

空港舗装の 設計反復作用回数 に関する考察

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
坪川 将丈, 河村 直哉

概要

- 空港舗装設計の交通量指標である設計反復作用回数について
- 換算係数の根拠を明瞭に・包括的に記した文献が存在しないため、既往文献を基に各年代の換算係数の根拠を整理し明確にした。
 - 車輪位置の換算方法について、換算係数を使用しない手法による試算・分析を行った。

荷重の換算方法(2章)

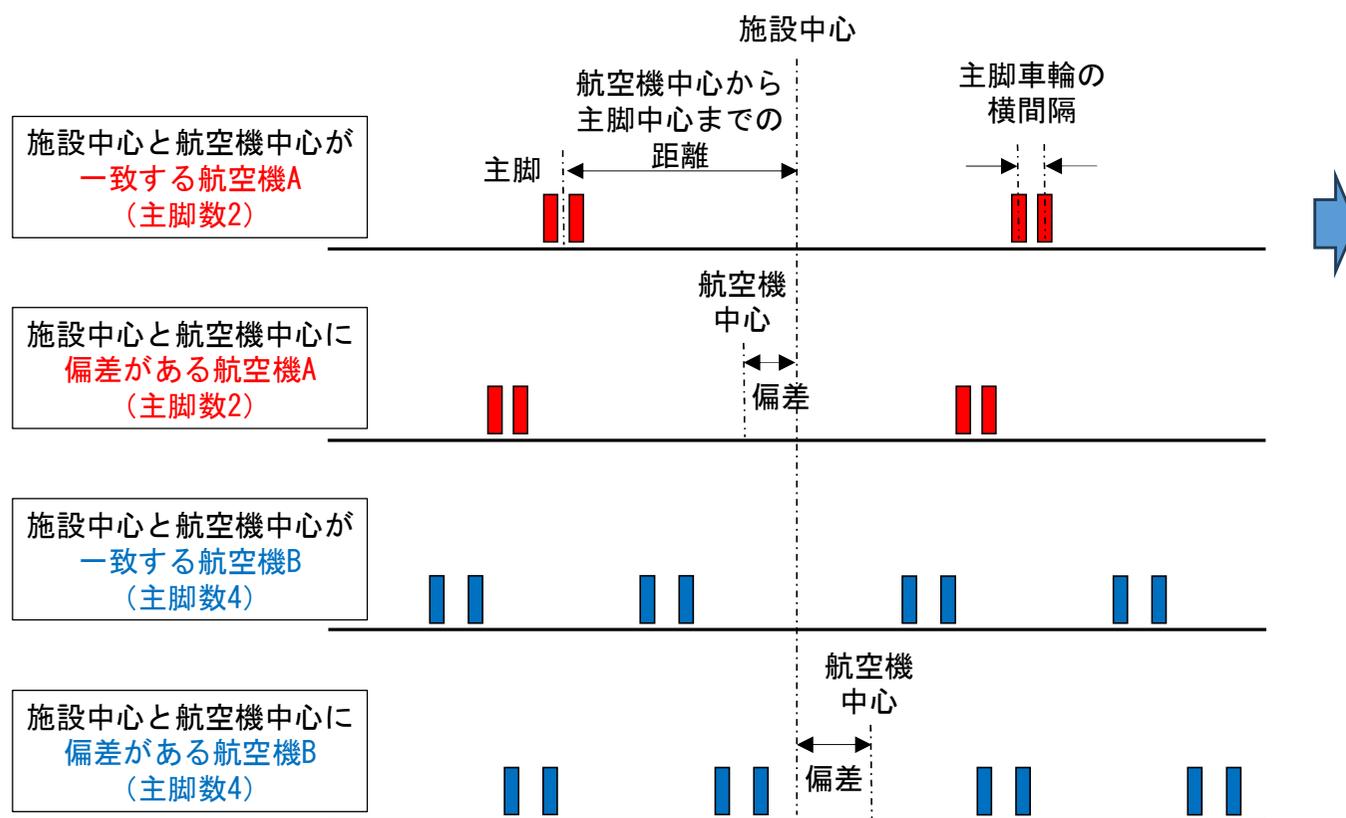
- 舗装厚は「設計荷重」と「設計交通量」で決まる. 設計交通量の指標は設計反復作用回数.
- 設計反復作用回数は「荷重の換算」と「車輪位置の換算」を行い算出する「設計荷重が同一位置を走行する回数」である.
- 「荷重の換算」は次式で行う. 設計荷重には等価単車輪荷重ESWLを用いる. ESWLとは「主脚の複数の輪荷重の影響を換算した単車輪荷重」.



$$\sqrt{\text{設計荷重} \cdot \log_{10}(\text{設計交通量})} = \text{一定}$$

車輪位置の換算方法(2章)

- 「車輪位置の換算」は、施設横断方向の様々な位置を走行する・車輪位置が異なる航空機の走行回数を、ある特定の位置・範囲を走行する回数に換算する。
- 換算係数**を用いる。換算係数の算出方法には「平均法」「ピーク法」がある(後述)。



