

海岸堤防マネジメント支援システムの開発

DEVELOPMENT OF ASSIST SYSTEM FOR MANAGING TO MAINTAIN AND TO RENEW SEAWALL

諏訪義雄¹・ 笹岡信吾²・ 見上敏文³・ 小宮山佳世⁴・

Yoshio SUWA, Shingo SASAOKA, Toshifumi MIKAMI and Kayo KOMIYAMA

¹正会員 国土技術政策総合研究所 海岸研究室長(〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

²正会員 国土技術政策総合研究所 海岸研究室(〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

³正会員 株式会社アルファ水工コンサルタント 技術部(〒063-0829 札幌市西区発寒9条14丁目)

⁴正会員 農修 株式会社アルファ水工コンサルタント 企画部(〒101-0031 東京都千代田区東神田2丁目)

Asset management is important for strategic maintenance and renewal of seawalls considering performance degradation by aging and increase of external force from climate change. In this study, the assist system was developed for asset management of seawalls. It has database of shore protection facilities using GIS (geological information system). And it has several application programs, inundation simulation and damage estimation for storm surge, strength diagnosis of seawall to storm surge action, management of inspection data for seawall, support making GIS data etc.

Key Words : Assist system for asset management, GIS, Inundation damage estimation, Strength diagnosis, Seawall, Inspection data management, Strategic maintenance and renewal

1. はじめに

我が国の海岸保全施設、特に海岸堤防の多くは昭和28年の台風13号、昭和34年の伊勢湾台風以降に急速に整備されてきた。今後、老朽化に起因する施設の耐力低下によって防災機能が不足することや、施設の更新が集中して財政を圧迫することが懸念されている。

一方、社会资本整備のコスト縮減が叫ばれる中、施設の維持管理を行うための予算や人員の強化を行うことは困難であり、将来的に老朽化の進行に伴う施設の変状や、それに起因して災害が発生する可能性もあり、利用者の安全確保が困難となることも想定される。また、気候変動による海水面の上昇や台風の強大化等は、堤防に作用する外力を増大させることになるため、老朽化による耐力の低下が無くても施設性能が不足することとなり、施設改良や強化が必要になってくるものと推察される。

これらの状況から、海岸保全施設の適切な維持管理や施設改良に対応して行くためには、施設の構造図や日常点検結果等の情報を蓄積し、これらを反映した現況における施設の耐力診断を行った上で、適切な維持管理による予防保全を実施し、施設の長寿命化および戦略的な施設更新を行っていくアセットマネジメントの導入が必要不可欠である。

海岸保全施設のアセットマネジメントの実施にあたっては、現在その第一歩として「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）」が作成され、施設の点検項目および診断方法等が示されているが、本研究では、これらの点検結果や海岸保全施設の基本的な施設情報を管理し、点検・診断から強化・更新等のアセットマネジメント計画の支援を目的とし、海岸堤防マネジメント支援システムの開発を行った。

2. システム開発

システムは図-1に示すようにGISと外部データベースおよび、これらを制御するインターフェースプログラムにより構成される。

地図情報及び海岸保全施設等の位置情報はGISエンジンにより管理され、施設図面や海岸保全区域台帳等の関連データはデータベースに格納されており、ユーザーはインターフェースプログラムにより、簡単な操作で各種情報の呼び出しや、印刷、検索、解析等の各種機能の利用が可能となっている。

