

統合高潮・高波対策施設 マネジメントシステムの試作

EXPERIMENTAL PRODUCTION OF INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM FOR THE FACILITIES IN ANTICIPATION OF FLOODING FROM STORM SURGE AND HIGH SURF

岡本修¹・岩間賢一²

Osamu OKAMOTO, Kenichi IWAMA

¹正会員 工修 独立行政法人港湾空港技術研究所 (前 国土交通省国土技術政策総合研究所)
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

²株式会社オリエンタルコンサルタンツ SC事業部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)

The objectives of this study are to contribute to the following;

- (a) The improvement of the credibility of the disaster-prevention facilities through the implementation in an effective and efficient maintenance for the facilities in anticipation of flooding from storm surge and high surf,
- (b) The upgrading and enhancement of comprehensive measures toward the flooding from storm surge and high surf in order to maintain the city function.

The evaluation method for the degree of risk according to the level of importance for the shore protection facilities is studied in this report. It is examined at modeled port area based on the individual data bases of the shore protection facilities such as the degree of obsolescence, structural bearing capacity and degradation level. The vulnerabilities of the infrastructures (e.c. electric power, road, railway etc.) behind the shore protection facilities are also evaluated against the storm surge and high surf along the coastal area. The trials of the visualization of the products due to the present situations and evaluations are conducted using the geographical information system (GIS).

Key Words : *Disaster-prevention facilities, Integrated management system, Shore protection facilities, Evaluation of vulnerability, GIS, Storm surge, High surf*

1. はじめに

国土交通省では、平成15年に道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会を設置しており、道路構造物の維持管理に関して鋭意検討を行ってきた。検討委員会では、総合的なマネジメントシステムの提言がなされており、その基本フレームを図-1に示す。

これまで、国土交通省港湾局では、港湾海岸施設について平成15年度までに基礎的情報(位置、天端高、整備年度等)を収納したデータベースを構築し、基礎的なデータを既に保有しており、図-2のようにGISの利用イメージが示されている。¹⁾

高潮・高波対策施設については、2005年8月のハリケーンカトリナによる被害等に鑑み、海岸関係省庁等により緊急点検等が進められている。しかしながら、そこで得られたデータを関係者が広く共有するデータベースの構築、データの更新方法等は整理されていないのが現状である。この貴重なデータを有効に活用し、各種施設で統合的に利用できる施設・リスクマネジメントのツールを構築することは

より総合的で効率的な施策を検討する上で不可欠である。つまり、高潮・高波対策施設の現状・施設の保全・維持管理状況等を統一にかつ標準的な手法により把握し、情報を国・自治体等の関係者間で共有し、各種の都市インフラ等関連する施設管理者間等で整合のとれた施設マネジメントのためのデータベースシステムを構築する必要がある。

本システムは、海岸保全施設の統合的データベースを構築し、関係者の情報共有化によりBCP等のリスクマネジメントおよび資産管理としてのアセットマネジメントへの活用を可能にするためのものである。施設自体の老朽度等に関する情報と、背後地域のリスク・脆弱性評価、他インフラが発揮する防災機能などの情報を統合して、施設の効果的・効率的な整備につなげていくための統合的マネジメントシステムの構築を目指すものである。

統合的マネジメントシステムの検討フローを図-3に示す。本検討では、モデル港湾地区において、施設の年数を示すための老朽度、外力に対抗する構造耐力、点検結果を明確化するための劣化度、それらを総合した危険度の評価及び背後地区の脆弱性評

