

伊勢湾西南海岸における堤防老朽度評価

藤田光一* ・中村瑛佳** ・山本 剛***
田中浩充**** ・鳥居謙一***** ・野口賢二*****

三面張り構造を標準とした海岸堤防に対し、構築後の老朽度評価手法の明確な指標が示されていないのが現状である。本研究は全国の海岸堤防に先駆け、伊勢湾西南海岸における堤防の老朽度を策定することを目的に実施した。伊勢湾西南海岸の老朽度調査結果を基に、三面張り海岸堤防の老朽度調査手法と老朽度評価手法を提示した。老朽度調査手法は、目視による一次調査と地中レーダ探査、コアリングによる二次調査からなる。老朽度評価手法の項目として堤防天端高、堤体内空洞状況、堤脚部侵食、堤防被覆の劣化を選定し、堤防の防災機能確保の視点から各項目に重みを付けた評価を行った。

1. はじめに

伊勢湾西南海岸は、図-1 に示すように、三重県松阪市から伊勢市に至る約 11 km の国土交通省直轄海岸である。

当海岸の堤防は、昭和 28 年の 13 号台風、昭和 34 年の伊勢湾台風により甚大な被害を受け復旧整備されたが、その後 40 年が経過し、現在老朽化が懸念されている。

一方、わが国では三面張り構造を標準とした海岸堤防に対し、構築後における老朽度評価手法の明確な指標が示されていないのが現状である。本研究は全国の海岸堤防に先駆け、伊勢湾西南海岸における海岸堤防の老朽度評価手法を策定することを目的に実施した。

2. 伊勢湾西南海岸堤防の概要

伊勢湾西南海岸は図-2 に示すように、横田川河口から宮川河口の間に位置し、西から松名瀬、川尻、北藤原、浜田、大淀、北浜工区の 6 工区からなる。

図-3 に海岸堤防標準断面図を示す。現在の堤防は昭和 28 年から 38 年にかけて整備されたものである。当時の復旧整備は、工事を短期間で完了させるため、コンクリートを全面的に使用した。また、コンクリート材料は、突貫工事のため海水と検査に合格した海砂の使用を認めている。このため、被覆材は、鋼材の腐食をさけるため鉄筋を使用せず、厚さ 50 cm の無筋コンクリートを使用している（建設省中部地建、1956）。

3. 老朽化の現状

伊勢湾西南海岸堤防は築造から 40 年が経過し、老朽化

による変状が目立ってきていることから、堤防老朽度調査を実施した。老朽度調査項目は表面クラック、摩耗、堤体土砂吸出し等の調査と、地中レーダ探査、コアリングとコンクリート強度試験である。

3.1 伊勢湾西南海岸の堤防変状実態

伊勢湾西南海岸堤防の変状実態は、コンクリート表面のクラック、摩耗、はく離等と、被覆材下の空洞、基礎露出等であり、各工区により変状の状況は異なっている。

表-1 は目視により把握されたコンクリート表面の堤

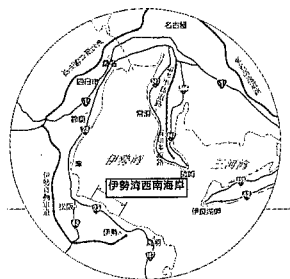


図-1 伊勢湾西南海岸位置図

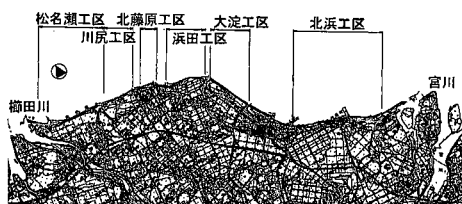


図-2 伊勢湾西南海岸管内図

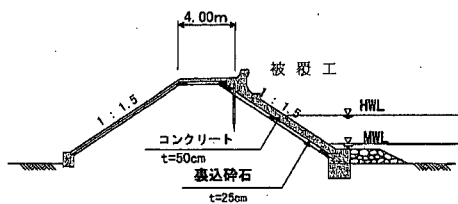


図-3 海岸堤防標準断面図

* 正会員	工博	国土交通省中部地方整備局三重工事事務所所長
**		国土交通省中部地方整備局三重工事事務所前副所長
***		国土交通省中部地方整備局三重工事事務所前工務第一課長
****		国土交通省中部地方整備局三重工事事務所海岸係長
***** 正会員	工修	国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室長
***** 正会員		国土交通省国土技術政策総合研究所企画部企画課調査係長

