

船上シンポジウム「自然災害に対応した練習船のあり方」

想定される津波災害

開催時期:2005年2月15日

開催場所:練習船青雲丸

神戸大学海事科学部

教授久保雅義

1

近代化の試練

- 前回の地震は江戸時代火災の面から見れば非常にタフな社会システムであった。
- 油やLNG, LPGといったエネルギー基地と都市の密接な繋がり
- 今までの延長線上の港湾形態、エネルギー供給システムを抜本的に見直すことに繋がる。
- 地震と津浪による石油タンクの破壊・燃料流出・火災の広がり
- 300の港湾
- 3000基の石油タンク

2

従来の港湾計画における 最大の問題点

- 港湾計画では津波を初期では考える。
- 港湾計画では津波を考えてこなかった。
- これを抜本的に改めないと今回の危機を乗り切る事は出来ない。

3

一般的認識と専門家集団とのギャップ

エネルギータンクが壊れるとは考えられない。

漂流物：材木、コンテナ、プレジャーボートとタンク位置の繋がり

結合確率を計算する。

津波は穏やかな水位上下動なので船舶への影響は小さい

大きな流速の発生、大きな流体力

航行中の船は安全であると思いきわ危険性

航路航行中の船は座礁の危険性がある。

巻き波砕波で転覆の危険性もある。

防潮堤の外は関係無いと見ている。

二時間で閉められる。

コンビナートは防潮堤の外なので、コンビナートは関係無い。

コンビナートと船の研究はしていない。

南海地震の津波は食いとめられると考えている。

市民の立場と作業員の立場

市民は逃げる。専門作業従事者は守る。

4

危機管理の難しさの本質

- ・危機管理とは何か？
- ・起こらないと考えていることが起こること。
- ・リターンピリオドが長い。
- ・予測できない。
- ・起こると大きな悲惨な結果を招く。
- ・人間の寿命に比べて・リターンピリオドが長い
ため忘れた頃にやってくる。

5

常時対応と非常時対応

- ・ 大型船はタグが必要です。
- ・ 自力で出ようとすれば、岸壁をこすります。岸壁は弱いので壊れます。
- ・ スラスタも無いので、タグ無では逃げられない。
- ・ 2次災害を考えれば岸壁が壊れる位は問題ではない。
- ・ 入船係留、出船係留、沖合いシーバース
- ・ 思考が平時の考えに留まっている。
- ・ 船のエンジンの暖機に時間が掛かるのであれば、タグで引っ張っていくしかない。
- ・ 繋いだままが良いか、離れたほうが良いか。シミュレーションをするしかない
- ・ 船が損傷しても油が漏れなければ良い。
- ・ タービンは暖気2時間が掛かる
- ・ ディーゼル30分でいける。

6

地震と津波の船舶への影響

荷役作業中、係留中、離着岸作業中、出航中、入港中での地震又は、津波の影響

安全と考えられる津波の規模

津波、地震に関する検討委員会

津波、地震対策マニュアル

タグボートの支援

石油タンクの地震と津波の安全性の検討

7

地震直後

- 5～6秒の長周期地震動でスロッシングを起こし
- 中の石油が外に溢れる可能性を持っている。
- この時中蓋がこすれて火花を起こす可能性がある。
- 1次火災の可能性の指摘：京大防災研入倉先生

