

津波対策における二段防災と その展開

高知工科大学

学長 磯部雅彦

海岸災害とトピック

- 津波

- レベル1・2津波、南海トラフ地震、日本海溝・千島海溝

- 高潮（＋高波）

- 高潮浸水想定区域図、最大規模の台風（室戸台風級）、洪水の同時発生

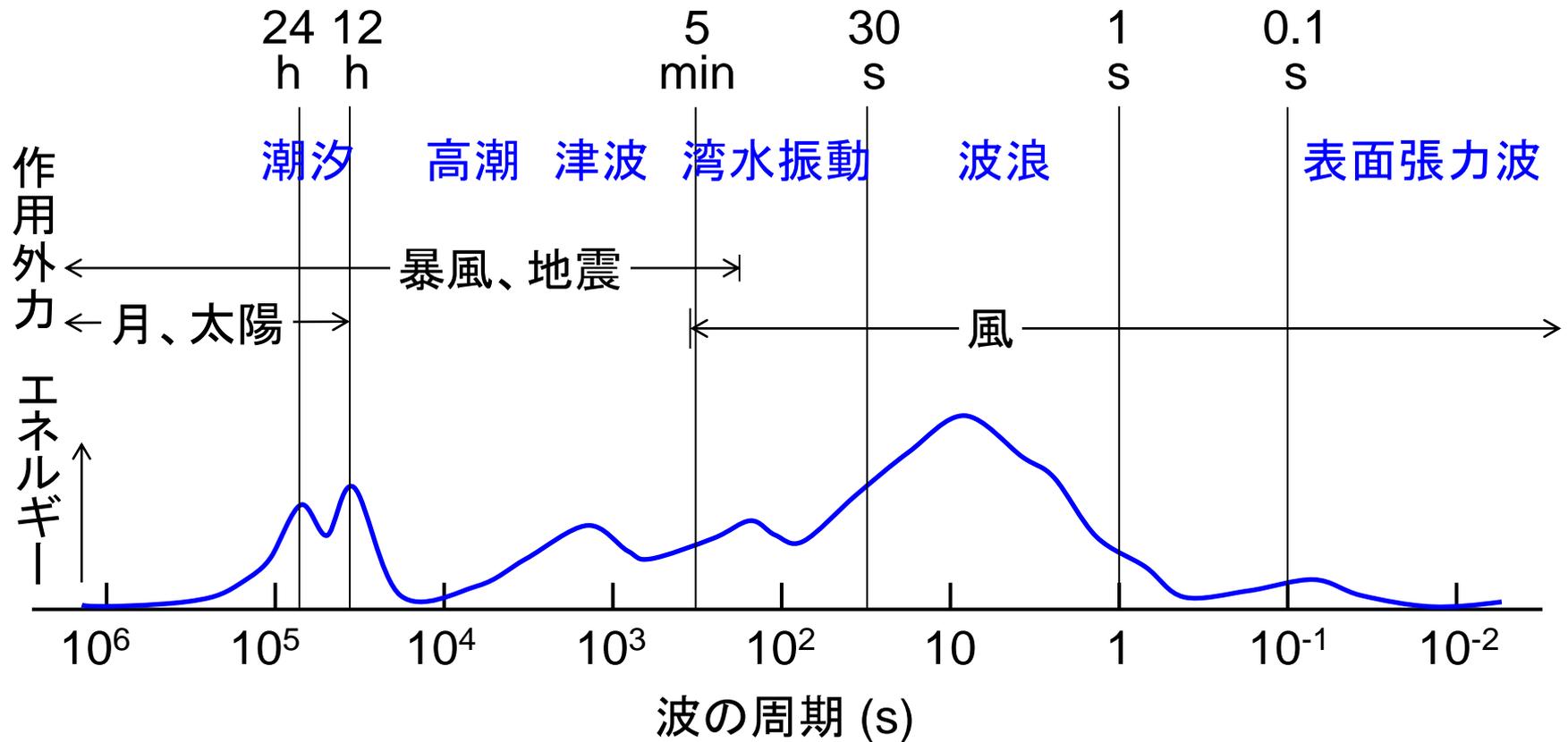
- 海岸侵食

- 土砂収支、総合土砂管理

- 地球温暖化

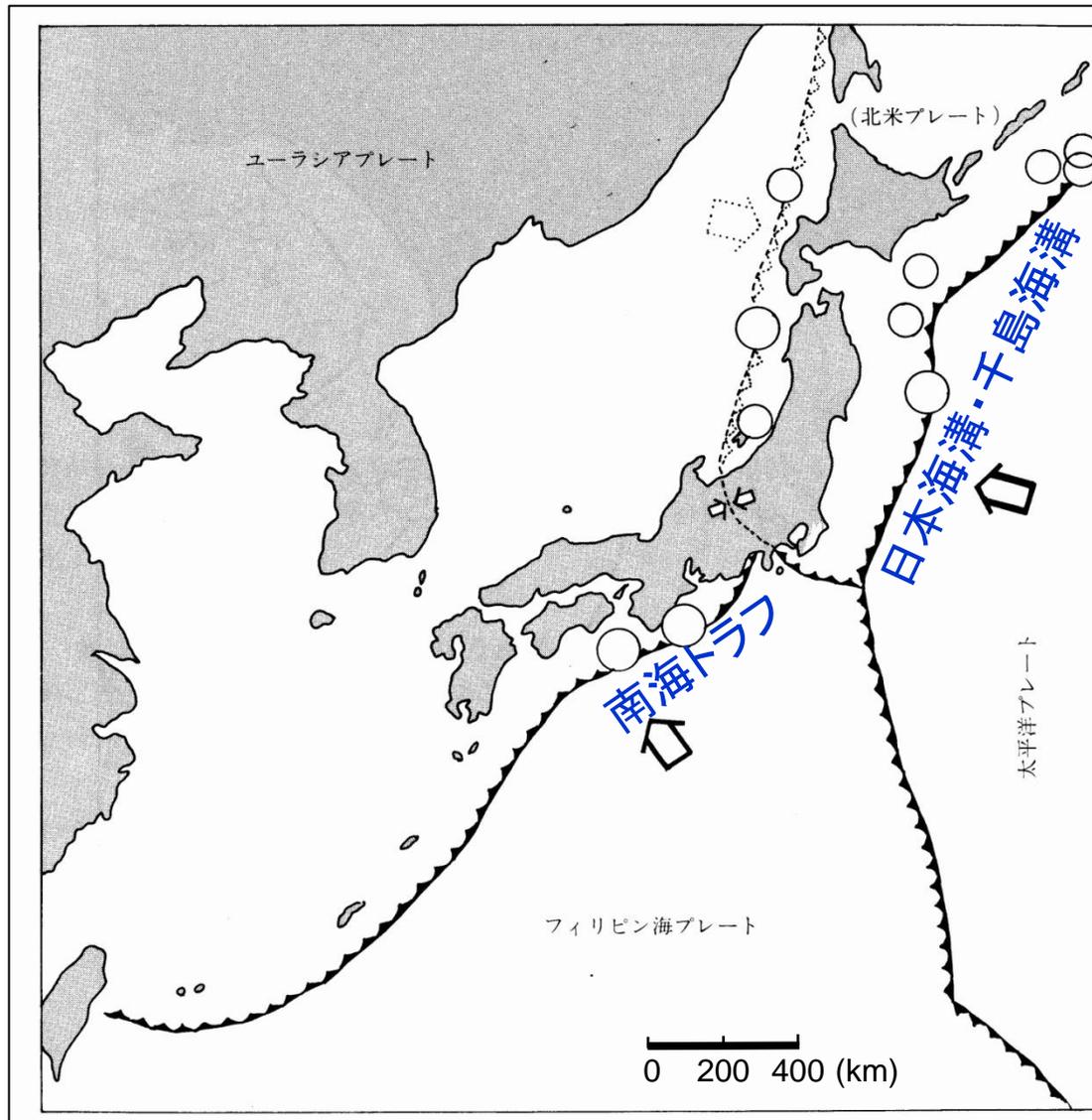
- 海面上昇、台風巨大化

海の波の周期による分類例



巨大津波発生メカニズム

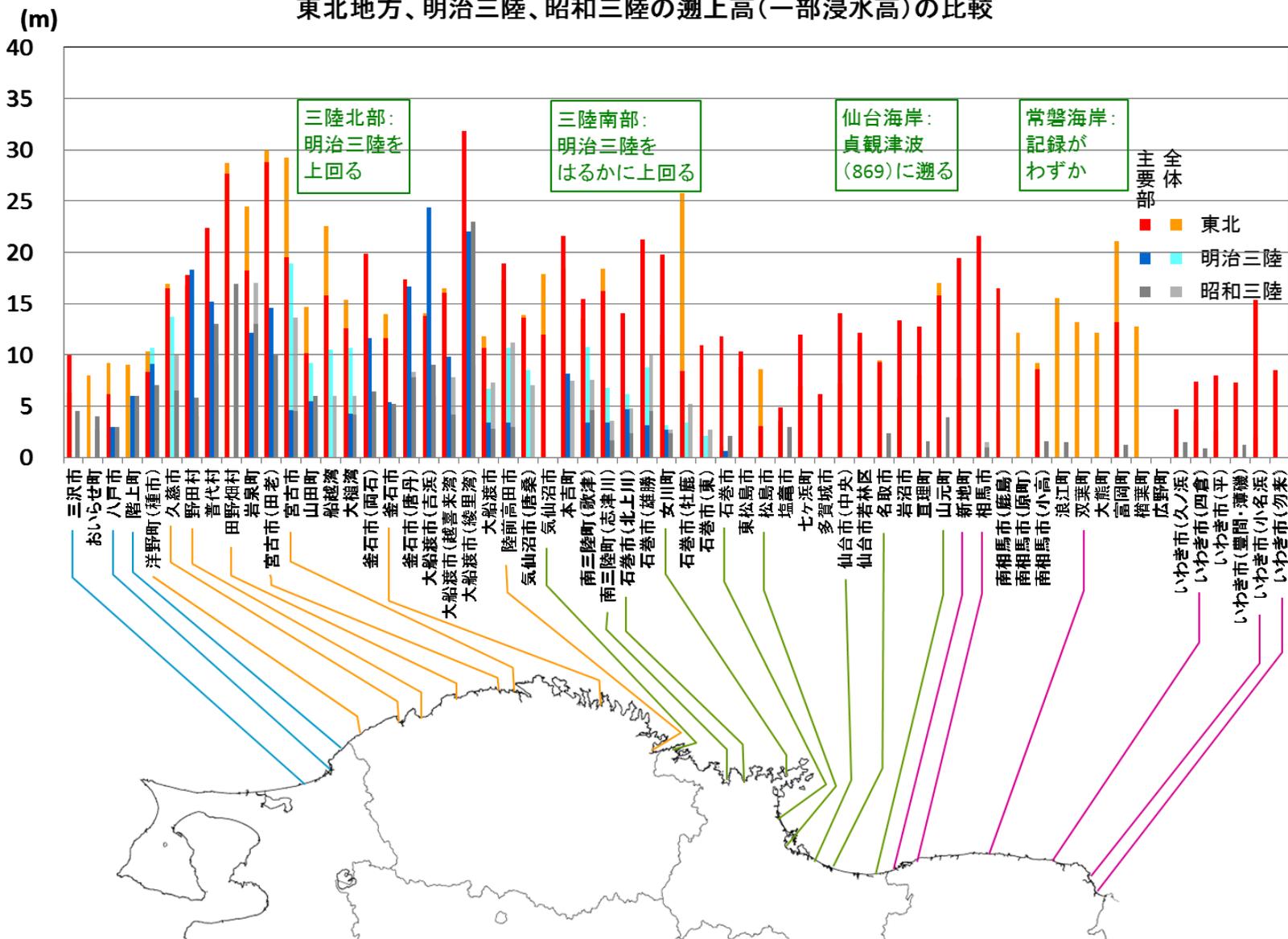
プレート運動



[渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧(第2版), 248pから作成]