防変状を工区毎に整理したものである。コンクリート表面の堤防変状は大淀工区が最も多く、北藤原工区が最も少ない。各工区ともクラックと摩耗の変状箇所が全変状の80%を占めている。変状毎にみるとクラックの発生箇所が最も多く、次いで摩耗の発生箇所が多い。

表-2はクラックについて堤体部位毎に発生箇所を整理したものである。全工区で見ると表法面で発生するクラックが最も多い。また、北浜工区は他工区と比べパラベットのクラックが多い。松名瀬工区においては堤防天端及びパラベットでの発生が多い。

表-1 工区別の変状発生箇所数

	表法面	パラベット	堤防天端 端道路	裏法面	合計
松名瀬工区	30	14	55	12	111
川尻工区	23	5	6	0	34
北藤原工区	15	3	5	0	23
浜田工区	16	8	13	0	37
大淀工区	134	55	3	0	192
北浜工区	42	1	4	0	47
合計	260	86	86	12	444

表-2 工区毎の堤体部位別クラック発生箇所数

	クラック	摩耗	はく離	段差	沈下	合計
松名瀬工区	112	46	4	6	8	176
川尻工区	35	21	1	1	0	58
北藤原工区	24	12	0	0	0	36
浜田工区	37	9	1	1	1	49
大淀工区	192	82	32	7	3	316
北浜工区	47	3	1	1	1	53
合計	447	173	39	16	13	688
発生比率	65%	25%	6%	2%	2%	100%

3.2 空洞化の発生状況

伊勢湾西南海岸においては表法面に対し堤防縦断方向に3測線の地中レーダ探査とコアリングにより空洞化調査を行っている。調査の結果、松名瀬工区8箇所、川尻工区5箇所、大淀工区5箇所の合計18箇所で空洞化が確認されている。図-4(a)は砂浜幅と空洞、図-4(b)は砂浜幅とひび割れ幅、摩耗深さの関係、図-4(c)は空洞深さとひび割れ幅・摩耗深さの関係、図-4(d)は砂浜幅・空洞深さとコンクリート強度の関係を示したものである。この結果から、明確な相関は得にくいものの、砂浜幅が小さいと空洞、ひび割れ幅、摩耗深さが大きくなる傾向が見られることがわかる。また、空洞の深さとひび割れ幅、摩耗深さ及び砂浜幅、空洞深さとコンクリート強度の関係については傾向がつかみにくい傾向となっている。

