

平成20年度 港湾空港技術振興会講演会

空港舗装の理論的設計法 について

国土技術政策総合研究所
空港研究部 空港施設研究室 水上 純一

1

全体の中身

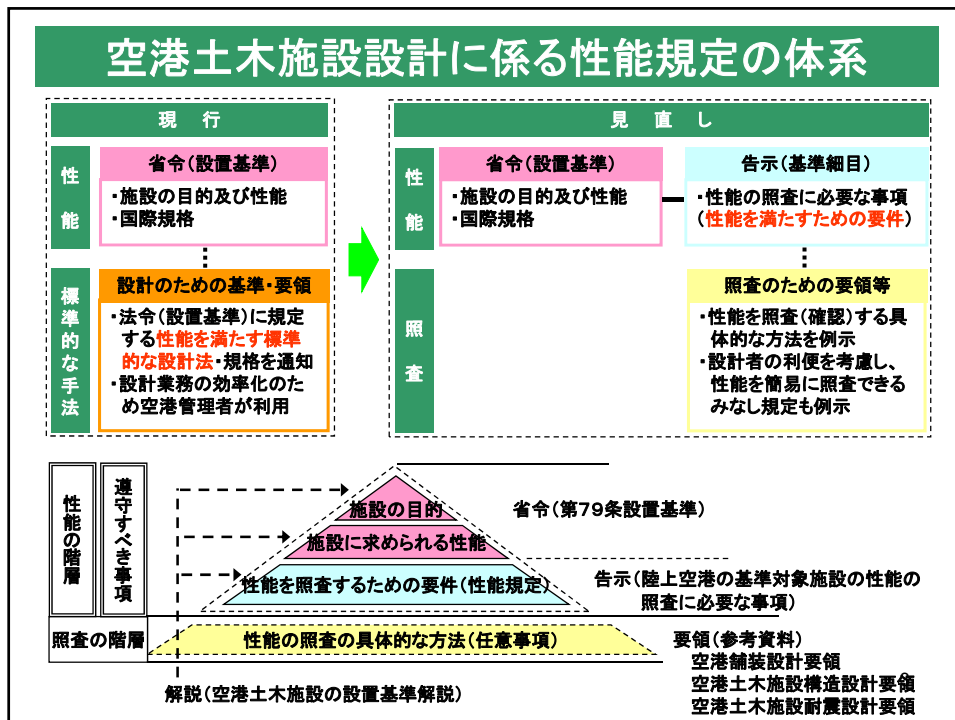
前半

・アスファルト舗装の設計法について

後半

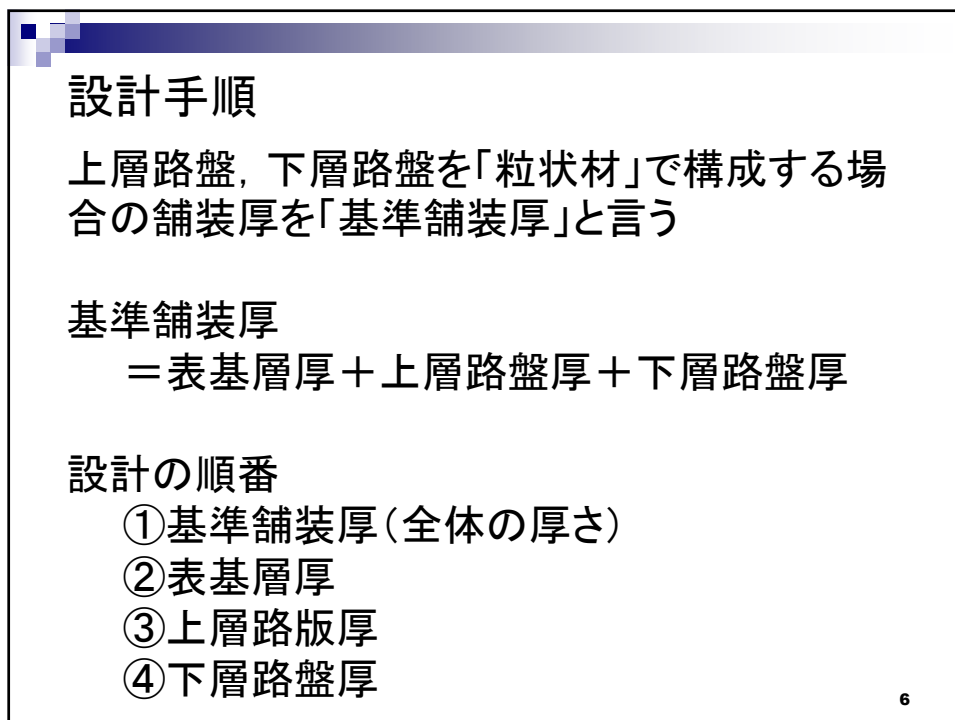
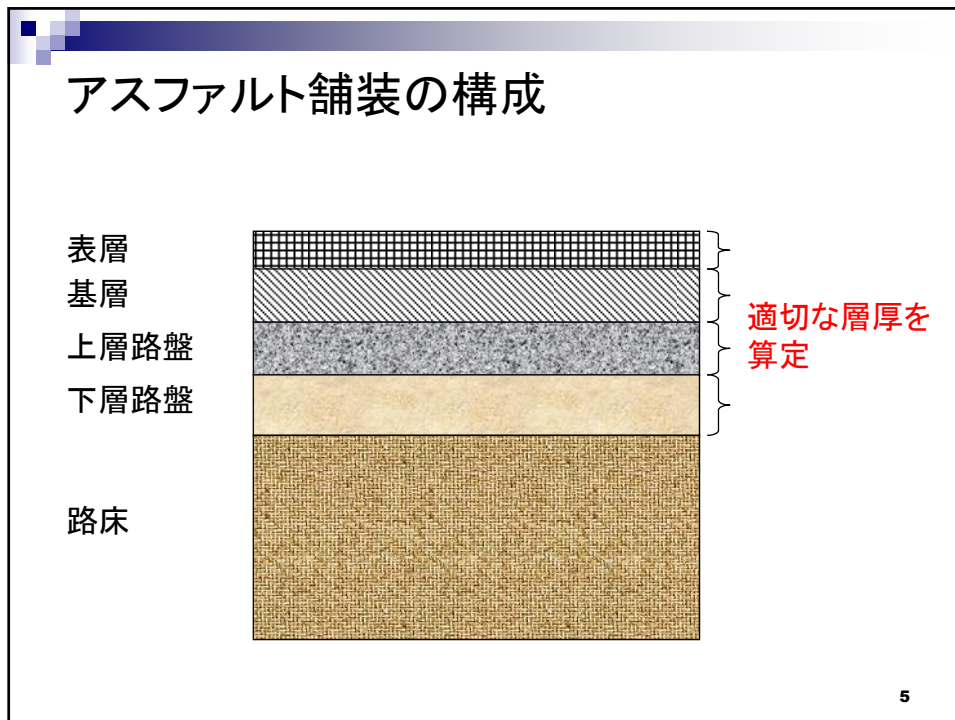
・コンクリート舗装の設計法について

