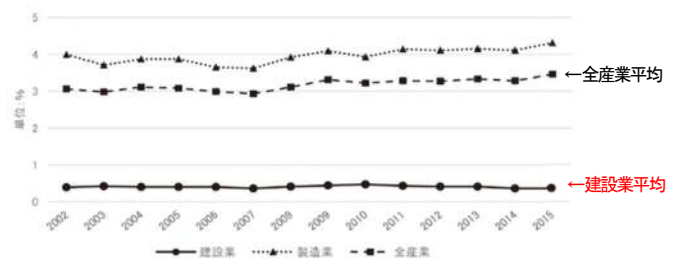


図 4-3-1 港湾関連データ基盤の概要(港湾インフラ) 1)

4-3-3 設計・施工の技術開発の推進

産官学が連携して技術開発を行い、設計・施工の技術をストックしていく必要がある。

技術基準に示された方法を用いるだけでは、基準にない特殊な構造や断面を設計することができないことから、現状では、自由で幅広い性能設計がほとんど行われていない。性能設計で活用できそうな FLIP や CADMAS-SURF 等は、港空研や民間会社の有志による研究会により解析ソフト開発がされてきた背景がある。しかしながら、図 4-3-2 に示すように我が国の建設業の売上高に対する研究開発費の割合は、全産業平均が 3%程度に対して建設業平均が 0.5%程度で 2 割にも満たない状態で推移している。また、近年では全産業の平均値が微増傾向にあるが、建設業は低下傾向となっている。このような建設業の状況及び長期に亘る国内市場の減退により、企業の研究開発費も減少していることから、今後、有志による組織や企業単独で解析ソフト開発をしていくことは非常に難しいと考える。従って、技術開発をしていく新たな仕組みづくり(技術開発するための補助金支援等)が必要である。



出典：総務省統計局資料より作成
図 4-3-2 我が国産業の対売上高研究費割合の推移 2)

4-3-4 特許出願・新技術認定・著作権

(1) 特許出願・新技術認定

技術ストックをするためには、研究開発を行い、特許出願件数を増加させていくことが重要である。しかし、建設分野における主要国の特許出願の推移は図 4-3-3 に示すように、他の諸外国は右肩上がりであり伸びているが、日本は 2000 年以降出願件数が減少している。これは建設業界の研究開発費の減少が影響していることが原因と考えられる。

従って、特許がある工法、材料、製品が採用されやすい仕組みづくりが必要である。特に、特許があるものは公共事業では採用されない傾向にあることから、これらの仕組みを変えていく必要がある。

また、新技術の促進のために、「新技術情報提供システム (NETIS)」や「港湾関連民間技術の確認審査・評価事業 (沿岸技術研究センター)」で評価されたものが、もっと設計の段階から積極的に有効活用される仕組みづくりが必要である。

(2) 著作権

著作権については、公共事業では、工事を行うための調査・設計業務は主に建設コンサルタントに発注されているが、その報告書や計算した時の計算プログラム、解析データ、CAD データなどは、全て発注者に著作権が移行されるような契約になっている。このため、以下のような障害がある。

- ① 業務で得た技術やデータを別の業務へ有効活用できないため、技術の蓄積・効率化の妨げになっている。
- ② 業務の内容について自由に論文等を執筆することができないと言うことで、企業の技術力がアピールできない。

このようなことから、技術の蓄積、業務の効率化がなかなか進んでいないと考える。また、建設コンサルタント地位が向上していない。

従って、委託業務の報告書などの著作権の取り扱いについて、契約の見直しなどが必要である。

(は増加しているが、海外では、ほぼ横ばいとなっており、海外市場が拡大されていない。

このように、長期に亘る国内市場の縮小している中で、幅広く技術ストックをするためには、国際市場に進出・拡大することにより海外事業を多く経験し、幅広い知識を蓄積していくことが重要である。

また、海外では、岸壁の増深・改良が盛んに行われており、図 4-3-5 に示すように国内では見慣れない構造断面が現場条件に応じて採用されていることから、海外事業を経験することにより、国内にも多様な構造断面を積極的に取り込んでいくことが必要である。



図 4-3-4 我が国の建設業の海外受注額の推移³⁾

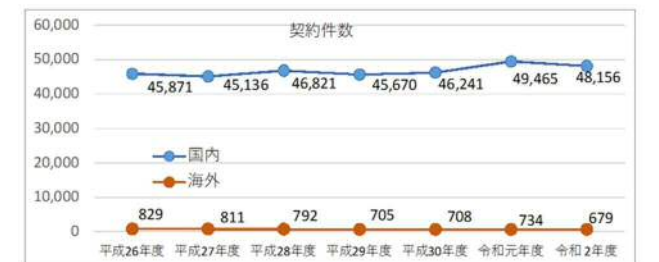


図 4-3-5(1) 建設コンサルタント(50社) 国内海外別契約件数⁴⁾

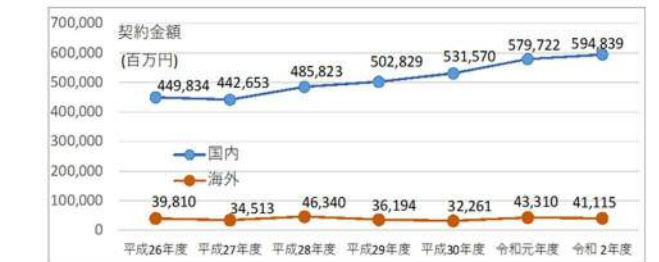


図 4-3-5(2) 建設コンサルタント(50社) 国内海外別契約金額⁴⁾

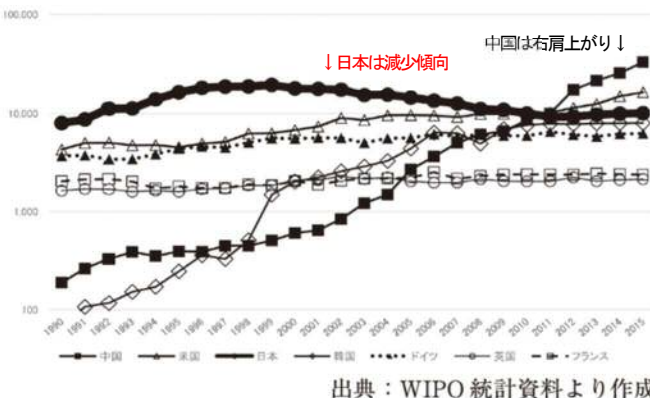


図 4-3-3 主要国の建設分野の特許出願件数(各年公開件数)の推移²⁾

4-3-5 国際市場の進出・拡大

国際市場における我が国の建設業界の現状は、図 4-3-4 に示すように我が国の建設業の海外受注額が、ほぼ横ばいとなっており、海外市場が拡大されていない。また、図 4-3-5 に示すように、建設コンサルタントの国内、海外の契約件数についても、ほぼ横ばいであり、契約金額は、国内で

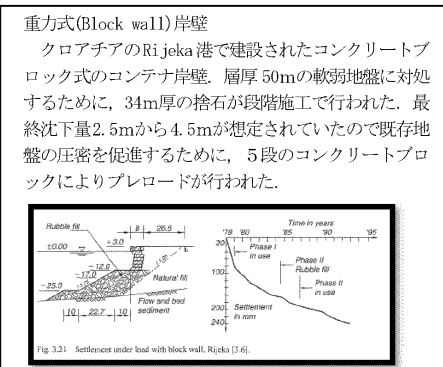


図 4-3-6(1) 海外の岸壁改良事例 (その1)⁵⁾

斜め矢板岸壁 (Deep relieving platform)

オランダのロッテルダム港の Deep relieving platform である。基礎と上部工のコストの最適化を図った結果、-4.5m に deep relieving platform を設ける構造となった。基礎は地盤支持と土留機能を併せ持つ結合壁 (combined wall) である。MV-piles とコンクリートパイルがプラットフォームを支える。MV-piles は水平力に抵抗する。このデザインは 2006 年の Euromax で評価された。

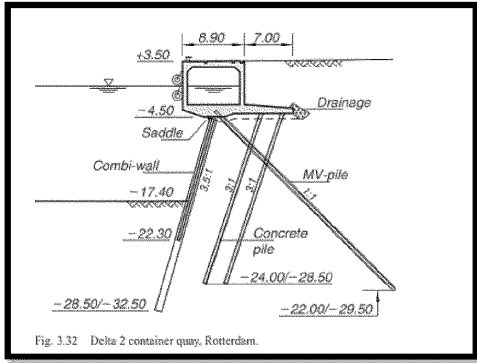


Fig. 3.32 Delta 2 container quay, Rotterdam.

図 4-3-6(2) 海外の岸壁改良事例 (その 2) ⁵⁾

補強土 (reinforced earth) 岸壁

英国の Swansea 港のヨットクラブの岸壁。40×10mm の鉄製のストリップで裏込めからプレハブのコンクリートパネルに作用する土圧を軽減している。この港の潮位差は 9.9m もあるので、低潮位のとときにビーチで工事を行うことができた。過剰間隙水圧とそれに伴うバイピングを防止するために、軟弱地盤を除去しグラベルで置換することにより排水を確保している。

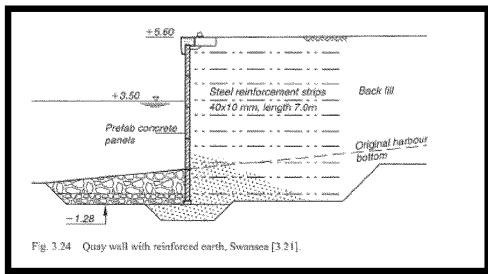


Fig. 3.24 Quay wall with reinforced earth, Swansea [3.21].

図 4-3-6(3) 海外の岸壁改良事例 (その 2) ⁵⁾

4-3-6 次世代を担う設計技術者の育成、確保

技術ストックやデータが蓄積されたとしても、それを活用して設計できる優秀な技術者がいなければ、『広義の設計』は進展していかない。

建設業の就業者数は、図 4-3-7 に示すようにピーク時である 1997 年 (H9 年) の 685 万人から 2015 年 (H27 年) で約 28% 減少している。年齢構成別の推移は図 4-3-8 に示すように 55 歳以上が約 34% を占めており、29 歳以下が約 11% 程度となっており、全産業と比べても建設業界は、就業者の高齢化が著しく進行していることが分かる。更に、今後 10 年間で 60 歳以上の高齢者 (83 万人：全体の約 25%) の定年による大量離職が見込まれている。建設コンサルタント業界においても図 4-3-9 に示すように、この 20 年間で 20 代が大幅に減少している。また、産業別の就業者数の推移は、図 4-3-10 に示すように、産業全体では 2012 年

以降は増加傾向となっている一方で、建設業界では 2002 年からの 2010 年の 8 年間で約 10 万人以上減少しており、近年は 500 万人付近を横ばいで推移している。このように産業全体や公共サービス (運輸業、郵便業) と比較して建設業界の人材不足は深刻な悩みである。特に、若手建設技術者の減少、担い手不足が深刻化していることは、非常に大きな問題となっている。従って、次世代を担う設計技術者の確保、技術伝承などの育成が非常に重要な課題である。

これらの方策として、①港湾施設への理解を深めるための現場見学会等の実施、②港湾・海岸工学等の専門分野に関する講義の実施、③インターシップの実施、④学生向けの出前講座が実施されている。しかし、国、地方自治体、協会、民間企業が、個別にバラバラに実施されていることから、これら関係者が一致団結して統一的な行動、情報発信をする必要がある。そのためには、建設業界が世の中に提供する価値 (存在意義) をお互いに共通認識した上で、今後、社会に対して提供する新たな価値を明確にして、その実現に向けて戦略的に行動していくことが重要である。これは、他業界の民間企業が行っている「リブランディング」^{※1}の取り組みと同じようなことである。(※1:「リブランディング」とは、時代や顧客にあわせ、既存ブランドの再構築を含めた新たなブランドを構築すること⁸⁾)

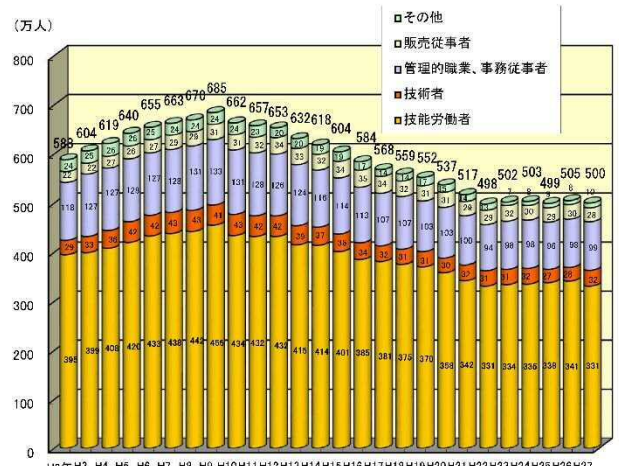
また、技術者の社会的な認知度の向上、建設コンサルタントの役割の明確化や地位向上が必要である。

人材確保の観点では、定年退職者の増加していることから、経験が豊富な技術者を再雇用し、若手の教育、指導やアドバイザー、設計照査などで活躍していただくことが重要である。

人材育成としては、AI を活用した人材教育が有効な手段の 1 つである。既に、教育業界では AI を使った受験教育システムとしてタブレットで学習する教育が試行されている。

技能労働者等の推移

- 建設業就業者: 685万人 (H9) → 498万人 (H22) → 500万人 (H27)
- 技術者: 41万人 (H9) → 31万人 (H22) → 32万人 (H27)
- 技能労働者: 455万人 (H9) → 331万人 (H22) → 331万人 (H27)



出典: 総務省「労働力調査」(暦年平均)を基に国土交通省で算出 (※平成23年データは、東日本大震災の影響により推計値。)

図 4-3-7 建設業就業者の推移 ⁶⁾

建設業就業者の高齢化の進行

○ 建設業就業者は、55歳以上が約34%、29歳以下が約11%と高齢化が進行し、次世代への技術継承が大きな課題。
 ※実数ベースでは、建設業就業者数のうち平成26年と比較して55歳以上が約4万人減少、29歳以下は同程度(平成27年)

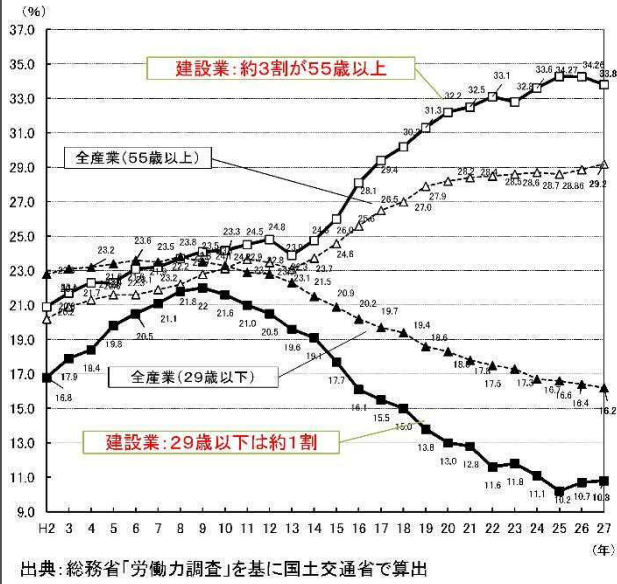


図 4-3-8 建設業就業者の高齢化⁶⁾

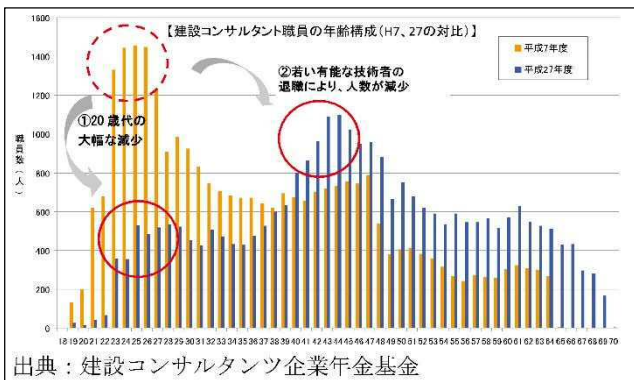


図 4-3-9 建設コンサルタント従事者の年齢構成⁷⁾

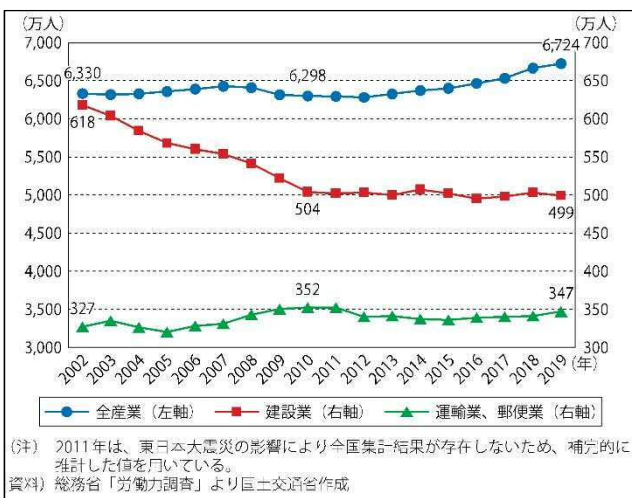


図 4-3-10 産業別の就業者数の推移³⁾

4-3-7 建設分野以外の分野との連携

技術ストックのために、IoT や AI などの新たな技術を活用する必要がある。そのためには、建設分野以外の企業 (AI 関連、IoT 関連、ロボット関連、金融関連等) と連携が不可欠である。

近年、交通分野では、「MaaS(マース)」⁹⁾(Mobility as a Service)の取り組みが進められている。「MaaS」とは、出発地から目的地まで利用者にとっての最適経路を提示して、複数の交通手段やその他のサービスを含め、一括して提供するサービスである。様々な移動手段の価格を統合して、一つのサービスとして価格設定することにより、「複合一貫サービス」を新たに生み出し、価格面における利便性の向上により、利用者の移動行動に変化をもたらして、移動需要・交通流のマネージメント、供給の効率化が期待されている。これは、小売・飲食などの商業、宿泊・観光、物流などのサービス分野との連携や医療、福祉、教育などの連携により、移動手段・サービスの高付加価値化などが期待されている。今後、港湾分野においても、このような仕組みを活用し、様々な分野と連携していくことが、新たな技術開発や幅広い人材確保につながるものとする。

参考文献

- 1) 「第5回 港湾の電子化(サイバーポート)推進委員会 資料2：港湾管理・港湾インフラ分野の検討状況等について」
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/cyberport/dai5/shiryu2.pdf>
- 2) 「わが国建設業における知的財産の適切な保護更なる活用の促進に向けた現状分析」日本弁理士会 月間 パテント 2018 年 8 月より
<https://system.jpaa.or.jp/patent/viewPdf/3051>
- 3) 令和2年版 国土交通白書 2020 国土交通省編
<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/index.html>
- 4) 国土交通省「建設関連業等の動態調査報告」
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/jouhouka/sosei_jouhouka_tk4_000011.html
- 5) 「国際港湾技術研究所・確認審査所・洋上風力研究室の活動について(平成30年度) 山本ら」沿岸港湾技術センター論文集 No.19(2019)
<https://www.cdit.or.jp/monograph/2019/h31-12.pdf>
- 6) 国土交通省資料「建設産業の現状と課題」
<https://www.mlit.go.jp/common/001149561.pdf>
- 7) 平成30年度 建設コンサルタント白書 一般社団法人 建設コンサルタント協会
https://www.jcca.or.jp/files/achievement/annual_report/pdf/wp2018_all.pdf
- 8) 建設現場で働く人々の誇り・魅力・やりがい向上に向けた取組 国土交通省
<https://www.mlit.go.jp/tec/i-con-yarigai.html>
- 9) 令和2年版 国土交通白書 2020 国土交通省編
<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/index.html>

(執筆：鈴木信夫)

4-4 技術開発の推進と技術の伝承

4-4-1 はじめに

(1) 技術開発

技術開発のテーマは、その時々ニーズに対応し、時代とともに変化している。高度経済成長期においては、船舶の大型化や貨物量の増加に伴う係留施設の絶対量の不足により、港湾の沖合展開が計画され、防波堤の建設、軟弱地盤、急速施工等に関する技術開発が実施された。平成以降においては、環境創出技術（エコポート）、耐震・耐津波・防災・減災技術の高度化（阪神淡路大震災、東日本大震災）、大水深で高規格なターミナルの整備・情報化技術（国際競争）、インフラの老朽化対策、長寿命化、点検・診断技術（トンネル落下事故）、i-constructionへの転換（労働力の減少、生産性の向上）、高潮、高波災害の軽減（気候変動）等に関する技術開発が実施されてきた。

また、「第5期国土交通省技術基本計画」（令和4年4月）では、社会経済的な課題への対応を図るため、「強靱性の確保」、「持続可能性の確保」、「経済成長の実現」という3つの方向性の下、以下の6つの重点分野の技術開発や技術基準の策定等に取り組む計画である。

- ① 防災・減災が主流となる社会の実現
- ② 持続可能なインフラメンテナンス
- ③ 持続可能で暮らしやすい地域社会の実現
- ④ 経済の好循環を支える基盤整備
- ⑤ デジタル・トランスフォーメーション
- ⑥ 脱炭素化・インフラ空間の多面的な利活用による生活の質の向上

(2) 技術伝承

少子高齢化が加速し、人口減少・労働力減少していく日本国内において、港湾整備に関する技術力の喪失が懸念されている中、技術力を維持・向上させていくためには、人材の育成（技術伝承）が欠かせない。

国土交通省においても、厚生労働省と連携し、建設業の人材確保・育成に向けた取り組みや検討が継続して行われている。また、「第5期国土交通省技術基本計画」（令和4年4月）においても、技術伝承の一環として、技術政策を支える人材の育成等の重要な取組が定められている。

4-4-2 技術開発の推進について

(1) 港湾に求められる機能の変化（社会ニーズの変化）

高度経済成長期では、港湾に求められる機能は「物流機能」であり、生産者の視点による産業・物流分野の港湾整備に注力されてきた。その結果、人々を港湾から遠ざけてしまうこととなった。

社会の成熟化により港湾に求められる機能が多様化・高度化していることを受け、今後は利用者の視点に立った「機能提供型」の港湾整備が必要となる。PORT2030でも、港湾政策の基本的理念（図4-4-1）として、「施設提供型」から「ソリューション提供型」への対応が求められており、単なる施設の提供から港湾での先導的な取り組みによる社会価値の提供へと移行していくものと考えられる。

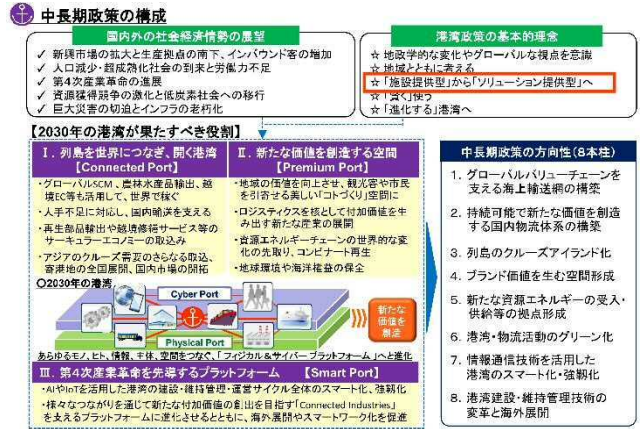


図 4-4-1 PORT2030（国土交通省）¹⁾

(2) 機能論を導入した次世代型の港湾計画への転換

現行の港湾計画では、以下に示すように施設の規模及び配置を決定することを目的としており、機能に関する事項がないため、近年の技術開発においては、単一機能についての構造に係わる範囲にとどまり、技術開発への意欲が低下している要因の1つになっていると考えられる。施設は「機能」によって「構造」が決まるため、機能が単一であれば、構造の多様性が生じなくなり、技術開発の幅も狭くなる。

現行の「港湾法 第三条の三（抜粋）」

2 港湾は、基本方針に適合し、かつ、**港湾取扱可能貨物量その他の能力に関する事項、港湾の能力に応ずる港湾施設の規模及び配置に関する事項、港湾の環境の整備及び保全に関する事項、港湾の効率的な運営に関する事項その他の基本的な事項に関する国土交通省令で定める基準に適合したものでなければならない。**

以下に示すように機能を追加することにより、港湾計画において、国民・企業などの利用者に提供する機能も決定することになる。つまり、提案する次世代型の港湾計画では、「あるべき姿（規模・配置論）」から「なすべき姿（価値・機能論）」への転換を図ることになる（価値提供による目的論的港湾計画）。

提案する「港湾法 第三条の三（抜粋）」

2 港湾計画は、基本方針に適合し、かつ、**港湾の機能及び取扱可能貨物量その他の能力に関する事項、港湾の機能・能力に応ずる港湾施設の規模及び配置に関する事項、港湾の環境の整備及び保全に関する事項、港湾の効率的な運営に関する事項その他の基本的な事項に関する国土交通省令で定める基準に適合したものでなければならない。**

(3) 機能論を導入した設計体系への転換

港湾施設的设计（技術基準）は、施設の材料・寸法・工法・設計方法等の仕様を定める仕様設計体系から、施設に要求される性能のみを規

定する性能設計体系へと2007年に移行された。しかし、この性能設計体系に移行してから10年以上が経過したが、自由な発想に基づく設計法の導入や新技術の導入促進・コスト縮減に資するなど期待された効果が得られていない。

現行の設計体系（図4-4-2）のように単一機能による性能規定では、多様な性能の必要性が乏しく、さらに性能照査法を開発する意欲が出てこない。



図 4-4-2 現行の設計体系²⁾

図4-4-3に示すように目的を価値・機能の提供に変更し、目的の直下位に「機能規定」を追加して、それを満たす「要求性能・性能規定」を下位に位置づける（「機能規定」ごとに「要求性能・性能規定」が多様に設定される）。「機能規定」を性能設計体系の枠組みに位置づけることによって、この機能を確保するための技術開発や新技術の導入による照査法が検討されることになる。つまり、利用者による利用面や施設管理者による維持管理面に関わる機能向上や新たな機能を創出する検討が、概念設計や機能設計において実施され、構造設計の際には、その機能に応じて設計のバリエーションが生じることになると考えられる。



図 4-4-3 提案する新たな設計体系²⁾

また、「第5期国土交通省技術基本計画」（令和4年4月）では、技術研究開発の推進の取組として技術基準の策定を挙げており、技術基準には以下のような役割がある。

- ・技術基準は、既存技術の整理や新しく研究開発された技術の安全性や信頼性の評価・確認を通じて整備されるもので、技術の実用化や社会への適用・還元が促進される。
- ・技術基準の整備に当たっては、国内外の優れた知見を収集し、将来的な方向性を技術目標として示すことにより、企業における技術研究開発を誘導し、方向付けることも可能である。

(4)技術開発の方向性について

これまでの技術開発は、コスト低減、急速施工、施設建設のための技術課題が主要な内容だった。しかし、社会（利用者）が施設に要求するのは、機能（付加価値）であるため、「機能規定」の概念を取り入れ、施設の機能性を価値工学（VE）によって検討し、その性能の規定化、さらにその性能の照査法に関わる技術開発が必要である。

また、VEによる価値は、図4-4-4の式で定義され、価値を上げるためには、機能を向上させる手段を検討することが重要である。

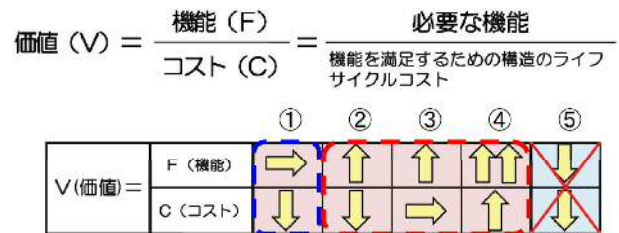


図 4-4-4 価値の定義及び価値向上の形態²⁾

4-4-3 技術の伝承について

建設業界では、熟練技術者の高齢化が進むとともに、土木の魅力が減退して、大学で土木工学を専攻した学生であっても、他の分野へ就職するという若者の土木離れ等を背景に、技術伝承が大きな課題となっている。

土木工学は、経験工学と言われるように経験（現場）の中から培われている技術が多く、熟練技術者から若手技術者に技術が伝承されていくことが不可欠である。技術の伝承とは、ただ伝えることでは伝承されない、新しいことへの挑戦や改善の中で、技術の伝承が行われる。工場の技術を例に挙げると、「5年作るのをやめたら、技術はなくなる」と言われている。これは、同じことを5年やったらつながるのではなく、5年間、常に改善を続けることによって、技術が伝わるということである（吉村顧問）。

港湾施設の設計に当てはめると、技術は既設の機能及び構造の経年的な変化に対する観察と気付きによって伝承される。不変の機能や構造（壊れない構造）は、技術が伝承される機会が失われ、可変の機能や構造によって技術が伝承される機会が生み出される。そのためには、機能の向上や新たな機能を創出することによって構造を可変化させる必要がある。

まずは、機能論を導入した次世代型の港湾計画への転換を実施し、港湾計画において、「施設の機能規定、規模及び配置」を決定する。次に、機能論を導入した設計体系への転換を実施し、「機能規定」ごとに「要求性能・性能規定」が多様に設定される。機能規定によって機能の向上や新たな機能の創出が生まれ、それに応じた改良や新たな構造が開発されることになり、そのことによって技術も伝承されることになる。つまり、今後の若手技術者にとって、やりがいと創造性のある業務環境が提供されることになる。また、時代とともに技術は変化していくため、古い技術をそのまま伝承していくのではなく、現代化させ、新しい技術を創造していくことも必要である。

最後に、その他として、技術伝承のツールとして、ICT、DX、BIM/CIMの活用も期待されている。

4-4-4 事例による具体的な提案と行動

(1)開発された技術の活用が進んでいない事例（その1）

津波漂流物対策施設設計ガイドライン（一般財団法人沿岸技術開発センター）が発刊されており、津波漂流物対策が低コストで実施可能にもかかわらず、様々な要因によって実績が少なく活用が進んでいない。活用が進んでいない要因として、防潮施設とは津波漂流物だけでなく、津波の浸水も防ぐべきという既存概念が挙げられるが、津波漂流物の衝突により多くの人命や財産が失われること及び漂流物が海域や港内に流出することによって、物流・人流機能の低下をもたらすことの認識が十分ではないことも考えられる。また、港湾施設として、津波漂流物対策施設が定義されていないことや、面的な計画がされていないことも要因の一つだと考えられる。

施設に津波漂流物を防ぐという機能を港湾計画において位置づけることにより、漂流物対策の安全性への理解も広がり、ガイドラインも活用されるようになって考えられる。

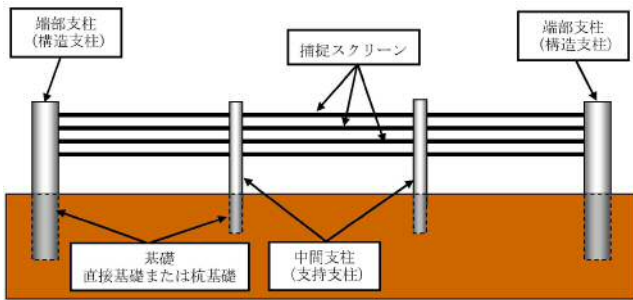


図 4-4-5 津波漂流物対策施設の基本構造³⁾



図 4-4-6 津波漂流物対策施設（釧路港）³⁾

(2)建築（民間公募による性能規定の検討）の事例

2008 年より、建築基準法に係る技術基準整備のための検討について、民間の能力を積極的に活用して、基準の整備、見直しを図ることを目的とした「建築基準整備促進補助事業（民間事業者等の知見を活用した建築基準整備の推進事業）」が実施されている。

国（住宅局建築指導課及び国土技術政策総合研究所）が建築基準の整備を促進する上で必要となる事項について提示し、これに基づき、

基礎的なデータ・技術的知見の収集・蓄積等の調査及び技術基準の原案の基礎資料の作成（以下「調査」という。）を行う民間事業者、公益法人、国立大学法人等を、公募によって募り、最も適切な調査の内容、実施体制等の計画を提案した者に対して、予算の範囲内において、国が当該調査に要する費用を補助している。

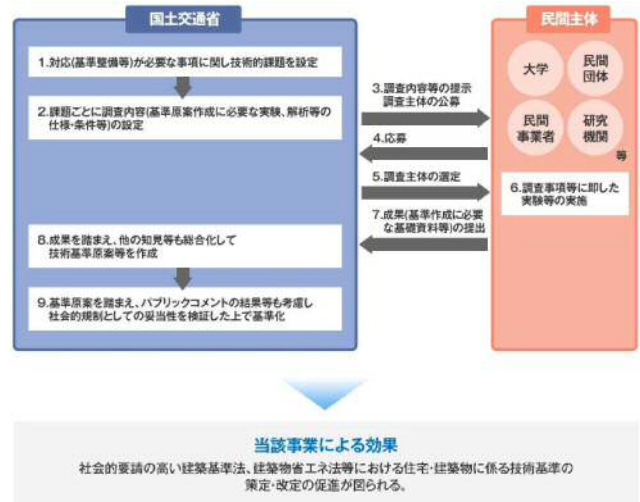


図 4-4-7 事業の流れ（国土交通省HPより）⁴⁾

令和4年度（2022年）では、表 4-1-1 に示す新規の6事業が検討予定であり、また、昨年度からの継続課題（13課題）も検討が実施される予定である。機能論を導入した設計体系への転換を図るために、港湾でもこのような方式が参考ができる。

表 4-4-1 令和4年度新規公募事業（国土交通省HPより）⁴⁾

番号	調査事項名	事業主体	事業主体以外の関係者
S 38	省エネ化に伴い重量化する木造建築物の基準に関する検討	A社 〇〇大学〇〇研究所	・有識者委員会及びWG設置予定 ・建築研究所より技術指導
S 39	木質系混構造建築物の保有水平耐力計算の方法に関する検討	一般財団法人A	・有識者委員会及びWG設置予定 ・建築研究所より技術指導
F 23	避難安全検証法等の合理化に係る検討	一般社団法人A B社	・有識者委員会及びWG設置予定 ・建築研究所と共同研究
F 24	仕上げ及び下地への不燃化要求の合理化に係る検討	一般財団法人A	・有識者委員会及びWG設置予定 ・建築研究所と共同研究
E 17	共同住宅の省エネ性能評価における暖房負荷モデルの精緻化に関する検討	C社 D社	・有識者委員会及びWG設置予定 ・建築研究所と共同研究
E 18	既存建築物の実用的な省エネ性能診断法・評価法に関する検討	一般社団法人B	・有識者委員会及びWG設置予定 ・建築研究所と共同研究

(3)道路（体系的な新技術導入の仕組み）の事例

道路局では、「学」の知恵、「産」の技術を幅広い範囲で融合することにより、道路政策の質を向上させるため、新道路技術会議を設置している。新道路技術会議は、国土技術政策総合研究所の協力の下、道路分野に携わる広範な研究者から技術開発の提案を募っている。港湾でもこのような仕組みが導入されると技術開発が促進されると考えられる。



図 4-4-8 体系的な新技術導入の仕組み
(国土交通省HPより)⁵⁾

(4)開発された技術の活用が進んでいない事例 (その2)

自由な設計の場合、照査による信頼性の証明や適切な審査が必要になるため、既存のマニュアルや施工実績のある汎用化された技術をベースに検討する傾向になる。たとえば、海外では自動係船設備が導入されていて、非常に便利な技術ではあるが、日本ではほとんど導入されていない(敦賀港において実証試験等の検討が2022年に実施)。その理由として、新技術の適用を認証するルールが確立していないことが考えられる。



図 4-4-9 自動係船設備の設置事例 (日本作業船協会HPより)⁶⁾

新技術の適用を促進する案として、ISO の製品認証制度 (Guide 65 など) や沿岸センターの民間技術評価などで認証された新技術を活用するために、「公共工事等における新技術活用システム」の発注者指定型の工事を拡張することが考えられる。これにより、新技術の採用が促進され、技術開発意欲も向上すると考えられる。

(5)技術伝承の事例

不変の機能及び不変の構造であるピラミッド建造技術は、現在に伝承されていない。他方、伊勢神宮の20年に1回の遷宮は、神殿という単一の機能であるものの、あえて解体・復元することによって建築技術やノウハウなどを伝承させる機会を持つ仕組みになっている(日本人の知恵)。つまり、実際の現場で建築技術やノウハウなどを伝える実地訓練が行われている。



図 4-4-10 ピラミッド (大林組HPより)⁷⁾



資料) 伊勢神宮

図 4-4-11 伊勢神宮 正殿 (内宮) (国土交通省HPより)⁸⁾

日本は「木の文化」であることに対し、西洋は「石の文化」であるといわれている。ギリシャの神殿やエジプトのピラミッドなどのように、ヨーロッパや中近東では、石材による建築物や工芸品を作っていた。建造したときは永久不滅のものであったが、今ではその多くが廃墟になっている。しかも、建造物が

壊れて廃墟になっただけではなく、それを建造した技術、さらには、信仰や精神も消滅しているといわれている。

一方、日本民族は、物も心も有限であるという考え方を基底にもっているといわれている。有限であるがゆえに、たえず新しいものに更新し続け、確実に後世に伝えていくという努力と作業を繰り返してきた。結果として、物が常に瑞々しい冴を保ち続けるとともに、技術も継承され、物も心も永く長く伝えることができるといわれている。式年遷宮の思想は日本民族の叡智として世界から賞賛されている。

式年遷宮は正宮の遷宮が終わった後に別宮の遷宮があるため、2年間は約160名の技能者の雇用が続く。別宮の遷宮終了後、若手や技能優秀者30名ほどを神宮の常勤職員として残し、その他の技能者は解職となり、以後12年間、30名の技能者は摂社・末社の修繕・造り替え等を行う。

本殿の遷宮終了後15年目に、次の遷宮のための木材加工が始まるが、この頃から作業量や進捗に応じて全国から技能者を雇い入れていく。この時、遷宮を経験している30名が新たに参加する技能者の教育を行う。この20年の周期によって多い人で3回の遷宮に携わることができる。

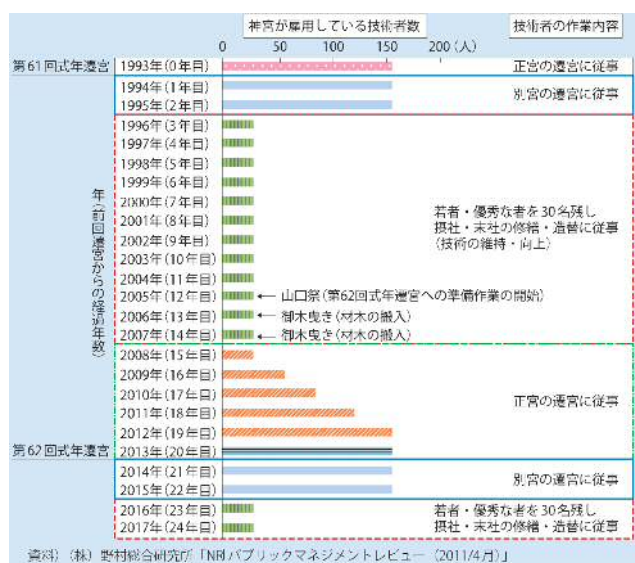


図 4-4-12 伊勢神宮が雇用している技術者の推移と作業内容 (国土交通省H Pより)⁸⁾

特筆すべき点としては、最低限技能を伝承するのに必要な技能者(30名)を遷宮終了後も常勤職員としてその雇用を確保していることである。一方で、ピーク時に雇い入れる技能者は、特に宮大工のみを採用しているわけではなく、一般の大工等を採用した後に必要な技能を教育している。このことは、中核となる技能者を継続雇用し維持・更新業務に従事させることによって技術力が維持されているゆえに可能となっている。

このように、伊勢神宮の式年遷宮においては、次回の遷宮を見越して、人材の確保(ピーク時に向けた弾力的な雇用)と技術伝承(中核的な技能者の雇用維持)の取組が実践されている。社会インフラの維持管理・更新の担い手不足が大きな問題となっている昨今、1300年前から続

いてきたこの仕組みから学ぶべき点も多い。(国土交通省:コラム 式年遷宮に見る技術継承と技術者確保、平成25年度国土交通白書, pp.118~119.の内容を紹介)



資料) 神宮司庁

図 4-4-13 社殿造営の様子 (国土交通省H Pより)⁸⁾

参考文献

- 1) 国土交通省H P: 港湾の中長期政策「PORT 2030」(平成30年(2018年)7月31日公表) / https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_PORT_2030.html
- 2) 八尋明彦: 今後の港湾計画及び技術基準のあり方/広義の設計論を踏まえて、海洋・港湾構造物設計士会資料
- 3) 由井孝昌・山本修司: 津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)について、一般財団法人沿岸技術研究センター論文集 2009 No.9, pp.29~32.
- 4) 国土交通省H P: 建築基準整備促進事業について / https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000016.html
- 5) 国土交通省H P: 道路に関する新技術の活用 技術開発・新技術導入について 新道路技術会議について / <https://www.mlit.go.jp/road/tech/gijutu/outline.html>
- 6) 日本作業船協会H P: 新技術紹介, p.6 / <http://www.s-jwa.or.jp/customer/s-jwa/gaiyo/pdf/shingijyutsu.pdf>
- 7) 大林組H P: 現代工法によるクワ型ピラミッド建設計画 / https://www.obayashi.co.jp/kikan_obayashi/detail/kikan_01_idea.html
- 8) 国土交通省: コラム 式年遷宮に見る技術継承と技術者確保、平成25年度国土交通白書, pp.118~119.

