海岸保全30年の取組みと今後

高知工科大学名誉教授
東京大学名誉教授
磯部雅彦

海岸法改正(1999)までの海岸防護

海岸災害と防災技術・制度の進展

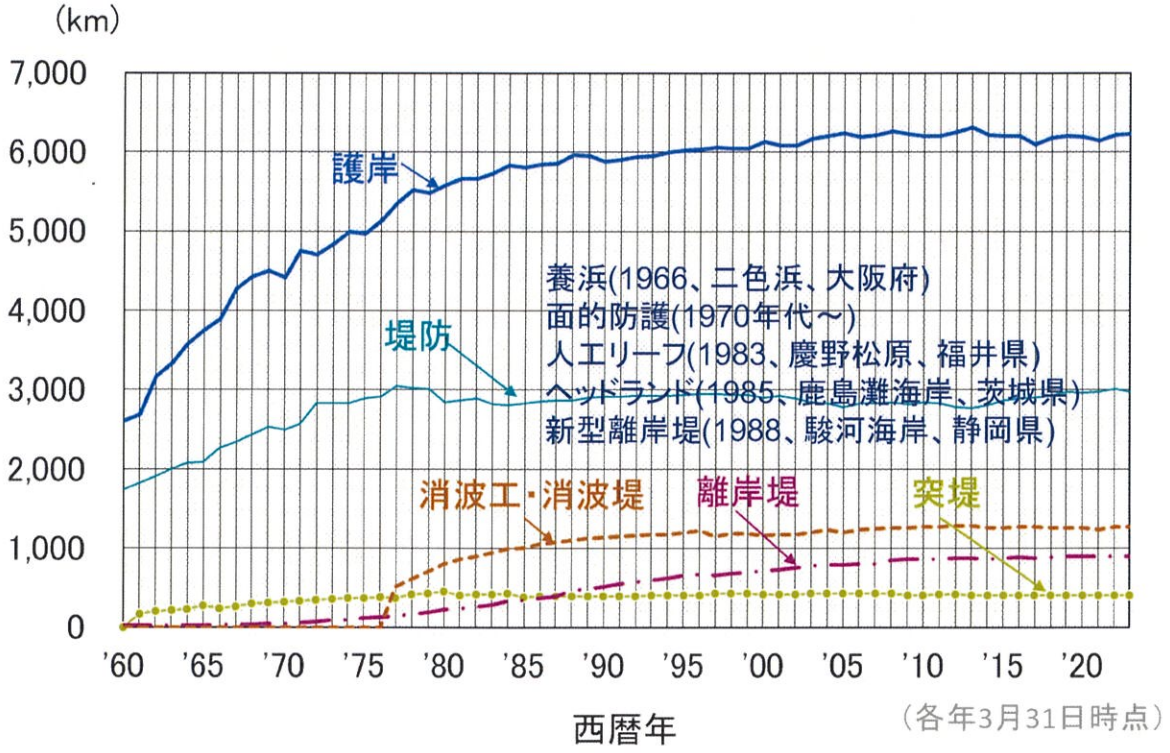
海岸防災の技術・制度の進展（高潮災害）

年	災害等	技術・制度等
1917	台風（東京湾）	東京湾最高潮位
1934	室戸台風（最低気圧記録）	最大クラスの台風（910hPa）
1950 1951	米第1回海岸工学会議 神戸第1回海岸工学講演会	学会（海岸工学の創始）
1953	台風13号（列島縦断）	海岸法(1951)、海岸保全施設築造基準(1953) 外郭堤防方式、三面張り
1959	伊勢湾台風（偏差3.4m）	三大湾の計画外力（940hPa伊勢湾台風級、数値モデル）
1970	台風7010（高知海岸）	ウェーブセットアップ

海岸防災の技術・制度の進展（津波災害）

年	災害等	技術・制度等
1917	台風（東京湾）	東京湾最高潮位
1896	明治三陸地震津波	高地移転（元位置への回帰の課題）
1933	昭和三陸地震津波	宮城県令で建築禁止区域、津波予報浮標
1934	室戸台風（最低気圧記録）	最大クラスの台風（910hPa）
1950 1951	米第1回海岸工学会議 神戸第1回海岸工学講演会	学会（海岸工学の創始）
1952	十勝沖地震津波	津波予報図（震央距離と最大震幅）
1953	台風13号（列島縦断）	海岸法(1951)、海岸保全施設築造基準(1953) 外郭堤防方式、三面張り
1959	伊勢湾台風（偏差3.4m）	三大湾の計画外力（940hPa伊勢湾台風級、数値モデル）
1960	チリ地震津波	津波防潮堤・大船渡湾口防波堤、理論解析
1970	台風7010（高知海岸）	ウェーブセットアップ
1993	北海道南西沖地震津波	津波・高潮ハザードマップマニュアル(2004) 数値計算による津波予報（10万回分）
1997	ナホトカ号油流出事故	海岸環境問題
1999	海岸法改正	防護・環境・利用 海岸保全基本方針・基本計画

各海岸保全施設の整備の進展



砂礫海岸の経年変化

砂礫海岸の面積変化と平均変化幅

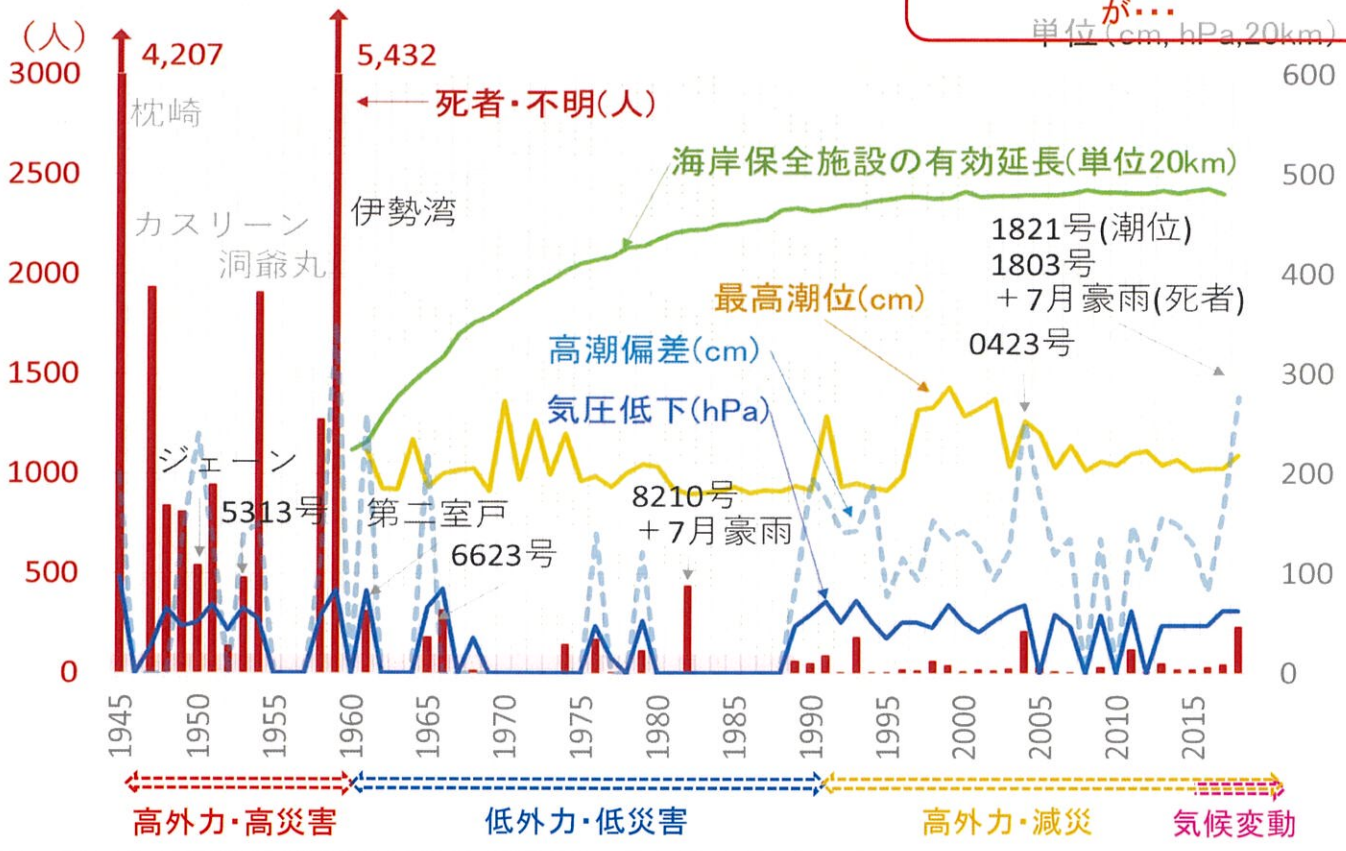
期間	面積変化				砂礫海岸延長	平均変化幅			
	侵食	堆積	正味損失	正味消失速度		侵食	堆積	正味減少	正味減少速度
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha/年)	(km)	(m)	(m)	(m)	(m/年)
明治～昭和(70年)	12,539	7,480	5,059	72	9,499.10	13.2	7.9	5.3	0.076
昭和～平成(15年)	4,605	2,210	2,395	160		4.8	2.3	2.5	0.168

