地域防災シンポジウム　神戸　2012.1.20

東日本大震災の津波災害と これからの津波防災

津波から生き延びる

PARI, JAPAN独立行政法人港湾空港技術研究所
高橋重雄

東日本大震災で被害にあわれた方々に心より
お悔やみとお見舞いを申し上げます。

一日も早い復旧・復興をお祈り申し上げます。

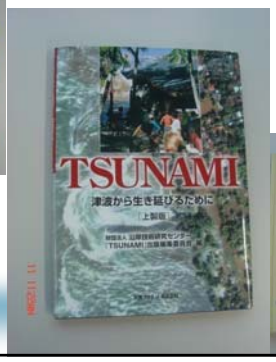
港湾空港技術研究所
港と海の環境・防災・利用の研究

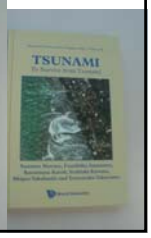
津波の意味？

TSU-NAMI
津の波
津＝港

港　＝　台風でも静かな海
＋低い土地　＋多くの人と財産

津波は港に侵入し甚大な被害





PARI, JAPAN

地震と津波災害の違い

時間がある

避難できる

PARI, JAPAN

神戸の皆さんが
津波を正しく理解して、
適切に避難していただくことを期待

PARI, JAPAN

特に覚えておいてほしいこと

@津波は長い波で大きなパワーを持つ波である。

@津波は何波も繰り返し、一波目が最大とは限らない。

@津波は小さくても人を簡単に巻きこみ、道路でこれに遭遇するのは本当に危険である。

@津波は海や川に近いほど、港など低いところほど危険である。大きな津波は沿岸の町全体を破壊する。

@津波によって木造の建物は破壊されやすく、高いコンクリートの建物が比較的安全である。

PARI, JAPAN

東日本大震災の津波災害と これからの津波防災

津波から生き延びる

まえがき

1．東日本大震災の津波被害

2．津波の基礎知識　（津波の発生と伝播、そのパワー）

3．津波災害の実態

4．津波災害のこれまでの対策

5．東日本大震災の教訓とこれからの対策

6．湾内の津波

1章　東日本大震災の津波被害

PARI, JAPAN

国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所

1896.6.15　明治三陸津波

これまでの想定津波

①明治三陸地震（M8．5）
【明治29(1896)年6月15日】
○死者数　約22，000人
○最大遡上高さ　38．2m

津波災害の伝承
昭和三陸津波・チリ地震津波

三陸津波現地調
宮古(鍬ケ

津波防災施設

三陸津波現地調査(2006. 5. 17・18)
綾里　両石・大槌・船越・山田

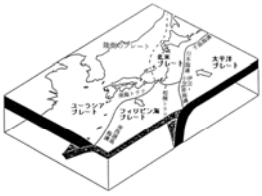
津波講演会

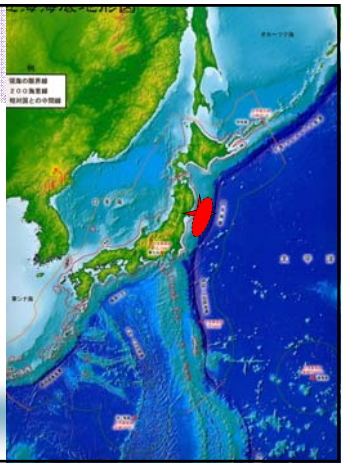
三陸沿岸は津波防災意識の高いところであり、具体的な対策も進められていた。

しかし、甚大な被害となってしまった。

なぜか？

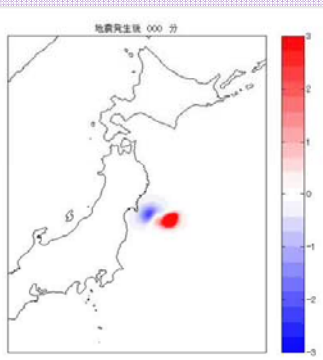
日本周辺の海と海溝





3月11日　14:46
震源　仙台　東130km
M9.0

津波の発生と伝播計算



久慈港に来襲する津波

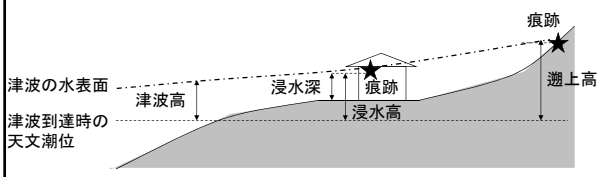
久慈の海岸に来襲する津波

釜石港を襲う津波

仙台平野を襲う津波

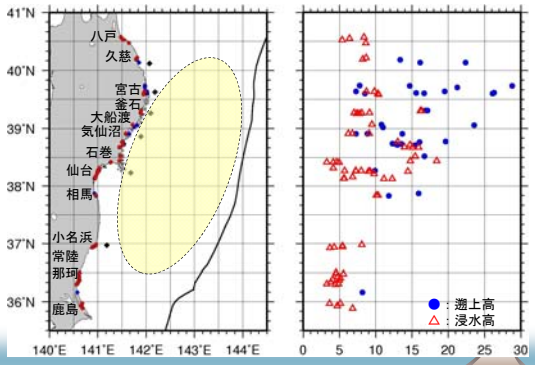
津波被害の調査

津波の大きさ（痕跡高）
建物や施設の被害



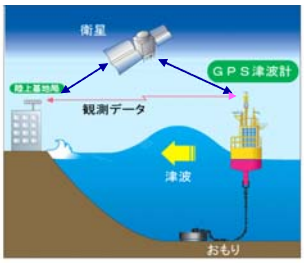
23

津波の波源　痕跡高さ(浸水高・遡上高)



