

性能設計法による空港舗装設計

国土交通省国土技術政策総合研究所
空港研究部 坪川将文

1

講演内容

- 空港舗装の設計法の概要
- 理論的設計法の具体例
- 今後の方向性

2

空港舗装の設計法の概要

3

空港舗装の設計に関する技術基準

- **空港土木施設の設置基準解説** (H20.7改定, H22.4一部改訂)
基本施設等(滑走路・誘導路・エプロン等)
に関する要求性能, 性能規定, 幅・勾配等
- **空港舗装設計要領** (H20.7改定, H22.4一部改訂)
基本施設のAs舗装, Co舗装に
求められる性能と照査方法(設計法)
- **空港舗装補修要領(案)** (公式に制定されたものではない)
基本施設のAs舗装, Co舗装の
調査法, 評価法, 補修設計法
(空港舗装設計要領改定が反映されていない)

4

空港As舗装に求められる性能

- 荷重支持性能
路床・路盤の支持力, 疲労ひび割れ, 凍上
- 走行安全性能
すべり, わだち掘れ
- 表層の耐久性能
気象劣化, 剥離, 骨材飛散, 層間剥離

橙色の照査項目は, 現時点で具体的な照査方法が
確立している.

その他の照査項目は, 見なし規定.

5

空港As舗装の設計供用年数

- 旧設計要領 設計年数10年(耐用年数ではない)
おおむね10年でオーバーレイ.
原因の多くはわだち掘れの悪化.
ひび割れは顕著ではない.



- 荷重支持性能 20年
10年で構造的破損が生じては補修が非常に困難.
- 走行安全性能, 表層の耐久性能 10年
構造的破損が生じずとも,
表基層のAs層の劣化, わだち掘れは生じる.

6

理論的設計法の具体例 (As舗装)

7

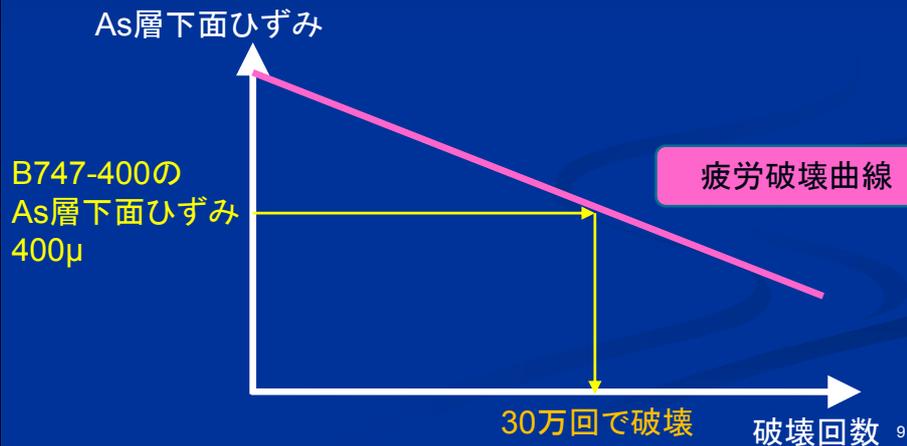
As混合物の疲労ひび割れの照査方法

- 舗装断面の仮定
表基層, 上層路盤, 下層路盤
- 各層弾性係数の設定
As弾性係数 各月の平均気温と
走行速度(低速・高速)から
- 航空機によるAs層下面ひずみの算定
多層弾性理論により算定
(仮定) B747-400の離陸荷重では
12月の気温(弾性係数)において,
400 μ のひずみが発生

8

As混合物の疲労ひび割れの照査方法

- 疲労破壊回数の算定
As層下面ひずみと破壊基準曲線から



As混合物の疲労ひび割れの照査方法

- ここまでの過程でわかっていること
12月の気象条件, B747-400離陸荷重で発生する
As層下面の引張ひずみ400μが
30万回発生するとAs層に疲労ひび割れが発生する

