

漂流物の評価

名古屋大学 浅井 竜也
(一財) 電力中央研究所 木原 直人



津波漂流物による被害事例



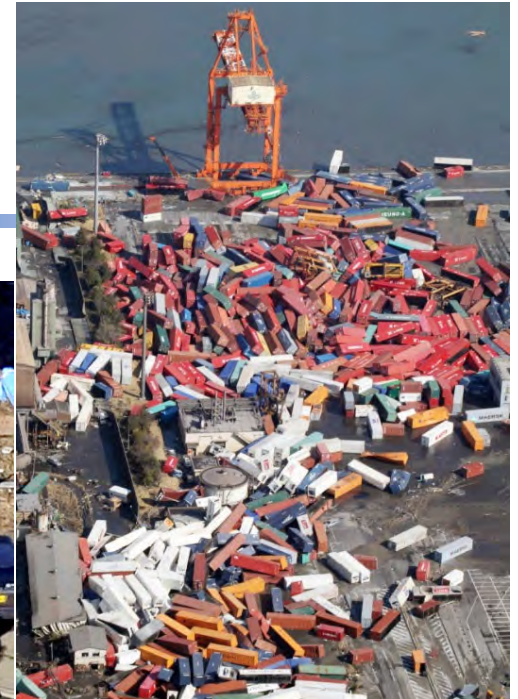
【自動車¹⁾】



【船舶²⁾】



【飛行機³⁾】



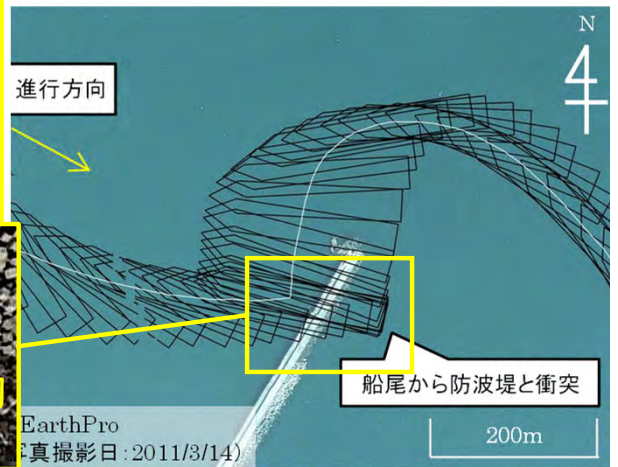
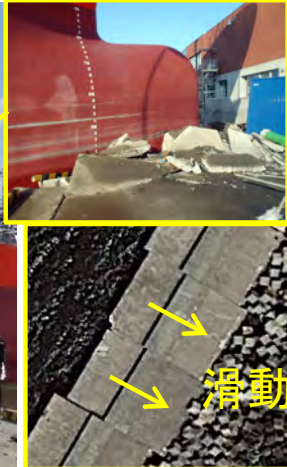
【コンテナ³⁾】



【船舶 vs 建物】



【船舶 vs 岸壁⁴⁾】



【船舶 vs 防波堤⁵⁾】

1) 東京大学生産技術研究所中埜研究室:2011年3月11日東北地方太平洋沖地震による建築物の地震被害および津波被害調査報告, 2012

2) CNN world

3) 日本経済新聞社:日本経済新聞電子版, 2011年3月12日

4) 八戸市:東日本大震災 八戸市の記録

5) 浅井竜也:津波漂流船舶の衝突時における衝撃外力が建築物の応答に与える影響評価に関する研究, 東京大学博士論文, 2017

津波漂流物評価に係る主な指針・ガイド・技術集

東日本大震災以降、津波荷重評価の体系化において漂流物評価も取り纏められてきたが、評価の全体フローや定量的な評価手法・技術が記載された指針等は少ない(漁港のガイドラインおよびASCE7のみ)。

- 国土交通省住宅局長, 津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について(技術的助言), 国住指第2570号, 2011.
- 国土交通省港湾局, 港湾の津波避難施設の設計ガイドライン, 2013.
- 水産庁漁港漁場整備部, 漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案), 2016
- (社)日本電気協会, 原子力発電所耐津波設計技術規程JEAC4629-2021, 2021.
- (社)日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 I共通編・II鋼橋編, 2012.
- (財)沿岸技術研究センター, 津波漂流物対策施設設計ガイドライン, 2009
- 土木学会 原子力土木委員会, 原子力発電所の津波評価技術2016, 2016.
- 日本建築学会, 建築物荷重指針・同解説, 2015.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, 2012, 2019.
- ASCE, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE 7-16, 2016, 7-22, 2022

漂流物の影響評価の流れ(案)

①漂流物の調査範囲の設定



②漂流物になりうる物の調査およびリストの作成



③漂流物の衝突速度や位置等の衝突条件の設定



④衝突荷重評価モデル/手法の選定



⑤構造健全性・安定性評価

①漂流物の調査範囲の設定

漂流・衝突により施設を損傷させ得る物の調査範囲を設定する。

- 現状では、津波の継続時間、流速、流向に基づき、評価対象施設の近傍まで到達し得る物が分布するエリアを定性的に決定されることが一般的。
- ASCE 7では定量的な設定手法が示されている(後述)。

②漂流物になり得る物の調査およびリストの作成

漂流・衝突により施設を損傷させ得る物の情報を収集してリスト化し、津波による移動可能性、津波高さ、喫水に基づき評価対象施設までの到達可能性を詳査し、衝突を考慮する漂流物を特定する。

(例) 東北電力(株) のリスト化の例¹⁾

調査分類		調査方法	対象例
A	発電所敷地内における人工構造物 (敷地内・陸域)	机上調査 現地調査	港湾施設 建屋 等
B	漁港・集落・海岸線の人工構造物 (敷地外・陸域)	机上調査 現地調査	港湾施設 家屋 等
C	海上設置物 (敷地内外・海域)	聞き取り調査 机上調査	係留漁船 養殖漁業施設 発電所湛漬施設 等
D	船舶	聞き取り調査 机上調査	燃料等輸送船 定期航路船舶
東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物		現地調査	

スクリーニング判断の観点

評価結果Ⅰ：設置高さ及び重量物のため漂流物とならない
 評価結果Ⅱ：設置状況等により漂流物とはならない
 評価結果Ⅲ：取水性への影響なし
 評価結果Ⅳ：漂流物対策を実施する

【調査分類Cにおける海上設置物の調査結果】

評価結果Ⅳ：漂流物対策を実施する

分類	名称	形状※	主材料	重量	数量	検討結果	評価結果
係留漁船	小型漁船(小屋取漁港の係留漁船)	—	FRP	5t未満 (総トン数)	18	係留索の破損等を考慮し、漁船の漂流物化を考慮する	ⅢorⅣ
養殖漁業施設	養殖筏	—	フロートローブ・木材	1t未満	約100	アンカーとの破断を考慮し、上部材の漂流物化を考慮する	ⅢorⅣ
その他 ・女川発電所港湾 関係施設	消滅範囲標識ブイ	φ0.76m(球体)	FRP	1t未満	5	アンカーとの破断を考慮し、上部浮標部の漂流物化を考慮する	ⅢorⅣ
	航路標識ブイ	33.56m×φ0.914m	鋼材	5t未満	4		
	海水温度観測鉄塔	約22m×11m×11m	鋼材	—	1		
	海水温度観測用浮標	26.63m×φ0.914m	鋼材	5t未満	1		

1) 東北電力：女川原子力発電所2号炉耐津波設計方針のうち漂流物の評価について、2018年

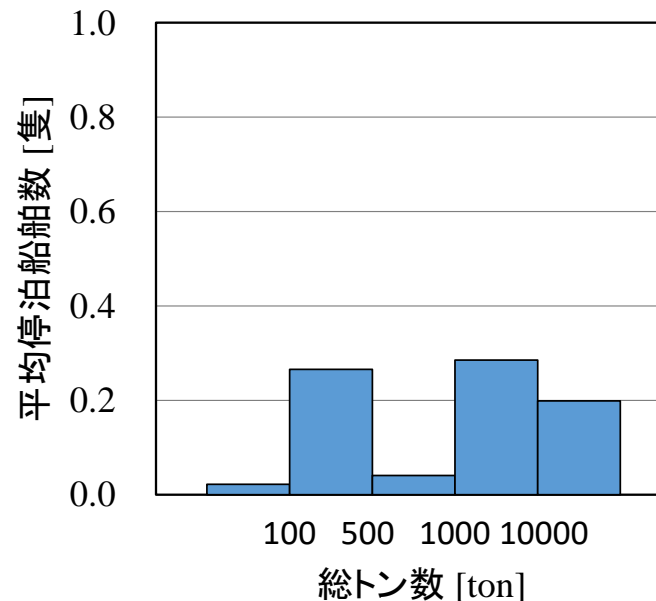
②漂流物になり得る物の調査およびリストの作成

- 船舶のAISデータを活用した手法¹⁾

- AIS(Automatic Identification System): 船舶の位置情報等を自動送受信するシステム。
- 港湾内の一定期間のAISデータ(船舶の位置, 総トン数, 滞在時間)に基づき, ある瞬間におけるある総トン数の平均的な停泊船舶数を算出する手法が提案されている。



【AISデータのプロットイメージ²⁾】



- AIS装置は一定以上の規模の船舶には搭載が義務づけられているが, 船舶の電源が投入されていないとデータが取得できない点に留意が必要。

1) 浅井竜也: 津波漂流船舶の衝突時における衝撃外力が建築物の応答に与える影響評価に関する研究, 東京大学博士論文, 2017

2) Marine Traffic社HPより転載

③漂流物の衝突速度や位置等の衝突条件の設定

漂流物の衝突荷重の評価においては、衝突位置や衝突速度、衝突角度を適切に設定することが望ましい。

- 重要施設に対しては、安全側の評価として、最大流速を衝突速度、衝突位置を衝突時に施設への影響が最も大きい位置、と設定する場合が多い。
 - 一方で、施設前面で生じた反射波の影響により、構造物に接近する漂流物速度が極端に低下する場合がある¹⁾。
- 海域における浮遊船舶が漂流して防潮堤に衝突する水理実験に基づき、防潮堤への衝突の発生指標が提案されている²⁾。
- 津波伝播シミュレーション結果に基づく手法のほか、漂流物の運動方程式を解くことで衝突速度や衝突可能性を評価する手法も提案されている³⁾。
- 漂流物の初期配置、反射波による影響、などに関する知見を総合的に踏まえ、合理的に衝突速度や衝突位置を評価する手法の体系化が望まれる。

1)星野智史, 増田光一ほか:津波作用時の構造物が流れ場に与える影響に関する実験的研究, AIJ大会学術講演梗概集, 2015

2)大成建設:耐津波設計脆弱性評価手法の整備に係る防潮堤水理試験(漂流物影響), 2019

3)水産庁漁港漁場整備部:漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)

④衝突荷重評価モデル/手法の選定

衝突力の評価に当たっては、衝突物および構造物の構造特性（剛性，強度，想定損傷モードなど）を踏まえて適切に評価法を選定することが重要。

- 水谷ら(2004, 2005, 2006)によるコンテナ衝突力評価式

$$F_{max} = 2\rho_w\eta_mB_cV^2 + \left(\frac{Vm}{\Delta t}\right)$$

- 海洋架橋調査会(1978)による大型船舶衝突力評価式

$$F_{max} = \frac{mV^2}{4D}$$

- Haehnel and Daly (2004) の衝突力評価式

$$F_{max} = V\sqrt{km(1+c)}$$

- ASCE (2016,2022)で採用された衝突力評価式

$$F_{max} = V\sqrt{km}$$

- 有川ら(2003)による消波ブロック衝突力評価式

$$F_{max} = \gamma_p\chi^{\frac{2}{5}}\left(\frac{5\tilde{m}}{4}\right)^{\frac{3}{5}}V^{\frac{6}{5}}$$
$$\chi = \frac{4}{3}\sqrt{a}\frac{E}{1-\nu^2}$$