津波による港湾でのハザードチェーン

8

新しい被害

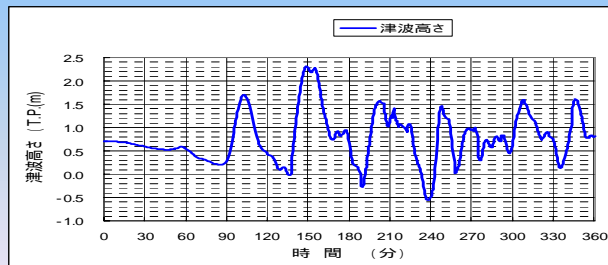
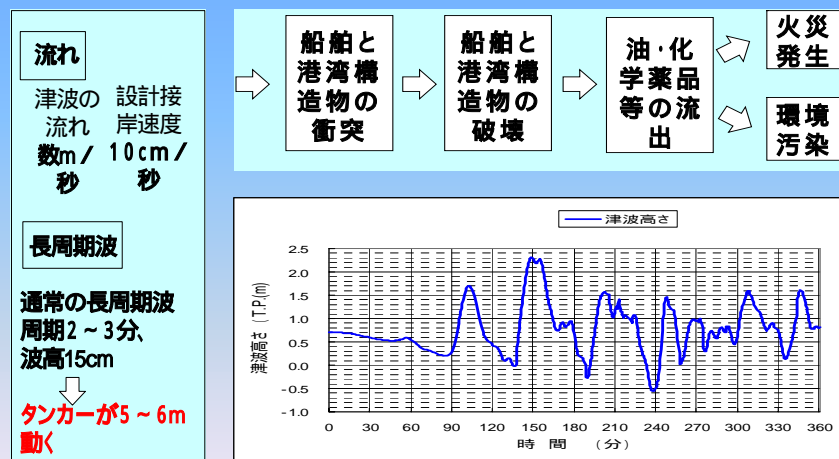
海道南西沖地震による火災の発生（奥尻島青苗）
 打ち上げられた船舶等の燃料による大規模火災



(<http://www.dosanko.co.jp/okushiri/what/yume01.html> - 7k)

9

津波による港湾でのハザードチェーン



10

津波災害と他の海難との違い

津波の対象領域が広く、災害発生の形が多岐に渡る。

津波が来ても逃げられない。

逃げている途中で津波が来る。

逃げることができる。

このようにシナリオが多岐に渡るために、多くの研究者の連携を避けて通れない。

11

対象船舶の列挙

- 貨物船
- コンテナ船：空コンテナの浮遊と漂流
- 油タンカー
- ケミカルタンカー
- LPG
- LNG：積出港と受入港の位置づけ違い
- 漁船：時間的余裕と2次災害の関係
- プレジャーボート：2次災害の原因となる。
- 作業船、はしけ、台船、
- タグボート：波浪中での曳引力の低下、避難時間

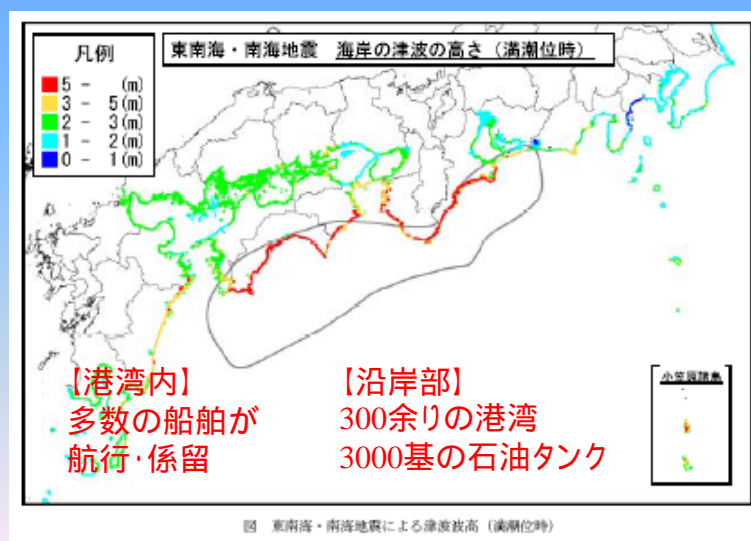
12

津波の要素と船の関係

- 津波高さ: 岸壁乗り上げ
- 津波の引きの谷深さ: 座礁可能性
- 津波流速: 岸壁への押し付けにもつか
- 津波波形勾配: 転覆の危険性
- サーフィンの危険性
- 津波到達時間: ピーク時を言っている。
- 津波継続時間: 8時間、多くが混合状態になる。
- 流木、プレジャーボート、漂流物
- 長周期成分の発生の可能性