B747-400, 離陸機, 毎年12月の合計設計交通量は?
(仮定) 6万回

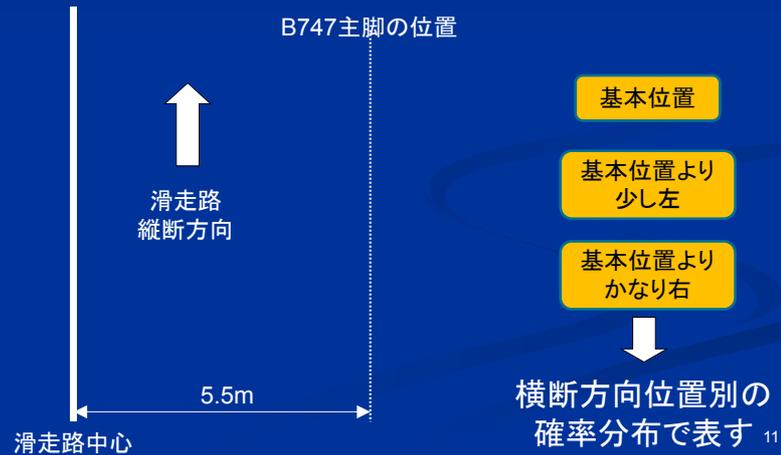
~~B747-400の離陸機による12月の疲労度~~

$$\text{疲労度} = \frac{6\text{万回}}{30\text{万回}} = 0.2$$

As混合物の疲労ひび割れの照査方法

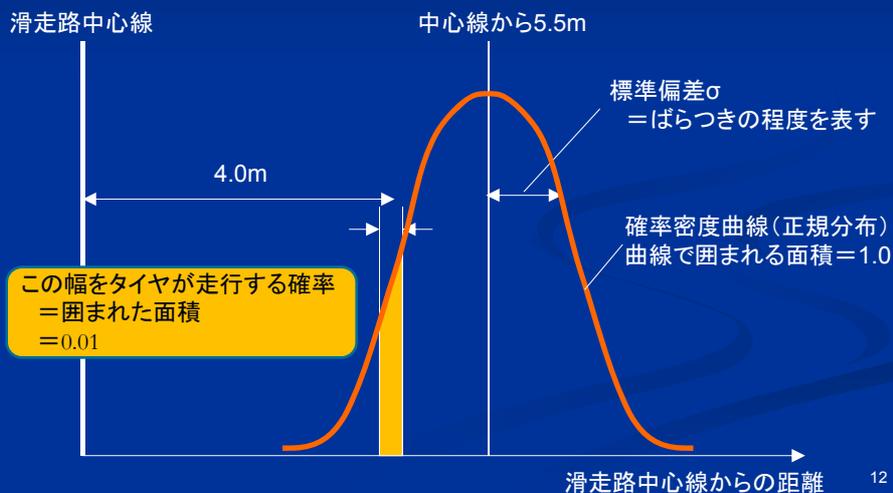
■ 横断方向走行位置分布の考慮

6万回 は様々な位置を走行する航空機の合計。
航空機の走行位置は横断方向にばらつく。



As混合物の疲労ひび割れの照査方法

走行回数6万回のうち、
滑走路中心線から4.0mの位置(タイヤ幅)を走行する回数は
 $6万 \times 0.01回 = 600回$ となる。



As混合物の疲労ひび割れの照査方法

■ 4.0m位置の疲労度の算出

$$\text{疲労度} = \frac{6\text{万回} \times 0.01 = 600\text{回}}{30\text{万回}} = 0.002$$

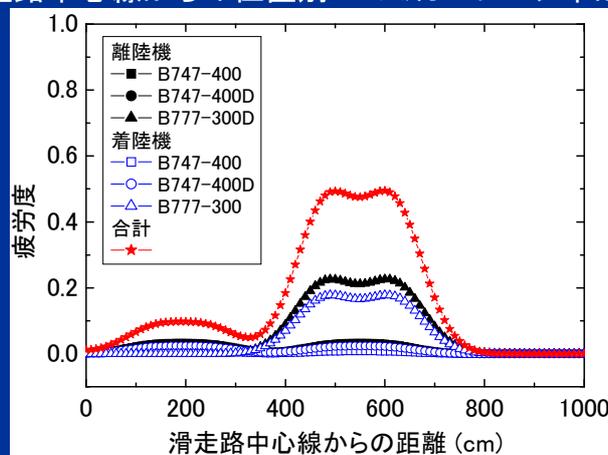
- ・正規分布から求めた0.01を**走行確率**と呼ぶ。
0.01=1回走行すれば4.0m位置を0.01回走行
- ・走行確率の逆数を**パス/カバレッジ率**と呼ぶ。
100=4.0m位置を1回走行するために必要な
航空機の全走行回数
- ・設計条件において疲労度が1.0以上となるならば
仮定した舗装厚では疲労ひび割れが発生する。
→仮定する舗装厚を厚くして再計算