2



内容

- ・前半
 - 従来の「空港舗装構造設計要領」
 - 仕様規定型設計法(この条件ならこの厚さ)
 - 経験的設計法(この厚さがあれば壊れない)
 - 設計図表に条件を入れて設計
- ・後半
 - 新しい「空港舗装設計要領」
 - 性能規定型設計法(「性能」を満たす厚さを決める)
 - 理論的設計法(「性能を満たす」ことを確認する方法)
 - 舗装の「疲労度」を計算して設計



設計手順

・表基層厚

- 舗装区域（どこの箇所？）
- 設計荷重（航空機の大きさは？）
- 設計反復作用回数（何回走る？）

・路盤厚

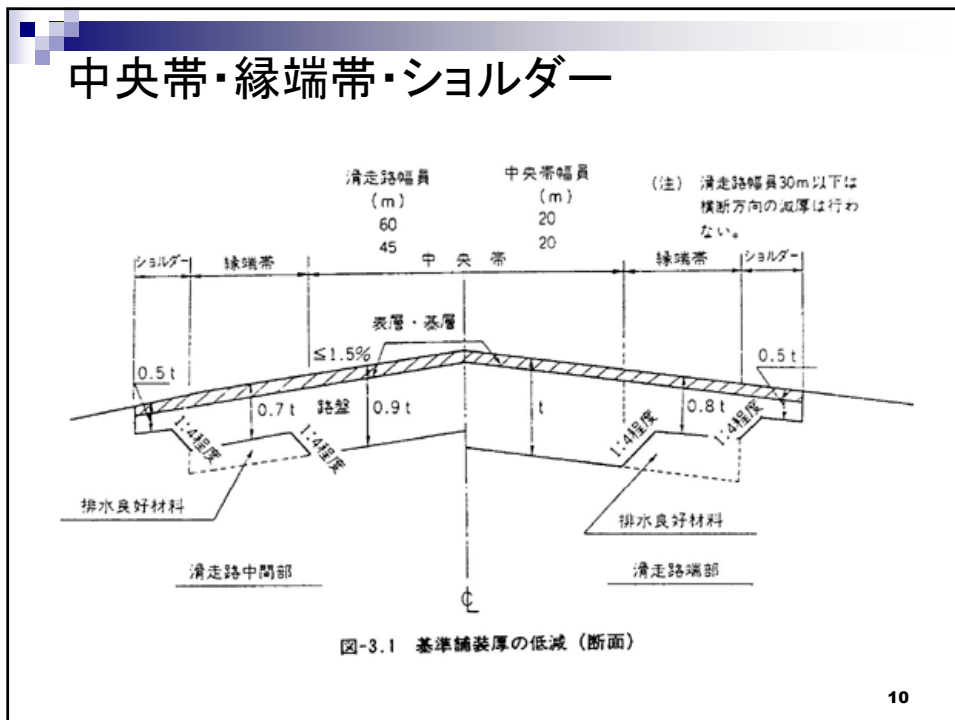
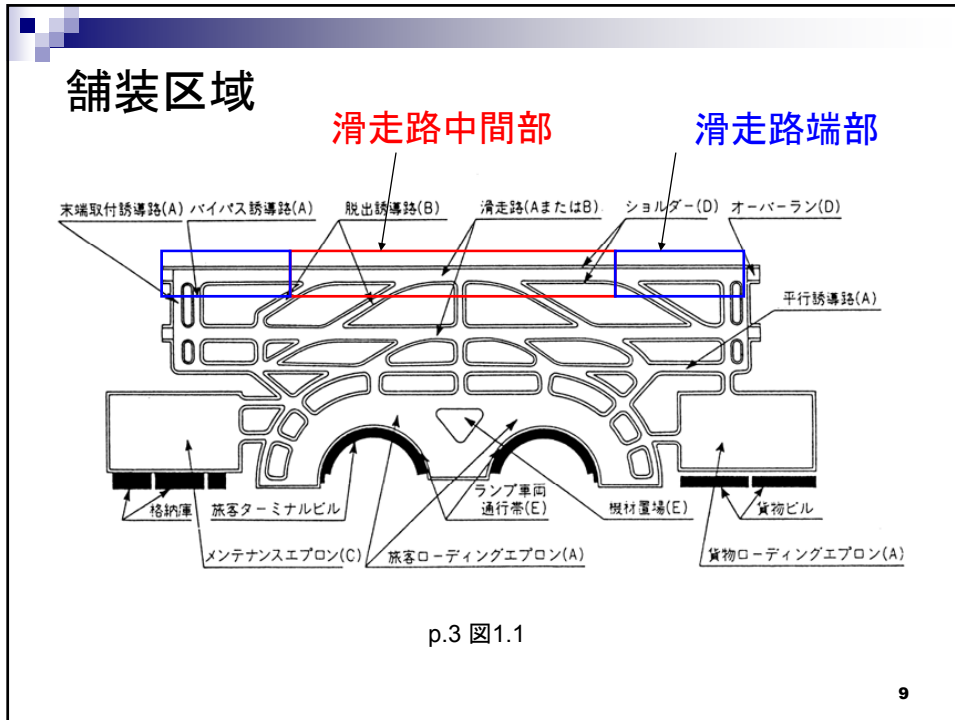
- 路床の設計CBR（路床の強度は？）
- 路盤材料種類（アス安, セメ安, 粒状材？）
- 一層最小施工厚（施工可能？）

