

水工学シリーズ 00-B-9

海域施設の施工・維持管理と復旧

九州大学工学研究院環境都市部門教授

入 江 功

土 木 学 会
海岸工学委員会・水理委員会
2000年8月

海域施設の施工・維持管理と復旧

Construction, Maintenance and Restoration of Coastal Structures

入江 功

Isao IRIE

1. はじめに

わが国は、戦後の国土復興とその後の高度経済成長期において、非常に多くの土木構造物を創ってきた。これらの中には、建設後数十年を経過したものも多くなっており、これまで創ってきた構造物をどう維持管理していくかが問題となってきた。このことは、ここで扱う海域施設としての海岸保全施設についても例外ではない。昭和25年から財政措置が講じられて始められた海岸保全事業は、昭和31年に海岸法制定により行政一元化され、昭和45年に第一次海岸事業5ヶ年計画が策定されるに及び一層の事業促進がなされるようになった。その後も引き続き数次の五ヶ年計画策定の下に事業の拡大促進が行われ、現行の第六次7ヶ年計画期間に至っている。当初は、海岸災害を防止するための事業として進められたが、昭和48年には海岸環境整備事業が予算措置として発足し、人々に明るさと活力をもたらす事業として、海水浴場としての人工海浜の造成も進められた。さらに平成11年度の海岸法改正に伴い、海岸保全施設のあり方に多様な視点が求められることになり、今後とも施設整備にその目標実現へ向けての投資が要請される趨勢にある。このような土木構造物の蓄積の進展は同時に施設の維持管理上の問題、すなわち、施設維持費の増大が今後一層深刻化することにもなる。一方では、少子化高齢化社会の到来をはじめ新しい時代の変化を受けて、公共投資の縮小化が危惧されており、一旦創られた土木構造物を有効に使い続けるための維持管理技術の確立が急務とされている。本文では、土木技術者にはこれまで比較的馴染みの薄かった施設維持管理問題を取り上げ、施設の機能を維持しつつ投資額を最小にするにはどうしたら良いかを考えてみる。

2. これからの公共投資と施設の維持管理

(1) 社会資本の維持更新費の将来予測

戦後、わが国の社会資本整備は、高度経済成長時代を経て着実に増加し、膨大な土木構造物を社会資本としてかかえるようになった。21世紀に入ると、これまで投資してきたこれらの土木構造物の耐用年数経過にともない、大量の維持更新需要が発生すると言われている。わが国の社会生活レベルをさらに上げて行くには、社会資本のさらなる整備と共にすでに存在する土木構造物がその機能を健全に発揮し続けるようにしていくことが必要である。ここで、先ず社会資本の維持更新費は、今後どれくらいと見積もられるかを、経済企画庁総合計画局の試算結果（経済企画庁，1999）を例に見てみる。計算に当たって、維持更新費としては維持補修費と更新費との合計とし、更新費としては耐用年数の経過した過去の設備投資の除却分をあて、維持補修費については、ストック額との相関より回帰式を求め、将来のストック額に対応する維持補修費を算出している。ただし、この維持補修費に災害復旧費は含まれていない。推計の対象となった部門は、1981年から1993年までの維持補修費の把握が出来た8部門である。すなわち、①道路、②下水道、③都市公園、④学校施設・学術施設、⑤治水、⑥海岸、⑦漁業、⑧工業用水道の8部門である。これらの部門ごとに、ストック額と維持補修費との回帰式を、

$$\log Mt = a \log Kt + b$$

Mt : t 年次における維持補修費

Kt : t 年次におけるストック額

さらに、8部門の維持補修費とストック額を合計し、この合計した維持補修費とストック額の割合が、公

的社會資本全体においても同じであると仮定し、過去の公的社會資本全体の実質維持補修費を比例計算により求めている。

その上で、先の8部門における新設改良費の実質投資額および公的固定資本形成の実質額を以下の2ケースの伸び率で伸ばし、1990年度、2000年度、2010年度の3時点におけるそれぞれの（8部門ごとおよび公的資本ストック総計に対する）維持補修費を求めている。

（ケース1）— 2004年度まで3%で伸ばし、2005年度以降は横ばいとする。

（ケース2）— 一律3%で伸ばす。

こうして求めた予測値において、維持補修費をM，更新費をD，新設改良費をI（ただし、これには更新費Dが含まれる）としたときの投資全体（I+M）に対する維持補修費I，更新費D，新設改良費（ここでは、I-D）のシェアを示したのが図-1である。これより、投資全体に占める維持更新費（M+D）の割合は（ケース2）の場合、1990年度時点の14%に対して2000年度には18%、2010年度には36%にもなることがわかる。一方、（ケース1）の場合は、2010年度で31%になっている。

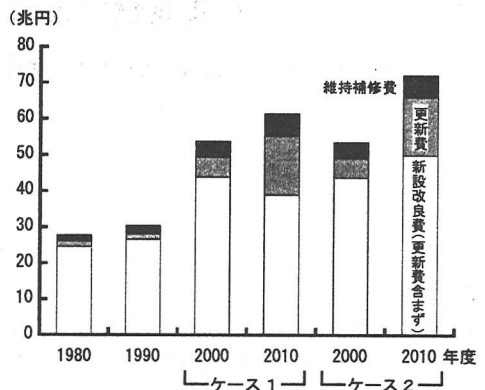


図-1 投資全体に占める新設改良費・維持補修費・更新費のシェア

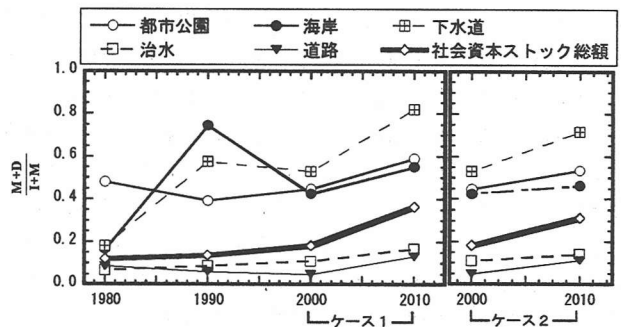


図-2 各公共事業における投資全体に占める維持更新費

部門別維持更新費の将来予測結果から、公共事業の土木施設に類する、①道路、②下水道、③都市公園、⑤治水、⑥海岸、の5部門について、投資全体（新設改良費I+維持補修費M）にしめる維持更新費（更新費D+維持補修費M）を図化したのが図-2である。海岸は、図-1の社会資本ストック総額に比べて、将来における維持更新費の割合がかなり高くなっている。総じて、維持更新費の割合は、2000年度まではその値が小さいものの、それ以降は高度経済成長期に蓄積された社会資本ストックの更新期を迎えることにより、著しく増大するものと見られている。また、今一つ重要なことは、更新にあたっては、単に既存施設の機能を維持するのみではなく、文化・環境への配慮、高齢化、高度情報化、耐震性の向上等、新しい社会のニーズに対応した、機能のアップした施設の整備が求められることであり、これは今回の試算に充分考慮できているわけではない。昨年度から実施された海岸法の改正においても、海岸整備事業の実施目的が海岸の防護ばかりでなく海岸環境の整備と保全および公衆の適正な利用を図るものとされ、それだけ施設整備の投資額も増大することは充分考えられる。

（2）土木構造物のライフサイクルコスト

従来の土木構造物については、耐用年数経過後はスクラップアンドビルドにより施設更新が可能であったので、構造物使用中の維持管理費用を最小にすることで十分であった。しかし、上述のように膨大な社会資本がやがて更新期を向え、維持更新費の著しい増大が見込まれ、また一方で少子化・高齢化の時代の到来による社会資本投資の大幅な落ち込みが見込まれる場合には、従来の維持管理の考え方を変えて、耐用年数が

