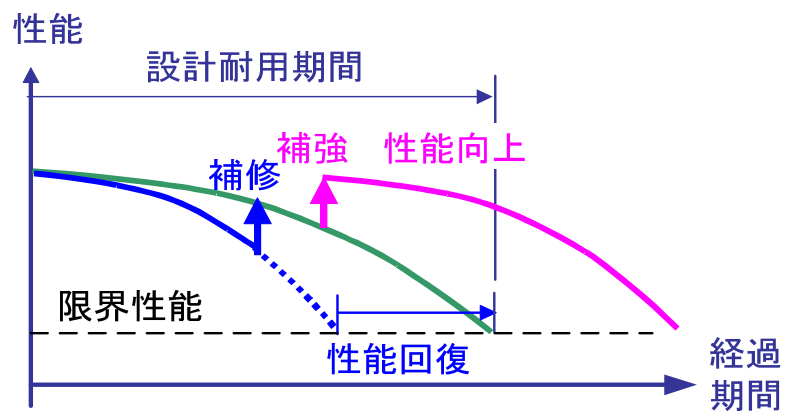


航空機の地上走行時の 運動特性を考慮した 空港舗装施設の構造設計 補修規準の策定

国土技術政策総合研究所
空港研究部空港施設研究室長
八谷 好高

施設のパフォーマンス

- 供用期間中の性能低下
- 補修・補強





背景・目的

■ 舗装変状

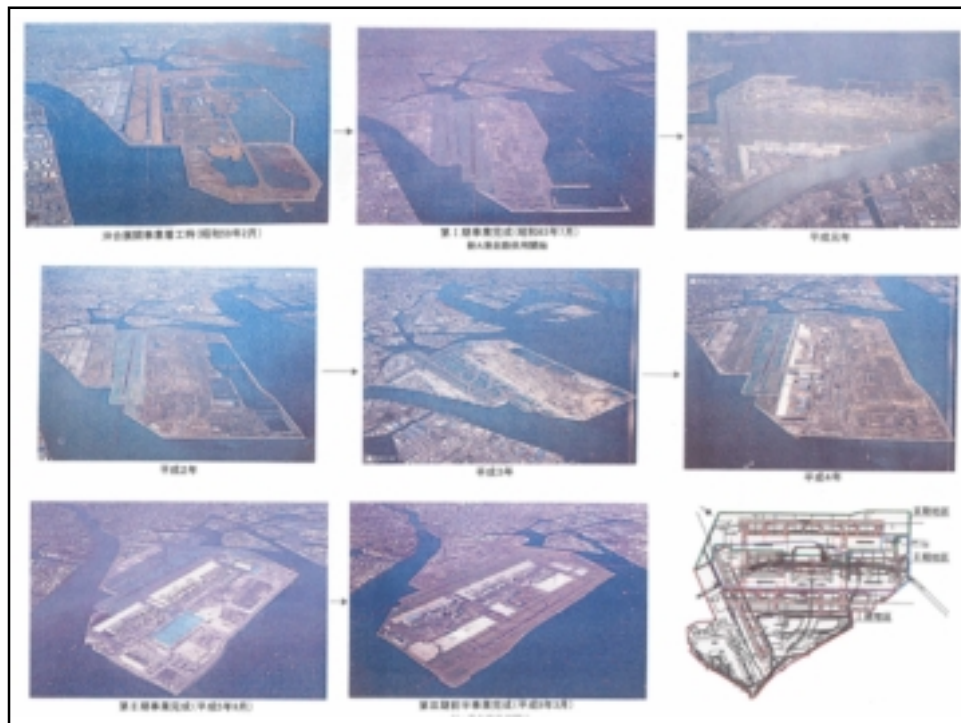
➡ 地盤沈下, 繰返し走行

■ 航空機走行

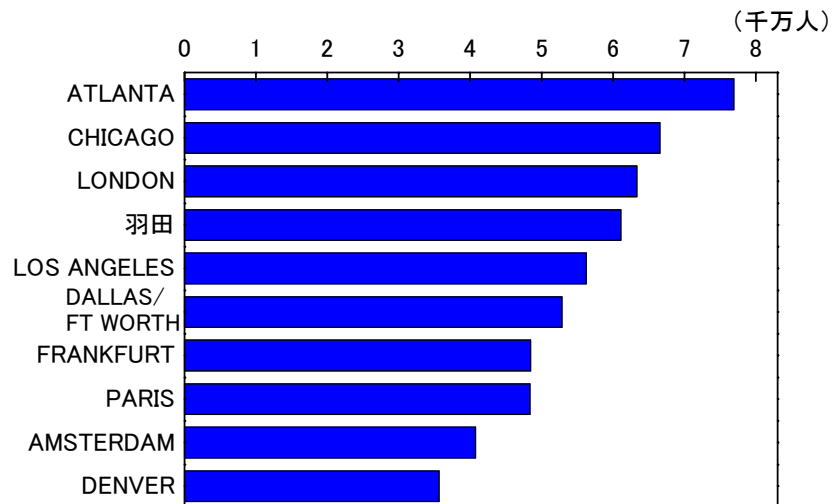
➡ パイロット操縦性・乗り心地への影響

➡ 静止時と異なる荷重

構造・形状の新規準



空港ランキング（2002年旅客数）



背景・目的

■ 舗装変状

◀ 地盤沈下, 繰返し走行

■ 航空機走行

➡ パイロット操縦性・乗り心地への影響

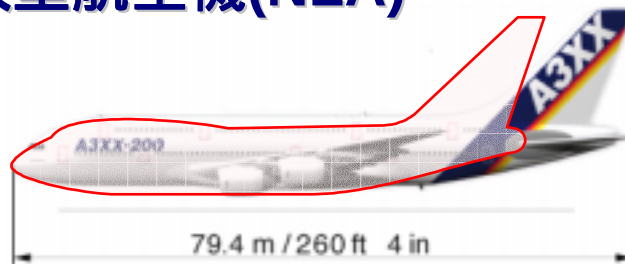
➡ 静止時と異なる荷重

構造・形状の新規準

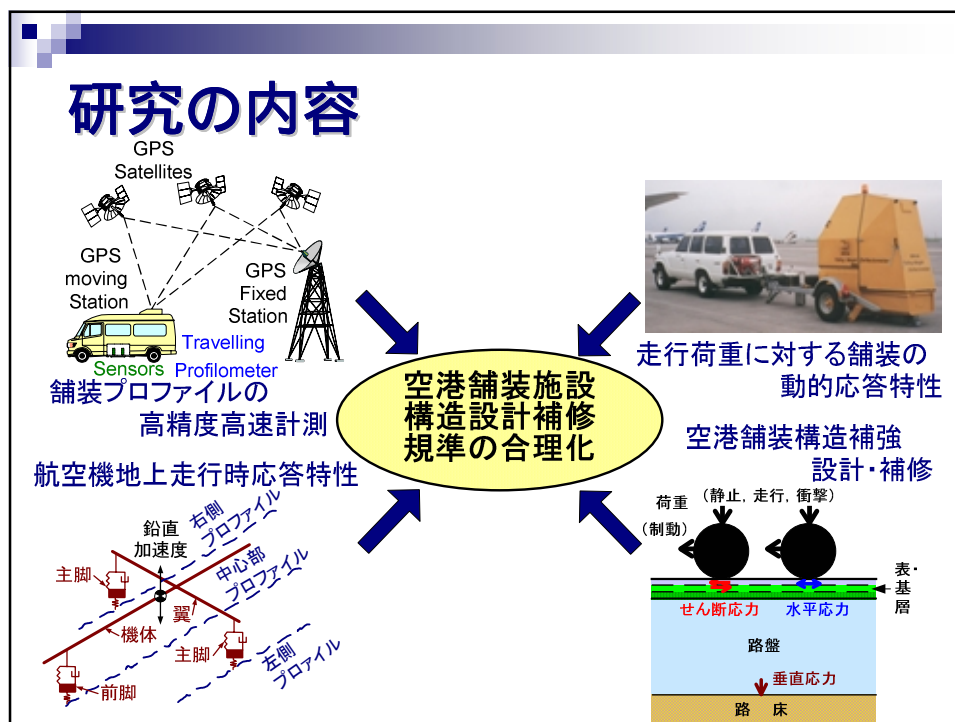




超大型航空機(NLA)



機 種	全幅 (m)	全長 (m)	全高 (m)	質量 (t)	車輪数
B-747-400	64.3	70.7	19.6	396	18
NLA	79.8	79.4	24.1	583	22