(執筆: 田中文彦)

4-5 プロジェクトマネージャーの設置・Totally thinking, locally acting

4-5-1 はじめに

次世代の港湾整備の在り方に求められるのは、「新しい価値の創造」である。

港湾に新しい価値を創造するためには、港湾区域全体の施設と空間の機能を最適化した港湾計画を立案し、機能を発揮するための施設に求める性能を定め、性能を担保できる構造設計と照査を行い、構造物を建設・供用し、維持管理の全ての事業を通して、利用者である国民と事業者が望む、安心、安全、豊かさ、経済発展などの、使用価値を実現する必要がある。

そのためには、社会経済状況を理解して利用者の望む使用価値に基づき港湾に求められる機能全体を俯瞰して港湾計画を提案・立案し「Totally thinking」、港湾計画で立案されたら機能とその設計情報を引き継ぎ、設計、施工、供用、維持管理の各プロセスで機能を実現するために責任感をもって組織を率いて行動できる「Locally acting」、プロジェクトマネージャーが必要となる。

以下に、プロジェクトマネージャーの必要性とその役割について、説明する。

4-5-2 次世代の港湾整備のあり方、新しい価値の創造

(1) 次世代の港湾整備のあり方

PORT2030 では、港湾施設は、これまでの提供型からソリューション提供型への対応が求められる。5カ年計画では、国民資産、経営、ストックなどの今までない新しいキーワードが現れている。

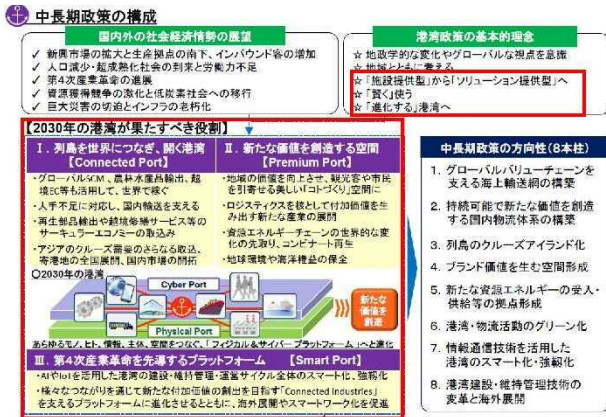


図 4-5-1 PORT2030 (国土交通省) ¹⁾

次世代の港湾整備は、限られた予算の中で、効率的な公共投資を行うために、利用者の視点で機能を提供し、その機能の最大化を目指すことが求められている。

そのためには、港湾計画で機能を位置付けて、利用者に機能を提供できるシステムである、機能論に立脚した広義の設計を導入し、よりよい機能をより安く提供する、価値の最大化を目指すことになる。

$$\text{価値 (V: Value)} = \text{機能 (F: Function)} / \text{総費用 (C: Cost)}$$

…式(4-5-1)

ここで、機能 F は、機能もしくは要求 (提供) 機能であり、利用者が求める効率性、快適性、安全・安心などに基づく機能である。総コスト C は、初期建設費、維持管理費、資機材費、利益、賃金、など、施設を建設および維持するための総費用である。建設コンサルタントやコントラクターの会社を運営する費用も含まれる。

(2) 港湾空間に求められる機能

港湾空間に求められる機能は、PORT2030 では 3 つの機能が提示されている。

- ① ネットワーク機能：国際・バルク戦略港湾の機能強化、など。
- ② 空間機能：カーボンニュートラルポート (CNP)、洋上風力発電施設、など。
- ③ スマートポート機能：港湾関連データ基盤機能強化、サイバーポート、など。



図 4-5-2 カーボンニュートラルポートの形成イメージ (国土交通省) ²⁾

特に港湾空間は、インフラの中でも公共と民間が共存する特殊性がある。新たな機能として、カーボンニュートラルポート、洋上風力発電の施策、民間のプロジェクトへの空間の利活用が期待される。港湾システム全体の機能を高め、国民・利用企業の持続可能な発展に貢献する、社会的な共通資本を提供することが、機能計画および機能設計の大きな目的となる。

(2) 現状の課題と次世代の港湾計画と技術基準

現状の港湾計画と設計体系は、港湾計画で決定された各個別施設を必要とする理由である目的、目的を達成するための施設が保有すべき性能である要求性能として、使用性、修復性、安全性、施工性、維持管理性を考慮したうえで、施設の構造的な諸元である性能規定が決定される。

性能規定である施設の構造的な諸元 (延長、幅、水深、天端高さ) を実現できるように、建設コンサルタントが構造設計、コントラクターが建設施工に関与することになる。

施設の水深、延長、などの構造をより安く提供できる構造設計が、性能設計であるとの共有認識もある。

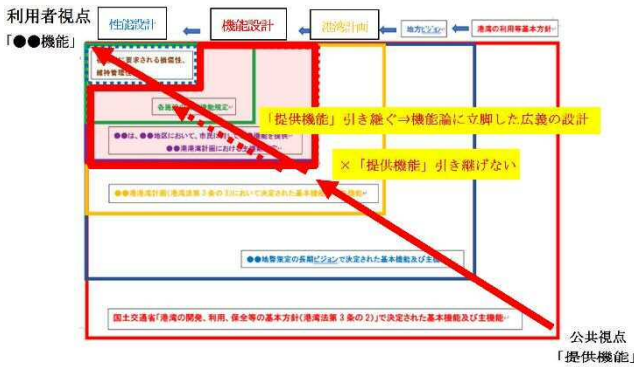


図 4-5-3 次世代の港湾計画と技術基準の流れ

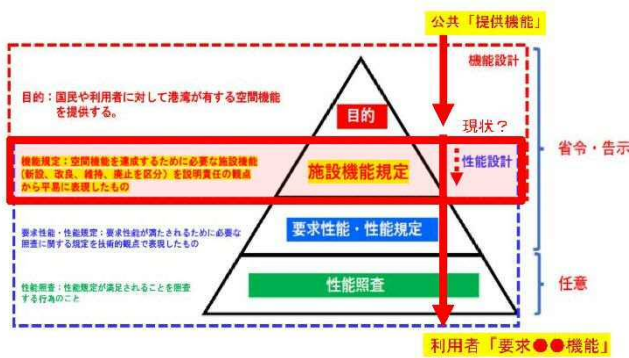


図 4-5-4 次世代港湾技術基準の性能設計体系

現状の港湾計画と設計体系を、機能設計の視点で見ると、港湾計画で立案された機能が、性能規定や構造設計、照査の段階で引き継がないシステムとなっている（上図の赤い部分が現在のシステム上抜けている）。本来、利用者が求める機能である供用性や維持管理性が、港湾計画および構造設計を経て、利用者へ提供できるシステムとしていないのではなか。公共が利用者への提供する機能を利用者まで届けることができるシステム確立が必要である。

4-5-3 プロジェクトマネージャーの必要性と役割

(1) プロジェクトマネージャーの必要性

プロジェクトマネージャーは、プロジェクト全体を見渡し、意思決定を行い、プロジェクトを成功に導く、全体の管理、予算、品質、納期に対して、責任を持つ役割と定義できる。

計画および事業実施の全体を俯瞰し、各個別プロセスの段階をローカルな視点での実践を指揮管理できる、役割である。全体のリスクを減らして、利益を最大化する、機能が求められる。1950年のアメリカ国防総省のマッドマン計画から発案されたシステムであり、基本的には PDCA サイクル体系を基にした管理システムである。現在にもプロジェクトの管理手法として引き継がれている。

企業マネジメントに関しては、ピーター・ドラッカーによると、企業唯一の目的は顧客創造であり、企業が持つべき機能は、マーケティングとイノベーションの2つだと結論付けられている。マーケティングとは、顧客ニーズを探って

製品やサービスを提供する機能であり、イノベーションとは、顧客の新しい満足を創り出していく機能である。これからの港湾経営という視点では、利用者視点で機能を提供するマーケティング、利用者の満足を実現する機能であるイノベーションと、親和性があり、企業管理手法とその実践管理を担うプロジェクトマネージャーが港湾管理と運営にも必要といえる。

(2) プロジェクトマネージャーの役割

プロジェクトマネージャーの役割と素養について、海洋・港湾構造物設計士会（以下、設計士会）の研修会・勉強会を通じて議論してきた。

その役割としては、「技術や情報が細分化・専門化しても、全体最適を行える技術者である（日下部先生）」、「よい設計情報と機能を計画、設計、施工、維持管理、の一連のプロセスできちんと流していく（藤本先生）」、「設計情報を高めながら、引き継ぐ。後工程である施工が前工程である設計に設計情報を積極的にとりにいく。（吉村顧問）」ということになる。

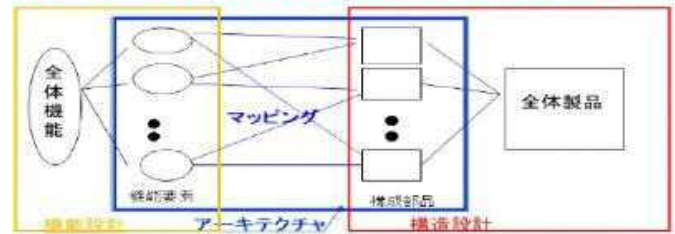
さらに「建設システム全体（設計、調査、設計、施工、維持管理）を通じて、利用者ニーズを理解して、機能を最大化できることが、今後のプロマネの役割だと考える（藤本先生「円卓会議」論）。

$$\text{施設} = \text{機能 F} + \text{構造 S}$$

…式(4-5-2)

＝港湾計画？ 設計の意味とアーキテクチャの基本的考え方

「人工物の設計とは「機能と構造の対応関係を定めること」



アーキテクチャの定義：（基本）設計を通して設計者によりつくり出される「機能要素と構成部品との対応関係（マッピング）」や「構成部品間のインターフェースのルール」に関する基本的な構築がアーキテクチャ。つまり、機能と構造のつながり方や、部品と部品のつながり方など設計要素の「つながり方」に関する基本的な「ものの考えかた」がアーキテクチャ。



図 4-5-5 ものづくり、アーキテクチャー論

（藤本³⁾にカ準）

藤本先生の提言では、機能と製品を繋ぐマッピング、アーキテクチャ（擦り合わせ技術）が日本のものづくりの原点であり、強みである。例えば棧橋だと、鋼管や床版の構造と、船舶の係留し易さや、港湾全体の中での施設の役割などの機能を結び付ける役割が、プロジェクトマネージャーには求められることになる。

(3) 港湾事業におけるプロジェクトマネージャー

港湾事業におけるプロジェクトマネージャーの役割については、港湾計画で最も大切な事業計画の段階でトータル・全体最適の視点で計画や目的を立案し、調査、設計、施工、維持管理の各プロセスで価値の最大化を目指し、計画段階での設計情報を引き継ぐ役割が求められる。

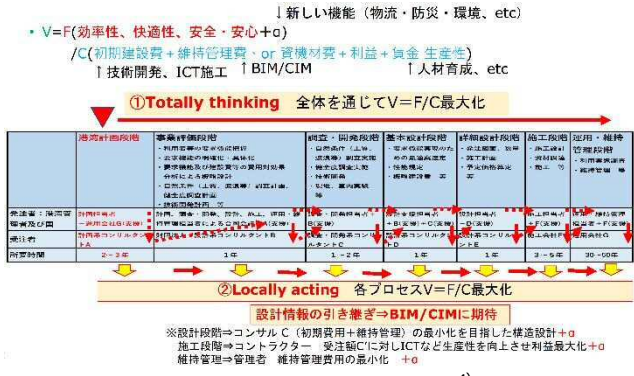


図 4-5-6 港湾事業における PM⁴⁾
(八尋(加筆))

現状の公共事業においても、プロジェクトマネジメント管理手法が運用されている。例えば、国土技術政策総合研究所の手引書では、プロジェクトマネージャーは判断指示が行える所長・副所長クラスが担うことになっている。工程、品質、安全管理が役割として示されている。

但し、機能向上は言及されておらず、将来的に港湾の機能計画に対応するためには、BIM/CIM 活用、民間マネジメント等も活用して、機能の最大化 (F ↑ ↑) を目指す方向性が期待される。

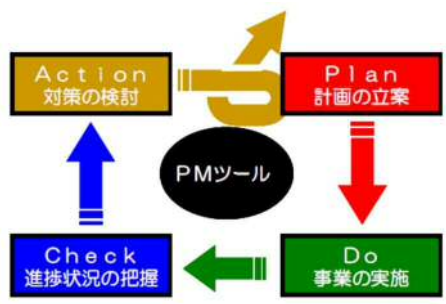


図 4-5-7 PDCA サイクル (国総研, PM 手引き) ⁵⁾

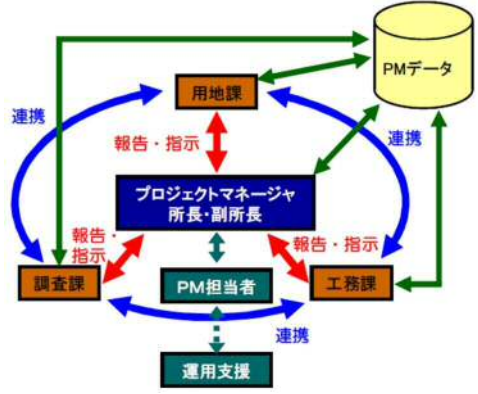


図 4-5-8 PM 実施体制 (国総研, PM 手引き) ⁵⁾

(4) 港湾計画論の特殊性・多機能性とそのプロジェクトマネージャー

小林先生の講演「プラットフォームとしてのインフラ価値の創造」において、港湾の特殊性として、利用者が多岐にわたり、港湾施設空間に求められる機能も多機能となる。このため、港湾施設空間の価値の創造は、港湾システムの多機能性と個々の施設間のインターフェースをどの様に最適化していくのが重要であり、最適化を実現するためにはニーズや情報が集まり、マネジメントに役立つ、プラットフォームの構築が必要であると示唆された。港湾は、システム・オブ・システムズ、であり、多機能であるがゆえに、各機能毎のプラットフォームと、港湾機能全体を管理運営する全体プラットフォームが必要であると示唆された。

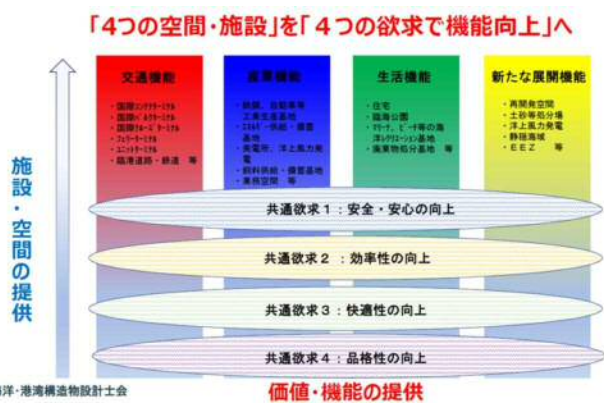


図 4-5-9 港湾空間の4つの機能⁴⁾

港湾には、交通機能、産業機能、生活機能、新たな展開機能を有する。それぞれが個別のシステムが構築されており、個別システムの機能に基づき、機能を実現できるように個別施設の性能が規定される。

港湾空間全体の機能を最適化するために、プロジェクトマネージャーには、これら4つの機能を横串して、俯瞰して、全体最適な機能計画を定め、全体最適化を実現する施設の性能を定める能力、調整力が求められるのではないかと。

野城先生の講演において、建築分野でもプロジェクトマネージャーの役割は重要であることが示唆された。建築プロジェクトでは、どのような価値・機能を有する構造を創り出すのか (what to build?)、その構造をどのようにして実際に施工するのか (How to build?)、計画段階から施工段階まで、施主、施設利用者、施工者、多くの関係者が「設計者」を中心として、様々な協議、調整を行いながら、プロジェクトは進められる³⁾。このため、設計情報の本質を理解できる「設計者」がプロジェクトマネージャーを担うことが多くなる。

今後は、カーボンニュートラル、洋上風力など、民間大規模プロジェクトが港湾空間において実現されていくことになる。公共空間に民間事業者が共存することも港湾の特殊性である。さらに、港湾が多機能であるため、時間とともに利用者が求める機能も変化していく。

プロジェクトマネージャーには、このような港湾の特殊性の中であっても、港湾全体機能の最適化を図っていく役割が期待される。

4-5-4 理想のプロジェクトマネージャー像

最後に、設計士会では見学会・研修会を開催しており、プロジェクトマネージャーの有り方を再考した。

理想の港湾技術者、プロジェクトマネージャーとして、厳島神社で、最古の人工港湾と海洋港湾構造物をプロデュースし、神戸開港、日宋貿易を確立した、平清盛を挙げることができる。



図 4-5-10 太政大臣 平清盛



図 4-5-11 厳島神社全景

厳島神社は、神事の内容と重要度に応じた機能設計が行われている。最重要の玉殿は、床よりも 1.5 メーター高いところに設置されていて、これまで浸水したことがない。床は浸水し、床板が浮き上がり、消波機能を発揮しながら、本殿だけは絶対に浸水させない機能設計が行われている。

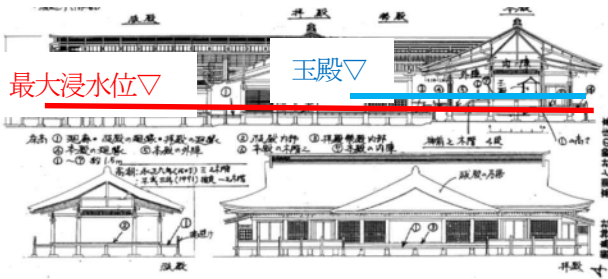


図 4-5-12 厳島神社の玉殿と最大浸水位

さらに、暴風に対しては背後山稜の地形から暴風の通り道避けて本殿を配置することで、本殿はこれまで被災したことがない。850年前の技術者は、自然を観察して、熟練して、設計を思考する姿勢が、現代の理想的なプロジェクトマネージャーと重なる。



図 4-5-13 本殿の位置と暴風の通り抜け

宮島には現代の防災技術であるフラップゲートが建設されており、現代での景観と防災を両立する技術が引き継ぐ礎を築いたことに感銘を受けた。



図 4-5-14 フラップゲート

第 6 回見学会では、仙台港を視察した。仙台港では、公共バスと民間施設が共存する港湾空間が形成されており、その利用調整は協議会で図っているということが、港湾を経営視点で大変参考となる。相馬港では、国と県と民間事業者で連携して、総合エネルギー施設の拠点港への取組みを視察できた。港湾区域だけでなく、臨海道路も含めて、民間投資や雇用創出に取り組みされていた。

厳島および仙台港への視察の報告書は、海洋・港湾構造物設計士会のホームページに掲載されているので参考にさせていただきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省 港湾局、港湾の中長期政策「PORT 2030」(平成 30 年 7 月 31 日公表)
https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_PORT_2030.html
- 2) 国土交通省 港湾局、カーボンニュートラルポート (CNP) の形成について (令和 3 年 4 月 2 日報道発表資料)
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001398501.pdf>
- 3) 建築ものづくり論 藤本隆宏・野城智也・安藤正雄・吉田敏、有斐閣。
- 4) 八尋明彦：広義の設計のあり方を考える/VE の性能設計体系への

連動、一般財団法人沿岸技術研究センター機関誌 2021.1
Vol.55, pp.13~19.

- 5) プロジェクトマネジメントの手引き 第1編 基礎編、国土技術政策
総合研究所 建設マネジメント技術研究室.

(執筆者：中原知洋)

4-6 調査、施工における三者会議の充実

4-6-1 はじめに

「1-5 発注者インハウスエンジニアの減少と技術力・専門性の低下」では、インハウスエンジニアの技術力継承のために、「1-8 建設コンサルタントの施工検討能力不足」では、建設コンサルタントの施工検討能力不足への対応のために、それぞれの項で三者会議の重要性が示されている。

海洋・港湾構造物設計士会（以下、設計士会）研修会における三者会議に関連する問題提起等や、三者会議に関する設計者側アンケート調査結果や座談会での意見等から、三者会議と「広義の設計」のあり方についてまとめる。

三者会議に関する制度として、公共工事においては、設計・施工技術連絡会議が、公共工事の品質確保や円滑な事業執行を目的に、発注者、設計者、施工者の三者で、設計思想の伝達及び情報共有を図る目的で行われている。また、設計業務で地質、測量の調査業者を交えた会議もあり、国土交通省各地方整備局や地方自治体で運用方針が公開されている。三者会議は、公共工事の「設計・施工分離発注」の原則である調査・設計・施工の分業で、各段階間の繋ぎ（情報の流れ）で生じる弊害の改善を目的として行われる。



図 4-6-1 三者会議の概要（国土交通省 関東地方整備局）

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下、技術基準）2.2 各段階における配慮¹⁾では、「関係する機関や関係者が調査、設計、施工等の各段階を相互に理解・把握して適切に情報伝達し、必要があれば前段階に遡って再検討を行うことが重要である」と記載されている。技術基準を順守する上でも、調査、設計、施工等の各段階間の確実な情報伝達と成果への反映、工事目的物の不適合防止を果たす三者会議の役割は重要である。

4-6-2 設計士会研修会における問題提起（三者会議に関すること）

過去の設計士会研修会では、調査、設計、施工等の各段階間の確実な情報伝達に資する三者会議に関する問題提起が行われており、以下にまとめる。

(1)第8回研修会において

2019年6月26日の第8回研修会において、日下部顧問は、「設計士に期待すること」と題して講演された。その中で、『広義の設計』とは、調査～設計～施工～維持管理・補修に至る計画から供用終了までの全般にわたり、部分最適でなく全体最適を求めめる必要があることを示された。この全体最適を追求するために、ICTやBIM/CIM技術を利用し、各段階にわたる情報の伝達が重要であることを示された。

(2)第9回研修会において

2019年10月29日の第9回研修会において、吉村顧問は、自動車製造業の立場から「問題発見と未然防止～製造業（自動車関連）の視点から～」と題して講演された。その中で、企業が大きくなると、組織やプロセスが複雑になって繋ぎ部分が脆弱化して大企業病（4無：ものを見ない、差を見ない、議論をしない、振り返らない）になること、事業規模が大きくなるほど、組織やプロセス間の情報伝達を活発にして間の繋ぎを確実なものにする必要性を示された。

(3)第10回研修会において

2020年7月7日の第10回研修会において、東京大学の藤本隆宏先生（当時）は、「設計論に立脚した広義のものづくり経営学」と題して講演された。その中で、広義のものづくりでは、付加価値の流れの良さが重要であること、物的生産性は設計情報の発信速度と密度の積が大きいほど向上すること、目の前のものだけを部分最適で流そうとするとその部分がかかって渋滞することが多いこと、「広義のものづくりのためには、全体最適で設計情報の良い流れの維持が必要である」と示された。

また、基礎地盤コンサルタンツ（株）の岩崎公俊会長（当時）が地質調査者の立場から、「地盤調査から設計へ」と題して講演された。地質・地盤リスク情報の共有化によるコミュニケーション強化の必要性を示され、ガイドライン²⁾にあるように、設計前の合同会議（発注・設計・調査）だけでなく、施工時における残余リスク対策としての施工合同会議（発注者・施工者・設計者・調査）の必要性を示された。合わせて建設事業全体で一気通貫の地質・地盤リスクマネジメントの必要性と大規模事業ではCM、PPP等の導入も示された。

(4)第10回研修会後の当会会員を対象としたアンケート

第10回研修会の後、当会会員を対象とした「広義の設計」に関するアンケート（「広義の設計」を目指すためには2020年8月実施）では、計画（国・自治体）、設計（コンサルタント）、施工（ゼネコン）の役割が縦割りで、それぞれが独立して進めて行く現行の体制（発注形式）に疑問を持つ声が多かった。この中で、設計・施工一括方式やコンサルタントとゼネコンのJVなどの発注様式の導入や、民間工事では多い、プロジェクトの早期段階から調査～計画～設計～施工～維持管理の一体化の構築を挙げる意見もあった。

計画～設計～施工～維持管理を一人の技術者で対応するのが理想

だが、それぞれの専門技術者で協力し合うことが現実的であるとの意見と共に、各地方整備局の技術調査設計事務所で発注の技術課題に関する技術支援業務のように、検討会を設置して総合的な視点に立った議論を行うことも視野に入れてはどうかという意見もあった。

4-6-3 三者会議に関する意見（三者会議に関すること）

三者会議に関して、設計者側団体のアンケート結果や『広義の設計』ワーキングでの意見を以下にまとめる。

(1) 設計者側のアンケート調査結果について

建設コンサルタンツ協会において、アンケート調査により港湾を専門とする設計者側の意見がまとめられている³⁾。その中で、発注者、設計者、施工者が一堂に会する三者会議は、それぞれに有効で価値があり、三者会議の実践で契約不適合責任発生の回避・防止も期待でき、持続・拡大させるべきであるという意見が示されている。地方自治体では顕著な、発注者側の技術者不測の状況下においては、設計者の実施設計が発注者の照査や修正がほとんどないまま使用されることも散見され、難易度の高い改良工事や新技術による施工において求める声が高い。

その一方で、会議に参加し設計意図を共有するだけであれば現行制度で良く、設計者が無償もしくは少額より長期間に渡り現場不一致への対応や修正設計を強いられる事例も多い。現状不一致への対応や修正設計等が必要な場合には、三者会議の開催にかかる費用⁴⁾だけでなく、建設コンサルタントが十分に検討できる費用と期間の契約が必要であり、実態に応じた契約制度への見直しや改善策の検討が必要なることも挙げられている。

(2) 「広義の設計」のワーキングにおける意見について

設計士会の「広義の設計」に関するワーキングで、主に施工者側から三者会議の意見を聴取した。関係者が一堂に介して意見を交換する良い機会であり、設計者との意思疎通が図れること、設計報告書等の設計成果だけではわからない設計意図を明確にでき、施工者が希望する施工性を考慮した適切な設計変更に結び付けることができること、忌憚のない意見交換から設計図書の不適合を防止できる良い機会であり、施工者側として三者会議の意義を認める意見は多いことがわかる。一方で、発注者や実務に携わり負担の多くなる設計者の対応が不可欠であることも意見として挙げられている。

4-6-4 おわりに（三者会議と『広義の設計』のあり方）

「広義の設計」のためには、調査・計画・設計の上流から、施工・維持管理の下流を繋げる情報の流れが重要であり、上流からだけでなく下流からも情報を取りに行くことが必要である。現状の設計・施工分離の制度下では、その制度の見直しも必要だが、まずは、三者会議の確実な実施による各段階の情報の伝達と不適合の防止が不可欠であり、構造物設置の「目的」、「機能」、「要求性能」、「性能照査」に係わる「設計情報」を円滑に流

して相互に確認し、必要であれば翻着なく修正することが必要である。

三者会議は、結果的に発注者、設計者、施工者、段階によっては調査業者が「三方よし」となるよう適正に運営されるべきである。また、三者会議を有効に運営し、調査から維持管理に至る各段階の間の無情報共有や、事業全体を一気通貫で管理するため、技術提案・交渉方式で設計段階から施工者が関与する ECI (Early Contractor Involvement) 方式、発注者の立場から一貫して建設プロジェクトをマネジメントする CM (Construction Management) 方式、さらに、工事着手後、施工段階で設計者が関与する LCI (Later Consultant Involvement) 方式等の導入も視野に入れる必要がある。三者会議を始めとする良い情報の流れを確保するためには、制度と合わせて資源（人的、経済的、工程）の確保は不可欠である。

港湾施設整備事業全般において、各段階（調査・設計・施工・維持管理）の検討だけでなく、他の段階を理解した上で情報を確実に繋ぐ技術者である海洋・港湾構造物設計士の役割は重要である。

参考文献

- 1) 公益社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説.2018.5, pp.35～36
- 2) 国土交通省大臣官房 技術調査課, 国立研究開発法人 土木研究所 土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」.2020.3
- 3) 一般社団法人 建設コンサルタンツ協会 技術部会 港湾専門委員会「三者会議における少額随契契約制度の問題点」に関する意見.2020.5.8
- 4) 国土交通省港湾局事務連絡：三者会議実施要領で規定する費用.2015.10.8 付

(執筆：岡田光志)

4-7 BIM/CIMのさらなる活用

4-7-1 はじめに

国土交通省が2012年にCIM(Construction Information Modeling)を提唱して10年が経過している。この間にi-ConstructionをはじめとするICT施工が活用され始めているが、設計でのBIM/CIMはいまだに低調な活用状況である。ここでは、今までのBIM/CIMの歴史を振り返り、今後の海洋・港湾構造物での設計にどのような影響を与えるかを考察した。これにより、次世代の設計手法に変革を与え、設計者がより自由に活躍する事を望む。

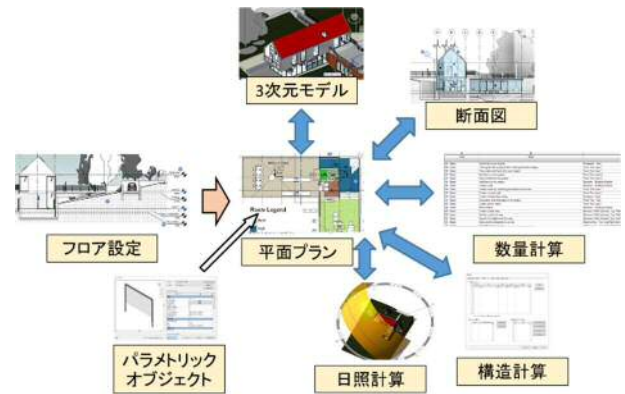


図 4-7-1 BIM の概念図¹⁾

4-7-2 BIM/CIMの歴史

(1) BIM/CIMの誕生

今後の方向性を探る為に、過去のBIM/CIMの概要を取りまとめる。1970年代にカーネギーメロン大学のチャックイーストマン教授が、ソリッドモデリング等と同時に建物のオブジェクトに情報を持たせる概念を発表した。これがBIM (Building Information Modeling)の始まりと言われており、この概念は建築(建物)へ特化した概念である。この考え方は従来、敷地計画、意匠設計、構造設計等の様に、上流から検討を進めるウォーターフォールモデルに対して、意匠、構造、設備等はそれぞれが他を干渉し影響しながら設計が進むため、同時に他の設計状況を確認しながら進めて行く同時進行の設計手法がこの概念であった。

(2) ソフトウェアの誕生及び建築での発展

その後1980年代にはBIMの概念を受けてGraphiSoft社のArchiCADやCharles River Software社(現Autodesk社)のRevit等のソフトウェアが誕生する。これらのソフトはパラメトリックオブジェクトを配置し、構造計算、日照計算、意匠確認(3次元図)等を相互に確認、検討しながら建物を設計するものである。これらの概念図を以下の図4-7-1に示す。これらに配置されるオブジェクト(モノ)は、線や立方体の形だけではなく、壁や柱、窓、階段、トイレと言った情報を持っている。パラメトリックオブジェクトとは、例えばH鋼で、H350、H200等のサイズ、材質や長さを変数(パラメーター)で可変出来るオブジェクトの事である。1990年代に入るとインターネットやハードウェア環境が発達、安価に利用できるようになり、従来の紙による設計からCADによる設計に移行してきた。それに伴いこれらのBIMソフトウェアは発達し、利用者が増加していった。

この様に建築設計では、設計手法を合理化する手段としてBIMの概念が発達し、現代では意匠・構造と設備、電気等のそれぞれの干渉を事前に解消するフロントローディングの道具として広く活用されている

4-7-3 BIM/CIMの現状

土木分野では2012年に国土交通省がCIMを提唱し、建築のBIMを土木の世界にも広げようとし、同年には国土交通省として初めて試行設計や試行工事も実施されてきた。工事が実施されるとModeling=設計の概念から外れるためCIMは次第にModeling/Managementの意味合いを持つようになった。国土交通省発注工事の港湾分野では2017年に初めて函館港若松地区岸壁改良工事2)、3)においてCIMが活用された。

CIMの名称は日本のみで使用され、諸外国に解りにくい事と建築を統合するため、2018年には名称をBIM/CIMと改称された。なお、BIMはBuilding Information Modelingの略語である。ただし、諸外国では土木系のBIMをBIM for Infrastructure または Infra BIM と呼ばれることが多い。ただし諸外国に比べ我が国は、国が主導して土木分野でBIMを活用している先進国であると言える。2023年には国土交通省発注工事は原則BIM/CIM対象とする事が2020年に発表されている。

(1) BIM/CIMでの設計

BIMは建築設計を中心にその活用分野を広げて来たため、建築設計や施工に特化したソフトウェアの発達を遂げてきた。建築では、平面図を中心に設計を行う事が多いが、土木では断面を中心に設計を行う事が多く、このことから従来の建築用のBIMソフトウェアを土木で利用するためには利用勝手が悪い。そのため土木分野の設計では従来から利用されているCADなどをデータ変換するなどしてBIMで利用されてきているが、データ交換形式であるIFC等も建築に特化した形式となっている状態である。そのため、土木分野での活用を念頭に、2021年に土木を含むIFC4.3(ドラフト版)がリリースされる状況となっており、これらの規格が充実するとともに対応ソフトウェアが増加するものと考えられる。以上の状態から土木分野でのBIM/CIMを活用した設計は、現在ではさほど活発に行われておらず、ソフトウェアやデータ交換規格の成熟・普及が待たれるところである。

(2) BIM/CIMを活用した施工

建設現場での活用は、3D-Lidar やドローンなど現地地形や障害物を短時間で安価にデータ化可能となったため、設計データと組み合わせて建

設現場の施工シミュレーションが可能となった。以下の図 4-7-2 に活用事例を示す。シミュレーションは、施工計画書をベースとして各作業の代表的な状況を 3 次元で再現し、施工可否を判断している。現場が始まってからは、シミュレーション結果を大型ディスプレイや VR 等を活用して正確に作業者に伝える事が中心となっている。その他の活用としては、出来上がった構造物寸法等の出来形や品質管理項目の値等を 3 次元モデルに付与し、電子検査や維持管理などに活用している。また先進的な例として、BIM/CIM のデータを元に、ICT 建設機械との連動などを行っている例⁸⁾も見られる。

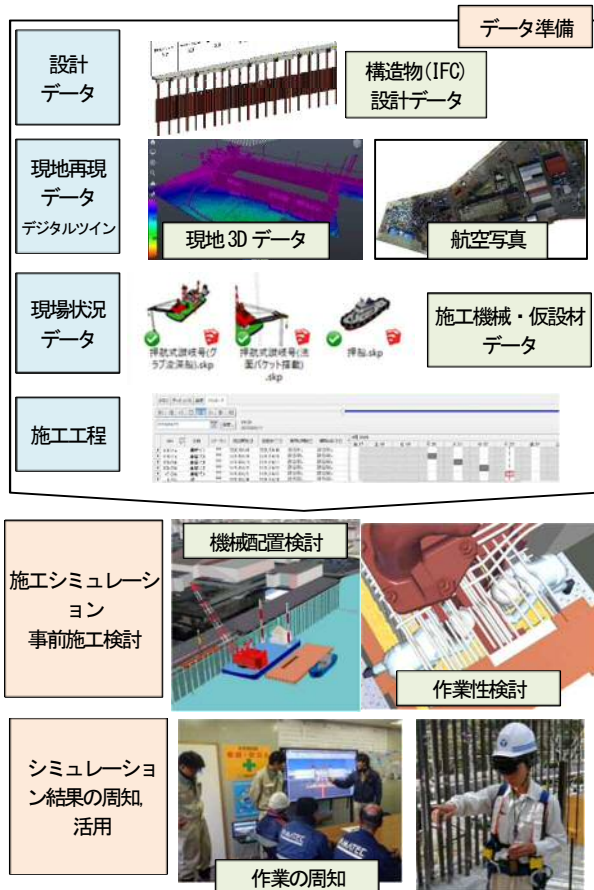


図 4-7-2 建設現場での活用事例 (4)、5)、6)、7)

(3) ICT 建設機械や自動化

建設会社、建設機械メーカーは日來よりシールド機器の開発や大型起重機等の開発など機械化を進めてきた。更に 2012 年から国土交通省が掲げる i-Construction 中の ICT 機器の全面的な活用の施策に連動して、数々の ICT 機器開発を加速している。その代表的な例を以下の表に示す。これらの ICT 機器は建設会社+建設機械メーカーとの共同開発又は建設機械メーカー単独で開発している例が多い状況である。ただしこれらの機器は試験的に実施している場合も多く、作業効率や経済性等を考慮し本格的に活用されるのはあと数年かかるものと考えられる。

表 4-7-1 各社の主な自動化機器の例¹⁾

名称	自動化概要
鹿島建設 : A'CSEL (クワッドアクセル)	汎用の建設機械に GPS、ジャイロ、レーザスキャナなどの計測機器及び制御用 PC を搭載することによって、自動運転
大成建設 : T-iROBO Excavator : T-iROBO Rebar	T-iROBO Excavator : 自動掘削可能なバックホー T-iROBO Rebar : 自動鉄筋結束機械
清水建設 : シミズスマートサイト	Robo-Welder : 柱を自ら上り、継目を自動溶接する機械
KOMATSU ICT 機械	PC200i-10 等の操作ガイダンス付きバックホープラットフォームからのデータ転送や出来形計測などを含む

4-7-4 BIM/CIM のポテンシャル

(1) BIM/CIM データ規格

BIM/CIM データのデータ交換規格(共通ファイルと呼称している)として国が指定しているものは、構造物が IFC、地形や線形状等が j-LandXML と言う 2 つの規格である(以下の表 4-7-2 を参照)。

表 4-7-2 BIM/CIM データの納品ファイル基準

モデルデータ種類	納品ファイル形式	
	共通	ソフト固有
地形	J-LandXML	オリジナル(dwg 等)
地質・土質	無し	オリジナル(dwg 等)
線形	J-LandXML	オリジナル(dwg 等)
土工形状	J-LandXML	オリジナル(dwg 等)
構造物	IFC2x3	オリジナル(rvt 等)
統合モデル	無し	オリジナル(rwd 等)

J-LandXML は、土地の起伏形状表現に特化したオープンフォーマットで、2000 年に米国で官民から成るコンソーシアム LandXML.org により作成が開始された。国内では、国土技術政策総合研究所により LandXML1.2 に準じた 3 次元設計データ交換標準(案)が策定されており、呼称が J-LandXML となった。主に海底地形や浚渫形状などの平面の起伏や線形等を表現する事に特化したデータ規格である。以下の図 4-7-3 に J-LandXML で表示された例を示す。

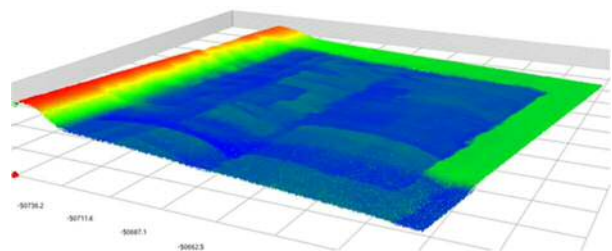


図 4-7-3 J-LandXML での表面起伏の表示例

IFC は、建築での多くの BIM ソフトウェアが開発されると、異なるソフトウェア間でデータ交換が出来ない事から、共通フォーマットが必要になった事から開発された経緯を持つ。1995 年から Autodesk 社等の複数のソフトウェアベンダーが中心となる IAI (International Alliance for Interoperability) によって IFC (Industry Foundation Classes) 規格

が作成されている。IAI は中立性が必要であるため、非営利団体として活動を進め、2007年にはIAIはbSI (Building SMART International) に名称を変更した。2022年現在、国土交通省のBIM/CIM対象業務・工事で納品する際の規格は、2007年のIFC2x3となっている。IFC規格は、従来規格とはその構造が異なり、3次元形状のモノ(エレメント)の他に人や時間、コスト等の資源分野があり、それらをリレーション(関連性)で結び付けて表現が可能なオブジェクト指向規格となっている。

オブジェクトには、そのものが何であるかの意味付がされているが、IFC2x3では建築要素で構成されている。そのため、bSIにより近年土木構造を含む規格を追加するための活動が行われている。2020年11月では、道路、鉄道、トンネル、港湾の4分野が自働作業中であり、2021年の夏頃にはIFC4.3として規格が出される予定である。ただし国内では、2012年から土木分野BIM/CIMの納品が進められているため、建築要素を使用しつつ土木構造物に適用可能な様に「土木構造物モデルビュー定義2018」が土木学会からとして発行されており、これを元に各ソフトウェアにIFC規格の入出力機能が実装されている。

IFCでは、壁や階段、杭といった物のかたまりをエンティティ(実態)と呼んで分類をしているが、このエンティティにはφ800 t=12mm、L=12.5m等の3次元形状の他に打設方法、強度(材質)等の属性を保有する構造となっている。また、IFCではリレーションと呼ばれる関係性を付加する事により独自の属性を付与する事も可能である。以下の図4-7-4にIFCでの杭の表示例を示す。

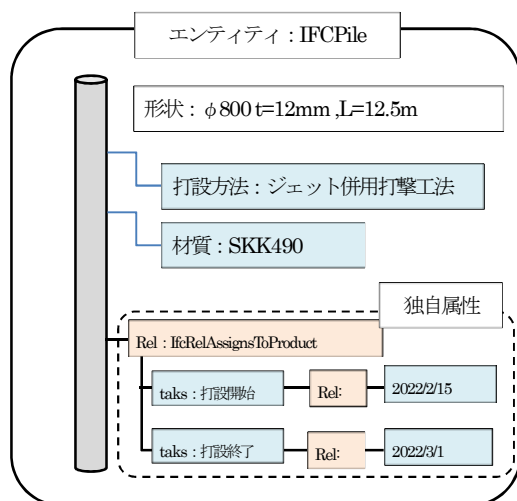


図 4-7-4 IFCでの杭の表示例

(2) BIM/CIMデータとCAD図との違い

CAD図は線の集合体であり、CAD製図基準(R4.3)によって、平面図、断面図などは各ファイル名を変化させることで区別を行っている。ファイル内は、主要構造物をSTR等の各レイヤー名でそれぞれの構造物の意味付けがなされている。以下の表4-7-3にCAD製図基準で設定されているレイヤーとその描画構造物の例を示す。レイヤーと描画する構造物は、本体内(ケーソン)、上部工といった区分けになっており、材質などの文字は別レイヤーに記載される仕様となっている。このことは、コンピュータ上で矢

板か、タイ材か等の構造物の区別や構造物の規格などについて認識が出来ない。このことから自動的に構造計算やチェック等が出来ず、人間が目視する事によって設計計算値と違いはないか、根入れ長は足りているか等の照査を行っている要因となっている。

表 4-7-3 レイヤー毎の構造物作図要素⁹⁾

レイヤー名	作図要素
-STR1	本体内(ケーソン、ブロック、等)
-STR2	本体内(矢板、杭、タイ材、腹起、等)
-STR3	上部工

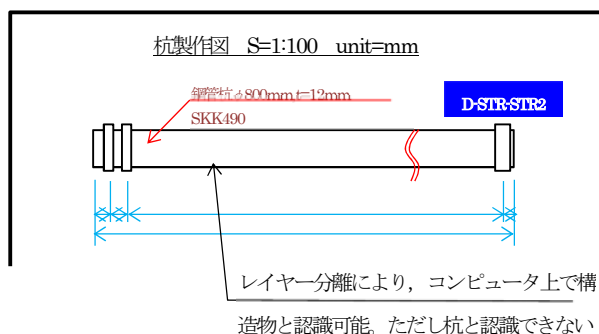


図 4-7-5 CAD図での杭の表示例

一方BIM/CIM(IFC)規格であれば、上記の区別がついているため、コンピュータが構造物の形状や水圧が作用する範囲、支持される地盤等を認識可能である。このため、BIM/CIMに設計プログラムをつなげる事によって、自動設計や自動照査への素地を有している部分が大きく違う点である。

4-7-5 BIM/CIMのさらなる活用

(1) BIM/CIMによる自動設計

現状での設計手順は、図面を描画し、その図を元にした計算用のモデル化を行い、構造計算等を行って応力や値入長などが基準を満足しているかを判断している。現状のBIM/CIMでの構造計算例を以下の図4-7-6に示し、現地形状に応じた3次元モデルの変形例を図4-7-7に示す。一部のBIM/CIMソフトウェアでは、モデルを作成するとこれらの3次元モデルから構造解析用モデルの生成や、これらを使った構造計算、基準に応じた部材や値入長等を確保する構造物の変形などを自動的に行うシステムが構築されており、設計作業が自動的に実行されるシステムが今後発達するものと考えられる。ただしこれらのシステムは、対応する設計基準や構造物等によってそれぞれ変化するため、技術基準を利用した重力式防波堤のシステムなどの等、細分化されたソフトウェアが必要となってくる。ただし、CADと違いBIM/CIMでは3次元モデルをコンピュータ側で「防波堤」といった構造物の種類認識可能となるため、それらの構造物に応じた構造計算が自動的に実施可能となる。初期設定で、適用する基準を間違

なければ、計算間違いやモデル化の際に起こしがちな転記ミス等が無くなる。また構造計算などと同様に、今までで行っていた照査を自動的に考慮可能となる。今後は BIM/CIM モデルを設置したのちに条件が満足しない部材が着色されて、条件を満足するまで自動的にサイズや強度などを調整して、表示可能なシステムとなってゆくものと考えられる。以下の図 4-7-8 にこれらの自動設計の概念図を示す。

