

国内空港の滑走路・誘導路に発生する変状の実態

渡邊 明日香*・畑 伊織**・坪川 将丈***

要 旨

国内空港では安全性確保のため、空港の滑走路・誘導路において巡回点検が定期的に行われている。しかし将来的な人口減少による巡回点検作業員の不足が懸念され、滑走路・誘導路における巡回点検の効率化が急務となっている。巡回点検の効率化には、変状が多発しやすい箇所等、発生状況の実態の把握が不可欠であるものの、その実態は十分に分析されていない。

そこで本研究では、東京国際空港、長崎空港、鹿児島空港および松山空港を対象に、滑走路・誘導路で発生した変状のデータを整理し、変状が発生する位置の傾向や交通量との関係性等の分析を行った。その結果、航空機の車輪の走行位置で変状が発生していること、また変状多発範囲は航空機の走行特性の違いにより変化すること等が確認された。

キーワード：空港舗装，滑走路，誘導路，巡回点検，変状

* 空港研究部 空港施工システム室 交流研究員（パシフィックコンサルタンツ株式会社）

** 空港研究部 空港施工システム室 室長

*** 空港研究部 空港新技術研究官

目 次

1. はじめに	1
2. 東京国際空港を対象とした研究の概要	3
3. 東京国際空港の誘導路の変状発生分析	5
3.1 変状データの概要	5
3.2 交通量との関係性	6
3.3 舗装の経過年数との関係性	11
3.4 横断方向の変状発生分布	13
3.5 気象条件との関係性	17
3.6 総括	22
4. 東京国際空港の滑走路の変状発生分析	23
4.1 変状データの概要	23
4.2 横断方向の変状発生分布	25
4.3 縦断方向の変状発生分布	29
4.4 総括	33
5. 長崎空港, 鹿児島空港, 松山空港を対象とした研究の概要	34
6. 長崎空港, 鹿児島空港, 松山空港の誘導路の変状発生分析	34
6.1 変状データの概要	34
6.2 横断方向の変状発生分布	35
6.3 総括	38
7. 長崎空港, 鹿児島空港, 松山空港の滑走路の変状発生分析	39
7.1 変状データの概要	39
7.2 横断方向の変状発生分布	39
7.3 縦断方向の変状発生分布	44
7.4 総括	48
8. 結論	49
9. おわりに	49
参考文献	51
付録 A 宮崎空港, 高知空港, 鹿児島空港, 松山空港, 長崎空港, 北九州空港における 緊急補修工事箇所の実態整理	52
付録 B 鹿児島空港および松山空港の離陸・着陸時の走行経路	53

1 はじめに

我が国は、人口減少が深刻化している。総務省の国税調査¹⁾によると、2020年時点で総人口は12,615万人であるが、国立社会保障・人口問題研究所の「日本の将来推計人口（全国）」²⁾によると2070年には8,700万人まで落ち込むと推計されている。現状でも既に各業界において人手不足が叫ばれているが、それは土木業界においても例外ではない。国土交通省「建設業及び建設工事従事者の現状」³⁾によると、建設業就業者数は1997年をピークに年々減少傾向であり、人口減少への対処は喫緊の課題である。

航空法（昭和27年法第231号）第47条および法施行規則第92条1号、2号より、国内の空港を安全に運用するため、空港内の施設は適切に点検することが求められている。この法および法施行規則の下に実施されている重要な点検業務の一つに、滑走路・誘導路の巡回点検⁴⁾がある。巡回点検とは、日々の航空機の運航の安全性を確保することを目的とし、路面の異常の有無の確認や異常箇所の経時的な変化の観察を行う点検である。巡回点検は表-1.1のとおり、徒歩により施設全域の目視点検を行う「巡回点検Ⅰ」と、車上より特定区域の目視点検を行う「巡回点検Ⅱ」に区分される。年間の点検回数は、施設の供用年数や事故が発生した場合の運用・被害への影響度によって空港ごとに定められているが、例えば年間発着回数が国内で最も多い東京国際空港では、巡回点検Ⅰは年9回、巡回点検Ⅱは毎日実施するよう定められており、点検回数が非常に多い。また、点検人数および点検作業員の年代別構成比について、著者らの調査に基づき整理した結果を表-1.2、図-1.1に示す。表-1.2を見ると、巡回点検Ⅰでは点検に多くの人員を要していることが分かる。例として東京国際空港では、施設の横断方向に整理し徒歩で目視点検・打音調査する者8名、先導車および投光車の運転・操作する者4名の計12名を要している。しかし、図-1.1の点検作業員の年代別構成比をみると、50代、60代で全体の50%弱である一方、次世代を担う20代は10%となっており、国内の人口減少という状況も考慮すると、将来的な点検作業員不足が危惧される。したがって、今後は巡回点検の効率化・省人化・省力化や、異常に対して経験値によらず判断・対処できるシステムの確立が必要となる。

表-1.1 巡回点検の概要

種別	巡回点検の概要	点検回数
巡回点検Ⅰ	徒歩による施設全域の目視点検。路面に航空機の運航に支障を及ぼす可能性のある異常が発生していないか確認する。路面下の層間剝離等を発見するための打音調査を同時に実施する場合もある。	<ul style="list-style-type: none"> 施設の供用年数および影響度から点検回数を設定。 大規模空港では9回/年実施している場合もある。
巡回点検Ⅱ	車上による特定区域の目視点検。巡回点検Ⅰにて発見した異常箇所の経時的な変化の確認や、異常多発箇所の重点的な確認を行う。路面下の層間剝離等を発見するための打音調査を同時に実施する場合もある。	<ul style="list-style-type: none"> 施設の供用年数、影響度および路面性状調査の結果から点検回数を設定。 大規模空港では毎日実施している場合もある。

表-1.2 国管理空港（コンセッション空港を除く）の巡回点検作業員の所要人数^{※1}

種別	大規模空港 ^{※2}	中規模空港 ^{※3}	共用空港
	東京国際、那覇	新潟、松山、高知、北九州、長崎、大分、宮崎、鹿児島、八尾	札幌、三沢、百里、美保、小松、岩国、徳島
巡回点検Ⅰ	約11.5人/回	約7.1人/回	約3.8人/回
巡回点検Ⅱ	約3.0人/回	約2.9人/回	約2.2人/回

※1：巡回点検業務の維持管理業者のみの人数であり、空港監督職員は含まれない

※2：実運用中の滑走路が2本以上かつ定期便の就航がある空港

※3：実運用中の滑走路が1本の空港

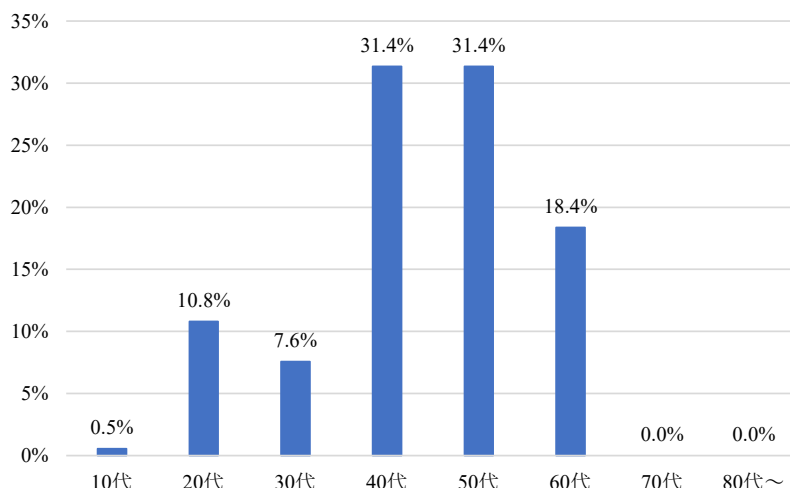


図-1.1 国管理空港（コンセッション空港を除く）の巡回点検作業員の年代別構成比

国土交通省航空局，国土技術政策総合研究所，各空港の空港管理者や空港運営権者はこれまで，巡回点検の省人化・省力化に向けた取組を複数進めてきた．近年では，空港舗装の点検に関する新技術の開発，例えばドライブレコーダーで撮影した路面画像を AI 解析しひび割れ等を検出する研究などがある．しかしながら，実装に向けて解決すべき課題が多く残されているのが現状であり，現時点では巡回点検の完全な代替手法として導入することは困難な状況にある．

一方で，前述のとおり人口減少に伴う巡回点検作業員の減少は必至である．そのため，まず巡回点検の作業性を向上させ，巡回点検に要する時間や労力を低減すること，すなわち巡回点検の効率化を目標として検討を進めることとした．

滑走路・誘導路の巡回点検を効率的に行うためには，実態として変状が多発している箇所を重点的に点検することが解決手段として有効である．しかし現状では，施設のどのような箇所に変状が発生しやすいか調査された資料がなく，変状発生の実態は分析されていない．そこで，巡回点検の効率化に寄与することを目的とし，滑走路・誘導路での変状の実態整理および変状が多発しやすい箇所や時期の傾向について検討することとした．

2 東京国際空港を対象とした研究の概要

はじめに、変状発生 の 報告件数が多い東京国際空港の誘導路および滑走路を対象に検討を進めた。誘導路を対象とした検討では、交通量と変状数との関係性、舗装の経過年数と変状数との関係性、横断方向の変状発生分布、および気象条件と変状の種類との関係性を分析した。一方、滑走路を対象とした検討では、縦横断方向の変状発生分布を分析した。

まず本章では、東京国際空港を対象とした検討で使用する、変状発生位置・発生数および種類を整理した変状データの概要について述べる。変状データは、空港の滑走路・誘導路での変状補修工事の記録を基に整理することとした。この変状補修工事には、航空機の運航に支障を来す緊急性の高い変状を補修する「緊急補修工事」と、線状ひび割れ、亀甲状ひび割れ、施工目地の開き等、緊急性の高低に関わらずクラックを全般的に補修する「クラック注入工事」の2種類がある。このうち、本検討では「緊急補修工事」箇所を対象とすることとし、その関連資料を2種類入手して分析に用いた。以下に、2種類の資料の概要を記す。なお、入手した資料の年度は、平成28年度～令和5年度である。

- ① 緊急補修工事の履歴の図面：緊急補修工事の位置・日時・工種・補修面積等について平面図上に整理された資料であり、年度ごとに作成されている。緊急補修工事が行われる箇所は、「突発的補修箇所（舗装が破損したため緊急的に行われた補修工事の位置）」と「予防的補修箇所（今後舗装が破損する兆候が見られることから緊急的に行われた補修工事の位置）」に分類されている。さらに、「予防的補修箇所」は、補修時に使用する機材の違いから「路面打換えによる予防的補修」と「路面切削による予防的補修」に分類される。なお、路面打換えと路面切削の概要は以降にて説明する。
- ② 突発破損報告資料：①における「突発的補修箇所」に発生した変状のみを対象に作成されている。突発的な舗装の破損が発生し、緊急補修工事が行われた際に作成される報告資料であり、変状発生時の状況や変状の種類、緊急補修工事の工法やスケジュール等について整理されている。

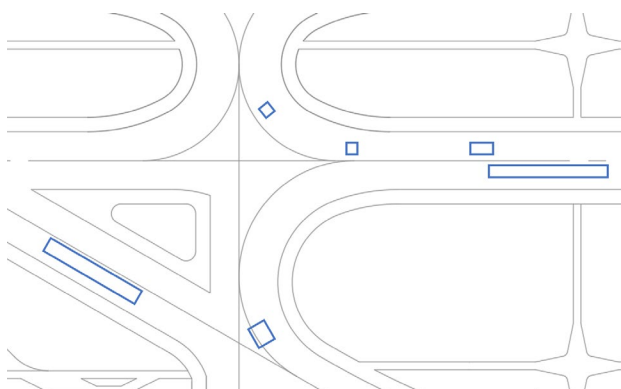


図-2.1 緊急補修工事の履歴の図面 (イメージ図)

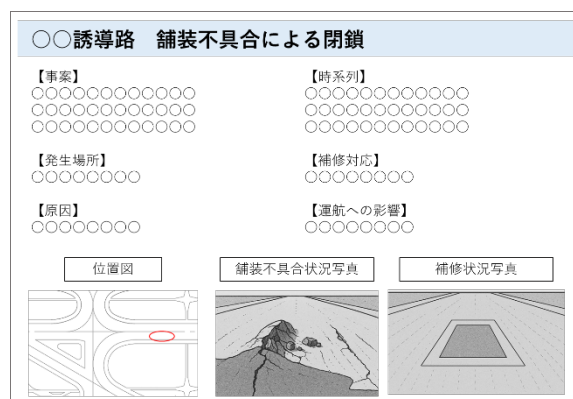


図-2.2 突発破損報告資料 (イメージ図)

この既往資料では、緊急補修工事が行われる箇所は「突発的補修箇所」「路面打換えによる予防的補修箇所」「路面切削による予防的補修箇所」に大別されている。このうち、どの補修箇所を変状データとして使用すべきか判断するため、3種類の補修箇所の特徴を表-2.1に整理した。

「突発的補修箇所」は、破損した箇所のみを限定的に補修しているため、補修箇所1箇所につき変状数1個であり、変状発生位置と個数の関係性が明確なデータと言える。「路面打換えによる予防的補修箇所」は、破損が想定される箇所をバックホウにて局所的に補修するため、突発的補修箇所と同様に補修箇所1箇所につき変状数1個と想定できる。一方、「路面切削による予防的補修箇所」は、切削機を用いることから補修範囲が広域となり、また複数の変状を纏めて補修した事例があることから、補修箇所1箇所につき変状数1個とは限らない。さらに、切削機の仕様に応じて切削幅が決められることから、変状の規模や形状に対応する切削幅ではない可能性があり、補修範囲内に補修が不要な範囲も少なからず存在していると想定される。また表-2.1に示したとおり、補修面積も、突発的補修箇所や路面打換えによる予防的補修箇所と比較し、8~20倍大きいことが確認できる。以上のとおり、「路面切削による予防的補修箇所」はその他の補修箇所と特徴が異なることが明らかとなった。

本検討では、変状発生位置を可能な限り正確に把握するため、「突発的補修箇所」とそれに似た特徴を示す「路面打換えによる予防的補修箇所」を変状データとして使用し、補修箇所1箇所につき変状が1個発生したものとして整理することとした。

表-2.1 緊急補修工事箇所の種類と特徴

	突発的補修箇所	路面打換えによる 予防的補修箇所	路面切削による 予防的補修箇所
特徴	既に崩壊している箇所を局所的に補修する	崩壊が想定される箇所を、バックホウを用いて局所的に補修する	崩壊が想定される箇所を複数纏めて、切削機を用いて広域的に補修する
補修面積平均	約 6 m ²	約 14 m ²	約 119 m ²
補修箇所1箇所あたりの変状数	1 個	1 個	複数個

また、空港土木施設等維持管理マニュアル(案)⁵⁾によると、滑走路や誘導路には多種多様な変状が発生することが分かっている。東京国際空港では、どの種類の変状がどのような条件下で発生しているか把握するため、既往資料を参照して発生した変状を種類ごとに分類することとした。ここで、発生した変状の種類について記載されている既往資料は②突発破損報告資料のみである。そのため、変状の種類の整理は②突発破損報告資料にて報告された突発的補修箇所のみを対象とした。

当該資料によると、緊急補修工事は、剥離が生じた場合に実施されることが多い。ここで、剥離の発生機構としては、ひび割れや変形など別の種類の変状が進行し最終的に剥離に至るケースと、予兆なく突発的に舗装が剥離するケースがある。本検討では、発生した変状の種類を可能な限り正確に推定するため、最終的な変状の種類が剥離と整理されている場合であっても、剥離に至った原因となる元の変状が写真から推測できる場合は、その原因となる変状に分類することとした。また、補修箇所に打音調査による異音位置を記録するためのマークがある事例もあり、この場合は異音が確認されたものとして別途カウントした。変状の種類の判断基準を表-2.2、判断例を図-2.3に示す。

表-2.2 変状の種類の判断基準

変状の種類		判断基準
ひび割れ	クラック	補修箇所にクラックがある場合
変形	隆起	局所的に隆起している場合
	わだちぼれ	施設縦断方向に連続して隆起している場合
崩壊	剥離	クラックや隆起等に起因せず、突発的に発生したと想定される剥離
異音		補修箇所に異音位置を記録するためのマークがある場合
灯火周辺舗装の破損		灯火の設置により発生したと想定される、灯火周辺の破損の場合



図-2.3 変状の種類の判断の例

3 東京国際空港の誘導路の変状発生分析

3.1 変状データの概要

東京国際空港の誘導路を種別で分類すると、平行誘導路、取付誘導路、高速離脱誘導路、連絡誘導路に大別される。種別によって変状の発生数や発生位置に相違が見られる可能性を考慮し、4種類の誘導路の種別を網羅するよう対象施設を設定することとした。また、十分な変状データ数を確保するため、東京国際空港全域の中でも変状の発生が比較的多い施設を選定することとした。以上を踏まえ、対象施設は表-3.1に示すA誘導路およびその周辺の誘導路とした。

研究対象とする変状データの年度は、収集した既往資料の年度のうち、平成28年度～令和元年度、4年度、5年度とした。令和2年度および3年度を除外した理由は、当該期間は新型コロナウイルス蔓延の影響により交通量が大幅に減少しており、その他の年度の交通量と大幅に乖離しているためである。

表-3.1 対象施設一覧

誘導路の種別	対象施設*
平行誘導路	A誘導路
取付誘導路	A1誘導路, A3誘導路, A4誘導路, A6誘導路, A9誘導路, A11誘導路, A13誘導路, A14誘導路, A15誘導路
高速離脱誘導路	A2誘導路, A5誘導路, A7誘導路, A8誘導路, A10誘導路, A12誘導路
連絡誘導路	J誘導路, K誘導路

※施設名称は、令和6年度時点の名称

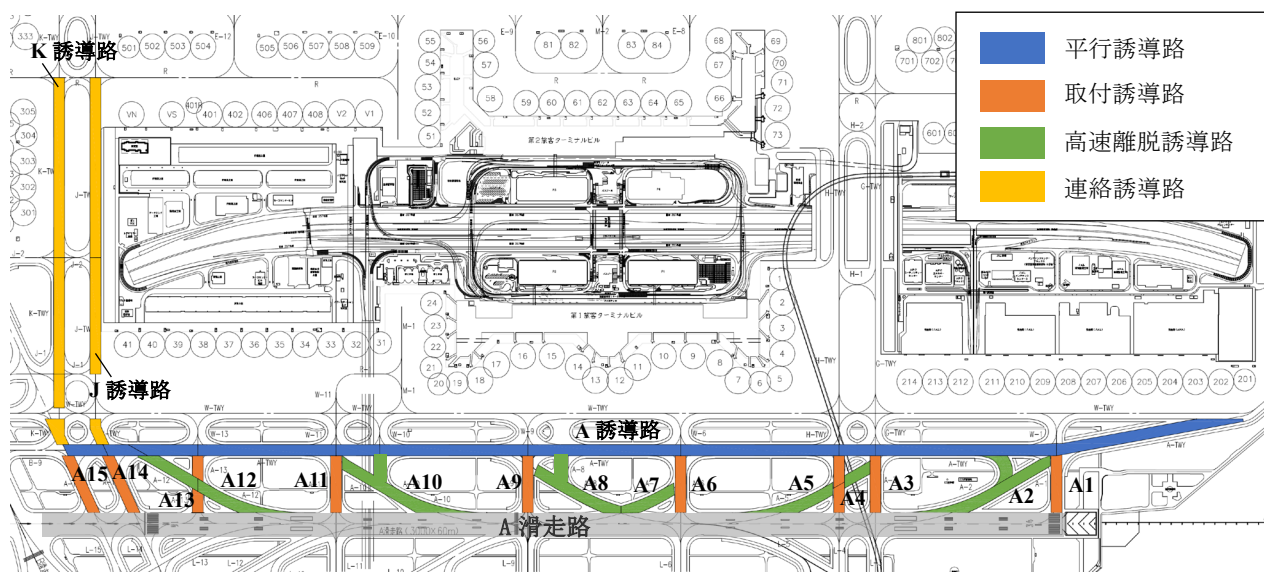


図-3.1 対象施設の平面図

以上の対象施設および対象年度における変状数の整理結果を表-3.2に、突発的補修箇所における種別変状数の整理結果を表-3.3に示す。また、各補修箇所の補修範囲の図心を求め、空港施設平面図上にプロットしたものを図-3.2に示す。図-3.2を見ると、変状が多発している範囲が複数点存在している一方で、全く変状が発生していない範囲も存在していた。

表-3.2 変状データごとの変状数

変状データの種類	変状数(個)
突発的補修箇所	105
路面打換えによる予防的補修箇所	238
合計	343

表-3.3 突発的補修箇所における種類別変状数

変状データの種類	変状の種類		変状数(個)
突発的補修箇所	ひび割れ	クラック	39
		施工目地の開き	1
	変形	隆起	14
		わだちぼれ	10
	崩壊	剥離	7
	異音		20
	灯火周辺舗装の破損		14
	合計	105	

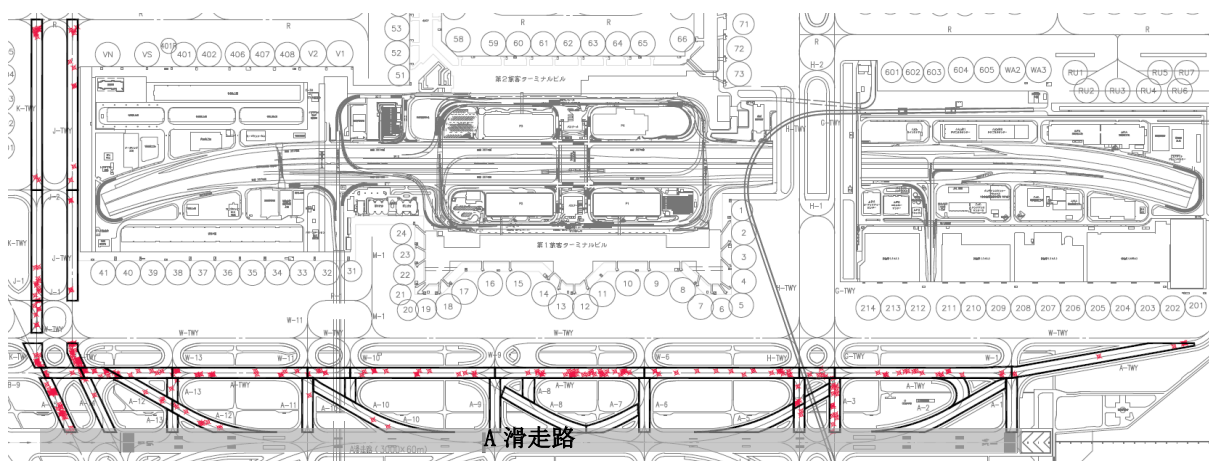


図-3.2 誘導路 変状位置図

3.2 交通量との関係性

本節では、変状数と交通量の関係性について分析する。

はじめに、変状発生位置における航空機の交通量を把握するため、交通量データを分析用に整理した。対象年度は、変状データの年度に合わせ、平成28年度～令和元年度、4年度、5年度とした。なお、東京国際空港では令和2年3月に飛行経路が変更されており、その前後で滑走路や誘導路の利用状況や交通量も変化していると推測される。そのため、飛行経路変更前の平成28年度～令和元年度と、変更後の令和4年度、5年度の2期間に分けて交通量データを整理することとした。整理にあたっては、東京航空局による平成27年度と令和5年度の交通量検討資料を参考とした。

交通量検討資料では、MLAT（マルチラレーションシステム）による航空機の地上走行データを基として、空港内に配置されている地上走行データ取得位置での交通量が整理されている。そしてこの交通量は、滑走路の使用状況や離着陸便の分類を考慮し、機材規模別のカテゴリ（最大座席数400席以上であるLarge Jets、200～400席程度であるMedium Jets、100～200席程度であるSmall Jets、以下それぞれLJ、MJ、SJとする）ごとの年間交通量として算出されている。ここで、機材カテゴリによってメインギアの脚荷重や輪荷重が異なるが、変状発生要因の分析には舗装への荷重条件を統一することが望ましいため、LJのメインギアの輪荷重に近い200kNを代表輪荷重とした200kN換算年間交通量（以下、200kN交通量）を、下記の手順にて算出することとした。

- ① 各年度の交通量検討資料に記載されている就航機材を参考に、機材カテゴリ別に機材の輪荷重の平均値を算出し、これを機材カテゴリ別代表輪荷重 P_i とする。 P_i の算出結果は表-3.4に示す。
- ② 代表輪荷重 P_0 を200kNとし、式-3.1を使用して、 P_i を P_0 に換算した場合の機材カテゴリ別の200kN換算年間交通量 n_{200} を算出する。ここで、式-3.1は、空港土木施設設計要領（舗装設計編）⁶⁾の設計反復作用回数の算定に使用されている荷重換算方法を応用している。

$$n_{200} = n_i \sqrt{P_i/P_0} \quad \dots \quad \text{式-3.1}$$

ここに、

- n_{200} : 機材カテゴリ別の200kN換算年間交通量（回）
- n_i : 機材カテゴリ別の年間交通量（回）
- P_0 : 代表輪荷重（200kN）
- P_i : 機材カテゴリ別代表輪荷重（kN）

- ③ 機材カテゴリ別の200kN換算年間交通量 n_{200} を全機材カテゴリ分合計し、各地上走行データ取得位置における200kN換算年間交通量を算出する。

表-3.4 機材カテゴリ別代表輪荷重 P_i の算出結果

機材カテゴリ	離着陸別	P_i			
		平成27年度		令和5年度	
		国内線	国際線	国内線	国際線
LJ	離陸	240.8	248.2	253.0	272.1
	着陸	187.6	185.6	192.3	202.6
MJ	離陸	252.2	233.9	237.3	250.1
	着陸	191.8	178.6	189.8	196.8
SJ	離陸	163.6	185.0	184.4	194.8
	着陸	136.3	154.4	153.9	162.6

なお、ここで算出した200kN交通量は、空港内に多数配置されている地上走行データ取得位置におけるポイントデータである。このため、当該交通量を面的にどの範囲まで適用するかを設定する必要がある。本検討ではその適用範囲を図-3.3のように定義した。延長方向については、地上走行データ取得位置が誘導路交差部同士の間中に位置していることを考慮し、交差する誘導路の中心線までとした。一方、横断方向については、東京国際空港の基本的な誘導路幅である中心線から片側15m（全幅30m）の範囲とした。

この考え方にに基づき、図-3.1の対象施設を細分化した結果を図-3.4に示す。なお以降より、この200kN交通量を考慮して細分化した施設を「交通量区分施設」と称することとする。