13

東南海・南海地震の津波波高予測



4

津波の周期特性

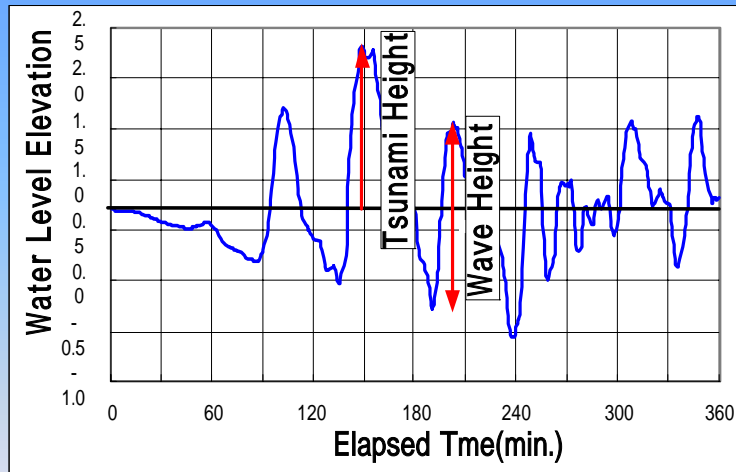


Fig. 1 Example of Numerical Calculation of Tsunami Wave Profile by KOSHIMURA

15

津浪の継続時間

一般的には津波は短時間に終わると考えられている。

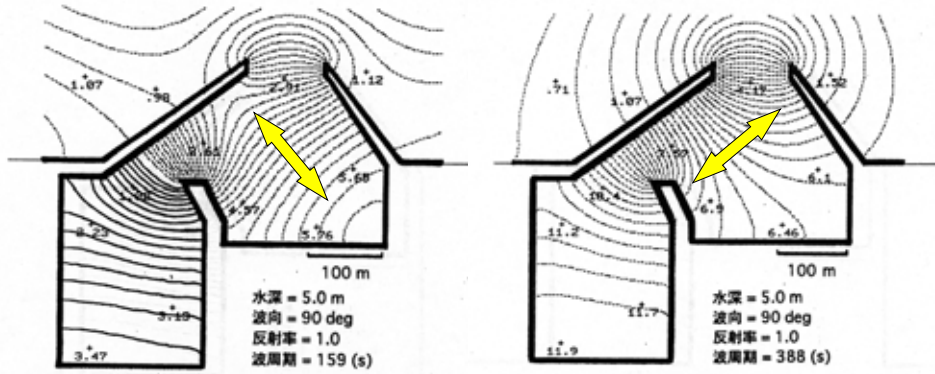
波の周期が長くなると反射率は1に近くなる。大阪湾、瀬戸内海に侵入すると約8時間続くと言われている。

