

平成20年度 港湾空港技術講演会

性能規定型の新しい 空港舗装設計法について



平成20年10月8日
 国総研 空港研究部 空港施設研究室
 水上 純一

空港舗装設計の手順等

	旧	新
アスファルト 舗装	設計 CBR 設計反復作用回数 設計航空機荷重 舗装区域（施設種別） ↓ 舗装厚表 舗装厚決定	各層弾性係数 設計離着陸交通量 設計航空機荷重 施設種別 ↓ 仮舗装厚設定 ↓ 荷重支持性能の照査 走行安全性能の照査 表層の耐久性能の照査（Asのみ） ↓ 舗装厚決定
コンクリート 舗装	設計 K 値 設計反復作用回数 設計航空機荷重 舗装区域（施設種別） ↓ 版厚図表 舗装厚決定	

<設計供用期間>

- わが国におけるこれまでの破損事例の調査結果等から下記を標準とする。
- ・アスファルト舗装およびコンクリート舗装の荷重支持性能 : 20年
 - ・コンクリート舗装の走行安全性能 : 20年
 - ・アスファルト舗装の走行安全性能 : 10年
 - ・アスファルト舗装の表層の耐久性能 : 10年

内容

アスファルト舗装の設計について

従来の「空港舗装構造設計要領」の概要

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

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

コンクリート舗装の設計について(要点のみ)

3

アスファルト舗装の構成

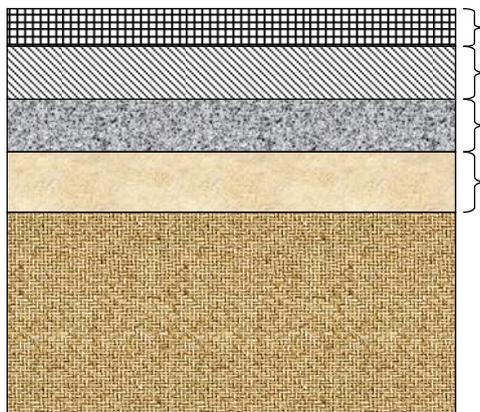
表層

基層

上層路盤

下層路盤

路床



適切な層厚を
算定

4

設計手順

上層路盤, 下層路盤を「粒状材」で構成する場合の舗装厚を「基準舗装厚」と言う

基準舗装厚

= 表基層厚 + 上層路盤厚 + 下層路盤厚

設計の順番

- ① 基準舗装厚 (全体の厚さ)
- ② 表基層厚
- ③ 上層路版厚
- ④ 下層路盤厚

5

設計手順

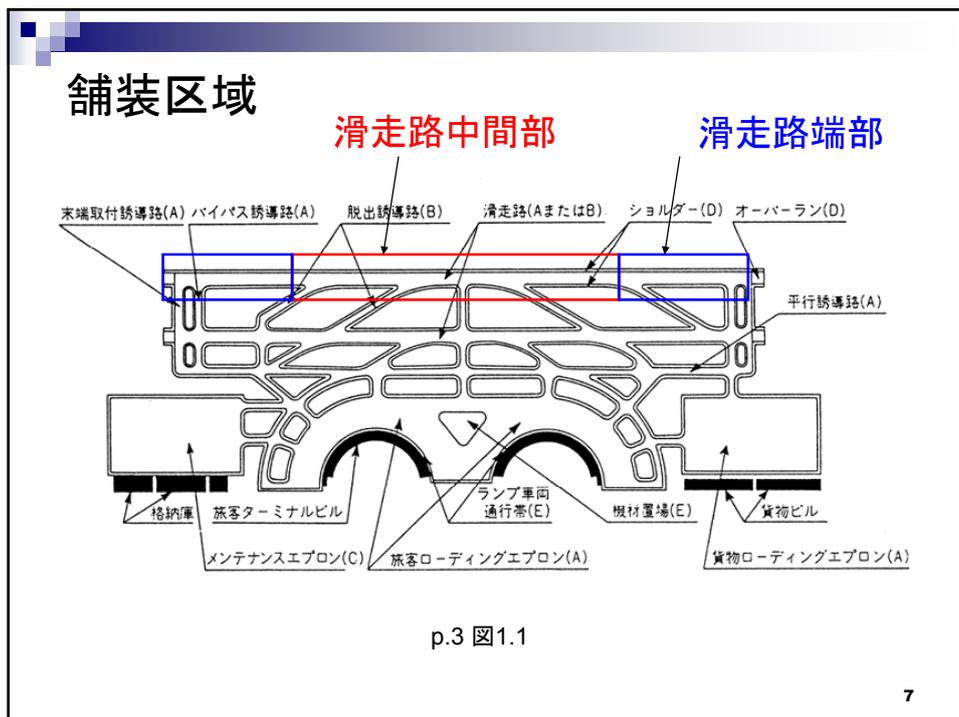
・表基層厚

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?)

