

参 考 資 料

- 参考資料－ 1 今後の課題等 P 1
- 参考資料－ 2 砂浜、水門・陸閘の海岸管理者による
維持管理の事例 P 2～ 4
- 参考資料－ 3 海岸保全施設の被災事例 P 5～10
- 参考資料－ 4 点検に関する技術の例 P11～12
- 参考資料－ 5 推移確率推定図及び劣化予測線
の検討について P13～24

参考資料－１ 今後の課題等

今回、老朽化の進展や海岸管理者における体制面等の実情を踏まえ、海岸保全施設の維持管理に係る現状の知見や、データをもとに、主に点検方法の改善、長寿命化計画の具体的な策定方法に関する改訂を行った。今後の知見の蓄積やデータの収集等を踏まえ、効率的・効果的な点検・補修技術や劣化予測・健全度評価等に係る手法等に関して更なる検討や見直しが必要である。

参考文献

- ・ 公益社団法人 土木学会；コンクリート標準示方書、維持管理編、2013 年制定
- ・ 一般社団法人 日本鋼構造協会；土木鋼構造物の点検・診断・対策技術、2005.11
- ・ 海岸保全施設技術研究会編；海岸保全施設の技術上の基準・同解説、平成 16 年 6 月
- ・ 一般財団法人 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、平成 19 年 10 月
- ・ 公益社団法人 土木学会；海岸施設設計便覧、2000 年版
- ・ 公益社団法人日本コンクリート工学会；コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-
- ・ 運輸省港湾技術研究所；港湾技研資料 No.557 海岸保全施設の維持管理手法、June1986
- ・ 公益社団法人 土木学会；コンクリート標準示方書、設計編、2012 年制定

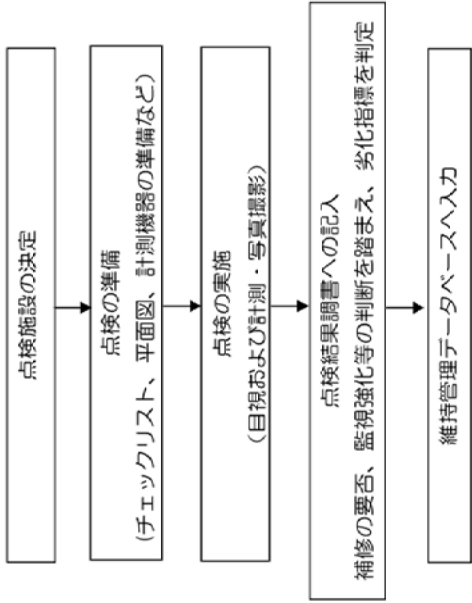
砂浜、水門・陸閘の海岸管理者による維持管理の事例

1. 砂浜の管理マニュアルの事例（大阪府） ----- 1
2. 水門・陸閘等の管理マニュアルの事例（広島県） ----- 2

砂浜の管理マニュアルの事例（大阪府の例）

- 砂浜の維持管理マニュアルの事例として、点検要領Ⅶ【人工海岸・自然海岸（養浜・砂浜・礫浜・崖）】（大阪府港湾局）を紹介。
- 港湾局職員が、「1次点検（職員）」として、定期的に現地を目視・計測し、海岸の変状の有無を確認。
⇒補修の要否、監視強化等の判断を踏まえ、劣化指標を判定
- 点検結果は、維持管理データベースに入力。

○1次点検（職員）手順



○対象施設と点検項目

施設名称	工種	細別	点検項目	点検方法	着眼点
人工海岸	養浜・礫浜	前浜・後浜	侵食	目視及び計測	侵食深さ、範囲
			堆積	目視及び計測	堆積高さ、範囲
	砂浜・礫浜	前浜・後浜	侵食	目視（必要に応じて計測）	侵食深さ、範囲
			堆積	目視（必要に応じて計測）	堆積高さ、範囲
	崖		侵食	目視（必要に応じて計測）	侵食深さ、範囲

※点検は、点検者が地上より簡易に実施可能な範囲

○劣化指標の判定

劣化指標の判定	人工海岸		自然海岸
	堆積高さ(m)	侵食深さ(m)	
A	1.0m以上	1.0m以上	変状が大きく、利用性・防潮機能に問題あり
C	0.5m以上1.0m未満	0.5m以上1.0m未満	変状が小さく、現時点では利用性・防潮機能に問題なしと判断できる状態
D	0.0m以上0.5m未満	0.0mを越え0.5m未満	変状なし

水門・陸閘等の管理マニュアルの事例(広島県の例)

- 水門・陸閘等の維持管理マニュアルの事例として、**水門・陸閘定期点検要領(広島県)**を紹介。
- 機能面と状態面の項目についてトレンド管理と評価を行い、総合評価を実施している。
- 点検結果は、水門・陸閘台帳管理システムに登録。

○対象施設

【施設区分】

水門・樋門：ローラーゲート
スライドゲート
陸閘：スライディングゲート(マイターゲート含む)
横引きゲート
起伏ゲート

【開閉装置区分】

水門・樋門：ワイヤーロープウインチ式
電動ラック式
手動ラック式
電動スピンドル式
手動スピンドル式

陸閘：油圧式(起伏ゲート)

【その他設備】

『機側操作盤』『管理橋』『付属設備』など

○トレンド管理項目と評価

【維持管理項目(共通)】

開閉機能、止水機能、設備全体の劣化度
⇒ 定量化出来ないため段階的定性評価(4段階)

【状態管理(定量化が可能な項目)】

電源電圧、動作電流、絶縁抵抗、手動力、
自重降下速度、各部材の摩耗、ロープ径、吐出圧力
⇒ 各項目において管理値を設定して評価

管理値の例：電源電圧の場合、定格電圧±10%以下

○総合評価の考え方

評価点	
①	構造の安定性、第三者被害対策などの観点から、緊急対応の必要があるもの。
②	応急処置及び改修計画が必要な施設。
③	状況に応じて補修を行う必要があり、開閉時に対応が必要なもの。
④	損傷は認められないが、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
⑤	補修・整備を行う必要がない。

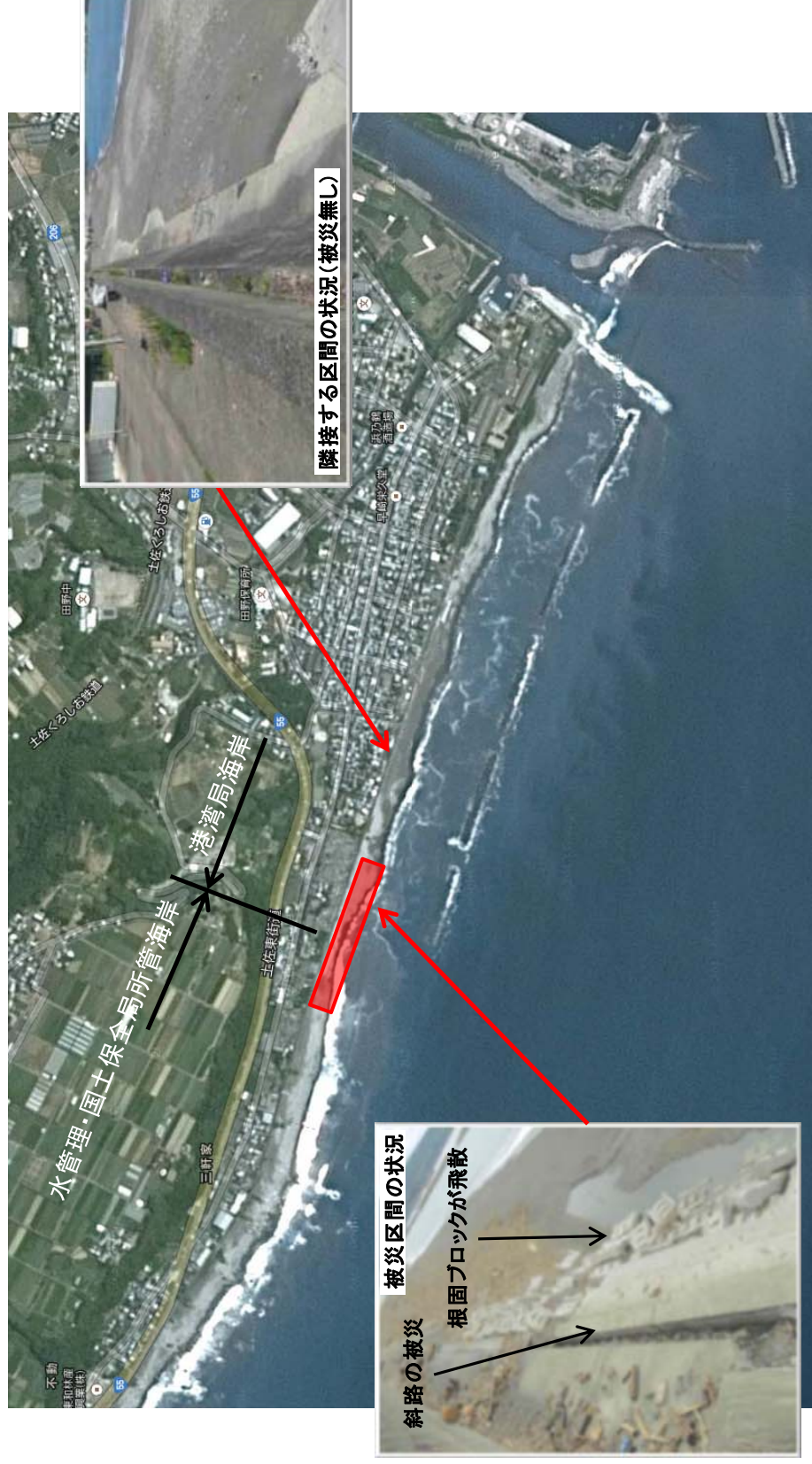
海 岸 保 全 施 設 の 被 災 事 例

- １．高知県奈半利港海岸における被災事例
- ２．福島県中之作港海岸における被災事例
- ３．富山県下新川海岸における被災事例
- ４．高知県菜生海岸における被災事例
- ５．高知県穴内漁港海岸における被災事例