7

設計条件

- | | |
|-----------|-----------------------|
| ・設計年数 | 10年 |
| ・舗装箇所 | 滑走路中間部中央帯 |
| ・対象機種 | B-747, A-300 |
| ・設計反復作用回数 | 15,000回 |
| ・路床の設計CBR | 10% |
| ・路盤材料 | 上層－As安定処理材
下層－粒状路盤 |

8



舗装区域

舗装区域	対象
A	滑走路端部, 全備重量の航空機が通過する誘導路, ローディングエプロン
B	滑走路中間部, 脱出誘導路, ナイトステイエプロン, ナイトステイエプロンに通ずる連絡誘導路
C	メンテナンスエプロン, メンテナンスエプロンに通ずる連絡誘導路
D	オーバーラン, ショルダー
E	ランプ車両通行帯, 機材置場

11

設計荷重

設計荷重の区分	対象
LA-1	B-747, DC-10, B-777, MD-11
LA-12	A-300, B-767
LA-2	A-320, MD-81, MD-87, MD-90
LA-3	DC-9-41, B-737
LA-4	YS-11
LSA-1	ドルニエ228-220, DHC-6-300
LSA-2	N24A, BN2A

12

設計反復作用回数(設計カバレッジ)

計算から求める 設計反復作用回数	設計反復 作用回数	設計反復 作用回数の区分
~3,500未満	3,000	a
3,500回以上~6,000回未満	5,000	b
6,000回以上~12,000回未満	10,000	c
12,000回以上~25,000回未満	20,000	d
25,000回以上~50,000回未満	40,000	e

13

設計反復作用回数(設計カバレッジ)とは？

- ・大型航空機の10,000回と中型航空機の10,000回は
舗装に対する影響が異なるので、全ての機材の交通量を
代表機種荷重を想定した交通量に換算する。
- ・航空機はいつも同じ位置を走行しているわけではなく、
横方向に対してバラツキがあるために、
代表機種が同じ位置を走行すると仮定して換算する。
- ・設計反復作用回数は離発着回数ではない。