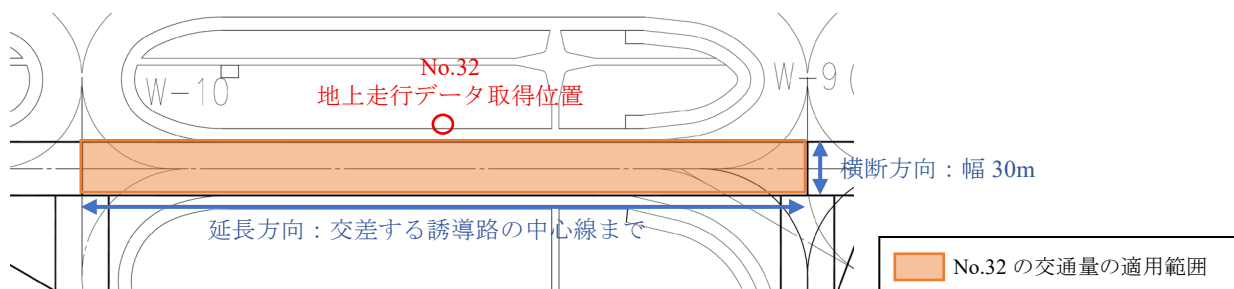


図-3.3 200kN交通量の適用範囲の考え方の例

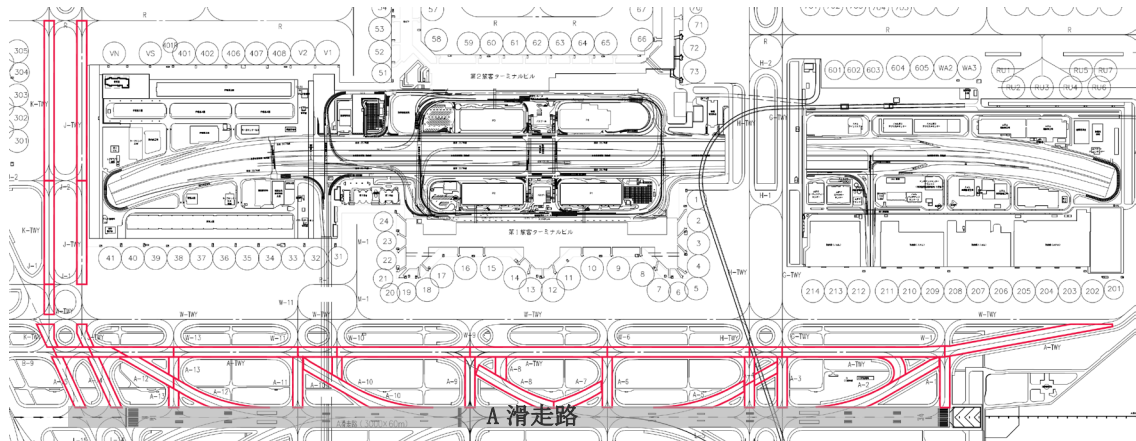


図-3.4 交通量区分施設の平面図

平成 28 年度～令和元年度に対応する 200 kN 交通量（以下、平成 200 kN 交通量）と、令和 4 年度、5 年度に対応する 200 kN 交通量（以下、令和 200 kN 交通量）の平面的な分布を図-3.5、図-3.6 に示す。平成 200 kN 交通量と令和 200 kN 交通量を比較すると、平行誘導路では北側より南側の方が交通量が多いこと、特定の取付誘導路の交通量が多いこと等、傾向は概ね類似していることが見てとれる。そこで、図-3.7 のとおり平成 200 kN 交通量と令和 200 kN 交通量の傾向の類似性を確認した。その結果、相関係数が 0.89 であること、また回帰直線を当てはめると傾きが 0.95 となり 1.0 に近いことから、両者の 200 kN 交通量は全体的な傾向に大きな変化がないことが示唆される。加えて、施設ごとの利用状況を考慮するため順位相関係数を算出したところ、順位相関係数は 0.90 であったことから、両者の 200 kN 交通量を施設ごとと比較しても傾向に大きな変化はないことが示唆される。

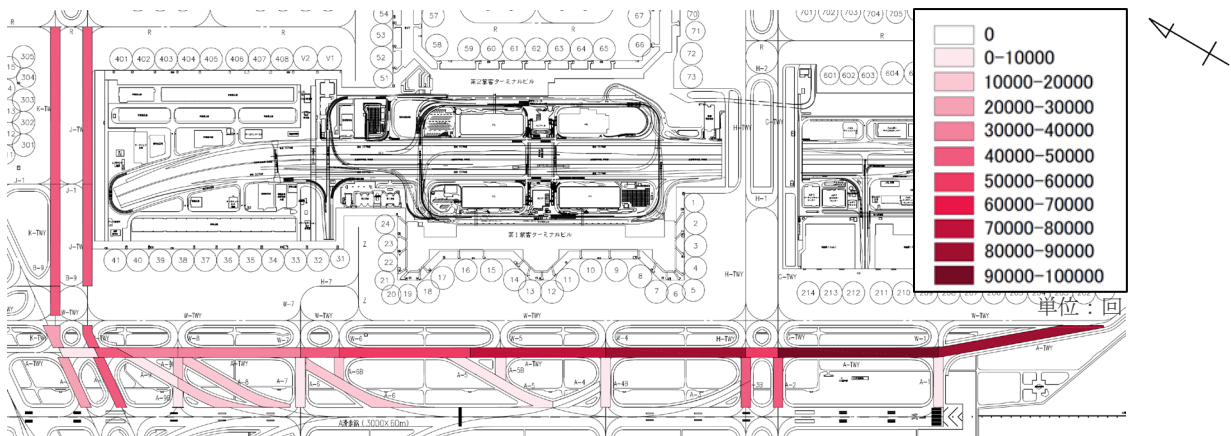


図-3.5 平成 200 kN 交通量の平面分布

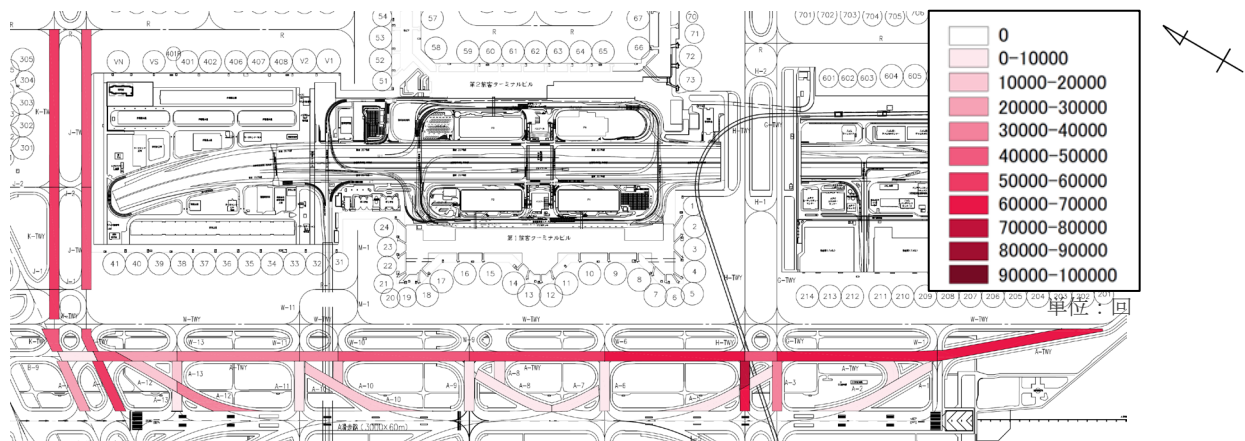


図-3.6 令和 200 kN 交通量の平面分布

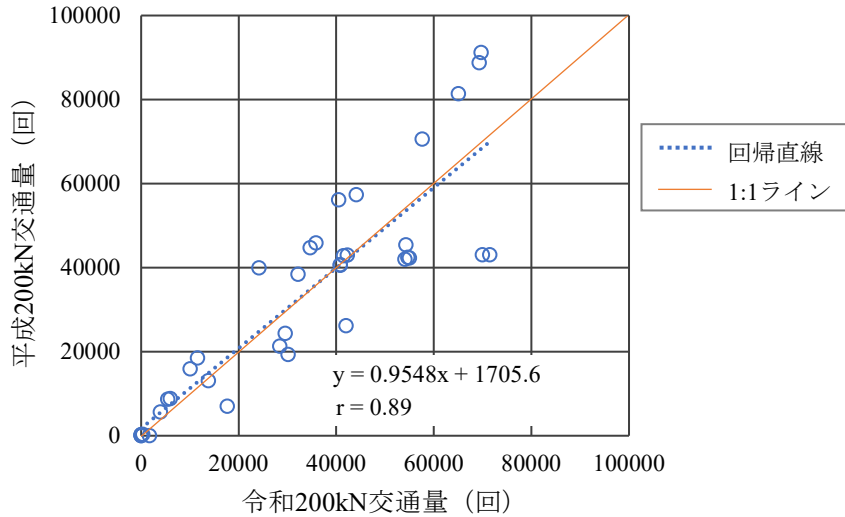


図-3.7 両年度の 200 kN 交通量の傾向

前述のとおり両者の 200 kN 交通量で傾向の類似を確認できたため、以降の分析においては、令和 200 kN 交通量を代表値として使用することとした。整理した令和 200 kN 交通量と 3.1 で整理した変状データを使用し、令和 200 kN 交通量と変状数との相関を整理する。

横軸に令和 200 kN 交通量、縦軸に交通量区分施設ごとの 1000 m²あたりの変状数を示したものを図-3.8 に示す。図-3.8 より、分布には大きなばらつきがあることが見てとれる。交通量と変状数との間の相関係数 r も低く、交通量と変状数との間に明確な相関関係は見いだせなかった。

そこで、誘導路における航空機の走行特性に着目して再度分析を行った。誘導路中心線が直線の箇所は、直線的な等速走行を主体としつつも一部の施設では停止・再加速など速度変化を伴う走行が行われている。曲線の箇所では曲線走行と直線走行が混在しており、高速離脱誘導路では比較的一定速度で緩やかな曲線を描く高速離脱走行をしている。このような走行特性の違いを考慮し、交通量区分施設を「直線優位施設」「曲線優位施設」「高速離脱利用施設」に分類して傾向を分析することとした。走行特性は誘導路中心線の形状に依存することから、分類にあたっては当該形状に着目し、直線が多い場合は「直線優位施設」、曲線が多い場合は「曲線優位施設」、高速離脱誘導路の場合は「高速離脱利用施設」とした。

分析結果を図-3.9 に示す。まず「高速離脱利用施設」については、相関係数 r は高いものの、データ数が少ないことに加えデータの大半が原点付近に集中していることから、傾向を把握することは困難であると判断した。そこで、以降ではその他の 2 種類の施設に着目して考察を行う。

「直線優位施設」および「曲線優位施設」ではいずれも相関係数 r が低いことから、走行特性により交通量区分施設を分類した場合でも、交通量と変状数との間に明確な相関は見られないと言える。ここで、施設別に変状数の分布を比較すると、「直線優位施設」では全体的に変状が少ない傾向にあるものの、航空機が一時停止すると想定される施設では変状数が増加する傾向が見られる。一方、「曲線優位施設」は「直線優位施設」より変状が多く発生している傾向がある。

以上のとおり、交通量そのものとの明確な関係は確認されなかったものの、航空機の走行特性の違いが変状の発生の一助に及ぼしている可能性がある。

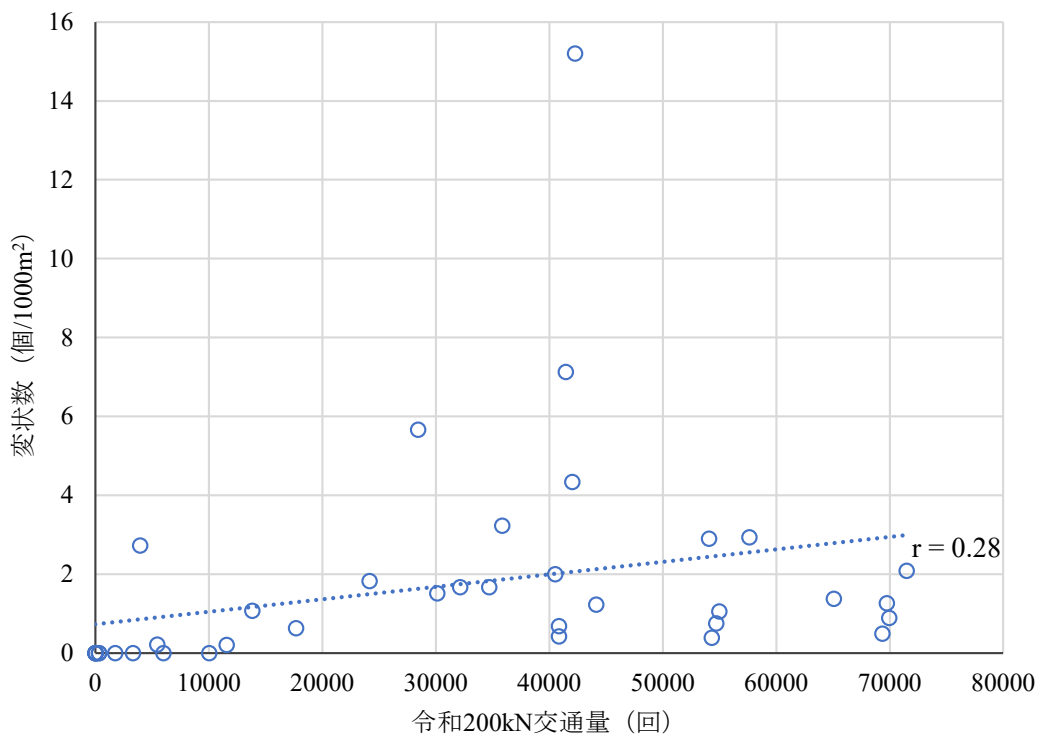


図-3.8 200 kN 交通量と変状数の関係

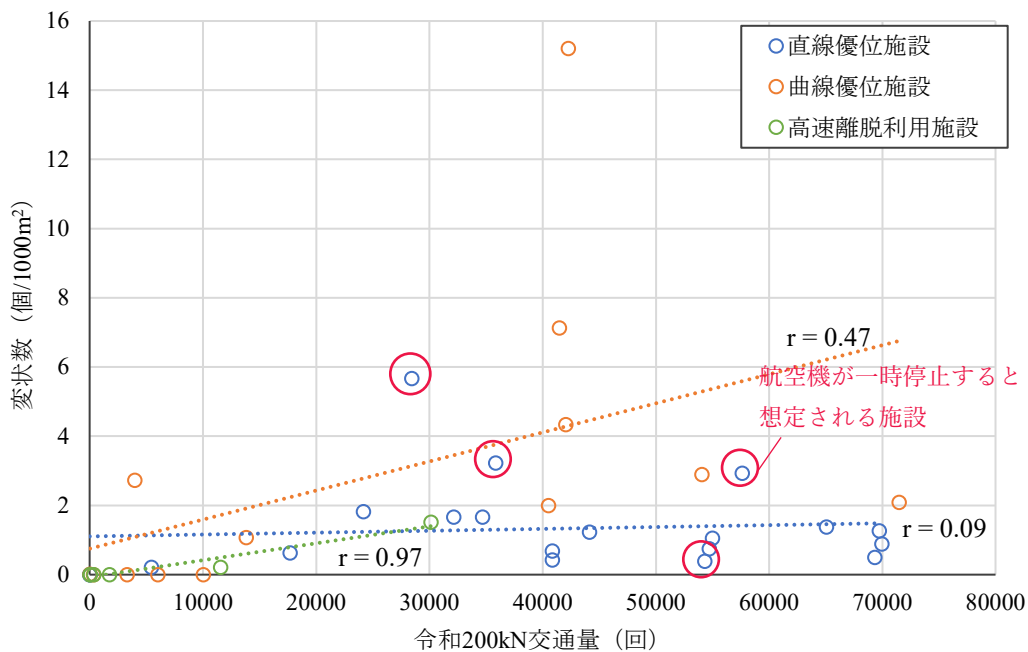


図-3.9 200 kN 交通量と変状数の関係：優位施設で分類

3.3 舗装の経過年数との関係性

本節では、変状数と舗装の経過年数との関係性について分析する。

はじめに、東京国際空港の施設台帳を参考に、新設または舗装の大規模補修工事からの令和6年時点での経過年数を整理した。対象施設（図-3.1 参照）の舗装の経過年数を5年刻みで区分し、各区分の舗装の面積を合計した結果を図-3.10に示す。図-3.10より、経過年数10年未満の舗装が多く、10年以上の舗装は少ないことが分かった。これはアスファルト舗装の走行安全性能および表層の耐久性能の設計供用期間である10年を境に、舗装の大規模補修工事が実施されているからであると推測される。また、舗装の経過年数の平面分布を図-3.11に示す。図-3.11より、平行誘導路の南側や連絡誘導路は経過年数の短い舗装が多い一方で、取付誘導路や高速離脱誘導路は比較的経過年数の長い舗装も多数残っていることが確認できる。

さらに図-3.6の200kN交通量の平面分布と比較すると、交通量が多い箇所は舗装の経過年数が短く、対して交通量が少ない箇所の舗装は経過年数が長いことが見てとれる。そこで、図-3.12のとおり、各交通量区分施設（図-3.4 参照）の中で最も短い舗装の経過年数と令和200kN交通量との相関を確認したところ、経過年数が10年未満と比較的新しい施設では200kN交通量が多い施設が見受けられ、一方で舗装が古い施設は200kN交通量が少ないという傾向が見られた。これより、交通量が多い施設は舗装が早めに更新されている可能性がある。

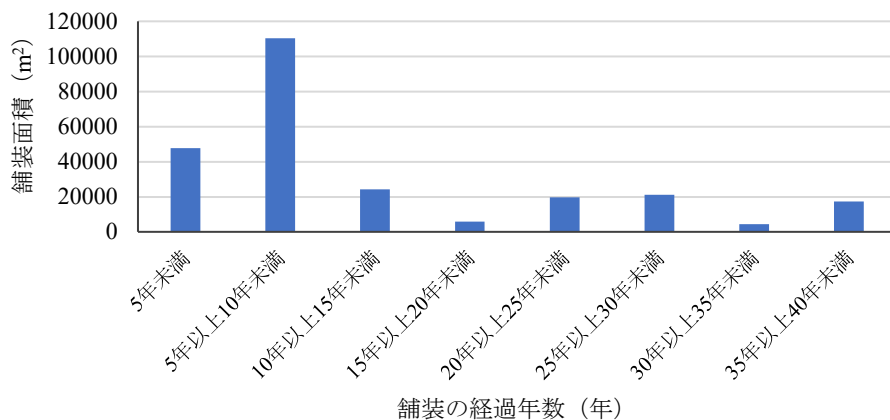


図-3.10 舗装の経過年数別面積

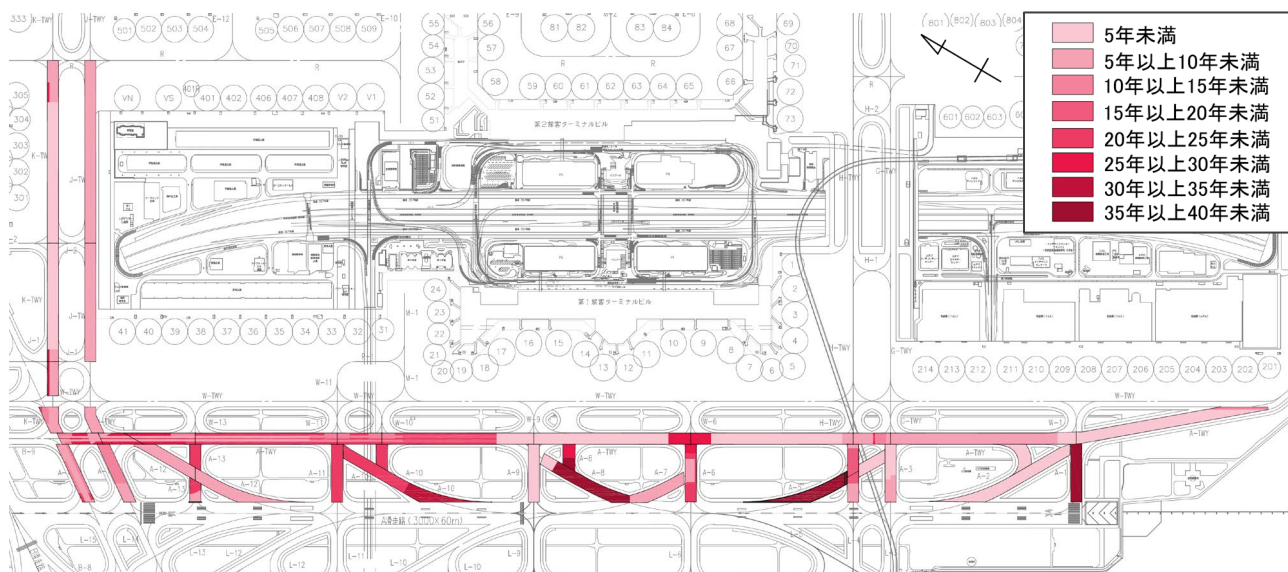


図-3.11 舗装の経過年数の平面分布

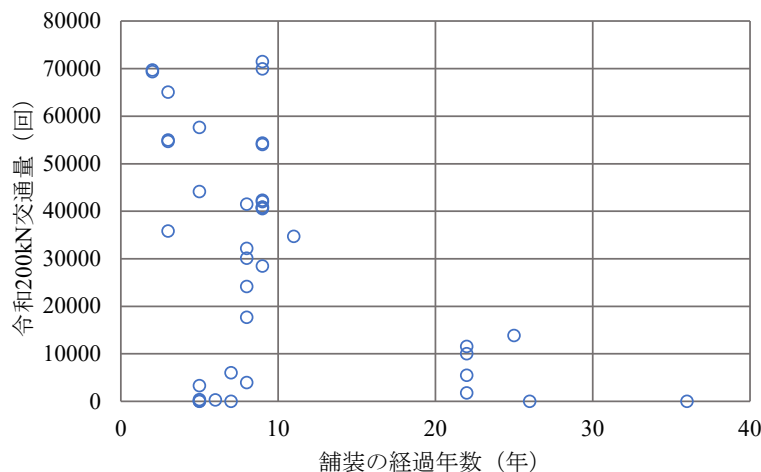


図-3.12 舗装の経過年数と令和 200 kN 交通量との関係

整理した舗装の経過年数と、3.1 で整理した変状データを使用し、舗装の経過年数 5 年刻みの区分における変状数との関係性を分析する。各 5 年刻みの区分に属する舗装において発生した変状数を累積したうえで、同一区分の舗装面積で除した 1000 m²あたりの変状数として整理した。結果を表-3.5 および図-3.13 に示す。

表-3.5 および図-3.13 より、経過年数 5 年未満の舗装では 1000 m²あたりの変状数は少ないが、5 年以上 20 年未満の舗装では、5 年未満の舗装と比較し変状数が顕著に増えている傾向が見られる。一方、経過年数 20 年以上の舗装は、20 年未満の舗装と比較し、舗装自体は古いものの変状数は少ない傾向が見られる。図-3.12 より経過年数 20 年以上の舗装の箇所は交通量が少ない傾向があることを踏まえると、航空機が頻繁に走行しない箇所に関しては、舗装年数の経過によらず、変状の発生は比較的少ないと言える。

表-3.5 各舗装の経過年数の範囲における変状数

舗装の経過年数	舗装面積(m ²)	変状数(個)	変状数(個/1000 m ²)
5 年未満	47839	3	0.06
5 年以上 10 年未満	110255	200	1.81
10 年以上 15 年未満	24328	29	1.19
15 年以上 20 年未満	5847	16	2.74
20 年以上 25 年未満	19716	2	0.10
25 年以上 30 年未満	21256	14	0.66
30 年以上 35 年未満	4501	2	0.44
35 年以上 40 年未満	17421	0	0.00

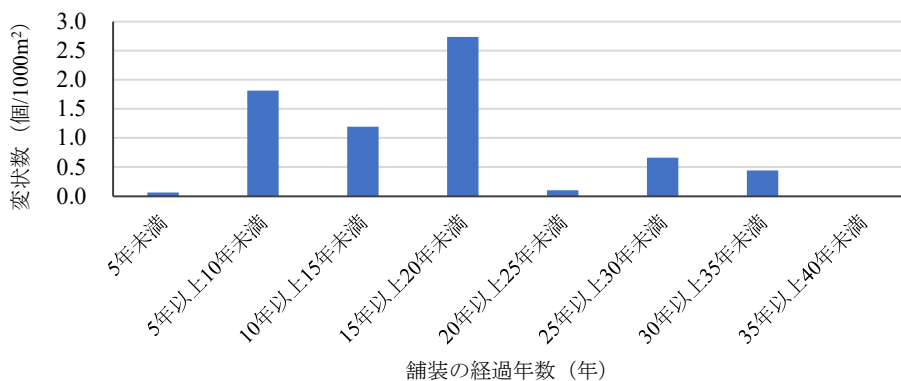


図-3.13 舗装の経過年数ごとの変状数

3.4 横断方向の変状発生分布

空港管理者および巡回点検業務従事者の中では、変状は航空機の車輪の走行位置にて発生する傾向があることが経験的に知られている。この点を踏まえると、航空機の車輪の走行の有無や走行特性の違いが変状数に影響を及ぼす可能性がある。そこで本節では、横断方向の変状発生位置に着目し、航空機の走行特性を踏まえながら発生傾向を分析した。

3.4.1 条件整理

はじめに、変状発生要因に関連すると推測される航空機の走行特性について整理する。航空機は、航空機の中心と誘導路の中心が常に一致して走行しているわけではなく、実際の走行位置は横断方向に左右のばらつきがある。横断方向のばらつきを考慮した航空機の車輪の走行位置を把握するため、就航機材のうちホイールトラックが最大である B777-300ER を対象に、平行誘導路と高速離脱誘導路の車輪の走行確率を求めた。走行確率は空港土木施設設計要領（舗装設計編）⁷⁾ に掲載されている式-3.2、式-3.3を参考に算出することとし、算出条件は表-3.6とした。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \dots \quad \text{式-3.2}$$

$$C(x) = f(x) \times W_t \quad \dots \quad \text{式-3.3}$$

ここに、

- x : 施設センターラインからの距離 (m)
- $f(x)$: メインギア/ノーズギアの車輪の走行確率密度 (1/m)
- σ : 誘導路走行時の横断方向走行分布の標準偏差 (m)
- μ : 誘導路中心線から車輪の中心までの距離 (m)
- $C(x)$: メインギア/ノーズギアの車輪の走行確率
- W_t : メインギア/ノーズギアの車輪のタイヤ接地幅 (m)

表-3.6 走行確率の算出条件

項目	平行誘導路		高速離脱誘導路	
	メインギア	ノーズギア	メインギア	ノーズギア
σ	誘導路走行時の横断方向走行分布の標準偏差 ^{※1}			
F	ホイールトラック ^{※2}			
S	車輪の横中心間隔 ^{※2}			
W_t	車輪のタイヤ接地幅 ^{※2}			
$\mu 1$	誘導路中心線からメインギア/ノーズギアの外側の車輪の中心までの距離 ^{※2}			
$\mu 2$	誘導路中心線からメインギア/ノーズギアの内側の車輪の中心までの距離 ^{※2}			

※1：空港土木施設設計要領（舗装設計編）⁸⁾を参考に設定

※2：B777-300ER の Airplane Characteristics ⁹⁾を参考に設定

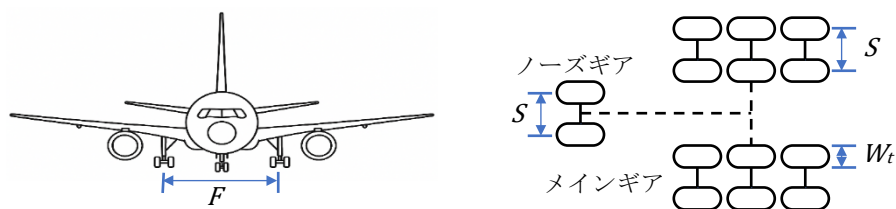


図-3.14 B777-300ER の諸元および車輪配置

平行誘導路の車輪の走行確率を図-3.15、高速離脱誘導路の車輪の走行確率を図-3.16に示す。両誘導路ともに、ノーズギアは誘導路中心線から概ね1m以内、メインギアは4m～7mの範囲の走行確率が高く、8m以遠は車輪はほぼ走行しないことが確認された。