潮位の高い時、低い時の両方で危険性を考慮してお必要がある。

潮位の高い時には内陸への津波の侵入、船舶の乗上、潮位の低い時には船舶の座礁問題

16

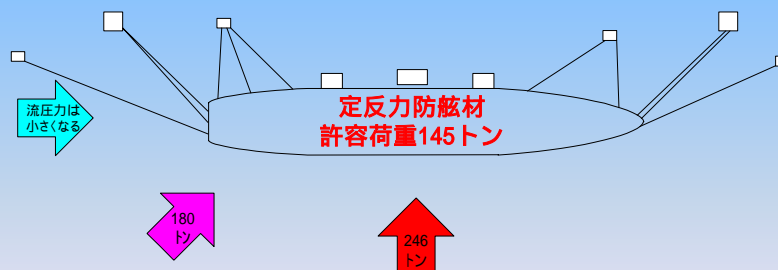
波の周期による流向の違い



17

流向の変化が係留船に及ぼす影響

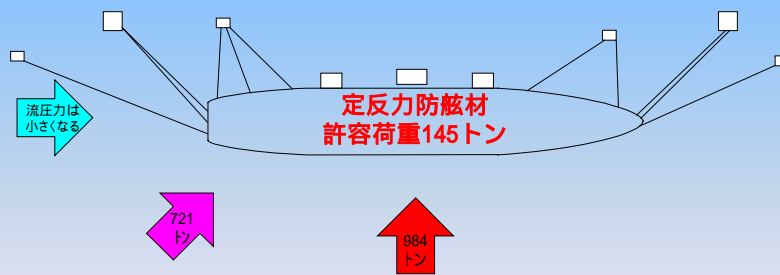
津波による流れが 1m/s の場合の流圧力



18

流向の変化が係留船に及ぼす影響

津波による流れが 2m/s の場合の流圧力



19

流向の違いが船舶接岸運動エネルギーに及ぼす影響

$$E_0 = \frac{1}{2} m V_0^2$$

E_0 : Usual Berthing Energy

m : Virtual Mass

V_0 : Berthing Velocity
10cm/sec

$$E_t = \frac{1}{2} m V_t^2$$

E_t : Berthing Energy at Tsunami

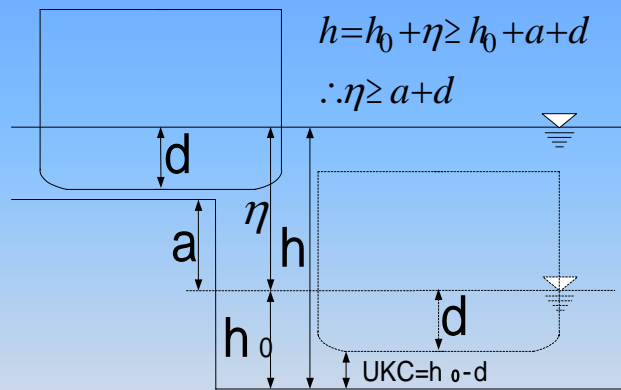
m : Virtual Mass

V_t : Berthing Velocity
a few meters/sec

$$\frac{E_t}{E_0} = \frac{\frac{1}{2} m V_t^2}{\frac{1}{2} m V_0^2} = \frac{V_t^2}{V_0^2}$$

20

津波による漂流物の陸上への打ち上げ



津浪の水位上昇と船舶の乗り上げ

21

港湾における地震・津波災害と船舶

チリ地震による津波の襲来（大船渡市大船渡町）
陸上に打ち上げられた巨大な船舶



（大船渡市所蔵²²）

津波と漂砂

- 津波で航路埋没が起こり、船が出られなくなるのではないか
- 田老町の例でも砂で町全体が1.5mの砂に埋まった。

23

座礁の危険性

- 大型船は満載時の余裕喫水10%で入港しているので、座礁の危険性がある。
- 制約条件になる。
- 大型船については逃げることに制約を付ける必要がある。
- 大型船の座礁は避けられない。

24

船舶の港外避泊 における問題点

港口部での混雑防止
各港での避難の順序付

港外避泊
港口からの適切な保安距離の確保

大阪湾中央部での集中の可能性
湾全体の広域調整

25

大都市圏への物流影響

航路埋没、座礁船の航路閉鎖

大型船の航行停止

小型船活躍の可能性

物資の供給、エネルギー供給の停止

LNG備蓄1ヶ月、物資の備蓄基地、

陸上備蓄基地と海上備蓄基地の比較

26

津波の周期性と港湾計画への取り込みについて

1605	Keityou Earthquake	
	102	
1707	Houei Earthquake	
	147	
1854	AnseiNankai Earthquake	Ansei Toukai Earthquake
	92	
1946	Nankai Earthquake	1944 Tou Nankai Earthquake

長期的に見た場合の地震発生間隔 (単位: 年)

27

事前に対応すべき事項 防災から減災へ

短期対応

到達時間が十分あり、逃げる事が出来る港は優先順位を決めておく。

港内係留船が一斉に逃げると港口部でパニックになる。

災害シナリオの作成

油流出シナリオ、タンク破壊シナリオ、油火災シナリオ、漁業被害シナリオ

長期対応

港湾計画の中で危険物バースの再配置計画

28

津波による係留船舶の動揺解析

榎原聖樹(横浜国立大)・久保雅義・小林英一(海事科学部)・越村俊一(人と防災未来センター)