14

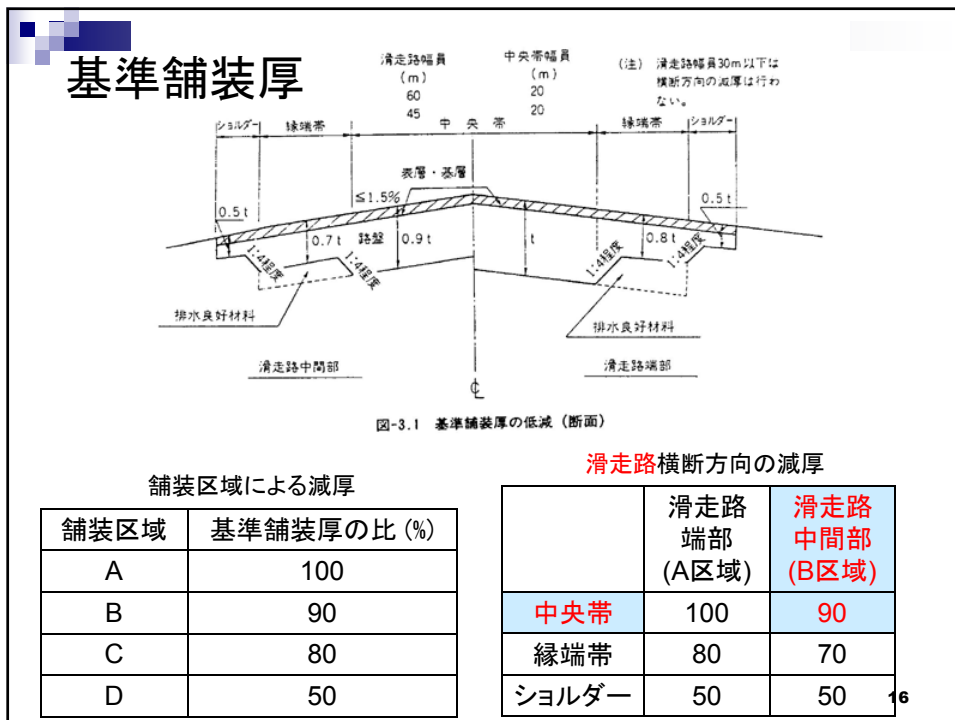
LA-1の基準舗装厚

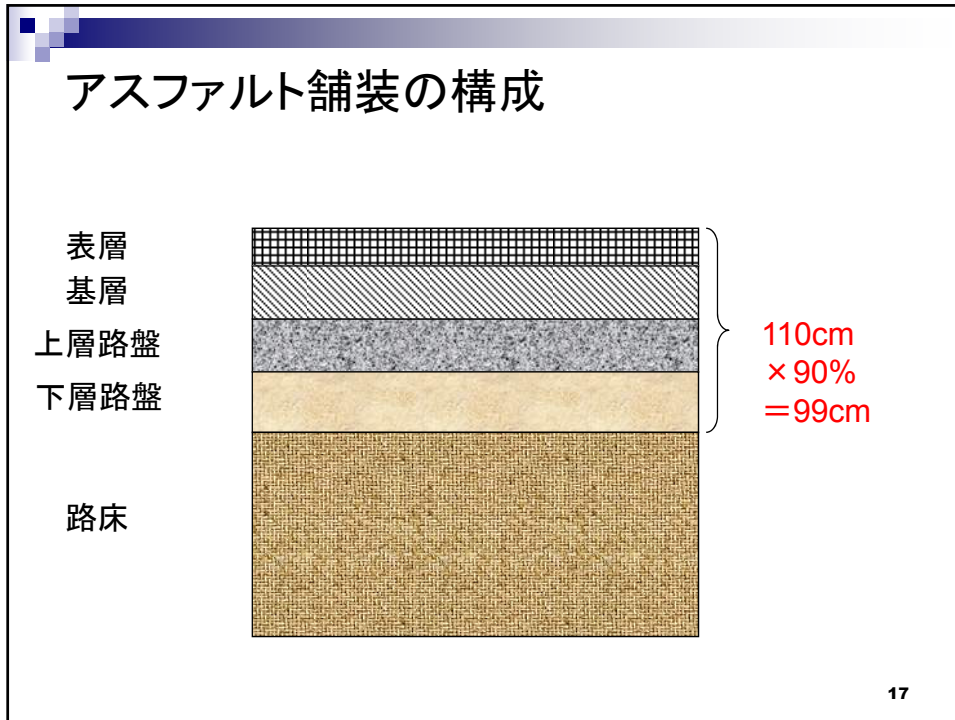
基準舗装厚

路床の設計CBRと
設計反復作用回数の
区分から算出

CBR	設計反復作用回数の区分				
	a	b	c	d	e
2	256	269	288	307	328
2.5	226	238	256	275	295
3	202	215	232	249	268
3.5	184	196	210	227	245
4	168	180	195	210	227
4.5	154	165	180	195	210
5	143	153	169	183	199
6	125	134	148	162	176
7	112	121	132	145	158
8	101	109	120	131	144
9	92	100	110	120	132
10	84	92	101	110	122
12	73	80	87	95	106
14	64	70	78	85	94
16	58	63	70	76	84
18	54	58	64	70	76
20	54	54	59	64	70

15





表基層厚

設計荷重の区分,
設計反復作用回数区分
から算出

設計荷重の区分	設計反復作用 回数の区分	最小合計厚
LA-1	a	14
	b	14
	c	15
	d	15
	e	16
LA-12	a	13
	b	13
	c	14
	d	14
	e	15
LA-2	a	12
	b	12
	c	12
LA-3	a	10
	b	10
	c	10
LA-4	a	8
	b	8
	c	8

18

表基層厚

p. 30 注2

表層・基層の1層当たりの層厚は最小4cm, 最大7cmとして
経済的な層構成とする.

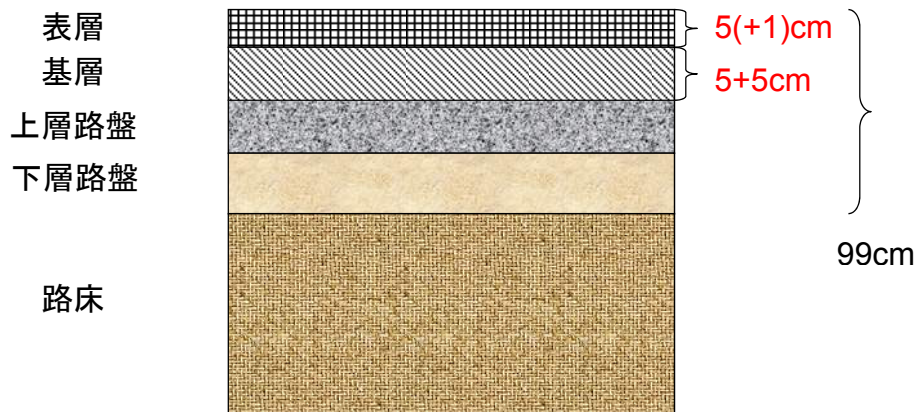
p. 30 注3

グルーピングを行う滑走路においては,
表の値に1cmを加えたものとする(構造上は考慮しない).

表層	5(+1)cm
基層1	5cm
基層2	5cm

19

アスファルト舗装の構成



20

上層路盤厚

CBR	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20以上
区分																	
LA-1	40(35)						35(30)		30(25)			25(20)					
LA-12	40(35)						35(30)		30(25)			25(20)					
LA-2	35(30)						30(25)		25(20)			20(15)					
LA-3	30(25)						25(20)			20(15)							
LA-4	20(15)																
LSA-1	15(10)				10(10)												
LSA-2	10(10)																
LT-1	25												20				
LT-12	20									15							
LT-2	15																

B, C, D舗装区域および滑走路縁端帯に対しては、()内の数字を用いる。

21

上層路盤厚

材 料 名	混 合 方 法	主 な 材 質	等 価 値
アスファルト安定処理材	中央プラント加熱混合	マーシャル安定度 (75回) 4.90 kN以上	2.0
		マーシャル安定度 (50回) 3.45 kN以上	1.5
セメント安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令7日) 2.9N/mm ² 以上	1.5
石灰安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度 (材令14日) 2.9N/mm ² 以上	1.5
水硬性粒度調整鉄鋼スラグ		一軸圧縮強度 (材令14日) 1.2N/mm ² 以上 修正CBR80以上	1.5
粒度調整砕石	中央プラント混合	修正CBR80以上	1.0

用いる材料により減厚可能.