～1/6 m/年

(30m)/(1/6m/年)=180年で砂浜消滅！

各年最大の高潮偏差を起こした台風と死者・行方不明者数の経年変化

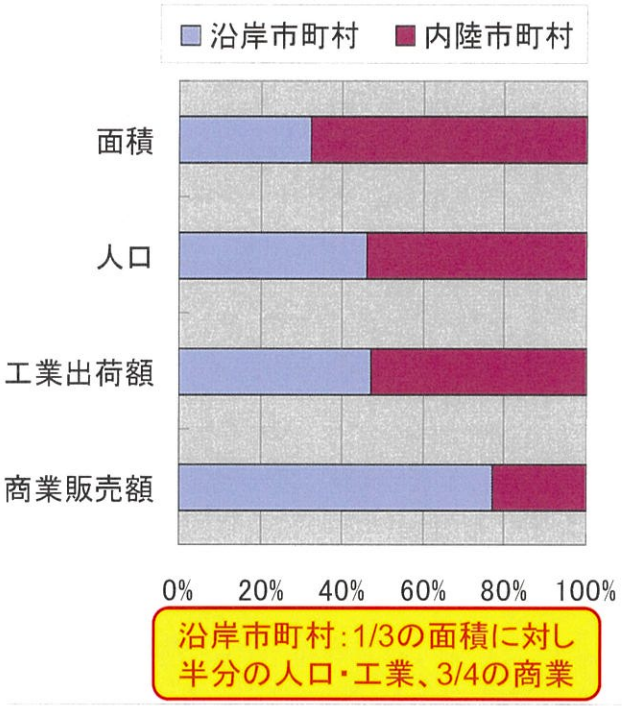
60-80年代の静穏時期の急速な堤防建設が効果を挙げるが・・・



環境・利用の諸様相

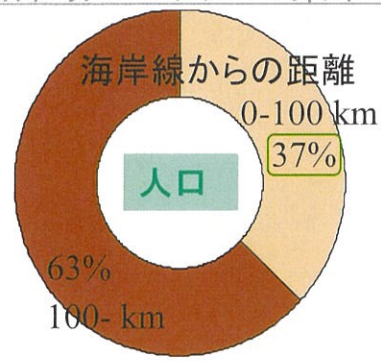
沿岸域の環境と利用

沿岸市町村へ人間活動の集中*

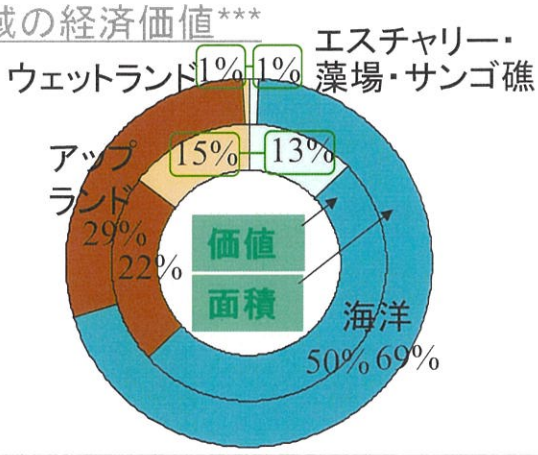


沿岸市町村：1/3の面積に対し
半分の人口・工業、3/4の商業

世界の沿岸域への人口の集中**



沿岸域の経済価値***



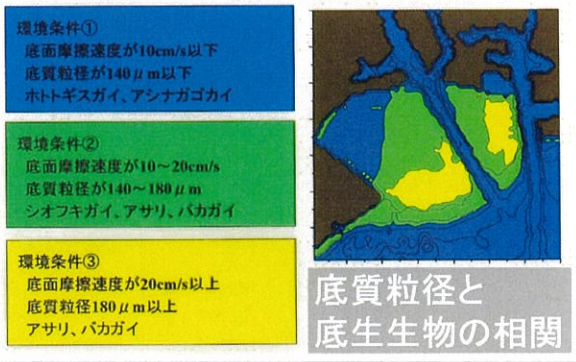
沿岸域の生態系







底質粒径と生物相の予測



底質粒径と
底生生物の相関

ウミガメの産卵・孵化の保全活動









砂浜の利用と保護









砂浜の波エネルギー吸収効果（防災）


南大東島


高知海岸

沿岸域環境の基本構造

沿岸域環境

環境基盤

気象・海象・地象
水循環（汽水域）
土砂収支（地形、粒径）
物質収支・水質
食物連鎖網・生態系
水産資源
エネルギー収支
熱収支
物流・人流
廃棄物・リサイクル

自然・生態

環境評価手法、環境影響評価手法
環境創造技術（藻場、干潟）
環境（波浪、流動、漂砂）制御構造物、
環境（生息場）創造構造物
流動（密度効果、3次元）・低次生態系
・生活史モデル
3次元解析（密度効果、汽水域）
混合粒径（シルト・粘土）
環境教育

性能設計、合意形成、順応的管理、モニタリング
ミティゲーションバンキング
教育・情報普及（防災、利用のルール、生態系）
統合沿岸域管理、里浜づくり

安全・防災

高潮（リアルタイムシミュレーション、予報）
津波（波源、地形影響、非線形性、分散性）
耐震設計、耐震・免震構造
利用（海岸保全区域外＝港湾・漁港）区域の保全
日常的利用・生態系（生息場、生物移動）
ソフト対策（ハザードマップ、予警報、避難態勢）
侵食対策、総合土砂管理、長期対策、養浜、
サンドバイパス、海面上昇対策、防災教育

開発・利用

利用施設の機能向上
長周期波、越波、
静穏度、水位上昇、
漂砂制御（航路・泊地維持）、小規模港湾
小規模な港の機能性・稼働率向上
利用外力時の安全（人工海浜、離岸流）
レクリエーション利用、エコツーリズム
空港（超大型航空機、首都圏第3空港）
大規模構造物の環境影響評価
災害時の利用機能評価
利用のルール、教育

