

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1002

January 2018

空港アスファルト舗装のわだち掘れ量算出手法に関する検討

増田達・坪川将丈・河村直哉

Study on a Method of Measuring Rut Depth of Airport Asphalt Pavement

Satoru MASUDA, Yukitomo TSUBOKAWA, Naoya KAWAMURA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

空港アスファルト舗装のわだち掘れ量算出手法に関する検討

増田達*・坪川将丈**・河村直哉***

要 旨

空港アスファルト舗装のわだち掘れ量調査において、従来の手法では、航空機荷重による塑性変形でないものまでわだち掘れとして評価してしまう場合があり、課題となっていた。本資料では、従来の手法によるわだち掘れ量との相関関係を分析することで、新たな二種類の手法（逐次法、水深法）から適切な手法を選定し、選定した手法の管理目標値の閾値を設定した。

キーワード：アスファルト舗装，わだち掘れ量，相関分析

*空港研究部空港施設研究室研究官

**空港研究部空港施設研究室長

***空港研究部主任研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 e-mail：ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

Study on a Method of Measuring Rut Depth of Airport Asphalt Pavement

Satoru MASUDA*

Yukitomo TSUBOKAWA**

Naoya KAWAMURA***

Synopsis

The conventional method of measuring rut depth of the airport asphalt pavement had a problem. The method unintentionally evaluates the pavement deformation as rut depth not by airplanes loading but by geological deformation. To solve the problem, in this study, we prepare two new methods. We select the best method of the two by conducting correlation analysis with rut depth measured by two new methods and the conventional method. In addition, we set the threshold for pavement maintenance by the selected method.

Key Words : asphalt pavement, rut depth, correlation analysis

* Researcher of Airport Facilities Division, Airport Department

** Head of Airport Facilities Division, Airport Department

*** Senior Researcher of Airport Department

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail : ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

目 次

1. 背景と目的	1
2. 新たなわだち掘れ量算出手法の検討	1
2.1 使用データの概要	1
2.2 新たな算出手法の概要	2
2.3 各算出手法による結果の比較	3
3. 逐次法による閾値の検討	6
3.1 滑走路・誘導路	6
3.2 エプロン	11
3.3 過年度データに対する対応	12
4. 結論	12
参考文献	12

1. 背景と目的

国土交通省航空局「空港内の施設の維持管理指針」によれば、空港土木施設に求められる機能を継続的に保持するため、施設の特性や現場条件等を踏まえ、適切かつ効果的に空港土木施設の点検を実施することとされている。また、同指針について詳述する国土交通省航空局「空港舗装補修要領」によると、空港アスファルト舗装に関して、舗装路面の調査により走行安全性能を評価し、補修の必要性を判断することとされている。アスファルト舗装面の点検調査としては、路面性状調査及びすべり摩擦係数調査を行うものとされ、路面性状調査は、ひび割れ調査、わだち掘れ調査、平坦性調査を行うことを標準とすると定められている。

わだち掘れ調査について、空港の就航機材サイズに応じて、「空港舗装補修要領」に示される表-1に従い、調査ユニットサイズが設定されており、ユニット縦断方向中央の横断面のデータ（横断プロファイルデータ）をわだち掘れ量の算出に使用する。

既往のわだち掘れ量算出手法（従来法）は以下の手順のとおりである。

はじめに、図-1に示すように、算出範囲はユニット幅とし、横断プロファイルデータの中心と両端に基準点を置き、中心の基準点と測定端の基準点を結ぶ基準線を引く。次に、左右の基準線を路面に接するように上下に平行移動させ、上下の基準線の鉛直方向の距離を左右で求め、大きい方の値をそのユニットの従来法によるわだち掘れ量（従来わだち掘れ量）と定義する。ただし、従来法では図-2、図-3に示すような局所的凸形状により、航空機荷重による塑性変形でないものを、わだち掘れ量として算出してしまう場合があり課題となっている。

本資料では、航空機荷重により生じたわだち掘れ量を正確に算出すべく、まず、各手法の特徴を踏まえ、二つの新たな算出手法（逐次法、水深法）によりわだち掘れ量を算出し、従来わだち掘れ量と比較を行うことで、適切な手法を選定する。さらに、従来法と選定した手法の算出結果について相関分析を実施し、選定した手法における管理目標値の閾値を設定する。

留意点として、わだち掘れは水溜りが生じることで航空機の走行安全性能に支障を来すが、本資料では、走行安全性能については考察せず、航空機荷重により生じるわだち掘れ量を適切に算出することを主眼に置く。

表-1 調査ユニットサイズ

就航機材	調査ユニットサイズ
大型ジェット機が就航する空港	幅21m×長さ30m
中型ジェット機が就航する空港	幅14m×長さ45m
プロペラ機及び小型機のみが就航する空港	幅7m×長さ90m

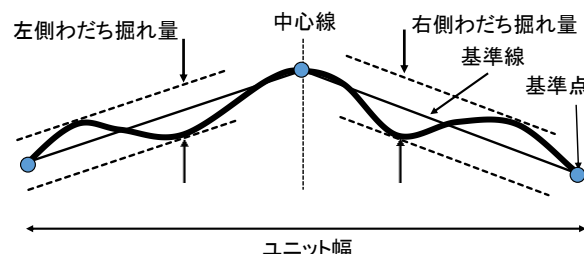


図-1 わだち掘れ量の定義（従来法）

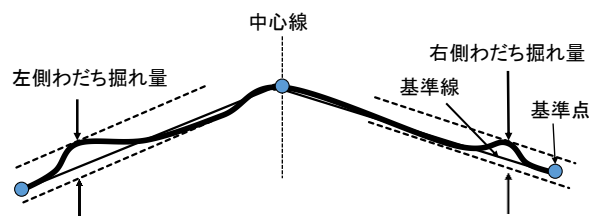


図-2 わだち掘れ量を正確に算出できていない例1

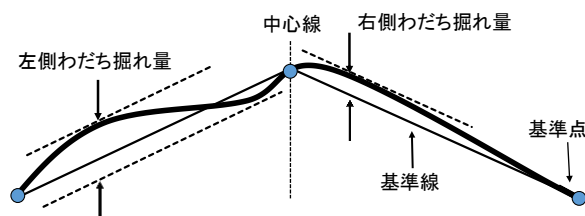


図-3 わだち掘れ量を正確に算出できていない例2

2. 新たなわだち掘れ量算出手法の検討

本章では、使用する横断プロファイルデータの概要を示した上で、二つの新たなわだち掘れ量算出手法について述べ、従来法も含めた三つの手法により、わだち掘れ量を算出する。各手法の特徴を踏まえ、算出結果の比較を行うことで適切な手法を選定する。

2.1 使用データの概要

本資料では、平成27年度に国土交通量東京航空局及び大阪航空局が実施した路面性状調査の横断プロファイルデータを使用する。本資料で使用する国内14空港の就航機のICAO航空機コード、滑走路、誘導路及びエプロンのユニット幅とユニット数を表-2に示す。また、表-2よ

り整理した各施設のユニット幅別ユニット数を表-3に示す。

表-2 各空港施設のユニット幅とユニット数

空港	調査時期	就航機コード	滑走路		誘導路		エプロン	
			ユニット幅(m)	ユニット数	ユニット幅(m)	ユニット数	ユニット幅(m)	ユニット数
稚内空港	H27.11	D	14	44	14	4	14	4
釧路空港	H27.11	D・C	14	48	14	62	-	-
丘珠空港	H27.10	C	7	16	7	7	14 10	4 5
函館空港	H27.11	E・D・C	21	63	21	112	-	-
新千歳空港	H27.10	E・D・C・B	21	187	21	440	-	-
三沢飛行場	H27.7	C	-	-	14	3	-	-
仙台空港	H27.11	D・C・B	21	103	21	107	21	10
			7	12	7	20		
新潟空港	H27.11	D・C・B	14	48	14	53	-	-
			7	15	7	7		
百里飛行場	H27.11	C	-	-	14	2	-	-
広島空港	H27.11	E・D・C・B	21	100	21	85	-	-
					7	2		
高松空港	H28.2	E・D・C	21	73	21	87	7	2
宮崎空港	H28.1	E・D・C・B	21	83	21	60	-	-
					14	40		
美保飛行場	H27.11	D・C	-	-	21	6	-	-
高知空港	H28.1	D・C	21	83	21	94	-	-

