

# ヘリポート用舗装の 構造設計法

国土交通省国土技術政策総合研究所  
空港研究部 空港施設研究室長  
坪川 将丈

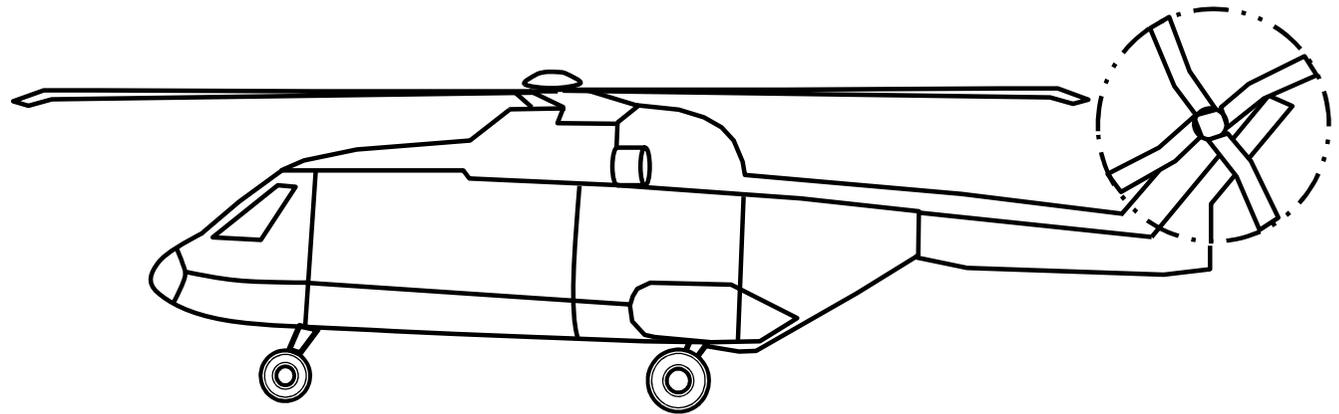
1. 背景・目的
2. アスファルト舗装の構造設計法(改正)
3. コンクリート舗装の構造設計法(新規)
4. 結論

