

海岸保全施設の維持管理における変状要因に 応じた対策工法の選定手法について

SELECTION METHOD OF COUNTERMEASURE CONSTRUCTION DEPENDING
ON THE DAMAGE FACTOR IN MAINTENANCE OF COASTAL PROTECTION
FACILITIES

三上信雄¹・保坂三美²・水野敏雄²・藤田孝康³・米原寛之⁴・笠井哲郎⁵
Nobuo MIKAMI, Miyoshi HOSAKA, Toshio MIZUNO,
Takayasu FUJITA, Hiroyuki YONEHARA and Tetsuro KASAI

¹正会員 (独)水産総合研究センター水産工学研究所 漁港施設研究室 室長
(〒314-0408 茨城県神栖市波崎7620-7)

²(財)漁港漁場漁村技術研究所 第1調査研究部 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目14-10)

³(社)水産土木建設技術センター 調査研究部 (〒104-0045 東京都中央区築地2丁目14-5)

⁴水産庁 漁港漁場整備部 防災漁村課 係長 (〒100-8907 東京都千代田区霞ヶ関1丁目2-1)

⁵正会員 工博 東海大学 工学部土木工学科 教授 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117)

Japan's coastal protection facilities were developed with the intention of protecting those cities behind the coastline from natural disasters such as high water, tidal waves, tsunamis and erosion. The majority of these facilities were constructed until the 1960s and hence have suffered damage and deteriorated functioning due to aging of materials and the force of the waves. This being the situation, the government and various local bodies must work within their straightened fiscal circumstances to effectively diagnose the degree of degradation, improve functioning as appropriate and perform maintenance. This study has ordered the relationships between the causes of the facilities deformation and the countermeasure construction methods as well as verifying their validity, thus enabling the correct countermeasure construction methods to be selected.

Key Words : Coastal protection facilities, degradation study, countermeasure construction method, maintenance

1. はじめに

我が国の海岸保全施設は、伊勢湾台風等による大災害を契機に高潮・高波・津波・浸食といった自然災害から背後の都市を防護する目的で整備が進められてきた。現存する施設はその多くが昭和40年代までに建設されたものであり(図-1)，部材の経年劣化や波力等の影響による損傷や機能低下が進行している。近年の度重なる大規模な災害の発生により，高潮被害の増加や海岸浸食の進行によって，破堤による壊滅的な被害が懸念されつつあり，これらの対策が喫緊の課題となっている。この様な状況のもと，国や市町村をはじめとする自治体は，厳しい財政状況の中で海岸保全施設を効率的に老朽化診断し，適切に機能向上や維持管理を進めていくことが求められている。このため，その実現に向けた方法として，

施設の供用期間内における補修・補強・改良などの維持管理費を含めた総費用(ライフサイクルコスト:LCC)の最適化を図るライフサイクルマネジメント(LCM)が注目されている。

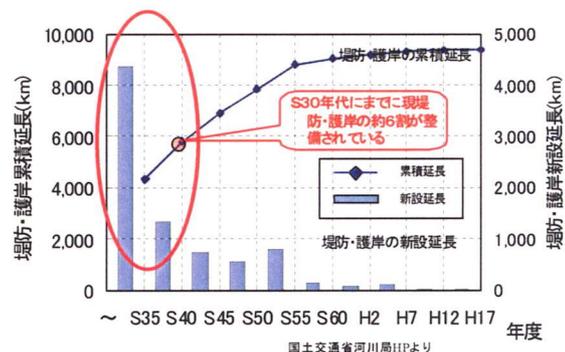


図-1 堤防・護岸の年度別累積延長

本研究では、海岸保全施設における LCM の導入に資するため、LCC の最適化に向けたシナリオ設定に必要な海岸保全施設の的確な対策工法を選定するために、富山県滑川漁港を例として、施設の変状要因とその対策工法の関係を整理し、対策工法の選定プロセスの明確化を図るものである。

2. 効率的な老朽化対策実施のための対策工法選定手法の明確化

財政状況の厳しい自治体では、限られた予算と担当者数によって海岸保全施設の老朽化対策を計画・実施していかなければならず、効率的な事業実施に向けた施設の変状や劣化状況に応じた的確な対策工法の選定手法の確立が求められている。

