

空港舗装の診断技術開発の 取り組み

国土技術政策総合研究所 ○坪川将丈, 水上純一

空港舗装の予防保全的維持・管理の推進

- 空港舗装の健全度の把握が重要
⇒空港舗装の高度診断技術の必要性
- 従来の調査手法、技術
 - ・路面に対して、目視点検、路面性状調査(PRI)
 - ・舗装構造に対して、FWD調査
- 新たな課題への対応、新技術の活用
 - ・熱赤外線画像による層間剥離探査技術
 - ・光ファイバによる舗装内ひずみモニタリング技術

熱赤外線画像による層間剥離探査技術

現行の調査方法

- ・打音調査 — 舗装表面をハンマーで叩き、異音箇所を特定
- ・「点」での調査であり、面的に網羅することが困難。
- ・異音を定量的に処理するのが困難(技術者による)。



滑走路における打音調査の様子

面的・定量的に剥離箇所を検出する調査方法が必要

検討手法

1. 夜間の空港における適用性試験
⇒ 2008年度空港技術報告会 港空研 前川主任研
2. 適用可能な気象条件の検討



静止画撮影状況



動画撮影状況



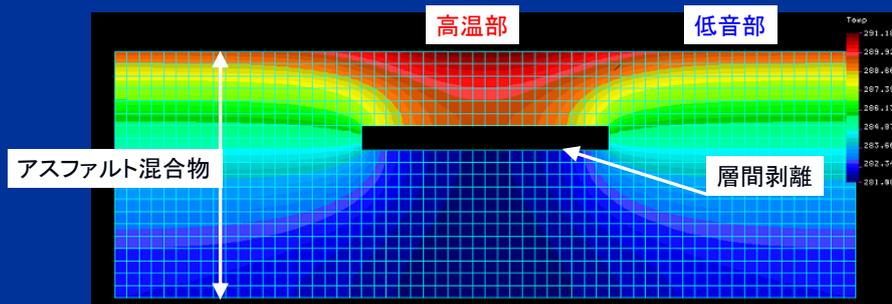
赤外線カメラ

熱赤外線法による検出原理

剥離部の空気層により断熱されるため、
 剥離直上部は「熱しやすく冷めやすい」状態

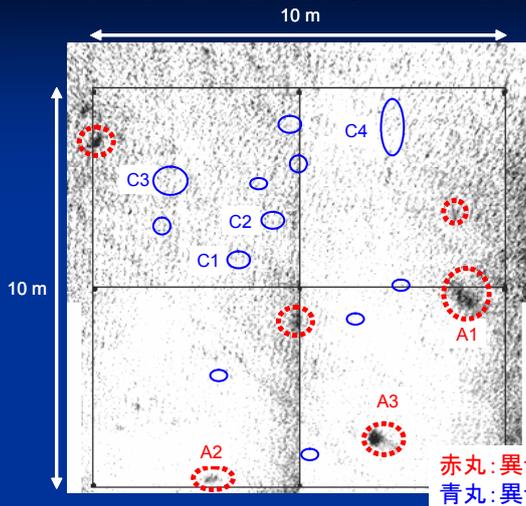
- ・昼間(温度上昇期)
- ・夜間(温度下降期)

剥離部温度 > 健全部温度
 剥離部温度 < 健全部温度



夜間の温度解析例(赤色:高音部, 青色:低音部)

適用性試験結果の一例



地点名	熱赤外線	打音	コア採取による剥離深さ
A1	低温部	異音	65 mm
A2	低温部	異音	65 mm
A3	低温部	異音	50 mm
C1	異常なし	異音	65 mm
C2	異常なし	異音	68 mm
C3	異常なし	異音	60 mm
C4	異常なし	異音	45 mm

