第　2　回　定　期　研　究　会

平成２３年度 SGST 第２回定期研究会　議事録

日時　：平成 23 年 6 月 10 日(金)　16：00～17：30
場所　：名城大学　名駅サテライト
出席者：近藤，久保，小塩，渡辺，（名城大），青木（愛工大），北根，廣畑（名大）中野，村瀬（愛知県），加藤（海洋架橋），山田，高野（中日本ﾊｲｳｪｲ），柴田（名高速），岸本，戸田（創建），川瀬（日中 C），園部（JTS），堺（ｺﾍﾞﾙｺ科研），高橋（ｱｽｺ），青嶌（中部復建），永富（八千代ｴﾝｼﾞ），佐光，古市（維持管理），野中（耐震研），安藤（－），神頭（日車），織田，加藤，森田，松村，所，北山，福岡，鈴木，藤井，松原，上田，石黒，坂部（瀧上），窪田（日鉄トピー）

以上 40 名(敬称略)

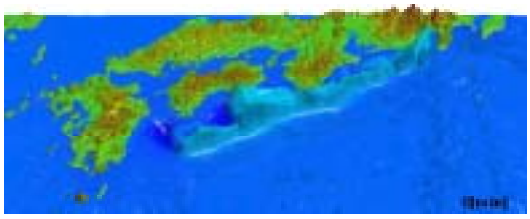
１．定期研究会（16:00～17:30）
講演者：名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻　准教授　川崎 浩司 先生
講演題目：「巨大津波災害について」
※土木学会 CPD プログラム認定番号：JSCE11-0212

講演内容
津波の基本特性を解説するとともに、2004 年スマトラ島沖地震津波、2011 年東日本大震災など、これまでに発生した巨大津波災害について説明があった。また、東海・東南海・南海三連動型地震による津波シミュレーション結果の報告もあった。
本発表については，大震災の直後であり、津波に関する参加者の関心も高く、活発な質疑応答が行われた。

以上　SGST 事務局　//

東海構造研究グループ（SGST）

巨大津波災害について



名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
准教授　川崎浩司

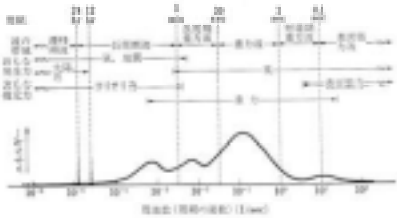
発表内容

- 津波の特性について
- 2004年スマトラ島沖地震による津波災害
- 2011年東日本大震災
- 東海・東南海・南海三連動型地震に備えて

津波の特性について

津波（Tsunami）とは

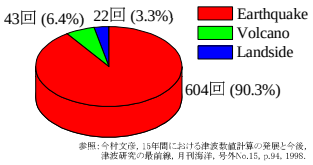
- 急に　　を襲う大波
- 非常に周期の長い波（長周期波）
- 破壊力が大きい波



海の波のエネルギー分布（Kinsman, 1965）

津波の発生原因

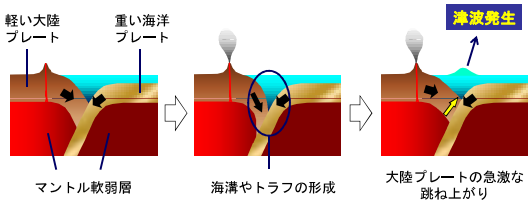
- 地震による海底面の隆起・沈降
- 火山噴火
- 海底地滑り
- 沿岸域における崖崩れ
- 隕石の落下など



参照：今村文彦，15年間における津波数値計算の発展と今後，津波研究の最前線，月刊海洋，号外No.15，p.94，1998.

1790年～1990年の期間に生じた津波の発生原因別の発生回数とその比率

海溝型地震による津波の発生機構



津波予報

地震発生

⇩

全国に設置された地震計から構成される地震観測網データを用いて，気象庁（津波警報に関する責任機関）が地震発生後2分程度で，震源とマグニチュードを決定

⇩

津波予報図を用いて，津波の有無や規模を判定

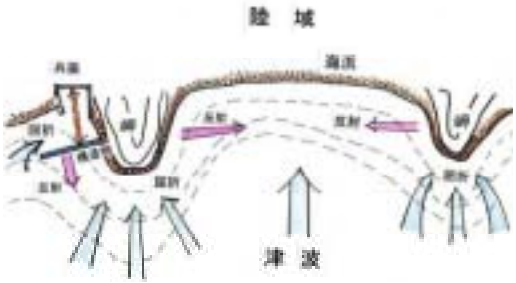
予報の種類		予報文	発表される津波の高さ
津波警報	大津波	高いところで3m程度以上の津波が予想されますので，厳重に警戒してください	3m，4m，6m，8m，10m以上
	津波	高いところで2m程度の津波が予想されますので，厳重に警戒してください	1m，2m
津波注意報	津波注意	高いところで0.5m程度の津波が予想されますので、注意してください	0.5m