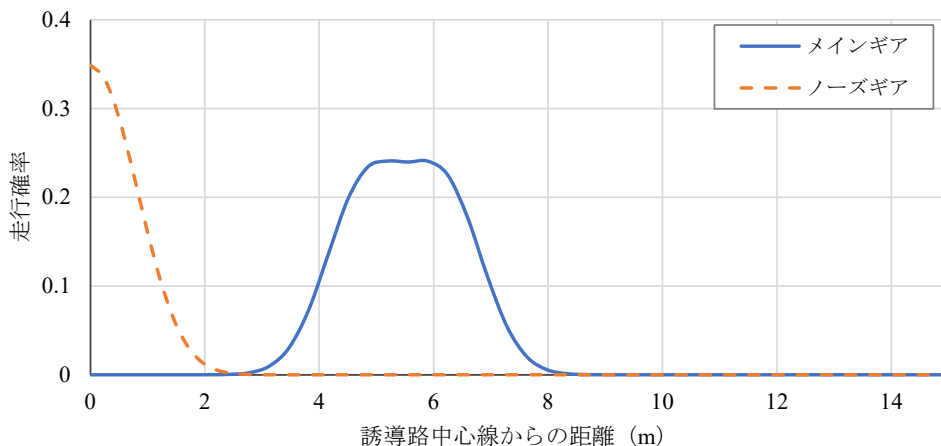


図-3.15 B777-300ER の車輪の走行確率：平行誘導路走行時

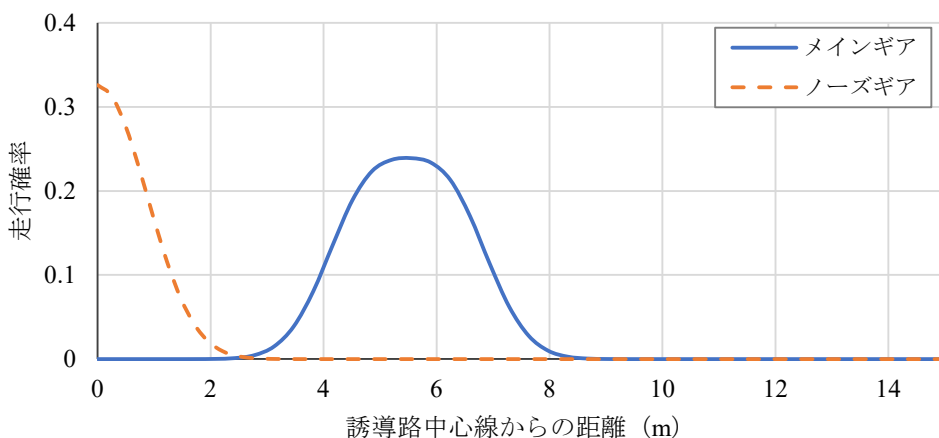


図-3.16 B777-300ER の車輪の走行確率：高速離脱誘導路走行時

加えて、誘導路曲線部の走行特性を把握するため、曲線部における航空機の走行軌跡を確認した。図-3.17に示すとおり、曲線部はノーズギアに加えメインギアも中心線付近を走行することが分かった。

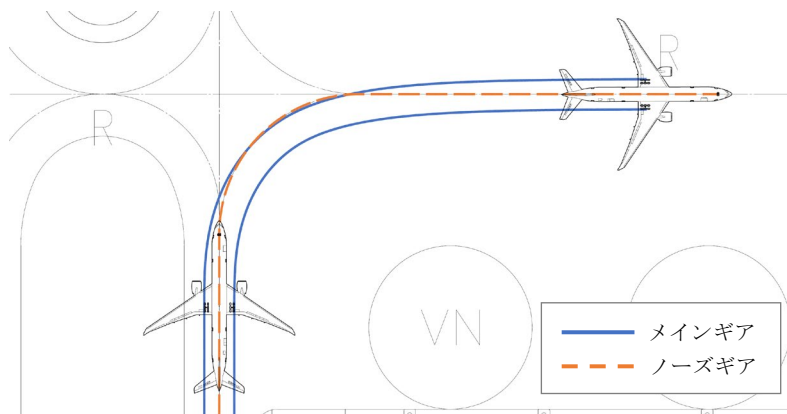


図-3.17 誘導路曲線部における航空機の走行軌跡

次に、対象施設の分類方法と変状数の整理方法について述べる。変状発生位置の分析にあたり、図-3.18 に示すとおり、誘導路中心線から横断方向に2m 間隔で誘導路を区分し、各区分における変状数を整理した。さらに、航空機の走行特性の違いが変状数に影響を及ぼす可能性を考慮し、走行特性に基づく施設分類を行い、分類ごとの変状数を分析することとした。

3.2 における航空機の走行特性と変状数との関連性の分析結果では、走行特性の違いが変状の発生のしやすさに影響を及ぼしている可能性が示唆された。これを踏まえ、航空機の走行特性をより詳細に反映した分析を行うため、本節では誘導路中心線の形状単位で対象施設を分類することとした。誘導路中心線が直線のみを「直線部」、半径 R=600m 程度の高速離脱誘導路内の曲線区間を「高速離脱部」、曲率半径 R=50, 60m 程度の誘導路の交差点における曲線区間が含まれている区間を「曲線部・交差点」とした。分類のイメージ図を図-3.19 に示す。各範囲での航空機の走行特性は表-3.7 のとおり想定される。

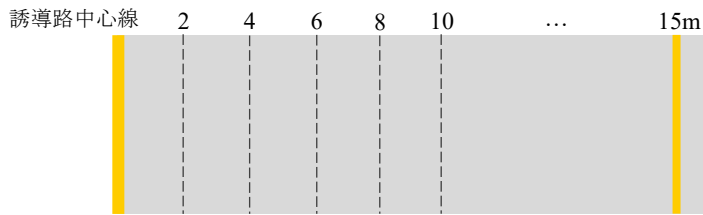


図-3.18 横断方向に区分した範囲のイメージ図（片側のみ表示）

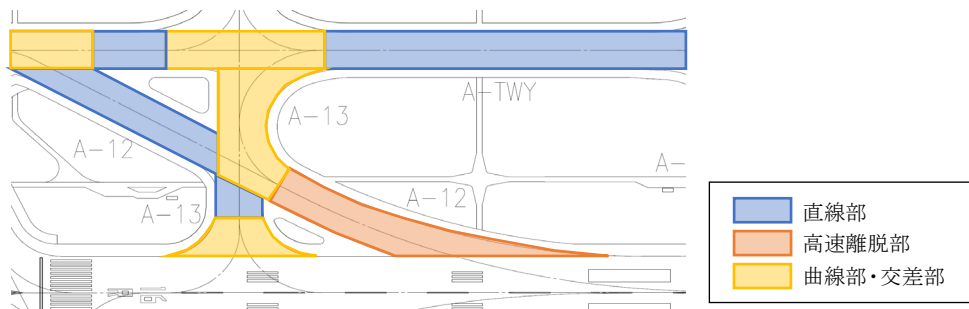


図-3.19 誘導路の分類のイメージ図

表-3.7 各範囲での航空機の走行特性

誘導路の範囲の分類	誘導路縦断方向の直線走行	誘導路横断方向の直線走行	誘導路交差点の曲線走行 (R=50, 60m 程度)	高速離脱部の曲線走行 (R=600m 程度)
直線部	○	-	-	-
高速離脱部	-	-	-	○
曲線部・交差点	○	○	○	-

3.4.2 分析結果

誘導路中心線からの距離別変状数の整理結果を表-3.8 に示す。全体的な傾向としては、中心線から 2m 未満の範囲、および 4m 以上 6m 未満の範囲に変状が集中しており、8m 以上では 1 個しか変状が発生していないことが分かる。この傾向は図-3.15、図-3.16 の航空機の車輪の走行確率と類似していることから、航空機の車輪の走行位置にて変状が発生している可能性がある。

次に、航空機の走行特性の違いによる 3 種類の範囲ごとに変状発生位置の傾向を確認する。各範囲について、中心線からの距離別変状数を同一範囲の合計変状数で除した、中心線からの距離に対する変状発生率を算出した。結果を図-3.20 に示す。

「直線部」では、メインギアの走行確率が高い4m以上6m未満の範囲で約70%の変状が発生し、その他の範囲ではいずれも10%程度と少なく、変状は4m以上6m未満の範囲に集中的に発生していることが見てとれる。この「直線部」においては、航空機は比較的低速で走行するため、走行位置のばらつきが少ないためと推測される。

次に「高速離脱部」では、合計変状数の半数はメインギアの走行確率が高い4m以上6m未満の範囲で発生しているが、「直線部」より発生位置が分散していることが分かる。この「高速離脱部」は滑走路からの離脱直後の比較的走行速度が速い範囲であり、航空機の走行位置のばらつきが大きいことが一因と考えられる。

一方、「曲線部・交差部」では、2m未満の範囲で最も変状が発生していた。図-3.17のとおり、曲線部ではメインギアが中心線付近を走行する頻度が高く、ノーズギアとメインギアの走行に起因するものと想定される。加えて、図-3.21のとおり、発生した変状の種類を中心線からの距離ごとに整理すると、2m未満の範囲に発生している変状の過半数は、「灯火周辺舗装の破損」であることが分かった。誘導路中心線付近には、縦断方向に一定の間隔で誘導路中心線灯が設置されている。金属である灯火基台とアスファルト舗装との異種材料の接続部（以下、異種材料接続部とする）は、雨水の浸透により舗装が脆弱化しやすいと考えられる。この異種材料接続部上を航空機の車輪が走行することで破損に繋がりがやすく、その結果、「曲線部・交差部」においては2m未満の範囲で変状が多発していると推測される。

表-3.8 誘導路中心線からの距離別変状数

誘導路の範囲の分類	中心線からの距離別変状数（個）							合計変状数
	2m未満	2m以上 4m未満	4m以上 6m未満	6m以上 8m未満	8m以上 10m未満	10m以上 12m未満	12m以上	
直線部	9	8	78	13	0	0	0	108
高速離脱部	0	3	4	1	0	0	0	8
曲線部・交差部	101	31	60	14	0	1	0	207
合計	110	42	142	28	0	1	0	323

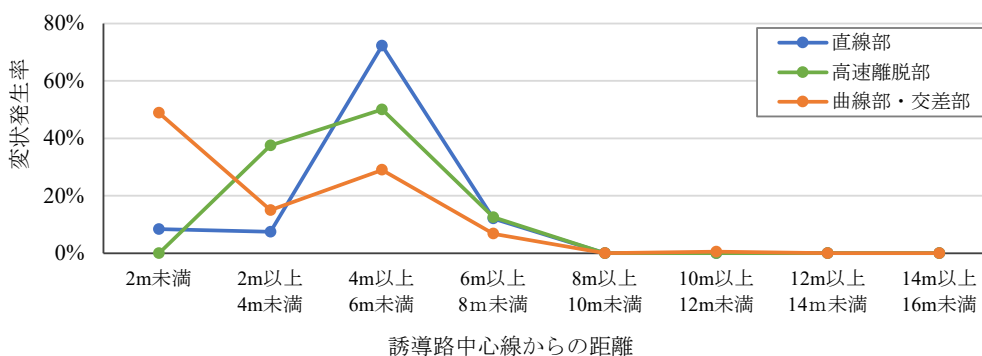


図-3.20 誘導路中心線からの距離に対する変状発生率

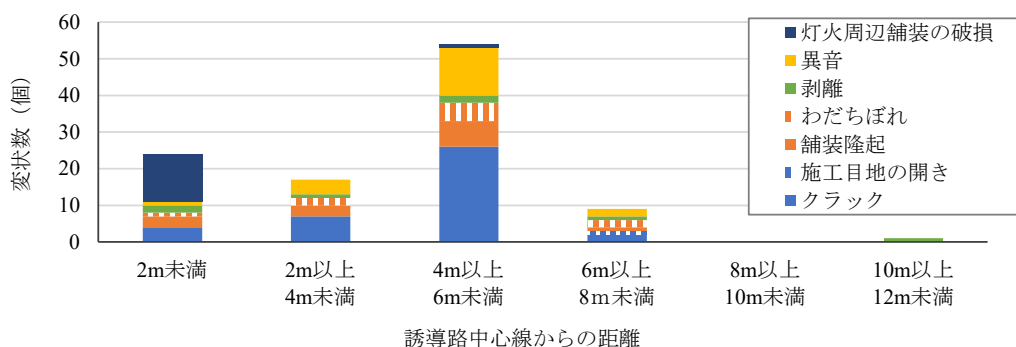


図-3.21 誘導路中心線からの距離別変状数：変状の種類ごとに分類

3.5 気象条件との関係性

空港管理者および巡回点検業務従事者の中では、突発的な変状は夏季に多発する傾向があることが経験的に知られている。そこで本節では、この詳細を確認するため、月別の変状発生状況を整理し、気温および降水量との関係性を確認することとした。

本節の分析に先立ち、発生した変状の種類、変状発生日に加え、発生日における気温および降水量を整理した。この整理には、変状の種類と発生日が記録されている「突発的補修箇所」の変状データを使用した。使用した変状数の整理結果を表-3.9に再掲する。そして以降より、変状発生日の整理方法および気象条件の整理方法と結果について示す。

まず、変状発生日の整理方法について述べる。夜間の巡回点検時に発見・記録されている変状は、実際は航空機が多く走行している点検前の運用時間内に発生したものと想定される。そこで、変状発見時刻がA滑走路の閉鎖時間である午後11時30分から翌午前6時の間の場合、変状はその閉鎖時間より前に発生したものと整理することとした。例えば、変状発見日時が「令和4年8月10日午前1:30」と記録されている場合、変状発見時刻はA滑走路の閉鎖時間内のため、変状発生日はその閉鎖時間より前にあたる「令和4年8月9日」と整理する。

表-3.9 突発的補修箇所における種類別累計変状数 (表-3.3 再掲)

変状データの種類	変状の種類		変状数(個)
突発的補修箇所	ひび割れ	クラック	39
		施工目地の開き	1
	変形	隆起	14
		わだちぼれ	10
	崩壊	剥離	7
	異音		20
	灯火周辺舗装の破損		14
合計			105

次に、気象条件である気温および降水量は、気象庁の過去の気象データにおける「羽田」観測地点のデータ¹⁰⁾を参照し、月別および日別に整理した。図-3.22に月別最高気温、図-3.23に月別累積降水量の整理結果を示す。対象年度6か年分の月別最高気温は概ね同様の傾向を示している一方、累積降水量は年ごとに傾向が異なっていた。

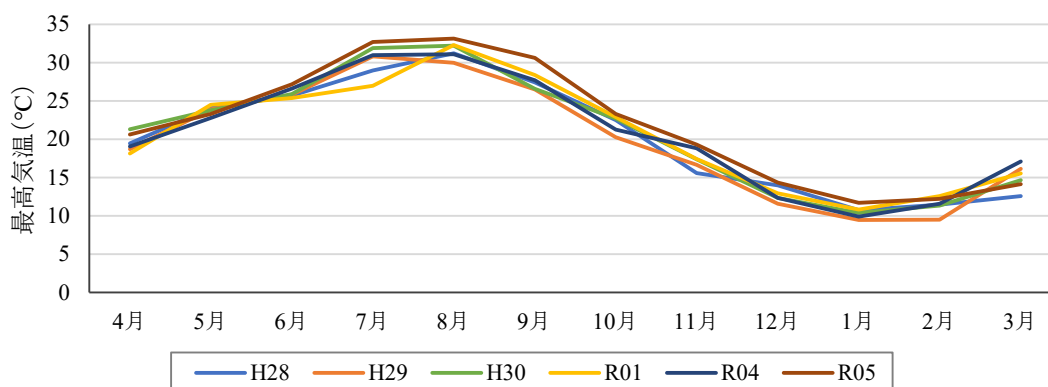


図-3.22 対象年度の月別最高気温

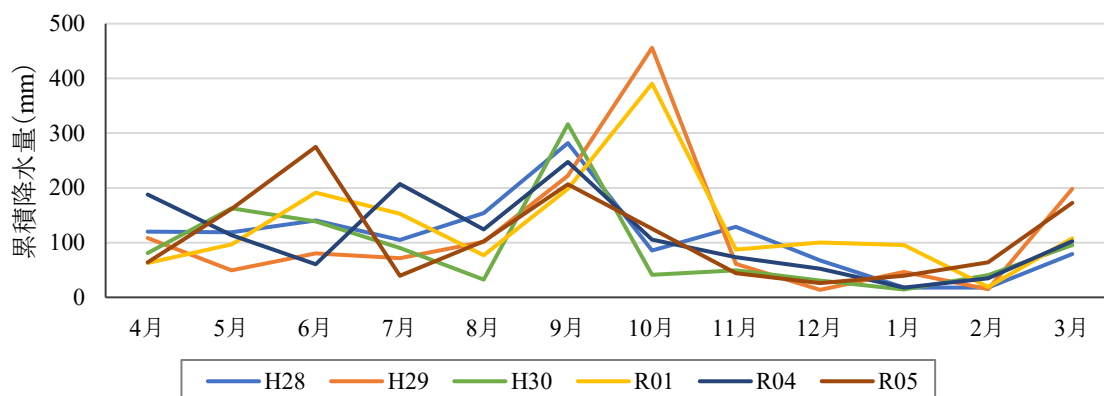


図-3.23 対象年度の月別累積降水量

3.5.1 気温との関係性

はじめに、「突発的補修箇所」および「路面打換えによる予防的補修箇所」全ての変状データを対象とした変状数と月平均最高気温との関係を整理した。結果を図-3.24に示す。図-3.24より、変状は年間を通して発生しつつも、特に7月から9月の夏季に多発している傾向が見てとれる。

次に、変状の種類別の傾向を確認するため、表-3.9の「突発的補修箇所」の変状データを使用し、月平均最高気温との関係を再整理した。結果を図-3.25に示す。変状の種類別で傾向を確認すると、「ひび割れ」は4月から11月まで満遍なく発生している一方で、「変形」、「異音」および「灯火周辺舗装の破損」は、6月から9月までと夏に発生していた。

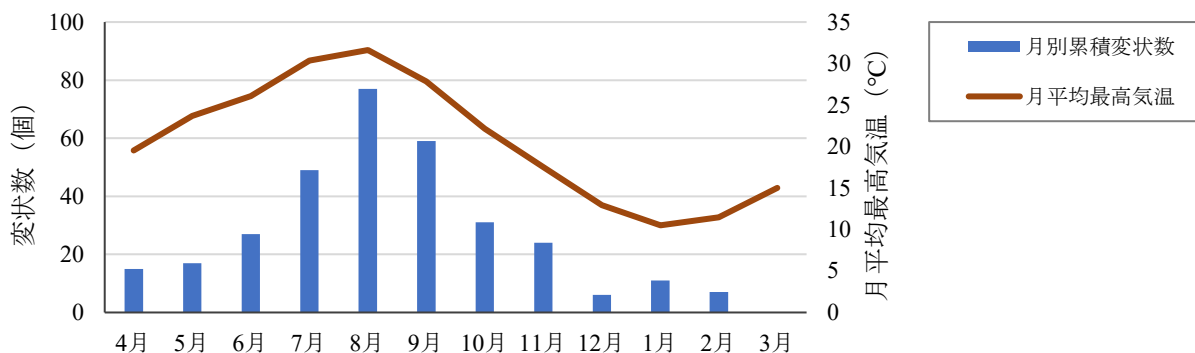


図-3.24 月別累積変状数と月平均最高気温

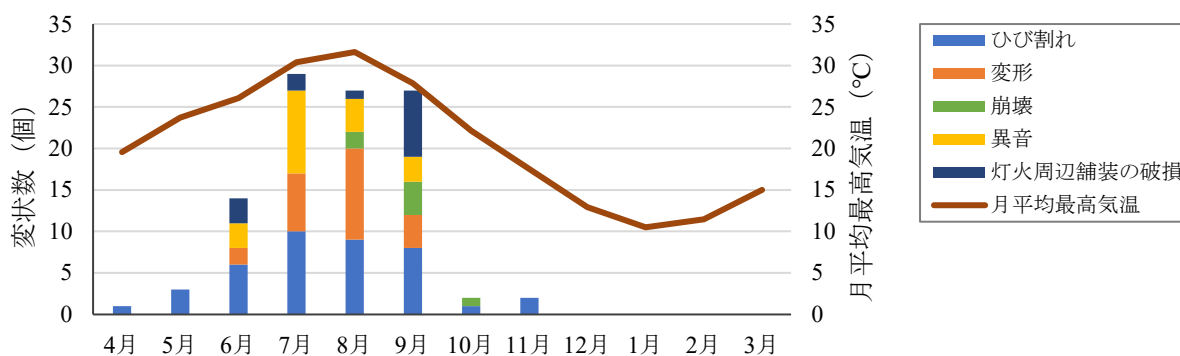


図-3.25 月別累積変状数と月平均最高気温：変状の種類別で分類

前述の分析結果より、変状は気温が高い夏季に多発していたことから、気温と発生する変状の種類との関係性をより詳細に把握するため、最高気温に着目した分析を行うこととした。具体的には、対象年度の最高気温を10℃刻みで区分し、各区分における変状数を累積したうえで、最高気温が記録された日数で除することにより1日あたり発生する変状数を算出し、その傾向を整理した。算出結果を表-3.10に示す。表-3.10より、気温が上昇するにつれて変状数が増加しやすい傾向があると言える。

また、最高気温と変状数との関係を変状の種類ごとに整理したものを図-3.26に示す。「ひび割れ」と「崩壊」は比較的低温である10℃以上から発生しているが、「変形」、「異音」や「灯火周辺舗装の破損」は20℃以上から発生し始めている。さらに、20℃以上30℃未満の範囲と30℃以上40℃未満の範囲の変状数の上昇率を比較すると、「ひび割れ」、「崩壊」、「灯火周辺舗装の破損」は1.5倍未満であることに対し、「変形」と「異音」はそれぞれ約7.4倍、約2.4倍と高値であった。以上より、「変形」と「異音」は気温が高いほど発生しやすい傾向があると言える。

表-3.10 最高気温別の変状数

気温		変状数(個)	変状数(個/日)
最高気温	日数(日)		
30℃以上 40℃未満	349	50	0.143
20℃以上 30℃未満	839	51	0.061
10℃以上 20℃未満	830	4	0.005
0℃以上 10℃未満	174	0	0.000
合計	2192	105	-

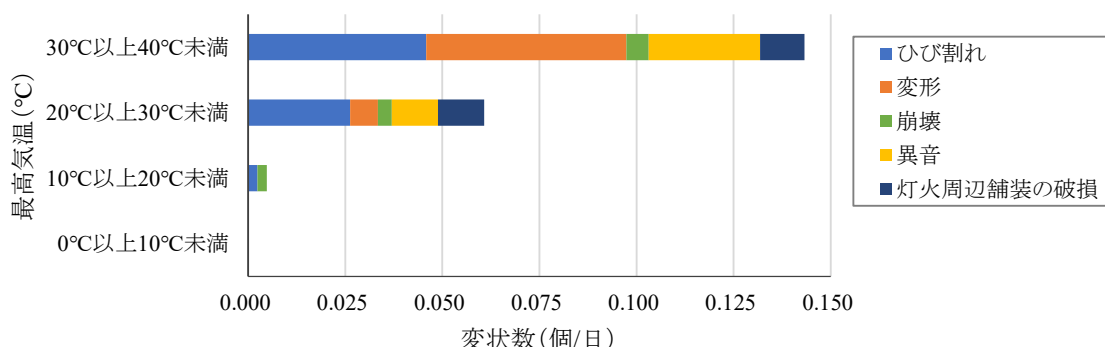


図-3.26 最高気温と種類別の変状数

3.5.2 降水量との関係性

次に、降水量との関係性について整理する。図-3.23より累積降水量は年によって傾向が異なることが確認されたため、年度ごとに月別の変状数と累積降水量を整理し、年度間で傾向を比較することとした。整理結果を図-3.27から図-3.32に示す。図-3.27から図-3.32より、変状数と累積降水量との関係は年度により異なっており、一貫した傾向は見られなかった。

また、気温と同様に変状の種類別の傾向を確認するため、表-3.9の「突発的補修箇所」の変状データを使用し、累積降水量との関係を再整理した。結果を図-3.33から図-3.38に示す。これより、変状の種類別で見たとしても、年度間での一貫した傾向は見られなかった。

気温とは一定の傾向が見られた一方で降水量とは明確な傾向が見られなかった要因について、両者がアスファルトコンクリートに及ぼす影響の違いという観点から次のとおり考察する。気温の変化はアスファルトコンクリートの弾性係数に即時に現れるため、気温上昇に伴って舗装が軟化し変状が多発しているものと推測される。一方で水については、舗装内に水が浸透しアスファルト混合物の剥離が発生するまでに一定の時間を要する。このため、降水量の増減の変化に連動した傾向は見られなかったものと推測される。

