

液体輸送車両における内容液の液面揺動による運転性能の把握

中央大学大学院 学生員 ○因 和樹 (株)十川ゴム 正会員 河田 彰
中央大学 正会員 平野 廣和 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

国内外の物流合理化の一つの手段として、規格化されたコンテナが広く用いられている。液体を輸送する場合においても、写真-1に示すISO規格のタンクコンテナ(以下、ISOタンク)が用いられている。ここでは輸送物が液体であるために、ブレーキ等の制動操作の際に内容液が大きく揺動し、トラックが前後方向に大きく揺すられることがあると報告されている¹⁾。このため、所定位置に停止させることができず、前後の車両と衝突する危険性がある。これを回避するには、運転者の熟練技術や経験によって対応されているのが現状である。しかし、ドライバー不足が叫ばれている昨今、誰でも安全に運転できる液体輸送車両が希求されている。

以上の背景から本報では、液体輸送車両の液面揺動によって生じる事故の危険性を低減し、かつ安全性の向上を目的とし、液面揺動発生メカニズムとその影響の分析を行うものである。具体的には、数値流体解析により液体輸送車両の内容液における挙動の把握を行い、併せて実物の液体輸送車両を用いた走行実験より得られたデータとの比較を行うことで、走行時のISOタンク内の内容液の挙動の把握を行う。

2. 検討概要

本検討に用いるISOタンクは、φ2,333mm×5,000mm、水深は道路交通法で許される最大積載重量となる1,500mmとする。これらISOタンク諸条件を表-1に示す。

(1) 時刻歴応答解析

数値流体解析は、汎用有限要素解析ソフトウェアであるADINAを用いる。このソフトの特徴は、流体部のみの解析と流体問題と構造問題を一つのマトリックスで解く構造-流体連成解析²⁾が可能なことである。本解析に用いるISOタンクの解析モデルを図-1に示す。ここで、タンク部はShell要素、流体水面は自由水面とし、基礎方程式はポテンシャルベース3次元流体方程式を用いる。なお、要素数は233,753である。

ところで構造-流体の連成解析を行う場合、まず自重の釣り合い計算を行うための静的解析を行い、これを動的計算の初期条件とする。次に動的解析を行い、本報では加速度を入力条件とする。ところで流体の基礎方程式はポテンシャル流れであるので、実験から得られた減衰³⁾をRayleigh減衰の形で与える。しかしADINAは、減衰を構造部分の要素のみにしか付加することができないので、特殊なモデル化として自由水面としている液面表面に、無視できる程度の薄さのShell要素を仮定し、ここへ減衰を与えることとする。

(2) 走行試験と解析条件

本検討では、搭載車を公道上に設置した直線の試験区間で走行試験を行い、これを解析条件とする。この走行試験条件を表-2に示す。まず条件1,2は、一定速度後に通常ブレーキにおいて発生する内容液の揺動を検証

表-1 ISOタンクの諸条件

タンク種類	ISOタンク
材質	SUS316 SUS316L
外径(mm)	2333
半径(mm)	1166.5
幅(mm)	5000
板厚(mm)	25
水位(mm)	1500
水の密度(kg/m ³)	1000
ヤング率(N/m ²)	2.06E+11
ポアソン比	0.3
タンクの密度(kg/m ³)	7900
タンク部	Shell要素
流体部	ポテンシャルベース3-D流体要素
拘束条件	タンク底面(X,Y,Z方向)
流体水面	自由水面



写真-1 ISOタンクコンテナ

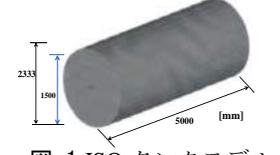


図-1 ISOタンクモデル

表-2 走行試験条件

実験条件	時速	ブレーキ挙動	停止区間	ブレーキポイント	計測内容
条件1	20 km/h	通常通り	約7秒	スタート地点から	内部カメラ 加速度計
条件2	40 km/h	通常通り	約9秒	約100m離れた地点	
条件3	20 km/h	急停止(1回だけ踏み)	約2秒	(目安)	