表-3 各施設のユニット幅別ユニット数

施設	ユニット幅別ユニット数				
	7m	10m	14m	21m	計
滑走路	43	-	140	692	875
誘導路	36	-	164	991	1,191
エプロン	2	5	8	10	25
計	81	5	312	1,693	2,091

2.2 新たな算出手法の概要

新たな算出手法として、逐次法及び水深法を検討した。逐次法とは、路面形状に応じて確認される複数の凸形状部に基準点を配置し、基準点間を結ぶ基準線から路面までの鉛直方向の最大長さをわだち掘れ量として算出する手法である。また、水深法とは、路面形状に応じて確認される凹形状に水が溜まる場合の水深、すなわち凹形状に対して引く水平線から路面まで鉛直方向に線を引き、その最大長さをわだち掘れ量として算出する手法である。

(1) 逐次法

逐次法によるわだち掘れ量（逐次わだち掘れ量）算出手法は、以下の手順のとおりである。逐次わだち掘れ量を算出する範囲は、従来法と同様にユニット幅とした。

はじめに、図-4のように、横断プロファイルデータの左右それぞれにおいて、わだち掘れ量算出対象範囲の両端の路面に点A及び点Bを置き、基準線ABを引く。

次に、図-4のように、基準線ABよりも高い路面がある場合には、図-5のように、左右それぞれで基準線ABに鉛直に引いた線の長さが最大となる路面（基準線ABより上側）に点Cを追加し、基準線AC及び基準線CBを引く。

さらに、図-5の右側のように、基準線AC及び基準線CBよりも高い路面がある場合には、図-6の右側のように、先ほどの手順と同様に点Dを追加し、基準線AD、基準線DC及び基準線CBを引く。これを基準線よりも高い路面が無くなるまで繰り返す。

最後に、図-7のように基準線よりも高い路面が無い状態で、全ての基準線から下方の路面まで鉛直方向に線を引き、横断プロファイルデータの左右それぞれについて、鉛直方向の線の長さの最大値を求める。左右で大きい方の値をその横断プロファイルデータの逐次わだち掘れ量と定義する。ただし、データ数を極力多く確保するため、今後の検討では、一つの横断プロファイルデータで左右二つのデータを使用することとする。

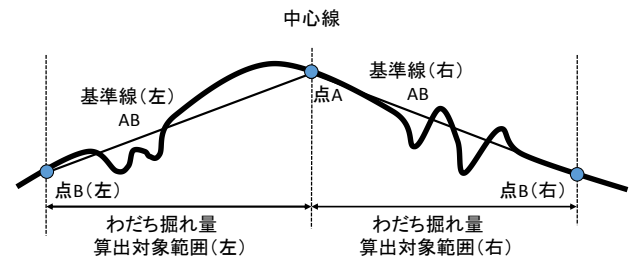


図-4 わだち掘れ量の算出手順1（逐次法）

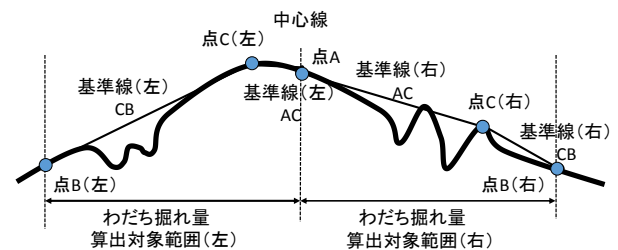


図-5 わだち掘れ量の算出手順2（逐次法）

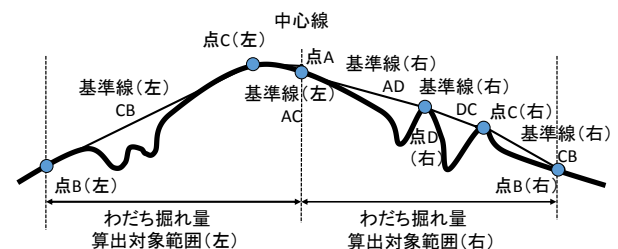


図-6 わだち掘れ量の算出手順3（逐次法）

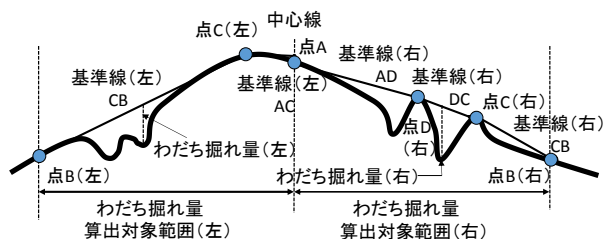


図-7 わだち掘れ量の算出手順4 (逐次法)

(2) 水深法

水深法によるわだち掘れ量（水深わだち掘れ量）算出手法は、以下の手順のとおりである。水深わだち掘れ量を算出する範囲は、従来法と同様にユニット幅とした。

はじめに、逐次法と同様、図-8のように横断プロファイルデータの左右それぞれにおいて、わだち掘れ量算出対象範囲の両端の路面に点A及び点Bを置く。

次に、横断プロファイルデータ左端（点B（左））より中心線（点A）に向けて凹形状の検出を一定間隔で行う。横断プロファイルデータ右側についても同様に、凹形状を検出する。凹形状がある場合は、凹形状に対する水平線から下方の路面まで鉛直方向に線を引き、横断プロファイルデータの左右それぞれについて、鉛直方向の線の長さの最大値を求める。逐次法と同様に、左右でわだち掘れ量の大きい方の値をその横断プロファイルデータの水深わだち掘れ量と定義し、データ数を極力多く確保するため、今後の検討では、一つの横断プロファイルデータで左右二つのデータを使用することとする。

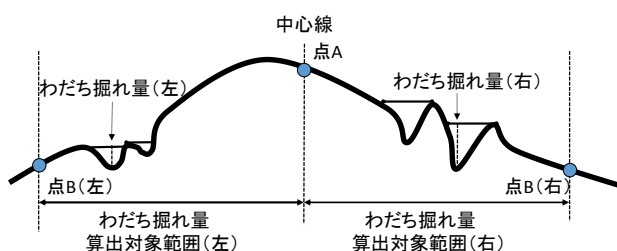


図-8 わだち掘れ量の算出手順（水深法）

2.3 各算出手法による結果の比較

表-2で示した横断プロファイルデータに対して従来法、逐次法及び水深法によりわだち掘れ量を算出し、施設別・ユニット幅別に従来わだち掘れ量と逐次または水深わだち掘れ量を比較したものを図-9、図-10、図-11に示す。

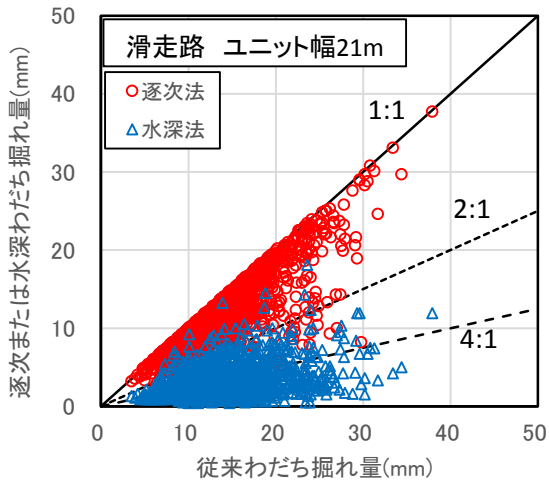
まず、逐次法と従来法を比較すると、逐次わだち掘れ量は、施設、ユニット幅によらず従来わだち掘れ量より