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

東北地方、明治三陸、昭和三陸の遡上高(一部浸水高)の比較

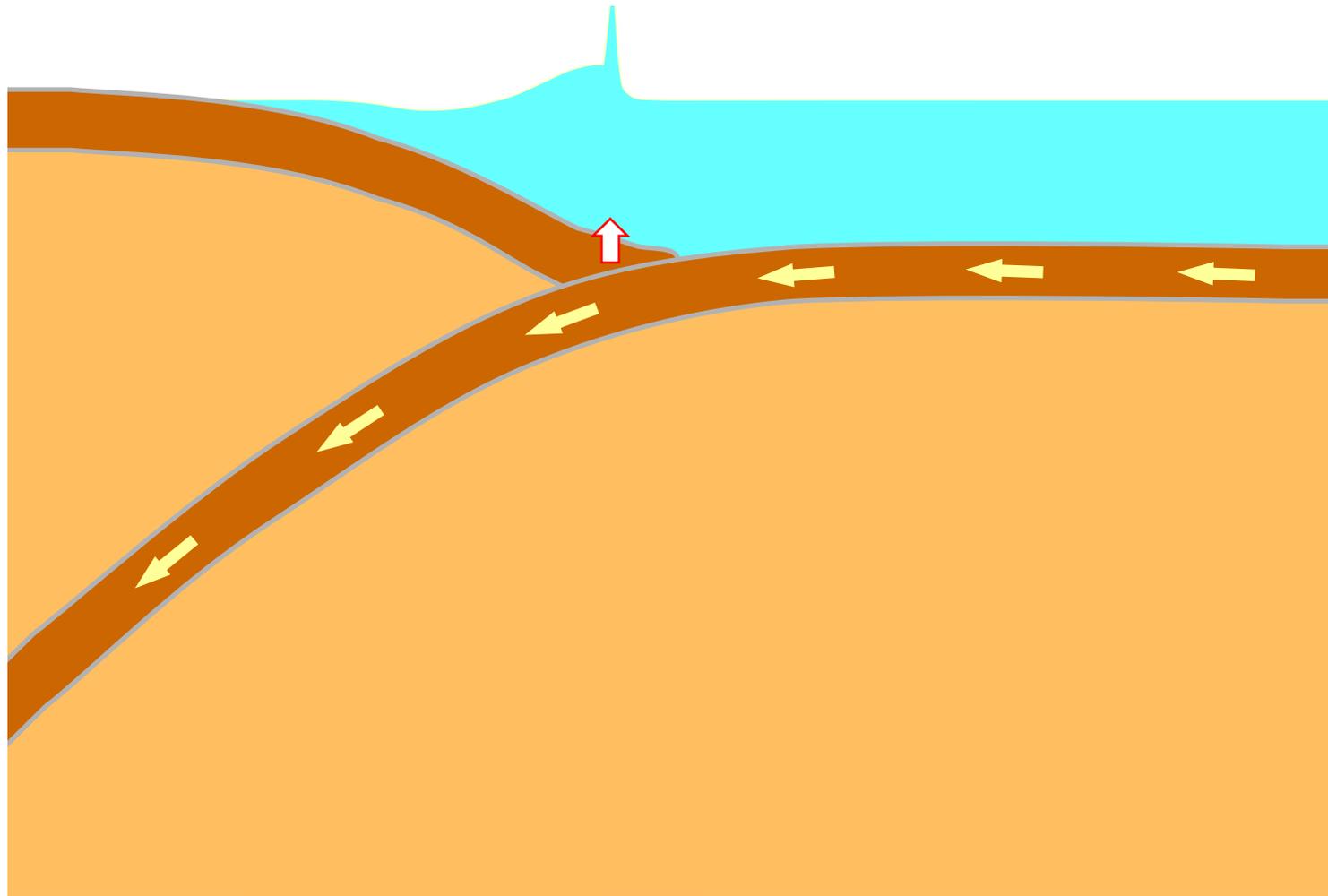


三陸地方で発生した過去の地震

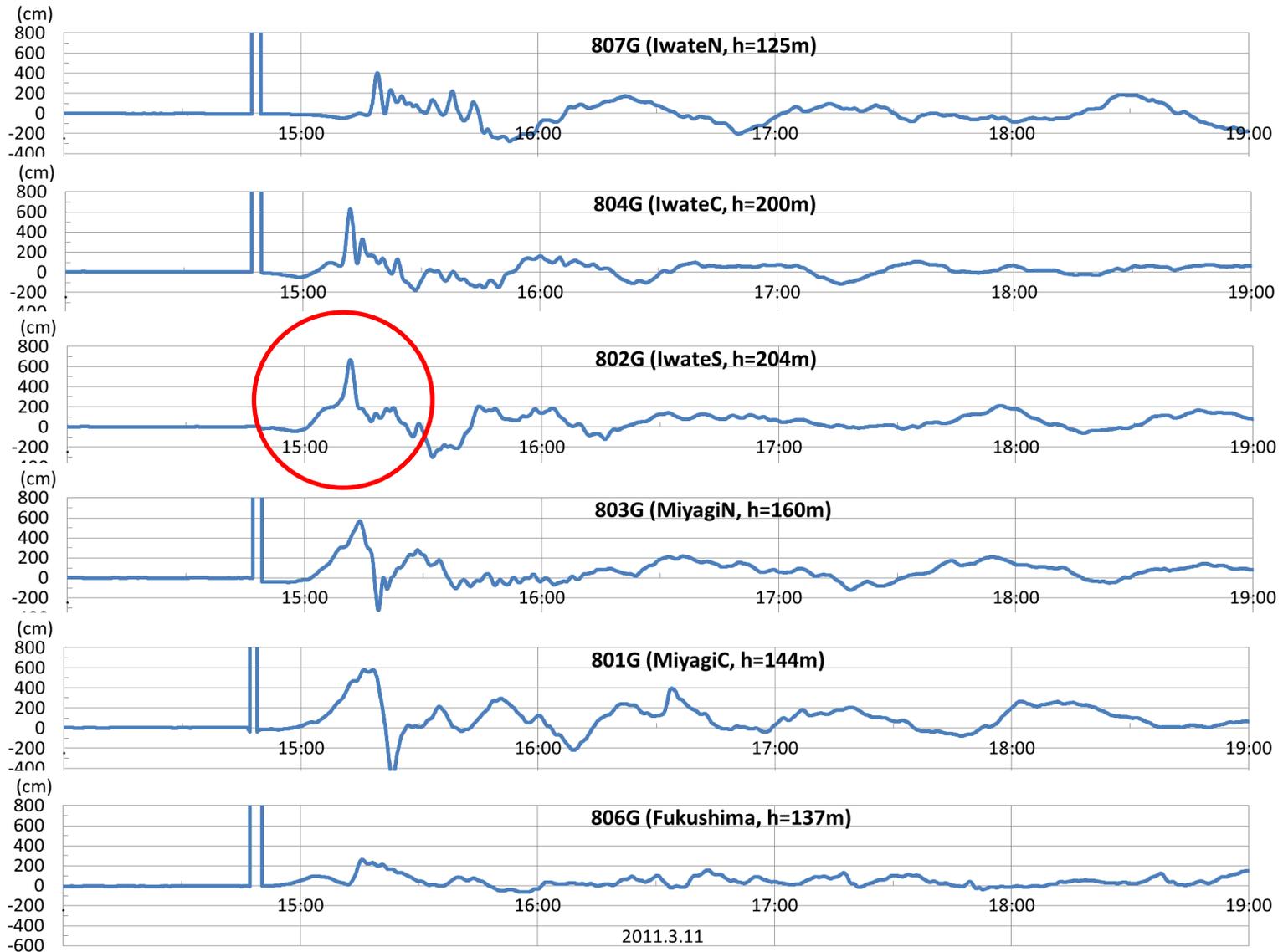
年月日	名称	地震 M	最高遡上高(T.P.m)	死者 (人)	家屋	
					全・半壊、流出 (戸)	浸水(戸)
869.7.13	貞観津波	8.6		1,000		
1611.12.2	慶長三陸 地震津波	8.1	15-20 (田老等、岩手県)		田老、小湊、下 撰待、宮古...	比率
1896.6.15 (19:32)	明治三陸 地震津波	6.8	24.4 (三陸町、岩手県)	22,072	10,393	3,614 2
1933.3.3 (2:30)	昭和三陸 地震津波	8.1	23.0 (綾里村、岩手県)	1,522 (1,542)	5,851	4,018 0.5
2011.3.11 (14:46)	東日本 大震災	9.1	38.4 (重茂、岩手県宮古市)	15,883 (2,654)	398,868	0.05

地震による津波の発生

極めて高いが、短時間・遠方



GPS波浪計による沖合での津波波形



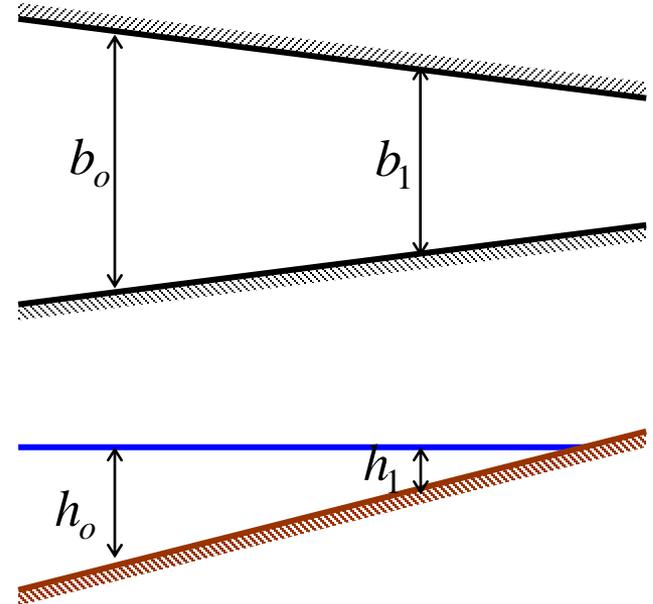
津波の伝播・増幅・遡上

*津波の増幅

$$(Ec_g b)_o = (Ec_g b)_1 \quad c_g = cn = \sqrt{gh}$$

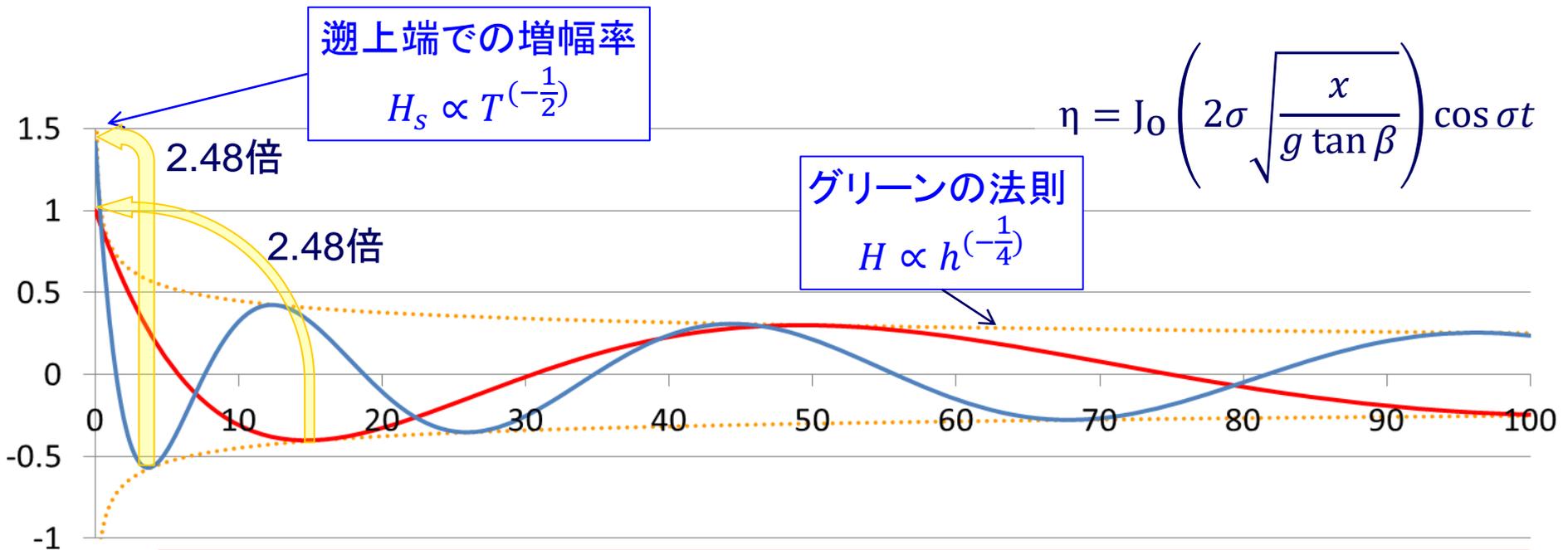
$$\rightarrow \frac{1}{8} \rho g H_o^2 \cdot \sqrt{gh_o} \cdot b_o = \frac{1}{8} \rho g H_1^2 \cdot \sqrt{gh_1} \cdot b_1$$

$$\rightarrow \frac{H_1}{H_o} = \left(\frac{h_1}{h_o} \right)^{-\frac{1}{4}} \left(\frac{b_1}{b_o} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{Greenの法則})$$

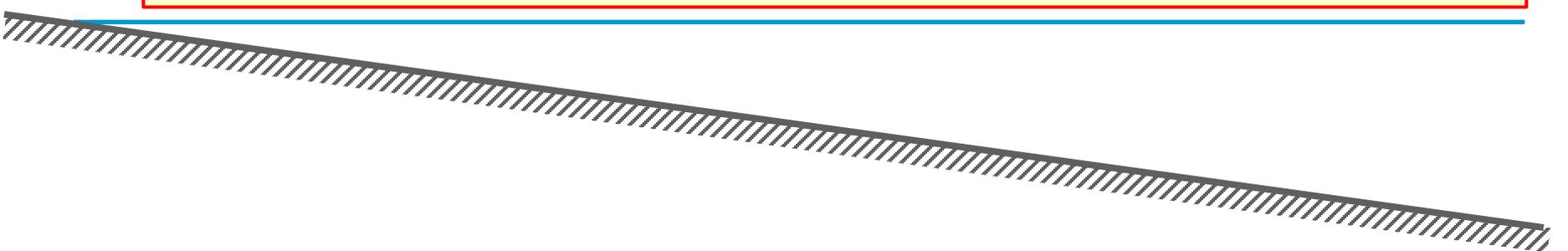


水深が1/16 (1,600m→100m) ⇒ 波高が2倍
幅が1/4 (1,000m→250m) ⇒ 波高が2倍

斜面上の線形重複長波の波形



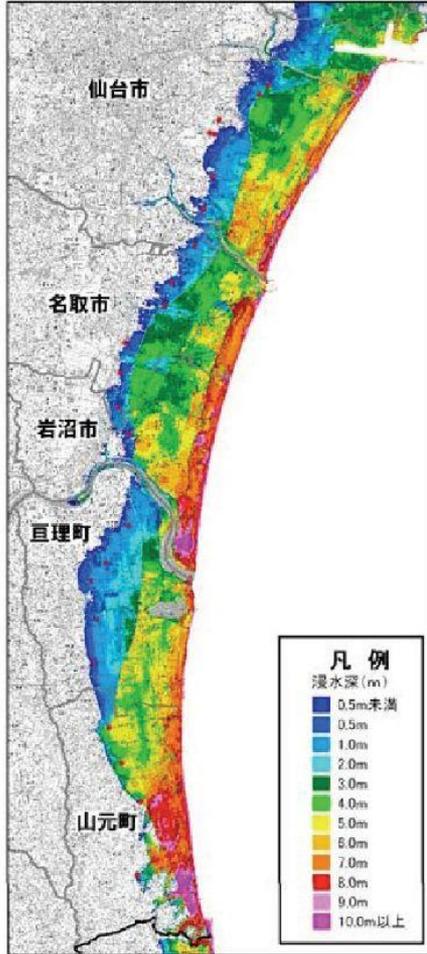
$T = 5\text{min}$, $\tan\beta = 1/100$, $h = 1,600\text{m}$ での入射津波高さに対して
 遡上高は18.3倍 ($T = 30\text{min}$ ならば7.5倍) * 摩擦などにより実際には異なる



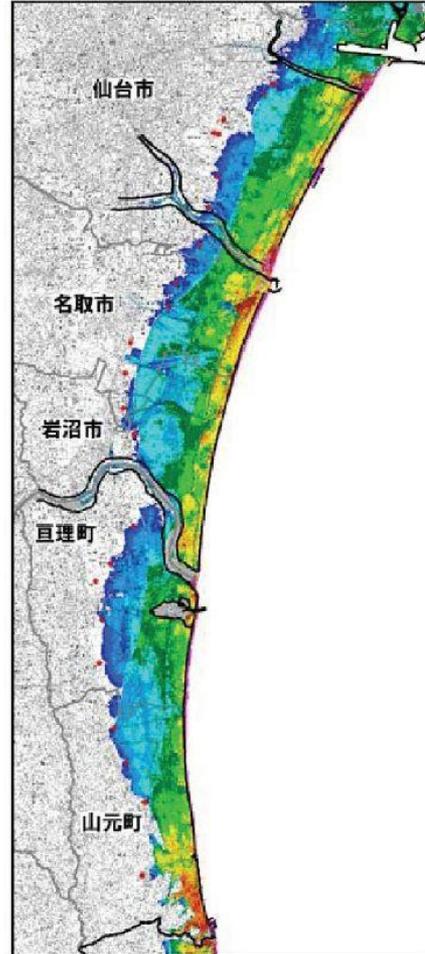
津波災害の特徴

仙台平野の津波浸水高の計算と実測の比較

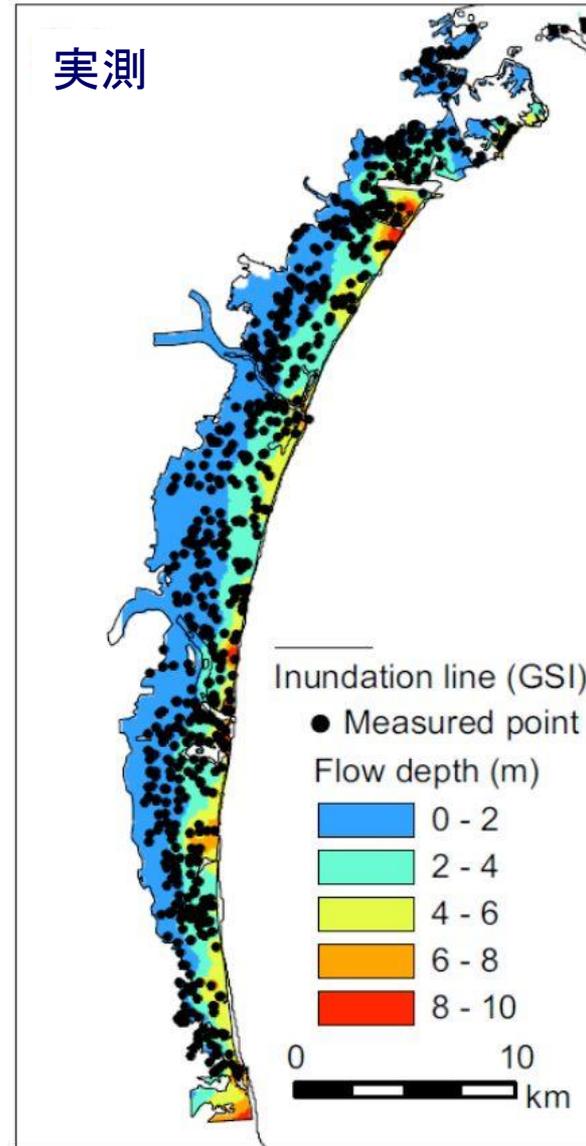
計算(堤防なし)