市町村などの海岸管理者の多くは専門的な知識を有する技術者が圧倒的に不足している。そのため、膨大に存在する海岸保全施設に対して計画的かつ適切に老朽化対策計画を立案し、効率的に対策工法を実施していくためには、想定される対策工法の選定プロセスが明確化され一定の選定方法が明示されることにより、作業工程の簡素化が図られることが重要である。図-2 は実際の老朽化対策の検討のフローを示したものである。図-2 に示すような手順に従い、簡易的な一次調査及び二次調査により変状・劣化の状況および健全度を評価し、一定の機能低下が見られる場合にその評価を踏まえた追加的な二次調査により対策工法を選定することとなる。そのため、追加的な二次調査手法とその結果（変状要因の特定）に応じた対策工法の選定手法をあらかじめ提示しておくことができれば、効果的な二次調査（追加）の実施と効率的な対策計画の策定が可能になると考えられる。

本研究では、これまでの改良対策工事の実施事例を収集・整理するとともに、各種文献¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾を参考にして、海岸保全施設における主要構造物のひとつである無筋コンクリート構造物の護岸・堤防施設について、変状ごとに追加調査すべき項目の着眼点の整理を行い、施設の健全度ランク毎に「二次調査における変状位置・項目～追加調査項目・方法～対策工法」の対応関係を検討して対策工法の選定表を作成するとともに選定表を活用した対策工法選定手法の提案を行った。そして、対策工法選定手法に基づき老朽化診断現地調査を実施し、実構造物を用いて対策工法の選定プロセスの妥当性の検証を行ったので、その結果を報告する。

3. 現地調査

(1)調査フロー

富山県滑川漁港海岸のコンクリート被覆式護岸（昭和30年代中頃の建造）において、老朽化調査及

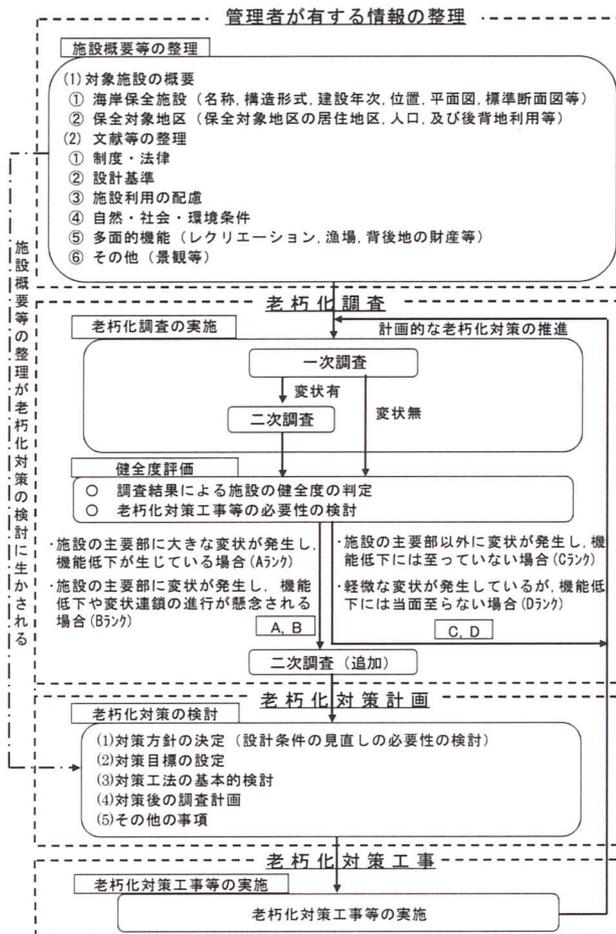


図-2 老朽化対策フロー²⁾

び健全度評価を実施し、二次調査の変状要因に対応する二次調査（追加）を行った。

なお、調査の実施にあたっては、「ライフサイクルマネジメントのための海岸保全施設維持管理マニュアル（案）」¹⁾を基に行った。一次調査では、構造全体の変状の有無を把握し、二次調査を実施すべき箇所を選別を行うため、点検表に基づく変状の有無を確認し、変状位置の記録をスケッチにより実施した。二次調査では、構造物の部位・部材毎に変状の状況を把握し、健全度評価を行うため、簡易的な機材（非破壊検査も含む）による変状程度を把握し、確認された変状の位置や規模等を調査シートに記録した。健全度評価では、二次調査の結果をもとに施設の各調査位置の変状ランクを整理し、施設全体の機能低下の程度の判定を行い、老朽化対策工法の必要性の検討を行った。また、二次調査（追加）では、必要な対策の検討を行うため、コア採取による圧縮強度試験等を行った。