海岸法改正

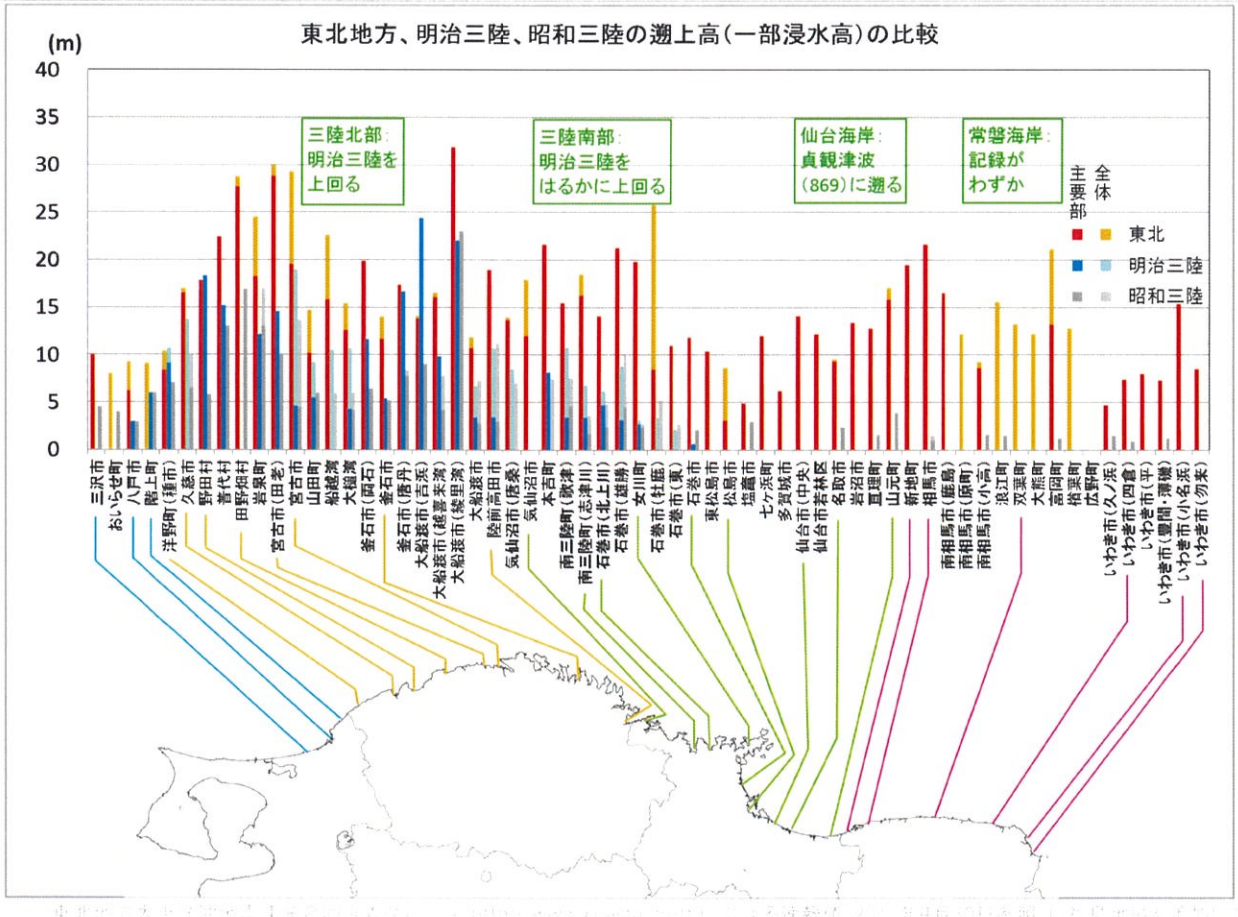
海岸法改正（1999）

- 目的:「防護」から「**防護・環境・利用**」へ
- 海岸保全基本方針に基づき71沿岸で海岸保全基本計画を策定
- 一般公共海岸を定義 → 全海岸線の管理（油流出事故への対応）
- 市町村の日常管理
- 国の直轄管理海岸
- 海岸保全施設の定義の見直し（砂浜も海岸保全施設に指定可能）
- 技術基準の見直し

21世紀の海岸保全

2011東日本大震災

東北地方太平洋沖地震津波と明治・昭和三陸地震津波の比較



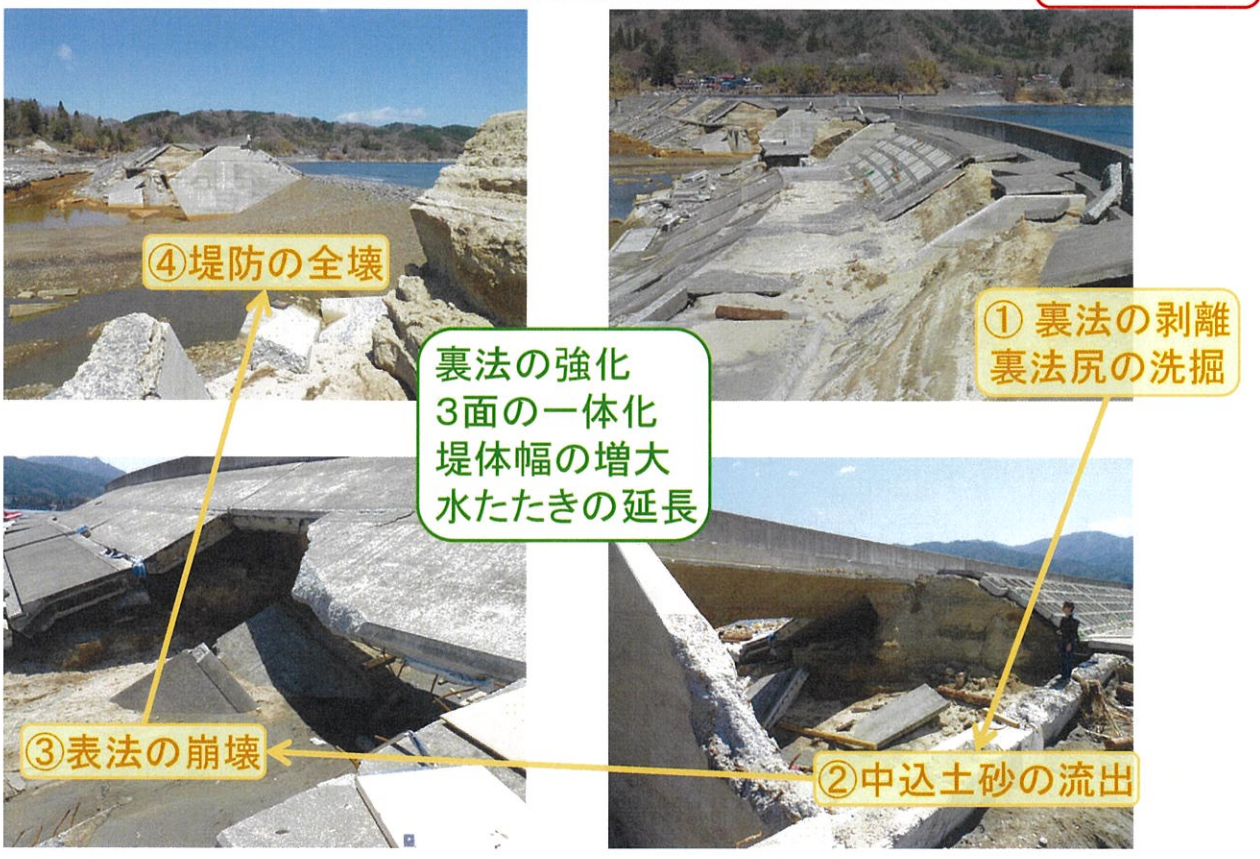
明治以降の主な津波（東北）

年月日	名称	マグニチュード 地震 M	マグニチュード 津波 m	最大遡上高 (T.P. m)	死者 (不明) (人)	家屋 全・半壊、流出 (戸)	家屋 床上・下浸水 (戸)
1896.6.15	明治三陸地震津波	6.8	4	24.4 (岩手県三陸町)	22072	10,393	3,694
1933.3.3	昭和三陸地震津波	8.1	3	23.0 (岩手県綾里村)	1,522 (1,542)	5,851	4,018
2011.3.11	東日本大震災	9.0		38.4 (岩手県宮古市)	19,787 (2,549)	122,204 287,896	0.054 (0.18) (/全壊)

比率
2
0.5

海岸堤防の被災

堤防の破壊は裏法から



東日本大震災(2011)後の津波対策の枠組み

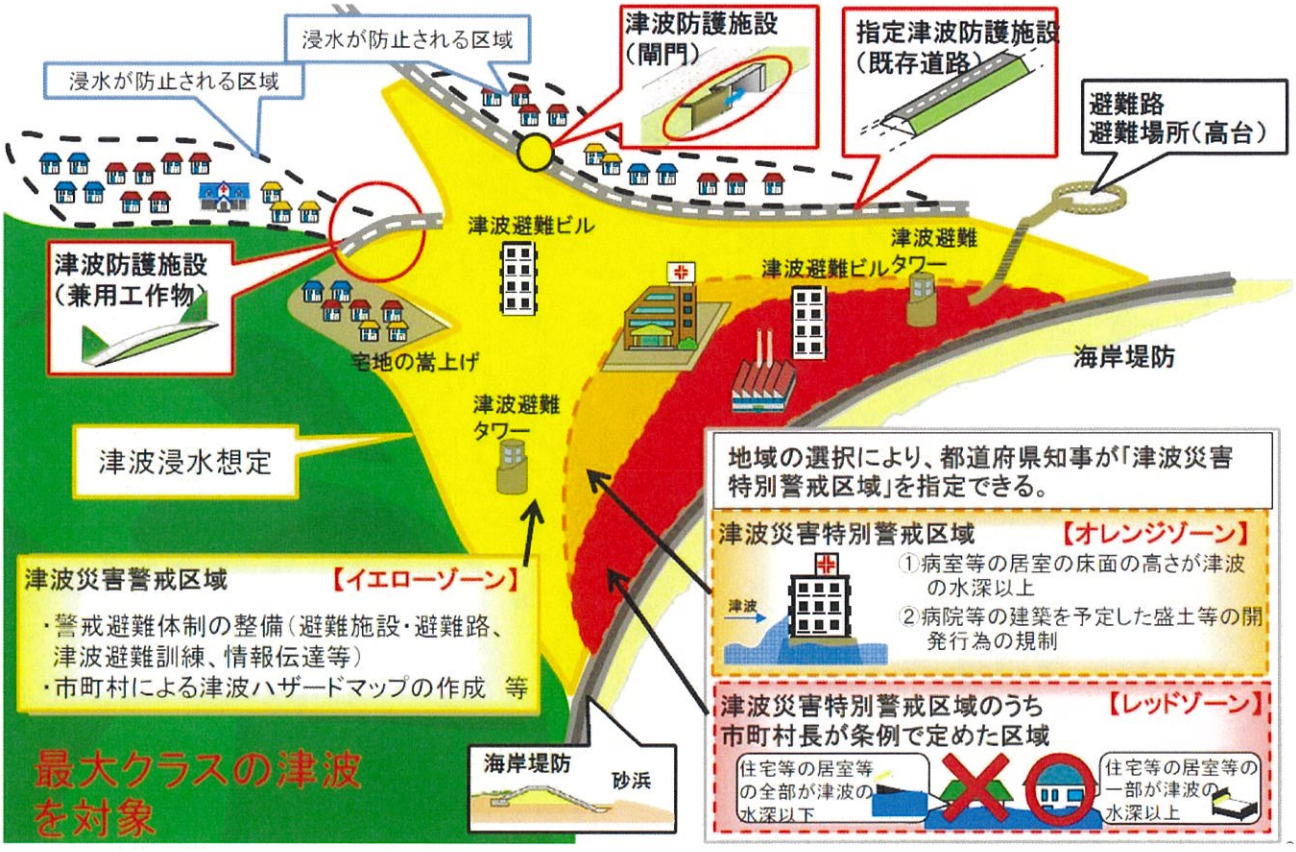
- 東日本大震災復興構想会議:「減災」(2011.6.25)
- 中央防災会議 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会:二段防災の枠組み (2011.6.26)
- 海岸における津波対策検討委員会:設計津波の水位の設定方法(2011.6.27)