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

海岸侵食状況と海岸堤防被害の比較

仙台湾南部(坂元駅地先)

津波前



津波後



仙台湾北部(深沼海水浴場)

津波前



津波後



海岸堤防の被災



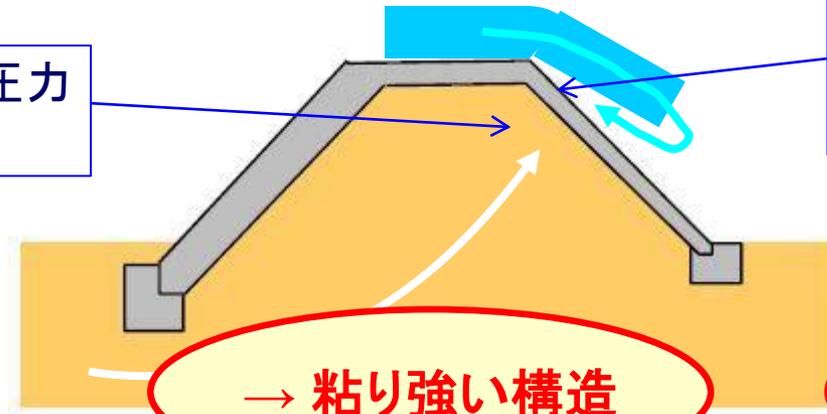
裏法の強化
3面の一体化
堤体幅の増大
水たたきの延長

裏法の剥離の可能な原因

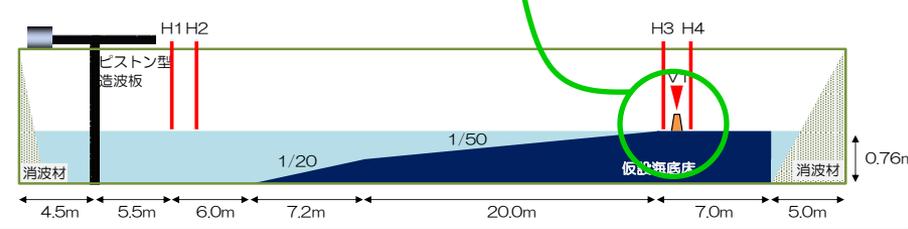
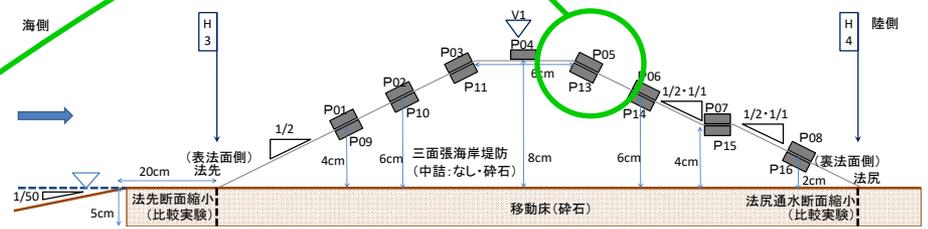
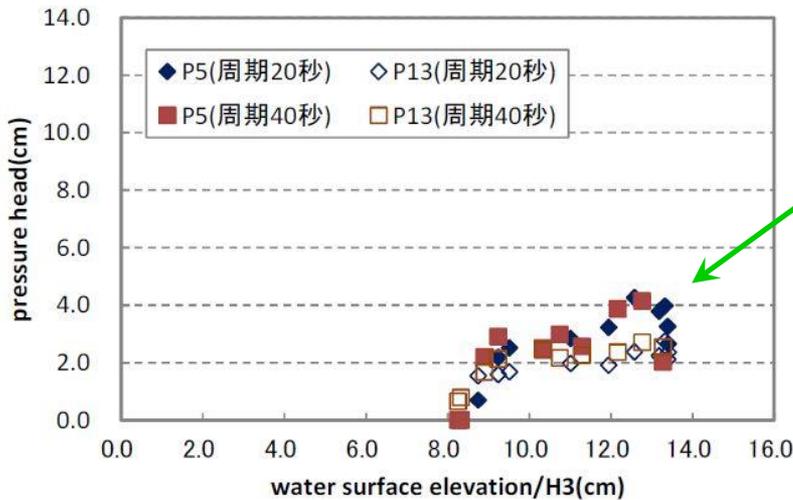
浸透流中の圧力
 $i = v/k$

遠心力による負圧の発生

$$\alpha = \frac{v^2}{r} > g$$



最大津波波力は存在するか？



(a)裏法肩上部における上面 P5 および下面 P13

津波に対する”二段防災”

津波に対する「二段防災」

- 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:**2レベルの津波**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

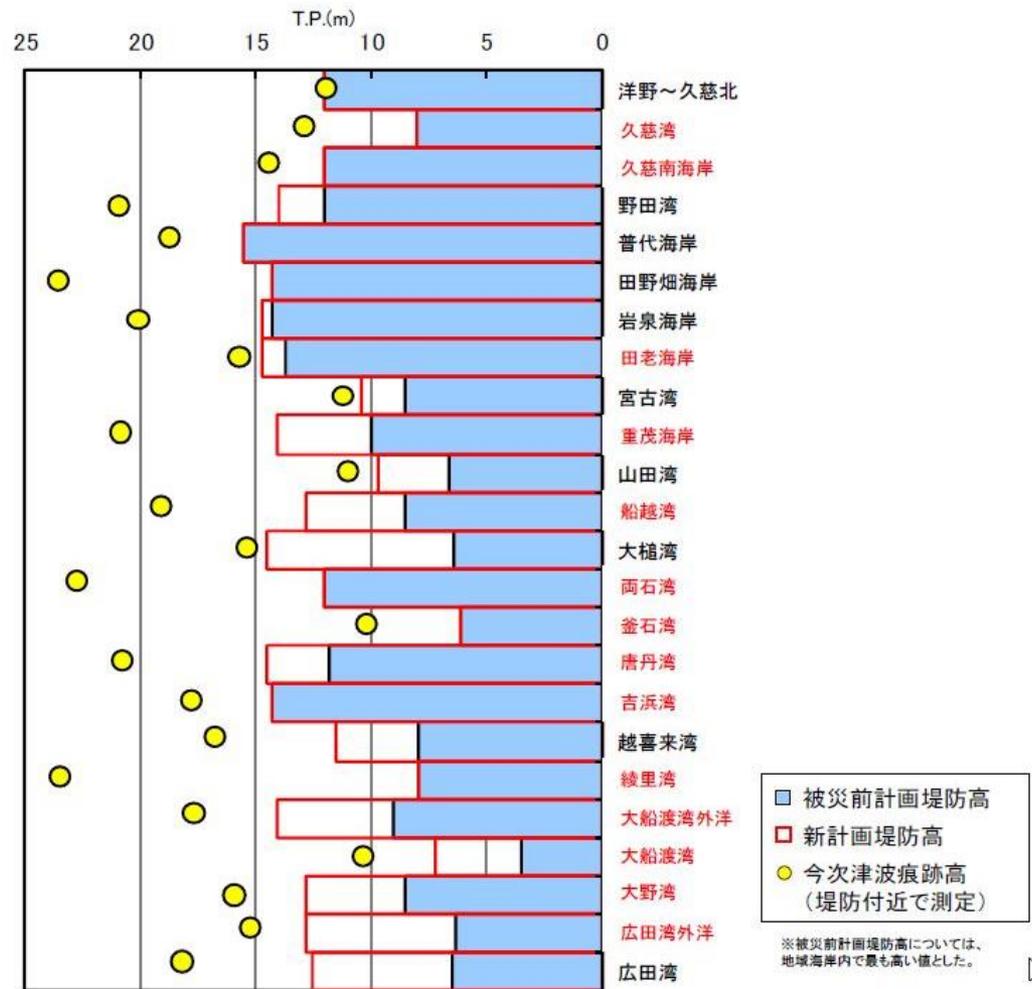
● **最大クラスの津波(レベル2津波)** → [津波防災地域づくり法]

- 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

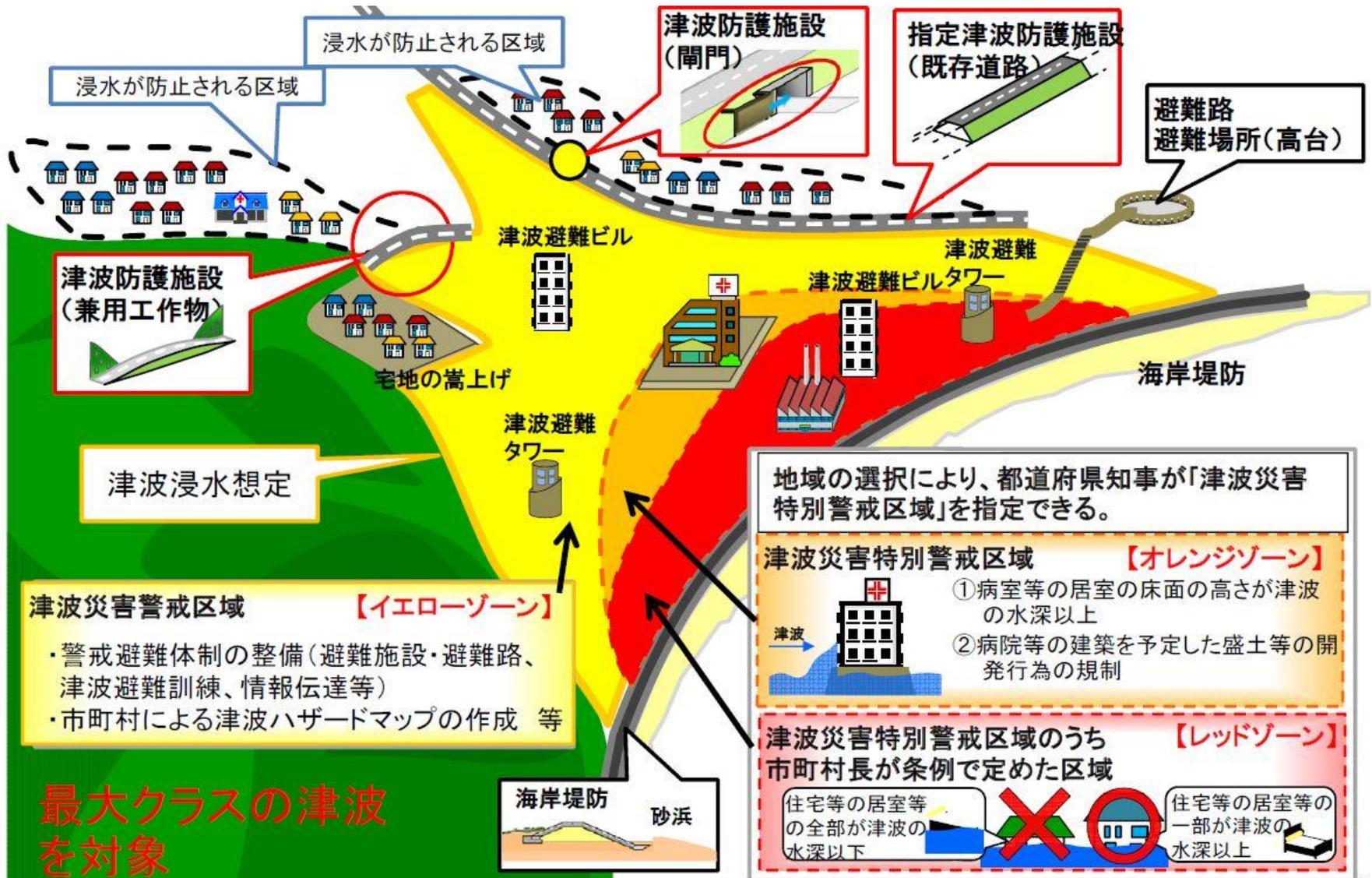
岩手県沿岸の海岸堤防高の設定



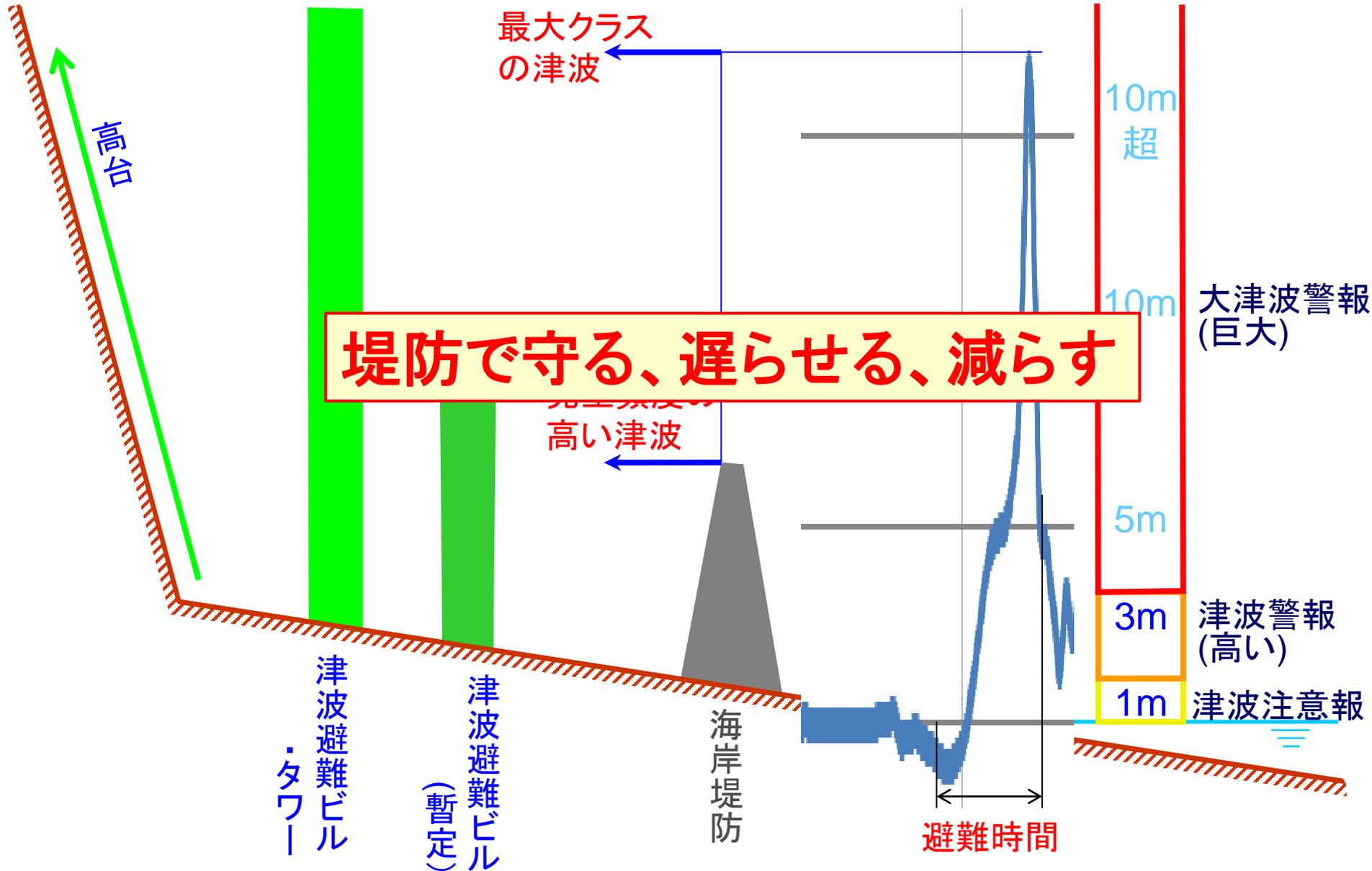
※今回決定分 (H23.10.20) : 朱書き (14海岸 / 24海岸)
 ※前回決定分 (H23.9.26) : 黒書き (10海岸 / 24海岸)