システムの基本となる海岸保全施設データベース、GISデータ（入力データ、属性情報）の構成は見上ら¹⁾を基本としたが、将来的にWeb-GISシステムへ

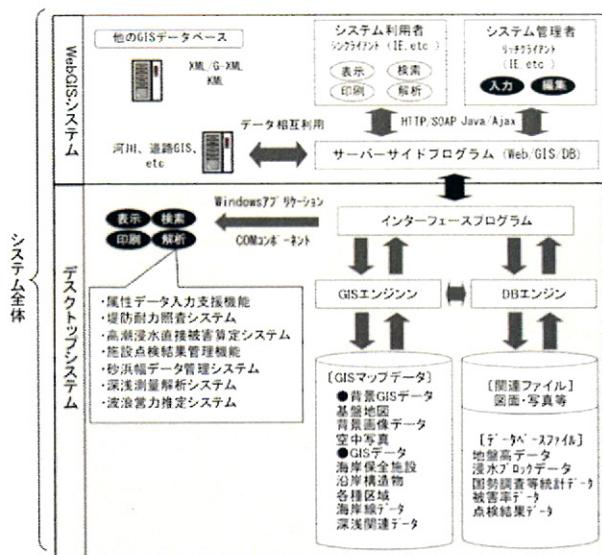


図-1 システム概要と今後の拡張

表-1 データ構成

データベース区分	データ項目	内容
GIS マップデータ	海岸図	海岸線、道路、河川、建物、地形等
	行政界／字界	市町村界、地名、字界、字名
	区域指定	海岸保全区域、漁港・港湾区域等
	岸辺保全施設	施設位置、平面形状および天端高
	沿岸構造物	港湾施設、漁港施設、河川施設等
	等高線／等深線	標高データ／深浅測量データ
	気象観測網	波浪、潮位、気象観測施設位置
	基準点	水準点、三角点、工事基準点
	衛星画像	衛星画像ファイル (tif 25.50-m/pixel)
	地形図	国土地理院2万5千分の1地形図 (S53, H04, H18)
直接被害額算定データ	浸水ブロック	浸水ブロック別高地盤高メッシュデータ、統計情報メッシュデータ
	砂防堤（海岸様）データ	海岸線、陸域線、基準線データ
	深浅測量海岸データ	側綫、測点、等深線、水深メッシュデータ、水深データ
	海岸保全区域台帳	PDF
	一般公共海岸区域台帳	〃
外部データファイル	港湾台帳	〃
	河川現況台帳	〃
	施設写真	現況写真 (JPEG)
	施設図面	平地図、断面図 (JPEG 等)
	熊旅点移結果閑連ファイル	点検結果図面、写真等
外部データベース	地盤高・浸水ブロック情報	標高別、浸水ブロック DB
	統計データ情報	国勢調査 DB、事業所企業統計 DB
	資産被害額情報	計算メッシュ基礎数量 DB、浸水ブロック別高地盤高 DB、被害率 DB
	施設点検結果情報	一次点検、二次点検、異常時棟

の拡張を想定していることから、インターネットを介して河川等他のGISデータベースとのデータ相互利用を可能とするため、河川基盤地図ガイドラインに準拠してデータ仕様およびコード化の設計を行った。

本システムでは海岸保全施設のGISデータ作成(位置, 天端高等)は、現地測量結果に基づいて行われることを基本としているが、予算等の制約により測量が困難な場合もあることから、背景図として利用しているゼンリンの住宅地図など市販のデジタルマップやオルソ化された空中写真により施設の位置を確認し、データ入力を行う機能も実装している。

また、海岸保全施設の情報データベースでは施設台帳から取得した基本的諸元および構造図等の画像ファイルの管理を行うが、これに「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」に基づく点検結果の入力・蓄積機能を実装することで、施設の現況を考慮した想定外力作用時の耐力照査を行える機能を開発・実装した。

さらに津波・高潮来襲時における直接被害額を算定するために、耐力照査結果による施設の破壊を考慮した浸水区域をレベル湛水法により推定し、陸上資産の統計メッシュデータと結合させるシステムを開発・実装した。

また、その他の解析機能として、見上らと同様の海岸線変化状況の管理機能に加え、沿岸域における波浪場および沿岸漂砂量を解析する波浪営力推定システム、深浅測量データの管理・解析システムの組み込みを行った。

