

空港土木施設の基準・要領等の整備

1. 研究・活動のアウトライン

年度	出来事	研究内容			成果反映
		設計法	評価・補修	地震災害	
2001			半たわみ性舗装 再生As混合物		空港舗装構造設計要領を随時改訂
2002	成田国際空港B滑走路供用		高強度Co舗装 大粒径As混合物		
2003			RCプレキャスト舗装		
2004			路面凹凸評価法		
2005	中部国際空港開港	栈橋上舗装構造	グルーピング安定性		
2006	能登半島地震	舗装設計法の性能規定化 理論的設計法	Co薄層付着オーバーレイ 熱赤外線調査	耐震設計法の性能規定化 能登空港再開支援	
2007	関西国際空港B滑走路供用	空港Co舗装の温度応力		液状化実大規模実験	
2008		PCN算出手法	As混合物層間付着強度		制定：空港舗装設計要領 制定：空港土木施設耐震設計要領
2009		理論的設計法のパラメータ分析			
2010	東京国際空港D滑走路供用 東北地方太平洋沖地震			仙台空港被害調査	一部改訂：舗装・耐震
2011			As舗装降温時間	舗装下空洞検出法	制定：空港舗装補修要領 一部改訂：耐震
2012					一部改訂：舗装・補修
2013					一部改訂：舗装・耐震・補修
2014	空港コンセッション開始		As一層最大施工厚		一部改訂：舗装・補修
2015		新しい交通量指標・設計 航空機荷重区分	As混合物はく離抵抗性		一部改訂：舗装・耐震・補修
2016	熊本地震		グルーピング養生期間	熊本空港被害調査	一部改訂：舗装・補修
2017			わだち掘れ算出手法 平坦性指標BBI	点検・応急復旧マニュアル	一部改訂：舗装・補修
2018			混入油評価手法 As混合物薄片分析		
2019			Asバインダ評価手法		制定：空港土木施設設計要領（舗装設計編・耐震設計編）
2020			グルーピング寸法		制定：地震災害時の空港舗装の点検・ 応急復旧マニュアル

1. 強

国土技術政策を支える研究開発

◆空港舗装設計法の性能規定化

【背景・課題】

我が国の空港舗装の設計法は、設計交通量や設計航空機荷重等の設計条件を階級化し、図表により舗装厚を決定する仕様規定型設計法が用いられてきた。これは設計を簡便に行うことができる利点があるものの、一般的な設計条件を逸脱するような場合の設計が困難となることが課題であった。

【研究概要・成果実装】

仕様規定型の航空局「空港舗装構造設計要領」を廃止し、新たに、性能規定型の「空港舗装設計要領」を策定するため、その原案を作成した。空港舗装設計要領では、空港舗装に求められる性能、性能規定、性能照査項目を整理し、性能照査方法としては、従来用いられてきた経験的設計法に加え、舗装内の応力・ひずみ等を算出し舗装厚を決定する理論的設計法を導入した。

◆空港舗装評価方法・補修技術の高度化

【背景・課題】

空港舗装の支持力、材料、路面の評価方法は、道路舗装における評価方法を参考としたものが多く、空港舗装に求められる性能や、空港運用に影響を及ぼす破損に主眼とした新しい評価方法が望まれている。また空港舗装の補修は深夜の短時間で実施することが多く、空港運用時間の拡大により深夜作業時間が年々減少していることから、施工時間の短縮や、簡便・確実な補修方法が望まれていた。

【研究概要・成果実装】

航空局が新たに「空港舗装補修要領」を策定するため、その原案を作成した。空港舗装補修要領では、空港アスファルト舗装の層間剥離の検出を簡便に行うことを目的とした熱赤外線調査の導入、空港コンクリート舗装の補修方法として、高強度プレキャスト RC 舗装に関する共同研究、コンクリート薄層オーバーレイ工法に関する共同研究の成果を導入する等、空港整備者・管理者からのニーズを踏まえ、新しい評価方法や施工方法、材料規定の導入を実施した。

◆地震時の対策

【背景・課題】

地震直後に被災地の空港が緊急物資輸送等の拠点として機能するためには、滑走路等の施設の耐震化を進めるとともに、地震後の空港舗装の点検・復旧を速やかに実施し、迅速に供用再開する必要がある。滑走路等の耐震化では、基礎地盤の液状化が発生した場合に滑走路表面に許容されるのはどの程度の変形なのかなど、耐震性能が明示されていない課題があった。また、空港管理者の多くは、地震時の舗装被害に関する十分な専門的知識を有しておらず、迅速な点検ができないおそれ、被害程度や調達可能機材に応じた臨機応変な応急復旧方法の判断ができないおそれがあることが課題であった。

