

舗装の動的応答を考慮した空港アスファルト舗装の構造解析

国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 坪川 将丈
 国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 八谷 好高

1. はじめに

FWD を用いた空港アスファルト舗装の健全度評価においては、FWD により測定したたわみの最大値を用いた静的逆解析により各層の弾性係数を推定し、航空機脚荷重が載荷されている際の舗装内のひずみを多層弾性理論により計算している。しかしながら、静的解析による現在の方法では、FWD による衝撃荷重が載荷された場合や航空機が舗装上を走行する場合の舗装の動的応答を考慮することができない。

本研究では、舗装厚、弾性係数、減衰特性を変化させた舗装構造モデルを用い、従来より用いられている静的手法と、舗装の動的応答を考慮可能な動的手法により、舗装内のひずみを計算し、解析手法の違いが舗装内のひずみに及ぼす影響を検討した。

2. 静的解析手法と動的解析手法による舗装内のひずみの計算

舗装厚、弾性係数、減衰特性を変化させた空港アスファルト舗装を図-1のようにモデル化し、舗装上を航空機が時速 36km で走行する際の舗装内のひずみを静的手法と動的手法により計算し、解析手法の違いが計算ひずみに与える影響を検討した。

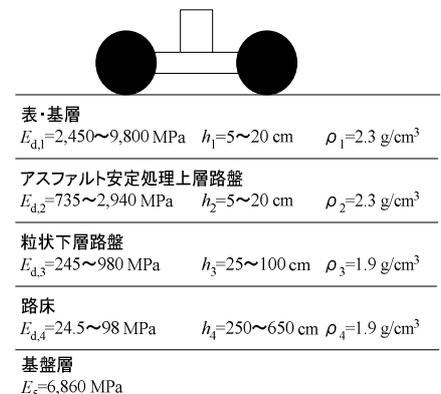
動的手法によるひずみの計算では、各層の弾性係数 $E_{d,i}$ として、FWD による動的たわみを動的逆解析することにより得られるものを想定したが、筆者らのこれまでの経験に基づいて、図-1のようにその範囲を設定した。表・基層と上層路盤の弾性係数に関して、航空機（B747-400型機）走行時の載荷速度とFWDの衝撃荷重による載荷速度との違いを考慮し、笠原ら¹⁾が提案している複素弾性率の補正方法を参考に補正した後、航空機が時速 36km で走行する際の舗装内のひずみを三次元動的 FEM 解析により計算した。

一方、静的手法による計算では、先述した弾性係数 $E_{d,i}$ を有する舗装構造モデルに対して、FWD の衝撃荷重を載荷した場合の動的たわみを三次元動的 FEM 解析により計算し、計算した動的たわみの最大値のみを用いた静的逆解析により、各層の弾性係数 $E_{s,i}$ を推定した。次に、動的手法による方法と同様に載荷速度による弾性係数の補正を行い、多層弾性理論により航空機の脚荷重載荷による舗装内部のひずみを計算した。そして、表・基層下面と路床上面に着目し、動的手法によるひずみ ε_d と静的手法によるひずみ ε_s のひずみ比 $\varepsilon_d / \varepsilon_s$ を計算した。

なお、静的解析には BALM99²⁾ と GAMES³⁾ を、三次元動的 FEM 解析には汎用 FEM ソフト NASTRAN を使用している。また、動的手法による計算では、減衰マトリックスは剛性マトリックスに比例するものと仮定し、その減衰比例係数 β としては、試験舗装で実際に測定した FWD による動的たわみを用いた動的逆解析結果を参考に、 β を 0.002 から 0.010 まで変化させて解析を実施した。また、FWD による衝撃荷重載荷時と航空機走行時の舗装の減衰特性は同一とみなし、同一の減衰比例係数を用いて解析を行った。

3. 解析手法の違いが舗装内のひずみに与える影響

各層の弾性係数がひずみ比に及ぼす影響を検討した。ひずみ比 $\varepsilon_d / \varepsilon_s$ と、着目した層の弾性係数を代表的な値で正規化した弾性係数比との関係を図-2に示す。ひずみ比は概ね 1.6 ~ 1.8 程度であり、弾性係数が変化した場合でも、ひずみ比は大きく変化しないことがわかる。路床上面の鉛直ひずみに関して、ひずみ比に対する路床の弾性係数の影響が大きいのは、多層弾性理論と三次元動的 FEM 解析では路床下面における境界条件が異なることが原因と考



注1) 全ての層でポアソン比は0.3、減衰比例係数は0.002~0.010とした。
 注2) FEM解析では基盤層は設けず、路床下面で固定条件とした。

図-1 舗装構造モデル

キーワード 動的解析，有限要素法，FWD，逆解析，舗装，空港

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 TEL：046-844-5034 FAX：046-844-4471

えられる．次に，各層の層厚がひずみ比に及ぼす影響を検討した．ひずみ比 ϵ_d / ϵ_s と，着目した層の層厚を代表的な値で正規化した層厚比との関係を図-3 に示す．弾性係数を変化させた場合と同様に，層厚が変化してもひずみ比は大きく変化せず，路床厚を変化させた場合を除いてひずみ比は 1.6~1.9 程度である．路床上面の鉛直ひずみに関して，ひずみ比に対する路床厚の影響が大きいのは，上述した原因によると考えられる．