← 高い堤防は技術的に可能、しかし、費用、日常生活、生態系、さらなる想定外などの問題

- **最大クラスの津波(レベル2津波)** ←(津波防災地域づくり法)
  - 発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波(千年に1回程度)
  - 住民等の生命を守ることを最優先、最低限必要十分な社会経済機能を維持(避難+減災)

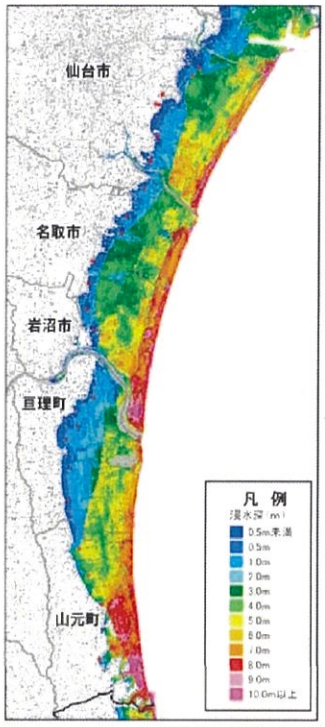
- **発生頻度の高い津波(レベル1津波、設計津波)** ←(海岸法)
  - 最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波(数十年から百数十年に1回)
  - 人命保護、住民財産の保護、経済活動の安定化、生産拠点の確保のため、海岸保全施設等の整備(防災) → 粘り強い構造物