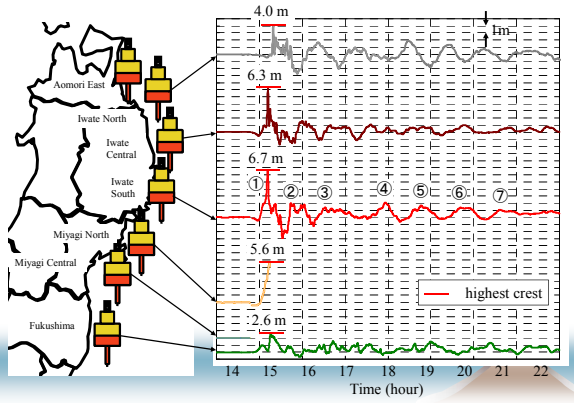
GPS波浪･津波計による来襲津波の観測

国土交通省港湾局　12基　20km沖

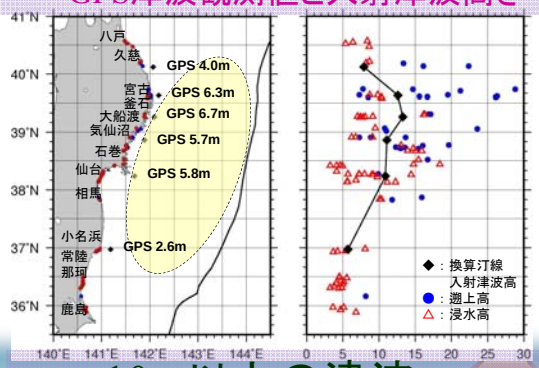


PARI, JAPAN

GPS波浪計による津波の観測



GPS津波観測値と入射津波高さ



10m以上の津波

怖しい10mクラスの津波の甚大な被害

@津波防災施設を超え、破壊する
@内陸奥深くまで侵入する。河川を遡上する
@町全体を破壊する

奥尻青苗地区
インド洋大津波

陸域・一般の被害	建物の破壊・流出（特に木造家屋壊滅的破壊・コンクリートの建物の３階以上の浸水）
	車の流失
	火災の発生
	タンク破壊と油流失
	鉄道・道路・橋梁の破壊
	地盤沈下
	田畑の冠水
港と海域の被害	船舶の漂流・衝突と乗り上げ
	港湾施設の破壊・浸水（上屋、クレーンなど）
	材木、コンテナーの漂流・衝突
	漂流物の港内の航路への沈下
	航路洗掘と埋没
	海浜･海岸林の消失
	水産養殖施設の流失
海岸・港湾構造物の被害	防波堤や岸壁の洗掘、滑動
	突堤・離岸堤などの破壊
	堤防・護岸（防潮堤）等の破壊（洗掘）
	水門・陸閘の破壊

多くの死者･行方不明者　2万人

浸水域:535km^2，60万人，22万戸(全壊12万戸)

人的被害の多い自治体	死者数	行方不明者数	人口に対する割合
①石巻市（宮城県）	2818	2770	3.49%
②陸前高田市（岩手県）	1335	841	9.36%
③気仙沼市（宮城県）	815	1216	2.77%
④名取市（宮城県）	883	1000	2.56%
⑤東松島市（宮城県）	988	740	4.03%

･陸前高田

陸前高田

陸前高田松原

・陸前高田 （被災したアパート）

・気仙沼

気仙沼(漂流したタンク）

南三陸　歌津(破壊された橋）

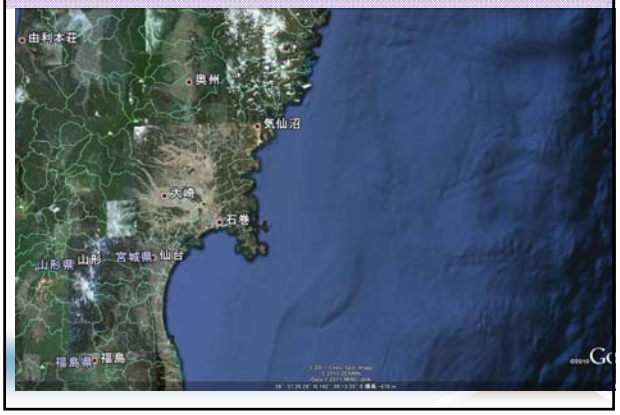
・釜石港(座礁した船舶)

気仙沼(座礁した漁船)

・仙台新港(漂流したコンテナ)