6



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

8

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

9

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

10

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。

11

基準舗装厚

LA-1の基準舗装厚

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

12

基準舗装厚

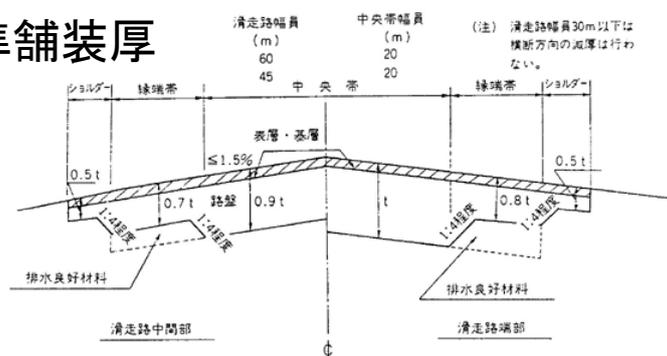


図-3.1 基準舗装厚の低減 (断面)

舗装区域による減厚

舗装区域	基準舗装厚の比 (%)
A	100
B	90
C	80
D	50

滑走路横断方向の減厚

	滑走路 端部 (A区域)	滑走路 中間部 (B区域)
中央帯	100	90
縁端帯	80	70
シールド	50	50

13

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

14

「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.

15

「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

16

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	代表機種の荷重	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

17

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)

18

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

19

「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)

20

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,

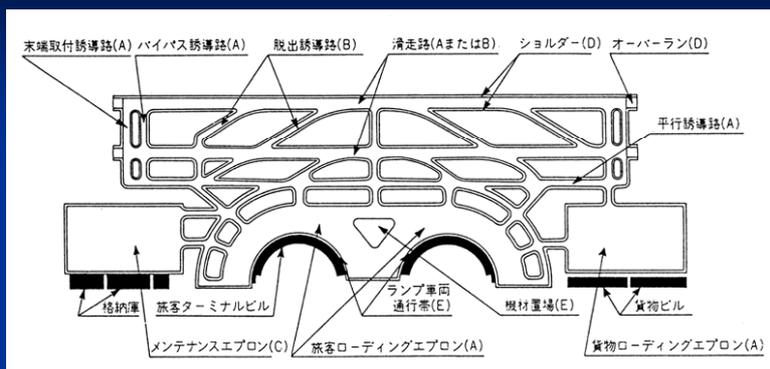
荷重支持性能	一般に20年
走行安全性能	一般に10年
表層の耐久性能	一般に10年

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

21

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

22

設計荷重

経験的設計法

代表機種の離陸時荷重

(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)