津波防災地域づくり法

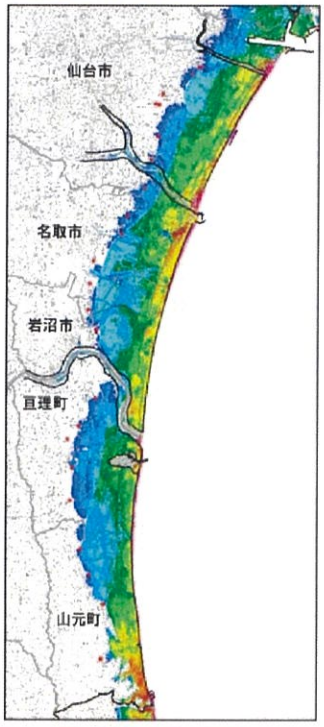


仙台平野の津波浸水高の計算と実測の比較

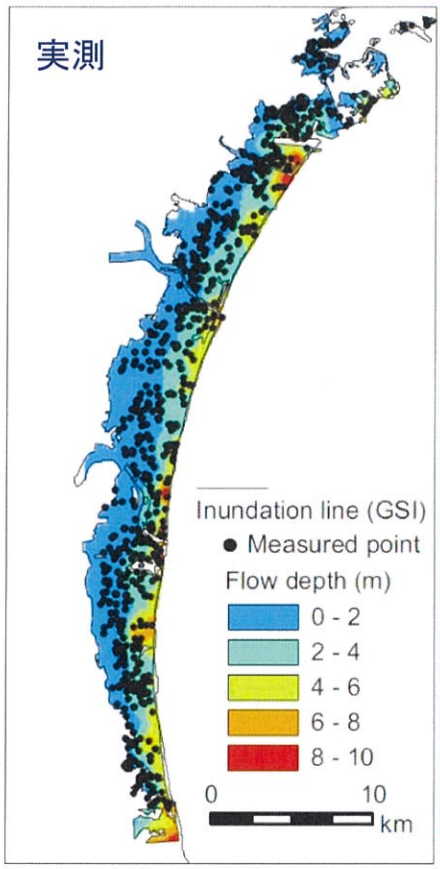
計算（堤防なし）



計算（堤防あり）



実測



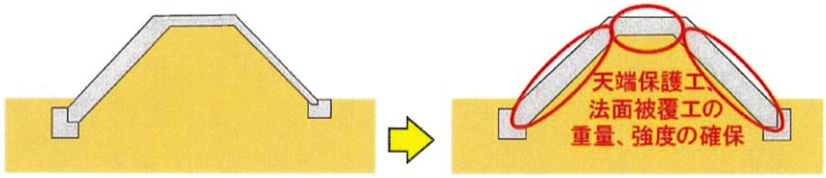
実測の浸水深は、「堤防あり」に近い
＝＞堤防の効果が見られる

南側では浸水深が「堤防なし」にやや近い
＝＞侵食の進んだ砂浜での堤防の損傷が激しい

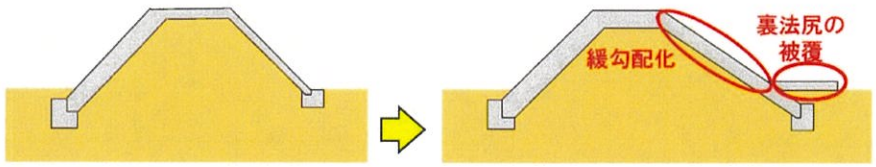
粘り強い構造物の開発
（越流時の流体力、材料、工法）

海岸堤防等の粘り強い構造

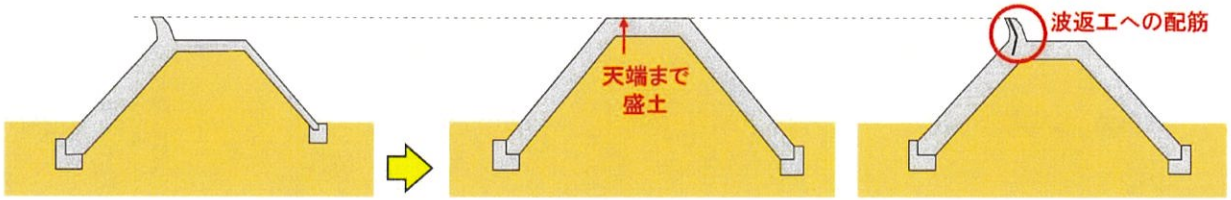
裏法尻部、裏法勾配



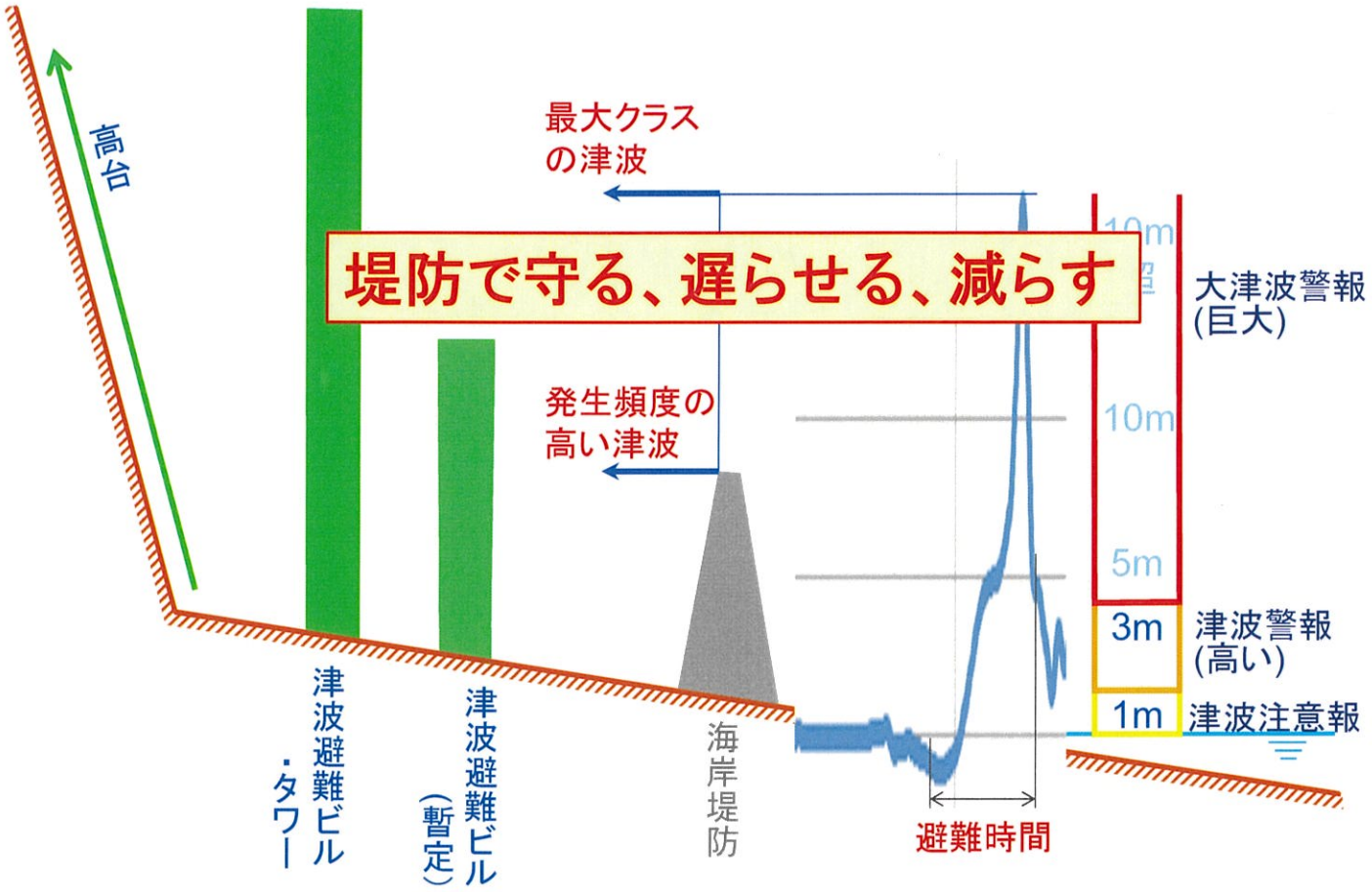
天端保護工、裏法被覆工、表法被覆工



波返工



津波の二段防災体制の整理



2015水防法の改正

最大規模の洪水・雨水出水・高潮 （H27改正 水防法）

- **浸水想定区域**（第十四条、第十四条の二、第十四条の三）
  - 想定最大規模降雨による洪水浸水想定区域・雨水出水浸水想定区域、最大規模の高潮による高潮浸水想定区域の指定

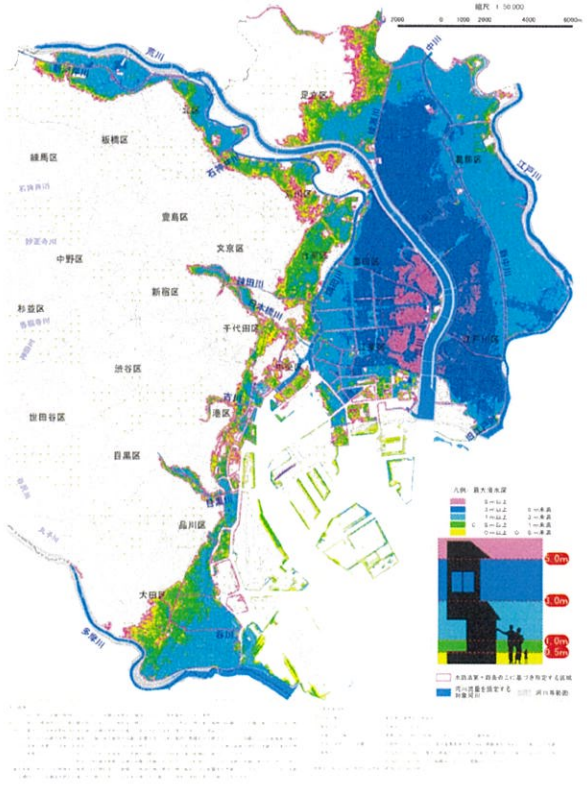
- **特別警戒水位**（第十三条、第十三条の二、第十三条の三）
  - 洪水特別警戒水位、雨水出水特別警戒水位、高潮特別警戒水位の通知・周知

- **避難態勢**（第十五条）
  - 市町村地域防災計画において、①洪水予報等の伝達方法、②避難場所・避難路等、③避難訓練、④地下街等・要配慮者利用施設・大規模工場の所在地、について定める

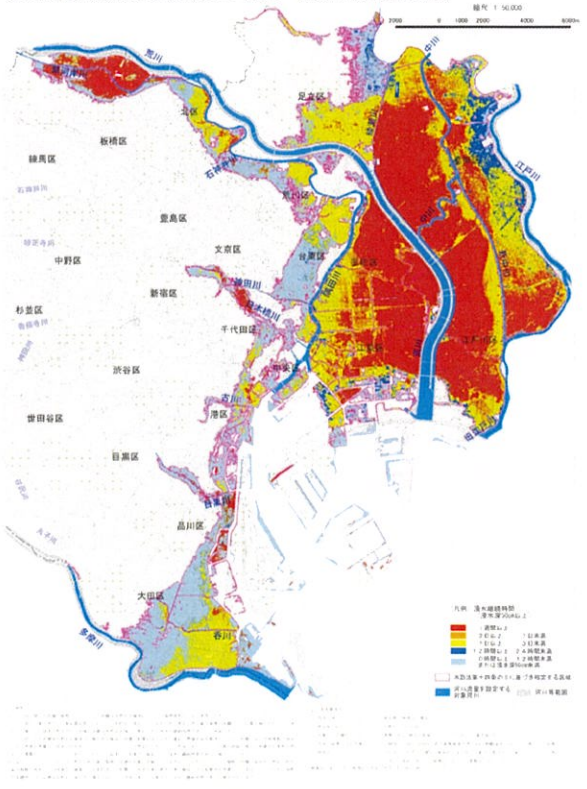
- **水害（津波・高潮、洪水・内水氾濫）の全般で二段防災体制へ**

東京都高潮浸水想定区域図 （2024.12.19）

東京都高潮浸水想定区域図［想定最大規模］（浸水深）



東京都高潮浸水想定区域図（浸水継続時間）



高潮に関する情報の主な変更点

国土交通省

警戒レベル毎に情報を整理し、避難行動との関係を明確化

（警戒レベル毎の情報に！）

- レベル５高潮特別警報を市町村による緊急安全確保発令、レベル４高潮危険警報を避難指示発令、レベル３高潮警報を高齢者等避難発令のトリガー情報として活用して頂くことを想定して情報を設計。

（発表基準等の見直し）

- 現在の高潮特別警報の台風等を要因としている発表指標は見直して、レベル５高潮特別警報として潮位等の基準を新たに設定して運用。
- レベル４高潮危険警報の基準は、その基準を超えると浸水被害のおそれがある状況となる高さに設定。
- レベル４高潮危険警報、レベル３高潮警報、レベル２高潮注意報は、浸水被害のおそれがある状況からリードタイムをとって発表。

（注）現在は高潮注意報で行っている低地での軽微な浸水被害に対する注意喚起は、新たな情報体系では扱わず、今後は高い潮位、大潮等に関する「気象解説情報」で対応

（高潮予報海岸の導入）

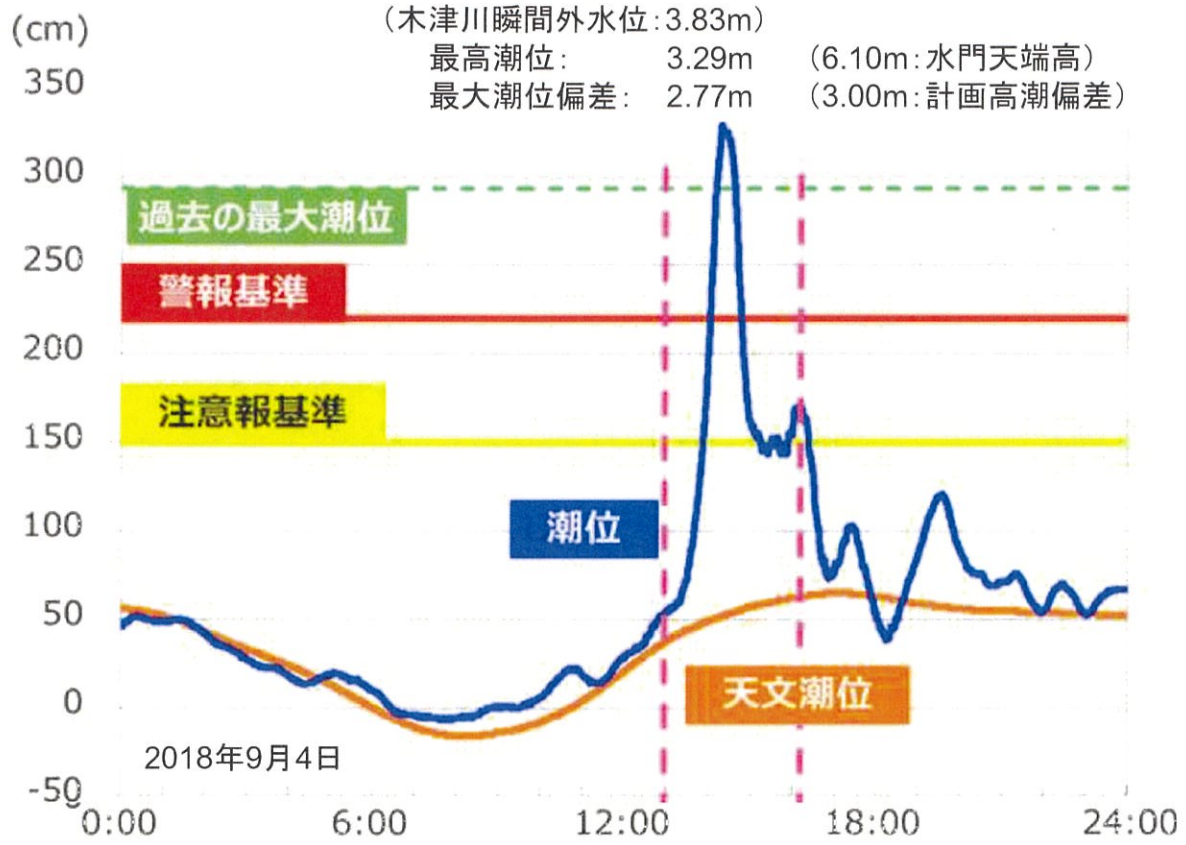
- 高潮予報海岸では、従来の潮位予測に基づく発表に加えて波の打上げ高の効果を加味した水位予測に基づく発表も開始（波の効果も加味することで高潮浸水被害に対し、より的確な情報発表が可能に）。
  高潮予報海岸以外では、潮位予測に基づき気象庁が発表。