価を行い、GISを利用したシステムの試作を行った。

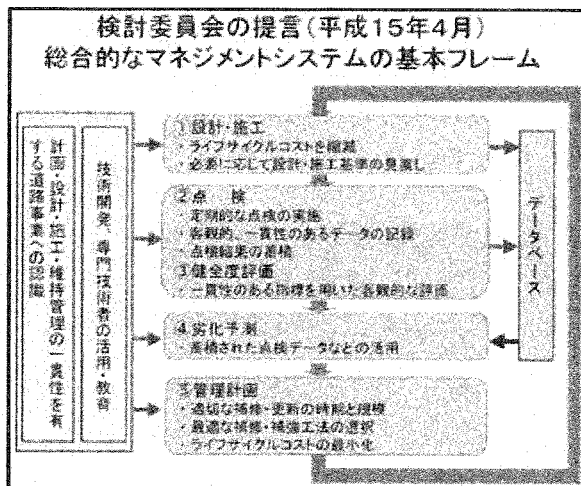


図-1 総合的マネジメントシステムのイメージ

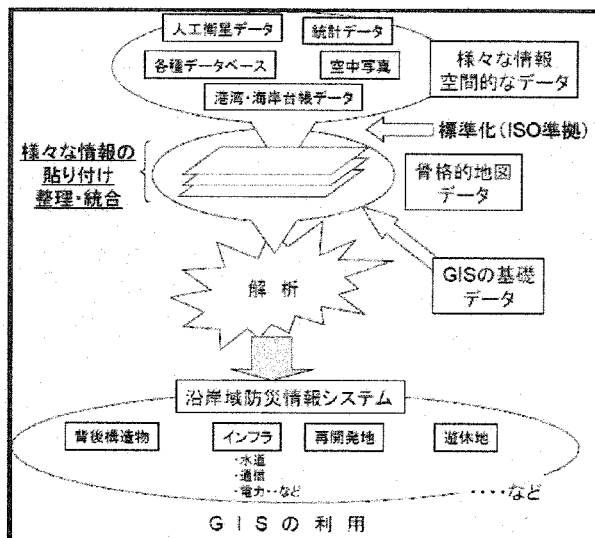


図-2 GISの利用イメージ

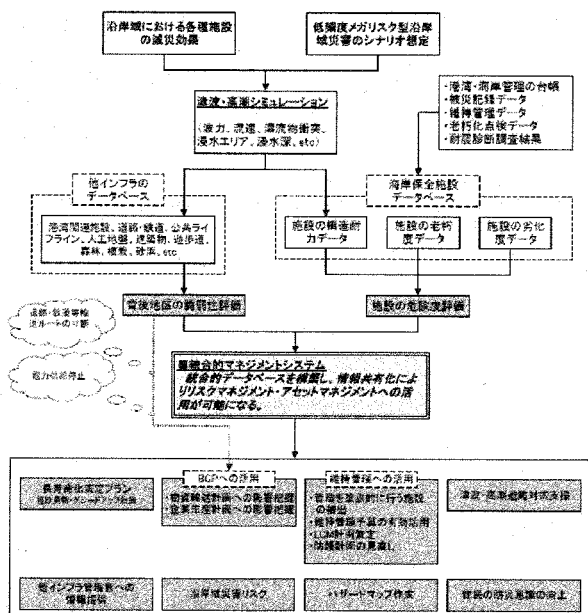


図-3 総合的マネジメントシステムの検討フロー

2. 高潮・高波対策施設の老朽度の現状把握手法

高潮・高波対策施設の老朽度の現状把握は、施設の管理者が保有・管理しているデータベースや台帳等の情報から、施設の整備年度による老朽度を表-1に示す4段階に分類する。耐用年数は一般の堤防のコンクリート構造物を応用したものである。

維持補修および更新記録は適宜データベース等に反映されるものとする。

表-1 施設の老朽度の分類案

老朽度の分類	状態
Aa	T 以上
Ab	$1/2 \times T \sim T$ 未満
Ac	$1/3 \times T \sim 1/2 \times T$ 未満
Ad	$\sim 1/3 \times T$ 未満

T：設計耐用年数

3. 高潮・高波対策施設の構造耐力の現状把握手法

高潮・高波対策施設の構造耐力の現状把握は、高波・高潮に対して、背後地に浸水被害が生じるか否かを評価することを目的として、以下の事項を確認する。

- ①地震による沈下によって、施設が高波・高潮高に対して高さ不足とならないか。
- ②地震による側方移動によって、施設の目地に目違いが生じないか。

- ③波力や漂流物荷重によって、施設が破壊しないか。

前述①と②は、地震による液状化に伴う防潮堤の変形（鉛直・水平）に起因すると考えられるため、1次元FLIPあるいは2次元FLIPにより、防潮堤の変形量を予測し、2次被害の可能性を変形量の大小により照査することが妥当であると考えられる。海に面した防潮堤などのように堤内外で地盤に高低差がある場合や、大規模で重心が偏心した防潮堤などは前述①、②の双方による被害が想定される事から、2次元FLIPにより鉛直・水平方向の変形量を照査する。これは堤防の適用例を応用したものである。2)