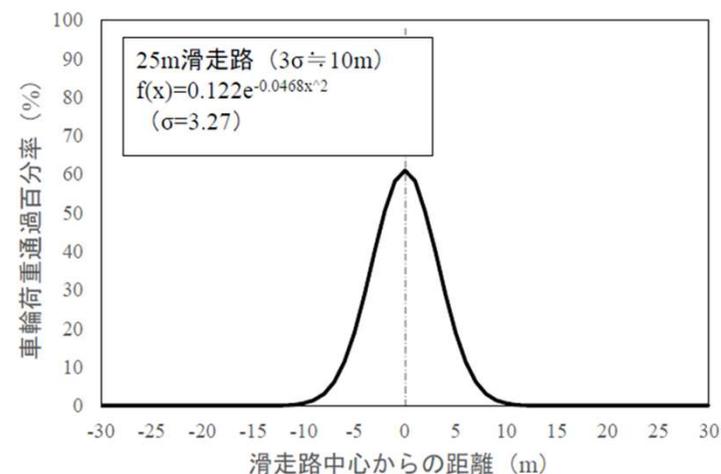
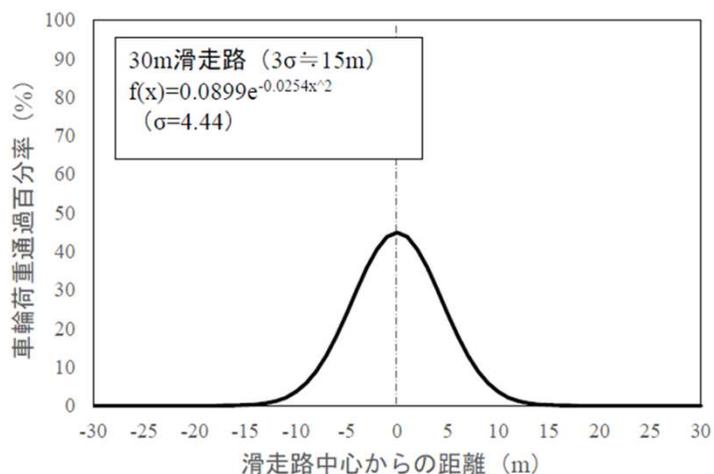
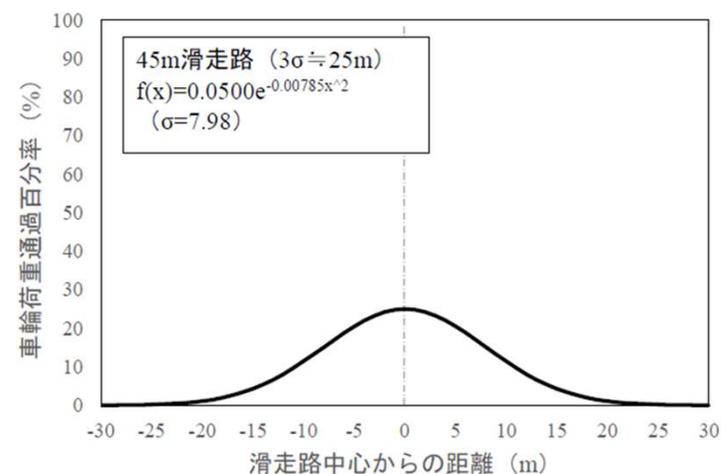
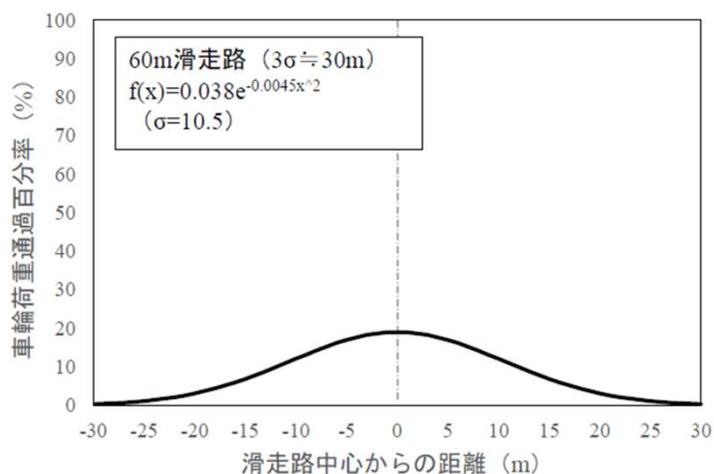
施設を走行する
主脚車輪の
合計数を算出
(車輪位置未考慮)

換算係数を乗じる
(車輪位置考慮)