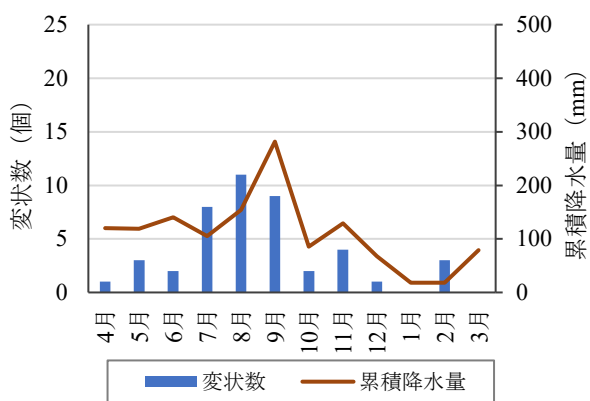


図-3.27 【H28年度】月別変状数と累積降水量

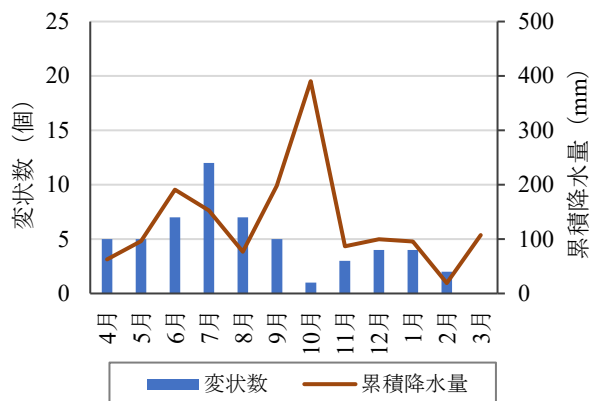


図-3.30 【R01年度】月別変状数と累積降水量

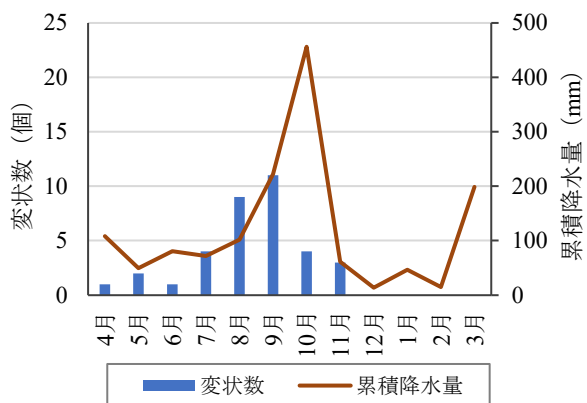


図-3.28 【H29年度】月別変状数と累積降水量

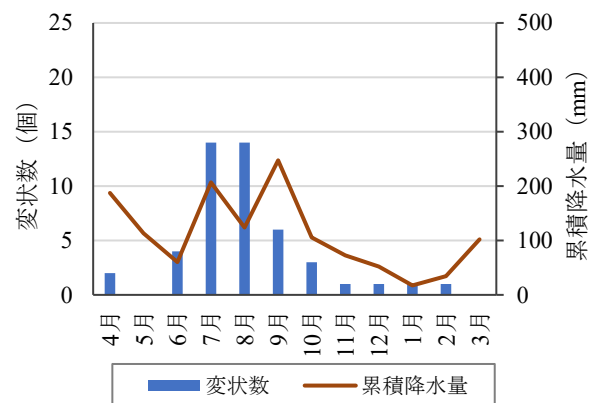


図-3.31 【R04年度】月別変状数と累積降水量

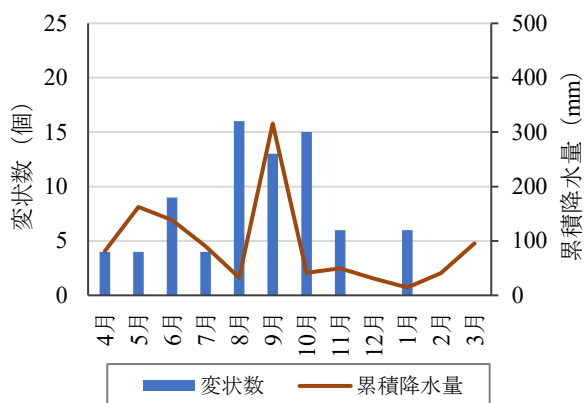


図-3.29 【H30年度】月別変状数と累積降水量

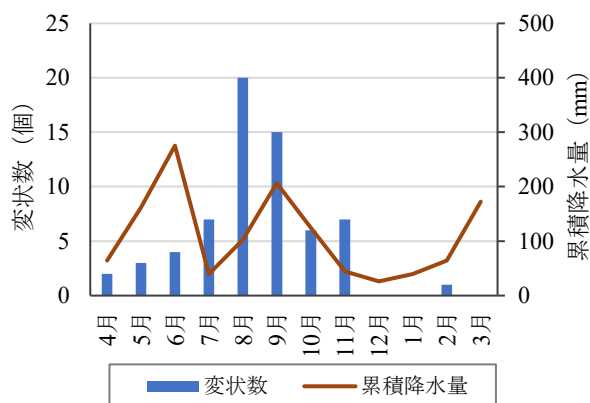


図-3.32 【R05年度】月別変状数と累積降水量

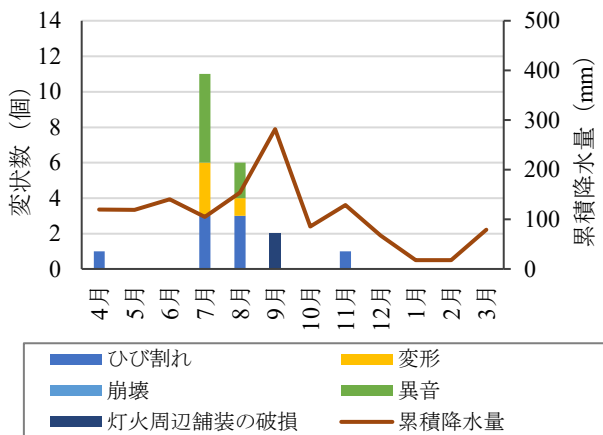


図-3.33 【H28年度】月別変状数と累積降水量
：変状の種類別で分類

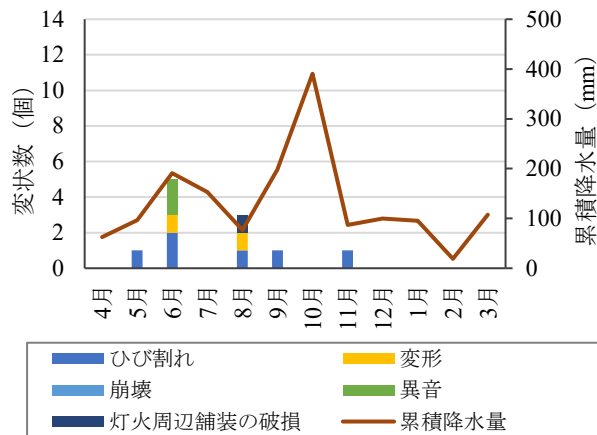


図-3.36 【R01年度】月別変状数と累積降水量
：変状の種類別で分類

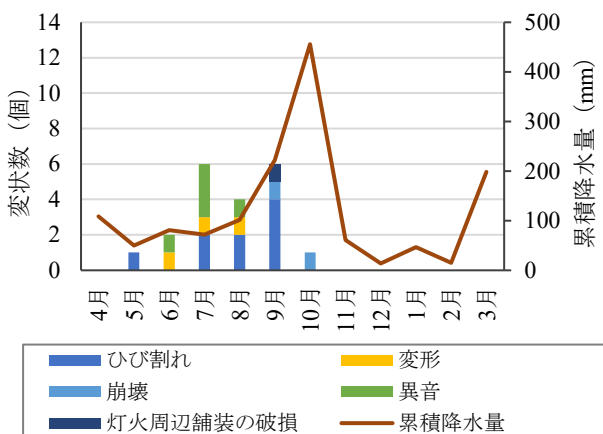


図-3.34 【H29年度】月別変状数と累積降水量
：変状の種類別で分類

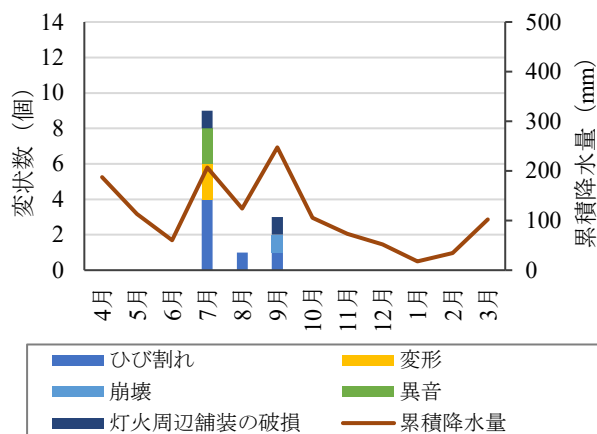


図-3.37 【R04年度】月別変状数と累積降水量
：変状の種類別で分類

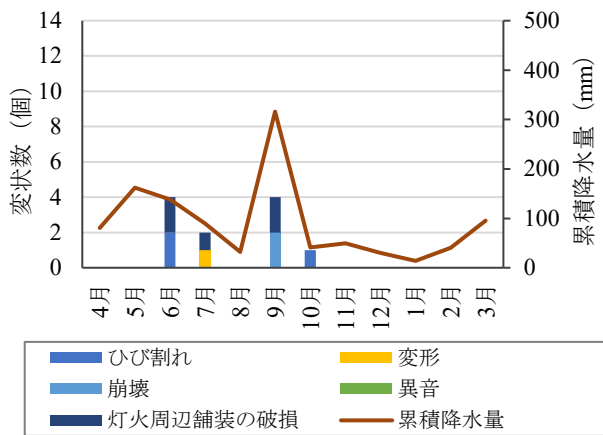


図-3.35 【H30年度】月別変状数と累積降水量
：変状の種類別で分類

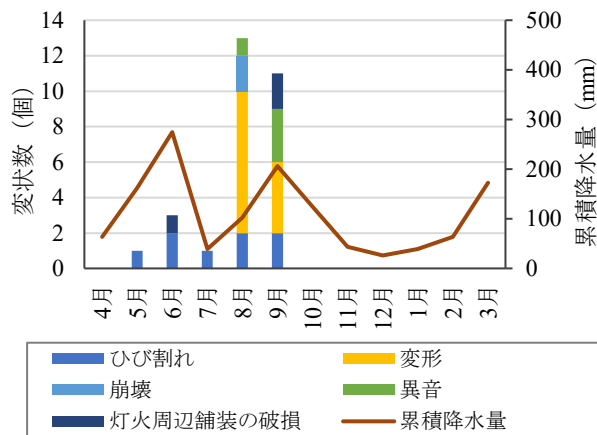


図-3.38 【R05年度】月別変状数と累積降水量
：変状の種類別で分類

3.6 総括

東京国際空港の誘導路の変状発生分析結果を以下に総括する。

- ① 交通量に着目して分析したところ、交通量と変状数との間に明確な相関は見られなかった。ここで、交通量区分施設を航空機の走行特性により分類し、各分類での変状数の分布を比較すると、「直線優位施設」では全体的に変状が少ない傾向にあるものの、航空機が一時停止すると想定される施設では変状数が増加する傾向が見られた。一方、「曲線優位施設」は「直線優位施設」より変状が発生しやすい傾向が見られた。以上の傾向から、航空機の走行特性の違いが変状の発生のしやすさに影響を及ぼしている可能性がある。
- ② 舗装の経過年数に着目して分析したところ、経過年数 5 年未満の舗装では変状数は少ないものの、5 年以上 20 年未満の舗装では、変状数が顕著に増えている傾向が見られた。また、交通量が少ない傾向がある経過年数 20 年以上の舗装では、舗装年数の経過によらず、変状数が比較的少ないことが分かった。
- ③ 誘導路横断方向に着目した分析より、中心線から 8m 未満の範囲ではほぼ全ての変状が発生していた。さらに航空機の走行特性の違いによる誘導路の分類ごとに傾向を分析すると、「直線部」および「高速離脱部」では、メインギアの走行確率の高い中心線から 4m 以上 6m 未満の範囲で多発する傾向が見られた。一方、「曲線部・交差点部」では、ノーズギアおよびメインギアが灯火基台とアスファルト舗装との異種材料の接続部上を走行することに起因し、中心線から 2m 未満の範囲で多発する傾向が見られた。
- ④ 気象条件に着目して分析したところ、変状は年間を通じて発生しているものの、気温が高い夏季に多発する傾向が見られた。特に「変形」および「異音」は、20℃以上の高温域で発生数が大きく増加しており、気温が高いほど発生しやすい傾向があると言える。また、降水量との関係については年度間でばらつきが大きく、変状発生との一貫した傾向は見られなかった。

4 東京国際空港の滑走路の変状発生分析

誘導路における分析では、航空機の走行特性の違いにより、横断方向の変状多発範囲に差異が見られた。滑走路においても、航空機の走行特性の差が変状発生に影響を及ぼすのか確認するため、本章では滑走路を対象に変状発生状況を分析した。

4.1 変状データの概要

航空機の離着陸走行の中で、どのような走行が変状発生の要因となっているのかを考察することとした。この考察には、滑走路両側からの離着陸運用をしている等、滑走路の運用方法が複雑な場合は要因を想定し難く、離陸もしくは着陸が一方のみ限定されているデータを用いる方が分析しやすい。過去の運用方式を確認した結果、主な離陸方向および着陸方向が、図-4.1 および以下のようにそれぞれ一方のみ限定されていた、平成28年度～令和元年度のA滑走路およびB滑走路を対象とした。

- A滑走路：南風運用時における16R側からの離陸、北風運用時における34L側からの着陸
- B滑走路：南風運用時における22側からの着陸

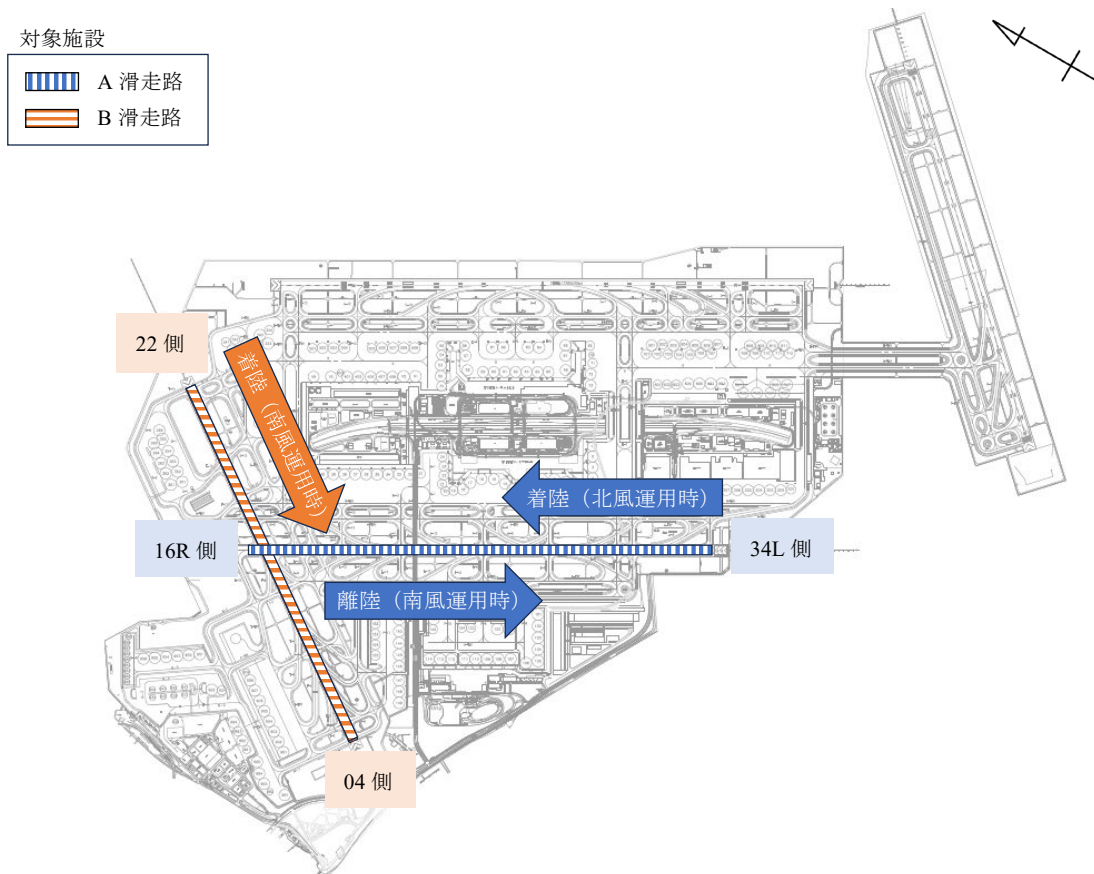


図-4.1 対象施設の平面図

対象年度4か年分の変状数は、A滑走路は100個、B滑走路は94個であった。この各滑走路の変状データについて、各補修箇所の変状位置の中心を求め、空港施設平面図上にプロットしたものを図-4.2～図-4.5に示す。誘導路(図-3.2参照)と同様に、変状が多発している範囲が複数点在しているが、一方で全く変状が発生していない範囲も存在していることが見てとれる。

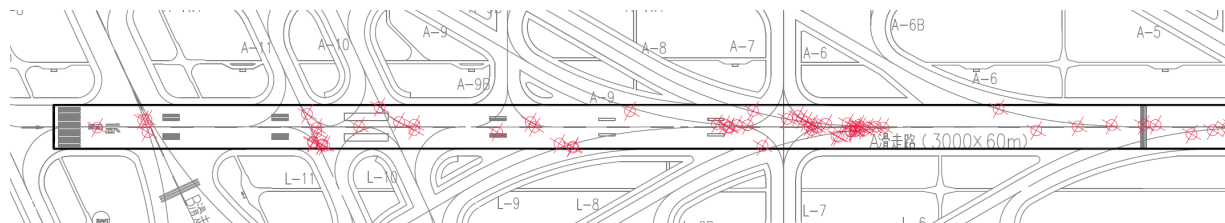


図-4.2 A滑走路 変状位置図 (16R側)

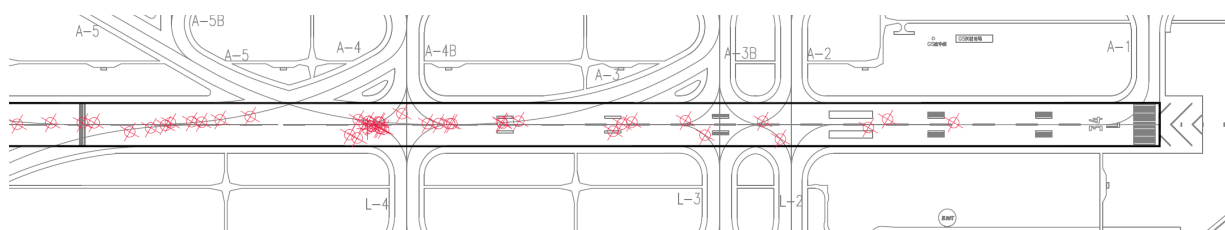


図-4.3 A滑走路 変状位置図 (34L側)

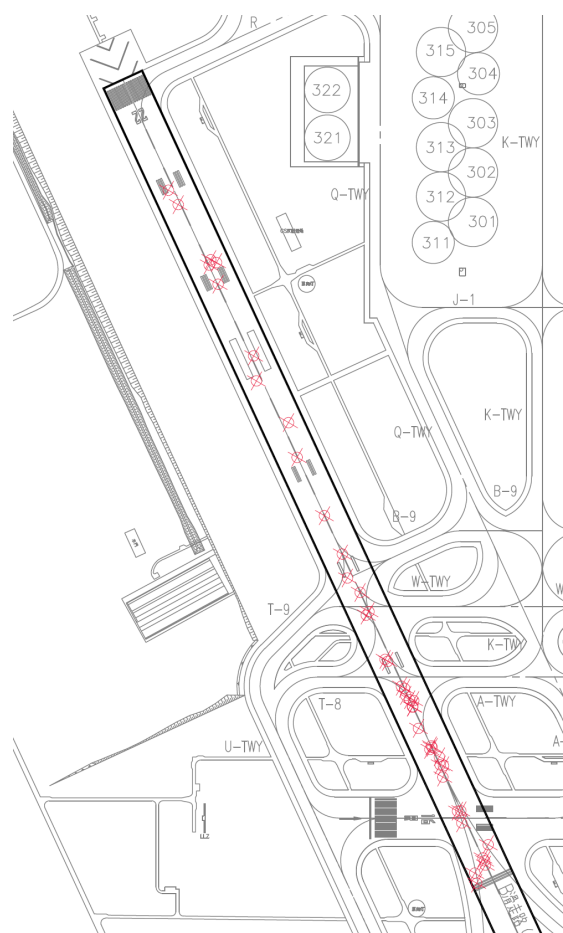


図-4.4 B滑走路 変状位置図 (22側)

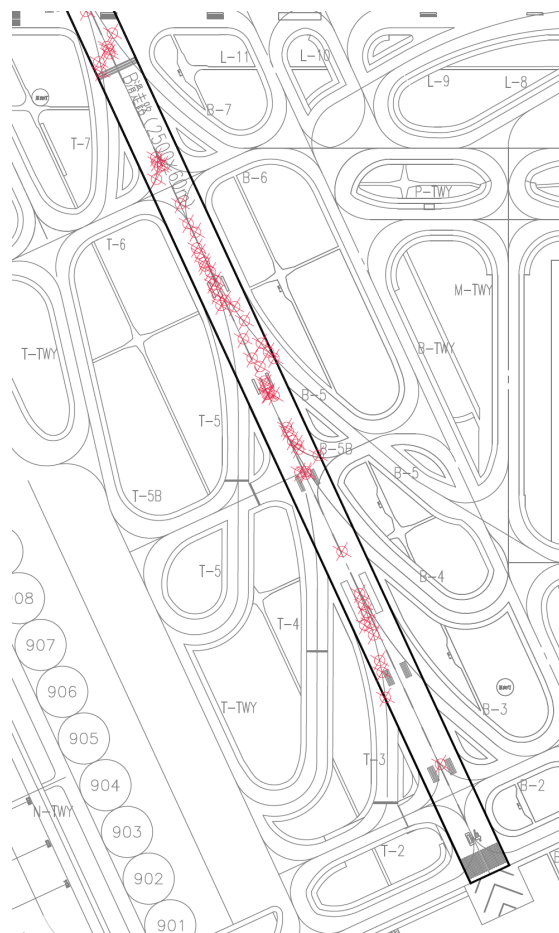


図-4.5 B滑走路 変状位置図 (04側)

4.2 横断方向の変状発生分布

4.2.1 条件整理

誘導路と同様に、滑走路においても航空機の走行位置は横断方向に左右のばらつきがある。横断方向のばらつきを考慮した航空機の車輪の走行位置を把握するため、東京国際空港への就航機材のうちホイールトラックが最大であるB777-300ERを対象に、滑走路の離陸時/着陸時の車輪の走行確率を求めた。走行確率は、式-3.2、式-3.3を使用し誘導路と同じ方法で算出した。また算出条件は表-4.1とし、誘導路での算出条件（表-3.6参照）から σ の値を変更している。

算出した車輪の走行確率を図-4.6、図-4.7に示す。離陸時は、ノーズギアは中心線から概ね1.5m以内、メインギアは4m~7mの範囲の走行確率が高く、8m以遠はほぼ走行しない。一方で着陸時は、ノーズギアは中心線から概ね3m以内、メインギアは3m~8mの範囲での走行確率が高く、12m以遠はほぼ走行しないことが分かる。

表-4.1 走行確率の算出条件

項目		離陸時		着陸時	
		メインギア	ノーズギア	メインギア	ノーズギア
σ	滑走路走行時の横断方向走行分布の標準偏差 ^{※1}	0.91m	0.91m	1.74m	1.74m
F	ホイールトラック ^{※2}	10.97m	-	10.97m	-
S	車輪の横中心間隔 ^{※2}	1.40m	0.78m	1.40m	0.78m
W_t	車輪のタイヤ接地幅 ^{※2}	0.347m	0.245m	0.347m	0.245m
$\mu 1$	中心線からメインギア/ノーズギアの外側の車輪の中心までの距離 ^{※2}	6.19m	0.39m	6.19m	0.39m
$\mu 2$	中心線からメインギア/ノーズギアの内側の車輪の中心までの距離 ^{※2}	4.79m	-0.39m	4.79m	-0.39m

※1：空港土木施設設計要領（舗装設計編）⁸⁾を参考に設定

※2：B777-300ERのAirplane Characteristics⁹⁾を参考に設定

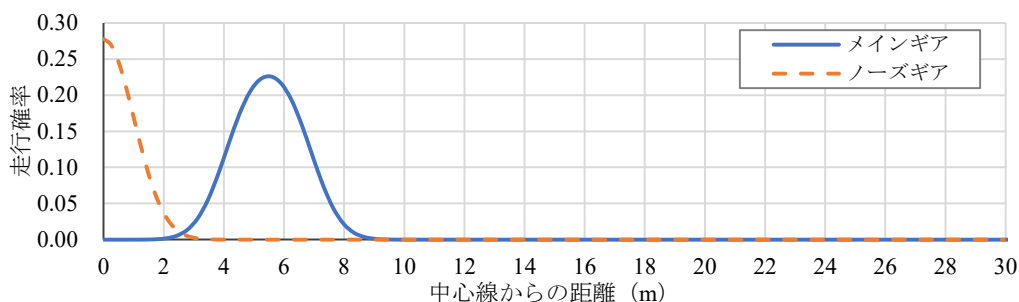


図-4.6 B777-300ERの車輪の走行確率：離陸時

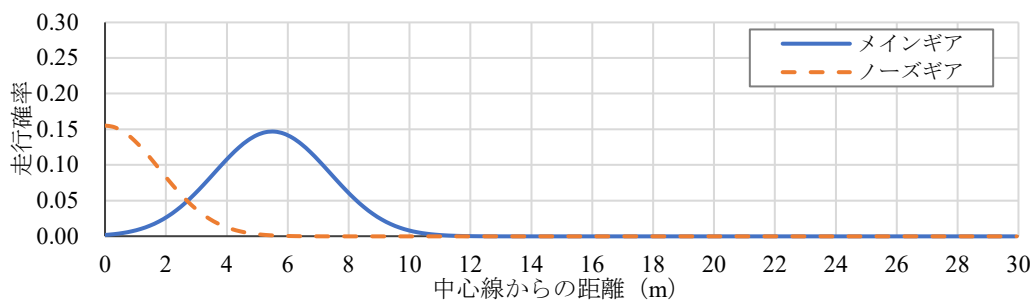


図-4.7 B777-300ERの車輪の走行確率：着陸時

また、3.4にて誘導路の曲線部ではメインギアも誘導路中心線付近を走行することが分かったため、同じく曲線走行する高速離脱誘導路での航空機の走行軌跡を確認した。結果は、図-4.8に示すとおり、中心線付近は主にノーズギアが走行し、メインギアの走行頻度は少ないことが分かった。

加えて、もう一点密接に関連するであろう、着陸機のノーズギアの輪荷重について表-4.2に整理する。静止時のノーズギアの輪荷重は131.3kNであり、これは同機種のメインギアの離陸時輪荷重266.3kNの約50%である。しかし、B777-300ERのAirplane Characteristics⁹⁾によると、減速時は航空機の重心移動によりノーズギアの輪荷重は増加して218.9kNとなり、メインギアの離陸時輪荷重の約80%程度に相当することが分かった。

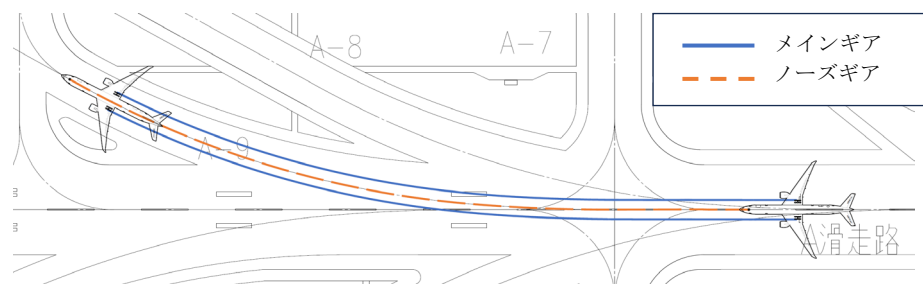


図-4.8 高速離脱誘導路における航空機の走行軌跡

表-4.2 B777-300ERのノーズギアの輪荷重

ノーズギアの状態	輪荷重(kN)
静止時	131.3
減速時	218.9

次に、対象施設の分類方法について述べる。滑走路には、滑走路中心線だけでなく、取付誘導路や高速離脱誘導路にアクセスするための中心線も設置されている。よって、図-4.9、図-4.10のとおり、滑走路中心線または誘導路中心線から横断方向に2m毎に区分し、区分内での変状数を整理することとした。さらに、中心線の形状によって航空機の走行特性が変わるため、図-4.11のとおり滑走路を「直線部」、「曲線混在部」に分類し、各範囲内での変状数の傾向を考察した。なお、「曲線混在部」は、図-4.12のとおり、滑走路中心線と取付誘導路、高速離脱誘導路の中心線がそれぞれ交差する範囲と、両者の誘導路の中心線が幅轉する範囲がある。各範囲での航空機の走行特性は表-4.3のとおり想定される。

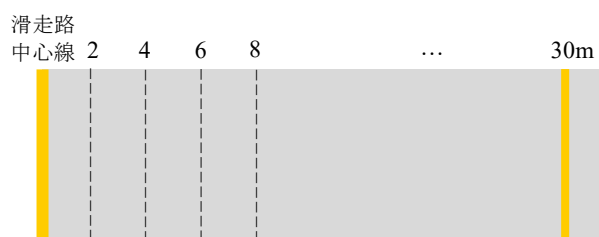


図-4.9 【直線部】横断方向の区分のイメージ図
(片側のみ表示)

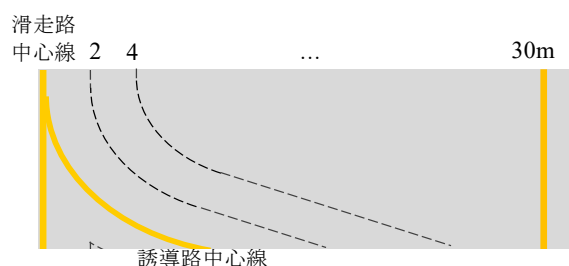


図-4.10 【曲線混在部】横断方向の区分のイメージ図
(片側のみ表示)

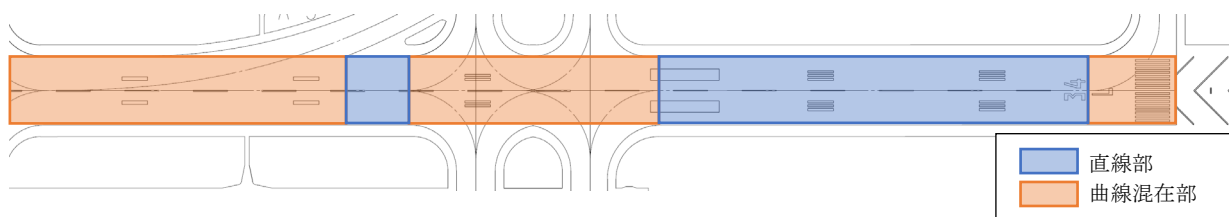


図-4.11 滑走路の分類のイメージ図

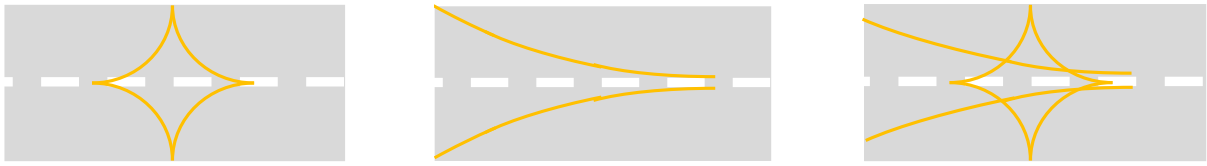


図-4.12 「曲線混在部」における滑走路中心線と誘導路中心線の交差部のイメージ図
 左：取付誘導路，中央：高速離脱誘導路，右：取付誘導路および高速離脱誘導路の幅轆

表-4.3 各範囲での航空機の走行特性

滑走路の範囲の分類	滑走路縦断方向の直線走行	滑走路横断方向の直線走行	滑走路からの離脱時の曲線走行	滑走路への進入時の曲線走行
直線部	○	-	-	-
曲線混在部	○	○	○	○