一方、陸域の胸壁タイプの防潮堤などは、主に①による被害が想定されることより、1次元FLIPによる排水沈下量の照査で十分であると考えられる。

防潮堤等の延長が長い施設は、第一ステップとして、「チャート式耐震診断システム」（国土交通省近畿地方整備局）により、地震の揺れや液状化による構造物の沈下を概略的に算出し、沈下後の防潮堤天端高さと津波高さを比較することにより、点検・評価を行うことができる。この結果、防潮堤天端高さが不足している箇所については、更に1次元及び2次元有効応力解析（FLIP）により詳細な沈下量の計算を行い、防潮堤天端高さが津波高以上確保できているか確認し、高潮・高波高に適用する。

1次元FLIPおよび2次元FLIPに基づく耐震性・耐津波性の照査方法を図-4に示す。

チャート式耐震診断		
耐震性・耐津波性の評価	【防潮堤の余裕高の照査】 沈下後の防潮堤天端高 $\geq$ 津波高 (沈下量=①残留鉛直変位+②排水沈下量+③地殻沈下量)	

	1次元FLIP	2次元FLIP
詳細点検により精査する項目	②' 排水沈下量 (Sd) ↓ Sd=液状化層厚H $\times$ 3% H=過剰間隙水圧比 $>$ =95%の層厚	①' 残留鉛直変位 ②' 排水沈下量Sd (同左) ④ 残留水平変位
耐震性・耐津波性の評価	【防潮堤の余裕高の照査】 沈下後の防潮堤天端高 $\geq$ 津波高 (沈下量=①+②'+③)	
		【目違いによる止水性の照査】 ④残留水平変位 $<$ 防潮堤壁厚 (津波高のレベルで照査)

図-4 1次元FLIPおよび2次元FLIPに基づく耐震性・耐津波性の照査方法

また、高潮堤防の堤体（主に波返工等上部工）の構造耐力については、国土技術政策総合研究所が作成した「高潮堤防評価プログラム」を使用し、外力に対して堤防が破壊されるか否かを判定する。

以上の耐震および耐津波点検診断等の評価結果より、津波高を高潮・高波高に応用した構造耐力の現状を表-2に示す判定基準に分類する。

表-2 構造耐力診断結果の分類案

構造耐力判定	状態
Ba	天端高 $<$ 高潮・高波高 or 壁厚（高潮・高波水位） $<$ 残留水平変位 or 施設の保有耐力 $<$ 波力or漂流物荷重
Bb	—
Bc	—
Bd	天端高 $\geq$ 高潮・高波高 or 壁厚（高潮・高波水位） $\geq$ 残留水平変位 or 施設の保有耐力 $\geq$ 波力or漂流物荷重

4. 高潮・高波対策施設の劣化度の現状把握

高潮・高波対策施設の劣化度の現状把握手法は、「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）平成20年2月 農林水産省、国土交通省河川局、国土交通省港湾局」³⁾

に準拠するものとし、施設の変状の有無やその程度を把握する点検を行い、劣化度評価を実施する。

各部位における現地調査結果と変状ランクの判定結果を総合的に評価し、各施設の劣化度判定を行う。変状の程度と量により劣化度を表-3に示す4段階に分類する。

表-3 劣化度の評価案

劣化度判定	状態
Da (要対策)	施設の主要部に大きな変状が発生しており、施設の性能低下が生じている。 変状現象が1つでもaランクと評価された場合。 (但し、鉄筋の腐食およびコンクリートの劣化は除く)
Db (重点監視)	施設の主要部に変状が発生しており、施設の性能低下や変状連鎖の進行が懸念される。 8割程度の変状現象がbランクである場合。 もしくは、鉄筋の腐食またはコンクリートの劣化にaランクの変状が生じている場合。
Dc (重点点検)	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、施設の性能低下には至っていない。 Da, Db, Dd以外と評価される場合
Dd (問題なし)	軽微な変状が発生しているが、施設の性能低下には当面至らない。 全ての点検位置の変状現象がdランクと評価された場合。