設計反復作用回数

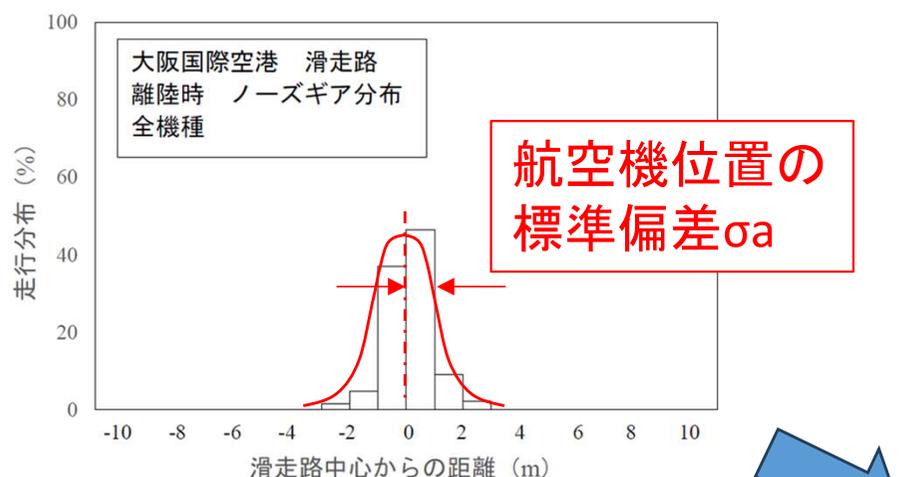
車輪位置分布に関する既往調査結果(2章)

- 1968年に東京航空局が実施. 調査報告書は未確認.
- 他の文献に「主脚車輪の跡から観測した」との記載アリ. 以下の主脚車輪分布図が示されている.
- 以降ではこのような主脚車輪分布を「単峰型」と称する.
- 1970年型, 1976年型で使用されている.

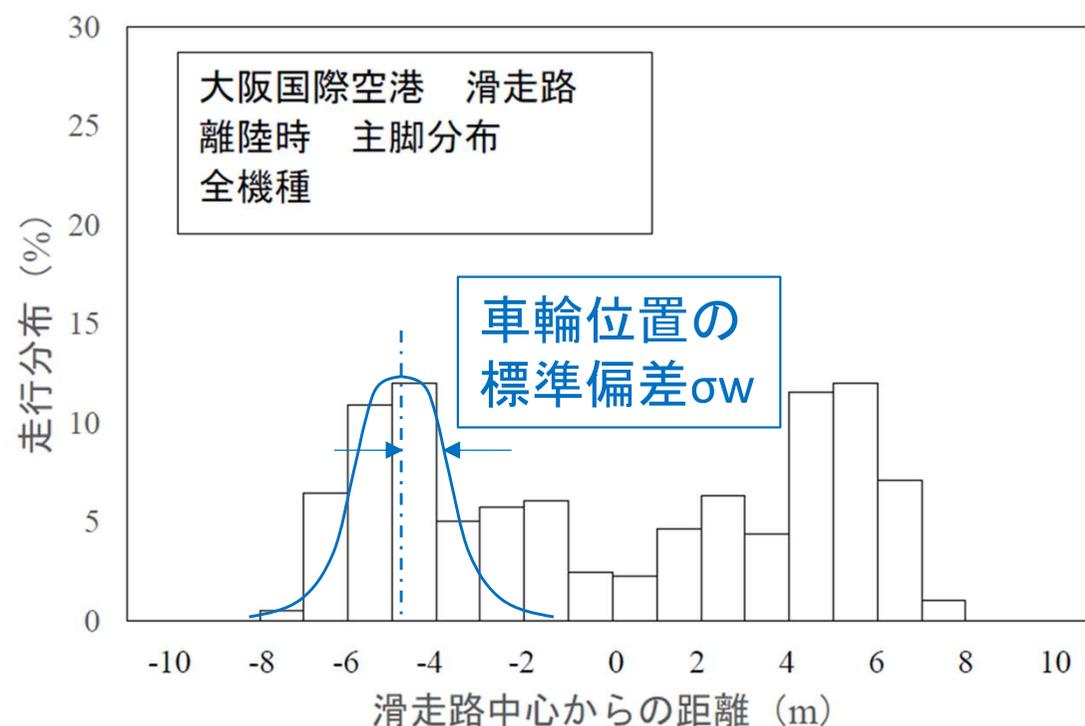


車輪位置分布に関する既往調査結果(2章)

- 1988年に港研(八谷・梅野)が大坂国際空港・松山空港で実施. 調査結果は港研資料に掲載.
- 「前脚車輪の分布を計測し, そこから主脚車輪の分布を整理」との記載アリ.
- 航空機位置分布図・主脚車輪分布図が示されている.
- 以降ではこのような主脚車輪分布を「双峰型」と称する.
- 1990年型で使用されている.



航空機中心から車輪までの距離を用いて車輪位置を逆算・集計



各年代の設計反復作用回数算出方法のまとめ(3章)

- 文献では「平均法」「ピーク法」の2分類とされているが、文献調査の結果、単峰型と双峰型で算出方法が若干異なるため、正確には4分類である。
- 各年代の算出根拠が明瞭となるよう、細部にわたり定式化した。