4.2.2 B 滑走路の分析結果

はじめに 22 側からの着陸のみで使用されている B 滑走路を対象とし、着陸時の変状発生傾向を整理した。B 滑走路における中心線からの距離別変状数の整理結果を表-4.4 に示す。全体的な傾向としては、変状は中心線から 8m 未満の範囲内で全体の約 98%発生しており、12m 以遠は発生していないことが見てとれる。この傾向は図-4.7 の航空機の走行確率と類似していることから、航空機の車輪の走行位置にて変状が発生している可能性がある。また、中心線からの距離に対する変状発生率を、誘導路での分析と同じ方法にて算出した結果を図-4.13 に示す。誘導路の傾向と異なり、B 滑走路ではいずれの範囲においても中心線から 2m 未満の範囲で変状が最も発生していた。

さらに、2m 未満の範囲での変状発生要因について、航空機の走行特性の違いによる 2 区分の範囲ごとに考察する。「直線部」では、図-4.7 の着陸時の走行確率より中心線付近におけるメインギアの走行頻度は無視できると考えてよいので、変状の発生はノーズギアの影響と想定される。前述したとおり、減速時のノーズギアの輪荷重はメインギアの 8 割に相当するほど大きいことから、変状の発生に影響を及ぼし得ると推測できる。

次に「曲線混在部」では、滑走路から高速離脱誘導路への離脱と取付誘導路の走行が考えられる。高速離脱誘導路では前述したとおり、中心線付近をメインギアが走行する頻度は少なく、「直線部」と同様に変状の発生はノーズギアの影響であると想定される。一方、取付誘導路では、前節で述べた誘導路交差部の場合と同様に、メインギアが中心線付近を走行する頻度が高い。このため、「曲線混在部」では、変状の発生はノーズギアとメインギアの走行に起因するものと想定される。加えて、中心線付近には中心線灯が多数存在している。3.4 でも述べたとおり、灯火器具とアスファルト舗装との異種材料接続部は舗装が脆弱であり変状が発生しやすいと考えられる。

以上の結果から、メインギアまたは減速時のノーズギアが中心線灯火の異種材料接続部を走行することに起因し、2m 未満の範囲で変状が多発していると推測される。

表-4.4 B 滑走路における中心線からの距離別変状数

滑走路の範囲の分類	中心線からの距離別変状数 (個)							合計変状数
	2m 未満	2m 以上 4m 未満	4m 以上 6m 未満	6m 以上 8m 未満	8m 以上 10m 未満	10m 以上 12m 未満	12m 以上	
直線部	6	5	2	3	1	1	0	18
曲線混在部	49	18	6	2	1	0	0	76
合計	55	23	8	5	2	1	0	94

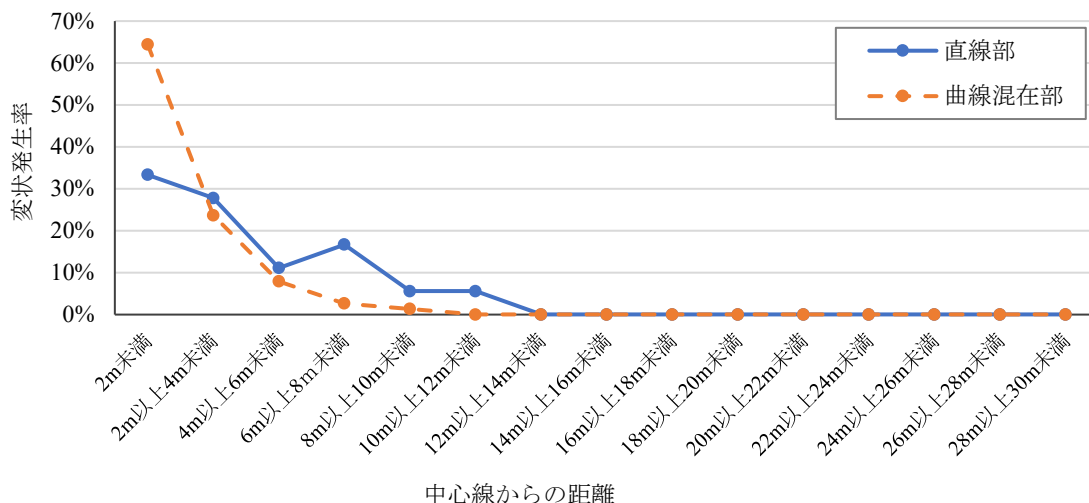


図-4.13 B滑走路における中心線からの距離に対する変状発生率

4.2.3 A滑走路の分析結果

次に、離陸および着陸が混在するものの、それぞれの走行方向が異なるA滑走路において分析した。A滑走路における横断方向の中心線からの距離別変状数の整理結果を表-4.5、図-4.14に示す。中心線から10mの範囲までで全体の98%が発生していることから、変状の大多数は10m未満の範囲で発生している可能性がある。また、変状は中心線から2m未満の範囲で最も発生していた。これらの点は、B滑走路で確認された傾向と大きく変わらなかった。

表-4.5 A滑走路における中心線からの距離別変状数

滑走路の 範囲の分類	中心線からの距離 (m) 別の変状数 (個)											合計 変状数
	2未満	2以上 4未満	4以上 6未満	6以上 8未満	8以上 10未満	10以上 12未満	12以上 14未満	14以上 16未満	16以上 18未満	18以上 20未満	20以上	
直線部	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
曲線混在部	65	12	13	3	1	0	1	0	0	1	0	96
合計	66	13	14	4	1	0	1	0	0	1	0	100

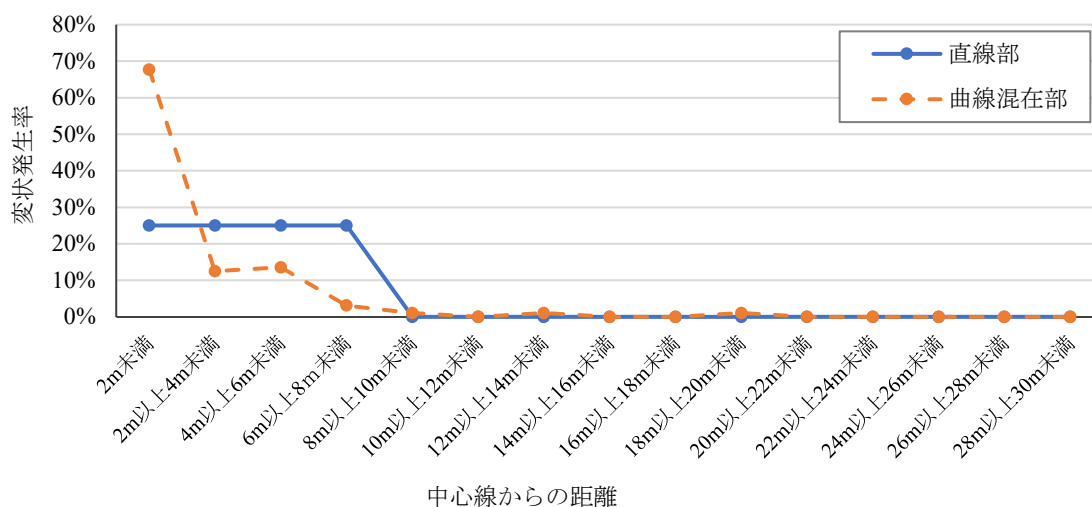


図-4.14 A滑走路における中心線からの距離に対する変状発生率

4.3 縦断方向の変状発生分布

滑走路の縦断方向における航空機の走行特性は、位置に応じて異なる。離陸時には滑走路にて一時停止する箇所や加速を行う範囲が存在し、着陸時には接地箇所、減速を行う範囲および滑走路から離脱する曲線走行範囲が存在する。これらの走行特性の違いにより、滑走路に発生する変状数に差異が生じている可能性がある。そこで、滑走路に関しては、滑走路の縦断方向の変状の発生位置にも着目し、変状発生率を整理した。

4.3.1 条件整理

滑走路の縦断方向における航空機の走行特性は、著者が東京国際空港の A 滑走路の運用を目視で観察し、整理した。観察日時は令和 7 年 6 月 8 日（日）15 時～16 時の 1 時間であり、当日の天候は曇りで滑走路は乾燥している状態であった。また、整理する対象機材は、舗装に大きな影響を及ぼす LJ とした。以降に、整理した航空機の走行特性について離着陸別に示す。なお、この A 滑走路の運用の目視観察結果は、目視観察期間が短く、またサンプル数も少ないことから、参考情報として取り扱うこととする。

はじめに、離陸機の走行特性を整理した結果を図-4.15 に示す。「スタンバイ位置」とは、離陸機が滑走路に進入し滑走前に一時停止している位置であり、「メインギア浮上位置」とは、メインギアが滑走路から完全に離れた位置である。図-4.15 より、全ての航空機が同じスタンバイ位置から滑走を始め、そこから 1500m~2000m 滑走した位置でメインギアが浮上していた。ここで、A 滑走路の離陸では、滑走路末端から約 400m 離れた位置に交差している取付誘導路から滑走路に進入していたため、スタンバイ位置は滑走路末端ではなく末端から 400m~500m の範囲に位置していた。

次に、着陸機の走行特性を整理した結果を図-4.16 に示す。「メインギア接地位置」「ノーズギア接地位置」とは着陸機のメインギア/ノーズギアがそれぞれ滑走路に接地した位置であり、「急減速終了位置」とは着陸機の轟音より着陸後の急減速が終了したと想定される位置である。また、滑走路への接地の目標とする目標点標識の設置位置は、着陸進入側の滑走路末端から 400m~460m にある。図-4.16 より、まずメインギアが目標点標識を 100m 程度超えた 500m~700m の範囲で滑走路に接地し、続いてノーズギアが 800m~1000m の範囲で接地していた。そしてノーズギアの接地とほぼ同時に航空機が急減速を開始し、1500m~2100m の範囲まで減速していた。

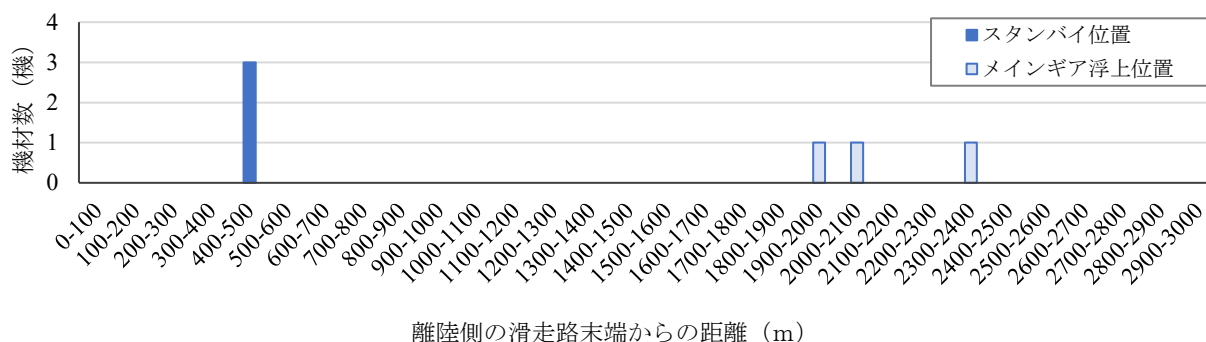


図-4.15 東京国際空港 A 滑走路における LJ 離陸機の走行特性

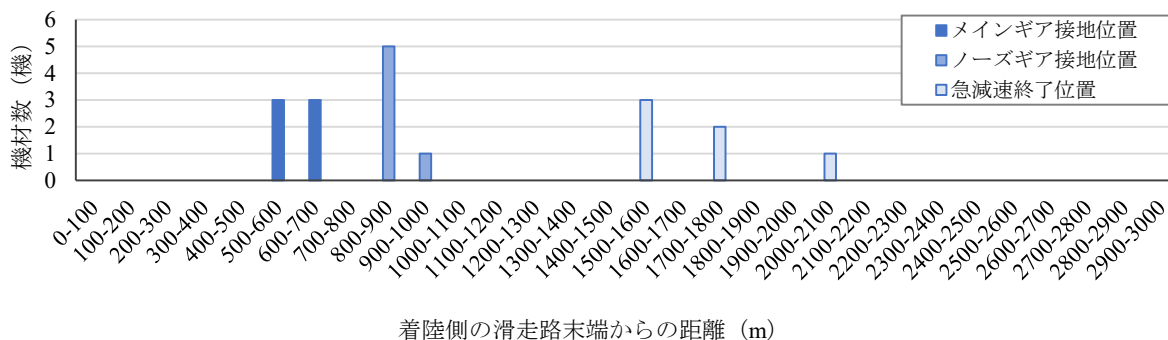


図-4.16 東京国際空港 A 滑走路における LJ 着陸機の走行特性

4.3.2 B滑走路の分析結果

はじめに、22側からの着陸のみで使用されているB滑走路を対象に分析を行う。B滑走路の着陸後の走行経路は、図-4.16の着陸機の走行特性を参考にすると、以下のとおり推測できる。

- ① 22側から進入する。
- ② 図-4.16の着陸機の走行特性より、航空機は500m~700mの範囲で滑走路に接地し、800m~2100mの範囲で減速すると想定される。
- ③ 東京航空局による平成27年度の交通量検討資料より、主にB7、B5、B4、B3の高速離脱誘導路を使用して滑走路から離脱する。



図-4.17 B滑走路着陸機の走行特性，走行経路

以上より、B滑走路縦断方向の変状発生状況の整理結果および着陸時の走行経路を踏まえた考察を記す。

B滑走路を22側末端から100m間隔で区分し、各区分での変状発生率を整理した結果を図-4.18に示す。図-4.18より、0m~900mは各範囲にて全体の2%程度の変状しか発生していない一方で、900m~2200mの範囲では平均して6%程度の変状が発生していた。延長2500mのB滑走路全域で一律に変状が発生したと仮定した場合、100mあたりの平均変状発生率は4%となることから、変状発生率は0m~900mの範囲では低く、900m~2200mの範囲では高い傾向がある。

ここで、変状発生率と航空機の着陸時の走行特性との関係性を分析するため、接地範囲、着陸後の急減速範囲および離脱誘導路として使用されている誘導路(B7、B5、B4、B3)の使用率を図-4.18に併記した。図-4.18より、着陸後の急減速範囲と変状発生率が高い範囲がほぼ一致していることが確認できる。さらに、各離脱誘導路の交差部周辺にて変状が多発している傾向が見られるが、当該範囲は高速離脱誘導路を曲線走行する範囲のため、変状発生率が高くなっていると推測される。一方で、500m~700mの接地範囲は急減速範囲や離脱誘導路交差部付近より変状発生率が低いことが確認できる。

以上を踏まえると、航空機の着陸時の走行特性のうち、急減速走行および曲線走行が変状発生に影響を及ぼしていると考えられる。

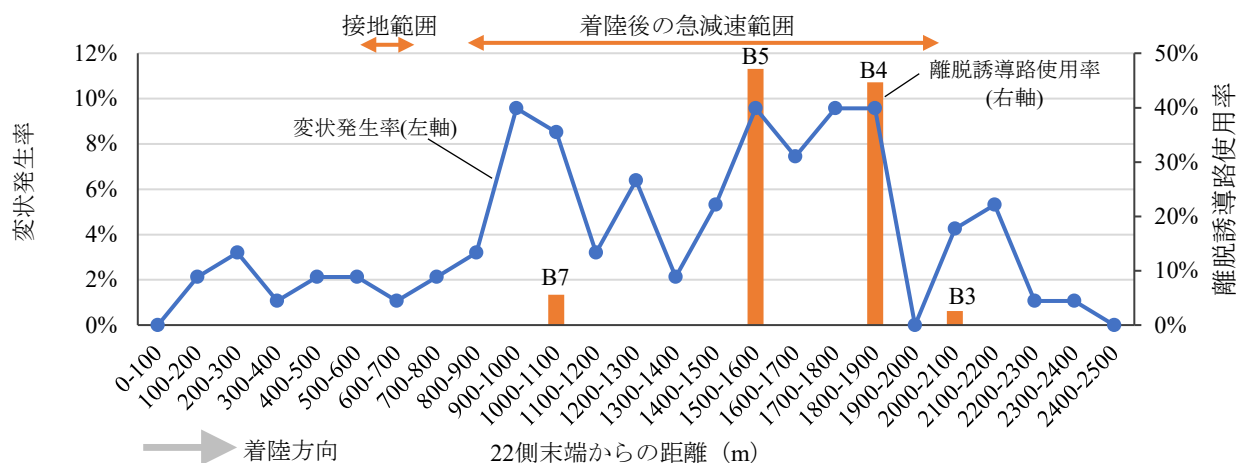


図-4.18 22側末端からの距離に対する変状発生率および着陸時の走行経路

4.3.3 A 滑走路の分析結果

次に、着陸および離陸で使用されている A 滑走路を対象に分析を行う。A 滑走路の離着陸時の走行経路は、**図-4.15** および**図-4.16** に離着陸機の走行特性を参考にすると、以下のとおり推測できる。

【着陸】

- ① 34L 側から進入する。
- ② **図-4.16** の着陸機の走行特性より、航空機は 16R 側末端から 2300m~2500m の範囲で滑走路に接地し、900m~2200m の範囲で減速すると想定される。
- ③ 東京航空局による平成 27 年度の交通量検討資料より、主に L9, A9, L8, A8, A6, L6, A5 の高速離脱誘導路を使用して滑走路から離脱する。



図-4.19 A 滑走路着陸機の走行特性，走行経路

【離陸】

- ① 東京航空局による平成 27 年度の交通量検討資料より、L11, A10, L10 を使用して滑走路に進入する。
- ② 滑走路路上にて一時停止し、34L 側に向けて離陸する。
- ③ **図-4.15** の離陸機の走行特性より、航空機は 1500m~1900m 滑走した位置（16R 側末端から 1900m~2400m の位置）で滑走路から浮上すると想定される。



図-4.20 A 滑走路離陸機の走行特性，走行経路

また、取付誘導路との交差部に着目すると、A 滑走路と交差する取付誘導路では、A 滑走路への進入・A 滑走路からの離脱を主目的とした使用と、A 滑走路を横断するための横断レーンとしての使用の 2 種類があると想定される。これを念頭に、各使用方法での航空機の走行特性について整理する。**図-4.21** のように進入・離脱時に使用する取付誘導路の交差部では、航空機は滑走路と取付誘導路間の移動のため、滑走路上は曲線走行となる。一方、**図-4.22** のように横断レーンとして使用する取付誘導路の交差部では、航空機は対極する取付誘導路へ移動するため、滑走路を直線的に横断する走行（以降、滑走路横断走行とする）となる。このように、両者で滑走路上で航空機の走行特性は異なる。

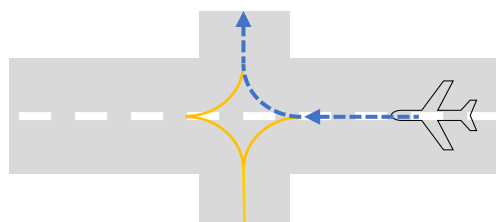


図-4.21 進入・離脱誘導路との交差部の航空機の走行イメージ図：曲線走行

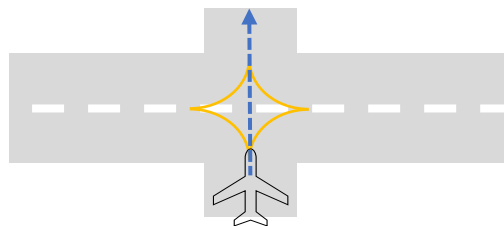


図-4.22 横断レーンとの交差部の航空機の走行イメージ図：滑走路横断走行

以上より、A 滑走路縦断方向の変状発生状況の整理結果および離着陸時の走行経路を踏まえた考察を記す。

A 滑走路を 16R 側末端から 100m 間隔で区分し、各区分での変状発生率を整理した結果を図-4.23 に示す。2100m～3000m の範囲では平均して 1.2%程度の変状しか発生していない一方で、300m～2000m の範囲では平均して 5%程度発生していた。延長 3000m の A 滑走路全域で一律に変状が発生したと仮定した場合、100m あたりの平均変状発生率は 3.3% となることから、2100m～3000m の範囲では変状発生率は低く、300m～2000m の範囲では変状発生率は高い傾向がある。さらに、取付誘導路との交差部における変状発生率および交差する取付誘導路の 200 kN 交通量を整理したものを表-4.6 に示す。2100m～3000m の範囲に位置する A2 および A3B に着目すると、A2・A3B の 200 kN 交通量はその他の取付誘導路と比較して多い方であるが、A 滑走路と A2・A3B との交差部における変状発生率は低いことが見てとれる。

そして、前述した A 滑走路における航空機の走行特性を踏まえ、図-4.22 に示す横断レーンとの交差部、高速離脱誘導路との交差部、進入誘導路との交差部の 3 つの着目点から考察する。

はじめに、横断レーンとの交差部における変状発生率の考察を行うため、横断レーンとして使用されている取付誘導路のうち A2, A3B に着目した。A2・A3B を選定した理由は、図-4.24 に示すとおり着陸後の急減速範囲及び離陸時の一時停止・滑走範囲から外れている、つまり変状発生要因となる縦断方向の走行特性の影響を受けない誘導路であるためである。前述したとおり、A2・A3B の交通量はその他の取付誘導路と比較して多いが、A 滑走路と A2・A3B との交差部における変状発生率は低い。これより、横断レーンとの交差部、つまり滑走路横断走行をする場合は、交通量が多くても変状発生率は低いことが確認できた。

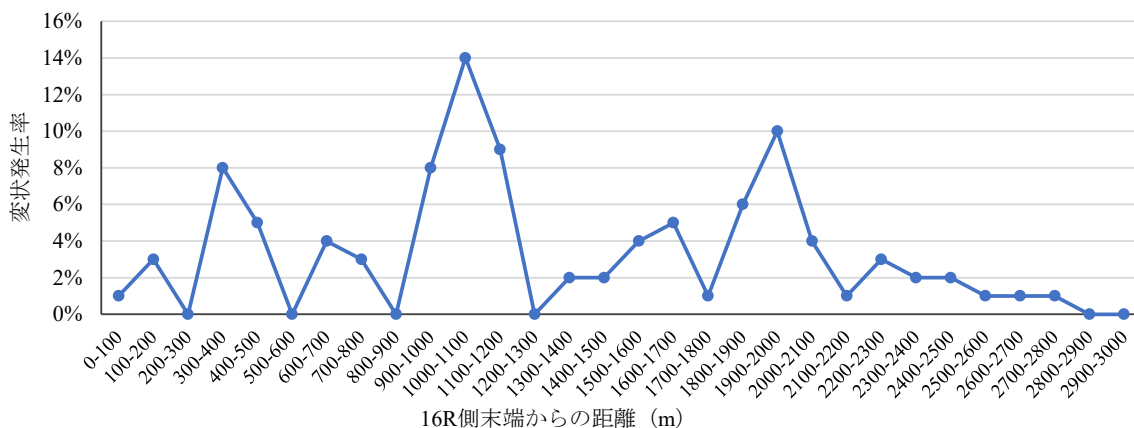


図-4.23 16R 側末端からの距離に対する変状発生率

表-4.6 A 滑走路と交差する取付誘導路の交通量と交差部での変状発生率

施設名	A11	A10	A9B	A7	A4B	A3B	A2	A1
16R 側末端からの距離(m)	353	464	624	1004	1952	2387	2487	2985
200 kN 交通量(回)	21256	45373	290	8661	8798	43023	45856	5
交差部における変状発生率(%)	8.0	5.0	4.0	14.0	10.0	2.0	2.0	0.0



Maps Data: Google, Image ©2025 Maxar Technologies

図-4.24 A 滑走路に交差する取付誘導路の位置

次に、高速離脱誘導路との交差部における変状発生率の考察を行うため、離脱に使用される誘導路（L9, A9, L8, A8, A6, L6, A5）の使用率を図-4.25に併記した。図-4.25より、離脱誘導路の交差部の前後にて変状が多発している傾向が見られ、これはB滑走路と同様であった。特に1000m~1100mの範囲の変状発生率が高いが、この範囲では複数の高速離脱誘導路が輻輳しており、離脱時の曲線走行および着陸後の急減速走行といった様々な走行特性が複雑に重なっていることが要因であると想定される。

最後に、進入誘導路との交差部における変状発生率の考察を行うため、進入に使用される誘導路（L11, A10, L10）を図-4.26に併記した。図-4.26より、進入誘導路の交差部、つまり航空機が滑走路に進入し一時停止する300m~500mの範囲にて変状が多発している傾向が見られた。これより、進入誘導路から滑走路へ移動する際の曲線走行や一時停止が変状発生に影響していると推測される。

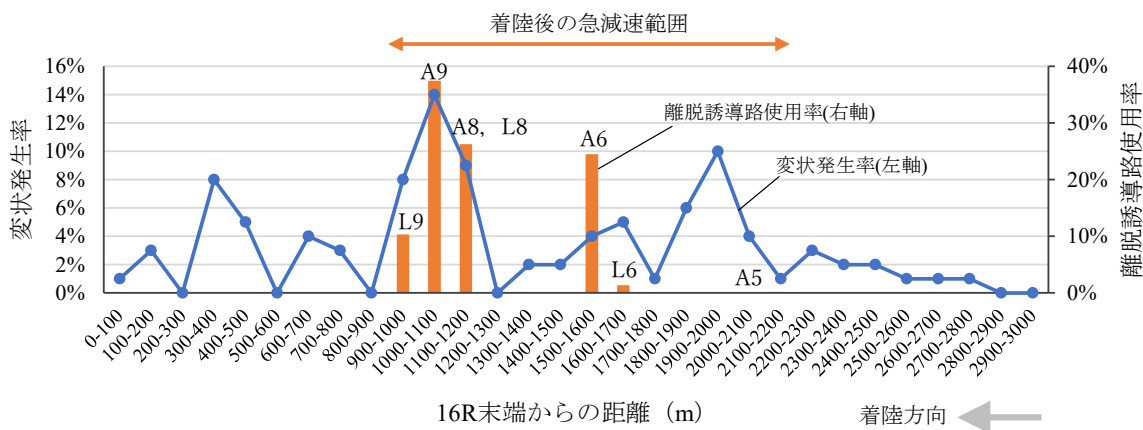


図-4.25 16R 側末端からの距離に対する変状発生率および着陸時の走行経路

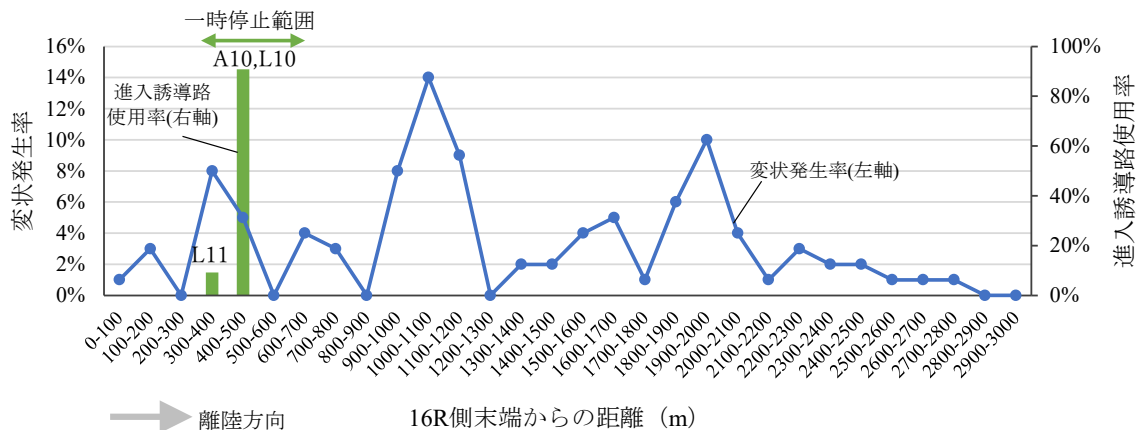


図-4.26 16R 側末端からの距離に対する変状発生率および離陸時の走行経路

4.4 総括

東京国際空港の滑走路の変状発生分析結果を以下に総括する。

- ① 滑走路横断方向に着目した分析より、中心線から10m未満の範囲でほぼ全ての変状が発生していた。特に、メインギアまたは減速時のノーズギアが中心線灯火の異種材料接続部を走行することに起因し、2m未満の範囲で変状が多発していると推測される。
- ② 滑走路縦断方向に着目した分析より、航空機の着陸時の急減速範囲、滑走路離脱時・進入時の曲線走行範囲および離陸時の一時停止範囲にて変状発生率が高い傾向が見られた。
- ③ 滑走路横断走行する横断レーン交差部に着目した分析より、滑走路横断走行をする取付誘導路との交差部では、交通量が多くても変状発生率は低いことが確認できた。