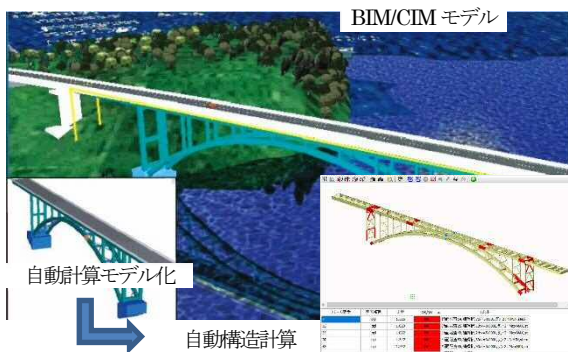


図 4-7-6 現状での BIM/CIM での自動設計例¹⁰⁾

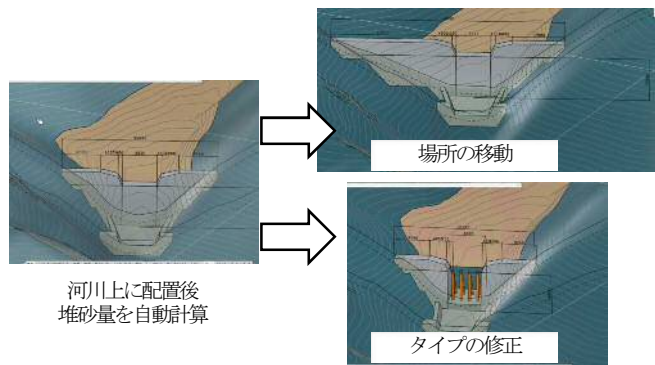


図 4-7-7 砂防ダムの実タイム自動設計例

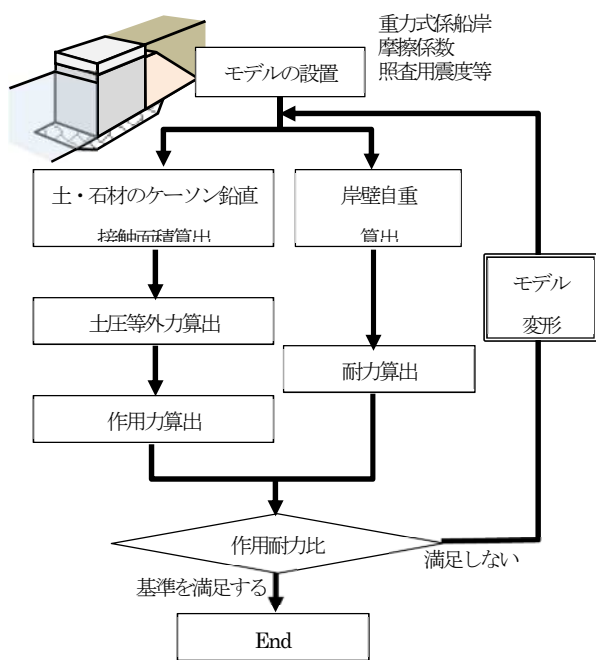


図 4-7-8 BIM/CIM での自動設計の流れの例

(2) 施工計画などのフロントローディング

各エンティティには、着手日程・終了日程などの工程や 3D モデルから自動的に算出可能な数量、工費が連動して付与できるため、事前に施工計画を立てる事が可能である。この際に、設置位置周辺の道路や建物、港湾の形状や避泊地等の広域な地形を同時にモデル化しておけば、現地とそん色なく施工検討が可能となる。現状では 3DLiDAR やドローンによる写真から現地の点群データが短時間で取得可能であるため、これらのデータが従来の平面図とともに現地情報を詳しく理解できるデータとなる。一方、交差点において PCa 桁を積んだトレーラーが曲がれない等の施工上制約になる現地詳細が分かるために、別ルートへの検討や積載方法を変更して交わすなどのより実際の施工現場で検討している内容と変化が無くなる。そのため、実際の施工での課題が非常に少なく、スムーズな施工進行に役立てるものと考えられる。

表 4-7-3 主な建設シミュレーションソフト¹⁾

メーカー名	ソフトウェア名称	シミュレート範囲
Autodesk	Navisworks	4D、5D
川田テクノシステム	V-nas clair	4D、5D
Forum8	UC-Win/Road ver15+プラグイン	4D 4D: 3D+工程 5D: 4D+工事費

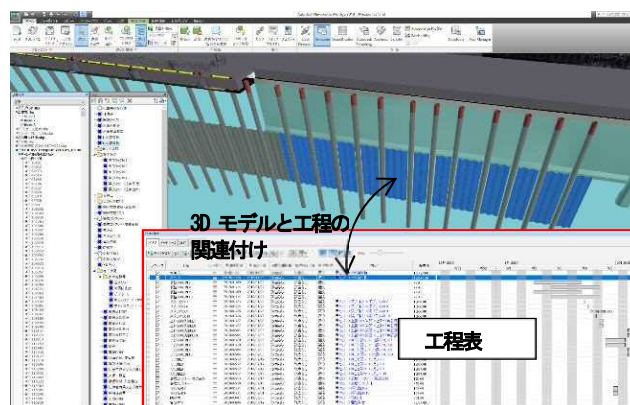


図 4-7-9 BIM/CIM での工程検討の例²⁾

一方、施工検討は従来の設計で実施する一般的な施工検討より詳しく、時間がかかるようになり、より専門性を有する技術者が設計時に施工計画を立案する必要性が出てくる。また、逆に実際の施工時に検討が不要になる部分も多くなり、現状で認識されている設計時の施工検討と施工時の施工検討の内容と範囲が変化する。施工検討の範囲及び詳細度に関しては、あまり基準類等での規定は無いが、施工前には、施工上必要な検討をすべて行っていることが重要である。今後フロントローディングが本格的に進行した際には、これらの役割分担を双方が十分に認知して進める必要がある。

(3) データ連携

形状や寸法、規格を含む構造物の詳細、検討条件や結果、施工計画、数量、金額等がデータとして一元管理可能な道具が BIM/CIM である。特に設計から施工へのデータの受け渡しにおいては、以下の図 4-7-10 で示すような ICT 機器との連携等で利用が進んできている。



図 4-7-10 起重機船での函体設置時の BIM/CIM データ活用例¹⁾

近年の港湾で利用される ICT 建設機械は、GPS 等の絶対座標を目標として起重機船での吊り荷や杭打ちの位置の制御を行っている。ここに、BIM/CIM のデータを連携させると、従来の様に座標データを自動施工機器に入力する手間が省け、入力に伴うミスが無くなる。更に港湾で利用される ICT 建設では、吊り荷等の施工対象物を自動追尾式のトータルステーションで自動的に計測し、施工対象物のリアルタイム位置をフィードバックして施工誤差を少なくさせている。そのため、最終的に施工が完了した時点での座標を BIM/CIM に付与すると、自動的に出来形として実際の施工位置を残すことが可能である。以下の図 4-7-11 に SCP での自動施工出来形付与の例を示す。

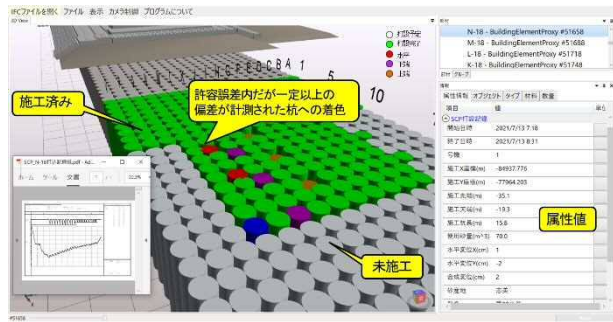


図 4-7-11 BIM/CIM に自動付与された出来形データの確認状況¹¹⁾

この様に、調査・設計・施工で発生したデータを BIM/CIM モデルで一元管理する事により、従来の様に大量の紙データを検索する必要が無く、電子データであるために検索を行うことによって目的のデータを素早く得る事が可能となる。そのため災害時での応急復旧時等の早急に正確なデータが必要とする場合に有効なシステムとなる。ただしこれらのメリットを享受するためには、CD-R やフロッピーディスクの様なメディアに依存していると、複数の設計業務や工事での検索が出来ない。そのため現在国土交通省国土技術政策総合研究所で進めている「DX データセンター」のような、すべての構造物にまつわるデータを一元管理できるようなプラットフォームの整備と活用が望まれる。



図 4-7-12 国土技術政策総合研究所での DX データセンターの概要¹¹⁾

(4) データ蓄積とナレッジベース

BIM/CIM データを集積してゆくと、今まで数値化出来なかった「安全」等が数値化可能な可能となるものと考えられる。建設現場は経験工学であると言われるように、構造物の状況、自然条件、作業内容、技術者の技能等様々な条件を総合的に考慮して、各種の安全上の法規や過去の教訓を手本として複雑な要素の中から「安全」である作業内容や手順を決定している。BIM/CIM ではモデル内で施工シミュレーションが可能となるため、不確定要素を考慮した施工をシミュレーターの中で実施してみて安全かどうかの判断がある程度は可能となると考えられる。また、国土交通省の第 5 期国土交通省技術基本計画では、将来の建設現場像として以下の図に示すような自動施工現場を示しており、ここでも示した通り施工履歴などは自動的に蓄積されるようになってきている。このような現場からどのように指示しどのように施工され、その結果安全か不安全かを蓄積されていくと、ビックデータの中から作業内容と現場の状況から「安全」、「不安全」が定数化されると考えられる。

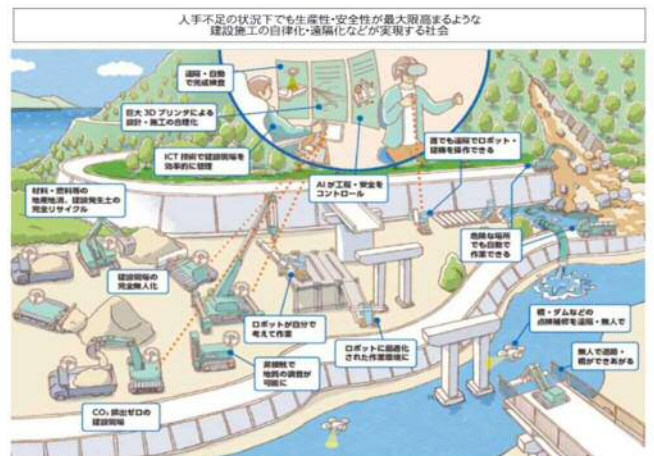


図 4-7-13 将来の建設現場のイメージ¹³⁾

設計上でも、過去の設計結果から設計条件の類似するものから工夫を行った構造物形式等、基準上で発見しにくい点などを注意表示する事で同

様の失敗事例が無くなるものと考えられる。

これらのナレッジベースを作成するためには、データの大量蓄積及びそれらの構造物、状況別などに分類分けし AI 等で不安全等との結び付けを行うことで、実現可能であると考えられる。

4-7-6 さらなる活用で得られる効果予測

(1) 時間短縮とデータ連携がもたらす真の設計

BIM/CIM を用いると最終設計成果までの労力や時間が非常に少なくなり、設計者は従来繰り返し行ってきた同様の設計計算やチェックから解放されると考えられる。そのため計画-基本設計-細部設計-実施設計-施工といった枠組みが変化し、計画段階から実施設計レベルの情報を得られる時代が来るものと考えられる。この様な状況になれば設計者は、従来の設計から1歩踏み込んだ設計が可能になると考えられる。1歩踏み込んだ設計の1つに、利用者の意見・希望から必要な機能を考慮して施設やサービスを設計する事が考えられる。これは施工前に VR などを利用して仮想的に利用してみる事によって、使い勝手が良く補修が楽に行える等を考慮した設計が実施可能と考えられる。これを進めてゆく構造物の設計のみならず、ソフトウェアサービスと連携して機能を提供できる枠組みを考える事なども設計にかかわると考えられる。更に施工シミュレーションを行った結果を自動施工機械に転送して施工が完了する状況となり、まさに設計者が構造物建設の中心的役割となるものと考えられる。

(2) 計画と設計の融合、地域一体型の設計へ

従来の港湾計画では、港湾区域や地域などを総合的に判断して岸壁等の各種構造物の延長と水深などの規格を平面図で設定してきた。設計では港湾計画を基に、構造物の構造計算などを行い構造物の詳細=3次元的な形状を決定している。BIM/CIM が発達すると、周辺環境や構造物が一体として3次元で管理可能であり、先に述べたように構造計算などが自動化されてゆけば、港湾計画の段階で同じ場所でも地震に有利な方向で岸壁を整備する事や、施設のリニューアル時に周囲構造物の一体となった活用の検討が行えるなど、計画と設計が融合して行き、各構造物だけでなく地域と一体となった検討が可能となるものと考えられる。

(3) 新たな設計サービスで広義の設計へ

従来の設計は、基準や仕様に沿った応力計算等のエンジニアリング中心で行われてきた。この部分の自動化が進むと、従来不可能であった波浪の厳しい海域に防波堤を設置可能となる技術開発などのエンジニアリングの深化と、利用者の利便性を安価に提供する等の機能実現が設計の中心となり、エンジニアリングの進化がもたらされるものと考えられる。これにより設計者は狭義の設計から広義の設計を実施可能になるものと考えられる。

参考文献

1) 中嶋道雄、前田庫利：建設会社での BIM/CIM 利用方向性に関する検討、海洋開発論文集、77 巻 2 号、p. I_541-I_546、

2021.

- 2) 中嶋道雄：港湾工事における CIM の活用、海洋開発論文集、75 巻 2 号、p.I_1-I_6、2019.
- 3) 中嶋道雄、合田和哉、白川隆司、古田圭也：函館港若松地区クルーズ船桟橋における CIM の活用、土木学会土木建設技術発表会、2018、p.I-3_1-I-3_8、2018.
- 4) 中嶋道雄：港湾工事での CIM の活用、土木施工 (株)オフィススペース、2019 年 1 月号、pp.99-102、2019.
- 5) 安達昭宏、中嶋道雄、前田庫利：港湾における CIM の活用と展望、土木学会年次講演会、No.74、p.VI928_1-2、2019.
- 6) 前田庫利、中嶋道雄、森川敏行、他：舞鶴港第 2 ふ頭地区岸壁における CIM の活用、土木学会土木建設技術発表会、2019、p.I-5_1-I-5_7、2019.
- 7) 中嶋道雄、前田庫利：港湾工事における BIM/CIM の VR への活用方法の開発、海洋開発論文集、76 巻 2 号、p.I_534-I_539、2020.
- 8) 小田切祐樹、和田真郷、加藤直幸他：ケーソン自動制御システム「函ナビ-Auto」による起重機船併用方式での最適な据付条件、土木学会年次講演会、No.75、p.VI1143_1-2、2020.
- 9) 国土交通省 港湾局：CAD 図面作成要領(案)、令和 2 年
- 10) フォーラムエイト社：HP「UC-win/Road,Engineer's Studio」、<https://www.forum8.co.jp/product/ucwin/road/ucwin-road-1.htm>、
<https://www.forum8.co.jp/product/ucwin/ES/EngineersStudio-1.htm>
- 11) 前田庫利、宮下恵：「地盤改良の BIM/CIM 活用事例 BIM/CIM 実務の創意工夫」、土木施工 (株)オフィススペース、2022 年 4 月号、pp.104-107、2022.
- 12) 国土交通省国土技術政策総合研究所：「DX データセンターにおける 3 次元データ利用環境の官民連携整備に関する共同研究」の共同研究者の公募資料、令和 4 年 1 月 3 1、報道発表資料
- 13) 国土交通省：第 5 期国土交通省技術基本計画、pp.21、2022

(執筆者：中嶋道雄)

4-8 質の高い港湾のインフラシステム輸出に向けて

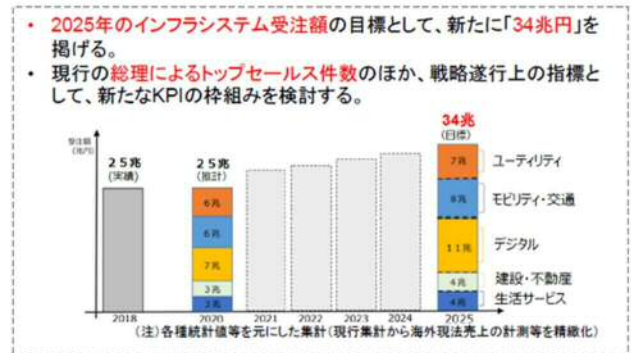
筆者は、国際港湾交流協会（以下、「JOPCA」）（会長：山縣宣彦 みなと総合研究財団理事長）企画委員会にも2022年度まで所属し、活動の一つである「技術協力のあり方を考える研究会」（以下、「研究会」）の主査として、2018年から、テーマ「インフラシステム輸出時代における技術協力」と題して、2022年までに毎年有識者による基調講演や関係者によるパネルディスカッションを5回開催してきた。本論では、その間に得られた港湾分野におけるインフラシステム輸出の実態に基づき、本論の「広義の設計論」に立脚した、今後の「質の高い港湾のインフラシステム輸出」の方向性を提言したい。

4-8-1 現状と今後

「インフラシステム輸出戦略」（2013年）¹⁾によれば、「新興国を中心とした世界のインフラ需要は膨大であり、急速な都市化と経済成長により、今後の更なる市場の拡大が見込まれる。このため、民間投資を喚起し持続的な成長を生み出すための我が国の成長戦略・国際展開戦略の一環として、日本の“強みのある技術・ノウハウ”を最大限に活かして、世界の膨大なインフラ需要を積極的に取り込むことにより、我が国の力強い経済成長につなげていくことが肝要である。」とされている。この中で「システム」輸出とは、我が国企業による「機器」の輸出のみならず、インフラの「設計」、「建設」、「運営」、「管理」を含む受注や、現地での「事業投資」の拡大など、我が国企業が多様なビジネスの展開と定義されている。これによる波及効果は、日本企業の進出先国において、物流や電力などの経済インフラの開発を進展させることは、日本企業の進出拠点整備やサプライチェーン強化につながり、現地の販売市場の獲得にも結びつくため、インフラ受注そのものに加えて、複合的な効果を生み出す。また、我が国の先進的な技術・ノウハウ・制度等の途上国への移転を通じ、途上国の人々のライフスタイルを豊かにするとともに、環境、防災等の地球規模の課題解決に貢献し、我が国のソフトパワーの強化及び外交的地位の向上にも貢献するとされている。こうしたインフラシステムの海外展開については、一義的には民間企業主体による取組みが重要であり、新興国等の海外市場の特性を踏まえたグローバル戦略の策定や、コスト競争力やマーケティング強化等の面でのこれまで以上の企業努力が求められるとともに、海外に活路を求める企業としての強い意志が必要である。しかしながら、インフラシステム海外展開における国際競争は熾烈を極めており、我が国企業はエネルギー、交通、情報通信、生活環境等の現在の主力となっている分野において、個別の製品や要素技術では世界トップ水準のものが多いが、厳しい国家間競争の中で、価格をはじめとする途上国・企業のニーズへの対応力の差、優れた機器や技術をもとにしたマーケティング、ブランディングといった経営面でのノウハウの不足、運営・維持管理まで含めた「インフラシステム」として受注する体制が整っていないことやインフラ海外展開を担える人材が限定的であること等から、これまでの受注実績においては欧米や中国・韓国等の競合企業に大きく水をあけられている現状にあるとされている。

我が国政府は、図 4-8-1 に示すように、上記の「インフラシステム輸出

戦略」を策定して以降、G20 大阪サミットにおける「質の高いインフラ投資に関する G20 原則」を通じて、国際社会における質の高いインフラの必要性の喚起等、各種政策を推進してきた。受注実績は、2010年の10兆円を基準として2020年に約30兆円の受注を獲得するとの目標（KPI）に対し、最新は2018年に約25兆円となっており、増加基調を維持している。この受注増加により、経済成長および国富の増加に貢献している。

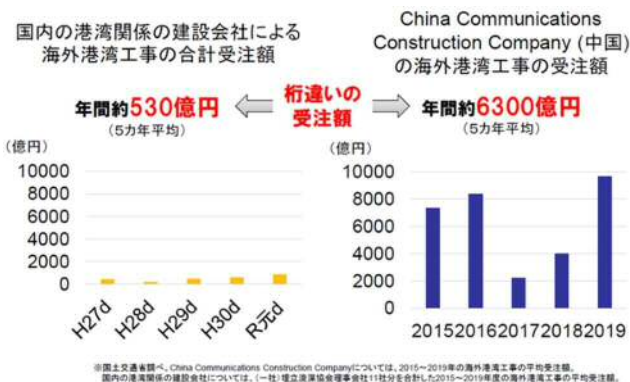


資料：インフラシステム海外展開戦略 2025

図 4-8-1 「インフラシステム海外展開戦略 2025」における目標(KPI)

他方、国内市場が少子高齢化・人口減等により縮小傾向にあるなか、拡大が見込まれる海外市場の獲得は引き続き重要であり、技術・ノウハウの継承等の観点からも、その重要性は一層増している。また、既存インフラの老朽化に伴う維持管理更新ビジネス、世界の都市化の進行に伴う一体的な都市開発、財政健全化ニーズや ODA 卒業国の増加が見込まれることに伴う PPP (Public Private Partnership) 方式に対する需要、DX の進展とそれに伴うデータを活用したサービス事業等、さらなる拡大が見込まれる世界のインフラニーズを十分に取組みしていないのが現状である。

なかでも根本的な問題として、堂道秀明氏²⁾によれば、我が国企業の「価格競争力」の問題があると指摘する。JICA の金融システムでステップ (Special Term for Economic Partnership) は、円借款をタイドで供与するものであり、日本の企業が受注することと結び付けてファイナンスを行う制度だが、後発開発途上国 (LDC)、中進国では適用できない。このため、それらの国では国際競争入札をやらざるをえないため、例えば図 4-8-2 に示すように、中国企業等との競争になり負けているのが現状である。他方ステップが適用できても一社入札が多く、一般的に価格が高く敬遠される傾向にあるため、日本の優位性を相対的に低下させている。港湾分野においては急速施工、地盤改良、棧橋施工などでの技術面では比較的まだ優位性を保っているが、価格や建設スピードの面では劣後であるのが現状であると指摘する。



資料：国土交通省港湾局

図 4-8-2 我が国と競合国の企業規模の差

このため、2016年の伊勢志摩サミットにおいて、わが国はインフラのライフサイクルコストに焦点を当て「質の高いインフラ」の国際的なスタンダードを提案したところである。しかし、無償援助でなく、円借款については途上国にとっては債務であり、国会承認が必要な国が多く、わが国の技術は評価されても、価格の評価で総合的に負けている事例が多い。さらに中国や韓国などは、色々な意味で相手国政府に働かしている。また資金の貸し手が増えて、国によっては国際市場でドルも調達でき、また国内の起債もやり、我が国に頼まなくても自由度がある方が良く、国の負債が少ない方が良いという選択をする国も増えている。このため円借款を繰り上げ返済する例も増えてきており、途上国が貸し手を選ぶ時代になって来ている。

さらに、アフリカ諸国など途上国政府は、我が国では馴染みの少ない、政府の負担が少ない PPP 方式によってインフラを造るということに魅力を感じている。このため PPP 方式が今後の主流になっていくとすれば、日本企業は途上国企業との合併や提携は絶対的に不可欠であり、価格問題を克服していく上でも強力なオプションになる。特に、中国の「一帯一路」に対抗していくためにも、日本企業と途上国企業との提携や合併にフレンドリーな制度設計が必要であると指摘する。他方、広田幸紀氏³⁾によれば、アジアは PPP の後進地域であるが、都市化がかなりの勢いで進んでいるので、今後多くの再開発のニーズが生まれてくる可能性が高く、こうしたアジアの事情を踏まえた日本の強みを活かす方法を考えることが必要であると指摘する。

4-8-2 「日本型港湾開発」が有する 70 年間のインフラストック

第1章 1-1 に示した我が国の港湾開発方式は、竹内良夫氏が命名し「日本型港湾開発」⁴⁾と呼ばれている。「日本型港湾開発」とは、港湾を交通、生産、都市生活の場の複合空間・複合機能として捉え、港湾開発を公共的な事業として推進し、地域開発・地域発展に役立てる方式である。つまり、欧米のような物流をはじめとした交通機能に特化した、独立採算制のポートオーソリティ方式と違って、我が国は、図 4-8-3 に示すように地政学上の特徴を活かして、地方行政組織内での港湾管理者による開

発方式をとってきた。これによって同図に示すように、我が国は人口 50 万人以上都市のほとんどが港湾と一体となった沿岸部に存在し、戦後 70 年間の歴史の中で、以下に示すような国際的なコンテナ、バルク貨物やクルーズなどの海上交通課題のみならず、背後の都市の産業や生活分野など様々な課題に対応してきた。その結果、図 4-8-4 (再掲) に示すような交通、産業、都市生活機能などの多機能空間や施設を有する港湾となった。さらに国土交通省は、2013 年を「社会資本メンテナンス元年」と称して、インフラマネジメント時代に突入り、様々なインフラ点検や維持・更新技術を開発・導入して来ている。さらに 2022 年 12 月にはインフラマネジメントにおける計画策定プロセス及び実施プロセスの新たな取組として、2-6 に示した『地域インフラ群再生戦略マネジメント』の提言を公表している。

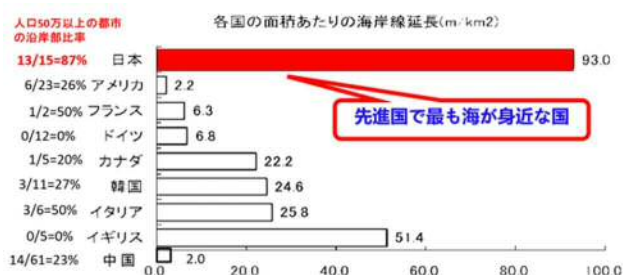


図 4-8-3 我が国沿岸部の地政学上の意味



図 4-8-4 多様な機能を有する我が国の港湾

- 臨海工業地帯：新産業都市 16 地区、工業整備特別地域 4 地区
- 沖合人工島：東京臨海副都心、神戸ポートアイランド、北九州響灘等
- 港湾都市再開発：横浜みなとみらい、神戸ハーバーランド等
- 賑わい文化の創造：東京港お台場、博多港マリゾン、門司港レト等
- 広域廃棄物処理、リサイクルポート：大阪湾フェニックス等
- 国際コンテナ戦略港湾：東京港、川崎港、横浜港、神戸港、大阪港
- 内貿ユニットターミナル：新門司、大阪南港
- 国際バルク戦略港湾：小名浜港など 14 港
- 港湾区域及び一般海域における洋上風力発電

■ 港湾管理者制度 cf.中国の港湾管理者制度（2003年）

他方、この70年間の港湾建設の歴史の中で、我が国沿岸部における、地震・津波、高潮・高波、海岸侵食、軟弱地盤さらに近年の気候変動による海面上昇など、過酷な自然条件に対する、以下のような対応技術も有しており、さらにこれらの技術を支える、世界でも珍しい波浪・水工、地盤・構造、環境、施工の総合沿岸研究所である国土政策技術総合研究所（横須賀庁舎）（以下、「国総研」）や港湾空港技術研究所（以下、「港空研」）がある。さらに両研究所から大学へも多くの人材を供給している。

■ 地震対策：バブル2地震対策、液状化対策、地震応答解析シミュレーション手法（FLIP）

■ 津波・高潮・高波対策：湾内防潮対策、津波・高潮応答解析シミュレーション手法（STOC）、港内静穏度シミュレーション手法（ブシネスク手法、高山法）、三次元数値水路解析（CADMAS-SURF）、混成堤構築技術、耐波・津波式（合田式、谷本式）

■ 軟弱地盤改良：深層混合固化処理工法（CDM）、SD、表層固化等

■ 軟弱地盤・大水深・大規模埋立造成：関西国際空港、羽田空港、北九州空港等

■ 環境対策：環境アミット、生物共生型構造物（緩衝緑護岸等）

■ 航路・泊地埋没対策：漂砂、シテーション予測・対策

■ 構造物の維持管理：AUVや音響レンズによる点検診断など

4-8-3 途上国が真に求めているもの

第3章で述べた「ものづくりの原点」に基づいて、途上国へのインフラシステム輸出のあり方を考えてみる。4-8-1で定義されている「インフラシステム」は、「インフラ」が「構造」であり、「システム」は、運営や管理、事業投資の色彩が強いので「機能」と見做すと、3-1で示した「ものづくりの原点」は、以下の通り、書き換えられる。

- ①利用者である途上国は「機能」を選択し、創造し持続させる。
- ②「機能」が、「インフラ」を規定する。
- ③「機能」は、途上国の生活や生産活動に拠るため、利用者や時間によって変わる。利用者である途上国が今「要求する機能」と、我が国が途上国の将来の課題解決のために「提供する機能」がある。
- ④従って、「インフラシステム輸出」とは、我が国は、途上国が要求する「機能」、もしくは途上国に提供する「機能」を的確に捉え創造し、それを実現するために、より安く、より良い「インフラ機能」を輸出することである。
- ⑤さらに、出来上がった「インフラ」の運営は、①からすると「機能」の「新設、維持、改良、廃棄」となる。所謂、2-4-2で第5次社会資本整備重点計画の基本理念である「インフラ経営」であるし、2-6で示した機能論による『地域インフラ群再生戦略マネジメント』でもある。従って、改めて途上国が真に求めているものは何かというと、「機能」であり、他方我が国は、それを実現するためにより安く、より良い「インフラ機能」

を輸出することであろう。さらに、第3章で述べた価値工学（Value Engineering）で考えると、

$$\text{相手国がインフラに求める価値 } V = \text{機能 } F / \text{総費用 } C$$

$$\dots \text{式 (4-8-1)}$$

となり、これまでの日本型は、 $F(\uparrow) / C(\uparrow) = V(\rightarrow)$ であり、他方競争国は、 $F(\rightarrow) / C(\downarrow) = V(\uparrow)$ もしくは、 $F(\downarrow) / C(\downarrow) = V(\uparrow)$ だったのでないだろうか。つまり、4-8-1で述べた「価格競争力」の劣後によるものである。さらに価格をはじめとする途上国・企業のニーズへの対応力が競争国と差があり、途上国の求める機能を十分に把握できないために、我が国並みの機能に応じた性能を有するインフラを計画・設置してしまい、コスト高を産んでいるのではないだろうか。

4-8-4 次世代における「質の高いインフラシステム輸出」とは

近年、一部の日本企業では、現地における資機材の調達、また現地法人化して人材採用・教育によってコスト削減を図り、 $F(\uparrow) / C(\downarrow) = V(\uparrow)$ となって価格競争力を増強し、競争国から勝ったり、場合によっては受注したりしている。今後も、我が国企業は、このような努力によってコスト削減 $C(\downarrow)$ をさらに促進することが必要である。

他方、次世代に向けては、「広義の設計論」に基づいて、併せて途上国の市場に合わせた最適な機能を輸出することによって、それに見合うインフラづくりを行う必要があるのではないだろうか。

$$\text{つまり、} F(\uparrow\uparrow) / C(\downarrow) = V(\uparrow\uparrow) \dots \text{式 (4-8-2)}$$

とすることである。

例えば、アジアには、図4-8-5に示すように、人口10万以上の沿岸都市が多く存在する。広田氏が指摘するように、これらの都市は、都市化がかなりの勢いで進んでおり、今後多くの再開発や都市問題のニーズが生まれてくる可能性が高い。こうしたアジアの事情を踏まえた「日本型港湾開発機能」のストックを活かす方法を考えていくことが必要ではないだろうか。



図 4-8-5 東南アジアにおける人口10万人以上の沿岸都市

(1) $F(\uparrow\uparrow)$ とするためには

まずは、4-8-2で示した我が国が有している「日本型港湾開発」

の機能ストックの効果を分析し、途上国の市場に合わせた最適な機能を設計（機能設計）し、その機能を実現する性能を有するインフラを設計（性能設計）することである。つまり、藤本氏の「設計情報循環としてのものづくり」⁵⁾を途上国へのインフラシステム輸出に当てはめると、図 4-8-6 に示す通りとなる。我が国の 70 年間の日本型港湾開発によって得られたストック機能 F_0 をデータ化し、それをベースに途上国の求める機能をコミュニケーションによって探り、最適な F_1 を規定化する。それを現地における場所や材料に転写しインフラを整備することである。JOPCA 主催の研究会で「インフラシステム輸出時代における技術協力のあり方」をテーマにしたパネルディスカッションにおいて、研究者から「価格競争のために構造物の性能を落とすことは、技術者としては出来ない。」という指摘があったが、その通りである。しかしながら、途上国が求める「機能 F_1 」が、例えば我が国レベルより低ければ、第 3 章で述べられている通り、その「機能規定 F_1 」に応じて「性能」を規定し構造物を設計すれば、価格が低く C （↓）なるかもしれないし、仮に価格が上がって C （↑）もその「価値」 F （↑）/ C （↑）= V （↑）が評価されるかもしれない。つまり、機能 F 重視で、インフラを性能設計することになる。

さらに、その後のフォローアップとして、機能の運営計画も提示し、それに応じたインフラのメンテナンス計画も提示する。特に、今後途上国における公共事業は、PPP 方式が主流となる中で、市場に合わせた機能づくりが必要であり、また 2 - 6 に示した『地域インフラ群再生戦略マネジメント』による完成後の機能運営が重要となる。

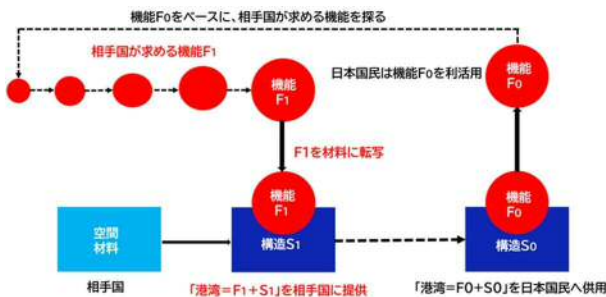


図 4-8-6 我が国の機能値を活用して途上国へ転写

但し、我が国の港湾の「技術基準」には、機能を設定するための「計画基準」が無いため、次世代に向けて、図 4-8-7 に示す英国の「BS」Part1-1 : Maritime works. General Code of practice for planning and design for operations のように「計画基準」の整備も必要である。これによって、我が国も「技術基準」の国際化もさらに進むのではないだろうか。

This is a multi-part document divided into the following parts:

- Part 1 Maritime structures. General criteria
- Part 1-1 Maritime works. General. Code of practice for planning and design for operations
- Part 1-2 Maritime works. General. Code of practice for assessment of actions
- Part 1-3 Maritime works. General. Code of practice for geotechnical design
- Part 1-4 Maritime works. General. Code of practice for materials
- Part 2 Maritime structures. Design of quay walls, jetties and dolphins
- Part 3 Maritime structures. Design of dry docks, locks, sluiceways and shieldding berths, shields and dock and lock gates
- Part 4 Maritime structures. Design of fendering and mooring systems
- Part 5 Maritime structures. Code of practice for dredging and land reclamation
- Part 6 Maritime structures. Design of inshore moorings and floating structures
- Part 7 Maritime structures. Guide to the design and construction of breakwaters
- Part 8 Maritime structures. Code of practice for the design of Ro-Ro ramps, linkspans and walkways

図 4-8-7 英国 BS の目次

(2)途上国とのコミュニケーションの深化

4 - 8 - 1 にあつたように、価格をはじめとする途上国・企業のニーズへの対応力が競争国と差があると言われている。このため、途上国における十分な市場調査や利用者とのコミュニケーションを深めることによって、求める機能を明確に規定化できれば、途上国も満足し、さらにその機能に応じたインフラが輸出できるのではないだろうか。

経済産業省の「ものづくり白書 2019」によれば、図 4-8-8 に示すように、ビジネス工程において、企画・設計段階及びサービス段階が付加価値を高くする領域（スマイルカーブ）であると述べている。つまり、途上国とのコミュニケーションは、プロジェクト創出時期や、プロジェクト完成後の運用時期に深めると付加価値 F が高まるということである。

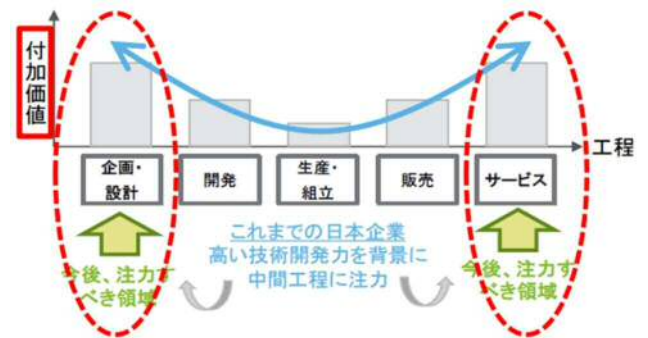


図 4-8-8 ビジネス工程別の付加価値の度合い（スマイルカーブ）

さらに、途上国に付加価値を高める提案をするためには、経済産業省の「ものづくり白書 2019」の図 4-8-9 に示す関係を途上国へのインフラシステム輸出に当てはめると、途上国のニーズ把握やデータの蓄積、さらにプラットフォームの構築によってアイデアを出し合い最適な F_1 の規定化、つまり「価値の創造」が必要である。

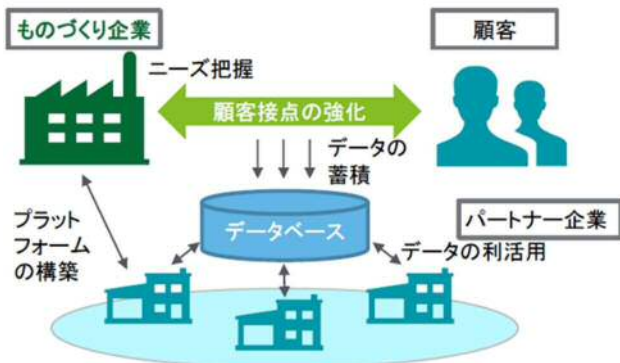


図 4-8-9 ものづくりにおける顧客接点の強化

(3)日本人の気質と性格を活かす

さらに第 3 章で述べたように、「価値の創造」の過程においては、関係者によるプラットフォームにおけるディスカッション（知恵だし）が不可欠である。このため、各途上国において日本・現地合同チームで連携し知恵を出す体制を構築しては如何だろうか。

①まずは、官民のそれぞれの組織内の国内外部門の垣根を取り外し、国内の技術者はこれまでの機能ストックを整理・分析し、海外の技術者はそれを学び途上国に提案する。

②他方、組織外では、以下のプラットフォーム「日本港湾インフラ機能輸出会社」を構築して取り組む。

社長：国、自治体
 営業・企画・人材開発部

： J I C A（国際協力機構）、O C D I（国際臨海開発研究センター）、JOPCA

開発・研究部：国総研、港空研

設計部：建設コンサルタント

製造・調達部：コントラクター

運用部：運営会社

また、以下に藤本氏⁶⁾が示すように、日本人の気質や性格からすると、他の先進国と比べて、統合力を活用したオペレーション重視の「擦り合わせ製品」の製造が得意であるという。正に途上国の市場に合わせた「機能」づくりではないであろうか。このためにも、統合力を発揮するプラットフォーム体制が必要ではないだろうか。

仮説：得意アーキテクチャの「地政学」的な分布

歴史や初期条件の違いにより、特定の組織能力が国ごとに偏在する傾向がある

→ 相性の良い「得意アーキテクチャ」が異なる

- 日本：統合力 → 擦り合わせ製品（オペレーション重視）
- 欧州：表現力 → 擦り合わせ製品（デザイン・ブランド重視）
- アメリカ：構想力 → モジュラー製品（知識集約的）
- 韓国：集聚力 → モジュラー製品（資本集約的）
- 中国（華南）：動員力 → モジュラー製品（労働集約的）
- ASEAN：定着力？ → 労働集約的な擦り合わせ製品（中国と違う？）
- 台湾：転換力？ → モジュラーと擦り合わせの柔軟な切替・使い分け

東京大学 藤本隆宏

モジュラー（組み合わせ）型アーキテクチャとインテグラル（擦り合わせ）型アーキテクチャ

パソコンのシステム

Modular Architecture
 モジュラー（組み合わせ）型

- 計算 ●
- 印刷 ●
- 投影 ●

製品の種類

- パソコン ■
- プリンター ■
- プロジェクター ■

製品の種類

Integral Architecture
 インテグラル（擦り合わせ）型

- 走行安定性 ●
- 乗り心地 ●
- 燃費 ●

製品の種類

- サスペンション ■
- ボディ ■
- エンジン ■

製品の種類

東京大学 藤本隆宏

資料：藤本隆宏・第 10 回研修会基調講演

さらに、日本人の気質や性格を表す指標として、国家全体など巨大な経済システムの生産力の特徴を測る全体的な指標である「経済複雑性指標（Economic Complexity Index 以下 ECI）」があり、図 4-8-10 に示すように、我が国は過去 20 年間、世界一位を維持している。ECI は、国家の多様度と輸出品目の遍在性の 2 点を考慮に入れているため、その国家がいかに多様であるか、またその国家の産業がいかに洗練されているかの両方を測定することができる。上記と同様に途上国の市場に合わせた洗練された「機能」づくりが得意であるという証ではないだろうか。



図 4-8-10 経済複雑性指標（Economic Complexity Index）⁷⁾ のランキング

最後に、「途上国の地域・利用企業」、「途上国・港湾管理者」、及び「我が国政府・建設コンサルタント・コントラクター」の3者が、「途上国の市場に合わせた機能の提供によって途上国・地域社会へ貢献する」という共有できる目的を設定でき、さらにこのような気質と性格を有する日本人が“主体性と創造性”を持って臨めば、この3者が一丸となって「質の高い港湾のインフラシステム輸出」の実現が可能になると思う。

<参考文献>

- 1) 経協インフラ戦略会議：「インフラシステム輸出戦略」、2013
- 2) 堂道秀明：「インフラシステム輸出時代における港湾分野における協力とは」、JOPCA「技術協力のあり方を考える研究会」講演資料、2018
- 3) 広田幸紀：「インフラシステム輸出の課題」、JOPCA「技術協力のあり方を考える研究会」講演資料、2019
- 4) 八尋 明彦：「日本型港湾開発の特質について」、「港湾」（社）日本港湾協会、1990
- 5) 藤本隆宏：「日本のもの造り哲学」、日本経済新聞社、2004
- 6) 藤本隆宏：「設計論に立脚した広義のものづくり経営学」、第10回 海洋・港湾構造物設計士会研修会、講演資料、2020
- 7) <https://oec.world/en/rankings/eci/hs6/hs96>

(執筆者：八尋明彦)

第5章 事例研究

5-1 自然体験・学習機能の提供

5-1-1 はじめに

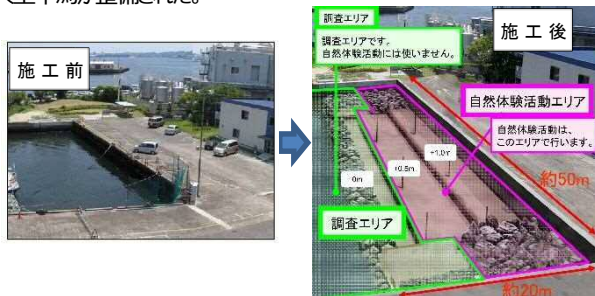
A 港内 B 地区の老朽化した係留施設を廃止して護岸とし、新たに市民とともに自然体験・学習できる機能を有する人工干潟が整備された。この施設整備は、これらの機能に着目した先進的な事業であり、『広義の設計論』を先取りしている。

ここでは、この施設を通して、第3章に基づく『広義の設計論』の事例研究を行う。

5-1-2 自然体験・学習機能の提供施設について

(1) 施設概要

この施設は、B 地区に整備されたもので、以下に示す通り護岸前面に人工干潟が整備された。



※数字は、大潮の時に最も潮が引いた水面を0mとしたときのそれぞれの干潟の高さを表します。

図 5-1-1 施設概況

施設整備工事の状況を以下に示す。

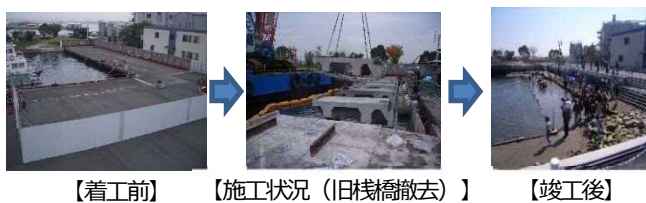


図 5-1-2 工事の状況

(2) 施設整備の目的と利用状況

これまで埋立による開発が進んだ内港地域において、環境意識や自然再生の取り組みがなされてきた。老朽化した棧橋撤去を契機に、その跡地と前面に 1,000 m 規模の干潟・磯場が造成された。この施設は、耐震性に優れた港湾施設と海の生物が共存できる構造を目指し、その結果を実験的に実証しながら、護岸の補修や補強に活かしていくことを目的とした、実海域における干潟・磯場等環境実証フィールドであり、港湾におけるグリーンインフラの先駆けとなっている。

この施設の整備の目的は以下のとおりとされている。

- ①内湾自然再生の複合的課題に対する解決
- ②内湾臨海部に存在する老朽化施設の補修・補強
- ③水環境の改善を目的とした生物生息場の創出手法

④内湾で市民利用が可能となる海辺の創出と産業活動との両立

このため、この施設は、研究機関や NPO 等の市民団体と連携して市民との協同活動を通じて、近隣の小学校を始めとして環境教育に活用されている。

5-1-3 機能系統図による機能設計

第3章の『広義の設計論』に基づく、機能設計は以下の通りとなる。

まずは A 港において既設の護岸及び周辺施設を存する B 地区に、自然体験機能を提供する整備に対して、以下のような機能系統図を作成した。空間機能は、自然と触れ合いつつ、文化・歴史を踏まえた環境と共生するために、市民に対して安全で快適な自然体験機能を提供する。更に、それを実現するための施設機能として、①従来の係留機能を廃止し、②新たに市民が安全に海に近づくことができ、美観を良くする親水護岸機能、③さらに新たに海生生物が共生できる生物共生機能を付加し、④荒天時は使用不可のため外郭機能は従来のまま、⑤交通量も計画交通量内であるため臨港交通機能も従来のまま、である。以上が、「機能設計」である。さらに、それらの施設機能を実現するために各港湾施設が有すべき性能規定を設定し、その性能照査を行う。以上が、「性能設計」である。