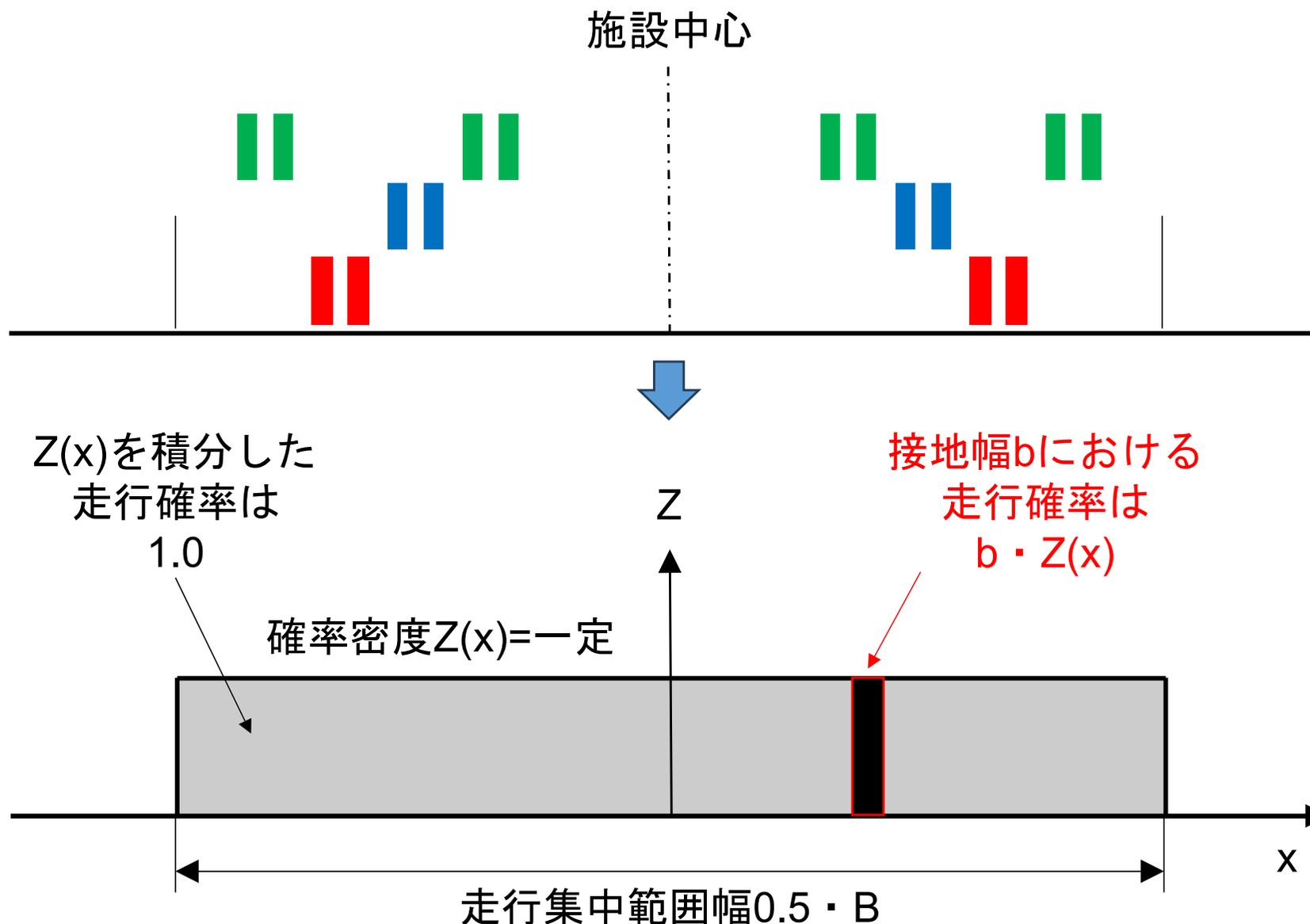
算出方法	荷重の換算	車輪位置の換算	
1970年型	車輪位置の換算 より 先に行くか 後に行くか のみが異なる	単峰型平均法	施設幅に応じた 換算係数を使用
1976年型		単峰型ピーク法	
1990年型		双峰型ピーク法 と推測される	航空機の 大きさに応じた 換算係数を使用



	平均法	ピーク法
単峰型	単峰型平均法 1970年型	単峰型ピーク法 1976年型
双峰型	双峰型平均法	双峰型ピーク法 1990年型

1970年型の算出方法(3.1)

- 文献調査の結果, 1968年調査を基とした**単峰型平均法**である.
- 平均法で必要となる「走行集中範囲」の設定は **$0.5 \cdot B$** (B は施設幅).
- 換算係数は施設幅に応じて**算出**.



1970年型の算出方法(3.1)

• 1970年型の算出例

航空機			車輪位置の換算					荷重の換算				
			$Pass_i$ (回)	w_i (輪)	b_i (m)	B (m)	α_i	NW_i (回)	F_i (kN)	F_0 (kN)	β_i	NWL_i (回)
A	1	離陸	16,300	4	0.30	60	0.04	652	254.2	267.1	0.976	556
	2	着陸	16,300	4	0.30	60	0.04	652	214.8	267.1	0.897	334
B	3	離陸	25,000	4	0.30	60	0.04	1,000	267.1	267.1	1.000	1,000
	4	着陸	25,000	4	0.30	60	0.04	1,000	222.7	267.1	0.913	549
C	5	離陸	20,000	4	0.30	60	0.04	800	118.3	267.1	0.666	86
	6	着陸	20,000	4	0.30	60	0.04	800	113.2	267.1	0.651	78
<i>Coverage =</i>											2,602	