- 松富(1999)による，流木の衝突力評価式

$$\frac{F}{\gamma D^2 L} = 1.6C_{MA} \left(\frac{V}{(gD)^{0.5}}\right)^{1.2} \left(\frac{\sigma_f}{\gamma L}\right)^{0.4}$$

m : 漂流物の質量[kg]

V : 漂流物の衝突速度[m/s]

B_c : コンテナ幅[m]

η_m : 遡上波の最大水位[m]

ρ_w : 水の密度[kg/m³]

Δt : 衝突継続時間[s]

D : 衝突船舶の停止距離[m]

C : 付加質量係数

x : 被衝突体への衝突に伴う圧縮量[m]

\hat{k} : 衝突時における有効軸剛性

k_t : 構造物部材の軸剛性

k : 漂流物の軸剛性[N/m]

γ_p : 塑性によるエネルギー減衰効果

χ : ヤング率 E 、ポアソン比 ν 、接触面積により定まるパラメータ

n : 接触面の形状により定まる係数

\tilde{m} : 衝突物と被衝突体の質量から求まる等価質量[kg]

a : 衝突面半径の1/2[m]

γ : 流木の単位体積重量[N/m³]

D : 木材の直径[m]

L : 木材の長さ[m]

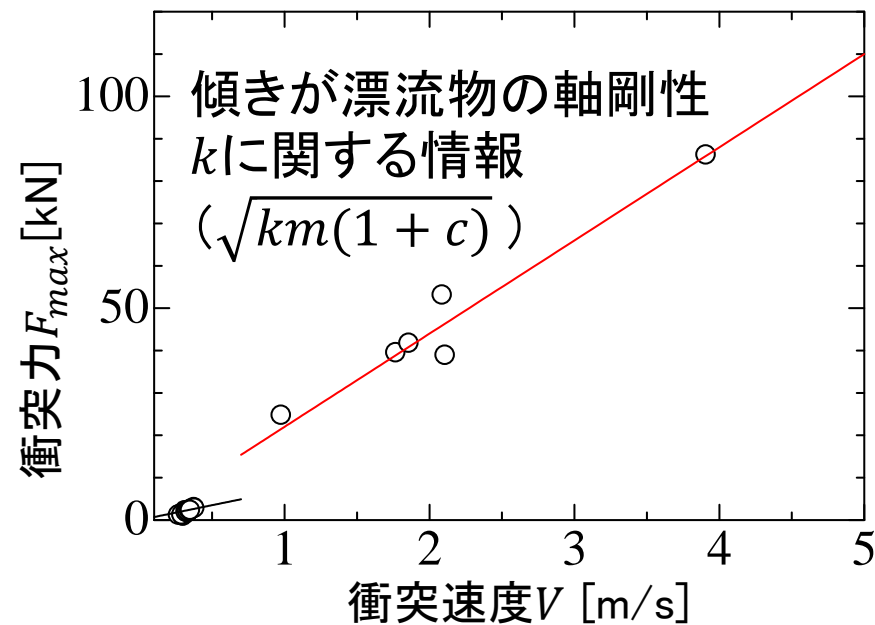
g : 重力加速度[m/s²]

C_{MA} : 見かけの質量係数

σ_f : 木材の降伏応力[N/m²]

④衝突荷重評価モデル/手法の選定

- 実験に基づく評価事例
 - 衝突実験に基づく自動車の軸剛性評価¹⁾



- ASCE 7に反映された実験事例(後述)²⁾

1) 高畠大輔, 木原直人ほか: 津波漂流物の衝突力推定における軸剛性モデル, 土木学会論文集(海外工学), 2015

2) ASCE, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE 7-16, 2016, 7-22, 2022

⑤構造評価

構造評価においては、衝突物および構造物の構造特性や損傷・破壊モードを踏まえて適切に評価法を選定することが重要。

- 衝突力に基づき評価する方法
 - 衝突力と構造物耐力の比較に基づく手法であり、最も一般的。
- 衝突エネルギーに基づき評価する方法
 - 衝突エネルギーを緩衝工の弾塑性ひずみエネルギーにより吸収する手法^{1), 2)}。
 - 鉛直支持部材の局所損傷に起因する建物崩壊の発生有無について、エネルギー的観点から被衝突部材の応答変形を求め、それに基づき評価する手法(後述)^{3), 4)}。
- 解析的に評価する方法
 - 衝突荷重の力積波形を用いた時刻歴応答解析により建物安全性を評価⁵⁾。
 - 津波漂流物の衝突によるコンクリート壁の応答・損傷の実験結果をFEMにより再現⁶⁾。

1) 沿岸技術研究センター：津波漂流物対策施設設計ガイドライン，2009

2) 水産庁漁港漁場整備部，漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)，2016

3) 松川和人，中埜良昭ほか：津波漂流船舶衝突時のRC造柱の安全性検討手法に関する研究，AIJ大会学術講演梗概集，2020

4) 島崎喬子，中埜良昭ほか：津波漂流船舶衝突時のRC造柱の安全性検討手法に関する実験的研究，AIJ大会学術講演梗概集，2021

5) 大貫かほり，高橋典之：多層RC造建築物の津波漂流物衝突に対する構造性能評価，コンクリート工学年次論文集，2018

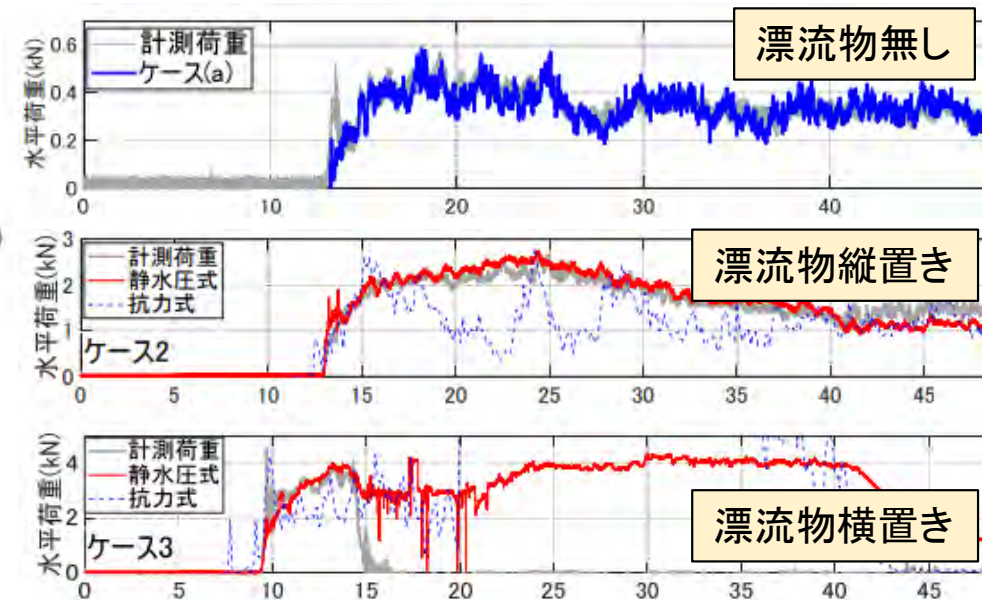
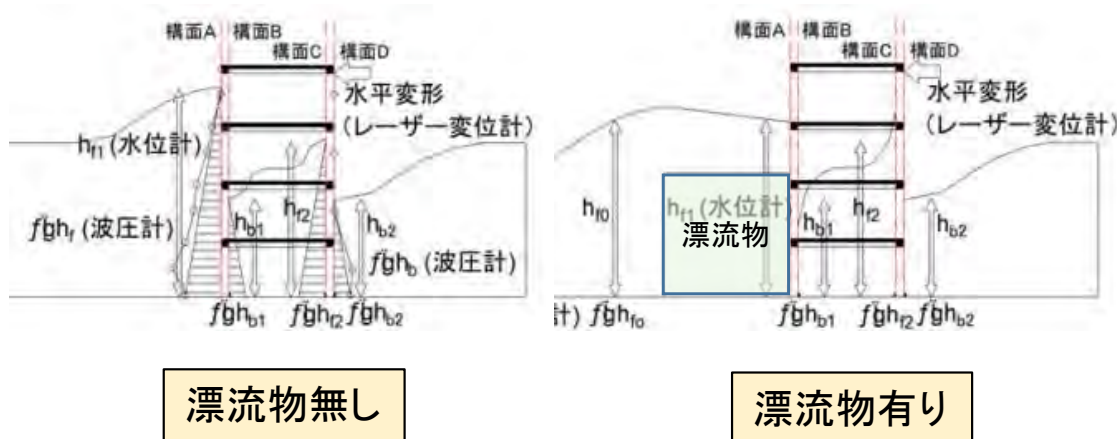
6) 宮川義範，柴山淳ほか：段波の先端付近を漂流する丸太とコンクリート壁の衝突実験，コンクリート工学年次論文集，2015

⑥その他の影響評価

漂流物の堆積による堰き止めの発生可能性がある場合には、堰き止めによる影響を適切に考慮する必要がある。

- 堰き止めの影響

- 津波漂流物が開口部に堆積することによる堰止め荷重について検証し、構造物の受圧面分の荷重を考慮する必要性について、縮小模型を用いた水理実験により示している¹⁾。

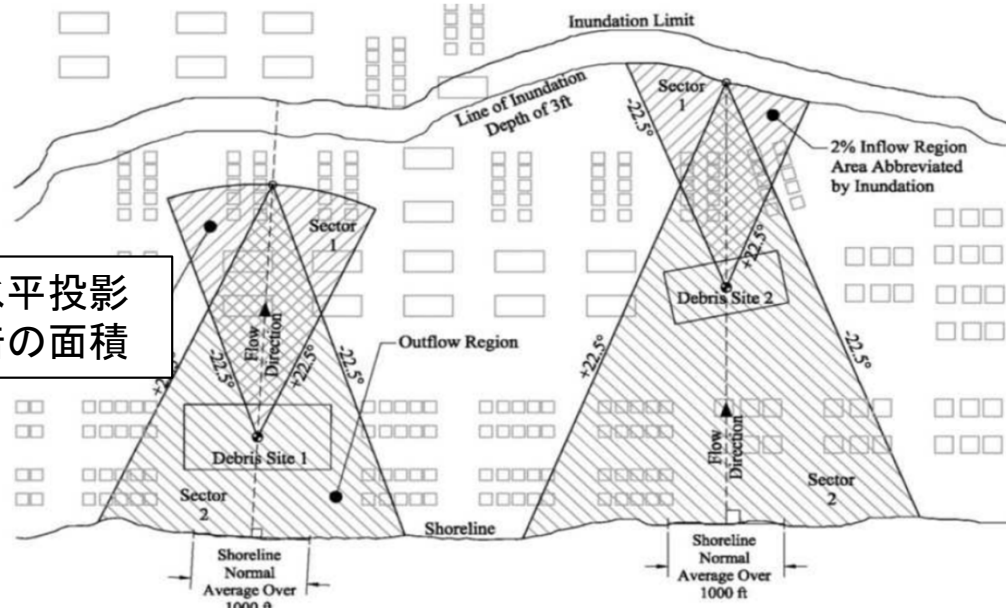


- 道路等の閉塞による復旧活動の遅れ。

ASCE7における津波漂流物評価の概要

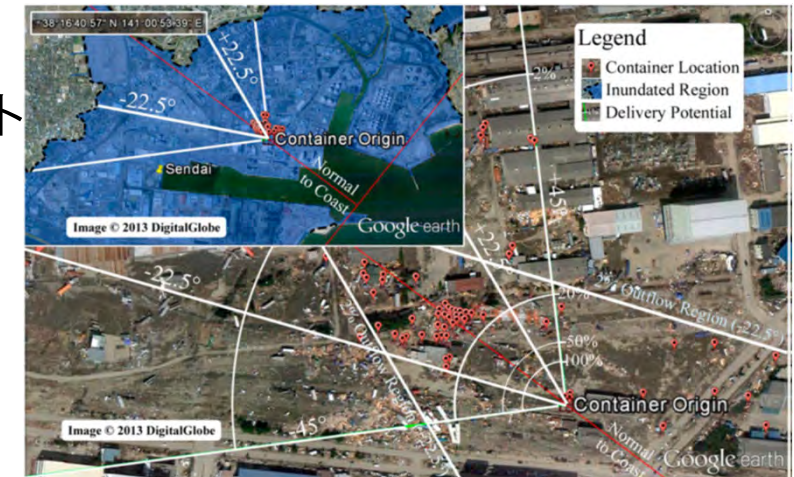
①漂流物を考慮する範囲と考慮すべき漂流物

- 比較的小規模な流木, 自動車, 巨礫, コンクリート片, は全構造物に対して考慮。
- 比較的大規模なコンテナおよび船舶は, 構造物が下図ハザード領域に立地する場合に考慮¹⁾。
- 漂流物輸送モデル(トレーサ解析)の使用も可。