GPS(Global Positioning System)を使用した舗装縦断プロファイルの高精度高速測定

- ・高速高精度プロフィロメータの適用
- ・東京国際空港C滑走路での測定
- ・縦断プロファイルの評価

高速・高精度プロフィロメータ

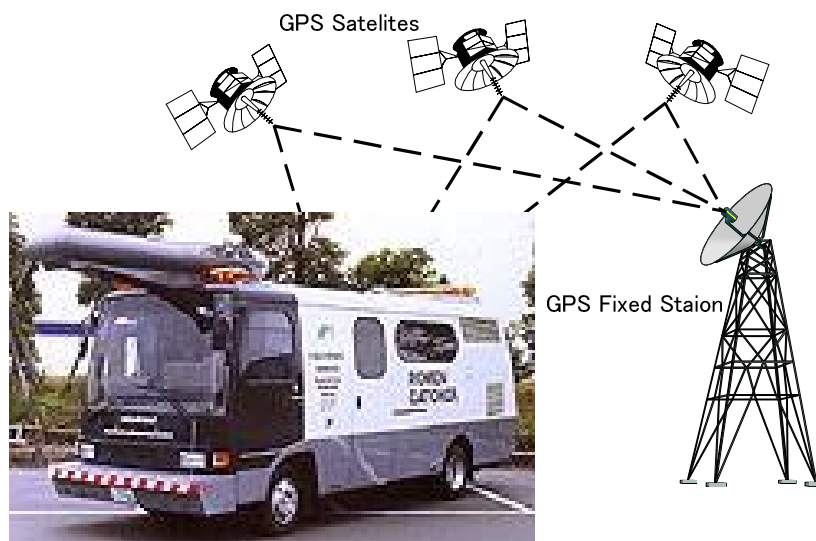
← 3mプロフィロメータ
水準測量

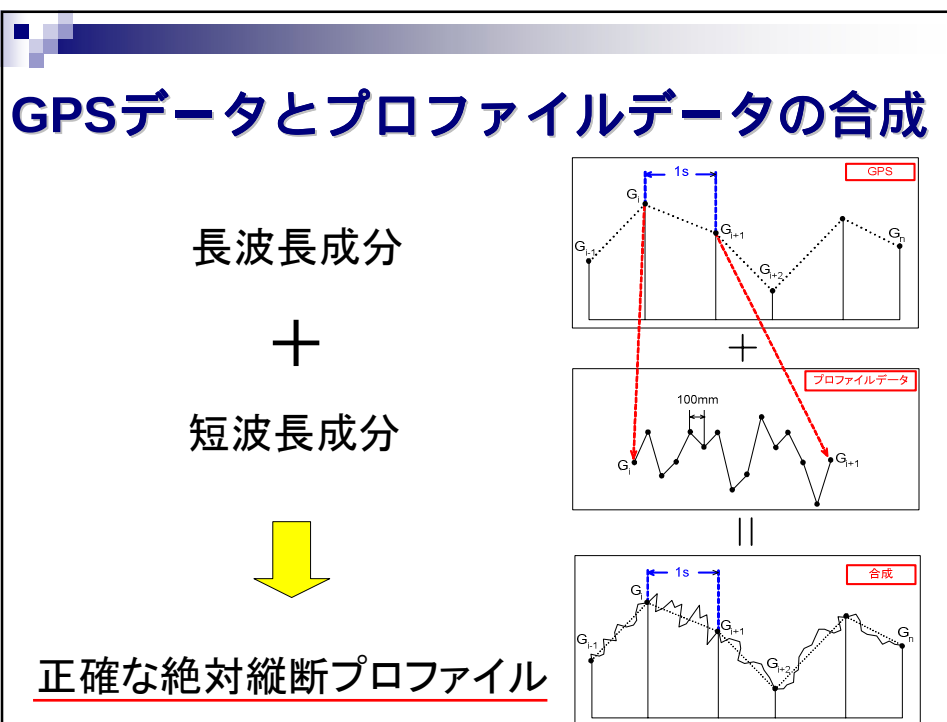


→ 非接触型レーザー + GPS

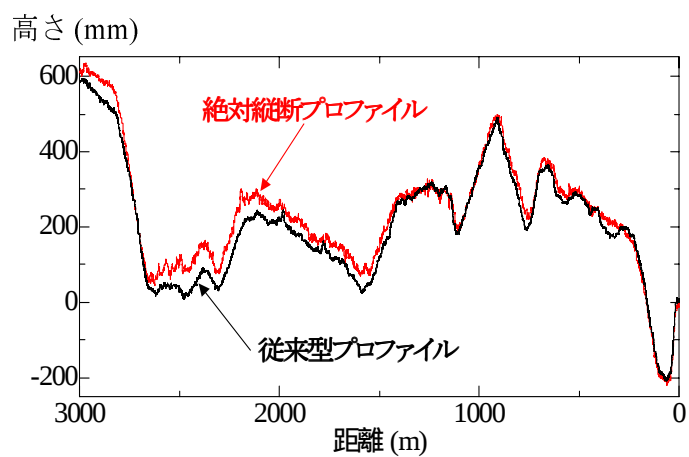
- ・測定間隔: 1mm
- ・測定精度: $\pm 1.2\text{mm}$
- ・測定速度: 60km/h

高速・高精度プロフィロメータ

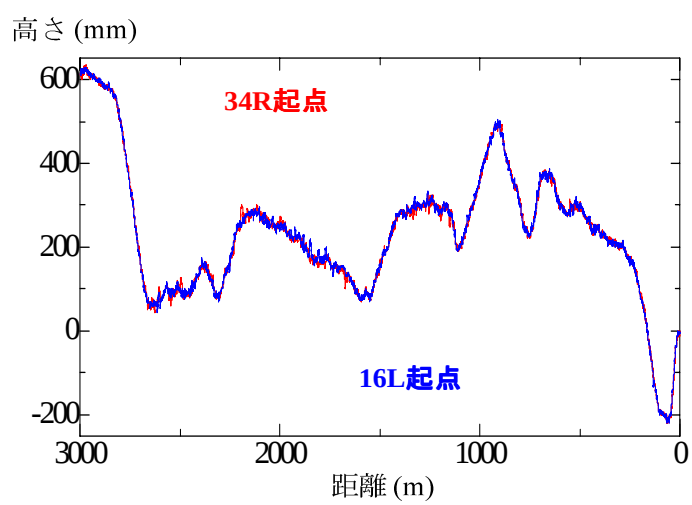




絶対縦断プロファイル



測定方向による比較



縦断プロファイルの評価

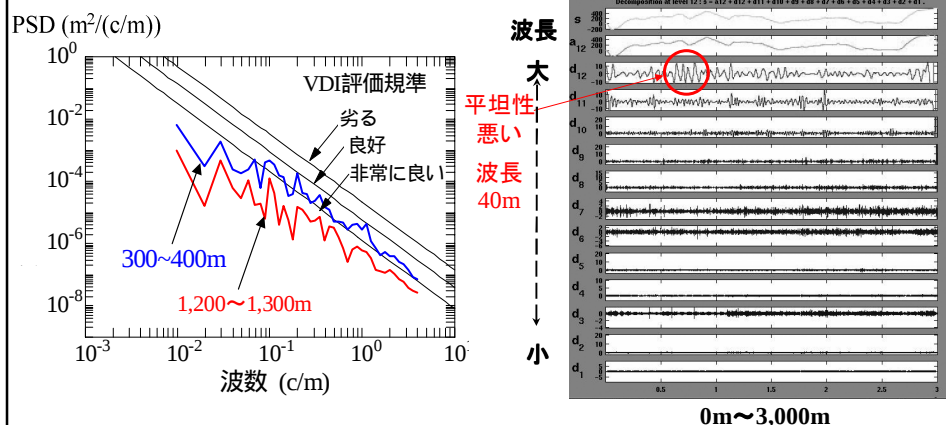
■ プロファイル

スペクトル解析: ドイツ道路規準
Wavelet解析

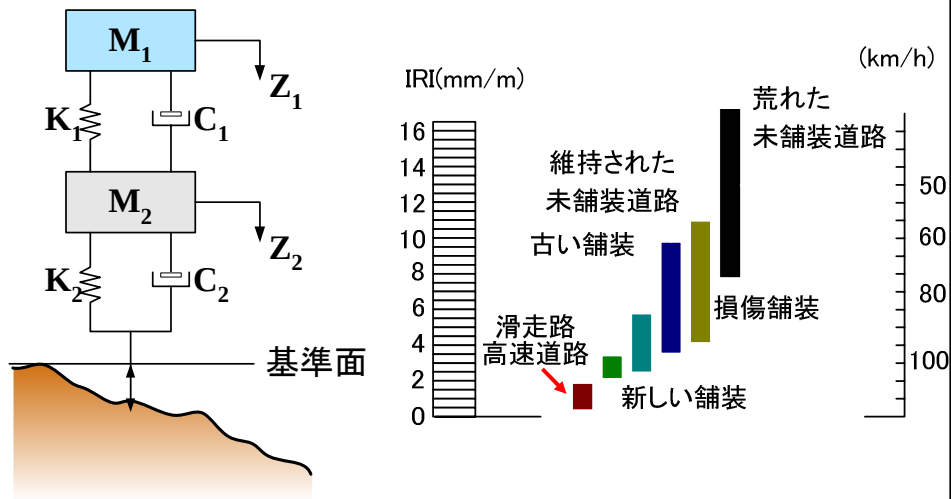
■ 乗り心地

IRI (International Roughness Index)