$$25\text{cm} \div 2.0 = 12.5 \rightarrow (\text{切上げ}) \rightarrow 13\text{cm}$$

22

一層最小施工厚

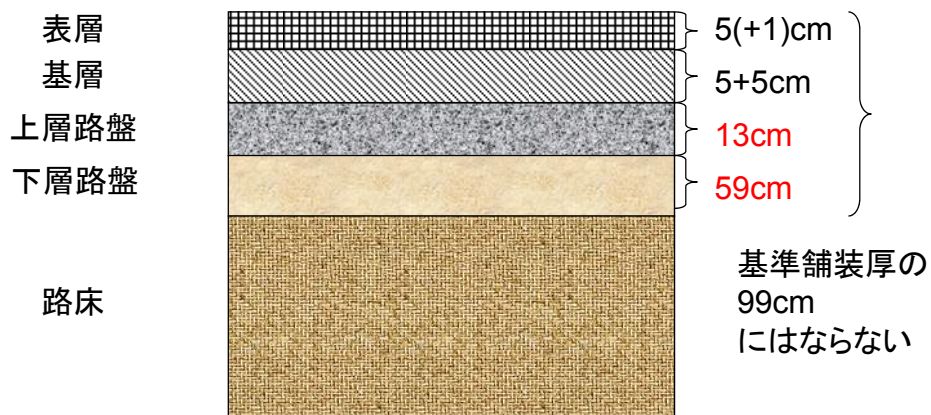
設計荷重の区分 材料	LA-1, LA-12 LA-2, LA-3	LA-4, LSA-1, LSA-2 LT-1, LT-12, LT-2
セメント安定処理剤	15	12
粒状材	15 (°)	10
アスファルト安定処理材	6	6

13cm > 6cm OK

23

下層路盤厚

基準舗装厚-(表基層厚+粒状材上層路盤厚)
 =99-5-5-5-25(13ではない) = 59cm > 15cm OK



24

下層路盤厚

材 料 名	混 合 方 法	主 な 材 質	等 価 値
アスファルト安定処理材	中央プラント加熱混合	マーシャル安定度（50回） 3.45 kN以上	2.0
セメント安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度（材令7日） 2.0N/mm ² 以上	1.5
石灰安定処理材	中央プラント混合	一軸圧縮強度（材令14日） 2.0N/mm ² 以上	1.5
粒状材		修正CBR30以上	1.0

用いる材料により減厚可能.

石灰安定処理材を用いる際は
 $59\text{cm} \div 1.5 = 39.3\text{cm} \rightarrow$ (切上げ) $\rightarrow 40\text{cm}$

25

「空港舗装構造設計要領」のまとめ

- 仕様規定型設計法, 経験的設計法
- 一般的な条件を想定した図表を用意.
- 想定していない条件には,
そのまま適用できない場合がある.
- 例えば, 長持ちする新材料の登場などを
設計図表に反映するまでに時間がかかる.

26

「空港舗装設計要領」の概要

- 性能規定型設計法, 理論的設計法
- 「舗装に求められる性能」を満足すればよい
- 標準厚などは記載していない
一般に使用してよい照査方法, 限界値を例示

27

仕様規定型と性能規定型

項目	仕様規定型	性能規定型
設計要領の記述	条件ごとに具体的な厚さを提示	求められる性能と, 一般的な照査方法を提示
代表機種	定める	定めない
設計交通量	カバレッジ	各機材の離着陸回数
設計荷重	代表機種 of 荷重	各機材の離着陸荷重
破壊の定義	ない(この厚さなら破壊しないという経験)	Asの疲労ひび割れ 路床の圧縮破壊
場所による減厚	あり	交通量, 荷重, 走行速度, 横断方向走行位置で直接考慮する

28

求められる性能と照査方法

求められる性能	照査項目	照査内容	具体的照査方法の有無
荷重支持性能	① 路床の支持力に対する照査	疲労度	○
	② 路盤の支持力に対する照査	路盤支持力	みなし (最小厚規定と共通仕様書)
	③ 凍上に対する照査	凍結深さ	○
	④ 疲労ひび割れに対する照査	疲労度	○
	⑤ 温度ひび割れに対する照査	引張強度	みなし (④と共通仕様書)
走行安全性能	⑥ すべりに対する照査	すべり摩擦係数	みなし (グルーピングと共通仕様書)
	⑦ アスファルト舗装のわだち掘れに対する照査	わだち掘れ量	みなし (荷重支持性能と共通仕様書)
表層の耐久性能	⑧ 気象劣化に対する照査	なし	みなし (共通仕様書)
	⑨ アスファルト混合物の剥離に対する照査	なし	みなし (共通仕様書)
	⑩ アスファルト混合物の骨材飛散に対する照査	なし	みなし (共通仕様書)
	⑪ アスファルト混合物層の層間剥離に対する照査	層間せん断強度	みなし (共通仕様書)

「みなし」とは？

「●●と××を満足していれば、照査しなくて良い」
 (具体的な照査方法がまだ無いため)

29

具体的に何をすればよいか

- ・「**荷重支持性能**」を満足する舗装厚を決める
- ・アスコンのひび割れ、路床の圧縮破壊が発生しない
- ・舗装厚を仮定し、
「路床の**疲労度**」と「アスコンの**疲労度**」を計算する
- ・疲労度が1.0以上なら、舗装を厚くして再計算
疲労度が1.0以下になればOK
- ・疲労度を算出するためには
「ひずみ」を計算する → フリーソフト等
「疲労破壊曲線」を使用する → 要領に記載

30

「荷重支持性能」照査フロー

- ① 部位別の設計条件の設定
 - ③ のひずみの算出に使用
設計荷重, 気温, 走行速度
 - ④ の疲労度の算出に使用
設計供用期間, 設計交通量(離着陸回数),
横断方向走行位置分布の標準偏差, 疲労破壊曲線
- ② 舗装断面の仮定
- ③ ひずみの算出(アスコン, 路床)
- ④ 疲労度の算出(アスコン, 路床)