漂流物の水平投影
面積の50倍の面積

漂流物衝突を考慮する構造物の立地範囲



【仙台港のコンテナ漂着範囲】



【関上港の船舶漂着範囲】

実津波による漂流¹⁾

1) Naito et. al.: Procedure for site assessment of the potential for tsunami debris impact, J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng., 2014

ASCE7における津波漂流物評価の概要

②漂流物の衝突荷重

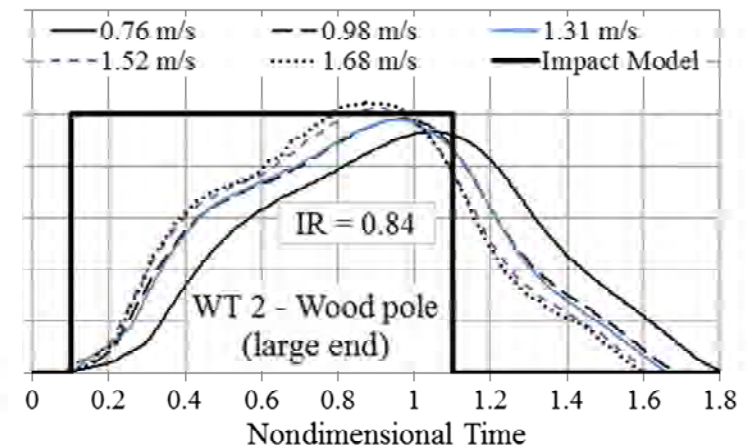
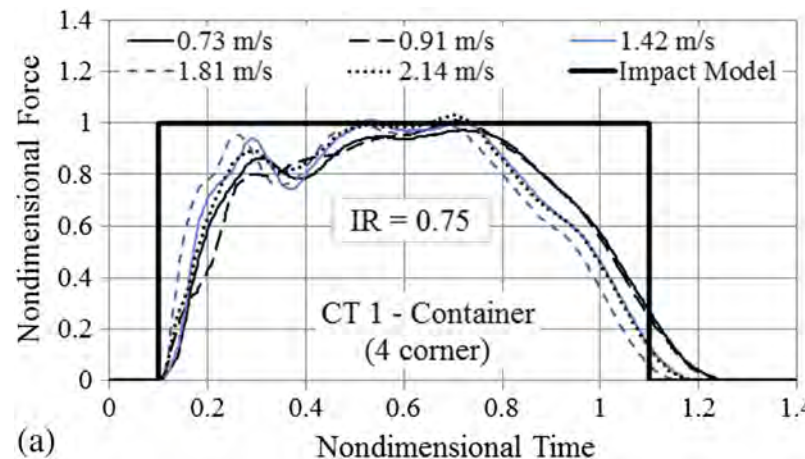
- 流木, 自動車, 巨礫, コンクリート片, コンテナを網羅する下式を使用できる。

$$F_i = 1470 C_0 I_{TSU} \left[\begin{array}{l} C_0 : \text{衝突角度による係数}(0.65) \\ I_{tsu} : \text{津波重要度係数} \end{array} \right] \quad \begin{array}{l} \text{※コンテナを除外できる} \\ \text{場合は半減できる。} \end{array}$$

- 上式は, 剛性・質量が一樣な棒状物体の弾性衝突時の理論荷重を, コンテナ・丸太の実大衝突実験¹⁾で確認し, それを1.5倍(動的効果)して提案されている。

$$\begin{aligned} F_{ni} &= u_{max} \sqrt{k m_d} \\ t_d &= 2 m_d u_{max} / F_{ni} \\ k &= EA/L \end{aligned} \quad \left(\begin{array}{l} u_{max} [\text{m/s}] : \text{衝突速度} \\ m_d [\text{t}] : \text{漂流物の質量} \\ t_d [\text{s}] : \text{衝突継続時間} \\ k [\text{kN/m}] : \text{漂流物の軸剛性} \end{array} \right)$$

※流体の影響は小さいとして無視されている²⁾。



1) Agli et. al.: Full-Scale Experimental Study of Impact Demands Resulting from High Mass, Low Velocity Debris, Journal of Structural Eng., 2014

2) Ko et. al.: Hydraulic Experiments on Impact Forces from Tsunami-Driven Debris, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., 2015

検討対象船舶のデータベース

- 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波来襲時に、**苫小牧港～銚子港の各港**に在港していた総トン数100トン以上の船舶
- データソース(全データ数:143隻(重複を除く))

I : AIS(Automatic Identification System)データ(海上保安庁提供):78隻

- AIS:一定要件を満たす船舶の位置情報等をリアルタイムに送受信するシステム

II : 船舶の避難行動に関するアンケート結果(日本海難防止協会提供):70隻

- 2011年東北地方太平洋沖地震後に、船舶の避難行動に関して海事関係者を対象にアンケート調査実施

III : その他各種文献:81隻

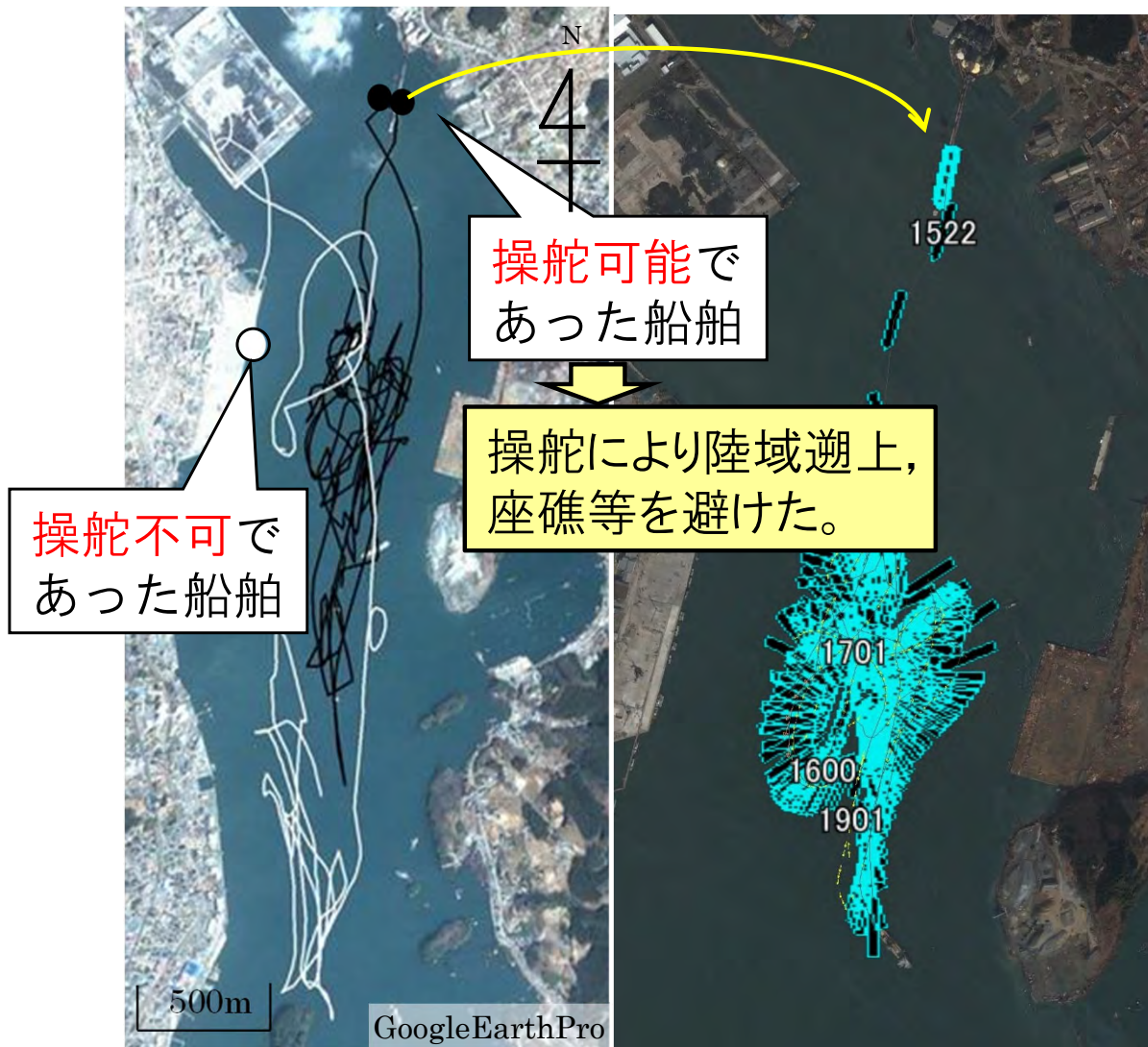
※検討母集団に偏りが生じることを防ぐため、**陸域遡上した船舶のみに着目した文献は除く**

以降、スライド33までは下記文献における検討内容。

「浅井竜也, 松川和人, 崔琥, 中埜良昭:津波漂流船舶の衝突に対する建築物の安全性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 2022」