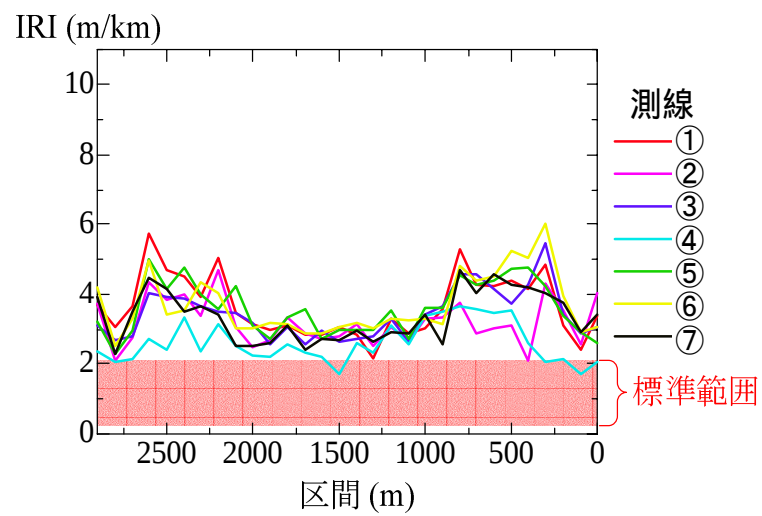
PSD / Waveletによる解析結果



IRI (International Roughness Index)