防潮壁の被災　釜石両石

・石巻



・石巻

・石巻

想定を超える津波
10m以上の巨大な津波
↓
甚大な被害

5m以下の津波でも低い土地で準備
が不十分であるとは大きな被害

PARI, JAPAN

2章　津波の基礎知識

津波は長～い波
大きなパワー・破壊力

海底地盤の隆起・沈降で発生
地形によって大きく変化

PARI, JAPAN

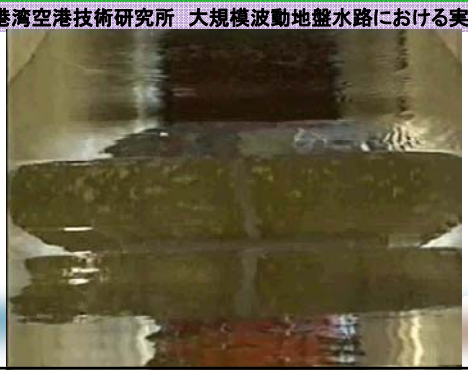
台風などの嵐の波

（港空研　大型水路における実験ビデオ）

津波

津波は長い波・大きなパワーを持つ
同じ高さでも大きな破壊力と大きな浸水被害

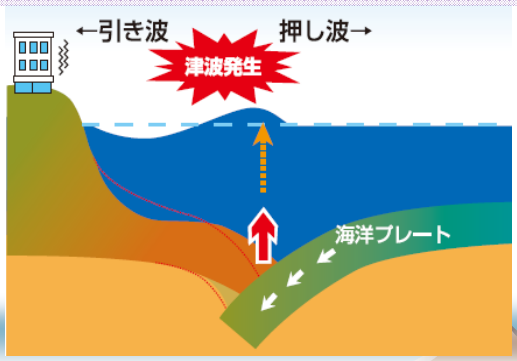
（港湾空港技術研究所　大規模波動地盤水路における実験）



津波の発生の仕組み（1/2）

津波の発生の仕組み(2/2)

津波は海底の地盤の隆起・沈降によって起きる



地震の規模と津波

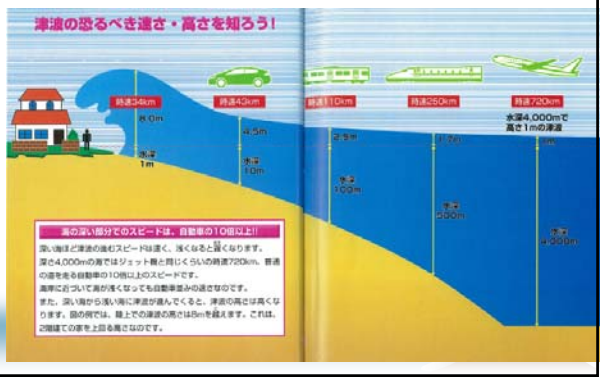
@津波は海底地盤が隆起したり沈降して起きる

M7　限定された領域の津波
M8　広域津波
M9　巨大津波

@津波は長い波であり、大きなエネルギーをもつ波である。1つの波が数分から1時間もある。

津波の速さ　$C=(gh)^{*0.5}$

深いところで航空機並みであるが、海岸近くでは自動車並みの速さ



津波の高さ

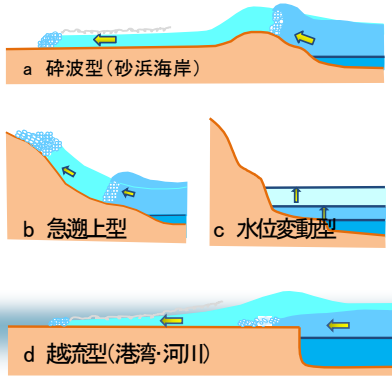
深いところで小さくても、海岸近くでは数倍以上となる

津波による水の動き　$U=(H/2h)*C$

深いところでは動きが小さいが、浅くなると非常に大きい

海岸断面と津波の遡上の特性

地形によって津波の遡上は大きく変わる



その他の津波の伝播の特徴

@津波は海岸付近で反射したりして何波も繰り返す.
一波目が最大とは限らない.

@海岸の平面的な地形によっても津波はかなり増大することがある。

@津波は港や海岸だけでなく川などからも侵入する

@ 大きな津波は数キロ内陸まで侵入する

津波の破壊力

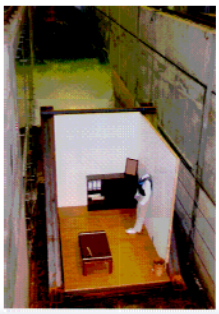
大きな津波の力

特に砕ける津波の先端部の破壊力

侮れない流れの力

PARI, JAPAN

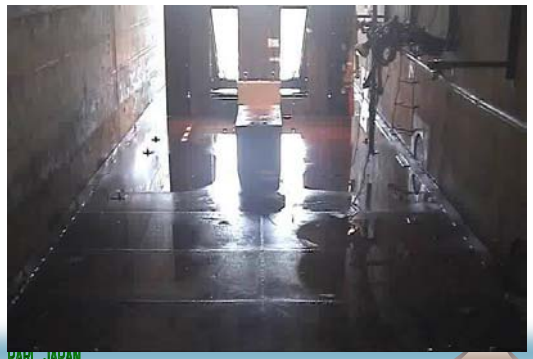
木造の家の破壊（港空研の大規模水路の実験）



PARI, JAPAN

木造の家の破壊

津波によるコンテナーの流失とその衝突実験



PARI, JAPAN

人への危険性

人は簡単に津波で流される

海岸は特に危険
（砕波･流れ）

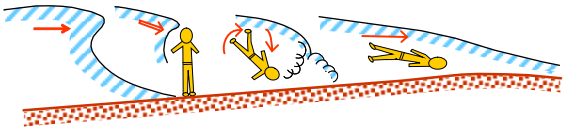
PARI, JAPAN

人への津波の作用

海岸で砕ける津波の先端部

（TSUNAMI,CDIT)