5 長崎空港、鹿児島空港、松山空港を対象とした研究の概要

2章から4章では東京国際空港を対象としたが、同空港のように交通量が著しく多い大規模な国内空港は稀である。その他の国管理空港では交通量が比較的少なく、運用環境も大きく異なる。このため、その他の国管理空港における誘導路・滑走路の変状発生状況は、東京国際空港とは異なる可能性があると考えられる。そこで、5章から7章ではその他の国管理空港を対象に分析を行った。分析項目は、4章までで顕著な傾向が認められた縦横断方向の変状発生分布に着眼したものとした。

ここで本章では、その他の国管理空港を対象とした検討で使用する変状データについて整理する。2章で述べたとおり、空港の滑走路・誘導路で発生した変状に対しては、「緊急補修工事」と「クラック注入工事」の2種類の補修工事が実施されている。このうち、東京国際空港の分析では「緊急補修工事」の記録を変状データとして用いていたため、その他の国管理空港の分析においても同様のデータを対象とすべく、大阪航空局管轄の国管理空港である宮崎空港、高知空港、鹿児島空港、松山空港、長崎空港、北九州空港を対象に、緊急補修工事記録を収集した。しかし、平成29年度から令和5年度までの7年間・6空港の合計で誘導路12件、滑走路5件と、工事件数が極めて少ないことが判明した。一方、「クラック注入工事」は「緊急補修工事」よりも実施頻度が高く、データ量も十分に確保できた。そこで、その他の国管理空港における変状発生位置の分析においては、データ数が多い「クラック注入工事」の記録を使用することとした。なお、当該6空港における「緊急補修工事」の詳細については、付録Aを参照されたい。

6 長崎空港、鹿児島空港、松山空港の誘導路の変状発生分析

6.1 変状データの概要

収集した6空港のクラック注入工事記録のうち、工事箇所判断が可能だった記録は、長崎空港、鹿児島空港、松山空港の記録であった。そのため、本章の分析ではこの3空港を対象とした。各空港における7年間の累計工事箇所は、長崎空港で26箇所、鹿児島空港で72箇所、松山空港で87箇所である。ここで対象空港の誘導路幅について、主要な誘導路幅は23mであるが、取付誘導路や曲線部では一部拡幅され、より広い幅員を有する箇所も存在している。

変状データについては、クラック注入工事1箇所につき変状が1個発生したものと整理した。したがって、変状数は、長崎空港26個、鹿児島空港72個、松山空港87個である。変状の種類としては、クラック注入工事の対象である「線状ひび割れ」、「亀甲状クラック」、「施工目地の開き」、「灯火周辺舗装の破損」が考えられるが、工事資料からは種類を明確に判別することが困難であったため、種類の分類はしないものとする。ただし、「亀甲状クラック」および「灯火周辺舗装の破損」は、航空機の運航に直ちに支障を来す可能性が高い変状であるのに対し、「施工目地の開き」は突発的に生じるものではなく経年的に開くものであり、航空機の運航に直ちに支障を来す変状ではない。クラック注入工事箇所を変状データとするにあたり、このように性質の異なる変状がデータ内に混在している点に留意が必要である。

以上の条件のもとで、3空港の誘導路における変状発生位置を空港施設平面図上にプロットしたものを図-6.1、図-6.2、図-6.3に示す。いずれの空港においても、変状が多発している範囲が複数存在しているが、一方で全く変状が発生していない範囲もあることが見てとれる。



図-6.1 【長崎空港】誘導路の変状位置図



図-6.2 【鹿児島空港】誘導路の変状位置図

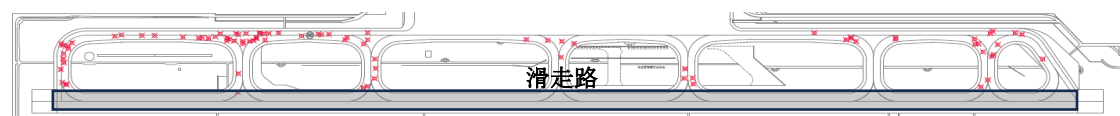


図-6.3 【松山空港】誘導路の変状位置図

6.2 横断方向の変状発生分布

6.2.1 条件整理

まず航空機の誘導路走行時における車輪の走行位置を大まかに把握するため、航空機の横断方向の車輪の走行確率を算出した。対象機材は、航空機追跡サービスの一つである Flightradar 24¹¹⁾ から取得した対象空港の任意の1日分の運航データを基に整理した。各空港の就航機材の整理結果を表-6.1に示す。いずれの空港もコードCの運航が主体であり、コードEは就航しているものの便数は少ない。また、3空港とも最も就航便数が多い機材はB737-800であった。

この整理結果に基づき、主要機材の車輪の走行確率を算出した。走行確率は、3.4.1の東京国際空港の誘導路と同じ方法で算出することとし、算出条件は表-6.2とした。

主要機材の車輪の走行確率の算出結果を図-6.4に示す。全体的な傾向として、ノーズギアは中心線から概ね1.5m以内、メインギアは1.5m~7mの範囲の走行確率が高く、8m以遠はほぼ走行しないことが分かった。

表-6.1 対象空港のある1日の離陸便の就航機材

機材	コード	ホイールトラック(m)	就航便数 (離陸機/日)		
			長崎空港	鹿児島空港	松山空港
B787	E	9.8	3	1	3
B777-200	E	10.97	-	-	1
B767-300	D	9.3	3	5	2
A321, A320	C	7.59	2	5	6
B737-800	C	5.72	13	27	11
DHC-8-400	C	8.8	4	4	9
ATR72-600, ATR42-600	C	4.1	5	22	1
E170, E175	C	5.2	-	3	6
E190	C	5.94	4	6	-
CRJ-700	C	4.12	-	1	-

表-6.2 走行確率の算出条件

項目	B787-9		B777-200		B737-800	
	メインギア	ノーズギア	メインギア	ノーズギア	メインギア	ノーズギア
σ 誘導路走行時の横断方向走行分布の標準偏差 ^{※1}	0.67m	0.67m	0.67m	0.67m	0.57m	0.57m
F ホイールトラック	9.8m ^{※2}	-	10.97m ^{※3}	-	5.72m ^{※4}	-
S 車輪の横中心間隔	1.52m ^{※2}	0.72m ^{※2}	1.40m ^{※3}	0.78m ^{※3}	0.86m ^{※4}	0.41m ^{※4}
W_t 車輪のタイヤ接地幅	0.329m ^{※2}	0.251m ^{※2}	0.322m ^{※3}	0.250m ^{※3}	0.298m ^{※4}	0.143m ^{※4}
$\mu 1$ 中心線からメインギア/ノーズギアの外側の車輪の中心までの距離	5.66m ^{※2}	0.36m ^{※2}	6.19m ^{※3}	0.39m ^{※3}	3.29m ^{※4}	0.21m ^{※4}
$\mu 2$ 中心線からメインギア/ノーズギアの内側の車輪の中心までの距離	4.14m ^{※2}	-0.36m ^{※2}	4.79m ^{※3}	-0.39m ^{※3}	2.43m ^{※4}	-0.21m ^{※4}

※1：空港土木施設設計要領（舗装設計編）⁸⁾を参考に設定

※2：B787-9のAirplane Characteristics¹²⁾を参考に設定

※3：B777-200のAirplane Characteristics¹³⁾を参考に設定

※4：B737-800のAirplane Characteristics¹⁴⁾を参考に設定

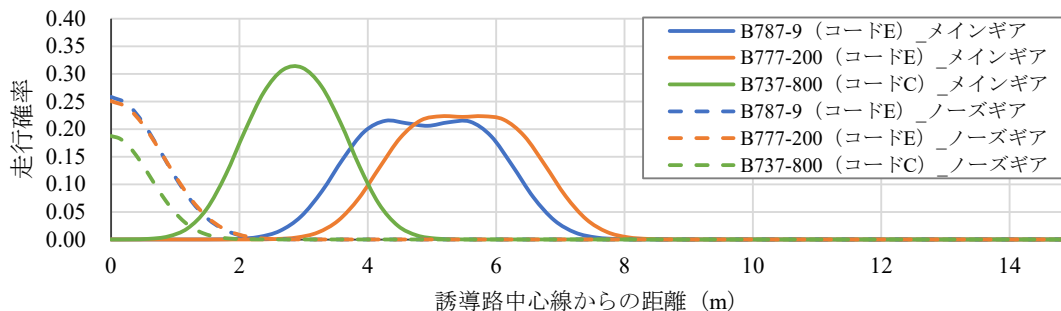


図-6.4 対象機材の車輪の走行確率：誘導路走行時

次に、対象施設の分類方法と変状数の整理方法について述べる。変状発生位置の分析にあたり、図-6.5 に示すとおり、誘導路中心線から横断方向に 2m 間隔で区分し、各区分における変状数を整理した。また、航空機の走行特性は誘導路中心線の形状によって変化し、その違いが変状発生数に影響を及ぼす可能性があることは、東京国際空港の分析結果から示唆されている。そこで、長崎空港、鹿児島空港、松山空港を対象とした分析でも航空機の走行特性を考慮するため、図-6.6 のとおり誘導路を中心線の形状によって「直線部」、「高速離脱部」、「曲線部・交差部」に分類し、各範囲における変状数を個別に分析することとした。各範囲での航空機の走行特性については、表-6.3 のとおり想定される。

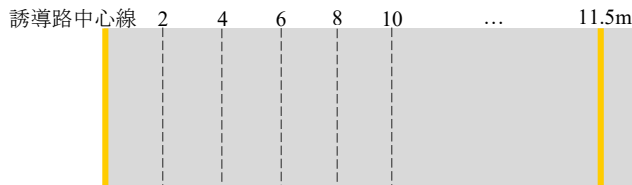


図-6.5 横断方向に区分した範囲のイメージ図（片側のみ表示）

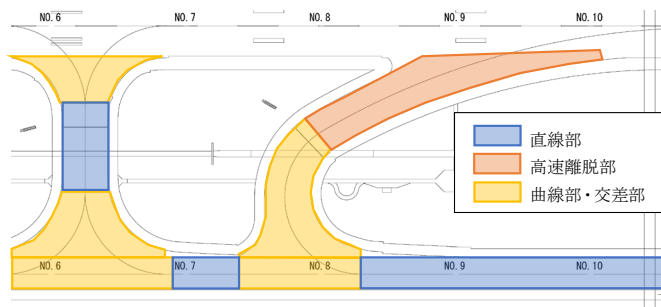


図-6.6 誘導路の分類のイメージ図

表-6.3 各範囲での航空機の走行特性

誘導路の範囲の分類	誘導路縦断方向の直線走行	誘導路横断方向の直線走行	誘導路交差部の曲線走行 (R=50, 60m 程度)	高速離脱部の曲線走行 (R=600m 程度)
直線部	○	-	-	-
高速離脱部	-	-	-	○
曲線部・交差部	○	○	○	-

6.2.2 分析結果

3 空港における誘導路中心線からの距離に対する変状発生率の整理結果を図-6.7、図-6.8、図-6.9 に示す。3 空港の全体的な傾向として、誘導路中心線に近い範囲で変状発生率が高い傾向が確認された。しかし、その他には3 空港で共通する傾向は見られなかった。

変状発生要因については、図-6.4 に示す走行確率から考察する。8m 以遠は走行確率の高い範囲を外れているため、8m 以遠で発生している変状は車輪の走行による影響ではない。クラック注入工事の実績には、施工目地の開きなど舗装の経年劣化に起因する変状が含まれていることから、これらが 8m 以遠の変状として現れている可能性が高いと推測される。一方、8m 未満の範囲で発生している変状には航空機の車輪の走行に起因するものが含まれていると推測されるが、前述のとおり施工目地の開き等の変状も含まれているので、完全に航空機の走行の影響のみが反映された結果ではないと考えられる。

以上の結果から、航空機の車輪の走行に起因しない変状も多く含まれているため、航空機の走行特性に基づく分類でも航空機の走行に応じた傾向は見られなかったと考えられる。また、施工目地の位置は空港や施設ごとに異なるため、施工目地の開きの発生状況も空港間でばらつきが生じやすい。その結果、3 空港に共通した傾向が現れにくかったものと考えられる。

なお、鹿児島空港および松山空港では、主要な誘導路幅である 23m を超える範囲にも変状が確認されたが、これは両空港の取付誘導路や曲線部にて誘導路幅員が広く設けられている箇所があり、その範囲で発生した変状が整理結果に反映されたためである。

表-6.4 【長崎空港】誘導路中心線からの距離別変状数

誘導路の 範囲の分類	中心線からの距離別変状数（個）						合計 変状数
	2m 未満	2m 以上 4m 未満	4m 以上 6m 未満	6m 以上 8m 未満	8m 以上 10m 未満	10m 以上 12m 未満	
直線部	4	4	2	1	0	0	11
曲線部・交差部	8	0	0	1	0	1	10
合計	12	4	2	2	0	1	21

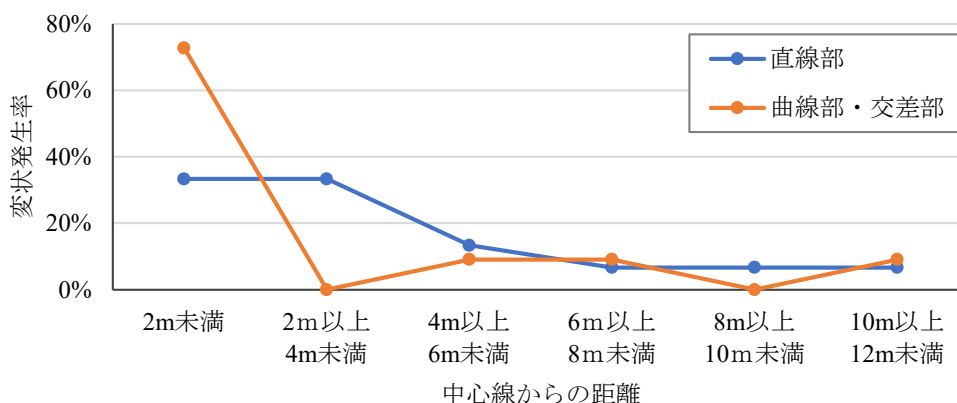


図-6.7 【長崎空港】誘導路中心線からの距離に対する変状発生率

表-6.5 【鹿児島空港】誘導路中心線からの距離別変状数

誘導路の 範囲の分類	中心線からの距離 (m) 別の変状数 (個)									合計 変状数
	2未満	2以上 4未満	4以上 6未満	6以上 8未満	8以上 10未満	10以上 12未満	12以上 14未満	14以上 16未満	16以上 18未満	
直線部	7	8	8	8	5	1	0	0	0	37
高速離脱部	1	0	0	2	0	0	1	0	0	4
曲線部・交差点	5	2	3	4	4	3	5	3	2	31
合計	13	10	11	14	9	4	6	3	2	72

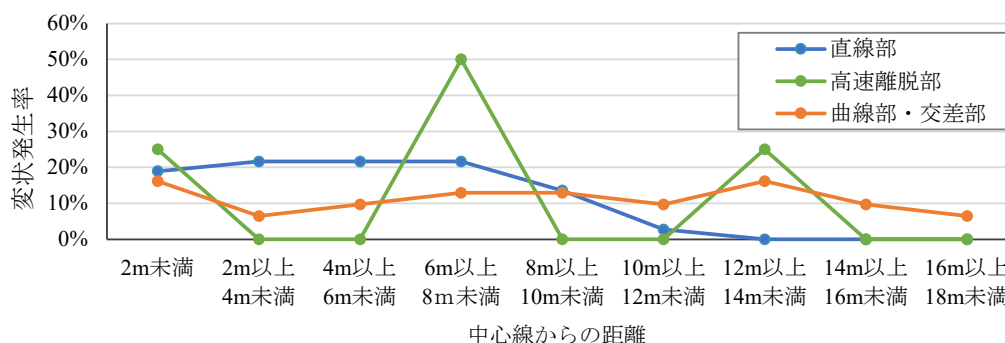


図-6.8 【鹿児島空港】誘導路中心線からの距離に対する変状発生率

表-6.6 【松山空港】誘導路中心線からの距離別変状数

誘導路の 範囲の分類	中心線からの距離 (m) 別の変状数 (個)									合計 変状数
	2未満	2以上 4未満	4以上 6未満	6以上 8未満	8以上 10未満	10以上 12未満	12以上 14未満	14以上 16未満	16以上 18未満	
直線部	6	4	6	6	4	3	1	0	0	30
曲線部・交差点	6	8	10	6	8	8	9	1	1	57
合計	12	12	16	12	12	11	10	1	1	87

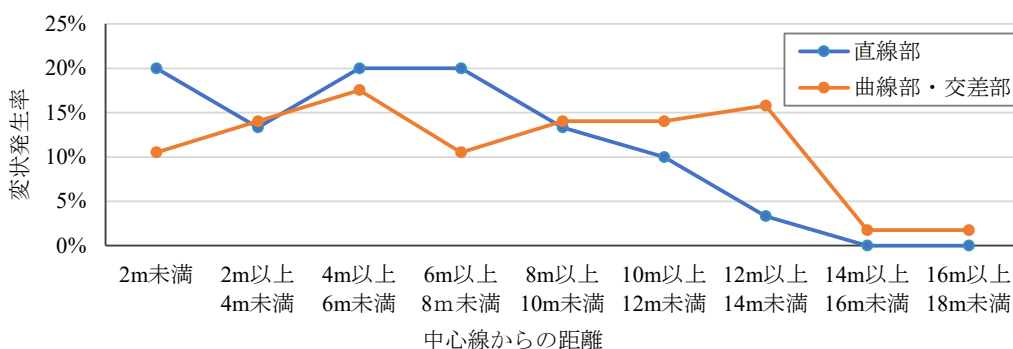


図-6.9 【松山空港】誘導路中心線からの距離に対する変状発生率

6.3 総括

横断方向に着目した分析より、航空機の車輪が走行する中心線から8m未満の範囲では車輪の走行に起因する変状が含まれていると推測される一方、同範囲を含む横断方向全域には、施工目地の開き等の経年劣化に起因する変状、つまり航空機の走行に起因しない変状が多く存在していると推測される。したがって、航空機の走行に応じた傾向は見られず、3空港に共通する傾向が現れにくかったものと考えられる。

7 長崎空港、鹿児島空港、松山空港の滑走路の変状発生分析

7.1 変状データの概要

収集した6空港のクラック注入工事記録のうち、工事箇所が判断可能な記録は、誘導路と同様に長崎空港、鹿児島空港、松山空港の記録であった。そのため、本章においてもこの3空港を対象とした。各空港における7年間の累計工事箇所は、長崎空港で38箇所、鹿児島空港で82箇所、松山空港で213箇所である。ここで対象空港の滑走路長および滑走路幅は、長崎空港が3000m×60m、鹿児島空港が3000m×45m、松山空港が2500m×45mである。

変状データについては、誘導路での分析と同じく、クラック注入工事1箇所につき変状が1個発生したものと整理した。したがって、変状数は、長崎空港38個、鹿児島空港82個、松山空港213個である。

以上の条件のもとで、3空港の滑走路における変状発生位置を空港施設平面図上にプロットしたものを図-7.1、図-7.2、図-7.3に示す。変状が多発している範囲が複数存在しているが、一方で全く変状が発生していない範囲もあることが見てとれる。

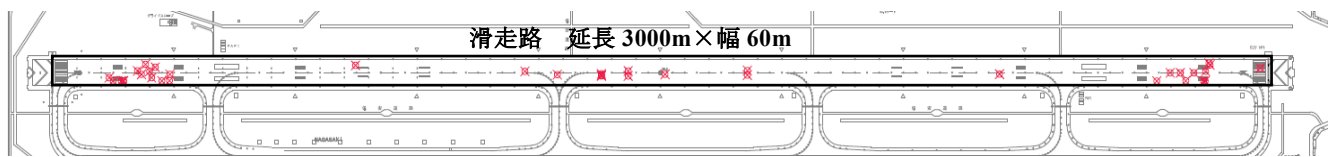


図-7.1 【長崎空港】滑走路の変状位置図

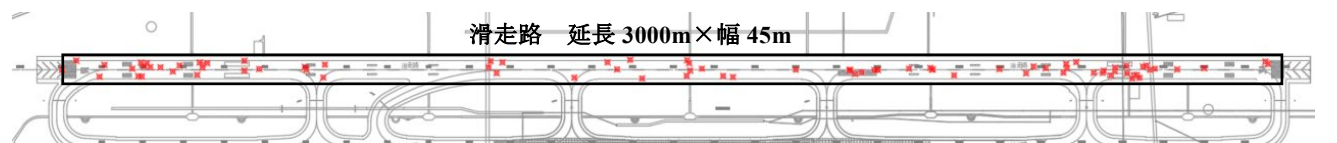


図-7.2 【鹿児島空港】滑走路の変状位置図

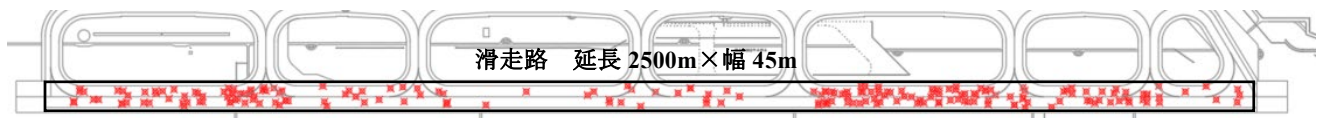


図-7.3 【松山空港】滑走路の変状位置図

7.2 横断方向の変状発生分布

7.2.1 条件整理

離陸時・着陸時における車輪の走行位置を大まかに把握するため、航空機の横断方向の車輪の走行確率を算出した。対象機材および選定理由は誘導路と同じであるため、6.2.1を参照されたい。走行確率は、3.4.1の東京国際空港の誘導路と同じ方法で算出することとした。また算出条件は表-7.1および表-7.2とし、6.2.1の誘導路での算出条件(表-6.2参照)から σ の値を変更している。

算出した走行確率を図-7.4、図-7.5に示す。全機材の全体的な傾向として、離陸時は、ノーズギアは中心線から概ね1.5m以内、メインギアは1.5m~7mの範囲の走行確率が高く、10m以遠はほぼ走行しない。一方で、着陸時は離陸時より走行範囲が広い。ノーズギアは中心線から概ね2m以内、メインギアは1.5m~8mの範囲での走行確率が高く、12m以遠はほぼ走行しないことが分かる。また就航便数の多いコードCの傾向としては、離陸時・着陸時ともにコードEより1m~2m程度中心線に近い方に走行確率が高くなっている。

表-7.1 走行確率の算出条件：離陸時

項目	B787-9		B777-200		B737-800	
	メインギア	ノーズギア	メインギア	ノーズギア	メインギア	ノーズギア
σ	誘導路走行時の横断方向走行分布の標準偏差 ^{※1}					
	0.91m	0.91m	0.91m	0.91m	0.74m	0.74m
F	ホイールトラック					
	9.8m ^{※2}	-	10.97m ^{※3}	-	5.72m ^{※4}	-
S	車輪の横中心間隔					
	1.52m ^{※2}	0.72m ^{※2}	1.40m ^{※3}	0.78m ^{※3}	0.86m ^{※4}	0.41m ^{※4}
W_t	車輪のタイヤ接地幅					
	0.329m ^{※2}	0.251m ^{※2}	0.322m ^{※3}	0.250m ^{※3}	0.298m ^{※4}	0.143m ^{※4}
$\mu 1$	誘導路中心線からメインギア/ノーズギアの外側の車輪の中心までの距離					
	5.66m ^{※2}	0.36m ^{※2}	6.19m ^{※3}	0.39m ^{※3}	3.29m ^{※4}	0.21m ^{※4}
$\mu 2$	誘導路中心線からメインギア/ノーズギアの内側の車輪の中心までの距離					
	4.14m ^{※2}	-0.36m ^{※2}	4.79m ^{※3}	-0.39m ^{※3}	2.43m ^{※4}	-0.21m ^{※4}

※1：空港土木施設設計要領（舗装設計編）⁸⁾を参考に設定

※2：B787-9のAirplane Characteristics¹²⁾を参考に設定

※3：B777-200のAirplane Characteristics¹³⁾を参考に設定

※4：B737-800のAirplane Characteristics¹⁴⁾を参考に設定

表-7.2 走行確率の算出条件：着陸時

項目	B787-9		B777-200		B737-800	
	メインギア	ノーズギア	メインギア	ノーズギア	メインギア	ノーズギア
σ	誘導路走行時の横断方向走行分布の標準偏差 ^{※1}					
	1.74m	1.74m	1.74m	1.74m	1.10m	1.10m
F	ホイールトラック					
	9.8m ^{※2}	-	10.97m ^{※3}	-	5.72m ^{※4}	-
S	車輪の横中心間隔					
	1.52m ^{※2}	0.72m ^{※2}	1.40m ^{※3}	0.78m ^{※3}	0.86m ^{※4}	0.41m ^{※4}
W_t	車輪のタイヤ接地幅					
	0.329m ^{※2}	0.251m ^{※2}	0.322m ^{※3}	0.250m ^{※3}	0.298m ^{※4}	0.143m ^{※4}
$\mu 1$	誘導路中心線からメインギア/ノーズギアの外側の車輪の中心までの距離					
	5.66m ^{※2}	0.36m ^{※2}	6.19m ^{※3}	0.39m ^{※3}	3.29m ^{※4}	0.21m ^{※4}
$\mu 2$	誘導路中心線からメインギア/ノーズギアの内側の車輪の中心までの距離					
	4.14m ^{※2}	-0.36m ^{※2}	4.79m ^{※3}	-0.39m ^{※3}	2.43m ^{※4}	-0.21m ^{※4}

※1：空港土木施設設計要領（舗装設計編）⁸⁾を参考に設定

※2：B787-9のAirplane Characteristics¹²⁾を参考に設定

※3：B777-200のAirplane Characteristics¹³⁾を参考に設定

※4：B737-800のAirplane Characteristics¹⁴⁾を参考に設定

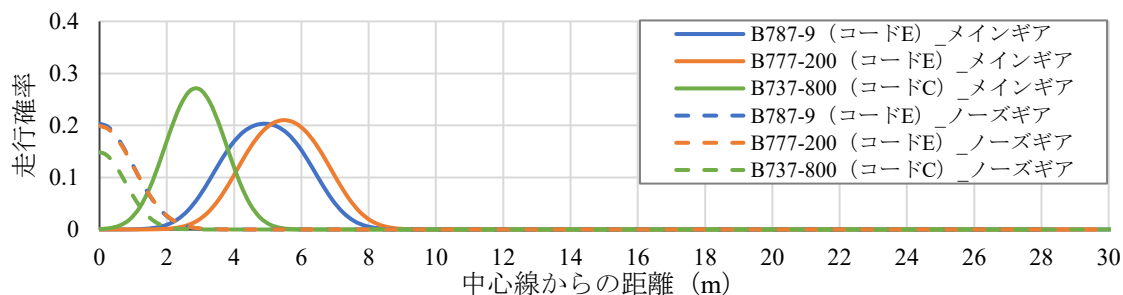


図-7.4 対象機材の車輪の走行確率：離陸時

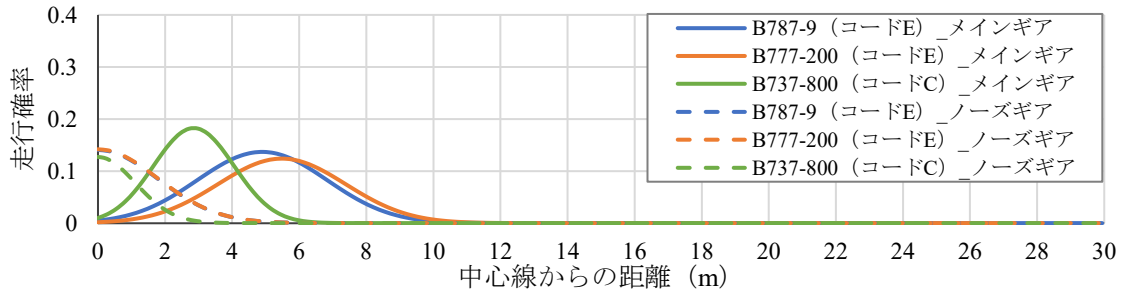


図-7.5 対象機材の車輪の走行確率：着陸時

次に、対象施設の分類方法と変状数の整理方法について述べる。滑走路には、滑走路中心線に加えて、航空機が高速離脱誘導路または取付誘導路へアクセスするための中心線も設置されている。よって、本節では図-7.6、図-7.7 のとおり、滑走路中心線または誘導路中心線から横断方向に2m 間隔で区分し、各区分における変状数を整理することとした。さらに、航空機の走行特性は中心線の形状によって変化し、その違いが変状発生数に影響を及ぼす可能性があることは、東京国際空港の分析結果から示唆されている。そこで、3 空港を対象とした分析でも航空機の走行特性を考慮するため、図-7.8 のとおり滑走路を「直線部」、「曲線混在部」の2 種類に分類し、各範囲における変状数を分析した。各範囲での航空機の走行特性は表-7.3 のとおり想定される。