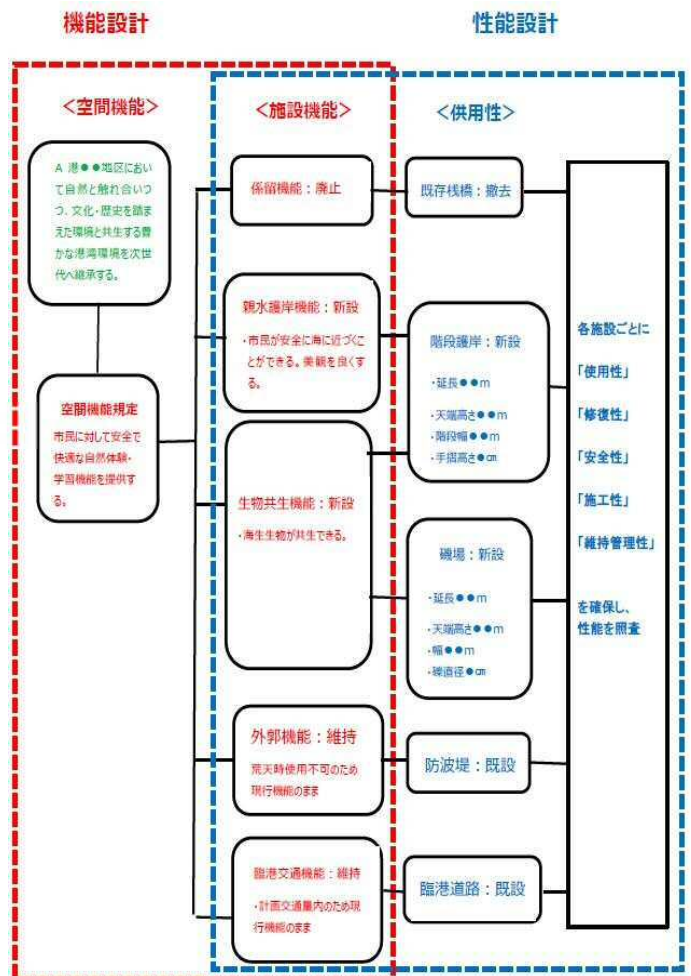


図 5-1-3 「広義の設計論」にもとづく機能系統図

さらに、機能系統図に基づいて、第3章で提示した次世代の港湾計画で書き込むと、以下の通りとなる。

1. 港湾計画の方針（一部）

目標年次：2030年

A港において自然と触れ合いつつ、文化・歴史を踏まえた環境と共生する豊かな港湾環境を次世代へ継承する。

2. 空間機能及び施設機能、並びに施設の規模及び配置（一部）

B地区において市民に対して安全で快適な自然体験・学習機能を提供するために、以下の通り計画する。

(1) ●● 棧橋：廃止する。

市民が安全に快適に海に近づくことができ、美観が良く、さらに生物が共生できるものとする。

(2) 階段護岸：新設する。

延長●●m 天端高さ●●m 階段幅●●m 手摺高さ●●m

(3) 磯場：新設する。

延長●●m 天端高さ●●m 幅●●m

荒天時の使用を認めない。

(4) ●● 防波堤：既設のままとする。

想定される利用者の入込数が計画交通容量内である

(5) ●● 臨港道路：既設のままとする。

図 5-1-4 「広義の設計論」に基づくA港の港湾計画

このように、次世代の港湾計画において、空間機能及び施設機能が決定されることによって、事業実施上の「説明責任」が明確化される。今後は、上記の機能規定や供用性等が省令・告示において制定されれば、国のみならず港湾管理者、さらに占有許可を受けて実施する港湾所在市町村長、民間事業者によっても同様な機能を有する施設の整備が可能となる。さらに、「損傷性」、「維持管理性」、及び「施工性」に対する照査によって実施される「性能設計」は、それぞれの施設機能を実現する必要があり、多様な設計や技術開発が必要となる。

5-1-4 おわりに

A港B地区における市民に対して自然体験機能を提供する施設を事例研究として整理した。これらにより、施設管理者は、市民に対してより安全でより快適な自然体験機能を提供ができその役割を果たせることができる。同様な事業を進める場合、計画・設計業務の委託を受けた建設コンサルタントや施工を請負った建設会社は、担い手のやりがい、技術開発意欲を増大させることができ、三者それぞれが持続的な発展を遂げることができると考える。

(執筆者：岡田光志、八尋明彦)

5-2 次世代設計委員会（中間報告）

5-2-1 はじめに

「広義の設計論」の論議では港湾計画・設計に「機能」を盛り込むことが広義の設計につながるのと一応の結論が付けられた。これらの結果を元に令和2年度、3年度に港湾局へ「国土交通省要望」としてこれらの「機能」の基準類への反映の要望を提出している。これら要望への回答は、4者協定に基づき引き続き実装勉強を続けたいと言ったものであった。これを受けて2022年6月より、若手の設計・計画技術者により、「機能」をどのように基準などへ実装したらよいかの方法論と、実装に関するメリット、デメリットについての論議を行っている。また、本委員会は1年間実施する予定である。ここではこれまで全4回実施した次世代設計委員会の中で第1回から4回までの討議結果を、抜粋して中間報告として取りまとめたものである。

5-2-2 構成委員

構成する委員は海洋・港湾構造物設計士会の若手を中心構成し、オブザーバーに4者協定中の構成員を加えた。以下に委員一覧を示す。

委員長：中嶋 道雄(パシフィックコンサルタンツ株式会社)

副委員長：柴田 大介(日本港湾コンサルタント株式会社)

委員：

荒木 大志(パシフィックコンサルタンツ株式会社)

上田 陽彦(東亜建設工業株式会社)

佐藤 健彦(五洋建設株式会社)

鳥居 洋(日本港湾コンサルタント株式会社：兼副事務局長)

安下 純平(パシフィックコンサルタンツ株式会社：兼事務局長)

吉川 慎一(株式会社ニュージェック)

オブザーバー：

山本 修司(海洋・港湾構造物設計士会、沿岸技術研究センター)

八尋 明彦(海洋・港湾構造物設計士会、日本工営株式会社)

中原 知洋(海洋・港湾構造物設計士会、五洋建設株式会社)

5-2-3 討議内容

以下に実施済み日程の概要一覧を示す。

表 5-2-1 実施済み日程概要

回数	実施年月日	実施場所	出席者数
第1回	2022/6/24	パソコン+WEB	9名
第2回	2022/7/25	パソコン+WEB	10名
第3回	2022/8/29	パソコン+WEB	8名
第4回	2022/9/26	パソコン+WEB	10名

(1)第1回

以下の図 5-2-1 に第1回次世代設計委員会の実施状況を示す。



図 5-2-1 第1回次世代設計委員会の実施状況

本委員会の委員は、広義の設計論についての理解があまり進んでいない人が多数を占めるため、広義の設計とは何かについての討議から始まった。また、地球温暖化に対応した防潮堤のかさ上げを事例として、機能を考える事でのメリット・デメリットを抽出した。この中で主に以下のような意見が出された。

- 機能設計では護岸天端高不足の場合、家が一軒しかない場合、民家の高さ上げ、避難タワーを作るなど従来と違うやり方が多く出てくると考えている。また機能優先とらえると、均一な安全性が崩れ、防潮堤整備より背面住民の排除に結び付く可能性がある
- 機能設計とした場合、防潮堤背後が過疎化して人がいなくなると、許容される被害レベルも変わってくるので、時間変化は機能の一つの考え方として重要になると考えられる。また、気候変動等の長い変動を考える際に供用50年中で、作用変化のため、どの段階で計算するかなどを考える必要がある。社会情勢も変わっていくため、どのタイミングで機能を見直すかも機能設計には入ってくると考えられる。
- 性能設計になったが新しい照査手法を使った場合、会計検査で指摘される可能性もある
- オランダは広い地域で標高が低く、すべて施設整備するのではなく、堤防破堤の経済的損失による差別化をしている。年間の破壊確率を地域別に分けて、オプションを取ったリスク概念が導入されている。
- 「機能」の共通認識としては何のためにその施設が存在しているか、また面的に考えた時に、その施設がないとどうなるか、あったらどういう効果を生み出すのかというのが、機能のイメージと考えられる。
- 機能設計を考える上では、受益者など誰のための事業で費用負担はどうするかなどの議論も重要である。また各機能に応じてベネフィットはどのように算出するかも考えていく必要がある。
- 民間バースを整備する際の機能とベネフィットは、将来どの程度の利益があり、現在どの程度投資できるという投資判断があるので国とは違うものと考えられる。また、民間では計画、設計、施工がす

べて入っているため、全体で最適となる検討を行っているが、それは計画から施工まで責任をもって1社で行っているからであると考えられる。国や自治体の業務でも同様の仕組みがあればよいが、責任の分担などの課題がある。

- 現状では計画段階で設計者が関与していないが、耐震強化施設的设计をした際に、計画で決まっている施設位置の地盤条件が悪く、位置や方向を変えると建設費用を大きく抑えられる場合がある。その際発注者・施工者・設計者の三者会議を参考に、設計者が計画に入っていけると良い機能を付けられると考える。
- 港湾配置計画を作る際に、岸壁お近くの断面を参考に断面設定をしているが、この段階で設計の考え方を取り入れて決めるような手順が作れば設計者の計画への参加も考えられる。
- 防波堤上に公園を作ったケースもあるが、これは防波堤機能に公園機能を付加させている。ただ、現状では機能を付加するように提案する場所がない。

(2)第2回

以下の図 5-2-2 に第2 回次世代設計委員会の実施状況を示す。



図 5-2-2 第2 回次世代設計委員会の実施状況

- 性能設計が信頼性設計法では無く性能設計の中の安定性照査に関わる部分だけが信頼性設計法を使っている。そして、信頼性設計法のうち一番簡単なのが部分係数法となっている。また、機能設計を導入したから性能設計が変わるわけではない。今の性能設計の上位に当たるのが機能である。基本的に今の体系でも、目的の中に機能が入っているため、機能に応じて設計をしている。それが性能設計である。
- 機能の部分は面的に考える必要がある。特に気候変動の場合、防波堤だけでなく、護岸の高上げや、土地を高上げ、第二防潮堤を設置するなど、組み合わせで行う必要がある。その議論が機能設計であり、それにに応じて各施設で機能が決まる。そして、機能に応じて性能設計を行う。そのため、機能設計を導入しても性能設計は変わらない。部分係数も機能に応じて決めればよいと考える。
- 機能についても少しバリエーションを持たせて、きちんと決めるようにする必要がある。例えば防波堤だと防波機能だけではなく、親水防波堤や波力発電の防波堤、高潮・津波用防波堤などのバリエーション

ンについて、実施設計をやる前段できちんと議論し、その機能を明確化して、それに応じた性能設計をやるべきである。

- 施設に機能を追加することは、現基準で不可能ではないが手法が確立されていない。誰がどういった手順で決定していくか確立していく必要がある。今の体系でも目的の中に機能はすべて入っている。問題は自動係留や自動荷役を今後実施する際に、港湾基準に記載している文言だけで実施することが難しいことである。そのため、目的をさらに詳細に記載すべきである。また、係留施設だけではなく、荷役施設や防波堤の静穏度、臨港道路の機能などトータルで議論が必要であるが、それを議論する場がなく、議論の場が港湾計画であると考えられる。
- 港湾基準に記載されている目的は基準の解説である。告示の中に「係留施設については必要な機能を設定すること」などの一文があるといふ。そして、解説に機能としてはどのようなものがある記載されているといふ。省令や告示に一文ないで港湾管理者が機能を追加するのは難しい。解説はあくまでも参考資料であり、技術規準の中にある解釈は法的効力がある。
- 現状の港湾計画での決定事項は、規模および配置のみで機能については、例えば防波堤の場合は防波機能のみである。それを港湾計画で機能議論を行うと、機能が自動で行いやすいと考える。ただし、港湾計画はステークホルダーなどの関係者のみで議論している。そのため、港湾の改善点などを聞き、それを施設に落とし込む作業を行う人が必要であり、それを設計士が行うべきであると考えられる。
- 港湾計画で果たすべき機能を明確にすると機能を満足しているか妥当性の確認が必要になる。それについてはDXを活用し、現在のデータを解析することで根拠が作れる可能性が有る。
- 機能とは相互に関連しあって全体を構成している要素や部分がある固有の役割である。それに対して性能は各要素や部分の性質とその能力または水準である。
- 港湾のグランドデザインは、港湾計画前に長期構想を行う。港湾計画は15年先の計画だが、長期構想では30年後を目標に大枠の構想を作成する。その中で求められると機能や目指すべき姿など、そういった形で機能要素や港湾の総合的機能を決めている。港湾計画においてゾーニングが決定した頃には、施設の配置や規模もおおよそ固まっているので、設計の意見を反映させるならそれより前に参画する必要がある。
- トレンドの変化が早い現状において、施設整備が追い付かなくなる場合もある。その場合、整備した施設で満足できるような機能に落とし込んでリニューアルなどを提案することが求められ、それには設計者が必要になると考える。
- 今までは需要に対して相手が求めているから施設整備を行うという受動的なやり方である。PORT2030では港湾の価値を提供することで社会に貢献する能動的な手法となっており、カーボンニュートラルなどは、持続可能社会に貢献することで施設の価値を最大化、また

は新しい価値を見出している。しかし、港湾計画策定では地元からの要望や需要に対する受動的な計画であるため、能動的な港湾計画が必要であると考えている。

- 現在の港湾計画は需要を推計して増えた部分で施設を作るステップになっている。しかし、今後は貨物が増えないところもあるため、港湾管理の視点を計画の中に組み込んで行くことが必要であり、逆に需要ありきの計画ではないようにすべきと考える。
- モノを作って、いかに効果を出すかというのが、B/Cの考えである。機能(F)/Cというのはモノと価値を提供することをコストで除したという考えである。そのため、B/Cは高価度、F/Cは貢献度と考えられる。環境問題等はベネフィットが出にくく、B/Cをすると実現が難しいが、機能で能動的に価値を提供すれば、従来のB/Cだけでは具現化されないことが実現できる。

山本会長からの意見

1. 性能設計の導入のメリットが発揮されていない(技術基準)
 - 性能設計体系導入時、構造物安全性を合理的に設定することに主眼を置いていたので、性能設計=信頼性設計(部分係数法)という誤解が生じた。外力/抵抗力に関する研究の進展に伴って部分係数を変更可能なメリットがあるが、現状進展していない。
 - 技術基準体系の目的→機能→要求性能→照査方法において、「機能」の議論があまりされなかった。省令、告示、解釈(いずれも法的拘束力がある)に「機能」が位置付けられていないためと思われる。
2. 機能を考えた岸壁の一案
 - 中部空港建設にあたって、中部経済団体連合会は松尾念名古屋大学学長の指導の下、CO₂排出量(金額換算)+護岸建設費が最小となる構造形式の選定(多目的計画法)を検討した。埋立機能と環境機能を考慮した設計の例と考える。
 - 「枝幸港で屋根付き岸壁完成」と報道があったが、本来水産ふ頭なので当然だが、この事がニュースになるのは、港湾計画の硬直化が一因と考えられる。
 - 40年ほど昔、北九州港戸畑地区の民間バスでは、全天候岸壁(鉄鋼輸送)を実施している
3. 先行きが不透明な時代の港湾計画・施設整備
 - 人口減→CDP減→貨物量減の時代、港湾貨物量の増加は期待できないと考えられる。このような時こそ、既存施設の有効利用、改良が大事である。このときに岸壁や港湾施設用地に求められる「機能の変化」に応じた計画・設計が大事。
 - 貨物が伸びない、予定した立地企業がこないのが岸壁が遊んでいる場合でも、時代の進展とともに別の需要が出てきて対応してきた。例としてN港東港：埋立地のゴルフ場化→企業用地、F港：製糖業がこない→国家備蓄…。このような計画変更のとき、岸壁増深、

地盤改良、ドルフィン増設など、設計者が関与すると良い計画になると考える。

4. 計画段階での設計者の関与

- 係留施設に作用するL2地震動の大きさは、活断層から発生するキラーパルスの向きに大きく依存する。耐震強化岸壁の位置・法線を決めるときに、これに詳しい設計者が関与すると整備費が縮減可能な可能性がある。

5. 法令関連の記載事項

港湾計画基準

基本方針：港湾法で基本方針には、「港湾の配置、「機能」及び能力に関する基本的な事項」を定めるとある。その中で機能という用語は、「交通、国民生活、産業活動を支える「機能」が調和」や「各港湾の特色と「機能」」というように使用されている。

港湾計画：政令では、一 港湾の開発、利用及び保全並びに港湾に隣接する地域の保全の方針。二 港湾の取扱貨物量、船舶乗降旅客数その他の能力に関する事項。三 港湾の能力に応ずる水域施設、係留施設その他の港湾施設の規模及び配置に関する事項…(以下、省略)

を定めるとあるが、「機能」という用語は見られない。

計画基準

計画基準(省令)では、一 港湾の位置付け及び「機能」、二 港湾施設の整備及び利用…(以下省略)に関する事項にあるように、港湾の「機能」に関する方針を示すこととなっている。

(水域施設)

第六条 水域施設の規模及び配置は、水域施設を利用する船舶の種類、船型及び隻数、係留施設の利用状況、水域の静穏の程度等を考慮して、港湾の「機能」が十分に確保され、かつ、船舶が安全かつ円滑に利用することができるように定めるものとする。

(外郭施設)

第七条 外郭施設の規模及び配置は、外郭施設によって防護される水域施設及び係留施設の利用状況その他の状況を考慮して、十分に「機能」を発揮することができるように定めるものとする。

(係留施設)

第八条 係留施設の規模及び配置は、係留施設を利用する船舶の種類、船型及び隻数、取扱貨物の種類及び量、荷役方式、水域施設の利用状況、…(中略)…を考慮して、港湾の「機能」及び係留施設の安全かつ効率的な運用その他の適正な運営が十分に確保されるように定めるものとする。

以上の様に「機能」があまり具体的に記述されていない現状がある。

(3)第3回

以下の図 5-2-3 に第3回次世代設計委員会の実施状況を示す。



図 5-2-3 第3回次世代設計委員会の実施状況

- 小麦粉や鉄鉱石、石炭、ロール紙などのバラ荷貨物の荷卸しでは、雨水により貨物の品質が低下するため、雨天時は岸壁で荷卸しせず沖合に停泊していることもある。そのため、雨天時でも荷卸しができるように屋根付きの全天候型の岸壁としている事例がある。
- 「ひと工夫した漁港構造物事例集」が全国漁港漁協協会から平成9年度に発行されており、自然環境に配慮した工夫や浸水構造物、景観配慮型構造物など、ひと工夫し、付加価値をつけた構造物を事例集として公表している。漁港の場合、漁協との付き合いもあり、人や景観、環境とかに配慮したものが出やすい土壌となっている。港湾はソースがあり人が入れないことや、利用企業も限定されている。そのため、機能設計や機能の付加といったものに関しては、漁港の方が導入事例は多いと考えられる。
- 木材チップ取扱岸壁へ22万 t クラスの大型旅客船を停泊させるために、大型係船柱や防舷材を設置する必要があった。これらの施設は設置するとチップ荷役の障害となる。そのため、脱着式の係船柱や防舷材を設置した。このように木材チップ取扱岸壁に大型旅客船が停泊できる機能を付加した事例もある。これは、全国初の脱着式係船柱だったため、使用可否検討等を委員会形式で行っていた。また、チップとクルーズの利用調整も必要になる。また、増深となると構造を大きく見直す必要があるが、本事例では防舷材と係船柱の見直しのみであったため、導入できたと考えられる。また重力式岸壁のため上記のみの変更で実現できたが、栈橋式の場合補強など大掛かりとなり、構造形式についても考慮する必要がある。
- 機能設計が基準に導入され、計画段階で設計者を含めてどのような良いことや悪いことがあるかなどが整理されると、機能設計を導入する具体的なメリットが明らかになると考えられる。また、計画段階のどの部分で委員会や、例えば県との協議など、どの段階で設計が入ったら有効であるか、また、計画系のコンサルと構造系のコンサルが、それぞれの役割や業務のどの段階の検討を行うかが整理されると設計者が港湾計画に入り込めるというイメージが付き

やすいと考える。

- どの段階からその設計者がまあ加入しているのかなどの細かいところには、これから一緒に勉強しながらやっていこうというスタンスで、まずは何か外に出しても良い事例を整理してもよいのではないかと考える。
- 計画水深7.5mの岸壁を計画していたが、現地盤の水深が10m程度であったため、11m水深しても性能を満足する岸壁を事前に整備しておくことで、大型のクルーズ船を着けられるようにした事例もある。このように事前に将来を見据えた上での機能付加ができる仕組みがあるとよいと考える。このように各港湾管理者が独自の特色を持って将来計画を機能として盛り込むと、地方独自の督促が現れやすいのではないかと。ただ、国からの補助金で整備する中でルール作りは重要である。独自の機能はコスト高となるが、将来的な港湾計画を見据えた上最適設計になっていると認識されるとよいと思う。
- 計画の変更は、一部変更の軽易な変更と大きな改訂がある。つまりは既存の枠組みの中で機能を優先・付加するところに計画と一緒に変えていくやり方はすでにあると考える。現在は、計画と事業評価の間で、計画チームと設計チームが連携して機能をつけ、事業評価時に、例えば岸壁作っている利用者の輸送コストが減る、輸送時間ももっと短くなるといった便益として評価を行うことができればよいと考える。
- 港湾計画を作る前段階は概念的に細かいところを詰める訳ではないので、現状では港湾計画の作業として、設計者が入るのは難しいと考えられる。事例のような貨客併用のような形で、新規事業採択の手前のところで一緒に考えて、より良い計画を作りつつ設計も行うというのがよいのではないかと考える。
- 貨客併用の事例は重力式なので、防舷材や係船柱を変えるのは容易であったが、増深は非常に難しい。重力式では、50cmか1m程度までしか増深できないが、一方で栈橋式は増深して補強する工法も色々あり、あの増深には向いている構造形式である。ただ、防舷材が大きくなると杭の応力が持たなくなるので、構造の補強も必要になる。そのように、構造形式によって、機能のプラスアルファができやすい施設かどうかとかという観点のふり分けなんかも可能なので、そういった部分で設計者が関わっていくのが良いと考える。
- 民間の案件で仕事する時も、例えばそこで調達できる船がこれだから、これぐらいのスペックの材料しか使えないなどといった制約があることや基地港をどこにするかで施工費用に影響するところがあるため、施工業者も計画に入っていると良いと考える。

(4)第4回

以下の図 5-2-4 に第4回次世代設計委員会の実施状況を示す。

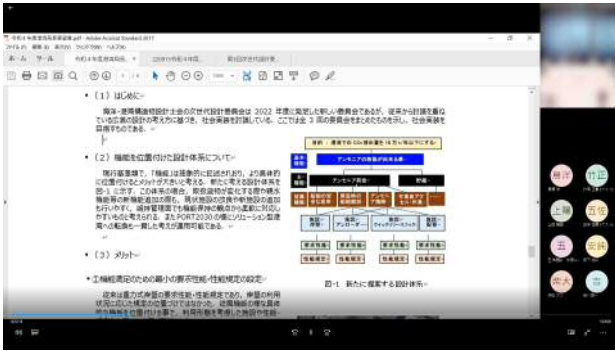


図 5-2-4 第4回次世代設計委員会の実施状況

- 機能について言葉を定義付けが重要である。機能を考慮した設計体系は、目的と要求性能の間に総合機能、空間機能、施設機能の三段機能と施設を考えると機能を含んだ設計体系が説明しやすいと考える。
- 例えば目的にCO2排出量を〇〇万t/年以下にすると設定されると、総合機能でアンモニア取り扱いが可能となる事と設定される。その中で複数の空間機能が発生し、アンモニアの荷役の場合、施設機能も複数発生し、船舶の安全な着岸、緊急時の船舶離脱、アンモニアの積み降ろし、作業員アクセス等が考えられる。
- 現状の維持管理は、目視調査等でa,b,c,dの評価をつけて性能低下の判断をしている。これらの基準は性能規定から定められており、PC栈橋であれば複数あるPC桁末板の内、PC桁1本でクラックが入っても栈橋全体がA(補修の必要性有)となる。PC構造物(はクラックを許容しないためであり、設計時の考え方はこれで良い。
- 論文の中では、FEM解析を行い1本の桁が機能しなくても横つなぎによって板全体は安全性を保持できる結果となっている。ただし、現在の考え方では新設時の設計法をトレースする形で維持管理時の性能評価がされているため、これが利用者側の機能を元に評価可能となれば、FEM等を利用する事によって安全に利用できる機能が保持されているとして、補修の必要性からこれ以上劣化しない対策へ移行できる可能性はある。
- 機能議論になってゆくと、国際的基準との兼ね合いが大切になってゆく。
- 性能規定中で、修復性、安全性等の損傷にかかわる部分を中心であったが、今後は改良と利用者視点での供用性が重要ではないかと思う。施工性と維持管理性は、施設毎ではなく共通になっているため個別の施設毎に規定しなければいけないと考える。
- 施工の性能規定というのがきちんとされていないと感じる。設計での施工検討後に施工を行う際に、どの部分が守らなければいけない部分で、自由度がある部分はどこなのか等が規定されていない。
- まず何をするかという目的を明確にした方が良いと考える。また、新規とリニューアルは根本的に考え方が違うので、機能の計画段階を

重視するのか、リニューアル部分か等を明確化する必要がある。

- 高潮対策事業で、既存の利用企業との調整が済んでいない状態で発注した際に、応札業者がいない等の課題が出された例がある。設計と施工での施工検討の境界があいまいなので、こういった問題が出ているのだと思う。
- 近年の国交省実施設計とかでは施工検討も含んだものが結構多いが、基準ベースでは組み立てが可能であるが、FDの調達や基準に出していない部分スケジュールなどが明確にならないと現実的ではない。ただし具体的に業者に聞かれにくい状態である。
- 民間では実際FDの確保などは実施しており、スケジュール調整も可能と思う。民間だと設計施工分離ではないため、実施可能であると思う。
- 施工の地域性もあり、機材調達の関係もある。特に離島ではアジテーターが無い等の課題があり、こういった部分を考慮しないと現実的ではない。コンサルもゼネコンOBを受け入れて検討を行っている状況ではある。
- 今までの地域産業の成り立ちを踏まえて、機械構成や工法、タイロッド、ワイヤー等の利用材料の差が当然あるので、これらを考慮する必要性はあると考える。
- 機能を付加した場合の、便益の考え方を整理する必要がある。費用対効果はマニュアル、解説書等が整備されているが、機能の中身や加え方によって従来のマニュアルが使えない様であれば、マニュアルの記載を変える議論が必要。

[次世代設計委員会]

- 委員長 中嶋道雄：パシフィックコンサルタンツ(株)
 海洋・港湾構造物設計士会 理事
- 副委員長 柴田大介：(株)日本港湾コンサルタント
 海洋・港湾構造物設計士会 理事
- 委員 荒木大志：パシフィックコンサルタンツ(株)
 上田陽彦：東亜建設工業(株)
 佐藤健彦：五洋建設(株)
 海洋・港湾構造物設計士会 理事
- 鳥居 洋：(株)日本港湾コンサルタント
 安下純平：パシフィックコンサルタンツ(株)
 吉川慎一：(株)ニュージェック
 海洋・港湾構造物設計士会 理事

次世代設計委員会での中間報告（概要）

1.はじめに

海洋・港湾構造物設計士会の次世代設計委員会は 2022 年度に発足した新しい委員会であるが、従来から討議を重ねている広義の設計の考え方に基づき、社会実装を討議している。ここでは全 4 回の委員会をまとめたものを示し、社会実装を目指すものである。

2.機能を位置付けた性能体系について

現行基準類で、「機能」は抽象的に記述されており、より具体的に位置付けるとメリットが大きくと考える。新たに考える性能設計の体系を図 5-2-5 に示す。この体系の場合、取扱貨物が増える際や親水機能等の新機能追加の際も、現状施設の改良や新施設の追加も行いやすく、維持管理面でも機能保持の観点から柔軟に対応しやすいものと考えられる。また PORT2030 の様にリノベーション型港湾への転換も一貫した考えが適用可能である。

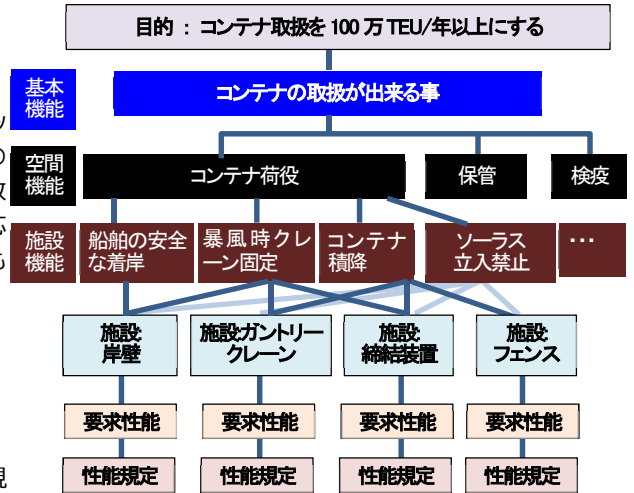


図 5-2-5 新たに提案する性能体系

3.メリット

3.1 機能満足のための最小の要求性能・性能規定の設定

従来は重力式岸壁の要求性能・性能規定であり、岸壁の利用状況に応じた規定の位置づけではなかった。施設機能の様な具体的な機能を位置付ける事で、利用形態を考慮した施設や性能・規定を位置付ける事が可能となる。

3.2 リニューアルなど機能変化に対する柔軟な対応

取扱貨物が増える時のリニューアルを実施する場合、既存施設の改修が必要か新たな施設が必要かは機能に照らし合わせ一貫して対応が可能となり、コスト低減が見込まれる。

3.3 維持管理や供用期間延申への効果

現状での維持管理は、性能規定及び要求性能を満足するかどうかの点検が中心となっている。劣化判定基準を満足しないが利用可能な場合に対し、機能保持での観点から柔軟に対応可能となる可能性があると考えられる。



図 5-2-6 降雨時での荷役稼働率向上機能が追加された例

現状橋橋上部工の劣化判定基準

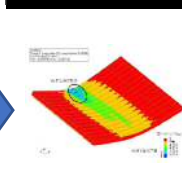
劣化判定の項目	劣化判定	劣化判定の判定基準
劣化工 (劣化部)	コンクリートの劣化、剥離	劣化部が認められる
	鉄筋の露出	鉄筋が認められる
	ひび割れの発生状況	ひび割れが認められる
	鋼材の腐食状況	腐食が認められる
	その他	その他が認められる

PC の構造原則から複数ある桁 1 本にクラックが 1 本入っても「a」判定=性能不足=供用停止

解析 劣化想定桁



板全体での解析



GoogleMap2022 より

板全体で健全

劣化 PC 桁(1 本)を他の桁が補う
 橋橋全体の健全性は保持される可能性

劣化判定基準を機能保持の観点から変更すると供用可能に

図 5-2-7 劣化度 a 判定を受けた PC 構造物の供用可能性を検討した例

田中「劣化した PC 橋橋上部工の構造性能に関する解析的検討」
 港空研資料 2022 に加筆

4.課題

- 港湾機能は複合的に重なり合っており、「機能とは」から明確にして行く必要がある。
- 機能の設定・追加のプロセスと方法が明確になっていない。
- 機能を設定するにあたりは自然条件や環境、機能の程度によって、構造種類や規模、価格等が大きく変化するために計画段階での設計者の関与が重要。
- 省令・告示への「機能」の位置づけによる法的拘束力が必要。
- 現状より利用者の限定及び利用者目線での機能の設定が必要となる。
- 受益者が限定されることにより受益者負担等を考慮してゆく必要がある。
- 機能を評価する B/C の様な手法の確立が必要。
- 設計段階での機能の妥当性確認が必要。

5-3 次世代型港湾計画の事例研究

5-3-1 はじめに

第1章から第4章において、昨今の設計分野を取り巻く現状と問題意識を整理するとともに、広義の設計論を踏まえて、今後の港湾の整備に求められているもの、当面講ずべき具体的な提案などについて取りまとめた。その中で、これからの港湾計画の位置付けは、港湾施設の配置計画だけでなく、港湾において“為すべきコト”を実現する実行計画にすることが必要であると結論を導いた。また、「モノづくりの本質」として、モノ（人工物）とは、「人の欲求による機能」と「それを実現するための構造」で成り立っていることを学んだ。これからの港湾計画では、施設に期待する機能と構造（施設の諸元）の両者を記載することにより、施設の本質である“為すべきコト”が表せるよう意識して策定することが重要である。



港湾計画の上位計画である「PORT2030」では、施設の提供型からソリューション提供型へ、賢く使う、進化する港湾へ、といった「港湾の価値を高める」あるいは、「新たな付加価値を創出する」ことが港湾政策の基本的理念として掲げられている。この上位計画の内容を踏まえて港湾計画を策定する必要がある。

第5章の事例研究では、仮想のモデル港湾を設定し、機能設計を取り入れた次世代型の港湾計画について記載内容の検討を行った。本章の研究事例は、これから成案を得るためのたたき台として示したものであり、今後、港湾計画に機能設計を導入していくための議論が活発に行われることを期待している。

5-3-2 仮想モデル港湾 A 港の将来に期待する機能

(1) A 港の現在の役割

仮想モデル港湾 A 港「以下、A 港という」は、入江の奥に位置し、港内は、静穏・広大で大水深が確保されている。現在の A 港は、港内に立地する製鉄所を中心に鉄鋼コンビナートが形成されており、鉄鋼業が必要とする原燃料の調達や鉄鋼製品を出荷する物流拠点となっている。また、石油製品を港内に一時ストックし、背後圏の需要に応じて供給する役割も担っている。さらに、大型クルーズ船の着岸が可能という利点を活かし、背後圏観光の玄関口としての役割も担っている。

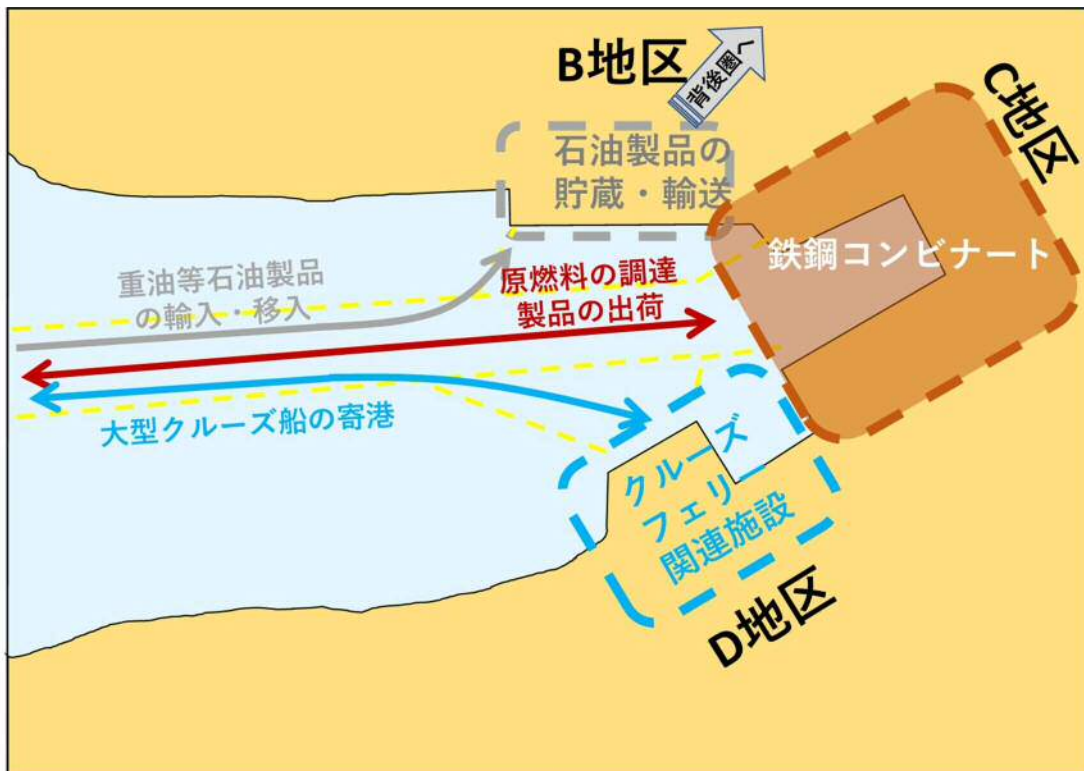


図 5-3-1 A 港の現況

(2) A 港の将来に期待する主な機能

A 港がこれまでに担ってきた役割をレビューするとともに A 港背後の地方自治体が作成した総合計画や長期構想、ユーザーの動向や意見等を踏まえ、令和 10 年代後半において A 港に期待する基本機能、空間機能を以下のように整理した。

【基本機能】

主要産業となっている鉄鋼関連産業及び背後圏に広がる農畜産業、観光産業の維持・発展に貢献すること、さらに地域に芽生えつつある新産業の成長を支える先駆的な港として地域の社会経済活動を支える。

【空間機能】

① 物流の面から地場産業を支援するため交通機能を強化

港内を中心に立地する鉄鋼関連産業の原燃料の調達や製品の出荷、A 港の背後地域で生産されるの農畜産物の大都市圏への輸送などの効率的な物流体系を構築するため、交通機能を強化する。

② 洋上風力発電整備の基地、水素関連産業の立地を支援する産業機能の提供

鉄鋼産業の集積を活かし、洋上風力発電設備の積み出しやメンテナンスを行う企業の立地を促進する。また、規模の縮小傾向がみられる石油関連産業から水素関連産業への移行を支援するため、新たな産業の成長に適した産業機能を提供する。

③ 大型クルーズ船及びウォーターフロントの魅力による人流機能の強化

背後圏の観光地との連携のもと大型クルーズ船の受け入れ機能を最大限に活用し、みなとを核とした地域のにぎわい作りの進展を図る。

5-3-3 次世代型港湾計画の本文の構成

(1) 現行の港湾計画書の構成

港湾計画は、港湾計画書に記載された内容で示され、港湾計画書は、本文と港湾計画図で構成されており、両者は相互補完の関係にある。本文には、計画策定後に新たに建設又は改良されるべき港湾施設等を中心に記述され、既設又は工事中の施設は変更がある場合を除き、港湾計画図のみに示されている。したがって、施設整備が伴わない既存の港湾施設が担う機能の詳細は、本文に記述されていないのが一般的である。

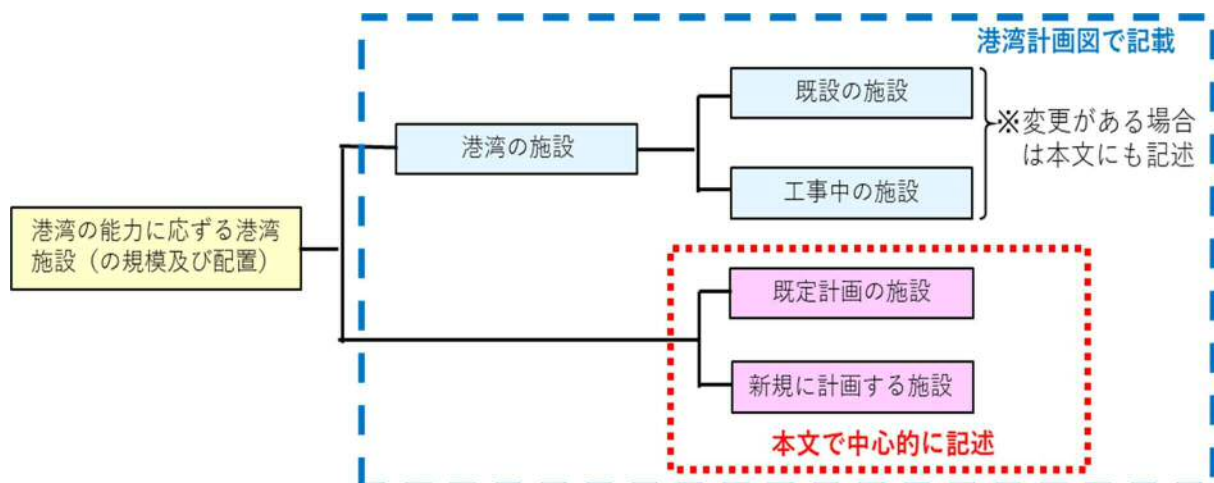


図 5-3-2 港湾計画書の本文と港湾計画図の関係（港湾計画書作成ガイドラインより）

次世代型港湾計画の事例研究を行う前に現行の港湾計画書本文に記述されている項目について整理した。一般的な記載の項目を以下に示す。記載する項目・内容は、港湾法施行令、計画基準省令等の法令により定められている。

I 港湾計画の方針

当該港湾の地理的位置、これまでの港湾の性格及び役割、背後圏の発展の方向と港湾が担う役割、課題等を記述する。また、目標年次を定めるとともに計画の基本方針として港湾の位置付け及び機能等を記述する。

II 港湾の能力

目標年次における貨物の取扱量、船舶の乗降旅客数等を記述する。

III 港湾施設の規模及び配置

港湾の能力に応じて、係留施設や水域施設等の港湾施設の規模及び配置を定める。記述する内容は、6つの計画事項に区分したうえで、港湾施設計画ごとにその規模及び配置を一体的かつ総合的に定める。

計 画 事 項	一体的かつ総合的に定める港湾施設
1 埠頭計画	係留施設、旅客施設、荷さばき施設、保管施設 等
2 水域施設計画	水域施設
3 外郭施設計画	外郭施設
4 小型船だまり計画	水域施設、外郭施設、係留施設 等
5 マリーナ計画	水域施設、外郭施設、係留施設 等
6 臨港交通施設計画	臨港交通施設

(港湾計画書作成ガイドラインより)

ここで、「埠頭計画」「小型船だまり計画」「マリーナ計画」は、港湾施設の集合体として一体的に位置付けられるのに対し、「水域施設計画」「外郭施設計画」「臨港交通施設計画」は、単独の港湾施設として位置付けられる。

「埠頭計画」は、公共埠頭計画、フェリーふ頭計画、旅客船埠頭計画など6つの施設計画に分類される。それぞれの施設計画の下に地区名を表示し、当該施設に対応する計画の簡単な説明を文章で記述するとともに施設の規模が記述される。また、施設の配置は、港湾計画図に示される。

IV 港湾の環境の整備及び保全

「自然的環境を整備又は保全する区域」「廃棄物処理計画」「排出ガス処理計画」「港湾公害防止施設計画」「港湾環境整備施設計画」の5項目について該当する施設計画を定める。

V 土地造成及び土地利用計画

港湾の水際線の有効活用、港湾の土地所有者やこれから所有する者に対し港湾管理者としての意思を示すもので、土地造成の規模と配置、土地利用の区分を本文及び港湾計画図に定める。

VI 港湾の効率的な運営に関する事項

港湾運営会社による埠頭群の運営や特定埠頭の運営の事業、PFI 事業など港湾の効率的な運営を実施する港湾は、その内容を記載する。

VII その他重要事項

「国際海上輸送網又は国内海上輸送網の拠点として機能するために必要な施設」「港湾及び港湾に隣接する地域の保全」「大規模地震対策施設」「港湾区域の利用」「港湾の再開発」「港湾施設の利用」「港湾の開発の効率化」「その他港湾の開発、利用及び保全に関する事項」について、該当する項目を記述する。

(2)次世代型港湾計画書の構成

一般的な港湾の機能系統図を図 5-3-3 に示した。現行の港湾計画では、本文の「港湾計画の方針」において、港湾全体の「基本機能」や「空間機能」が記載されている。次世代型港湾計画では、空間機能やさらに細分化した施設機能について可能な限り定量的な規定値を定めるとともに施設機能に対応した係留施設、水域施設等の構成施設の諸元や配置を記述する。