上記評価基準は当面の目安であり、今後の知見や点検データの蓄積を踏まえ適宜見直しを図る必要がある。

5. 高潮・高波対策施設の危険度評価手法

高潮・高波対策施設の危険度評価は、各施設の要求性能グレードにより定められた許容被害レベルに対して、劣化度および構造耐力より求まる想定被害レベルを比較することで評価することができる。危険度評価の流れを図-5に示す。

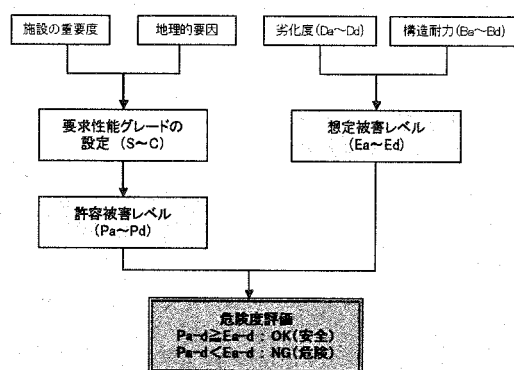


図-5 危険度評価フロー図

(1) 許容被害レベルの設定

許容被害レベルは、各施設の重要度および地理的要因に対応する要求性能グレードにより設定する。それぞれの関係を表-4に示す。

表-4 許容被害レベル

重要度	地盤高	外水位	グレード	許容被害レベル			
				東海地震 東南海・南海 地震	室戸台風級	波力	漂流物
高	低	< HWL	S	d	d	d	d
		< 波高					
	中	> HWL	A	d	d	d	d
		< 波高					
低	高	> HWL	B	c	c	c	c
		< 波高					
	低	< HWL		c	c	c	c
		< 波高					
	中	> HWL		c	c	c	c
		< 波高					
	高	> HWL		c	c	c	c
		< 波高					

ここで、

<施設の重要度>

重要度が高い：人口が集中、資産が集積、重要施設がある地区で、地震・高波・高潮等により多大な人命・財産の喪失及び災害復旧に重要な役割を果たす地域

重要度が低い：上記以外の地域

<地形的要因の区分>

低地盤高：背後地盤高がH.W.Lより低い地盤高区域

中地盤高：背後地盤高がH.W.L以上で高潮・高波高より低い地盤高区域

高地盤高：背後地盤高が高潮・高波高より高い地盤高区域

<性能グレード>

S：高潮・高波災害に対して被害程度a，直下型地震動に対して被害程度bにとどまる

A：高潮・高波災害に対して被害程度a，直下型地震動に対して被害程度dにとどまる

B：高潮・高波災害に対して被害程度b，直下型地震動に対して被害程度dにとどまる

C：高潮・高波災害に対して被害程度c，直下型地震動に対して被害程度dにとどまる

<施設の許容被害程度>

a：（安全性）崩壊の可能性があるが二次被害を受けない

（直下型地震動については、高潮時までには時間があるため、応急対策可能）

b：（安全性）著しい被害を受けるが崩壊はしない

c：（補修性）短期間の応急復旧で機能回復

d：（使用性）軽微な被害（機能回復）

(2) 想定被害レベルの算出

各施設における想定被害レベルは、構造耐力（Ba, Bd）に劣化度（Da~Dd）を考慮して表-5に示すように設定する。

表-5 想定被害程度の算出

構造耐力	劣化度	想定被害レベル
Ba	Da	Ea
	Db	
	Dc	
	Dd	
Bd	Da	Eb
	Db	Ec
	Dc	Ed
	Dd	

老朽度に関しては、変状発生との関連性が低いいため、参考値として扱い、想定被害レベルの算出に

は直接には考慮しないものとする。

(3) 危険度評価

各施設の想定外力に対する想定被害レベル（Ea~Ed）と許容被害レベル（Pa~Pd）を比較し、それぞれの危険度評価を行う。危険度評価の実施例を表-6に示す。

表-6 危険度評価の実施例

施設名	性能グレード	想定外力	老朽度	構造耐力	劣化度	想定被害レベル	許容被害レベル	危険度評価
△△ 防潮堤	S	地震	Ab	Bd	Dc	Ed	Pd	OK
		高潮		Ba		Ea	Pd	NG
		高波		Bd		Ed	Pd	OK
		漂流物		Bd		Ed	Pd	OK
〇〇 護岸	A	地震	Aa	Bd	Dd	Ed	Pd	OK
		高潮		Bd		Ed	Pd	OK
		高波		Bd		Ed	Pd	OK
		漂流物		Bd		Ed	Pd	OK
〇〇 水門	B	地震	Ac	Ba	Db	Ea	Pc	NG
		高潮		Ba		Ea	Pc	NG
		高波		Bd		Ec	Pc	OK
		漂流物		Bd		Ec	Pc	OK