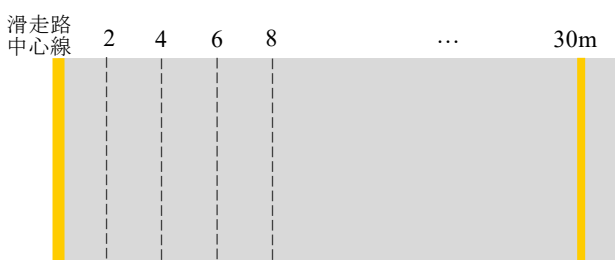


図-7.6 【直線部】横断方向の区分のイメージ図
(片側のみ表示)

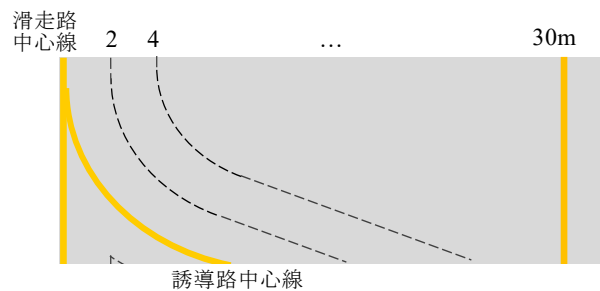


図-7.7 【曲線混在部】横断方向の区分のイメージ図
(片側のみ表示)

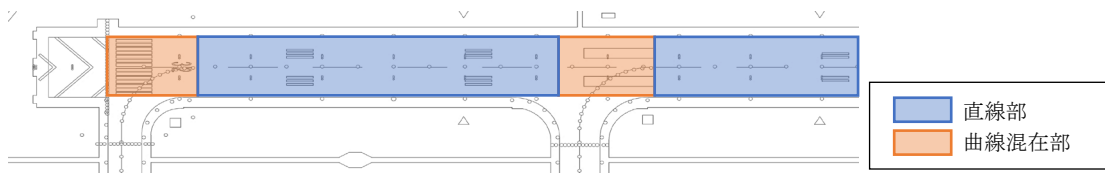


図-7.8 滑走路の分類のイメージ図

表-7.3 各範囲での航空機の走行特性

滑走路の範囲の分類	滑走路縦断方向の直線走行	滑走路からの離脱時の曲線走行	滑走路への進入時の曲線走行
直線部	○	-	-
曲線混在部	○	○	○

7.2.2 分析結果

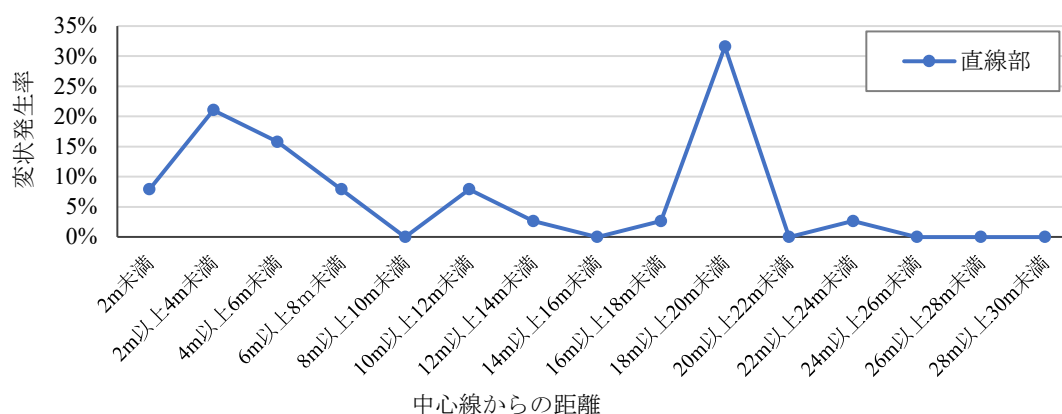
3 空港における中心線からの距離に対する変状発生率の整理結果を図-7.9、図-7.10、図-7.11 に示す。変状発生率の高い範囲は3 空港とも異なり、3 空港に共通した傾向は見られなかった。

変状発生要因については、誘導路と同様に、図-7.4 および図-7.5 に示す走行確率から考察する。10m 以遠は走行確率の高い範囲を外れているため、10m 以遠で発生している変状は車輪の走行による影響ではなく、施工目地の開き等舗装の経年劣化に起因する変状であると推測される。一方、10m 未満の範囲で発生している変状は航空機の車輪の走行に起因するものが含まれていると推測されるが、前述のとおり施工目地の開き等の変状も含まれているので、完全に航空機の走行の影響のみが反映された結果ではないと考えられる。

以上の結果から、3 空港に共通した傾向が見られなかったのは、航空機の車輪の走行に起因しない変状が多く含まれていたことが原因と考えられる。

表-7.4 【長崎空港】滑走路における中心線からの距離別変状数

滑走路の 範囲の分類	中心線からの距離別変状数（個）												合計 変状数
	2m 未満	2m 以上 4m 未満	4m 以上 6m 未満	6m 以上 8m 未満	8m 以上 10m 未満	10m 以上 12m 未満	12m 以上 14m 未満	14m 以上 16m 未満	16m 以上 18m 未満	18m 以上 20m 未満	20m 以上 22m 未満	22m 以上	
	直線部	3	8	5	3	0	2	1	0	1	12	0	
曲線混在部	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
合計	3	8	6	3	0	3	1	0	1	12	0	1	38



※「曲線混在部」はデータ数が少ないため図示しない。

図-7.9 【長崎空港】滑走路における中心線からの距離に対する変状発生率

表-7.5 【鹿児島空港】滑走路における中心線からの距離別変状数

滑走路の 範囲の分類	中心線からの距離別変状数（個）												合計 変状数
	2m 未満	2m 以上 4m 未満	4m 以上 6m 未満	6m 以上 8m 未満	8m 以上 10m 未満	10m 以上 12m 未満	12m 以上 14m 未満	14m 以上 16m 未満	16m 以上 18m 未満	18m 以上 20m 未満	20m 以上 22m 未満	22m 以上 24m 未満	
	直線部	12	8	4	4	6	2	6	3	7	2	3	
曲線混在部	6	3	1	5	0	1	2	2	0	2	2	1	25
合計	18	11	5	9	6	3	8	5	7	4	5	2	82

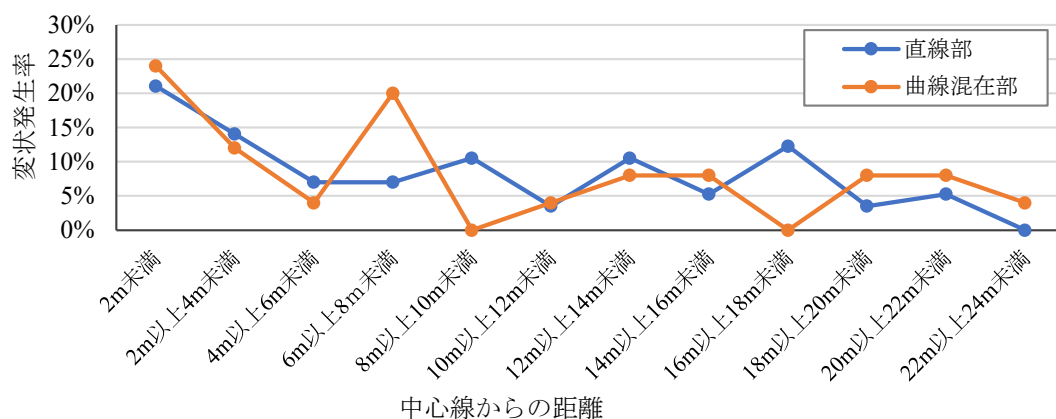


図-7.10 【鹿児島空港】滑走路における中心線からの距離に対する変状発生率

表-7.6 【松山空港】滑走路における中心線からの距離別変状数

滑走路の 範囲の分類	中心線からの距離別変状数（個）												合計 変状数
	2m 未満	2m 以上 4m 未満	4m 以上 6m 未満	6m 以上 8m 未満	8m 以上 10m 未満	10m 以上 12m 未満	12m 以上 14m 未満	14m 以上 16m 未満	16m 以上 18m 未満	18m 以上 20m 未満	20m 以上 22m 未満	22m 以上 24m 未満	
	直線部	9	4	12	17	16	33	20	12	6	2	4	
曲線混在部	14	7	7	8	5	15	9	2	6	1	1	1	76
合計	23	11	19	25	21	48	29	14	12	3	5	3	213

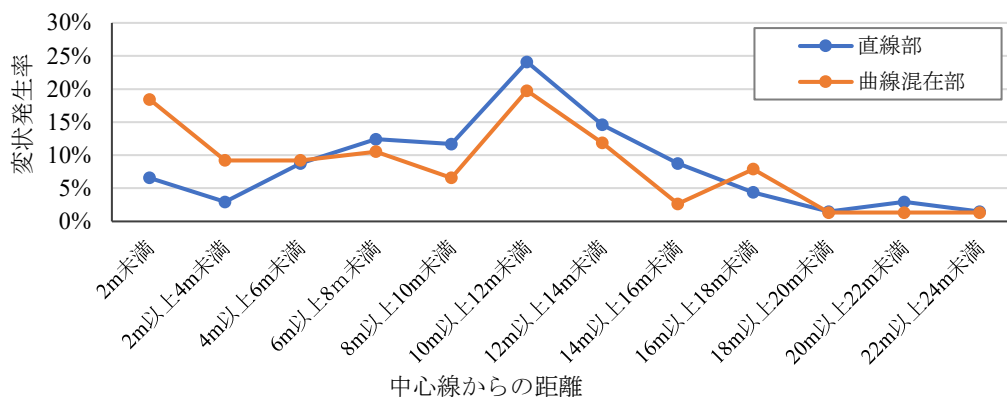


図-7.11 【松山空港】滑走路における中心線からの距離に対する変状発生率

7.3 縦断方向の変状発生分布

7.2の横断方向における変状発生位置の分析結果より、クラック注入工事を変状データとした長崎空港、鹿児島空港、松山空港の分析では、航空機の車輪の走行によらない変状も含まれている可能性があった。本節では、航空機の離陸・着陸時の走行特性との関係性の分析を目的としているため、航空機の車輪の走行に起因しない変状を除外して分析することが望ましいが、それらを識別することは困難である。そのため、完全な除外はできないものの、可能な限り除いた上で分析することとした。具体的には、航空機の車輪の走行位置以外で発生している変状、つまり中心線から12m以上に発生している変状は分析対象外とした。これより、本節での分析対象の変状数は、長崎空港23個、鹿児島空港52個、松山空港147個である。

7.3.1 条件整理

長崎空港、鹿児島空港、松山空港の滑走路の縦断方向における航空機の走行特性には、以下の理由から東京国際空港における航空機の走行特性を参照することとした。まず離陸について、航空機は滑走路へ進入した位置から加速を開始するため、離陸時の進入誘導路位置からの走行特性は、空港や滑走路長によらず概ね同様であると考えられる。次に着陸について、航空機は滑走路上の目標点標識を目安として接地し、接地後は直ちに急減速走行に移行する。そのため、機材カテゴリが同じであれば、接地後の走行特性も空港や滑走路長に大きく依存しないと考えられる。東京国際空港と長崎空港、鹿児島空港、松山空港の3空港の目標点標識の滑走路末端からの位置は同じであるため、着陸後の航空機の走行特性は同様であると推測される。以上より、東京国際空港における航空機の走行特性を3空港の参考として使用することとした。

これを踏まえ、東京国際空港のA滑走路の運用観察結果を整理した後、この走行特性を3空港に適用して考察する。

はじめに、東京国際空港での目視観察結果を示す。整理する対象機材は、舗装に大きな影響を及ぼすLJと、3空港の主要な就航機材であるMJ、SJとした。MJ、SJの観察はLJと同時にっており観察条件はLJと同じであるため、観察条件は4.3.1を参照されたい。以降に、整理した航空機の走行特性について離着陸別に示す。なお、以降に示している図-7.12、図-7.14のLJの整理結果については、4.3.1の東京国際空港を対象とした検討の場合と同じのものであり、再掲である。また、グラフ内の用語の説明は4.3.1に記載しているため、そちらを参照されたい。

まず、東京国際空港の離陸機の走行特性を整理した結果を図-7.12、図-7.13に示す。A滑走路の離陸では、滑走路の末端から約400m離れた位置に交差している取付誘導路から滑走路に進入していたため、スタンバイ位置は滑走路末端ではなく末端から400m~500mの範囲に位置していた。この点を考慮すると、LJはスタンバイ位置から1500m~2000m、MJ、SJは1400m~1600m滑走した位置でメインギアが浮上していることが分かり、LJとMJ、SJの離陸時の走行特性を比較すると、MJ、SJの方が100m程度手前で浮上していることが分かった。

次に、東京国際空港の着陸機の走行特性を整理した結果を図-7.14、図-7.15に示す。滑走路への接地の目標とする目標点標識は着陸進入側の滑走路末端から400m~460mに設置されている点を考慮すると、LJはメインギアが目標点標識を100m程度超えた500m~700mの範囲で滑走路に接地し、MJ、SJは目標点標識と同位置もしくは100m程度超えた400m~600mの範囲で接地していることが分かった。ノーズギアの接地後、航空機は急減速を開始し、LJは1500m~2100mの範囲、MJ、SJは1300m~1500mの範囲まで減速していた。LJとMJ、SJの着陸時の走行特性を比較すると、MJ、SJの方が100m程度早く接地し、500m程度早く急減速範囲が終了していることが分かった。

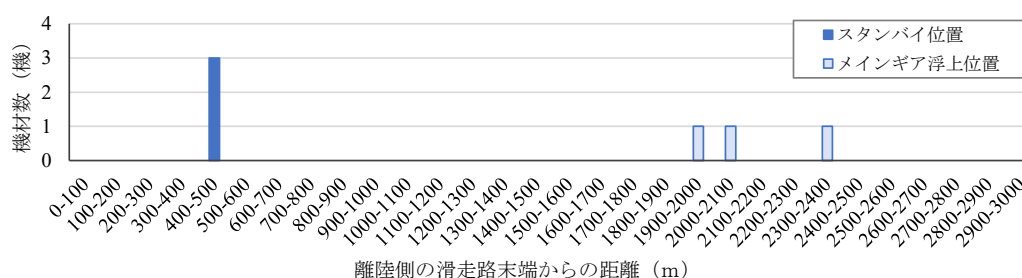


図-7.12 東京国際空港 A 滑走路における LJ 離陸機の走行特性 (図-4.15 再掲)

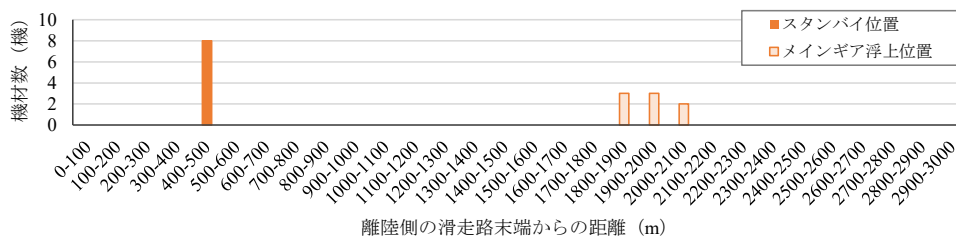


図-7.13 東京国際空港 A 滑走路における MJ, SJ 離陸機の走行特性

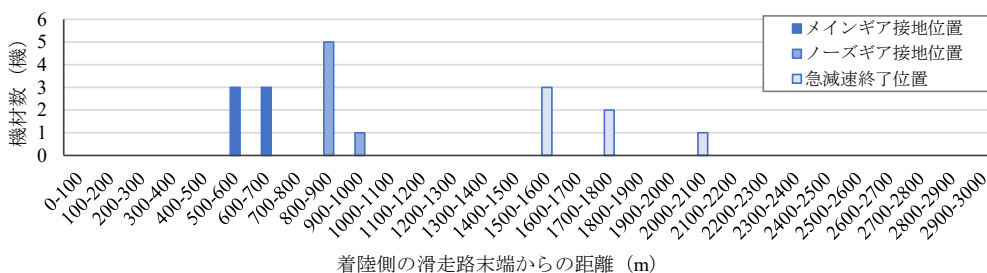


図-7.14 東京国際空港 A 滑走路における LJ 着陸機の走行特性 (図-4.16 再掲)

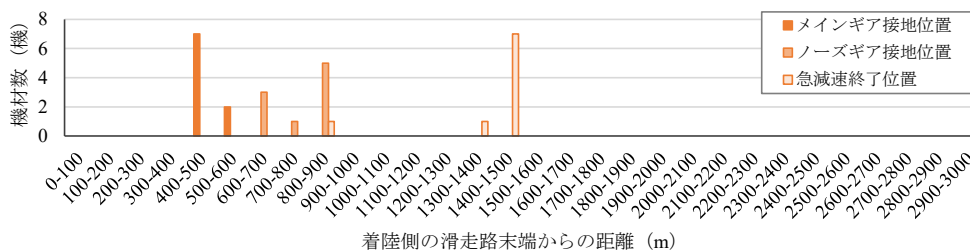


図-7.15 東京国際空港 A 滑走路における MJ, SJ 着陸機の走行特性

前述した東京国際空港における航空機の離着陸時の走行特性を参考に、3 空港の離着陸時の走行経路を推測した。なお、航空機の離着陸方向、離陸時の進入誘導路および着陸時の離脱誘導路の使用状況は、航空機追跡サービスの一つである Flightradar 24¹¹⁾ より任意の 1 日分の運航データを確認することで整理した。

本項では、3 空港のうち代表して長崎空港の走行経路について記載している。鹿児島空港、松山空港の走行経路に関しては付録 B を参照されたい。

【32 側からの着陸の場合】

- ① 図-7.14, 図-7.15 の着陸機の走行特性より、LJ は 32 側末端から 500m~700mの範囲で滑走路に接地し、800m~2100mの範囲で減速すると想定される。一方、MJ, SJ は 400m~600mの範囲で滑走路に接地し、600m~1500mの範囲で減速すると想定される。
- ② 航空機追跡サービス¹¹⁾の確認結果より、T3, T4, T5 の誘導路を使用して滑走路から離脱する。

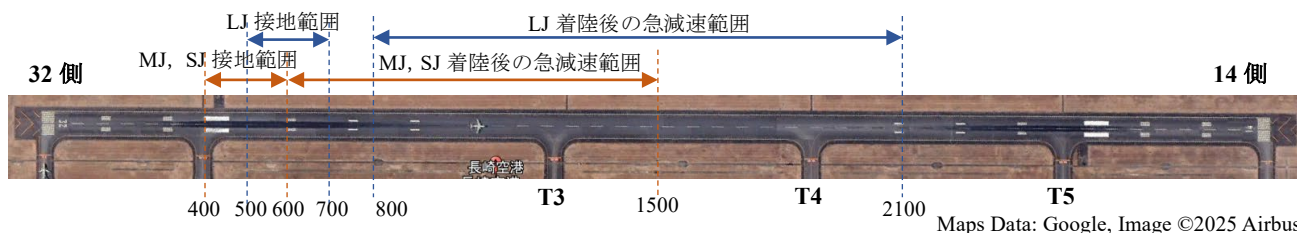


図-7.16 【長崎空港】32 側からの着陸機の走行特性，走行経路

【14 側からの着陸の場合】

- ① 図-7.14, 図-7.15 の着陸機の走行特性より, LJ は 32 側末端から 2300m~2500mの範囲で滑走路に接地し, 900m~2200mの範囲で減速すると想定される. 一方, MJ, SJ は 32 側末端から 2400m~2600mの範囲で滑走路に接地し, 1500m~2400mの範囲で減速すると想定される.
- ② 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より, T2, T3, T4 の誘導路を使用して滑走路から離脱する.

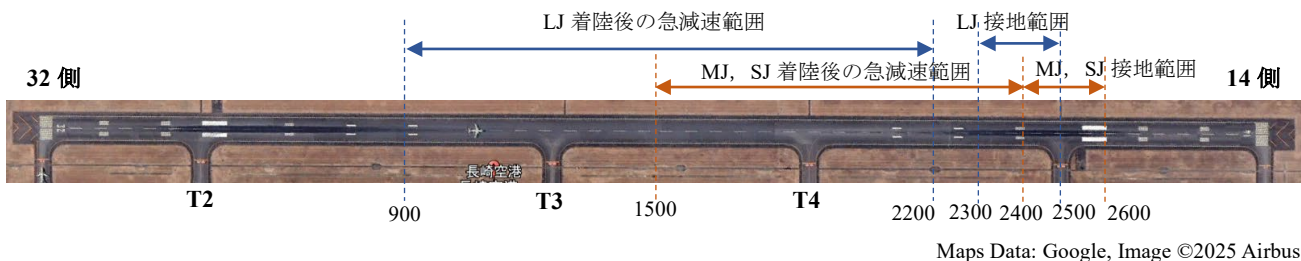


図-7.17 【長崎空港】14 側からの着陸機の走行特性, 走行経路

【32 側からの離陸の場合】

- ① 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より, T1 を使用して滑走路に進入する.
- ② 滑走路上面にて一時停止し, 14 側に向けて離陸する.
- ③ 図-7.12, 図-7.13 の離陸機の走行特性より, LJ は 1500m~2000m, MJ, SJ は 1400~1600m 滑走した位置で滑走路からメインギアが浮上すると想定される.

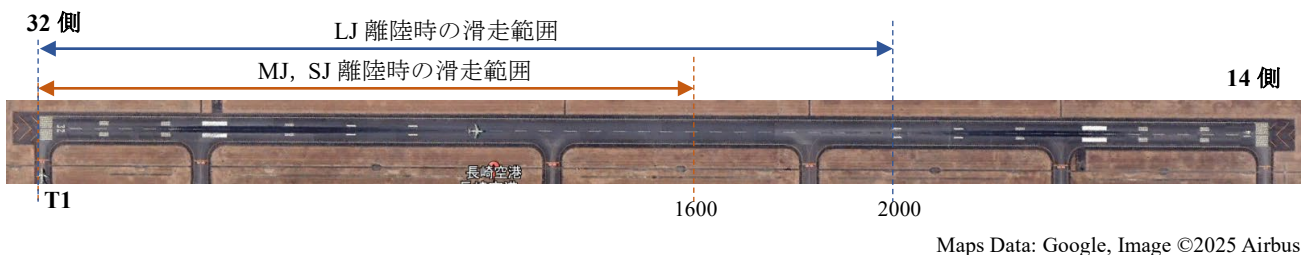


図-7.18 【長崎空港】32 側からの離陸機の走行特性, 走行経路

【14 側からの離陸の場合】

- ① 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より, 主に T5, T6 を使用して滑走路に進入する.
- ② 滑走路上面にて一時停止し, 32 側に向けて離陸する.
- ③ 図-7.12, 図-7.13 の離陸機の走行特性より, LJ は 1500m~2000m, MJ, SJ は 1400~1600m 滑走した位置で滑走路からメインギアが浮上すると想定される.