ここに、変状ランクとは、調査位置毎に確認された変状の程度を表すものであり、堤体の部材（一部）の機能が著しく低下した状態からほぼ変状が認められない状態までをa(またはa+)、b、c、dの4段階で表記したものである。また、健全度の判定ランクは、変状ランク毎の個数により、施設の機能低下が生じ

ている状態から施設の機能低下には当面至らない状態までを示すものであり、変状ランクに対応してA, B, C, Dの4段階で表記したものである。

部材の変状ランクと部材の状態を表-1、健全度の判定ランク毎の健全度評価の目安、変状の程度及び評価後の検討事項を表-2に示す。

表-1 部材の変状ランクと部材の状態²⁾

変状ランク	部材の状態
a または a+	部材の機能が著しく低下している状態
b	部材の機能が低下している状態
c	部材の機能低下はないが、変状が発生している状態
d	ほぼ変状が認められない状態

表-2 健全度の判定ランク²⁾

健全度の判定ランク	健全度評価の目安	変状の程度	評価後の検討事項
Aランク	a+ランクと評価された変状現象が一つでもある場合。	施設の主要部に大きな変状が発生しており、施設の機能低下が生じている。	緊急に老朽化対策工事の実施を検討することを原則とする。
Bランク	aランクの変状が一つでも生じている場合。もしくは、8割以上のbランクの変状が生じている場合。	施設の主要部に変状が発生しており、施設の機能低下や変状連鎖の進行が懸念される。	緊急に老朽化対策工事の実施を検討することを原則とする。 計画的な老朽化対策工事の実施を検討することを原則とする。
Cランク	A, B, Dランク以外と評価される場合。	施設の主要部以外の部分や附帯施設に変状が発生しているが、施設の機能低下には至っていない。	現状では老朽化対策工事の必要はないが、継続して観察の実施を検討することを原則とする。
Dランク	全ての調査位置の変状現象がdランクと評価された場合。	軽微な変状が発生しているが、施設の機能低下には当面至らない。	次回調査まで、特になし。

(2) 一次調査、二次調査

一次調査、二次調査を実施（写真-1, 写真-2）した結果、施設には変状が進行している箇所が散見された。特に、幅5mm以上の部材背面まで達するひび割れが多く、波返工で確認され、部材の機能が低下している状態であることが懸念された。

調査シートの記入例を表-3に示す。簡易な計測機器等による二次調査の結果は、健全度評価のための基本的な資料となる。そのため、確認された変状については、その位置や規模等の状況写真を調査シートに記録するものとした。

(3) 健全度評価

健全度評価は、調査位置毎の変状ランク及び変状の程度により、施設の健全度判定を行うものである。

滑川漁港海岸における海岸保全施設の健全度評価結果は、表-4に示す通り施設の健全度はAランクとなった。特に、波返工の変状ランクは多くの箇所でa+（部材の機能が著しく低下している状態）となり、波返工の変状程度が著しく進行していることが確認された。