高知県 奈半利港海岸における被災事例

地形等により劣化・被災しやすい箇所の事例

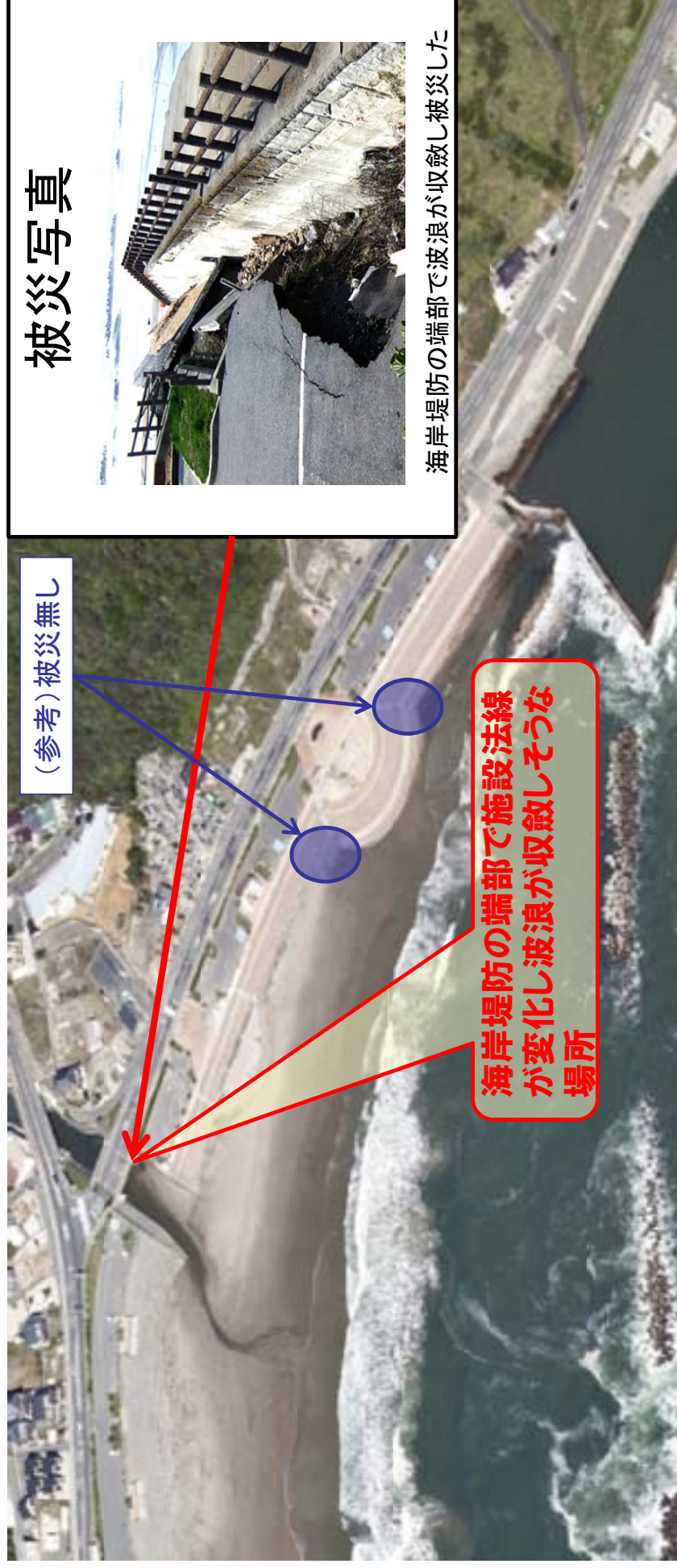
- 高知県奈半利港海岸においては、平成15年の台風10号により、海岸堤防が被災を受けた。
- この施設は設置から20年経過しており、比較的老朽化が進んでいたと想定される。
- 被災を受けた箇所の平面的な位置を確認したところ、屈折回折などにより来襲する波浪が集中（収斂）する箇所（離岸堤の切れ目）において、被災が起きたことが確認できた。
- また、隣接する区間においては、特に大きな被災がなかったことから、屈折回折などにより来襲する波浪が集（収斂）する箇所においては、大きな外力がきたときに被災しやすいと想定される。



福島県 中之作海岸なかのさくにおける被災事例

地形等により劣化・被災しやすい箇所の事例

- 福島県いわき市中之作海岸においては、平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、海岸堤防が被災を受けた。
- 被災を受けた箇所の平面的な位置を確認したところ、被災を受けた箇所は、海岸堤防の端部で施設法線が変化し、波浪が収斂しそうな箇所であった。

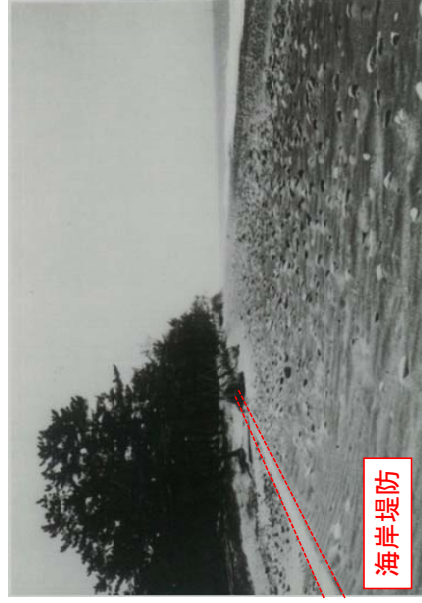


富山県 下新川海岸における被災事例

地形等により劣化・被災しやすい箇所の事例

- 平成20年2月24日、低気圧による激しい高波により、富山県黒部市、入善町及び朝日町の下新川海岸において海岸堤防が倒壊するとともに、越波等による人家の損壊や浸水被害等が発生。
- 観測された最大有義波高及び有義波周期は、下新川海岸の計画波浪を超過。
- 富山県入善町吉原地先付近では、今から100年前の海岸線は現在の位置より150m程度沖側にあったと推測されるが、海岸侵食の進行により砂浜は急激に減少し、現在では砂浜がまったく存在しない箇所が殆ど。
- 前浜が無い状況の下で高波が来襲したため、海岸堤防の消波・根固ブロックが急激な洗掘により沈下・流出・散乱。その後も、高波が継続的に来襲し、海岸堤防ののり先が激しく洗掘され、堤体内の土砂が吸い出され、空洞化が急激に進行、海岸堤防の一部が倒壊した。

- 砂浜の消失(入善町下飯野地先)



昭和36年



平成15年

- 直立堤の空洞化・倒壊メカニズム



- 倒壊した海岸堤防の被災状況
(入善町下飯野地先)



- 堤防前面に砂浜又は、離岸堤等の消波施設があるという前提で設計・施工された堤防等は、波浪が直接堤防に來襲することを想定しておらず、放置しておく倒壊のおそれあり。
- 背後に人家が迫っているような箇所では、堤防の倒壊が人命に直結する。
- そのような箇所では、定期的かつ高波來襲後に、巡視、点検を行い、施設機能が十分に確保されていることを確認することが重要。