6. 背後地区の脆弱性評価手法

海岸保全施設背後地区の港湾施設以外の公共インフラ（道路、鉄道、電力、通信、ガス、下水道、排水機場）には、想定を超える巨大高潮等による浸水や漂流物の流入により施設や機器等に直接的な被害が発生する。これらの被害は、インフラの機能低下をもたらし、利用者への影響波及を通じて臨海部における立地企業の営業損失や生活利便性の低下を引き起こす。最終的には、地域経済の落ち込みをもたらし、悪循環が加わり、臨海部に経済機能が極度に集積している我が国では、甚大な被害に拡大することとともに地域全体の社会・経済活動の復旧・復興に影響を及ぼす。このためには、これらの都市インフラにおける現在の災害対策では想定していない形で被害が発生することをも想定し、浸水に対する脆弱性を評価する手法が必要である。

背後地区インフラの高潮・高波に対する脆弱性について、想定される被害とその影響、評価指標案を表-7に示す。

表-7 背後地区インフラの脆弱性指標案

インフラ	想定される被害	影響程度	脆弱性指標(案)	備考
電力	露出充電部水没による絶縁破壊 制御装置水没による機能喪失 電柱等の倒壊・流失 排水口からの逆流による浸水 漂流物による受入機種の被災	・停電	停電戸数×復旧時間	阪神・淡路大震災時の復旧時間: 約1週間
ガス	電気装置水没による機能喪失 家庭用ガス以上で供給停止 漂流物によるLNG受入機種の被災	・ガス供給停止	影響範囲×復旧時間	LNG備蓄量: 約1ヶ月稼働分
排水機場	排水機場の浸水被害 電気装置水没による機能喪失 老朽建造物の倒壊	・浸水被害増大	影響範囲×復旧時間	建物の耐震化が課題
下水道	建屋の浸水被害 電気装置水没による機能喪失 ポンプ所停止による汚泥の管内堆積	・使用不能	影響範囲×復旧時間	復旧見込み: 半年～年単位
道路	道路冠水 車線流失	・不通による迂回	迂回距離×台数 または 迂回距離×貨物量	
鉄道	線路冠水 線路流失	・不通による迂回	迂回距離×輸送乗客数 または 迂回距離×貨物量	
地下鉄	出入口、換気口及びトンネル坑口からの浸水	・不通による迂回	迂回距離×輸送乗客数	