全ての層間剥離を検出できるわけではないが、
 熱赤外線調査(定期調査)→打音調査(詳細調査)で効率化が可能

適用気象条件の検討

層間剥離に起因する舗装表面の温度差には
気象条件が大きく影響する



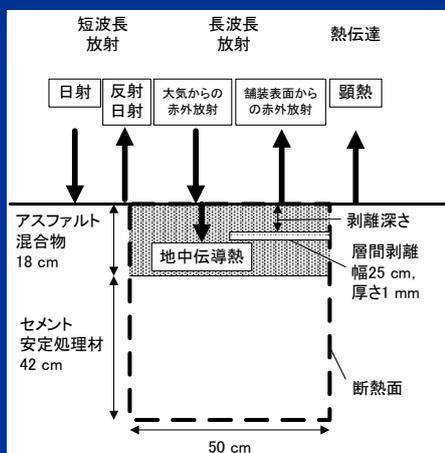
2次元FEMによる舗装温度解析
層間剥離による温度差を解析で算出
パラメータ: 剥離深さ, 気温, 風速, 日射量



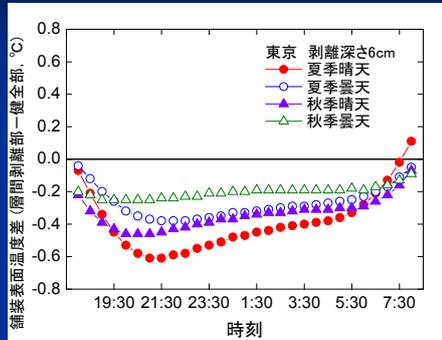
気象条件から, 事前に調査可能か否かを推測
調査当日に発生する舗装温度差予測式の検討
都市別/月別の調査可能日数の検討

舗装温度解析

対象都市: 札幌, 仙台, 新潟, 東京, 大阪, 那覇
気象条件: 夏季(6-8月), 秋季(9-11月)の晴天時, 曇天時
解析手法: 2次元FEMにより熱伝導, 熱伝達, 放射を考慮

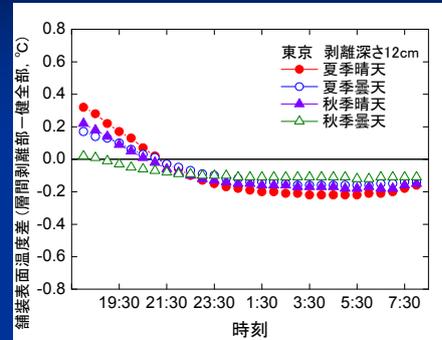


天候・季節・剥離深さの影響



深さ6cm

層間剥離による発生温度差
 ・天候 晴天 > 曇天
 ・季節 夏季 > 秋季
 ・剥離深さ 6cm > 12cm



深さ12cm

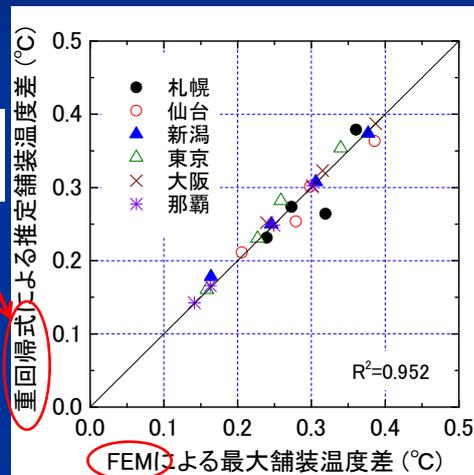
日中、舗装が十分に熱せられ、
 夕方から夜間にかけて
 温度が大きく低下することが重要

重回帰分析結果

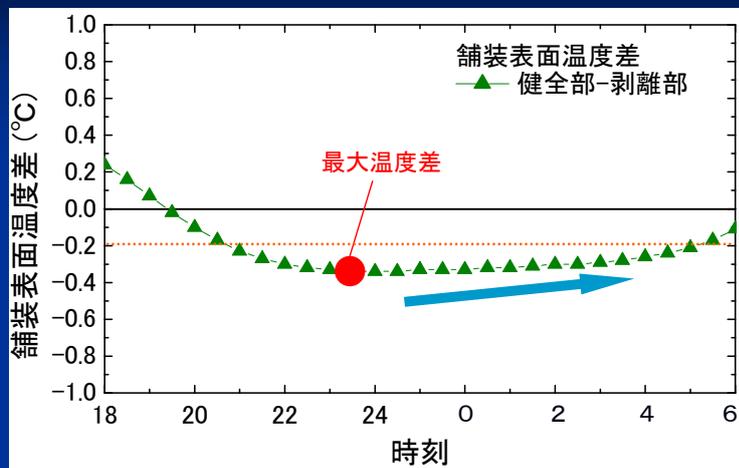
各都市の気象条件(気温差, 日射量, 風速)から算出した
 舗装表面の最大温度差を目的変数として重回帰分析を実施