打上（＋ウェーブセットアップ）を含めた高潮予想
避難態勢・防災学習

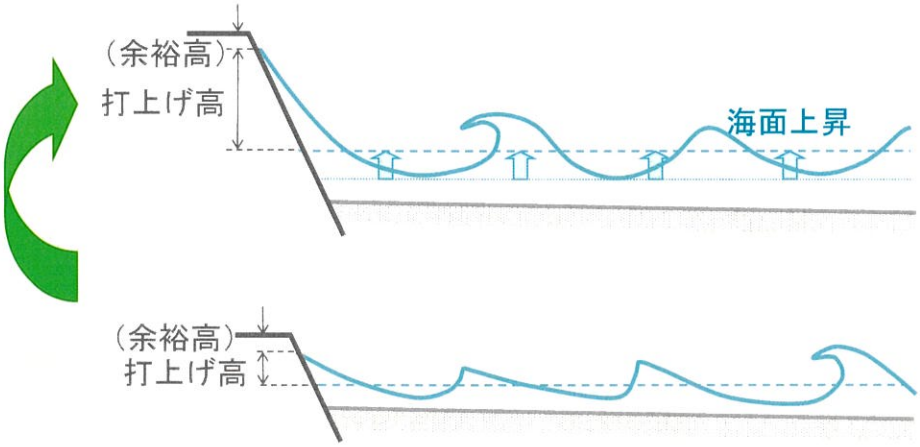
情報名称	発表タイミング	住民がとるべき行動
レベル５高潮特別警報	浸水がすでに発生 or 切迫	安全確保の行動を
レベル４高潮危険警報	浸水被害のおそれがある状況となる約６時間前までに発表	浸水想定区域など、高潮による浸水被害のおそれのある場所にいる者は全員安全な場所に避難
レベル３高潮警報	浸水被害のおそれがある状況となる約12時間前までに発表	避難に時間を要する人は早めに避難、避難の準備など
レベル２高潮注意報	浸水被害のおそれがある状況となる約18時間前までに発表	避難行動を確認（避難場所やルート、時期など）
早期注意情報	５日先までにレベル４相当の現象が予想される場合に「高」「中」の２段階で発表	災害への心構えを高める

