

津波漂流コンテナの衝突力に関する数値解析的研究

名古屋大学大学院 学生会員 ○ 荒木 駿
 名古屋大学大学院 学生会員 廉 慶善
 名古屋大学大学院 正 会 員 水谷法美
 名古屋大学大学院 フェロー 伊藤義人

1. はじめに

我が国の大規模港湾には、大量のコンテナが積まれており、津波襲来時にはそれらが漂流物となり港湾背後等の施設に衝突し破壊を招くおそれがある。さらにコンテナと構造物の衝突により生じた構造物の破片等が港湾及び海域に流入することで港湾機能を低下させることも懸念される。こうした、被害を防ぐためにも漂流したコンテナと構造物との衝突力を適切に評価し、対策を検討することが急務である。本研究では、汎用陽解法有限要素コード LS-DYNA を用いて漂流コンテナの衝突力を算定するとともに、衝突力の算定式を提案し、その妥当性について検討を加えるものである。

2. 衝突力算定式

水谷ら (例えば, 2005) は津波により漂流したコンテナがもたらす衝突力の評価式として、運動量の変化と力積の関係に基づく評価式を提案した。しかし水谷らは平均化された衝突力を評価しているため、本研究では最大衝突力 f_{\max} に関する評価式を次式のように修正する。

$$\int_0^{\Delta t} f dt = mV + \rho\eta BV^2 \Delta t \quad (1) \quad f_{\max} = \beta \left(\frac{mV}{\Delta t} + \rho\eta BV^2 \right) \quad (2) \quad \beta = f_{\max} \Delta t / \int_0^{\Delta t} f dt \quad (3)$$

ここに、 Δt : 衝突作用時間, m : コンテナの質量, ρ : 水の密度, η : 衝突瞬間のコンテナ背後の水位, B : コンテナの幅, V : 衝突瞬間のコンテナ及びコンテナ背後の水塊の速度, である。

3. 解析モデル

漂流コンテナの衝突力を考究するため、図-1 に示すようなモデルを設定し、LS-DYNA に実装された流体・構造連成解析機能を用いて解析を行った。コンテナは 40ft の空, 半載, 満載コンテナの 3 種類を縮尺 1/75 でモデル化した。被衝突体に関しては、上端固定の受圧板を設定し、厚さを $t=2, 3, 4, 5, 6$ mm の 5 種類とすることで形状剛性を変化させた。コンテナ及び受圧板はアクリルで構成した。また、コンテナ背後の水塊を進行方向に 100mm 設置した。なお、設置された水塊は、最大衝突力に寄与するのに十分な長さであり、それ以上の設置は最大衝突力に影響を及ぼさない程度である (廉ら, 2008)。

コンテナ及び受圧板は Lagrange 要素, 水塊は ALE(Arbitrary Lagrangian Eulerian) 要素とし水塊以外の領域は void でモデル化した。また、計算領域全体に重力を定義した。

衝突瞬間のコンテナ背後の水塊の高さ, 速度に関しては IB 法に基づく VOF 法により計算を行い、得られた値を初期値として用いた。詳細は廉ら (2008), Nakamura ら (2008) を参照されたい。入射波高及び周期は表-1 に示すとおりである。

衝突力の時間波形に関しては、受圧板を片持ち梁とみなし、その先端変位に形状剛性を乗じてプロットした。

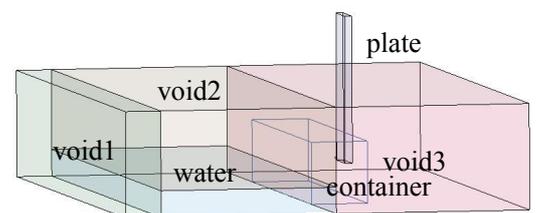


図-1 解析モデルの一例

表-1 波浪条件

No.	波形	周期 (s)	波高 (cm)
1	長周期波	10.5	9.0
2	長周期波	10.5	14.0
3	長周期波	21.0	9.0
4	長周期波	31.5	9.0

4. 解析結果

図-2 に解析結果を例示する. コンテナが受圧板と接触した後, コンテナ背後の水塊が徐々に減速されるとともに上方に打ち上がる様子が確認され, 流体と構造の連成が定性的に表現されていることがわかる.