【研究概要・成果実装】

性能規定型の航空局「空港土木施設耐震設計要領」を策定するにあたり、基礎地盤の液状化が滑走路等に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、石狩湾新港の埋立地内に実物大の試験舗装等を製作し、地中に設置した爆薬を発破させることで液状化を発生させる実大規模の液状化実験を実施し、その成果を参考に原案を作成した。また、空港における過去の地震被害等を参考とし、航空局「空港舗装維持管理マニュアル(案)」に、地震後の点検・応急復旧の内容をまとめたマニュアルを追加した。

2. 主な研究成果

◆空港舗装設計法の性能規定化

- ・2010年に供用を開始した東京国際空港D滑走路は埋立部と棧橋部で構成される。棧橋部はコンクリート床版上にアスファルト混合物を舗装すること、舗装表面から侵入しうる雨水をコンクリート床版に到達させないことが必要となる。そのため、図-1に示すように、コンクリート床版上に塗膜防水層、水密性の高いSMA（碎石マッシュアスファルト混合物）、排水性アスファルト混合物、密粒度アスファルト混合物の順で構成されるアスファルト試験舗装をコンクリート床版上に構築し、実大規模の走行載荷試験を実施することで、図-1に示す舗装厚の検証を行った。
- ・空港アスファルト舗装の理論的設計法では、累積疲労度（航空機荷重により舗装内に発生するひずみの大きさから算出した許容載荷回数に対する計画載荷回数の比）を導入し、図-2に示すように、アスファルト混合物下面および路床上面の累積疲労度が1.0を超過しない舗装厚を決定することとした。そのためには、アスファルト混合物及び路床の疲労破壊規準を設定する必要があるが、これまで用いられていた舗装厚からキャリブレーションを行い、疲労破壊規準を設定した。図-3は種々の航空機が利用する滑走路を対象として計算した累積疲労度の横断方向分布である。航空機により脚の位置・脚荷重の大きさが異なるため、航空機毎の累積疲労度の大きさ及び最大となる位置が異なる結果となり、航空機の実際の走行形態を考慮した設計が可能となった。
- ・空港コンクリート舗装の理論的設計法においても、空港アスファルト舗装と同様に累積疲労度を導入し、コンクリート版下面の累積疲労度が1.0を超過しない舗装厚を決定することとした。考慮する応力としては荷重応力と温度応力があり、荷重応力は構造解析により算出可能であるが、コンクリート版の温度変化により発生する温度応力を定式化する必要があった。図-4は試験コンクリート舗装の長期観測結果における版上下面温度差と温度応力の関係である。温度応力が版上下面温度差に比例することは以前から知られているが、空港のように厚いコンクリート版の温度応力に関する比例係数が不明であったため、この長期観測結果により定式化することで、理論的設計法の導入が可能となった。

