

「各種構造物の津波荷重の評価技術と体系化－
『津波荷重のこころえ』の確立を目指して－」

土木構造物に対する 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

(一財)電力中央研究所

木原 直人



公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

東日本大震災での漂流物被害 事例（1）

高橋ら：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報, 港湾空港技術研究所資料, No.1231, 2011.

- 東日本大震災における、船舶の打ち上げや車両や材木、タンク、コンテナの漂流が報告されている。
- 漂流物の衝突によると思われる被害も報告されている。

東日本大震災での漂流物被害事例（2）

伊勢・沢田・古川：東日本大震災における港湾設備の被災状況と復旧. 新日鉄住金技報, 405号, pp.31-38, 2016.

- 船舶の衝突による被害
 - 全天候バースの半壊（釜石製鉄所）
 - 出荷クレーンの倒壊（鹿島製鉄所）
 - 鋼矢板の破損（鹿島製鉄所）



船舶の衝突による岸壁構造物の損傷



船舶衝突により損傷したと思われる全天候バース

東日本大震災での漂流物被害事例（3）

土木学会 エネルギー委員会 新技術・エネルギー小委員会：東日本大震災におけるエネルギー施設（火力・水力・送変配電・ガス）の被害状況と今後への展開について, 2014.

土木学会 原子力土木委員会 津波評価小委員会：津波評価技術2016, 2016.

土木学会 鋼構造委員会：東日本大震災鋼構造物調査特別委員会報告書, 2012.

齋藤・森・内海博：東日本大震災による火力発電所土木構造物の被害と対策. 電力土木, No. 360, pp.7-11, 2012.

- 船舶衝突による被害
 - 揚炭栈橋の一部損傷（原町火力発電所）
 - 燃料バースドルフィン損傷
- 漂着タンクによる道路の閉塞
- がれき流入による送電鉄塔の倒壊



土木学会, 津波評価技術2016付属編図8.3.3-37

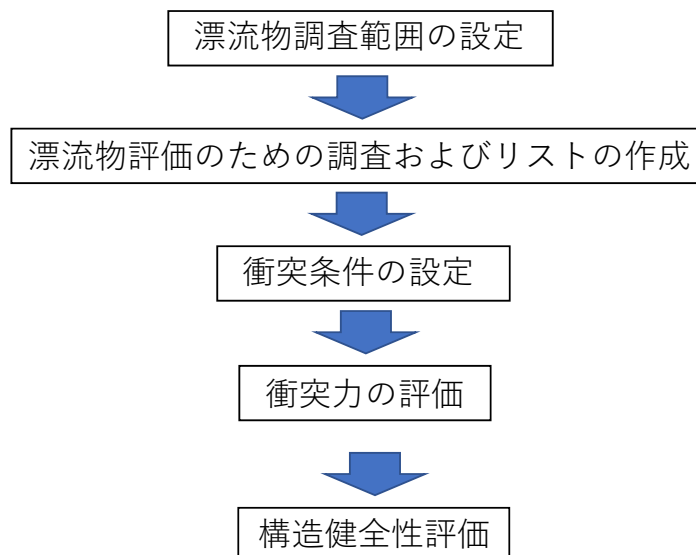
各種ガイド・技術集での漂流物の評価

文献（略称）	記載されている評価項目	文献
津波評価技術2016	衝突力算定手法	土木学会 原子力土木委員会 津波評価小委員会：津波評価技術2016, 2016
道路橋示方書	衝突力算定手法	日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I共通編, 2017.
FEMA2012	衝突力算定手法 漂流物による開口部閉塞の影響評価	FEMA, Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, 2012.
ASCE7-16	漂流物ハザード領域の設定法 衝突力算定手法 構造物の応答解析手法	ASCE, Minimum design loads for buildings and other structures, ASCE/SEI 7-16, 2016.

衝突荷重の評価手法が主体であり、評価の全体フローが示されていないものが多い。

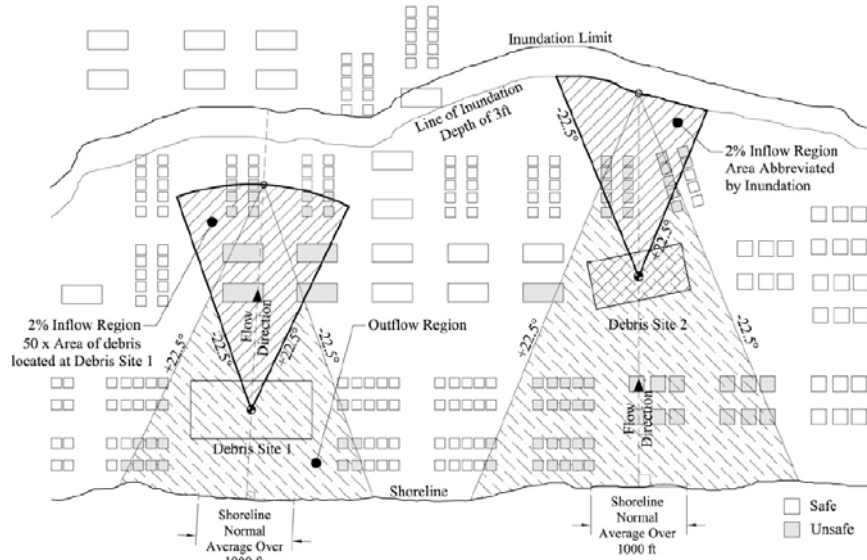
漂流物の評価の流れ

- 評価対象漂流物を絞り込みながら、必要に応じて評価を詳細化



漂流物調査範囲の設定

- 例えばASCE7-16では、
 - 船舶用コンテナや船舶、台船のそれぞれの漂流物発生源に対して漂流物ハザード領域を特定する。
 - 流入津波による漂流物の漂流範囲と引き波による漂流範囲の設定