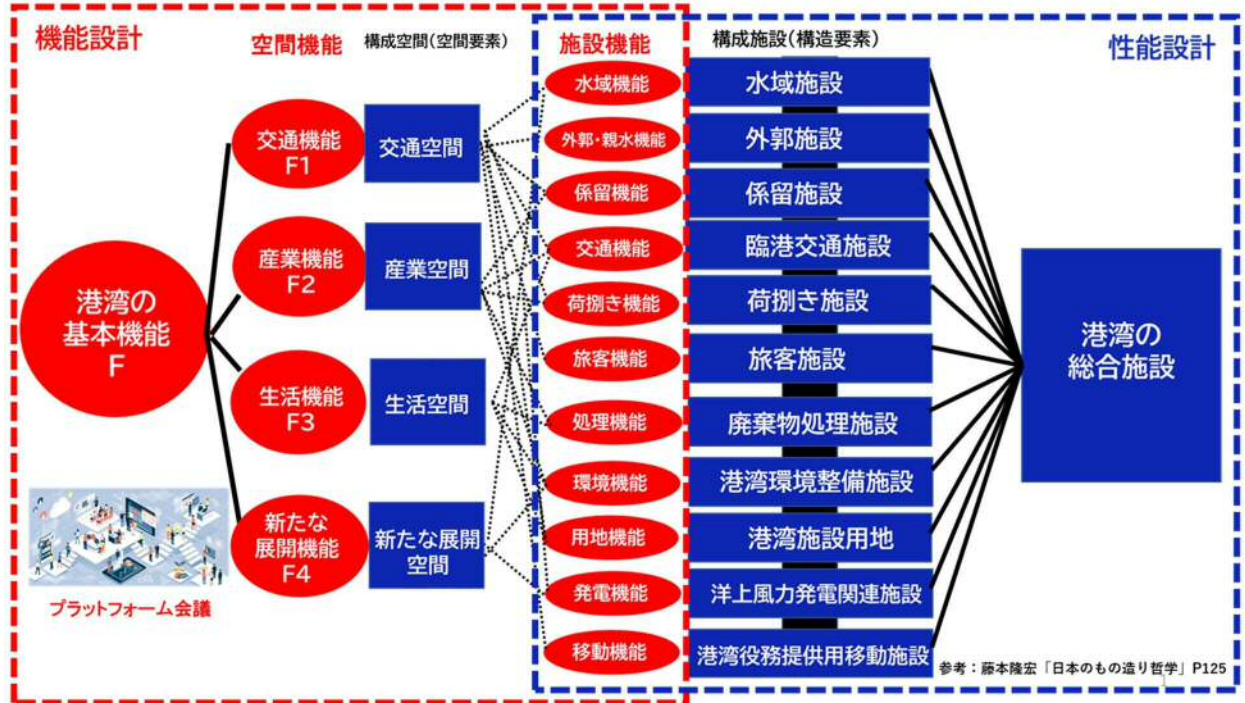


図 5-3-3 港湾の機能系統図

一つの港湾施設は、複数の機能を担っていることが多く、それぞれの関り方は複雑である。次世代型港湾計画では、基本機能、空間機能、施設機能と対応する全ての施設を対象に機能系統図を作成し、各施設が担っている機能を明確にする。その際、新たに建設・改良する施設に着目するだけでなく、既存の施設も含めて港全体の施設に機能を合理的に割り振ることが重要である。一方、施設整備の観点からは、施設ごとに「新設」や「改良」といった区分を表示し、整備が必要な施設を明確にするとともに、既存施設のまま「維持」していく施設、老朽化等により「廃止」する施設の区分を記述することとした。

また、本文の「港湾計画の方針」では、目標年次における社会経済情勢を踏まえて、港湾が担うべき役割である基本機能とそれを実現させるための実行計画として空間機能を記述する。また、「空間機能、施設機能並びに港湾施設の規模及び配置」は、機能系統図に沿った構成とし、モノづくりの本質である「機能」+「構造（施設の規模及び配置）」を記述する。

現行の港湾計画書（本文）	次世代型港湾計画書案（本文）
I 港湾計画の方針 ・〇〇港への要請 ・港湾計画の方針	I 港湾計画の方針 ・〇〇港への要請 ・〇〇港が担う基本機能 ・基本機能を構成する空間機能
II 港湾の能力	II 空間機能、施設機能、並びに港湾施設の規模及び配置 ・〇〇港機能系統図 ・空間機能及び施設機能、その機能規定を実現するために必要な施設構成を記述する。
III 港湾施設の規模及び配置 ・公共埠頭計画 ・フェリー埠頭計画 ・旅客船埠頭計画 等	III 港湾の環境の整備及び保全
IV 港湾の環境の整備及び保全	IV 土地造成及び土地利用計画
V 土地造成及び土地利用計画	V 港湾の効率的な運営に関する事項
VI 港湾の効率的な運営に関する事項	VI その他重要事項
VII その他重要事項	

可能な限り「II 空間機能、施設機能、並びに港湾施設の規模及び配置」の項目に入れる。

5-3-4 A港の次世代型港湾計画案の検討

(1) A港の機能系統図の作成

2. (2)のA港の将来に期待された基本機能を実現するための3つの空間機能、さらに細分化した施設機能について、既存施設を有効に活用しつつ、不足する機能を新規施設や既存施設の改良で補うことを基本に機能系統図(図5-3-4)を作成した。

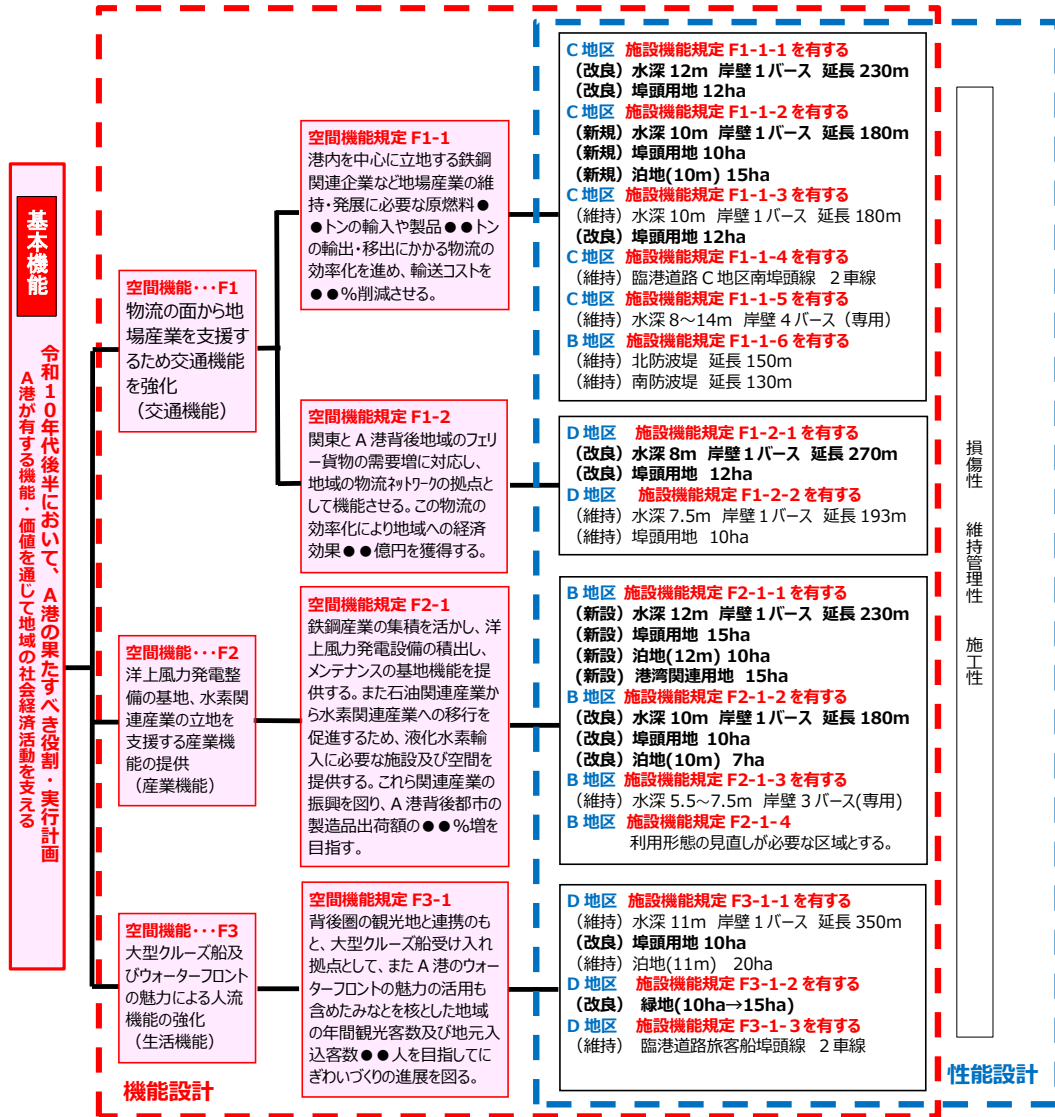


図 5-3-4 目標年次におけるA港の機能系統図

図 5-3-4 の機能系統図において、新規の施設計画や既存施設の改良を行う計画など、施設整備に伴う施設は「新規」「改良」の区分を表示し太字で表した。

また、図 5-3-4 の機能系統図の係留施設の配置を 図 5-3-5 に示した。

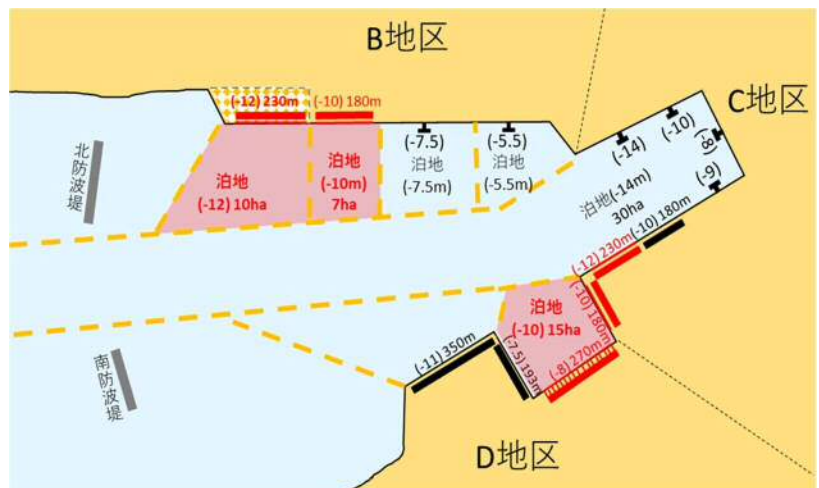


図 5-3-5 A港の港湾計画図

(2)港湾計画書（本文案）

I 港湾計画の方針

市民、利用者、関係団体で構成された協議会における議論を踏まえて、令和10年代後半（2030年代後半）を目標年次として、A港の基本機能、空間機能、施設機能及びその機能に対応する施設構成等を定め、港湾計画を改訂する。

1 A港への要請

A港の地理的位置、これまでの港湾の性格及び役割、現状における課題・要請等を記述する。

2 A港が担う基本機能

主要産業である鉄鋼関連産業及び港湾の背後圏に広がる農畜産業や観光産業の維持・発展に貢献すること、さらに地域に芽生えつつある新産業の成長を支える先駆的な港として地域の社会経済活動を支える。

3 基本機能を構成する空間機能

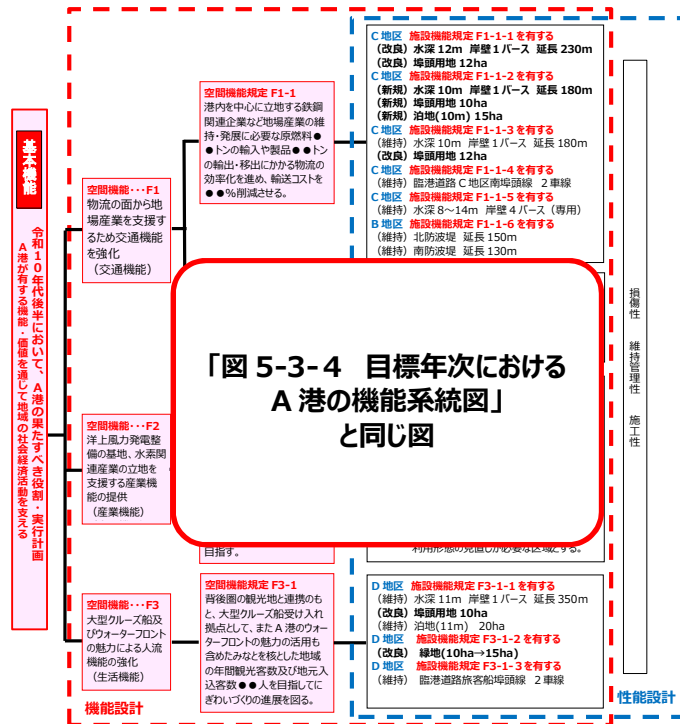
A港が有する「交通機能」、「産業機能」、「生活機能」の3つの空間機能の強化を通じて、A港の基本機能を達成させる。空間機能の具体的な内容は以下のとおり。

- (1) 物流の面から地場産業を支援するため交通機能を強化（交通機能）
- (2) 洋上風力発電整備の基地、水素関連産業の立地を支援する産業機能の提供（産業機能）
- (3) 大型クルーズ船及びウォーターフロントの魅力による人流機能の強化（生活機能）

なお、目標年次においてA港で取り扱う貨物量は、外内貿貨物を合わせて2,000万トン、船舶の乗降旅客数は20万人を想定している。

II 空間機能、施設機能、並びに港湾施設の規模及び配置

Iの港湾計画の方針に基づき、A港の機能系統及びその機能に対応する施設を図一①A港機能系統図に示した。



図一① A港機能系統図

A 港の空間機能及び施設機能に対応する港湾施設の規模及び配置を次のとおり計画する。

1. 物流の面から地場産業を支援するため交通機能を強化

1-1 ●●年までに、港内を中心に立地している鉄鋼関連企業等の産業活動の維持・発展に必要な原燃料年間●●トンの輸入や我が国の最先端の技術を導入した鉄鋼製品の年間●●トンの輸出・移出にかかる物流の効率化を進め、現状に比べ年間の輸送コスト費●●億円の削減を実現する。

1-1-1 ●●年における鉄鉱石や石炭等の原燃料の必要量のうち、公共埠頭で取り扱う●●万トンを効率的かつ安価に輸入するため、●●万トン級貨物船を対象とした係留機能、原燃料●●万 m^3 の荷さばき・一時保管機能を備える。これに必要な港湾施設を次のとおり計画する。

[C 地区]

公共埠頭計画

水深 1.2 m 岸壁 1 バース 延長 230 m [既設の改良計画]

埠頭用地 1.2 ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地) [既設の改良計画]

(既設
水深 1.1 m 岸壁 1 バース 延長 190 m
埠頭用地 9 ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地))

1-1-2 ●●年における鉄鋼製品●●万トンを効率的に輸出・移出するため、●●万トン級貨物船を対象とした係留機能、鉄鋼製品●●万トンの荷さばき・一時保管機能を備える。これに必要な港湾施設を次のとおり計画する。

[C 地区]

公共埠頭計画

水深 1.0 m 岸壁 1 バース 延長 180 m [新規計画]

埠頭用地 1.0 ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地) [新規計画]

水域施設計画

泊地水深 1.0 m 面積 1.5 ha [新規計画]

1-1-3 ●●年における鉄鋼スラグ等の副産物●●万トンを効率的に移出するため、●●万トン級貨物船の係留機能、鉄鋼副産物●●万トンの荷さばき・一時保管機能を備える。これに必要な港湾施設を次のとおり計画する。

[C 地区]

公共埠頭計画

水深 1.0 m 岸壁 1 バース 延長 180 m [維持]

埠頭用地 1.2 ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地) [既設の改良計画]

(既設
埠頭用地 9 ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地))

1-1-4 ●●年における C 地区南埠頭で発生・集中する臨港交通量●●台/日を円滑に処理できる交通機能を維持する。この機能に対応する次の既存の港湾施設を維持する。

[C 地区]

臨港交通施設計画

臨港道路 C 地区南埠頭線 起点 C 地区南埠頭 終点 一般国道〇〇号 2 車線 [維持]

1-1-5 ●●年における鉄鉱石や石炭等の原燃料の必要量のうち、企業の専用施設で●●万トンを取り扱うため、これに対応する次の既存の専用施設を維持する。

[C 地区]

専用埠頭計画

水深 8 ～ 14 m 岸壁 4 バース [維持]

1-1-6 ●●年における A 港内水域の静穏度を維持し、各係留施設において所定の荷役稼働率を満足する機能を維持する。これに対応する次の既存の港湾施設を維持する。

[B 地区]

外郭施設計画

北防波堤 延長 150 m [維持]

南防波堤 延長 130 m [維持]

1-2 ●●年頃における A 港背後地域に広がる農畜産物を大消費地である関東圏への輸送することに伴うフェリー貨物の需要●●%増に対応し、A 港が地域の物流ネットワークの拠点として機能させる。この物流の効率化による輸送コストの削減効果、年間●●億円を地域の農畜産業や消費者へ還元する。

1-2-1 ●●年頃のフェリー貨物需要のうち、既存の施設で対応できない貨物を対象として●●万トン級フェリーの就航可能な係留機能を保有するとともにトラック等車両の待機場機能を強化する。これに必要な港湾施設を次のとおり計画する。

[D 地区]

フェリー埠頭計画

水深 8 m 岸壁 1 バース 延長 270 m [既設の改良計画]

埠頭用地 12 ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地) [既設の改良計画]

(既設
水深 8 m 岸壁 1 バース 延長 220 m
埠頭用地 9 ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地))

1-2-2 フェリー貨物の需要の増大に対応し、既存の施設にて対応できる貨物●●万トンを対象とした交通機能を維持する。この機能に対応する次の既存の港湾施設を維持する。

[D 地区]

フェリー埠頭計画

水深 7.5 m 岸壁 1 バース 延長 193 m [維持]

埠頭用地 10 ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地) [維持]

2. 洋上風力発電整備の基地、水素関連産業の立地を支援する産業機能の提供

2-1 鉄鋼産業の集積を活かし、洋上風力発電設備の積み出し、メンテナンスの基地機能を提供し、関連企業の立地を促進する。また、規模の縮小傾向がみられる石油関連産業から水素関連産業への移行を支援するため、新たな産業の成長に適した産業機能を提供し、目標年次におけるA港背後都市の製造品出荷額を●●年の●●%増を目指す。

2-1-1 ●●年までに洋上風力による発電●●MW を目指し、風力発電設備の積み出しやメンテナンス関連の企業立地を促進するとともに作業船の係留機能、設備の積み出しに必要な地耐力を備えた用地を提供する。これに必要な港湾施設及び用地を次のとおり計画する。

[B 地区]

公共埠頭計画

水深1.2m 岸壁1バース 延長230m [新規計画]

埠頭用地 1.5ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地) [新規計画]

水域施設計画

泊地水深1.2m 面積1.0ha [新規計画]

土地利用及び造成計画

港湾関連用地 2.0ha (うち、5ha は土地造成) (風力発電設備の組立・メンテナンス作業用地)

[新規計画]

2-1-2 石油関連産業の集積を活かして、今後需要の拡大が見込まれる水素関連産業への移行を支援する。また、鉄鋼関連産業とも連携し、地域の水素供給拠点として機能する。液化水素を効率的に輸入するため、●●年までに●●万トン級水素運搬船の係留機能及び●●万³の一時保管機能を備える。これに必要な港湾施設を次のとおり計画する。

[B 地区]

公共埠頭計画

水深1.0m 岸壁1バース 延長180m [既設の改良計画]

埠頭用地 1.0ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地) [既設の改良計画]

(既設
水深7.5m 岸壁1バース 延長130m
埠頭用地 7ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地))

水域施設計画

泊地水深1.0m 面積7ha [既設の改良計画]

(既設
泊地水深7.5m 面積6ha)

2-1-3 縮小傾向にある石油製品の需要 ●●万トンに応じた船舶の係留機能及び一時保管機能を維持する。これに対応する次の既存の専用施設を維持する。

[C 地区]

専用埠頭計画

水深 5.5m～7.5m 岸壁 2バース [維持]

2-1-4 利用形態の見直しが必要な区域

B 地区では、製紙用木材チップの取り扱いが終了した。一方、広大で静穏な水域を活かし、洋上風力発電施設資材の保管や組立を目的とした拠点を目指し、関連産業を誘致しようとする民間企業の動きがある。さらに、地域の鉄鋼関連産業と連携して水素供給基地として機能させる構想が進んでいる。これらの新たな産業の将来は、鉄鋼関連産業と並んで地域の主要な産業に成長することが期待されていることから、利用形態の見直しの検討が必要な区域とする。

3. 大型クルーズ船及びウォーターフロントの魅力による人流機能の強化

3-1 背後圏の観光地と連携のもと、●●年までに大型クルーズ船受け入れ拠点として、また A 港のウォーターフロントの魅力の活用も含めたみなとを核とした地域の年間観光客数及び地元入込客数 ●●人を目指してにぎわいづくりの進展を図る。

3-1-1 大型クルーズ船受け入れにより、観光産業や賑わい交流拠点を形成するため、港湾施設を次のとおり計画する。

[D 地区]

旅客船埠頭計画

水深 11m 岸壁 1バース 延長 350m [維持]

埠頭用地 12ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地) (うち 10ha 既設) [既設の改良計画]

(既設
埠頭用地 10ha (荷さばき施設用地及び保管施設用地))

水域施設計画

泊地水深 11m 面積 20ha [維持]

3-1-2 旅客船埠頭からの回遊性向上を図る緑地規模とするとともに、既設緑地との往来を容易にし、交流空間の創出向上を図るため、次のとおり緑地を計画する。

[D 地区]

港湾環境整備施設計画

緑地 15ha (うち 7ha 既設) [既定計画の改良計画]

(既定計画
緑地 10ha (うち 7ha 既設))

3-1-3 ●●年における D 地区旅客船埠頭及び緑地で発生・集中する臨港交通量●●台／日を円滑に処理できる交通機能を維持する。この機能に対応する次の既存の港湾施設を維持する。

[D 地区]

臨港交通施設計画

臨港道路旅客船埠頭線 起点 D 地区旅客船埠頭 終点 一般国道〇〇号 2車線 [維持]

Ⅲ 港湾の環境の整備及び保全

1 自然的環境を保全する区域

D 地区において、人と自然が共生する良好な港湾環境の形成を図るため、「自然的環境を整備又は保全する区域」を次のとおり計画する。

D 地区において、「自然的環境を保全する区域」を定める。

2 港湾環境整備施設計画

土地利用の変更及び既存施設の再活用に伴い、緑地計画を見直す必要があるため、以下の既定計画を削除する。

(1) B 地区

(既定計画
緑地 1 ha)

(2) D 地区

(既定計画
緑地 2 ha)

Ⅳ 土地造成及び土地利用計画

港湾施設の計画に対応するとともに、多様な機能が調和し、連携する質の高い港湾空間の形成を図るため、土地造成計画、土地利用計画を次のとおり計画する。

1. 土地造成計画

(単位：ha)

	〇〇用地	〇〇用地	〇〇用地		合計	備考
〇〇地区						施設機能 FO-〇-〇、施設機能 FO-〇-〇
〇〇地区						施設機能 FO-〇-〇
合計						

2. 土地利用計画

(単位：ha)

	〇〇用地	〇〇用地	〇〇用地		合計	備考
〇〇地区						施設機能 FO-〇-〇、施設機能 FO-〇-〇
〇〇地区						施設機能 FO-〇-〇
合計						

5-3-5 おわりに ～次世代型港湾計画の事例研究を通して見えてきたもの～

- (1) 現行の港湾計画では、本文の「港湾計画の方針」において港全体が果たすべき役割や機能についての記述があるが、数値目標がない定性的な表現に留まっている。次の項目では「港湾施設の規模及び配置」が記述されており、施設計画に至った過程の詳細が明示されていない。次世代型港湾計画では、港全体の基本機能を設定し、施設計画まで落としていく過程を「機能系統図」に表し、できる限り機能の数値目標を示すことが施設を計画した裏付けになると考えた。
- (2) 「機能系統図」は、図 5-3-4 で示したように港が担う役割である「基本機能」から始まり、その機能を達成するための複数の「空間機能」、さらに細分化した「施設機能」をロジックツリーで表したもので、最終的には「施設機能」に対応する「港湾施設」が結び付くように体系化したものである。
- (3) これらの機能の数値目標を示す機能規定値は、求める機能のレベルを示すとともに施設の性能設計に直結する重要な意味を持っている。したがって、機能設計を行なうにあたっては、既存の施設が有している機能や性能を十分に調査し、評価するとともに、港湾の背後圏の将来の社会経済情勢を分析して、将来の港湾に求める基本機能を定め、空間機能、施設機能の内容を具体的に示すことが重要である。さらに、既存施設だけでは不足する機能を既存施設の改良や新規施設の整備で補うといった手順が透明化されることも重要である。
- (4) 先に述べたように、現行の港湾計画書の本文は、施設整備を伴うものが中心に記述されている。次世代型港湾計画では、港湾の機能を中心に記述するため、その機能に対応した既存の施設を含め新規計画の施設を列記することになり、施設整備の有無が判りにくい。したがって、施設ごとに「新規計画」「改良計画」「維持」「廃止」といった区分を記述することとした。
- (5) 事例研究を通して課題も残った。一般的に一つの施設は、複数の機能を有している場合が多い。例えば、港湾に立地した産業が必要とする原燃料の調達コストを削減するため、大型貨物船が利用できるように係留施設を計画した場合を考えてみる。これを空間機能で区分すると物流コストの削減につながる「交通機能」を強化することである。一方、物流の効率化は、これらの産業を支援する「産業機能」を提供することでもある。また、港内の静穏度を確保するための防波堤や国道等の幹線道路と港湾を結ぶ臨港道路などの施設は、複数の空間機能に関係している。今回の事例研究においては、港湾計画に機能設計を取り入れることを中心に検討したため、施設が有する機能は、一つだけに絞ったシンプルな機能系統図としたが、複数の機能を有した施設をどのように整理するのか、また「交通機能」「産業機能」といった機能を定義することも今後課題としたい。
- (6) 最後に、基本機能、並びに基本機能を達成するための空間機能を規定化し、計画決定することによって、港湾計画の目的及び説明責任がより明確化され、利用する市民や企業、国、港湾管理者、さらに事業を受託する建設コンサルタントや建設会社が、目標年次に向けて基本機能、空間機能、及び施設機能を実現するための実行計画として共有できると考える。

参考文献

港湾計画書作成ガイドライン（改訂版 3 版）
／公益社団法人 日本港湾協会

（執筆者：服部俊朗、八尋明彦）

第6章 専門的立場から

6-1 異業種からの提案

小生は製品の開発という領域で長年自動車を中心に仕事をしてまいりましたが、さらに製品の開発一般に視点を広げ、主に品質問題の未然防止という領域で仕事をしております。この海洋・港湾構造物設計士会とお付き合いは、「品質問題の未然防止」についてお話をさせていただいたことから始まりました（2019年）。皆様の専門的領域は自動車よりはるかに、考えなければならぬ事象の幅（津波、高潮等）が広く、必要な耐用年数も長く、皆様のお事にどれだけお役に立てていただけるか心配でした。その後、いろいろな場でお話を聞かせていただく機会をいただき、むしろ小生の方が、新しい目を開かせていただいたことが多かった様に思います。そして、お互いに共通する領域があるのだと気づきました。

機械を製造するサプライチェーンを、自動車のように直接お客様に製品を提供している業界（仮にA型と呼びます）、そこから詳細な仕様を与えられてシステムを提供する業界（M型）、さらにそこに基本的な要素（例えば材料）を提供する業界（Z型）に分けて考えると、それぞれの仕事の特徴がよくわかります。

皆様の仕事でいえば、今までA型の領域は（自ら製品を作っているわけではありませんが）発注者である国や地方が担ってくれていて、その要求に従って皆様は設計を行っていた（M型）のですが、2007年以来、皆様がA型の立場を担わなければならなくなった、いや担えるようなチャンスが巡ってきた、それが「狭義の設計から広義の設計へ」というスローガンではないかと考えます。

A型の会社とM型の会社の大きな違いはお客さまの捉え方です。A型の会社にとってお客様は直接製品を使ったださるお客様で、お客様の期待を満たすことが開発の究極の目的になります。一方、M型の会社にとってお客様は仕様を与える客先であり、その先にいるお客様は考えていない会社が多いのです。そのような会社に「もっと真のお客様を知ろう」というと、大概「もっと技術を知ることが大切なのです」と言います。元A型の会社の人間が「もっと真のお客様を知ろう」というのは、A型の会社の責任放棄という人もいます。

さて、この状況を皆様の2007年「性能規定化」の変化に当てはめると、まさに同じような状況にあったのではないかと思います。A型のビジネスと担うということは、もちろん、性能を満たすための技術を高めることは大切ですが、同時にその背景となる、お客様の期待（機能）にアプローチするチャンスを与えられたと解釈して良いのではないかと思います。

このようなことを実践するときに大切になることを小生はGD³（ジーディーキューブ）という3つの言葉で表しています。Good Design, Good Discussion, Good Dissectionの3つです。

Good Designは基本的に良い設計（ロバストな設計）をするということですが、それと同時に、実績のある設計との差（リスク）に注目して設計を進めることです。

Good Discussionは徹底的に議論することで、このためには前工程、

後工程、関係者間で対等な立場を成立させて、議論ができなければなりません。設計の立場で言うなら、専門家ではないお客様や、後工程の人々と対等な立場で接することが大切です。

Good Dissectionは徹底的に事実（モノ、図面等）を観察することです。実はこれが一番できているようで、できていない項目です。事実をよく見ないで、イメージで議論をしてしまう人が多くなっています。シミュレーションを駆使することはよいことですが、結果の一つの数値だけで判断をしてしまう等です。

実はGood Discussion（弛緩すること）とGood Dissection（集中すること）は、発想（気づき）を高める要件で、同時に成立させなければなりません。いろいろな会議体を通して、プロセスでの問題を防ぐ工夫が行われていますが、常にこの3条件を成立させることが大切な要件になります。さらに、日頃の設計の現場でもこの3条件をいかに成立させるかを工夫し、発見が仕事の中心にある職場を実現されることを期待しております。

ぜひ、設計士会の皆さんには、この「広義の設計へ」の改革をリーダーとなって推進されることを、異業種の一人として願っている次第です。

（執筆者：吉村 達彦）

6-2 港湾の高機能化に向けて

6-2-1 はじめに

港湾は物流機能の中心として非常に重要な施設であるが、その重要性が再認識され、港湾施設が急激に整備され始めたのは高度経済成長期開始の1956年からである。我が国は産業に必要な天然資源が乏しく、諸外国から輸入せざるを得ない状況にあった。我が国経済の発展のために港湾が隣接する臨海部に埋立地を造成し、大規模生産施設を立地することが行われた。臨海部における生産物品の拡大と共に、港湾の新設や規模の拡充が行われたが、1973年の石油ショック以降、安定経済成長へと移った。安定経済成長期においても港湾における円滑な物流の推進が求められ、それに対する港湾の高機能化として、港内静穏度の確保が検討された。また、1959年には伊勢湾台風が発生し、これによって起こされた高潮で名古屋港は大被害を被った。その2年後には第2室戸台風が大阪湾を襲ったが、2年前の伊勢湾台風での経験から人命が失われることはなかった。更に、1960年には南米チリー沖で起きた津波が太平洋を横断して日本に襲来し、太平洋沿岸の各地に被害をもたらした。高潮や津波による災害から港湾を護る方策について検討され、防災対策として実施された。しかしながら、2011年に発生した東日本大震災における未曾有の大津波で防災対策に対する反省が加えられた。一方、港湾は古くは人流と物流の場であったが、高度経済成長期を通して物流が拡大し、主流となった。そのこともあって、港湾の水質環境が悪化したことに対する反省と共に、港湾に人々の賑わいの場を取り戻そうとする動きが出て、それに対応して港湾施設の親水性化が行われた。

港湾の高機能化を推進するために、行われてきた施策について述べたが、それらの施策の中には順調に進んだものもあれば、中途半端で終わるものもある。これらの施策をもう少し詳しく検討することによってうまくいった要因、また中途半端になった要因について検討してみたい。そして、現在抱えている高機能化の問題について調べ、それを達成されるための方策について検討してみたい。

6-2-2 過去の高機能化の課題

(1) 港内静穏度の機能

港内に係留している船舶が荷役を円滑に行うためには船舶が港内波によって大きく動揺しないことが基本になる。そのためには防波堤を適切に配置して港外波浪の進入を軽減することが重要であるが、そのためには、港内波高が適切に算定できなくてはならない。1956～1973年の高度経済成長の時代には港内波高を適切に算定する手法がなく、水理模型実験によって直接波高を算定し、防波堤の配置を決めていた。1975年以降になると、入射波を実際の海の波に近い多方向不規則波として、港内波高が計算できる手法が提案され、その手法を用いて港内の静穏度を算定することが一般的に行われるようになった¹⁾。図6-2-1はこの方法で計算された秋田港内の波高比分布である。

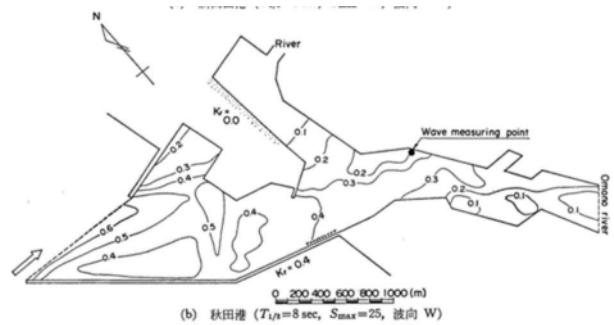


図 6-2-1 秋田港内の波高比分布

有義波周期が5～25秒程度の風波とうねりから成る通常波浪の有義波高が岸壁付近で50cm以下になる場合、このように波高の小さい波は荷役に支障を与えないと考えられた。そこで、岸壁前面の波高が50cm以下になる年間の割合を静穏度として調べることが行われ始めた。当初は、年間95%の静穏度が確保できればよいであろうと、それを満足するように防波堤の配置等が検討された。当時、大型船舶が満載で入港すると、荷役に平均で3日間程度掛かっていたことから、静穏度が95%の場合、大型船舶が3日間係留荷役すると、どの程度の確率で荷役が中断されることになるか計算された。その結果、荷役中断遭遇確率は14.3%になった。14.3%と言うことは、ランダムに船舶が入港すると、7隻当りに1隻は荷役中断が起きることになる。これは少し頻度が高い、静穏度を上げる必要があると考えられた。静穏度を97.5%にすると、荷役中断遭遇確率は7.3%となり、14隻当りに1隻が荷役中断することとなった。この程度なら許容できるとなって、以降、港内静穏度を97.5%に保つこととなった。この数値は後に技術基準にも書き込まれた。

港内静穏度を97.5%に保つことは防波堤の長さや配置だけの操作では容易でなく、特に、反射率の高い直立岸壁で囲まれているような海域では困難であった。そこで、このような港内では一部の岸壁を直立の消波構造にすることが考えられ、最初は縦スリット式ケーソンが消波岸壁として設置された。そして、港内静穏度を97.5%に維持するためには、消波構造の岸壁の設置が重要になり、直立消波岸壁の需要が高くなってくると、多くの消波ブロック製作会社が各社独自の直立消波ブロックを提案するようになって今日に至っている²⁾。図6-2-2はその中の1例を示したものである。

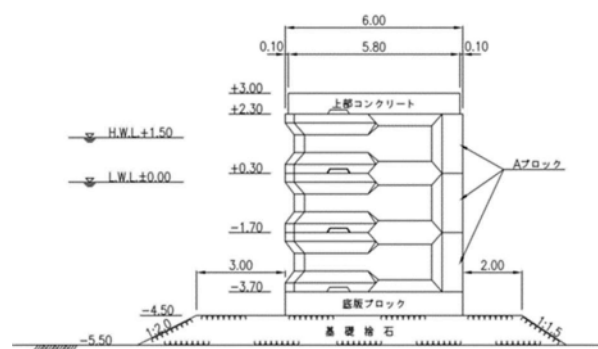


図 6-2-2 直立消波ブロックの例

上記のような対応によって通常波浪による荷役障害は大幅に低減することができるようになったが、近年、大型船舶が大きく、ゆっくりした平面運動を行うことによる荷役障害が多く報告されるようになってきている。この原因としては、係留索は従来のままで船体だけが大型化したために、ゆっくりした変動外力に同調するようになったためだと考えられている。ゆっくりした変動外力は通常波浪より周期の長い長周期波によって起こされる。このような長周期波としてよく知られているのは、長崎のあびきや富山湾の寄り回り波、通常の海岸でのサービートがある。津波も長周期波であるが、まれにしか起きないのでこれは除く。

あびき³⁾は春先に起きる長周期波で、低気圧で持ち上げられた海面が低気圧の消滅と共に、自由波となって伝播し、大陸棚等で増幅、湾に入って更に増幅して、波高が1.5m以上にもなり、船舶の転覆や係留物の流出、家屋の浸水等の被害が起きる場合がある。寄り回り波は冬期気圧配置における強風で北海道西側海域で発生した風波が伝播減衰しながら単一方向の不規則波のようになって富山湾に侵入する⁴⁾。富山湾にはあいがめと呼ばれる多くの海底谷が存在し、谷と谷の間で大きく屈折・浅水変形を起こして部分的に非常に大きな波高になって、沿岸に大きな被害を起こす。2008年2月に起きた寄り回り波は $H_{1/3}=9\text{m}$ 、 $T_{1/3}=16\text{s}$ であるから、うねり性の波ではあるが、長周期波とは言えない。海の波は不規則波であるために波群も不規則に変動し、高い波群ではラディエーション応力は強くなり、平均水位は低下する。平均水位のゆっくりした変化はセットダウン波として波群に拘束されて進行するが、防波堤による回折や浅瀬における砕波によって波高が急激に変化すると、平均海面のゆっくりした変動は波群から解放されて、長周期の自由波として進行するようになる⁵⁾。防波堤で回折された長周期波は港内に侵入する。砕波によって起こされた長周期波が周期1分から数分のサービートになる。図6-2-3は観測されたサービート(点線)を示している。寄り回り波は長周期波とは呼べないが、更に遠くで発生した波が伝播してくると、周期は更に長くなり、長周期と呼べるようになるであろう。このように長周期波と言ってもいろいろな原因で起きた波があり、通常波のように方向別発生頻度分布は明確になっていない。特に、大型船舶は波高の小さい長周期波でも荷役に支障が起きるような動揺を示すので、特に慎重に検討することが重要になる。これについては3章において述べる。

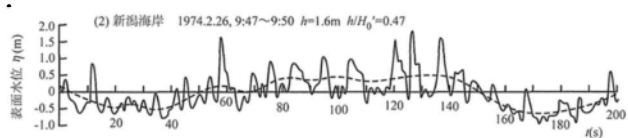


図 6-2-3 サービートの観測例

(2) 高潮や津波に対する防災機能

1945年の終戦から1960年の15年間に5年に1回ぐらいの割合で高潮による災害を受けてきたが、恒久的な高潮対策が立てられないでいた。高度経済成長を支えるためには地下水のくみ上げを全面禁止することができなかったために、防潮堤を建設しても地下水くみ上げによる地盤沈下で

防潮堤の天端が下がって、防災効果が薄れた。そのような中で、1959年に伊勢湾台風が来襲し、名古屋港が高潮による大災害を被った。更に2年後、第2室戸台風が大阪湾を襲い、高潮による大浸水災害を被った。そこで、対策対象湾にとって最悪の台風コースに伊勢湾台風を走らせ、それによって生じる高潮と高波を防潮堤等の設計条件にすると共に、地下水くみ上げの全面禁止を採り入れた高潮恒久対策が策定された⁶⁾。伊勢湾では名古屋港港口部に高潮防波堤を建設して、高潮の水位上昇3.5mを0.5m低減して、3.0mにする計画が策定された。高潮防波堤は単に高潮を低減するだけでなく、高潮と共に来襲する高波の低減にも寄与する効果がある。図6-2-4は名古屋港高潮防波堤の位置を示している。大阪湾においては室戸台風コースに伊勢湾台風を走らせて求めた高潮3.0mとそのときの高波を用いて防潮堤等を設計することになっている。



図 6-2-4 名古屋港高潮防波堤の位置

津波は近地津波だけだと平均的に10年に1回来襲するが、外国で発生した遠地津波を含めると、7、8年に1回来襲することになる。これは津波がかなりの頻度で来襲することを意味しており、津波対策も緊急な課題であった。1960年にチリー沖で発生した津波が太平洋を横断して、1日掛けて日本に到着し、東北太平洋沿岸、特に大船渡湾で大きな災害になった。これを契機として、湾口部に防波堤を建設して津波を防護することが考えられた。

湾内水の固有振動周期と津波の周期が近いときに共振現象を起こし湾奥での津波が高くなる。チリー地震津波は遠地津波のために津波の周期は1時間程度になり、周期の長い細長い湾で増幅されている。湾口部に防波堤を建設してもハーバーパラドクスのように共振が更に増幅されないか心配になるが、災害を起こすような津波の場合、入射津波は数mの高さになるため、防波堤開口部で流速が非常に速くなり、大きなエネルギー損失が起きるので、防波堤がない場合より湾内の津波はかなり小さくなるのが分かった⁷⁾。図6-2-5は1968年十勝沖地震津波において大船渡湾口津波防波堤の津波低減効果を調べたものである⁸⁾。これによって、開口部におけるエネルギー損失水頭 $fu^2/2g$ の損失係数を $f=1.5$ にすればよいことがわかった。

このように津波防波堤の効果が明らかになったことや防潮堤で防御しようとすると湾奥部周辺を長距離に渡って防潮堤を建設しなければならず、費用も高額になることもあって、津波防波堤の建設が進められた。そして、岩手県の釜石湾や高知県の須崎湾、更に徳島県において津波防波堤が建設されてきた。設計条件としては、対象の湾に既往最大の災害を起こした

津波が対象となったが、津波波力はそれほど大きくなく、そのため、防波堤の設計に用いる波力としては、50年確率波浪による波力が用いられることが多かった。

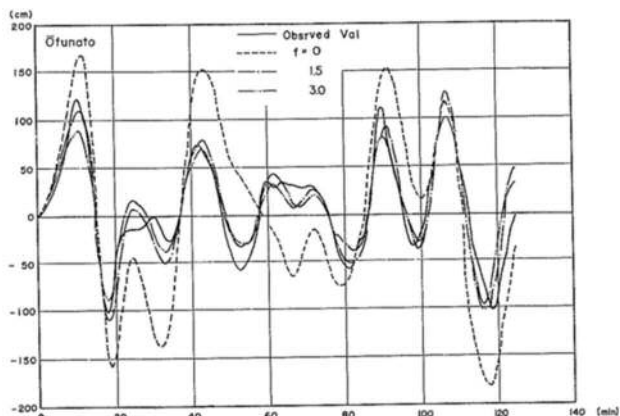


図 6-2-5 1968 年十勝沖地震津波による大船度湾津波
防波堤の津波低減効果の立証

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震 (M=9.0) によって発生した津波は東北から関東までの太平洋沿岸に大きな被害をもたらした⁹⁾。津波は10mを超える高さで、津波防波堤を始めとした多くの防波堤が被災した。被災の大きな原因は、津波が防波堤を越流することによって、背後の基礎マウンドが洗掘され、基礎が不安定になって転倒したことである。防波堤の天端は十分な高さがあり、津波が防波堤を越流することはあり得ないとして、そのような現象は想定していなかった。大船度湾の津波防波堤のように抵抗力が小さく、津波で洗い流され、喪失するものもあった。東北地方に建設した津波防波堤は全て大被害を受け、背後地域はそれによって大災害を被った。また、八戸港や相馬港においては通常の防波堤も大きな被害を受け、港内に船舶が係留できないために災害後の復興において大きな支障となった。

東北地方太平洋沖地震のような地震の発生確率は1,000年に1回と言われており、このように発生確率の低い地震津波に対応できる防波堤を建設すると膨大な費用が掛かる。そこで、従来の設計津波 (再現期間100~150年) をレベル1津波として、この津波に対しては完全に防御できるようにする。そして再現期間1,000年の最大クラスの津波をレベル2津波として、この津波に対しては防波堤の天端を超えて越流することは許容するが、防波堤が倒壊ないように補強する。つまり、防波堤に粘り強さを付加して、倒壊を防ぐようにする。粘り強さ対策としてどのようなものがあるか、検討が行われてきた。