津波防災地域づくり法

(2011.12)



津波避難(減災)態勢の整理



高知県における 津波対策の現状

南海トラフで発生した過去の地震

間隔 (年)	年月日	名称	地震 M	最高遡上高 (T.P.m)	死者(人)	家屋	
						全・半壊、 流出(戸)	浸水(戸)
203	684.11.29	白鳳地震	8 ¹ / ₄				
212	887.8.26	仁和地震	8.0~8.5				
(186)	1099.2.22	康和南海地震	8.0~8.3				
(176)	(1185)	文治?					
(137)	1361.8.3	正平南海地震	8 ¹ / ₄ ~8.5				
(107)	(1498?)	明応?					
102	1605.2.3	慶長南海地震	7.9	8~10* (佐喜浜、高知県)	2,400以上		
147	1707.10.28	宝永地震	8.6	8~10 (尾鷲、三重県)	5,000以上	3万以上	
92	1854.12.24	安政南海地震	8.4	7~8 (宇佐、高知県)	3,000	61,000	
今後 30年 (70%)	1946.12.21	昭和南海地震	8.0	5.5 (串本、和歌山県)	1,330	36,529	33,093

*八丈島を除く

昭和南海地震後の高知市内と現在との比較

昭和南海地震後の高知市内



現在の高知市街



レベル2対策：津波避難タワー



高知県南国市

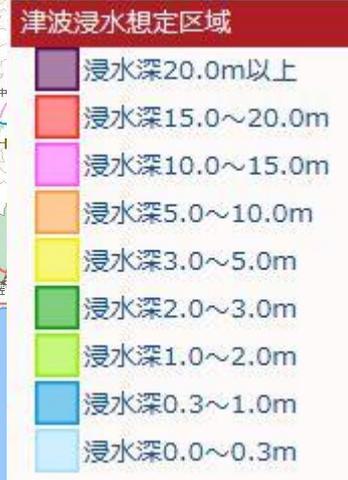
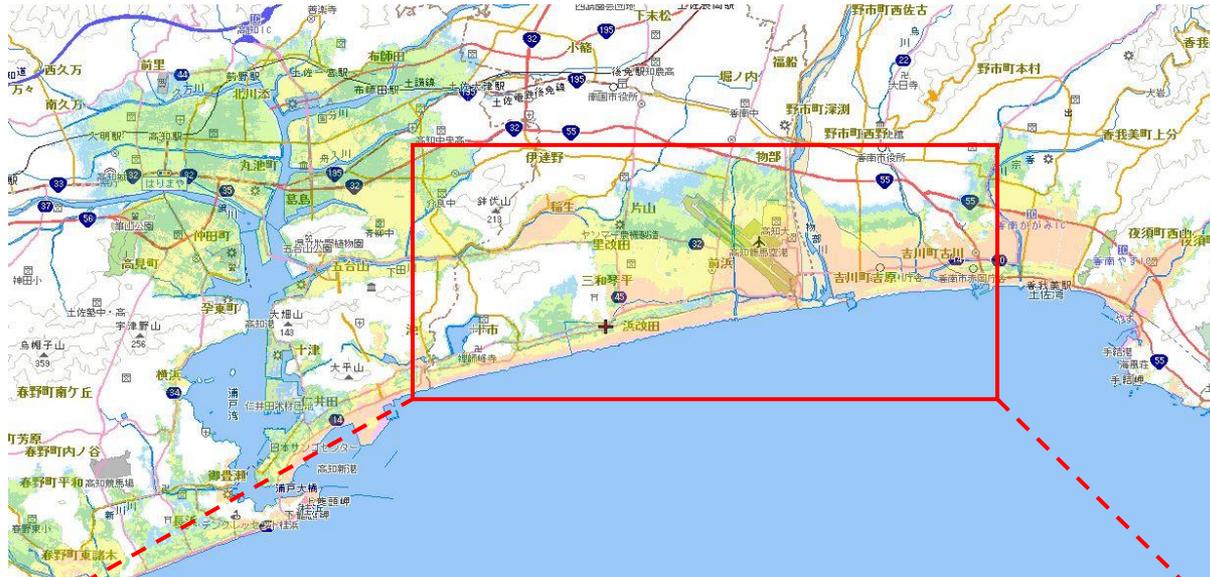


高知県高知市



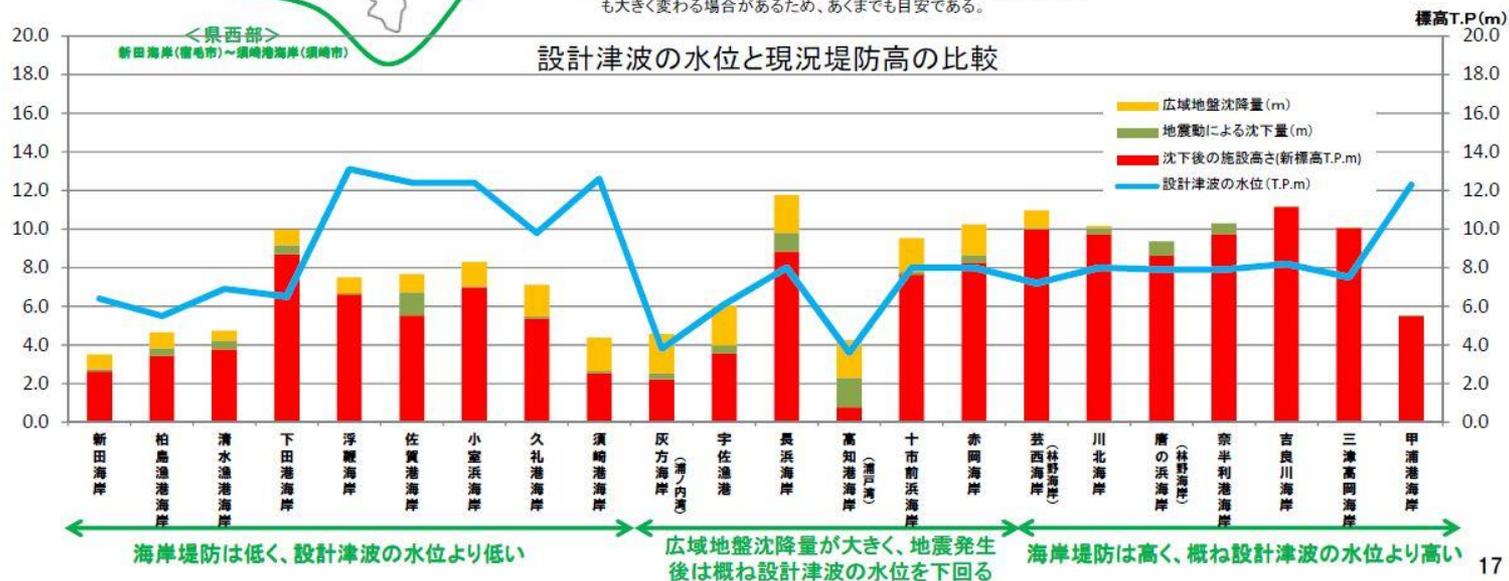
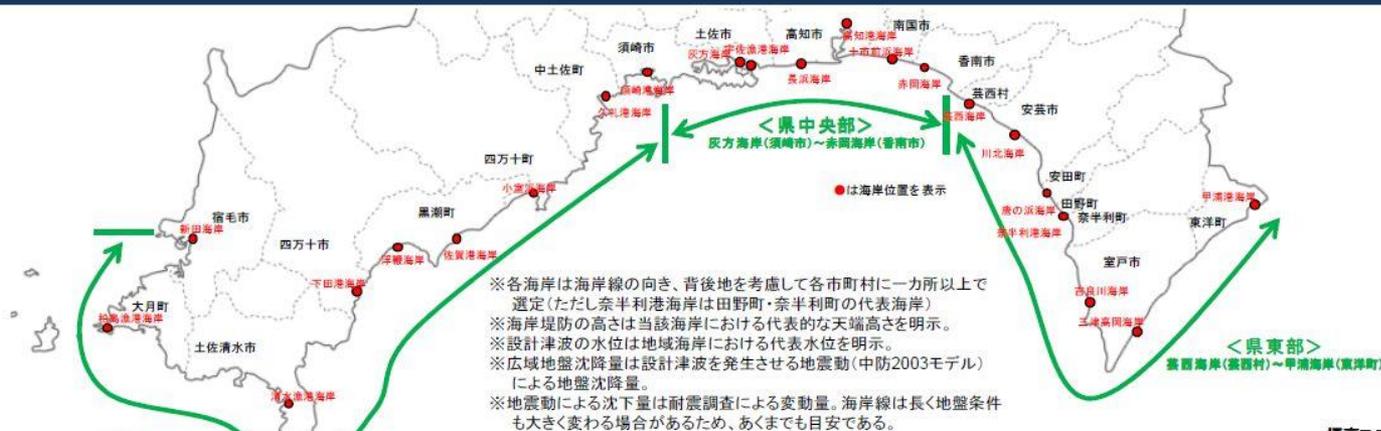
高知県中土佐町

