

建築構造物に対する漂流物評価

津波荷重評価の体系化の
心得を取り纏める研究委員会

名古屋大学 浅井 竜也



*河北新聞(1983年)より転載



*港湾空港技術研究所資料No.1231(2011年)より転載

現行の評価手法

- 「津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針 2011」*1
 - 「被衝突部材の一部が損傷しても建築物全体が崩壊しないことを確認」
⇒ 衝突時外力や建築物応答の定量的な評価手法は提示していない。
- 「建築物荷重指針・同解説 2015」*2
 - 漂流物衝突荷重の既往研究による提案評価式は示しているが、漂流物の設定法等は示していない。

過去の津波来襲時に多く漂流し、かつ比較的大規模漂流物である船舶を対象に、その衝突に対する建築物の安全性を検討。

*1 国土交通省：東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針，2011

*2 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2015

概要

- 船舶衝突に対する建築物の安全性を検討するためには、津波漂流船舶と建築物との衝突可能性を考慮する必要がある。
⇒津波来襲時における船舶の実挙動に基づき、比較的陸域遡上に至りやすい(すなわち建築物に衝突しやすい)船舶を特定。
- 続いて上記船舶による衝突時衝撃外力を設定し、同外力に対する建築物の安全性を検討。

※本発表内容の詳細は以下をご参照ください。

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，2017.9

3

検討対象船舶データベースの作成

• 検討対象船舶の条件

1. 2011年東北地方太平洋沖地震発生時に苦小牧港と銚子港との間の各港に在港していた船舶。
2. 総トン数100ton以上の船舶。 ※総トン数：船舶の容積を表す指標。
3. 作業船等の特殊な形状を有する船舶を除く。

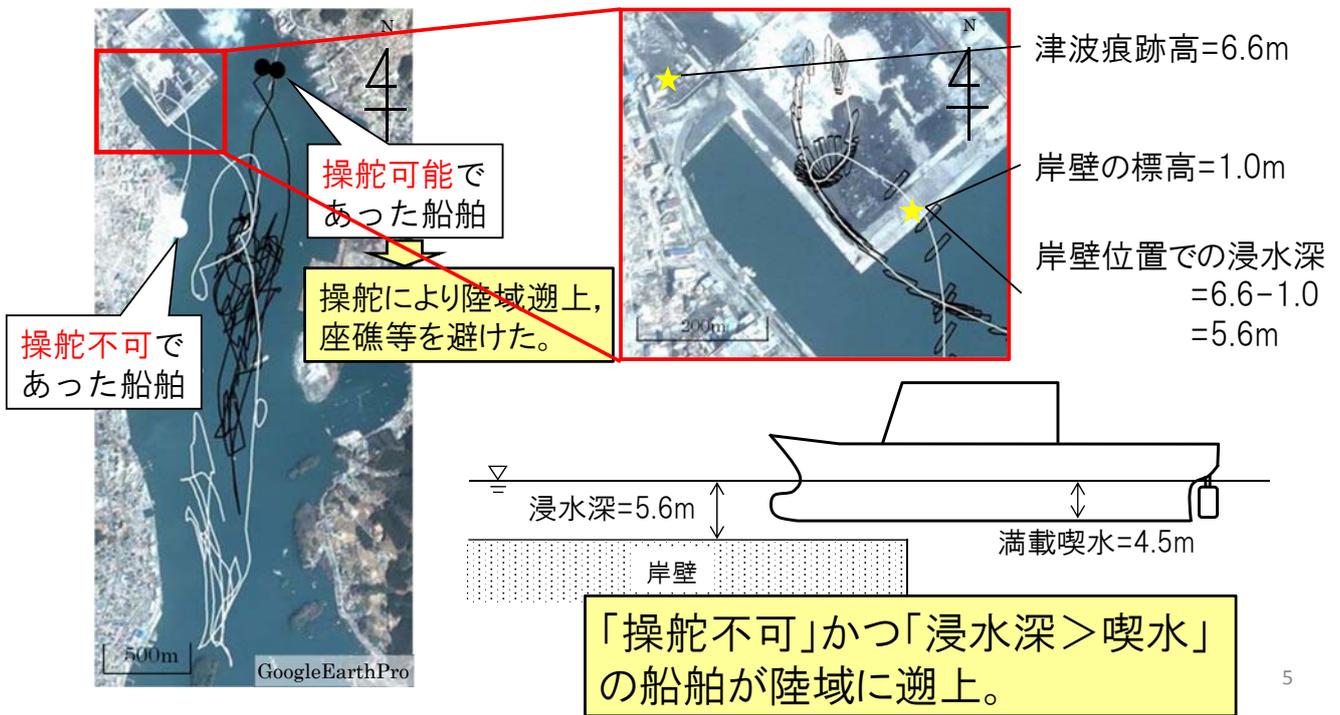
• 検討対象船舶のデータソース

1. AISデータ(海上保安庁提供)
※AIS：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。
2. 船舶の避難行動に関するアンケート調査結果(日本海難防止協会提供)
3. その他各種文献