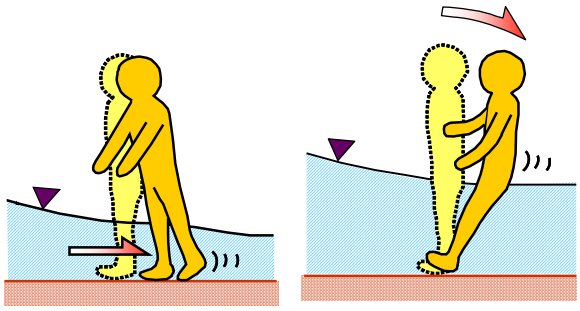
CASE A – 砕波面の衝突による倒れ込み 特に海岸付近では危険



PARI, JAPAN

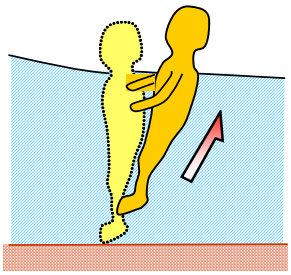
Video： 流れに対する人の転倒

CASE B – 速い流れによる転倒



PARI, JAPAN

CASE C – 水深が大きい場合の浮き上がりと転倒



流れの中では泳ぐのは困難

短時間でも＜0.5 m/s　長時間でも＜ 0.3 m/s

PARI, JAPAN

@地震を感じたら避難

@警報が出たら避難

@津波を見たら避難

海岸ではるか沖合に津波を見てから3~5分程度で来襲

海岸付近で津波に遭遇するのが最も危険

PARI, JAPAN

日本海中部地震津波　1983年5月26日

PARI, JAPAN

3章　津波災害の実態

防災は市民が具体的に災害を知ることから始まる

津波被害は厳しい
繰り返し発生している

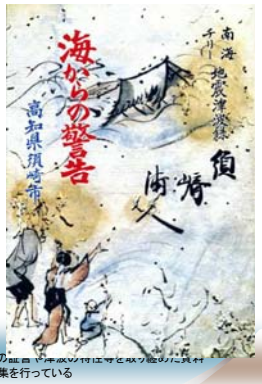
PARI, JAPAN

1703元禄地震津波　M7.9-8.2　千葉　誕生寺

犠牲者を祭る曼陀羅

PARI, JAPAN

津波災害の体験の伝承（須崎市）



須崎市における津波体験者の証言や津波の特徴等を数少ない貴村
村上先生と須崎市役所が編集を行っている

日本における津波災害

津波災害は日本の古文書に記録がある

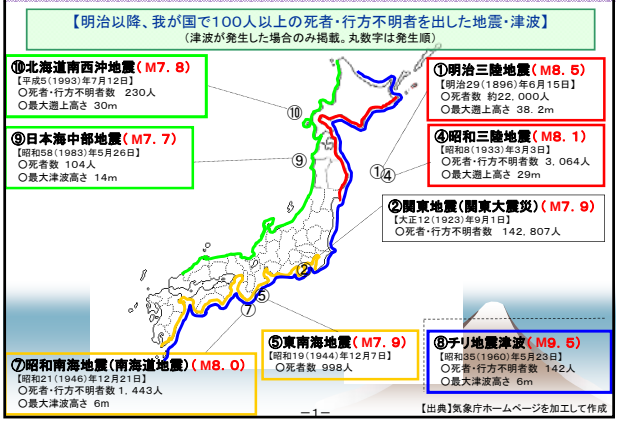
最初の記録は 684年の津波(天武,南海道)

比較的大きな被害のある津波 (10年に1度)

甚大な被害のある津波(100年に一度)

PARI, JAPAN

我が国における過去の地震・津波の発生



1896 明治三陸津波 最高遡上高38.2m

PARI,

1933 昭和三陸津波 田老町津波前後

1960 チリ地震津波

1983 5.26 日本海中部地震津波

岸壁を超える津波と漁船

1983　5.26　日本海中部地震津波

引き波と転覆する漁船

1983　5.26　日本海中部地震津波

遡上する津波　松ヶ崎漁港

１９９３年7月12日　北海道南西沖地震津波

奥尻島　青苗地区：津波前

１９９３年7月12日　北海道南西沖地震津波

奥尻島　青苗地区：津波後

2004年インド洋大津波　20万人以上の死者

スリランカ（ハンバントタの海岸の被災直後）

2004.12.26　9.58　インド洋大津波

被災の状況を具体的に示したビデオ

2004.12.26 9.58 インド洋大津波
被災の状況を具体的に示したビデオ

2010. 2. 27
チリ地震津波
ロビンソンクルーソー島

津波後

津波前

津波災害のまとめ

@ 一般に港や川の近くの低いところで大きな被害となる.
@ 小さな津波によっても津波に人は巻き込まれる。
車は浮き上がり、木造の建物は破壊される.
@大きな津波は、津波防災施設を破壊し、町全体を破壊する。

@ 船やコンテナなどが漂流すると二次災害を引き起こす.
@ 火災が発生しやすく二次災害となる.
@ 引き波は強くそれによって多くのものが海に引き込まれる.
@コンクリートの建物は津波に強い。
@ 津波による死者は浸水域の人口に比例する。
ただし、避難によって劇的に減らすことができる。