L2津波対策 津波浸水域と津波避難施設の表示

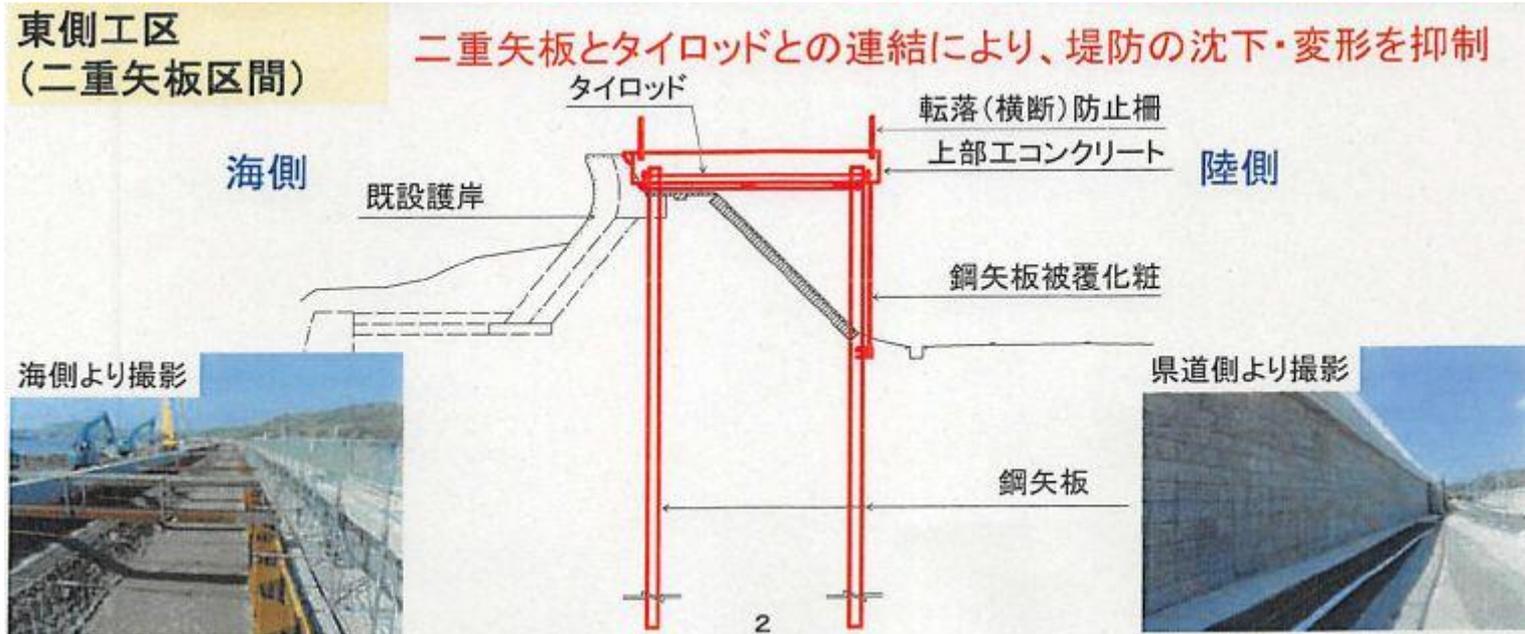


レベル1対策：設計津波の水位の決定（高知県）

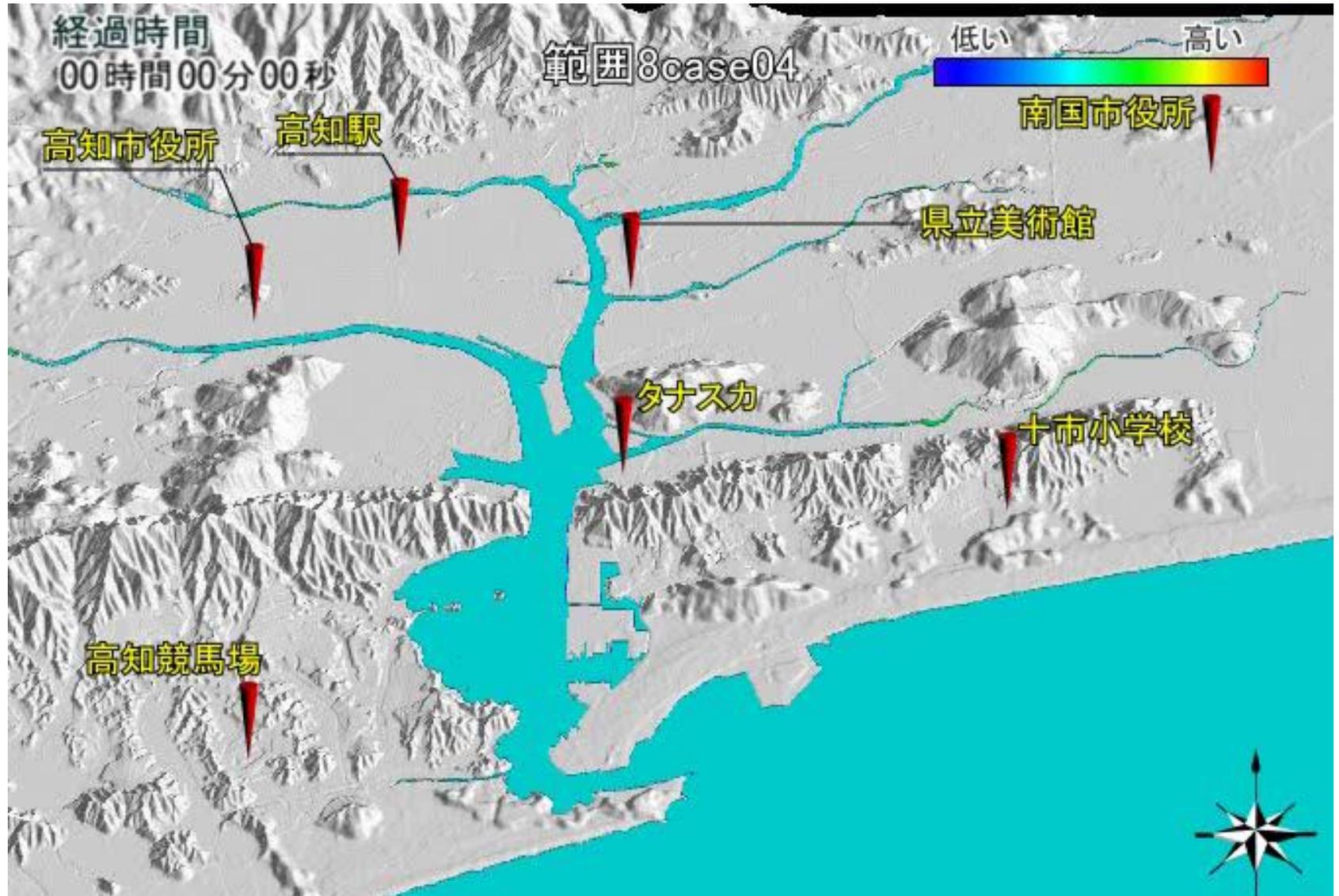
3.4 設計津波の水位について④



L1津波＋粘り強さ対応の海岸堤防の整備



南海トラフ巨大地震津波による高知市の浸水アニメーション



三重防護による高知港のレベル1津波対策

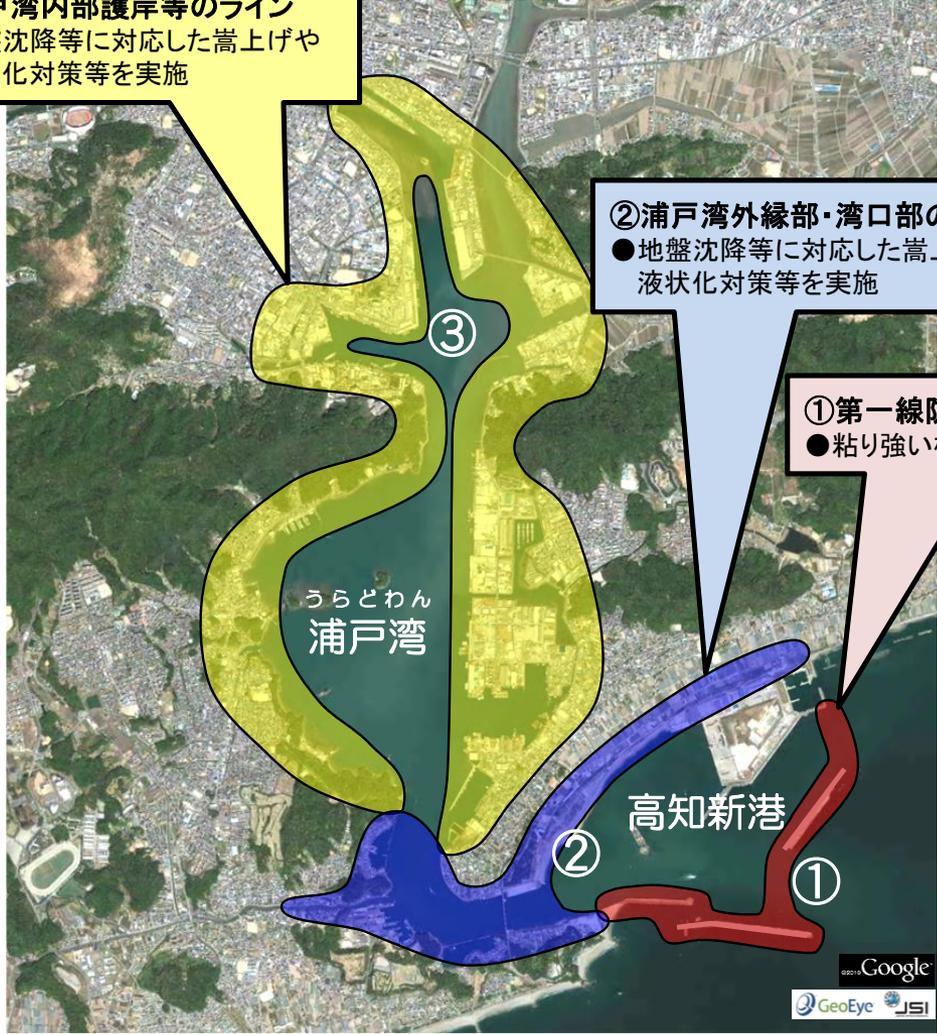
③浦戸湾内部護岸等のライン
●地盤沈降等に対応した嵩上げや液状化対策等を実施

②浦戸湾外縁部・湾口部のライン
●地盤沈降等に対応した嵩上げや液状化対策等を実施

①第一線防波堤のライン
●粘り強い構造への補強等を実施

凡 例

- ①第一線防波堤のライン
- ②浦戸湾外縁部・湾口部のライン
- ③浦戸湾内部護岸等のライン



期待できる効果	
第①ライン	・津波エネルギーの減衰 ・高知新港の港湾機能の保全
第②ライン	・津波の浸入や北上の防止・低減
第③ライン	・護岸の倒壊や背後地浸水の防止等

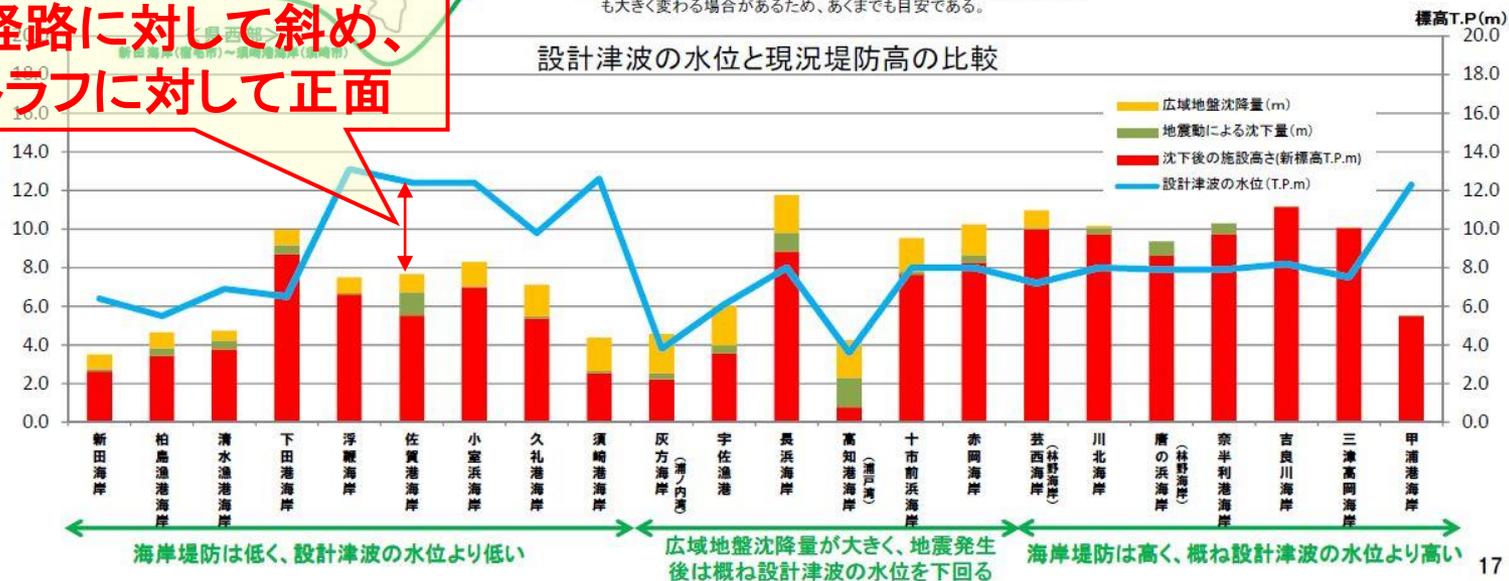
レベル1対策：設計津波の水位の決定（高知県）

3.4 設計津波の水位について④



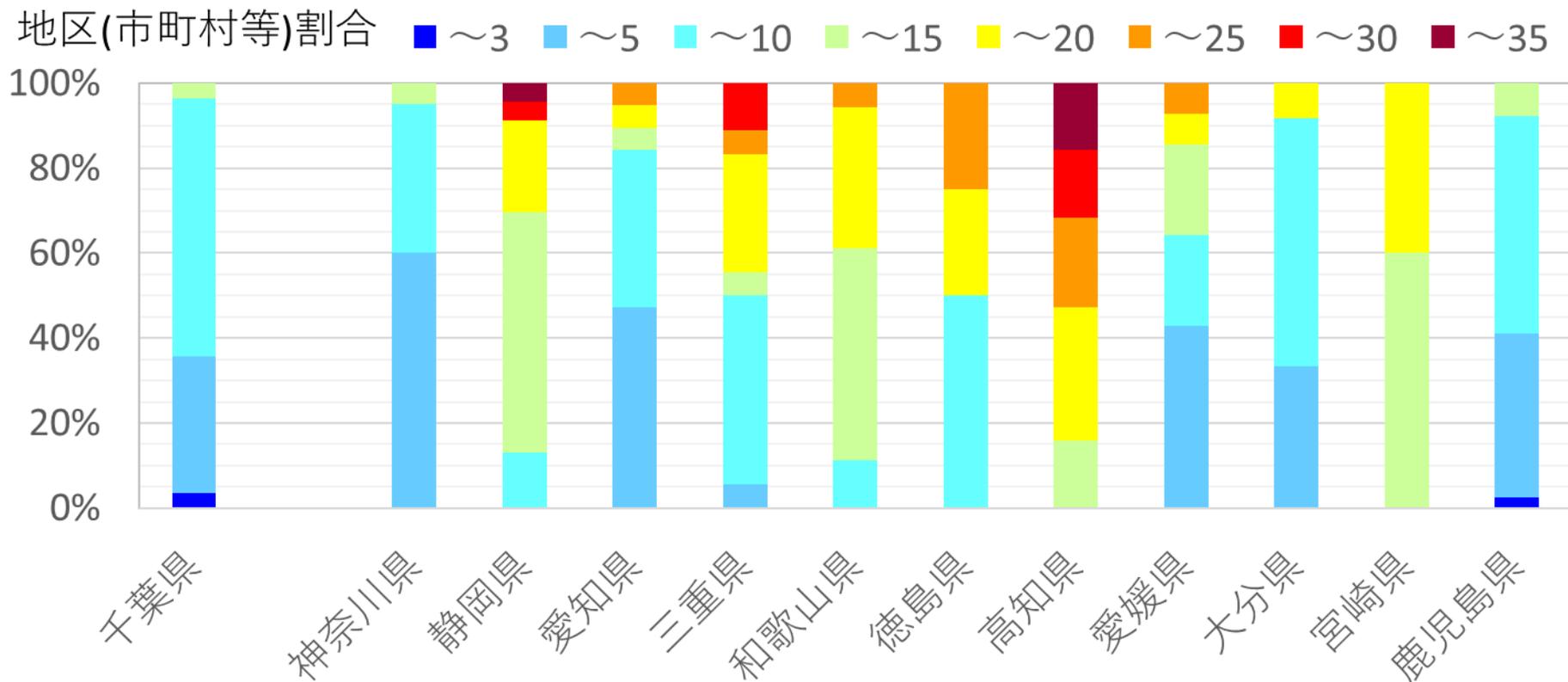
台風経路に対して斜め、
南海トラフに対して正面

設計津波の水位と現況堤防高の比較



都道府県別の津波最大遡上高の地区割合 (東京島嶼部を除く)

最大遡上高の分布

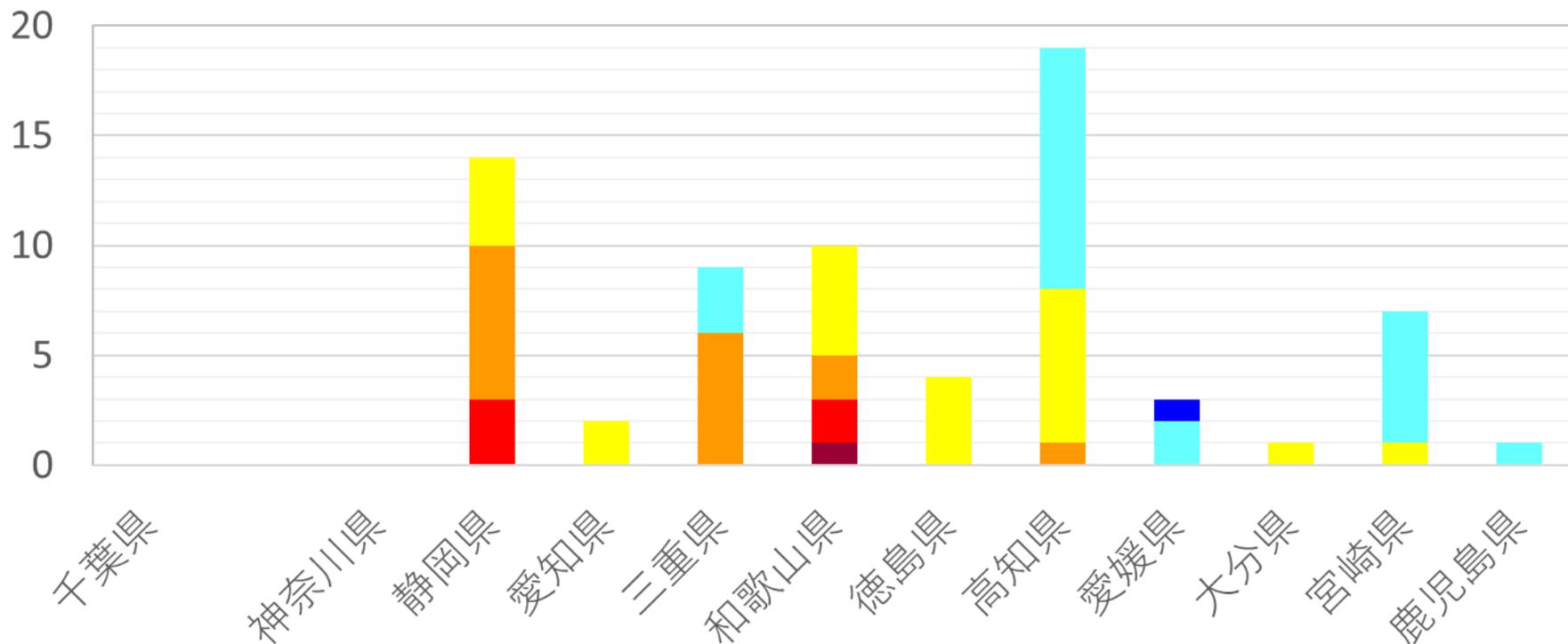


(最大遡上高が10m以上となる都道府県)

津波高10mの到達時間の都道府県別分布(東京島嶼部を除く)

海岸線への10mの津波到達時間の分布

地区(市町村等)数 ■ ~5 ■ ~10 ■ ~20 ■ ~30 ■ ~60 ■ ~90 ■ ~ (分)



(最大遡上高が10m以上となる都道府県)