$$\Delta T_{pav} = 0.01335\Delta T_{air} + 0.02944Q - 0.01743v + 0.12282$$

ΔT_{pav} 最大舗装表面温度差(°C)
 ΔT_{air} 一日の気温差(°C)
 Q 日中の積算日射量(kW・h/m²)
 v 一日の平均風速(m/s)
 (層間剥離深さ8cmの場合)

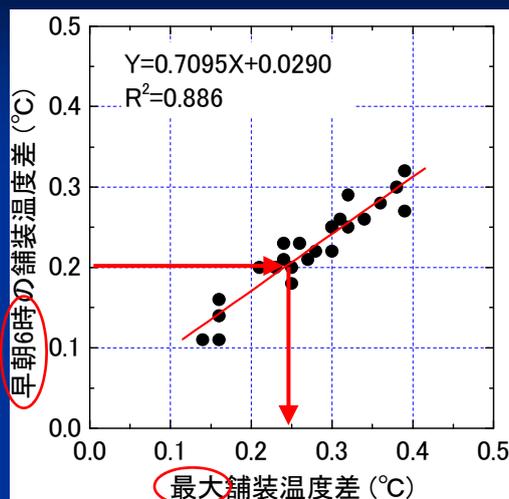


舗装表面温度差の変化



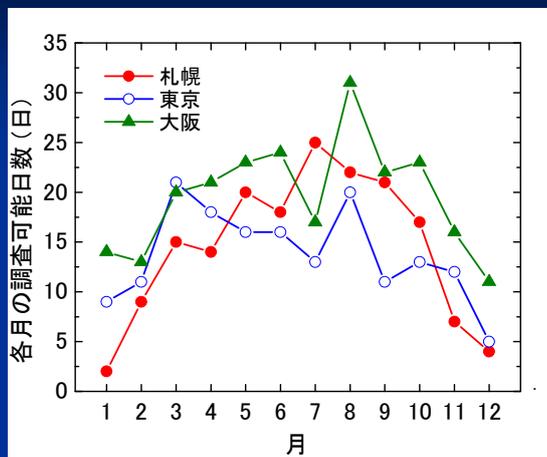
舗装温度差は深夜から早朝にかけて低下傾向
⇒夜間から早朝まで調査を実施するためには...

深夜最大温度差と早朝温度差との関係



最も厳しい早朝でも0.2°Cの温度差が確保されるためには、
深夜の最大温度差が0.25°C程度以上であることが必要

調査可能日数の検討



調査可能日の設定条件

早朝6時の時点で0.2℃以上の
舗装温度差が生じている日(雨天含む)