以上より、陸域遡上生起頻度の検討対象船舶計143隻を抽出した。

AISデータに基づく船舶の実挙動分析

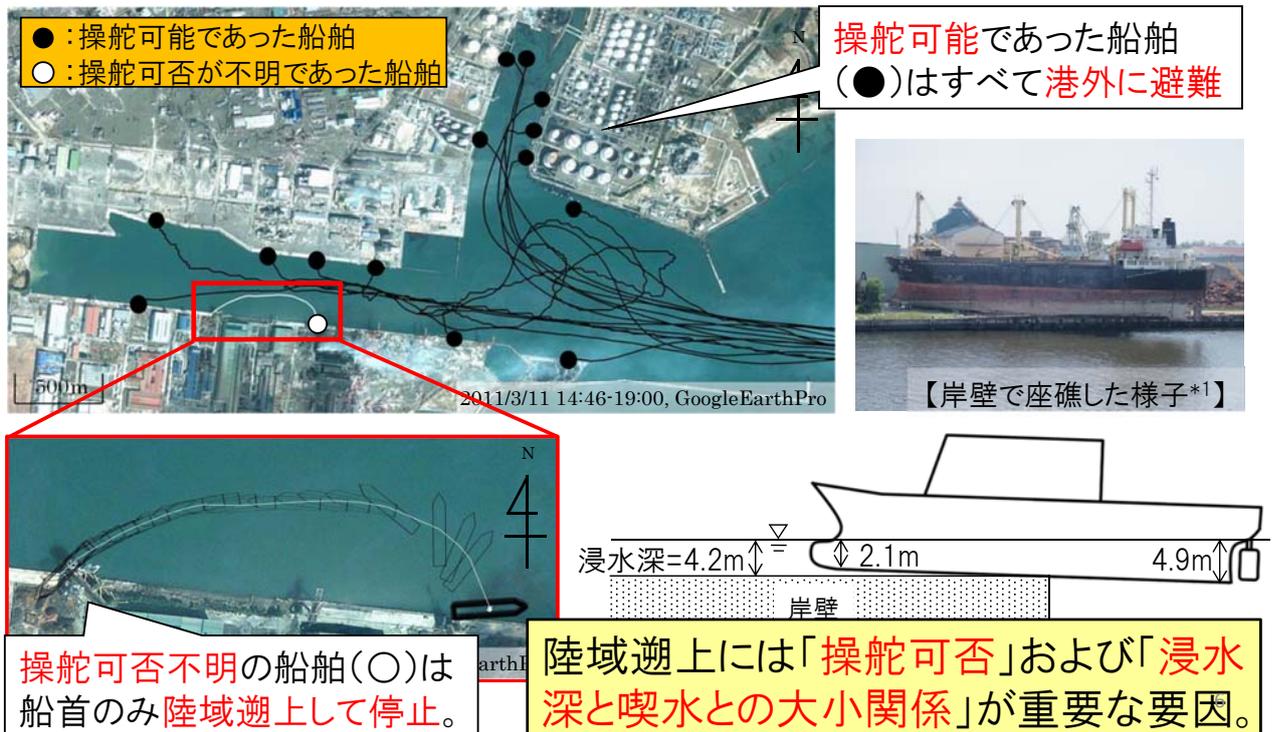
- 大船渡港における船舶挙動の一例



5

津波来襲時における船舶挙動の一例

- AISデータに基づき仙台塩釜港における船舶の軌跡をプロット。



船舶の陸域遡上生起頻度の検討

- 「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。

N=143	操舵可能	操舵不可	操舵可否不明
浸水深 ≤ 喫水			
浸水深 > 喫水			
両者の大小関係不明			

- 陸域遡上非生起
- 陸域遡上生起
- 陸域遡上の生起不明

7

船舶の陸域遡上生起頻度の検討

- 「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。

N=143	操舵可能	操舵不可	操舵可否不明
浸水深 ≤ 喫水			
浸水深 > 喫水			
両者の大小関係不明			

- 陸域遡上非生起
- 陸域遡上生起
- 陸域遡上の生起不明

12/16が陸域に遡上した。
15/16が総トン数500ton未満。

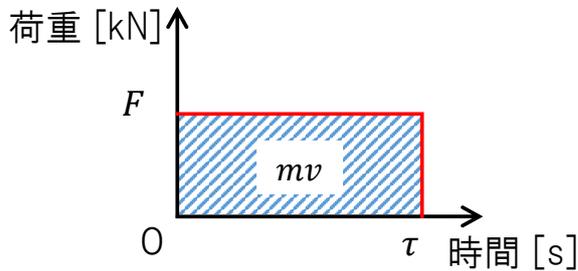


陸上の建築物は総トン数500ton未満の船舶の衝突に特に注意すべき。
⇒同船舶の衝突に対する建築物の安全性を検討する。

8

船舶衝突時衝撃外力の定義

- 船首衝突を想定(観測でも衝突5事例中4事例が縦方向衝突)。
- 船首強度式(長沢ら1977)に基づき矩形パルス波として定義する。



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

$$\tau = mv/F$$

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)