高潮についても、近年地球温暖化によって台風の規模が増大する傾向にあり、現在、伊勢湾台風を基本として設定している高潮・高波では十分でなくなる可能性がある。そこで伊勢湾台風を基本として設定している高潮をレベル1高潮とし、室戸台風を基本とした図6-2-6に示すようなシナリオ台風で発生する高潮をレベル2高潮として設定することが行われている¹⁰⁾。シナリオ台風の再現期間は図6-2-7に示すように1,000年と考

えられている。シナリオ台風だけではなく、過去の台風の発生確率や台風の移動中における中心気圧、移動速度、移動方向の変化の確率分布を元に、台風をシミュレートして、再現期間が1,000年に対応する巨大台風を推定する確率台風モデルを用いて、レベル2高潮を算定することも一つの方法である。

レベル2高潮や津波に対して防波堤が倒壊しないようにするための「粘り強さ」構造の付加については3章にて述べる。

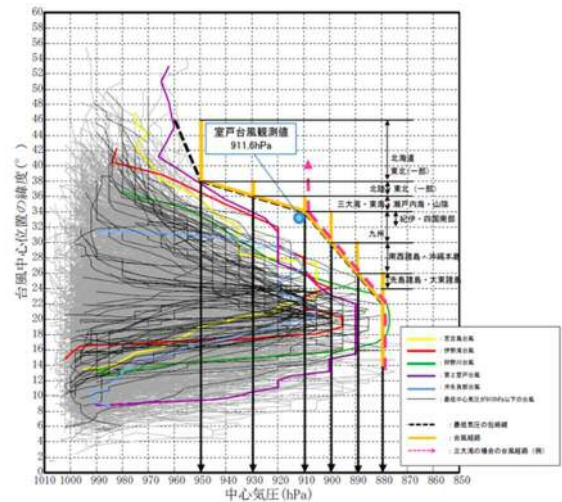


図 6-2-6 室戸台風を基本としたシナリオ台風モデル

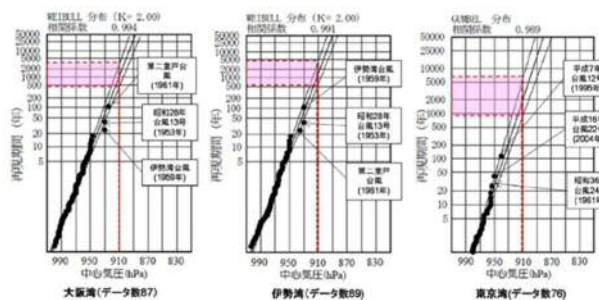


図 6-2-7 シナリオ台風の再現期間

(3) 港内環境と親水性機能

高度経済成長は20年近く続いて、1973年の石油ショック以降、安定経済成長へと移ったが、高度経済成長時代の積み残しの課題として港湾の水質環境があった。高度成長時代は物流量の増大への対応が緊急の課題であったために、それに対する対応に追われ、港湾環境への対応が遅れた。その結果として、港湾内及び港湾周辺の水質環境の悪化が大きな問題となっていた。

港内の汚れた水をきれいにする直接的な方法は、港外のきれいな水を港内に入れる海水交換である。潮汐による流れである程度の海水交換は港口部で可能であるが、港口部は防波堤で遮られており、十分な海水交換はできない。そこで、防波堤を港内と港外の両側に縦スリットを設けたケーソンで構築して、海水交換促進防波堤が提案された。図6-2-8(a),(b)は高松港に設置された海水交換型防波堤である。港内側の縦

スリットの空隙率は港外側のものより小さく、波が通風し難い構造になっている。高波が作用すると、波はケーソンの空洞内に閉じ込められ大きな衝撃的な圧縮空気圧を作用させる。これを防ぐために、図 6-2-8 (b) で分かるように背後の上部に空気抜き穴を設けている¹¹⁾。海水交換防波堤については多くの形状のものが提案されたが、現地に設置されたものは多くはない。この理由として、設置費用の割には効果が余り評価されなかったことが挙げられる。



(a) 港外側



(b) 港内側

図 6-2-8 高松港の海水交換型防波堤

港湾環境改善事業として干潟や藻場の再生事業も行われている。特に護岸の一部に干潟や藻場等を付加して、環境に配慮した生物共生型港湾の整備が行われている。図 6-2-9は秋田港で取り組まれている生物共生型護岸の整備である。その他に、北九州港や石垣港でも行われている。石垣港ではサンゴの移植が試みられている。釧路港においては図 6-2-10 に示すように島防波堤の背後に浚渫土砂を活用して、藻場を造成し、環境改善を目指している。名古屋港では航路浚渫土砂で干潟を埋立地の前面に創り、生物共生型港湾を目指したが、干潟には多くの野鳥が集まることから近くの鯉や金魚の養殖業者から野鳥が養殖場の方にも飛んでくるようになるので困るとの苦情が出て、中止となった。

過去において港湾は人流と物流の場であったが、人流の場が港湾から

空港に移ると共に、港湾は物流だけの場になり、市民が港湾を利用することが少なくなった。これでよいのかとの反省もあり、港湾に賑わいの場を取り



図 6-2-9 秋田港における砂泥性と岩礫性藻場



図 6-2-10 釧路港における防波堤背後の盛土上の藻場造成

戻そうとする動きがあった。今まで立ち入りが禁止されていた防波堤を親水性化して、散策や釣り場として利用することが考えられた。図 6-2-11 は親水性防波堤として建設された和歌山マリーナシティー防波堤である。図 6-2-12 は親水性化され、市民の散策の場となっている高松港の防波堤である。これ以外にも非常に多くの港で防波堤や護岸が散策や釣り場として改造されている¹²⁾。非常に多くの港で防波堤が親水性化されたのは、高度経済成長で所得も増え、レクリエーションに時間やお金が投入できるようゆとりが出てきた国民の支持があったことが最大の要因だと考えられるが、防波堤の建設費の 2 割までは親水性化に使用してもよいとの財務省の認可があったことも大きい原因と考えられる。



図 6-2-11 和歌山マリーナシティー親水性防波堤



図 6-2-12 高松港親水性防波堤

6-2-3 高機能化への問題点

(1) 長周期波に対する港内静穏度機能

通常の波については、岸壁付近の波高が 50cm 以下になる静穏度が年間 97.5%を確保できるようにする条件は川副剛に護られてきている。通常波の場合、港内波浪は波の回折と反射の現象が主体で余り周期の影響を受けないが、周期 30 秒を超えるような長周期波の場合、港内の各区域が持っている水運動の固有周期に支配され、その固有周期に近い波が入射してくると、その区域でその波は副振動で増幅される可能性がある。また、大型船舶は通常波浪より波高の小さな波で荷役障害を起こすため、港内に入射するときは波高が小さくても港内で増幅されて、係留船舶を大きく動揺させて、荷役障害を起こす可能性がある。入射してくる長周期波の波高はそれほど大きいとは考えられないので、港内での副振動による長周期波の波高増幅を抑えることである。そのためには反射を抑えることが重要になる。反射を抑えるためには、長周期波の場合、空隙のある幅広の捨石堤を反射面の前面に設置することであるが、幅広であるために何処でもおけるわけではない。

まずは、港内に副振動によって増幅が起きる長周期波の周期を設定することである。そのためには、一様スペクトルから成る長周期波を入射させ、数値計算で港内の各地点のスペクトルを求め、入射波のスペクトルと比較してスペクトルが大きく増幅している周期があれば、その周期の波が副振動を起こしていると考えられる。副振動を起こす波の周期は 1 つだけとは限らないので注意が必要である。数値計算法としてはブシネスク方程式を用いた港内波高計算法等がある。消波堤の設置位置としては、波高が高くなっている防波堤の港内側や護岸の前面を考える。消波堤の設定が終わったら、消波堤を設置した状態で再度確認のための数値計算を行い、副振動による大きな波高増大がないことを確認する。

長周期波の場合は港湾の形状によって副振動の増大特性が異なるために、上述したような方法でないと静穏度が確保できないと考える。

(2) 粘り強さ機能

2011 年 3 月に東日本大震災が発生したことによって、津波をレベル 1 の設計津波とレベル 2 の最大クラスの津波とに分けて考えることになった。そして、レベル 2 津波から完全に防御できるような施設を建設するには膨大な費用が掛かるために、避難によって人命だけは護ろうとする施策である。防護施設の天端の高さ等の設計はレベル 1 津波で行い、レベル 2 津波の来襲時には津波の越流を許容するが、防護施設が転倒等で防護機能を失うと被害は急増するので、防護施設に「粘り強い」構造を付加して転倒等の被害を防ぐようにする方策が採り入れられた。

粘り強い構造としていろいろな構造が提案されている。図 6-2-13 は東日本大震災のときに壊滅的な被害を受けた相馬港沖防波堤の復旧断面を示している。このケーソンには 3 つの粘り強い機能が付加されている。① 新たなケーソン製作・設置に当たり、摩擦増大マット敷設による滑動抵抗力の強化である。摩擦増大マットを使用すると摩擦係数は 0.75~0.8 程度になり、捨石上に直接乗っている場合の 0.6 と比較して、1.2~1.3 倍に滑動抵抗力が増大することになる。② 港内側マウンド腹付工（盛石）による体力強化である。ケーソンの滑動変位に伴う受働抵抗力が滑動抵抗力の増大になる¹³⁾。技術基準では腹付工の高さはケーソン天端の 1/3 以上にすることになっている。③ 上部コンクリートの形状を工夫することで防波堤を越流する津波の流れを変え、捨石マウンドの洗掘を防止する。ケーソン上部工にパラベットを設けることで、越流流速を大きくして、マウンド上に落ちないようにしようとする試みである。

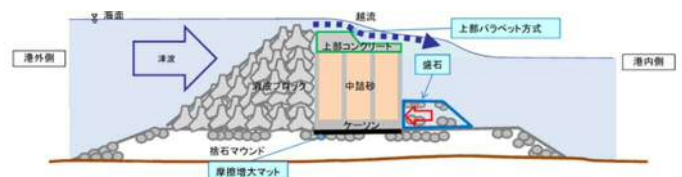


図 6-2-13 粘り強さが付加された相馬港沖防波堤の復旧断面

相馬港の防波堤の粘り強い構造化は典型的な粘り強さの付加であるが、どの程度抵抗力が増大したのか数値的な記述がないのが気になる。粘り強い構造化を行うのであれば、粘り強さを付加しただけではなく、どの程度強くなったのか、その数値を提示しないと、その粘り強さ機能を採用してもらえなくなるのではと危惧する。

防波堤の典型的な被災は越流津波による背後の捨石マウンドや地盤の洗掘でケーソンが不安定になり、ケーソンが後方へ転倒する被災である。防波堤の被災ではこれとは逆に前方へ転倒した防波堤もあった。それは女川港の防波堤である。被災の様子を図 6-2-14 に示している。第 1 波目の津波の押し波時には、津波は防波堤の開口部を通って、また、天端を越流して港内に入流していったが、港内側の水位も十分あり、防波堤が港内側に滑動することはなかった。次に、引き波になったとき港内にはまだ津波が残って水位があり、引き波によって防波堤前面の水位が大きく下がり、港内外の水位差による水圧で防波堤は港外側に転倒した。津波の場合、港内にも津波は進入し、港内の水位を大きく変化させる。条件によっては副振動を起こして、港内水位変化を増幅させるかも分からない。港外に津波

の山がきたときに港内が津波の谷の状態になっている可能性もあるし、その逆の場合もある。港内外の水位の変化状況を精度よく算定しないと、粘り強い機能を付加しても、十分な効果が出せず、堤体が被災する可能性がある。例えば、港内側の水位が下がった状態のときに津波の山が来襲すると、越流した津波は港内の水位が低いので非常に強い流れを起こし、腹付工の被覆材を洗い流して、腹付工を消失させる可能性がある。しかしながら、このような状況は数値計算でしか検討ができないが、まだ、そのような報告書を見たことがない。

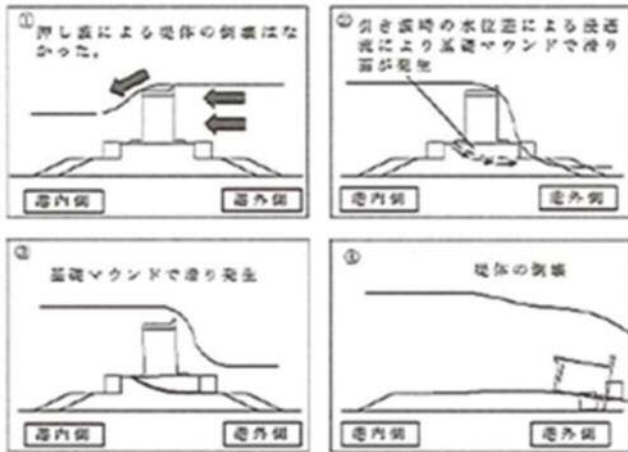


図 6-2-14 女川港津波防波堤の被災状況

地球の温暖化を考えると、将来的に台風の規模も増大することが想定され、高潮についても津波と同様に最大クラスの高潮を考えることとなり、室戸台風を基本とするシナリオ台風が提案された。図 2-1-7 に示したように、シナリオ台風の再現期間は 3 大湾においていずれも 1,000 年程度になる。レベル 1 高潮は従来から検討されている伊勢湾台風を基本とする台風による高潮である。高潮については粘り強い構造については独自のものはほとんど検討されていない。

今後どのような粘り強い構造が提案されても、粘り強さが数値で表されていないものは、今後使われなくなると思う。いくつかの粘り強さ機能を用いるのであれば、それぞれの粘り強さに対してどれだけ強くなるか数値で示し、その結果としてレベル 2 津波や高潮に対して転倒することはないことを示す必要がある。

(3) 港内環境機能

港湾構造物の親水性化については多くの港湾で積極的に行われたこともあって、これについては特に問題となる点はない。一方、港内環境については、特に海水交換については、防波堤を透過堤にする多くの案が提案されたが、アイデアの状態で終わった。この原因として、透過堤にすることによって、製作費が高価になることに見合う効果があるのかとの疑問があり、海水交換効果について定量的な評価が十分にできなかったことが考えられる。新しいものを提案するときはその効果を定量的に示す必要がある。

干潟や藻場を再生して港内環境を改善しようとする動きについてもそれ

をすることによって多様な生態が維持されるようになることは分かるものの、それに多くの予算を投入することには躊躇がある。その原因としては効果が出るまでに時間がかかることや定量的な効果が明確に示せないことが考えられる。地道で継続的な活動が必要である。

一方、沖縄の石垣港ではサンゴの養殖が試みられている。珊瑚礁と言えば沖縄と日本人皆が思っているために、サンゴを養殖して、増殖するといった活動は日本人皆から支持を受けるために定量的な効果を持に示さなくても問題はない。しかし、この活動が非常に長期にわたってくると、定量的な効果を示さないと支援は得られなくなると考えられる。

6-2-4 おわりに

1956 年から 1973 年の高度経済成長長期時代に臨海工業地帯として臨海部の開発と港湾の拡張が行われ、1973 年の石油ショック以降、低成長時代に突入したが、港湾の高機能化は進められた。円滑に進んだものもあれば、予定よりも進まないものもあつた。順調に進んだものとしては、通常波に対する 97.5%の静穏度対策や港湾構造物の親水性化がある。港湾静穏度の場合、静穏度を確保することによってどのような効果があるかが通常波浪に対して明確に示されたことが重要である。しかし、長周期波については長周期波の発生原因や頻度が明確になっていないこともあり、今後の成果を期待するものである。港湾構造物の親水性化については、その時代の要請も強く、財政的な裏付けがあつたことが大きい。

高潮や津波に対する防災対策については、湾口部における津波防波堤の建設は港内津波を大きく軽減することが大船度湾で検証された。さらに、津波防波堤によって港内を含め湾奥部の津波が低減するために、湾奥周辺の護岸の天端を高くする必要はなくなり、護岸の建設費の低減ができることが分かった。このこともあって、多くの津波防波堤が建設されたが、2011 年に東北地方太平洋沖地震による大津波が発生し、津波防波堤も大被害を受けた。津波防波堤はそれまでの既往最大の津波を用いて設計されていたが、2011 年の津波は設計津波の 2 倍以上の高さになり、想定していない防波堤の越流が起こり、大災害となった。そこで、これ以降の津波防波堤は今までは同じように設計するが、巨大な津波に対しても倒壊ないように粘り強さ機能を付加することになった。現在、粘り強さに関していろいろな方策が検討されているが、その方策を用いることによってどれだけ粘り強くなるのか、それをきちんと定量的に示すことが非常に重要であり、それがないと津波防波堤の建設意欲がなくなってくる可能性がある。是非、定量化を願って欲しい。

参考文献

- 1) 高山知司・菊地台 (1978) : 港内波高分布の計算、第 25 回海岸工学講演会論文集、pp.103~107.
- 2) 柳生忠彦・湯坐美幸 (1980) : 直立消波ブロック式防波堤構造集覧、港湾技研資料、No.358、314p.
- 3) 高山知司・平石哲也 (1988) : 数値計算と現地観測による港内副振動特性の検討、港湾技研資料、No.636、70 p.

- 4) 田村 仁・川口浩二・藤木 峻 (2021) : 富山湾・寄り回り波の力学機構、港湾空港技術研究所報告、第 60 巻、第 1 号、pp.4~27.
- 5) 平石哲也・田所篤博・藤咲秀可 (1996) : 港湾で観測された長周期波の特性、港湾空港技術研究所報告、第 35 巻第 3 号、pp.3~36.
- 6) 高山知司 (2008) : 日本における沿岸災害の歴史 -高潮・高波災害を中心にして-、2008 年度 (44 回) 水工学に関する夏期研修会講義集, Bコース、pp.B-5 1~14.
- 7) 伊藤喜行・木原 力 (1968) : 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第 3 報) -模型実験との比較-、港湾技術研究所報告、第 7 巻、第 4 号、p.23~54.
- 8) 伊藤喜行・谷本勝利・木原 力 (1968) : 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第 4 報) -1968 十勝沖地震津波に対する大船度防波堤の効果-、港湾技術研究所報告、第 7 巻、第 4 号、p.55~84.
- 9) 高橋重雄他 (2011) : 2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報、港湾空港技術研究所資料、No.1231,200p.
- 10) 農林水産省農村振興局整備部防災課・水産庁漁港漁場整備部防災漁村課・国土交通省水管理・国土保全局河川環境課・海岸室・港湾局海岸・防災課 (2015) : 高潮浸水想定区域図作成の手引き、83P.
- 11) 間瀬 肇・高山知司・藤木繁男・國富將嗣・大谷 寛 (1997) : 親水化に伴う防波堤の耐波安定性に関する実験的研究、京都大学防災研究所年報、第 40 号、B-2、pp.461-472.
- 12) 八尋明彦 (2008) : 親水機能を有する海域構造物の設計の体系化に関する研究、港湾空港技術研究所資料、No.1188,70p.
- 13) 高橋英紀・佐々 真志・森川嘉之・渡部要一・高野大樹 (2015) : 津波に対するケーソン式防波堤マウンドと腹付工の安定性、港湾技術研究所報告、第 54 巻、第 2 号、p.1~30.

(執筆者 : 高山知司)

6-3 広義の設計について

本レポートの主題は、「広義の設計論」である。構造物の設計とは本来、「設計条件などの制約条件が設定された上で、構造物が設計供用期間にわたりその目的と機能を達成するために行う計画、建設、供用、廃止の各段階のマネジメントに関する作業」のことを指すものと考えており、要求性能の確保行為である性能照査は設計の中で一部の作業にしか過ぎない。この本来の設計を「広義の設計」として再定義しなければならなくなってしまうのは、「狭義の設計」である性能照査が設計技術者にとって過大な労力を割くような主要な作業項目になってしまったことがその背景にあると考えられる。

コンクリート構造物の設計において参照される土木学会・コンクリート標準示方書【設計編】は、その2002年制定版において一度だけコンクリート標準示方書【構造性能照査編】に名称が変更になったことがある。筆者はこの改訂作業に関与したが、ほとんど性能照査のことしか扱われていない示方書に「設計編」という名称を付すことはいかかかなのかという異論が唱えられた結果、「構造性能照査編」と名称を変えることでその性格を明らかにすることとなった。その直後の2007年制定版では、名称が再度「設計編」に戻り現在に至っている。これは、性能照査に関わる記述だけでなく、「構造計画」と称する性能照査の上流部分の作業（基本設計と言い換えてもよい）も記述の対象として新たに加えたためである。構造物のオーナーや設置者になり得ない学会が制定する示方書類は、性能照査技術の高度化や進歩に応じて改訂が行われているように、性能照査技術の構築と一般化がその主たる使命であると言える。一方、「広義の設計」に関する事項は、その学会が制定する示方書類の対象とはなりにくく、議論もほとんど行われていない。このようなことも一因となって、設計と性能照査がほぼ同義で扱われるようになってきたのではないかと推察することもできる。

構造物のライフサイクルにおいて、構造物は目的を果たすための役割としての機能を保持し、機能保持のための能力としての性能を確保することが求められる。したがって、構造物の設計において構造物に要求される「性能」やその水準を明確にすることは、設計という行為において構造物に必要な機能を保証するためであるとともに、設計の本質にかかわる重要な事項である。したがって、本レポートにも言及されているように、要求性能はあくまでも構造物の機能発揮のために必要な性能であることを今一度確認しておく必要がある。

話は変わるが、わが国には構造物に関する基本的な要求性能とその設定の原則、ならびに基幹となるべき設計方法が明確に盛り込まれている統一的な技術基準の包括設計規格（code for code writer）が存在しないという、構造物に関する規格の階層化における重大な欠陥がある。2002年に国土交通省が「土木・建築にかかる設計の基本」を制定し、包括設計規格を指向したが、内部文書の位置づけにとどまっており、一般にはほとんど周知されていない。そのため、残念ながら包括設計規格としては認知されていない。それから20年経過し、設計の考え方やその技術が発展したことを受けて、包括設計規格を再度策定するために、現在土木学会において「土木・建築構造物の設計の共通原則（仮称）」の作成を進

めている。そして、建築分野との協働を進めるために、土木学会と日本建築学会が連携したタスクフォースを設置し、この下に設計の基本WG（筆者が主査を仰せつかっている）を設置して、国家規格とするべき土木と建築の設計の共通原則を示す規格の策定のための検討を開始した。「土木・建築構造物の設計の共通原則（仮称）」では、構造物の目的－機能－性能のヒエラルキーを明確にし、「構造物の設置目的に応じて担うべき働きである機能を設定し、その機能の実現に寄与する性能（要求性能）が設計供用期間にわたり損なわれないことを適切な方法を用いて確認（性能評価）し、保証する」ことを規定している。また、設計供用期間を、「設計の前提として構造物が所定の機能を維持することを期待する期間」として新たに定義し、誤用される設計耐用期間との違いも明確にしている。要求性能については、「構造物の機能およびサステナビリティを保持するための能力として適切に選定されなければならない」とし、社会からのサステナビリティに対する要求を構造物の要求性能にブレイクダウンすることの流れについても言及している。このように、従来の設計において陽に扱われることの少なかった構造物の「機能」を明確に記述し、機能と性能との関わりについて規定している。このことは、本レポートで主張されている「広義の設計論」と方向性を同じくするものであると考えている。要求性能は、構造物の目的や機能に応じて適切な水準に設定されることになるが、その際に社会的に重要度の高い構造物では「危機耐性」への対応を行うことが必要であることも示している。つまり、緊急時における構造物の役割を踏まえ、冗長性や頑健性への対応を包括する対応を行うことの必要性にも言及している。危機耐性は要求性能として明示されないことが多く（そもそも設計で想定していない事象については性能照査できない）、構造物の機能の喪失が社会に及ぼす影響をリスクとして捉え、リスク管理の方法を設計の際に検討しておくことが必要であることに対応する。このように、危機耐性についても考慮しつつ構造物の機能に応じた要求性能の水準を明らかにすることが、設計技術者自身の設計目標を明確にし、社会とのコミュニケーションを円滑にすることにつながるものとなる。

上述のように、「広義の設計論」に応じて、設計に携わる技術者は、構造物の計画、建設、管理のすべての段階に関わることになる。つまり、構造物のライフサイクルマネジャーとしての役割が求められることになる。そして、構造物に必要な機能を明確にし、要求性能の満足度を適切な指標により判断し、工学的な価値基準を設定して最も合理的と考えられる設計解を選定する技術が常に求められることになる。これは、構造物の新設時だけでなく、供用時の維持管理における総合評価や、必要に応じて行う改良設計においても当てはまる。海洋・港湾構造物設計士が「広義の設計」の概念の下で、このような役割を十分に果たすことを切に期待している。

（執筆：横田 弘）

6-4 地盤改良技術の海外展開をめざして

明治以降、富国強兵のスローガンの下、官民一体となって工業化が押し進められ、工場施設、港湾施設、道路網や鉄道網などのインフラの整備が急速に進められた。当時、重力式の構造物を軟弱な地盤上に造る場合は、捨石で幅の大きいマウンドを先行させることで上部構造物の荷重を分散させる方法がとられている。戦前の軟弱地盤対策技術としては、置換工法、敷き粗朶・沈床による工法などが用いられているが大規模に活用された例はあまりなく、また多分に経験的な手法であった。戦後は、臨海工業地帯への重厚長大産業の誘導、高度成長期のインフラ整備として間断なく国土を襲う自然災害に対する防御施設などの建設プロジェクトが盛んに行われ、そして多くのプロジェクトが軟弱な地盤上で行わざるを得なかった。このことが急速な進歩を遂げた土質工学とあいまって、地盤改良技術を大いに発展させてきた。我が国では海外からの技術を輸入するよりは国内での開発を好む気風があり、産官学の協力の下、数多くの地盤改良技術が開発されてきている。当然、開発にあたっては試行錯誤の連続であったと思われるが、勤勉で技術に真摯に取り組む国民性でこれらを克服し、現在では数多くの軟弱地盤対策工法が実用に供され、対象とする土質条件、改良目的、構造物の種類と規模に応じて使い分けられている。特に、我が国では単に施工技術の開発だけでなく、設計、施工、施工管理も含めた総合的な技術開発が行われているのが特徴として挙げられる。

これらの技術には、我が国の品質への厳しい要求が反映され、精緻で洗練された施工機械・施工・施工管理が行われ、改良地盤の高い品質と機能性を発揮している。その一例として、2011年に発生した東日本大震災においても多くの改良地盤でほとんど地震被害が生じていないことを挙げる事ができる。また、改良地盤の長期特性に関しても、地道な長期管理と現場計測が行われ改良地盤が長期間にわたり所定の特性と機能を有していることが示されている。さらに、このように長期特性を地道に観察、測定し、実証を積み重ねていく姿勢は我が国の国民性であり、技術に対する真摯な姿勢は尊敬に値する。

さて、高度成長時代が終わり、大プロジェクトが数少なくなった現在、新規施設の建設よりは既存施設の耐震強化やレトロフィットなどが多くなり、それに伴った地盤改良技術が求められている。それに加えて環境面への配慮も求められ、環境にもやさしく安価で高品質な地盤改良技術の設計法、施工法、施工管理法が求められている。個々の要求は相反するものもあって技術開発には困難も多く、これまで以上の努力と多くの試行錯誤が必要と思われる。が、我が国の技術者なら解決していくものと期待し確信している。

地盤改良技術に求められる性能、機能と品質はそれぞれの国、地域の地盤条件や社会的条件・ニーズなどで決められる。我が国の地盤改良技術は非常に厳しい地盤条件や社会的条件の下で開発されてきたため、海外の技術と比較すると質・量ともに圧倒している。一方で、世界各国の要求性能などに比べ我が国の技術は高品質であり、残念ながら我が国の地盤改良技術はガラパゴス化しているようにも思われる。我が国の精緻で洗練された地盤改良技術は真の専門家にしか評価することはできず、残念

ながら海外では正当な評価を受けているとは言い難い。また、地盤条件や社会的条件、社会システムなどの違いから日本の改良技術の様な高品質な技術を必要としない場合も多い。例えば、北欧での深層混合処理工法は原地盤よりも少し良質の地盤を造成して、10 cm 程度の地盤沈下の抑制や低減をイメージしたもので、強固で高い耐震性を意図した我が国の工法とは大きく異なっている。そのため、設計法・施工機械・施工法・施工管理法なども大きく異なっている。また、鉄道を運行した状態での鉄道軌道の地下化や高層化とそのため切り返し工事は我が国ではしばしば行われ、そのための近接施工技術や地盤改良技術が発達している。しかし、海外では工事中は鉄道の運行を休止する場合も多く、このような精緻で神業のような工事そのものの需要は多くない。既設構造物の耐震補強に関しても、歴史的建造物などを除けば、近接施工工事の必要性を感じていないのではないかとと思われる。

我が国の地盤改良技術を輸出しようとする動きは多く見られる。しかし、日本の最先端の技術を輸出しようとするあまり、先方が期待する以上の性能や品質を自らに課し、結果として工事費が高額となる傾向にある。地盤改良技術は一種オーダーメイドの技術であり、先方の用途と改良目的、期待する機能と性能、社会的条件などに合った技術が求められている。国内向けと海外向けの技術を使い分ける設計、施工、施工管理技術が必要になると思われる。

さらに、韓国や中国などの海外施工業者との受注競争に打ち勝つには、地盤改良工事というパーツではなく、地盤改良技術に関する調査・設計・施工・施工管理を含めたパッケージとして売り込むことが必要と思われる。これまで海外での工事を見て、韓国や中国の地盤改良工法の機械や施工法は我が国の技術をベースに IT 技術なども導入しており一見ただけでは我が国の技術と遜色はない。しかし、施工困難な地盤に遭遇した場合や周辺地盤への悪影響が危惧される場合などへの対応については十分に対応出来ているとは感じられない。一方、我が国の技術は、設計、施工、施工管理も含めた総合的な技術であるために、このような不測の状況に対しても十分に対処できるもので、他国の追随を許さない技術である。我が国の総合的な技術を武器に海外展開を進められることを期待している。

(執筆者：北詰 昌樹)

おわりに 広義の設計への挑戦

「広義の設計のあり方」研修会が開始するきっかけとなったのが、2018年12月7日に開催された四者研究連携・協力協定式記念講演会で、筆者が行った講演中のメッセージ「狭義の設計から広義の設計へ、部分から全体へ」であった。

そこで述べたのは、インフラは時間の関数であるという捉え方であり Infrastructure = Function (時間) = F (21世紀) = F(全球化、技術革新、人口動態) ということが議論の出発点になっている。その上で還元主義に基づく科学技術の進展は必然的に専門分野の細分化を伴い、技術分野が過度に細分された現在、インフラの計画・設計・施工・維持・更新にはプロジェクトの各段階での情報共有と全体を見渡す指揮者が不可欠であるとの認識である。一方で、筆者には2013年に発表された The future of employment : how susceptible are jobs to computerization? という論文が頭にあった。急速に進むコンピュータの発達により消滅する職業は多岐にわたり、特にルールが規定され当て嵌め作業の多い職種の淘汰が進むという指摘である。

そのような時に、土木学会開催の国際技術基準のセミナーで著名な建設コンサルタント会社の方が、「設計例がないから設計実務に使えない。」という筆者には仰天の発言に出会った。発言者の指摘は「設計実務とは計算例に沿った“当て嵌め”であって、国が定める技術基準に「結果責任」がある。」という発言の意図が感じられた。もしそれが我が国の建設コンサルタントの現実の姿であるならば、まさに建設コンサルタントは The future of employment で指摘された淘汰される職業の典型的な類型ではないか？英国の建設コンサルタントの社長を務める知人なら、設計基準は料理本ではないことは百も承知で、新たなプロジェクトに取り掛かるとまず関連の研究論文と類似のケーススタディを集め、それらを読破して新たな挑戦に取り組んでいくであろう。建設コンサルタントの仕事は、まだ世の中に実在しない有意なインフラの構想を描き、それを具現化していく夢のある創造的な仕事ではなかったのか？

驚きと同時に、海洋・港湾構造物設計士の資格制度発足から長年資格制度監理委員会委員長を務めて来た筆者が描いていた、難関な試験を合格してきた経験豊富な優秀な技術者集団である海洋・港湾構造物設計士会への期待との間に大きな落差を感じた。

3年間に亘っての数回の研修会を通じて、設計士のメンバーは海洋・港湾構造物設計以外の諸分野、すなわち機械工学、建築学、経営学、経営管理学、システム工学分野の各碩学から貴重な情報・視点と思考方法を学んだ。その結果、設計士会メンバーは、広義の設計の議論が開始された時と比べものにならないくらい広義で多角的な視点を獲得したはずである。その成果が、広義の設計の議論の最終とりまとめの冊子に十分反映されている。筆者の海洋・港湾構造物設計士会への期待は間違っていないかった。

最終とりまとめの内容を要約すれば「機能設計」と「価値の創造」の二つのキーワードに集約されるであろう。この二つのキーワードを用いた現行の

港湾構造物の設計体系の改訂の必要性、そして海洋・港湾構造物設計士としての本来の使命と役割の姿が浮かび上がってきたように筆者には思われる。

広義の設計を実現するための社会システムの具現化には、必然的に海洋・港湾構造物設計士の役割の分野と責任の拡大が伴う。このことが再び職業の細分化につながるようには注意する必要がある。確かに、広義の設計が要求されるすべての事項を一技術者が担うことは現実的ではない。しかし、広義の設計の必要性を認識しそれに向かった志向を持った技術者集団が育成されていけば、おのずとチームプレーとして広義の設計の理想が実現できるであろうし、社会システムの変革へと波及していくであろう。その流れが着実に動き出せば、2018年の筆者のメッセージは一つの役割を果たしたことになるであろう。

(執筆：日下部 治)

参考資料 「狭義の設計から広義の設計へ」研修会開催の経緯

研修会	基調講演	講演及びパネルディスカッション
<p>★4 者（国総研、港空研、沿岸センター、設計士会）研究連携・協力協定式記念講演会</p> <p>: 日時 2018 年 12 月 7 日</p> <p>: 主催 設計士会</p> <p>後援 国総研 港空研 沿岸センター</p> <p>: 会場 国総研会議室</p>	<p>◆日下部 治</p> <p>設計士会顧問 東京工業大学 名誉教授</p> <p>: テーマ「設計士に期待すること（ビデオ講演）」</p> <p>メッセージ: 「狭義の設計から広義の設計へ、部分から全体へ」</p>	<p>◆講演 1「港湾分野における i-Construction の現状」:</p> <p>井山 繁 国総研 港湾施工システム・保全研究室長</p> <p>◆講演 2「栈橋上部工点検用 ROV とその運用方法の提案」:</p> <p>田中 敏成 港空研 i-Tactics 研究 G 主任研究官</p> <p>◆講演 3「貯蔵船係留用防舷材の供用限界年数等に関する検討」:</p> <p>大村 厚夫 沿岸センター 調査役</p> <p>◆講演 4「陸上工事関連の CIM の現状」:</p> <p>杉浦 伸哉 (株) 大林組</p> <p>◆講演 5「海洋・港湾工事関連の CIM の現状」:</p> <p>中嶋 道雄 東洋建設 (株)</p>
<p>★第 8 回研修会</p> <p>「狭義の設計から広義の設計へ その 1」</p> <p>: 日時 2019 年 6 月 26 日</p> <p>: 主催 設計士会</p> <p>後援 国総研 港空研 沿岸センター</p> <p>: 会場 TKP 虎ノ門駅前カンファレンスセンター</p>	<p>◆日下部 治</p> <p>: テーマ「設計士に期待すること」</p>	<p>◆テーマ: 「狭義の設計から広義の設計へ、部分から全体へ」</p> <p>◆コーディネーター 日下部 治</p> <p>◆パネリスト 宮田 正史</p> <p>: 国総研 港湾施設研究室長</p> <p>下迫 健一郎</p> <p>: 港空研 研究監・特別研究主幹</p> <p>守屋 正平</p> <p>: 沿岸センター業務執行理事</p> <p>川嶋 憲</p> <p>: 設計士会理事/(株)日本港湾コンサルト</p>
<p>★第 9 回研修会</p> <p>「狭義の設計から広義の設計へ その 2」</p> <p>: 日時 2019 年 10 月 29 日</p> <p>: 主催 設計士会</p> <p>後援 国総研 港空研 沿岸センター</p> <p>: 会場 TKP ガーデンシティ PREMIUM 仙台西口カンファレンスルーム 8C</p>	<p>◆吉村 達彦</p> <p>: G D 3 コンサルティング代表</p> <p>: テーマ「問題発見と未然防止 / 製造業（自動車関連）の視点から」</p>	<p>◆テーマ: 「施工から見た設計」</p> <p>◆コーディネーター 日下部 治</p> <p>◆コメントーター 風間 基樹</p> <p>: 東北大学大学院土木工学専攻 教授</p> <p>宮田 正史</p> <p>◆パネリスト 井山 繁</p> <p>: 国総研 港湾施工システム・保全研究室長</p> <p>水谷 崇亮</p> <p>: 港空研 地盤研究領域基礎工研究グループ長</p> <p>若崎 正光</p> <p>: 前沿センター東北事務所長/日本港湾コンサルト (株)</p> <p>中原 知洋</p> <p>: 設計士会理事/五洋建設(株)</p>

研修会	基調講演	講演及びパネルディスカッション
<p>★第10回研修会 「狭義の設計から広義の設計へ その3」 ：日時 2020年7月7日 ：主催 設計士会 後援 国総研 港空研 沿岸センター ：会場 WEB セミナー</p>	<p>◆藤本 隆宏 ：東京大学大学院経済学研究科 教授 ：テーマ「設計論に立脚した広義のものづくり 経営学」</p>	<p>◆テーマ：「地盤調査から設計へ」 ◆問題提起： 岩崎 公俊 ：全地連理事、国土地盤情報センター理事 ：地盤情報センター 会長 ◆コーディネーター 日下部 治 ◆コメントーター 宮田 正史 ◆パネリスト 岩崎 公俊 渡部 要一 ：北海道大学 大学院教授 山崎 浩之 ：沿岸センター 審議役 濱地 克也 ：設計士会理事/(株)大林組</p>
<p>★第11回研修会 「狭義の設計から広義の設計へ その4」 ：2020年10月28日 ：主催 設計士会 後援 国総研 港空研 沿岸センター ：会場 WEB セミナー</p>	<p>◆高山 知司 ：京都大学 名誉教授 ：テーマ「沿岸防災設計 特に高潮・高波について」</p>	<p>◆テーマ：「波浪調査から設計へ」 ◆コーディネーター 日下部 治 ◆コメントーター 高山 知司 宮田 正史 ：国総研 港湾施設研究室長 ◆パネリスト 高橋 康弘 ：関東地整 横浜港湾空港技術調査事務所長 鈴木 高二朗 ：港空研 海洋研究領域耐波研究グループ長 鈴木 善光 ：沿岸技術研究センター 調査役 石本 健治 ：設計士会理事/(株)エコー</p>

研修会	基調講演	講演及びパネルディスカッション
<p>★第12回研修会 「狭義の設計から広義の設計へ その5」 :日時 2021年7月15日 :主催 設計士会 :会場 WEBセミナー</p>	<p>◆八尋 明彦 :設計士会副会長/日本工営(株) :テーマ「今後の港湾計画及び技術基準 のあり方/広義の設計論を踏まえて」</p>	<p>◆テーマ:「今後の港湾計画及び技術基準のあり方/広義 の設計論を踏まえて」 ◆コーディネーター: 日下部 治 ◆コメントーター : 吉村 達彦 :設計士会顧問 トヨタ自動車(株) 元シニア・スタッフ・エンジニア 高山 知司 :設計士会顧問 京都大学 名誉教授 北詰 昌樹 :設計士会顧問 東京工業大学 名誉教授 ◆パネリスト: 設計士会理事 11名</p>
<p>★第13回研修会 「狭義の設計から広義の設計へ その6」 :日時 2021年10月7日 :主催 設計士会 :会場 WEBセミナー</p>	<p>◆小林 潔司 :京都大学 経営管理大学院 特任教授 :テーマ「プラットフォームとしてのインフラ価値の 創造」 ◆増田 久和 :国土交通省総合政策局社会資本整備政 策課社会資本整備戦略推進官 :テーマ「第5次社会資本整備重点計 画における新たな価値の創造」</p>	<p>◆テーマ:「モノづくりと価値の創造」 ◆コーディネーター 日下部 治 ◆コメントーター 小林 潔司 ◆パネリスト 野城 智也 :東京大学 生産技術研究所教授 吉村 達彦 山本 修司 :設計士会会長/沿岸センター</p>
<p>★第14回研修会 / 創立10周年記念シンポジウム 「狭義の設計から広義の設計へ その7」 :日時 2022年7月28日 :主催 設計士会 共催 沿岸センター 後援 国総研 港空研 :会場 沿岸センター Webセミナー</p>	<p>◆磯部 雅彦 :高知工科大学 学長 :テーマ「目的の多様化と変動化に対応 する海洋・港湾構造物の設計に向けて」 ◆八尋 明彦 :政策提言:「今後の港湾計画及び技 術基準のあり方/広義の設計論を踏まえ て」</p>	<p>◆テーマ:「政策提言の社会実装に向けて」 ◆コーディネーター 日下部 治 ◆コメントーター 磯部 雅彦 山本 修司 ◆パネリスト 池田 龍彦 :国際港湾交流協会顧問 横浜 国立大学名誉教授 横田 弘 :設計士会顧問 北海道大学名誉 教授 吉村 達彦 北詰 昌樹 中原 知洋 :設計士会副会長 五洋建設(株)</p>

研修会	基調講演	講演及びパネルディスカッション
<p>★第15回 研修会 「狭義の設計から広義の設計へその8」</p> <p>:日時：2022年11月21日</p> <p>:主催：設計士会</p> <p>・共催：沿岸センター</p> <p>・会場：沿岸センター Webセミナー</p>	<p>冊子「広義の設計論に立脚した港湾整備／次世代の技術基準のあり方」（中間とりまとめ）会員への意見照会に向けた事前説明会</p> <p>・第1章 昨今の設計分野を取り巻く状況と問題意識 設計士会 理事 11名</p> <p>・第2章 今、港湾の整備に求められているもの 八尋 明彦</p> <p>・第3章 「広義の設計論」に立脚した港湾整備のあり方 八尋 明彦</p> <p>・第4章 当面講ずべき具体的な提案と行動 設計士会 理事 7名</p> <p>・第5章 事例研究 設計士会 理事 3名</p> <p>・講評 日下部 治</p>	
<p>★第16回 研修会 「狭義の設計から広義の設計へその9」</p> <p>・日時：2023年7月24日</p> <p>・主催：設計士会</p> <p>・共催：沿岸センター</p> <p>・後援：国総研 港空研</p> <p>・会場：沿岸センター Webセミナー</p>	<p>冊子「広義の設計論に立脚した今後の港湾整備／次世代の技術基準のあり方」会員への報告会</p> <p>冒頭挨拶 日下部 治 概要報告 山本 修司</p>	<p>◆テーマ：「広義の設計論」の実装に向けて</p> <p>◆コーディネーター 八尋 明彦</p> <p>◆コメントーター 日下部 治 山本 修司</p> <p>◆パネラー 高山 知司 横田 弘 岩波 光保 ：東京工業大学 大学院教授 下迫 健一郎 ：沿岸センター審議役 中嶋 道雄 ：設計士会 次世代設計委員会委員長 パシフィックコンサルタンツ(株)</p>

参考資料

1. 日下部顧問の講演「狭義の設計から広義の設計、

部分から全体へ」

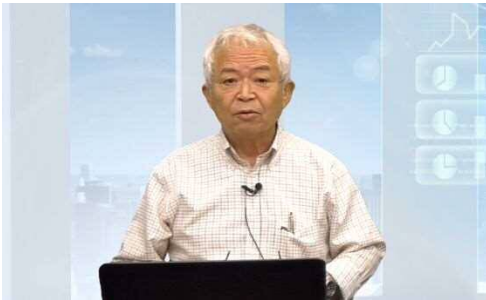


写真1 日下部 治氏

【略歴】

海洋・港湾構造物設計士会 顧問 東京工業大学名誉教授

- ・東京都出身
- ・東京工業大学助手、宇都宮大学助教授、広島大学教授、東京工業大学大学院教授、茨城工業専門学校校長を経て、現職。
- ・東工大中瀬明男先生のもとで、サンゴ礫混じり土の研究、奄美大島名瀬港の設計に関与。
- ・地盤工学会および土木学会で性能設計に関する委員会委員長を務める。
- ・沿岸技術研究センターの2つの資格制度、海洋・港湾構造物維持管理士、同設計士制度に立ち上げから委員長として参画。
- ・長く港湾空港技術研究所の外部評価委員会委員を務め、現在同委員会委員長。

