

博士(工学) 坪川将丈

学位論文題名

空港舗装の設計・維持管理手法の高度化に関する研究

学位論文内容の要旨

わが国の社会・経済活動において、航空輸送は極めて重要な輸送手段である。航空需要は年々増加しており、それに伴い離着陸回数の増加、航空機の大型化が進んでいる。わが国の空港整備は、大都市圏における拠点空港については増加し続ける航空需要に対応した整備が今後も必要であるが、一般空港についてはほぼ概成したといえる。一部の空港は建設から既に数十年が経過しており、施設の老朽化に伴う破損が多く発生する傾向にある。空港の各種施設の中で、空港基本施設といわれる滑走路、誘導路、エプロン等の空港舗装についても例外ではなく、老朽化に対応するための維持・補修作業が非常に重要になっている。空港舗装の維持・補修については、日中には航空機が使用しているために作業が困難であり、夜間の限られた時間内に各種調査や補修工事を行う必要がある。しかしながら、空港舗装の設計基準や維持管理基準では、経験を元に決定されている項目も多く、限られた予算の中で効率的な維持・補修を行うためには、設計手法・調査手法・管理基準の高度化が求められている。

本研究では、上記を背景として、空港舗装の設計手法、調査手法、管理基準の高度化を目的とし、以下の事項を明らかにすべく、研究を実施した。

(1) 空港コンクリート舗装に発生する温度応力の定量化に関する検討

空港コンクリート舗装の設計で考慮すべき応力としては、航空機荷重により発生する荷重応力と、コンクリート版の温度変化による自由な変形が版の自重や版と路盤との摩擦により拘束されることで発生する温度応力がある。我が国の現行の空港コンクリート舗装の版厚設計法では、荷重応力の算出については各種の算定式やプログラムが使用されている。しかしながら、温度応力については、過去の研究等を参考とした経験的な安全率を使用して考慮している。このように、空港コンクリート舗装に発生する温度応力を定量的に算出する手法が無いために、コンクリート材料の疲労破壊特性を考慮した疲労ひび割れに対する照査を行って版厚を設計することができない。このことは、新規のコンクリート舗装の設計に対してのみならず、航空機の大型化等によりコンクリート舗装の補強が必要となる場合の設計を行う際にも支障となる。そこで本研究では、空港舗装の設計手法の高度化を目的として、空港コンクリート舗装のように厚いコンクリート版に発生する温度応力の定量化を検討した。

その結果、空港コンクリート舗装のように厚いコンクリート版に生じる温度応力は、道路コンクリート舗装の温度応力よりも小さいこと、コンクリート版が厚いほど内部拘束応力が大きくなり温度応力を低減させていることを明らかにした。また、版厚を考慮した温度応力算定式を考案した。

(2) 热赤外線画像による空港舗装層間剥離の検出手法に関する検討

近年、空港アスファルト舗装の表基層の層間において、層間剥離が発生した事例が見受けられる。層間剥離が発生している箇所では表基層間が付着していないことから、航空機が走行した際に大規模

な破損が発生する原因となる。このような層間剥離を検出する手法としては、ハンマーで舗装表面を打撃することにより異音部を検出する打音調査が広く用いられている。しかしながら、広大な面積の空港舗装を調査するには、膨大な時間を要すること、異音の検出に個人差があることなど困難な点が多い。そこで本研究では、空港舗装の調査手法の高度化を目的として、コンクリート構造物の剥離検出手法に用いられている熱赤外線画像による層間剥離検出手法について、空港舗装への適用性を検討した。

その結果、空港アスファルト舗装の表層と基層の間に生じている層間剥離を熱赤外線画像により検出することは可能であり、朝夕の気温差、日中の積算日射量、風速が検出精度に大きく影響することを明らかにした。また、層間剥離の存在により、層間剥離部と健全部との間に発生する温度差予測式を考案した。

(3) 走行時の航空機の挙動を考慮した空港舗装平坦性管理基準に関する検討

空港舗装に求められる性能の一つとして航空機の走行安全性がある。滑走路や誘導路に生じた凹凸やひび割れは、この走行安全性を低下させる原因である。そのため、空港舗装の供用性を評価するために、路面性状調査が定期的に実施されており、その調査結果を元に、路面性状評価指標であるPRI(Pavement Rehabilitation Index)が算出される。空港では、このPRIやその他調査結果を総合的に考慮して、補修を行う時期や範囲、規模を決定している。しかしながら、PRIに基づく供用性判定の基準値は、あくまで技術者の主観的評価を数量化して作成されたものであり、空港舗装上を走行する航空機の走行安全性が十分に考慮されたものとは言いがたい。本研究では、空港舗装の平坦性評価基準の高度化を目的として、航空機の鉛直加速度に着目した平坦性評価基準について検討した。

その結果、航空機が一定速度で走行する誘導路では、走行速度と路面波長から計算される時間周波数がある特定の値の場合において航空機の鉛直加速度が最大となること、航空機が加速しながら走行する滑走路では、航空機の鉛直加速度が最大となる時間周波数は路面の波長により変化することを明らかにした。また、航空機の応答を考慮した平坦性基準として、路面の波長と振幅からなる供用性基準曲線を考案した。