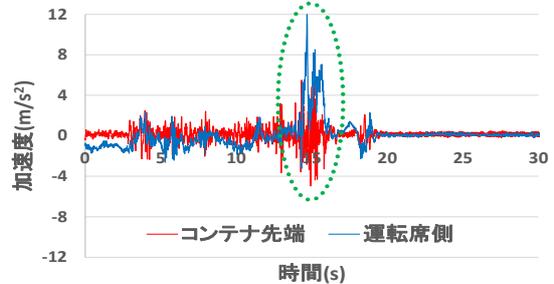


図-2 条件3:急停止時加速度波形(20km/h)



写真-2 条件3:内部映像

する。次に条件3は、20km/hの一定速度後に急停止をさせて発生する内容液の揺動を検証する。これら3種類の走行試験を解析条件とする。また比較は、ISOタンクに設置した内部カメラによる内部映像と運転席とコンテナに設置した加速度計で計測を行い、搭載車に生じるメカニズムの把握を行う。

3. 走行試験及び解析結果

(1) 急停止時

図-2に急停止時である条件3での加速度波形を、写真-2に内部カメラで撮影したタンク内部映像を示す。図-2の結果から急ブレーキを踏んだ際に急激な加速度ピークが現れていることがわかる。写真-2より内容液の挙動を確認すると、急ブレーキを踏んだ直後、内容液の激しい揺動が見られる。このとき、運転席側にも激しい揺れが生じ、これは液体揺動の影響と考えられる。

キーワード : 液体輸送車両, 液面揺動, 走行試験, 時刻歴応答解析

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

(2) タンクの固有振動数

表-3 に条件 1~3 での走行試験結果から求めたタンクの固有振動数と連成解析より求めた固有値結果を示す。コンテナ先端においては、どの条件共に 0.3Hz 付近で卓越ピークが見られ、連成解析より求めた 1 次モードの振動数と一致している。これに対し運転席側において長周期である 0.05~0.07Hz 付近でピークが見られる。これはタンク本体の揺れだけではなく、タイヤを含めたバネ下荷重による揺れであり、運転席などを含めたトレーラー全体の揺れと考えられる。

表-3 :条件 1,2,3 におけるタンクの固有振動数

	条件1(Hz)	条件2(Hz)	条件3(Hz)
コンテナ先端	0.342	0.328	0.341
運転席	0.05	0.05	0.07
連成解析	0.342		
Housner式	0.347		

(3) 時刻歴応答解析

図-3 に条件 1,2 における運転席側方向の端部中央での時刻歴応答解析波高を示す。ブレーキ開始後、内容液が揺動して前方へ移動することで、条件 1 で最大波高約 258mm、条件 2 で 495mm に達している。内部映像からは、ブレーキを踏んだ直後に内容液の激しい揺動が見られ、激しい揺動がしばらく続き、特に速度が上がる程顕著であり、この点も解析結果と一致している。従って、一度のブレーキ操作のみでトレーラーを安全に停止させることが困難であることが推察される。

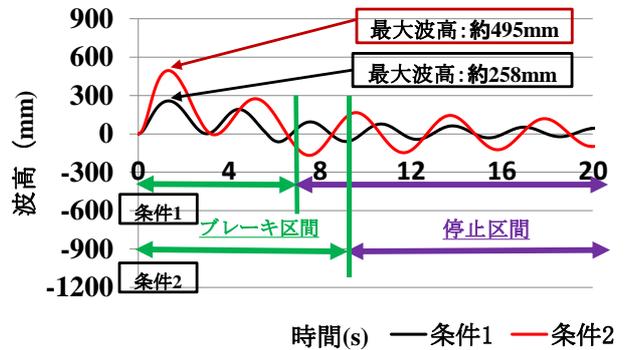


図-3 条件 1,2 : 時刻歴応答波高 (解析)