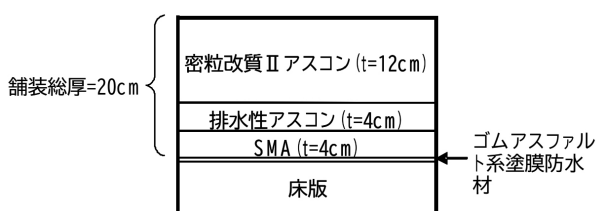


図-1 東京国際空港D滑走路棧橋部の舗装断面

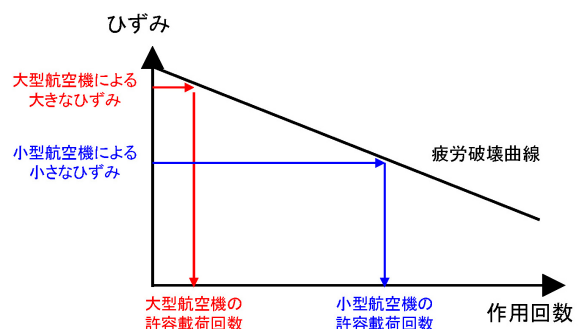


図-2 理論的設計法の概念図

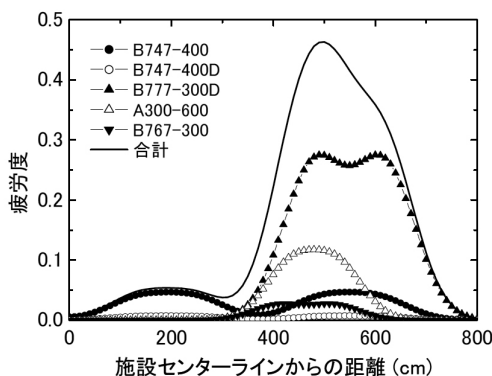


図-3 累積疲労度の横断方向分布

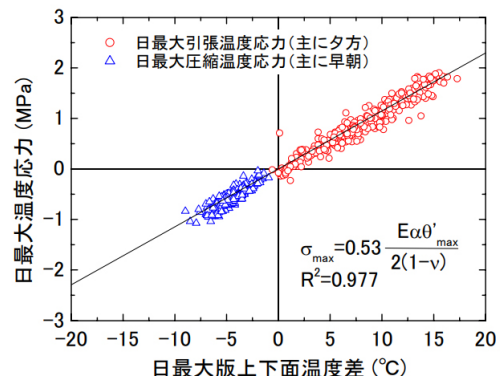


図-4 コンクリート舗装の温度応力と版上下面温度差

◆空港舗装評価方法・補修技術の高度化

- ・ 空港舗装の補修工事は空港の運用が終了する夜間に行われることが多い。そのため、コンクリート舗装を構築する場合は施設を一時的に昼夜閉鎖せざるを得ない。そこで、工場で作成した高強度 RC プレキャスト版を設置することで翌日には交通開放可能とする工法について共同研究を実施した。共同研究では、版間の継手として新しい「コッター継手」を採用し、荷重伝達性能の検証を経て実用化した。
- ・ 既設のコンクリート舗装の勾配修正を行う場合には、既設コンクリート版を撤去して打換えるほかなかった。そのため、既設コンクリート舗装上に薄層のコンクリートオーバーレイを施す工法について共同研究を実施した。共同研究では、最小オーバーレイ厚の確認、既設舗装とオーバーレイ層の必要付着強度及び必要付着強度を得るための表面処理方法（ウォータージェット・ショットブラスト併用、ショットブラスト・接着剤併用）の検証を経て実用化した。
- ・ 空港アスファルト混合物層間の層間剥離を簡便に検出するため、建築物のタイルの剥がれ等の検出に用いられている熱赤外線調査を導入した。空港舗装における調査は深夜に実施されることから、層間剥離部の温度低下量が非常に小さくなることが予想されたが、比較的温暖な季節であれば、市販の熱赤外線カメラにより、層間剥離に起因する温度低下が検出可能なことを現地試験で確認した。
- ・ 既設アスファルト舗装のひび割れ抵抗性を評価する方法として、従来はストレートアスファルトを対象にアスファルトバインダの針入度・軟化点により評価を行っていた。そこで、ストレートアスファルト・改質アスファルトの両方を評価可能な方法として、DSR 試験による $G^* \sin \delta$ による評価方法を導入し、ひび割れ抵抗性評価の目安値を示した。