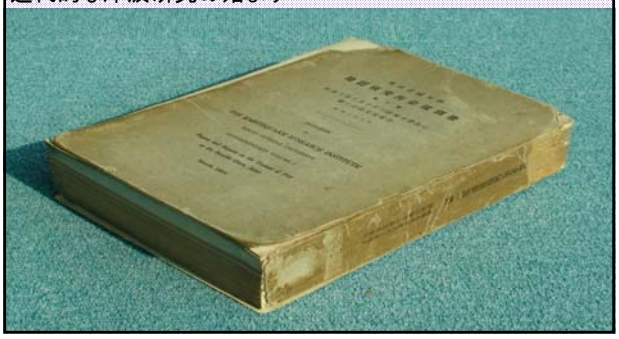
4章これまでの津波対策

PARI, JAPAN

東京大学地震研究所彙報

1933昭和三陸地震津波

近代的な津波研究の始まり



津波防災研究

1960 チリ地震津波　（M9.5　死者139）
本格的な津波防災研究の開始
津波防災施設の整備の開始（大船渡港津波防波堤）

1983 日本海中部地震津波（M7.7　死者100）

1993 北海道南西沖地震津波(奥尻津波)（M7.8　死者（200）

津波研究の大幅な前進

ハード・ソフトの両面の対策の必要性の認識

（ハザードマップ等）

2004 インド洋大津波（M9.1　死者20万人）

津波対策の進展

津波災害の後　津波対策は進展した。

特に、津波災害を経験している地区では津波の厳しさを理解して対策が進んでいた。特に津波は避難が大切。

ソフト対策

警報

避難対策　ー　教育・訓練

ハザードマップ

ハード対策

津波防波堤・護岸など

津波警報システム

予報

警報＝大津波(3, 4, 6, 8, 10m above)
津波（1, 2m)
注意＝0.5m

近地津波（1954年から）

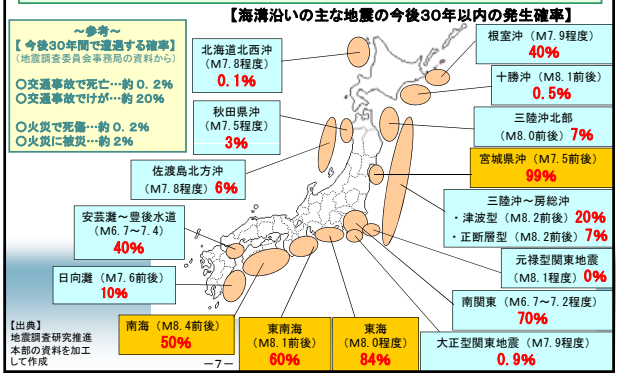
□ 気象庁による新しいシステム（1999）JMA
津波データベース
(100,000 計算津波)
3分以内の警報

遠地津波（1960年から）

□ 国際協力
太平洋津波警報センター

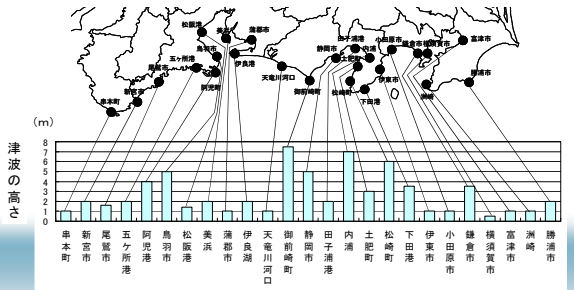
大規模地震発生の切迫

東海地震をはじめとし、各地域において大規模地震の切迫性が報告されている。



想定津波高さの例①　（東海地震）

広範囲に津波が来襲する

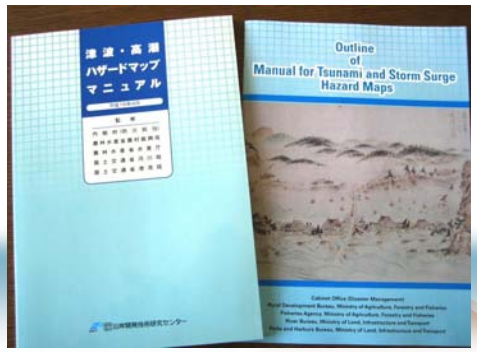


東海地震での想定津波波高分布図

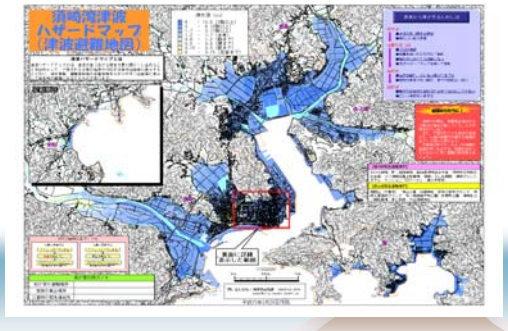
ー8ー

【出典】中央防災会議資料より加工して作成

津波・高潮ハザードマップマニュアル



ハザードマップ　須崎市



緊急一次避難所

PARI, JAPAN

避難タワー　大紀町　5分以内の避難

PARI, JAPAN

ハザードマップワークショップ

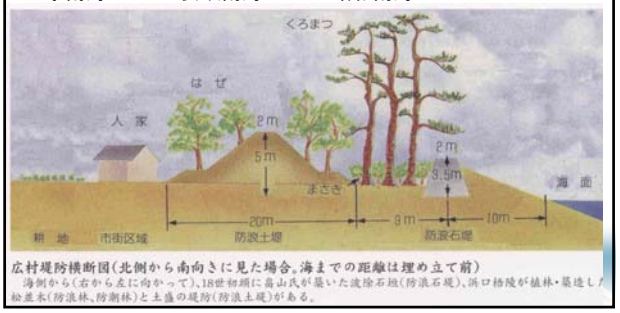
その他の安全な避難のための手段

昭和南海津波と安政南海津波の碑

浜口による津波堤防

広村 1855-1857　　広川町ホームページ

宝永南海 1707・ 安政南海 1854・ 昭和南海 1946



津波堤防

田老町 (宮古市)