高知県 菜生海岸における被災事例

地形等により劣化・被災しやすい箇所の事例

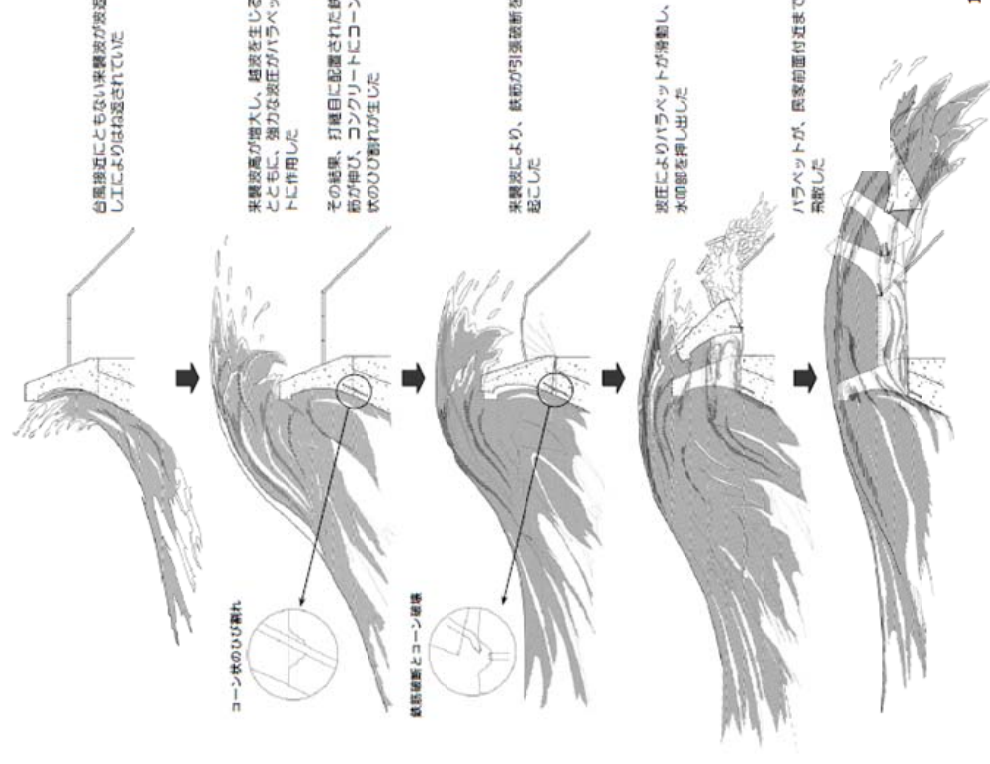
○平成16年10月20日、台風23号による高波により、高知県室戸市の菜生海岸において海岸堤防が30mにわたって倒壊した。越波等により背後の家屋13戸が被災し、3名が亡くなる被害が発生。

○観測された波高は、既往最高値を大きく上回り全国のナウアス観測史上既往最大観測有義波であった。

○強大な波圧がパラペットに作用し、打継ぎ目に配置された鉄筋が伸び、コンクリートにコーン状のひび割れが発生。波圧によりパラペットが滑動し、天端水叩きを押し出し、パラペットが民家前面まで飛散したと推測される。



堤防倒壊メカニズム (イメージ図)

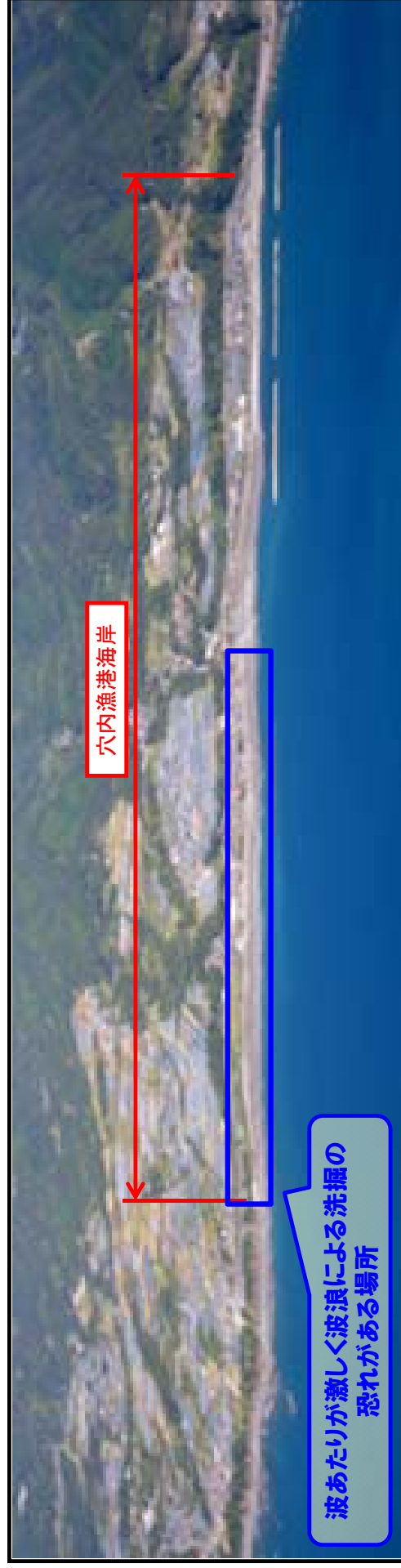


- 背後に人家が迫っている堤防の破堤、超過外力による越波が生じると人命の損失に直結する。
- そのような箇所は、重点監視対象とする必要がある。
- 設計超過の高波来襲が予想される場合には、自治体に避難指示・勧告をだしてもらうよう措置しておくことが重要。
- リスクが高いことについて事前に自治体・背後地住民と情報共有しておくことも重要。

高知県 あなない 穴内漁港海岸における被災事例

地形等により劣化・被災しやすい箇所の事例

- 高知県安芸市の穴内漁港海岸においては、平成23年の台風6号により、海岸堤防が被災を受けた。
- この施設は設置から30年程度経過しており、比較的老朽化が進んでいたと想定される。
- 被災を受けた箇所の平面的な位置を確認したところ、局所的な越波が確認されている箇所において、被災が起きたことが確認できた。
- また、隣接する区間においては、特に大きな被災がなかったことから、局所的な越波が確認されている箇所においては、大きな外力がきたときに被災しやすいと想定される。



施設法線が変化し波浪が収斂しそうな場所で海岸堤防が倒壊した。

参考資料－４ 点検に関する技術の例

海岸堤防等の点検は、目視調査等による主観的な点検に頼る部分もあり、一部施設の劣化状況の正確な把握と異常箇所の発見について、簡便かつ適切な点検技術が必要である。

ここでは、天端高の不足や空洞化を把握する技術の例として、GNSS測量や地中レーダー探査等を紹介する。

（１）天端高不足の確認技術の例

国土地理院では衛星測位を活用したGNSS(Global Navigation Satellite System)測量による作業効率化の推進が図られている。従来からの水準測量は、計測したい地点までの路線が遠かったり屈曲したりしていると作業が煩雑となっていたが、GNSS測量を活用して標高の測量を実施することで効率的な天端高さの計測が出来る。

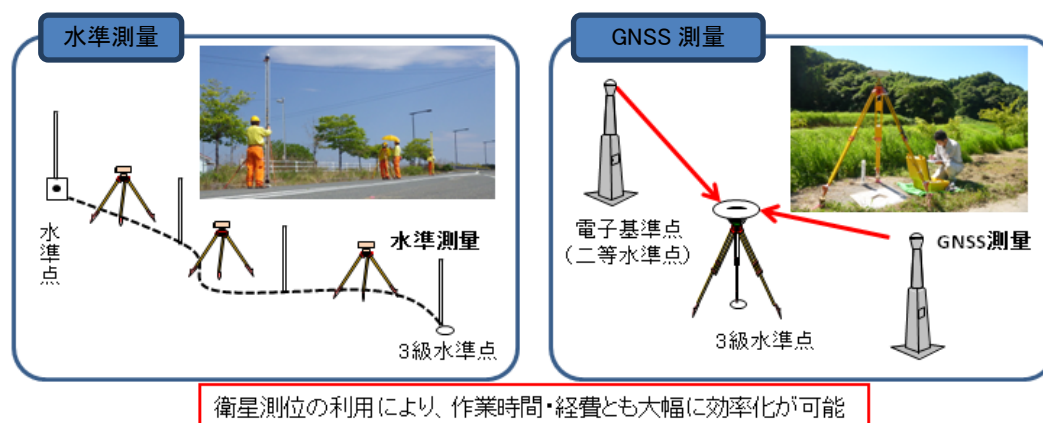


図-1 衛星測位による測量の効率化のイメージ

出典：「スマート・サーベイ・プロジェクト」－衛星測位を活用した測量業務の効率化の実現に向けて－ <http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/ssp/>