最後に、これらの研究成果により、空港舗装の設計手法及び維持管理手法の高度化を図ることが可能であることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主査教授 三上 隆

副査教授 大沼 博志

副査教授 名和 豊春

副査教授 笠原 篤（北海道工業大学）

学位論文題名

空港舗装の設計・維持管理手法の高度化に関する研究

わが国の社会・経済活動において、航空輸送は極めて重要な輸送手段であり、今後空港は益々重要な社会基盤施設の一つに位置づけられるだろう。空港整備は、大都市圏における拠点空港は増加する航空需要に対応した整備が必要であり、また一般空港についてはその建設はピークを越え、現在では開港後数十年を経過した施設は、老朽化による破損が多く発生するようになってきている。この老朽化施設には、空港基本施設といわれる滑走路、誘導路、エプロン等の空港舗装も含まれており、老朽化に対応するための維持・補修が非常に重要になる。しかしながら、維持・補修等は、航空機が空港を使用しない夜間の限られた時間に作業を行う必要があること、さらには空港舗装の設計基準・維持管理基準に含まれる項目には、これまでの経験を基に定められたものが多く、限られた予算内で効率的な維持・補修を行うためには、設計手法・調査手法の一層の高度化が求められている。

そこで著者は、空港舗装の設計手法、調査手法、管理基準の高度化を目的とし、1) 空港コンクリート舗装に発生する温度応力の定量化、2) 热赤外線画像による空港舗装層間剥離の検出、及び3) 走行時の航空機の挙動を考慮した空港舗装平坦性管理基準の検討、以上の3つの大きな課題について研究を実施している。本論文は全5章で構成されている。

第1章では、本論文の序論として、本研究の背景と目的を述べるとともに、既往の関連する研究に言及している。

第2章では、上記1)について取り扱い、経験的設計法から理論的設計法への移行を目的に、空港コンクリート舗装用の厚いコンクリート版に生じる温度応力を実験的・理論的に検討し、その合理的・実用的な算定式を考案している。すなわち、試験用コンクリート舗装を用いて1年間のコンクリート版(以下、単に版と記す)の深さ方向の温度とひずみを測定し、温度応力と版上下面温度差の関係を検討を行い、版が厚いほど温度分布の非線形性に起因する内部拘束応力が大きくなることを明らかにし、さらに熱収支解析により求めた版内温度分布を用いて、版厚の影響を考慮できる新たな温度応力評価式の開発に成功している。

第3章では、上記2)について取り扱い、空港アスファルト舗装の表基層の層間に発生する層間剥離は、国内空港においてもその発生が確認されていることから、従来のハンマーで舗装表面を打撃する打音調査の有する難点(広大な面積を調査するには膨大な時間がかかり、異音の検出に個人差

がある)を克服するために、コンクリート構造物の剥離検出手法として用いられている熱赤外線画像による検出手法の適用可能性の検討を行ったものである。すなわち、現地試験による適用性の検討、層間剥離に起因する舗装表面温度差の熱収支解析による検討、舗装表面温度差に影響を与える因子の分析及び適用可能な気象条件の検討を行い、その結果、熱赤外線画像の適用によっても剥離の検出が可能であること及び検出精度は朝夕の気温差、日中の積算日射量、平均風速に大きく依存することを明らかにし、また層間剥離部と健全部との間に発生する温度差予測式を考案している。

第4章では、上記3)について取り扱い、現状の管理基準におけるひび割れ、わだち掘れ、平坦性の各指標の限界値は過去のアンケート結果に基づく主観的評価であることから、航空機走行方向の平坦性に着目し、走行する航空機の操縦安全性・走行快適性を考慮した平坦性管理基準の策定を試みたものである。具体的には、航空機応答シミュレーションによる検討、鉛直加速度を基に路面の波長を考慮した凹凸管理基準の策定及び実際の路面プロファイルを用いた凹凸管理基準の妥当性の確認を行っている。その結果、航空機種の違いは滑走路走行時の航空機の応答に顕著であり、B747は長波長の路面走行時に、DC9は短波長の路面を走行する際に鉛直加速度が大きくなる傾向にあること、及び誘導路走行時の場合、走行速度によらず特定の時間振動数のときに鉛直加速度が最大となり、これに対して滑走路走行時には、鉛直加速度が最大となるときの時間周波数は一定ではなく、波長により変化する等を明らかにするとともに、これらの一連の検討結果を踏まえて、誘導路ならびの滑走路の平坦性評価基準を提案している。

第5章では、本研究で得られた結論を総括している。

これを要するに、著者は、空港舗装に発生する温度応力の定量化、熱赤外線画像による空港舗装層間剥離の検出及び走行時の航空機の挙動を考慮した空港舗装平坦性管理基準の検討を行い、空港舗装の設計手法及び維持管理手法の高度化を図ることが可能であることを明らかにしたものであり、今後の舗装工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。