2018気候変動適応法

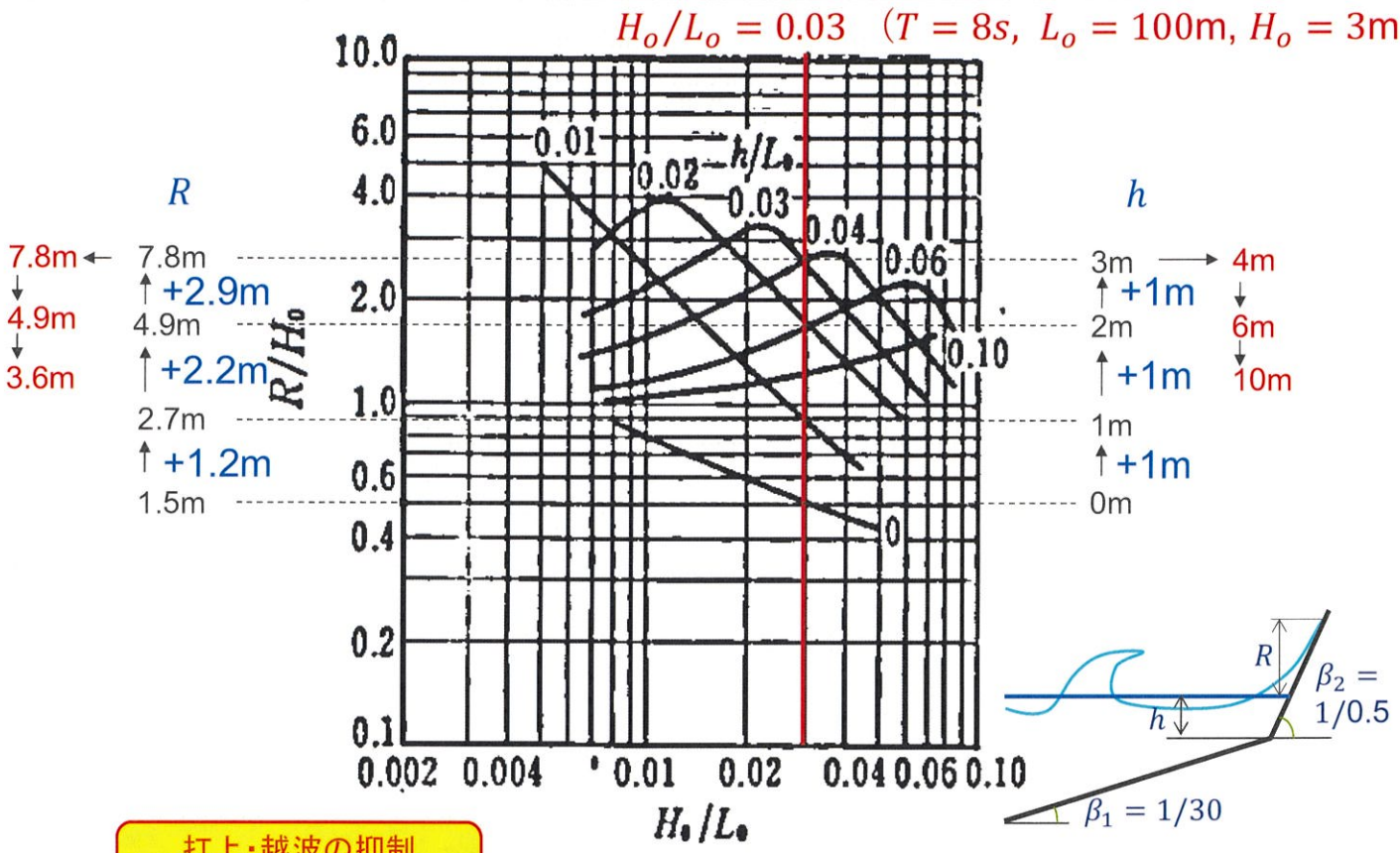
T1821号来襲時の大阪市での潮位変化



海面上昇による打上げ高の増大

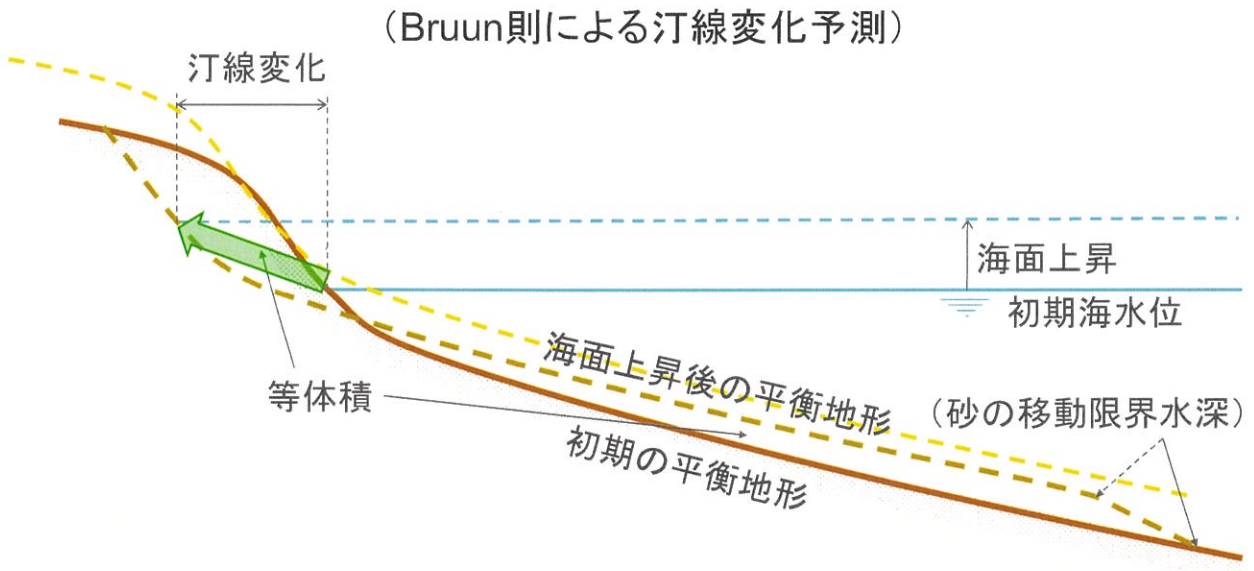


海面上昇による打上げ高の増大



打上・越波の抑制
（パラペット、面的防護）

海面上昇による海岸侵食

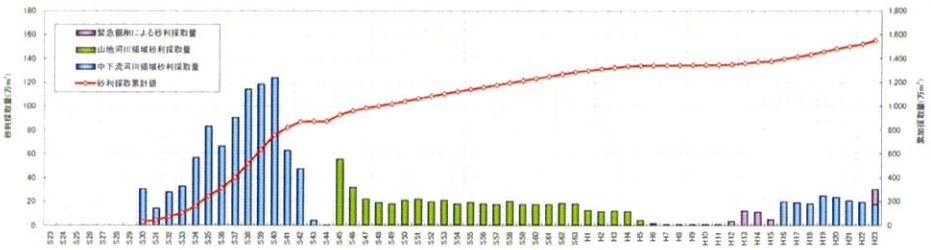


日本沿岸平均で
RCP2.6海面上昇0.38mで62%砂浜消失
RRC8.5海面上昇0.63mで83%砂浜消失
(Udo & Takeda (2017) CEJ, JSCE, 59.)

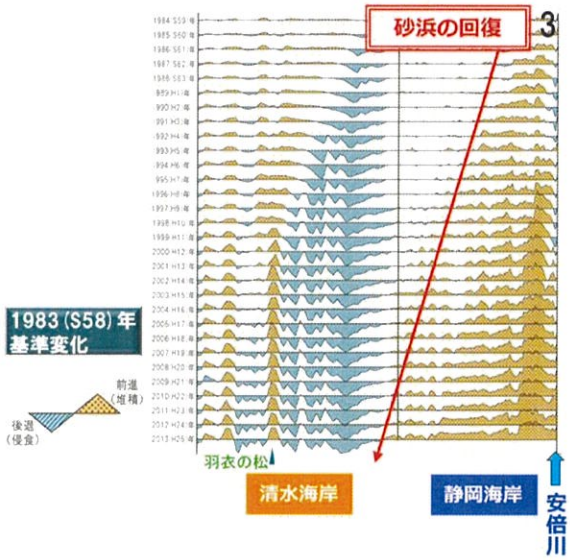
河川・海岸を一貫した
土砂管理
（漂砂配分図の作成）
（侵食防止工法の開発）

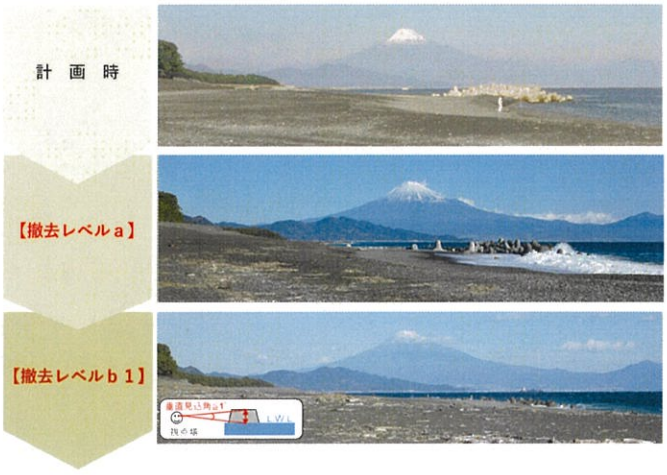
安倍川における砂利採取量と静岡・清水海岸の汀線変化

安倍川における砂利採取量の経年変化



安倍川の砂利採取の規制で
戻り始めた砂浜
→ 総合土砂管理（1998）





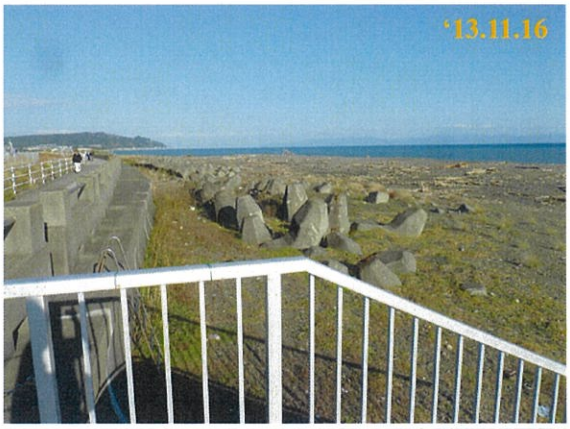
清水海岸 三保松原 における防護改善の取組 静岡県静岡土木事務所 第41回海洋開発シンポジウム（2016.6.23）

安倍川河口左岸海岸の変遷



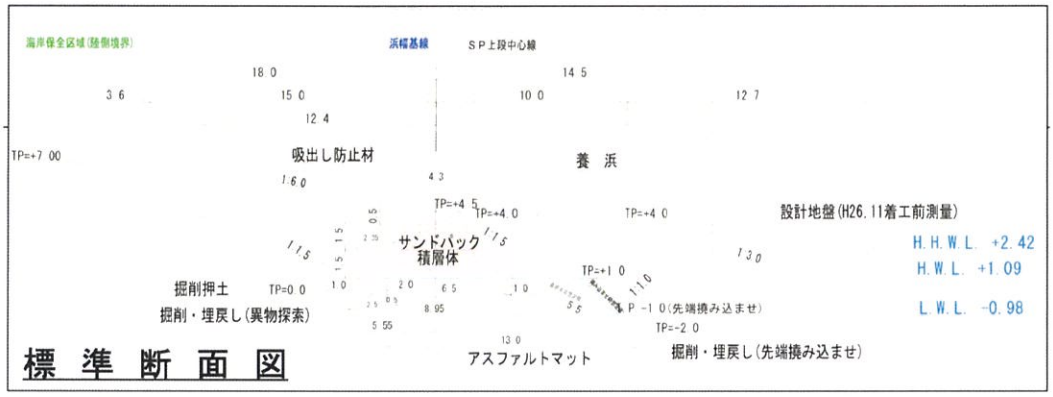






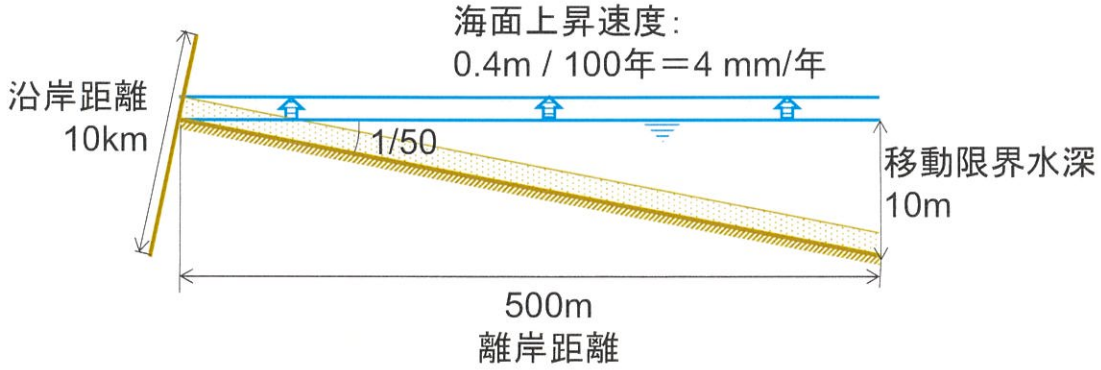
サンドパック工法





海面上昇のために必要な土砂量

1年あたりに必要な土砂量
＝4mm/年 x 500m x 10km＝20,000 m^3/年



まずは、現状の砂浜の維持
さらに、海面上昇分を補う土砂堆積
→ 流砂系の総合的土砂管理
（流砂量配分図）

港湾における気候変動適応策の実装方針（2024.03）

- 外力の目安（RCP2.6：2℃上昇モデル）
  - 海面上昇：0.39m（20世紀末）
  - 潮位偏差：将来比率1.01－1.10
    波高：0.99－1.09
  } 港湾空港技研＋d4PDF