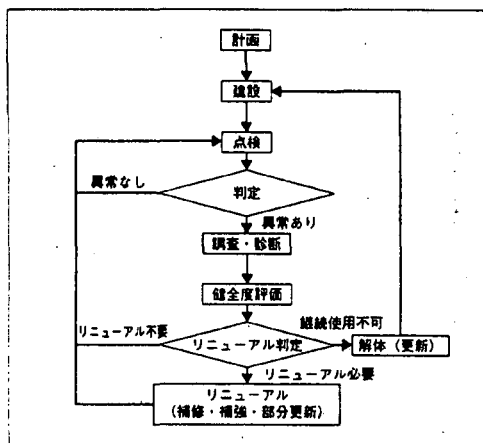


図-3 従来の維持管理フロー

過ぎても構造物の性能は、継続的に要求性能を維持出来る状態に保ち、構造物を耐用年数以上に長寿化することを考える必要が出てくる。そのためには、補修・補強・更新（リニューアル）が遅れ

て多大な損害を被ることを避けるために計画的な維持管理を行うことが要求される。そのような目的で最近よく用いられるようになったのが、ライフサイクルコスト（LCC）の概念である。LCCとは、計画・設計—建設—維持管理—解体撤去に要する費用の総額であり、それに外的費用（例えば補償費、環境復元費など）を加えたものをトータルコストと呼んで区別される。これを式の形で表せば、

$$LCC = \text{初期コスト} + \sum [(k \text{ 年目の維持コスト}) / (1 + i)^k]$$

ここに、 n = 分析期間、 i = 割引率

である。LCCは、建設から解体にいたる間の初期コストと維持管理費一切を含み、土木構造物の耐用年数を超えて供用とした場合、このLCCを最小限に押さえる「計画的維持管理フロー」が求められている。

図-3、図-4には、それぞれ従来の維持管理フローと、LCCを考えた計画的維持管理フローを示す（金氏 眞，2000）。図-3の従来の維持管理フローでは、構造物供用開始後点検が行われ、異常のある場合にはさらに調査診断により施設の健全度が評価され、その結果にもとづいて維持補修対策が取られる。その場合、維持補修は、劣化現象が表面化してから対策が施されるので、「事後保全」とも呼ばれる。これに対し、図-4のいわゆる計画的フローは、以下の点で大きく異なる。

- ① 「点検」に先立ち、想定される劣化原因について診断を行い、「事後保全」で対処すべきものと、劣化現象が表面化していないが十分にあり得る劣化に対応する「予防保全」に分類し、両者とも検討の対象とする。ただし、この「予防保全」については、劣化のメカニズムが解明されていて劣化の条件が特定できる場合に限られるものである。
- ② 現段階での劣化に対する補修効果と、劣化がさらに進行した段階での補修効果が同じであれば、すぐには補修しない。
- ③ 補修対策が必要と判定されたら、構造物の要求性能を再度設定した上で、実行可能な「リニューアル計画」を「複数案」立案し比較検討する。
- ④ LCC等の指標に基づいて最適化判定を行う。

以上のように、LCCまでを考えた土木構造物評価にはいくつかの補修代替案が検討され、LCCの最小化を基本とし、高度な専門知識と豊富な経験にもとづく総合判断が要求されるものである。

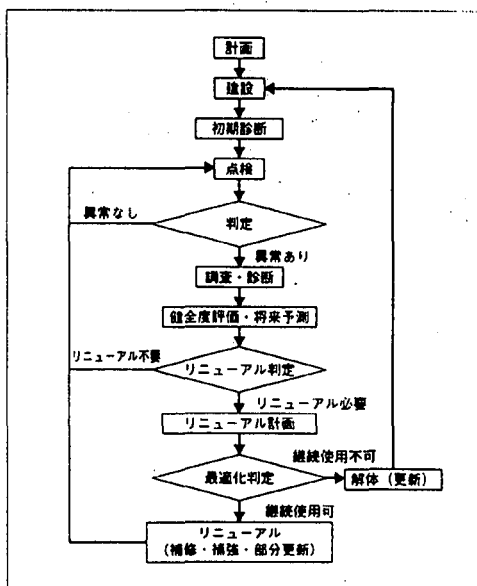


図-4 計画的な維持管理フロー

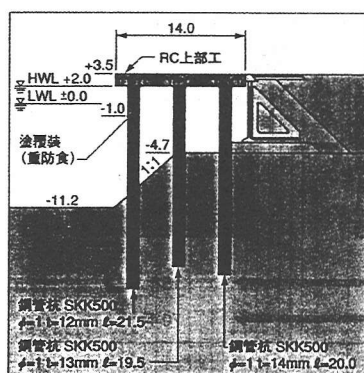


図-5 LCC 評価の対象とした栈橋式係留施設

海域施設について、上記のような方法で維持管理計画を検討した例は非常に少ない。ここでは、港湾技術研究所を中心に実施されたLCCの試算例(Yokota, 2000)を紹介する。対象とする構造物は、図-5に示すような栈橋式係留施設で、1953年に建設され、およそ30年後の1982年に改良されている。初期投資額は、1995年価格で48億円であり、維持費は建設後20年頃から上昇し始めたが、維持費は概ね年間4千万円を上回ることにはなかった。1986年と1991年に電気防食工の電極取り替えおよび再舗装が行なわれている。図-6がその初期投資および維持管理の経過を示し、図-7は、建設初期からの維持費用の積分値をそれまでの期間で割って示してある。この栈橋に対し、維持補修計画(図-4のリニューアル計画)代替案を図-8のようにケース1から

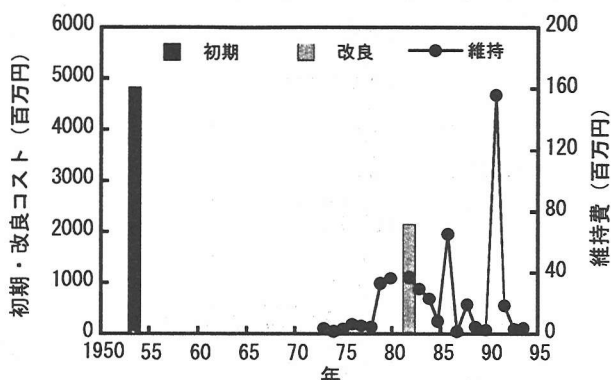


図-6 発生コスト

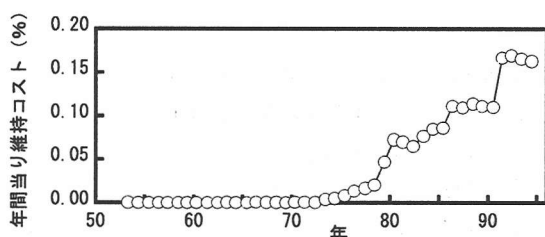


図-7 年平均維持費の割合

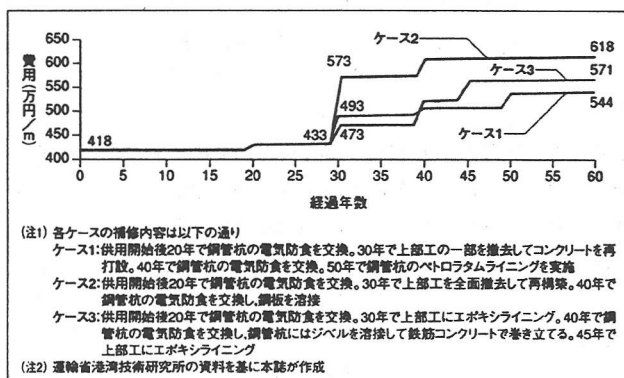


図-8 年平均維持費の割合

ケース3まで用意した。建設後30年ではケース3が最も安いものの、40年たつと価値は逆転し、ケース1が安い。耐用年数を超えて構造物の性能維持を期待する場合、LCCによる評価の有効性はここに発揮される。後述するが、LCCの表示式において、これを最小限に押さえる重要な要素として初期コストがある。技術革新等により初期コスト低く押さえることができれば、LCCの最小化に寄与できる。結局維持管理問題は、土木構造物を造る最初の段階から考える必要があることが分かる。