3.3 コンクリート三面張り海岸堤防の老朽度調査手法

伊勢湾西南海岸の老朽度調査結果を基に海岸堤防における老朽度調査項目と調査内容を表-3のように設定した(土木学会, 2000)。

海岸堤防は一般に三面張り堤防であるため、被覆工の劣化状況等は目視調査で確認することが可能であるが、

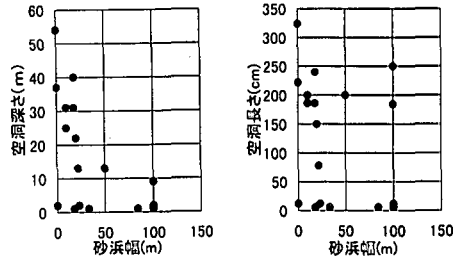


図-4(a) 砂浜幅と空洞深さ・空洞長さの関係

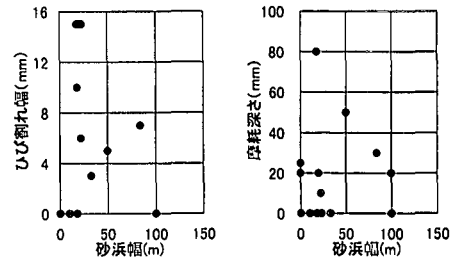


図-4(b) 砂浜幅とひび割れ幅・摩耗深さの関係

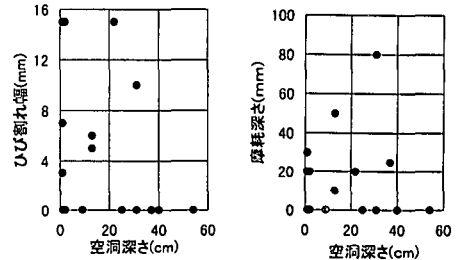


図-4(c) 空洞深さとひび割れ幅・摩耗深さの関係

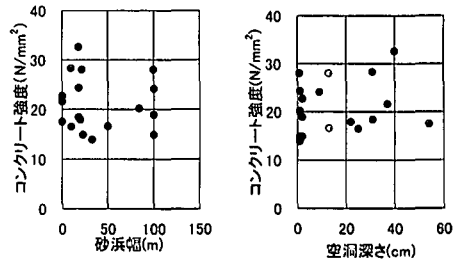


図-4(d) 砂浜幅・空洞深さとコンクリート強度の関係

堤体内の空洞，吸出しは目視による確認が困難である。このため堤体内調査は地中レーダ探査等が必要となるが，全工区に渡るレーダ探査はコストが大きくなる（笠井，1996）。

このため，段階的に調査を進めることを考え，図-5に伊勢湾西南海岸の調査実績を基に海岸堤防の老朽度調査手法を示したものである。目視を主体とした一次調査から老朽度要因を推定し，レーダ，コアリングの二次調査へ進む調査フローとしている。

二次調査における空洞調査は，レーダ探査は少なからず誤差や解釈ミスが発生することが否めないことから，簡易穿孔による空洞確認を加えることにより精度の補完をする。表-4に二次調査における空洞調査の実施条件と調査目的を示す。