# 予備知識

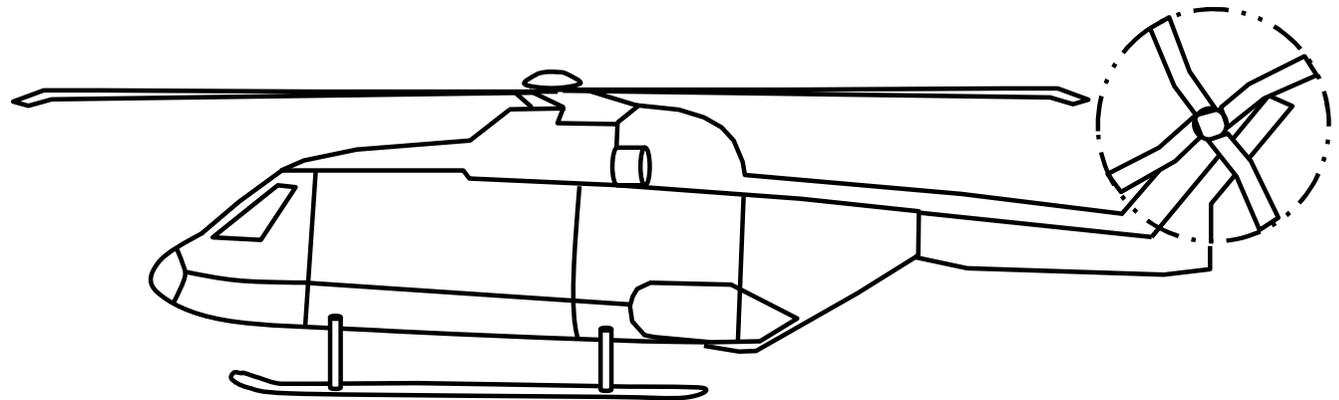
## 降着装置について

- タイヤ型: 大型機に多く, 滑走路着陸→エプロンまで自走
- スキッド型: 自走できないので, 滑走路付近まで降下→エプロンまでホバリングし着陸

タイヤ型



スキッド型



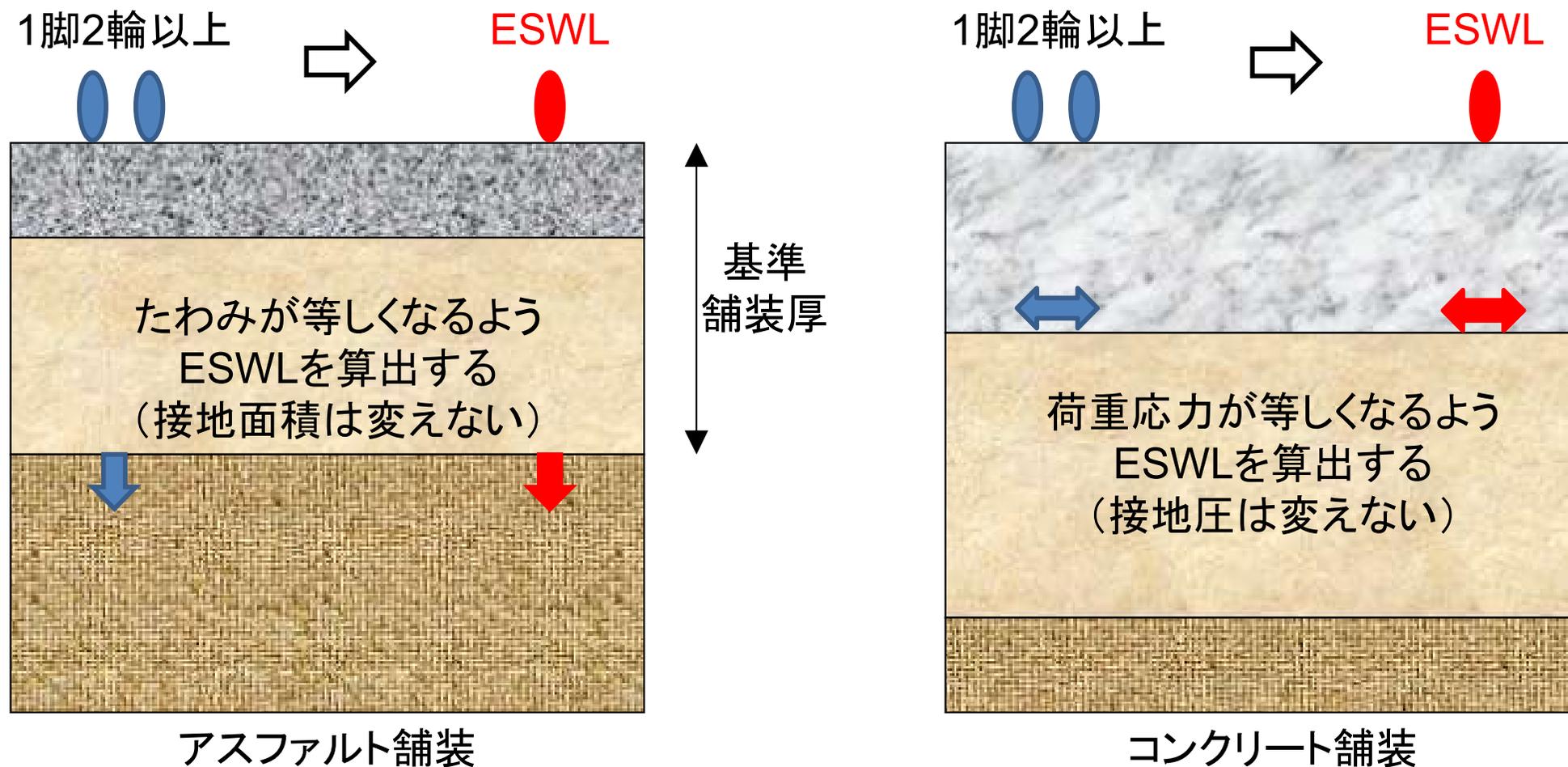
# 予備知識

ESWL (Equivalent Single Wheel Load)

- 空港舗装設計で使用される, 1脚2輪以上の脚荷重を単車輪荷重に換算した荷重.
- アスファルト舗装は「路床上面でのたわみが等価となる」ように設定する.
- コンクリート舗装は「版下面の荷重応力が等価となる」ように設定する.