以上、わが国に蓄積された巨大な社会資本のストックの老朽化が、21世紀にかけて表面化することが明らかとなった今日、土木構造物を可能な限り長期間使用しつつ経費を最低限に押さえるLCC評価に付いて述べた。しかし、このような視点から維持管理を行うことは、わが国ではまだ始まったばかりであり、豊富

な経験の蓄積が必要である。また、海岸保全施設の維持管理には、不確定かつ複雑な海象による波力や洗掘の問題が関わってくるので、他の土木構造物とは異なった見方が必要である。

3. 海岸法改正と今後の海岸保全施設の維持管理

(1) 海岸法改正の意味するところ

わが国の海岸線の総延長は約35,000kmと非常に長く、このうち海岸保全施設により防護する必要のある海岸（要保全海岸）は約16,000kmあり、この背後地の防護人口は約1,200万人に達する。平成8年度末までに保全対策が完了した海岸線は、要保全海岸延長の約41%に止まっている。また、海岸事業が本格的に開始された昭和30年代に整備された施設も、整備後40年以上を経過しようとしており、適切な維持、補修が求められているほか、地盤沈下、侵食等による機能の低下も問題となっている。このような背景のもと、平成11年5月に「海岸法の改正」が行なわれ、法の目的を従来の「海岸の防護」から「海岸を防護すると共に、海岸環境の整備と保全および公衆の海岸の適正な利用を図る」ことに改められた。その改正点を少し詳しく挙げてみると、

- ① 従来の法が「海岸の保全」と「海岸の防護」とを同義語として扱っていたのを、今回の改正で、「海岸の保全」の意義が、「防護」に「環境」と「利用」を加えたものに拡大した。
- ② 従来の海岸保全施設が、堤防・護岸等による「線の防護方式」であったのを、今回は、離岸堤、緩傾斜護岸、砂浜などを組み合わせた「面的防護方式」を主流とし、「離岸堤」とともに「砂浜」を海岸保全施設としてみとめた。
- ③ 行政の一貫性の確保、総合的な視点に立った海岸の管理のため、全国的な視点から海岸保全全般にわたる基本方針を国が定めることにした。
- ④ ③の基本方針に沿って、都道府県知事は海岸保全区域等に係わる海岸の保全に関する基本計画を定めることとした。また、その計画内容については、学識経験者の意見を聴くこととし、さらに公聴会等による住民意見、地域の意向を反映することとなっている。

以上のような改正点は、これまでの海岸事業実施の過程で出てきたニーズを満たすべく打ち出されたもので、実質的には既に実施されているケースも多い。したがって、今回の方改正に沿った形での事業実施は今後大いに進展するものと思われるが、海岸保全施設の維持管理の観点からは、いくつかの新たな問題を生み出していることも考えられ、然るべく対応が必要である。

(2) 海岸法の改正と施設維持管理問題

さきに述べたように、維持更新費の割合は、2000年度まではその値が小さいものの、それ以降は高度経済成長期に蓄積された社会資本ストックの更新期を迎えることにより、著しく増大するものと見られる。海岸法改正の今後を見たとき、海岸保全施設の更新費、維持補修費、新設改良費はどのような変化を受けるであろうか。まず、改正後の海岸法は、「防護」「環境」「利用」からくる要件を満たす前提があることから、図-9に示すように、「線の防護」から「面的防護」への移行を基本としている。面的防護自体は、沖合いに設置された潜堤等が先ず波を減殺し、そこで減殺し切れなかった波を今度は砂浜で碎波減衰させ、荒天時など波が非常に大きい場合は、砂浜を遡上して背後地に迫る波を、緩傾斜堤防で阻止す

面的防護方式概要図

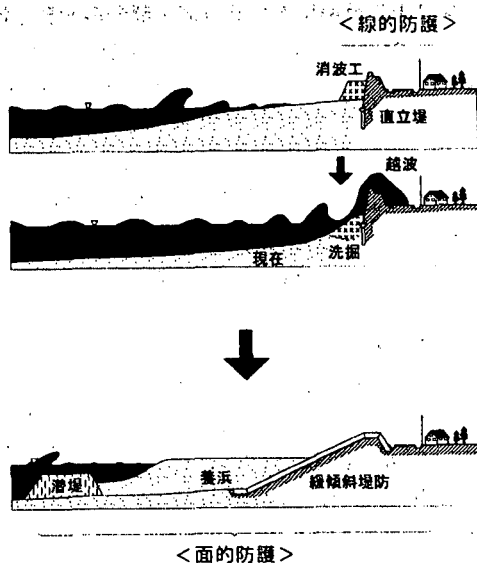


図-9 面的防護方式の概要図

るという多重防護型の海岸保全システムで、英語では、(Integrated Shore-protection Systems) と訳される。その防護システムは、どこかの部分が破損しても他の部分かが機能低下分を受け持つと言う粘り強い構造であり、「環境」「利用」の面から見ても優れた特徴を有するものである。沖合いの第1波を受け持つ堤体は、離岸堤形式、ヘッドランド形式など、利用・景観の選択によって種々の構造断面が採用される。養浜された砂の流出が当初は懸念されたが、これまでの人工海浜の施工実績からは、ほとんど問題がないようである(入江ほか、1986; 栗山ほか、1989)。このように、改正後の海岸法が標準的に想定する面的防護は、「防護」「環境」「利用」面を備え、技術的にも完成度の高い断面構造であり、海岸の環境・アメニティ向上に大いに推奨されて良いものである。しかし、これからの公共事業投資の限界や施設維持管理の観点からは、いくつかの問題が指摘される。

- ① 海岸保全施設がこれまで以上に多様な要請に応える必要があるため、面的防護に代表されるように新設改良の段階でコストアップされる。従来型の海岸防護方式に対し、「環境」「利用」に配慮するための施工費増として、3割増以内で実施されてきた実績があるが、これからは、これより大幅に工費が増大する可能性がある。
- ② 既設の保全施設更新の段階でも、「環境」「利用」保全の要請に応えるため、施工費が大幅に増大される可能性がある。
- ③ 有明海の高潮堤防のように、必ずしも図-9のような面的防護が適切でない施設は多くあり、いかなる方法で新しい海岸法の趣旨に応え得るか不明である。

新しい海岸法が想定する「面的防護」による海岸保全施設は、法の趣旨を満足し、技術的にも完成度の高い工法である。しかしそれだけの多様な要請に応えるために、工費が増大し、今後の公共事業投資の限界が来ており、さらに維持管理費が確実に増大することを考えると、LCC中の主要素である初期コストを大幅に減少させる技術開発が必要と考えられる。実際、海岸法の改正段階では、既存の海岸保全工法の組み合わせで形造られた「面的防護工法」が想定されている。従来の工法では、養浜砂の流出を防止するためには、波を減殺するための離岸堤や潜堤など大きな施設が要求され、長い防護延長を考えると工費は相当なものになる。今後は、例えばもっと安価で効果的に砂流出を防止する新工法などの開発が必要であり、これにより初期コストを減らし、LCCの低下を図る必要があるものと思われる。

4. 保全施設断面における各施工部分の役割機能

海岸保全施設は、絶えず波の作用を受けており、時折来襲する台風や冬期風浪は設計条件に達する波や高潮をもたらし、波圧、越波、洗掘など厳しい破壊的要因にさらされる。その意味では一般の土木構造物とは置かれている環境が大きく異なり、構造物の劣化に結びつく変状が時間の経過と共に累積されて、ある変状の段階で急速に破壊的な変状にいたることも多い。これを防ぐには、施設断面を構成する各部施工工種が断面安定上果たしている役割を良く理解し、ある変状があったとき、それが急速な破壊につながる前兆となり得るかどうかを判定する必要がある。ここでは、海岸堤防、混成堤式離岸堤、ケーソン式防波護岸の3つの施設について、各部施工工種の果たす役割を見てみる。