（２）空洞化調査（地中レーダー探査）技術の例

目視では確認できない堤体内部の空洞化は、地中レーダー探査によって異常箇所を発見する方法が一般的である。



図-2 地中レーダー探査のイメージ

（３）前面洗掘等の調査（ナローマルチビーム測深）技術の例

陸上からの目視では確認できない施設の前面の海底地盤の洗掘は、深浅測量による点検の実施が必要であり、ナローマルチビーム測深機を用いることで面的な計測が可能である。

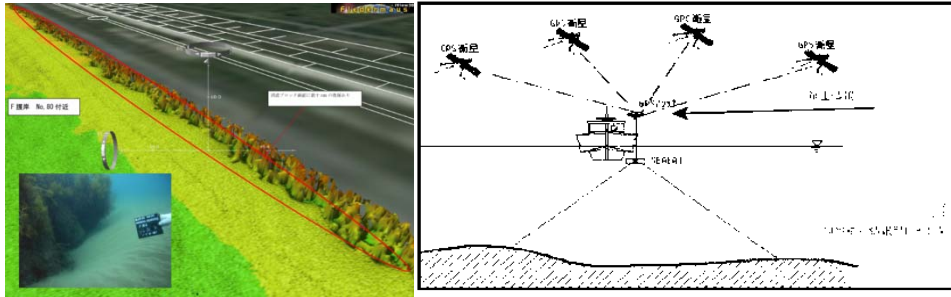


図-3 ナローマルチビームによる深浅測量のイメージ

参考資料－５ 推移確率推定図及び劣化予測線の検討について

1. 推移確率の推定

(1) 推移確率の推定手法

点検結果を用いた劣化予測は、マルコフ連鎖という確率論的モデルを用いて、推移確率を算定することができる。

マルコフ連鎖モデルは、「状態」と「推移」という２つの概念を用い、物事がある「状態」からある「推移確率」で、次の「状態」へと移行する様子を確率論的に捉える統計手法である。ここで、変状ランクの判定結果（a、b、c、d）を用いて、各ランクの推移確率を遷移率 P_x とすることで、全体を１としたときの変状ランクの割合の推移を図 1.1 のように表すことができる。

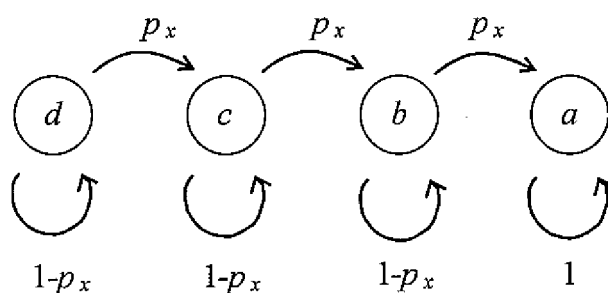


図 1.1 定期点検診断結果（a、b、c、d）のマルコフ連鎖推移

(2) 推移確率の算定

具体的には、表 1.1、図 1.2 に示すような経過年の変状ランクの割合の施設があるとした場合、マルコフ連鎖モデルによる変状ランクの割合が一致する推移確率（遷移率 P_x ）を求める。

表 1.1 マルコフ連鎖モデルによる劣化予測表（変状割合）の例

変状ランク	経過年(年)																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
d	1.00	0.98	0.88	0.70	0.52	0.37	0.25	0.18	0.10	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
c	0.00	0.02	0.12	0.29	0.44	0.54	0.58	0.57	0.50	0.42	0.34	0.26	0.20	0.14	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01
b	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09	0.16	0.24	0.34	0.41	0.45	0.46	0.44	0.40	0.36	0.30	0.25	0.20	0.16	0.12	0.09
a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.11	0.18	0.26	0.35	0.45	0.54	0.62	0.70	0.77	0.82	0.87	0.90
Σ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