IRIによる解析結果



走行時における パイロットの操縦性ならびに 航空機応答特性

- ・パイロットの意識調査
- ・航空機走行時の応答解析
- ・縦断プロファイルの規準策定

パイロットによる乗り心地と走行安全性の評価

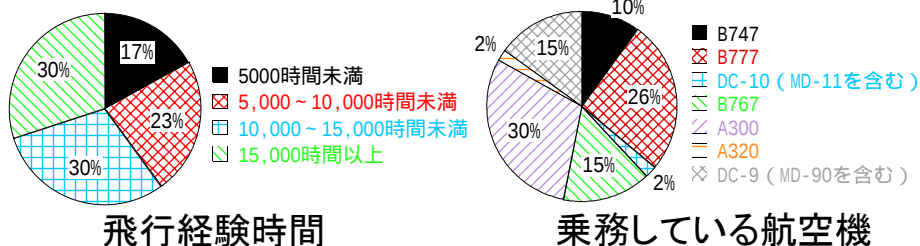
■ 因子による影響の違い

〔 段差, わだちぼれ, 波状路面, 破片,
勾配, 湿潤路面, 雪氷路面, 灯火凹凸 〕

■ 滑走路, 誘導路, エプロン別

■ 走行挙動別

■ 対象は国内線パイロット 62名



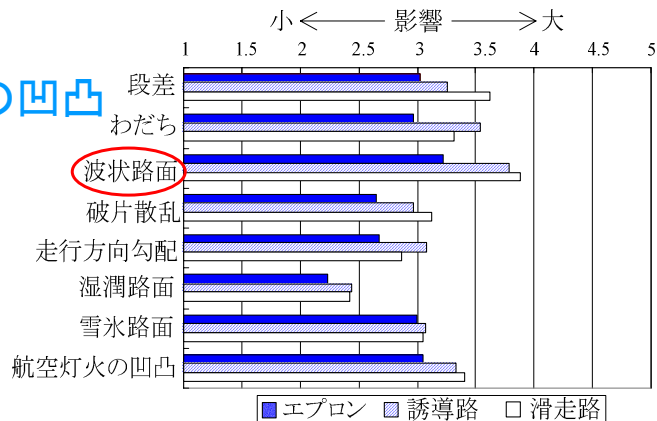
乗り心地評価

影響ありトップ3

波状路面

段差

航空灯火の凹凸



走行挙動別評価

①エプロン: Push back時

②エプロン: 直線走行時

③エプロン: 転回時

④誘導路: 直線走行時

⑤誘導路: 転回時

⑥誘導路: 停止時

⑦滑走路: 離陸滑走開始時

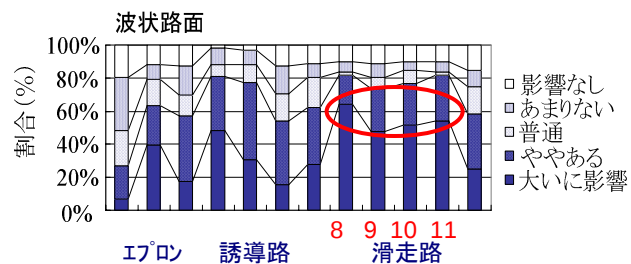
⑧滑走路: 加速時

⑨滑走路: 離陸時