基準舗装厚

- アスファルト舗装の設計で最初に決める「表基層+路盤」の厚さ.



# 1. 背景・目的

## 【背景】

- 平成6年 航空局「ヘリポート土木施設設計資料」にアスファルト舗装の構造設計法が掲載されているが、内容が古く、やや不明な点がある。
- コンクリート舗装の構造設計法が記載されていない。
- 当時よりもヘリコプターが大型化している。

## 【目的】

令和5年4月改正の空港土木施設設計要領(舗装設計編)に掲載することを目的として、ヘリポート用アスファルト舗装及びコンクリート舗装の構造設計法を検討した。

- ヘリ大型化への対応  
現行のヘリコプター荷重区分LH-1・2に上位の区分を追加し、LH-A・B・Cの3区分とした。
- 設計荷重・設計交通量の考え方  
設計荷重の考え方を見直し、設計交通量の算出を不要とした。
- コンクリート舗装の構造設計法  
他の設計航空機荷重区分と同様の手法で算定したコンクリート版厚を掲載した。

## 2. アスファルト舗装の構造設計法

### 現行の設計航空機荷重区分

荷重区分	最大離陸重量	設計荷重
LH-1	4t以上(40kN以上)	最大11トン×衝撃1.5とし、 当時のLA-4相当(YS-11)
LH-2	4t未満(40kN未満)	最大4トン×衝撃1.5とし、 当時のLA-5相当(DHC-6)

### 現行のアスファルト舗装の基準舗装厚

路床の 設計CBR (%)	LH-1 基準舗装厚 (cm)	LH-2 基準舗装厚 (cm)
2	77	39
2.5	67	35
3	60	31
3.5	55	29
4	50	27
4.5	46	25
5	43	24
6以上	38	24

## 2. アスファルト舗装の構造設計法

ヘリ資料に詳細は記載されていないが、昭和61年度「ヘリポート設計指針基本調査報告書」によれば、現行設計法の背景は以下の通り。

- 「粗暴な着陸等で発生するかもしれない」衝撃を考慮し、最大離陸荷重の1.5倍 (FAA) を採用。その結果、LH-2は当時のLA-5、LH-1は当時のLA-4に相当すると整理した。
- 設計反復作用回数は1,000回(10年)を採用し、これによる基準舗装厚を「設計反復作用回数5,000回(10年)未満用」として掲載した。

そこで、空港の場合の荷重区分 (LA-4 : 24t、LA-5 : 6t) を念頭に置き、ヘリコプターの最大重量<sup>\*1</sup> 2.7t (衝撃を考慮すると  $2.7 \times 1.5 = 4.1\text{t}$ ) を LA-6、2.7~4t (衝撃考慮し、4.1~6.0t) を LA-5、4~11t (衝撃考慮し、6.0~16.5t) を LA-45 とすることが考えられる。しかし、2.4.5の舗装構造の設計で述べるように LA-6 は LA-5 と、LA-45 は LA-4 とほぼ同等の構造となるため、最大重量4.0t (衝撃考慮し、6.0t) 未満のヘリコプターを LA-5、4t以上11tまでを LA-4 とする。

## 2. アスファルト舗装の構造設計法

衝撃荷重を考慮した設計法は以下の課題があることから、見直すこととした。

- 通常の空港舗装では、着陸時の燃料消費・揚力を考慮し衝撃は考慮していない。
- 全着陸回数に対する「粗暴な着陸」の頻度が不明。
- 舗装厚は「最大重量の一回の载荷」ではなく「荷重及び交通量」により決定するのが基本。LH-2(最大40kN)であれば40kNのヘリ使用頻度は低く、衝撃考慮で1.5倍した60kNの载荷頻度はさらに低い。

⇒それぞれの設計荷重区分の最大離陸重量を採用する(1.5倍しない)。

設計交通量についても以下の課題があることから、見直すこととした。

- ヘリコプターの離着陸回数から設計反復作用回数への換算方法が確立していない。  
注)設計反復作用回数＝重量の違い・走行位置のバラツキを考慮した交通量指標
- スキッド型はエプロンに直接着陸するが、タイヤ型は着陸後に自走してエプロンへ移動することが多く、滑走路・誘導路・エプロンごとの地上走行回数・着陸回数を推定することが困難。

⇒個々の設計における設計反復作用回数の算定は不要とした。

⇒後述するキャリブレーション結果も参考に、当時の5,000回(10年)を踏襲するが、これは現行の10,000回(20年)に相当するため、これを標準として採用。

## 2. アスファルト舗装の構造設計法

- 設計航空機荷重区分を以下の通り3区分とすることとした.
- 新旧名称が混乱しないよう, 名称を変更した.