も小さくなり、従来わだち掘れ量の0.5倍～1.0倍程度であることがわかる。これは、従来法は横断プロファイルデータ中央及び両端の三点のみ基準点を設置し、路面の凹凸を検出している一方、逐次法は、路面形状に応じて基準点を複数設置することから、算出されるわだち掘れ量が従来法よりも小さくなっているものと考えられる。例えば、図-12のような横断プロファイルデータである。従来わだち掘れ量は14.5mmである一方で、逐次わだち掘れ量は基準点を新たに設けることで9.1mmである。また、路面形状を見ても逐次法は凹形状を適切に捉えており、逐次法はわだち掘れ量算出手法に適切と判断した。

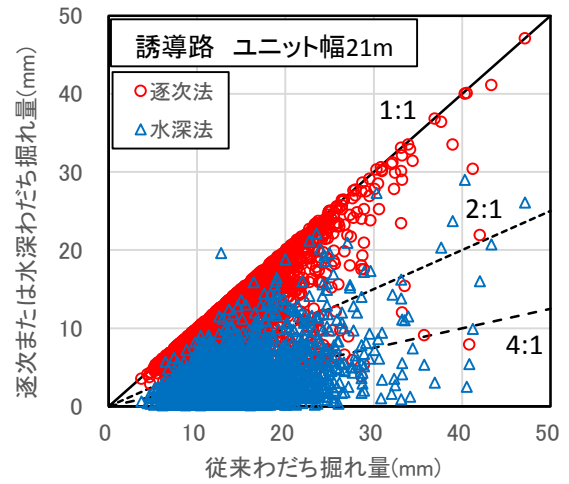
次に、水深法と従来法を比較すると、施設、ユニット幅によらず、水深わだち掘れ量が従来わだち掘れ量の0.5倍程度以下である場合が多い。これは、水深法の性質からわだち掘れ量を小さく算出している場合があることが原因と考えられる。例えば、図-13のような横断プロファイルデータである。この横断プロファイルデータは従来法がわだち掘れ量をおおむね適切に算出できており、従来わだち掘れ量は17.8mmである一方、水深わだち掘れ量は4.4mmである。

ここで、図-14に示すように、逐次法と水深法を比較すると、水深わだち掘れ量は、航空機荷重による塑性変形が小さい場合には、横断勾配の影響を受け算出されにくいことが分かる。水深法は、水溜りが航空機の走行安全性能に影響を与えることを考慮した手法であり、有用性があるが、わだち掘れ形状や横断勾配によっては、航空機荷重による塑性変形が大きいにも関わらず、わだち掘れ量がほとんど算出されないことも想定されるため、わだち掘れ量算出手法としては選定し難い。

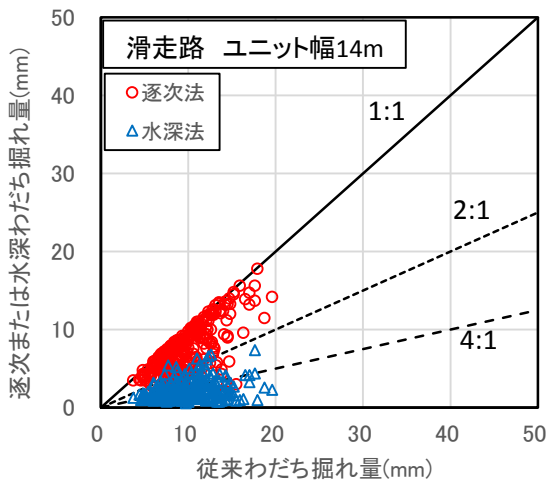
よって、本資料の検討においては、水深法は、わだち掘れ量算出手法として不適当と判断した。以上より、新たなわだち掘れ量算出手法には、逐次法を採用することとした。