⑩滑走路: 着陸時

⑪滑走路: 減速時

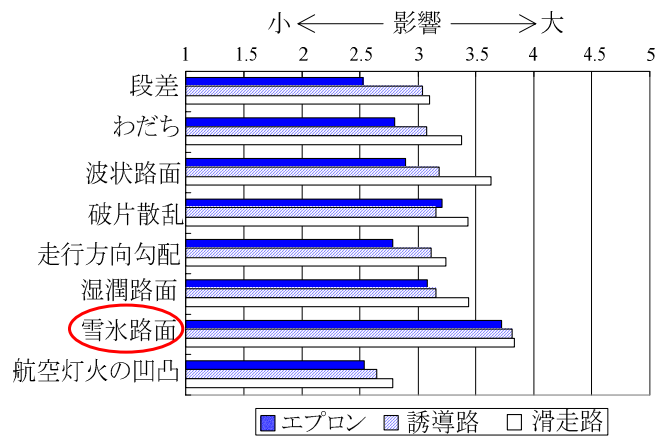
⑫滑走路: 転回走行時



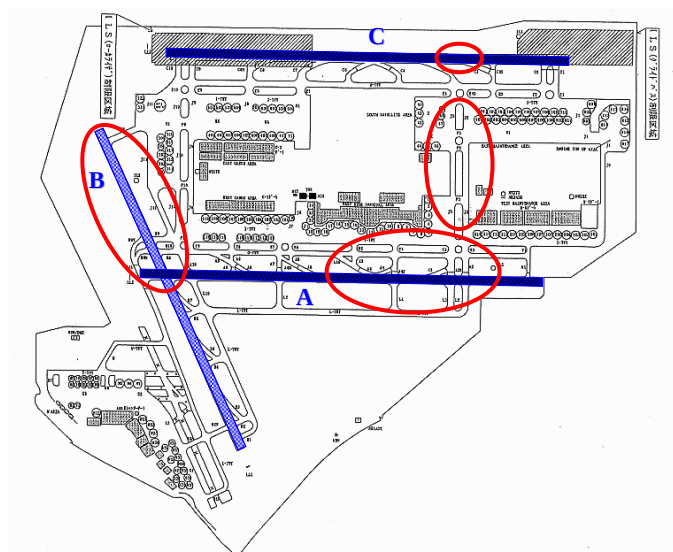
安全性評価

影響ありトップ3

雪氷路面
波状路面
破片散乱

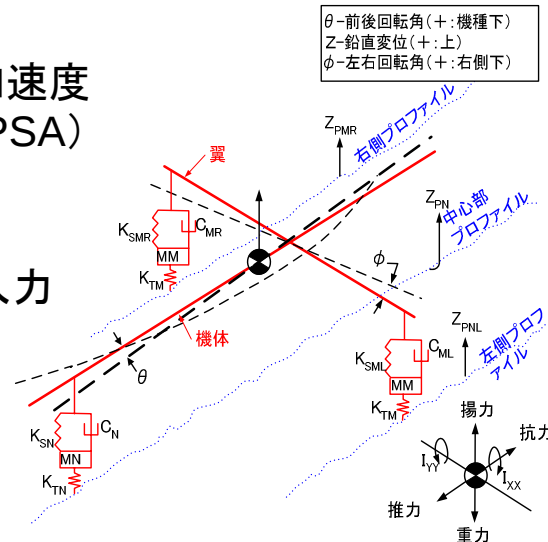


乗り心地 ~ 空港内箇所

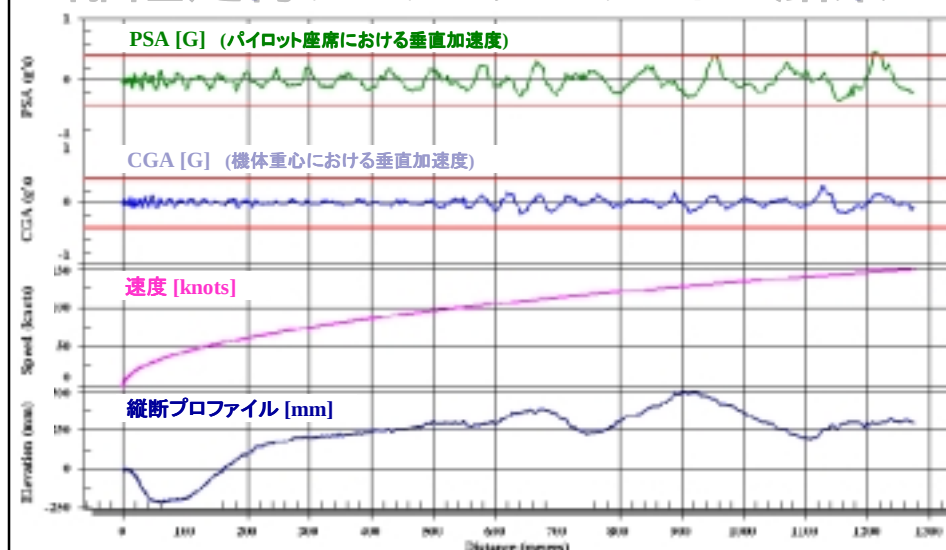


航空機の走行シミュレーション

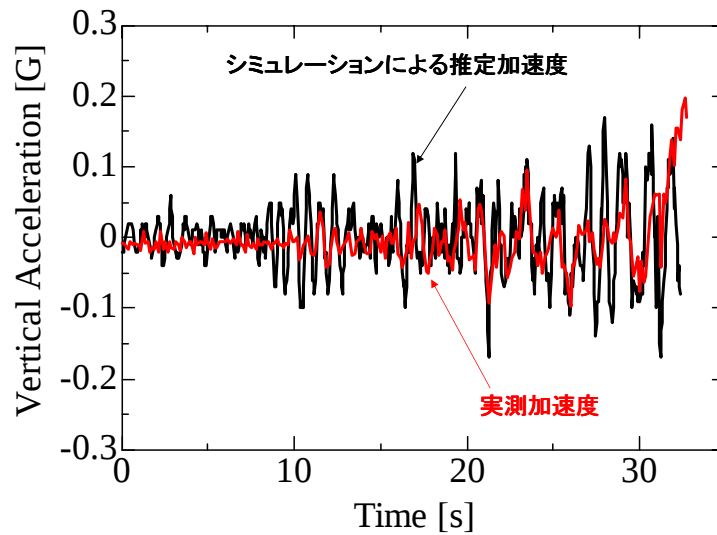
- ・航空機上下方向加速度
パイロット座席 (PSA)
重心 (CGA)
- ・縦断プロファイル入力
- ・大型航空機



離陸走行シミュレーション結果

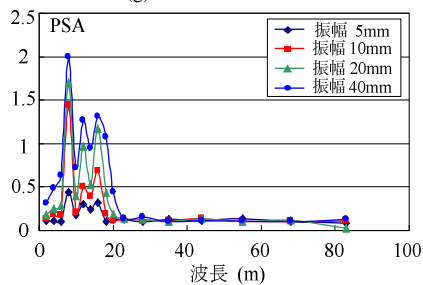


計算値と実測値の比較

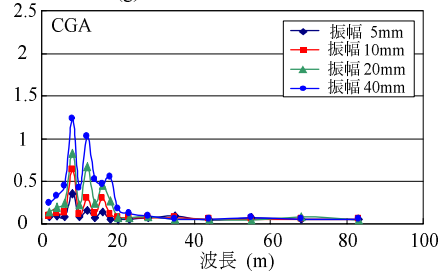


定速走行時の応答（20knots）

上下方向加速度 (g)