10万データ以上の津波データベースから，発生した地震に最も近いケースを検索し，より詳細な津波災害を予測

（参照：国土庁・消防庁・気象庁，津波災害予測マニュアル，104p，1999）

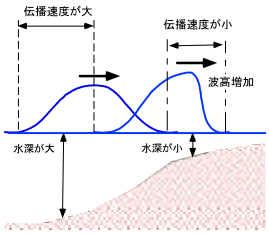
津波の伝播特性

浅水変形，屈折，反射，回折，共振（固有振動），局所地形による波高増加



津波の浅水変形

浅水変形： 水深の減少に伴う波高（水位）の増加



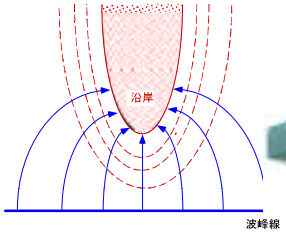
津波の伝播速度： $C=\sqrt{gh}$

（g：重力加速度， h：水深）

（出典： F. I. ゴンザレス「津波の脅威」，日経サイエンス，1999年8月号）

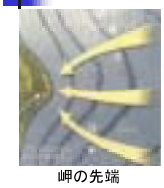
津波の屈折

屈折： 波進行方向が地形の影響により変化



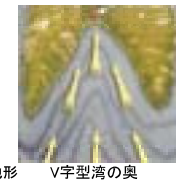
（出典： F. I. ゴンザレス「津波の脅威」，日経サイエンス，1999年8月号）

津波が増幅する地形



岬の先端

舌状に沖に突き出す遠浅海底地形



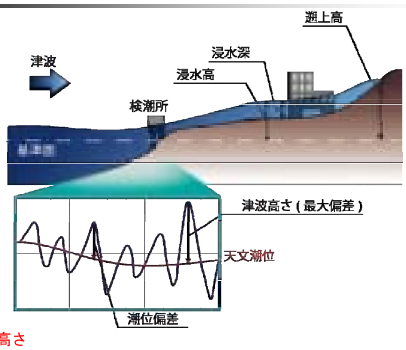
V字型湾の奥

岬を回り込んだ背後の地形

十字型湾の枝湾の奥

（出典：月刊科学雑誌Newton，2002年6月号）

津波用語

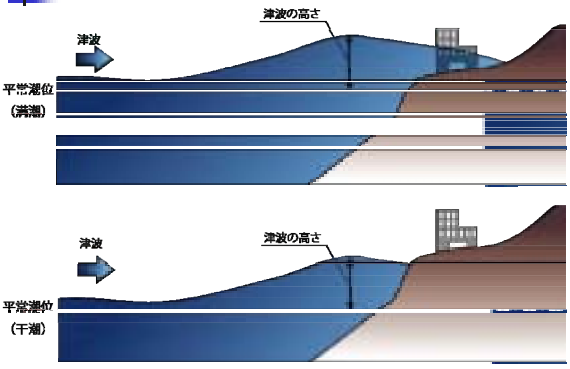


津波の高さ

・津波がない平常潮位から津波によって海面が上昇した最大高さ

・気象庁が発表する津波の高さは海岸付近の津波の高さ

津波来襲時の天文潮位の影響



津波の伝播速度

津波の伝播速度

$$C = \sqrt{gh}$$

g：重力加速度
h：水深

高潮の主な発生機構

① 低気圧（台風）による海面の吸い上げ
② 風による吹き寄せ
③ 砕波による海面上昇

出典： 国土交通省河川局ホームページ

津波と高潮の違い

	津 波	高 潮
発生原因	海底の地震，火山爆発など	台風，低気圧
特 徴	・海底から海面までの水塊全体が移動 ・「波」というより「流れ」	・海面上昇 ・海面付近の水塊が主に移動（風による吹き寄せ効果）