ノイズ(タイヤ痕)の影響除去方法

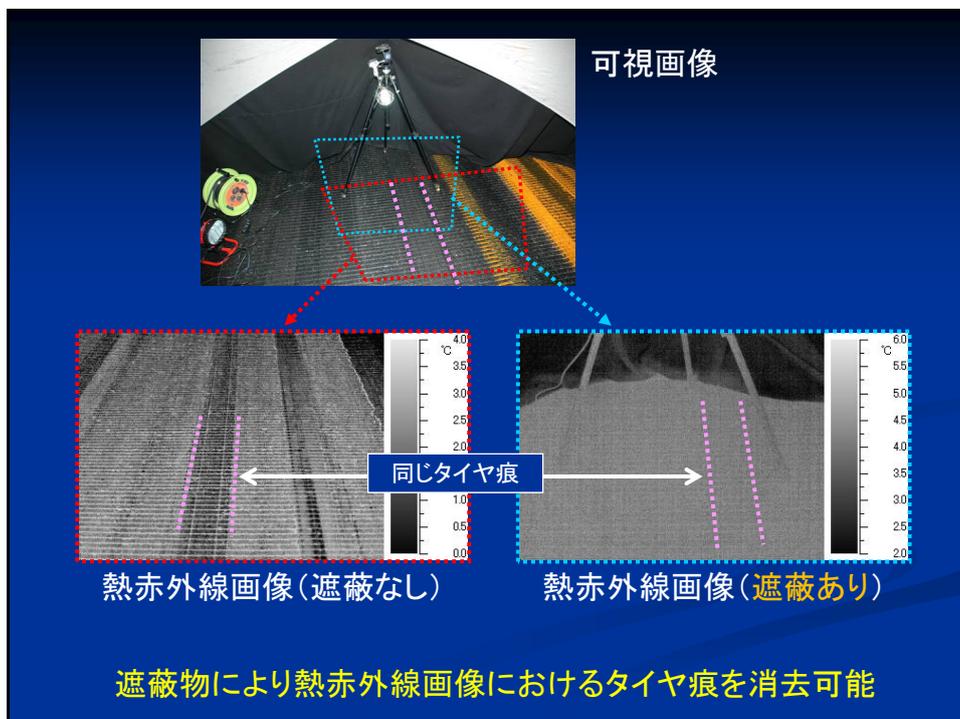
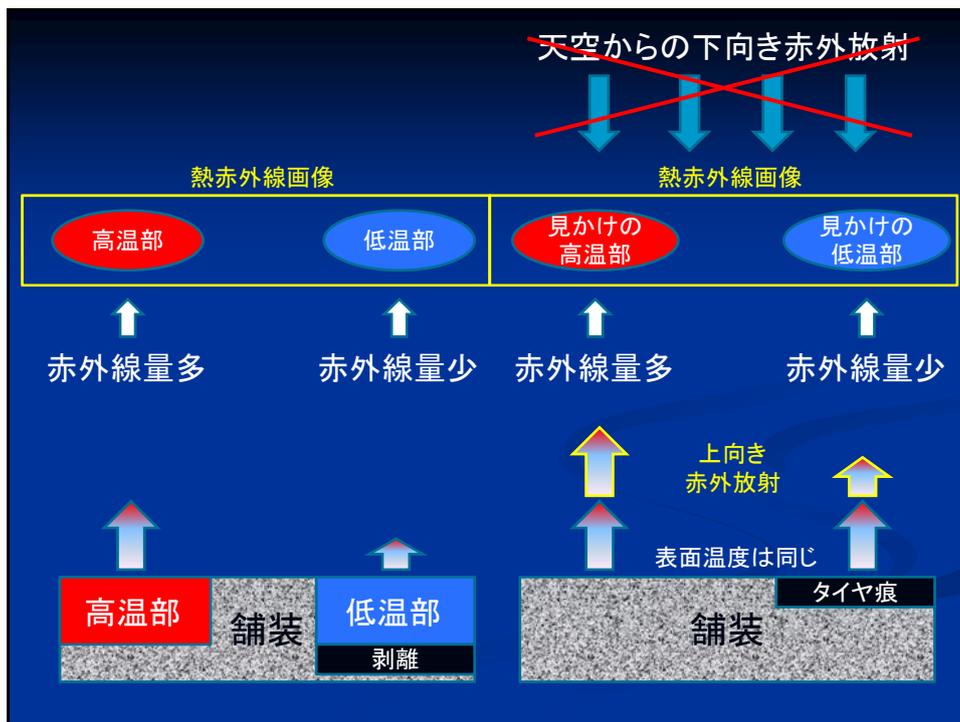