4. 伊勢湾西南海岸における老朽度判定手法

伊勢湾西南海岸の堤防老朽度を評価するための手法を策定し，海岸堤防の評価，維持補修に活用することを目

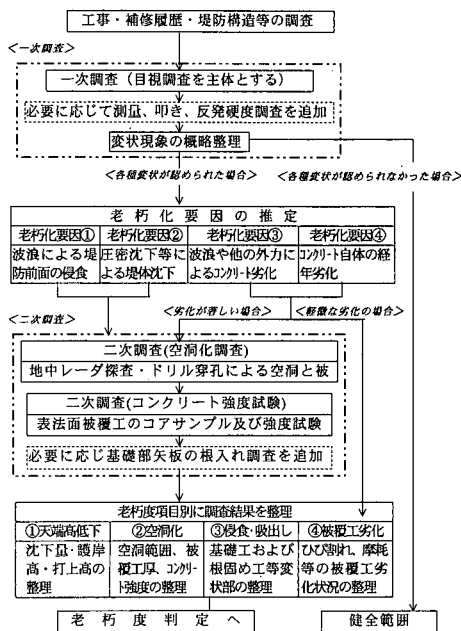


図-5 老朽度調査フロー

表-3 老朽度調査項目と調査内容

老朽化項目	調査内容と調査の進め方
① 天端高の低下	主な要因として圧密沈下が考えられるが，堤脚部侵食や空洞化が進んだ範囲である場合もある。疑わしい範囲については一次調査の段階で測量を実施し，現況の天端高を把握する。
② 空洞化	主な要因として堤脚部侵食や土砂吸出しが考えられる。目視調査ではその状況まで把握できないため，基礎部変状範囲等の空洞化が疑わしい範囲を抽出し，二次調査において非破壊探査（地中レーダ探査）と空洞確認（小径ドリル穿孔）を併用して調査を進め，空洞および被覆工厚，コンクリート強度を把握する。
③ 堤脚部侵食や土砂吸出し	主な要因として波浪および前浜侵食が考えられる。一次調査では，基礎露出や移動等の目視観察できる範囲を堤防全体に渡って評価する。矢板を有し，基礎根入れ不足が疑われる場合，二次調査において，矢板等の根入れ深度調査の実施を検討する。
④ 被覆コンクリート劣化	温度や化学作用等による経年劣化や施工不良による劣化と，波浪や沈下等の外力による劣化が原因を主体として考えられる。一次調査では，目視調査を主体として堤防全体の劣化状況を評価する。著しい劣化範囲については，二次調査に進み，背面空洞やコンクリート強度を把握する。

表-4 二次調査における空洞調査の実施条件

二次調査内容	実施条件	調査目的
地中レーダによる空洞化調査	<ul style="list-style-type: none"> 埋脚部侵食・土砂吸出しの可能性が有る範囲 ひび割れや摩耗等が激しい範囲，または外力の作用による劣化と思われる範囲 天端高の低下が大きい範囲 目地開き等が見られる範囲 	空洞範囲 空洞厚 被覆工厚
小径ドリル穿孔による空洞確認	<ul style="list-style-type: none"> レーダ探査によって空洞反応が検出された範囲 レーダ探査結果が不明瞭な範囲 	レーダ探査の確認，確認データを基にしたレーダ探査結果の再解析

的とし，老朽度判定手法を策定した。

4.1 老朽度評価項目

表-5に伊勢湾西南海岸における，各老朽度評価項目の内容と重要度を示す。

老朽度は，海岸堤防の老朽度要因および変状機構を踏まえて，防災上の危険度を判定し補修および改造・改築の優先度・方法の決定の判断材料となるように実施する。

老朽度評価は，各老朽度項目から得られる評価を基に，重み付けにより判定した総合評価からなる。

4.2 天端高低下の危険度評価

天端高低下は，「打ち上げ高」と「現況天端高，沈下を考慮した将来堤防高」の関係，及び，「計画堤防高」と「現況天端高，沈下を考慮した将来堤防高」の関係から評価を行う。なお，伊勢湾西南海岸では問題となる沈下はほとんど見られないことから，天端高低下の危険度はないと判断した。

4.3 空洞化の危険度評価

空洞がもたらす危険度は，空洞規模，被覆コンクリート厚・強度と作用波力を用いた応力度照査の結果から判定するものとし，空洞を被覆するコンクリートの破壊危険度を定量的に評価した。表-6に空洞化評価の判定基準を示す。

発生応力度 σ_c は，空洞スパンの長・短軸の範囲の被覆コンクリートに到達波高 1/3 に相当する波圧を作用させ算出する（土木学会，1987）。

表-7は，伊勢湾西南海岸で確認された最大空洞（長軸

表一五 老朽度評価項目と各項目の重要度

老朽度評価項目	重要度	評価内容と重要度の設定理由
① 天端高低下の評価	1 重要度大	打上高と現況・将来予測堤防高（沈下考慮）の関係、計画堤防高と現況・将来予測堤防高の関係から評価する。
		堤防高が打上高を下回る場合、波浪の状況によっては越波量が増大する恐れがある。この場合、破堤に直接的に影響する問題であるため、他の老朽化判定に関わらず最も重要度の高い判定を行う。
② 空洞化の危険度評価	1 重要度大	空洞規模および被覆コンクリート強度の関係から、陥没等の堤体破壊の危険性について評価する。
		空洞が存在する場合、堤体破壊の直接的な要因となるため、越波問題と同等に重要度の高い判定を行う。
③ 堤脚部侵食や吸出しの評価	2 重要度中	堤防前面の侵食状況から堤体土砂の吸出し危険度を評価する。
		今後の空洞化危険度を示すものであり、越波および空洞化問題に次いで重要度の高い判定を行う。 また、空洞化と重複する場合、今後の空洞拡大を示唆する問題であるため、空洞化危険度評価のランクアップ要素としても取り扱う。
④ 被覆コンクリートの劣化評価	3 重要度小	堤体被覆工のひび割れや摩耗状況を尺度として劣化状況について評価する。
		空洞化と重複する場合、堤体被覆工の破損危険度を示唆する問題であるため、空洞化危険度評価の割増要素として取り扱う。 ただし、空洞化と重複しない限り、直接の空洞化や堤体破壊の要因とは成りにくいため、最も低い危険度の評価とする。