図-5 高強度 RC プレキャスト舗装の施工状況



図-6 ショットブラストによる既設舗装表面処理

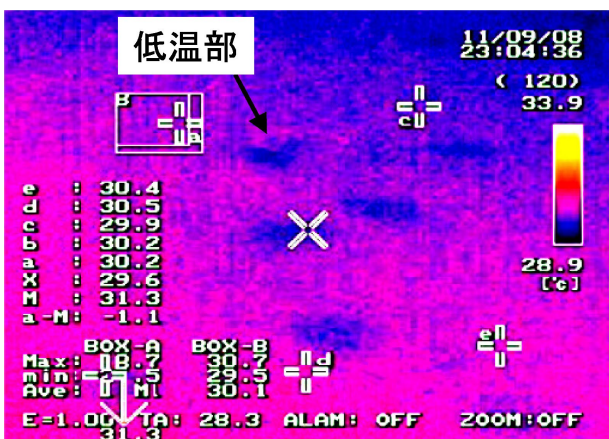


図-7 舗装表面の熱赤外線画像

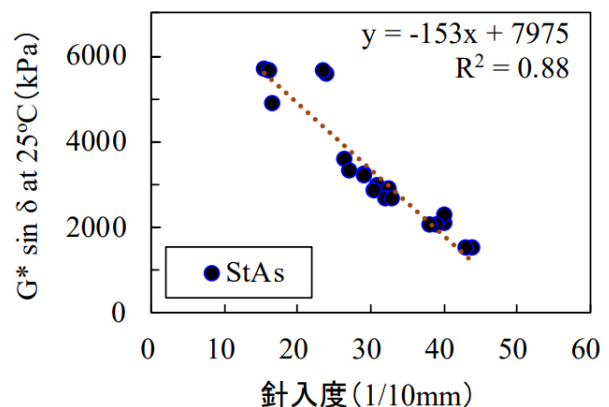


図-8 DSR 試験による $G^* \sin \delta$ と針入度

◆地震時の対策

- ・滑走路等の耐震化を行うにあたり、基礎地盤の液状化が滑走路等の変形・支持力等に及ぼす影響の把握を目的として、石狩湾新港内の埋立地において実大規模の液状化実験を実施した。実験では、基礎地盤内に設置した583段の爆薬を段発発破させることにより過剰間隙水圧を上昇させることで液状化を発生させ、図-9に示す舗装沈下量、回復する舗装支持力などを計測した。また実験成果を参考に、空港土木施設耐震設計要領の原案を作成した。
- ・東北地方太平洋沖地震により被災した仙台空港における被害調査等、過去の地震時の空港舗装に関する調査結果を参考に、地震後の空港供用再開の支障となりうる「基礎地盤の液状化による局所沈下」「段差を有するひび割れ」を主眼とした点検・応急復旧マニュアルを作成した。特に「基礎地盤の液状化による局所沈下」は、舗装下に空洞が発生しうることから、FWD（舗装支持力測定装置）の計測値から空洞を簡便に推定できる指標として、図-11に示す「正規化たわみ」「たわみ時間差」の関係が図の左上にプロットされるほど空洞の可能性が高いことを明らかにした。また、地震直後の応急復旧について、通常時の舗装仕様にこだわらず、材料調達の迅速性・容易性を優先し、省略してよいポイントを記載した。