可視画像



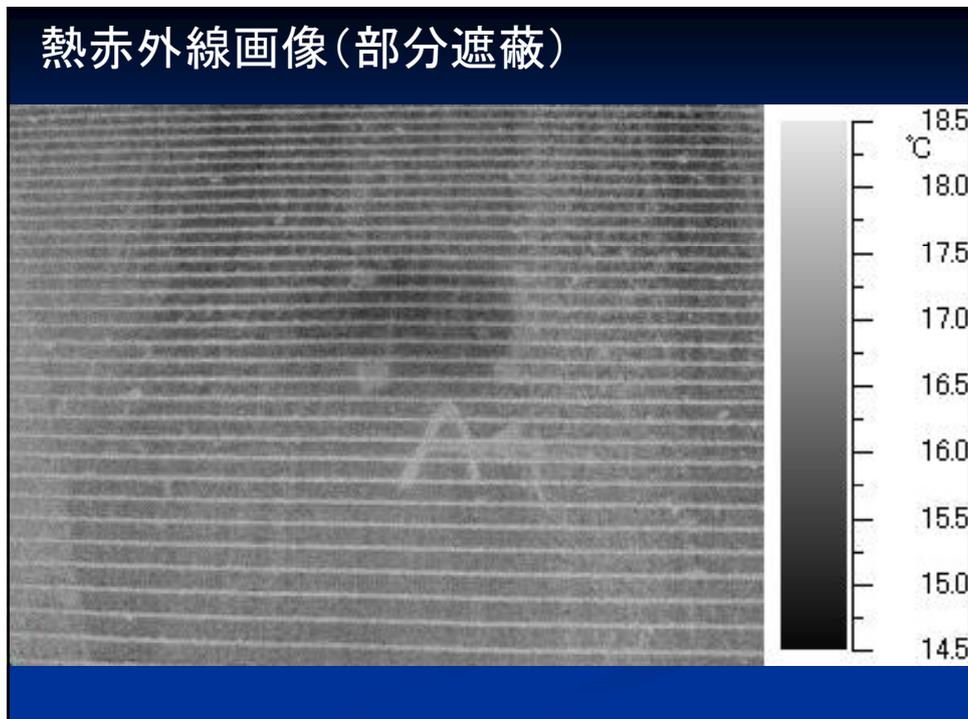
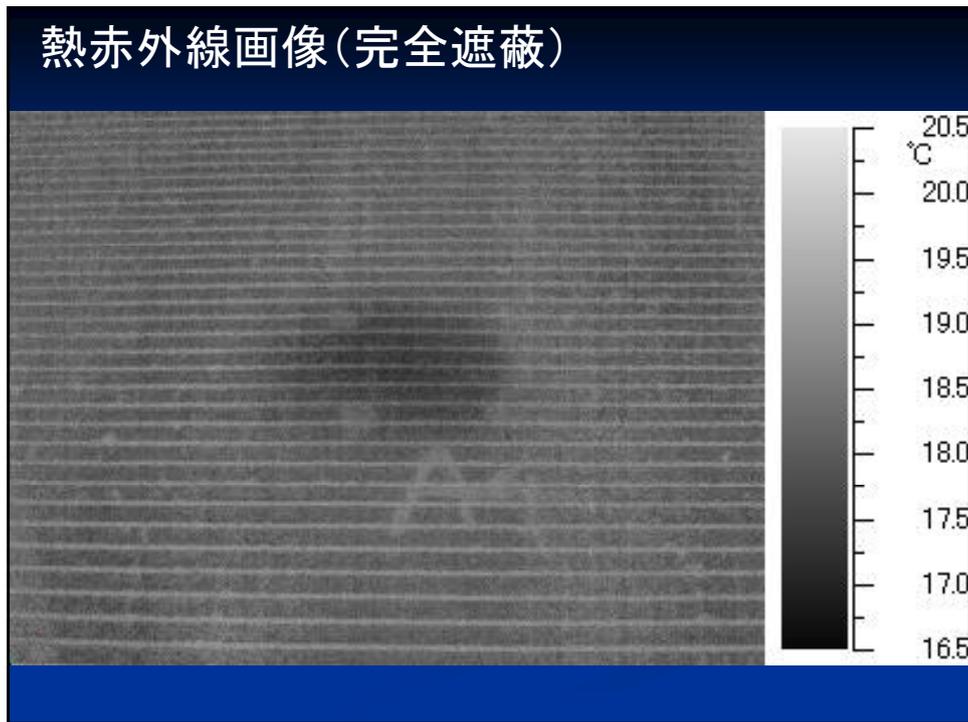
熱赤外線画像