スパン $B_x=3.24$ m, 短軸スパン $B_y=3.24$ m) をモデルに空洞化評価の結果を示したものである。伊勢湾西南海岸で発生している空洞に対しては概ね 40 cm の被覆工のコンクリート厚さが確保できていれば破壊に対する安全率を確保できることがわかる (土木学会, 1989)。

4.4 堤脚部侵食・土砂吸出しの危険度評価

表一八に堤脚部侵食、土砂吸出しの危険度評価の判定基準を示す。堤脚部侵食・吸出しは、基礎工の沈下・露出等や根固工に変状が見られる場合、既に堤体土砂が吸

表一六 空洞化評価の判定基準

評価区分	評価基準
I	空洞箇所を表法被覆工の安全率 1 未満 $F_s=3(\text{許容応力})/\text{発生応力}<1$
II	空洞箇所を表法被覆工の安全率 1 以上 $F_s=3(\text{許容応力})/\text{発生応力}\geq 1$
III	空洞化が認められない範囲

表一七 被覆工破壊安全率に影響するコンクリートの厚さと強度の関係

コンクリート厚	コンクリート強度	14	16	18	21	24
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
コンクリート厚	10 cm	0.08	0.1	0.11	0.13	0.14
	20 cm	0.33	0.38	0.43	0.5	0.59
	30 cm	0.77	0.91	1.0	1.1	1.25
	40 cm	1.43	1.67	1.67	2.0	2.5
	50 cm	2.0	2.5	2.5	3.33	3.33

表一八 堤脚部侵食や吸出しの危険度評価の評価基準

評価区分	評価基準
I	基礎工に沈下や露出が見られる範囲、あるいは根固工に変状が見られる範囲。既に堤脚部侵食が発生しており、現況における堤体土砂の吸出しが危険視される範囲。
II	・基礎部に変状が見られるが、応急的な侵食防止対策が行われており、とりえず今後の進行の危険は少ない範囲 ・消波工が移動・散乱等している範囲、これらの変状は、過去の堤脚部侵食の発生や侵食兆候を示唆するものであり、今後の危険になる可能性のある範囲とする。
III	侵食や吸出しの危険が認められない範囲。

表一九 被覆コンクリートの劣化評価

評価区分	評価基準
I	表法面において、背面への貫通が疑われる顕著なひび割れが見られる範囲。(判定目安は主に幅 5 mm 以上) 空洞化評価において評価 I が判定された範囲。(空洞規模に対し強度または厚みが少なく、破壊危険度が高い)
II	軽微なひび割れ有。 (ひび割れ状況の目安は主に幅 5 mm 以下)。 摩耗や骨材露出等が見られる範囲 天端や裏法面被覆工に顕著なひび割れが見られる範囲 (判定目安は主に幅 5 mm 以上)。
III	劣化が認められない範囲。