最大離陸荷重		主な傾向
固定翼機	LA-4	DHC8-400(281kN), DHC8-300(191kN), ATR42-600(182kN)がある.
回転翼機	110kN以上	アグスタEH101(143kN)が該当し, 1脚2輪型の主脚.
	LH-1 110kN未満	タイヤ型が多く, 1脚1輪型の主脚.
	LH-2 40kN未満	スキッド型が多い.



設計航空機荷重区分	最大離陸重量
LH-A	110kN以上180kN未満
LH-B	40kN以上110kN未満
LH-C	40kN未満

## 2. アスファルト舗装の構造設計法

- 従来の基準舗装厚算定式を使用する.
- LH-Aは1脚2輪としてESWLを設定.
- LH-BとLH-Cは1脚1輪としてESWL = 輪荷重.

$$t = \sqrt{\frac{ESWL}{0.057 \cdot CBR} - \frac{A}{\pi}}$$

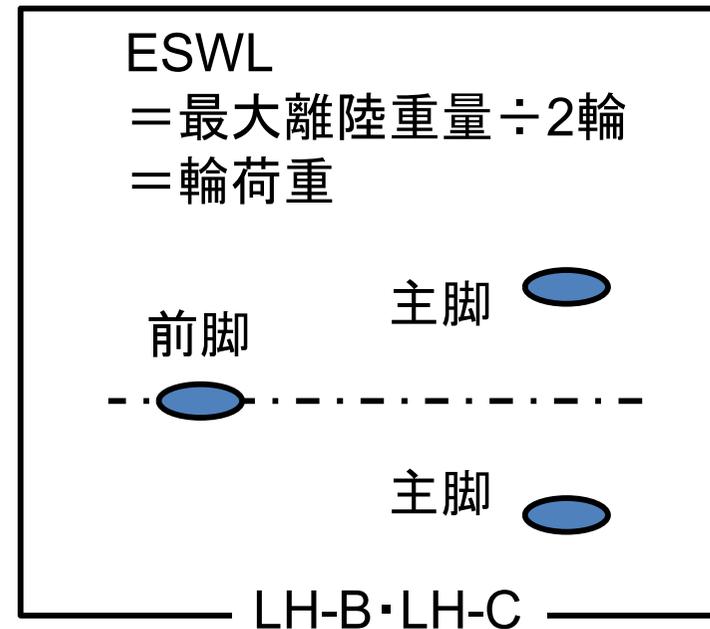
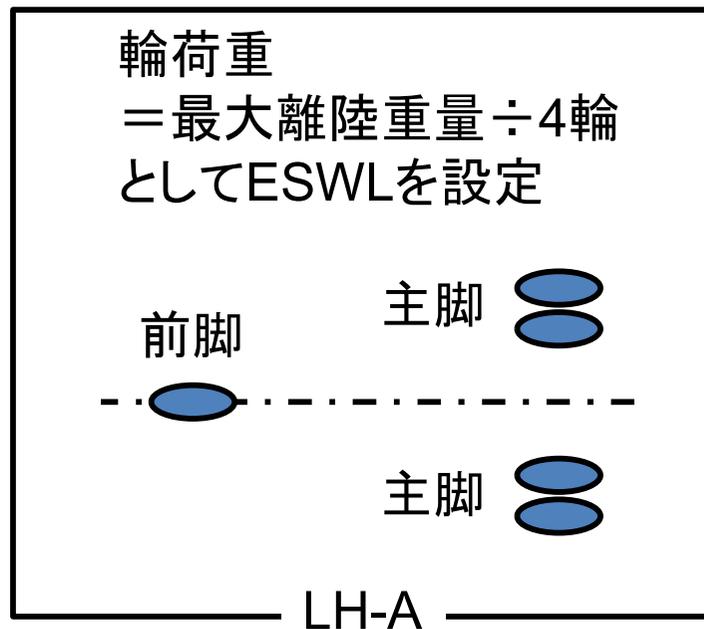
$t$  : 設計反復作用回数 10,000 回 (20 年) における基準舗装厚 (mm)