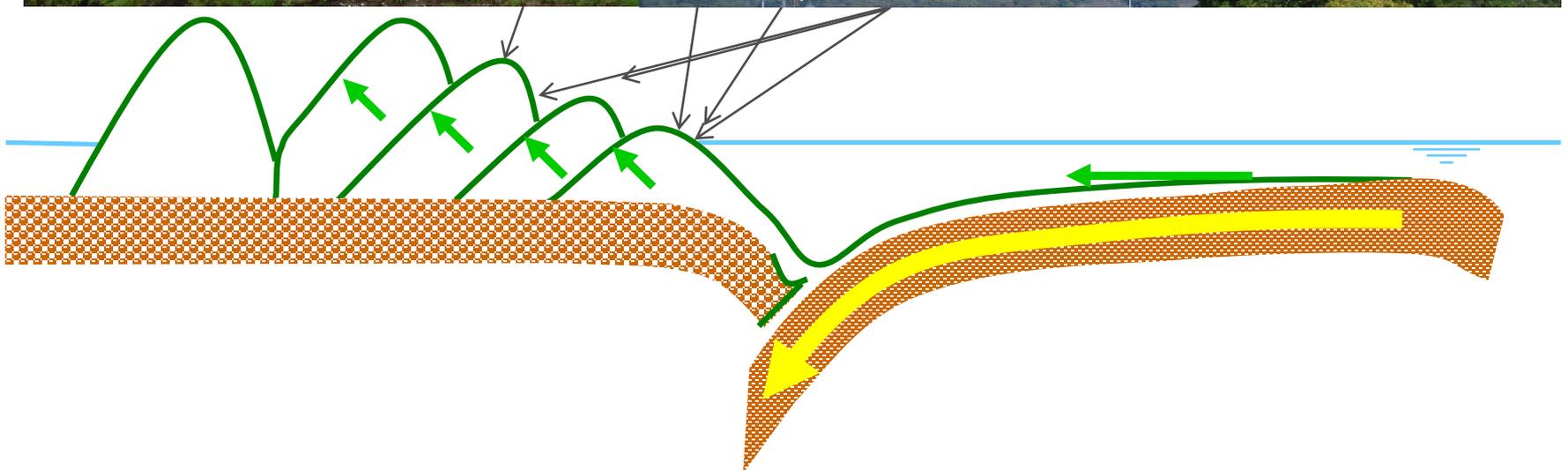
休憩

南海トラフと高知県

四国カルスト



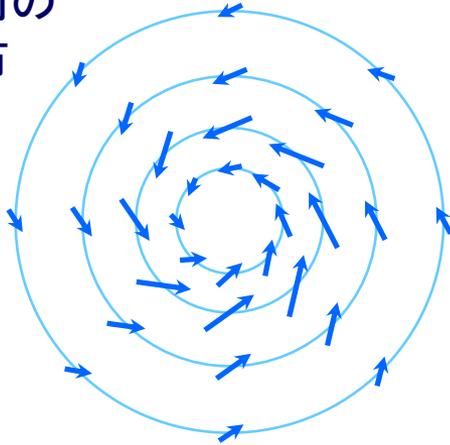
四国山地



これまでの 高潮災害と対策

高潮発生メカニズム

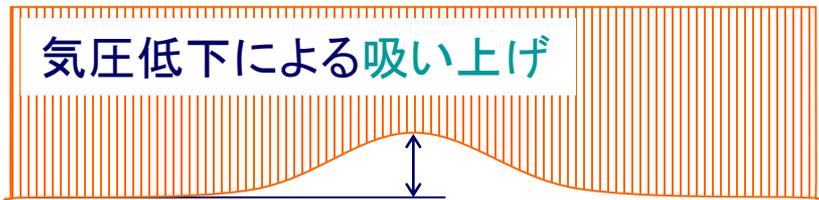
台風域内の
風速分布



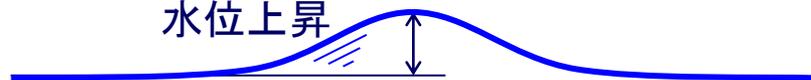
気圧低下



気圧低下による吸い上げ

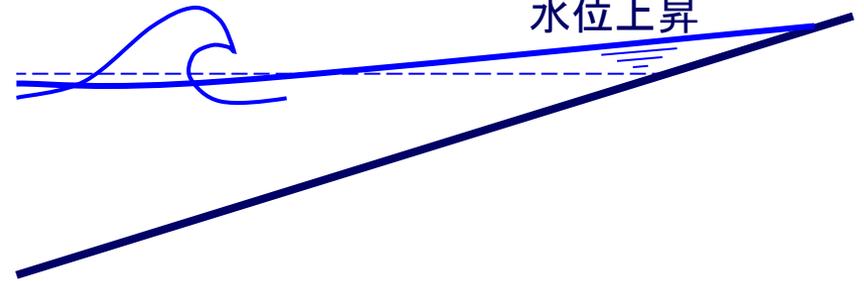


水位上昇



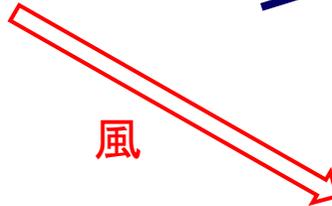
砕波によるウェーブセットアップ

砕波

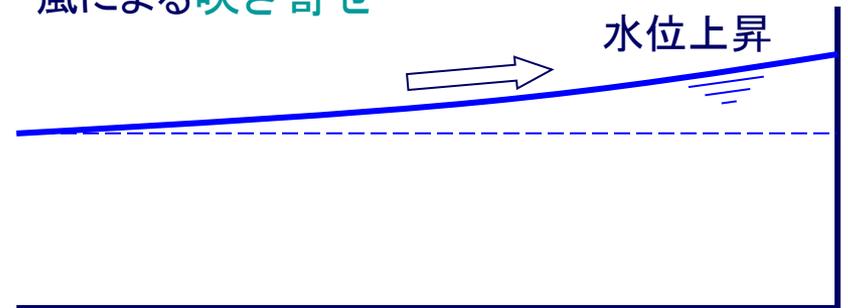


水位上昇

風



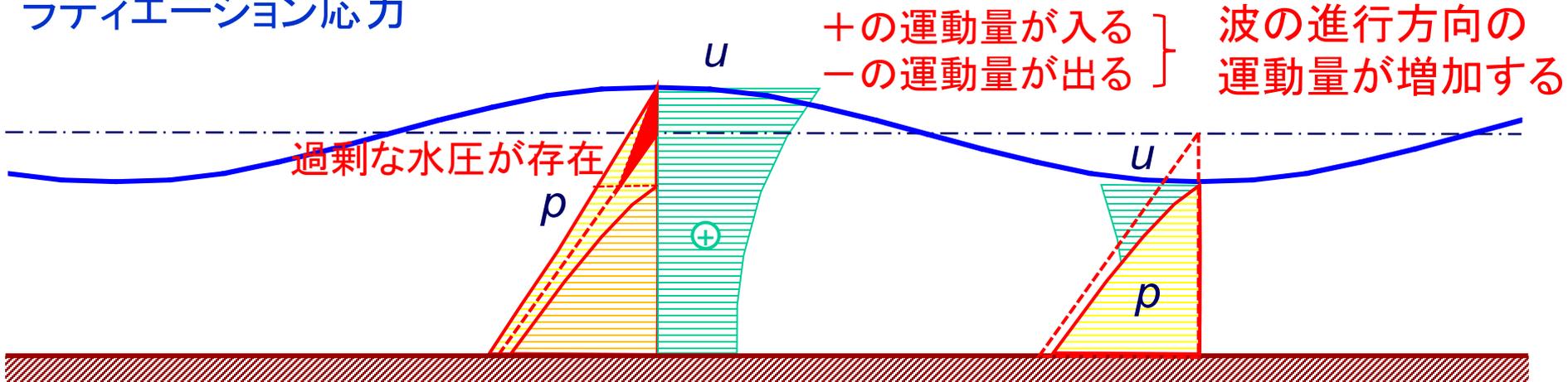
風による吹き寄せ



水位上昇

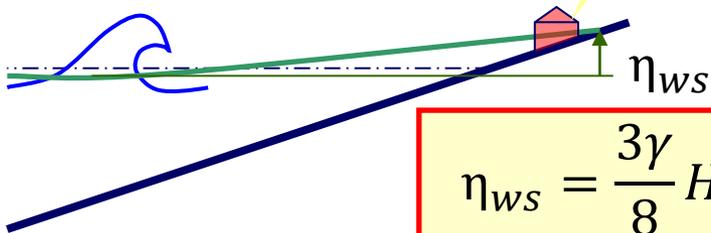
ウェーブセットアップ

ラディエーション応力

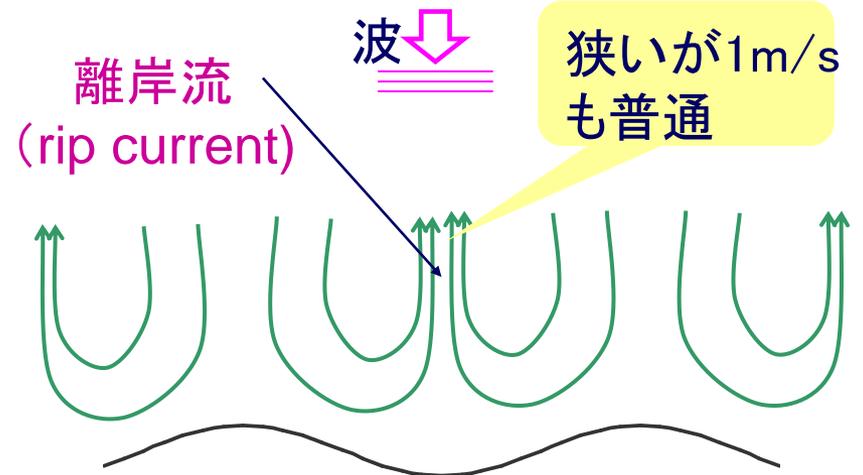


ウェーブ セットアップ

時化時に
注意



(H_B : 碎波波高、
 γ : 碎波波高水深比)



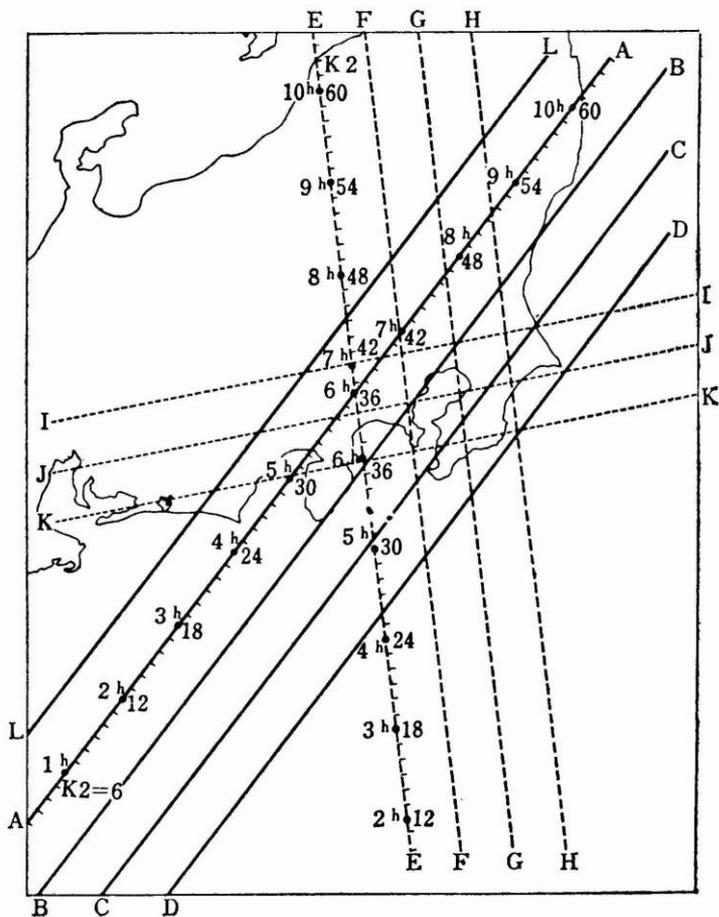
画期をなす高潮災害(国内)

海岸法(1956)制定

三大湾の設計モデル高潮

年月日	台風名	被害区域	上陸時 中心 気圧 (hPa)	最高 潮位 (T.P. m)	高潮 偏差 (m)	死者・ 不明 (人)	全壊・ 半壊・ 流出 (戸)
1917.10.1(T.6)	台風	東京湾	—	3.0	2.1	1,324	60,175
1934.9.21(S.9)	室戸台風	大阪湾	911	3.1	2.9	3,036	92,323
1953.9.25(S.28)	台風13号	伊勢湾	948	2.8	1.5	478	26,071
1959.9.26(S.34)	伊勢湾台風	伊勢湾	929	3.9	3.4	5,098	91,572
1970.8.21(S.45)	台風10号	土佐湾	960	3.1	2.4	13	4,479
1991.9.27(H.3)	台風19号	瀬戸内海	941	2.8	1.7	86*	15,464*
1999.9.24(H.11)	台風18号	八代海	944	3.1	1.8	31	3,972
2004.8.30(H.16)	台風16号	瀬戸内海	954	2.6	1.4	17	71

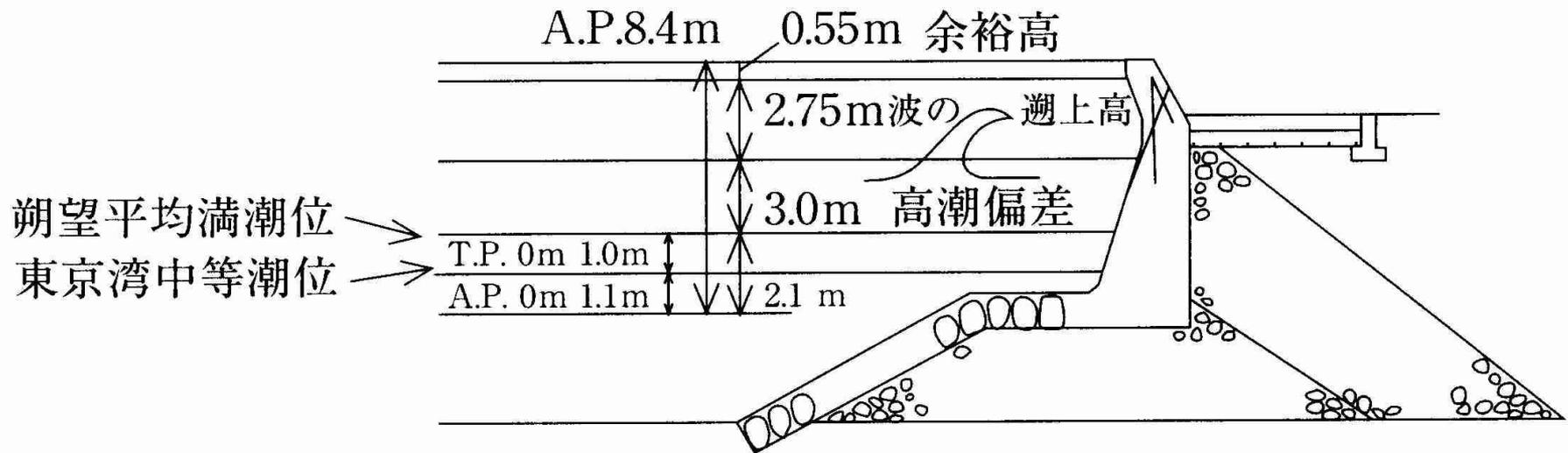
伊勢湾台風が東京湾を襲った場合の高潮予測



経路	最大計算偏差 (cm)		
	千葉	築地	横浜
A	267	178	86
B	244	131	78
C	179	89	62
D	99	59	48
E	199	208	109
F	217	166	111
G	197	131	92
H	146	88	61
I	247	161	72
J	179	147	83
K	82	125	78

東京湾での高潮は気圧低下量(hPa)の3~4倍 (cm)の水位上昇(高潮偏差)になる

高潮堤防の設計天端高



東京の高潮防災施設



外郭堤防
(人工島は別)