23

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

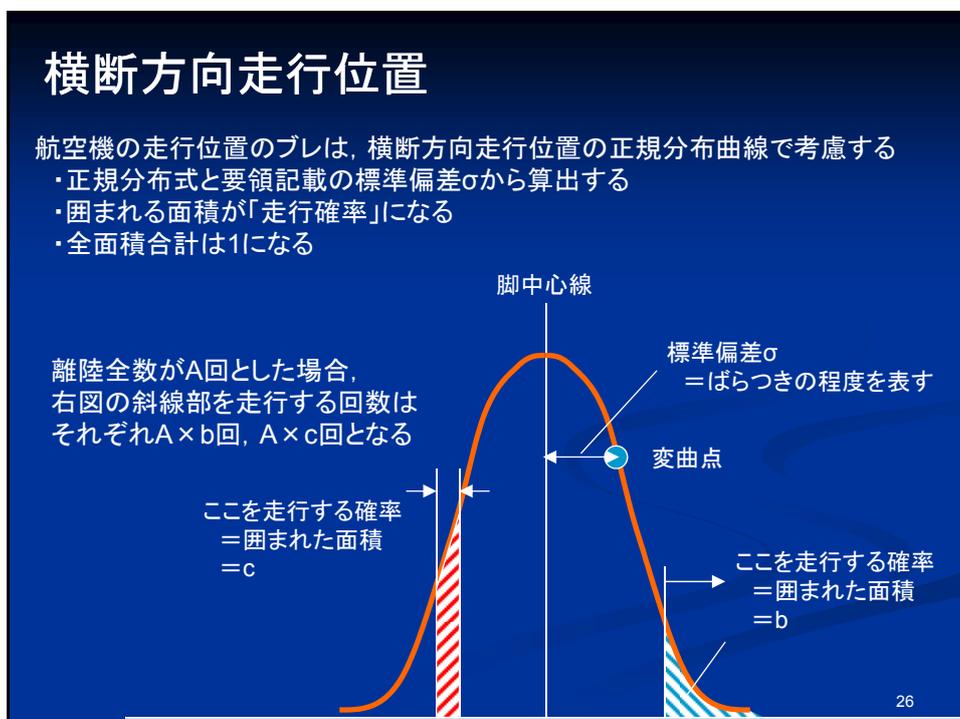
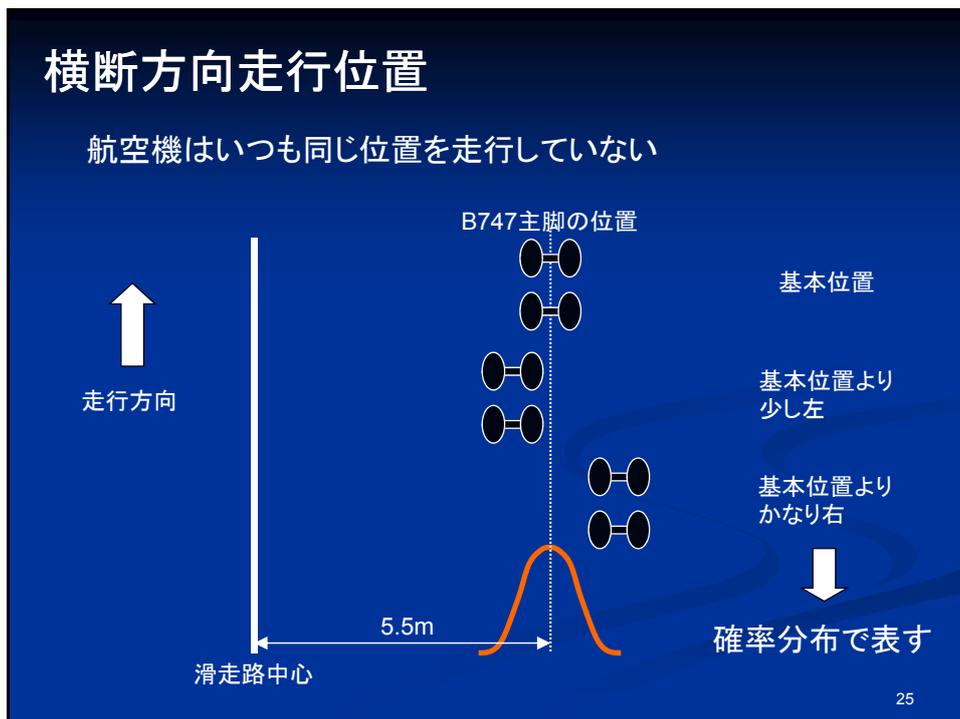
160km/h 滑走路中間部

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

24



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

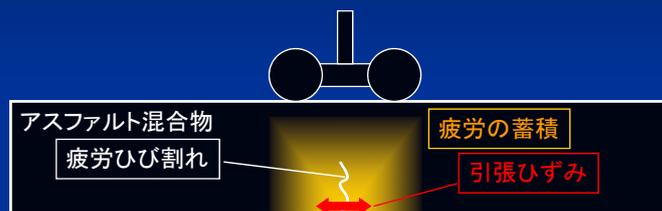
航空機 コード	滑走路 離陸時	滑走路 着陸時	平行誘 導路	高速脱出 誘導路
E, F	0.91m	1.74m	0.67m	0.74m
B~D	0.74m	1.10m	0.57m	0.63m

使い方は後述...

