

三次元有限要素法による空港舗装構造の数値解析

董 勤喜*・八谷好高**・坪川将丈***・松崎和博***

要 旨

空港舗装の荷重応答解析においては、舗装構造モデルと材料特性の選定が重要である。後者は測定結果を逆解析することによって求められることが多く、ほとんどの場合、多層弾性理論が使用されている。しかし、境界条件の制約等によりこの理論が用いられない状況も考えられ、その場合には三次元有限要素法を採用せざるを得ない。

本研究では、まず、基底縮小法により静的な三次元有限要素法の効果的な逆解析プログラムを開発した。次に、計算効率を飛躍的に向上させるため、Ritzベクトルを用いて運動方程式を縮小化している。感度解析に対しても、運動方程式で作成したRitzベクトルの数を若干増やすことで精度良く計算できることが明らかになった。最後に、走行する航空機輪荷重による動的応答を解析し、相関パラメータと動的応答との関係について考察した。

本研究により以下の点が明らかになった。

- (1) Ritzベクトルを用いることによって計算の効率化を図ることができた。自由度 25000 以上の運動方程式をマトリックスサイズ 10×10 となる運動方程式に縮小しても精度が変わらないことが明らかになった。
- (2) 運動方程式から求めた Ritzベクトルを 25 個用いて解析を行えば、十分な精度が得られることが明らかになった。
- (3) 逆解析において、Ritzベクトルを 30 個程度用いれば真値に収束することが明らかになった。
- (4) 移動荷重の場合、アスファルトコンクリート (AC) 層下面の水平方向ひずみは、引張ひずみとその前後に圧縮ひずみの状態が発生する。路床上面の鉛直ひずみは常に圧縮状態にある。
- (5) 移動荷重の速度は動的たわみと路床のひずみにほとんど影響しない。しかし、移動荷重速度が 10m/s から 40m/s に増加すると、AC厚下面の水平方向ひずみは 15% ほど減少する。
- (6) 軸数は動的応答に影響を及ぼす。軸数が二軸から三軸に変わると、たわみは 25% 増加し、路床上面の鉛直ひずみは 21% 増加する。AC層下面のひずみは多軸配置において隣り合う車軸の影響を受け、複雑に変化する。
- (7) 粘弾性材料としてモデル化して動的応答を行った場合、表面たわみは弾性動的応答の場合より小さくなる傾向にある。

キーワード：三次元有限要素法，動的解析，Ritzベクトル，移動荷重，線形弾性，粘弾性

* 空港研究部空港施設研究室（運輸施設整備事業団運輸技術研究員）

** 空港研究部空港施設研究室室長

*** 空港研究部空港施設研究室

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5034, Fax：046-844-4471, E-mail: dong-q92y2@ysk.nilim.go.jp

Numerical Simulations of Airport Pavement Structures Based on Three-dimensional Finite Elements

Qinxi DONG*

Yoshitaka HACHIYA**

Yukitomo TSUBOKAWA***

Kazuhiro MATSUZAKI***

Synopsis

The material properties of airport pavements used for the numerical analysis are determined based on the multi-layered static linear elastic theory. This theory is not capable of considering many of the more complicated aspects of pavement behavior as well as the loading positions. Thus, a 3D finite element method (FEM) algorithm is needed as an analytical tool for the backcalculation of pavement layer moduli, which can be adopted for the numerical analysis of airport pavements.

In this research, using the reduction basis method, a 3D finite element based backcalculation procedure is firstly developed for large-scale airport pavements. Secondly, an efficient method of 3D dynamic analysis for the multi-layered elastic systems with non-proportional damping was proposed using Ritz vectors. It also becomes apparent that the accuracy of sensitivity analysis, which is used to inverse the layer moduli and damping of pavements, can be improved with the increase in the number of Ritz vectors. Finally, the dynamic response of airport pavements to moving aircraft wheel loads is investigated, and the influences of various parameters on the dynamic response were studied. Main conclusions are as follows;

- (1) The system of equations with over 25000 degrees of freedom can be reduced drastically to the system of 10 equations without a loss of the solution accuracy.
- (2) The accuracy of sensitivity analysis can be improved with the increase the number of Ritz vectors over 25.
- (3) The accuracy of backcalculated material properties can be held with 30 Ritz vectors, and the proposed algorithm applied to the experimental test pavement structures gives the expected results.
- (4) The longitudinal strain at the bottom of AC layer appears both the tensile and compressive states for all wheel configurations. This phenomenon will result in the cracking of pavements.
- (5) The aircraft speed slightly influences the dynamic deflection and strain at the top of subgrade. However, it strongly influences the strain response of AC layer when the speed increases. There is a reduction of 15 percent when the aircraft speed increases from 10m/s to 40m/s.
- (6) Multiple wheel configurations have a notable influence on the dynamic responses. The dynamic deflection and strain of subgrade increased as much as 25 and 21 percent respectively when the wheel configuration changed from tandem to tridem types. On the strain of AC layer, a complex interaction occurs between adjacent wheel loads in the multiple wheel configurations.
- (7) On the dynamic responses of visco-elastic material, it is apparent that the dynamic responses are smaller compared with elastic ones.

Key Words: 3D FEM, dynamic analysis, Ritz vector, moving load, linear elasticity, visco-elasticity

* Transport Technical Researcher, Airport Facilities Division, Airport Research Department (Corporation for Advanced Transport and Technology)

** Head, Airport Facilities Division, Airport Research Department

*** Researcher, Airport Facilities Division, Airport Research Department

National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 1-1, Nagase 3, Yokosuka 239-0826, Japan
Phone: +81 46 844 5034, Fax: +81 46 844 4471, E-mail: dong-q92y2@ysk.nilim.go.jp