これらのシステムについて、機能および効果の検証を行うため、ケーススタディとして東京湾奥部（東京都・千葉県の一部）を対象に主要な各種デー

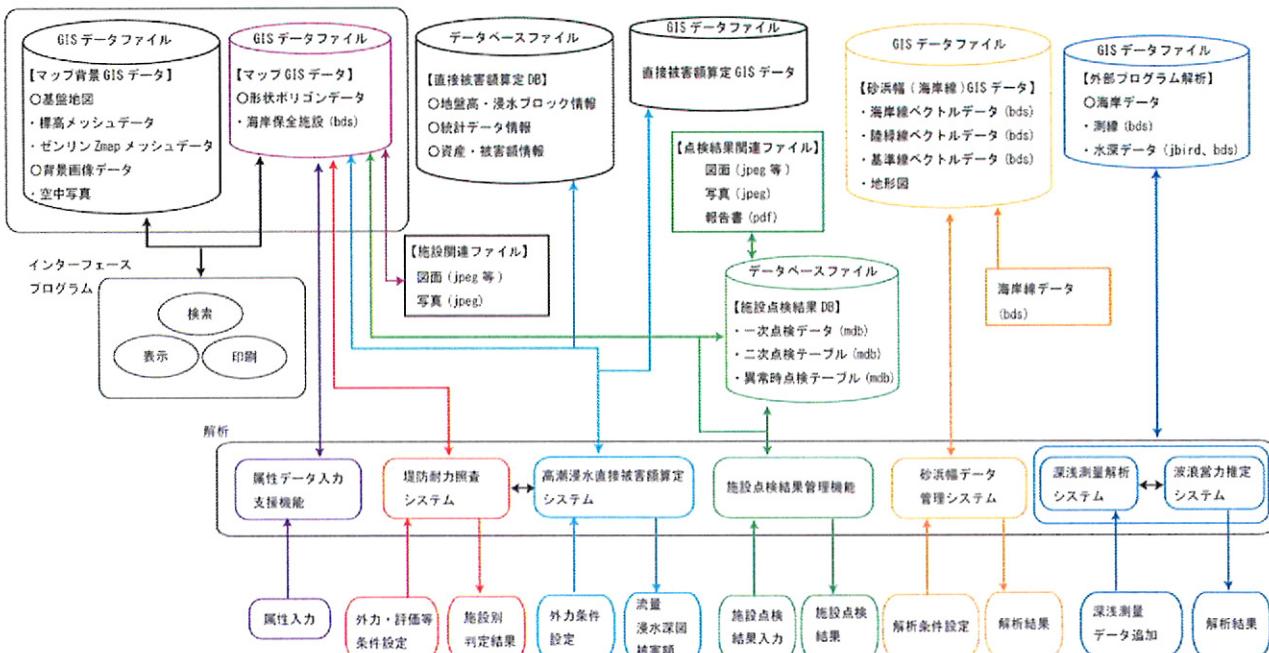


図-2 データ作成の流れ

タ整備および一部解析機能の試行を行った。

3. システムの内容

以下に主要なシステムの内容について述べる。

(1) 施設点検結果管理機能

「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、海岸4省庁）」に基づく一次点検、二次点検の結果をシステム上で記録し保管及び管理を行えるようにした。一次点検の入力画面を図-3に示す。



図-3 一次点検結果入力画面

(2) 堤防耐力照査システム

護岸・堤防を対象とした各部位別の耐力照査検討を行うため、以下の仮定に基づき、施設の耐力照査を行うこととした。

海岸堤防の破壊・変状プロセスは、種々の要素が相互に影響を及ぼし合い、極めて複雑であるが、構造物の破壊は複雑なプロセスの中で最終的には「外力・自重 > 耐力・支持力」の関係のときに生じるものと言える。本システムでは護岸・堤防の破壊過程を洗掘パターン、波力パターン、越波パターンに分類し（図-4参照），外力と耐力の比較を行い破壊の有無を評価できるようにした。

各部位別の照査手法を表-2に示す。

洗掘深の算出は、Hughes and Fowler²⁾の碎波しない不規則波の場合に適した経験予測式やFlowler³⁾による緩勾配に対して直角に入射する不規則碎波による非粘着性土砂の最大洗掘深を予測するために提案された式を用いて評価した。傾斜構造物の法先における最大洗掘深は、同じ場所、同じ波の状況下における直立壁に対する洗掘深を下回ることが考えられるが、定量的に算出することは困難であるため、最大洗掘深 S_m と最大波高 H_{max} との関係から $S_m < H_{max}$ とした。洗掘深 > 根入れ深さで破壊と判定を行うこととした。

波圧の算定は、直立壁が汀線の海側にある場合については広井式で、汀線の陸側にある場合について



図-4 破壊過程の分類

表-2 部位別照査手法一覧

部位	破壊プロセス	照査手法
基礎工	波力 洗掘	ハドソン式またはブレブナー・ドネリー式 Hughes and Fowler ²⁾ (1991)
根固工		Flowler ³⁾ (1992)
消波工		
表のり被覆工	越波として考慮	合田 ⁴⁾ (1975)
波返工	波力	広井式 富永・久津見式
天端被覆工	越波	合田ら ⁴⁾ (1975)