出典： 高知県ホームページ

津波による被害

人命被害	溺死，漂流物による打撲・骨折，漂流中の異物飲み込み
家屋・財産被害	家屋流出，破壊，浸水
防災構造物被害	洗掘による破壊，倒壊，変位，漂流物衝突による破壊
交通障害	法面洗掘，漂流物衝突による変位や落橋，土砂堆積による機能障害
ライフライン被害	水道，電力，通信，下水道施設の破壊
水産被害	養殖筏，漁網，漁船の流失・破壊，水産物流失，死滅
商工業被害	浸水による商品価値の喪失
農業被害	浸水による作物被害，流入土砂による農耕地・用水路埋没
森林被害	幹折れ，土壌洗掘，塩害
火災	流出家屋，漁船機関室からの出火，ガソリン保管庫への漂流物衝突による出火，漏電
石油流出	火災の火元，延焼，環境汚染
地形変形	河口砂州切断，砂浜の変形

2004年スマトラ島沖地震による津波災害

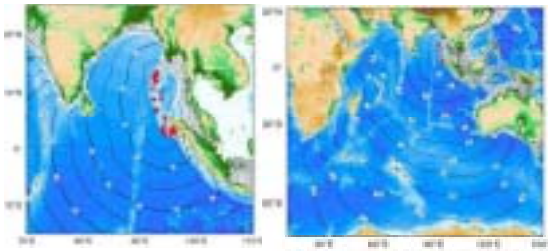
スマトラ島沖地震津波

■ 2004年12月26日7時58分に発生したM9.1の地震

■ 震源深さは約10km

出典： 産業技術総合研究所（佐竹健治氏）

スマトラ島沖地震津波の伝播速度



（単位：時間）

出典： 産業技術総合研究所（佐竹健治氏）

スマトラ島沖地震津波被害状況①

現地踏査

■ 対象地域： スリランカ南東部～南部～南西部

■ 調査日程： 2005年5月5日～5月10日

■ 調査団：

水谷法美 名古屋大学大学院・教授（団長）
池谷 毅 鹿島建設(株)技術研究所・上席研究員
川崎浩司 名古屋大学大学院・助教授
鯉渕幸生 東京大学大学院・講師
福濱方哉 国土技術政策総合研究所・海岸研究室長
山本吉道 東海大学大学院・教授

スマトラ島沖地震津波被害状況③

ヤーラサファリビーチホテル

スマトラ島沖地震津波被害状況④

ヤーラ国立公園の海辺に面したレストラン

スマトラ島沖地震津波被害状況⑤

キリンダ漁港

スマトラ島沖地震津波被害状況⑥

ハンバントータ

スマトラ島沖地震津波被害状況⑦

ゴール

スマトラ島沖地震津波被害状況⑧

ヒッカドゥーワ

スマトラ島沖地震津波被害状況⑨

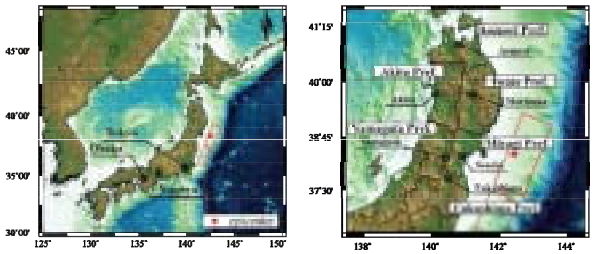
ヒッカドゥーワ（津波来襲直後）

スマトラ島沖地震津波後の復旧状況

ハンバントータ

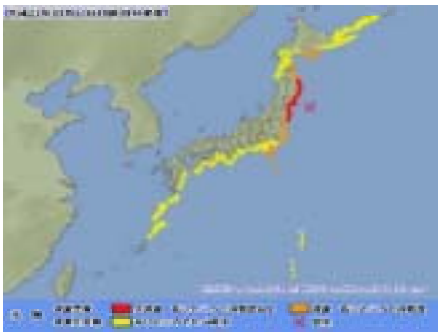
2011年東日本大震災

東北地方太平洋沖地震



- 発生時刻　2011年3月11日14時26分
- 地震規模　M9.0
- 震央　三陸沖（牡鹿半島の東南東約130km付近）
  北緯38度6分12秒・東経142度51分36秒
- 震源深さ　24km（暫定値）