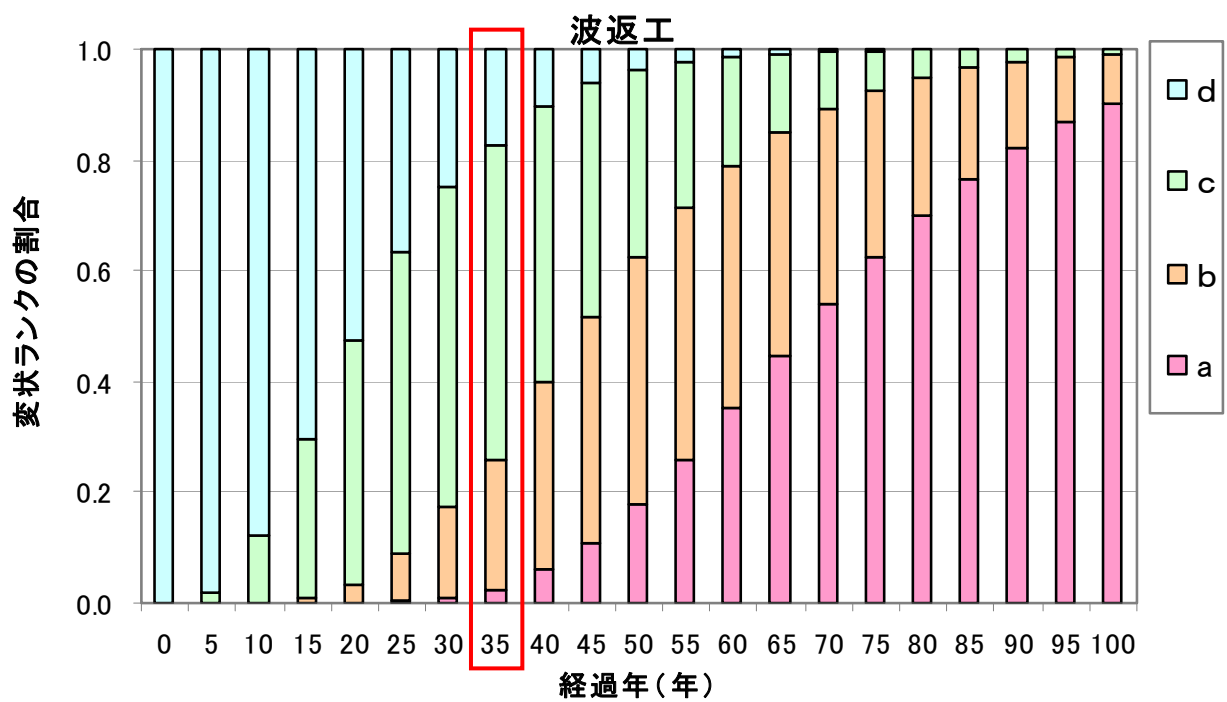


図 1.2 マルコフ連鎖モデルによる劣化予測図（変状割合）の例

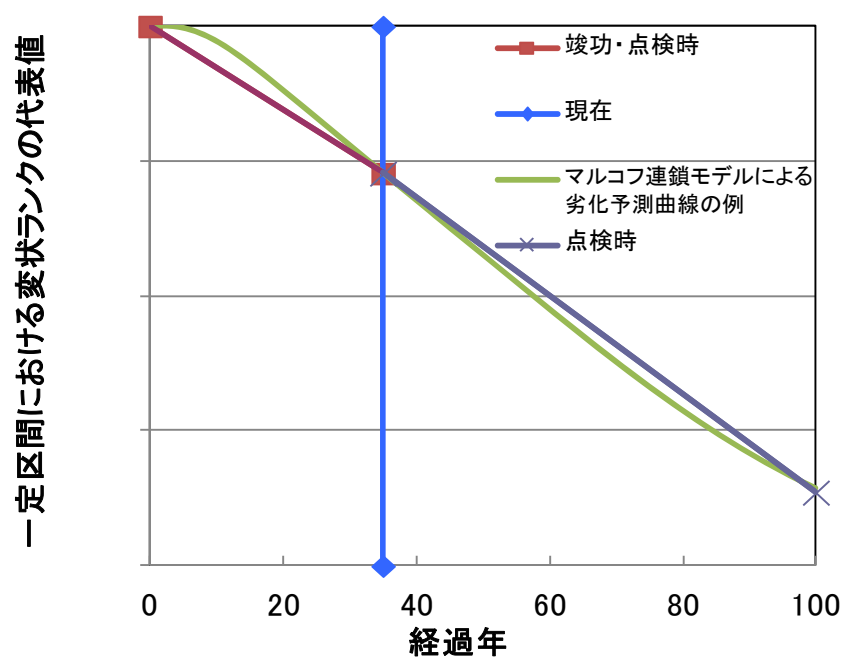


図 1.3 マルコフ連鎖モデルによる劣化予測曲線の例

2. 劣化予測手法の選定

劣化予測の手法は、一定区間の変状ランクの代表値に応じた劣化予測線によるものとし、図 2.1 のフローにより選定する。

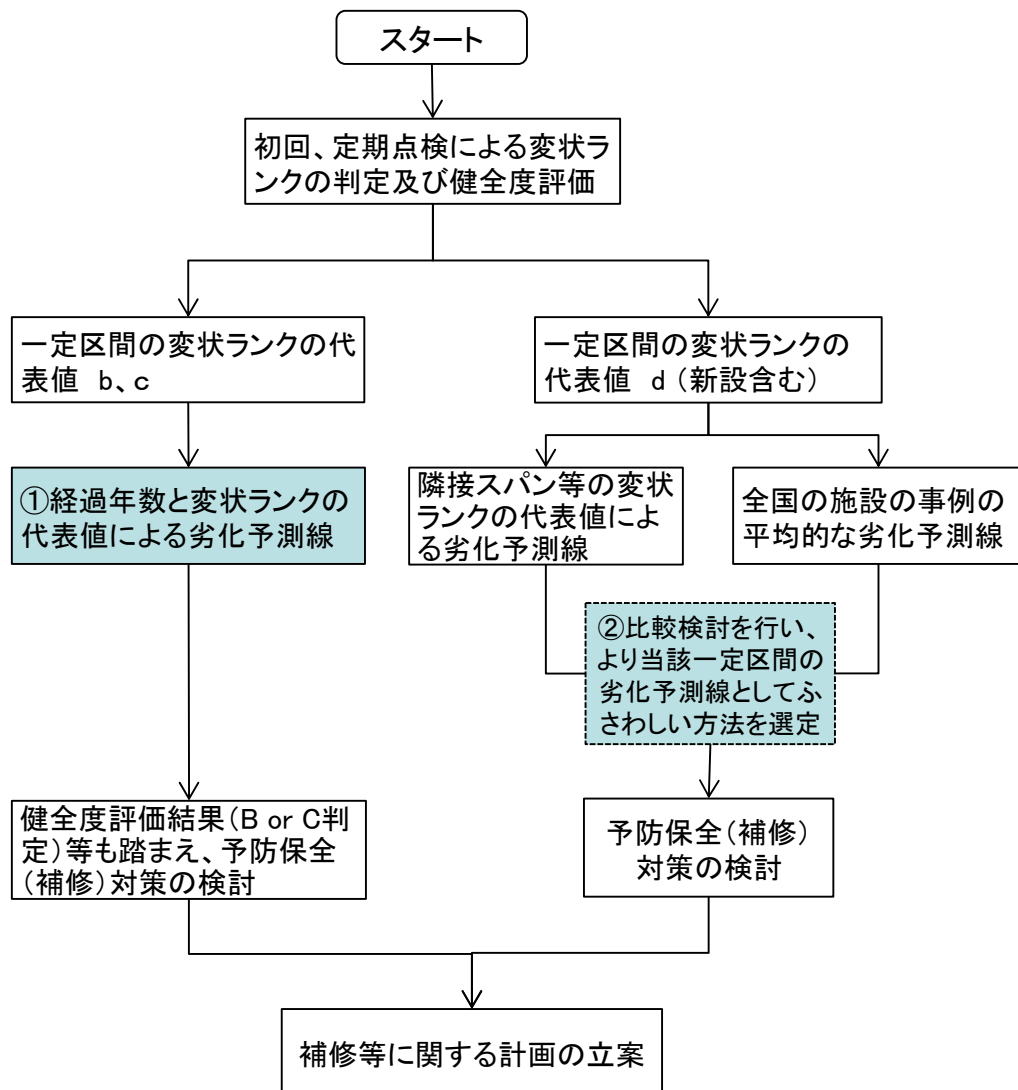


図 2.1 一定区間の代表値に応じた劣化予測手法の選定フロー

3. 経過年数と変状ランクの代表値による劣化予測

初回点検などによる点検結果の変状ランクの代表値が b、c の場合は、経過年数と変状ランクの代表値から、以下の手順により部材劣化を予測してもよい。

(1) 一定区間の変状ランク

点検を実施した施設の一定区間において、最も厳しい変状状態の箇所（スパン）を抽出し、施設の一定区間における部位・部材の変状ランクの代表値とする。

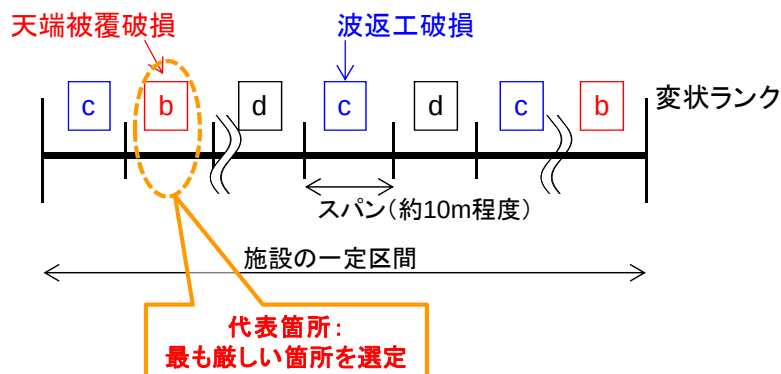


図 2.2 施設の一定区間における変状ランクの整理イメージ

(2) 劣化予測線の作成

設定した変状ランクの代表値と経過年数 t により、図 2.3 のように幅を持った劣化予測線を作成する。図 2.3 の a) は変状ランクが b の場合、b) は変状ランクが c の場合である。

(3) 予防保全（補修）を行う期間の設定

予防保全（補修）を行う期間は、図 2.3 を参考に同じ変状ランクであると推定される期間としてもよい。

例えば、一定区間の健全度評価が B 判定の場合は、図 2.3 中で示している期間の前半で予防保全（補修）を行う期間を設定することが望ましい。また、当該一定区間においてマルコフ連鎖により求めた推移確率の値が大きい（劣化の進行が速い）場合は、図中で示している期間の前半で予防保全（補修）を行う期間を設定することが望ましい。

図 2.3b) 経過年 t で変状ランクが c の場合の予防保全を行う期間の設定については、防護機能に影響を及ぼす変状 a となるより前に設定すれば良いという考え方であるため、点検直後から検討することとしている。

つまり、背後地の重要度等に応じて点検直後に予防保全を計画することを否定するものではないという意味で、この幅を図 2.3b) では提示している。

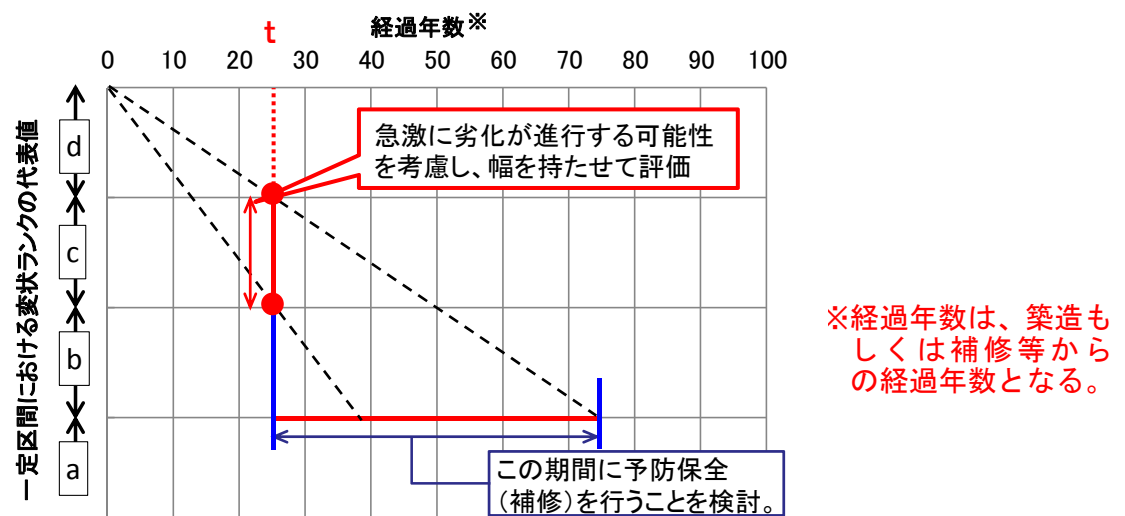
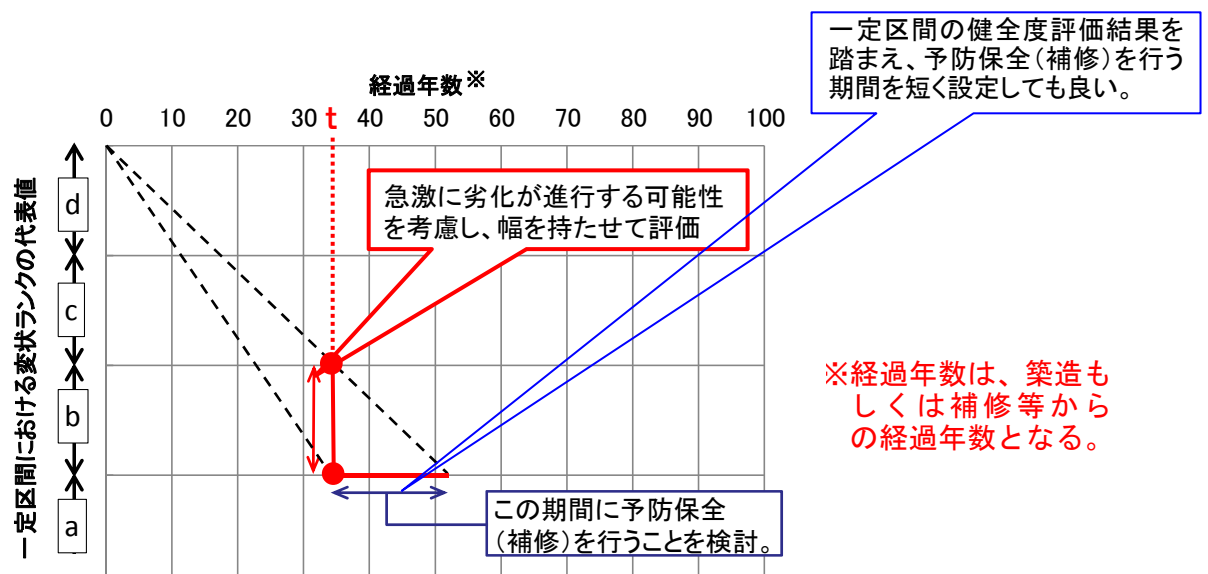