AISデータに基づく船舶の実挙動分析事例

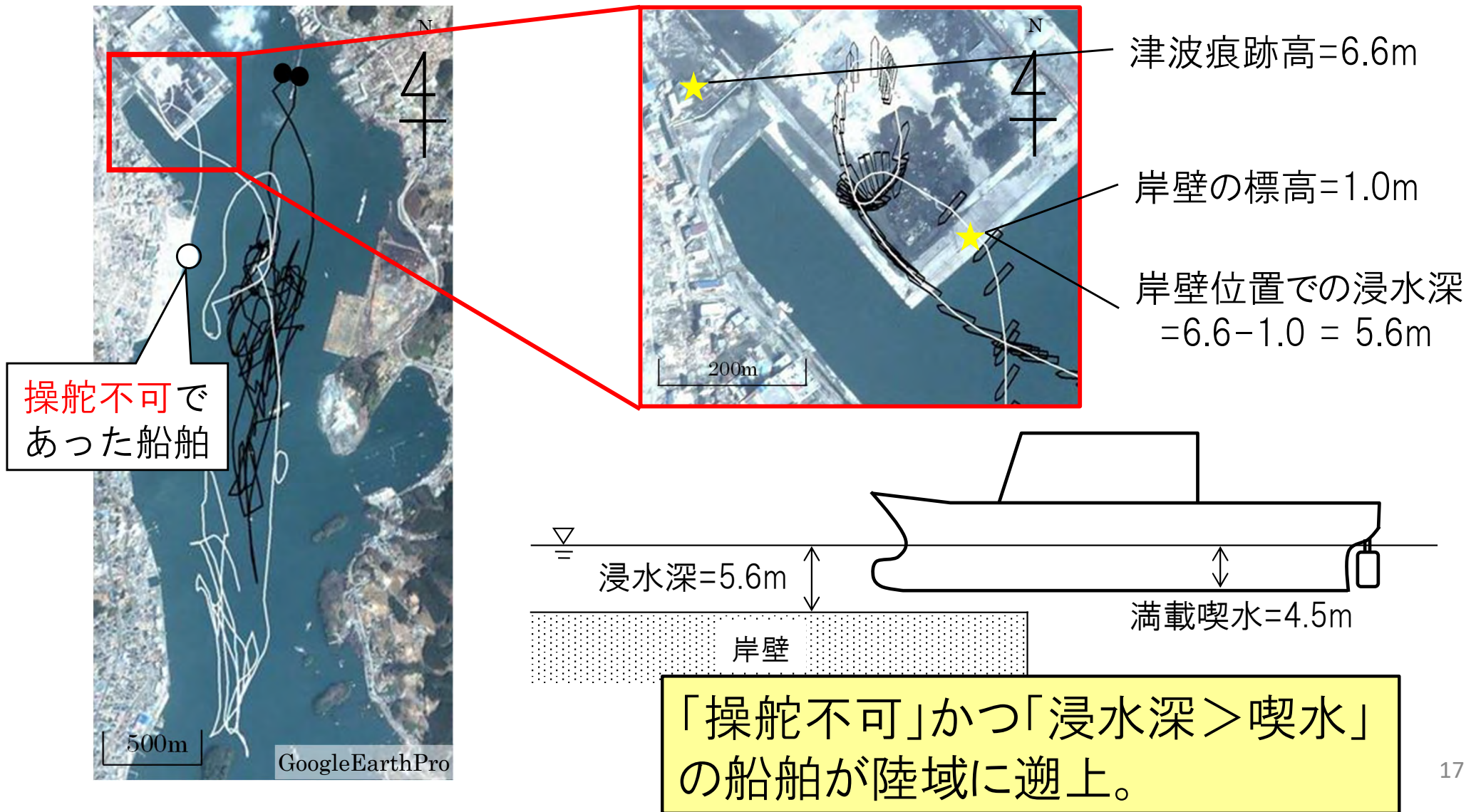
- 大船渡港における船舶挙動の例



*FNN311 Youtube チャンネル「大船渡港に押し寄せる津波」

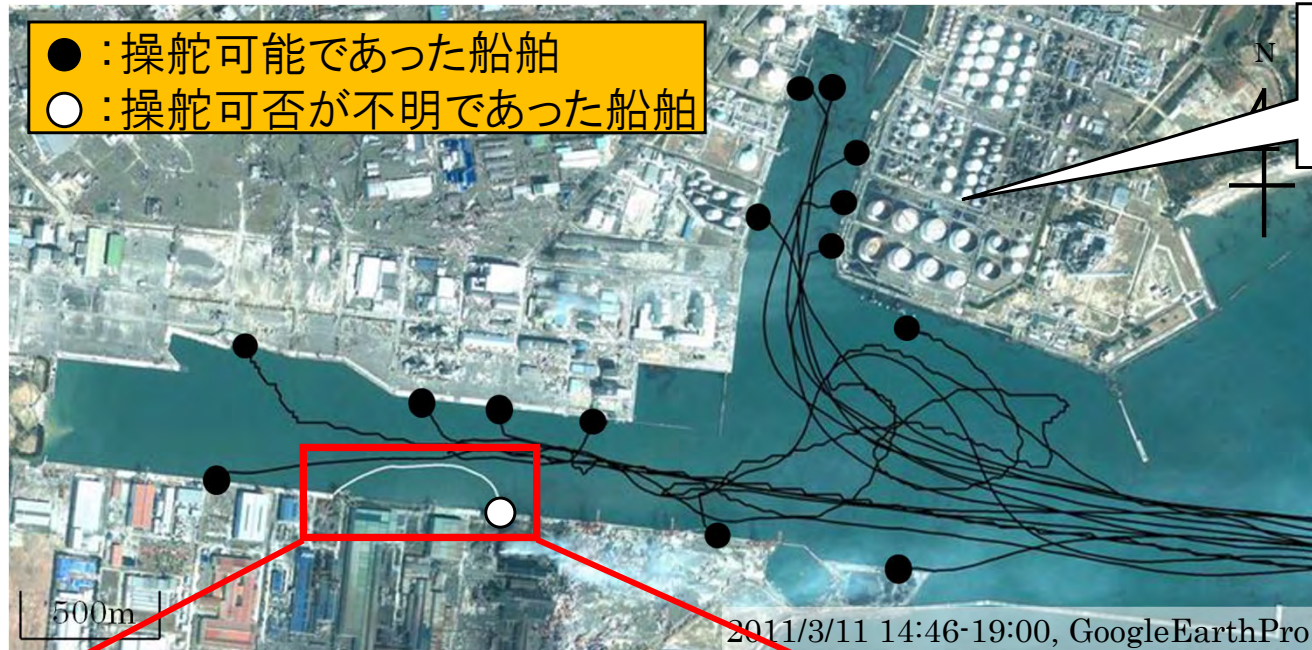
AISデータに基づく船舶の実挙動分析事例

- 大船渡港における船舶挙動の例



AISデータに基づく船舶の実挙動分析事例

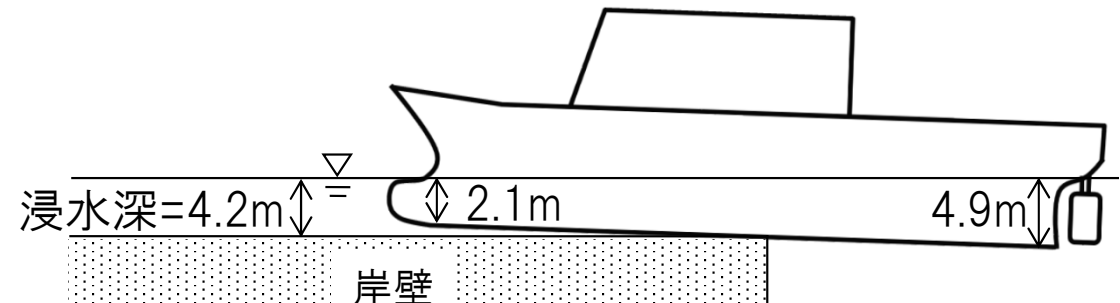
• 仙台塩釜港仙台港区における船舶挙動の例



操舵可能であった船舶
(●)はすべて港外に避難



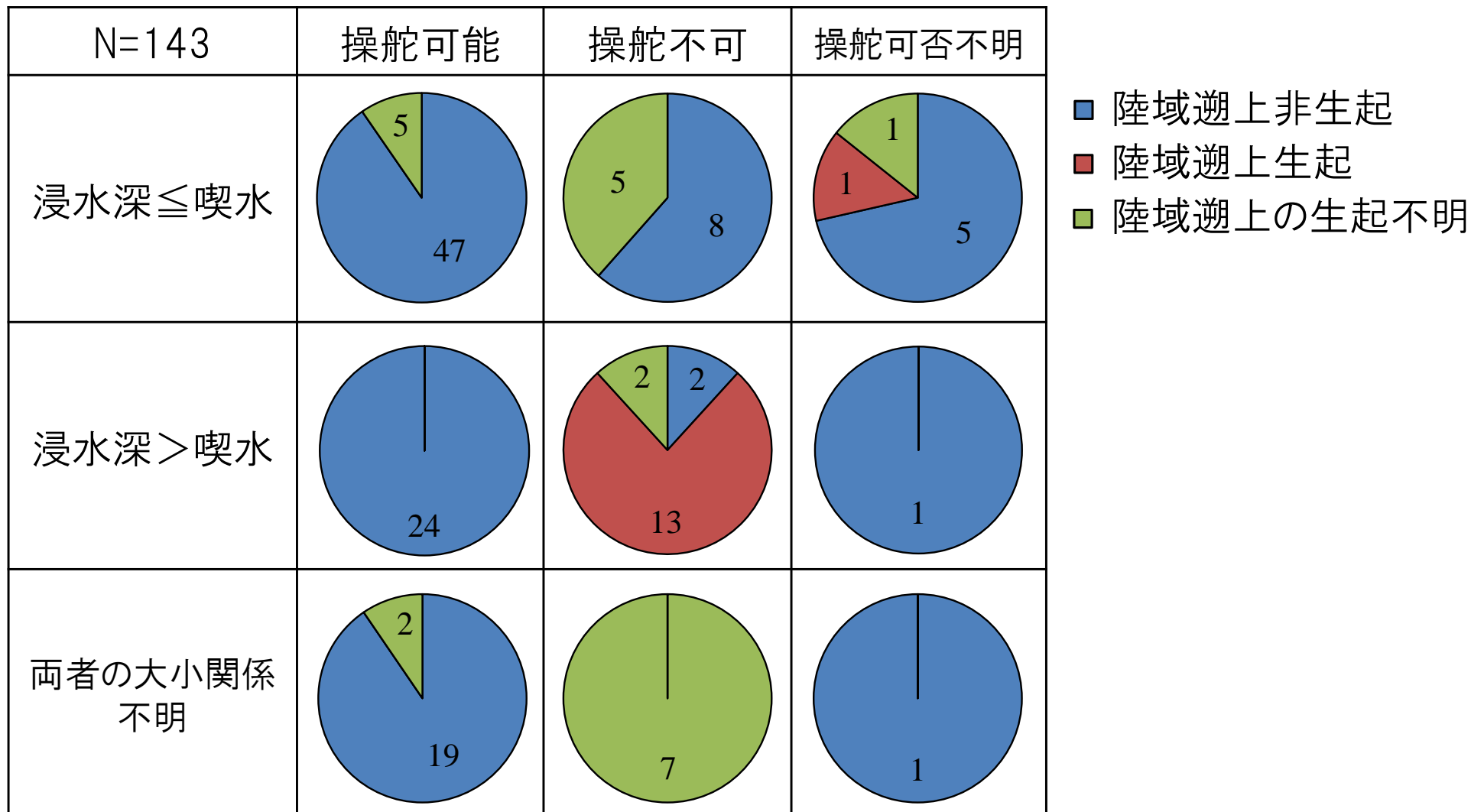
操舵可否不明の船舶(○)は
船首のみ陸域遡上して停止。



陸域遡上には「操舵可否」および「浸水深と喫水との大小関係」が重要な要因。

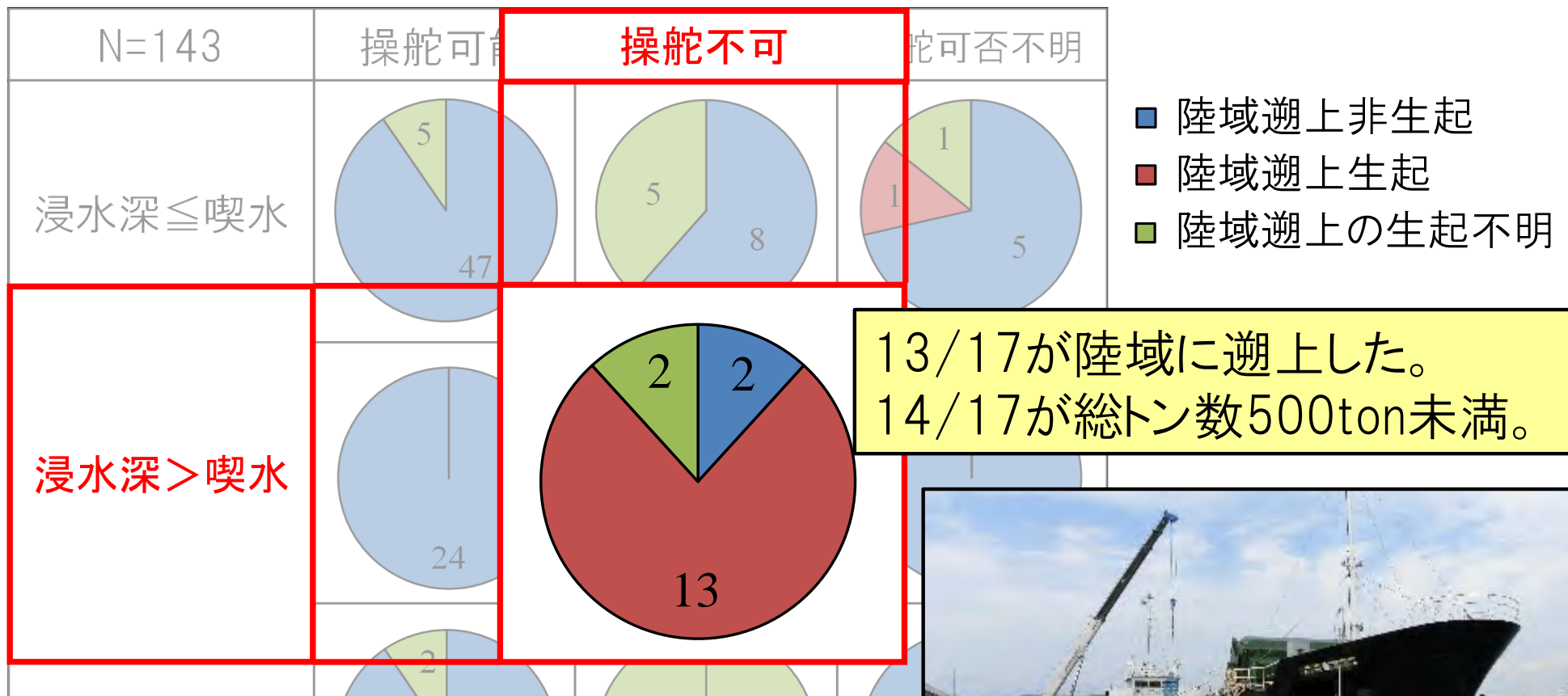
陸域遡上した船舶の条件と規模