$ESWL$  : 等価単車輪荷重 (N) =  $pA$

$CBR$  : 路床の設計 CBR (%)

$A$  : 等価単車輪荷重の接地面積 ( $\text{mm}^2$ ) =  $ESWL/p$

$p$  : 等価単車輪荷重の接地圧 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) =  $ESWL/A$



## 2. アスファルト舗装の構造設計法

- 接地圧と輪荷重中心間隔は他の設計航空機荷重区分を参考に設定した。
- この条件における基準舗装厚を試算した。
- 最終的には、現行基準舗装厚と比較して条件を決定することとした。

設計航空機 荷重区分	機材名	脚荷重 (kN)	主脚 車輪数	輪荷重 (kN)	接地圧 (N/mm <sup>2</sup> )	輪荷重 中心間隔 (cm)
LA-4	DHC8-400	132	2	66	0.95	49.6
	DHC8-300	90	2	45	0.70	43.7
LH-A	仮想機材	90	2	45	0.7~1.0	40~50
LH-B	仮想機材	55	1	55	0.7~1.0	—
LSA-1	ドルニエ228-200	25	1	25	0.48	—
	DHC6-300	25	1	25	0.29	—
LH-C	仮想機材	20	1	20	0.3~0.5	—
LSA-2	N24A	19	2	9.5	0.30	32.2
	BN-2A	13	2	6.5	0.25	32.0

## 2. アスファルト舗装の構造設計法

LH-C(現・LH-2)の基準舗装厚を検討した。

- 接地圧の影響は軽微である。
- 現行LH-2とほぼ一致する(設計荷重減と交通量増が相殺されている)。
- 増厚となる条件が最も少ない接地圧 $0.3\text{N/mm}^2$ のケースを採用した。

路床の 設計 CBR (%)	LH-2 基準舗装厚 (cm)	接地圧 $0.3\text{N/mm}^2$		接地圧 $0.4\text{N/mm}^2$		接地圧 $0.5\text{N/mm}^2$	
		LH-C 基準 舗装厚 (cm)	差 (cm)	LH-C 基準 舗装厚 (cm)	差 (cm)	LH-C 基準 舗装厚 (cm)	差 (cm)
2	39	40	+1	40	+1	41	+2
2.5	35	35	0	36	+1	36	+1
3	31	31	0	32	+1	33	+2
3.5	29	29	0	30	+1	30	+1
4	27	26	-1	27	0	28	+1
4.5	25	24	-1	25	0	26	+1
5	24	23	-1	24	0	24	0

## 2. アスファルト舗装の構造設計法

LH-B(現LH-1)の基準舗装厚を検討した.

- 接地圧の影響は軽微である.
- 現行LH-1から減厚となる.
- 現行に最も近い接地圧 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ のケースを採用した.

路床の 設計 CBR (%)	LH-1 基準舗装厚 (cm)	接地圧 $0.7\text{N}/\text{mm}^2$		接地圧 $0.8\text{N}/\text{mm}^2$		接地圧 $0.9\text{N}/\text{mm}^2$		接地圧 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$	
		LH-B 基準 舗装厚 (cm)	差 (cm)	LH-B 基準 舗装厚 (cm)	差 (cm)	LH-B 基準 舗装厚 (cm)	差 (cm)	LH-B 基準 舗装厚 (cm)	差 (cm)
2	77	68	-9	68	-9	69	-8	69	-8
2.5	67	61	-6	61	-6	61	-6	61	-6
3	60	55	-5	55	-5	55	-5	56	-4
3.5	55	51	-4	51	-4	51	-4	51	-4
4	50	47	-3	47	-3	48	-2	48	-2
4.5	46	44	-2	44	-2	45	-1	45	-1
5	43	41	-2	42	-1	42	-1	42	-1
6	38	37	-1	38	0	38	0	38	0

