＝ 技 術 ノ ー ト ＝ TECHNICAL NOTE

液体ロケットの縦振動特性について^{*1} Longitudinal Vibration Characteristics of a Launch Vehicle

佐野政明^{*2}・小松敬治^{*2}
Masaaki SANO, Keiji KOMATSU,
峯岸正勝^{*2}・森田甫之^{*2}
Masakatsu MINEGISHI, Toshiyuki MORITA,
森野美樹^{*3}・富岡健治^{*4}
Yoshiki MORINO, Kenji TOMIOKA
宇治野功^{*4}
and Isao UJINO

Key Words: Rockets, Vibration, Testing

Abstract

Longitudinal vibration characteristics of a liquid launch vehicle are reported. A bar-type longitudinal vibration mode was detected experimentally as a first mode. It was also found that the resonant frequencies of a tank filled with a liquid depend on the signal type of the excitation force.

1. ま え が き

液体ロケットにおいてその振動特性は機体の設計、ペイロードの荷重設定において重要である。筆者らはH-IIロケットの開発において1/5の構造相似模型(第1図)を製作して振動試験を行ったが^{1,2)}、その中の縦振動特性に関して二、三の興味ある特性について報告する。

2. 縦振動のモード形

液体ロケットの縦振動の定義は、(1)ロケットタンク円筒部の軸対称振動による上下動、(2)ロケットの棒としての伸縮振動、(3)飛翔中に縦方向振動加速度が大きくなる振動、の3つが考えられてきた。モデリングについては縦振動解析では(1)の考え方を基にWoodやGlaserモデル^{3,4)}が採用され、ポゴ解析では

(2)が採用されてきた⁵⁾。(1)と(2)は液体を付加質量と仮定すると同じマス-スプリング系となり、モデリングに違いがあっても計算結果の数値の差が出ず、これまでとりあげられることはなかった。従来の振動試験と飛翔時のデータ解析結果では(1)と(2)のモード形のどちらで実際に振動しているかが判然としなかったが、H-IIの1/5模型試験では円周方向にもモード計測を行ったのでこの点が明らかとなった。振動試験におけるモード計測点を第2図に、模型の1段エンジン部での縦方向加振力と各部の加速度応答との周波数応答関数を第3図に示す。試験形態は固体ロケットブースター(SRB)分離後のMECO(Main Engine Cut Off)時の液位であり、飛行形態を模擬するため供試体をバネで宙吊りしてある。第3図(b)は機器搭載部の縦方向の応答で、1段液体酸素(LOX)タンク底部(第3図(c))の共振点77.7 Hzと同じピーク値をもつ。このときの振動モードは第4図(a)に示されているように(2)の棒としての伸縮振動であった。棒としての振動といっても、機体構造は軸対称ではなく、非対称性があり、また第1段エンジン下部からの加振も正確に機体軸に平行に行えないので上段部では横方向の振動が生じている。機器搭載部では横方向(第3図(a))の振動加速度は縦1次の振動数で縦方向(第3図(b))のその1割程度の大きさである。実機でも縦振動の加振源はエンジン推力である。

また、縦方向の加速度は生じないが、第4図(b)のように円筒部(液体水素(LH₂)タンク部で内部は空)の軸対称振動が存在することも確認した。参考のため

^{*1} 昭和62年7月16日、第29回構造強度に関する講演会で発表。平成2年5月7日原稿受理

^{*2} 航空宇宙技術研究所

^{*3} 科学技術政策研究所

^{*4} 宇宙開発事業団

第1図 H-II ロケット 1/5 構造模型 (全高 9.5 m, 重量 2040 kg)

第2図 試験における加速度計測点 (59計測点, 各点3方向計測で177個の加速度計使用)

第4図(c)に曲げ1次モードも示した。なお、曲げ1次の振動数 (25.8 Hz) での周波数応答関数の大きさが小さいのは縦加振のためであり、横加振すれば大きなピーク値を得る。

3. 加振波形による応答の相違

機械構造物の振動試験においては加振波形によって構造物の振動特性が変わらないことは周知である。今回の試験で1段 LOX タンク単体 (内部に水が入っている) の縦加振試験 (第5図) を行ったところ、ラン

第3図 1段エンジン部縦加振での周波数応答関数の虚部
①: 縦1次 77.7 Hz, ②: LH₂タンク 69.1 Hz, ③: 曲げ1次 25.8 Hz)

第4図 MECO 時の代表的な振動モード ((a), (b) については静止画との重ね書き)
(a) 縦1次 77.7 Hz, (b) LH₂タンクの軸対称振動 69.1 Hz, (c) 曲げ1次 25.8 Hz

第5図 1段 LOX タンク単体の縦振動試験（底中央部を加振）

ダム加振と正弦波加振とで共振振動数が異なることが発見された。たとえば、水位 55% でランダム加振の共振振動数 172 Hz が正弦波加振では 164 Hz であっ

た。ランダム加振の場合にはタンク壁面が振動を受けて内部の液体にその振動数で振動が伝わるまで時間がかかり、共振をはじめようとすると次の異なる振動数の力がタンク壁から伝わるため、液体の有効な付加質量が正弦波加振の場合より小さくなり共振振動数が高くなるようである。この現象はタンク単体試験のときに顕著であったが、ロケットとしての形態になると、構造に対する液体重量が相対的に小さくなり、ランダム加振と正弦波加振とで實際上問題となるような差異は見られなかった。

参考文献

- 1) 峯岸正勝, 佐野政明, 小松敬治, 森田甫之, 森野美樹, 富岡健治, 宇治野功: H-II ロケット 1/5 模型の振動試験, 航空宇宙技術研究所報告 NAL TR-1061 (1990).
- 2) Morino, Y., Komatsu, K., Sano, M., Minegishi, M., Morita, T. and Kohsetsu, Y.: Vibration Test of 1/5-scale H-II Launch Vehicle, AIAA Paper 87-0783 (1987).
- 3) Glaser, R. F.: Longitudinal Mass-Spring Modeling of Launch Vehicle, NASA TN D-5371 (1969).
- 4) Pinson, L. D., Leonard, H. W. and Raney, J. P.: Analyses of the Longitudinal Dynamics of Launch Vehicles with Application to a 1/10-Scale Saturn V Model, J. of Spacecraft, 5 (1968), pp. 303-308.
- 5) Anon.: Prevention of Coupled Structure-Propulsion Instability (POGO), NASA SP-8055 (1970).