東日本大震災における津波予報の推移



出典：　気象庁ホームページ

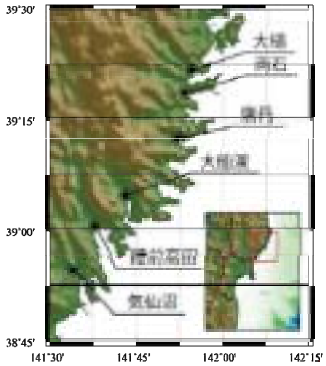
過去の地震津波との比較

地震	発生日	マグニチュード	死者・行方不明者数
貞観地震	869年7月9日	8.6	約1,000人
慶長三陸地震	1611年12月2日	8.1	2,000人～5,000人
明治三陸地震	1896年6月15日	8.2	21,959人
昭和三陸地震	1933年3月3日	8.1	3,046人
東北地方太平洋沖地震	2011年3月11日	9.0	約26,000人

現地調査の概要

- 対象地域：　宮城県北部・岩手県南部
- 調査日程：　2011年4月4日(月)～4月9日(土)
- 調査チーム：
  川崎浩司　名古屋大学・准教授（チームリーダー）
  李　光浩　名古屋大学・准教授
  中村友昭　名古屋大学・特任講師
  鈴木進吾　京都大学防災研究所・助教

現地調査対象地域



甚大な津波被害

海岸構造物被害①

海岸構造物被害②

漂流物による被害

火災

津波による洗掘

津波の河川遡上による被害

高所移転・高台への避難

津波伝播モデル

非線形長波理論を採用

●質量保存式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0$$

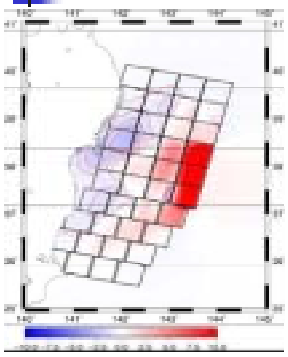
●運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M^2}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{MN}{D}\right)+gD\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{gn^2}{D^{7/3}}M\sqrt{M^2+N^2}=0$$

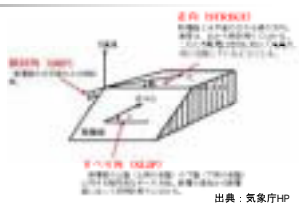
$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{NM}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N^2}{D}\right)+gD\frac{\partial \eta}{\partial y}+\frac{gn^2}{D^{7/3}}N\sqrt{M^2+N^2}=0$$

ここで，ηは水面の鉛直変位，hは水深，Dは全水深($=\eta+h$)，M, Nはx, y方向の単位幅当たりの流量($M=uD$, $N=vD$)，nはマニングの粗度係数である．

東日本大震災における地殻変動量



鉛直変位量

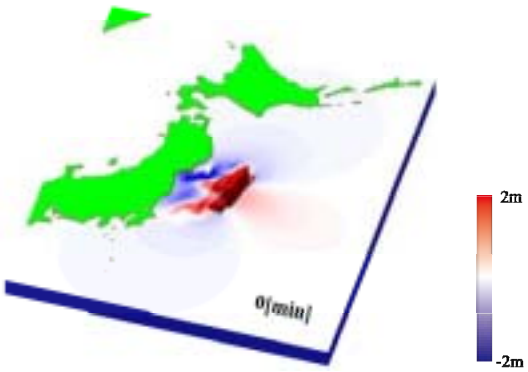


出典：気象庁HP

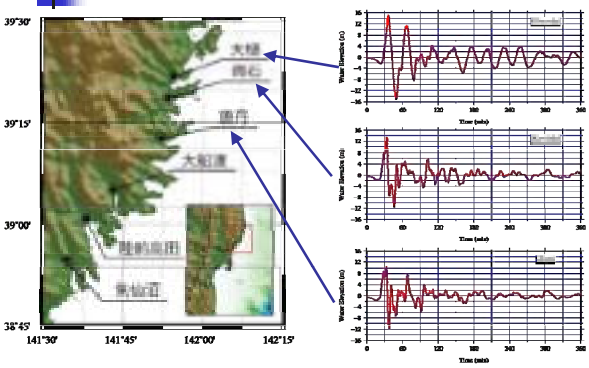
地震発生時刻	2011年3月11日14時46分
震源位置	38.103N, 142.860E, 深さ24km
断層面基準点	39.738N, 144.331E, 0.0km
走向	193度
傾斜角	14度
断層長さ・幅	500km×200km 50km×50kmの小断層40枚で構成
滑り角	81度
滑り量	小断層ごと異なり，最大51.7m
地震モーメント	0.457×20^{22}Nm
モーメント・マグニチュード	9.05