## 2. アスファルト舗装の構造設計法

LH-Aの基準舗装厚を検討した。

- 接地圧及び輪荷重中心間隔の影響は軽微である。
- 主脚車輪数及び輪荷重が同じLA-4のDHC8-300を参考に、接地圧 $0.7\text{N}/\text{mm}^2$ 、輪荷重中心間隔 $40\text{cm}$ のケースを採用した。

路床の 設計 CBR (%)	接地圧 $0.7\text{N}/\text{mm}^2$		接地圧 $0.8\text{N}/\text{mm}^2$		接地圧 $0.9\text{N}/\text{mm}^2$		接地圧 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$	
	基準 舗装厚 (cm)	との差 (cm)	基準 舗装厚 (cm)	との差 (cm)	基準 舗装厚 (cm)	との差 (cm)	基準 舗装厚 (cm)	との差 (cm)
2	86	0	86	0	86	0	86	0
2.5	76	0	76	0	76	0	76	0
3	69	0	69	0	69	0	69	0
3.5	63	0	63	0	63	0	64	+1
4	58	+1	59	+1	59	+1	59	+1
4.5	55	0	55	0	55	0	55	0
5	51	0	51	0	52	+1	52	+1
6	46	0	46	0	46	0	46	0
7	41	+1	42	+1	42	+1	42	+1
8	38	0	38	0	38	0	39	+1
9	35	0	35	0	36	+1	36	+1
10	32	+1	33	+1	33	+1	33	+1

路床の 設計 CBR (%)	輪荷重中心間隔 $40\text{cm}$		輪荷重中心間隔 $50\text{cm}$	
	基準 舗装厚 (cm)	との差 (cm)	基準 舗装厚 (cm)	との差 (cm)
2	86	-1	85	-1
2.5	76	-1	75	-1
3	69	-2	67	-2
3.5	63	-2	61	-2
4	58	-1	57	-1
4.5	55	-2	53	-2
5	51	-2	49	-2
6	46	-2	44	-2
7	41	-2	39	-2
8	38	-3	35	-3
9	35	-3	32	-3
10	32	-2	30	-2

接地圧の影響

輪荷重中心間隔の影響

## 2. アスファルト舗装の構造設計法

上層路盤厚, 表基層厚を検討した.

- 固定翼機, トーイングトラクタ, ヘリコプターを問わず, 経験的に定められている.
- 基準舗装厚の以下の序列を参考に, 最も近い条件を採用した.

(厚)LA-4 → LT-12 → LH-A → LH-B → LT-2 → LH-C → LSA-2(薄)

現行の  
上層路盤厚

設計航空機 荷重区分	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8 以上	
LH-1	20 (15)										
LH-2	15							20 (15)*			



新しい  
上層路盤厚

設計航空機 荷重区分	路床の設計 CBR (%)									
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8 以上
LH-A	20 (15)									15 (15)
LH-B	20 (15)									15 (15)
LH-C	10 (10)									

現行の表基層厚

設計航空機 荷重区分	表層厚 (cm)	基層厚 (cm)
LH-1	4	4
LH-2	4	—



新しい表基層厚

設計航空機 荷重区分	表層厚合計厚 (cm)
LH-A	9 (5)
LH-B	8 (5)
LH-C	4 (4)