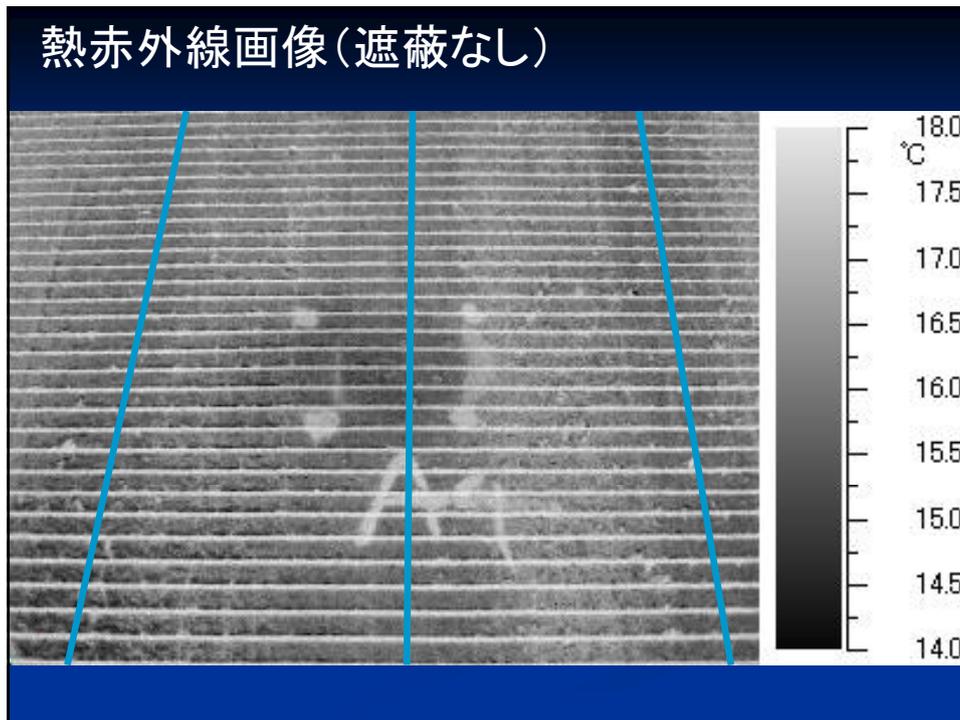
熱赤外線画像では、タイヤ痕が「低温部」に見える。
⇒実際の温度は周囲と同じ
⇒タイヤ痕部のゴムの赤外線反射率の影響



遮蔽物により熱赤外線画像におけるタイヤ痕を消去可能







結論

- ・層間剥離の位置が浅い場合や、昼夜の気温差の大きい晴天時に舗装温度差は大きくなる。
- ・気温差、積算日射量、平均風速から、層間剥離に起因する温度差を推定することが可能。
- ・比較的高緯度の空港でも、春から秋にかけて適用可能。
- ・撮影位置の天空からの放射を遮蔽することで、タイヤ痕の影響は無視できる程度に軽減できる。

(研究成果報告)

- ・土木学会舗装工学論文集第12巻(2007)

坪川, 水上:

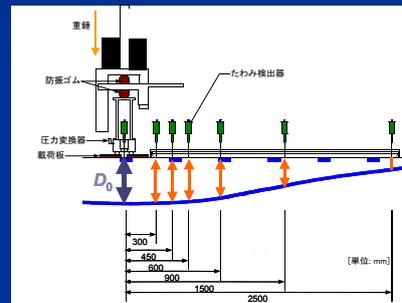
熱赤外線画像による空港舗装の層間剥離検出法に関する研究

- ・港湾空港技術研究所報告(2009年12月予定)

光ファイバによる舗装内ひずみモニタリング技術

現行の舗装健全度診断方法

- ・舗装構造 FWD調査, 解体調査
- ・路面 PRI, 目視点検



舗装表面の応答値から
内部の構造健全度を推定

直接的・継続的に舗装の応答(ひずみ)を観測することで、
舗装健全度の診断, 補修設計の高度化が可能となる

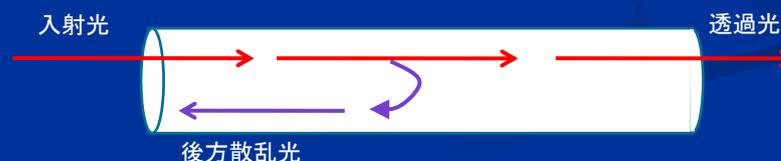
光ファイバによる計測原理(BOTDR)