1611/1896/1933　津波堤防 TP10m

総延長Total 2433m(1934-1988)

PARI, JAPAN

奥尻島の復興　土地利用計画

奥尻港の対策

津波護岸

水門のゲート

須崎港の津波防波堤

津波防災技術の改善

@津波災害の予測精度の改善

詳細災害シミュレーションと計算結果の可視化

@リアルタイム予報の改善

沖合い津波観測＋リアルタイム予測

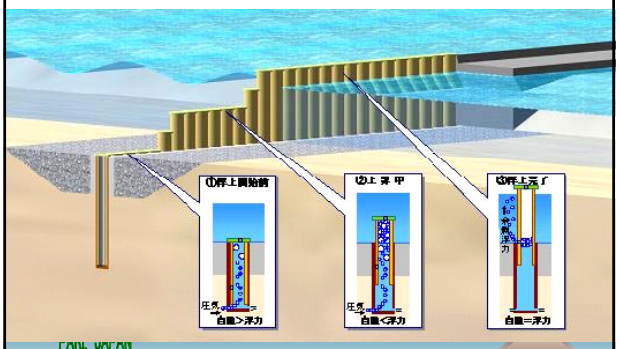
@防災施設の開発

新たな津波ゲート・グリーンベルト

PARI, JAPAN

津波の港町への侵入
詳細津波シミュレーション

可動式の津波ゲート



PARI, JAPAN

112

グリーンベルト

PARI, JAPAN

5章　東日本大震災の教訓と今後の対策

中央防災会議津波専門部会などでの議論

① 想定外の津波（想定外・最大級）

② 津波警報と観測

③ 緊急避難

④ 津波に強い町

① 最大級の津波の想定
想定外・最大級

想定していた津波をこえる

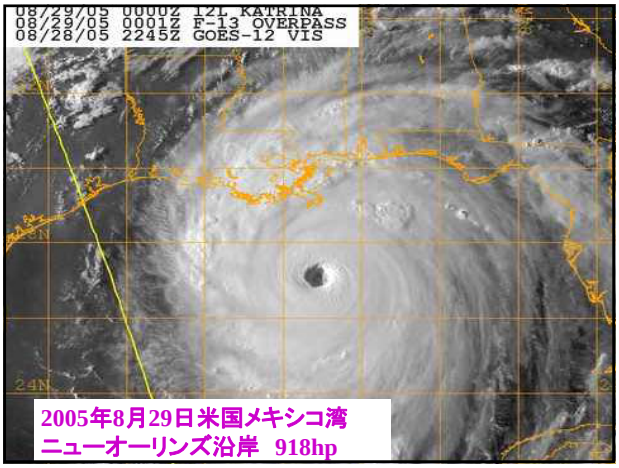
ほとんど津波による被害を想定していないところで被害が発生

最大級の津波の想定

2004年インド洋大津波

スリランカ（ハンバントタの海岸の被災直後）

M9.1　最大級の地震と津波



2005年8月29日米国メキシコ湾
ニューオーリンズ沿岸　918hp

設計を超える高潮や津波

最大級の高潮や津波

そのとき具体的に何が起きるかを予測することが必要

(WORST CASE　SCENARIO)

ハードとソフトによる対策

Preparedness

防災施設の性能設計

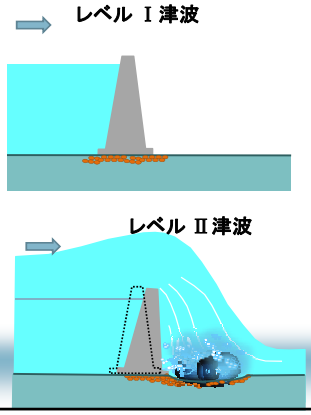
PARI, JAPAN

最悪のシナリオを考慮した今後の津波対策
性能設計

	対象津波
レベル1津波	近代で最大（100年で1回程度の発生確率）
レベル2津波	最大級（1000年に1回程度の発生確率）

22

レベルⅠ津波とレベルⅡ津波に対する津波防災施設



PARI, JAPAN

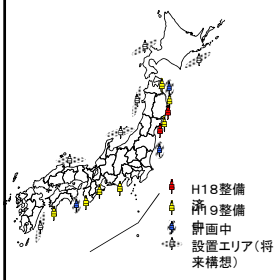
② 津波警報と観測

地震後3分で津波警報が発令

しかし最初の警報では3mの津波であった

より正確で、分かり易い津波警報

② 津波警報と観測



来襲津波の情報を的確に市民に伝える

→ GPS波浪計

沿岸の波浪計･津波計

ビデオ監視カメラ

（地震動･浸水･停電などに強いシステム）

③ 緊急避難

避難地が遠い

車で移動する人･渋滞
途中で津波に巻き込まれる

身近な緊急避難所

③緊急避難

→ ○鉛直避難　＋　身近な緊急避難所

×(水平避難　＋　遠くの避難生活所)