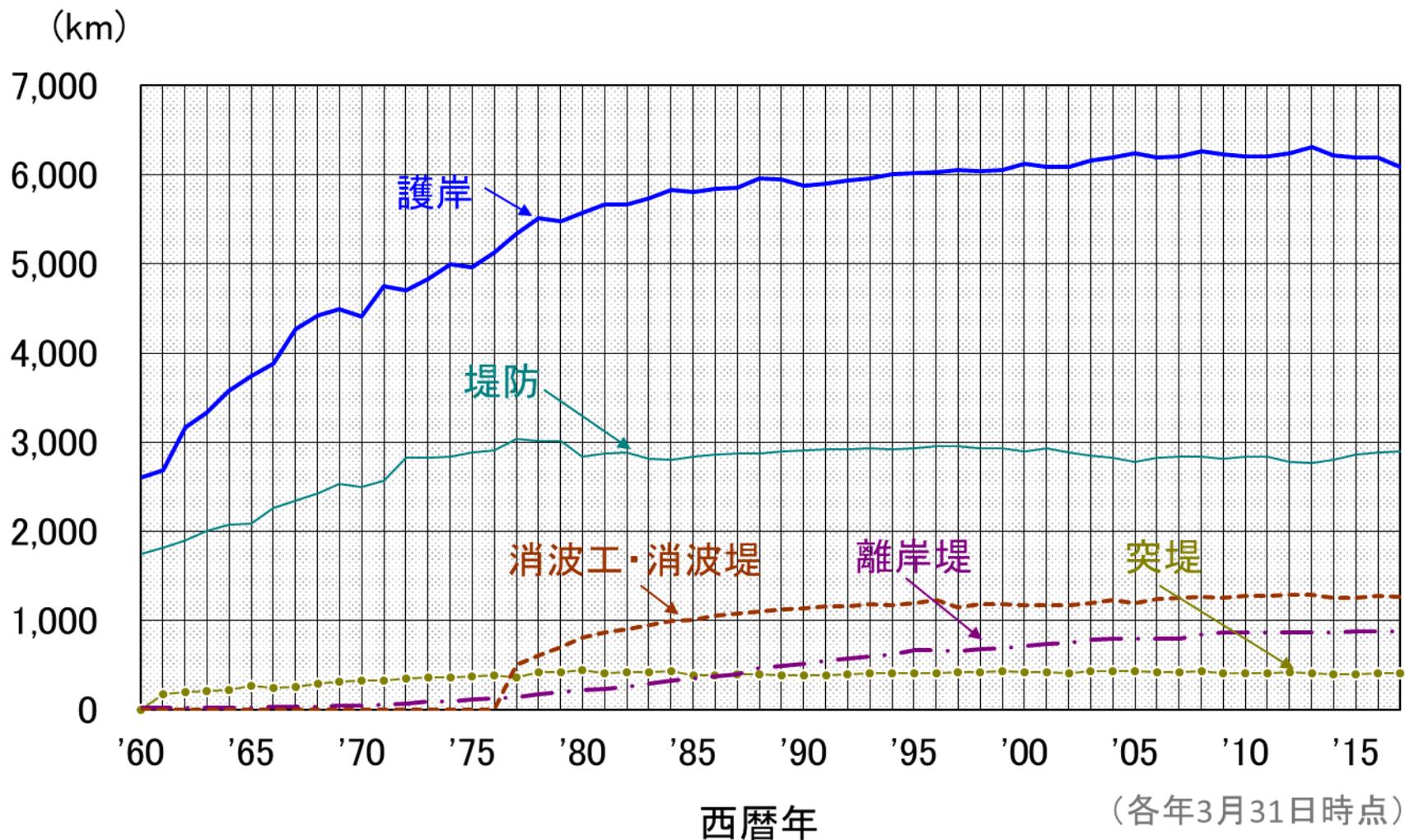
河川堤防

水門

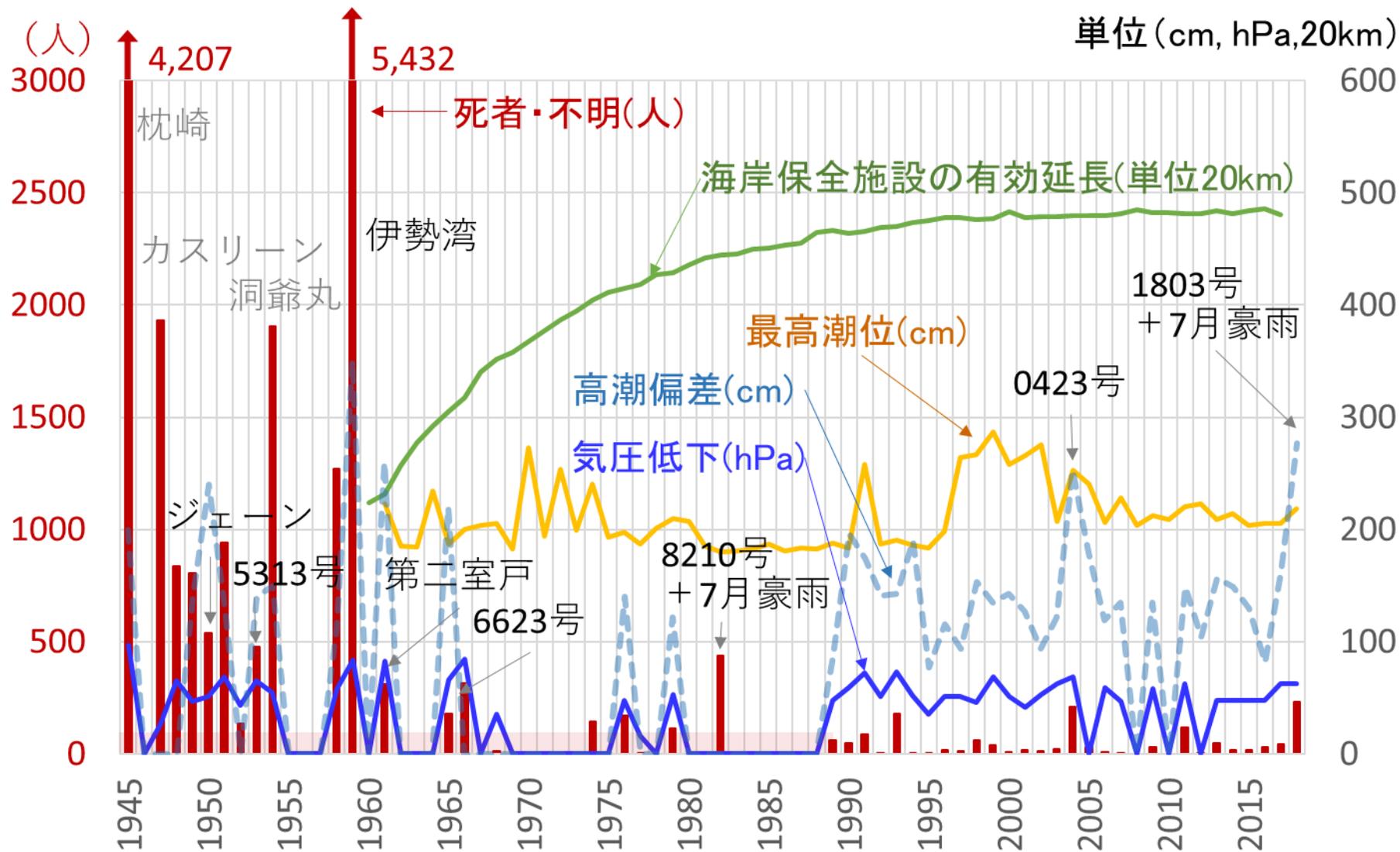
排水機場

内部護岸

各海岸保全施設の整備の進展



各年最大の上陸時気圧低下、高潮偏差、(一台風による)死者・行方不明者数と 海岸保全施設有効延長



[気象庁: 災害をもたらした気象事例 (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>)、海岸統計等より作成。偏差・気圧は1945-1988年は気象庁命名および死者100人以上の台風、1889からは被害・社会的関心が大きい台風のみ対象]

高潮に対する“二段防災”

近年の巨大高潮災害(海外)

上陸年月日	名称	国名	中心気圧 (hPa)	最高潮位 (m, ft)	高潮偏差 (m, ft)	死者・不明数(人)
1970.11.12	ボーラ	東パキスタン	966	—	—	500,000
2005.8.25	カトリーナ	米国	902	ミシシッピ州 Ocean Springsで、4.04m ※1	最大偏差 3.53m※1	1,335
2007.11.	シドル	バングラデッシュ	944	浸水高さ調査に基づく高潮の数値シミュレーション結果の最大値 6.7m ※2	—	4,234 (報告分のみ) ※2
2008.4.27	ナルギス	ミャンマー	962	—	—	138,366
2013.10.	サンディ	米国	940	マンハッタンで既往最高潮位 13.88ft(4.2m)を記録※3	最大偏差約9.5ft (2.9m) ※4	170
2013.11.	ヨランダ (ハイヤン)	フィリピン	895	—	—	7,951※5

※1 ハリケーン・カトリーナについて□気象研究所台風研究部□□・榊原均□□・中澤哲夫□高野洋雄□日本気象学会機関誌「天気」2006年による

※2 2007年バングラデッシュ・サイクロンSIDR 高潮水害調査報告書土木学会バングラデッシュ水害調査に対する災害緊急調査団 2008年(平成20年)3月による

※3 米国ハリケーン・サンディに関する現地調査報告書(第二版)□平成25年7月 国土交通省・防災関連学会合同調査団による

※4 米国ハリケーン・サンディに関する現地調査報告書(第二版)□平成25年7月 国土交通省・防災関連学会合同調査団の11p図による

※5 国土交通省 気候変動に適応した治水対策検討小委員会による

画期をなす高潮災害(国内)

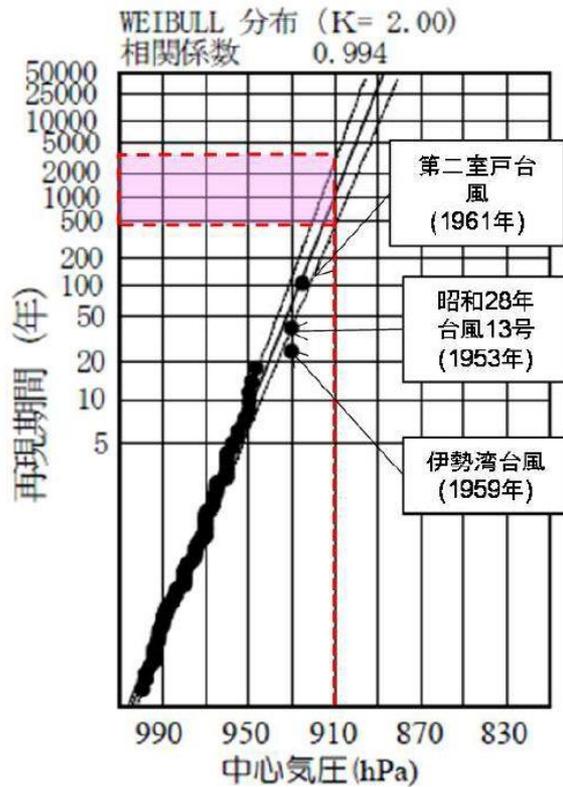
—上陸時の中心気圧の最低記録

年月日	台風名	被害区域	上陸時 中心 気圧 (hPa)	最高 潮位 (T.P. m)	高潮 偏差 (m)	死者・ 不明 (人)	全壊・ 半壊・ 流出 (戸)
1917.10.1(T.6)	台風	東京湾	—	3.0	2.1	1,324	60,175
1934.9.21(S.9)	室戸台風	大阪湾	911	3.1	2.9	3,036	92,323
1953.9.25(S.28)	台風13号	伊勢湾	948	2.8	1.5	478	26,071
1959.9.26(S.34)	伊勢湾台風	伊勢湾	929	3.9	3.4	5,098	91,572
1970.8.21(S.45)	台風10号	土佐湾	960	3.1	2.4	13	4,479
1991.9.27(H.3)	台風19号	瀬戸内海	941	2.8	1.7	86*	15,464*
1999.9.24(H.11)	台風18号	八代海	944	3.1	1.8	31	3,972
2004.8.30(H.16)	台風16号	瀬戸内海	954	2.6	1.4	17	71

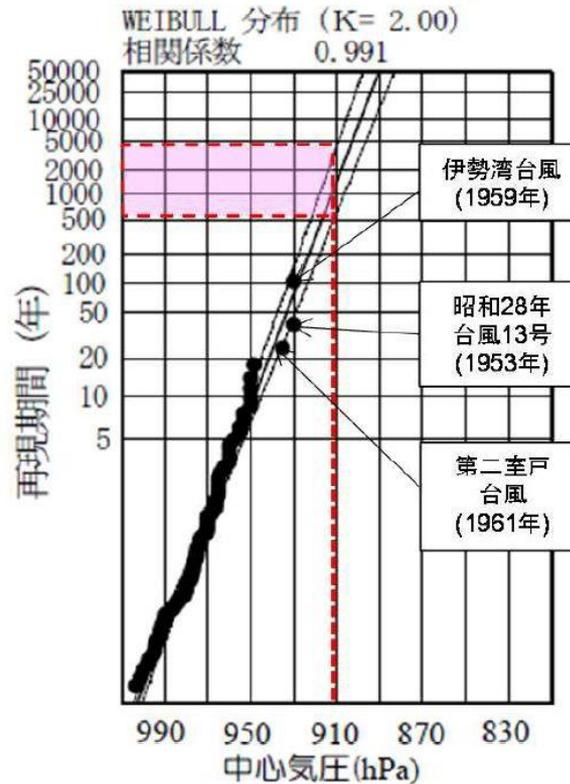
H27改正 水防法

- 室戸台風(>伊勢湾台風)の経験、地球温暖化、洪水との複合災害
- 第14条の3
 - 想定し得る最大規模の高潮であつて国土交通大臣が定める基準に該当するものにより当該海岸について高潮による氾濫が発生した場合に浸水が想定される区域を高潮浸水想定区域として指定するものとする。
- 第13条の3
 - 高潮特別警戒水位を定め、・・・水防管理者及び量水標管理者に通知するとともに、・・・一般に周知させなければならない。
- 第15条
 - 洪水予報等の伝達方法、
 - 避難施設その他の避難場所及び避難路その他の避難経路、
 - 洪水、雨水出水又は高潮に係る避難訓練の実施、
・・・を定める

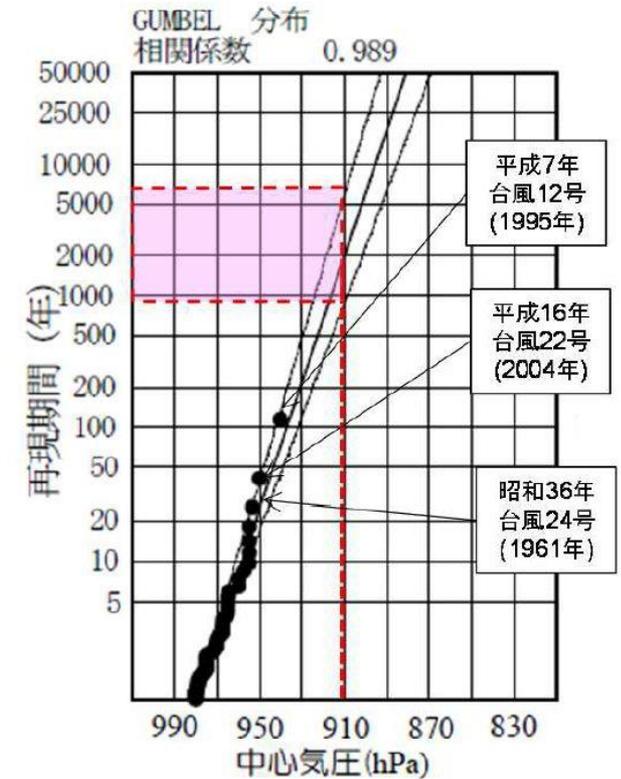
三大湾における室戸台風相当の台風の確率年



大阪湾(データ数87)