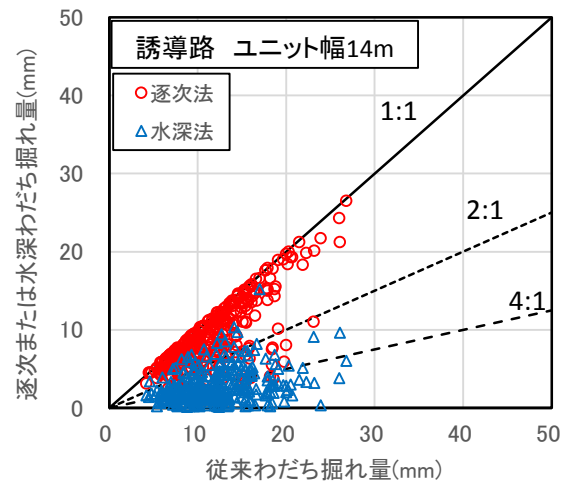
a) ユニット幅21m



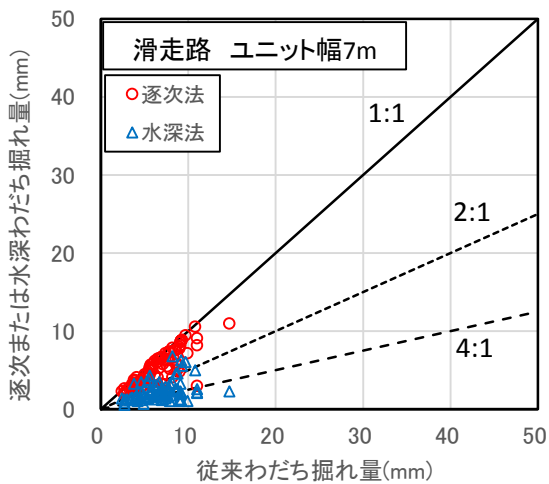
a) ユニット幅21m



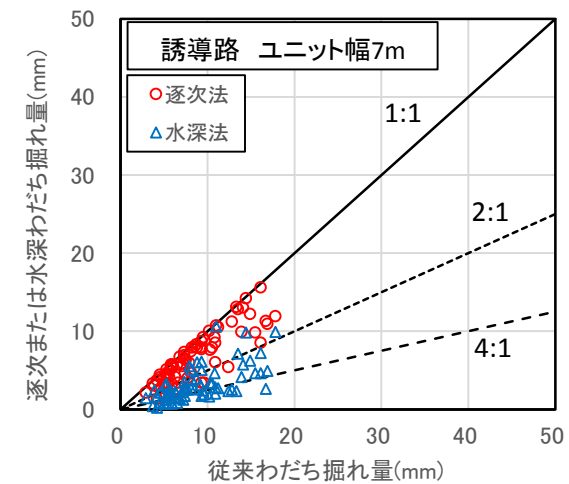
b) ユニット幅14m



b) ユニット幅14m



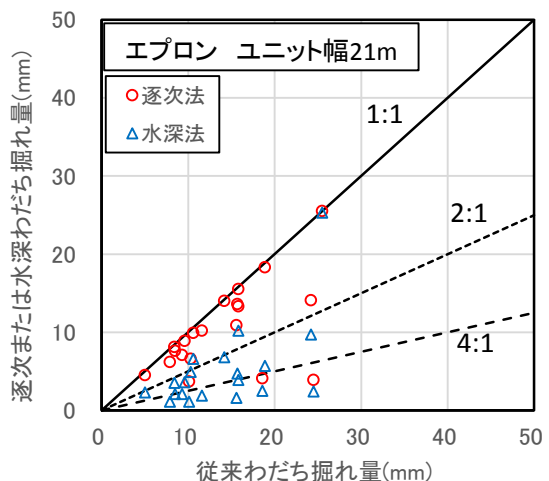
c) ユニット幅7m



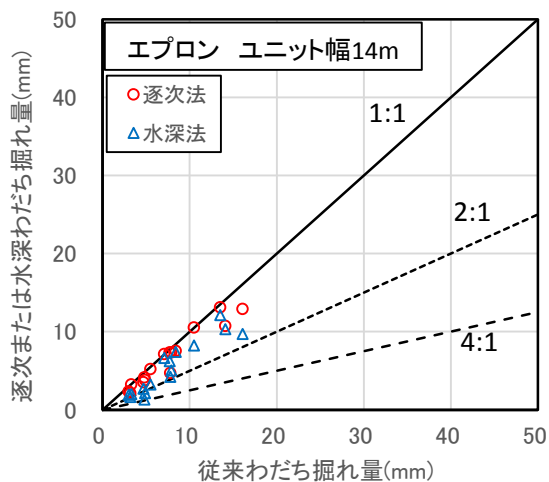
c) ユニット幅7m

図-9 従来法と逐次法または水深法の算出結果比較
(滑走路)

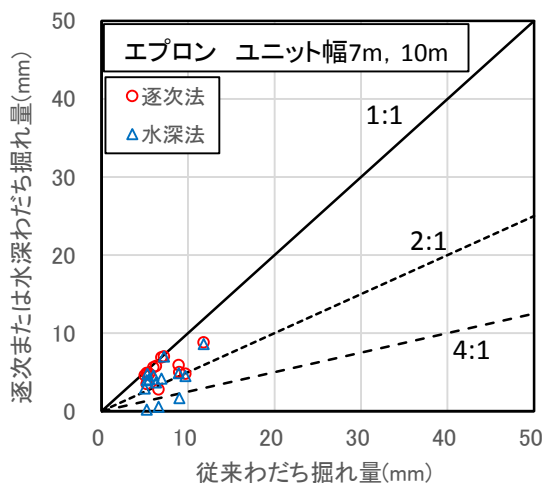
図-10 従来法と逐次法または水深法の算出結果比較
(誘導路)



a) ユニット幅21m

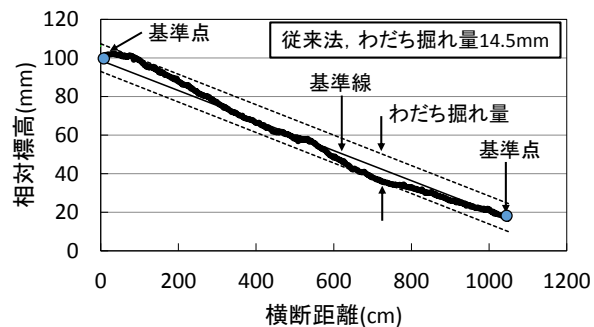


b) ユニット幅14m

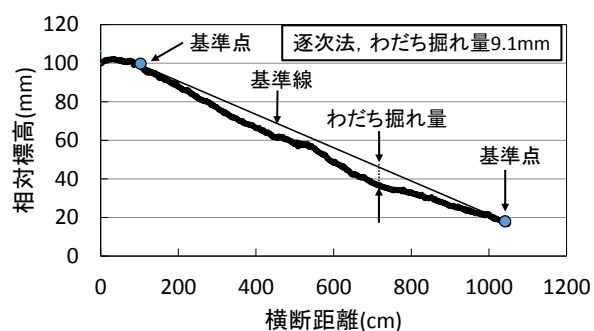


c) ユニット幅7m

図-11 従来法と逐次法または水深法の算出結果比較
(エプロン)

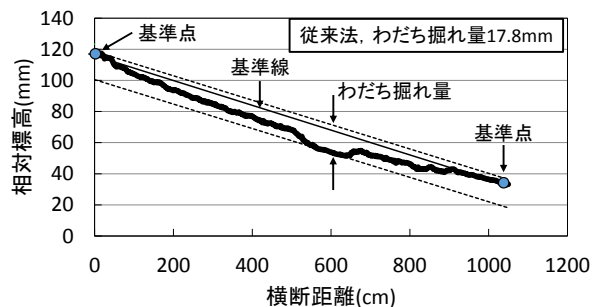


a) 従来法

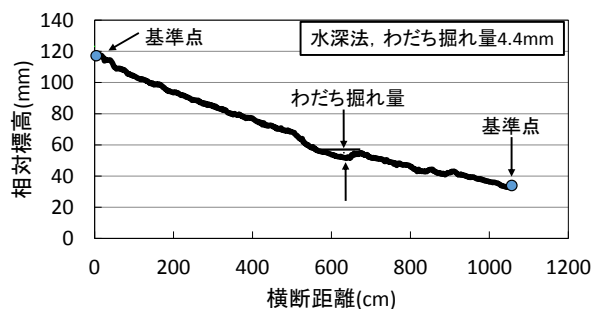


b) 逐次法

図-12 従来法と逐次法の比較例



a) 従来法



b) 水深法

図-13 従来法と水深法の比較例

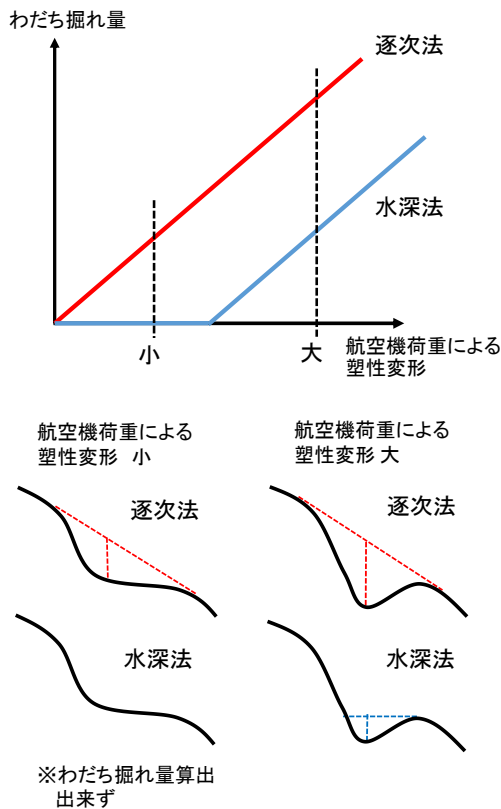


図-14 逐次法と水深法の比較

3. 逐次法による閾値の検討

本章では、前章にてわだち掘れ量算出手法に採用した逐次法を対象とし、管理目標値の閾値の設定を行う。「空港舗装補修要領」において、従来わだち掘れ量に対して示されている閾値を表-4に示す。この値は、福手他¹⁾の研究結果により示されたものであり、舗装技術者が目視により路面状態を判定した際の補修要否に関するアンケート結果と、従来わだち掘れ量とを統計的に処理することで示された値である。本研究では、従来わだち掘れ量と逐次わだち掘れ量の相関を分析し、その相関関係から従来わだち掘れ量の閾値を変換することにより、逐次わだち掘れ量の閾値を得ることとした。

表-4 従来法の閾値

施設	A	B1	B2	B3	C
滑走路	10未満	19未満	29未満	38未満	38以上
誘導路	17未満	30未満	44未満	57未満	57以上
エプロン	22未満	38未満	54未満	70未満	70以上

※単位はmm

3.1 滑走路・誘導路

(1) 異常形状データの棄却

相関分析を実施する上で、まず相関分析に支障を来た

す横断プロファイルデータの棄却を行う。従来わだち掘れ量には図-2、図-3に示したように、局所的凸形状により、航空機荷重による塑性変形でないものを従来わだち掘れ量として算出している場合がある。航空機荷重による塑性変形を従来法ではとらえていないと考えられる横断プロファイルデータ（異常形状データ）について、従来わだち掘れ量と逐次わだち掘れ量が大きく乖離する場合は、今後の検討において、不都合であるため棄却することとした。