13

As混合物の疲労ひび割れの照査方法

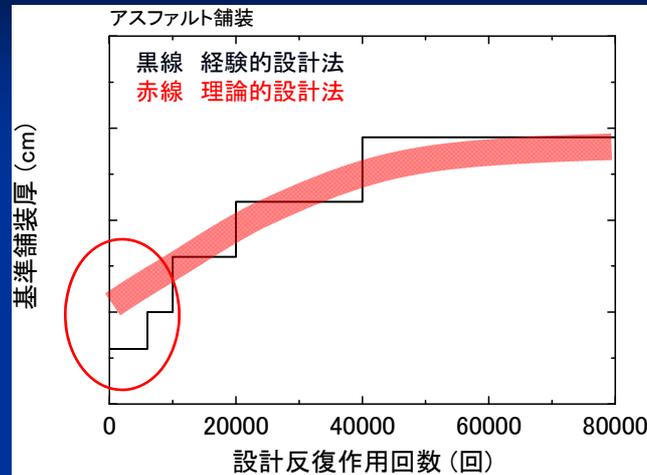
■ 全ての疲労度の合計

月別:各月平均気温 → 弾性係数が違うから
機種別・離着陸別:荷重, 横断方向位置分布が違うから
滑走路中心線からの位置別:パス/カバレッジ率が違うから



14

As舗装厚の比較(概念図)



設計反復作用回数が小さい場合は
理論的>経験的になる傾向あり

15

設計の手間

多層弾性理論によるひずみ算出が面倒.

- ・各月でAs層弾性係数が異なるため、1つの荷重条件(機種・離着陸別)で12回の計算が必要. ただし1回の計算は数秒程度.
- ・最も用いられるのがGAMES(東京電機大学 松井教授開発)
- ・ひずみが算出されれば, その他の過程はExcelで処理可能.

設計プログラム

- ・設計Excelシートを作成する際のチェック用資料として、「空港舗装設計要領及び設計例」(H22.4改訂版, SCOPE発行)に詳細且つ具体的な設計例が記載.

16

理論的設計法の具体例 (Co舗装)

17

空港Co舗装に求められる性能

- 荷重支持性能
路床・路盤の支持力, 疲労ひび割れ, 凍上
- 走行安全性能
すべり, 段差

橙色の照査項目は, 現時点で具体的な照査方法が
確立している.

その他の照査項目は, 見なし規定.

18

空港Co舗装の設計供用年数

- 旧設計法 設計年数10年(耐用年数ではない)
 - ・10年をはるかに超えることの説明困難.
- 荷重支持性能, 走行安全性能 20年
 - ・10年で構造的破損が生じては補修が非常に困難.
 - ・アスコンに比べて材料劣化しにくい.

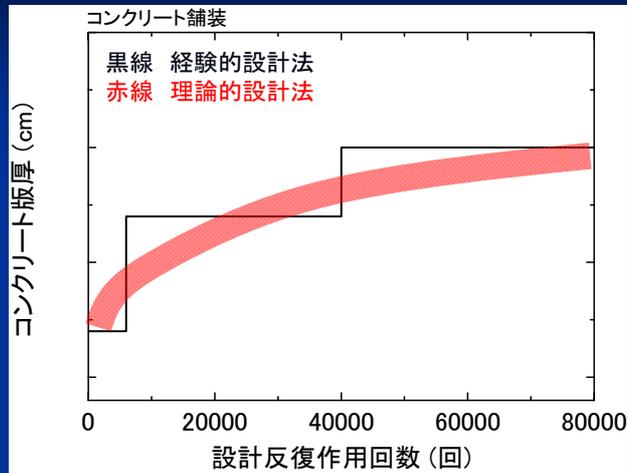
19

Co版の疲労ひび割れの照査方法

- 舗装断面の仮定
 - コンクリート版厚, 上層路盤K値
- 各層弾性係数の設定
 - Asと違い, 季節変動は無し
- 版中央部・版下面の合成応力の算定
 - 荷重応力—版FEMにより算出
 - 温度応力—温度応力式により算出
 - 合成応力=荷重応力+温度応力
- 疲労度の算出
 - As舗装とほぼ同じ

20

コンクリート版厚の比較(概念図)



概ね理論的＝経験的
ただし経験的の版厚は10000～40000の広範囲で同一版厚

21

設計の手間

版FEMによる荷重応力算出が面倒

- ・1つの荷重条件(機種・離着陸別)で1回の計算が必要. ただし1回の計算は数秒程度. 最も用いられるのがCP-for(石川高専 西澤教授開発)
- ・荷重応力が算出されれば, その他の過程はExcelで処理可能.

設計プログラム

- ・設計Excelシートを作成する際のチェック用資料として, 「空港舗装設計要領及び設計例」(H22.4改訂版, SCOPE発行)に詳細且つ具体的な設計例が記載.