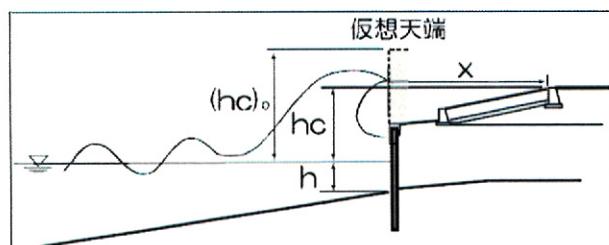


図-5 複合断面時の仮想天端高概念図

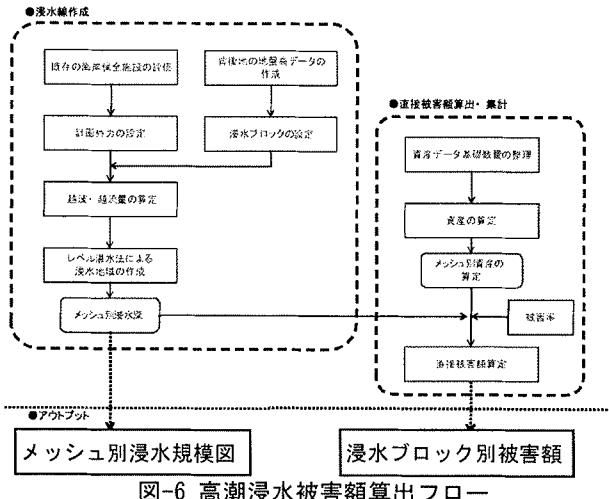
は富永・久津見式で行い、基礎工、根固工、消波工に対しては、必要ブロック質量 > 既設ブロック質量、波返工に対しては、安全率(滑動・転倒) > 許容値で破壊と判定した。

越波量については、合田ら⁴⁾の方法によって計算する。前面の海底勾配は1/10と1/30に設定し、波向は施設に対して直入射とした。複合断面の場合、背後施設までの距離 X と背後施設の天端高 h_c より、前面における仮想天端高 $(h_c)_0$ を設定して、越波量を算出する。越波流量 > 許容越波量で破壊と判定した。

(3) 高潮浸水直接被害額算定システム

海岸堤防が高潮来襲時に破壊された場合の、浸水範囲とその範囲内における直接被害額を算定するシステムの開発を行った。高潮来襲時の施設耐力照査結果を考慮した上で、高潮偏差による海岸保全施設

の越流量を計算し、背後地の地盤高メッシュデータを利用してレベル湛水法による浸水域の計算を行い、メッシュ別の浸水深を算出し、統計データに基づいた資産額に浸水深に応じた被害率を乗じることにより直接被害額を算定している。図-6に算定までのフローを示す。以下に浸水計算、被害額算定について詳細に述べる。



a) 浸水計算

越波流量、越流量の算定を行う施設として、堤防、防潮堤、緩傾斜堤、護岸、胸壁、岸壁・物揚場、斜路・船揚場を対象とした。このうち、耐力評価により波返工（パラペット）が破壊と判定された施設は、水叩工天端高とパラペット下端高の低い方を天端高として算定する。その他破壊と判定されない施設についても計画天端高、計測天端高を用いて算定した。

越流量及び越波量の算定手法は「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」、平成16年6月、海岸4省庁より、本間の完全越流の式、合田の越波流量推定図を用いている。水位が施設天端高未満である場合、越波量のみを流量として算出し、水位が施設天端高以上の場合、越波量と越流量の合計値を流量とした。外力条件として設定した「潮位+偏差」が天端高または施設破壊後の天端高・背後地盤高を超える場合、本間の公式によって越流量を算定する。越流を考えるにあたっては、原則として背後地の浸水深が天端高または施設破壊後の天端高・背後地盤高を越えないこととし、完全越流の式を用いた。高潮の場合、潮位変化の要因としては、天文潮の変化、高潮水位(偏差)の変化(台風や低気圧の気圧変動、台風や低気圧の通過に伴う吹き寄せ等)が考えられるが、任意に設定される高潮継続時間内でこれらの変化を考慮することが難しい。このため、潮位偏差の時間変化を正弦曲線と仮定し、越流量を算定した。なお、津波の場合は、時間的変化を考慮していない。