図 2.3 劣化予測と補修時期のイメージ

4. 全国の施設の事例を用いた平均的な劣化予測線の設定

点検において劣化がない施設（全てd評価（新設含む））に対して、過去の一定区間の健全度調査結果をもとに、部材劣化を簡易に推定する手法を提示する。

なお、今後は全国の施設の事例のデータの蓄積により、劣化予測線の精度を向上させることが必要である。

（1）全国の施設の平均的な推移確率の推定

表 2.1、表 2.2 は、過去の一定区間毎の健全度調査結果をもとに、堤防と護岸それぞれについてマルコフ連鎖により推移確率を求め、構造形式毎に集計・整理したものである。

なお、胸壁については、現時点では施設の事例データ数が少ないため、波返工を類似構造と捉え、各胸壁の設置個所の条件等を踏まえ、適切に準用するものとする。

推移確率を踏まえたそれぞれの劣化の特徴は以下の通りである。

- 護岸は、堤防よりも劣化が早い。
- 堤防においては、波返工・天端被覆工の劣化が速く、表法被覆工と裏法被覆工は劣化が遅い。
- 護岸においては、波返工の劣化がやや速く、天端被覆工・表法被覆工・裏法被覆工は同程度である。

表 2.1 堤防の場合の推移確率

構造形式	推移確率				
		波返工	天端被覆工	表法被覆工	裏法被覆工
堤防	最大	0.122 (3)	0.149 (6)	0.045 (11)	0.048 (9)
	平均	0.099 (3)	0.093 (6)	0.028 (11)	0.034 (9)
	最小	0.067 (3)	0.035 (6)	0.015 (11)	0.022 (9)

※（ ）内は、母数

表 2.2 護岸の場合の推移確率

構造形式	推移確率				
		波返工	天端被覆工	表法被覆工	裏法被覆工
護岸	最大	0.285 (32)	0.252 (39)	0.234 (32)	0.248 (13)
	平均	0.116 (32)	0.105 (39)	0.084 (32)	0.107 (13)
	最小	0.019 (32)	0.019 (39)	0.019 (32)	0.025 (13)

※（ ）内は、母数

(2) 部材毎の平均的な劣化年数

表 2.1、表 2.2 の推移確率をもとに、構造形式、部材毎の劣化予測曲線を作成し、さらに、変状のランクが進む際の年数を表 2.3、表 2.4 に整理した。

①堤防の場合

表 2.3 堤防の場合の推定劣化年数

項目		推定劣化年数		
		d→c	c→b	b→a
波返工	平均	40	70	100以上
	レンジ	33～60	58～100以上	85～100以上
天端被覆工	平均	43	75	100以上
	レンジ	27～100以上	47～100以上	69～100以上
表法被覆工	平均	100以上	--	--
	レンジ	89～100以上	--	--
裏法被覆工	平均	100以上	--	--
	レンジ	83～100以上	--	--

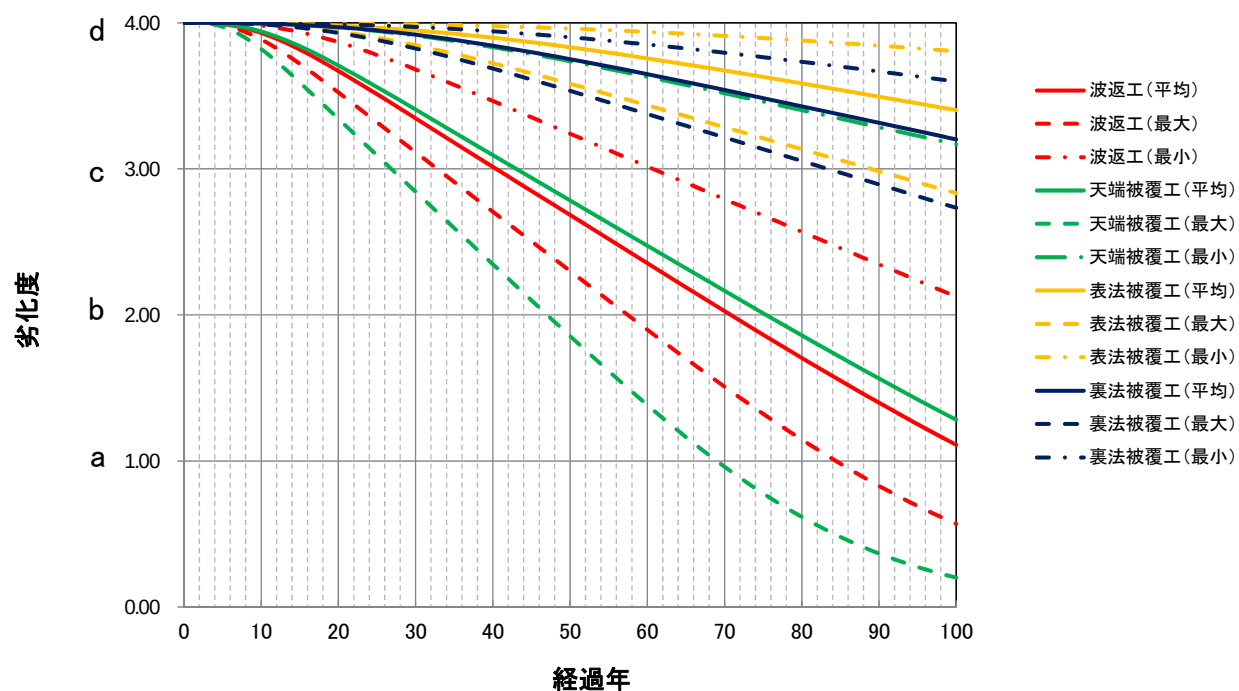
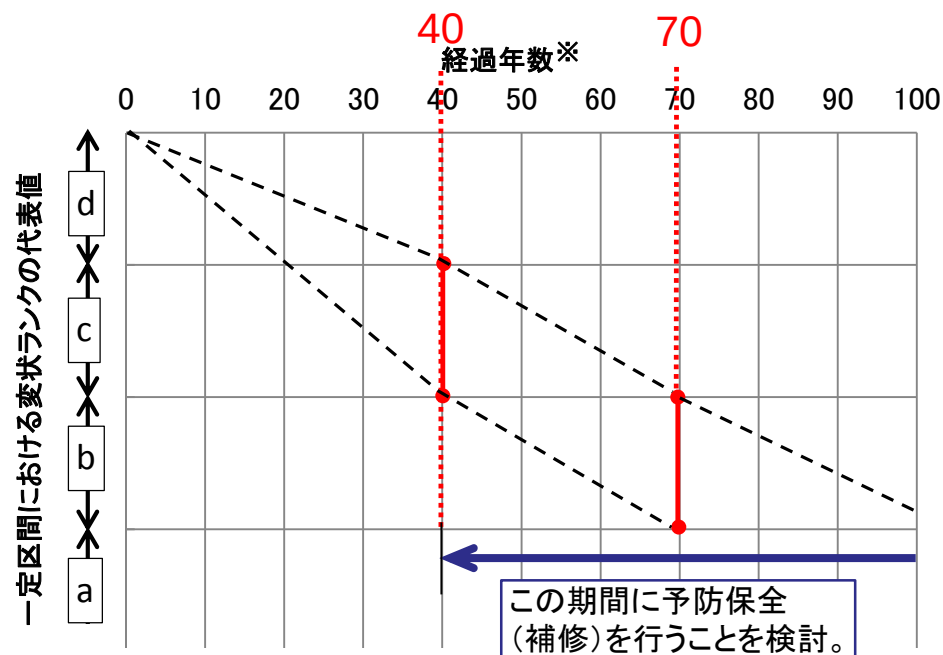
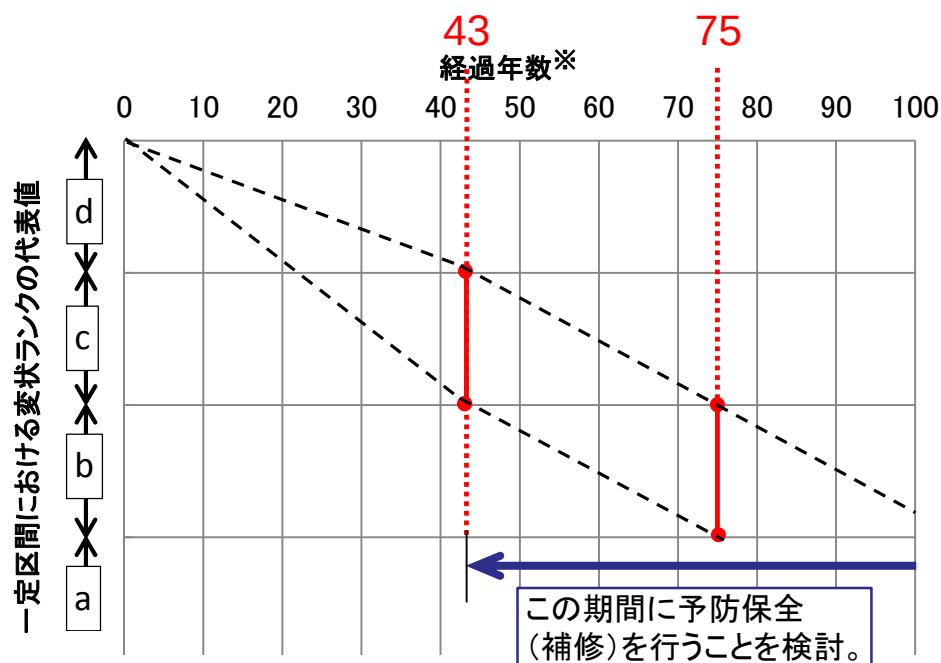