22

今後の方向性

23

今後必要な研究(性能照査関係)

■ わだち掘れ量の照査方法の確立(As)



仕様

航空機の走行安全性の設計供用期間(10年)内に
わだち掘れ量20mm以内(かなりキビシメの値)
となる設計をするものとする。

提案A

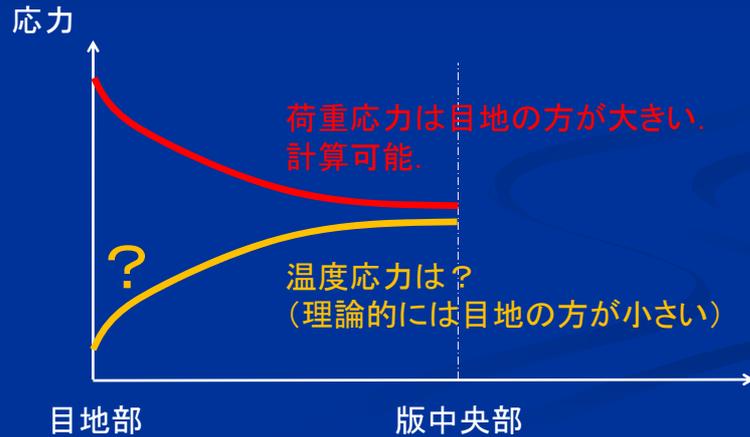
ストアスを用いた断面。硬い路盤層が必要。

提案B

ストアスより高価だが
耐流動性に優れたアスコンを用いた断面。
ただし、アスコン層厚は薄くて済むので提案Aより安価

今後必要な研究(性能照査関係)

- 目地部温度応力算定手法の確立(Co)
現時点では目地部の温度応力が不明であり、
版中央部における照査のみ



25

今後必要な研究(性能照査関係)

- NC舗装以外のCo舗装の理論的設計法
現場打ちプレストレストコンクリート舗装(PC)
プレキャストプレストレストコンクリート舗装(PPC)
プレキャスト鉄筋コンクリート舗装(PRC)
連続鉄筋コンクリート舗装(CRCP)



NC版と同様の疲労設計法がなじむか否かが不明

26

今後必要な研究(設計限界値関係)

- 航空機の運航を考慮した設計限界値
わだち掘れ
 ハイドロプレーニング防止
 →深さ&形状で規定?

- グルーピング
 ハイドロプレーニング防止
 →グルーピング消失率で規定?
 (現行, 摩擦係数の基準あり)

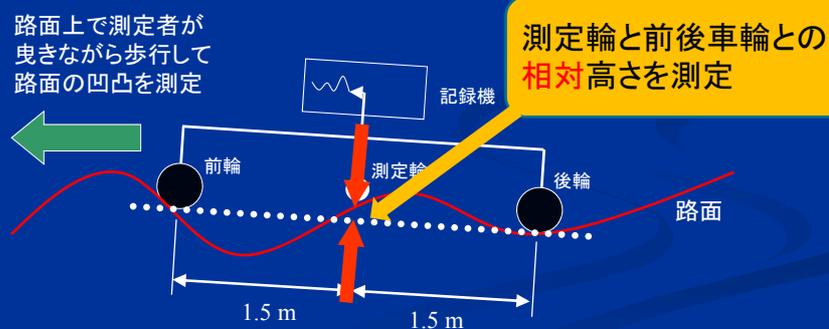
- 縦断方向平坦性(性能照査値ではないが)
操縦に安全な路面
 →路面の波長や振幅で規定?

27

縦断方向平坦性

路面性状調査において3年に一度,
3mプロフィールメータ(の原理を用いた測定車)による平坦性 σ の測定

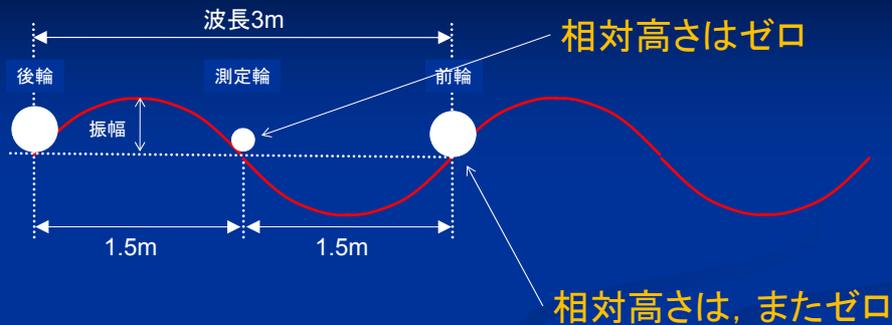
- ・簡単
- ・わかることが少ない.
- ・路面の波長に大きく依存する値.