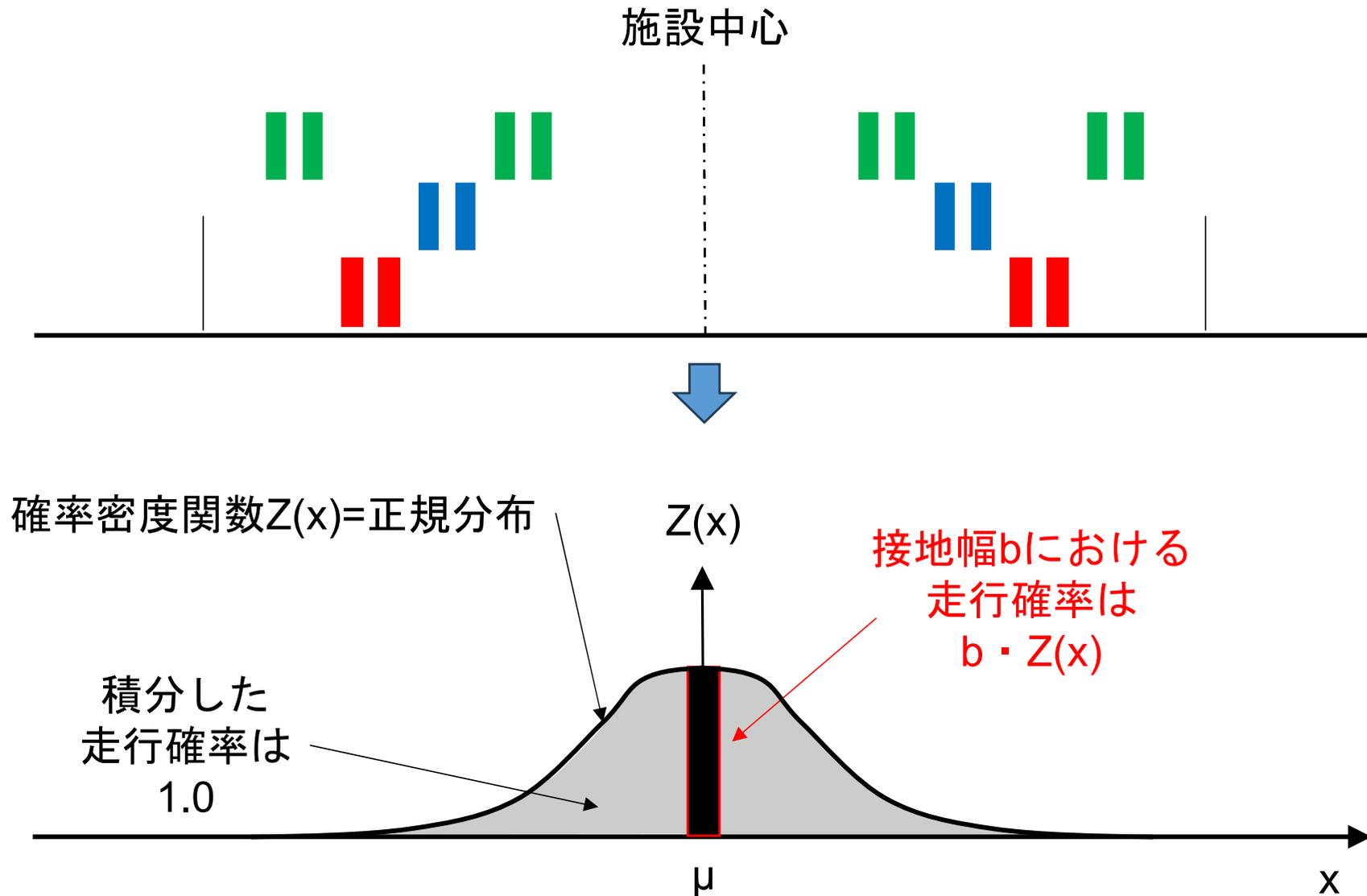
機材に応じて
換算係数を
算出する

車輪位置換算後の
走行回数

車輪位置・荷重
双方の換算後の
走行回数を
合算

1976年型の算出方法(3.2)

- 文献調査の結果, 1968年調査を基とした**単峰型ピーク法**である.
- 換算係数は施設幅に応じて**選択(5種類)**.



1976年型の算出方法(3.2)

• 1976年型の算出例

航空機			荷重の換算				車輪位置の換算		
			$Pass_i$ (回)	F_i (kN)	F_0 (kN)	β_i	NL_i (回)	w_i (輪)	$w_i \cdot NL_i$
A	1	離陸	16,300	254.2	267.1	0.976	12,859	4	51,437
	2	着陸	16,300	214.8	267.1	0.897	5,989	4	23,956
B	3	離陸	25,000	267.1	267.1	1.000	25,000	4	100,000
	4	着陸	25,000	222.7	267.1	0.913	10,371	4	41,482
C	5	離陸	20,000	118.3	267.1	0.666	728	4	2,914
	6	着陸	20,000	113.2	267.1	0.651	631	4	2,524
$w_i \cdot NL_i$ の合計=									222,313
施設幅 60m ($\alpha = 0.01$) とした場合のCoverage =									2,223