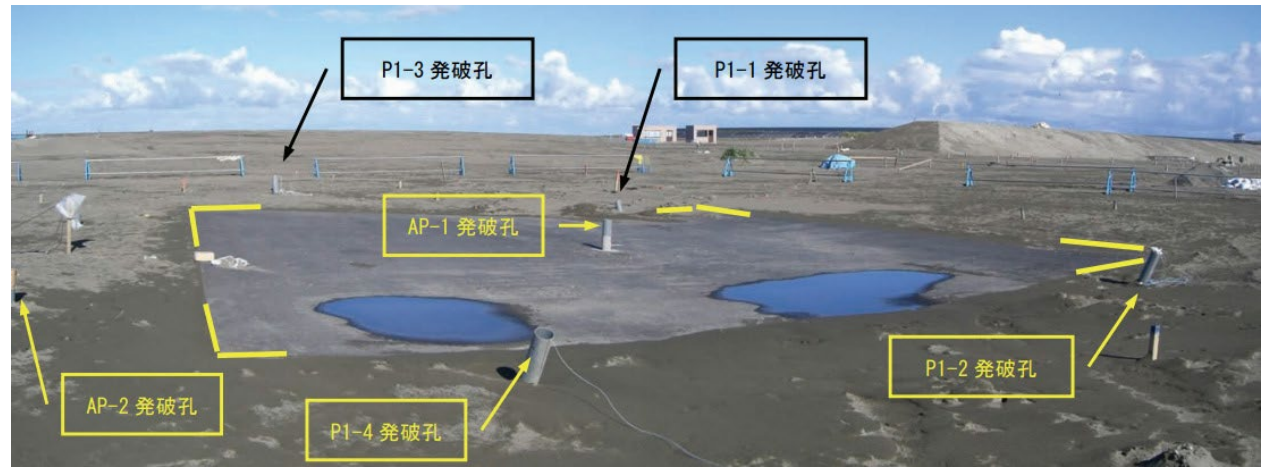


図-9 実大規模の液状化実験における液状化後の試験舗装

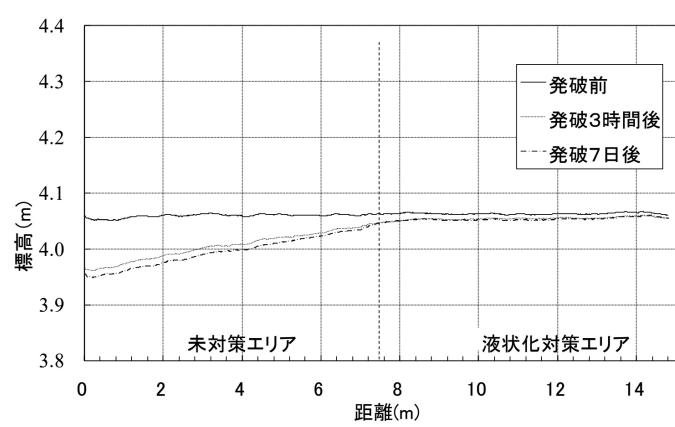


図-10 液状化実験における舗装高の推移

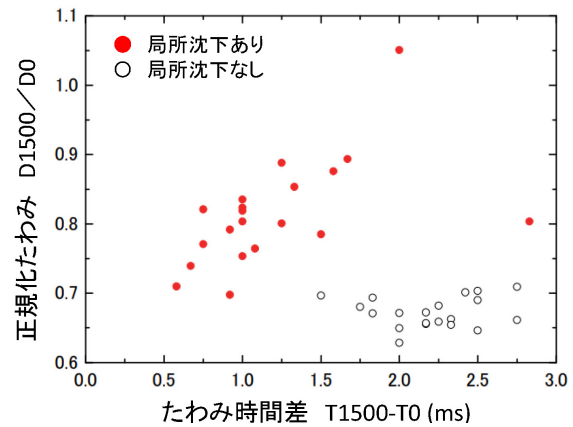


図-11 正規化たわみとたわみ時間差

3. 関係する報告書・技術資料一覧

- ・八谷、松崎、坪川、伊藤、山脇、田中、横尾：高強度RCプレキャスト版舗装の空港への適用性、国土技術政策総合研究所資料、No.113、2003.
- ・八谷、水上、坪川、江崎、野田、中丸、東：空港コンクリート舗装の薄層付着オーバーレイに関する研究、国土技術政策総合研究所報告、No.30、2006.

- ・八谷、江崎、坪川、野口、前川：東京国際空港 D 滑走路棧橋部舗装構造の室内試験による性能照査、土木学会舗装工学論文集、第 12 巻、2007.
- ・坪川、水上、八谷、亀田：日温度変化による空港コンクリート舗装の温度応力に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第 12 巻、2007.
- ・坪川、水上：熱赤外線画像による空港舗装の層間剥離検出法に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第 12 巻、2007.
- ・菅野、中澤ら：液状化対策に関する実物大の空港施設を用いた実験的研究、港湾空港技術研究所資料、No.1195、2009.
- ・坪川、水上、畑、前川：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による仙台空港の舗装に関する被害報告、国土技術政策総合研究所資料、No.680、2012.
- ・河村、坪川、加藤：FWD によるコンクリート舗装の空洞検出方法、土木学会論文集 E1（舗装工学）、Vol.73、No.1、2017.
- ・河村、坪川：既設舗装から回収したアスファルトの DSR 試験によるひび割れ抵抗性評価の検討、土木学会第 75 回年次学術講演会、2020.

4. 今後の展望

◆空港舗装設計法の性能規定化

経験的設計法では、航空機を航空機荷重の大きさにより分類した「設計航空機荷重区分」および各航空機の走行回数から算出した設計交通量指標である「設計反復作用回数」を用いている。しかしながら、航空機の主脚（1 脚 1 輪、2 輪、4 輪、6 輪）を構成する単車輪荷重がどの程度の大きさであればどの荷重区分に分類するのかの明確な区分方法がないこと、設計反復作用回数の算出方法が実際の航空機の走行形態（施設横断方向の走行位置分布）を正確に反映できていない点があることから、設計航空機荷重区分の区分方法を明確化すること、航空機の走行形態を正確に反映可能な交通量指標を導入することが課題である。

◆空港舗装評価方法・補修技術の高度化

アスファルト舗装の滑走路に直径数十 cm の局所突発的な破損（ポットホール等）が発生した場合、緊急補修を行うため一時的に滑走路を閉鎖することとなる。加熱合材で補修することが望ましいが、加熱合材の入手には時間を要するため、空港管理者が常備可能な常温合材で補修を行う場合がある。常温合材による補修後、供用を再開し、空港の運用が終了した夜間に加熱合材で補修することが一般的であるため、常温合材は航空機荷重に対して 1 日程度耐えられれば良いが、どの程度の強度があれば耐えられるのかが不明である。よって、滑走路の緊急補修に適した常温合材仕様を確立することが課題である。

滑走路の表面には、滑走路上の雨水を速やかに排水させるため、幅 6mm、深さ 6mm のグルーピングが設けられている。しかしながら、航空機の走行によりグルーピングの潰れ・摩耗が発生すると、舗装表面の摩擦係数が低下する。そのため、グルーピング寸法を変更することが摩擦係数・グルーピングの潰れに及ぼす影響を明らかにし、耐久性及び摩擦係数を向上させることが可能となるグルーピング寸法を見出すことが課題である。

◆地震時の対策

基礎地盤の液状化による局所沈下が発生した場合、舗装下に空洞が発生している可能性があるため、舗装支持力の詳細点検を行うには FWD（舗装支持力測定装置）を使用することが一般的であるが、FWD の調達に時間を要することも考えられるため、空港の早期の供用再開を目的とし、空港近傍で調達しやすい機器により舗装支持力の点検を行うことを可能とすることが課題である。