全ての横断プロファイルデータを目視で確認し、異常形状データを棄却することは困難であることから、試行分析の結果、異常形状データとしては、以下の四種類を想定した。

① 中心ずれ

路面の最高地点が中心線より1m以上ずれている横断プロファイルデータ。ただし、次に述べる片勾配の横断プロファイルデータは中心ずれとは考えない。

② 片勾配

図-15のように左右の勾配の正負が同一である横断プロファイルデータ。

③ 区間勾配急変動

図-16のように1m間隔の区間勾配について、基準線の勾配（基準線勾配）より0.2%以上大きい点が三点以上連続している横断プロファイルデータ。

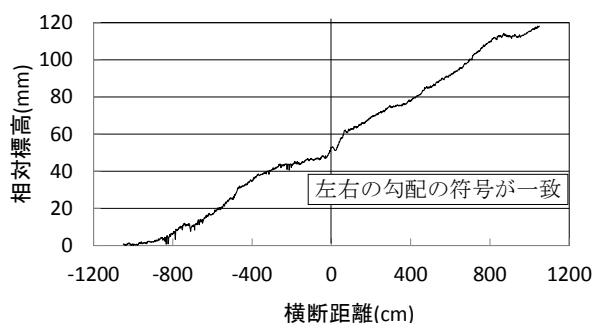
④ 逐次わだち掘れ量発生位置主脚車輪範囲外

逐次わだち掘れ量発生位置は、ノーズギアが横断プロファイルデータ中心を通過する際の主脚車輪直下であると考えられるが、主脚車輪範囲外でわだち掘れ量を算出してしまう横断プロファイルデータ。具体的には、各空港の最大就航機の主脚車輪走行範囲外縁位置より外側がわだち掘れ量発生位置となっている横断プロファイルデータ。主脚車輪走行範囲に関する整理結果を表-5に示す。「空港舗装設計要領」²⁾の平行誘導路を走行する際の標準偏差を参考とし、主脚車輪位置外縁に標準偏差（ $\sigma=60\text{cm}$ ）の二倍を加えて主脚車輪走行範囲外縁とした。この主脚車輪走行範囲外縁は機材により若干異なるため、ICAO航空機コード別の平均値を参考に外縁設定値を設け、外縁設定値を超過した範囲に逐次わだち掘れ量が算出される横断プロファイルデータを異常形状データと定義した。

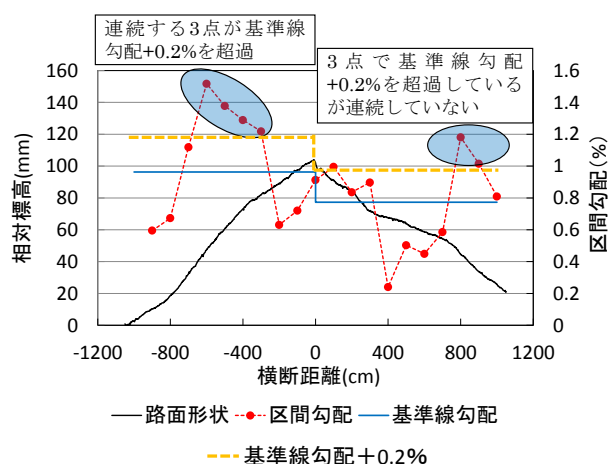
施設別・ユニット幅別に確認した異常形状データの逐次及び従来わだち掘れ量の平均値を算出し、平均の従来わだち掘れ量を平均の逐次わだち掘れ量で除した結果を図-17、図-18に示す。図-17、図-18より、中心ずれ

及び主脚車輪範囲外は、わだち掘れ量の比（従来法／逐次法）への影響が相対的に大きい。また、片勾配及び区間勾配急変動の影響は、相対的に小さいことが分かる。

以上より、中心ずれ及び主脚車輪範囲外の異常形状データを棄却した上で、逐次法による閾値の検討を実施することとする。表－6に異常形状データ及び異常形状データ棄却後データ数を示す。



図－15 片勾配の例



図－16 区間勾配急変動の例

表－5 ICAOコード別航空機主脚車輪走行範囲

コード	機材	主脚車輪位置(cm)		主脚車輪走行範囲(m)		コード別平均主脚車輪走行範囲(m)	
		内縁	外縁	外縁	外縁	外縁設定値	
E	A330-200	446.1	622.0	7.4	7.4	7.0	
	A330-300	446.1	621.9	7.4			
	B747-400	119.3	622.8	7.4			
	B777-200	462.4	634.6	7.5			
	B777-300	462.1	635.0	7.5			
	B777-300ER	461.2	635.9	7.6			
D	B787-8	408.3	571.8	6.9	6.3	6.0	
	B767-300	393.1	536.9	6.6			
	DHC8-400	404.3	475.8	6.0			
C	A320-200	317.5	441.5	5.6	4.9	5.0	
	A320-200	318.5	440.5	5.6			
	B737-500	209.7	313.3	4.3			
	B737-700	229.1	342.9	4.6			
	B737-800	228.1	343.9	4.6			
	A319-100	318.6	440.5	5.6			
	E170	212.3	307.7	4.3			
	SAAB340	309.4	361.6	4.8			

表－6 異常形状データと棄却後データ数

ユニット 幅	区分	滑走路		誘導路		
		左側	右側	左側	右側	
21m	全データ	692	692	991	991	
	異常形状 データ	①中心ずれ	4	4	37	37
		②片勾配	3	3	205	205
		③区間勾配急変動	74	193	148	313
		④主脚車輪範囲外	187	172	207	225
	棄却後データ (全データ－(①+④))	501	516	747	729	
14m	全データ	140	140	164	164	
	異常形状 データ	①中心ずれ	0	0	2	2
		②片勾配	0	0	18	18
		③区間勾配急変動	14	4	32	14
		④主脚車輪範囲外	6	1	2	1
	棄却後データ (全データ－(①+④))	134	139	160	161	
7m	全データ	43	43	36	36	
	異常形状 データ	①中心ずれ	1	1	1	1
		②片勾配	2	2	10	10
		③区間勾配急変動	2	0	3	0
		④主脚車輪範囲外	0	0	0	0
	棄却後データ (全データ－(①+④))	42	42	35	35	

(2) 相関分析による逐次法の閾値の検討

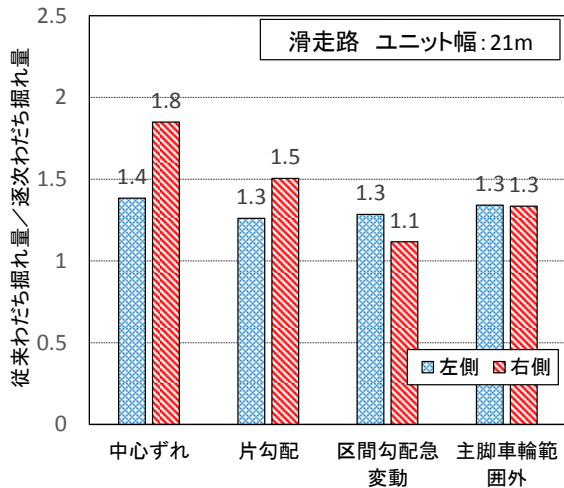
異常形状データ棄却後のデータを用いて、従来及び逐次わだち掘れ量の相関分析を行った。相関分析は、説明変数を従来わだち掘れ量、目的変数を逐次わだち掘れ量として、線形回帰分析（y切片は0とした）を行った。分析結果を図－19、図－20に示す。

