

## 航空機が走行する栈橋式構造物の衝撃係数に関する解析的検討

JFE 技研（株） 正会員 村上 琢哉  
 JFE エンジニアリング（株） 正会員 辻岡 和男  
 JFE エンジニアリング（株） 正会員 橋本 光行

## 1. はじめに

増加する航空需要に伴い、航空機の大型化が計画されているが、それに対応して滑走路を延伸するニーズが高まる可能性がある。滑走路の延伸方法として、コンクリート構造の杭式栈橋が施工された事例<sup>1)</sup>以外に、鋼構造を主体としたジャケット式栈橋などの採用も考えられる。本研究では、鋼製栈橋構造の衝撃の影響を把握するため、路面凹凸、航空機の加速・減速等を考慮した解析検討を実施した。

## 2. 解析条件

解析モデルの概念を図1に示す。本解析では、栈橋を5m間隔の中間ばねで弾性支持された支間30mの2次元弾性梁（路面凹凸を考慮）に、航空機を2自由度系航空機モデルにそれぞれ置換し、これらの連立運動方程式をNewmark法で逐次積分することにより、梁と航空機の時刻歴応答を算出した。栈橋モデルは、対象構造が1ユニット30m×30m、床版が5m間隔の格子状の床組で支えられると仮定し、航空機の車輪が床組間の床版上を走行することを想定して定めた。航空機はBoeing747を想定した簡易1軸非線形モデル<sup>2)</sup>としたが、走行により作用する揚力は考慮していない。栈橋モデルの構造諸元を表1に示す。支間中間ばね定数 $K_g$ については、床組の剛性が変化することを想定して、幅をもたせて検討して固有周期の影響を検討した。なお、想定構造物の床版たわみが卓越する鉛直たわみ1次振動数（以下、 $f_1$ ）は6.4Hzである。また、路面凹凸スペクトルは、既往事例<sup>3)</sup>を参考に、 $\beta = 0.05$ 、 $n = 2$ とし、 $a (\text{cm}^2 / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}) = 0.002$

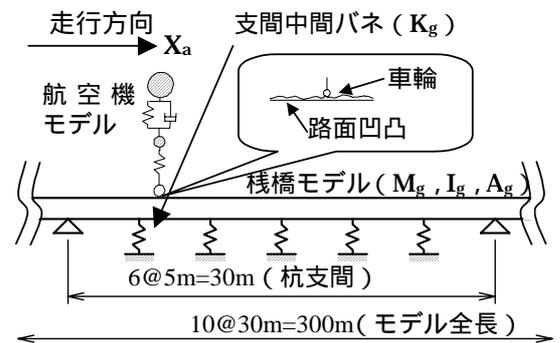


図1 解析モデルの概念

表1 栈橋モデルの構造諸元

項目	データ
断面2次モーメント $I_g$	0.0646 m <sup>4</sup>
単位長さ質量 $M_g$	2.78 t/m
断面積 $A_g$	2.05 m <sup>2</sup>
支間中間ばね定数 $K_g$	2,000~67,000 kN/m
モード減衰	0.05

および0.01とした2つの路面凹凸スペクトルから算出した代表波形を用いた（以下、それぞれラフネス1、ラフネス2と呼ぶ）。これらは、ISOの乗り心地の評価基準に基づく5つのカテゴリ（極良、良好、普通、悪い、極悪）の中で、「良好」の下限と上限に相当する。数値積分条件は、 $\Delta t = 1/6$ 、時間間隔を0.001秒とし、各時間間隔における収束判定は加速度について1/1000以内とした。詳細な解析条件は文献4)を参照のこと。

## 3. 解析結果

衝撃係数 $i$ は、最大静的応答値 $s_{s,max}$ に対する最大動的応答値 $d_{d,max}$ と最大静的応答値 $s_{s,max}$ との差の比で定義し、 $i = (d_{d,max} - s_{s,max}) / s_{s,max}$ で評価した。航空機の移動速度が30m/sの場合の解析結果を図2に示す。これより、路面凹凸量の増加に伴い衝撃係数は大きくなる傾向が見られる。また、各速度における衝撃係数の最大値は、ラフネス2のケースでは、約0.23（ $f_1 = 3\text{Hz}$ 付近）である。これらは、「ラフネスなし」と比べると衝撃係数が大きく増加していることから、路面凹凸の影響は大きいと言える。加減速の影響検討結果を図3に示すが、今回の計算結果からは衝撃係数は等速度の場合とさほど変わらないと判断される。

さらに、 $f_1 = 4.04\text{Hz}$ の栈橋モデルを対象に、ラフネス2の凹凸パワースペクトル（ $a = 0.01$ ）から、路面

キーワード 航空機走行、栈橋、動的応答、衝撃係数

連絡先 〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1-1 JFE 技研（株）土木・建築研究部 TEL 044-322-6337