＝緊急避難所

避難タワー

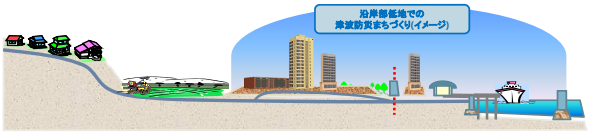
中高層のアパート

・オフィスビル

地震の避難との違い

避難生活所と緊急避難所

④津波に強い沿岸都市づくり(イメージ)

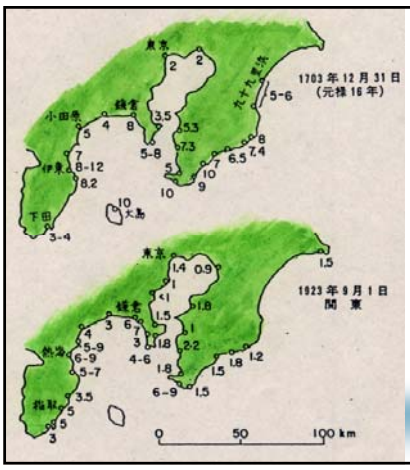


Level II 津波に対しては、減災都市をめざす
復旧しやすい街

PARI, JAPAN

6章　湾内の津波

PARI, JAPAN



歴史津波の高さ

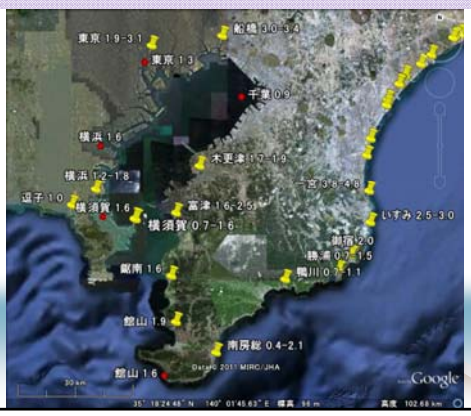
関東地震

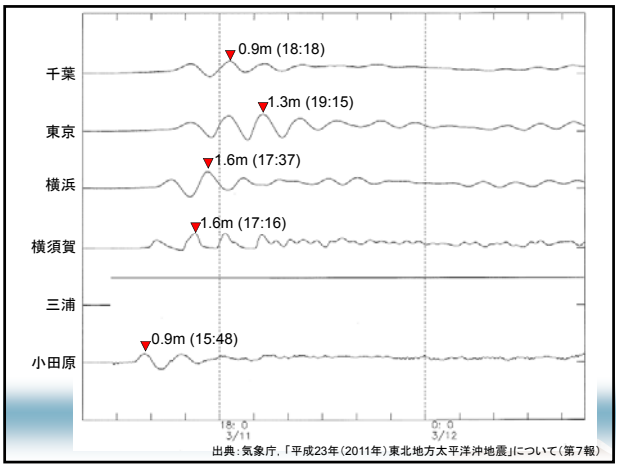
元禄1703
M8.2

大正関東
1923　M7.9

(羽鳥徳太郎 1988)

今回の津波　東京湾





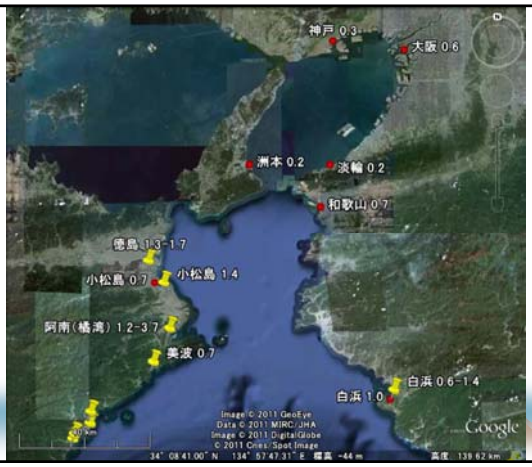
出典：気象庁，「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について（第7報）