図 2.4 堤防の場合の劣化予測曲線

表 2.3 を参考に劣化年数を設定し、部材ごとに以下の様な予防保全（補修）の計画を策定する。



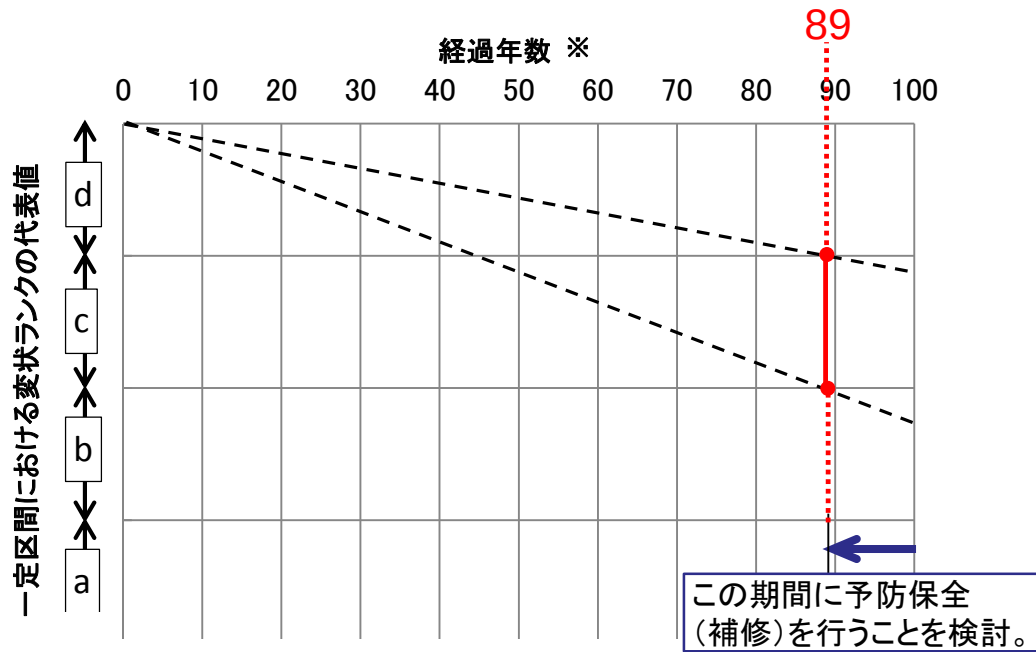
a) 波返工



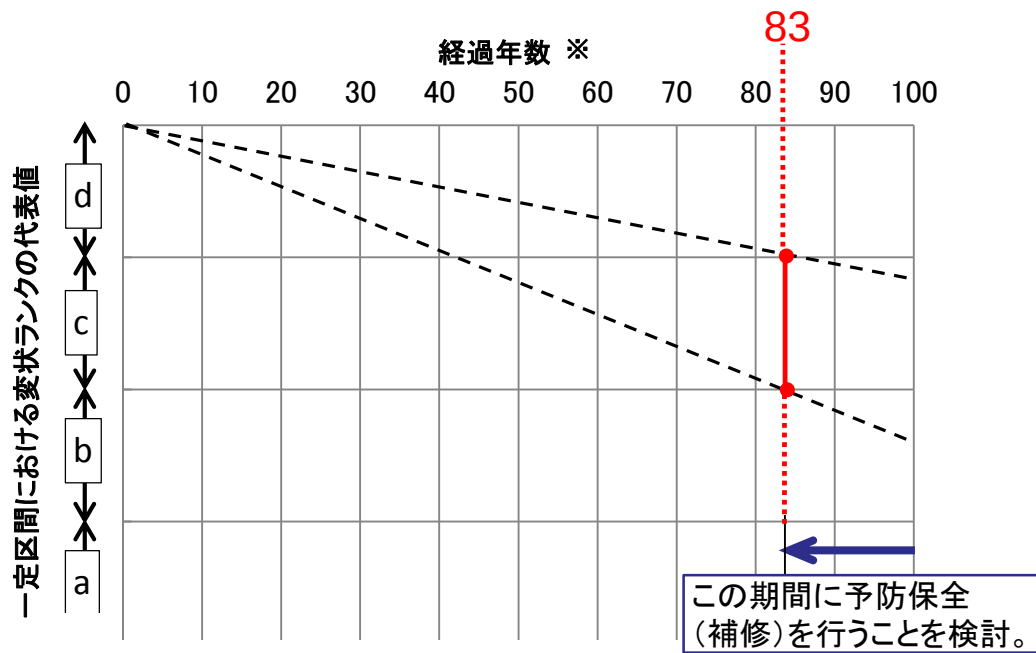
b) 天端被覆工

図 2.5 堤防の場合の部材ごとの劣化予測と補修時期のイメージ（1）

表法被覆工と裏法被覆工については、平均的な劣化年数が長期となるため、既存の健全度調査のうち最も早いケースを参考に計画する。



c) 表法被覆工



d) 裏法被覆工

図 2.6 堤防の場合の部材ごとの劣化予測と補修時期のイメージ (2)

②護岸の場合

表 2.4 護岸の場合の推定劣化年数

項目		推定劣化年数		
		d→c	c→b	b→a
波返工	平均	34	60	89
	レンジ	14～100以上	25～100以上	35～100以上
天端被覆工	平均	38	67	98
	レンジ	16～100以上	28～100以上	41～100以上
表法被覆工	平均	50	86	100以上
	レンジ	17～100以上	30～100以上	44～100以上
裏法被覆工	平均	38	66	97
	レンジ	16～100以上	28～100以上	41～100以上