凹凸波形を新たに 10 回シミュレートして、それぞれの衝撃係数を算出した結果を図 4 に示す。これによると、衝撃係数の値は路面凹凸波形により多少ばらついていることがわかる（平均値 0.21、最小値 0.15、最大値 0.3 程度）。動的応答が最大値を示したケース（2 回目）の路面凹凸波形をラフネス 2（代表波形）と比較して図 5 に示す。最大値を示したケースの梁の最大応答位置は、航空機走行方向座標  $X_a = 195\text{m}$  の支間中央部であり、その場所では +1.0cm から -1.3cm 程度の段差が見られる。これは、ラフネス 2 の最大段差 +1.5cm から -1.5cm よりも小さいものの、ラフネス 2 の最大段差位置は  $X_a = 160\text{m}$  付近であり、杭支間中央部からやや離れた位置であることから、支間中央部近傍に路面凹凸の比較的大きな段差がある場合に衝撃係数が大きな値となると考えられる。同じ路面凹凸パワースペクトルを用いても動的応答値が変わることは、橋梁の事例で知られている<sup>3)</sup>が、栈橋構造でも、支間中央部の路面凹凸の状況が衝撃係数の決定に影響を及ぼす可能性がある。

コンクリート構造物を対象とした滑走路の衝撃係数については、ACI Manual of Concrete Practice<sup>5)</sup>に記述があり、Parking Apron and Low Speed Taxiways は 0.3、High Speed Taxiways and Runways では 0.4 としている。今回の解析では、High Speed Taxiing の代表値とした 30m/s の移動速度では 0.3 を下回る結果が得られた。路面平坦性と栈橋の固有振動数が衝撃係数に与える影響は少ないことから、これらを慎重に設定する必要があると言える。

4. まとめ

栈橋式構造物上を航空機が走行した場合を想定した解析的検討を行った。その結果、衝撃係数は、本構造物の固有振動数、路面凹凸波形の影響が大きく、航空機の加減速の影響は比較的小さいことが明らかとなった。また、同一の路面凹凸パワースペクトルでも、衝撃係数が異なる結果が得られたが、これは、杭支間中央部の凹凸波形の影響が大きいと考えられる。なお、今回の計算結果からは、最大で 0.3 の衝撃係数が得られたが、設定する路面凹凸（平坦性）や、栈橋の固有振動数によっては、衝撃係数を小さく設定できる可能性がある。

参考文献

- 1) Brilha: Madeira's airport proceeds with challenging runway extension to cope with rising traffic, ICAO Journal. 1999
- 2) 宝田: 超大型海洋構造物のテクノロジー・アセスメントの一例(その 5) 日本造船学会誌第 642 号、pp.20~37、1982.12.
- 3) 橋梁振動研究会編: 橋梁振動の計測と解析、技報堂出版、1993.10.
- 4) 村上、辻岡、橋本: 航空機走行による栈橋式構造物の動的応答に関する検討、鋼構造年次論文報告集、第 11 巻、pp.23~28、2003.11
- 5) American Concrete Institute: ACI Manual of Concrete Practice, PART4, ACI 343R-88, 1988.

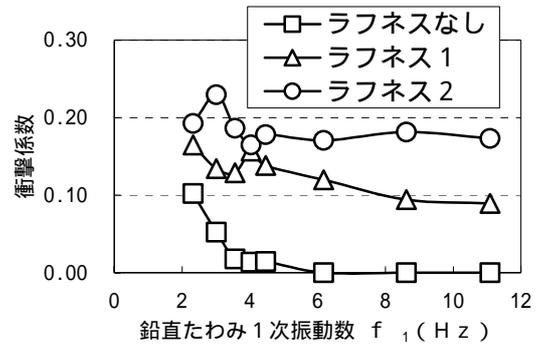


図 2 等速度の解析結果（移動速度 30m/s）

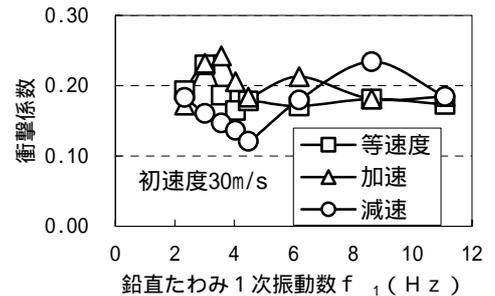


図 3 加減速の解析結果（路面：ラフネス 2）

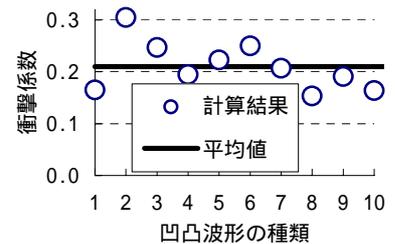
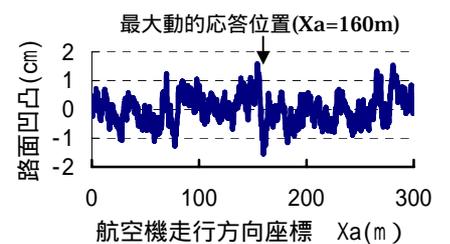
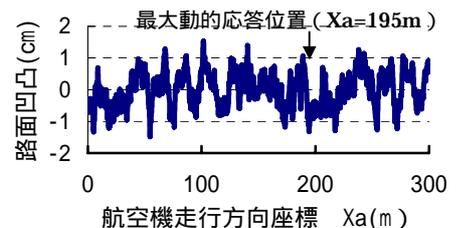


図 4 路面凹凸の影響



(a) ラフネス 2



(b) 衝撃係数最大値を示した波形

図 5 路面凹凸波形の比較