歴史津波の高さ（羽鳥徳太郎1988）

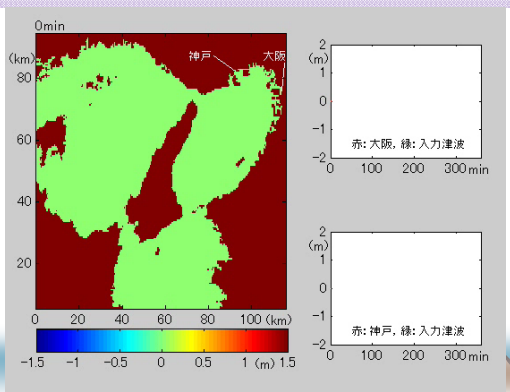
白鳳　684　M8.4　仁和　887　M8.6

康和　1099　M8.0　正平　1361M8.4　慶長1605　M7.9

宝永1707　M8.4　安政1854　M8.4　昭和1944　M8.0



大阪湾の基本津波シュミレーション

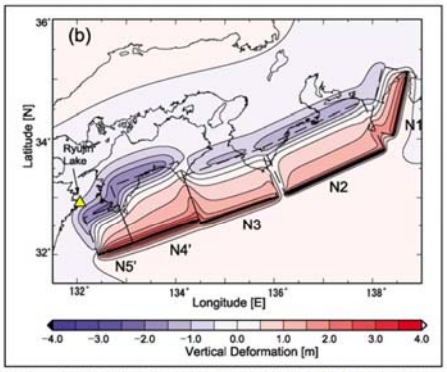


大阪湾の現在の津波

レベルⅠ　3m　到達時間　時間がある

レベルⅡ

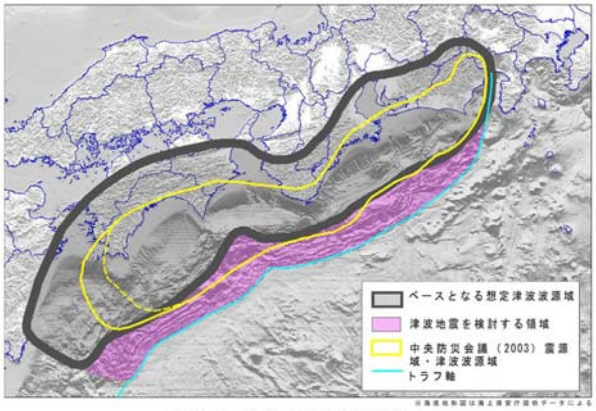
大阪湾の朔望平均満潮位
　神戸港　T.P. 0.72m
　大阪港　T.P. 0.83m
　阪南港　T.P. 0.80m



図Ⅳ.8　1707年宝永地震の津波波源域の研究例

（Furumura, Imai, Maeda, 2011）

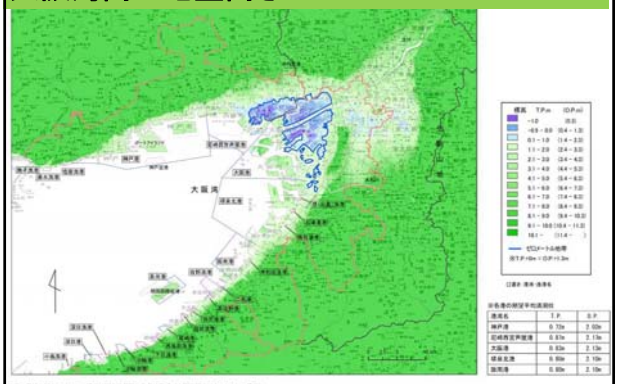
南海トラフの巨大モデル検討会2011/12/27



図Ⅴ.3 新たな想定津波波源域

南海トラフの巨大モデル検討会2011/12/27

大阪湾高の地盤高さ



大阪湾高潮対策危機管理行動計画 2010.3 大阪湾高潮協議会

大阪湾の高潮

室戸台風（1934） 最大偏差2.92m
ジェーン台風(1950) 最大偏差2.37m
第二室戸台風(1961) 最大偏差2.45m

現在の大阪港の計画偏差は3.0m

潮位 HWL TP+0.9m (+1.1m)

PARI, JAPAN

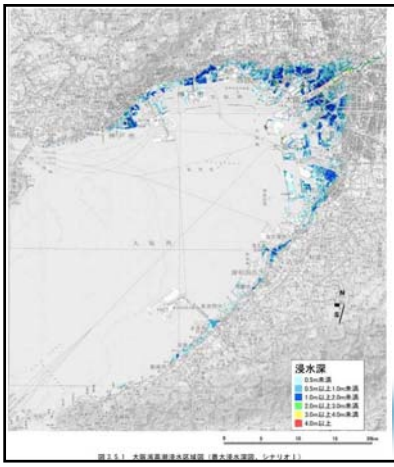
大阪湾の高潮

ハリケーンカトリーナの後の検討

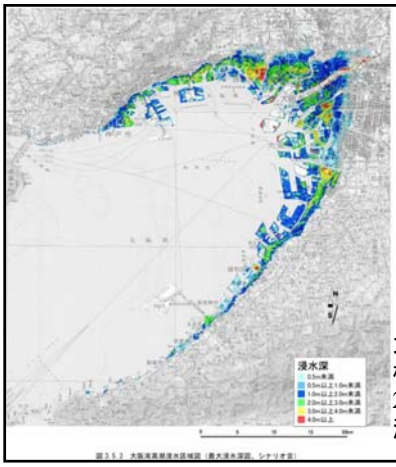
現在が室戸台風級（911hPa），
現在の大阪港の計画偏差は3.0m

シナリオⅠ 伊勢湾台風（930hp）
天保山 2.88m
シナリオⅡ/Ⅲ 超室戸台風
天保山 4.08m(1.4倍）

大阪湾高潮対策危機管理行動計画
2010.3 大阪湾高潮協議会



大阪湾高潮対策危機管理行動計画
2010.3 大阪湾高潮協議会



大阪湾高潮対策危機管理行動計画
2010.3 大阪湾高潮協議会

大阪湾の沿岸防災
地震＋津波
高潮+高波

リスクの把握　シナリオの作成
リスク＝ハザードx脆弱性
石巻から学ぶ＝レベルⅡ

まず、弱点の把握と対策

PARI, JAPAN

自分の生活している場所の状況とハザードマップを確認する

高さを確認する
海岸・河川・暗渠を確認する

避難場所を確認する
避難経路を確認する

PARI, JAPAN

Tsunami-Alert

拡大図

津波防災は津波、そしてその被害を理解することから始まります。

津波被害は厳しいものですが、頻繁に起きるものではありません。

正しく理解して、正しく恐れる必要があります。

PARI, JAPAN

津波に対し避難は不可欠です。

たとえ、今回の津波が小さくても、次は大きいかもしれません。

また、実際の避難は、何回かの避難訓練より貴重な経験です。**避難する文化**を育てることが重要です。

PARI, JAPAN

海との共生

現代の技術と
人々の知恵

厳しい海　　豊かな海との共存

ご清聴ありがとうございます

PARI, JAPAN