上下方向加速度 (g)

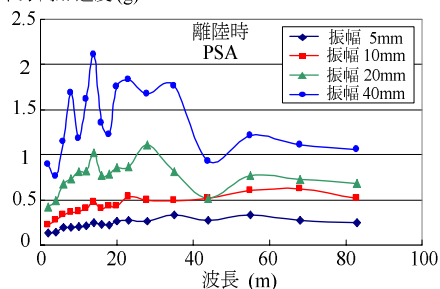


■ 定速走行時

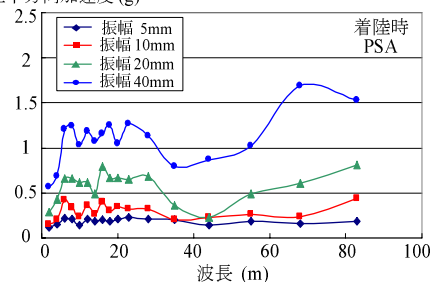
□ 20m以下の波長影響大, 10m付近にピーク

離着陸時の応答

上下方向加速度 (g)



上下方向加速度 (g)

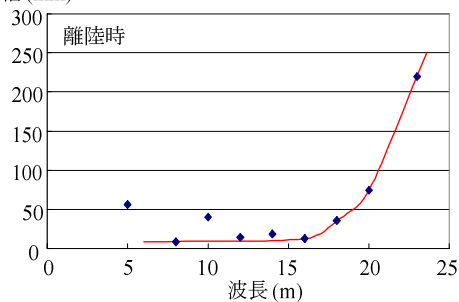


離着陸時

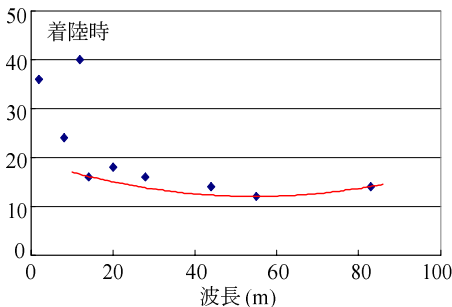
□ 長波長でもピーク(50m以上)

航空機応答から見た平坦性基準

振幅 (mm)



振幅 (mm)

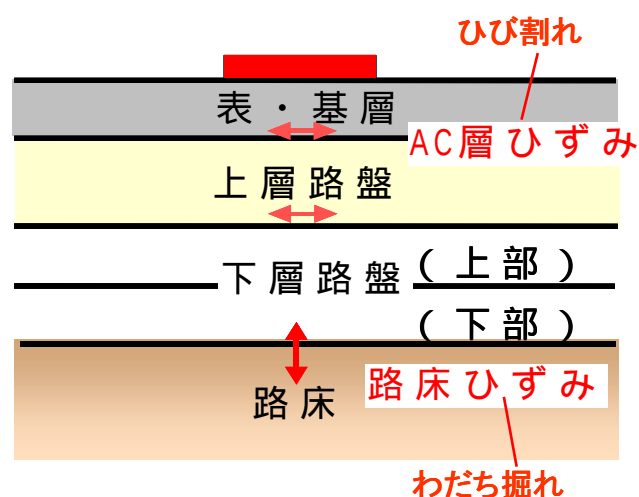


- 評価基準: $\pm 0.4g$ 以下の上下方向加速度
- 定速走行時: 5~16mの波長域で振幅8mm以下
- 離陸時: 広範囲の波長域で振幅12~16mm以下

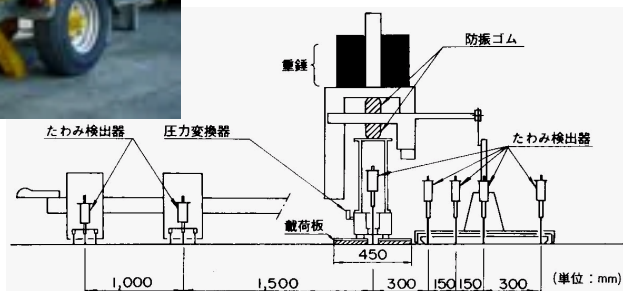
航空機の走行時における 空港舗装の応答と 舗装構造へ及ぼす影響

- ・構造設計時の支配的因子の特定
- ・移動荷重に対する舗装の応答解析
- ・静的・動的解析による舗装構造の評価

舗装構造の支配的因子



FWD (Falling Weight Deflectometer)