(1) 海岸堤防

海岸堤防とは、海岸の現地盤を盛土やコンクリートなどによって嵩上げし、背後地を高潮・津波から防護するもので、その代表的断面は図-10に示す通りである。

- ① 基礎工 基礎工は、上部構造物を安全に支えると共に、波力に

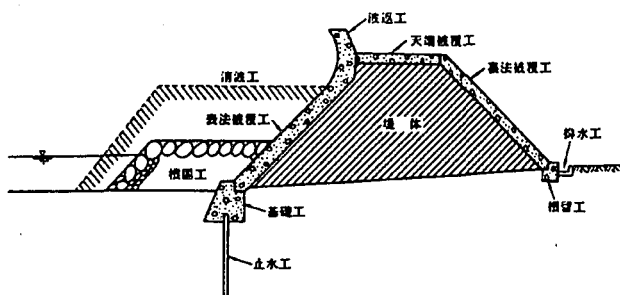


図-10 海岸堤防の各部工種

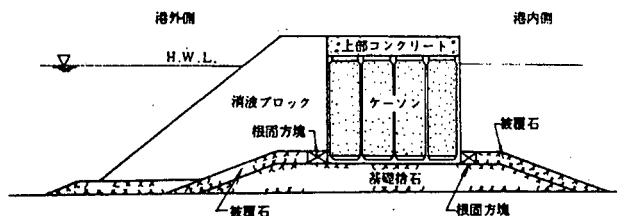


図-11 ケーソン式離岸堤の各部工種

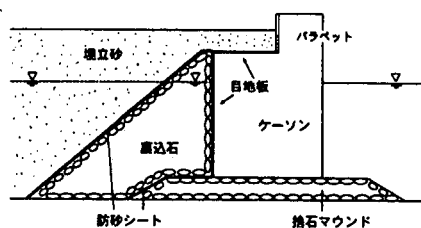


図-12 防波護岸の各部工種

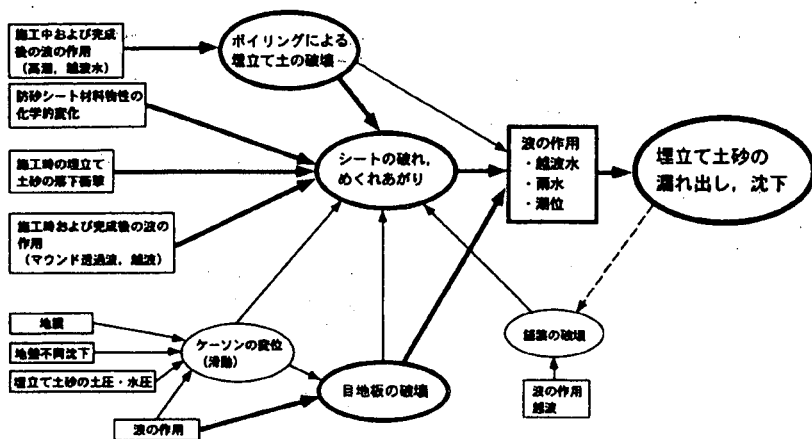


図-13 防波護岸の埋立土吸い出しの発生原因

よる一時的なより先洗掘に耐えるものである。特に洗掘が著しい場合は、基礎工に先行して打ち込まれる矢板やコンクリートが、内側の土砂の吸出し防止に働く。この基礎工・止水工は、構造物全体の安定を左右し、堤体裏込め土砂の流出は、コンクリートで造る表法被覆工・天端被覆工・裏法被覆工の破壊に容易に結びつく。

- ② 堤体工 文字通り堤防本体を構成し、内側の盛土が堤体の強度を左右する。コンクリート版より成る被覆工と盛土表面との間のいかなる空洞も、波圧や越波による破壊につながる。その空洞ができる原因は、軟弱地盤上に設置した場合の地盤沈下、盛土施工時の締め固め不足、表法被覆工の亀裂や洗掘による吸出しなどである。
- ③ 被覆工 本体を構成する盛土を囲んで保護しているので、いかなる亀裂も破壊につながる。特に表法被覆工は、波圧や高潮に耐えるため50cm以上と厚くしてある。天端被覆工・裏法被覆工も越波水による破壊を防ぐため、厚さ20cm以上のコンクリート版にしている。

(2) ケーソン式離岸堤

ケーソン式離岸堤は、波を阻止することにより静穏化水域を岸側に創り、そこに沖側の砂を波の力で導入したり、養浜砂の流出を防止するもので、その代表的断面を図-11に示す。

- ① 基礎捨石工 ケーソン堤本体の荷重を基礎捨石の内部摩擦力を通じて分散させ、地盤反力を押え原地盤に伝える。捨石表面の凹凸を滑らかにしてケーソン底版への反力を均一にし、ケーソンを護る。原地盤を覆ってケーソン脚部の洗掘を防ぐ。したがって、原地盤の砂の吸出しによる基礎捨石の変形は、

ケーソンに亀裂破壊をもたらし、中詰め砂の流出に続いてケーソンの破壊に結びつく。

- ② 消波ブロック工 波のエネルギーを吸収・分散させ、反射波および波圧を低減させる。消波ブロックの散乱や破壊により、消波ブロック工の天端が低くなったり、断面が小さくなった場合は、消波ブロック上を遡上する波の波力が増大し、特に高潮などにより潮位が高くなった場合は衝撃砕波を発生して、ケーソン前面を破壊する。
- ③ 被覆石・根固め方塊 基礎捨石が通常10～100kgで、波により容易に飛散するので、その表面をこれらのブロック・自然石で覆ったものであるから、その飛散は基礎捨石部の破壊につながる。

(3) ケーソン式防波護岸

埋立地などの用地前面を、波・潮汐などから防護するもので、前面に消波工を置く場合も多い。特に、背後埋立て土砂の波による海側への吸い出しに起因する破壊機構に付いては図-12に示す防波護岸断面を用いて詳しい実験がなされている(高橋ほか, 1996)。波の作用により埋立て土にボーリング現象が発生し、裏込め石と埋立て砂を遮断している防砂シートが容易にめくれあがり、波や潮汐作用により埋め立て土の漏れ出し、沈下が発生することを見出している。さらに、図-13に示すように、ケーソン間の目地板には意外に大きな波力が作用し、これが破壊したために吸い出しがあることを確認している。

5. 海岸保全施設の維持管理

(1) 海岸保全施設の維持管理システム

土木構造物一般の維持管理問題については、既に第2章で社会資本の維持更新費の将来予測、土木構造物のライフサイクルコストなどを中心に述べた。ここでは、本文が主題とする海域施設としての海岸保全施設の維持管理について述べる。先に紹介したように、最近、港湾構造物の維持管理については種々の調査研究が始められている。例えば、運輸省港湾技術研究所の編著による「港湾構造物の維持・補修マニュアル」(沿岸開発技術研究センター, 1999)によれば、維持管理に関する用語の概念を図-14のようにまとめているが、これらの概念は海岸保全施設にもあてはまるものである。この維持管理の概念と同様の考え方のもと、海岸保全施設の変状が急速に大きくなる前に体系的に補修・補強することを目的として、安間ら(1986)は、変状を損傷の規模や程度、構成部材の劣化状況から、次の5段階に区分した。

- (STEP. I) 施設は健全な状態にあるか、あるいはごく微細な変状、劣化であって、全く修復の必要のない段階。
- (Step. II) 多少の劣化や軽度の損傷等の変状が見られるが、施設の安定性の低下は少なく、機能の低下はない段階。
- (Step. III) 変状が拡大進行し、構造物の安定性低下、多少の機能低下が認められる段階。
- (Step. IV) 変状が大きく、構造物の安定性および機能がかなり低下した段階
- (Step. V) 施設が破壊され、機能が停止した段階。