越流量は水位と施設天端高の関係から継続時間内において、(a)常に水位が施設天端高未満の場合、(b)常に水位が施設天端高以上の場合、(c)ある時間帯のみ水位が施設天端高以上になる場合の3つの状

態があるとして越流量を算定している。

(a) の場合

$$q = 0 \quad (\text{越流無し}) \quad (1)$$

(b) の場合

$$q = \int_0^{T_i} f(t) dt \quad (2)$$

$$f(t) = \frac{0.35 \cdot (((\zeta \cdot \sin(\pi / T_t \cdot t)) + z) - F.H.)}{\sqrt{2g(((\zeta \cdot \sin(\pi / T_t \cdot t)) + z) - F.H.)}} \quad (3)$$

(c) の場合

$$q = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (4)$$

$$f(t) = \frac{0.35 \cdot (((\zeta \cdot \sin(\pi / T_i \cdot t)) + z) - F.H.)}{\sqrt{2g(((\zeta \cdot \sin(\pi / T_i \cdot t)) + z) - F.H.)}} \quad (5)$$

(a)～(c)の総越流量

$$Q = q \cdot B \quad (6)$$

ここで、 T_r は高潮継続時間、 t は経過時間、 ζ は高潮偏差、 z は潮位、 $F.H.$ は施設天端高または施設破壊後の天端高・背後地盤高、 B は施設延長である。

浸水域の設定にあたっては、高潮や高波浪・津波による越波量・越流量を算出し、その越波量・越流量が堤防や護岸背後にそのまま湛水すると仮定するレベル湛水法により評価している。この手法は浸水域への総流量を計算し、単純に浸水域の地盤高の低い箇所から浸水させる手法であるため、堤防・護岸背後の地盤を飛び越えて背後の低地盤地域が浸水する結果となる場合がある。このようにレベル湛水法では地盤高が低いところから浸水するため、実際には水塊が通過する箇所が考慮されないためであるが、この範囲の被害額の取り扱いが今後の課題である。

浸水域の計算サイズは、使用した市販データが異なるため、東京都5mメッシュ、千葉県50mメッシュとしている。浸水域を地盤高等の地形的な要素や河川堤防など浸水範囲を制限する構造物の影響を考慮し、対象浸水原からの浸水を一連の範囲とみなせる区域（浸水ブロック）に分割を行った。防潮堤の防護ラインは海岸保全基本計画より作成したが、基本計画に掲載されている図は小縮尺で詳細な位置が不明であるため、海岸保全区域台帳添付の平面図から位置の把握を行った。このうち台帳未調製箇所については、空中写真や標高メッシュデータ、現地踏査結果を参考にデータを作成した。

b) 被害額の算定

メッシュ別に算定した資産額に浸水深に応じた被害率を乗じることにより直接被害額を算定した。資産データの調査は治水経済調査マニュアル（案）

(平成17年4月、国土交通省河川局)に従って実施し、各種統計情報を用いた。一般資産及び農作物は、資産額に浸水深に応じた被害率を用いて被害額を算定するものとし、公共土木施設等は一般資産額との

比率を用いて算定するものとした。被害額算定方法を表-3に示す。また、被害額算定に当たっての資産額算出に関わるデータの関連図を図-7に示す。

表-3 被害額算定方法

対象資産		算定式
一般資産	家屋	床面積×都道府県家屋1m ² 当たり評価額×被害率
	家庭用品	世帯数×1世帯当たり家庭用品評価額×被害率
	事業所償却・在庫資産	従業者数×従業者1人当たり償却資産及び在庫資産評価額×被害率
	農業家償却・在庫資産	農業家世帯数×1戸当たりの償却資産評価額及び在庫資産評価額×被害率
農作物		水田・畑面積×平年収量×農作物価格×被害率
公共土木施設等		一般資産額×公共土木施設等の被害額の一般資産被害額に対する比率