- 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 衝撃外力は、衝突中船首強度で一定(長沢ら1977, Woisin1976に基づく)。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ 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。

9

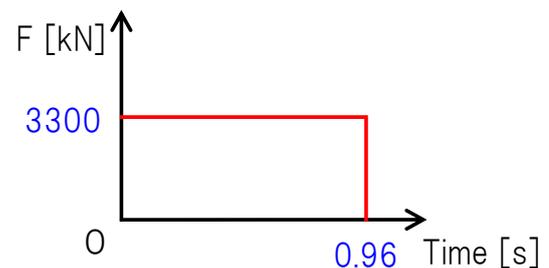
船舶衝突時衝撃外力の定義

- 総トン数500 tonの船舶の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} $0.8h_{max}$

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

荷重作用継続時間 $\tau = mv/F = 0.96$ s



[入力する矩形パルス波]

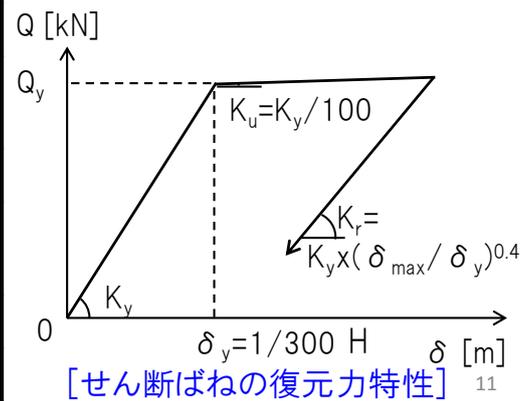
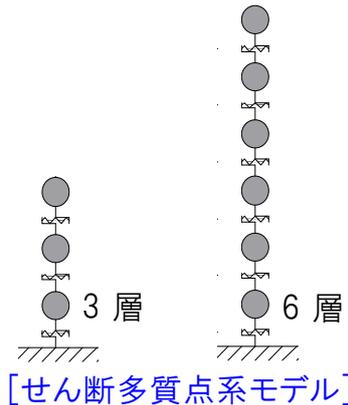
最大浸水深と船舶衝突の時差を考慮

10

検討対象建築物のモデル

- ここでは建築物の局所損傷は考慮しない。

建築物モデルの緒元	
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



入力する津波波力

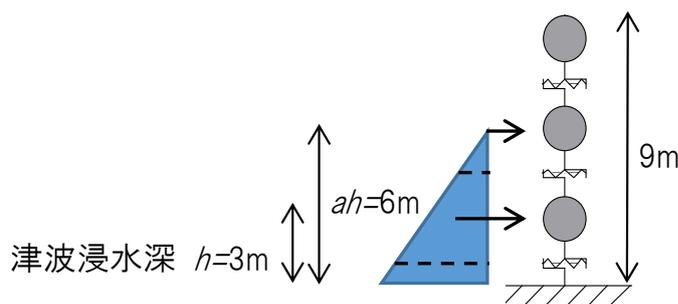
- 静水圧式により算定

- 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)

※避難階が確保されるように設定。

- 水深係数 $a = 2.0$

- 静的荷重として建築物に作用させる。



[津波波圧 ($h = 3$, $a = 2$ の場合)]