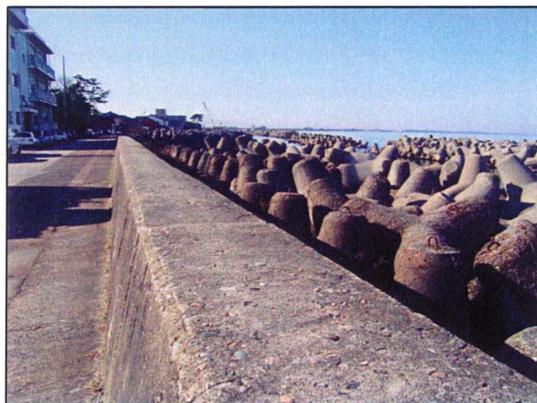


写真-1 滑川漁港海岸護岸全景

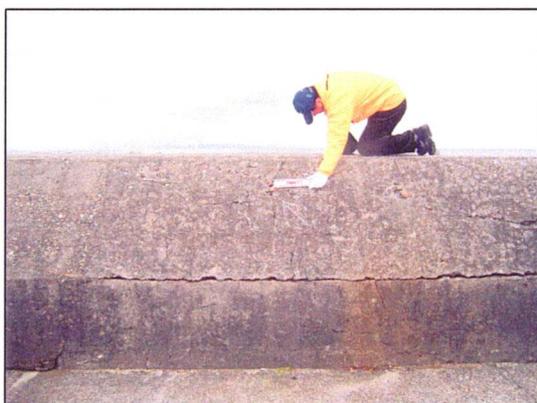


写真-2 滑川漁港海岸現地調査状況

表-3 調査シート記入例²⁾

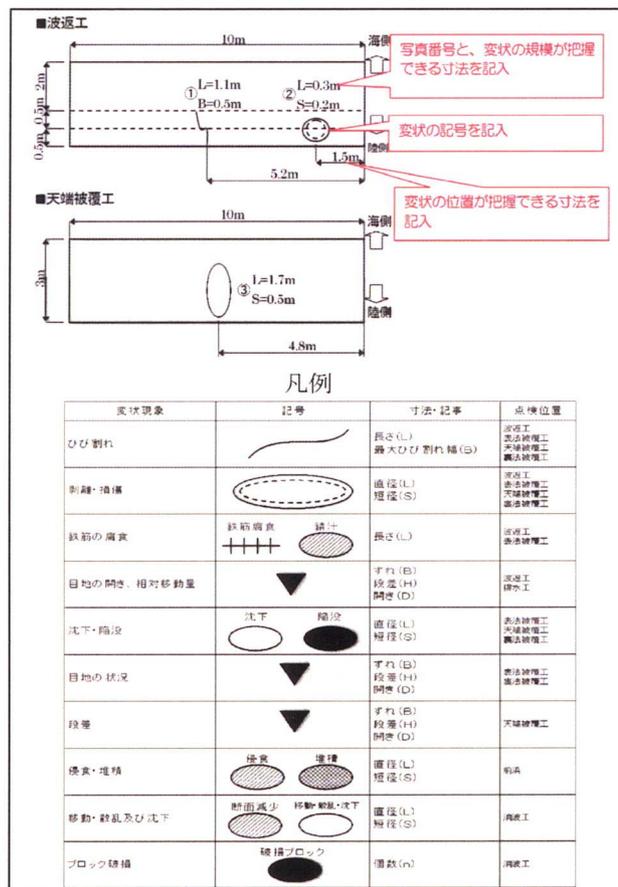


表-4 滑川海岸護岸健全度判定結果

対象施設	調査位置	調査項目	調査方法	変状	変状のランク	確認される変状の程度	スパン毎の変状ランク					健全度判定
							No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	
護岸・堤防	波返工	ひび割れ	目視及び計測	ひび割れの長さ、ひび割れの幅	a+	部材背面まで達するひび割れ・亀裂が生じている(5mm相当)。	a+	a+	a+	a+	a+	A
					b	複数方向に幅数 mm 程度のひび割れがあるが、背面までは達していない。						
					c	1 方向に幅数 mm 程度のひび割れがあるが、背面までは達していない。						
					d	1mm 以下のひび割れが生じている。もしくは変状なし。						
		剥離・剥落・欠損		剥離の範囲、剥落・欠損の深さと範囲	a+	広範囲(10%以上)に部材の深部まで剥離・損傷が生じている。	-	-	-	-	-	
					b	表面だけでなく部材の深部まで剥離・損傷が及んでいる。						
					c	広範囲(10%以上)であるが、剥離・損傷の発生が部材の表面で留まっている。						
					d	ごく小規模の剥離・損傷が生じている。もしくは変状なし。						
	目地の開き、相対移動量	隣接スパンとの高低差、ずれ、目地の開き	計測	a	転倒あるいは欠損がある。	-	-	-	-			
				b	移動に伴う目地の開きが大きく、目地より水の浸透がある。							
				c	目地ずれがあるが、水の浸透はない。							
				d	目地部にわずかなずれ、段差、開きがみられる。もしくは変状なし。							

表-2 より、健全度 A ランクの施設は、緊急に老朽化対策工事の実施を検討することとなっており、対策工法を選定するためには変状要因の把握を行う必要があるため、次の二次調査(追加)を行った。

(4)二次調査(追加)

二次調査(追加)で実施する調査項目は、二次調査で把握された変状から想定されるその他の調査位置における変状の把握を行うものである。本研究では、表-5のように二次調査の変状位置毎に二次調査(追加)の調査項目を整理した。例えば、波返工における隣接スパンとの相対移動は、堤体土砂の吸出しも進行していることが想定されるため、レーダー探査等による吸出し・空洞化の有無の確認を実施することとした。