FWDによる評価

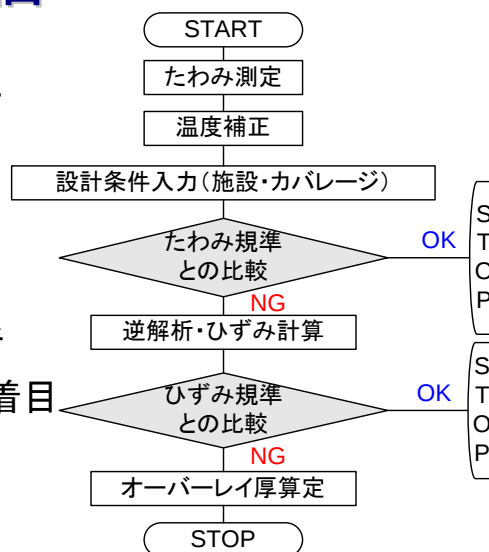
■ 概略評価と詳細評価

■ 概略評価

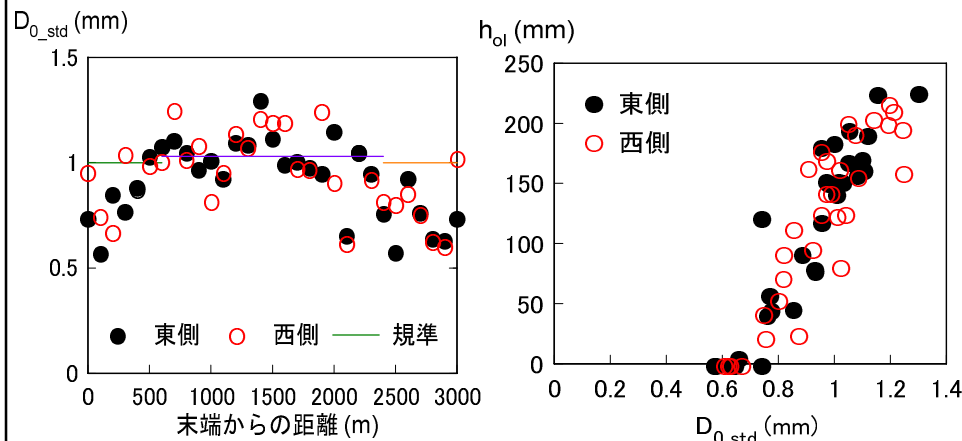
- 最大たわみに着目

■ 詳細評価

- たわみ曲線の逆解析
- ひずみ(表・基層)に着目
- ひずみ(路床)に着目

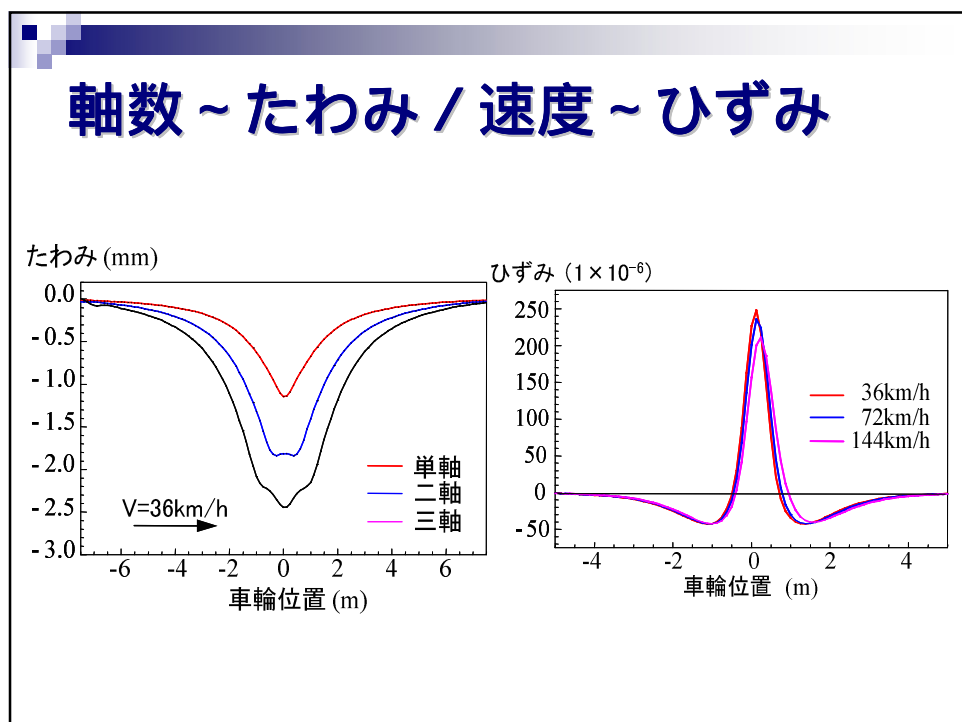
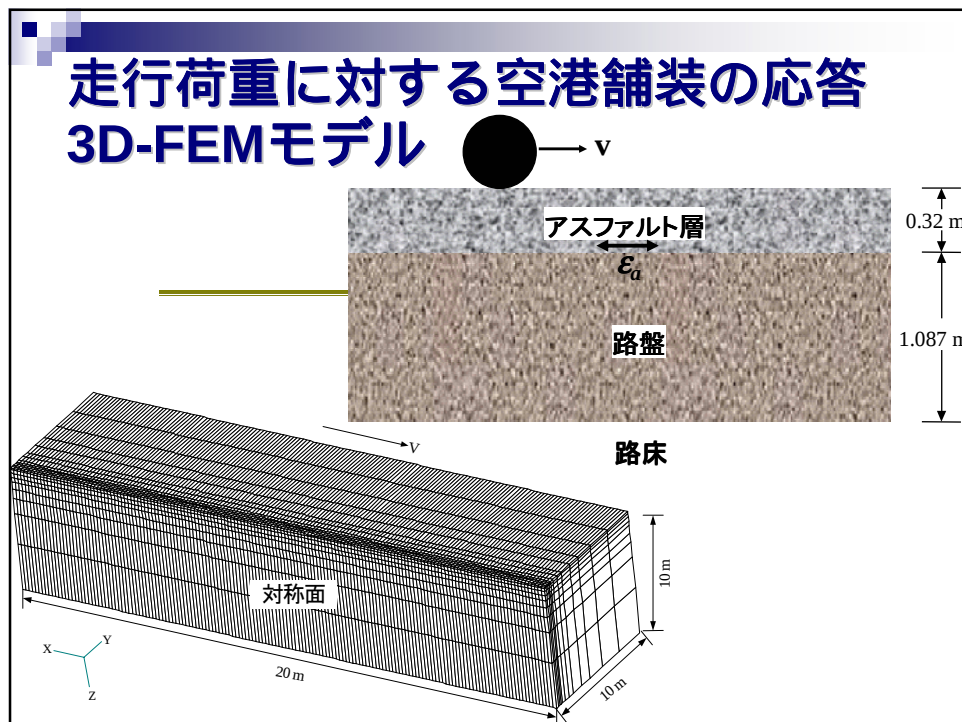