- 「操舵可否」および「浸水深と喫水との大小関係」をパラメータとして検討。



陸域遡上した船舶の条件と規模

- 「操舵可否」および「浸水深と喫水との大小関係」をパラメータとして検討。



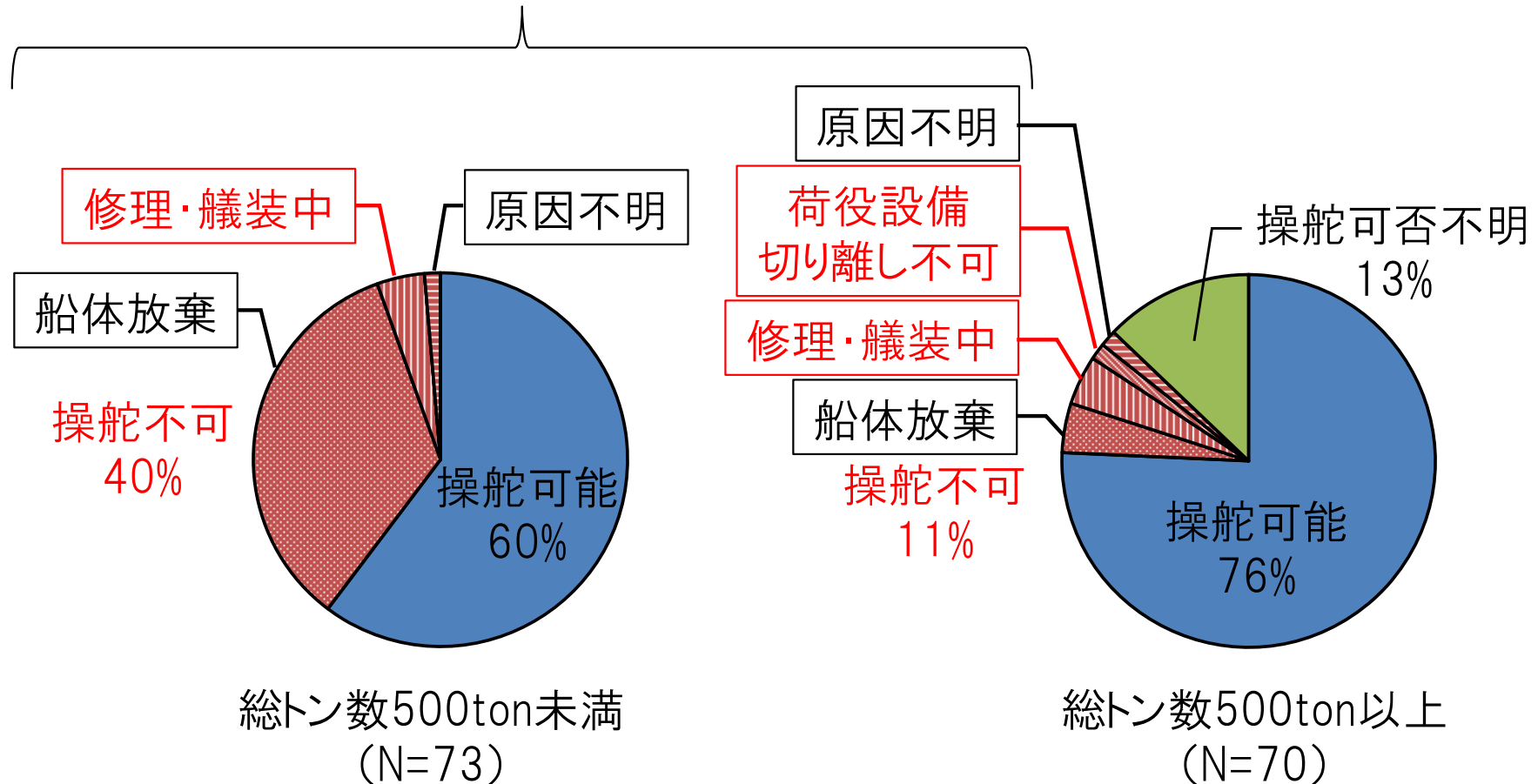
13/17が陸域に遡上した。
14/17が総トン数500ton未満。

将来の津波来襲時には、総トン数500ton未満の船舶の衝突に特に注意すべき。



陸域遡上した船舶の条件と規模

津波来襲時に船舶が操舵不可となった理由



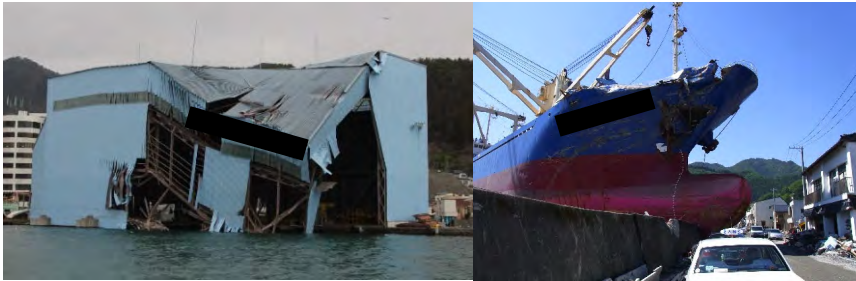
造船所を有するもしくは陸上側の停電対策が十分でない港湾では、500ton以上の船舶についても実状に応じて留意する必要がある。

津波来襲時の船舶挙動の実例分析

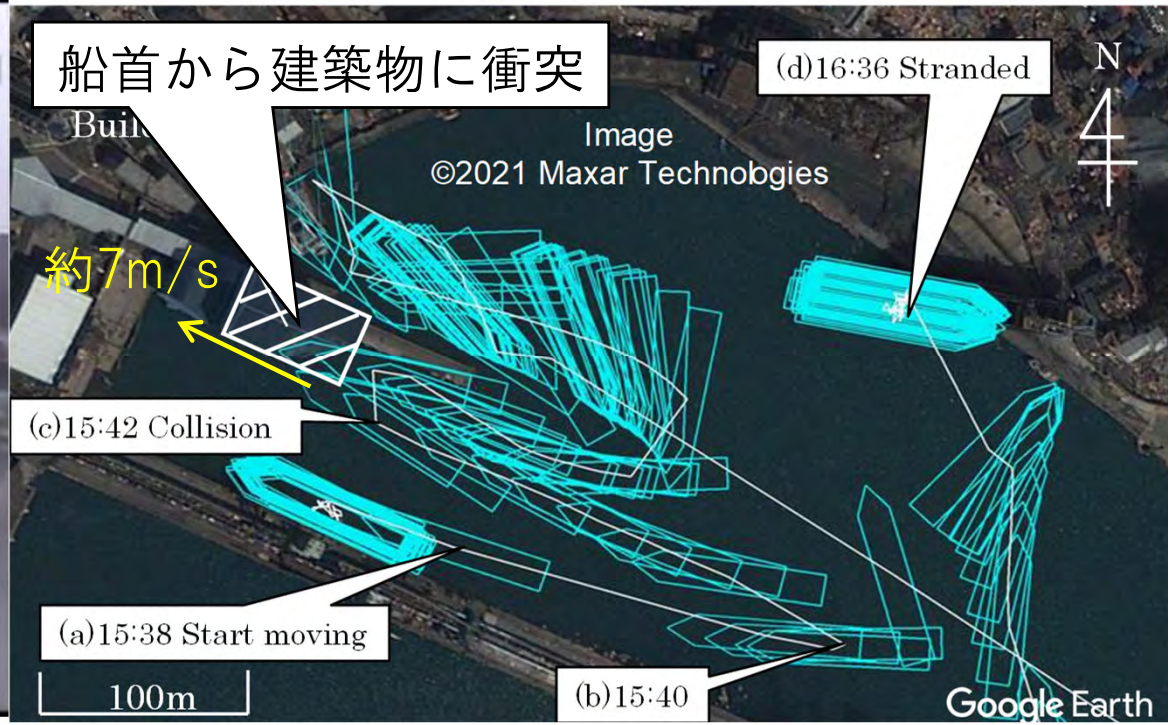
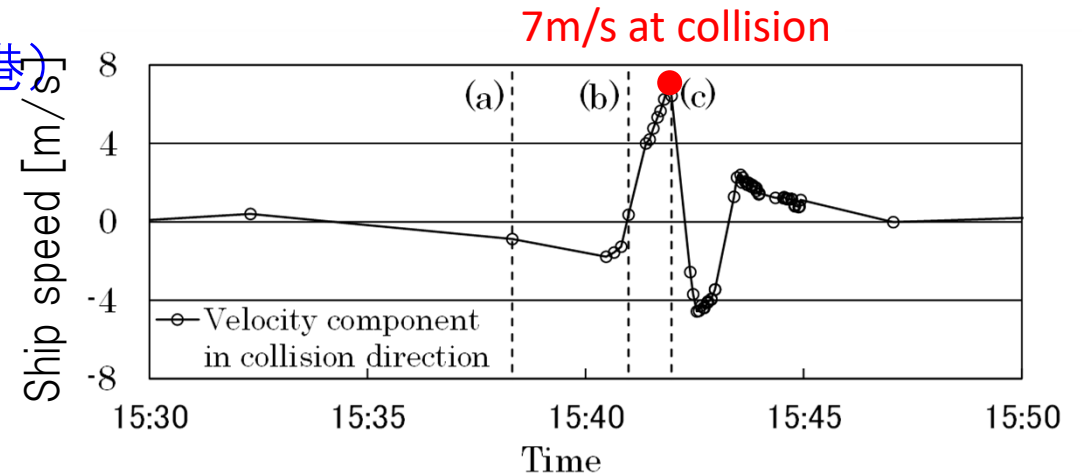
津波漂流船舶と構造物との実衝突事例