- 施設設計
  - 水域施設、外郭施設、係留施設
  - 適切な予測モデルにより、作用（外力）の時間変化を設定（上振れの可能性を考慮）
  - 既設構造物の経過措置期間中も脆弱性評価
  - 一連の施設群での対策区間の優先順位付け
  - 「事前適応策」または「順応的適応策」

打上・越波の抑制
粘り強い構造（越波）

- 供用期間中の継続的性能把握
  - 上振れ・下振れ

- 協働防護計画・協定
  2025港湾法改正
  - 港湾内全体の施設群の耐浸水性確保

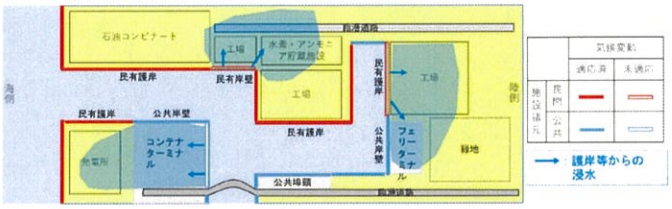


図 18　協働防護プランがない場合の浸水想定

海岸保全事業の進化と
これからの課題

水災害に対する二段防災システム

水災害（津波・高潮・洪水・内水）に対して
気候変動も加味した 二段防災体制となった

レベル1（約100年＝一生）
施設設計のための外力

- 海岸法（1956）
  防護
  築造基準
- 流砂系の
  総合土砂管理
  （1993）
- 海岸法改正（1999）
  防護・環境・利用
  海岸保全基本方針
  ・基本計画
- 気候変動適応法
  （2018）
  海岸保全基本方針
  ・基本計画

堤外地：協働防護
（2025港湾法改正）

二段防災体制

粘り強い構造

レベル2（最大クラス）
避難態勢のための外力

- 津波・高潮
  ハザードマップマニュアル
- 津波防災地域づくり法(2011.12)
  水防法(2015改正)
  津波・高潮浸水想定区域（H.M.）
  警戒水位の通知・周知

砂礫海岸の経年変化

砂浜保全の成果
しかし、
砂浜消失海岸
新たな侵食海岸

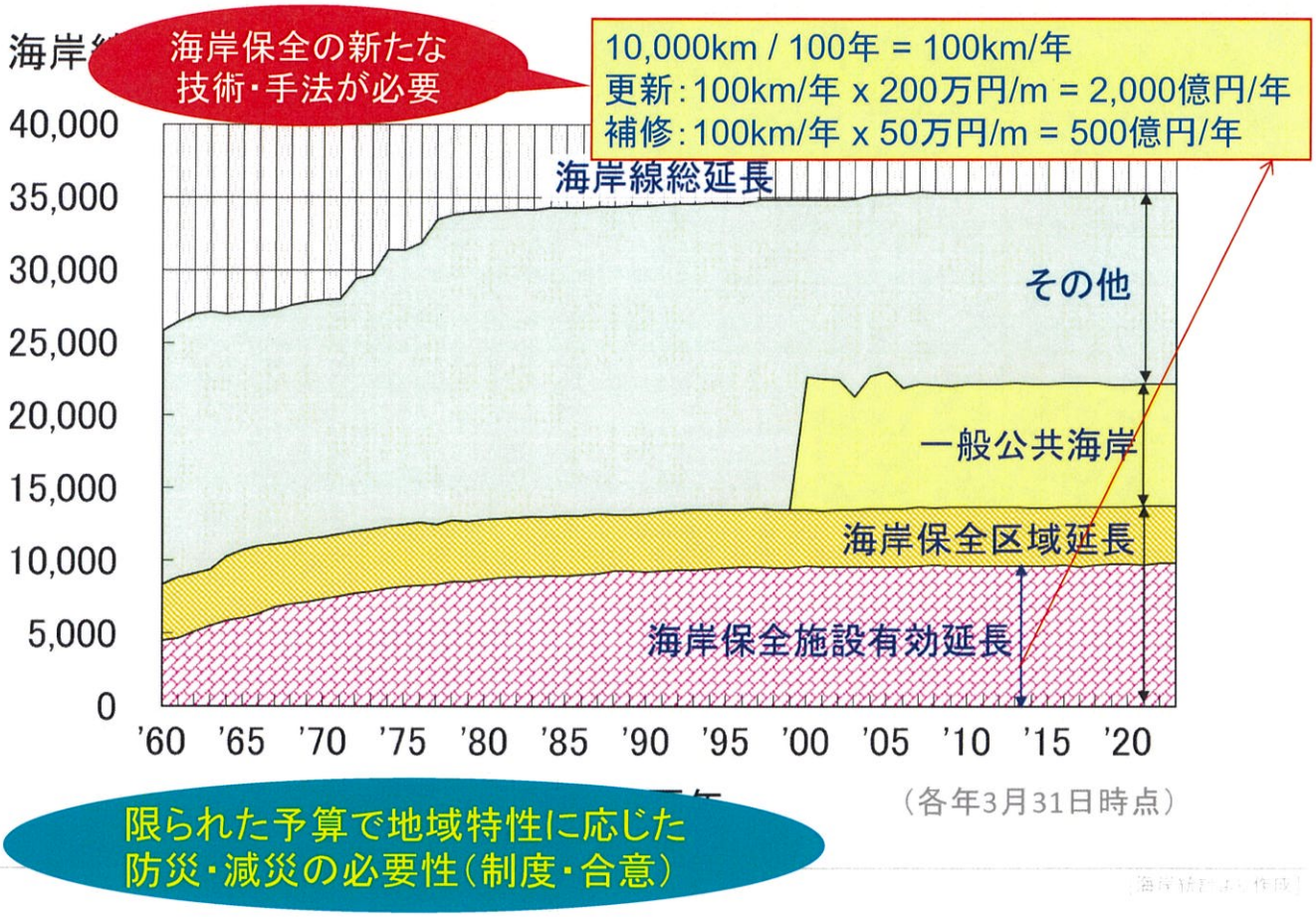
砂礫海岸の面積変化と平均変化幅

期間	面積変化				砂礫海岸延長	平均変化幅			
	侵食	堆積	正味損失	正味消失速度		侵食	堆積	正味減少	正味減少速度
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha/年)	(km)	(m)	(m)	(m)	(m/年)
明治～昭和(70年)	12,539	7,480	5,059	(-47) 72	9,499.10	13.2	7.9	5.3	0.076
昭和～平成(15年)	4,605	2,210	2,395	(-145) 160		4.8	2.3	2.5	0.168
平成4～18（14年）	282	253（/年）		(+28)					～1/6 m/年

前期（1978～1992）の汀線変化（箇所）

後期（1992～2006）の汀線変化（箇所）		後退	変化なし	前進	その他
	後退	11,162	59	10,477	1,283
	変化なし	420	18	303	15
	前進	12,833	41	7,737	1,697
	消失	2,512	0	0	0
	その他	1,061	3	1,051	0

日本の海岸線の変遷と今後の維持費用



講演終わり

今後の海岸保全における技術・計画の課題

- 災害を予測する（自然現象）
  - 地震動予測（地盤、液状化）、建築・構造物の振動
  - 統合水理モデル（津波・高潮・波浪の浅水変形・屈折・回折・反射/砕波/打上げ・越波・越流/遡上）
  - 構造物の被災メカニズム解明・予測（流木・船舶・津波段波力・越流力、盛土流出（時間影響）
  - 海岸侵食・地形変化、面的防護
  - 気候変動の影響・複合災害
- 防災施設を建設する（構造物）
  - 構造物の開発・建設：建築物・工法
    - 粘り強い構造（超過外力への時間応答）
    - 気候変動への適応（経年変化する外力への適応）
    - 漂砂制御（透過型）・養浜工法（流砂系の総合的土砂管理：流砂量配分図）
  - 材料の開発、設計技術（外力、構造、基礎）、健全性評価（維持・管理）、修繕・更新
- 災害を予報する・観測する（災害時情報）
  - 統合水理モデルとAI化：（災害時の瞬時対応）波浪・高潮予報、津波予報、浸水予報
  - 浸水域・浸水深の遠隔測定
- 災害を避ける（避難）
  - 人命：避難開始時刻・経路、防災訓練、自動車避難、IT（エージェント、XR）利用
  - 生産：工事現場の判断情報、個別設備対策（タンクの強化・固定…）、堤外地の減災
- 防災計画・管理（計画）
  - 土地利用計画・誘導、効果の相対評価・施設整備の優先順位、事前復興・復興管理