27

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



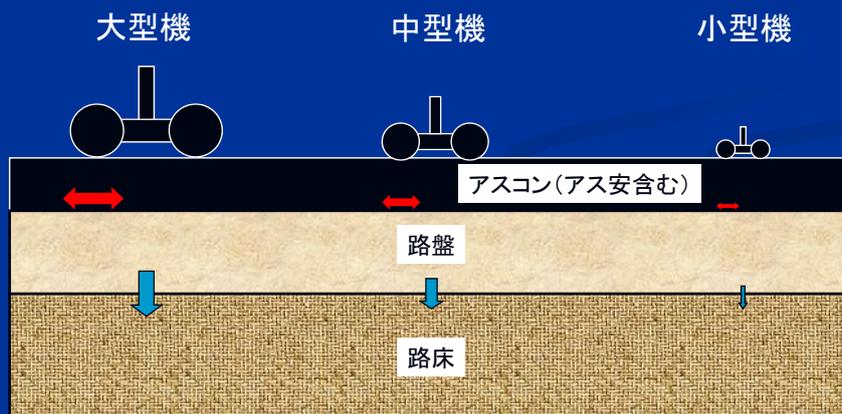
28

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

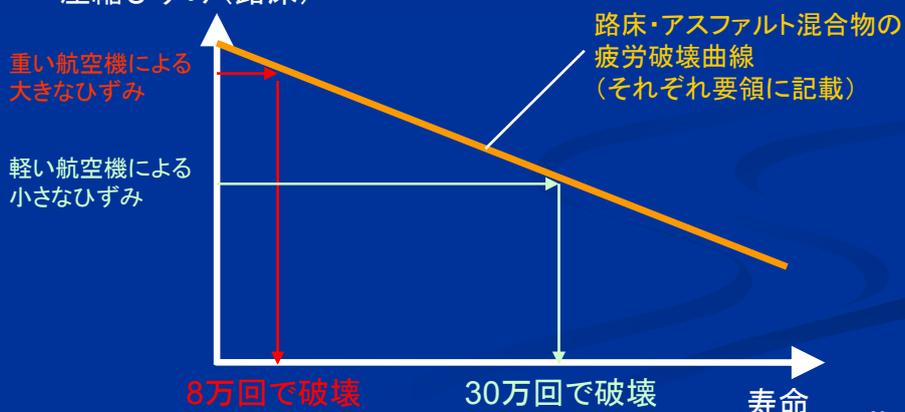
タイヤ直下のアスコン層下面
脚中央の路床上面

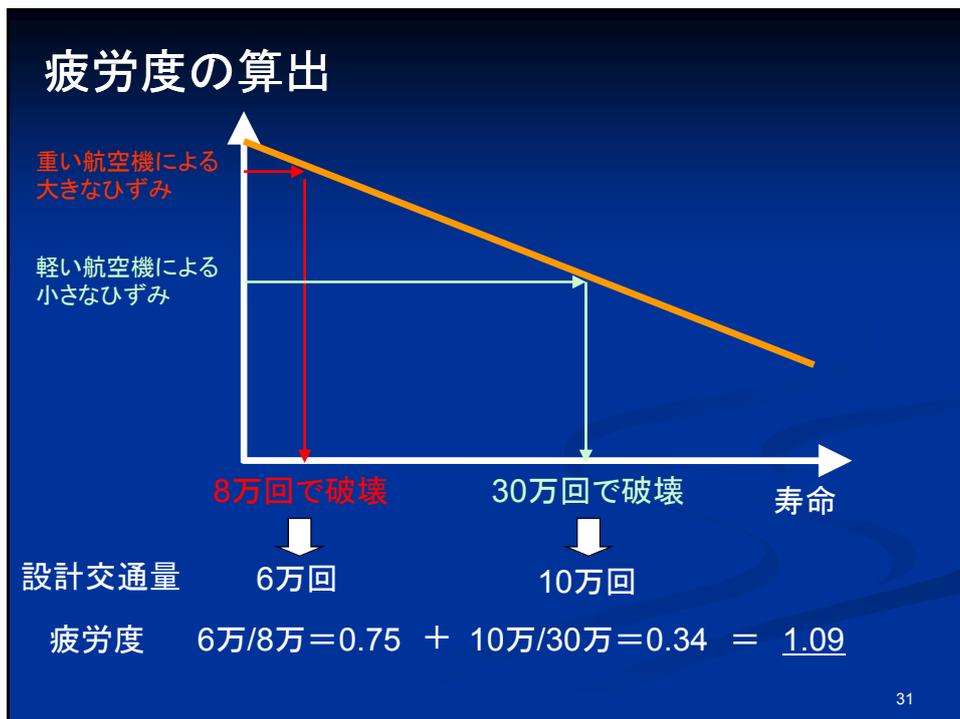