7. 統合的マネジメントシステムの試作

(1) システムの可視化

今回試作した統合的マネジメントシステムのトップ画面のイメージおよび操作画面イメージを図-6および図-7に示す。

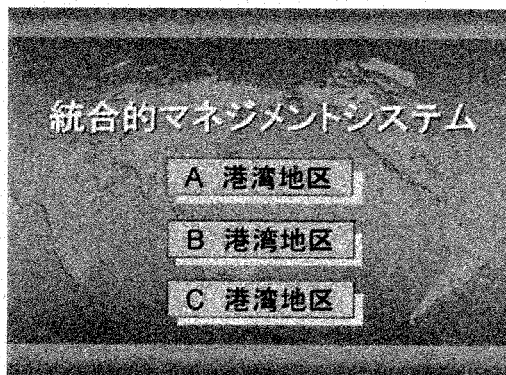


図-6 統合的マネジメントシステムのトップ画面イメージ

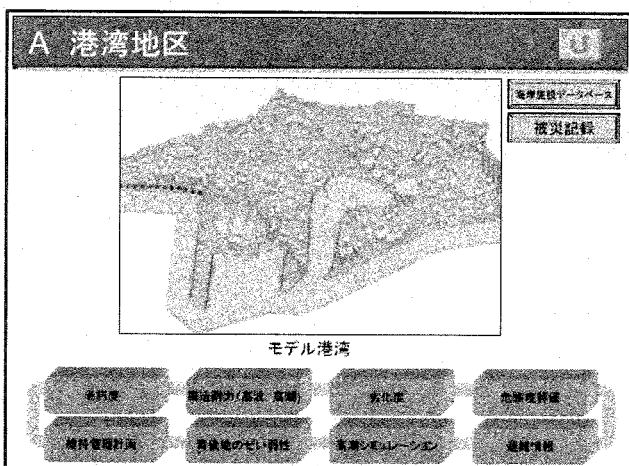


図-7 A港湾地区の操作画面イメージ

システムの作成では、以下の項目について、GISを活用し、現状把握・評価の成果例の可視化の試行を行った。

- ①高潮・高波対策施設の老朽度の現状把握
- ②高潮・高波対策施設の構造耐力の現状把握
- ③高潮・高波対策施設の劣化度の現状把握
- ④高潮・高波現象に対する危険度評価
- ⑤背後地区の脆弱性評価