### 3. コンクリート舗装の構造設計法

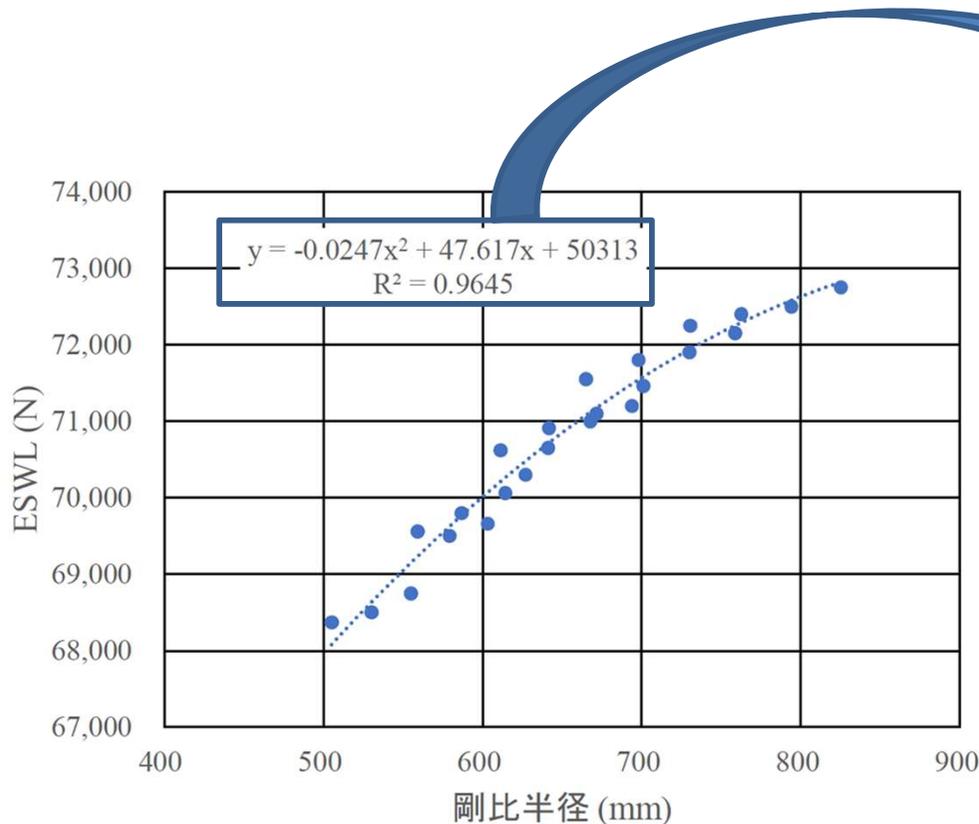
- 荷重諸元, 設計反復作用回数の設定はアスファルト舗装と同一とし, 他の設計航空機荷重区分と同様に, コンクリート版の荷重応力と安全率により版厚を決定した.
- 利便性を考慮し, 荷重応力の算出にはWestergaard中央部載荷プログラムではなく, ほぼ同一の値が得られる荷重応力式を採用した(1脚2輪荷重のLH-Aは後述).
- 一般的な条件である「路盤 $K=70\text{MN/m}^3$ , コンクリート設計曲げ強度 $5.0\text{N/mm}^2$ 」における版厚を以下に示す. 他の条件の場合も荷重応力式により算出可能である.

版厚毎の荷重応力

版厚 (cm)	LH-A	LH-B		LH-C		
	プログラム	プログラム	応力式	プログラム	応力式	
15	3.263	2.960	2.975	1.029	1.033	
16	2.960	2.656	2.671	0.925	0.930	
17	2.695	2.401	2.411	0.837	0.841	
18	2.470	2.176	2.187	0.760	0.765	
採用版厚	荷重応力が $2.5\text{N/mm}^2$ 以下となる18cm		荷重応力が $2.5\text{N/mm}^2$ 以下となる17cm		設計要領で最小版厚 としている15cm	

### 3. コンクリート舗装の構造設計法

- 荷重応力式は単車輪用であり, LH-Aの1脚2輪荷重を考慮できないため, 路盤やコンクリートの設計条件が異なる場合はESWLを算出する必要がある.
- ESWLの算出は煩雑であるため, LH-Aの1脚2輪荷重用のESWL推定式を検討した.
- 図のとおり, 剛比半径によりESWLを推定できるが, ESWLをやや過小評価する場合もあるため, 上方修正した推定式を示した. 真のESWLと推定ESWLにより荷重応力式で算出した荷重応力の差は1%以下である.



定数項を上方修正

$$ESWL = -0.0247 \cdot l^2 + 47.617 \cdot l + 50807$$

ここで,

$ESWL$  : LH-A の荷重条件による版厚 15~20cm の推定 ESWL (N)

$l$  : 剛比半径 (mm)  $= \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot K}}$

$E$  : コンクリートの弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$h$  : コンクリート版厚 (mm)

$\mu$  : コンクリートのポアソン比

$K$  : 路盤の設計支持力係数 (N/mm<sup>3</sup>)

## 4. 結論

- 設計荷重及び設計反復作用回数を明確にした。
- アスファルト舗装の基準舗装厚，上層路盤厚，表基層厚を設定した。
- コンクリート舗装の版厚を設定した。また，路盤支持力係数やコンクリート設計曲げ強度が異なる場合を想定し，版厚を容易に算出する手法を提示した。