滑川漁港海岸の場合は、二次調査の変状として波返工のひび割れが顕著に現れていることと、地域的に昭和30年代に建設されたコンクリート構造物に、アルカリ骨材反応による劣化が顕著に現れていることがヒアリングにより判明した。このため、二次調査(追加)の調査項目としてコンクリートの劣化に着目し、コアサンプリングによる圧縮強度試験と骨材のアルカリ反応判定試験を実施した。

コンクリートの圧縮強度試験結果は、表-6 に示すように、設計基準強度 24N/mm² に対して 3 地点の平均で 38.6N/mm² と大きく上回った。一方、採取したコアコンクリートから、アルミナート、ポルトランド等が確認され、アルカリ骨材反応によると思われる亀甲状のひび割れも多数発生していることから、アルカリ骨材反応による劣化が進行しているものと推察された。

以上のことより、本施設の変状の主要因はアルカリ骨材反応であると判断した。ただし、コアサンプリングは、圧縮試験を行うためにひび割れ部分等を

除いた比較的健全な箇所採取しているため、設計基準強度を上回った結果になったものと推察される。このため、構造部材としての強度は現時点で確保されていると判断できるが、建設当時の強度が不明なため(昭和30~40年代建設の構造物においては強度等の履歴に関する情報については不明なものがほとんどである)、現状までの劣化の進行状況は不明である。さらに、圧縮強度が28~47N/mm²とばらつきが大きく、C地点のように設計基準強度に対する許容範囲が2~3割程度しかないことから将来的な劣化の進展にも留意が必要である。

表-5 二次調査(追加)で実施する調査項目²⁾

健全度ランク	二次調査の変状		二次調査(追加)の調査項目			
	位置	現象	調査位置	着眼点	調査項目	調査方法
A	目地の開き、相対移動量	波返工	天端被覆工	空洞の有無、範囲、深さの把握	吸出し・空洞化	レーダー探査もしくは削孔による計測
			表法被覆工			
			裏法被覆工			
	ひび割れ	波返工	波返工	防護高さ、余裕高さの確保	防護高さ	測量
			剥離・剥落・欠損	鉄筋の腐食程度、腐食範囲の確認	鉄筋の腐食	はつり試験
			鉄筋の腐食			
	ひび割れ	波返工	波返工	コンクリート強度の把握	コンクリートの劣化	圧縮強度試験
			剥離・剥落・欠損	コンクリートの中性化深さ		中性化試験
			鉄筋の腐食	コンクリートの塩分含有量		塩分含有量試験
				アルカリ骨材反応	骨材のアルカリ反応性判定試験	

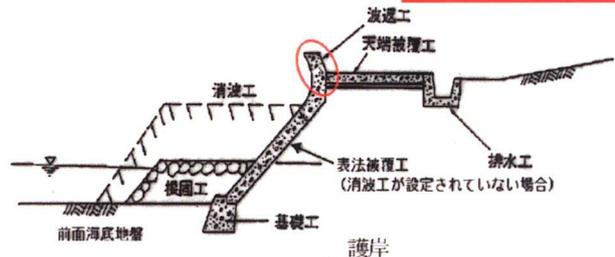


表-6 二次調査（追加）結果（圧縮強度試験）

調査地点	供試体No.	圧縮強度 (N/mm ²)	平均圧縮強度 (N/mm ²)	
A地点	A-1	35.2	40.5	38.6
	A-2	43.2		
	A-3	43		
B地点	B-1	—	43.6	
	B-2	47.1		
	B-3	40.1		
C地点	C-1	29.7	31.6	
	C-2	28		
	C-3	37.3		

4. 対策工法選定手法の提案とその活用による老朽化対策計画の策定

本研究では、対策工の選定のために図-3に示す対策工法選定手法を提案した。

この手法ではまず、変状の要因究明と制約条件の整理を行い、対策の方針を線的な対策と面的な対策の両面から総合的に決定して、対策工法を表-7から選定することとした。

‘線的な対策’とは、水際線に沿って配置された堤防・護岸等の単一施設のみに行う対策を指す。一方‘面的な対策’とは、護岸・海浜・離岸堤等の施設を面的な広がりを持って適切に配置することにより、波浪等の外力を沖合から徐々に弱めながら防護する対策を指す。