 荷重換算後の
 走行回数

 ↑

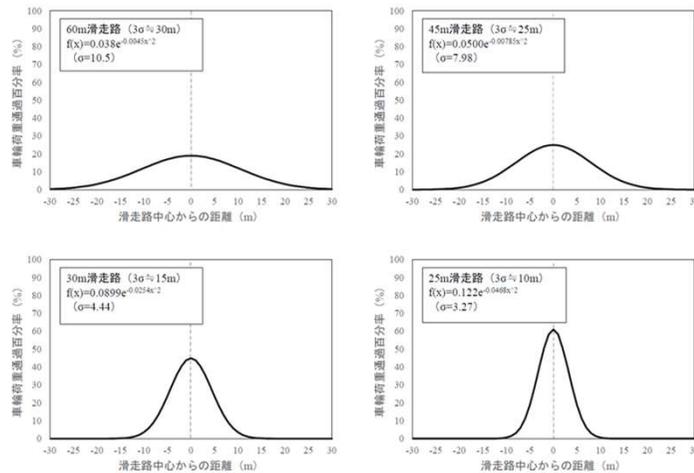
 横断方向

 主脚車輪合計数

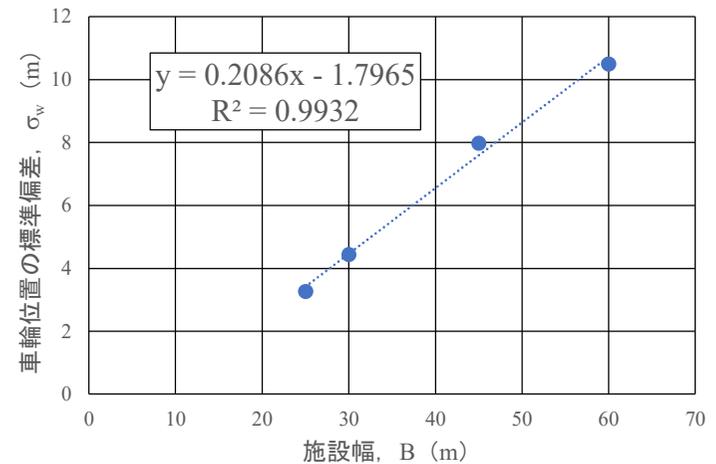
 乗じて合算し
 最後に
 換算係数

1976年型の算出方法(3.2)

- 1976年型の換算係数を単峰型ピーク法で試算し概ね一致した.