31

設計供用期間

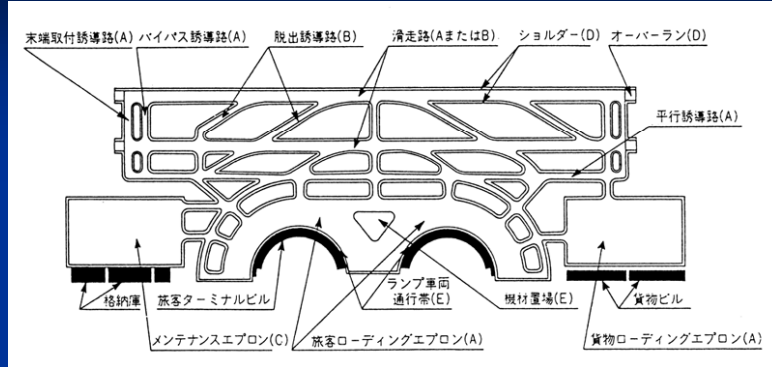
経験的設計法
設計年数10年を標準とする

理論的設計法
設計供用期間として,
荷重支持性能 一般に20年
走行安全性能 一般に10年
表層の耐久性能 一般に10年

理由:
わだち掘れや平坦性悪化 → 10年でオーバーレイ
路床やアスコンのひび割れ → あまり壊れてない

32

設計交通量



滑走路中間部	離陸＋着陸
滑走路端部	(離陸＋着陸) × 使用方向別割合
高速脱出誘導路	着陸のみ
縁端帯	縁端帯にはみ出す交通量(確率分布から)
ショルダー・過走帯	年1回

33

設計荷重

経験的設計法

代表機種 of 離陸時荷重

(代表機種に換算した設計反復作用回数を使用していたから)

理論的設計法

離陸交通量に対しては離陸荷重

着陸交通量に対しては着陸荷重

(個別の交通量を使用するから)

34

温度・走行速度

ひずみ計算に使用するアスコンの弾性係数を設定するのに使用

温度の考慮方法

月別の外気温平均値から計算する

暑い → アスファルトは柔らかい → キツイ

寒い → アスファルトは硬い → ラク

走行速度の考慮方法

位置別の平均走行速度を使用

160km/h 滑走路中間部

アスファルトは硬い → ラク

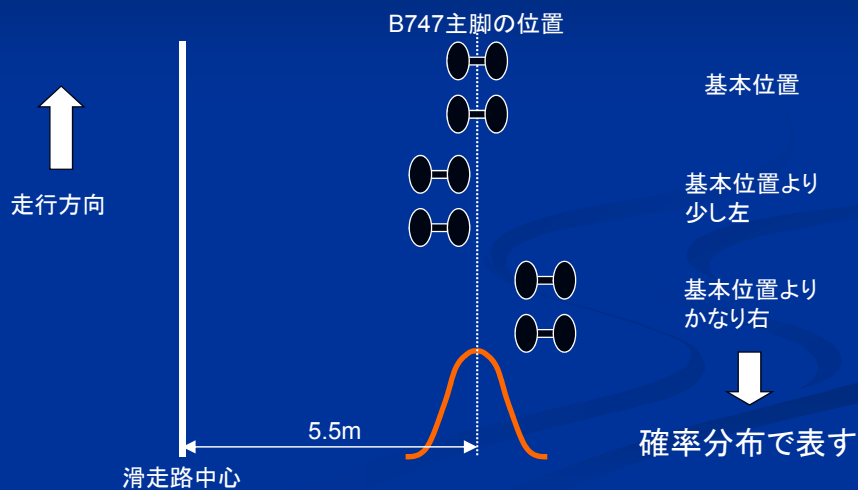
32km/h 上記以外

アスファルトは柔らかい → キツイ

35

横断方向走行位置

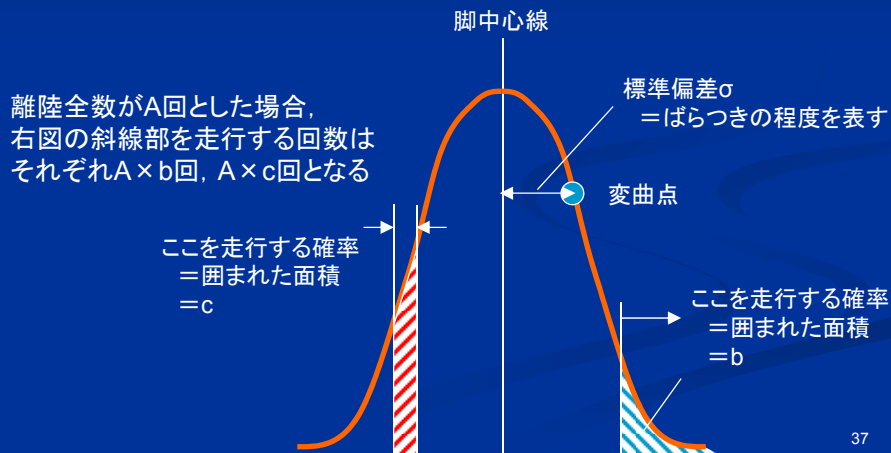
航空機はいつも同じ位置を走行していない



36

横断方向走行位置

- 航空機の走行位置のブレは、横断方向走行位置の正規分布曲線で考慮する
- ・正規分布式と要領記載の標準偏差 σ から算出する
 - ・囲まれる面積が「走行確率」になる
 - ・全面積合計は1になる



37

横断方向走行位置

- ・標準偏差(横断方向のばらつき)は、
 航空機の大きさ, 離陸・着陸, 位置 を考慮して設定
 標準偏差大 → 左右にばらつきが大 → ラク
 標準偏差小 → 左右のばらつきが小 → キツイ

既往の測定結果を基にした標準偏差の例

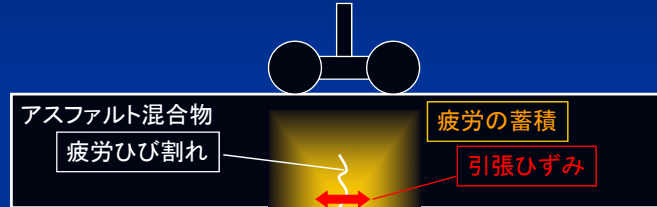
航空機コード	滑走路離陸時	滑走路着陸時	平行誘導路	高速脱出誘導路
E, F	0.91m	1.74m	0.67m	0.74m
B~D	0.74m	1.10m	0.57m	0.63m

使い方は後述...

