

航空機の離着陸に対する大型浮体空港の応答の数値解析

鹿児島大学 学生会員 ○久田 方輝
鹿児島大学 正会員 柿沼 太郎

1. 研究の背景及び目的

大型浮体空港は、埋め立てによる空港と比較して沿岸環境への負荷が低く、また、曳航が可能であるため、柔軟性のある空間拡張や運用が可能となる。ところで、大型浮体空港は、航空機の離発着に伴い、流体運動と相互干渉する弾性的な挙動を示す^{eg.1)}。これまで、波浪や、大型及び中型旅客機等の荷重に対する大型浮体空港の応答が調べられてきた。しかしながら、近年の航空旅客輸送市場では、機材の小型化が進んでいる。そこで、本研究では、小型旅客機も対象とした数値解析結果に基づき、浮体波の生成・増幅メカニズムを考察する。

2. 数値解析の手法及び条件

基礎方程式系は、速度ポテンシャルに関する非線形浅水方程式系、並びに、線形古典理論から得られる薄板の運動方程式とし、差分法を用いて1次元伝播解析を行なった。薄板が存在する位置の水面に曲げ剛性率を与え、一部の水域を覆う薄板を表現する。これにより、浮体端における浮体波の反射及び透過を考慮できる。孤立波が弾性浮体に入射する場合の水理実験結果²⁾との比較により、本数値モデルを用いて再現された薄板状浮体の応答は、高い精度を有することが確認されている¹⁾。図-1に示すように水面上に設置された薄板状浮体構造物上において、航空機が離陸、着陸、または、タッチアンドゴーをする場合に、浮体構造物がどのような挙動を示すのかを調べた。ここで、タッチアンドゴーにおいて、航空機は、着陸し、ブレーキをかけずに滑走した後、機首上げを行なって再び離陸する。

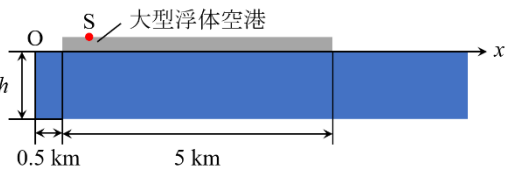


図-1 解析対象とする大型浮体空港のモデル

3. 航空機及び浮体の条件

航空機は、表-1に示す2機種とし、図-1に示す、浮体後端より0.5 kmの点Sから滑走を開始させた。静水深hは、5 m～20 mで一様とした。また、浮体の曲げ剛性率Bを $1.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \sim 1.0 \times 10^{12} \text{ Nm}^2$ とした。

表-1 2種類の航空機に対する諸条件

機 種	最大離陸重量	離 陸			着 陸			タッチアンドゴー 滑走距離
		離陸速度	加速度	滑走距離	着陸速度	減速度	滑走距離	
B737-800	79,000 kgs	78 m/s	1.8 m/s ²	1.7 km	72 m/s	1.4 m/s ²	2 km	1.5 m
B747-400	397,000 kgs	83 m/s	1.1 m/s ²	3 km		0.8 m/s ²	3.3 km	2.5 m

4. 航空機の滑走により生成される浮体波

図-2～図-4に、曲げ剛性率が $1.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2$ である浮体空港において、小型旅客機であるB737-800型機が、それぞれ、離陸、着陸及びタッチアンドゴーをする場合の表面形の時間変化を示す。図-2に示す離陸の場合、滑走によって生成された浮体波が、浮体端において反射され、浮体の振動が航空機離陸後にも残存している。また、ローリングスタートを仮定したため、航空機の滑走開始時に浮体に荷重がかかり、衝撃波が生成された。この衝撃波は、浮体端で反射された浮体波と重合し、浮体波の振幅が増加している。離陸時には、航空機滑走開始後の短時間内に、航空機の滑走速度が水面波の位相速度に近くなり、共鳴が効率的に発生する。その結果、局所的に波高の大きな波が生成・増幅され、航空機の前方を伝播する。このように、共鳴が効率的に発生すれば、比較的大きな浮体波が生成し得る。小型機の滑走速度は、大型機より小さいため、水面波と航空機との速度差が小さくなる。従って、小型機に対する浮体の応答も、浮体空港の設計において把握しておく必要がある。一方、図-3に示す着陸の場合、停止時刻に近付くと、航空機と水面波の速度差が小さくなり、波高の大きな拘

キーワード 大型浮体空港, VLFS, 離陸, 着陸, タッチアンドゴー, 共鳴

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学院理工学研究科 Phone: 099(285)8467

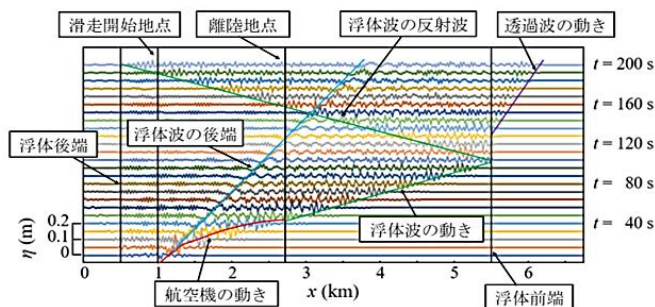


図-2 離陸時の波の挙動

(B737-800型機, 曲げ剛性率 $1.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2$, 静水深 20 m)