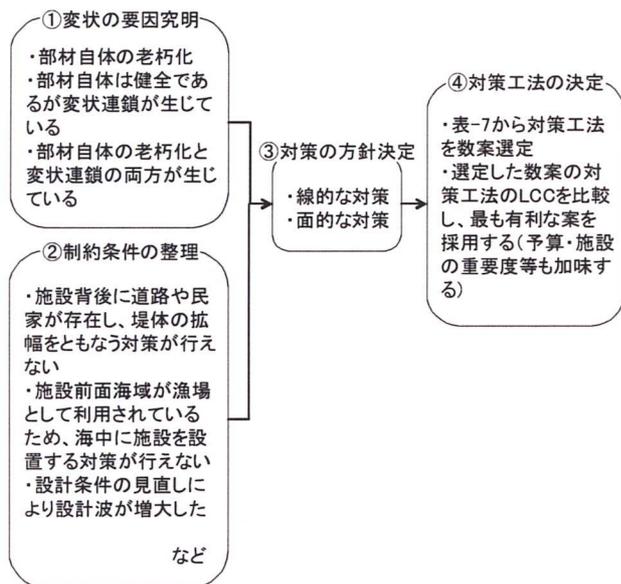


図-3 対策工法選定手法²⁾

(1)変状の原因究明

波返工の変状は、二次調査（追加）の結果より、アルカリ骨材反応による部材自体の老朽化に起因している。

(2)制約条件の整理

行政からの要望として、以下を満たす対策工法の選定が求められた。

- ①施設の直背後に道路・民家が近接しているため、陸側への堤体拡幅を行わない。
- ②施設前面海域が漁場利用されているため、海中に新たに施設を設置しない。
- ③設計条件の見直しにより、設計波が大きくなったため、波浪低減機能の向上が必要となる。

表-7 変状に応じた追加調査項目と対策工法の関係²⁾
(波返工)

二次調査（追加）で確認された変状			変状がある場合の対策工法		
変状位置	変状現象	調査方法	調査結果の活用方法	設計条件の見直しなし	設計条件の見直しあり
波返工	防護高さ	測量	・防護高さ、余裕高さの確認 ・対策工、対策範囲の検討	・断面修復 ・旧波返工撤去、造り替など	・消波工の設置 ・消波工の追加 ・離岸堤の設置 ・嵩上げなど
	鉄筋の腐食	はつり試験	・鉄筋腐食状況の把握 ・対策工、対策範囲の検討	・断面修復 ・旧波返工撤去、造り替など	・コンクリート被覆による増厚 ・鉄筋保護機能の強化など
コンクリートの劣化	圧縮強度試験	圧縮強度試験	・劣化状況、劣化原因の把握 ・劣化の進展予測 ・対策工の検討	・断面修復など	・コンクリート強度の強化など
	中性化試験	中性化試験	・劣化状況、劣化原因の把握 ・劣化の進展予測 ・対策工の検討	・表面塗装 ・断面修復 ・造り替えなど	・コンクリート被覆による増厚 ・鉄筋保護機能の強化など
	塩分含有量試験	塩分含有量試験	・劣化状況、劣化原因の把握 ・劣化の進展予測 ・対策工の検討	・表面塗装 ・断面修復 ・造り替えなど	・コンクリート被覆による増厚 ・鉄筋保護機能の強化など
	骨材のアルカリ反応性試験	骨材のアルカリ反応性試験	・劣化状況、劣化原因の把握 ・劣化の進展予測 ・対策工の検討	・表面塗装 ・断面修復 ・造り替えなど	・コンクリート被覆による増厚 ・鉄筋保護機能の強化など

(3)対策の方針及び工法の決定

対策の方針は、上記(2)の制約条件から、線的な機能強化を行うこととした。

また、対象施設は、波返工のコンクリートの劣化、特に、ひび割れが顕著に現れており、その要因はアルカリ骨材反応であることが確認されていることから、対策工法は表-7より、コンクリート被覆による増厚を選定した。設計波高の増大に対しては、波返工の嵩上げにより対応することとした。

(4)対策工法の堤体断面形状

アルカリ骨材反応によるひび割れが生じているコンクリート表面部分を取り除き、新規コンクリートによる被覆・増厚を行った場合、堤体内部に残された反応性骨材が原因となり再びひび割れが発生する事が懸念された。このため、堤体コンクリートに反応性骨材による膨張が生じないように、新・旧コンクリート境界部へ以下の抑制対策を講ずる事とした。