● 衝突船舶のAISデータが取得された事例

■ 一般貨物船と建築物との衝突(釜石港)



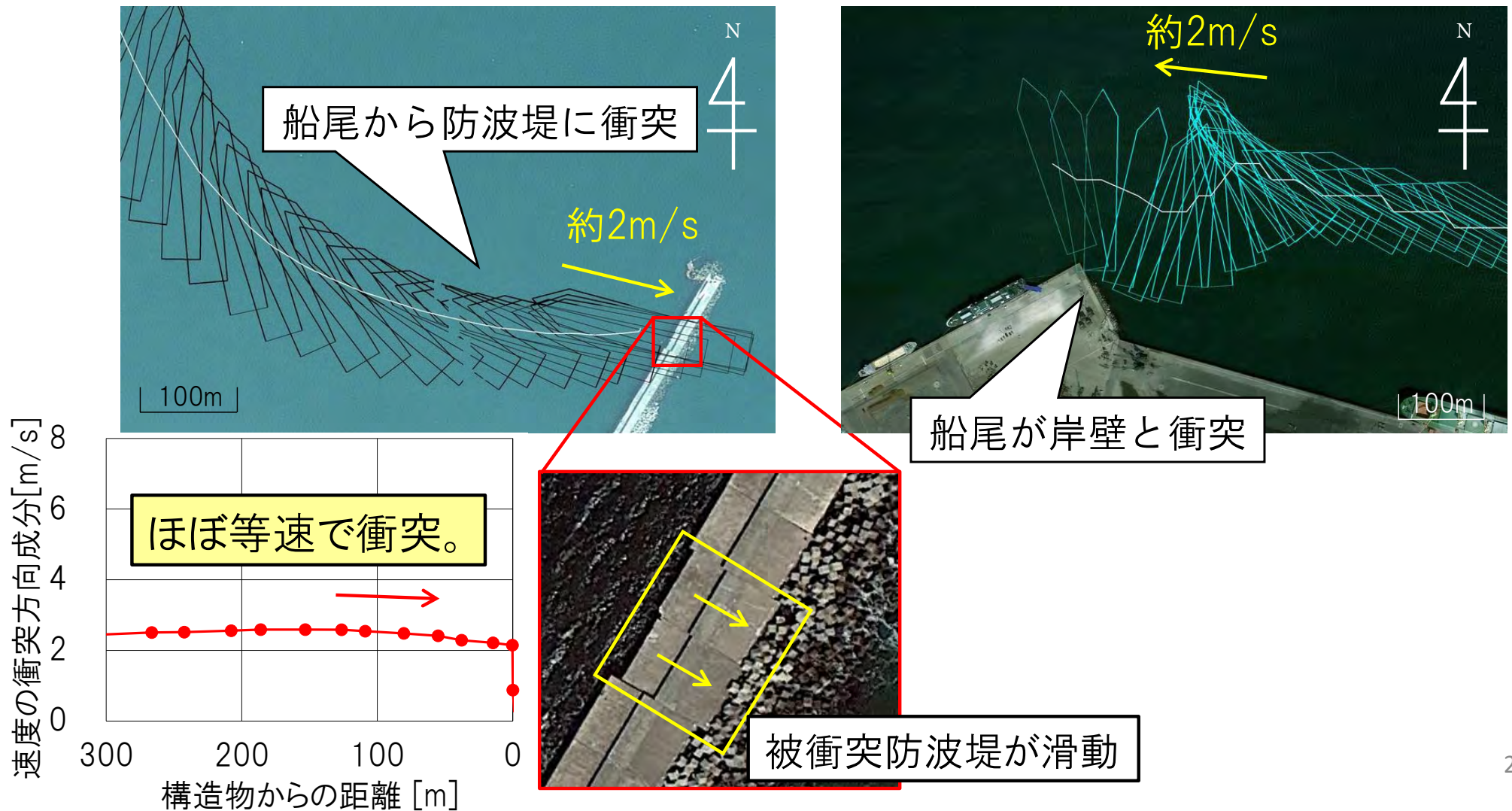
【建築物と衝突した一般貨物船】



津波漂流船舶と構造物との実衝突事例

- 衝突船舶のAISデータが取得された事例

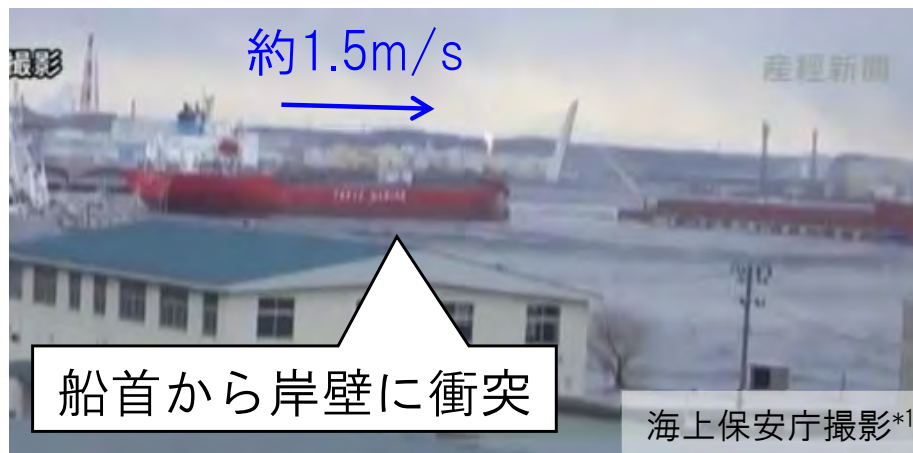
■ 石炭貨物船と建築物との衝突(相馬港) ■ 探査船と岸壁との衝突(八戸港)



津波漂流船舶と構造物との実衝突事例

- 船舶衝突時の映像が記録された事例

■ ケミカルタンカーと岸壁との衝突(八戸港) ■ 漁船と防波堤との衝突(銚子港)



津波漂流船舶の衝突速度・衝突方向の設定

- 実衝突事例に基づく船舶の衝突速度および衝突方向
 - 確認された衝突5事例のうち4事例が縦方向衝突。
 - 船舶が縦方向で構造物に接近する場合には、その減速は限定的。
- ⇔コンテナが横方向で構造物に接近する場合には減速する(星野ら2015)。