38

疲労破壊の概念

引張ひずみが繰返し発生することで、
 アスファルト混合物層下面にひび割れが発生する



大型機: ストレート

小型機: ジャブ

大型機: 重度のダメージ

小型機: 軽度のダメージ

打たれ続けることによる
 ダメージの蓄積

ノックアウト

→

→

→

→

航空機荷重の载荷

引張ひずみの発生

繰返しによる疲労の蓄積

疲労ひび割れの発生

39

ひずみの算出

月別の温度, 位置別の走行速度を考慮した弾性係数を使用して
 舗装内に生じるひずみを計算

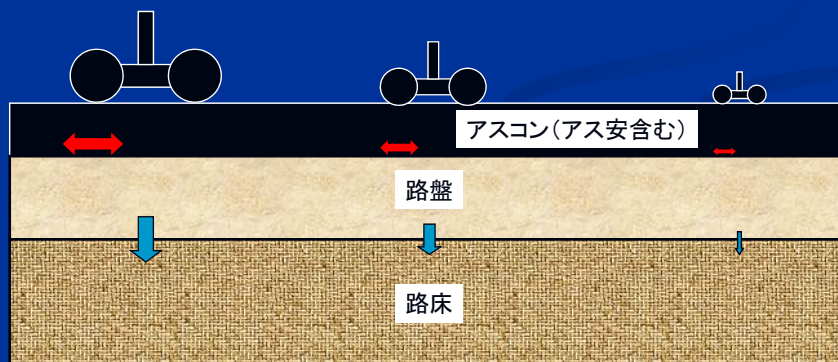
アスコン
 路床

タイヤ直下のアスコン層下面
 脚中央の路床上面

大型機

中型機

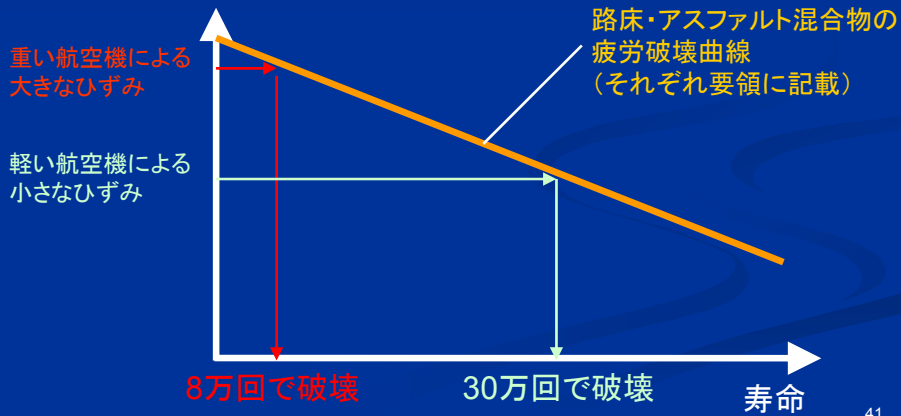
小型機



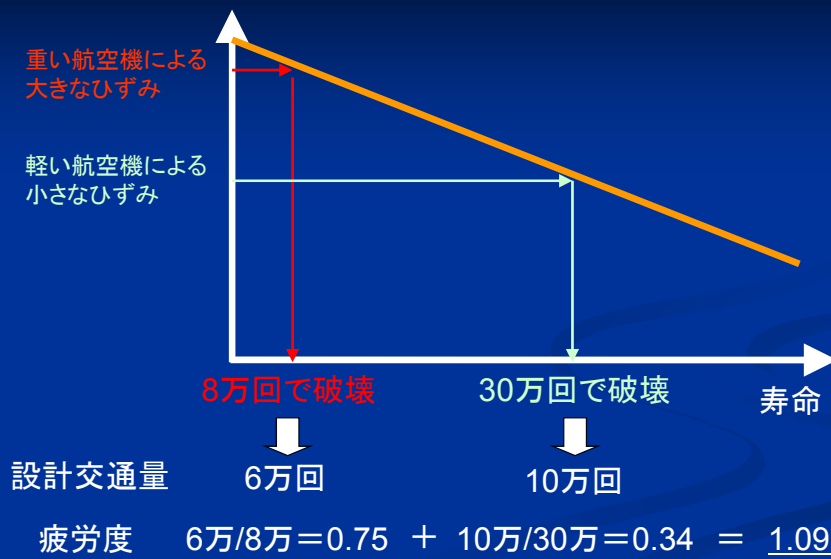
疲労破壊曲線

そのひずみが何回作用したら破壊するかを決める式

引張ひずみ(アスコン)
 圧縮ひずみ(路床)



疲労度の算出



疲労度の算出

航空機	①Asの ひずみ	②As疲労破壊曲線から 計算される破壊回数	③交通量から求まる 繰返し回数	④疲労度 (③/②)
B747	420 μ	80,000回	60,000	0.750
B767	370 μ	100,000回	50,000	0.500
A320	340 μ	300,000回	100,000	0.300