津波の水位変動および流速の設定

対象港湾および対象係留バース周辺における津波の水位変動と流速を求める

津波の数値計算
津波の観測波形・流速
→ 適切に設定する必要性

対象バースの船体重心位置における津波の水位変動と流速を求める

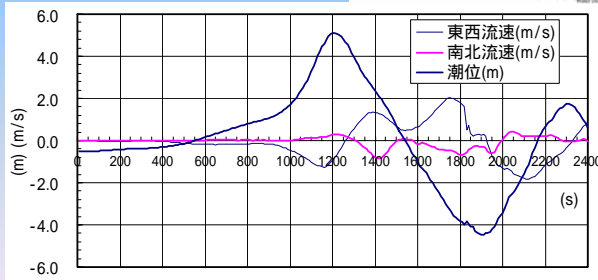
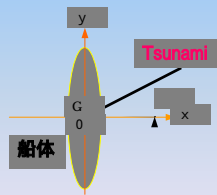
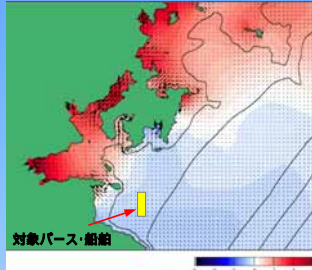


図1 津波の水位変動および流速の時系列 (バース前面)

津波水位変動から成分波、速度ポテンシャルおよび流速の設定

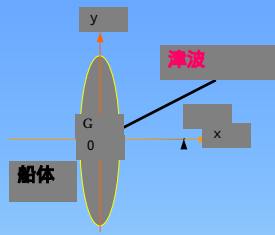


図2 座標系

$$\begin{aligned} \zeta(x, y, t) &= -\frac{1}{g} \frac{\partial \Phi}{\partial t} \text{ at } z=0 && \text{水位変動} \\ &= -i\zeta_0 \cdot \exp[ik(x \cos \omega + y \sin \omega) + i\sigma t] \\ \Phi(x, y, z, t) &= \frac{g\zeta_0}{\sigma} \cdot \exp[ik(x \cos \omega + y \sin \omega)] \cdot \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cdot \exp(i\sigma t) \\ u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} &= \text{船側方向流速} && \text{速度ポテンシャル} \\ &= \zeta_0 \cdot \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cdot \left\{ \frac{kg}{\sigma} \cos \omega \right\} \cdot \exp\left[ik(x \cos \omega + y \sin \omega) + i\left(\sigma t + \frac{\pi}{2}\right) \right] \\ v = \frac{\partial \Phi}{\partial y} &= \text{船首尾方向流速} \\ &= \zeta_0 \cdot \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cdot \left\{ \frac{kg}{\sigma} \sin \omega \right\} \cdot \exp\left[ik(x \cos \omega + y \sin \omega) + i\left(\sigma t + \frac{\pi}{2}\right) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

$$(2)$$

津波計算による津波の水位変動と流速データ

FFTによる成分波分解

船体周りの速度ポテンシャル設定 (波浪強制力や流圧力算出)

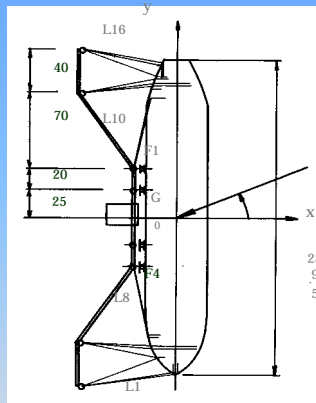
成分波の重ね合わせ

$$\left. \begin{aligned} \zeta &= \sum_{i=1}^{N_e} \zeta_i(x, y, t), \\ \Phi &= \sum_{i=1}^{N_e} \Phi_i(x, y, z, t), \\ u &= \sum_{i=1}^{N_e} u_i(x, y, 0, t), \\ v &= \sum_{i=1}^{N_e} v_i(x, y, 0, t). \end{aligned} \right\} (3)$$

津波を不規則波として扱う

適用事例と船体動揺への影響について

対象船舶

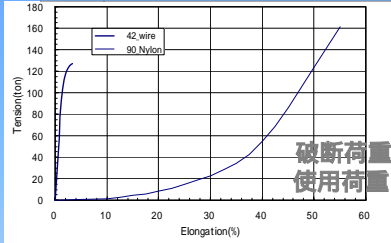


係留図 (135,000m³ LNG船)