①反応性骨材抑制対策

新設コンクリートは、「無機質セメント結晶増殖材」を添加したものとする。

②内部応力対策

新設コンクリートと既設コンクリートをアンカー鉄筋により一体化し、RC構造として拘束力を高め、アルカリ骨材反応による膨張圧に対して十分抵抗できる構造とした。

以下に、上記手順を踏まえて決定した対策工法の断面図（図-4）を示す。

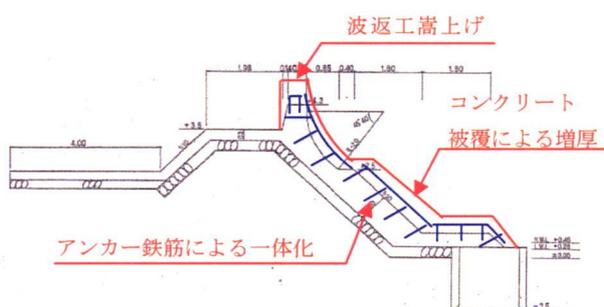


図-4 対策工法の堤体断面図

5. まとめ

本手法の最大の特徴は、対策工法の選定プロセスの明確化にある。

一般的な対策工法の選定においては、担当者の経験にもとづき老朽化の要因を想定し、追加調査を適宜実施していきながら対策工法を確定させていく。このような経験に重きを置く対策工法の選定プロセスは、専門技術を有する技術者が不足する多くの海岸管理者にとって時間的な制約と予算的な制約下においては、対応が難しいともいえる。

本研究は、事前の検討段階において、「変状の状況に応じた詳細調査項目」と「特定した変状要因とそれに対応した対策工法」を明確化（対応手順と対応表の作成による対策工法選定手法の提案）することにより、効率的な対策工法の選定の支援を図るものである。選定手法の妥当性については、現地検証により、老朽化対策計画の策定に当たっては本手法を活用することにより効率的に対策計画の策定が可能であることを確認できた。しかし、選定した対策工法の有効性については、現段階では定量的な効果は確認できていないのが実状である。今後の継続的な調査を実施していくことにより選定した工法自体の有効性について確認していくことが必要と考える。

ただし、現時点での追加調査項目と対策工法の関係を整理した表-5・表-7では、まだ経験による判断

に負う部分が残されており、変状ランクの客観的な数値による定量化や判断基準の明確化や適用工種の拡大などが必要である。より効率的な対策工法の選定を実現できるようにするためには、更に多くの事例を元に本選定表の検証を行い、精度と妥当性を高めるとともに、調査結果の蓄積（データベース化）により簡易的に工法を選定できる様に改良していく必要がある。

また、管理者へのヒアリングと有識者による検討委員会により選定手法の有効性の評価を行い、本選定手法を含めた研究の成果をマニュアルとしてまとめ管理者に配布（管理者が活用して老朽化対策が進むことを期待）することとなっている。管理者がマニュアルによる調査を実施することにより、一定の手法による調査データが蓄積され、本手法の有効性や精度の向上が期待される。

今後は、客観的な診断手法の導入や簡易的な診断手法の内包も視野に入れ、より実用的な選定手法を検討していく予定である。

謝辞：本調査は、水産庁からの委託事業により実施したものである。また、調査の実施及び結果のとりまとめにあたっては、海岸保全施設におけるライフサイクルマネジメント検討委員会（委員長：長野章はこだて未来大学 教授）の方々にご指導を仰ぐとともに、調査においては、富山県、神奈川県に多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局防災課，農林水産省水産庁防災漁村課，国土交通省河川局海岸室，国土交通省港湾局海岸・防災課：ライフサイクルマネジメントのための海岸保全施設維持管理マニュアル（案），2008年2月
- 2) 農林水産省水産庁防災漁村課：海岸保全施設の老朽化調査及び老朽化対策計画策定のための実務版マニュアル（暫定版），2008年3月
- 3) 社団法人土木学会：コンクリート標準示方書【維持管理編】，2001年1月
- 4) 社団法人土木学会：コンクリート標準示方書【維持管理編】に準拠した維持管理マニュアル（その1）および関連資料，2003年11月
- 5) 財団法人沿岸開発技術研究センター：港湾構造物の維持・補修マニュアル，1999年6月
- 6) 財団法人沿岸技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，2007年10月
- 7) 社団法人土木学会：海岸施設設計便覧，2000年版