1968年調査結果

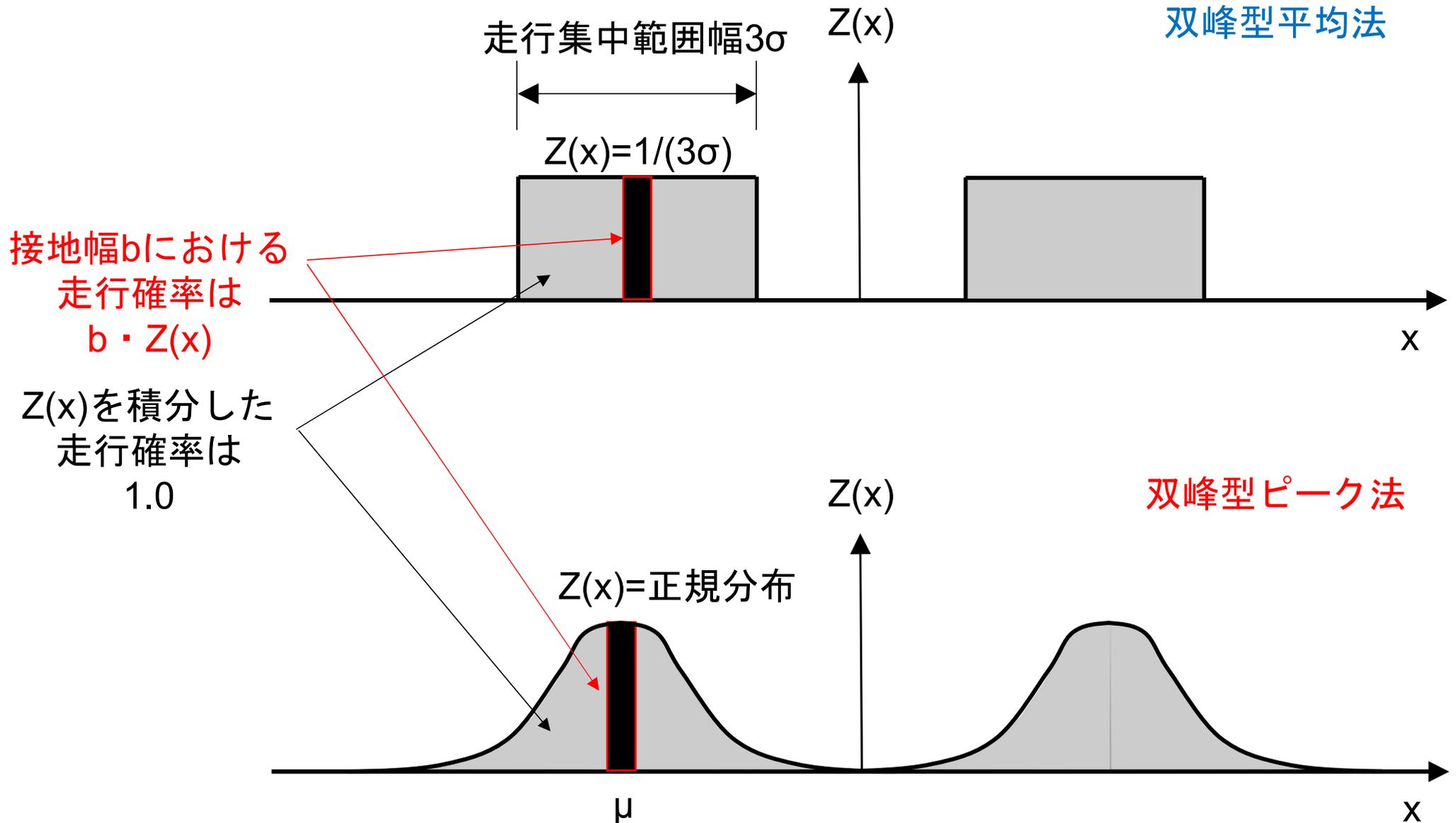


施設幅に応じた
車輪位置標準偏差 σ_w の推定

施設幅(m)	設計要領の 換算係数	試算した 換算係数
20	0.05	0.0503
25	0.04	0.0350
30	0.03	0.0268
45	0.02	0.0158
60	0.01	0.0111

1990年型の算出方法(3.3)

- 現在も使用している算出方法. 文献調査の結果, 1988年調査を基としている.
- 双峰型平均法(走行集中範囲 3σ と記載)なのか双峰型ピーク法なのか, 文献により相違があり不明瞭.



1990年型の算出方法(3.3)

- 1990年型の換算係数を試算したところ**双峰型ピーク法と概ね一致した。**

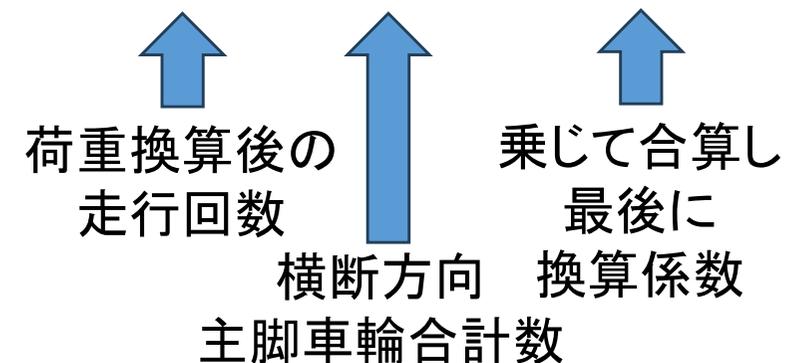
滑走路	設計要領の 換算係数	双峰型平均法で 試算した換算係数	双峰型ピーク法で 試算した換算係数
大型ジェット機が 就航する空港	0.03	0.0250	0.0299
中小型ジェット機が 就航する空港	0.04	0.0333	0.0399
プロペラ機及び 小型機のみが就航する空港	0.05	0.0417	0.0499

誘導路	設計要領の 換算係数	双峰型平均法で 試算した換算係数	双峰型ピーク法で 試算した換算係数
大型ジェット機が 就航する空港	0.04	0.0294	0.0352
中小型ジェット機が 就航する空港	0.05	0.0391	0.0468
プロペラ機及び 小型機のみが就航する空港	0.05	0.0403	0.0483

1990年型の算出方法(3.3)