表一十(a) 空洞化・堤脚部侵食・被覆工劣化の評価

②空洞化の危険度評価	空洞化以外の老朽化評価項目		判定区分	
	③堤脚部侵食や吸出しの危険度評価	④被覆工の劣化評価		
判定 I (安全率 1 未満)	判定 I (吸出し危険範囲)		AA	
	判定 II (今後の危険範囲)		A	
	判定 III (健全範囲)		A	
	判定 II (安全率 1 以上)	判定 I (吸出し危険範囲)	判定 I (耐力低下行)	AA
			判定 II (劣化傾向行)	A
			判定 III (健全度範囲)	A
判定 III (健全範囲)	判定 I (吸出し危険範囲)	判定 I (耐力低下行)	A	
		判定 II (劣化傾向行)	A	
		判定 III (健全度範囲)	BB	
		判定 I (耐力低下行)	A	
		判定 II (劣化傾向行)	BB	
		判定 III (健全度範囲)	BB	
判定 III (空洞なし)	判定 II (今後の危険範囲)	判定 I (耐力低下行)	B	
		判定 II (劣化傾向行)	B	
		判定 III (健全度範囲)	B	
		判定 I (耐力低下行)	B	
		判定 II (劣化傾向行)	CC	
		判定 III (健全度範囲)	CC	
判定 III (健全範囲)	判定 I (耐力低下行)	判定 I (耐力低下行)	CC	
		判定 II (劣化傾向行)	C	
		判定 III (健全度範囲)	S	

空洞有り

空洞なし

表-10(b) 天端高の評価

天端高低下の危険度評価	評価基準	判定区分
判定Ⅰ	打上高>現況堤防高・将来堤防高 計画堤防高>現況堤防高・将来堤防高	AA
判定Ⅱ	打上高≤現況堤防高 打上高>将来堤防高 計画堤防高>現況堤防高・将来堤防高	A
判定Ⅲ	打上高≤現況堤防高・将来堤防高	S

出されている可能性が極めて高い。このため、これらの変状は危険度が高いものとして評価する。また、消波工に変状が見られる範囲については、今後の吸出し危険範囲として評価する。

4.5 被覆コンクリートの劣化評価

表-9に被覆コンクリート劣化の評価基準を示す。被覆工劣化は、無筋コンクリートを対象としており塩害による鉄筋腐食はないことから、主にひびわれの大きさから判定し評価することとした。

4.6 老朽度判定

老朽度判定は、表-10(a)に示すように各老朽度項目を組み合わせて評価する。このとき前出の表-5に示した重要度を基に空洞化、堤脚部侵食や吸出し、被覆工劣化の順に総合判定のランクが上位となるように重み付けを行った。

また、堤防天端高の不足はそれ自体で防災機能を満足出来ないことから表-10(b)に示すように単独で評価することとした。

5. おわりに

本論文は、国土交通省三重工事事務所が平成4年度から実施してきた伊勢湾西南海岸堤防老朽度調査結果を基

に、平成11~12年度にかけて西南海岸老朽化対策工法検討委員会での議論を踏まえ、まとめたものである。

伊勢湾西南海岸堤防は、鉄筋を用いない無筋コンクリート被覆工により施工されている。一方、コンクリート構造物の老朽度を評価する場合、一般に鉄筋腐食を評価要素として重視する。本施設のように、海岸特有の外力作用を受ける無筋コンクリート被覆堤防の老朽度判定は、従来のコンクリート構造物と異なる評価が必要であった。

現在、本資料の老朽度判定手法を元を実施した伊勢湾西南海岸堤防の老朽度評価結果と前浜等の現場状況、背後地の状況等を整理し、緊急を要する箇所から順次整備を実施している。

今後は本判定手法を用いた定期的な診断、維持管理とともに、補修、補強、改築後のモニタリング調査を含め、堤防施設機能の維持・向上に努めてゆく。

謝辞：伊勢湾西南海岸老朽化対策工法検討委員会を通じて多くの貴重な意見を御指導頂いた委員長岩田教授(名古屋大学)、委員喜岡教授(名古屋工業大学)に感謝申し上げます。

参考文献

- 建設省中部地建(1956): 愛知・三重海岸堤防受託工事誌 19 p.
海岸保全施設築造基準連絡協議会(1987): 海岸保全施設築造基準, pp. 51-64, pp. 135-194.
笠井芳夫・富士 岳・田村 博・笠井哲郎(1996): コンクリート構造物の非破壊試験検査, オーム社, 202 p.
土木学会編(2000): 海岸施設設計便覧, pp. 515-542.
土木学会編(1989): 土木工学ハンドブック構造力学編, pp. 269-271.