衝突力の評価

評価の考え方	評価式	文献
衝突による運動量の変化と力積の関係 $m(v' - v) = \int_0^{\Delta t} F dt$	$F = \frac{\pi v m}{2 \Delta t / 2}$ $F = 2\rho_w \eta B_c v^2 + \left(m \frac{v}{\Delta t}\right)$ F: 衝突力, m: 漂流物の質量, B _c : 漂流物の幅, η: 最大浸水深, Δt: 衝突時間, ρ _w : 水の密度, v: 衝突速度	ASCE 7-10. US Army Corps and Engineers, ERDC/CRREL TR-02-2, 2002. 水谷ら, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.791-795, 2006.
衝突による運動エネルギーの変化と仕事の関係 $\int_0^S kx dx = \frac{1}{2} mv^2$	$F = \frac{mv^2}{4S}$ F: 衝突力, m: 衝突船舶の質量, v: 衝突速度, S: 衝突船舶の停止距離	海洋架橋調査会: 本州四国連絡橋技術関係基準集, 下巻, 下部構造設計基準・同解析, 1978.
1自由度系の運動方程式 $m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$	$F = 1.3v \sqrt{k m (1 + c)}$ F: 衝突力, c: 付加質量係数, v: 漂流物を運ぶ流体の最大流速, m: 漂流物の質量, k: 漂流物の有効軸剛性	FEMA, Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, 2012.
Hertzの弾性接触理論	$F = \gamma_p \chi^{\frac{2}{5}} \left(\frac{5}{4} m\right)^{\frac{3}{5}} v^{\frac{6}{5}}$ $\chi = \frac{4\sqrt{a} E}{3(1-\nu^2)}$ F: 衝突力, m: 漂流物の質量, v: 衝突速度, ν: 漂流物のポアソン比, a: 球体の半径, E: 漂流物のヤング率	有川・織田・黒田・下迫, 海岸工学論文集, 第50巻, 2003, pp. 716-720, 2003.
衝突による運動量の変化と力積の関係 + 次元解析	$\frac{F}{\gamma D^2 L} = 1.6 C_{MA} \left(\frac{v}{gD}\right)^{1.2} \left(\frac{\sigma_f}{\gamma L}\right)^{0.4}$ F: 衝突力, γ: 流木の単位体積重量, D: 木材の直径, L: 木材の長さ, g: 重力加速度, C _{MA} : 見かけの質量係数(水の緩衝機能も加味), v: 衝突速度, σ _f : 木材の降伏応力	松富, 土木学会論文集, No.621, pp.111-127, 1999.

衝突条件の設定

- 衝突速度、位置、確率の評価
 - 衝突速度は最大流速か？
- 活用が期待できる評価技術
 - 漂流物の移動を解く数値解析コードの活用
 - ✓ 流れからの流体力、漂流物同士の接触力、構造物との接触力、底面との摩擦を考慮して漂流物の運動方程式を解くモデル

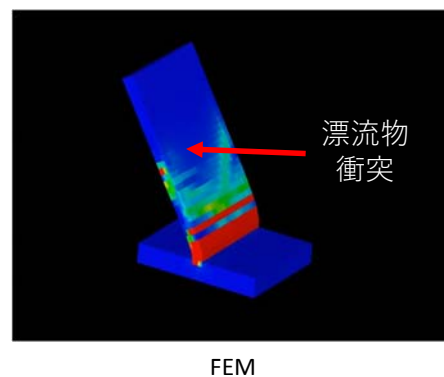
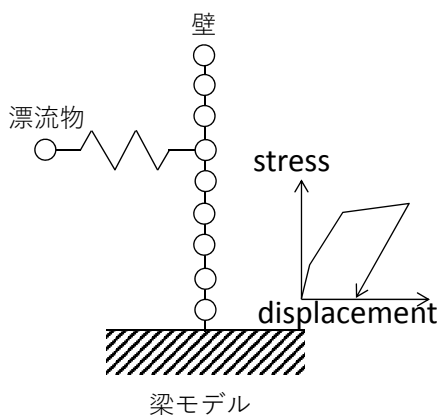
流れのモデル	漂流物のモデル化	主な文献
平面2次元	質点	後藤ら(1982), 後藤(1983), 野島ら(2014), 小園ら(2016)
	直方体	藤井ら(2005), 橋本ら(2009), 本多ら(2009), 木原ら(2013), 嶋原ら(2016)
3次元	球体結合	後藤ら(2006), 後藤ら(2009)
	剛体	米山ら(2008), 牛島ら(2008), 川崎ら(2007), 中村ら(2011)

土木学会、海岸工学委員会、津波作用に関する研究レビューおよび活用研究小委員会にてレビュー中

構造健全性評価

- 荷重評価
- or
- 構造物変形量評価

柴山ら：津波波力と漂流物衝突力を受けるコンクリート壁の応答評価法の提案, 電力中央研究所報告, O17002, 2018.



まとめ

- 衝突力算定式だけでなく、漂流物影響に関わる評価のフローおよび関連技術の体系化が望まれる。
- 衝突力算定に当たっては、各算定式が適用可能な衝突体の種類や、適用可能な衝突速度の下限・上限の明確化が必要
- また併せて、衝突力算定に必要な各種パラメータの収集・整備することが望まれる。
- 体系化に当たっては、土木学会等と連携を取りながら進めるのが合理的。