アスコンの疲労度の合計 **1.550** > 1.000 →NG

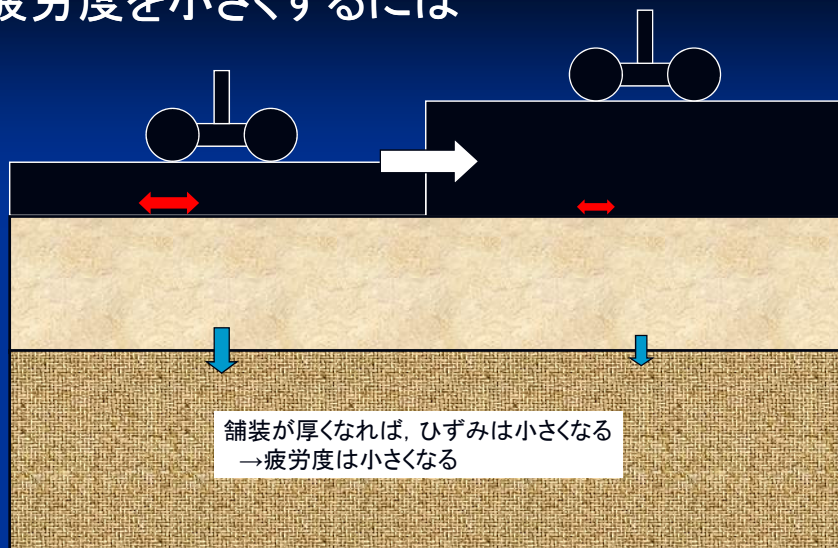
航空機	①路床の ひずみ	②路床疲労破壊曲線から 計算される破壊回数	③交通量から求まる 繰返し回数	④疲労度 (③/②)
B747	800 μ	100,000回	60,000	0.600
B767	760 μ	200,000回	50,000	0.250
A320	640 μ	800,000回	100,000	0.125

路床の疲労度の合計 **0.975** < 1.000 →OK

アスコンの疲労度が1以上なので、アスコンを厚くして再計算

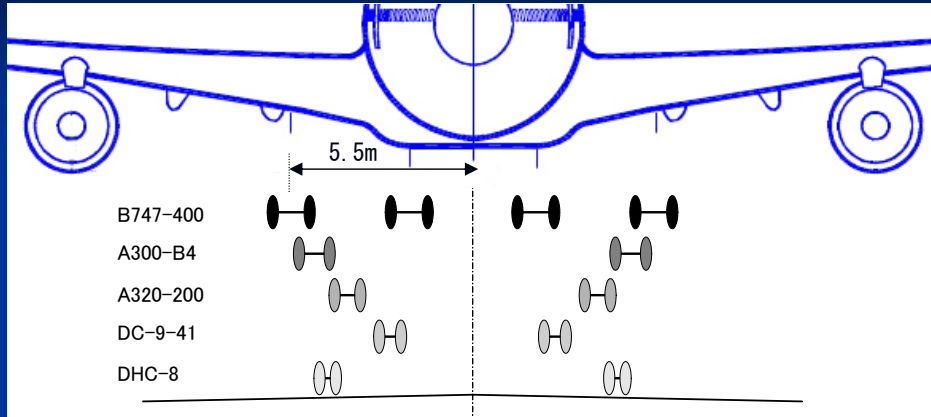
43

疲労度を小さくするには



44

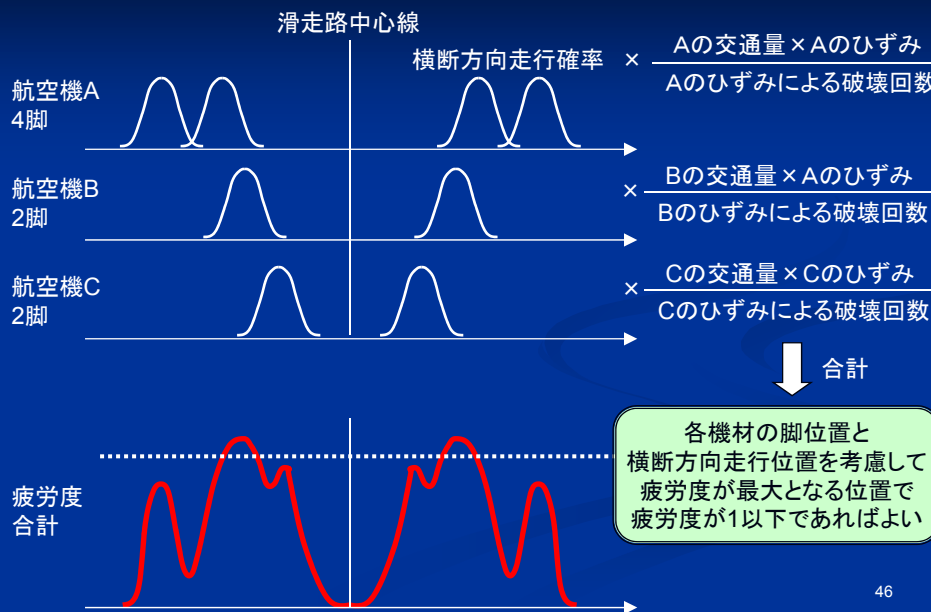
再び、横断方向走行位置



- ・機材によって脚の位置が異なる
- ・横方向に走行位置がブレる
 →最大ひずみがいつも／どの機種でも
 同じ回数だけ発生するわけではない

45

再び、横断方向走行位置



46

減厚等

経験的設計法

基準舗装厚に対する減厚は、
走行頻度や走行速度を考慮して、
舗装区域別に0.9や0.8などの係数で行っていた

理論的設計法

下記を考慮して設計することにより、
結果は概ね上記と等しくなる

- ・位置別の交通量
- ・位置別の荷重
- ・位置別の走行速度
- ・位置別の横断方向走行位置分布

47

具体的計算方法

ひずみの計算

多層弾性解析プログラムを使用(非常に簡単)
「多層弾性理論による舗装構造解析入門(土木学会)」
GAMES 「土木学会舗装工学委員会」HPから
ダウンロード可能

疲労度の計算

ひずみの計算結果などからExcelで計算
機種ごとのひずみ(月別)
機種ごとの交通量
機種ごとの走行位置
機種ごとの横断方向走行位置分布

48

理論的設計法まとめ

- 性能を満たせばよい
今のところ「荷重支持性能」で舗装厚が決まる
- 「構造的破損」には20年, 「路面的破損」には10年
荷重支持性能で舗装厚が決まるので,
設計交通量としては「20年」
- 荷重支持性能の照査は「疲労度」で行う
アスコン(ひび割れ), 路床(圧縮破壊)
- みなし規定として「経験的設計法」は残している
「多くの経験」による経験的設計法の厚さがあれば
荷重支持性能を満足するとみなしてよい

49