船舶は縦方向での衝突が生起しやすいと想定される。

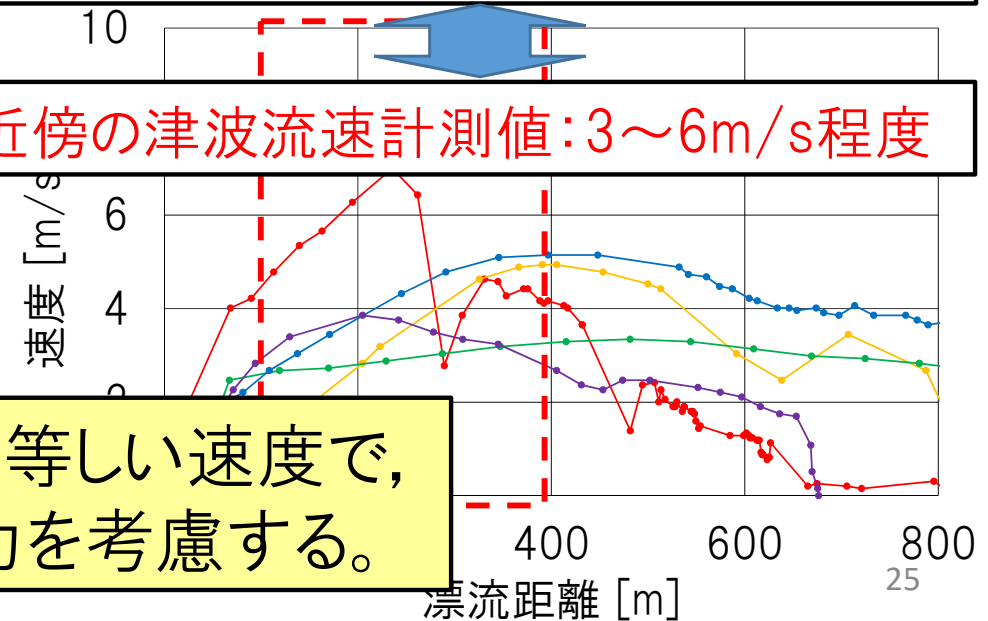
- 船舶の漂流開始後の速度変化

- 津波により漂流した5事例を対象に検討。

数百mの漂流で最大速度3～7m/sに到達

近傍の津波流速計測値: 3～6m/s程度

総トン数:
● 456 ton
● 4,261 ton



本研究では、船舶が津波流速に等しい速度で、縦方向に衝突する時の衝撃外力を考慮する。

船舶衝突時の建築架構全体の応答評価

船舶衝突時の衝撃外力



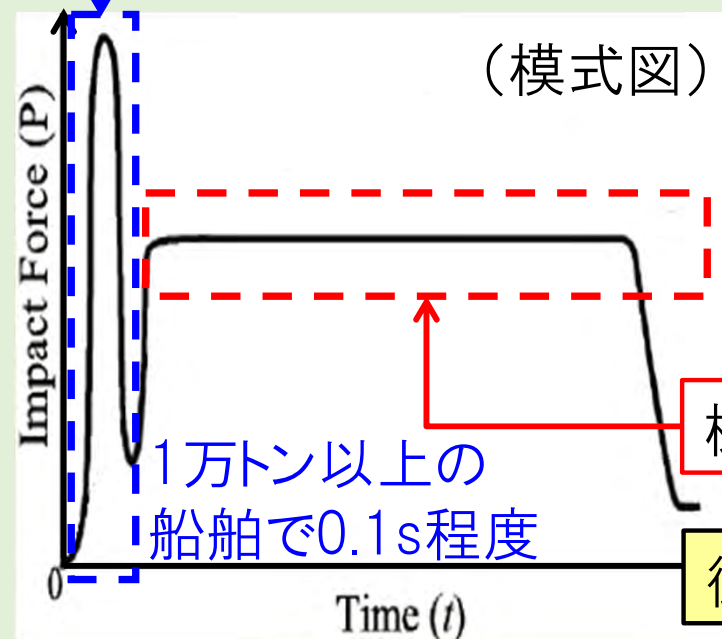
- 既往研究に示される船舶衝突時の衝撃外力波形

Woisin (1976)¹⁾

- ・縮小模型を用いた衝突実験に基づく

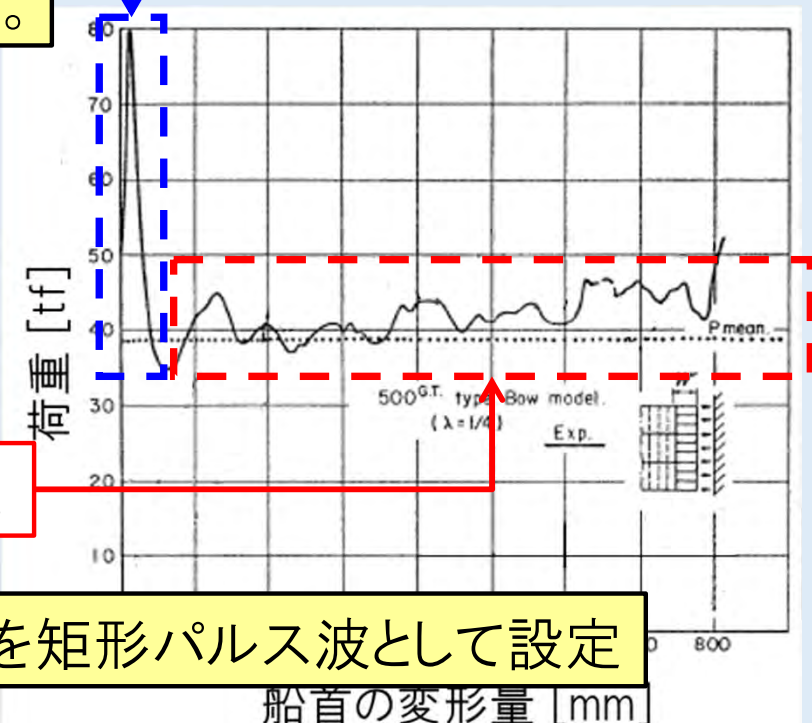
衝突初期のごく短時間に最大荷重が生起。

⇒建築物応答に与える影響は小さい。



長沢 (1977)²⁾

- ・縮小模型を用いた静的加力実験に基づく



衝撃外力を矩形パルス波として設定

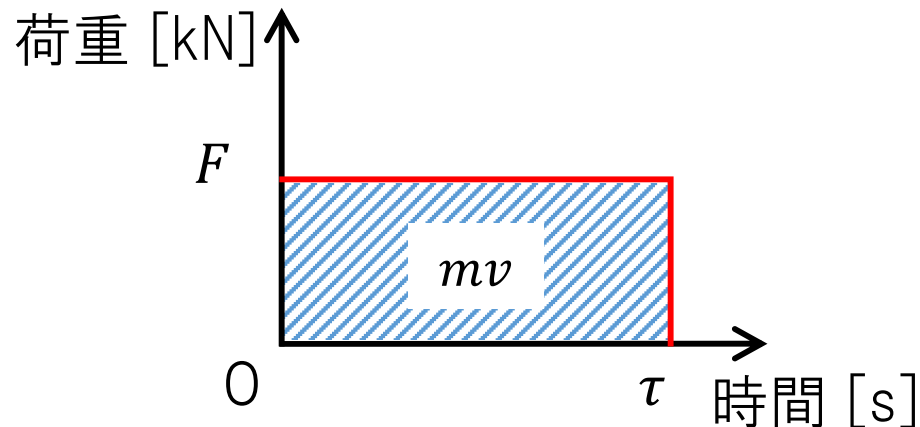
1) Woisin, G.: Die Kollisionsversuche der GKSS, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 1976

2) 長沢 準ほか: 通航船舶の橋脚衝突時の圧壊強度について, 日本造船学会論文集, 1977

船舶衝突時の建築架構全体の応答評価

船舶衝突時衝撃外力の定義

- 本研究では，船舶衝突時の衝撃外力を長沢ら(1977)の式により定まる矩形パルス波として定義する。
 - 同外力を建築物への入力外力とする上で導入した仮定
 - ①船舶の衝突位置は，建築物において十分剛と仮定できる床位置であること。
 - ②船舶周囲の水による付加質量の影響は十分小さいものとして無視すること。
 - ③衝突により，船舶の運動量がすべて建築物に移行すること。
 - ④船首のフレア一部とバルブ部が同時に同一箇所に衝突すること。

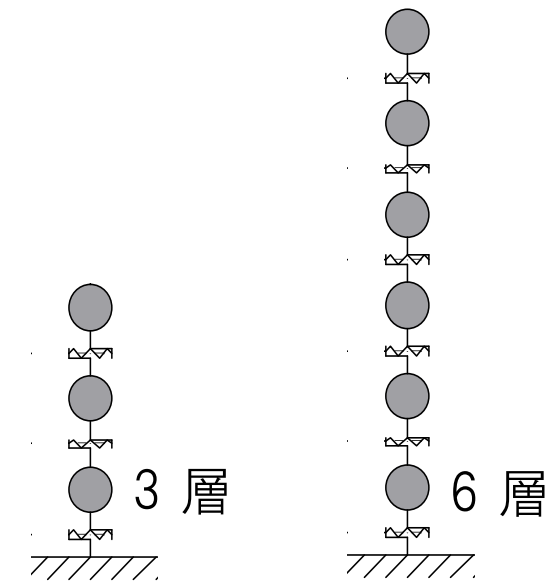


$$F = 1.17T_G^{1/3} (0.82T_G^{1/6} + 1)^3 g$$
$$\tau = mv/F$$

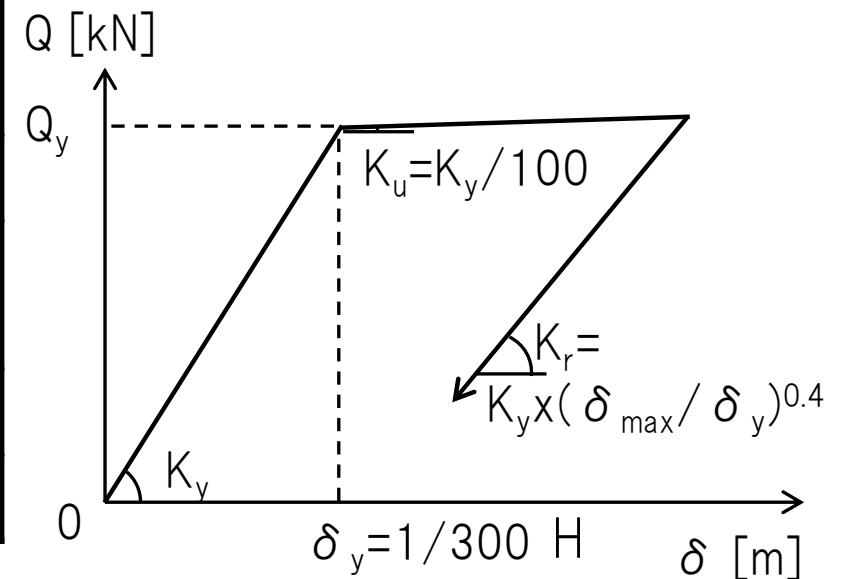
T_G : 船舶の総トン数 [ton]
 m : 船舶の質量 [t]
 v : 船舶の衝突速度 [m/s]
(津波流速に等しいとする)

船舶衝突時の建築架構全体の応答評価 検討対象とする津波避難ビル

津波避難ビルの緒元	
層数 N	3 層, 6 層
幅 B x 奥行き D	18m, 36m, 54m x 12m, 24m, 36m (結果は $D=24m$ の場合のみ示す)
階高 H	3m
単位床重量 w	12 kN/m ²
復元力特性	バイリニア型 (Takeda モデル)
降伏時層間変形 δ_y	$H/300$ m
降伏点剛性 K_y	一次モード形状が直線 となるように定める
降伏時せん断力 Q_y	(後述)
開口率	0.7



[せん断多質点系モデル]



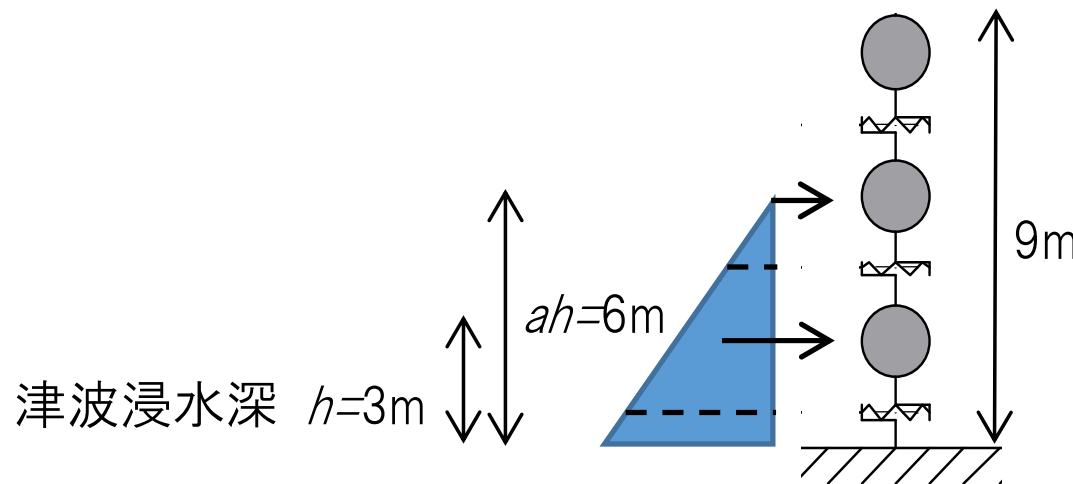
[せん断ばねの復元力特性]

船舶衝突時の建築架構全体の応答評価

入力外力：津波荷重

- 静水压式¹⁾により算定

- 想定津波浸水深 $h = 1\text{m} \sim 3\text{m}$ (3層建築物), $1\text{m} \sim 12\text{m}$ (6層建築物)
- 水深係数 $a = 2.0$
- 静的荷重として津波避難ビル(梁間方向)に作用させる。



[津波波圧($h=3$, $a=2$ の場合)]

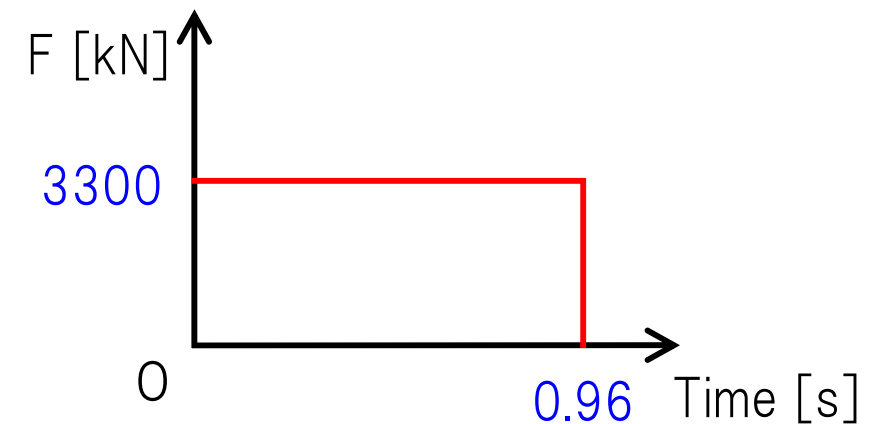
入力外力：船舶衝突時衝撃外力

- 総トン数500 tonの船舶衝突時衝撃外力を考慮。

衝突船舶の緒元	
総トン数 T_G	500 ton
船種	一般貨物船
積荷状況	半載
衝突速度 v	6 m/s
衝突位置	浸水深+3m以上の 最も低い質点位置
船舶衝突時の浸水深	h_{max} , $0.8 h_{max}$

