

報告書の要約		指定課題に申請する場合は、右欄に『指定』と記入して下さい。	指定
助成番号	研究開発テーマ名		ハイブリッド劣化モデルに基づく空港コンクリート舗装の最適補修戦略
平成 21 年 2 月 9 日付 08 港企第 51 号	助成研究者	ふりがな 氏名	貝戸 清之 印
		所属	大阪大学大学院工学研究科 フロンティア研究センター
空港施設のアセットマネジメントを検討する上で、航空機の離発着時に輪荷重が直接作用するコンクリート舗装の維持管理は、安全と費用の両側面から考えて重要な課題である。本研究では、空港コンクリート舗装のライフサイクル費用の低減化を図る最適補修戦略を策定することを主たる目的とした。本研究は、このような実務的要請の極めて高いニーズを出発点として、下に述べるように力学的に評価が困難とされてきた地盤沈下や舗装劣化のモデル化をも包括する工学的難易度の高い体系的な研究課題に取り組むことに特徴と意義がある。また開発を行う一連の方法論は空港コンクリート舗装のみならず、その他のインフラ施設への応用・拡張が可能である。上の目的を達成するために、以下の 2 つの研究課題を設定した。 ・課題：空港コンクリート舗装のハイブリッド劣化モデルの開発 ・課題：最適補修戦略決定モデルの構築 課題：空港コンクリート舗装のハイブリッド劣化モデルの開発 コンクリート舗装の補修戦略を策定するためには、その劣化モデルが根幹技術となる。しかしながら、本研究で着目する海上空港を対象とする場合、コンクリート舗装の劣化は地盤沈下の影響を受けるために、その影響を内包した劣化モデルの開発が不可欠となる。さらに、地盤沈下や舗装劣化の過程は設計段階で精緻な予測が困難なため、空港施設の運用段階で観測されたモニタリング情報に基づいて、逐次予測結果を修正することが可能な方法論を開発した。 提案したコンクリート舗装の劣化モデルは、地盤沈下モデルを内包したモデルとなっている。したがって、地盤沈下モデル+コンクリート舗装劣化モデルを基本モデルとして開発を行う。さらに、地盤沈下・舗装劣化の基本モデルは、空港施設の運用状況に応じて、以下の 1 次から 3 次までのモデル構成とした。 1 次モデルは、空港設計段階（地盤沈下およびコンクリート舗装に関する実際のモニタリング情報がない段階）に地盤沈下およびコンクリート舗装の劣化過程を力学的理論に基づいて記述する力学的モデルである。なお、本研究では力学的手法そのものの開発は行わず、既存の研究成果を利用した。力学的モデルは、理論的仮説や実験結果等に基づいて、劣化現象を記述するために、劣化に関するデータが実際に蓄積していなくても劣化予測ができる。しかし、現実には、各種の条件や設定パラメータに不確実性が介在するために、生じた劣化状態が推計された予測値と一致する保証はない。そこで、本研究では、まず土質条件を確率変数としてとらえ、ランダムに与えることにより、地盤沈下過程に関する複数のサンプルパスを発生させた。その上で、地盤沈下の影響を考慮した疲労度解析（ここでは航空機の走行時の不確実性を同様に考慮する）により、各サンプルパスに対して、空港舗装の劣化過程を予測した。 2 次モデルは、1 次モデルで得られた地盤沈下および舗装劣化に関する数多くのサンプルパスに基づき、サンプルパスの背後に存在する統計的な規則性を、統計的劣化モデルを用いて表現した。2 次モデルも 1 次モデルと同様に実データが蓄積されていない設計段階を想定している。通常、このような統計的劣化モデルは実データが蓄積されていない状況の下では適用が不可能である。しかしながら、本研究では力学的劣化モデルと統計的劣化モデルを有機的に合成することで、			

両者の欠点を補間することが可能なハイブリッド劣化モデル(初期時点では力学的劣化モデルにより劣化予測を行い、データの蓄積とともにモニタリング情報に基づく実際の劣化過程に則した劣化予測を行うモデル) を提案する。

3 次モデルは、空港施設の運用段階を想定したモデルである。運用段階では、コンクリート舗装の劣化特性を継続的にモニタリングすることにより、初期時点で実施した劣化予測の誤差を評価することが重要となる。初期時点からある一定の期間が経過した時点で、予測結果とモニタリング情報の間に誤差が生じてきた場合には、モニタリング情報を活用して、2 次モデルを逐次更新する必要がある。3 次モデルでは情報の蓄積とともに、逐次、統計的劣化モデルの更新が可能な方法論の開発を手掛けた。

課題：最適補修戦略決定モデルの構築

ハイブリッド劣化モデルにより推計されたコンクリート舗装の劣化モデル(非斉次型マルコフ連鎖モデル) に基づいて、ライフサイクル費用最小化を実現する最適補修戦略の意思決定問題を定式化した。具体的には、臨海部空港における性能規定型維持管理契約を対象とした最適維持補修モデルを提案した。空港地盤の不同沈下過程がコンクリート舗装の劣化過程に影響を及ぼすために、空港地盤の不同沈下リスク、コンクリート舗装の疲労破壊リスクという2 種類のライフサイクル費用リスクが存在する。そこで、これら2 種類のリスクを考慮し、期待ライフサイクル費用を最小にするような最適維持補修政策を求める非斉次マルコフ決定モデルを提案した。本モデルでは、実際に観測される地盤沈下状態と舗装の健全度に応じて、最適補修政策が状況依存的に決定されることになり、本モデルを用いて、ライフサイクル費用の確率分布を求めることができる。さらに、空港供用後に継続して地盤沈下過程と舗装劣化過程をモニタリングすることにより、混合地盤沈下モデルやマルコフ劣化モデルをベイズ更新することで、最適補修政策やライフサイクル費用評価の精度を改善することが可能である。最後に、現実の空港舗装マネジメントを対象とした適用事例を用いて、本研究で提案した方法論の有効性を実証的に検討した。2 種類のリスクを考慮した期待ライフサイクル費用は以下の図のように算出される。図中の期は管理期間であり、期が進むにつれ、観測情報が増加するために期待ライフサイクル費用のピークが明瞭となっている、すなわちリスクが軽減されていることが理解できる。