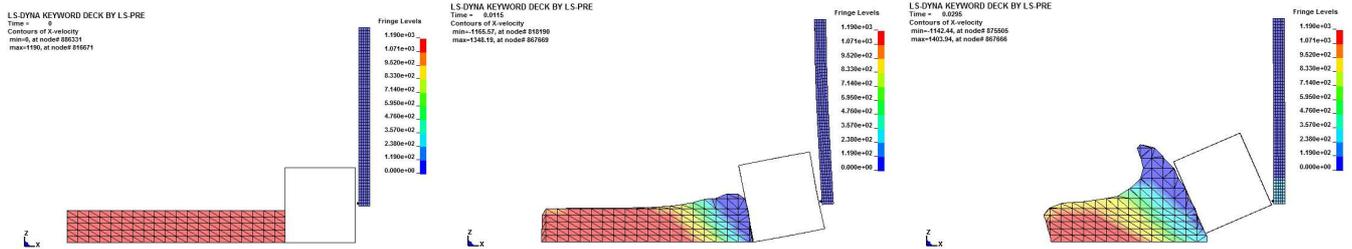


図-2 解析結果の例

図-3 に被衝突体に受圧板を用いた場合の衝突力算定式による最大衝突力と LS-DYNA により計算した最大衝突力の比較を示す. どのケースも双方の最大衝突力がよく一致していることが確認でき, 本研究で提案した最大衝突力に関する算定式(式(2))は妥当なものであるといえる.

続いて Δt に影響を及ぼす因子を検討するため, 図-4 に衝突瞬間速度 V , 衝突瞬間のコンテナ背後の水位 η 及び被衝突体の形状剛性を変化させた場合の衝突力の波形を示す. (a) では Δt がほぼ同じであることから V は Δt に影響を与えないことがわかる. (b) では, V が Δt に影響を及ぼさないことを考慮すれば Δt に影響を及ぼしているものは η であると解釈される. また, Δt は η の増大とともに長くなることから, コンテナが受圧板と接触した後, 付加質量がコンテナ背面を押し込む現象を表現しているといえる. (c) からは被衝突体の剛性が Δt に大きく影響することがわかり, 剛性が高くなるにつれて Δt は短くなることわかる.

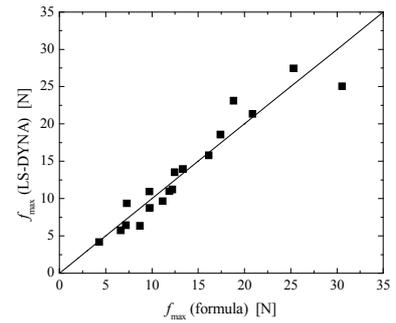
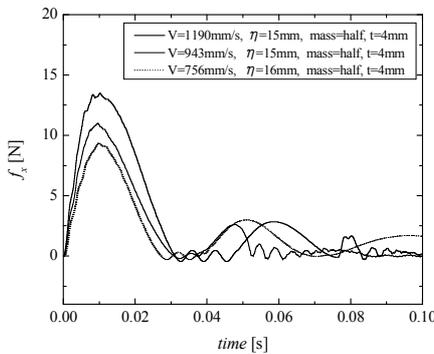
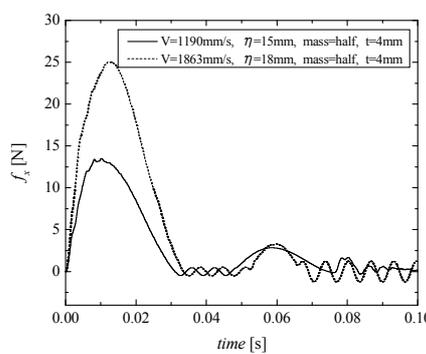


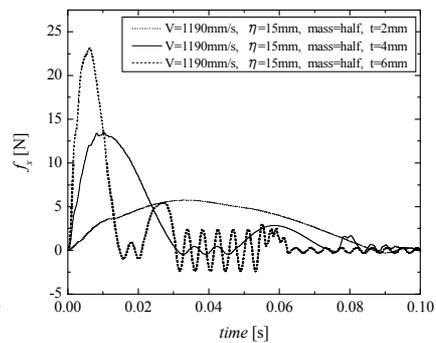
図-3 衝突力評価式と LS-DYNA による計算値の比較



(a) V が Δt に与える影響



(b) η が Δt に与える影響



(c) 形状剛性が Δt に与える影響

図-4 衝突力の時間波形

5. おわりに

本研究では最大衝突力を求めるための算定式の妥当性を数値解析的に示すとともに Δt は衝突瞬間のコンテナ背後の水位及び被衝突体の剛性に大きく依存することを明らかにした. 今後は解析を実スケールに拡張し, 被衝突物に応じた Δt を提示することで衝突力算定式をより実用的なものにしていく所存である. 最後に, 本研究は, 科学研究費補助金基盤研究 (B) (代表者: 水谷法美) により行われたことを付記する.

参考文献: 1) 水谷ら (2005), 海工論文集, 第 52 巻, pp741-745. 2) 廉ら (2008), 海工論文集, 第 55 巻, pp281-284. 3) Nakamura ら (2008), Coastal Eng. J., JSCE, Vol.50, No.2, pp.209-246.