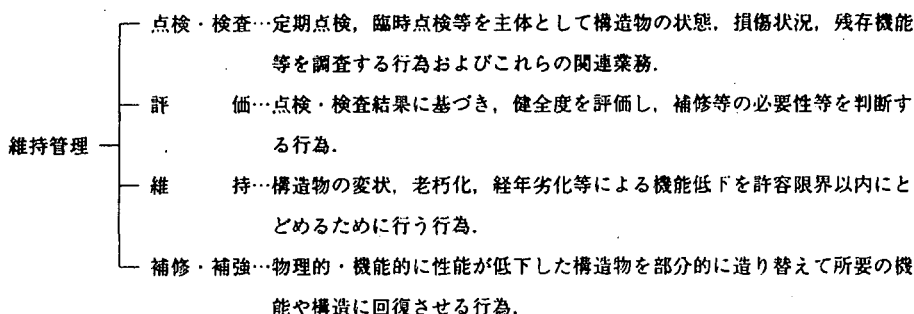


図-14 維持管理に対する用語の概念

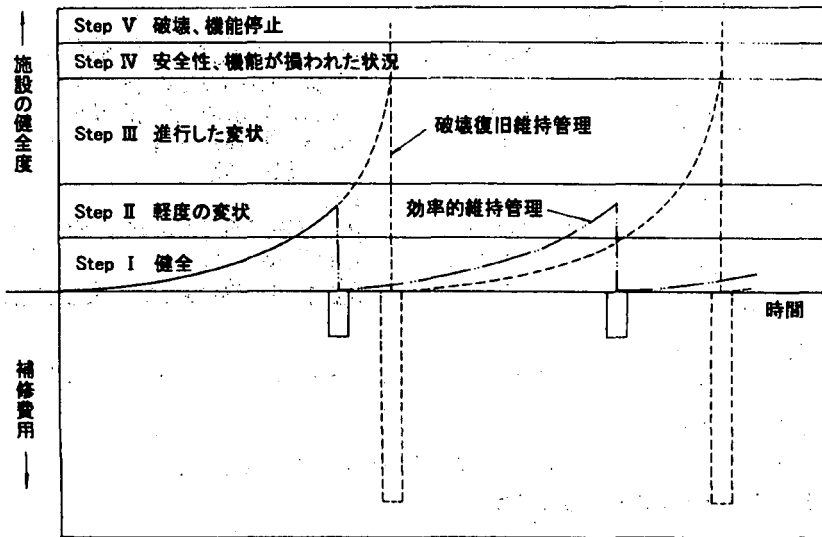


図-15 5段階変状と構造物の変状進行・修復の関係

安間らは、この5段階変状と構造物の変状進行・修復の関係を、概念的に図-15のように示した。構造物は、建設直後から徐々に劣化や変状が生じ、時間の経過と共に微小な変状が累積されてその健全度を減じて行く。ある程度の変状を過ぎると破線のように急速に変状が進行し、施設が機能停止などの状態になる。そうなって復旧したのでは、図の破線のように膨大なコストがかかる。一方、変状の軽い段階で補修を行えば、図の2点鎖線のように修復費を大幅に節約できる。これが、ライフサイクルコスト（LCC）を考慮した維持管理法であり、これを実現するには、図-16に示すような維持管理システムを構築する必要がある。海岸保全施設は、一般に長大で、また広域に分散して存在するので、一次点検は目視点検を主体に行うことになる。しかし、その場合でも、構造物の設計断面や、当該構造物の被災・維持補修の実績等は常に整理して持っておくべきで、一次点検により変状が認められたら、直ちにそれらの記録と照合検討する必要がある。図-16において、定期点検は、ある程度の計測器材による点検が含まれる。構造物の天端高さの変状や、ブロックの沈下等、定まった断面について測定し、微小な変状を調べる。異常があればそれがいかなる原因によって生じたのかを検討し、そのプロセス・所見を記録整理し、次の定期点検に活かす。また、同図の異常時点検は、強い台風や低気圧の通過した後に点検す

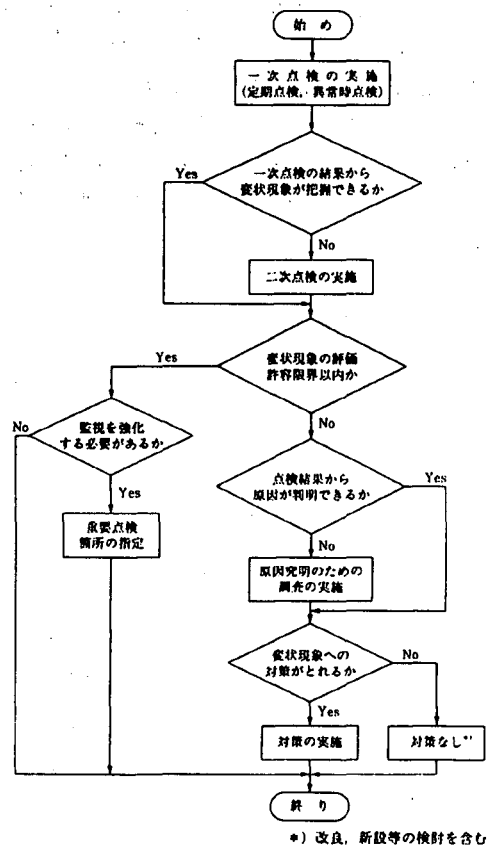
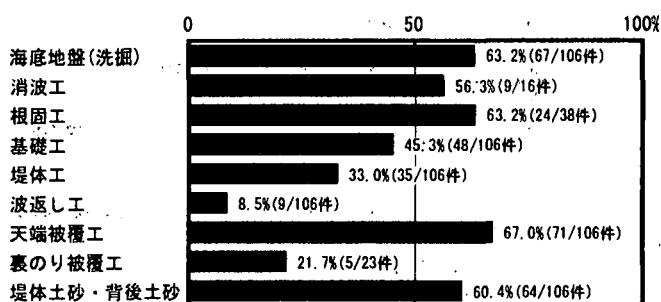


図-16 海岸保全施設の維持管理システム

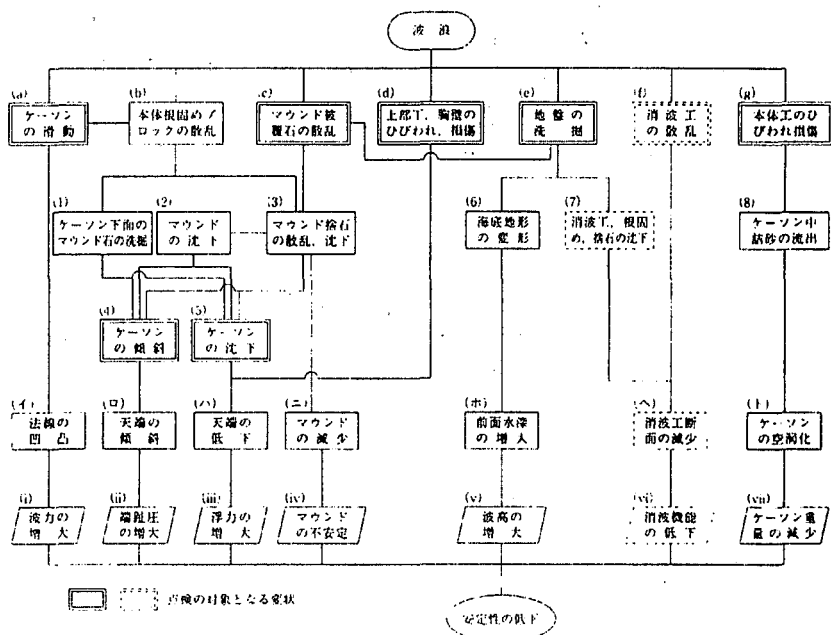
るものであるが、この点検により、先の5段階変状で評価しつつ現場を回るのは極めて有効である。このような点検において、どのような変状に気を付けるかについては、構造物の種類や、設置場所の条件によって異なるが、発生頻度の高い変状をターゲットにすることも有効である。例えば、図一17は、コンクリート重力式直立護岸・堤防の災害型変状発生箇所と発生率を示したものであるが、構造物前面で、波浪の影響を直接受ける海底地盤、消波工、根固め工などの発生率が高くなっており、これらの部位は点検の対象として取り入れられるべきである。