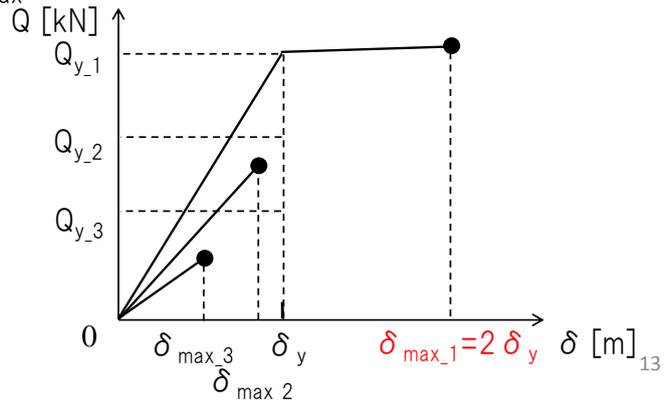
入力外力に対する建築物必要耐力の算定

- 津波波力のみに対する必要ベースシア係数 C_{B_FW}

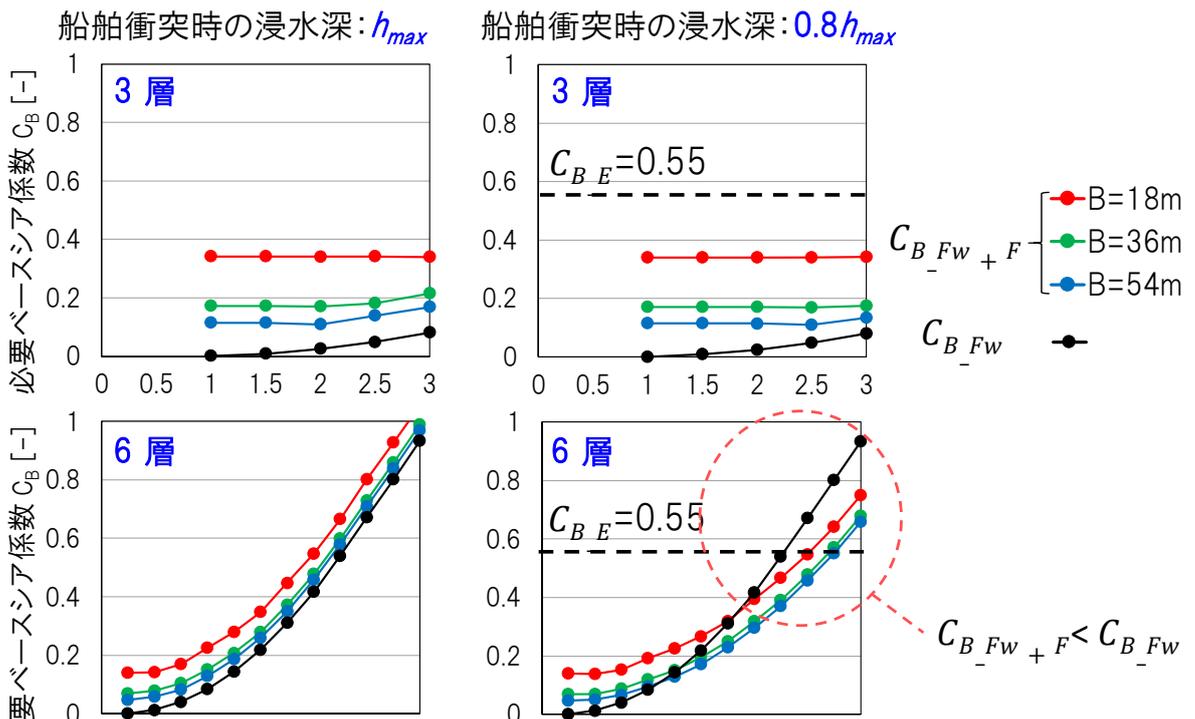
- $C_{B_FW} = F_{w_1} / W_1 g$ F_{w_1} : 1層以上に作用する津波波力の合計
 ($F_{w_1} = Q_{y_1}$) W_1 : 1層以上の建築物重量の合計

- 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 $C_{B_FW + F}$

- Q_{y_1} : 最大応答塑性率が2 ($\delta_{max} = 2 \delta_y$) となる時の降伏時せん断力
 - $C_{B_FW + F} = Q_{y_1} / W_1 g$



建築物の必要耐力算定結果 (奥行D=24mの場合)



最大浸水深と船舶衝突の時差を考慮した場合には、 C_{B_FW+F} が C_{B_FW} もしくは C_{B_E} を下回る。

結論

- 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波来襲時における船舶挙動の分析結果に基づくと、陸域に遡上しやすい(すなわち建築物に衝突しやすい)船舶は総トン数500ton未満の船舶。
- 耐震設計および耐津波波力設計された建築物であれば、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。
- 船舶衝突による建築物の局所的な損傷，滑動および転倒に対する安全性については別途確認する必要がある。