相関分析結果に基づく逐次法の閾値の設定を以下の手順で行った。

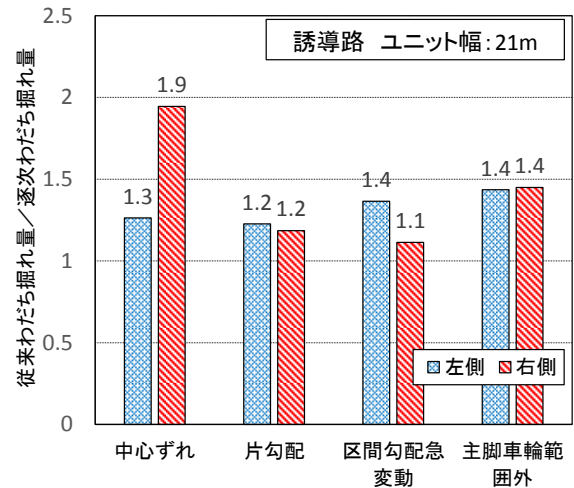
はじめに、相関分析結果における95%信頼区間に基づき、閾値の仮設定を行った。具体的には、図－19、図－20の施設別・ユニット幅別・信頼区間別の回帰直線より、従来法の閾値に対応する逐次わだち掘れ量を求め、ユニット幅毎の平均値を仮閾値とした。結果を表－7、表－8に示す。

次に、同一の横断プロファイルデータにおいて、従来法と逐次法によるランク評価が大幅に相違することを避けるために、表－7、表－8に示した仮閾値を用いて、表－9、表－10に従来法と逐次法によるランク評価の一致率を整理した。表－9、表－10より、滑走路、誘導路問わず、従来法と逐次法によるランク評価一致率が高いのは、ランクB1、B2については信頼区間中央、ランクA、B3については信頼区間95%上限である。ただし、信頼区間95%上限のランクAの逐次法の閾値は従来法の閾値と等しく、ランクAが100%一致することは明らかであること、ランクB3についてはサンプル数が少ないこと、また、ランクAからB3までの総合的なランク評価一致率を考慮し、信頼区間中央の仮閾値が最適と判断した。

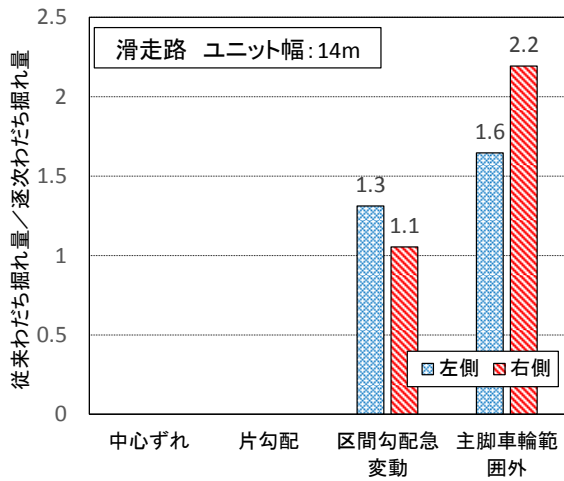
以上より、信頼区間中央の仮閾値を逐次法の閾値に採用することとした。従来法と逐次法の閾値を比較した結果を表－11に示す。逐次法の閾値は従来法の閾値の約八割となった。



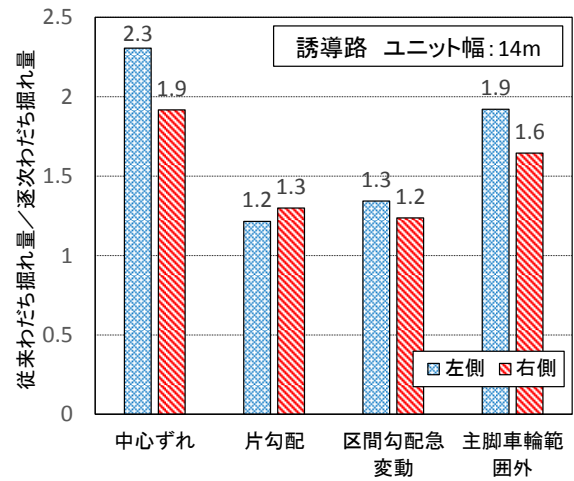
a) ユニット幅21m



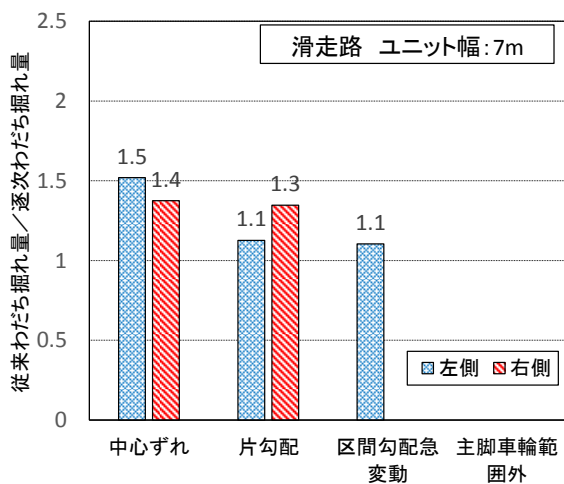
a) ユニット幅21m



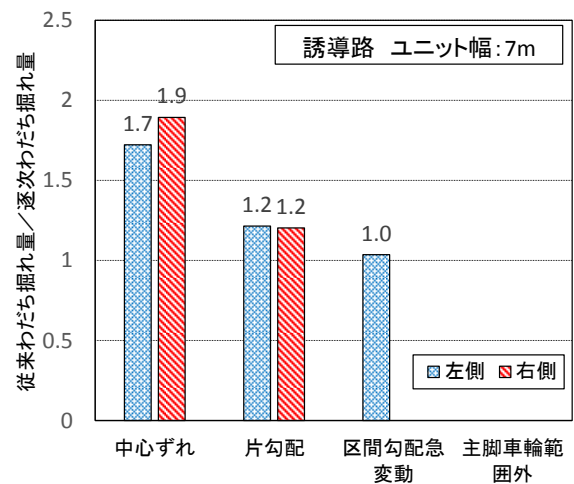
b) ユニット幅14m



b) ユニット幅14m



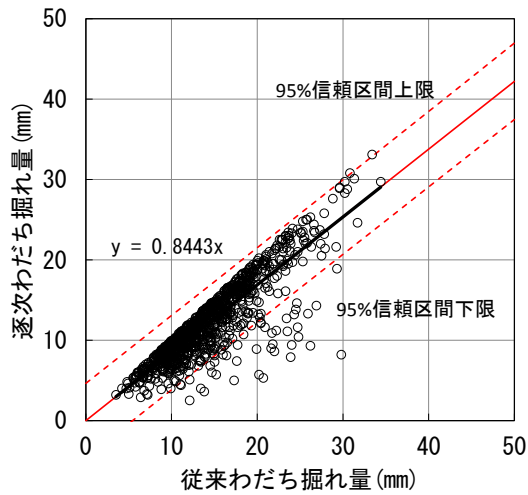
c) ユニット幅7m



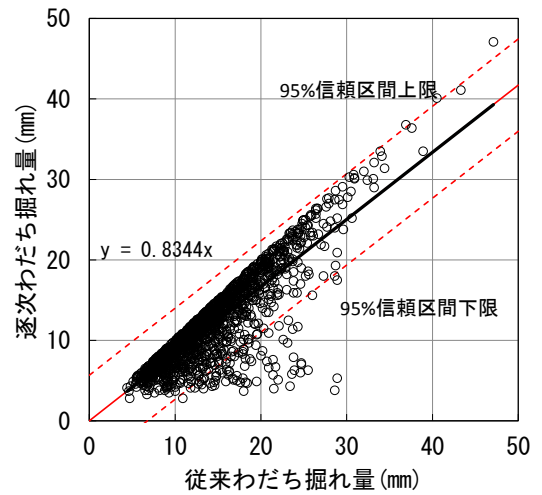
c) ユニット幅7m

図-17 異常形状別わだち掘れ量の比
(滑走路)