• 1990年型の算出例

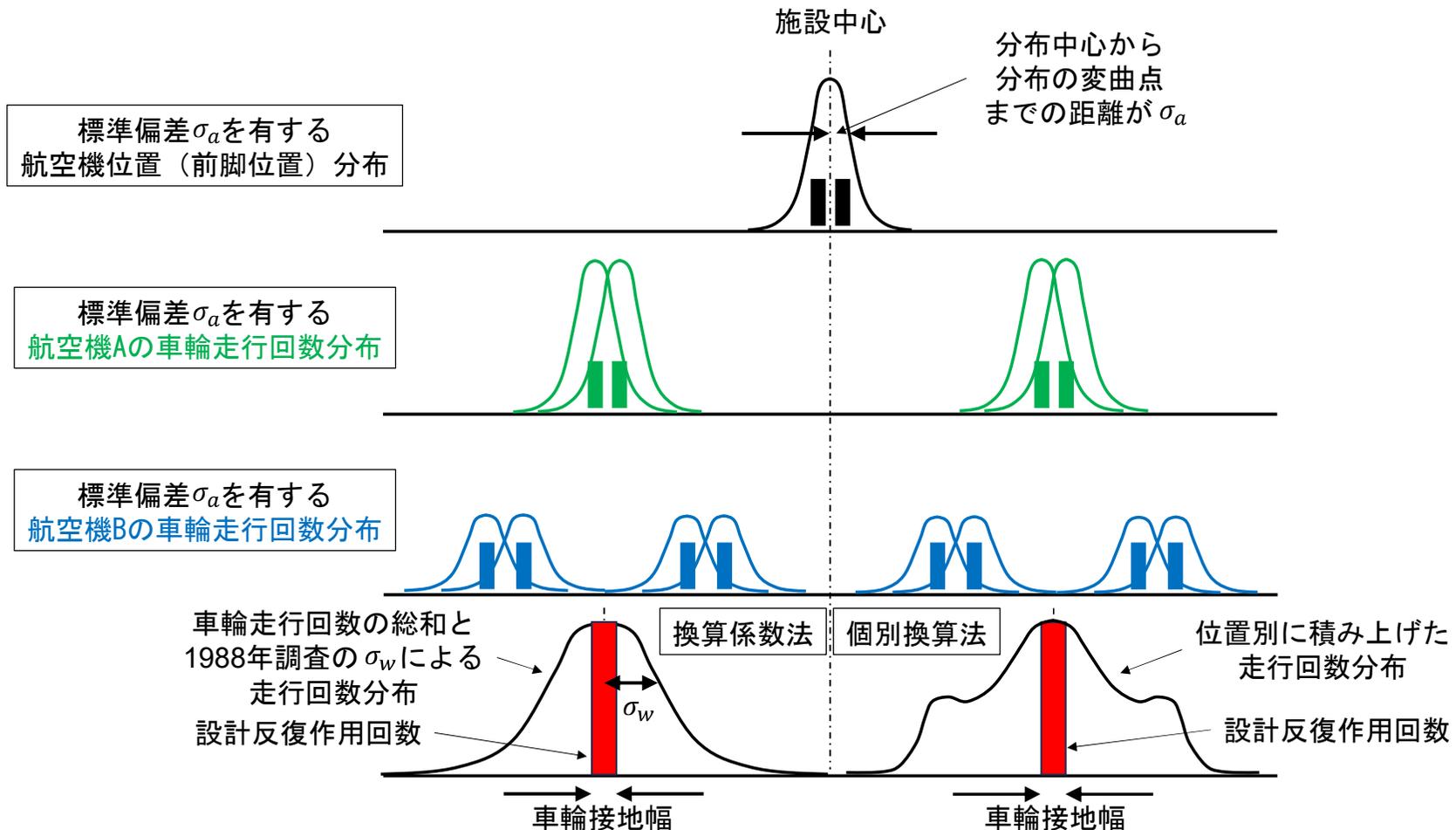
航空機			荷重の換算				車輪位置の換算		
			$Pass_i$ (回)	F_i (kN)	F_0 (kN)	β_i	NL_i (回)	w_i (輪)	$w_i \cdot NL_i$
A	1	離陸	16,300	254.2	267.1	0.976	12,859	4	51,437
	2	着陸	16,300	214.8	267.1	0.897	5,989	4	23,956
B	3	離陸	25,000	267.1	267.1	1.000	25,000	4	100,000
	4	着陸	25,000	222.7	267.1	0.913	10,371	4	41,482
C	5	離陸	20,000	118.3	267.1	0.666	728	4	2,914
	6	着陸	20,000	113.2	267.1	0.651	631	4	2,914
$w_i \cdot NL_i$ の合計=									222,313
大型ジェット機が就航する滑走路 ($\alpha = 0.03$) とした場合の $Coverage =$									6,669



車輪位置の換算方法に関する考察(4章)

課題 1990年型の換算係数は, 1988年の調査対象航空機の航空機別交通量・主脚の情報に左右される.

試算 車輪位置の標準偏差による換算係数を用いる方法を「換算係数法」、航空機位置の標準偏差を用いる方法を「個別換算法」と称する.
モデル交通量を基に「換算係数法」と「個別換算法」で設計反復作用回数を試算した.



車輪位置の換算方法に関する考察(4章)

試算結果

ケース	A	B	比率 B/A (%)	備考	
	換算係数法による 設計反復作用回数 (回)	個別換算法による 設計反復作用回数 (回)			
基本	10,007	10,300 ($x_{max} = 3.6$ m)	102.9		
A1	8,225	9,257 ($x_{max} = 3.3$ m)	112.6	B767-300 の 離着陸回数が 基本ケースの	0.5 倍
A2	13,546	13,742 ($x_{max} = 4.0$ m)	101.4		2 倍
B1	8,988	8,807 ($x_{max} = 3.5$ m)	98.0	A320-200 の 離着陸回数が 基本ケースの	0.5 倍
B2	11,905	13,105 ($x_{max} = 3.6$ m)	110.1		2 倍
C1	8,105	8,741 ($x_{max} = 3.9$ m)	107.9	B737-800 の 離着陸回数が 基本ケース	0.5 倍
C2	13,608	15,002 ($x_{max} = 3.2$ m)	110.2		2 倍

- 今回のモデル交通量では、概ね 換算係数法 < 個別換算法 の傾向があるが、設計反復作用回数の【区分】が変更になるほどの増加ではない。

注) アスファルト舗装は5区分(a~e), コンクリート舗装は3区分(M・N・O)

結論

- ① 1970年型の設計反復作用回数は単峰型平均法により算出されている。
- ② 1976年型の設計反復作用回数は単峰型ピーク法により算出されている。
- ③ 1990年型の設計反復作用回数は双峰型ピーク法により算出されていると推測される。
- ④ モデル交通量による試算では、換算係数法<個別換算法の傾向があるが、区分が変更になるほどの増加程度ではなかった。