疲労破壊曲線

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

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

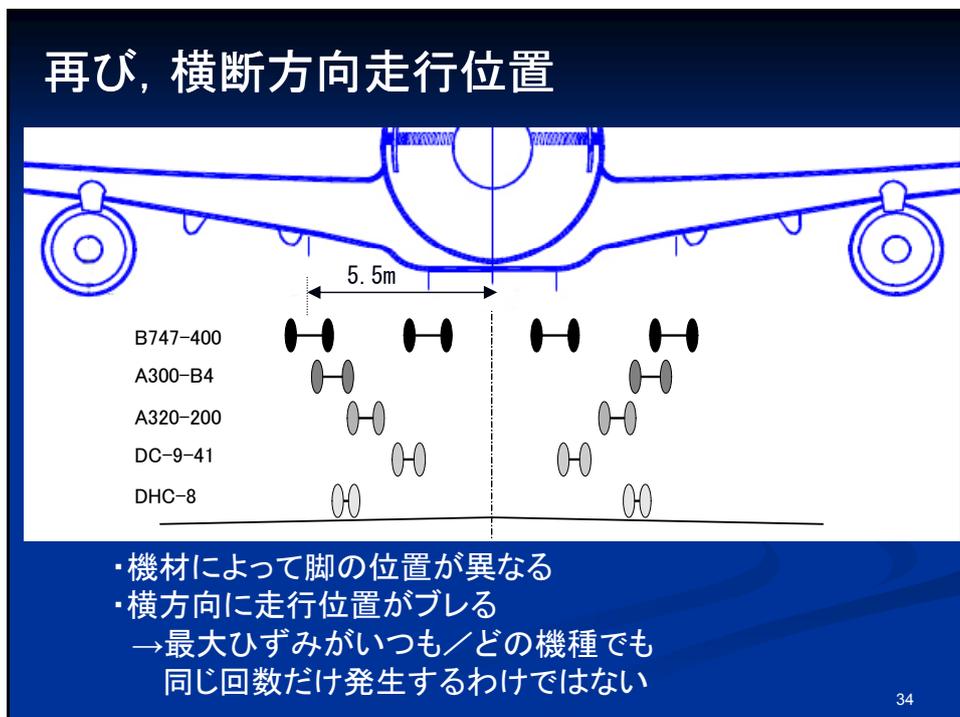
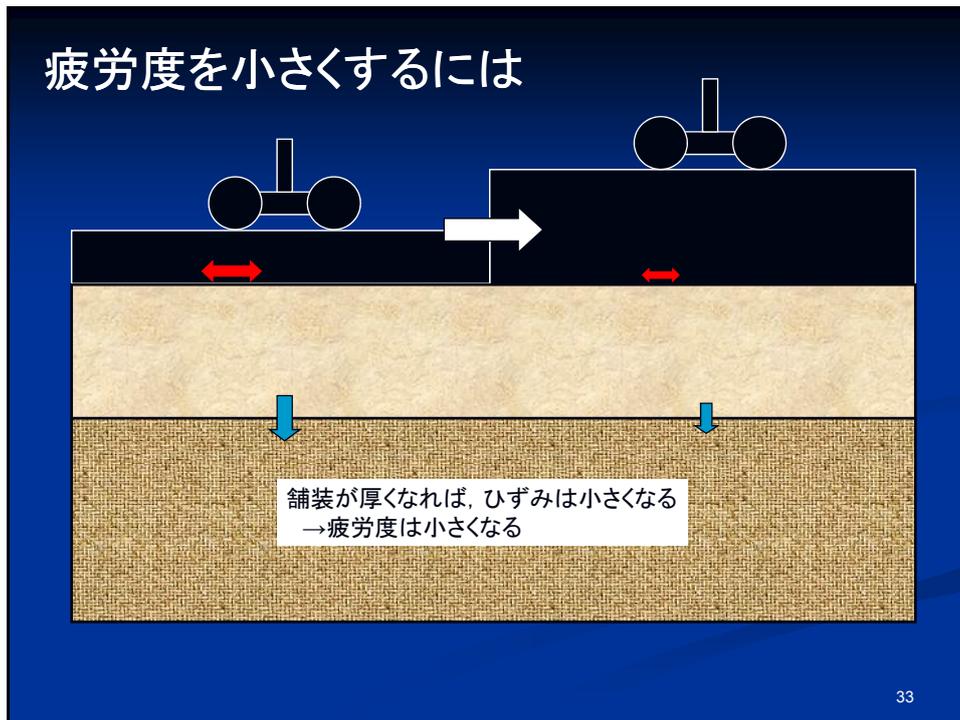
アスコンの疲労度の合計 **1.550** > 1.000 →NG