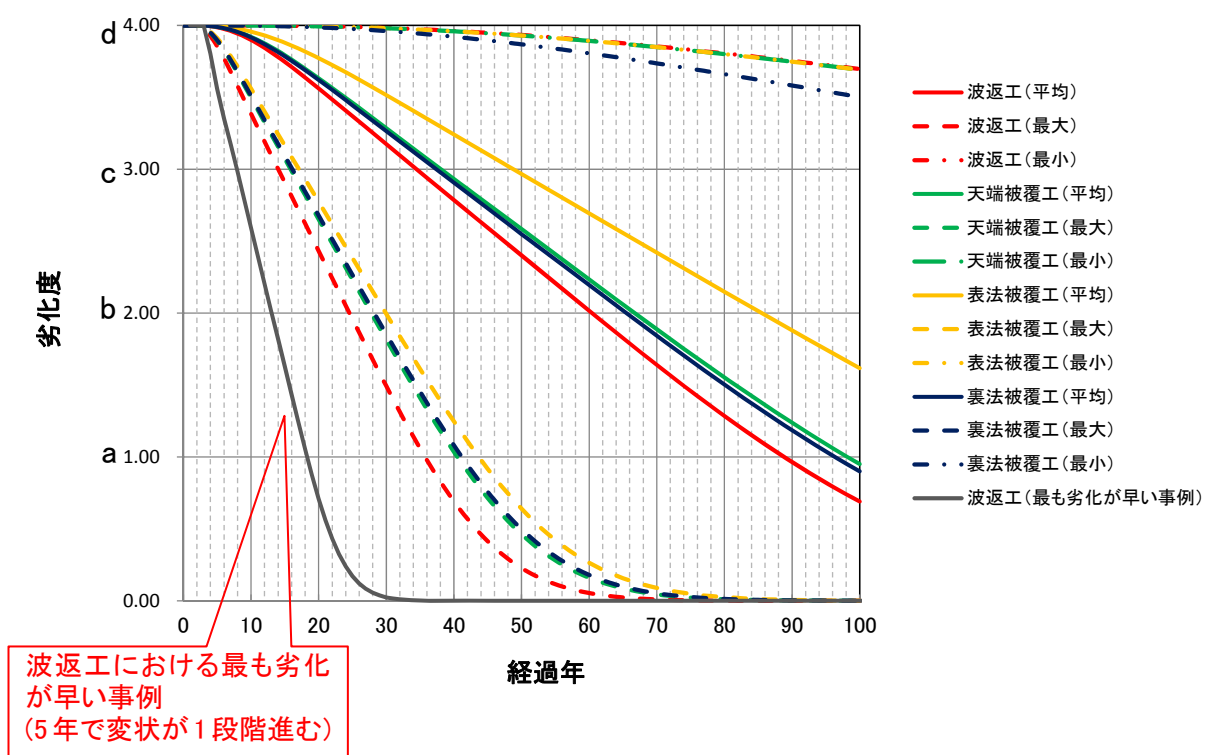
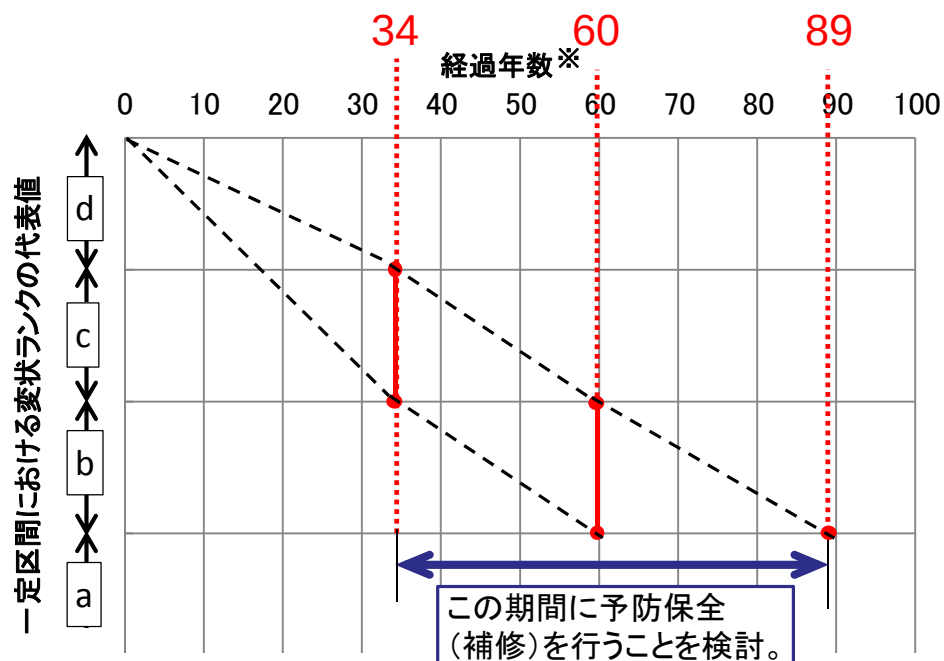
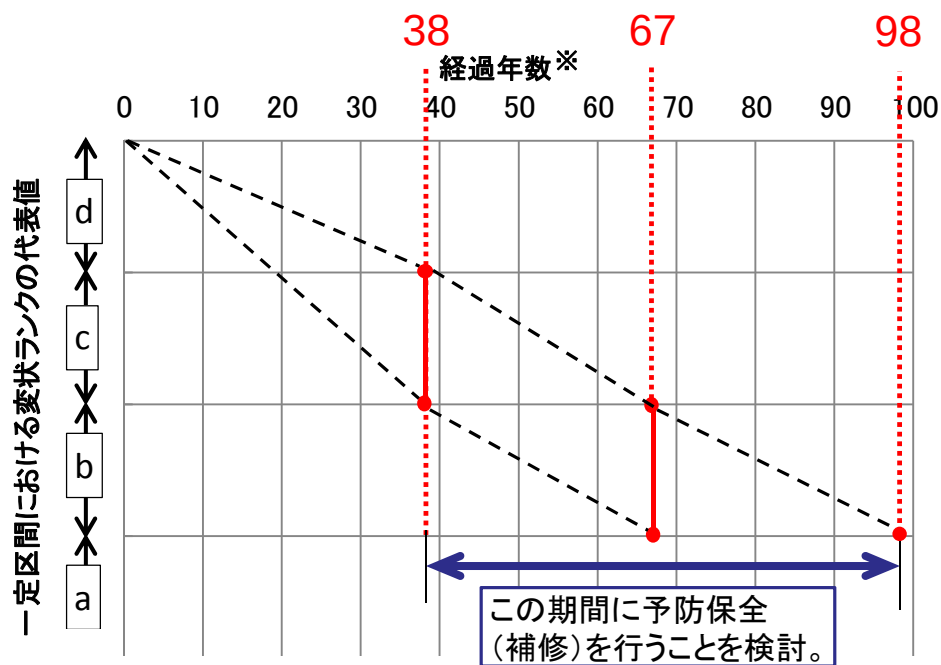


図 2.7 護岸の場合の劣化予測曲線

表 2.4 を参考に劣化の年数を設定し、部材ごとに以下の様な補修の計画を策定する。

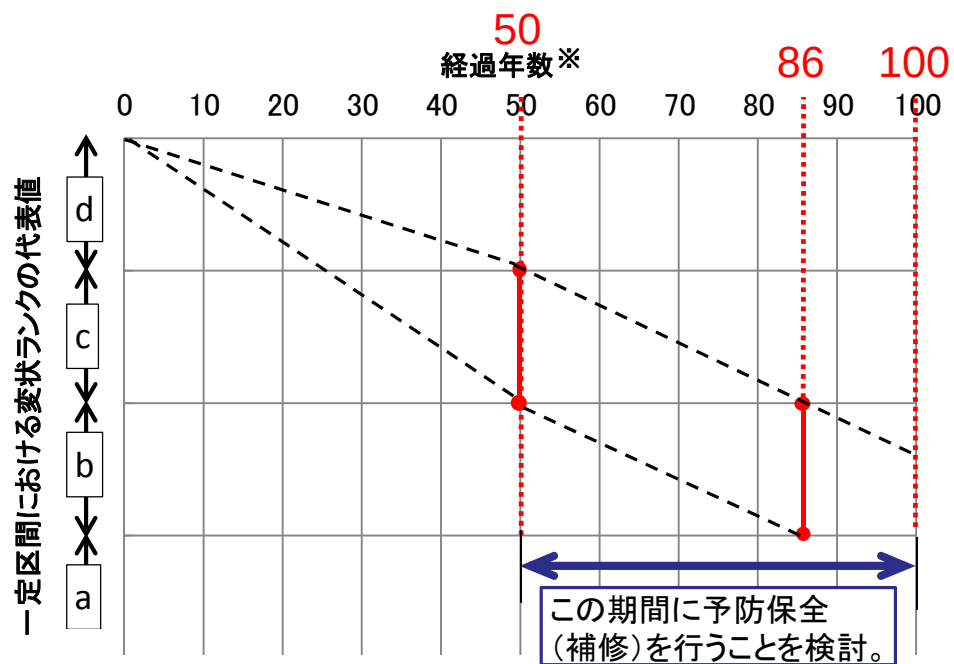


a) 波返工

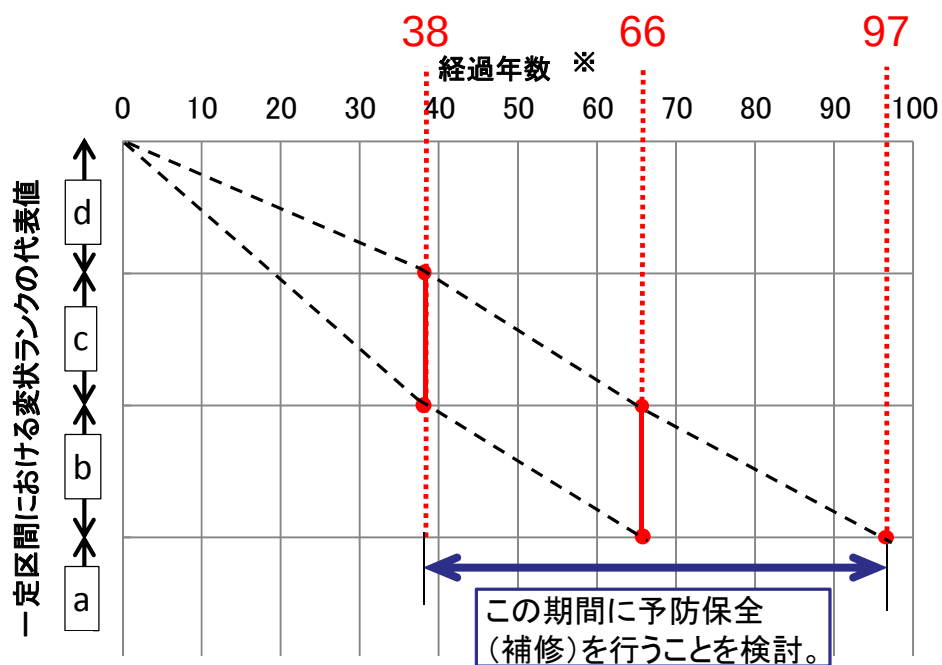


b) 天端被覆工

図 2.8 護岸の場合の部材ごとの劣化予測と補修時期のイメージ（1）



c) 表法被覆工



d) 裏法被覆工

図 2.9 護岸の場合の部材ごとの劣化予測と補修時期のイメージ（2）