滑走路の D_{0_std} とオーバーレイ厚



舗装応答解析モデルの構築

- 空港舗装構造設計: 航空機荷重対応
 - 静的解析: 現行方法
 - 移動荷重応答解析: 実載荷対応
- 空港舗装構造評価: 非破壊試験対応
 - 静的解析: 現状では一般的
 - 動的解析: 実態に則して
- 解析法
 - 多層弾性理論・有限要素解析

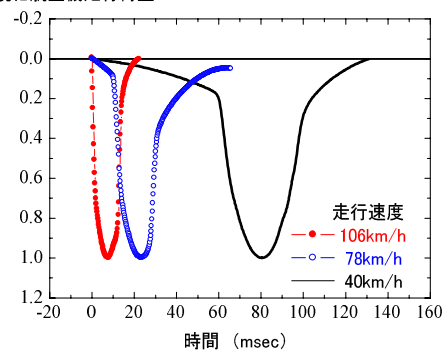


航空機走行時荷重の測定

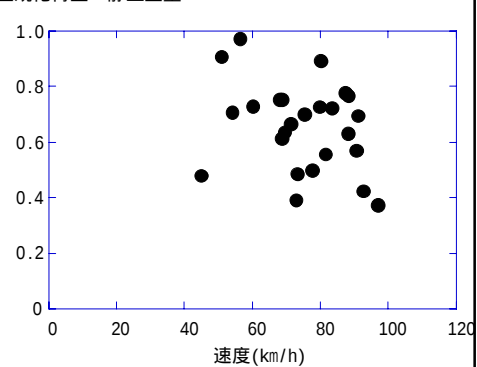


正規化した航空機走行荷重

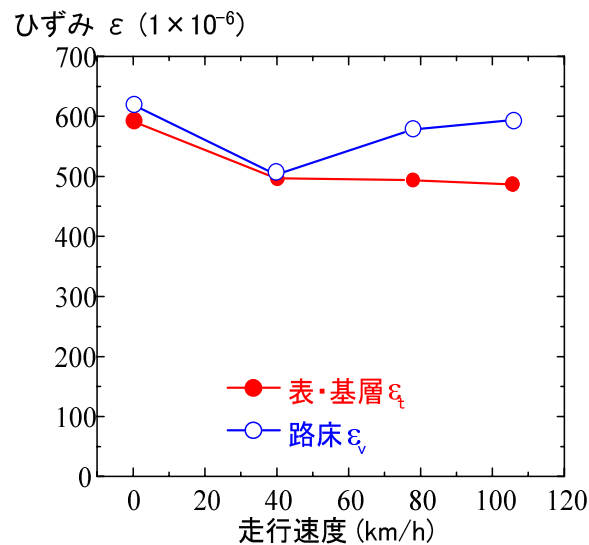
正規化航空機走行荷重



正規化荷重 / 静止重量



ひずみの航空機走行速度による変化



解析方法による評価の違い

- 載荷試験→逆解析→順解析
- 載荷試験・解析方法
 - ① 静的載荷, 静的逆解析, 静的解析
 - ② 走行載荷, 走行荷重逆解析, 走行荷重解析
 - ③ FWD, 静的逆解析, 静的解析
 - ④ FWD, 動的逆解析, 走行荷重解析

荷重載荷方法



静的載荷

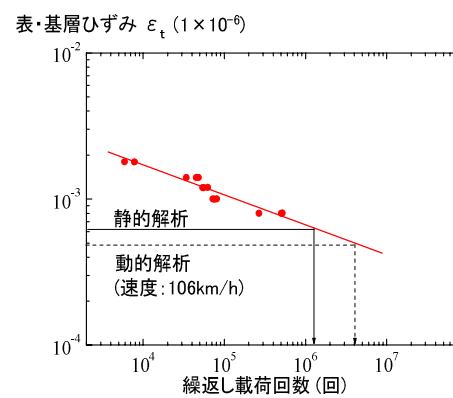
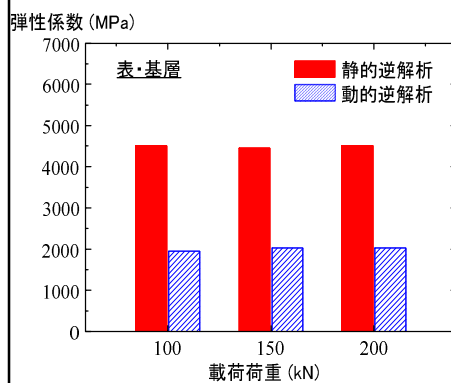


FWD

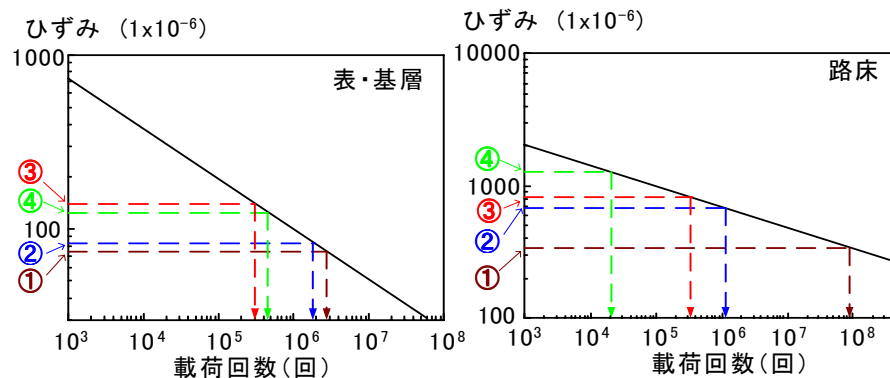


走行載荷

解析手法による評価の違い (vs.)



破壊回数の違い（全体）



- 破壊回数: 路床<>表・基層
- 設計: 走行载荷試験②<静的载荷試験①
- 評価: 動的解析④<静的解析③

まとめ

- 縦断プロファイルの高速・高精度計測
測定方法の規格化
- 乗り心地・走行安全性による評価
設計・補修基準の制定
- 走行航空機に対する応答
設計法の改訂
 - 構造設計修規準の合理化
 - 社会資本整備マネジメント手法の向上
 - 国際社会への貢献