BOTDR方式

- ・入射光が光ファイバを通過すると、後方散乱光が発生
- ・光ファイバにひずみが発生した際の、後方散乱光の一つであるブリルアン散乱光の周波数の変化量からひずみを計測

特徴

- ・細いため構造物の挙動を阻害しない
- ・光ファイバへの給電不要
- ・長距離の計測が可能
- ・光ファイバの任意の位置のひずみを測定可能
- ・構造物の静的な挙動を計測



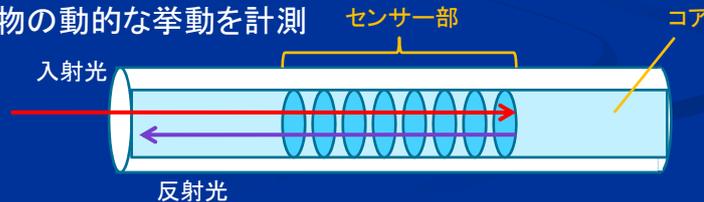
光ファイバによる計測原理(FBG)

FBG方式

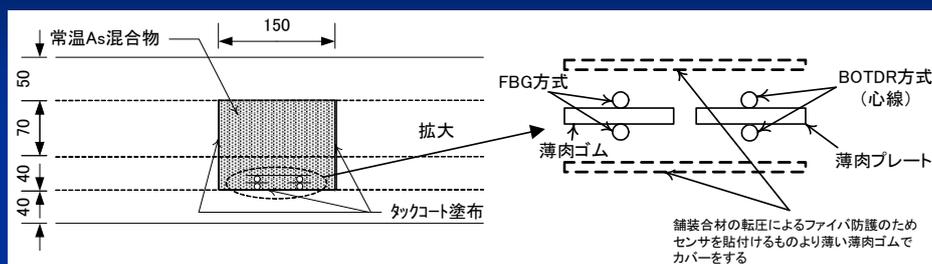
- ・光ファイバのコアに屈折率が異なる部位(センサー部)を設ける
- ・入射光がセンサー部に到達すると、ある特定の波長(Bragg波長)のみが反射されて戻ってくる
- ・Bragg波長の変化量からひずみを計測

特徴

- ・細いため構造物の挙動を阻害しない
- ・光ファイバへの給電不要
- ・長距離の計測が可能(測定点数は1本当たりで制限あり)
- ・圧縮ひずみの計測が可能
- ・構造物の動的な挙動を計測



試験舗装への埋設(その1)



アスファルト舗装舗設時に箱抜き

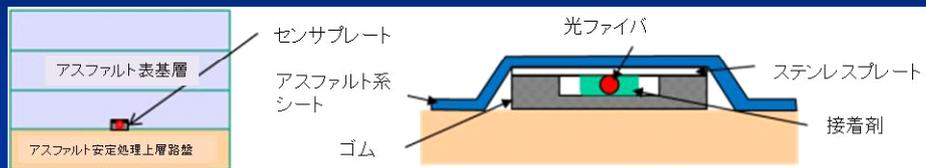
- ⇒薄肉プレートに張り付けた光ファイバ(非耐熱)を埋設
- ⇒薄肉ゴムで保護、常温アスファルト混合物で埋め戻し



計測は問題なし

常温混合物で埋め戻したため、埋戻し部に大きな変形が発生

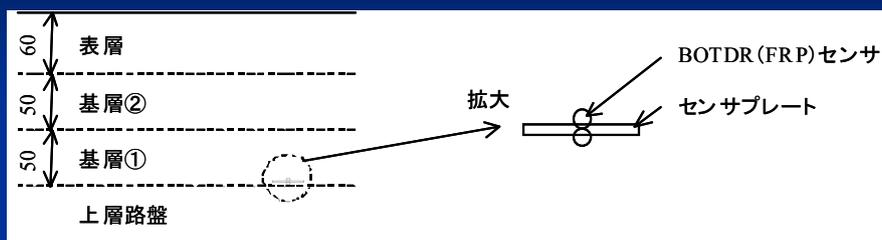
試験舗装への埋設(その2)