1-1 自己紹介

私のバックグラウンドは、学校にいた経験しかない。ただ、港湾関係で実務に近い経験というと、当時港湾技術研究所の部長だった中瀬明男先生が東工大にお見えになって、最初の助手をさせていただいた頃。中瀬先生は中間土の研究をされていて、当時返還される沖縄の港湾案件で、サンゴ礫混じりについて勉強をさせていただいた。その成果を使って奄美大島の名瀬港の設計をやった。米軍時代の150mの橋と同じ長さの構造物を設計するのに、地盤や波の条件も変わらないのにコスト的に倍になった。当時設計法では認められてなかったFEM解析を実施。荷重に応じて弾性応力がどう変化するかということを考えて間隙水圧を推測し、ラプラスの方程式を解いて、施工段階ごとに水圧の消散を考慮したすべり安定計算をした。各工程ごとに実施し、安全率1.3を確保し隣接する米軍の橋とほぼ同じような設計となった。しかしながら、現場は予想していた以上に水の流れるは速くて、あっという間に水圧が消散し安全側の設計となっていた。現場と机上では随分と違うという実感をした経験がある。その後、性能設計の導入について、地盤工学会や土木学会の委員会があり、山本設計士会長らと、いろいろ勉強させていただいた経験がある。また、沿岸技術研究センターの維持管理士や設計士資格制度を委員長として立ち上げた。

1-2 建設コンサルタントというの一体どういうことか

横軸が、その国の人の平均的な収入、縦軸が、その国の平均寿命を取ったバブルチャートである。収入が上がると平均寿命も上がる。言い換えると、たくさんお金があると命が長くなる。特に初期には基礎的なインフラが多く必要だということ。例えば妊婦や子どもの死亡率を低くするのに何が一番いいかという、医者や薬とか当然あるけれど、一番大事なのは病院に行くまでの道路だということ。また子どもの教育においては、たくさん先生を付けて教科書を配るということになるが、一番大事なのは、夜電気をつけて復習をできるようにすること。従って、インフラの基礎的な整備が重要な役割。皆さんがやっているインフラ整備は、意義のある仕事。

海外に All about Careers というサイトがあって、それぞれの仕事を紹介している。Consulting Civil Engineer は、Expert advice、つまり専門的なアドバイスをする職業。つまり、Design と Planning と Management という土木のプロジェクト全体を一貫して見ている仕事。Civil engineers のコンサルタントは Driving force。事業を進めるために一番大事な駆動力、プロジェクトの推進力を持っている必要がある。これが仕事の Job description。その下に Expert assessments とあるが、いわゆる専門的な力、能力、及び経験が求められる。仕事内容は、Detailed drawings, Plans and schedules and estimating the cost。

もう1つ大事なことは、プロジェクトのモニタリングをすること。日本は分業化が進んでおり、モニタリングをすることは大きな仕事で、定期的に行うべきとしている。皆さんは、Quality standards、法律的な requirements、性能に対する責任がある。最後に、常に時間を取って勉強しろと書いてある。これも仕事のうち。建設作業の動向だとか、進歩する最近の知識を定期的に学んで欲しい。基準を読みこなして、建設機械とか新しい工法の情報収集するための時間を確保するべきと書いている。発注側も、仕事を発注するコンサルタントの仕事や専門知識に対する理解が必要。

次に、給与についてであるが、英国の場合、日本とは随分違い、資格が重要。英国では土木学会 (Institution of Civil Engineers) のメンバーかどうかで給料が圧倒的に違う。メンバーだと5万ユーロ(750万円)、フェローだと1,200万円ぐらい。米国では、平均800万円ぐらい。シニア civil engineer (部長とか課長) では、1,000万円近い。日本では、平均630万円程度。その違いは、その社会における役割だとか資格制度だとか、それから一番大事なのは「業務独占」できるかということ。誰でもできるのであれば給料上がらない。幾つかの国を調べると、「業務独占」があるので、地位と給料が保証される。これらは、設計士会でいくら議論してもなかなか進まないもので、設計士会が声を上げて、社会を変えるためにエネルギーを使うべき。

1-3 設計士会の方々の役割として、どういうものが期待されているか

設計士に期待されることについて、何が求められているのかと問われた

ら、1 つは、基本的には専門知識に基づくアドバイスが期待されているので、大きな意味で知識人とならなくては駄目。専門知識だけでなく、他のことも含めた知識人にならなければならぬ。基準を覚えていますだけでは、駄目。そのためには、時代を読むことか、時代の要請を先取りすることか、周辺の技術動向、こういうものを実際のインフラにどうやって活用するか、ということが期待されている。

最近読んだ『FACTFULNESS』。ここでいろいろなこと書いてあった。先ほどのバブルチャートも、ここから引用しているが、皆さんが頭の中に残っているデータは古いと言っている。何でそうなるかという、小さな変化に我々は気付かないので、古い概念に固定化していると言っている。

私自身が、日本と中国のインフラの違いを説明する時に考えたものなのだが、インフラは時間の関数であり、国とか地域の関数だと思う。時間だけを見ると、21 世紀は何かファンクションの中の変数か。やはり Globalization。それに技術革新と人口動態。これを中国と日本で比較しながら考えると、縦軸は何かの指標として、横軸を時間とすると、全地球化というのは国単位で globalization、その次は企業。その次は個人。一番重要と思うのは、技術革新が指数的に変わっているということ。皆さんの仕事に、ものすごく影響する。Globalization の 3 番目の段階で国境を越えたネットワークが形成されると、世界的に人が動いたり、物が動くことが想像できる。また産業構造が変わるので、技術革新が変わり融合する。そのことによって、建設の無人化とか、スマートインフラとかになる。次に Aging society and depopulation によって、労働力が減少する。当然税収が少なくなり、経済成長も減速する。社会保障費が増加して、新しい建設がなくなって、維持管理ばかりになってくる。単純に考えると、こんなことが推測される。

技術革新が一番大事。これはある計算機の性能の指標。横軸が時間。私が大学を卒業した 1975 年から 40 年ぐらいたつと 1 兆倍違う。今の学生と私の頃の環境と 1 兆倍違う。デジタル革命がどのように社会を変えていくかは、皆さんもご存じのように、政府の政策を変えていく。デジタル革命は、いわゆるマニファクチュア、工業製品に影響を与える。Industry 4.0 という独国の産業政策（2012 年）。デジタル革命が、社会や人間の生活に変化を及ぼす Society 5.0。中国の産業競争力について整理したレポートは、日本の Society 5.0 より 1 年前に出ており、デジタル革命がどのように政策に変えていくかという点で日本と見方が全然違う。第四次産業革命で言っているのは、革新技術の融合。それぞれの専門家集団のグルーピングで取り組んでいくべきで、一つ一つの専門でやっても駄目。すごく大きなメッセージ。

狩猟時代から農耕時代、工業、情報、その次スマートソサイエティ。日本の政府が言う Society 5.0 は、デジタル革命の社会と人間の生活へのインパクトと同時に、日本が抱えている問題解決の両方を併せて取り組んでいこうというのが特徴的。高齢化とか、労働力不足とか、自然災害も、防災を併せて取り組んでいこうということ。人間が中心となって、デジタル革命によって、日本が抱えている課題をどうやって解決するかが大事なポイント。その議論で、あんまり報道されていないが、「数学」が非常に大事だと

言われている。AI は、情報をやった人では駄目で、データドリブンも、サイエンスも、いわゆる情報処理ではないと書いている。

もう 1 つは、「芸術」がすごく大事だと言っている。「芸術」と「科学」は、親和性がよくて、両方とも創造力を育成する。これは色々なところに出てくる。最近では東京工業大学とロンドンの芸術大学とで協定を結ぶこととなった。そういう動きは山ほどある。恐らく設計というのは、ただ構造計算をして、杭を打てばいいって話ではない。「芸術」も、皆さんの仕事にとって大変大事な。難しい問題だが、大学で土木を勉強しただけでは駄目。0.001% ぐらいの確率で、ものすごく超優秀な能力の高い子どもを選抜して教育することが、幾つかの国でやられている。日本でも議論されているが、基本的人権からしていいのかなと思うが。

そういう社会の中で、みんながほんとに幸せかという問題。縦軸が知識の量、横軸が時間。先ほど述べたように、指数関数的に色々な技術革新が進む。1970 年に大学を卒業した私としては、あんまり変化がない時代に仕事が終わっている。でも今の人たちは、6 年間で技術が役に立たなくなる。学生はずっと勉強しなくてはならないし、先生もずっと勉強しなくてはならない時代。若い世代は回り続けなといけないうし、私みたいな年寄りも、高齢者、社会の変化に適応し続けなくてはならない。私はスマホ持っているけど使いこなしてない。LINE を使うぐらい。そのために、落ちこぼれたとか、ある意味で分断された社会になるかもしれない。これが良い社会ではないだろうと考えながら、一方で技術革新を考える必要があるという気がする。

中国で i-construction の話をしてくれということ話をしたことがある。縦軸が生産性で、横軸が年であるが、工業製品の生産性は、1985 年ぐらいから 3 倍ぐらいに伸びているが、建設産業は全然伸びてない。だから変えないといけないう。皆さんから批判があると思いつながら出したが、公共事業は政治家の道具になっている。つまり「失業対策」として。「失業対策」は、その年に配ったお金が景気に反映されなくてはならない。実際には単純労働者や熟練者でない人を雇う。そうでないとお金動かないから。そうすると自動化とか機械化が進まない。つまり生産性が上がらない。さらに優れた人が集まらなくなる。今は随分変わっているけれど、土工を見るとものすごく労働集約。人力でないと絶対できないみたいになっている。だから i-construction をやるというのは、それなりの根拠があると思っている。国交省は、25 年までに 25% アップと言っている。ICT の活用、規格の標準化、及び施工工期を平準化の 3 つがテーマ。投資額が減れば人も減る。一番減って困るのは、そういう経験してきた技能労働者があつという間にいなくなる。土工が一番取り組みやすく、コンクリート構造物のプレハブ化とか、継手を機械化する、またスランプを 8 センチから 20 センチぐらいするとかが議論されている。皆さんも、河川とか港湾の浚渫、あるいは地盤改良の出来高管理に導入することを考えてみては。しかしながら、出来高の管理の中身が、どうなっているのということ考えて必要あるとも思っている。皆さんは、Society 5.0 にどのように貢献しているか。あるいは i-construction の取り組み、機械化とか自動化とか、他分野と比べて、どのレベルなのか注視していく必要があると思う。

次に維持管理であるが、とても大事。私が知っている範囲では、首都高

が一番いろんな意味で頑張っていると思う。たくさん道路ネットワークは持っているが、1964年東京オリンピックに間に合わせるために作られていた国家プロジェクト。ちょうど私が高校1年生。この図は、首都高のネットワークを色分けしたもので、黒色が50年以上、赤色が40年以上、黄色が30年以上。3次元の点群データとして集めて、それを更新しながらメンテナンスしていくもの。車の前と後ろに全周型ビデオを搭載して全部デジタル化。例えば、コンクリート表面の劣化の調査。構造物の間の距離、塗装の劣化などを調べ、3次元CADだとかFEMメッシュを作成。従って、現場に行かなくても全部構造物の劣化状況がデータ管理している。日本の港湾の中でも、このようなシステムがあれば、アップデートしていれば維持管理の生産性も上がる。先日、東品川の鮫洲の辺りを見せてもらった。「維持管理」に対して元気が出ない学生が多いが、「維持更新」は、ものすごく挑戦的な試み。「維持管理」と「維持更新」は、スケールが違う。これから皆さんも「維持更新」に是非取り組んで欲しい。そのために施設のデータが手元にあるということは、ものすごく大事という気がする。

1-4 狭義から広義へ

私が理解している科学技術は、大体レナサンス時代ぐらいから始まったと思う。それが定着したのは、デカルトの「還元主義」だろう。「還元主義」は、全体を一つ一つ分かりやすいところまで細分化して理解し、理解できたら、これを使って問題を解決していくというフィードバックの考え方。これは、決して間違っているわけではないが、細分化される、あるいは分業化されるということによって、全部を知っている人がいなくなる。これが「狭義から全体へ」という、ものすごく根源的な課題。17世紀ぐらいからの思想。

例えば東工大は、戦後1949年に新生大学でスタートし、当初10学科。東京オリンピック後の高度成長の時に増加し、今は46学科。教育機関が4~5倍になったわけではないので、細かく分業化され、全部院見られる人がいない。つまり科学知識の全体が、このようになっていると理解している人がいない。土木学会の論文の分野も、私が学生の頃1つしかなく、計画も水理学も一緒だった。ところが今は20分野以上。20分野を読む人はいないし、せいぜい2分野ぐらいを読みこなす程度。これが細分化。誰の責任ではなく科学技術の展開のプロセス。社会がこれをどれほど理解しているか疑問で、多くの人はほとんど理解していないという実感。私が書いた文章だが、「工学の役割は、ある社会的課題に対して新たな開発も含めた諸技術を駆使して、問題解決の姿勢を保持しつつ、当該社会課題に対して社会が受け入れられる解を見出し、かつ実現することである。」従って、できるかできないというのは工学の判断ではなく、どうやって問題を解決するかということ。しかしながら一遍で問題が解決できないので、色々なプロセスをフィードバックしていかなければならない。「建設事業における具体的行為としては、計画、調査、設計、施工、維持等の複数の段階を経るとともに各段階の間にフィードバックプロセスを導入して、実現可能な選択技を探りつつ最適な最終的な解に導く」と書いた。こういうプロセスを、実は社会の人は理解していないということを認識しながら、社会と付き合わなければならない気がする。宮田港湾施設研究室長が基準に書いた文章も、内容は全く同

じ。それでも、それを理解していく必要があり、さらに全部が分らないといけない。このために、このフィードバックプロセスが仕事の中に入っていないと

ならないと思う。1つ驚いたことがあった。昨年11月7日に、土木学会で国際基準のセミナーがあり、私も呼ばれ日本の技術をどのように海外へ輸出するかという議論に参加した。その後の質疑の中で、「海外の基準には計算例がないので、使えない」と、有名なコンサルタント会社の方が発言されてびっくりした。彼が意図したことと同じかどうか判らないが、私なりに「設計実務とは計算例に沿って当てはめすること。」と理解した。作った基準は国に責任があり、自分にはないことを意味している。このことは、先ほどのJob descriptionとは随分違う理解。よく言われるように、技術基準は「料理本」ではない。塩コショウ小さじ1杯ずつ入れて、何分間煮込むと美味しいものが出るという話ではない。つまり、当てはめの実務設計は「会計ソフト」と同じ。いずれは要らなくなる職業の中に入ってしまう。税理士もなくなると思っているが、そのようになってしまう。皆さんには、社会のインフラづくりを創造的な仕事として実践して欲しい。

分業化の話。地盤調査、あるいは波浪調査、試験をやる。その中で、計測機械やオペレーターがどのように動いたかについてあんまり意識がない。データ値に終始し、設計計算する。他方、施工工程がどうなるかって意識しないとうまくいかない。実際の現場は、人力以上に、計測や施工機械であったりオペレーターだったりするわけで、このような集団が全体としてうまく流れるかというマネジメントは、Job descriptionが示すように、コンサルティングエンジニアの役割。例えば、地盤調査データを精査する場合に、幾つかのポイントがある。1つは、どのぐらいの密度と方法でやられたかということと、どうやってそこから設計定数が決められているか。もう1つは計算根拠。そういうものが明確に分かってないと、設計者は責任が持てない。地盤調査データは、報告書の最後2ページぐらいで何か設計のレコメンドーションがある程度。ここだけ見ていたら、本当に良いものかどうか分からない。私は、確認事項は3つあると思っている。1つは、ちゃんと調査が実施されたかという。もう1つは、ちゃんと報告されているか。最後はちゃんと解釈しているか。このプロセスがあって、初めて設計する定数とか係数が決まってくる。何故か。目的に合致した試験方法でないと、実施されたデータが使えないからだ。次に、報告は指定された様式でデータが記載されてないと他と比較できない。解釈は、蓄積された地盤工学の知識と異なるデータが出て、どう処理するか分からないので、適切な工学的判断できない。以上の実施と報告と解釈がちゃんとなされていない限り、厚い報告書であっても、「ああそうですか」って言って仕事が終わりでない。

次に、施工方法。工法選定は、時間の制約だとか経済性で決まり、どのような機械を使えばいいかと考えていると思うが、オペレーターの立場で図面を作成しているか。ある機械のオペレーターが図面を見て、こんな危険なことやらせるのかと言われる可能性がある。設計者は、判断と責任はキーワード。

今日、皆さんにぜひ議論していただきたいのは、「狭義の設計と広義の設計」。いろんな側面があると思う。そこを今日、パネルディスカッションとフロア

とのディスカッションしていただきたい。もう 1 つは、恐らくこれパネルディスカッションでも、何名の方もおっしゃると思うが、会計検査について。会計検査が、設計法を新しくする、難しくするという意見がある。憲法 90 条に書いてあるので会計検査はやらなければならないが、会計検査院法第 20 条 3 項において正確性、合規制、経済性・効率性、および有効性の検査の視点が記されている。このうちの「合規制」は、基準のどこに書いてあるのですかとか、過去の事例はどうですか、と理解されているが、そういうことではないと思う。そのような理解をしていると、設計者の判断を重要だと思うような設計が生まれるはずがない。

本日は、3 つぐらいのことを期待しながら講演させてもらった。是非 4 者で今後、本テーマで議論を深めて頂きたい。楽しみにしている。

(要約：海洋・港湾構造物設計士会 理事一同)

2. 吉村達彦顧問の講演「問題発見と未然防止/製造業 (自動車産業)の視点から」



写真2 吉村 達彦 氏

【略歴】

- G D 3コンサルティング代表 トヨタ自動車(株)元シニア・スタッフ・エンジニア 海洋・港湾構造物振動士会 顧問
- ・1968年トヨタ自動車株式会社入社 第2技術部
 - ・1988年工学博士 東北大学。シャシー技術部部長、信頼性・強度シニアスタッフエンジニアなどを歴任。
 - ・2000年九州大学大学院工学研究院教授 個体力学講座、兼経済学研究院MBA教授 製品開発のマネジメント。
 - ・2003年ゼネラルモーターズエグゼクティブダイレクター 信頼性・耐久性戦略担当。
 - ・2007年GD3コンサルティング代表。自動車技術会賞受賞、機械学会技術貢献賞受賞、日経品質管理文献賞受賞。

「未然防止とはなんなのか?」について、自己紹介を兼ねて自動車業界をもとに説明がありました。

2-1 自己紹介を兼ねて、自動車業界の紹介

- ・『想定外』『想定外』という言葉がたくさん出てくるが、大きな話でなくても私たちの前で起きていることはみんな『想定外』であると考え。
- ・自動車業界は戦後大きくなってきたが、戦時中の飛行機の設計者が自動車業界へ移動してきており、自動車業界は、官の制約なしに自ら技術を確立してきた。(車検制度は明治時代からあったが、官の規制が強くなったのは1970年以降)
- ・各社独自の考えによって技術が確立されてきた。
- ・設計は事実(お客様)と論理の結合である。設計者は論理技術に傾きやすい。
- ・事実と論理を結合しなくても設計はできるが、適当に設計をしている場合がある。
- ・トヨタは壊れない自動車を作り、世界の自動車もこれに習って信頼性を高めた。
- ・しかし、信頼性問題は絶えない。解決の難しい技術的問題はほとんどなく、ちよとしたミスによって発生する問題が増えてきた。
- ・問題が起きる前に対処する未然防止(お客様より先に問題に対処する)を導入した。
- ・未然防止; DRBFM (Design Review based on Failure Mode)

は、世界中で10万人以上の設計者が使用している手法になった。

2-2 私たちはこんな中で仕事をしている

- ・客先に指示された目標を満足した製品を提供している範囲(青色の領域)では、品質問題は発生していないが、想定外の気が付かなかった範囲(黄色の領域)で品質問題は起きている。
- ・建設業界では、与えられた目標が仕様設計で、性能設計導入により性能レベルは向上するが、「気づいていない領域」は大きく、ここで品質問題は発生する。
- ・お客様とは、一般製造業では、その製品を使ってくれる人であり、客先(仕事を依頼した人)ではない。
- ・建設業にとってのお客様は「未来の子供たち」である。
- ・国は客先(発注者)ではあるが、お客様ではない。
- ・製造業において、最終の製品メーカーだけが想定外の範囲を考えた場合、材料や部品の詳細を知らないため、お客様の満足は得られない。
- ・インターフェース(繋ぎ)が脆化すると近しく見えなくなる。お客様は客先になり、客先が上司になってしまう。
- ・企業が大きくなると、組織やプロセスが複雑で、繋ぎが脆化して大企業病になりやすい。
- ・大企業病の症状は、「指示待ち、責任の外を見ない、実行に時間がかかる、言い訳を言う」ことである。
- ・大企業病を言い換えると、「4無」(ものを見ない、差を見ない、議論をしない、振り返らない)であり、考えなくても仕事ができしまう。
- ・その結果、製造業の設計者は、客先の要望を満たしているため品質問題はないと思ってしまう。未然防止を考えていたら、新しいことに挑戦できないと考えてしまう。

2-3 世の中では「想定外」と言われる問題が絶えず起きている

- ・ジェームズ・コリンズが提唱した「衰退の5段階」は、「第1段階: 成功から生まれる傲慢」「第2段階: 規律なき拡大路線」「第3段階: リスクと問題の否認」「第4段階: 一発逆転の追求」「第5段階: 屈服と凡庸な企業への転落が消滅」があり、今、世の中では第3段階の(想定外の)問題が多数起きている。
- ・実力と目標が乖離していると問題は多く発生する。(目標が明確でそれを達成できないと偽装する。目標を達成できても、お客様の期待に目を向ける余裕がなく、問題の発見ができずに品質問題が起こる。)
- ・建設業界は、戦後、大量のインフラ整備の効率化への対応の中で、標準化・基準化・分業化が行われてきた。その過程で、性能への着目度が相対的に低下した。(機械的な作業をしている)「衰退の5段階」で言う「第3段階: リスクと問題の否認」にある。しかし、性能設計を導入して更に成長する。ここで海洋・港湾構造物振動士の役割が重要になってくる。

2-4 当たり前に未然防止を行う職場を作る～第3段階からの脱却～

・製品設計段階でのブレークスルーポイント（本質的な課題を打ち破る革新的な解決）は、「過剰なチェック・管理からの脱却」「後工程の役割を見直す」「効率一辺倒からの脱却」であり、キーワードは創造・発見（未然防止）である。

(1)過剰なチェック・管理からの脱却

・これまで、考えること（発見力、創造力）はごく限られた特別な人が発揮すれば良いと思われてきたが、すべての人々が、気づきの力を高め、それを活かす仕事をするのが重要である。

・すべての仕事は「お客様より先に潜在問題を発見し、製品をお客様の期待に近づける」行為である。

・仕事の中心に「問題発見」を持ってくるようにする。

(2)後工程の役割を見直す

・これまでの品質管理手法は担当者本人が行う手法であった。

・工程間の情報の劣化を防ぐことが重要である。

・前工程の情報が正しく、それを正しくつなぐことを考えると前工程が必然的に強くなってしまふ。

・手法だけを取り入れても成果に繋がらない。

・製造業で設計だけが強い会社の製品は品質が良くない。

・後工程引き取りの概念は、トヨタ生産方式 JIT（ジャスト・イン・タイム）の「必要な量を必要な時に供給される」のもとになる考えである。

・後工程が前工程からの情報の価値を高めて受け取れば工程間の情報の劣化は防げる。

・現状打破のキーワードは「後工程取り引き」である。

・前工程と後工程がインターフェースで議論して、お客様のために潜在問題を発見することが必要である。（情報は必要な人が取りに行くことが重要である）

(3)パレートからハインリッヒへ

・ハインリッヒの法則とは、「重大事故だけを起こさないために重大事故だけに注意しても、重大事故は防げない」ことであり、軽度の事故の原因も徹底的に究明し、再発防止を図り、更に、被害のないヒヤリハットにも目を向け、その経験を共有しなければならない。

・全員が常に潜在問題にまで、目を向けていなければ、重大品質は防げない。

・パレートの法則では警備な問題には目を向けられないので、潜在問題などはないと考える。

・ハインリッヒの法則のインシデントは「あわや大事故になったかもしれない災害（ヒヤリハット）」を指すが、品質の場合、お客様のところで起きることが見えにくいことからすると、お客様にわたってからのインシデントはとらえにくい。

・品質のハインリッヒの法則では 300 件のインシデントは、結果としてではなく、「お客様の期待を裏切る可能性のある兆候」と捉えたとよい。

・つまり、お客様の期待を裏切る可能性がある潜在問題を発見すること、「未然防止」がこれに該当する。

（要約：海洋・港湾構造物設計士会 理事一同）

3. 東京大学 大学院経済学研究科 教授 藤本隆宏 氏の講演 「設計論に立脚した広義のものづくり経営学」



写真3 藤本 隆宏 氏

【略歴】

- 早稲田大学商学大学院 ビジネス・ファイナンス研究センター 上級研究員（研究院教授）
- ・昭和54年3月 東京大学学経済学部経済学科卒業
- ・平成元年6月ハーバード大学ビジネススクール博士課程修了（D.B.A. ハーバード大学）
- ・平成2年7月東京大学経済学部助教授
- ・平成8年4月大学院経済学研究科助教授
- ・平成10年12月同教授
- ・令和3年4月1日より 早稲田大学 商学大学院 ビジネス・ファイナンス研究センター 上級研究員（研究院教授）

3-1 日本の産業（製造業）について

- ・研究上、造船業や建築分野とも多くの関わりがある。今日は港湾に限定せず、広い意味での「ものづくり」として製造業などで何か接点があれば良いと考えている。
- ・ものづくりの原点として現場を繰り返し見ることが重要である。今回のコロナウイルス感染拡大でも日本の工場現場はほぼ稼働できており、生産の継続力、災害後の復旧力はすばらしい。
- ・現場重視・地域重視の「三方よし」企業は、雇用に対するこだわりが際立っている。三方よしとは、売り手よし（利益）、買い手よし（顧客満足と付加価値）、世間よし（地域の雇用安定）のこと。
- ・日本の製造業のGDP20%超は主要先進国の中では高く、約1000万人が従事し110兆円を生産しており低く無い。
- ・1990年以降の30年間、製造業は苦労したが失業者は少なく、衰退はしていない。逆境の中での日本の製造業のしぶとさは評価できる。グローバル競争に強い比較優位産業が生き残っている。
- ・成長が止まっていた割には、失業率が海外に比べ小さい。局所的に負けてはいるが、全部負けてはいない。つまり、大負けしておらず、勝ったとは言えないが負けてはいない。

・日本のものづくり現場の歴史のうち、戦後から75年で振り返ると、高度成長期から途中に冷戦ショックがあったが貿易黒字が2010年ごろまで続いた。1990年以降の製造業停滞の原因は、金融危機、国内不況、円高、中国の台頭によるグローバル競争、デジタル化による競争力喪失などであった。

・日本で物作りを行うことは、設計の比較優位を持つすり合わせ型製品なら可能である。うまくやると、米国と中国の両方から仕事が来る。

・例えば、スマホの基幹部品の一部は両方から注文が来ている。中国企業はアメリカよりも良い製品を作りたいので、日本から部品を買いたい。半導体の分野はコロナ渦の状況でも動いており、日本のある半導体製造メーカーはフル稼働である。

3-2 広義のものづくりについて

・「広義のものづくり」とは、設計者の思い（設計情報）をモノに作り込むことである。

・製品とは「構造設計情報」が「媒体」となって素材に転写されたものであり、設計情報が付加価値の源泉である。（媒体は設計を伝える器）

・付加価値の高い良い製品には良い設計情報が存在している。

・人工物の構造と機能の分配と連結に関する情報・知識を「設計」と呼ぶ。

・「媒体」が有形なら製造業、無形ならサービス業、いずれにせよ付加価値の源泉は「設計情報」にある。

・「ものづくり」においては、「設計情報」のトータルな循環を良くすることが重要である。開発、サービス、ソリューションまで含む広い概念である。

・例えば、名古屋港コンテナ埠頭の無人搬送台車が競争力を発揮するとしても、そのままアジア諸国の巨大港湾施設には持っていけない。しかし、物流の滞留時間を短く出来れば日本の港湾施設も優位性が出る。大ききでは勝てないが、良い流れのネットワークが売りになる。トヨタの工場を見ても大きいから良いわけでは無く、流れが良いということこそがメリットである。

・バーチャルエンジニアリングが進化している。リアルな設計を行う事が出来る。設備や環境の構造モデル、運転者の操作モデル、競争機能のシミュレーションなど、例えば、自動車産業の製品開発などはそのようになってきている。顧客に機能でアピール出来るかが重要である。

・製造業もサービス業も消費者を満足させるための機能シミュレーションを行い、流れの最適化を検討する。大量の組合せ計算に量子コンピュータが入ってくる可能性もある。また、さらに能力の高い現場チームが組めば大きな優位性を生む。

・最適組合せ問題は、課題はシンプルでも、組合せは天文学的になるが、AIを用いたシミュレーションで最適化に近づく。例えば、ゴミ収集車の効率化・最適化を検討した結果、現在の半分くらいで可能という結果が得られた。

・日本の自動車は多能工のチームワークによる生産となっており、リードタイムは日本が世界で最も短い。他方、インターフェイスが統一されているようなモジュラー型製品の単能工による大量生産は米国や中国が得意である。

・日本はすり合わせ製品が得意である。日本のこうした「設計の比較優位」を

最大限に活かすべきだ。小回りの効く変種・変流・変量生産も得意である。

- ・競争力とは「選ばれる力」、特定製品の競争力を発揮するには、現場、製品、企業までその多層的な把握が必要となる。
- ・製品の設計思想（アーキテクチャ）を見極める必要がある。すり合わせ型の製品は、日本は概して得意である。設計の比較優位のあるものを輸出する。一方、ハイテク部品・設備の寄せ集め型のモジュラー製品となると日本はあまり勝てない。
- ・「競争力」とは選ばれる力であり、「ものづくりの組織能力」と「製品・工程のアーキテクチャ」が適合するときに競争力は高まりやすい。

3-3 設計情報の良い流れについて

- ・広義のものづくりでは付加価値の流れの良さが重要である。物的な生産性は設計情報の発信速度×密度である。目の前のものだけを部分最適で流そうとすると、その部分がかえって渋滞することが多い。全体最適の流れを良くすることが必要である。サイバーフィジカルシステムで工場のリアルタイムの見える化をめざす。
- ・流れの改善の結果、生産性とリードタイムの改善が同時に可能である。IOT、AI、自動化の前に「良い流れづくり」をまず考えるべきである。
- ・このように、ものづくりの能力構築のためには、まず付加価値（設計情報）の流れを掴むことが重要である。
- ・そのためには、空間流れ図と時間流れ図をきっちり描くことが流れの改善につながる。
- ・「流れ図」は、高高度の全体の流れ図から始め、問題の多いところにズームインして中高度、低高度の図に階層的に移行する。
- ・日本は諸外国に比べ生産現場の統合型組織能力が強いので、CFS等を活用して「見える化」し、情報共有によって、複雑な「流れ」を人とAIの協調により改善する協調型ユニット工場を目指す。
- ・常に流れの悪い箇所（兆候）を把握する意識を持って、特にその箇所をズームアップし根本原因を分析することで、より良い付加価値の流れを作ることができる。これで良い設計の良い流れを作るのである。

3-4 アーキテクチャ（設計者の発想）について

- ・米国や中国では機能と構造の組合せがシンプルな「モジュラー（組み合わせ）型」の製品で強いのにに対し、日本では機能と構造が複雑に組み合わせる「インテグラル（擦り合わせ）型」の設計で力を発揮する傾向が多い。
- ・「クローズド・インテグラル型」アーキテクチャの例は自動車や機能性材料など、「オープン・モジュラー型」の例はパソコンやインターネットなどがある。日本が強いのは前者の高度な「擦り合わせ」と「作り込み」を必要とするものである。
- ・ものづくり日本の造船業を例にすると、中国や韓国が近年伸びてきたが、日本は大手より一部の中手造船所がばら積船等で健闘している。今後は技術の大手と商売上手の中手の補完的連携や付加価値創出への多様化が浮上の鍵となる。
- ・日本の海運業者・船主などの海運オペレータと、港湾・荷役サービスなど

ーミナルオペレータとの連携を今後うまく図り欧米諸国と競争していくためには、海事システムの階層構造（海事クラスター）全体の設計も重要となってくる。

- ・今後の日本の製造業にとっては、現場の能力構築とともに、本社のアーキテクチャ戦略により諸外国のデジタル業界と自社標準で繋がることが重要である。

（要約：海洋・港湾構造物設計士会 理事一同）

4. 東京大学生産技術研究所教授 野城智也氏の講演

「建築設計の設計論」

(海洋・港湾構造物設計士会 広義の設計のあり方を考える座談会 (第5回) において)



写真4 野城 智也氏

【略歴】

東京大学生産技術研究所教授

- ・1980年東京大学工学部建築学科卒業
- ・1985年東京大学工学系研究科博士課程修了
- ・1985年建設省建築研究所入省
- ・1991年武蔵工業大学建築学科助教授
- ・1991年University of Reading
- ・2001年東京大学生産技術研究所教授
- ・2009年東京大学生産技術研究所所長
- ・2013年東京大学副学長(2016年3月まで)
- ・現在に至る、「建築ものづくり論」藤本隆宏教授らと共著

- ・発注者は要求条件を過不足なく記載しているつもりでも、第一案を設計してみると暗黙の要求条件が明らかになることがある。
- ・発注者の背後にいるクライアントの要求はさまざまである。
- ・設計者は、技術的に成立すると思って設計しても、施工関係者からのフィードバックをもうと、うまくいかず、変更を強いられるはよくある。
- ・仮設の設計条件で設計してみてもうまくいかないときは、要求条件に遡って変わることもよくあるのが、建築設計の実態である。
- ・PMは設計者が兼ねる場合もあれば、発注者組織が行う場合もある。
- ・英国政府が出したプロジェクトのマネジメントに関するガイドラインでは、設計・施工の前に、3つの段階があり、①必要性を検討し、②プロジェクトを定義し、③チームを編成することが大切であるということが認識できるものになっている。
- ・同じ機能をより安いコストで実現するアプローチ (VE) のための、プロジェクトの価値を定義するのが、VM (Value Management) である。先進的なプロジェクトでは、ワークショップを通じて、定義されていく。
- ・比較的プロジェクトの目的や機能がはっきりしている場合には、VMに関する

ワークショップは最低限の1回でよい。

- ・機能を定義したい場合やステークホルダーが多い場合には、VMに関するワークショップを設計の各段階で丁寧にやっていく必要がある。ステークホルダーが多い場合に重要視すべきなのは、多くの人に受け入れられる案を形成していくことであり、これが設計者の役割である。
- ・建築分野では、将来用途変換が行われる可能性があるため、設計時の機能に対して最適化するだけでなく、将来の用途変換に対しても対応できるような空間構成を考えることが暗黙の規範となっている。
- ・設計の川上段階では、設計者は仕切っていく状況が多く、その後は施工者がどのように技術的に裏付けていくかが主になっていく。
- ・設計の早い段階で、施工者や製造者の知識が必要だが、知識を提供しても施工者や製造者にメリットが生まれにくい可能性がある。
- ・建築分野ではパッケージ化が進んでおり、設計者はさまざまなパッケージをどのように組み合わせるかを考えながら設計をしている。一方、ゼネコンは各部位で役割分担を行い、場合によっては約定を作ったうえで仕事を進めている。
- ・建築分野では、さまざまな人が設計しているため、それをどうコーディネートするかという悩みが高く、うまくコーディネートできないと大事故につながる。
- ・建築分野では、役所内の技術者が薄くなっており、官民の技術の優位性が逆転してきているため、審査すること自体が難しくなっているのが現状である。
- ・工学的な判断を前提とした、性能規定化は必要だが、規則的や仕様の規定をすることがよいことかということは冷静に考える必要がある。
- ・BIMを使用しても、すり合わせを行うことは必要である。
- ・BIM活用の際には、あとの利用は後工程が考えるため、欲しい情報を取り出せる連携ツールをフル活用も必要である。
- ・契約発注方式・設計者選定方式はダイナミズムに耐えうるかは疑問である。
- ・海外の事例であるが、選定された2社ですり合わせを繰り返し、一旦設計が完成した段階で、2社のうち1社を選定し、実施設計に進むという方式をとったことがある。

<質疑応答>

- ・マネジメントプロジェクトファンクションには資格は必要であるか。(山本会長)
→資格は持たない。国際的にはプロジェクトマネジメントの資格者はいるが、IT系の人の方が仕切ったりすることがある。日本では建設系のマネジメントに関する資格はないと思う。しかしながら大事な仕事であるから、資格があったほうがよいように思う。
- 港湾分野でも様々な人がかかわっているが、マネジメントする人がいない現状がある。(山本会長)
- ワークショップを行うと、お互いの立場がわかってくる。ワークショップを通して、理性的に考えていく雰囲気出来上がると、自分にとって最大化されてなくても、その案に対して受け入れてくれることがある。

→港湾分野では、指宿の海岸の事例があり、ワーキングを行っているので少し似ているように思った。(山本会長)

→仕切り役ではなく、ファシリテーションできる人材がどのくらいいるかが大事だと思う。大事な要求を設計段階の川下ではなく、もっと早い段階であぶりだしていくことが大切である。

・建築物の将来の用途変更を考えるあるいは「スケルトン・インフィル」という概念は、港湾分野でも適用することができるか。(山本会長)

→海外では、使われなくなったピアを再開発の拠点として利用している事例もある。建築分野の人間として、特に横浜の大さん橋などは興味深い存在である。建築分野でも、設計時の条件で最適化して無駄を省いた設計をしていたこともあるが、ちょっと状況が変わっただけで、使い物にならなかったこともあった。一方、将来どのような使われ方をするかを完全に予測するのは難しく、ぼんやりでも予想して変化に対して対応できる設計をするというイメージである。

→岸壁の利用状況と比較して、船が大きくなるスピードが速く、増深が必要などの課題が出てくる。今後を考えるうえで参考にしたい。(山本会長)

・VMとVEの違いと、求められるものは何か。それぞれ、どのような技術や素養が必要か。(中原副会長)

→都市計画系のコンサルタントの人は、街づくりのワークショップをよく行っている印象がある。そのような人々には、ワークショップのメンバーの選定や、参加者がためらいなく発言できるようにアイスブレイクの方法など、様々な経験を思っている人がいると思う。ただし、ワークショップを行って合意したような気がするだけで、実際には矛盾だらけということもあるので注意が必要である。ある程度技術的な知識を持った人が交通整理を行うことが大切であり、ワークショップの運営経験を積み重ねていくしかない。

→技術は最低限必要で、プラスアルファで、案件によって求められるものも異なってくるの理解でよいか。(中原副会長)

→経験を重ねてコツを掴めば、実務でも展開していけると思う

→ワークショップ等を通して案が出たときに、最終的に決定するのはどのような人か。(中原副会長)

→建築系では、VMが事例としては極めて少ない。

・まずは、人々に受け入れられることを目標意識していく必要があるという印象を受けた。人々に受け入れられた後、その価値を高めるような次のアクションは何かあるか。(中原副会長)

→建築の設計の中で、特にステークホルダーとの関係で悩みがあるのは、評価軸が決まっている中で最適解が求められるわけではないということである。それぞれの立場で見たときに、受け入れられるかを評価していただき、合意形成を行っていく。全員にとって満足、あるいは最低限でもすべての人が我慢できる範囲である必要がある。

・必要性の検討やプロジェクトの定義、チームの編成といった機能設計の部分をもっと制度的に位置づける必要があると感じたが、現在はこの部分が欠けている状況である。(八尋副会長)

→日本の建築にもない。

→機能設計の部分を実質させるためには、時間も費用もかかるため難しい。

この部分は建築では費用として含まれているのか。(八尋副会長)

→建築分野でも、費用としては見込まれていない。現在は、きわめてあいまいな設計条件だけ(プロポーザル方式)で選ばれた設計者が、要求条件をなし崩し的に整理している状況がある。

→発注者に機能設計を位置づけてもらうことが、既設構造物の設計等では重要になってくる。(八尋副会長)

→施設によっては、設計者とプロジェクトの定義をするコンサルタントは別の業者がよい場合もある。ただし、プロジェクトの定義のみを行った業者への報酬等の課題も残る。中には、予算化された例もあるが、まだまだ属人的なものである。

→発注者に、そのように認識を持ってもらうことが必要だということだと思う。(八尋副会長)

→見識のある担当者も多いが、多数ではない。

・建築分野の街づくりでは、既設空間の機能を高度化して、レイアウトを決定するが、それも予算化の対象外との認識でよいか。(八尋副会長)

→それぞれの自治体の裁量で予算化されている。VMを行ったことで、よりよい街になったという成功例があるので予算化できる。

・第5次社会資本重点計画が出され、基本理念には「価値の提供」についても具体的に記載されていた。既存ストックの最大化の作業をどこでやるのがよいか。(八尋副会長)

→まずは、定義にかかる費用が無駄だという考えを変える必要がある。最終的な費用を考えると、定義を行ったほうがよくなったのではということ社会認識でできるかが重要である。もう一点は、長期的な視点で考えてもらい、外部の専門家に機動的に動いてもらわなければまともなものではないと理解してもらう必要がある。

・指宿の事例では、地元ファシリテーターを使ったりすることでワークショップの雰囲気はよくなった印象がある。ただし、ファシリテーターに完全に任せるのではなく、技術者がサポートしていくという取り組み方もあると思った。(石本理事)

→技術的な観点からの実行できないものにならないように、技術者がサポートしていくのは必要であると思う。

→その費用は見てもらえるのか。(八尋副会長)

→見てもらえないので、持ち出しになる。(石本理事)

→発注者に申し入れて、増設変更するのは難しいか。(八尋副会長)

→ワークショップの開催費用とワークショップ資料作成費用の中で何とか賅っている状況である。(石本理事)

→海岸分野では比較的ワークショップを行ったりしていると感じる。港湾分野でもできないことはないと思う。(八尋副会長)

→海岸分野でも比較的費用が潤沢なものだけの印象がある。(石本理事)

→いいものを作るという意味ではやった方がよい。(八尋副会長)

→結局はやる気の問題だと思う。(石本理事)

・建築の場合、技術の伝承はどのように考えているか。(八尋副会長)

→問題が深刻である。分業が進んだことが原因で、サブコン任せになってい

る印象がある。アナログからデジタルに変わり、専門分業化が進んだことで、全体を見渡すような技術者が減ってきている。

→発注者も受注者も分業化が進んだことで、全体を見ている人がいなくなっている。BIM や CIM が客観的につながる唯一のものである気がしている。

(八尋副会長)

→BIMやCIMは道具として利用していかなければならない。その意味で、重村氏の話は琴線に触れている内容だと感じる。

→一度話を聞いてみたい。(八尋副会長)

(要約：海洋・港湾構造物設計士会 理事一同)

5. 京都大学経営管理大学院特任教授 小林潔司氏の講演

「プラットフォームとしてのインフラ価値の創造」



写真5 小林 潔司氏

【略歴】

- 京都大学名誉教授 京都大学経営管理大学院特任教授
- ・1978年京都大学大学院工学研究科修士課程修了。
京都大学工学博士。
 - ・京都大学助手、鳥取大学助教授、教授、京都大学大学院工学研究科教授、同経営管理大学院教授を併任。
 - ・同経営管理大学院長、同経営研究センター長を経て、
現在京都大学名誉教授、同経営管理大学院特任教授。
 - ・交通政策審議会委員、同港湾分科会会長、日本学術会議会員等の公職の他、元土木学会会長、(一社)日本アセットマネジメント協会会長などを歴任。京大学生産技術研究所教授