建築研究所，港湾空港技術研究所の資料を参考に設定

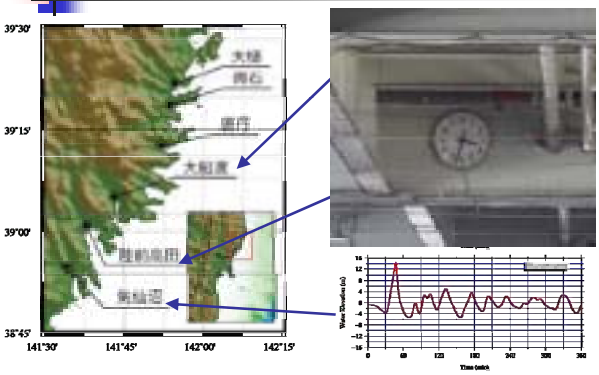
東日本大震災での津波の再現計算



水位変動の計算結果①

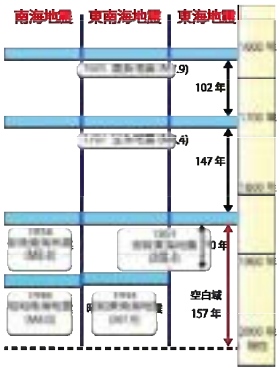


水位変動の計算結果②



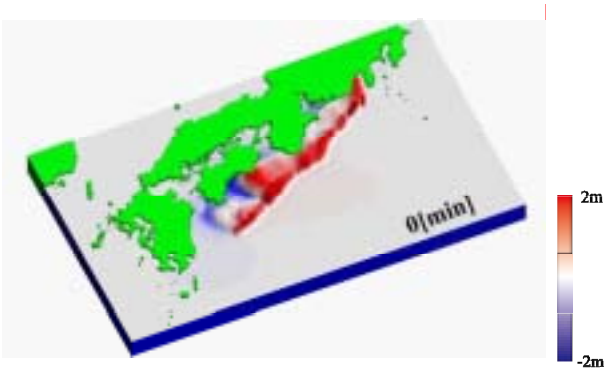
東海・東南海・南海三連動型地震に備えて

東海・東南海・南海連動型地震

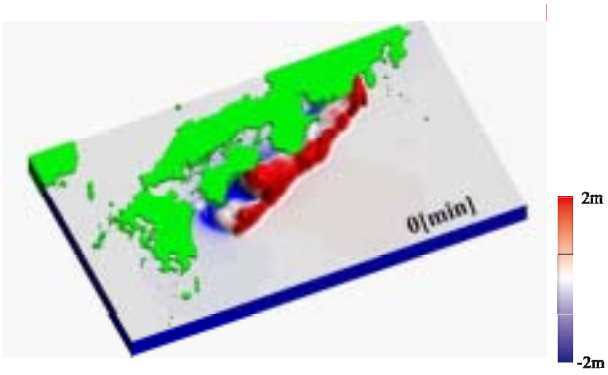


- 東海地震は前回の1854年以降，150年以上経過
- 今後30年以内の発生確率は「87%」
- 過去には，東南海・南海地震が同時に発生
- 三連動型地震では，最悪の場合，死者は約28,000人，経済的被害は約81兆円

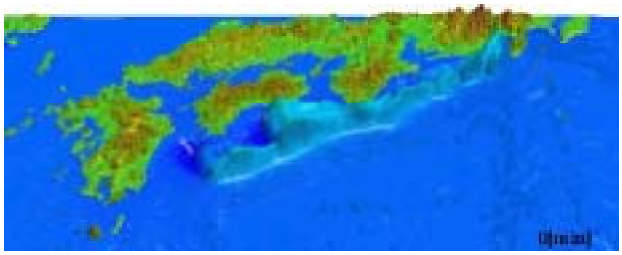
東海・東南海・南海三連動型地震津波（M8.7：中央防災会議想定）



東海・東南海・南海三連動型地震津波（M8.9）



東海・東南海・南海三連動型地震津波（M9.0）



おわりに

自然は過去の習慣に忠実である.

それゆえに災害は忘れた頃にやってくる.

寺田寅彦の名言