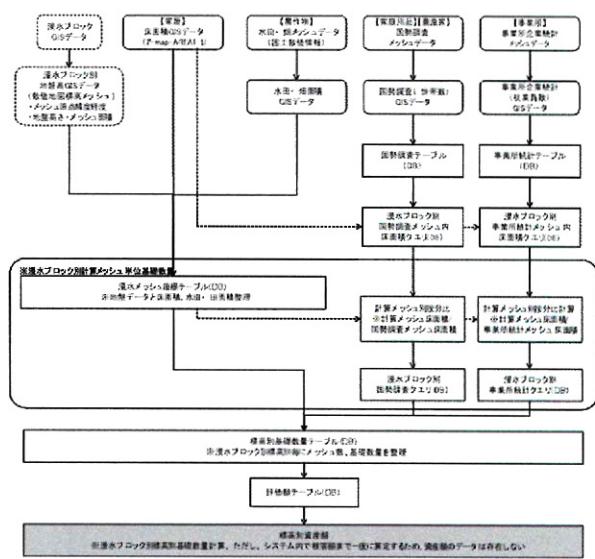


図-7 被害額算出に関するデータ関連図

被害率については、「治水経済調査マニュアル（案）」と「海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）」にて、それぞれ示されており、前者については治水事業を実施するための経済性評価のための被害率であり、後者については、海岸事業を実施するための経済性評価のための被害率であり、かつ高潮・津波の場合に区分されて被害率が算出されている。このことから、本システムでは海岸事業の被害率を用いることが妥当であると判断し、海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）による被害率を使用することとした。

4. ケーススタディ

東京湾奥（東京都、千葉県浦安市～千葉市間）を

対象に海岸保全施設や浸水区域内資産等のGISデータを整備した。現地で施設の現況写真を撮影し、天端高の測量を実施してシステムに反映するとともに、収集できた施設については標準断面図の入力を行った。千葉県浦安市～千葉市間について海岸保全施設の施設属性情報のうちから、現況天端高・築造経過年数の抽出を行い、天端高計測結果を図-8に、築造経過築年数を図-9に示した。

湾奥部のうち市川海岸江戸川河口東側約2km区間に
についてLCM 1次点検を実施し、システムに結果を
保存した。点検結果を図-10に示す。

点検で最も変状が目立った区間約850mで破堤により堤防がなくなったと仮定し、浸水計算及び被害額の算定を行った。なお、確認された変状は破堤に至るものと断定できるものではない。