衝撃外力 $F = 3,300 \text{ kN}$
 (長沢ら(1977)の式により算定)
 船舶の質量 $m = 530 \text{ t}$

荷重作用継続時間 $\tau = mv/F = 0.96 \text{ s}$



最大浸水深と船舶衝突の非同時性を考慮

[入力する矩形パルス波]

津波避難ビルの必要耐力の算定

- 津波波力のみに対する必要ベースシア係数 C_B

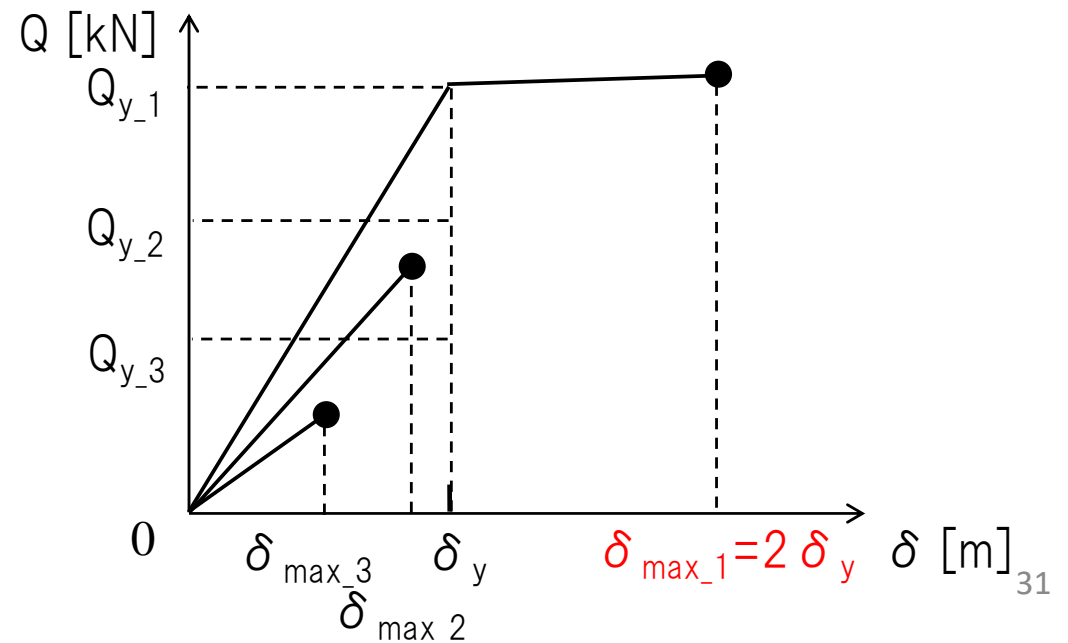
$$C_B = F_w / Wg$$

F_w : 1層以上に作用する津波波力の合計

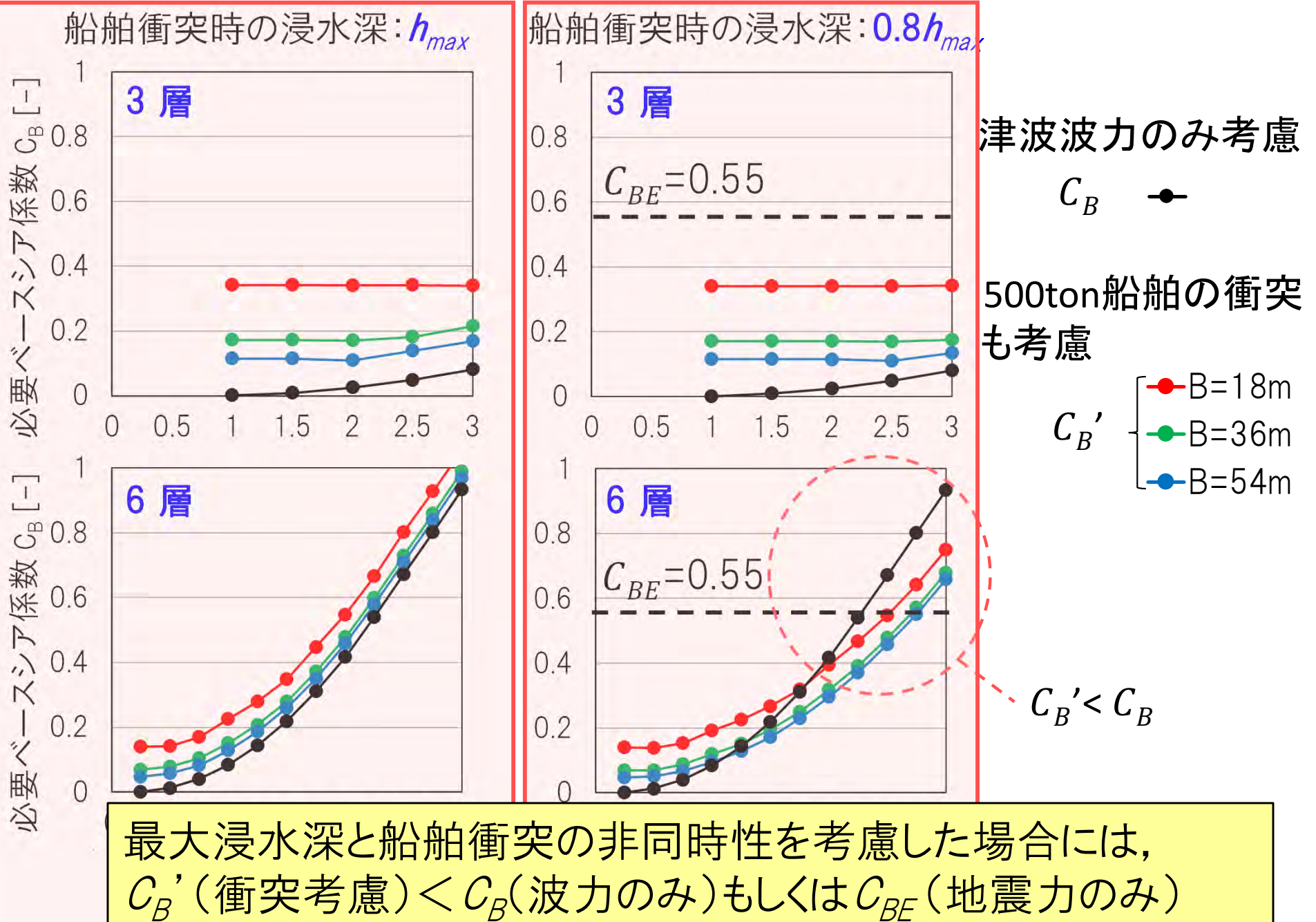
$$(F_w = Q_{y_1})$$

W : 1層以上の建築物重量の合計

- 津波波力と衝撃外力との組み合わせ外力に対する必要ベースシア係数 C_B' (許容応答塑性率: 2を設定)



船舶衝突時の建築架構全体の応答評価 津波避難ビルの必要耐力 (奥行D=24mの場合)

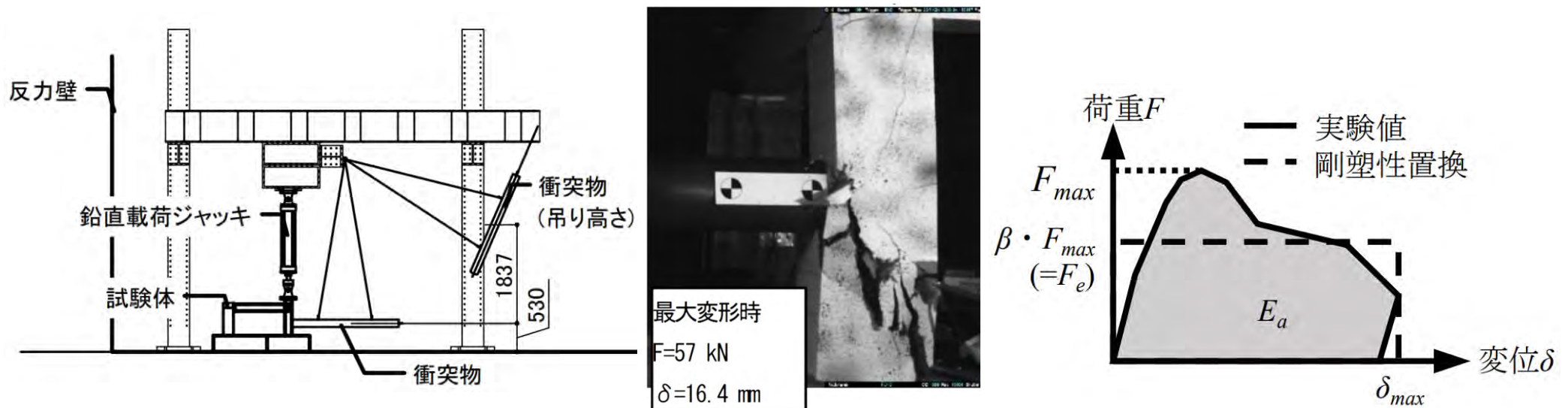


津波漂流船舶の実挙動に基づく検討結果のまとめ

- 陸域遡上による衝突船舶としては総トン数500トン未満を主に考慮すればよい。
 - 造船所を有するもしくは陸上側の停電対策が十分でない港湾では、港湾における実態に基づき500トン以上の船舶に対しても適宜注意が必要。
- 耐震設計および耐津波波力設計された津波避難ビルであれば、一般的な港湾で想定される総トン数500 ton未満の船舶が衝突したとしても崩壊等の著しい不具合が生じる可能性は低い。
- 滑動，転倒および局所的な損傷に対する安全性については別途確認する必要があるが，津波避難ビルとして設計された建物であれば，架構全体の応答（過大な応答変位の発生）に関しては大きな問題は無いと考えられる。

建物の局所損傷に対する安全性評価

- 現行設計法：耐震診断基準における第二種構造要素の考え方¹⁾
- 実験的研究に基づく評価手法の構築が進められている^{2),3)}
 - エネルギー的観点により求まる被衝突部材の応答変形と、同変形時点における鉛直支持能力に基づき、建物の崩壊危険性を判定。



【縮小模型を用いた振り子実験】

【被衝突RC試験体の破壊】

【損傷部材の吸収エネルギー】

1) 国土交通省：津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について(技術的助言), 2011

2) 松川和人ほか：津波漂流船舶衝突時のRC造柱の安全性検討手法に関する研究, AIJ大会学術講演梗概集, 2020

3) 島崎喬子ほか：津波漂流船舶衝突時のRC造柱の安全性検討手法に関する実験的研究, AIJ大会学術講演梗概集, 2021

漂流物評価の今後の課題

- 漂流物評価に関する知見は蓄積されているため、それを継続するとともに、漂流物の設定から構造評価までの一連について体系化する必要がある。
- 漂流物の衝突の発生や衝突条件を確率論的に評価する知見も蓄積され始めている^{例えば1)～4)}。そのような知見に基づき、確率論的評価の枠組みを構築することで、より合理的な構造物の安全性評価が可能になると考えられる。

1) 吉田郁政ほか: 津波漂流物による衝突力ハザードの算定方法について, 土木学会地震工学論文集, 第29巻, pp.912-917, 2007

2) 野島和也ほか: 実務的な津波漂流物計算および被害推定方法の提案, 土木学会論文集B2(海岸工学), 2014

3) 甲斐田秀樹, 木原直人: 陸上遡上津波中の漂流物挙動に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), 2016

4) 村瀬史弥, 有川太郎ほか: 数値計算を用いた津波漂流物の衝突確率の評価方法の検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), 2019