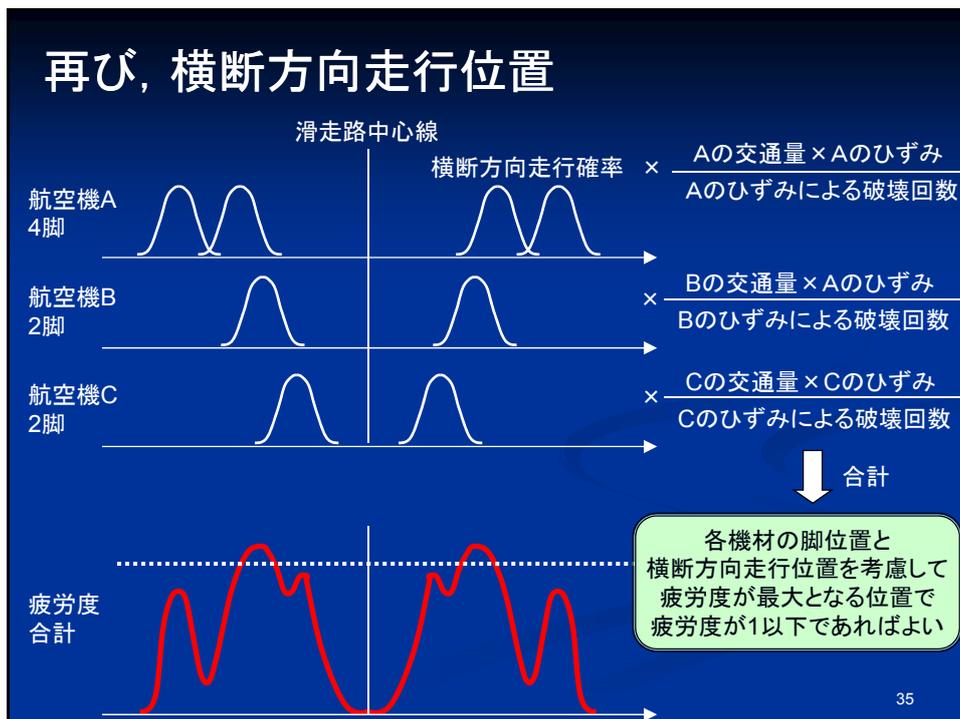
航空機	①路床のひずみ	②路床疲労破壊曲線から計算される破壊回数	③交通量から求まる繰返し回数	④疲労度 (③/②)
B747	800 μ	100,000回	60,000	0.600
B767	760 μ	200,000回	50,000	0.250
A320	640 μ	800,000回	100,000	0.125

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

32





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

36

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

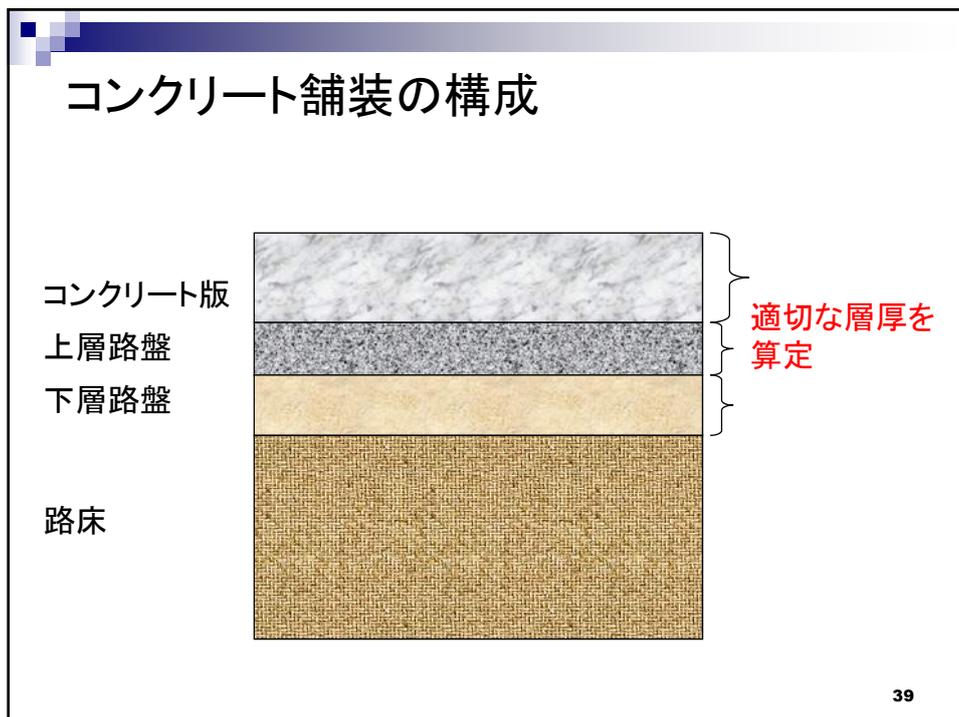
ひずみの計算結果などからExcelで計算
機種ごとのひずみ(月別)
機種ごとの交通量
機種ごとの走行位置
機種ごとの横断方向走行位置分布