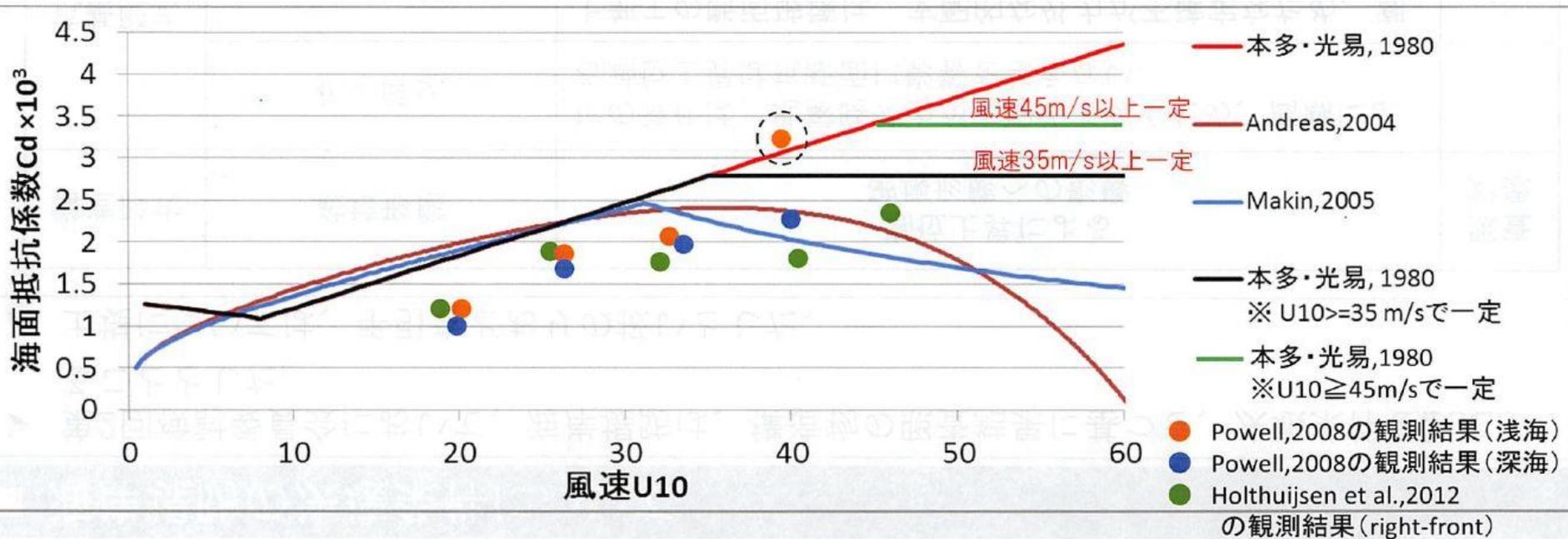
伊勢湾(データ数89)



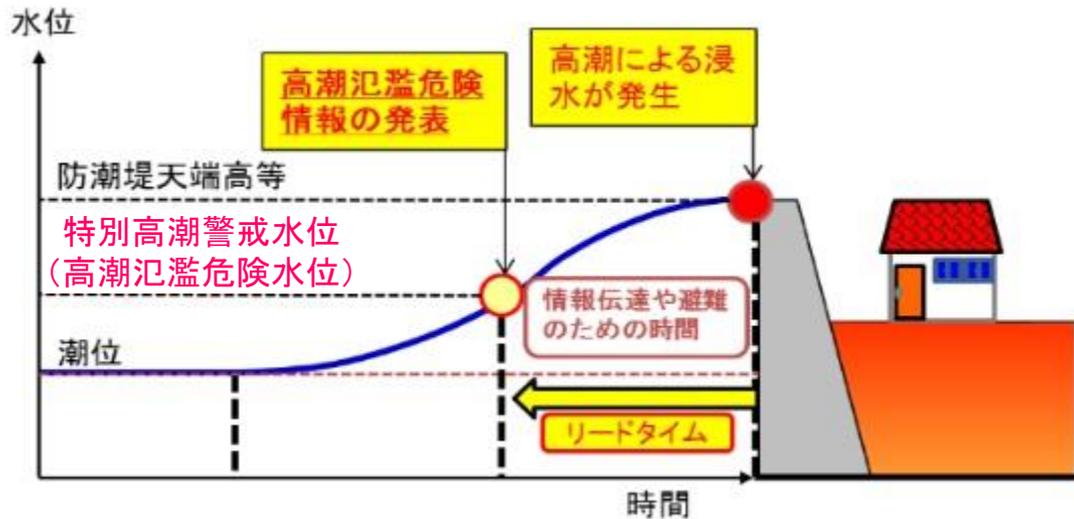
東京湾(データ数76)

(出典) 気象庁資料より作成

海面抵抗係数の風速による変化



特別高潮警戒水位



高潮に対する「二段防災」

- 設計クラスの高潮(レベル1高潮)対策

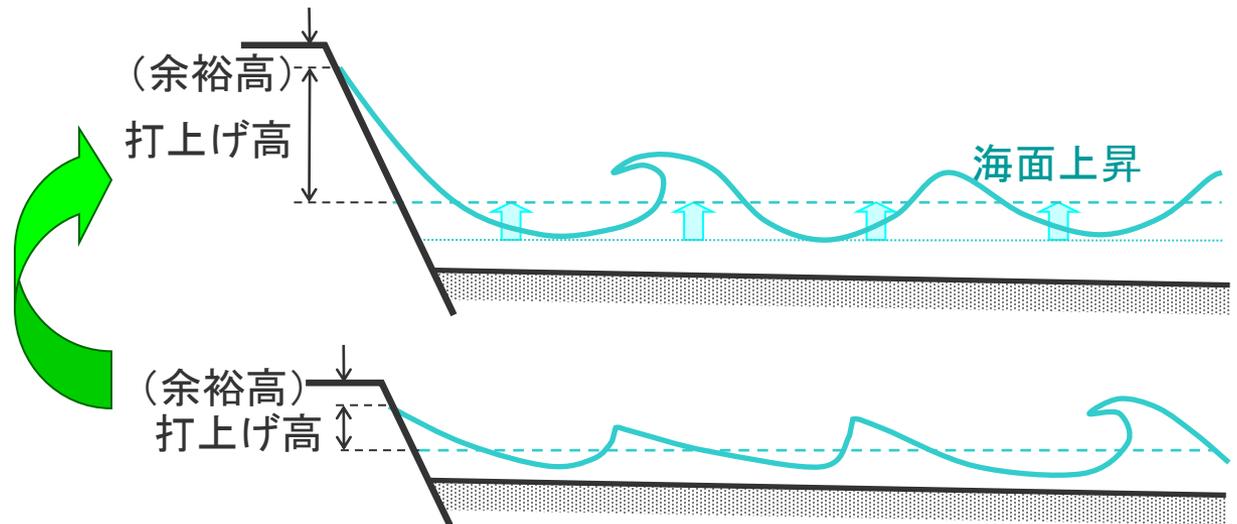
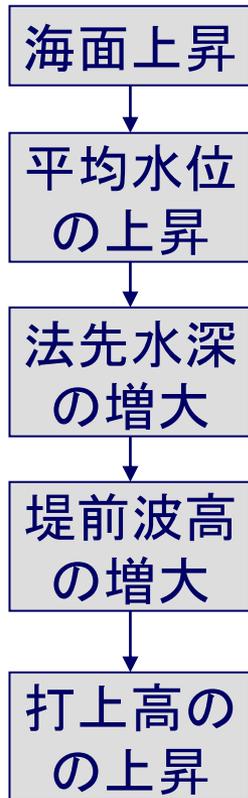
- 設計クラス(レベル1)高潮に対する浸水からの防護(狭義の防災)
- 堤外地の安全性

- 最大クラスの高潮(レベル2高潮)対策

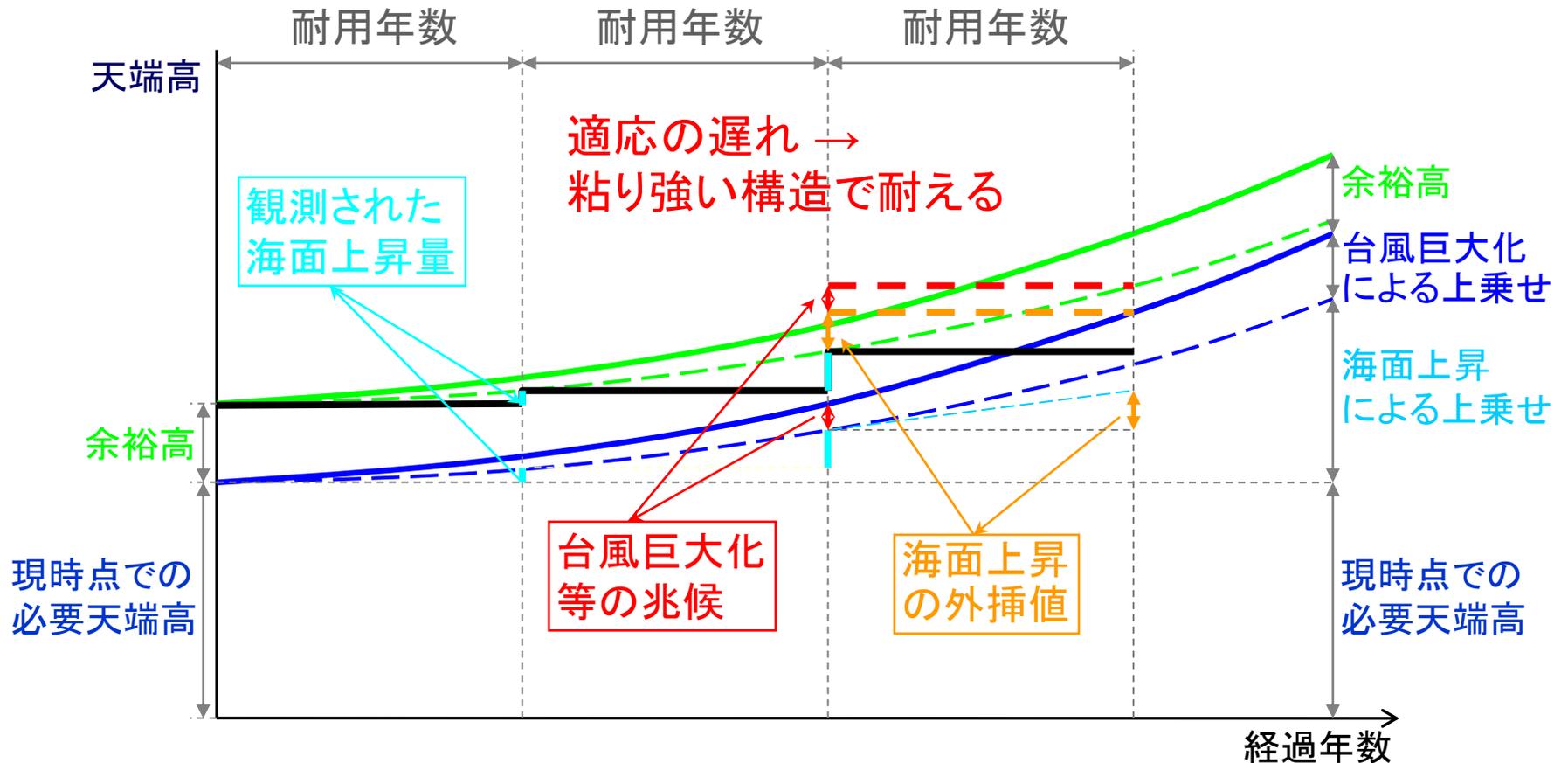
- 最大クラス(レベル2)の高潮の浸水予測シミュレーション
- 最大クラス(レベル2)での避難・早期復旧態勢の整備(減災)
高潮のモニタリング・予測・高潮特別警戒水位情報の発信
避難体制の整備(浸水が広域、暴風来襲前の避難が必要)
→ 広域避難・垂直避難、救援物資、インフラ、医療、排水設備、仮設住宅
- (L2にも)粘り強い構造物の開発(三面張りの発展形)
- (打ち上げを除く)高潮偏差分の天端高の確保
- 国難につながる地域(東京)での、L2対応の防潮堤の検討

気候変動 (地球温暖化)

海面上昇による波の打ち上げ高の上昇

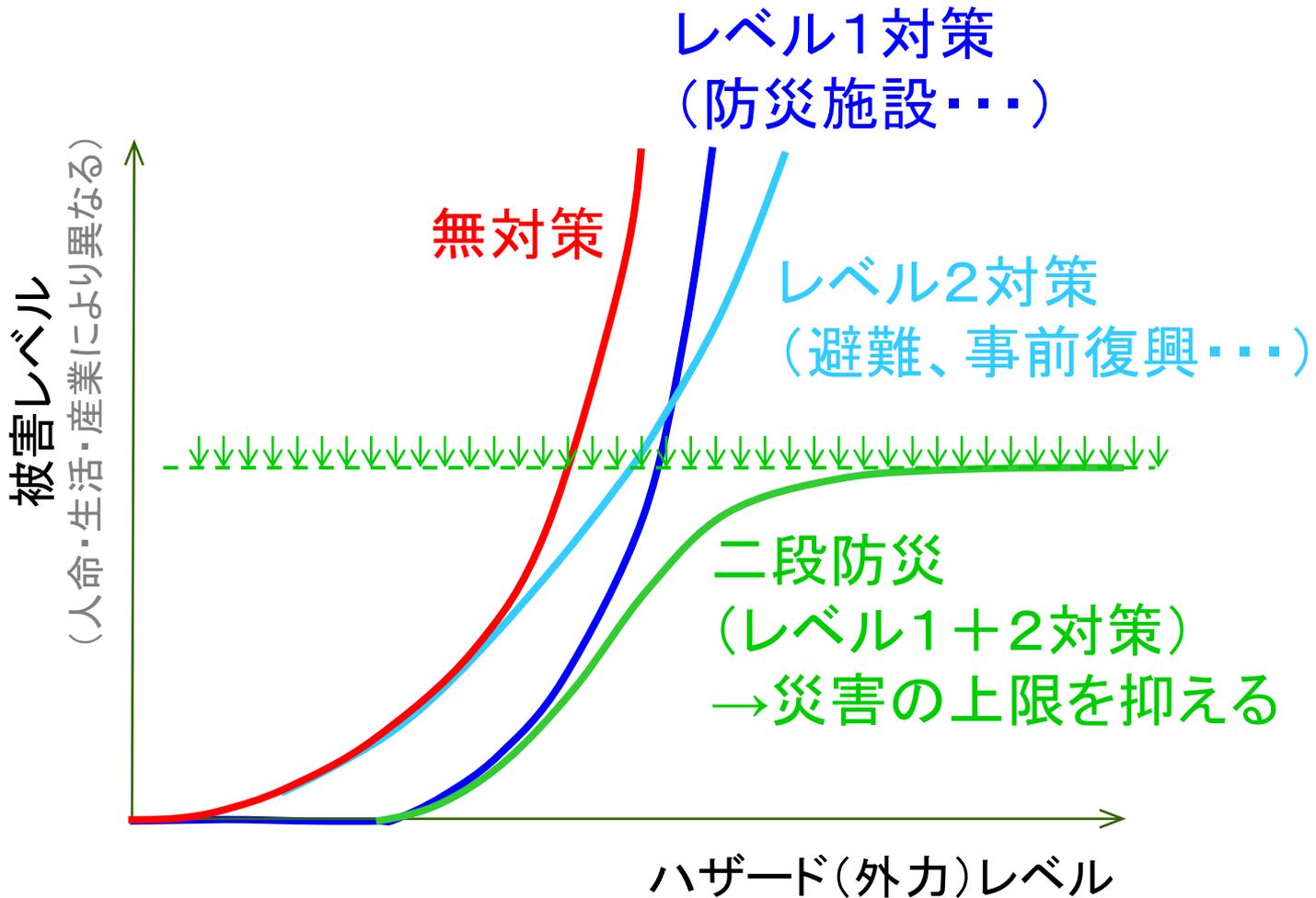


海岸保全施設の漸近的適応策



今後の沿岸防災システム

二段防災の目的



まとめ: 統合的な沿岸域防災システムの構築

● 背景

- 東日本大震災 → 津波防災地域づくり法(浸水予測、避難、土地利用)、L1・L2津波
- 水防法改正(H.27.5): 最大規模の洪水・内水・高潮に係る浸水想定区域の公表
- 気候変動適応法(H.30.6)
- → 統合化が必要・可能

● 当面の課題

- L1対策+海岸保全施設の維持・更新・新設(老朽化対策)【粘り強い化】
- L2対策(浸水予測、避難計画、BCP(減災対策、道路啓開、排水計画)、事前復興)

● 長期的課題: 沿岸域防災システムの構築

- 気候変動、L2津波・高潮を含むハザードの統合 → L2ハザードの想定・対策
ハザードレベルに応じ、地域ごとに最適な防災・減災(防護・順応・撤退の組合わせ)
- (誘導策: 災害危険地域からの移転)
(安全な生活・産業地区の開発・吸引、保険・課徴金制度、土地利用計画・制限)