アスファルト安定処理上層路盤上に
薄肉プレートに張り付けた光ファイバ(非耐熱)を設置
⇒アスファルト系シートで保護
⇒表基層は注意しながら通常施工

液状化に伴う永久変形の計測
非耐熱であるが、通常のアスコンであれば問題なし
計測は問題なし、施工での留意が必要

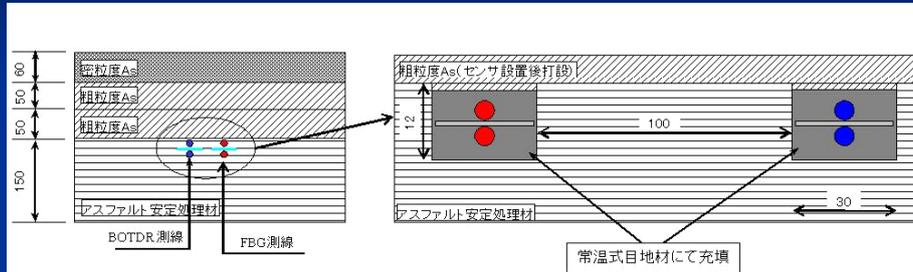
試験舗装への埋設(その3)



アスファルト安定処理上層路盤上に
薄肉プレートに張り付けた光ファイバ(耐熱・非耐熱)を設置
⇒表基層は注意しながら通常施工

計測は問題なし、施工での留意が必要

試験舗装への埋設(その4)



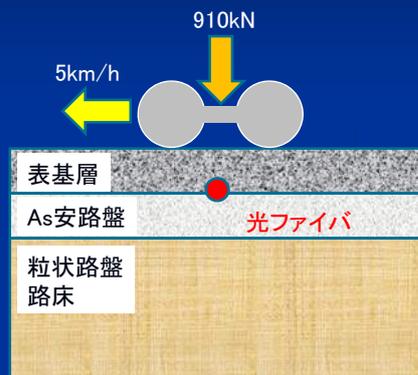
アスファルト安定処理上層路盤上を小さく箱抜きし
薄肉プレートに張り付けた光ファイバ(耐熱)を設置
⇒常温式目地材で埋め戻し
⇒表基層は通常通り施工

計測は問題なし, 埋め戻し部に過大な変形量も発生せず

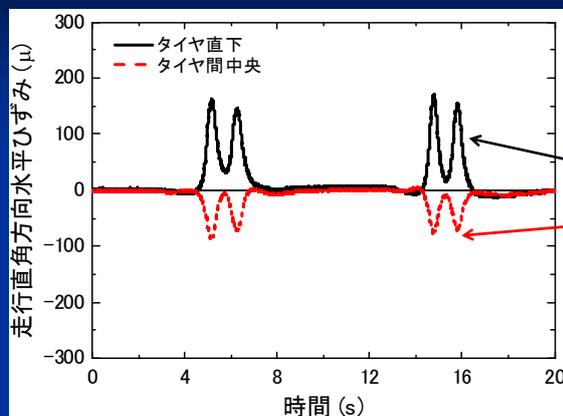
走行載荷試験

航空機荷重載荷装置による走行試験

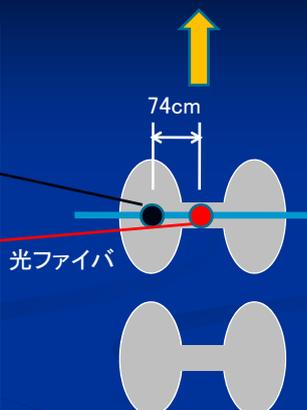
- ・速度: 5km/h
- ・荷重: 910kN (B747-400相当)



走行载荷試験



走行方向



前述の「その3」の舗装でのFBG方式による計測結果(基層下面)
タイヤ直下 引張ひずみが発生
タイヤ間中央 圧縮ひずみが発生

今後の予定

- ・埋設方法の検証
- ・計測値と解析値の比較
- ・走行回数と発生ひずみ量の変化の検証
- ・補修(アスファルトオーバーレイ)効果の検証



研究成果は国総研資料で発表予定