37

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

38



コンクリート版厚

設計荷重の区分	設計反復作用回数の区分		
	M	N	O
LA-1	37	42	45
LA-12	32	36	39
LA-2	30	34	36
LA-3	27	30	32

路版の設計支持力係数 70MN/m^3
 コンクリートの設計基準曲げ強度 5.0N/mm^2 の場合

↓

舗装区域	基準舗装厚の比 (%)
A	100
B	90
C	80
D	60

↓
 コンクリート版厚
 $= 42\text{ cm} \times 100\%$
 $= 42\text{ cm}$

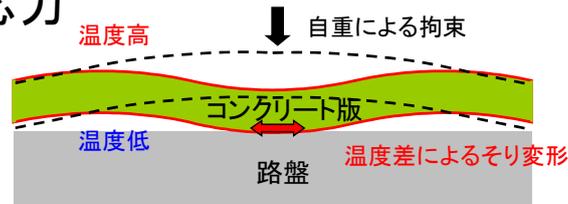
40

コンクリート版厚表の背景

- ・荷重応力
航空機荷重がコンクリート版に載荷された際に
コンクリート版下面に生じる応力
版が厚くなれば荷重応力は減少する
- ・温度応力
日温度によるコンクリート版の膨張, 収縮, 反り等の
変形が拘束されることにより発生する応力
(動きたくてもコンクリート版は動けない)
- ・安全率
温度応力と疲労の影響が良くわからないため,
過去の経験から交通量に応じた安全率を使用する

41

温度応力



曲げ拘束応力の模式図

曲げ拘束応力

版上下面温度差で上記のように反りたくても自重により反れない
日中は引張応力

内部拘束応力

深さ方向の温度分布は非線形だが変形は線形
曲げ拘束応力の反対向き

軸拘束応力

温度上昇で水平方向に伸びたくても摩擦により伸びることができない
日中は圧縮応力

42

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・路盤の支持力に対する照査	たわみ量	○
	② コンクリート版の疲労ひび割れに対する照査	疲労度	○
	③ 凍上に対する照査	凍結深さ	○
走行安全性能	④ すべりに対する照査	すべり摩擦係数	みなし (荷重支持性能と共通仕様書)
	⑤ 段差に対する照査	段差量	みなし (スリッパードアウエルバー)

「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)

43

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
- ・過大なたわみ量、版の疲労ひび割れが発生しない
(版厚は後者で決まる)
- ・版厚を仮定し、「**コンクリート版の疲労度**」を計算する
- ・疲労度が1.0以上なら、版を厚くして再計算
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
「荷重応力」を計算する → FEM等
「温度応力」を計算する → 国総研の温度応力式
「疲労破壊曲線」を使用する → 要領に記載

44

「荷重支持性能」照査フロー

- ① 部位別の設計条件の設定
- ③ の荷重応力, 温度応力の算出に使用
設計荷重, 気温
- 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 版厚の仮定
- ③ 荷重応力, 温度応力の算出
- ④ 版の疲労度の算出