図一17 コンクリート重力式直立護岸・堤防の災害型変状発生箇所と発生率

(2) 海岸保全施設の変状連鎖分析の重要性

離岸堤をケーソン式混成防波堤で造ることは多い。図一18は、ケーソン式混成防波堤の主要な変状連鎖を示す(沿岸開発技術研究センター, 1999)。これより、主な変状現象の進行過程としては、波浪によって、①マウンド被覆石あるいはマウンド捨石が散乱沈下し、ケーソンの傾斜・沈下へと進行していくもの、②上部工、胸壁のひび割れ・損傷によって天端が沈下するもの、③消波ブロックや被覆根固めブロックがケーソンにぶつかり、ケーソン側壁が損傷し中詰土砂が流出するものなどがある。消波工がある場合は、波力によって消波工に散乱・沈下が生ずる。さらに、消波ブロックが大きく移動・沈下を起こすことによってケーソンに作用する波圧が大きくなり、ついにはケーソン本体が活動することになる。消波工がない場合は、波力によって捨石マウンドののり尻海底地盤が洗掘されると、捨石マウンドののり面の崩壊が生じてくる。この崩壊が進むと、捨石マウンドは変形を起こし、これが本体の沈下や傾斜崩壊へと進行していく。



図一18 ケーソン式混成防波堤の主要な変状連鎖

このように、海岸保全施設の変状機構は、種々の要素が絡み合った複雑なものであるが、その変状機構を理解するためには、変状の発生原因、変状の発生、変状の拡大、そして機能の低下へと変状が深厚して行く過程を変状連鎖として整理しておく必要がある。すなわち、海岸保全施設の変状は、同時に発生する場合よりも、施設のどこかに破壊し易い条件があり、そこに最初に変状が発生したものが次第に拡大して行くものと思われ、その過程を流れ図として整理しておくことが大事である。

（3）コンクリート等の材質の劣化

海岸保全施設を構成するコンクリートは、陸上の構造物に比較して過酷な気象・海象にさらされており、海水の物理的・化学的作用を受け経年的に劣化が進行して行く。部材が鉄筋コンクリートに場合は、外部からコンクリート中に浸入する塩分によりコンクリート内部の鋼材が腐食し、それによりコンクリートのひび割れ、剥離、剥落が生じるといった、いわゆる塩害による被害が多数発生するほか、アルカリ骨材反応、凍結融解、中性化などの劣化が発生している。点検は目視を主体に行われるが必要に応じて、スケール、テストハンマー、写真撮影が行なわれる。

社会資本の根幹を形成するコンクリート構造物の膨大なストックを考えると、維持管理の合理化をさらに推進し、ライフサイクルコストの低下を図ることが重要である。その意味で、コンクリート構造物の維持管理にかかわる技術開発は、今後一層その重要度を増すものと思われる。

6. 海岸保全施設の復旧・改良更新

（1）海岸保全施設の災害復旧

海岸保全施設は、老朽化や新しい要請に対応する機能増などの理由から改良・更新が行われるが、波や潮汐などの自然外力条件が建設時に設定されていた条件を超えて作用し破壊した場合は、災害復旧事業として事業採択が行なわれる。建設時の設計条件を異常に超えた場合を対象にしているので、通常其自然条件のもとでは発生し得ないものと考えている。したがって、被災した施設を復旧するときは「原型復旧」を原則とし、一度復旧してしまえば、また被災することは先ず有り得ないとするものである。ただし、被災個所を、隣接する施設との取り合わせから消波工を置くとか今後の安全上必要とされる改良は、災害関連事業として対処することになっている。最近では、地球温暖化にもとづく異常気象の影響で、強い集中豪雨や台風の発生頻度が増大していることが指摘されている。このため、災害復旧においても、原型復旧に止まることなく、十分に現地を精査の上、隣接構造物と連携させて機能増を図るなどの工夫が必要になるものと思われる。

（2）海岸保全施設の改良・更新

中島ら（1996）は、全国の運輸海岸における海岸保全施設のうち、護岸、堤防、突堤、離岸堤、胸壁、水門、陸閘の7種類の施設に付いての改良・更新の452事例を収集、分析しているのので、ここに紹介する。調査の動機は、昭和30年代に多く建設された施設が老朽化したこと、さらに耐震性などの機能補強が必要になったこと、また日常生活において市民が共有できる快適な空間として、あるいは自然的生態学的に役立つ空間を提供するためなどである。したがって、この改良・更新の事例調査には、災害復旧事業等で原形復旧されたものなどは、対象から除いている。図-19は、建設時期から改良実施時期までの経過年数別整理したものである。ここで、建設時期に幅がある場合は建設開始年を、また、例えば昭和30年代の建設の場合は昭和35年を建設時期とし、改良時期は改良開始年を取った。こうして求め

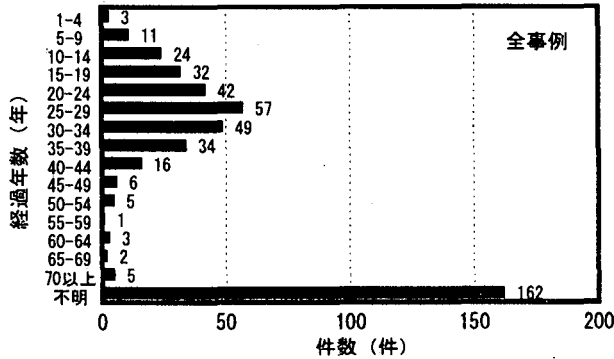
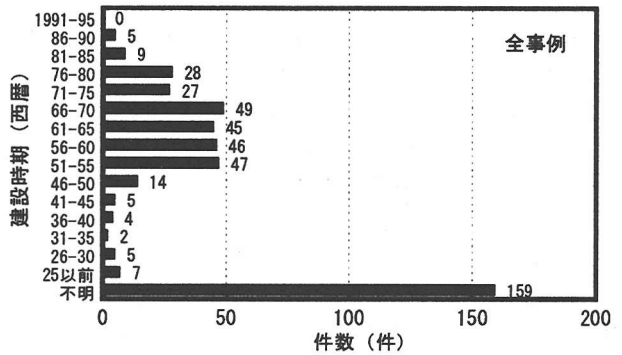


図-19 建設時期から改良実施時期までの経過年数

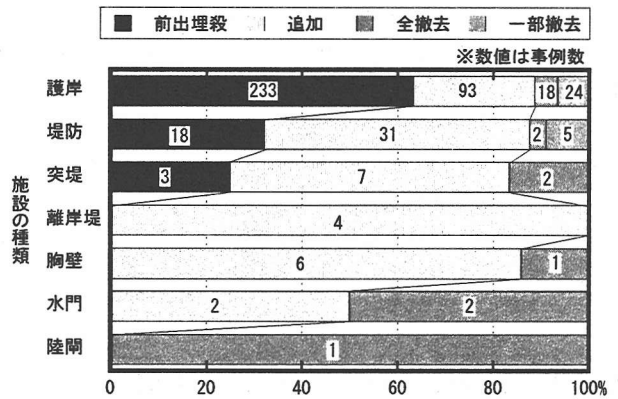
た建設時期および改良時期から経過年数を求めている。施設全体についての傾向として、経過年数が25～29年をピークに分布している。図一20は、建設時期の分布を示したもので、1951～1970年(昭和26～45年)に建設された施設に改良事例が多くなっている。