舗装の減衰特性がひずみ比に及ぼす影響を検討した．図-4 にひずみ比と減衰比例係数の関係を示す．減衰比例係数が大きくなるに従い，ひずみ比は大きくなり，解析手法によるひずみの差が大きくなることからわかる．これは，減衰比例係数が大きくなると，速度に比例する減衰力が大きくなり，FWD による衝撃荷重を与えた場合の舗装表面のたわみは一樣に小さくなるため，舗装の動的な応答を考慮することが出来ない静的逆解析では，図-5 に示すように，弾性係数を大きく推定する傾向があることから，解析手法の違いによるひずみの差が大きくなると考えられる．

4. 結論

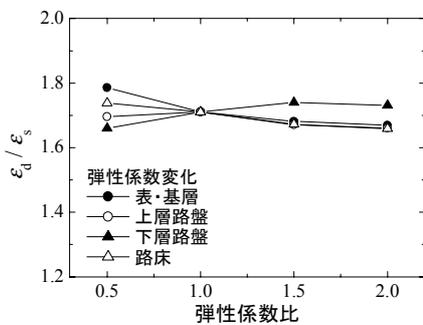
航空機が舗装上を走行する際の舗装内のひずみを動的手法により計算した結果，弾性係数や層厚が異なる場合でも，静的手法により計算したひずみの概ね 1.6~1.9 倍程度であることがわかった．また，舗装の減衰特性を考慮することが出来ない静的手法では，減衰の効果が大きいほど，各層の弾性係数を大きく推定する傾向があることから，舗装内部に発生するひずみを過小評価する傾向にあることがわかった．

5. おわりに

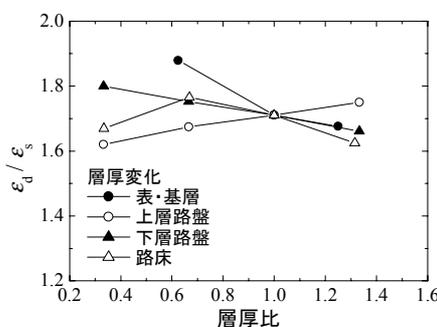
今回は，舗装構造モデルに対する解析により，解析手法の違いが舗装内ひずみに与える影響を検討したが，舗装の減衰特性や基盤層の影響をさらに詳細に検討する必要がある．今後は，実際に航空機が走行している際の舗装の挙動を検証し，舗装の動的応答を考慮した空港アスファルト舗装の健全度評価手法を取りまとめていく所存である．

参考文献

- 1) 笠原篤,菅原照雄:不規則なひずみ波形に対するアスファルト混合物の動的応答に関する研究,土木学会論文集 第277号, 1978.
- 2) <http://www.fwdjapan.org/files.htm>
- 3) 松井邦人, 董勤喜, 小澤良明, 飯塚浩二: 表面に複数のせん断力が作用する線形多層弾性構造の解析, 土木学会論文集 No. 697 / V-54, pp. 109-116, 2002.



(a) 表・基層下面水平ひずみ



(a) 表・基層下面水平ひずみ

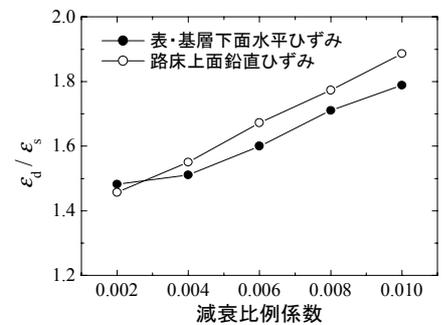
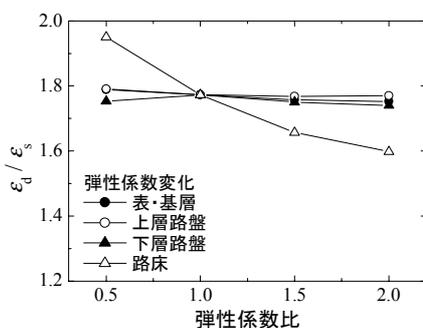
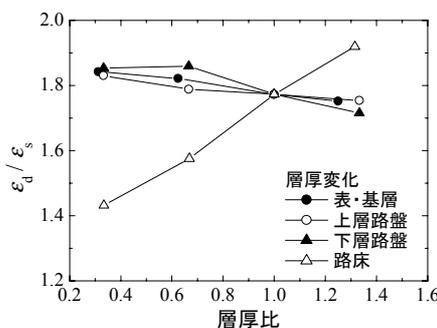


図-4 ひずみ比と減衰比例係数の関係



(b) 路床上面鉛直ひずみ

図-2 ひずみ比と弾性係数の関係



(b) 路床上面鉛直ひずみ

図-3 ひずみ比と層厚の関係

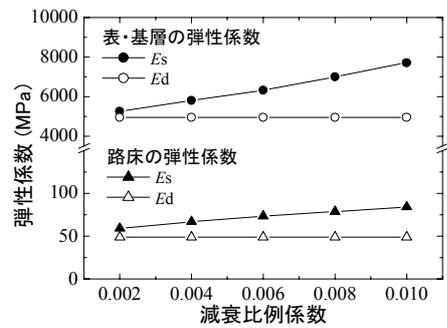


図-5 弾性係数と減衰比例係数の関係