固有周期

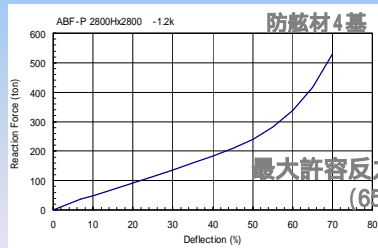
Sway : 61s
Surge: 136s

42mmワイヤーロープ(テイルロープ付き) 16本
初期張力: 各索10ton



破断荷重: 127ton
使用荷重: 42.3ton

係留索の特性



防舷材4基
最大許容反力: 416ton
(65%圧縮時)

防舷材の特性

31

成分波の抽出方法とFFTによる再現

FFTにより水位変動の成分波を抽出する

抽出する閾値波振幅を設定

閾値波振幅を5cmとする場合

成分波の周期はT=5120s ~ 160sに分布
長周期船体運動であるSway, Surgeと共振する
成分波は含まれなかった(成分波21波)

閾値波振幅を1cmとする場合

成分波の周期はT=5120s ~ 45sまで分布
共振する成分を含む抽出方法(成分波93波)

本来成分波ごとにリサージュ図形を作成

簡易的に、全ての流速振幅データをプロットして
卓越波向きを設定した(=-30deg)

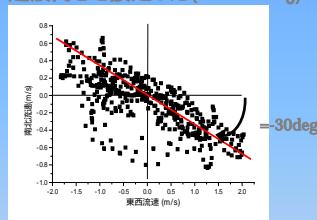


図 波の主方向および流向の設定

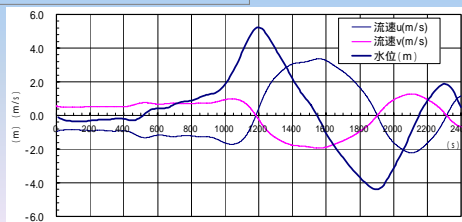


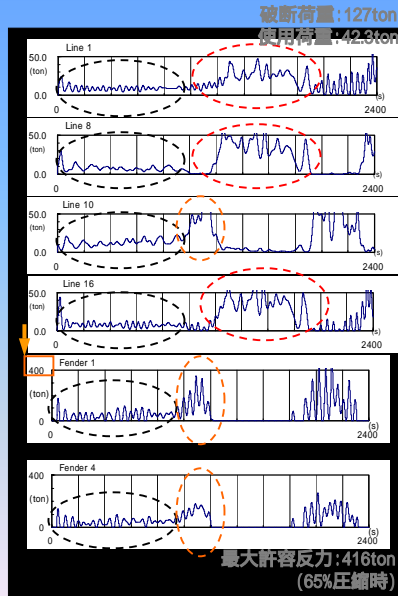
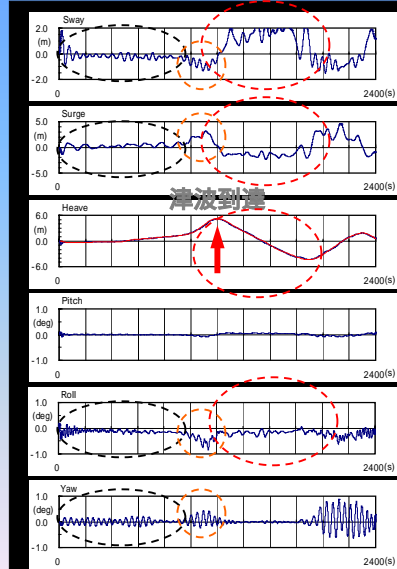
図 津波の水位変動および流速の再現計算結果(成分波21波)

32

共振周期を含む場合(閾値波振幅が1cmの場合)

*津波に含まれる長周期波成分との共振により動揺特性変化

(1) 流圧力を考慮しない場合



(2) 流圧力を考慮する場合

*流圧力を合わせることでさらに大きな船体動揺や係留力が発生