図一21は、施設を改良する際に「前出埋殺」(新施設を既存施設の前面に設け、既存施設には手を加えずにそのまま埋めて利用しなかった)、「追加」(既存施設はそのまま、主たる機能は既存施設が受け持つが、根固め工・消波工を追加あるいは増設)、「全撤去」(既存施設を全部撤去)など、既存施設の取扱いの違いを区別して示したものである。「前山埋殺」の理由は、①撤去するより経済的、②撤去すると隣接施設へ影響が出るため撤去できない、③掘削土や建設廃棄物を出さない、などが挙げられている。「追加」の理由は、①既存施設の残存機能が十分であると判断した、②面的防護とした、③経済的、などであった。また、図一22は、改良をするとき、既存施設の機能・強度をどのように考えたかを示す。図中の理由は、「考慮」について、①新施設とあわせて安定性を検討、②残存強度は建設当時と同じとした、などであった。また、「無視」の理由は、①残存強度および機能の評価の仕方が分からない、②撤去した、③老朽化して強度が期待できない、などであった。さらに、改良にあたり、線的防護から面的防護に変更した事例がどれくらいあったかを図化したのが、図一23である。図中、「線→面」は、線的防護から面的防護へ変更したことを示す。今回の改良事例では、線的防護から面的防護への変更は、全体の14%程度であり、線的防護をそのまま継続したものが大半を占めていた。

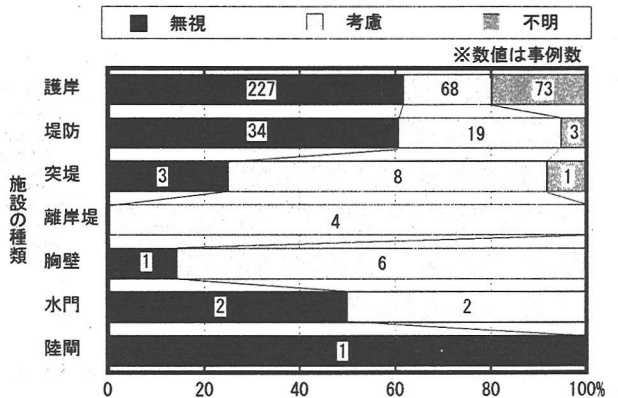
以上の海岸保全施設の改良・更新事例調査から、多くの貴重な示唆が与えられているものと思われる。
すなわち、多くの海岸保全施設が、高度経



図一20 建設時期の分布



図一21 既存施設の取扱いの違い



図一22 既存施設の機能・強度の考え方

表－1 既存施設の取扱いとその理由

取 扱 い	主 要 な 理 由
前出埋数	・ 撤去するより経済的 ・ 撤去すると隣接施設へ影響がでるため撤去できない ・ 掘削土や建設廃棄物を出さない ・ 撤去するより施工性が優れる ・ 施工中の安全性の確保
追加	・ 既存施設の残存機能が十分あると判断した ・ 面的防護とした ・ 経済的
全撤去	・ 崩壊しており利用できない ・ 施工の安全性の確保
一部撤去	・ 利用上一部撤去の必要があるが全撤去の必要はない

済成長期の昭和30年代に建設され、およそ30年近くの経過年数を経て、改良・更新が行われていることが明らかとなった。また、改良に当たっては、既存の施設を埋殺して改良することが多く、建設残土は出さない、経済的な工法によっていることが分かる。面的防護は、海岸環境の創造には極めて優れているものの、やはりコストが妨げになり、実施例は1.4%で、多くが線的防護に依っているようであり、そのままでは本来海岸保全施設に望まれている「公衆の海岸の適正な利用」を増進することは出来ない。LCCを考慮し、海岸の防災・環境・利用を改善する新しい技術開発が望まれている。

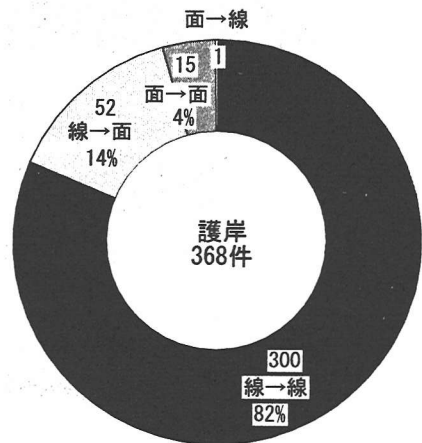
(3) これからの海岸整備に望まれる創意工夫

線的防護の例

先に述べた海岸保全施設の改良・更新の事例において、

線的防護を線的防護で改良・更新する場合が大半を占め、面的防護に変更する例は少なかった。これは、より安価な断面で、出来るだけ長い海岸線を防護することが優先されてしまうためと思われる。ここでは、この線的防護を押し進めたとしても、海岸の環境利用を大きく改善する可能性を持つ工法をここに紹介する。すなわち、既存の護岸を改良するに際し、越波量をゼロにする護岸断面形状で、既存護岸前面に腹付けするもので、図－24～26に示す。

ここで、越波量がゼロとは、文字通り越波量がゼロである前提で護岸の天端高 h_c が決められているもので、従来の越波流量の概念は、ここでは意味を成さない。実験は、図－24に示すような種々の護岸断面について行ない、図－25のような結果を得ている。この図で、 H_0 は来襲沖波波高、 h は前面水深である。通常の直立護岸(B)では、前面水深 h が増大すると、越波量ゼロの条件を満足させるためには、天端高 h_c を非常に大きくする必要があるが、他の断面では、どれも天端高が、非常に小さくて済むことが分かる。この断面形状(最も優れた断面は、図－24中、(A)のフレア型護岸断面である)を、図－26-1に示す通常の直立タイプ護岸前面に、図－26-2に示すように腹付けすれば、荒天時でも越波のない海岸が実現できるものと思われる。しかし、これはあくまで線的防護に過ぎないものである。