45

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
走行安全性能

一般に20年

一般に20年

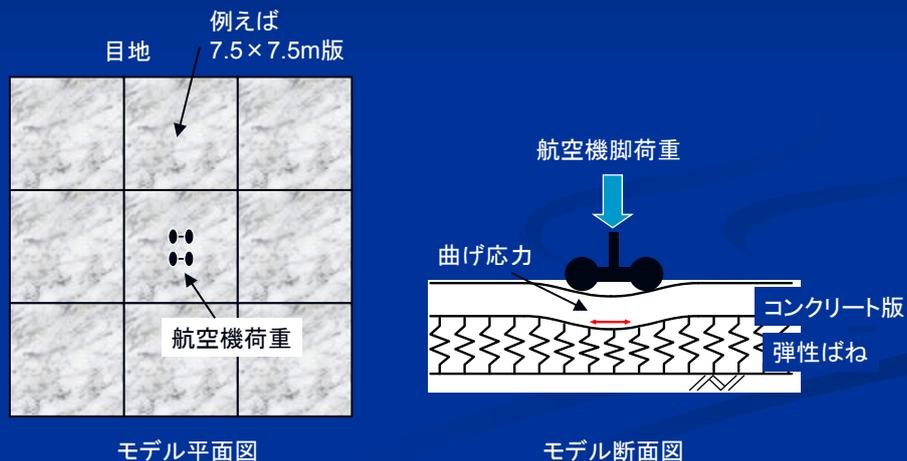
理由:

10年で疲労ひび割れは発生していない

46

荷重応力

FEM等により、ばね要素に支持される版に発生する応力を算出
 応力の算出位置は**版中央**でよい(後述)



47

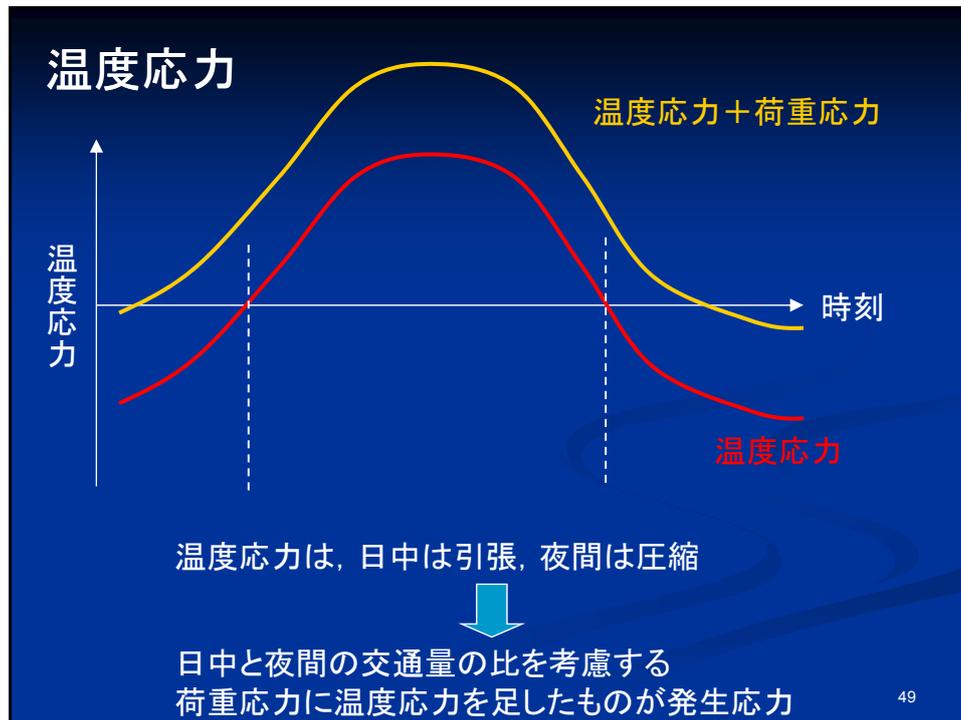
温度応力

版上下面の温度差を温度応力の算定に使用

$$\sigma = \beta \frac{E\alpha\theta'}{2(1-\nu)}$$

- σ **版中央部**の温度応力 (N/mm²)
- β $-0.772h + 0.854$
- E コンクリートの弾性係数 (N/mm²)
- α コンクリートの線膨張係数 (10⁻⁶/°C)
- θ' 版上下面温度差 (°C, 時間帯により変化→国総研資料)
- ν ポアソン比

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
- 設計供用期間は「20年」
- 荷重支持性能の照査は
コンクリートの疲労度(ひび割れの防止)
たわみ量(大きな変形の防止)→これでは決まらない
- 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

ご清聴ありがとうございました

51