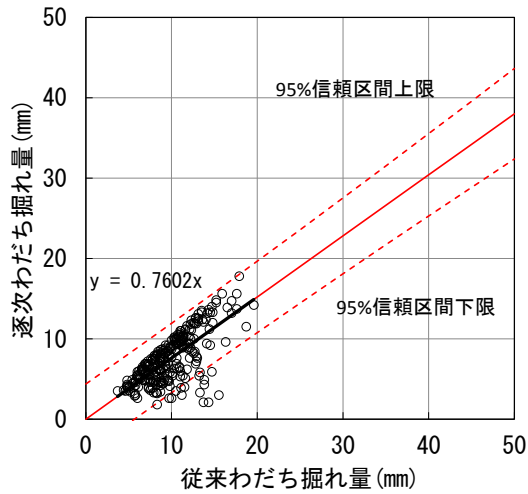
図-18 異常形状別わだち掘れ量の比
(誘導路)



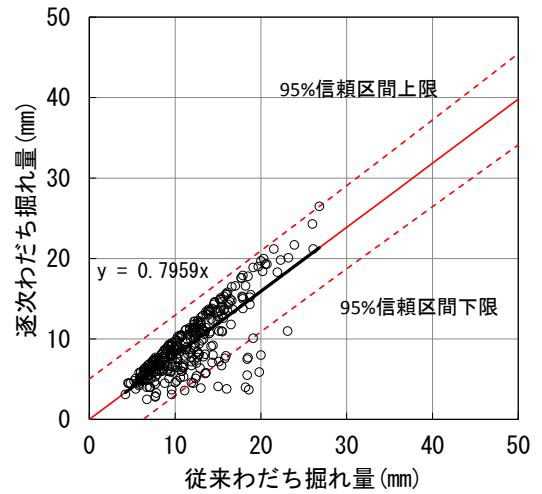
a) ユニット幅21m



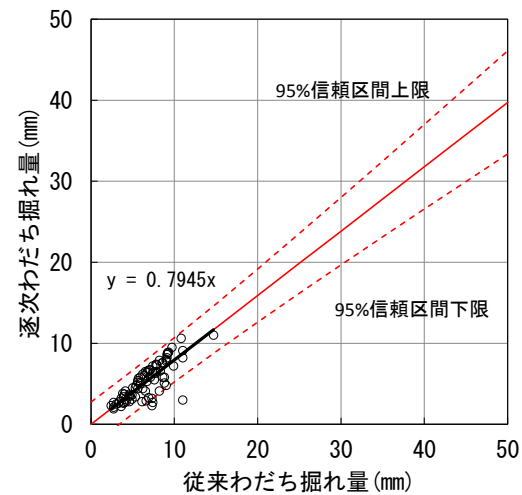
a) ユニット幅21m



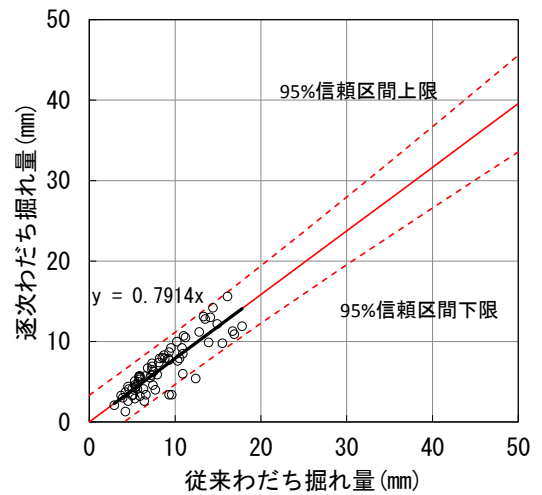
b) ユニット幅14m



b) ユニット幅14m



c) ユニット幅7m



c) ユニット幅7m

図-19 相関分析結果 (滑走路)

図-20 相関分析結果 (誘導路)

表-7 仮閾値（滑走路）

従来法の 閾値	95% 信頼区間	従来法の閾値に対する逐次わだち掘れ量			仮閾値
		ユニット幅			
		21m	14m	7m	
A 10mm	下限	3.8	3.3	5.2	4
	中央	8.4	7.6	7.9	8
	上限	10.0	10.0	10.0	10
B1 19mm	下限	11.4	10.0	11.9	11
	中央	16.0	14.4	15.1	15
	上限	19.0	18.9	18.3	19
B2 29mm	下限	19.8	17.4	19.0	19
	中央	24.5	22.0	23.0	23
	上限	29.0	26.7	27.1	28
B3 38mm	下限	27.4	23.9	25.2	25
	中央	32.1	28.9	30.2	30
	上限	36.8	33.9	35.2	35

※単位はmm

表-8 仮閾値（誘導路）

従来法の 閾値	95% 信頼区間	従来法の閾値に対する逐次わだち掘れ量			仮閾値
		ユニット幅			
		21m	14m	7m	
A 17mm	下限	8.5	8.5	10.0	9
	中央	14.2	13.5	13.5	14
	上限	17.0	17.0	16.9	17
B1 30mm	下限	19.4	18.7	19.5	19
	中央	25.0	23.9	23.7	24
	上限	30.0	29.0	28.0	29
B2 44mm	下限	31.0	29.5	29.4	30
	中央	36.7	35.0	34.8	36
	上限	42.4	40.5	40.2	41
B3 57mm	下限	41.8	39.5	38.4	40
	中央	47.6	45.4	45.1	46
	上限	53.3	51.3	51.8	52

※単位はmm

表-9 ランク評価一致率（滑走路）

		逐次法—95%下限												逐次法—中央												逐次法—95%上限					
		A	B1	B2	B3	C	A							B1	B2	B3	C	A	B1							B2	B3	C			
		4mm	11mm	19mm	25mm	—	8mm							15mm	23mm	30mm	—	10mm	19mm							28mm	35mm	—			
従来法	A	57	373	0	0	0	従来法	A	326	104	0	0	0	従来法	A	430	0	0	0	0											
	10mm	13%	87%	0%	0%	0%		10mm	76%	24%	0%	0%	0%		10mm	100%	0%	0%	0%	0%											
	B1	11	344	418	0	0		B1	90	570	113	0	0		B1	245	528	0	0	0											
	19mm	1%	45%	54%	0%	0%		19mm	12%	74%	15%	0%	0%		19mm	32%	68%	0%	0%	0%											
	B2	0	11	67	77	5		B2	3	30	107	20	0		B2	9	69	82	0	0											
	29mm	0%	7%	42%	48%	3%		29mm	2%	19%	67%	13%	0%		29mm	6%	43%	51%	0%	0%											
	B3	0	1	1	2	9		B3	0	1	2	7	3		B3	1	1	2	9	0											
従来法	38mm	0%	8%	8%	15%	69%	従来法	38mm	0%	8%	15%	54%	23%	従来法	38mm	8%	8%	15%	69%	0%											
	C	0	0	0	0	0		C	0	0	0	0	0		C	0	0	0	0	0											
従来法	—	0%	0%	0%	0%	0%	従来法	—	0%	0%	0%	0%	0%	従来法	—	0%	0%	0%	0%	0%											