高波・高潮対策施設の老朽度、構造耐力、劣化度および危険度の現状把握状況におけるGIS表示例を図-8～11に示す。

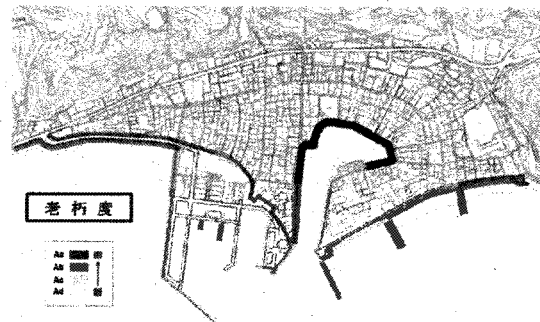


図-8 高波・高潮対策施設の老朽度の表示例

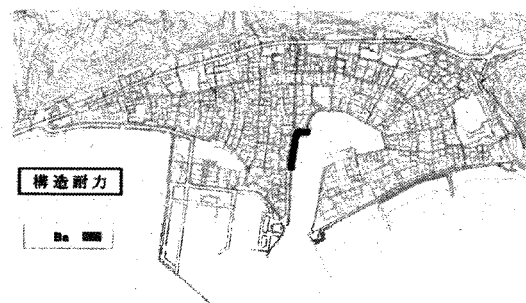


図-9 高波・高潮対策施設の構造耐力評価結果の表示例

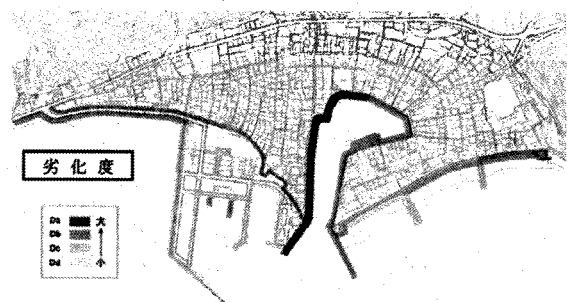


図-10 高波・高潮対策施設の劣化度評価結果の表示例

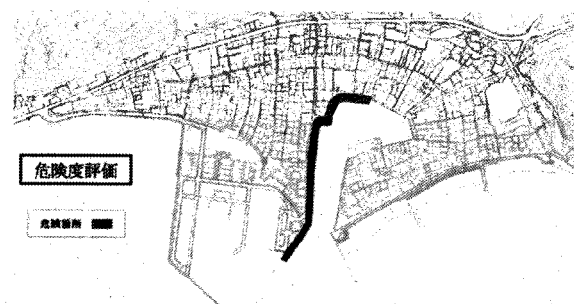


図-11 危険度評価結果の表示例

高潮・高波時における背後地区の脆弱性評価のうち、インフラの想定被害状況のGIS表示例を図-12～14に示す。

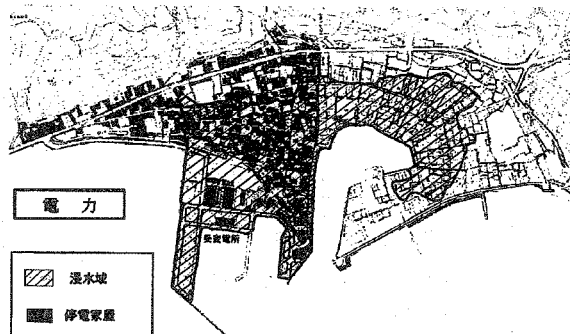


図-12 電力における想定被害状況の表示例

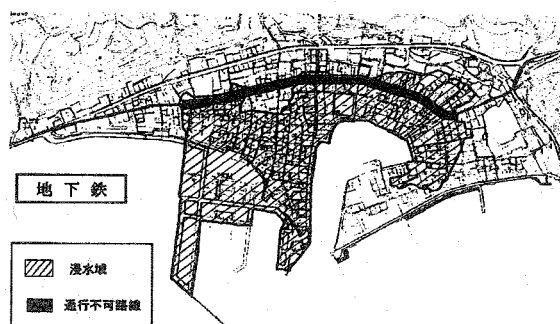


図-13 地下鉄における想定被害状況の表示例

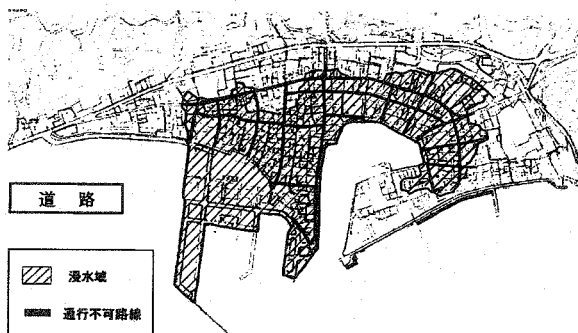


図-14 道路における想定被害状況の表示例

また、統合的マネジメントシステムを活用して、維持管理計画や避難情報に活用するイメージを表-8、図-15に示す。

こうした施設の老朽度や背後地の脆弱性に関する一元的に整理された情報を活用して、施設の老朽度や、背後地の脆弱性を考慮した高潮・高波対策施設の維持管理手法の実施や、維持管理予算を重点的

に投入する施設の絞込みにつなげ、維持管理を効果的・効率的に行うことが少なからず可能になるものと考えられるところである。

表-8 維持管理計画への活用イメージ

施設	危険度	重要度	背後地の脆弱性	維持管理の重要性	優先順位
KT-1護岸	OK	C		C	18
KT-2護岸	OK	C	道路	B	12
KT-3護岸	NG	A	地下鉄	A	3
KT-4護岸	NG	B	地下鉄	A	6
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

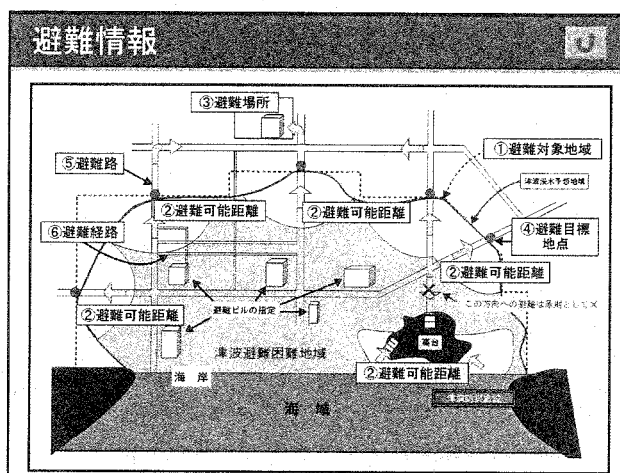


図-15 避難情報への活用イメージ

8. おわりに

今後、高潮・高波対策施設の維持管理が効果的・効率的に実施されるためには、本システムの内容となる施設の点検データ蓄積が重要である。高潮・高波対策施設の維持管理は決して進んでいるとは言えないが、本稿の発表を契機に、関係者が適切な維持管理について意識を深めていく機会になれば幸いである。

参考文献

- 1) 財団法人沿岸技術研究センター：平成15年度海岸データベース構築調査報告書，2004。
- 2) 土木学会海岸工学委員会編：海岸施設設計便覧，2000。
- 3) 国土交通省，農林水産省：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。