束波が生成された。この拘束波は、分散関係を満たさないため、拘束波の前方に数多くの自由波が発生した。航空機が停止すると、最大波高を有するこの拘束波も、自由波として伝播した。また、図-4 が示すタッチアンドゴーにおいては、航空機が離陸速度で滑走するため、この静水深に対しては、航空機と水面波の速度差が大きく、大きな波高の浮体波は、生成されなかった。

5. 曲げ剛性率が最大変位及び透過率に与える影響

図-5 に、大型旅客機である B747-400 型機が離陸する場合の、曲げ剛性率 B と最大変位 $\eta_{\max}$ の関係を示す。 B が小さいほど、また、静水深 h が大きいほど、最大変位が大きい。また、図-6 に、B737-800 型機が着陸する場合の曲げ剛性率 B と透過率 τ の関係を示す。 B が小さいほど、透過率が増加する傾向が見られる。これは、浮体波の速度が、 B の低下に伴い低減し、水面波の伝播速度に近付くためである。なお、大型機及び小型機の両者の場合に、着陸時の透過率が高かった。航空機は、離着陸時に加減速を行なうため、透過率は、航空機と水面波の速度が近付くタイミングにも依存する。

6. 大型浮体空港の運用に関する考察

小型機と水面波の速度差が小さいと、浮体波の増幅率が大きくなる。従って、大型浮体空港で小型機を運航するにあたり、浮体の静穏度を高めるためには、安全に支障のない範囲で滑走速度を大きくする方法も有効であろう。その際、従来の運航と異なる操縦が必要となる。また、離陸や着陸より加減速度が小さいタッチアンドゴーでは、両機種とも浮体空港の最大変位が小さいため、大型浮体空港は、タッチアンドゴーを繰り返す操縦訓練にも適用できる。一方、浮体波は、航空機の位置にも発生した。特に、浮体波の速度が大きい場合、航空機の滑走中に浮体波が空港端における反射を繰り返した。福岡空港のように滑走路運用が過密な空港では、離着陸の間隔が数十秒程度となる場合がある。数値解析において、浮体波の反射率が大きな場合、浮体波が数十秒～数分程度、滑走路内に残存する場合があった。従って、大型浮体空港では、こうした過密な運用を避け、離着陸間の時間間隔を十分にとる必要がある。今後、浮体波の増幅を低減する方法や、離着陸における航空機の操縦方法を検討することも、大型浮体構造物を活用した海上空港を実現するにあたっての重要な課題である。

参考文献

- 1) Kakinuma, T., Yamashita, K., and Nakayama, K.: Surface and internal waves due to a moving load on a very large floating structure, J. Applied Mathematics, Vol. 2012, Article ID 830530, 14 pages, 2012.
- 2) Sakai, S., Liu, X., Sasamoto, M., and Kagesa, T.: Experimental and numerical study on the hydroelastic behavior of VLFS under tsunami, In Hydroelasticity in Marine Technology, Kashiwagi, M., Koterayama, W., and Ohkusu, M., Eds., pp. 385–392, 1998.

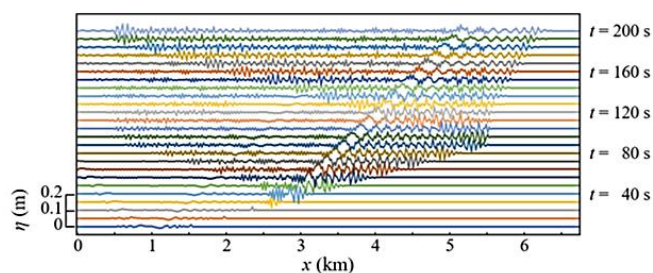


図-3 着陸時の波の挙動

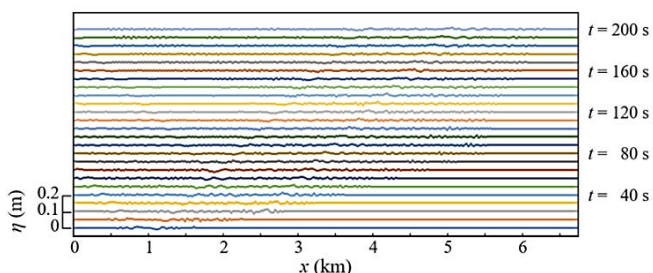
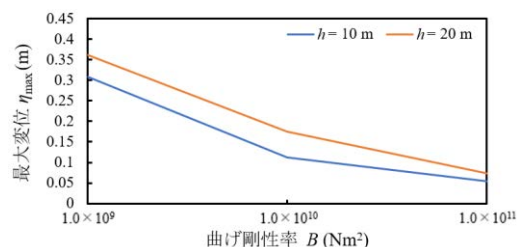
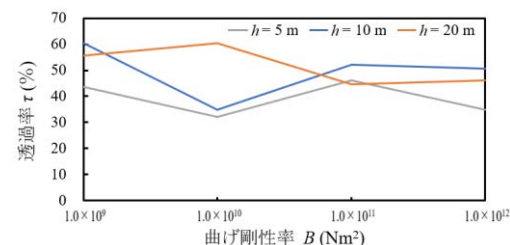
(B737-800型機, 曲げ剛性率 $1.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2$, 静水深 20 m)

図-4 タッチアンドゴー時の波の挙動

(B737-800型機, 曲げ剛性率 $1.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2$, 静水深 20 m)図-5 最大変位 $\eta_{\max}$ と曲げ剛性率 B の関係 (B747-400 型機, 離陸時)図-6 透過率 τ と曲げ剛性率 B の関係 (B737-800 型機, 着陸時)