図-4 に条件 3 における時刻歴応答解析の波高プロット点を示し、タンク端部からそれぞれ 0.6m である。図-5 はこれらの点の波高をグラフ化したものである。ここでは、急停止後に内容液が揺動して前方へ移動し、最大波高約 880mm に達して天井に接触するほどの波高が算出された。また、両点ともに流体が前方へ移動する時の液面の揺動の周期は約 0.2Hz となっている。その後徐々に、0.3Hz に移りタンクのスロッシング 1 次モードの周期に近づいていることがわかる。次に液面揺動に着目し、図-6 に時刻ごとの液面揺動の変化を示す。急停止後 3 秒からを示す。ここでは流体が前方へ移動し、4 秒で後方へ移動している、その後、孤立波となってタンク内を移動している。図-5 から判るように波高が減衰をしてスロッシング 1 次モード動きに移行していることがわかる。これより、急停止時にはタンクから大きな流体力の影響を受け、走行方向のみならず後部方向にも波の力が作用していることがわかる。

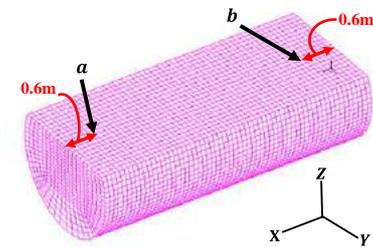


図-4 時刻歴応答解析に波高表示点

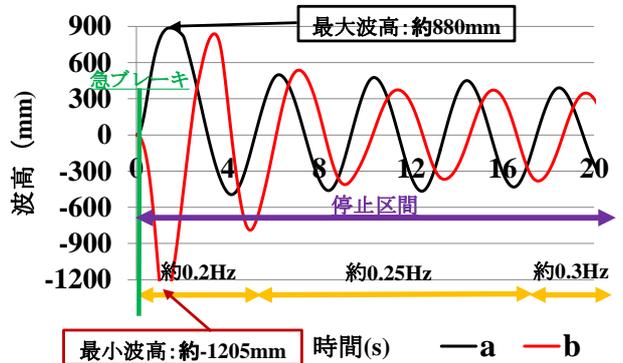


図-5 条件 3 : 時刻歴応答波高 (解析)

4. おわりに

走行試験においてタンク内で液面揺動が生じると、コンテナ先端の加速度計測から得られた値がタンクのスロッシング 1 次モードと等しいことがわかった。また、数値流体解析からもブレーキ作動時は孤立波の伝搬的な挙動を示すが、その後タンクのスロッシング 1 次モードへ移行していくことがわかった。よって ISO タンク内で液面揺動が発生することにより、走行方向のみならず逆方向へも繰り返し流体力が作用し、これが運転性能に大きく影響していると考えられる。制動操作において、液面揺動による事故の危険性が高まることから、制震装置等の安全性の対策が求められる。

謝辞 本研究の一部は科学技術振興機構マッチングプランナープログラムの助成を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 河田他：液体輸送車両用制振装置の波動抑制効果に関する研究，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，2016.9
- 2) 因他：横置き円筒形タンクのスロッシング振動に関して，構造工学論文集，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，2016.9
- 3) 河田他：液体輸送車両の安全性向上と燃費向上のための制振装置の開発，土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集，2017.9

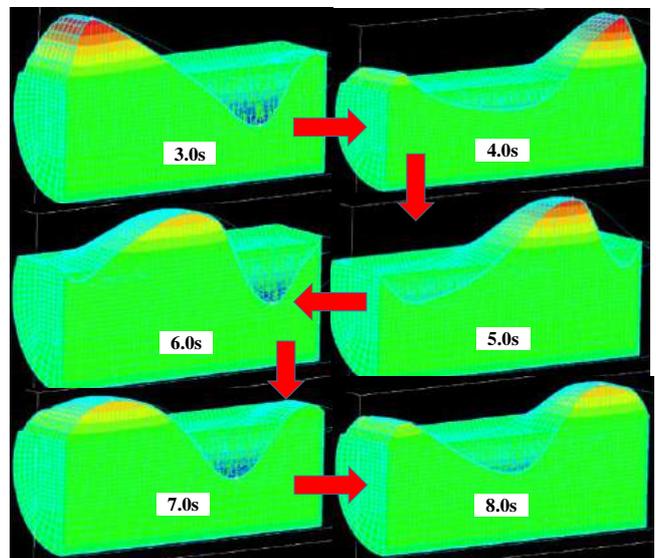


図-6 条件 3 : 液面揺動の変化