3mプロフィールメータの原理による平坦性 σ の原理

28

縦断方向平坦性



1.5mごとの相対高さは全てゼロなのでばらつきゼロ



路面の凹凸振幅が1mのとんでもない路面であっても
平坦性 σ はゼロと算出される。

29

縦断方向平坦性

現行

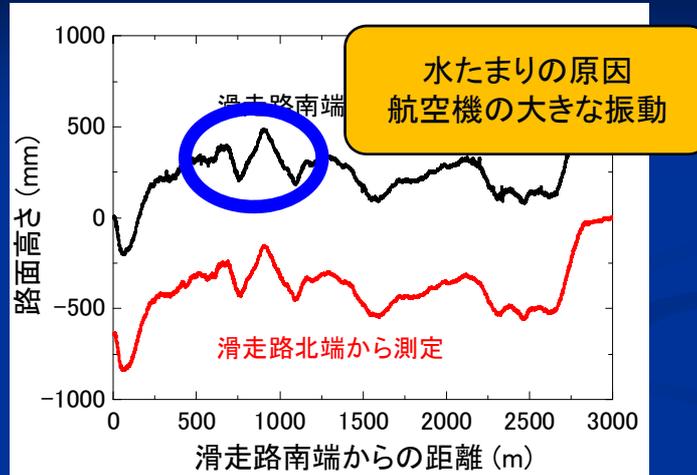
3mプロフィロメータの原理で相対高さを1.5mごとに計測し、
相対高さの標準偏差である平坦性 σ を算出

改定案

- ・細かいピッチで路面の縦断絶対プロファイルを計測する。
- ・計測には、絶対プロファイルを測定可能な路面性状測定車により測定する。
- ・絶対プロファイルを測定すれば
これまでの平坦性 σ の算出
IRI (International Roughness Index) の算出
航空機走行時の応答シミュレーション
が可能となる。

30

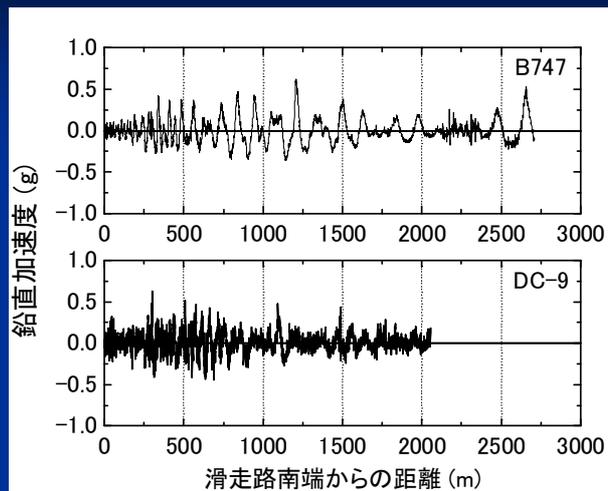
絶対プロファイル (True プロファイル)



10mmピッチで測定した3000m滑走路の絶対プロファイル
(測定開始点の高さをゼロ)

31

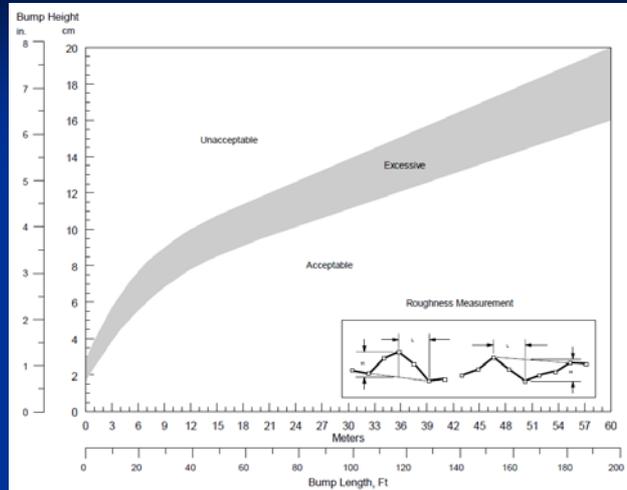
航空機走行シミュレーション



航空機走行時応答シミュレーションソフト
APRas (APR Consultant (現在非売品)) により計算

32

Boeing Roughness Criteria



K. J. DeBord : Runway Roughness Measurement, Quantification and Application - The Boeing Method, *Boeing Document D6-81746*, Boeing Commercial Airplane Company

33

最後に

空港施設研究室HP
「空港施設研究室」で検索

内容

- ・港研時代の港研資料・報告
- ・国総研資料・報告
- ・各種発表資料

pdfで閲覧可能

34