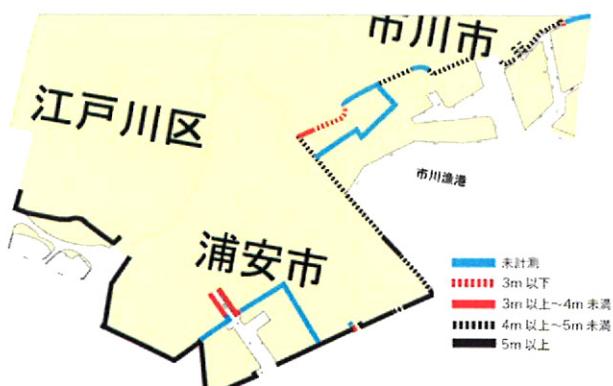


図-8 現況天端高分布（葛西海岸～市川海岸）

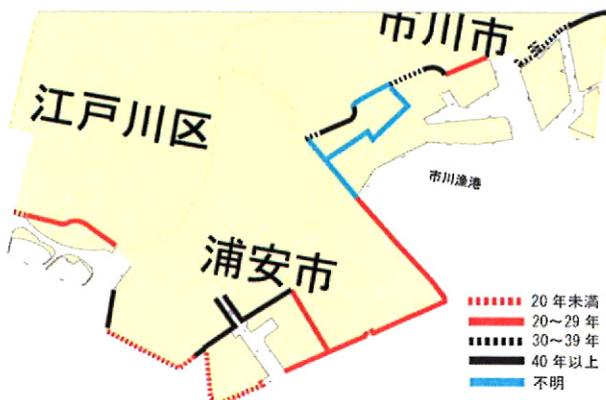


図-9 築造経過年数分布（葛西海岸～市川海岸）

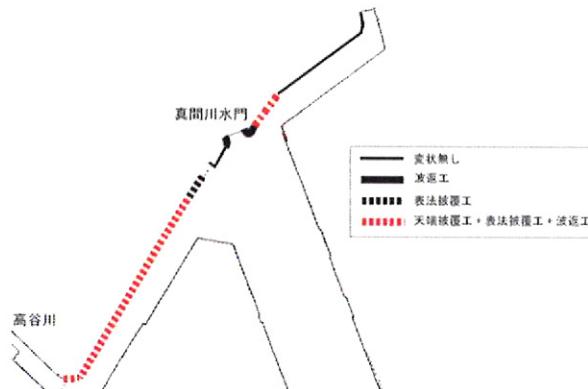


図-10 点検結果（市川海岸）

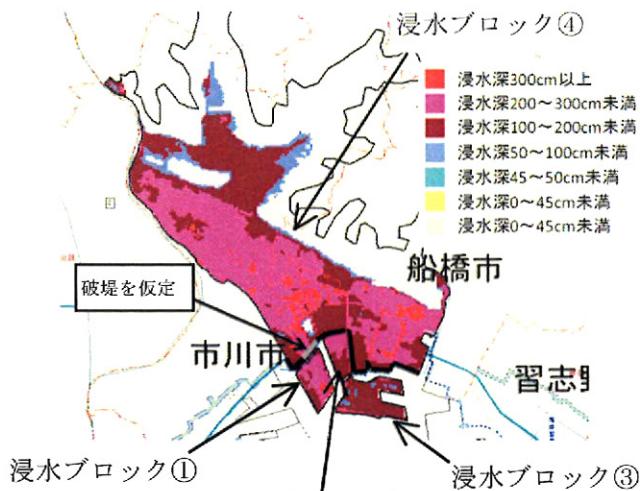


図-11 淹水計算結果（市川海岸）

浸水ブロック	浸水量	直接被害額合計
①市川市1	約232万m ³	約6,644百万円
②市川市2	約250万m ³	約375百万円
③市川市3、 船橋市1	約170万m ³	約11,807百万円
④市川市4、 船橋市2	約5,150万m ³	約201,444百万円

表-4 被害額算出結果（市川海岸）

今回のケーススタディでは、浸水計算及び被害額の算定機能を確認するため、小さな変状の目立つ区間を破堤と仮定したものである。高潮浸水計算における計算条件は千葉県の発行している「海岸計画の諸元」（平成16年3月）より、潮位を朔望平均満潮位（T.P. 0.966m）高潮偏差（3.0m）が破堤箇所に作用しているとして行った。浸水計算結果を図-11に、被害額予測結果を表-4に示す。浸水ブロック①、②、③は堤防の海側であり、破堤と関わりなく浸水する。

破壊したと仮定した堤防が防護している浸水ブロックは④であり、堤防が浸水ブロック④の被害を防ぐ役割を有していることがわかる。

5. 結論

本研究では、海岸保全施設を対象として、施設の基本情報および日常の点検結果等を保管、管理するためのGISデータベースシステムの開発を行い、これに各種の解析機能を加えることで施設の機能所作および重要度の判定を行えるようにした。このシステムを導入することにより以下に示すような効果が期待される。

- ・海岸保全施設情報の一元管理
- ・施設点検結果の蓄積および活用
- ・施設の整備状況、老朽化度の把握および事業必要箇所の抽出
- ・耐力照査結果の活用による施設改良計画の立案
- ・直接被害額推定結果に基づく施設便益の算定

参考文献

- 1) 見上敏文、小宮山佳世、小玉篤、加藤隆、渡邊敏人：GISを利用した海岸保全施設データベースの開発、海洋開発論文集、vol. 23, pp. 51-56, 2007.
- 2) Hughes, S.A. and Fowler, J.E. : Wave-Induced Scour Prediction at Vertical Walls, Proceedings of Coastal Sediments '91, American Society of Civil Engineers, Vol. 2, pp.1886-1900, 1991.
- 3) Fowler, J. E. : Scour Problems and Methods for Prediction of Maximum Scour at Vertical Seawalls, Technical Report CERC-92-16, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS, 1992.
- 4) 合田良美、岸良安治、神山豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究、港湾技術研究所報告、第14卷、第4号、pp. 3-44, 1975.