5-1 本日の4つの論点

本日の論点は、①港湾計画論の特殊性と、日本型港湾計画が機能計画不在なまま、なぜ施設設置計画に特化してきたのか、②2007年の性能規定化は特定の設計法や材料などの使用を前提とした「仕様」による基準を廃止し、構造物が本来備えなければならない「性能」によって基準を定めることで技術開発を促進することが目的の一つであったが、そのようになっているかどうか、③「仕様」が施設管理者や民間企業の裁量に委ねられたが、その効率が発揮できているかどうか。こういうお題を事前に設計士会から頂き、1つ私が付け加えた④デジタル自体の先駆けとしてBIM/CIMなど開発してきた今、デジタルツインとか言われているが本当に役に立つのか、この4点について設定した。

5-2 港湾計画論の特殊性について

港湾計画体系とそれが掌握する領域、この計画論、基本方針は法定計画であるが、その間の地方ビジョンは任意でいろいろ策定されているが法定計画ではない。

河川計画だと河川整備計画に該当するが、港湾計画は本来ここで機

能を議論すべき話かと思うが、ずっと審議会の中でも問題になってきた。

そういう状況で、この地方ビジョンの機能、これを性能とどう結び付けていけばいいのかということが、この場の主要な論題だと解釈している。

先ほど整備計画が港湾では少ないと言ったが港湾計画の特殊性が原因であり、道路計画や河川計画では機能は比較的明快で、道路は車が走る、それを実現するための構造物としての性能は、そこからいろんな関係性が見えてくる。港湾計画はそこがよく見えない、だから、なかなか整備計画が作れない原因になっていると考えている。

東さんの計画論、昭和28年の土木学会誌の講座、戦後の港湾計画のスタート論はここから出てきており、長尾義三、吉川和昭の門下で、これをいろいろ勉強した。

この東計画論の中には既にポートオーソリティーという言葉が出てきて、日本でも取り入れるべきと唱われているが、完全な形のポートオーソリティーはこの国にはない。東計画論でも出てくるが、日本は島国で海外との貿易には港湾を使わざるを得ない。飛行機では高額過ぎるので、主な貿易手段は港湾を通じてやらざるを得ない。ということで港湾がインターフェースの機能であり、陸地側と海側のインターフェース。そういう場所であり当然都市が発達してくる。

2番目の特殊性は、国際的社会経済環境という外生変数がいつも変わってくる。永久に港湾計画は終わらないかも分かりません。国際経済、国際政治が変化しやすく、それに応じて港湾に求められる機能も変化してくるという宿命がある。

それから難しいのはステークホルダーが極めて多様であり、施設があればいいというわけではなく、そこを使って運用するいろんな主体がいなくてインフラの価値が出てこない。

港湾という施設の価値は、いろんな機能と施設とのインターフェースをどう運用していくか、活用していくかということから価値が生まれてくる特殊性があるということである。

総合計画というのは空間と機能と施設、これをどうバランスよく取りまとめていくかということで、土木計画学ができて、もう80年ぐらい時間が経つが、いまだ総合計画は本当に実現したかと言われると、ちょっとクエスチョンマークと言わざるを得ない。それぞれ空間計画、施設計画、機能計画というのはあるが、この3つを総合的に考えた総合計画が果たして存在するのかということもってまだ実現できていないのではないかと。

港湾計画というと施設計画が中心だった。もちろん最近は空間という言葉を入れた話になってきているが、機能も完全に入れた形になっているかというとなかなか厳しいと思う。

それから、土木計画学というのは交通がほとんどで半分以上の研究者は交通を研究している。それ以外を研究している人は極めて少ない。交通というのは機能であり機能計画は考えやすい。だから、そこばかり集中してきた。最近は景観などの研究者も増えてきたので、空間もだいたい射程に入ってきたけれども、この施設設計ということも包含して議論する土木計画学研究者がいるかという、極めて少ないというのが実情である。

やはり、この機能と空間、機能と施設、この間のインターフェースをどう考

えるかというのは難しく、何か仕掛けがないと直接ここが結び付いてこないと思っ

ている。
今日は一つ、この概念をキーにお話したい。コンポーネント、サブシステム、システム、これは使い慣れた言葉だが、システムの外側にシステム・オブ・システムズという、システムのシステム、港湾というのはシステム・オブ・システムであり、これから説明をしたい。

これは、2020 年に出された基本方針。港湾の開発、利用および保全並びに開発保全航路の開発に関する基本方針で、港湾分科会として取りまとめた。これは法定計画で動いており、その中に港湾が戦略的に果たすべき機能という形で 3 項目あるが、極めて網羅的というか、単一の機能じゃない。

非常に複合的なたくさんの機能を、港湾という施設が達成していかないといけない。これは道路や河川も機能は複数あるが比較にならないくらい複雑な機能を達成していかないといけない。港湾機能が複雑なのは、それぞれの個別機能ごとに複数主体が関与するそれ自体がシステムである。

例えば、クルーズという機能は、クルーズ観光を実現するため複数の利用主体、あるいは組織、企業が一緒になってクルーズというものを動かしていかなければいけない。そこにまた多くの施設が関与するし、その施設が他のことにも使われる。そのクルーズという機能をもってしても、それ自体が複雑なプラットフォームになっており、それが数多く集まって、重なっているのが港湾という施設である。

だから、機能が見えにくい。なかなか機能と、それから性能、施設計画というのがすぐには結び付いていかないという特殊性を持っているのではないかと思う。

一つ一つのクルーズがプラットフォーム、それから、今動こうとしているカーボン・ニュートラル・ポートも一つのプラットフォーム、それがまたいろんな全体をコーディネーションしていかないといけない。だから、プラットフォームをコーディネーションするプラットフォームが必要で、そこに価値が生まれてくる複雑な性格を持っている。

港湾施設の性能、機能というのは、港湾それぞれの施設の機能に影響を及ぼし港湾全体の統合的機能、システムのシステムに影響を及ぼす。その統合した全体の機能達成水準を評価、コーディネーションするプラットフォームないと、どこへ向かっていっているか分からない。従って、地域の整備計画が非常に重要なことは言うまでもない。

昔から唱えられていたポートオーソリティーが、もし仮に日本にでき、このコーディネーションができるかどうかという問題ではない。それは空港とか今ある施設をどう運用していかばいいかという問題だけじゃなく、これから例えばカーボン・ニュートラル・ポートを作っていけないといけない。新しいシステムを開発し、いろんな民の意向を取りまとめていかないといけない、そういう先導役を誰がするのかという話になる。

これまで BtoB、BtoC という研究をしてきたが、GtoB というのがバメントリブという、そういうガバナンスを見直してもいい時代きている。そういう機能が必要とされ、それができれば、港湾の機能計画というものもかな

り中身が見えてくるのではないかと。

そのプラットフォームという言葉は、PORT2030 の中に港湾が果たすべき役割という意味でコネクティッドポート、プレミアムポート、3 つ目にスマートポートと書いている。第 4 次産業革命を先導するプラットフォーム、こういう言葉で議長としてこれを取りまとめたが、今から考えると私が考えるプラットフォームと、いろんな委員の先生方が考えるプラットフォームのコンセプトが収斂していなかった可能性もある。

何か情報システムのデータベースができること、それをプラットフォームと思っ

ていられる委員も多分あっただろう。私の思うプラットフォームはもっと広義なプラットフォームであり、この言葉をもう少し深掘りすれば良かったと今となって思っている。とはいえ、その当時まだプラットフォームという概念がそこまで深く議論されていなかったというのも事実。Grab や Uber タクシーなどのイメージでプラットフォームを捉えていたので、いろんな DX ができてくれば、それがプラットフォームになるイメージで捉えていたが、今ここがもっと重みを増してきたというふう

に思う。
余談だが、プラットフォームについて教科書的なことを少しおさらいしておきたい。
例えば、クレジットカードの例でいうと、消費者が増えれば増えるほど、そのクレジットカードをアクセ

プトする店舗が増えてくる。これが一番最初のプラットフォームの話です。1970 年代の話だが、このネットワーク外部性という話が出てきたということです。
港湾地域というのは、まさにこのネットワークの外部性がものすごく強く働く地域であり、それがプラットフォームの特殊性で、日本がこのプラットフォームの発展に実は遅れている。例えばアメリカだと、自動運転というのは Google という巨大なプラットフォームが前へ進め、それに例えば GM とか自動車メーカーが乗っかっ

ていっているが、日本にはそういうプラットフォームが育っていない。育たない環境にあるのかどうか、日本では既存のオペレーターが強く、既存の産業が強い。そのコーディネーションを今やっているというのが、日本のプラットフォームの実態、あるいはアジアのプラットフォームの実態。どちらがいいか悪いかという問題ではなく、そういう構造になっている。

初期のプラットフォーム事例として、この DX のイメージはユニクロのプラットフォームで、ユニクロは自身の会社を持っていない。このグループに参加している企業は全て独立した企業で、そこがユニクロの製品を作っている。ユニクロ自身は新しい製品を 2 週間に 1 度ぐらいの頻度で作

り替え、新しいデザインをどんどん作って

いう最適化であり厳しい世界で動いている。サプライチェーンで物がどこからどこに動いているかリアルタイムで全部把握されており、何時何分どここの空港から飛び立ったとか、いつ到着するかという情報は常に共有され、サプライチェーンで待ち受けている企業は到着が数日かかるのであれば、自分の遅延につながらないよう別の生産を先に始めるなど、そういうことをずっとやっている。これでサプライチェーンが繋がりにユニクロのシステムが動いている。

これは一つの DX の最たる例だが、ユニクロ 1 社がコントロールしているので比較的簡単な方であり、現実の港湾ロジスティクスではたくさんのグループが、たくさんのユーザー、エンドユーザーとつながりを持っている。それを情報として、どうマネジメントし、プラットフォームの運営設計というのは、ユニクロのシステム的设计より、はるかに難しい。

ポートオーソリティー 1 つが全部できる訳ではなく、一つ一つのシステム的设计は分散化してやっていかざるを得ない。このユニクロのプラットフォームというのは、まだ古いプラットフォームで、今はもっと複雑になってきている。アマゾンのプラットフォームは消費者とサプライを繋げるだけでなく、その途中で評価者など部分メカニズムを入れ全体が回っている複雑な情報システムを動かしている。

このプラットフォームというのはネットワーク効果がどうしても出てくるため、たくさんのユーザーがアプリを入れた方が、価値が上がる。東南アジアはもう Uber は負けて全部 Grab 一色になっている。タクシー会社は、個人タクシーは Grab に入るか、Uber に入るかという選択で、入るためには加盟費が必要のため両方に入るのは得策でなく、どちらか一方に入る。ほとんどの個人タクシーが Grab に入り最終的には Grab 一色になってしまった。こういうネットワーク経済性が働くようになる。

港湾地域にはそれが強く、阪神淡路大震災で港湾機能の多くが釜山に流れたという、不幸な出来事があった。ああいうインシデントが起ると、このネットワーク効果ということが、ものすごく毀損されてしまい、いったんそれで固まってしまうと、ロックインしてしまうのでそれを変えるというのは非常に難しい。そこをどう勝ち抜いていか、その落とし穴からどう抜け出していかということが、ずっと港湾戦略、港湾分科会の大きな課題であった。

日米豪印で今グリーンポートという話をしており、カーボンニュートラル、CNP、アジアのネットワークを作っていくという大きな課題がある。まだアジア諸国 ASEAN が入っておらず、これからどれだけ仲間を増やしていくかということだが、一帯一路のように、もうロックインしてしまった状況から新しいスキームに移れるかどうかは、やっぱりレジームが根本的に変わるこの時代にやらないと。いったん決まってしまうと、もう抜け出すのは容易ではない。これが、現在版のプラットフォームのメカニズム、非常に基本的なメカニズムだと考える。

顧客とサプライヤーをどうマッチングする場を増やしていくか、バンドリングによる費用効果、PFI や PPP などばらばらであったものを一緒にするコスト削減効果、もう一つは PPP で行政によるリスク分担、こういう 3 つのリスク分担、ネットワーク効果の創生、それからバンドリング、こういう 3 つの条件をどう設計していくか、これがプラットフォームの設計の今の非常に基本的な条

件だと思う。

これからの研究分野に負うところが多く、いろんな形のプラットフォームがあると思う。これはエージェント型のプラットフォーム、これは東日本の震災復興で使われた形で復興型の CM として一つの事例、それから、今私がやっている JAAM というか、このアセットマネジメントを集約的にする。一つの自治体だけでは厳しいので集約化するプラットフォームができないかアセットマネジメント会社と相談しているが、こういうふうなものを作っていくということも、このプラットフォームの一つの特殊事例になるのではないかと。

港湾地域で CNP のプラットフォームのため、CNP 計画マニュアルが年内に作成されるが、具体的に何をやるかということが現時点では紹介できていない。今すぐに見えるメニューは少ないが、まずは前に進むために策定し、どんどんマニュアルは頻りに改定していく予定で港湾局が動き始めたという状況。

来年からアンモニアの混焼が始まる。全てアンモニア発電というのはコストが高過ぎるので、石炭発電、火力発電にアンモニアを混ぜて発電をするというのが、来年からスタート、実証的に進めていくという段階である。今の、カーボン・ニュートラル・ポートという、まずはそこからということで動いているが、水素発電など次の段階となる。

東日本大震災で原子力発電が止まり、日本の電力確保のため LNG の獲得に必死で動いて、LNG 発電基地も増設され長期契約、安定契約を結んだ途端に脱炭素となった。トランジションをこれからどう描いていかもあり、まだ水素発電がすぐに見えるという状況ではない。

どうこれをコーディネートしていけばいいか、一つ一つプラットフォームを構築していく必要があるが、電力会社一つだけで出来る状況ではなく、港湾施設や整備局の協力も必要。電力をどう蓄電するか。FIT 政策も終わるので、それに対応する別の制度をどう考えるのか、いろんな話を考えていく必要があり、ポートオーソリティーだけでは出来ない。

7 地域 8 港湾で CNP 動き始め、整備局が中心になって動いているが、ガバメントドリブンな動きをしない限りは、新しいシステムはできないのではないと思う。

一方、トレードレンズ、海上物流、船荷証券、それに関わる情報を全部ブロックチェーンで繋いでいくという発想で、このトレードレンズは Maersk とそれから IBM、巨大企業で、この国際ブロックチェーンが、これはシステムとしてもう動いている。

日本の大手海運業も全部これに参画する状況になってきた。これも大きなプラットフォームで、今回のワクチンの輸送に関して、例えば、コールドチェーンがクローズアップされた。

日本はコールドチェーンに強い国で、アジアでまだ中国、韓国の追随を許していないが、今回のワクチンで中国が言い出したから、コールドチェーンも、もう日本の牙城というのは崩れる危険性もある。

港湾地域で国交省の連携基盤を作っていくが、誰がデータを入れるのかという大きな問題を抱えている。このデジタルイノベーションから、デジタルトランスフォーメーション DX へと、DX の定義はいろいろあるが、やはり「誰が」ということが重要で、組織を超えて情報が流れる必要があり、これが DX であ

る。組織の中だけで情報を流す DX もあるが、重要なことは組織を超えて情報が流れるかどうか。

その DX まずは標準の基盤が必要で、それがデジタル庁の一つの役割だが、それだけではなく組織の間で情報を受け渡すためのプラットフォームへ誰かが流さない限り、情報は流れない。先ほどのユニクロの事例では某商社がシステムを動かしている。やはり動かす主体がいけないといけない。その人材をつくらない限り DX は上手く前へいかないと考えている。

アジア版のスマートシティーは世界中いっばい概念があり、ERIA というインドネシアにある日本が一番の株主の国際機関で、そこ一緒にインクルーシブ・スマート・シティーというプロジェクトを始めている。スマートシティーの構成する要素として、このエネルギー、交通、防災等の危機管理、発電、この4つのプラットフォームの一つのスマートシティーとして、この間での DX をどうしていくか、これを考えようという動きをしている。

4つの要素部分が、それぞれ自立的に独自に動くことを大前提に、コーディネーションが必要になったらプラットフォームとして処理を行う。これが後でお話する性能規定の話と深く関わってくると思っている。

中国などのスマートシティーとの差別化、監視するための情報化社会ではなく、より自由を広げるための情報だと、日本としての考えをきちっと出す必要があると議論している。

先ほどの港湾計画の地方ビジョンに繋がってくるが、これは p4p のプラットフォーム・フォー・プラットフォーム、いろんな機能、いろんな施設、重層的にあって、そのコーディネーション機能を議論する場であり、それを地域、地方ビジョンまで持っていければ、どうプラットフォームのプラットフォームを設計するか、これからいろいろ議論していきたいと思っており、そのときに参考になるのが、このアジアインクルーシブのスマートシティーの発想ではないかと思っている。

5-3 性能規定化の現状について

2 番目の性能規定の話。私の考える性能は、仕様の集合としての性能という意味に捉えている。性能を実現する仕様には自由度がある、だから性能規定で設計できようが、この性能を実現するための仕様を自分で開発している、こういうことだと思っている。

ただ、性能を実現する仕様の全てを精査できるわけではない。どんな仕様が入っているか、全て網羅することは不可能だと思うし、あんまり意味がある話でもないと思っている。

その一方、性能規定には技術的条件が反映され、継続性が必要とされる。もちろん、阪神・淡路、東日本で性能の規定がいろいろ変わったが、やはり継続性で朝令暮改ではいけない。やはりきちとした継続性、信頼性があって初めて成り立っている。

計画・設計案は基本的な外力とか、計画にとっての外的条件だが、それを想定し、それはそういう計画行為、設計行為の確定的なベンチマーキングを規定する。

例えば、河川分科会の話でも、計画降雨シミュレーション、温暖化シミュレーションで眞鍋さんがノーベル賞を取りましたが、膨大な計画降雨パター

ンがコンピューターでシミュレーションできる。ある流域でも何十万通りぐらいの降雨パターンができるが、不確実性もいろいろ表現できるが、河川計画、流域治水計画としては一つしかやっぱらない。この場合にはこうする、この場合にはこうすると言っても、計画案は 1 つ、設計案は最終的に 1 つに絞らなければならぬ宿命がある。

いろんな不確実性に対して、1つの計画案、1つの設計案で対応せざるを得ない中で、その 20 万通りの降雨パターン、その全てに対して、流域治水計画案、1 つで全部対応できるか、今、それは全ての 1 級河川で検証が始まっているが、実情は難しい問題である。

計画・設計案は性能規定、ハザードマップの想定をどこまで超えても対応可能かいうと、現実には難しく超過外力というのが発生する可能性は必ずある。その時に、超過外力が発生したと想定してどう対応が出来るのか、これを想定・計画していく必要がある。

L1、L2 想定というのは大きな進歩だったが、あれは離散的で実はその間に中間段階が多くあり、それぞれの場合にどう対応するかということところが、まだクリアでなく課題がある。

計画・設計案の立案には外力・外的条件に関する想定が絶対必要である。今はやはり要求性能を満足しない外力・外的条件これが顕在化してきた、想定外が出てきた。こういう場面にどう対応したらいいのか。そういう意味で、河川計画は一番ある意味で今、転換期にきている。計画案を 1 つ作るが、20 万通りの降雨パターンがあれば、今はコンピューターで何でもできるので、20 万通り全部でやって検証してみることもできる。その計画案が 20 万通りの降雨パターンのうち 19 万 5,000 パターンでうまくいくのであれば、残りの 5,000 パターンがどんな場合か。ある特定の支川に集中豪雨が降った想定とか、今、私権の制限とか、いろいろあるので、なかなか実現できない特殊な地域が浸水するとか、そういう極小化したケースも徹底的に洗い出すことも可能となる。

計画案のブレ、どんなことが起こり得るのかということを検証していく。それができれば、ある特定の地域に雨が、集中豪雨が降り出したらもう最初から自衛隊を派遣するとか、そういう想定しておく方法もある。

これは今までの計画論、設計論もそうだったと思うが、外力・外的条件、これが与えられ比較する計画案 A、B、C があり、それぞれを採用したときに、どういう結果が出てくるかというのを検証し、最適な計画案を選んできた。ところが、今の河川は外力が 20 万通りあるとすれば、計画・設計案は最終的に 1 つ決め、その決めた計画案で想定内の範囲に収まるか、あるいはブレが出てくるかそれを判別し、このブレが出てきた部分にどう対応していくか。

広域災害、複合災害で、流域治水計画で全て対応できたらそれにこしたことはない。それができないケースは、他の流域、他の所に助けを求める想定など、あるいは同時に起こった想定ではどう対処するかなど、そういう場合はコーディネーションが重要になってくる。

だから、1つのベンチマーキングでやれるところはやろうと決めて、やれない部分は事前に洗い出しておく。そういうシミュレーションも今は出来るようになってきた。それがプラットフォーム・フォー・プラットフォーム、システム・オブ・システムの役割だと考える。

一昨年の台風で成田と羽田、空港がストップした。その前は関西空港も機能が止まった。あれは空港間での助け合いが出来なかった。なぜかという、事前に想定して計画していなかったからである。これから桜島が噴火したらどうするのか、あるいは富士山が噴火したらどうするのか、そういったコーディネーションというか、このシステム・オブ・システムの時代には必要となってくるのではないかと思う。

5-4 施設管理者や民間企業の裁量に委ねられた結果について

3番目の仕様が施設管理者や民間企業の裁量に委ねられたが、その裁量性が発揮できているかどうかということだが、これもまたいろんな課題がある。

包括管理業務委託に関わる発注者、受注者双方の取引費用が無視できない。入札コストがかり過ぎる。いろんな総合評価型の提案をしないといけないが、提案書を作るというのはそんな簡単なことじゃない。ものすごいお金がかかる話。でも、やはり一度、既存、事業者が決まってしまうと、完全に有利で次に入札する時は、その事業者はよく分かっているので入札費用も少なく済む。

いろんな性能というのを条件で挙げ、それに対して提案する。でも事業者の方は、会社の中でルーチンでこなしていくため仕様を作らないといけない。点検は何回に1回にするとか、何日に1回ずつとか、そういう事細かく企業の中で設けていかなければいけない。だから、結局は会社ごとに仕様を作っているが、その一度、仕様ができて失敗をしなければ、それはやっぱり継続化するので、あえて変えようというインセンティブはなかなか湧いてこない。

それから、発注者は全てをモニタリング出来る訳ではなく、例えば流域下水道で排出される水質をモニタリングすることは出来るが、受注者が BCP マネジメントまでモニタリング出来ない。だから、全てを観察できるわけではない。

発注者は性能規定を達成するための仕様集合というか、全体を把握しているわけではない。むしろ民間企業の方がどういう仕様で可能かということの方が分かってくるということで、発注者よりも受注者の情報量が多い。でも受注者間では企業秘密だから共有は出来ない。そういうことで、分散化されてしまって、果たして効率的な性能包括管理業務委託、それが可能かどうかというところは工夫が必要と思う。新しい技術を導入するというのは、こんな契約を構造化すれば簡単にできるかという、そういうものではなく、契約の問題ではないかと思っている。

アセットマネジメントのマネジメント基準では、アセットマネジメントの技術を指定しているわけではなく、現場というのはルールで動いている。ルールを現場が勝手に変えたら、混乱する。ルールは、仕様は、会社の中の仕様はきちっと守る必要がある。ところが、それが上手いかわからない時はそのルールを変えないといけない。会社で決めたそのルールをどう変えていくのか、その道筋や手順を示したものが実はマネジメント基準、ISO の基準だということであり、ここがなかなか普通は理解されていないのが現状である。

これが ISO の手順で第 1 ステップから並んでいる。しかし、どこを読んで

も普通のアセットマネジメントの話はどこにも出てこない。これは先ほどのルールを変える手続き、手順が書いてある例で、それが ISO の持っている構造だが、なぜ日本でこの ISO がなかなか尊重されないのか、ISO の国際委員会に出たら、いつもそれを実感する。日本以外の国は全部 ISO が必要で、認証がないと太刀打ちできない。日本は何か書類が多過ぎて現実の ISO とは違うと言われている。

日本のマネジメントの特殊性なのか、一番大きなのは、例えば、終身雇用制、年功序列、終身雇用制は日本の雇用慣行でだいぶ薄くなってきたが、そこに問題がある。今の学生でも、現実には転職が増えてきたが最初に就職した企業に一生行くと考えている学生は多い。ところが、外国に行ったら誰もそんなこと考えていない。プロモーションというか、昇進するためには会社を売る。ジョブホッピングしている。だから、就職したその日から、もう就職活動している者もいる。

だから、そういう国だと、マニュアルというものを作っておかないと品質が駄目になる。マニュアルがないと現場は動かない。マニュアル労働者というのが多い。ISO というのは、問題が起ったマニュアルを変える手続き。マニュアルを変えたのは、どういうエビデンスで変えていったのか示す、アドホックに変えていないかと。それを外部審査でそこを見て、機能がシステムとして動いているか外部審査を受けながら、マニュアルを継続的に改善する。

マレーシアのアセットマネジメントの基準は、バージョン数が何回も頻繁に変えて、更新の回数が多いほど信頼に足る、マニュアルの熟度が上がっているという評価になる。

日本は終身雇用であれば良いところも一杯ある。だから、会社の若手を勉強させる機会を与えることができる。20代、30代前半の技術者に勉強を期待する、チャンスを与えることができる。しかし、人材に投資した費用はどこかで返してもらわないと困る。だから、それは30後半か40のところで一生懸命、会社に投資したお金を返してもらうわけで、そこで、他の会社に移られたらたまらない。同じ会社だから勉強など教育も上手く回っていている。

それが日本的な雇用慣行で能力があるから現場は動く。マニュアルがなくても現場は動く、現場は見てみれば何が問題になっているか現場は正直に教えてくれる。失敗したら失敗だと分かる。日本は現場主義で動けるメカニズムがあるから、いちいちマニュアルに書く必要はない。そこに決定的なマネジメントの風土の違いがある。

ただ、現場の数が減って現場を経験するチャンスも減ってきた。また、熟練なエンジニアが高齢化してきた。ノウハウが伝わっているかどうか、現場を通じたら伝わるが言葉だけで伝えるということでは不十分。最初のプラットフォームの話も一緒だが、そういった事例が増えてきた。やはり明文化あるいは AI 化というのも一つの方向性。例えば日下部先生がどう判断されたかというのを AI に残すというのは素晴らしい。書いて残す時代から、新しい技術を活用してプロフェッショナルな技術を継承していく、そういう時代に入ってきた。

5-5 デジタル時代の先駆け BIM/CIM はインフラマネジメントの高度化に役立つのか

最後に、デジタル時代の先駆けとしてBIM/CIMが開発されてきたが、インフラマネジメントの高度化に役に立つのか、この話到最后つなげて終わりにしたい。

デジタルツインの図、左側がリアルプロダクト、製品、右側はバーチャルのツインである。例えば、実際の製品では実験で事故のシミュレーションなど出来ないが、バーチャルの世界では、いろんなシミュレーションができる。これも効用の一つで、こういうデジタルツインが急速に普及してきた。港湾施設でも3Dモデル事例のように普及しつつあるが、設計図が残っていない古い施設もあるので、全ての港湾施設で普及するには先の話になる。

問題はこれを何にどう使うかということで、施工の効率化など直接的な目的で用いてきたが、マネジメントかアドミニストレーションという間に入った時にどう役立つかと。これが、インフラのデジタルツインを考えた時に我々が考えるべき問題で、デジタル空間上の双子、それは「ある姿」なのか「あるべき姿」なのかということ。

製造業の製造物も同じような問題があると思うが、設計図どおりにできている保障は実はどこにもない。隠れた瑕疵、見抜けにくい瑕疵があるかも分からない。それから劣化して機能が低下する、だから、このツインのバーチャルな姿というのは、どの時点の姿を描いているのか、造られた時点の話を描いているのか、劣化した後の現在の話を描いているのか。そうすると、この双子は一体何を表わしているのか、私は一つの選択肢として、設計の段階で想定していたあるべき姿、それと現実の状況を比較して乖離がないか判断するための一つのレファレンスになるか、そういう在り方があると思っている。

もう一つは仮想的な条件の下でインフラに発生する可能性について評価できる。デジタルツインの目的でもあり、いろんな可能性がある。今まで一度も経験してこなかったような、台風がやってきた時にどうなるか、それは、特に洋上風力でこれは極めて大事だと思うが、秋田沖の洋上風力のリスク評価がきちっと出来ていない。地震や断層は分かっているが個別の洋上風力が果たしてどこまで台風、あるいは地震に耐えられるか、実は評価がきちっとできてないがヨーロッパの保険料率を適用して保険は掛かっている。ヨーロッパはそういう災害がない。ヨーロッパ基準で保険料率を一応計算し、その上に危ないということでプレミアムを上乗せしている。ヨーロッパよりも頑丈な施設を造ってコストはかかっている。高くなったコストに、高くなったプレミアムを払っている。やはり正確なリスク評価を徹底的に行うツールとして活用すべきと思う。

それから、マネジメントを支援するためのインターフェース、マネジメントに役立つから情報システムも役立つのであって、9月1日にデジタル庁が出来たが何か情報システムだけ取り上げて、デジタル庁でやるというのは論外だと思う。実際のマネジメントに役に立つ情報が、どう支援できるかというのが重要である。

以上の考えをまとめると、現実の評価も大事だが可能性の評価ができる点。これが1点。網羅性と悉皆性、和歌山で水道管が落ちたが、点検で見落としていた所があって、表形式の点検帳だけではチェック不足。一つ橋梁をデジタルツインで見えている所と見えていない所、ここは見た、ここは見えない、一回も見てないなどの情報を連続体できちっと描かないと、過去の

元になる。網羅的、悉皆的にマネジメントが出来るか、これが2点目の大きな話。

それから想定外の話で、関西空港の連絡橋に船が衝突し、再開する時に安全性をどう検証するか大きな問題となった。危険を察知し損傷を見つけることより安全の検証の方が大変で、橋脚あるいは上部構造物が動いたかどうかを検証する必要があったが、衝突前かどういう位置で、衝突後どうなったかということと比較できず、それも一つの大きなネックになった。

目視点検では局所的な損傷など見付けることは出来るが変位は判別できない。変位があったから安全性の検証になる訳ではないが、アラーム機能という何か異常を検知するシステムが必要で、このデジタル情報を使ってそれが可能になってきた。それを受けて、DXをどう活用していけばいいか、組織マネジメントをどう変えていけばいいのかという話になる。

これが私の考える情報システム、プラットフォーム空間でこの3D上に全部の情報を乗せてしまったら重過ぎて動かない。データを保管する空間、設計に関する情報を保管する空間、シミュレーションする空間、この情報空間をプラットフォーム上に反映できると良い。必要あれば、有限要素法のポリゴン化というのがあったという間にできるとか。そういうインターフェースの開発が鍵を握ってくると思う。ここにAIとか、そういう情報、技術を入れ込み、これを4次元化する初めてこの差分解析、変位、これが検証できるようになる。

港湾の場合は点検が難しく点検に金がかかる見えにくい所が多い。この港湾の維持管理のマネジメントと、さっきの3D情報システムのインターフェースが必要。

抽象的に言ってもいけないので、3つほど事例を紹介して終わりにしたい。1つは現実の評価から可能性の評価へ、橋梁3Dモデルとフォールトツリー分析は、こういう末端の事象、目視点検結果から構造物全体に及ぼす影響を簡単に評価できる。こういう研究はもう幾つか取り組まれ実用化してきているが、現実の話はもっと複雑なフォールトツリーになってくる。

シミュレーションで重点監視部材の抽出と書いているが、これは阪神高速の例でいろんな亀裂が起り得る可能性があり、どこに亀裂が起ると問題か検討した。コンピューターが乱数を発生させて何十万回もシミュレーションすると幾つか危ない部材を抽出でき、この亀裂は構造的に安全性にもたらす影響が大きい、そこを例えば重点的にモニタリングすると維持管理費用も削減できる。危ない所を切り取る、重点的に点検すべき部材の把握は重要。

2つ目は網羅性・悉皆性、とにかく全部を評価しないといけない。大阪市下水道で管渠、地下構造物のため目視点検するというのは容易なことではない。このコンクリート管渠で、2万8,000箇所は大阪市が点検したが、残り8万9,000箇所は何も点検できていない。この2万8,000箇所の統計的劣化モデルで寿命予測を実施、統計的なメカニズムが同じと想定し、点検できていない管渠がどうか予測した下水道管渠健全度マップで見ると、港湾地域の管渠の劣化が激しく想定された。やはり大阪市は重点的に劣化調査が必要との認識を持った。

このまま放っておくと2070年どうなるか、これから50年、60年かけて更新する必要があり資金計画の再考が課題となっている。一部だけではなく

全部をきちと網羅的に悉皆的に調査点検することが重要。

3つ目は点群データによる斜面異常検知とリスク。これは先程の想定外の話、MMS や航空レーザーで時間と共にどう動いていっているか。3次元パターン認識をどうすればよいか。ここも点群データというのは点だけで、対象物との対応が取れていない。座標だけで、その座標と対象物がどう関係しているのか対応させるのに物凄いエネルギーがかかる。分析するための時間のうち8割はその対応関係の検証に費やしており、その自動化が必要である。

しかし、その自動化を図るための基準となるシステムが要る。これが今やろうとしている事例の一つ、絶対座標は小さな動きであれば何も必要ないが、大きな大阪と奈良の間の亀の瀬の地滑りや、あの辺のモニタリング資料を追うと絶対座標が必要になってくる。絶対座標をきちと国土地理院などで国策としてやってもらう必要がある。そこをベースに、今度はそれぞれの斜面や構造物の動き、変化を観測する。そのためにはこの地点の動きを見ていく必要がある。そういう対応、ひも付けが必要だが出来ていない、度量衡ができていないと、そういうインフラができないと難しいので、そういったシステムが必要と思っている。

(要約：海洋・港湾構造物設計士会 理事一同)

6. 高知工科大学 学長 磯部 雅彦氏の講演

「目的の多様化と変動化に対応する海洋・港湾構造物の設計に向けて」

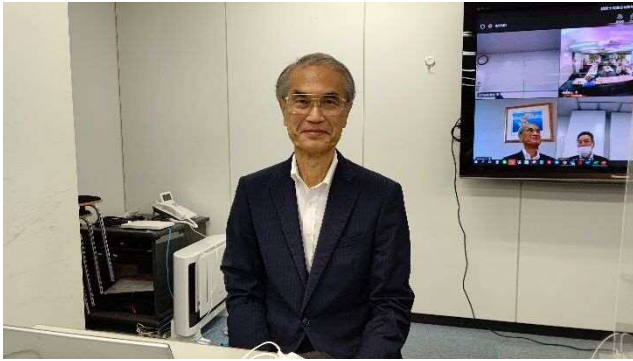


写真6 磯部 雅彦氏

【略歴】

高知工科大学学長

- ・1978年 東京大学大学院工学系研究科修士修了。
- ・1981年 工学博士。
- ・東京大学副学長を経て、2013年より高知工科大学副学長。
- ・2015年4月より高知工科大学学長を務める。
- ・専門は海岸工学。
- ・近い将来起こるといわれる南海地震の津波対策にも高知県や国のレベルで中心的に活動する。
- ・元土木学会会長。

本日は「目的の多様化と変動化に対応する海洋・港湾構造物の設計に向けて」と題して講演を行う。

これまでの従来の設計では、外力が与えられ、その外力に耐えられるような構造物を技術基準を使いながら設計して、施設の目的に応じていくことが行われてきました。近年では、目的がカーボンニュートラル、あるいは、デジタルトランスフォーメーション等、港湾の目的が多様化したり、気候変動によって目的や外力が時間とともに変化したりしている。そういう意味では、目的が多様化し、変動化している中で、海洋港湾構造物をどのように設計していかなければいけないのか、そういうことを考える時期に来ている。

本日は、目的が多様化あるいは変動化する防災施設の設計を例として、実務および行政で行われ始めている状況を紹介しながら、海洋・港湾構造物全体をどのように設計していけばいいのか、一つのヒントが提供できればと考えている。

まず、津波防災については、東日本大震災を契機として大きく考え方が変わった。被災直後に設けられた東日本大震災復興構想会議をはじめとした議論を踏まえ、東日本大震災で起こったような津波に対して、ハードのみで津波を完全に防ぐことは現実的ではない。そのため、理論的にあり得る最大クラスの津波（レベル2津波）に対しては、避難を中心にして生命を守り、経済活動の必要最小限な部分については維持をしようということである。一方で、一生に一度は平均して経験する頻度の高い津波により、新築した家が津波で流されては困るので、堤防を建設して浸水を防ぎ被

害を避けようということである。この数十年から百数十年に一度発生するような津波をレベル1津波と呼ぶこととした。

現在の設計は、これまでの構造物の設計とは大きく違ってきて、従来は、防災施設を設計する際には、設計外力に耐えられればよく、設計外力を超える外力が生じた場合の検討は基本的には行わないで済ませてきた。しかし、設計外力を超える外力が作用したときに、構造物がどのような挙動を示すか、技術者としてある程度責任を持つべきであり、一つの解として「粘り強い」構造物をつくり、設計外力を超えてもできるだけ壊れない、壊れにくいようなものにしていく、ということが決まり、実際こやり始められている。

「レベル1津波」に耐え得る海岸堤防を設計すれば、レベル1津波を超える「レベル2津波」が来襲しても、最初のうちは海岸堤防で防いで避難する時間を確保して高台、津波避難ビルやタワーなどの安全な場所に避難して、生命だけは護る設計にしたわけです。仙台平野での津波浸水深の検討を紹介する。東日本大震災の津波襲来における浸水深の実測値分布と、津波越流における堤防被災の有無を踏まえた、堤防ありと堤防なしを仮定した場合の津波浸水深シミュレーションの結果を比較して示す。実際の浸水域というのは、堤防が壊れなかった場合に近いような分布を示している。実際には東日本大震災でも、私たち人間の立場では、全体を改めて造り直す必要はないけれども壊滅的な災害を受けたが、津波の海水の立場では、結構、海岸堤防というのは形をどめていて、なかなか海水は入りこなかったというのが現実で、海岸堤防ありと仮定した予測計算と実測値が近かったということである。

粘り強い構造を作っておくと、東日本大震災のような高い津波が生じたとしても、一番高い津波水位はものの10分というあまり長い時間であり、越流は許しても構造物としては壊れないということがあれば、時間稼ぎや浸水深を減らすことができ、その後の復興復旧のときの土地利用計画にも随分役に立つと、フレキシビリティが全く違ってくるということになる。与えられた外力だけに対して設計するのではなく、そこから少しはみ出したところの条件についても設計ができると良い。

与えられた設計外力に対して耐えられる構造物を作るのは当然だが、少額の費用追加で機能・便益が大きく向上する対策は積極的に実施し、逆に多大な費用をかけても機能・便益が向上しない対策は控えめに考えていく等、自由度を考えた設計もされていて、一つの目的の「多様化」ということに対応した設計が必要であり、「粘り強い構造の設計」により方向性は1つ見えていると感じている。

つぎに、高潮防災の取り組みについて説明する。第2次大戦直後から現在に至るまでの高潮被害について、代表的な台風による死者数、行方不明者数を整理している。

1945年頃から1960年になる頃には、毎年のように非常に大きな犠牲者を出していたが、1960年を過ぎると犠牲者の数が激減した。それに対応して、1945年頃から1960年になる頃は、強い台風が毎年のように来ており、大きな高潮も続いている。ところが、1960年から1980年は大きな台風が来ず、大きな高潮も起こっていないためか、犠牲者の数も激減している。ただ、1990年代になると大きな台風が来ており、高潮偏差も大

きくなっているが、犠牲者は低いままで抑えることができている。これは、昭和31年の海岸法の成立等をきっかけにして、1960年代から1990年にかけて、海岸保全施設が急速に建設され、被害を抑えることができたと思われる。そういう意味では、戦後の海岸保全は大成功を収めてきたといつて良いと思われる。

ところが最近、大阪湾で既往最大の潮位を記録した台風1821号、2004年には台風が10個も上陸し、室戸沖では既往最大の波高を観測する等、外力レベルが上がっているように感じられ、もう一つの目的の「変動化」に対応した設計が必要であると思える。

高潮に関する変動への対応として、平成27年の水防法の改正では、「想定しうる最大規模の高潮に対して、高潮浸水想定区域を想定し、高潮特別警戒水位を定め、避難体制をとる」ということが決まった。

東京都では、高潮の浸水予測と逃げるためのリードタイムから、外郭堤防を高潮を超える30分前の水位を予測し、この水位が観測されたときには高潮特別警戒水位情報を発信し、即刻避難してもらうという体制になった。

津波のレベル2と同様、レベル2高潮に対しても避難を中心防災することになった。津波と同様に設計クラスの高潮を超えたときに、海岸堤防がどのような挙動を示すかが非常に重要になってきている。

「変動化」への対応として、気候変動対策への取り組みについて説明する。1990年前後からIPCCの活動が始まると気候変動に対する様々なレポートが発表された。日本でも2018年に気候変動適応法が成立し、気候変動データベースの構築により気候変動の将来予測がある程度可能となった。海岸保全基本方針には、「高潮に対して、適切に推算した潮位に、適切に推算した波浪の影響を加え、これに対して防護することを目的とする」ということで、気候変動によって変化する外力にどう対応するかということが制度的にも始まった。

現在の高潮に対して余裕高を考慮して設定された計画天端高が、時と共に大きくなる外力に対して、余裕高の範囲を超えて気候変動が進むと、耐用年数内でも天端高が不足する状況が出てくる。外力が変動することを前提とし、予測したもので外力として考える設計をするということになってきている。

昨今の海面上昇などの気候変動による外力変化については、レベル1設計に取り込み、非常に稀な高レベルの高潮に対しては、避難を中心被害を最小限に抑えていくという防災体制ができてきた。ここでも粘り強い構造物をどのように設計していくのか、機能を増やしていくのかというのを議論しなくてはならない状況になってきている。

さらに、目的の「多様化」の例として、高知県の種崎千松海岸を紹介する。津波に必要なレベル1の海岸堤防を、今までの壁体という堤防とはかなり違うコンセプトにより、敷地の広さ等の条件をうまく利用した丘のようなものを作っている。丘のような構造であるため粘り強い構造でもあり、景観や海岸の利用にも適した海岸防災施設が、関係者の努力と理解で一体的に整備されようとしている。

特に防災施設を事例として説明したが、防災、環境、利用を含み、目

的が多様化し、気候変動によって外力そのものが変動化してきている状況下において、構造物の設計について、与えられた外力一つに対して耐えられる設計ではなく、多様化・変動化する目的に合わせた設計を推進すべきという時期にきている。このようなことができる制度を作っていくことが必要と思っている。

国土交通省の技術基本計画には、カーボンニュートラル、デジタルトランスフォーメーション、海底資源、防災減災、メンテナンスなど様々な目的が示されている。これらを含み、より具体的に港湾・海岸に特化したPORT2030があるが、ここにも、ブランド価値、資源エネルギー、グリーン化、スマート化、強靱化など様々な目的が示されている。これらを受けて海洋・港湾構造物をつくる場合、港湾法が最も強力な制度となる。PORT2030のような大きな方針のもとに、基本方針を定め、港湾計画をつくり、それを具体化する技術上の基準をつくるということになっている。基本方針には、国内複合一貫輸送網、海洋再生エネルギー、低炭素化、サイバーポート、AIターミナルといった内容が示され、PORT2030の精神が具体的な言葉として引き継がれている。

港湾計画の段階になると、本当の施設の機能といえるような、目的・目標を掲げたような記述がかなり減ってきている。港湾計画を受けた要求性能は、大きな意味での機能の定義や、機能を表現する単語等が減ってきて、この段階で機能全体を総合的に考えていくというのが難しくなっている。

防災については、東日本大震災以来、粘り強いという言葉が広がってきて、これが、一貫して計画の上位の段階から設計まで繋がってきていると思う。粘り強いにならって、PORT2030に書いてあるような目的・目標のようなものを、さらに港湾の基本方針、計画、そして要求性能、最終的には性能規定、性能照査というところまで、一貫して繋げていくことで、機能を保証し、より国民のためになる港湾整備あるいは海洋開発というものができていくのではないかと考えている。

1つの新しいステージが開けていけるような、そういう時期に来ているのではないかと、こういうものをぜひ進めて行ったら良いのではないかと思う次第である。ご清聴ありがとうございました。

(要約：海洋・港湾構造物設計士会 理事一同)

発刊者：海洋・港湾構造物設計士会

2023年7月1日発刊

問い合わせ先：<http://demphis-kai.com/>