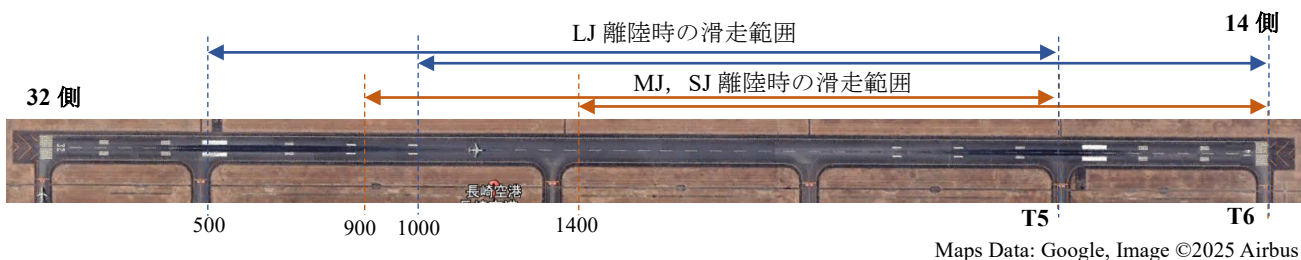


図-7.19 【長崎空港】14 側からの離陸機の走行特性, 走行経路

7.3.2 分析結果

整理した3空港の離着陸時の走行経路を踏まえ、滑走路縦断方向の変状発生状況について整理する。3空港について、滑走路を100m間隔で区分し、各区分における変状発生率を整理した。また、変状発生率と航空機の離着陸時の走行経路との関係を分析するため、各グラフには離脱誘導路および進入誘導路の接続位置を併記した。

長崎空港の結果を図-7.20、鹿児島空港の結果を図-7.21、松山空港の結果を図-7.22に示す。3空港に共通して、各離脱誘導路・進入誘導路との交差部の前後において変状発生率が比較的高い傾向が見られた。これは、航空機が滑走路から離脱誘導路に移動する際の曲線走行、進入誘導路から滑走路へ移動する際の曲線走行といった走行特性が要因と考えられる。ここで、東京国際空港では着陸後の急減速範囲においても変状発生率が高い傾向が見られたが、この3空港ではその傾向は見受けられなかった。

以上をまとめると、航空機の着陸時の走行特性のうち、曲線走行が変状発生に影響を及ぼしていると考えられる。

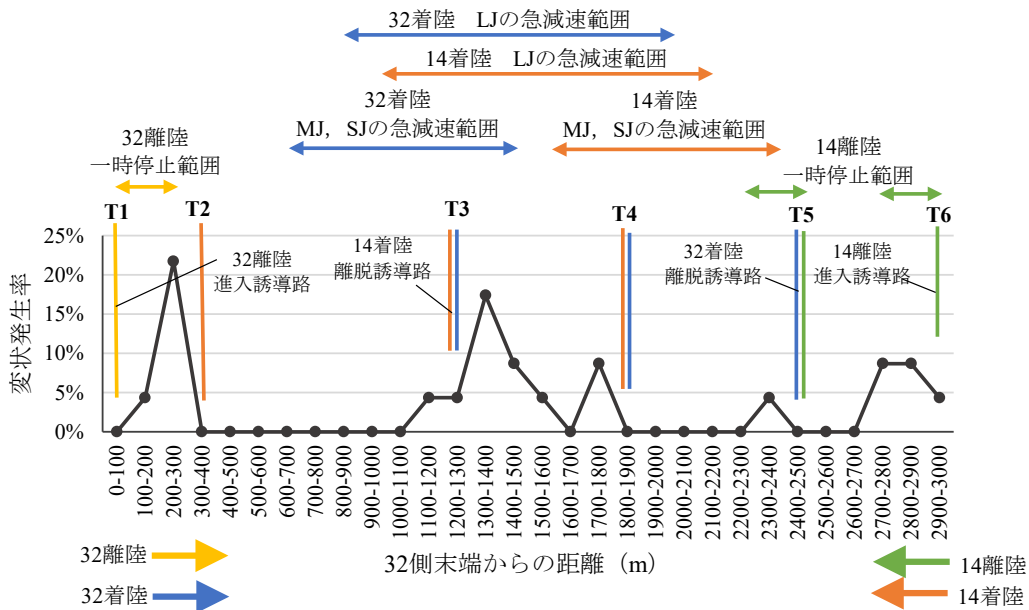


図-7.20 【長崎空港】32側末端からの距離に対する変状発生率および走行特性

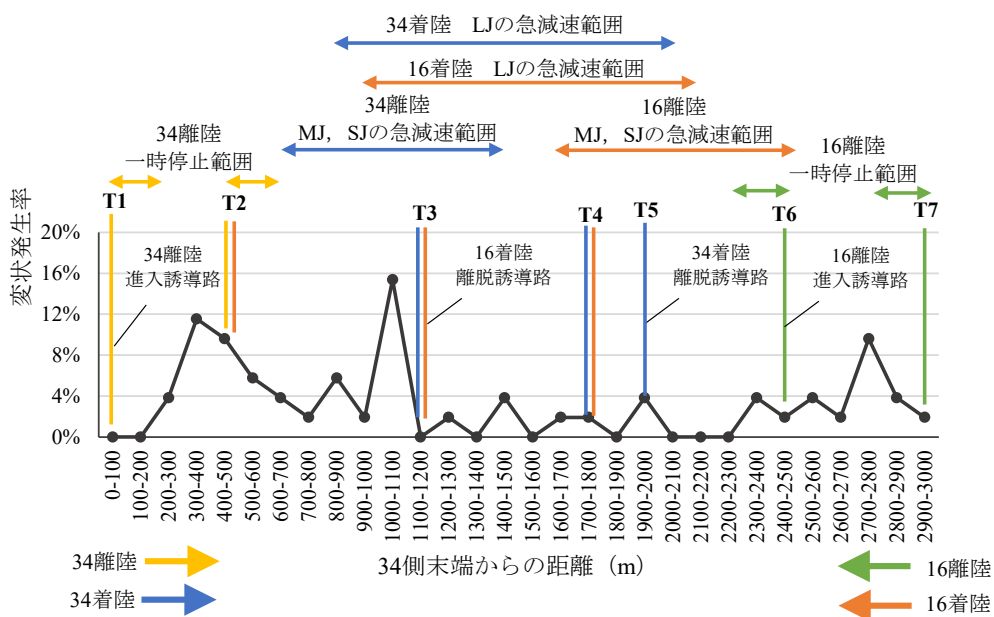


図-7.21 【鹿児島空港】34側末端からの距離に対する変状発生率および走行特性

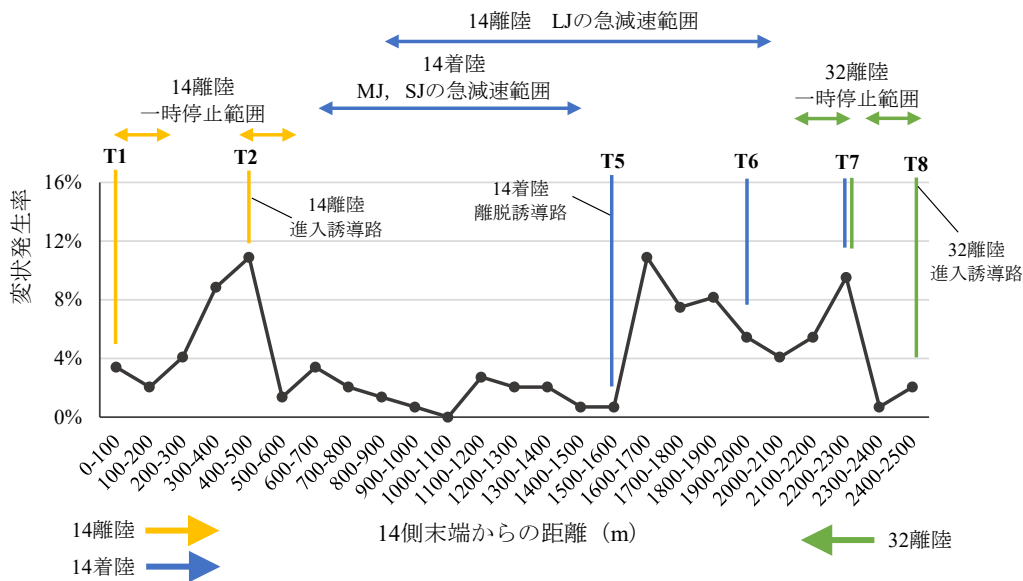


図-7.22 【松山空港】14 側末端からの距離に対する変状発生率および走行特性

7.4 総括

長崎空港，鹿児島空港，松山空港の滑走路の変状発生分析結果を以下に総括する。

- ① 横断方向に着目した分析より，航空機の車輪が走行する中心線から 10m 未満の範囲では車輪の走行に起因する変状が含まれていると推測される一方，同範囲を含む横断方向全域には，施工目地の開き等の経年劣化に起因する変状，つまり航空機の走行に起因しない変状が多く存在していると推測される．したがって，航空機の走行に応じた傾向は見られず，3 空港に共通する傾向が現れにくかったものと考えられる．
- ② 縦断方向に着目した分析より，滑走路離脱時・進入時の曲線走行範囲にて変状発生率が比較的高い傾向が見られた．

8 結論

本研究では、東京国際空港、長崎空港、鹿児島空港および松山空港の滑走路・誘導路における変状の実態整理を行い、変状が多発しやすい箇所や時期の傾向について分析を行った。各空港の分析対象とした変状は、東京国際空港は「緊急補修工事」の対象となる航空機の運航に支障を来す緊急性の高い変状であり、長崎空港、鹿児島空港および松山空港は「クラック注入工事」の対象となる緊急性の高低に関わらないクラック等の変状である。結論を以下に記す。

【東京国際空港】

- ① 誘導路における交通量と変状数との間には明確な相関関係は見られなかった。
- ② 経過年数 5 年未満の舗装では変状数は少ないが、20 年未満の舗装では変状数が顕著に増加する傾向が確認できた。また、交通量が少ない傾向がある経過年数 20 年以上の舗装では、舗装年数の経過に応じず、変状数は比較的少なかった。
- ③ 誘導路および滑走路の横断方向に着目すると、航空機の車輪の走行位置で変状が発生している傾向が見られた。また、航空機の走行特性により誘導路・滑走路を「直線部」や「曲線部・交差部」等に分類して分析したところ、分類ごとに変状多発範囲の傾向は異なっていた。
- ④ 滑走路の縦断方向に着目すると、航空機の離着陸に関する走行特性の違いが変状の発生のしやすさに影響を及ぼしていると考えられた。
- ⑤ 誘導路では、概ね気温が高い夏季に変状が多発する傾向が見られた。また、気温上昇の影響を受けやすい種類の変状があることが分かった。

【長崎空港、鹿児島空港、松山空港】

- ① 誘導路および滑走路の横断方向に着目すると、航空機の走行に応じた傾向は見られず、3 空港に共通する傾向は見られなかった。
- ② 滑走路の縦断方向に着目すると、航空機の離着陸に関する走行特性の違いが変状の発生のしやすさに影響を及ぼしていると考えられた。

9 おわりに

本研究にて、航空機の走行特性と変状多発範囲について関係があることを確認した。この研究結果を用いて巡回点検における点検重要ポイントを整理することで、巡回点検の効率化に寄与できると考える。点検重要ポイントについては、研究対象である東京国際空港と長崎空港、鹿児島空港、松山空港それぞれについて以下のとおり提言する。

【東京国際空港】

巡回点検においては舗装の破損の予兆となる緊急性の高い変状を発見し、破損を未然に防ぐことが重要である。東京国際空港では、航空機の車輪の走行範囲にて航空機の運航に支障を来す緊急性の高い変状が発生し、頻繁に舗装が崩壊していた。したがって、東京国際空港での巡回点検では、航空機の車輪の走行範囲、とくに表-9.1、表-9.2 に示す変状多発範囲を点検することが望ましい。

【長崎空港、鹿児島空港、松山空港】

長崎空港、鹿児島空港、松山空港では、舗装の破損頻度は少ないものの、東京国際空港における分析結果より、破損の予兆となる緊急性の高い変状は、航空機の車輪の走行範囲に発生しているのもであると想定される。したがって、表-9.1、表-9.2 の航空機の車輪の走行範囲において発生している緊急性の高い変状の進行状況を、特に注視することが望ましい。また、破損頻度が少ないゆえに舗装の更新スパンは長いと想定されることから、舗装の経年劣化に起因する変状や施工目地の開きが発生しやすい。これらの変状に対しては、従前から対応しているクラック注入工にて適宜補修することで舗装の長寿命化を図れるため、経年劣化に起因する変状の発生状況も常に確認しておくことが求められる。以上より、これら 3 空港での巡回点検では、航空機の車輪の走行範囲を注視しつつも、施設全域的に点検することが望ましい。

表-9.1 誘導路における変状多発範囲

縦横断分類	走行特性による分類	変状多発範囲	変状多発範囲の変状発生要因	概要図
横断方向	直線部 高速離脱部	メインギアの走行 確率が高い範囲	メインギアの走行	<p>中心線 4 6 8 (m)</p> <p>変状発生範囲(=航空機の車輪の走行範囲) 変状多発範囲</p>
	曲線部・交差部	中心線から2m未満	ノーズギア・メインギアの 曲線走行 異種材料接続部上の走行	<p>中心線 2 8 (m)</p> <p>変状発生範囲(=航空機の車輪の走行範囲) 変状多発範囲</p>

※「概要図」の変状発生範囲は、ホイールトラックが約10mの機材が主に就航している空港の場合の例

表-9.2 滑走路における変状多発範囲

縦横断分類	走行特性による分類	変状多発範囲	変状多発範囲の変状発生要因	概要図
横断方向	直線部 曲線混在部	中心線から2m未満	ノーズギアの減速走行 異種材料接続部上の走行	<p>中心線 2 10 (m)</p> <p>変状発生範囲(=航空機の車輪の走行範囲) 変状多発範囲</p>
縦断方向	着陸利用	航空機の急減速範囲	減速走行	<p>離脱誘導路 減速範囲</p> <p>変状多発範囲</p>
		高速離脱誘導路の 輻輳範囲	曲線走行	
	離脱に使用する取付 誘導路との交差部	曲線走行		
離陸利用	進入に使用する取付 誘導路との交差部	曲線走行 一時停止	<p>進入誘導路 一時停止・再加速範囲</p> <p>変状多発範囲</p>	

※「概要図」の変状発生範囲は、ホイールトラックが約10mの機材が主に就航している空港の場合の例

(2026年2月12日受付)

参考文献

- 1) 総務省統計局：人口推計（2024年（令和6年）10月1日現在）全国：年齢（各歳），男女別人口・都道府県：年齢（5歳階級），男女別人口，<https://www.stat.go.jp/data/jinsui/2024np/index.html>，2026年1月31日閲覧。
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（令和5年推計）結果の概要，https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2023/pp2023_gaiyou.pdf，2026年1月31日閲覧。
- 3) 国土交通省：建設業及び建設工事従事者の現状，<https://www.mlit.go.jp/totikensangyo/const/content/001609534.pdf>，2026年1月31日閲覧。
- 4) 国土交通省航空局：空港内の施設の維持管理指針，p.14，2024。
- 5) 国土交通省航空局：空港土木施設等維持管理マニュアル（案），pp.15-31，2025。
- 6) 国土交通省航空局：空港土木施設設計要領（舗装設計編），p.付-20，2025。
- 7) 国土交通省航空局：空港土木施設設計要領（舗装設計編），pp.例-69-例-71，2025。
- 8) 国土交通省航空局：空港土木施設設計要領（舗装設計編），p.32，2025。
- 9) Boeing Commercial Airplanes：777-200LR/-300ER/-Freighter Airplane Characteristics for Airport Planning，pp.7-5-7-6，2024。
- 10) 国土交通省気象庁：過去の気象データ検索，<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>，2026年1月31日閲覧。
- 11) Flightradar24：Flight Tracking Data，<https://www.flightradar24.com>，2025年9月9日閲覧。
- 12) Boeing Commercial Airplanes：787 Airplane Characteristics for Airport Planning，p.7-4，2024。
- 13) Boeing Commercial Airplanes：777-200/-200ER/-300 Airplane Characteristics for Airport Planning，p.7-5，2024。
- 14) Boeing Commercial Airplanes：Next-Generation 737 Airplane Characteristics for Airport Planning，p.7-5，2024。

付録A 宮崎空港、高知空港、鹿児島空港、松山空港、長崎空港、北九州空港における緊急補修工事箇所の実態整理

5章から7章にて研究対象外とした、宮崎空港、高知空港、鹿児島空港、松山空港、長崎空港、北九州空港における緊急補修工事の実態について記す。

大阪航空局管轄内の国管理空港である前述した6空港を対象に緊急補修工事の記録を収集したところ、表-A.1、表-A.2のとおり、平成29年度から令和5年度までの7年間・6空港を合計して誘導路12件、滑走路5件のみであった。また、各空港の緊急補修工事箇所を平面図に落としたものを図-A.1、図-A.2に示す。東京国際空港と異なり、これらの空港では緊急補修が頻繁に行われていないことが分かる。これは、この6空港の交通量は東京国際空港ほど多くなく、また主な就航機材はコードCと小型であることから、クラック注入のみで変状の進行を抑えられ、緊急補修工事を実施するまでに至らないからであると推測される。

表-A.1 誘導路の緊急補修工事履歴

空港名/年度	R05	R04	R03	R02	R01	H30	H29	合計
宮崎空港						3	3	6
高知空港								0
鹿児島空港	1				2		3	6
松山空港								0
長崎空港								0
北九州空港								0

表-A.2 滑走路の緊急補修工事履歴

空港名/年度	R05	R04	R03	R02	R01	H30	H29	合計
宮崎空港						1		1
高知空港								
鹿児島空港		2	1		1			4
松山空港								
長崎空港								
北九州空港								

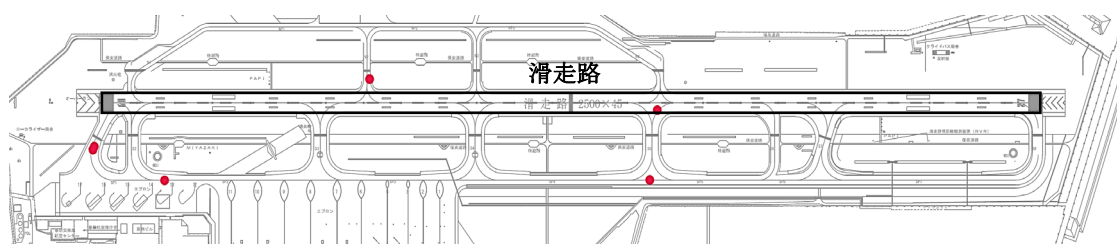


図-A.1 【宮崎空港】緊急補修工事位置図

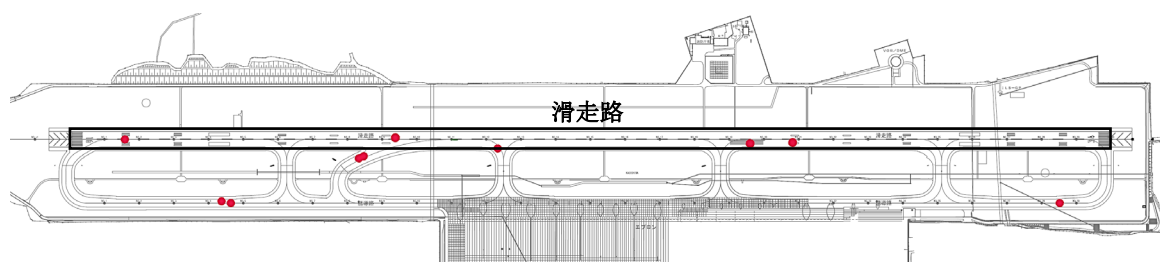


図-A.2 【鹿児島空港】緊急補修工事位置図

付録B 鹿児島空港および松山空港の離陸・着陸時の走行経路

7.3.1 の航空機の離着陸時の走行特性を参考にした場合における，鹿児島空港および松山空港の離着陸時の走行経路の推測結果を示す．なお，航空機の離着陸方向，離陸時の進入誘導路および着陸時の離脱誘導路の使用状況は，航空機追跡サービス¹⁾より任意の1日分の運航データを確認することで整理した．

➤ 鹿児島空港

【34側からの着陸の場合】

- ① 図-7.14，図-7.15 の着陸機の走行方法より，LJ は 34 側末端から 500m~700mの範囲で滑走路に接地し，800m~2100mの範囲で減速すると想定される．一方，MJ，SJ は 400m~600mの範囲で滑走路に接地し，600m~1500mの範囲で減速すると想定される．
- ② 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より，T3，T4，T5の誘導路を使用して滑走路から離脱する．

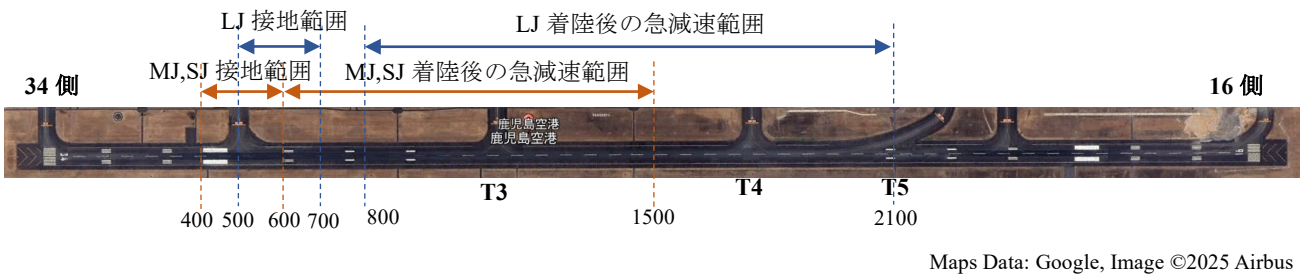


図-B.1 【鹿児島空港】34側からの着陸機の走行特性，走行経路

【16側からの着陸の場合】

- ① 図-7.14，図-7.15 の着陸機の走行方法より，LJ は 34 側末端から 2300m~2500mの範囲で滑走路に接地し，900m~2200mの範囲で減速すると想定される．一方，MJ，SJ は 34 側末端から 2400m~2600mの範囲で滑走路に接地し，1500m~2400mの範囲で減速すると想定される．
- ② 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より，T2，T3，T4の誘導路を使用して滑走路から離脱する．

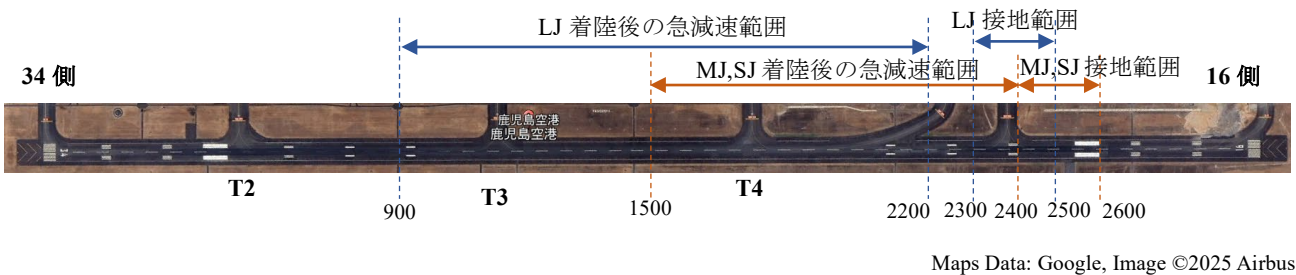


図-B.2 【鹿児島空港】16側からの着陸機の走行特性，走行経路

【34側からの離陸の場合】

- ① 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より、**T1, T2** を使用して滑走路に進入する。
- ② 滑走路上にて一時停止し、**16側**に向けて離陸する。
- ③ 図-7.12, 図-7.13の離陸機の走行方法より、LJは**1500m~2000m**, MJ, SJは**1400~1600m**滑走した位置で滑走路からメインギアが浮上すると想定される。

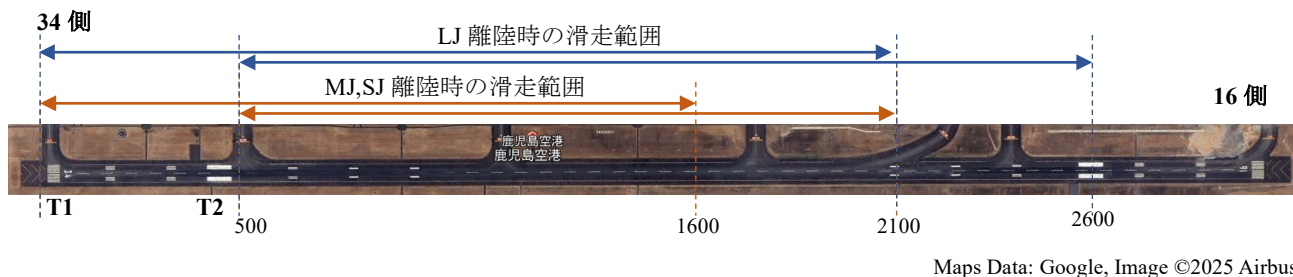


図-B.3 【鹿児島空港】34側からの離陸機の走行特性, 走行経路

【16側からの離陸の場合】

- ① 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より、**T6, T7** を使用して滑走路に進入する。
- ② 滑走路上にて一時停止し、**34側**に向けて離陸する。
- ③ 図-7.12, 図-7.13の離陸機の走行方法より、LJは**1500m~2000m**, MJ, SJは**1400~1600m**滑走した位置で滑走路からメインギアが浮上すると想定される。

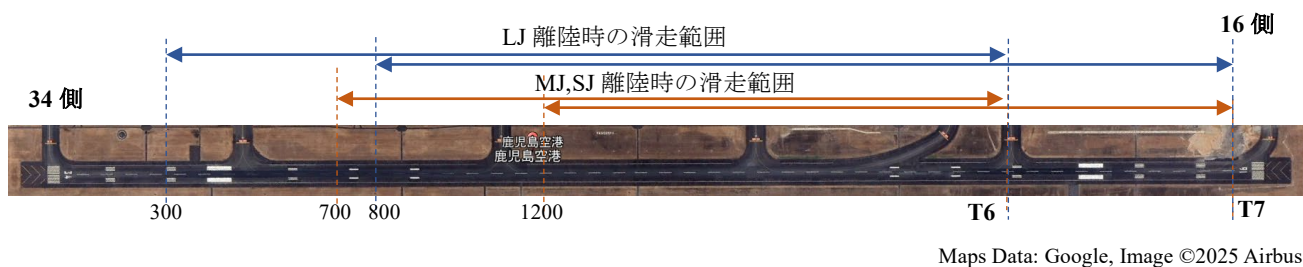


図-B.4 【鹿児島空港】16側からの離陸機の走行特性, 走行経路

➤ 松山空港

【着陸】

- ① 図-7.14, 図-7.15の着陸機の走行方法より、LJは14側末端から**500m~700m**の範囲で滑走路に接地し、**800m~2100m**の範囲で減速すると想定される。一方、MJ, SJは**400m~600m**の範囲で滑走路に接地し、**600m~1500m**の範囲で減速すると想定される。
- ② 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より、**T5, T6, T7**の誘導路を使用して滑走路から離脱する。

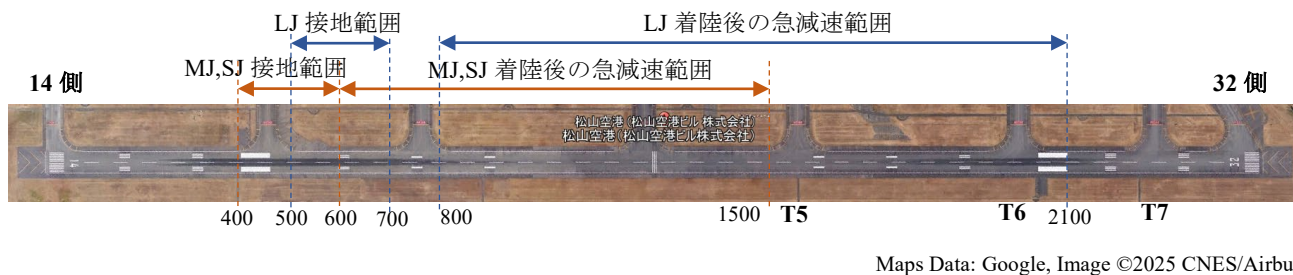


図-B.5 【松山空港】着陸機の走行特性, 走行経路

【14側からの離陸の場合】

- ① 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より、T1を使用して滑走路に進入する。
- ② 滑走路上にて一時停止し、32側に向けて離陸する。
- ③ 図-7.12、図-7.13の離陸機の走行方法より、LJは1500m~2000m、MJ、SJは1400~1600m滑走した位置で滑走路からメインギアが浮上すると想定される。

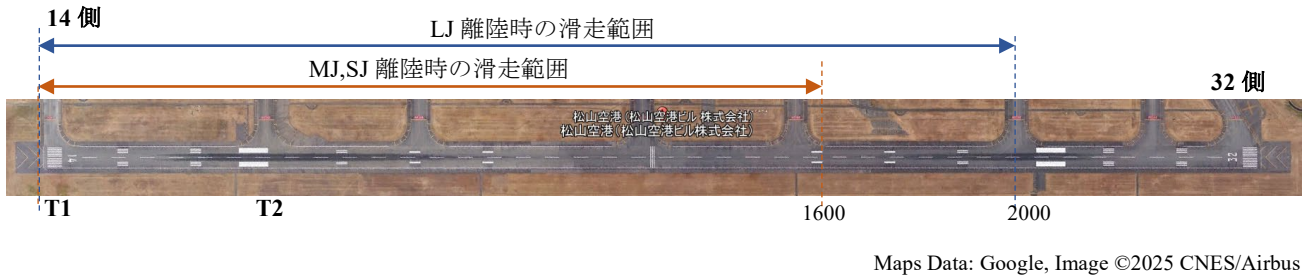


図-B.6 【松山空港】14側からの離陸機の走行特性、走行経路

【32側からの離陸の場合】

- ① 航空機追跡サービス¹⁾の確認結果より、T7、T8を使用して滑走路に進入する。
- ② 滑走路上にて一時停止し、14側に向けて離陸する。
- ③ 図-7.12、図-7.13の離陸機の走行方法より、LJは1500m~2000m、MJ、SJは1400~1600m滑走した位置で滑走路からメインギアが浮上すると想定される。

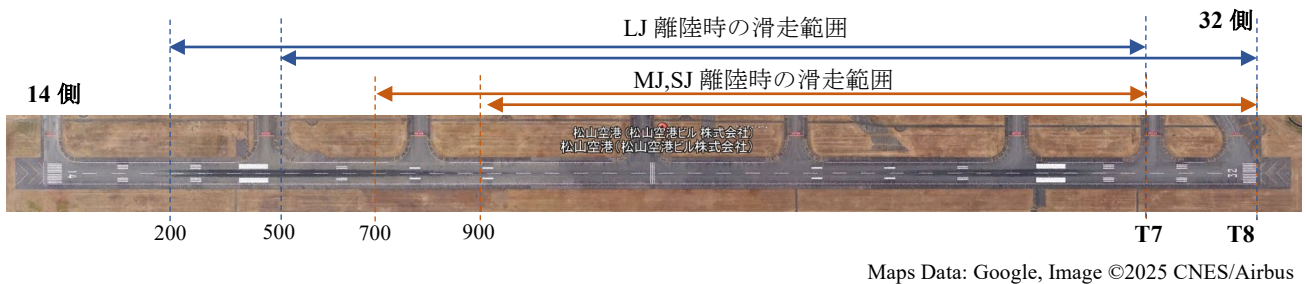


図-B.7 【松山空港】32側からの離陸機の走行特性、走行経路