図－23 護岸修復における面的防護導入の割合

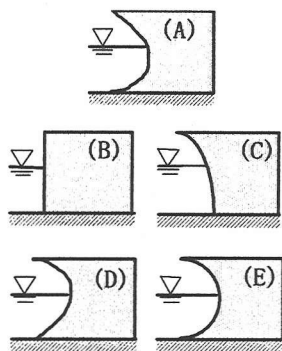


図-24 フレア型護岸その他の実験断面

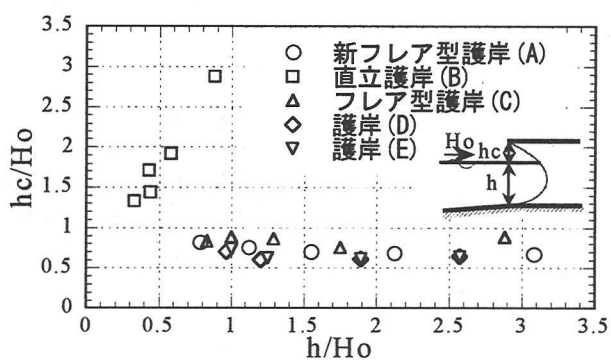


図-25 フレア型護岸その他の実験断面

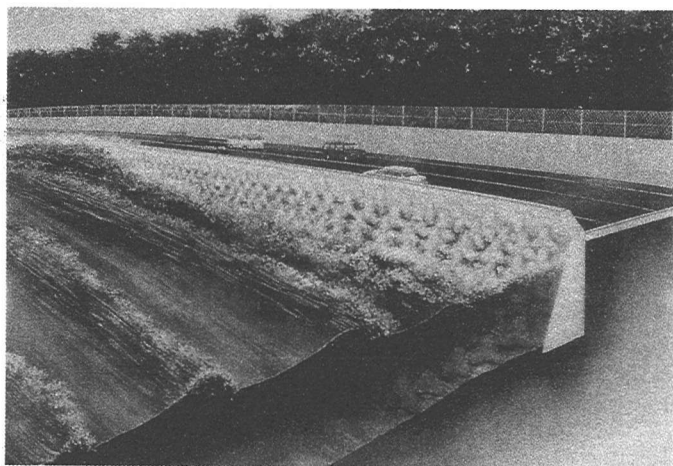


図-26-1 在来型の護岸と越波

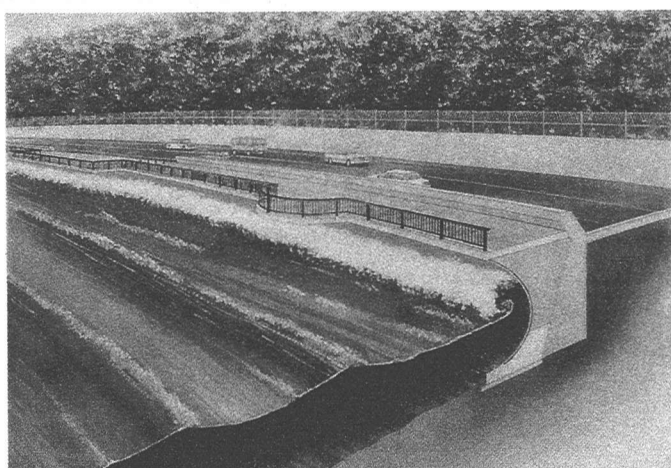


図-26-2 フレア型護岸による埋殺し修復

面的防護の例

いま一つの例は、初期コストを低くすることで、LCCを小さく押さえる工夫である。これは、図-27に示すように、波浪通過時の底面における水粒子軌道径 d_0 と固定歪み砂れん波長 λ との比 d_0/λ を1.7にすることで、図-28に示すように底面の平均流および砂移動を岸沖方向に制御し、養浜砂の流出を防ぐ工法である。ブロックは、フレキシブルジョイントをもつコンクリート製品で、その下面に帆布を敷いたものである。図-29-1、2は、現地に敷設した状況を示し、従来の砂流出防止工法に比較すれば、一桁コストダウンが出来るものである。ただし、砂流出による維持管理費が少なくなるようにブロック配置の諸元を選定することが必要であることは言うまでもない。

以上、何れについても、いまだ、技術開発の段階で、これらが実現するにはまだ時間が必要であるが、公共事業の予算が今後圧迫され、維持管理費用は増大するなかで、より優れた海岸環境を創成していくには、従来工法にとらわれず、思い切った工夫が必要であることを示すために例示した。

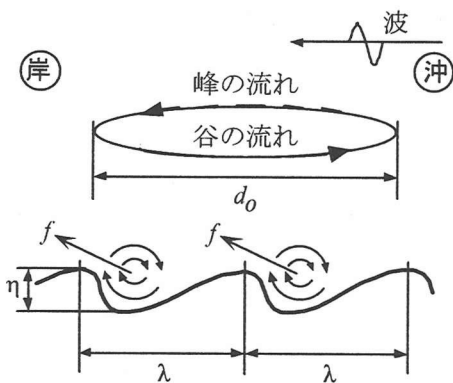


図-27 歪み砂れんの漂砂制御の原理

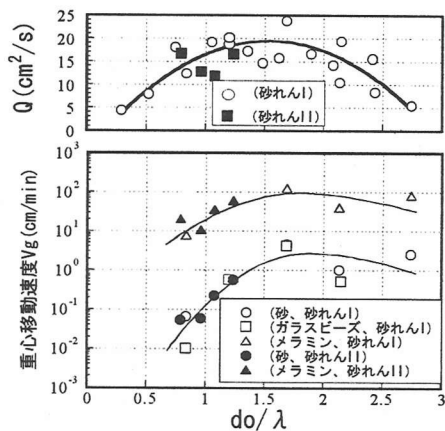


図-28 歪み砂れん上の岸向流量と底質移動速度



図-29-1 DRIMの現地海岸設置想定図

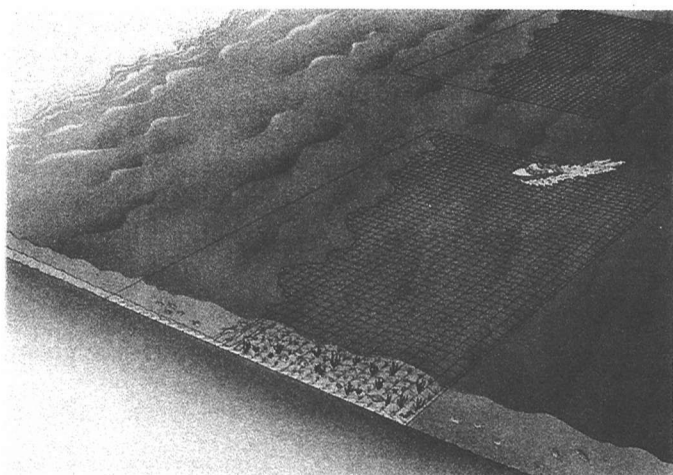


図-29-2 DRIM の設置詳細図

7. おわりに

建設後数十年を経過した構造物について、その後の供用可能期間を推定し、最適な維持補修法を打ち出すには、かなりの高度な技術経験が必要であり、新しく物を作ることよりはるかに難しいことである。米国では、わが国より20年以上も前にコンクリートを主体にした本格的な社会資本整備が行われた。このため、耐用年数を過ぎた老朽施設への対処技術やシステムについても先進的な水準にあり、特に第三者による施工監視は徹底しており、施工後の施設寿命の延長に寄与している。そのための高度な技術経験を持つ技術者のポストが多く用意されている。これから本格的に施設の維持管理・復旧の時代が到来するわが国では、そのための技術者の養成システムを早急に充実させ、適正な維持管理のもとに社会資本の長寿化に取り組まねばならないものと思われる。

参考文献

- 1) 経済企画庁(1999):日本の社会資本—21世紀へのストック, 経済企画庁総合計画局[編], 東洋経済新報社
- 2) 土木学会誌(2000):特集—社会基盤の維持管理と再生を考える, Vol.85, pp.7~9
- 3) 金氏 眞:土木構造物の維持管理とライフサイクルエンジニアリング, 土木学会誌, Vol.85, 2000, pp.7~9
- 4) Yokota, H., Tanabe, T. & Iwanami, M.:Proceedings of the RILEM/CIB/ISO International Symposium on Integrated Life-Cycle Design of Materials and Structures, ILCDES2000, Helsinki, 22-24 May 2000, pp.123~128
- 5) 横田 弘:係留施設のライフサイクルコスト発生と維持管理意思決定支援システムの構築に関する研究, 港湾技術研究所報告, 第38巻2号
- 6) 入江 功・加藤一正・栗山善昭・村上裕幸・田中則夫(1986):人工海浜における地形特性について, 第33回海岸工学論文集, pp.297~301
- 7) 栗山善昭・加藤一正・入江 功(1989):離岸堤を備えた人工海浜の地形特性, 港湾技術資料, No.659, pp.5~49
- 8) 高橋重雄・鈴木高二朗・徳淵克正・岡村知光・下迫健一郎・善 功企・山崎浩之(1996):

護岸の吸い出しに関する水理模型実験, 港湾技術研究所報告, 第35巻第2号, 63 p

- 11) (財) 沿岸開発技術研究センター (1999): 港湾構造物の維持・補修マニュアル, 運輸省港湾技術研究所編著, 沿岸開発技術ライブラリーNo. 6, 152 p.
- 12) 安間 清・石渡友夫 (1986): 海岸保全施設の維持管理手法, 港湾技研資料, NO.557, 52 p.
- 13) 古土井光昭・井口元治 (1972): 海岸堤防の劣化指標について, 港湾技研資料, No.149, 86 p.
- 14) 中島 晋・横田 弘・関根好幸・山道広人 (1996): 海岸保全施設の改良・更新事例集, 港湾技研資料, No. 848, 316 p.
- 15) 片岡眞二・高橋邦夫・横田 弘・菊池喜昭・石原弘一・梶原修治 (1994): 港湾構造物の改良・更新における技術課題の検討, 港湾技研資料, No. 781, 98 p.
- 16) 上久保祐志 (2000): 非越波護岸断面に関する基礎的研究, 九州大学学位論文, 123 p.
- 17) Irie, I., Satoshi Takewaka, Nobuyuki Ono, Keisuke Murakami, Hirokazu Sakamoto and Osahiko Shimada (1998): Retaining beach sand by a distorted ripple mat, Coastlines, Structures and Breakwaters, ICE, London, pp.264-277