※上段は一致データ数、下段は一致率

表-10 ランク評価一致率（誘導路）

		逐次法—95%下限							逐次法—中央							逐次法—95%上限				
		A	B1	B2	B3	C			A	B1	B2	B3	C			A	B1	B2	B3	C
		9mm	19mm	30mm	40mm	—			14mm	24mm	36mm	46mm	—			17mm	29mm	41mm	52mm	—
従来法	A	685	744	0	0	0	従来法	A	1291	138	0	0	0	従来法	A	1429	0	0	0	0
	17mm	48%	52%	0	0	0%		17mm	90%	10%	0	0	0%		17mm	100%	0%	0	0	0%
	B1	43	243	162	0	0		B1	90	324	34	0	0		B1	189	258	1	0	0
	30mm	10%	54%	36%	0	0%		30mm	20%	72%	8	0	0%		30mm	42%	58%	0	0	0%
	B2	0	0	5	13	2		B2	0	0	16	4	0		B2	0	3	16	1	0
	44mm	0	0	25%	65%	10%		44mm	0	0	80%	20	0		44mm	0	15%	80%	5	0
	B3	0	0	0	0	1		B3	0	0	0	0	1		B3	0	0	0	1	0
57mm	0%	0	0	0	100%	57mm	0%	0	0	0	0	100%	57mm	0%	0	0	100%	0		
C	0	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0		
—	0	0	0	0	0%	—	0	0	0	0	0	0	—	0	0	0	0	0		

※上段は一致データ数、下段は一致率

表-11 閾値（滑走路，誘導路）

施設	算出手法	A	B1	B2	B3	C
滑走路	従来法	10未満	19未満	29未満	38未満	38以上
	逐次法	8未満	15未満	23未満	30未満	30以上
誘導路	従来法	17未満	30未満	44未満	57未満	57以上
	逐次法	14未満	24未満	36未満	46未満	46以上

※単位はmm

3.2 エプロン

滑走路、誘導路と同様に、エプロンの逐次法の閾値を検討する。なお、エプロンに関しては横断プロファイルデータが滑走路や誘導路のように中心部の標高が高い山型の形状になっていない場合が多いこと、元々の横断プロファイルデータ数が少ないことから異常形状データの棄却は行っていない。ただし、仙台空港の横断プロファイルデータはユニット幅21mであるが、同エプロンの使用機材は小型機（プロペラ）に限られること、横断プロファイルデータを見るとわだち掘れとは異なる凹凸が見られること等から閾値検討に用いることは不適切であると判断し棄却した。

滑走路、誘導路の検討と同様に、はじめに、従来わだち掘れ量と逐次わだち掘れ量の相関分析を行い、仮閾値を設定する。相関分析結果を、図-21に示す。相関分析は、線形回帰分析（y切片は0とした）を行った。また、滑走路、誘導路の場合と異なりデータ数が少ないことから、ユニット幅で区別をしていない。図-21の回帰直線に基づき、従来法の閾値に対応する逐次わだち掘れ量の95%信頼区間別の仮閾値を設定した。結果を表-12に示す。

次に、表-12で示した信頼区間中央の仮閾値による評価ランクと従来法による評価ランクを対比した結果を、閾値検討に使用した全ての横断プロファイルデータについて表-13に示す。算出手法に関わらず、エプロンにおけるわだち掘れ量は小さいため、この仮閾値によりランク評価が大幅に相違するか否かは評価できない。ただし、アスファルト舗装のエプロンは少ないこと、また、表-14のように信頼区間中央の閾値を採用し、従来法と逐次法の閾値を比較した場合、逐次法の閾値は従来法の閾値の約八割となり、滑走路、誘導路と大きく異ならないことから実用上問題はないと思われる。

以上より、信頼区間中央の仮閾値を逐次法の閾値に採用することとした。

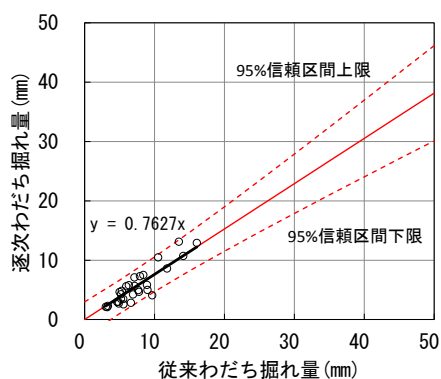


図-21 相関分析結果（エプロン）

表-12 仮閾値（エプロン）

従来法の閾値	95%信頼	仮閾値
A 22mm	下限	13
	中央	17
	上限	21
B1 38mm	下限	23
	中央	29
	上限	35
B2 54mm	下限	33
	中央	41
	上限	50
B3 70mm	下限	42
	中央	53
	上限	65

※単位はmm

表-13 ランク評価対比結果（エプロン）

空港	ユニット	従来法	逐次法
高松空港	小型-1-L	A	A
	小型-1-R	A	A
	小型-2-L	A	A
	小型-2-R	A	A
丘珠空港	AP1-1-L	A	A
	AP1-1-R	A	A
	AP2-1-L	A	A
	AP2-1-R	A	A
	AP3-1-L	A	A
	AP3-1-R	A	A
	AP4-1-L	A	A
	AP4-1-R	A	A
	AP5-1-L	A	A
	AP5-1-R	A	A
	APS1-1-L	A	A
	APS1-1-R	A	A
	APS2-1-L	A	A
	APS2-1-R	A	A
	APS3-1-L	A	A
	APS3-1-R	A	A
稚内空港	APS4-1-L	A	A
	APS4-1-R	A	A
	AP3-1-L	A	A
	AP3-1-R	A	A
	AP3-2-L	A	A
	AP3-2-R	A	A
	AP4-1-L	A	A
	AP4-1-R	A	A
	AP4-2-L	A	A
	AP4-2-R	A	A

※仮閾値は95%信頼区間－中央を採用

表-14 閾値（エプロン）

施設	算出手法	A	B1	B2	B3	C
エプロン	従来法	22未満	38未満	54未満	70未満	70以上
	逐次法	17未満	29未満	41未満	53未満	53以上

※単位はmm

3.3 過年度データに対する対応

本資料の検討を基に、平成29年4月に国土交通省航空局「空港舗装補修要領」が改訂された。その結果、平成28年度以前の路面性状調査で算出された従来わだち掘れ量と、平成29年度以降の路面性状調査で算出される逐次わだち掘れ量を直接比較することができなくなる。そのため、平成28年度以前の路面性状調査において計測された横断プロファイルデータが保存されている場合は、逐次法によりわだち掘れ量を再度算出することが望ましいが、それ以外の場合には、従来わだち掘れ量に0.8を乗じることで、逐次わだち掘れ量に相当する値に変換する等の対応が考えられる。

行：空港舗装設計要領及び設計例（平成29年4月一部改訂），p. I - 31，2017.

4. 結論

本資料における結論は以下のとおりである。

- 1) 局所的凸形状の影響により、航空機荷重によるアスファルト舗装の塑性変形を正しく算出できない従来法に代わり、逐次法、水深法の二種類の新たなわだち掘れ量算出手法の導入を検討した。検討の結果、水深法ではわだち掘れ形状や横断勾配によっては、航空機荷重による塑性変形が大きいにも関わらず、わだち掘れ量がほとんど算出されないことも想定されるため、逐次法を採用した。
- 2) 従来法と逐次法によるわだち掘れ量を算出し、相関分析を行うことで、逐次法によるわだち掘れ量の閾値を設定した。逐次法の閾値は、従来法の閾値の約八割となった。

（2017年11月15日受付）

参考文献

- 1) 福手勤，佐藤勝久，八谷好高，山崎英男：路面性状による空港舗装の供用性評価，港湾技研資料，No. 414，1982.
- 2) 国土交通省航空局・国土交通省国土技術政策総合研究所監修，（一財）港湾空港総合技術センター発

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1002 January 2018

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕
E-mail:ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp