

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 12

NO. 4

DEC. 1973

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



1973

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第12巻 第4号 (Vol. 12, No. 4), 1973年12月 (Dec. 1973)

目 次 (CONTENTS)

1. 波と流れによる砂移動に関する実験
..... 田中則男・小笹博昭・小笠原昭..... 3
(Experiments on Sand Movement by Waves and Currents
.....Norio TANAKA, Hiroaki OZASA and Akira OGASAWARA)
2. 楕円柱体近似による固定船体に働く波力の理論および実験
..... 合田良実・高山知司・笹田 正..... 23
(Theoretical and Experimental Investigation of Wave Forces on a Fixed Vessel
Approximated with an Elliptic Cylinder
..... Yoshimi GODA, Tomotsuka TAKAYAMA and Tadashi SASADA)
3. 空港アスファルト舗装のわだちぼれ
..... 森口 拓・浅島豊明・渋谷英男..... 75
(Rutting of Asphalt Pavements for Airports
..... Hiraku MORIGUCHI, Toyoaki ASAJIMA and Hideo SHIBUYA)
4. 連続載荷方式による急速圧密試験
..... 梅原靖文・松本一明・成田 実・梅田裕史.....131
(Rapid Consolidation Test Under Continuous Loading
.....Yasufumi UMEHARA, Kazuaki MATSUMOTO, Minoru NARITA
and Hirojumi UMEDA)
5. 各種地盤における平均応答スペクトル
..... 土田 肇・倉田栄一・石坂徳三・林 聡.....171
(Average Response Spectra for Various Site Conditions
..... Hajime TSUCHIDA, Eiichi KURATA, Tokuzo ISHIZAKA
Satoshi HAYASHI)
6. 太径鉄筋を用いたコンクリートはりのひびわれ
..... 関 博.....201
(Crack Characteristics of Reinforced Concrete Beams with Large-sized Deformed Bars
.....Hiroshi SEKI)
7. ドラグヘッドに関する研究 (第1報)
——ドラグヘッドの基礎形状について——
..... 八木得次・奥出 律・是石昭夫.....233
(Study of Drag Suction Head (Part 1)—On the Basic Geometry of Draghead—
..... Tokuji YAGI, Tadasu OKUDE and Akio KOREISHI)

3. 空港アスファルト舗装のわだちぼれ

森口 拓*・浅島豊明**・渋谷英男**

要 旨

本報告は、空港のエプロンおよび誘導路におけるアスファルト舗装のわだちぼれの調査結果、ならびに変形抵抗の大きいアスファルト混合物を見出すための室内試験について述べるものである。

調査は5つの空港において実施し、調査項目は、わだちぼれ発生箇所、わだちぼれの程度、表層および基層アスファルト混合物の材料と性質および切り取り供試体についてのマーシャル試験などである。調査結果によれば、使用されたアスファルト混合物は現在一般に認められている配合のものであるが、これらは大型航空機荷重の繰返し作用に対して塑性変形はまぬがれないことが予想される。

また室内試験は、従来の一般的な配合設計法とは異なったやり方を含んだ8種のアスファルト混合物について、マーシャル安定度試験、ホイールトラッキング試験および繰返し軸圧縮試験を実施したものである。試験結果によれば、実験の範囲内では特に安定度の高いものは見い出せなかったが、アスファルト量を比較的小さくし、骨材の最大寸法を20mm程度とするのがよいと考えられ、また、安定度を重要視する場合は従来の配合設計法を変更あるいは修正する必要があると考えられる。

今後、より安定度の高いアスファルト混合物についての研究が必要であることは当然であるが、大型航空機の就航する空港のエプロンや誘導路の一部は、コンクリート舗装とするほうが得策と考えられる。

* 土質部 滑走路研究室長

** 土質部 滑走路研究室

3. Rutting of Asphalt Pavements for Airports

Hiraku MORIGUCHI*

Toyoaki ASAJIMA**

Hideo SHIBUYA**

Synopsis

This paper presents the field investigation of rutting of asphalt pavements for airports and the laboratory test of asphalt mixtures for the purpose of obtaining those of high quality in stability.

Five airports in which considerable rutting grow at apron or taxiway are chosen. Items of the investigation are as follows: areas of rutting, sizes of rutting, characteristics of asphalt mixtures for surface and base courses, and test properties of core from asphalt mixtures by the Marshall stability test. According to results of the investigation, rutting of asphalt mixtures designed by the Marshall method will be inevitable under localized and channeled heavy wheel traffic.

The laboratory test consists of the Marshall stability test, the wheel-tracking test and the compression test of repetitive loading on eight kinds of asphalt mixtures. According to test results, it is advisable to decrease asphalt content reasonably and use aggregates of maximum size of about 20 mm.

It will be recommended to use concrete pavements in airports under localized and channeled heavy wheel traffic.

* Chief of the Runways Laboratory, Soils Division.

** Member of the Runways Laboratory, Soils Division.

目 次

要 旨	75
1. 緒 言	79
2. わだちぼれ調査	79
2.1 調査目的	79
2.2 調査方法	79
2.3 調査結果	80
2.4 調査結果に対する考察	102
2.5 ま と め	113
3. アスファルト混合物試験	113
3.1 試験目的	113
3.2 試験方法	114
3.3 試験結果	118
3.4 試験結果に対する考察	118
3.5 結 論	127
4. 結 語	127
謝 辞	129
参考文献	129

1. 緒 言

わが国の空港は、第2次世界大戦前に建設されたもの、戦後米軍により接收、建設されたもの、空港整備法制定（昭和31年4月）後に建設されたもの等で、その舗装の形式および構造も種々なものとなっている。近年航空輸送の需要の急激な増大に伴い、空港整備も着実に実施されているが、最近では第1次空港整備5か年計画（昭和42～46年度）および第2次空港整備5か年計画（昭和46～50年度）によって、いっそう進んでいる。

空港整備法により空港は、第1種、第2種および第3種の3つに分類されるが、主要な国内航空路線に必要なものとしての第2種空港の舗装は、大部分アスファルト舗装で施工されてきた。ところが最近、これら第2種空港においても大型航空機が就航するようになり、更にローディングブリッジ（旅客を待合室から直接搭乗させるための装置で、その一方はターミナルビルに固定されており、駐機中の航空機の入口に連結される屋根付き通路）の利用により、エプロン舗装に作用する荷重の接地圧および繰返し作用回数が増大している。その結果、そのような箇所の舗装に、従来は全く見られなかった、あるいはそれほど顕著ではなかったわだちぼれが発生している。ちなみに、国際航空路線に必要なものとしての第1種空港のエプロン舗装はコンクリート舗装となっている。

このようなわだちぼれは、航空機の運航に支障をきたすほどのものもあり、そのような場合は補修が直ちにこなされる。そこで、わだちぼれの現況を把握するために5つの空港についてわだちぼれ調査を実施した。

アスファルト舗装のわだちぼれは、アスファルト混合物の安定性の欠如、路盤や路床の支持力不足、設計荷重以上の荷重の作用などが主原因と考えられる。アスファルト舗装の構造は、荷重の大きさやその作用回数を考慮して設計されるものであるが、表層および基層のアスファルト混合物については、時間的にも場所的にも大きな集中荷重に対して、十分な配慮がなされているとは言えないようである。そこで、わだちぼれに対する抵抗性の大きい、すなわち安定性の高いアスファルト混合物を見出すために、8種の配合のアスファルト混合物について安定性に関する室内試験を実施した。この中には、従来の一般的な規定を満足しない配合のものも含まれている。

アスファルト舗装が大きな集中荷重には弱いものであ

ることは、従来からも一般に認められている。しかしわが国の空港舗装においては、それなりの理由でアスファルト舗装は大いに適用されてきた。今後航空機はますます大型化し、多くの空港にもこれら大型航空機が就航することが予想される。したがってこのままでは、アスファルト舗装、特にエプロンにおける舗装にわだちぼれが発生することは明らかである。今や、安定性の大きなアスファルト混合物の開発が大いに期待される時期にあるといえよう。

本報告は、始めにわだちぼれの調査について、次にアスファルト混合物の室内試験について述べ、更に今後検討すべき問題点やエプロン舗装の考え方について述べるものである。

2. わだちぼれ調査

2.1 調査目的

本調査は、空港のアスファルト舗装のわだちぼれについて現況を把握し、その原因を究明することを目的とするものである。

2.2 調査方法

まず、かなり顕著なわだちぼれが発生していると思われる5つの空港、すなわち、千歳、函館、大阪、大分および宮崎空港（大阪は第1種、その他は第2種空港）を調査の対象に選んだ。

これらの空港について以下に示す項目についての調査を依頼した：(1) わだちぼれの範囲および断面形状、(2) わだちぼれの進行状況、(3) 舗装の構造、(4) 表層および基層のアスファルト混合物の配合およびマーシャル試験値、(5) アスファルトおよび骨材の性質、(6) 施工年月、(7) 設計条件および使用状況。更にわだちぼれ部と非わだちぼれ部について表層と基層の切り取り供試体（直径10cm）の採取を依頼した。調査は、昭和47年7月から8月にかけて実施された。調査の依頼は、航空局飛行場部建設課が行ない、調査は以下に示す各機関が実施した。千歳空港は北海道開発局札幌開発建設部千歳空港建設事業所、函館空港は北海道開発局函館開発建設部函館空港建設事業所、大阪空港は第三港湾建設局大阪空港工事々務所、大分空港は第四港湾建設局別府港工事々務所、宮崎空港は第四港湾建設局鹿児島港工事々務所。そして切り取り供試体の試験、アスファルト混合物の室内試験および調査の取りまとめは、港湾技術研究所滑走路研究室が行なった。

表-1 マーシャル安定度補正係数表

供試体の体積 cm ³	供試体の高さ cm	補正係数
200~213	2.47~2.63	5.56
214~225	2.64~2.77	5.00
226~237	2.78~2.92	4.55
238~250	2.93~3.08	4.17
251~264	3.09~3.26	3.85
265~276	3.27~3.41	3.57
277~289	3.42~3.56	3.33
290~301	3.58~3.71	3.03
302~316	3.72~3.90	2.78
317~328	3.91~4.04	2.50
329~340	4.05~4.19	2.27
341~353	4.20~4.35	2.08
354~367	4.36~4.52	1.92
368~379	4.53~4.67	1.79
380~392	4.68~4.83	1.67
393~405	4.84~4.99	1.56
406~420	5.00~5.18	1.47
421~431	5.19~5.31	1.39
432~443	5.32~5.46	1.32
444~456	5.47~5.62	1.25
457~470	5.63~5.80	1.19
471~482	5.81~5.94	1.14
483~495	5.95~6.10	1.09
496~508	6.11~6.26	1.04
509~522	6.27~6.44	1.00
523~535	6.45~6.60	0.96
536~546	6.61~6.73	0.93
547~559	6.74~6.89	0.89
560~573	6.90~7.06	0.86
574~585	7.07~7.21	0.83
586~598	7.22~7.37	0.81
599~610	7.38~7.52	0.78
611~625	7.53~7.70	0.76

なお、切取り供試体については、以下に示す項目について試験を実施した。すなわち (1) 密度, (2) マーシャル試験値, (3) 最大密度。切取り供試体はわだちぼれ部および非わだちぼれ部からそれぞれ3本採取されたが、各切取り供試体について表層と基層の2つの部分にカッターで切断して供試体を作製し、各部分について試験を行なった。

マーシャル安定度試験用供試体は直径 101.6mm, 高さ 63.5mm と定められているが、切取り供試体の高さがこの規定に合わないものがあった。この場合は、表-1 に示す補正係数¹⁾を用いて安定度を補正した。

最大密度は ASTM D 2041 の真空法により測定した。

2.3 調査結果

調査結果は、提出された資料が各空港によって異なるので、これを各空港別に以下述べることにする。

2.3.1 千歳空港の調査結果

わだちぼれの発生箇所はエプロンで、その調査区域は図-1 に示すとおりである。この区域の表層および基層は昭和46年6月5日から46年8月10日までに施工され、その使用開始は No. 5 および No. 6 スポットは46年6月15日、No. 2 および No. 3 スポットは46年7月11日であった。またローディングブリッジは46年12月25日から使用された。図-2 にわだちぼれの位置を示す。

図-2 に示すように調査区域は、No. 2, No. 3, No. 5 および No. 6 スポットであるが、各スポットのわだちぼれの状態の詳細を平面図としてそれぞれ図-3, 4, 5 および 6 に示す。

No. 3 スポットについては、図-4 に示す A-A, B-B, C-C および D-D 断面において舗装表面の形状を測定したが、それらの断面形状を図-7 に示す。

わだちぼれの進行状況を概略述べると以下のとおりである。No. 2, 3, 5 および 6 スポットの舗装について使用開始後46年10月頃までは部分的なくぼみが生ずることとはなく、タイヤの通過跡がわずかに残る程度であった。

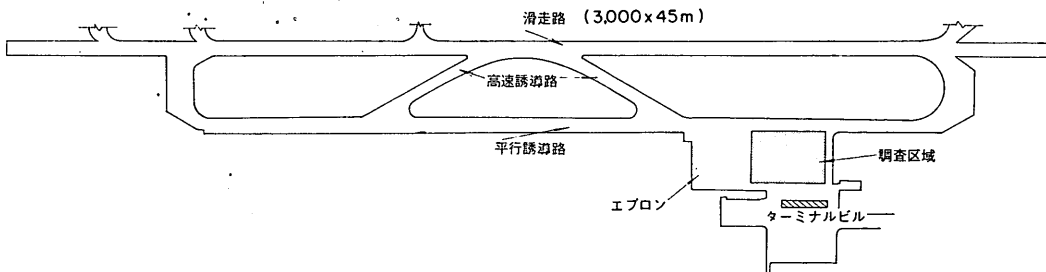


図-1 千歳空港わだちぼれ調査箇所

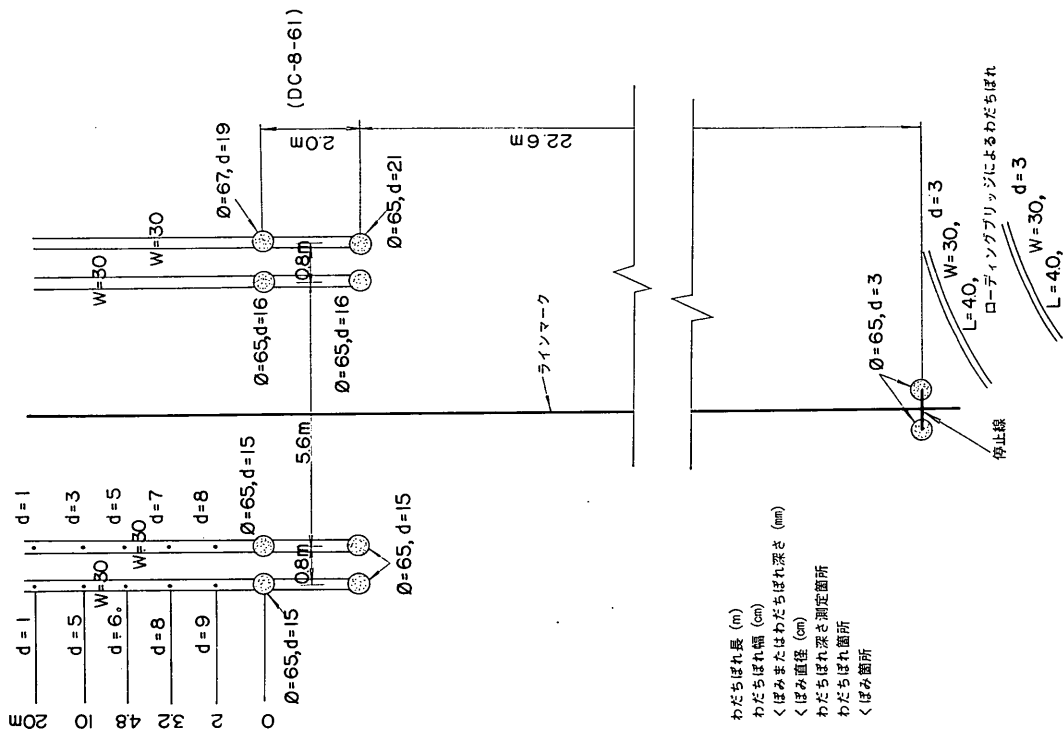


図-5 No. 5 スポットのわだちほれの状況 (千歳空港)

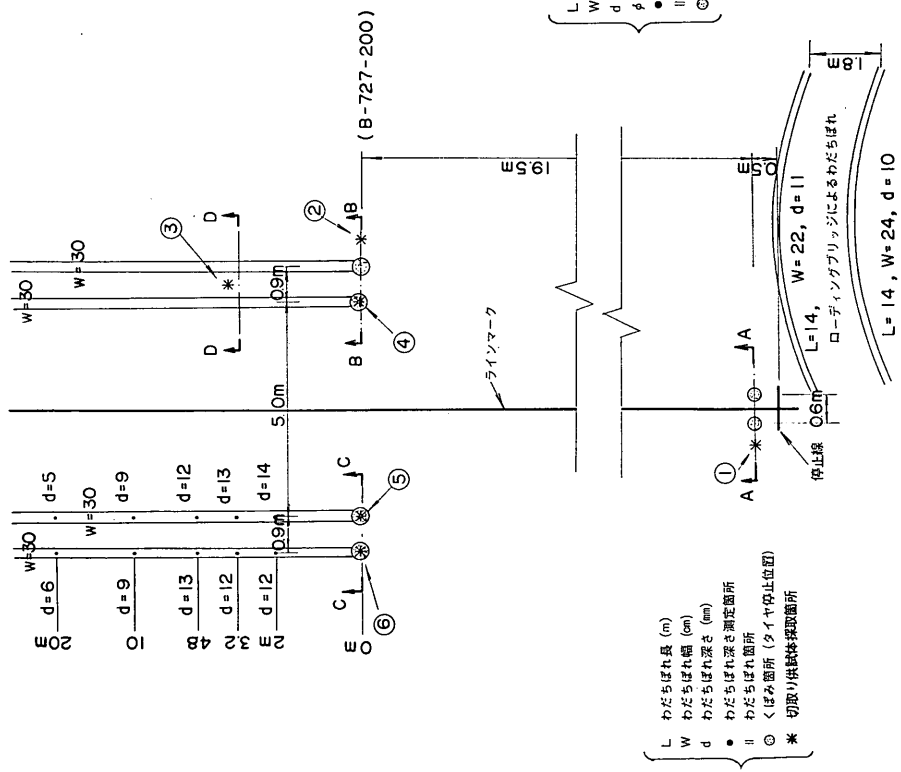


図-4 No. 3 スポットのわだちほれの状況および切取り供試体採取箇所 (千歳空港)

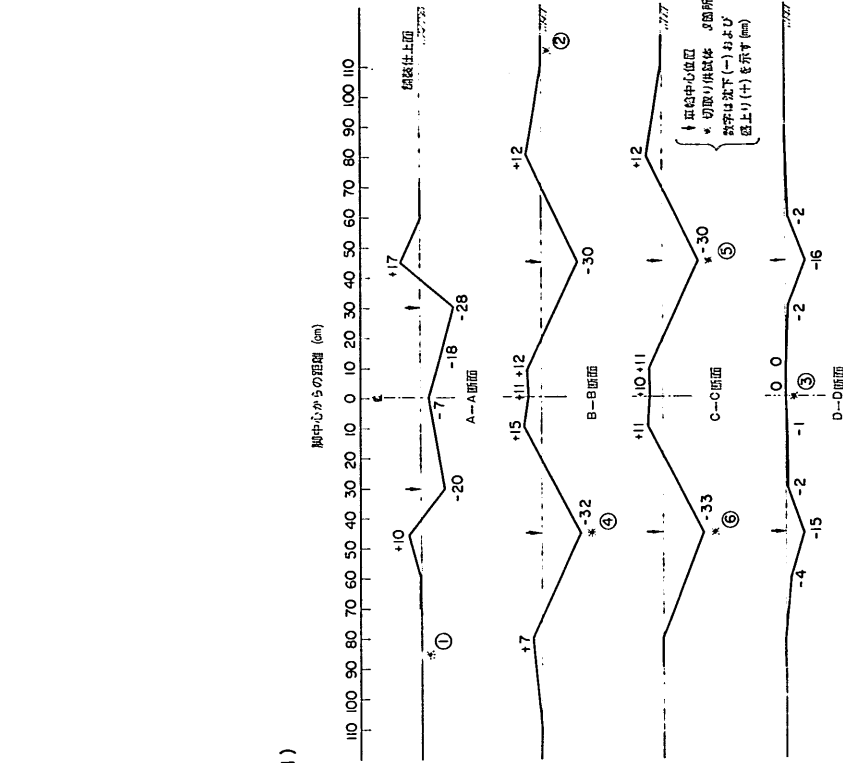


図-7 No. 3 スポットのわだちぼれの断面形状 (千歳空港)

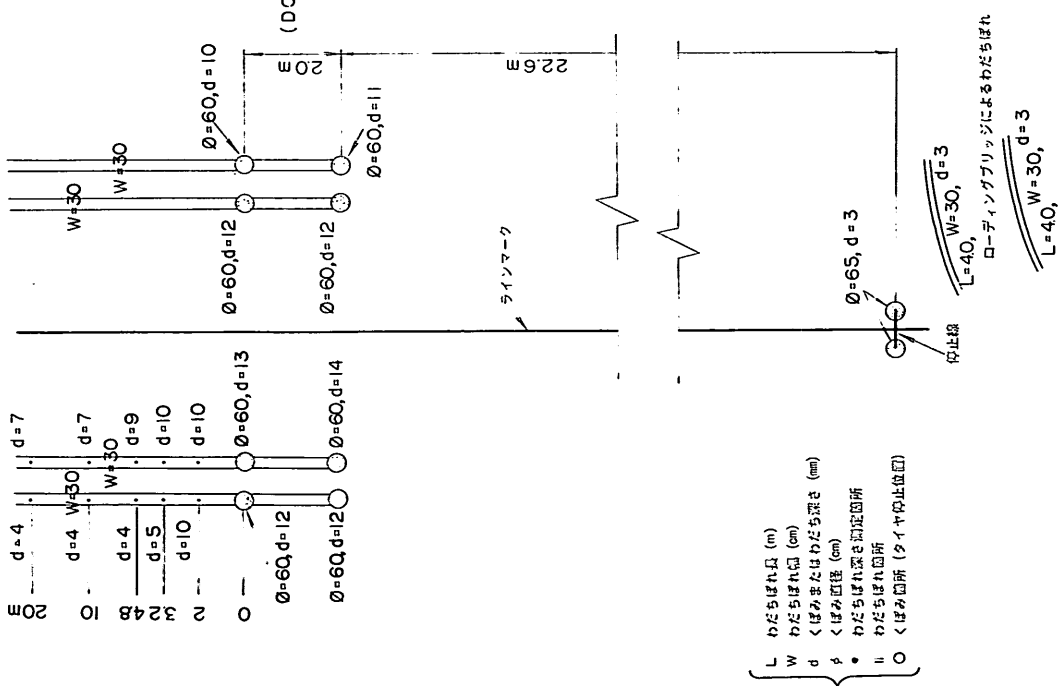


図-8 No. 6 スポットのわだちぼれの状況 (千歳空港)

AC (表層)	4	AC (表層)	4
AC (基層)	4	AC (基層)	6
AS	4	AS	6
AS	5	切込碎石	20
AS (レベリング層)	0.39		
CC	25	切込砂利	60
切込砂利	15		
火山れき	27		

(単位: cm)

(a) かさ上げ舗装

(b) 新設舗装
(旧フィンガー部)

図-8 エプロンの舗装構造 (千歳空港)

47年2月中旬頃, No. 2 および No. 3 スポットの主脚タイヤ停止位置にくぼみが生じた。そしてその部分は4~5月にかけて, まわりから見てくぼみがわかるほど(深さ1~3cm)に発達し, 5月17日に1回目の補修を行なった。補修は, くぼみ箇所にアスファルト混合物を埋めて転圧し, 舗装の平坦性を回復するという, いわゆるパッチング工法で行なわれた。しかしその後, 以前よりも大きなくぼみ(深さ2~4cm)が生じ, 6月23日に運行に支障があるとのことで再補修をパッチング工法で行ない, 調査実施日に至っている。

エプロンの舗装の構造は, 図-8 に示すとおりである。図-8 において AC はアスファルト混合物, AS はアスファルト安定処理材, CC はセメントコンクリートを意味する (以下各空港についても同じ)。

アスファルト混合物の示方配合および試験結果は表-2~6 および 図-9 に示すとおりである。なお, 表層にはスーパーアスファルト (丸善石油(株)製), 基層にはストレートアスファルトが使用された。表層用の細骨材は6対4の割合の黄金産砂と浜厚真産砂, 基層用の細骨材は湧払産砂, ならびに細骨材は漁川産碎石がそれぞれ用いられた。表-2 の試験値は46年6月5日から8月10日

までのアスファルトプラントにおけるアスファルト混合物についてのものである。表-4 の密度は採取切取り供試体についてのものであり, それらは表-5 および6 に示す値の平均値である。

エプロンの使用状況および荷重条件は表-7 および8 に示すとおりである。

空港における気温は図-10 に示すとおりである。

No. 3 スポットにおいて, 図-4 に示す位置で切取り供試体が採取されたが, それらの試験結果を表-9 に示す。図-4 において, ①, ② および ③ は非わだちぼれ部の切取り供試体番号を, ④, ⑤ および ⑥ はわだちぼれ部の切取り供試体番号を表わす (以下各空港についても同じ)。

2.3.2 函館空港の調査結果

わだちぼれの発生箇所はエプロンで, その調査区域は図-11 に示すとおりである。この区域の表層および基層は, 昭和46年7月1日から7月30日にかけて施工され,

表-2 アスファルト混合物の示方配合 (千歳空港)

項目	区分	表層	基層
アスファルト量 (%)		6.5	5.5
安定度 (kg)		1000以上	800以上
フロー値 (1/100cm)		20~40	20~40
空げき率 (%)		3~6	3~7
飽和度 (%)		75~85	75~85

表-3 アスファルト混合物の性質 (千歳空港)

項目	区分	表層	基層
安定度 (kg)		1188	1153
フロー値 (1/100cm)		30	31
空げき率 (%)		4.6	3.5
飽和度 (%)		76.2	78.6
表乾かさ密度 (g/cm³)		2.352	2.431
理論最大密度 (g/cm³)		2.465	2.518

表-4 アスファルト混合物の締固め度 (千歳空港)

項目	区分	表層	基層
表乾かさ密度 (g/cm³)		2.377	2.424
締固め度 (%)		101	99.7

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

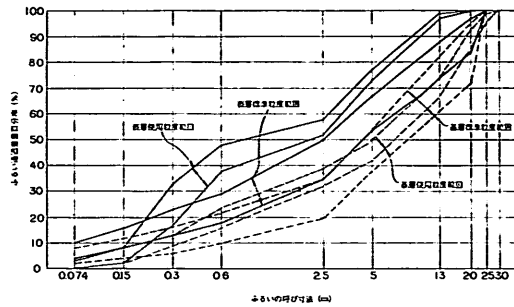


図-9 アスファルト混合物の骨材粒度 (千歳空港)

表-5 表層アスファルト混合物の試験値 (千歳空港)

項目	試験値										標準偏差	変動係数 (%)
安定度 (kg)	1326	1109	1081	1244	1204	1285	1081	1258	1204	93	7.8	
	1312	1081	1258	1204	1041	1149	1068	1081	1054			
	1272	1217	1285	946	1163	1272	1231	1109	1176			
	1258	1163	1272	1258	1285	1244						
フロー値 (1/100 cm)	29	32	30	28	30	32	29	30	32	2	8.1	
	33	32	30	28	32	35	32	27	30			
	29	27	30	29	32	28	32	30	28			
	36	29	28	28	29	37						
空げき率 (%)	4.3	5.6	5.2	5.4	3.7	3.9	5.1	4.7	4.6	0.7	15.3	
	5.6	3.8	4.7	4.0	4.3	4.9	3.9	3.8	4.5			
	4.5	3.7	4.9	3.8	5.2	6.2	4.2	4.3	5.4			
	3.8	4.0	5.8	5.6	5.2	4.0						
飽和度 (%)	77.7	72.3	73.7	72.2	74.1	78.8	79.7	78.4	71.1	2.9	3.8	
	78.1	77.4	73.2	79.7	74.1	70.1	76.9	80.0	75.5			
	79.2	79.5	75.9	78.9	77.4	75.2	71.9	79.6	74.3			
	74.4	76.1	76.3	73.0	80.0	79.5						
かさ密度 (g/cm³)	2.360	2.327	2.336	2.331	2.373	2.370	2.340	2.350	2.352	0.017	0.7	
	2.328	2.371	2.362	2.367	2.358	2.345	2.369	2.372	2.353			
	2.355	2.373	2.347	2.371	2.338	2.312	2.362	2.358	2.333			
	2.372	2.366	2.321	2.326	2.338	2.366						
切取り供試体かさ密度 (g/cm³)	2.321	2.374	2.429	2.400	2.399	2.401	2.336	2.366	2.377	0.183	7.7	
	2.363	2.394	2.379	2.339	2.409	2.364	2.387	2.332	2.418			
	2.368	2.414	2.378	2.340	2.343	2.360	2.353	2.388	2.365			
	2.348	2.367	2.384	2.431	2.399	2.411						

表-6 基層アスファルト混合物の試験値 (千歳空港)

項目	試験値									標準偏差	変動係数 (%)
安定度 (kg)	987	1068	1176	1068	1027	1190	1000	1421	1095	136	11.8
	1190	973	1136	959	1394	1244	1394	1272	1190		
	1054	1231	1149								
フロー値 (1/100cm)	32	28	31	27	35	38	29	30	36	6	20.7
	29	34	31	31	26	34	34	35	29		
	29	31	25								
空げき率 (%)	3.2	3.5	2.9	2.8	2.7	3.0	6.1	5.1	3.9	0.8	22.8
	3.7	3.1	4.0	3.4	3.5	3.3	3.3	2.9	3.5		
	3.1	2.7	3.1								
飽和度 (%)	80.2	82.7	80.4	79.6	81.4	78.1	78.8	78.1	79.6	3.7	4.7
	77.4	80.6	76.0	66.9	70.8	76.2	81.9	82.7	80.8		
	80.0	78.1	80.0								
表乾かさ密度 (g/cm³)	2.438	2.429	2.446	2.447	2.451	2.442	2.365	2.389	2.419	0.020	0.8
	2.425	2.441	2.418	2.432	2.429	2.436	2.436	2.445	2.429		
	2.439	2.451	2.440								
切取り供試体表乾かさ密度 (g/cm³)	2.238	2.247	2.459	2.449	2.441	2.457	2.460	2.394	2.414	0.055	2.3
	2.441	2.409	2.421	2.450	2.380	2.472	2.443	2.499	2.470		
	2.478	2.478	2.399	2.358	2.438	2.397	2.446	2.450	2.430		
	2.443	2.479	2.378	2.438	2.393	2.404	2.385	2.454	2.457		

表-7 エプロンの使用状況 (千歳空港)

スポット No.	航空機の種類	駐機回数								備考
		昭和46年12月	昭和47年1月	2月	3月	4月	5月	6月	合計	
2	B-727-100 200	12	21	24	32	30	69	101	289	夜間駐機のとときあり
3	B-727-200	146	257	260	256	256	295	280	1750	
5	DC-8-61	128	241	250	249	216	257	246	1587	
6	DC-8-61	37	51	50	71	80	129	134	552	

表-8 ローディングブリッジの諸元 (千歳空港)

設置箇所	輪荷重 (t)	タイヤ1個の接地面積 (cm²)	タイヤ接地圧 (kg/cm²)
No. 2, No. 3 スポット	4.9	487	10.1
No. 5, No. 6 スポット	8.3	751	11.1

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

表-9 切取り供試体の試験結果 (千歳空港)

区域	区分	切取り供試体 No.	供試体の高さ (cm)	表乾かさ密度 (g/cm ³)	見かけ密度 (g/cm ³)	フロー値 (1/100cm)	安定度 (kg)		最大密度 (g/cm ³)	空げき率 (%)			
							測定値	修正値		かさ密度に基づく値	見かけ密度に基づく値		
わだちぼれ部	表層	4	2.14	2.334	2.337	50	101	560	2.411	3.2	3.1		
		5	3.21	2.356	2.357	49	168	647	2.417	2.5	2.5		
		6	3.16	2.392	2.392	48	168	647	2.428	1.5	1.5		
	基層	4	3.65	2.433	2.434	45	202	612	2.480	1.9	1.9		
		5	7.03	2.449	2.451	44	889	764	2.480	1.3	1.2		
		6	5.20	2.437	2.440	39	487	677	2.471	1.4	1.3		
			(2.361)	(2.362)	(49)		(618)	(2.419)	(2.4)	(2.4)			
非わだちぼれ部	表層	1	4.43	2.387	2.389	26	268	515	2.460	3.0	2.9		
		2	3.95	2.360	2.362	27	219	547	2.475	4.7	4.6		
		3	3.39	2.387	2.388	32	285	1018*	2.476	3.5	3.6		
	基層	1	7.82	2.496	2.498	40	1057	803	2.520	1.0	0.9		
		2	3.81	2.449	2.463	32	236	656	2.550	4.0	3.4		
		3	4.69	2.447	2.453	17	336	561	2.512	2.6	2.4		
				(2.378)	(2.380)	(28)		(531)	(2.470)	(3.7)	(3.7)		
				(2.440)	(2.441)	(43)		(684)	(2.477)	(1.5)	(1.5)		
				(2.464)	(2.471)	(30)		(673)	(2.527)	(2.5)	(2.2)		

- 注) 1. () 内の数字は平均値を表わす。
 2. 切取り供試体 No. の数字は 図-4 を参照。
 3. * この値は採用しない。

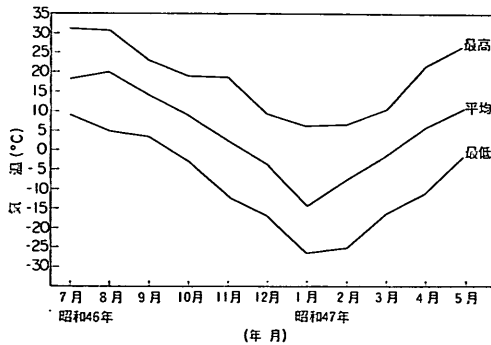


図-10 気温 (千歳空港)

その使用開始は46年11月6日であった。図-12 にわだちぼれの位置を、図-13 にわだちぼれの状態の詳細をそれぞれ示す。

わだちぼれの進行状況は概略以下のとおりである。エプロンの使用開始は昭和46年11月6日であったが、46年12月中旬に航空機のタイヤ停止位置にわずかのくぼみが生じた。そして47年3月中旬には航空機の主脚通過部分に深さ2mm程度のわだちぼれが発生した。

また46年11月16日にローディングブリッジが完成したが、46年12月初旬には車輪通過箇所にはわだちぼれが発生した。

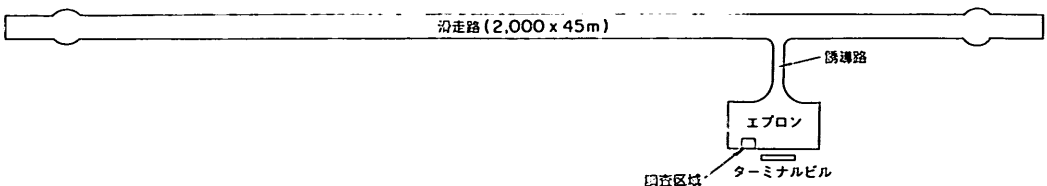


図-11 函館空港わだちぼれ調査箇所

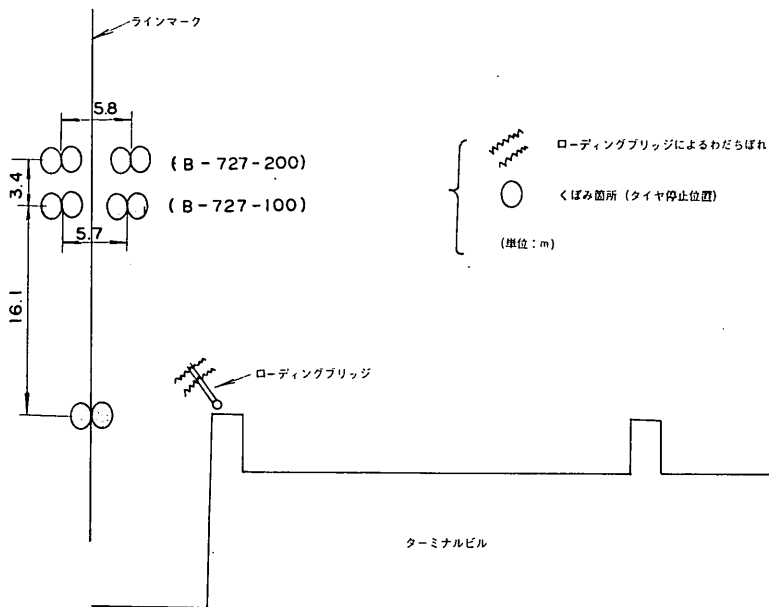


図-12 わだちぼれの位置 (函館空港)

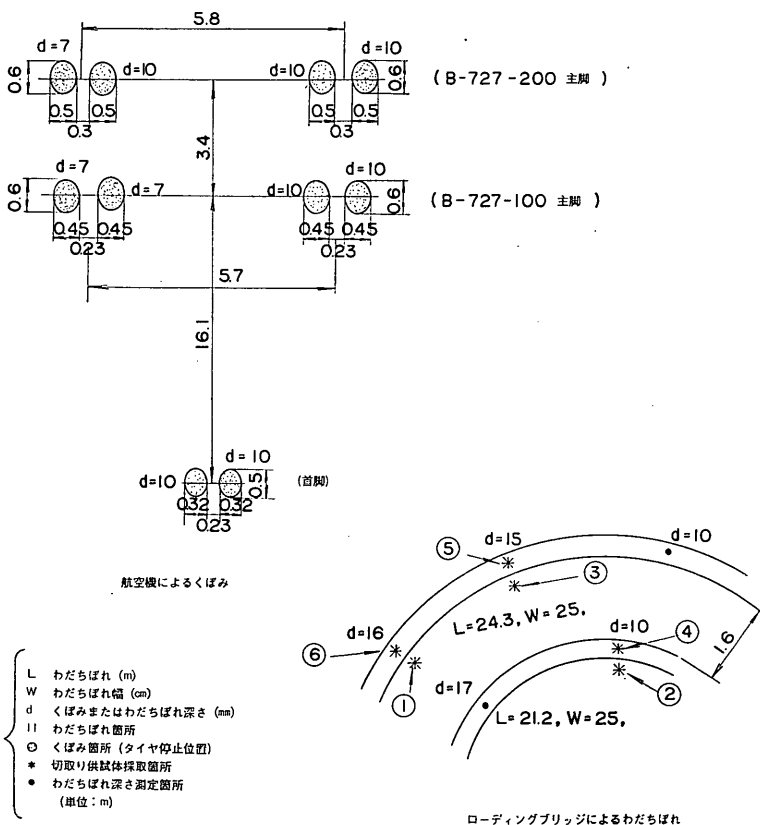


図-13 わだちぼれの状況および切り取り供試体採取箇所 (函館空港)

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

AC (表層)	4
AC (基層)	6
AS	6
砕石 40mm以下	15
砕石 80mm以下	65

(単位: cm)

図-14 エプロンの舗装構造 (函館空港)

エプロンの舗装の構造は 図-14 に示すとおりである。

アスファルト混合物の示方配合および試験結果は、表-10~12 および 図-15 に示すとおりである。使用アスファルトはストレートアスファルトである。表-11 の試験値はアスファルトプラントにおけるアスファルト混合物についてのものであり、表-12 の密度は採取切取り供試体についてのものである。

表-10 アスファルト混合物の示方配合 (函館空港)

区分	項目	表層	基層
	アスファルト量 (%)	6.5	5.0
	安定度 (kg)	900以上	800以上
	フロー値 (1/100 cm)	25~40	20~40
	空げき率 (%)	3~5	3~7
	飽和度 (%)	70~80	70以下

表-11 アスファルト混合物の性質 (函館空港)

区分	項目	表層	基層
	アスファルト量 (%)	6.1	5.1
	安定度 (kg)	933	854
	フロー値 (1/100cm)	39	38
	空げき率 (%)	3.4	3.6
	飽和度 (%)	81.6	77.5
	見かけ密度 (g/cm ³)	2.415	2.487
	理論最大密度 (g/cm ³)	2.500	2.580

表-12 アスファルト混合物の締固め度 (函館空港)

区分	項目	表層	基層
	見かけ密度 (g/cm ³)	2.405	2.458
	締固め度 (%)	99.6	98.8

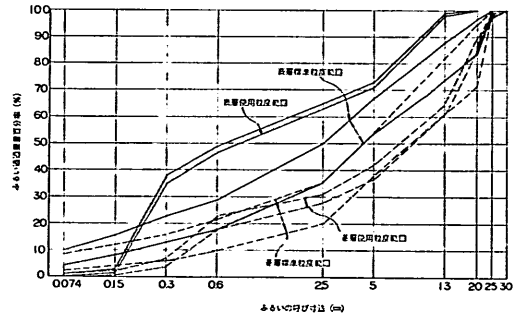


図-15 アスファルト混合物の骨材粒度 (函館空港)

エプロンの使用状況および荷重条件は 表-13 に示すとおりである。なお、ローディングブリッジの輪荷重は 5.5t である。

空港における気温は 図-16 に示すとおりである。

ローディングブリッジによるわだちぼれ付近において、図-12 に示すような位置で切取り供試体が採取されたが、それらの試験結果を表-14 に示す。

表-13 エプロンの使用状況 (函館空港)

航空機の種類	駐 機 回 数										合計
	46年 11月	12月	47年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	
B-727-100 B-727-200	54	102	112	103	119	112	108	112	136	152	1110

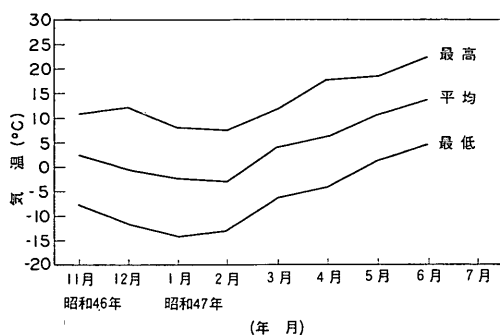


図-16 気温（函館空港）

2.3.3 大阪国際空港の調査結果

わだちぼれの発生箇所は誘導路で、その調査区域は図-17 に示すとおりである。この区域の表層および基層は昭和45年7月から8月までに施工された。図-18 に調査区域の誘導路の詳細を示す。

誘導路の停止線の前 10m から 40m の間の全幅にわたって、図-17 に示す、A-A、B-B、C-C、D-D、E-E、F-F および G-G 断面において舗装表面の形状を測定したが、それらの断面形状を図-19 に示す。

誘導路の舗装の構造は図-20 に示すとおりである。

表-14 切取り供試体の試験結果（函館空港）

区域	区分	切取り供試体 No.	供試体の高さ (cm)	表乾かさ密度 (g/cm ³)	見かけ密度 (g/cm ³)	フロー値 (1/100 cm)	安定度 (kg)		最大密度 (g/cm ³)	空げき率 (%)	
							測定値	修正値		かさ密度に見かけ密度に基づく値	見かけ密度に基づく値
わだちぼれ部	表層	4	3.92	2.420	2.424	36	184	461	2.490	2.8	2.7
		5	3.80	2.414	2.418	29	219	609	2.490	3.1	2.9
		6	3.32	2.395	2.398	31	168	599	2.468	3.0	2.8
	基層	4	5.61	2.359	2.376	27	117	146	2.486	5.1	4.4
		5	5.10	2.399	2.407	35	135	198	2.479	3.2	2.9
		6	5.73	2.386	2.394	27	151	180	2.480	3.8	3.5
			(2.381)	(2.392)	(30)		(175)	(2.482)	(4.0)	(3.6)	
非わだちぼれ部	表層	1	4.45	2.399	2.402	29	219	420	2.597	7.6	7.5
		2	4.01	2.386	2.388	32	184	461	2.614	8.7	8.7
		3	3.87	2.401	2.404	31	201	560	2.620	8.4	8.2
	基層	1	6.53	2.371	2.382	16	168	161	2.621	9.6	9.1
		2	6.17	2.385	2.393	19	151	164	2.630	9.3	9.0
		3	6.00	2.390	2.397	29	168	183	2.610	8.4	8.2
			(2.382)	(2.391)	(21)		(169)	(2.620)	(9.1)	(8.8)	

注) 1. () 内の数字は平均値を表わす。
2. 切取り供試体 No. の数字は図-13 を参照。

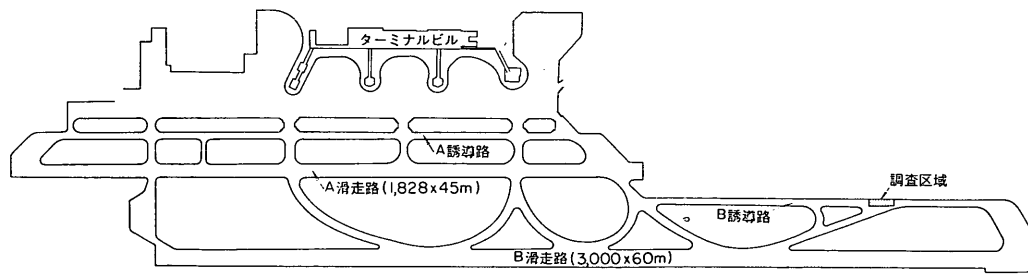


図-17 大阪国際空港わだちぼれ調査箇所

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

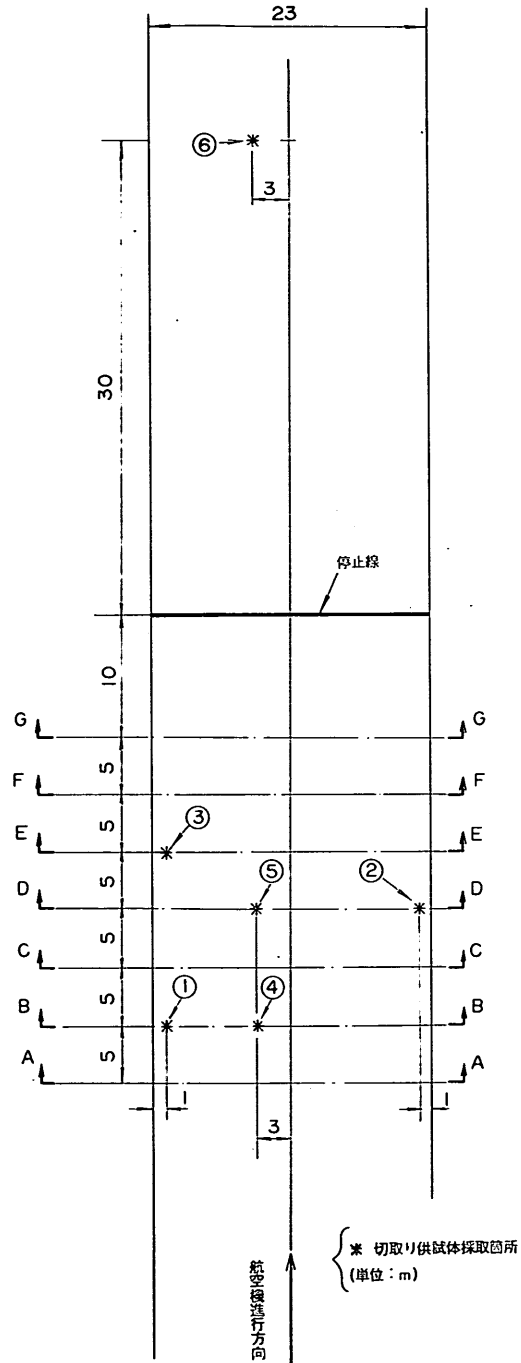


図-18 調査誘導路の詳細および切り取り供試体採取箇所 (大阪空港)

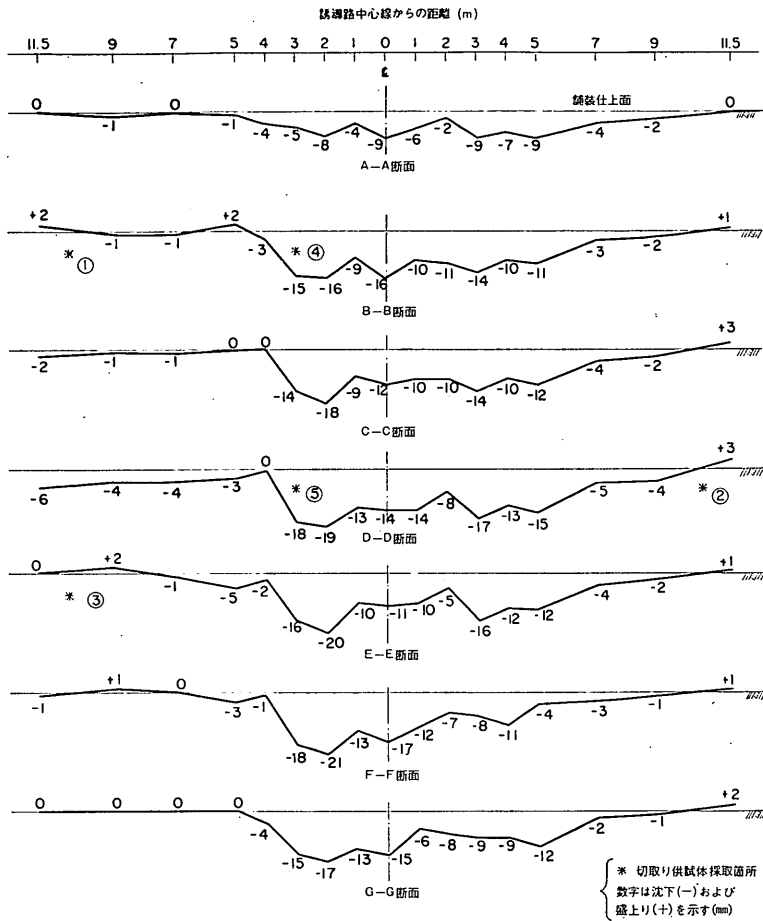


図-19 わだちぼれの断面形状 (大阪空港)

AC (表層)	4
AC (基層)	5
AC	5
AC	6
鉋さい	37

(単位: cm)

図-20 誘導路の舗装構造 (大阪空港)

アスファルト混合物の示方配合および試験結果は、表-15~19 および 図-21 に示すとおりである。なお、表層にはプレミアムアスファルト (針入度 80, シェル石油 (株) 製), 基層にはストレートアスファルト (針入度 95) が使用された。表-16 の試験値は 46 年 7 月 14 日から 8

表-15 アスファルト混合物の示方配合 (大阪空港)

項目	区分	表層	
		表層	基層
アスファルト量 (%)		6.5	5.5
安定度 (kg)		1100以上	800以上
フロー値 (1/100 cm)		20~45	20~40
空げき率 (%)		1~3	3~5
飽和度 (%)			60~80

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

表-16 アスファルト混合物の性質 (大阪空港)

項目	区分	
	表層	基層
アスファルト量 (%)	6.6	5.4
安定度 (kg)	1362	1021
フロー値 (1/100cm)	42	30
空げき率 (%)	1.6	3.6
飽和度 (%)	90.6	78.3
見かけ密度 (g/cm ³)	2.407	2.383
理論最大密度 (g/cm ³)	2.446	2.473

表-17 アスファルト混合物の締固め度 (大阪空港)

項目	区分	
	表層	基層
見かけ密度 (g/cm ³)	2.373	2.354
締固め度 (%)	98.6	98.8

月6日までのアスファルトプラントにおけるアスファルト混合物についてのものであり、表-18 および 19 に示す値の平均値である。表-17 の密度は7月20日 (基層) と8月18日 (表層) に試験された採取切取り供試体についてのものである。

航空機の重量別着陸回数は表-20 に示すとおりである。

図-17 に示す位置で切取り供試体を採取したが、それらの試験結果を表-21 に示す。

2.3.4 大分空港の調査結果

わだちぼれの発生箇所はエプロン (No. 5 スポット) でその調査区域は図-22 に示すとおりである。この区域の表層および基層は昭和46年6月から7月までに施工され、その使用開始は46年10月であった。

No. 5 スポットにおけるわだちぼれの状況を図-23 および写真-1 に示す。No. 5 スポットにおいて図-22 に示す A-A, B-B, C-C, D-D, E-E, F-F, G-G, H-H, I-I, J-J および K-K 断面における舗装表面の形状を測定したが、それらの断

表-18 表層アスファルト混合物の試験値 (大阪空港)

項目	試験値										標準偏差	変動係数 (%)
	6.5	6.6	6.5	6.5	6.7							
アスファルト量 (%)	6.5	6.6	6.5	6.5	6.7						0.1	1.5
安定度 (kg)	1354	1288	1281	1286	1254	1281	1271	1271	1286		76	5.6
	1420	1317	1349	1317	1349	1386	1386	1453	1486			
	1453	1453	1486	1436	1436	1476	1403	1271	1337			
フロー値 (1/100cm)	43	38	43	41	44	37	44	44	45		3	6.2
	45	45	40	44	44	45	36	40	40			
	45	39	42	43	44	40	45	44	45			
空げき率 (%)	1.7	1.6	1.7	1.6	1.5	1.3	1.5	1.6	1.9		0.2	14.7
	1.7	1.4	1.9	1.3	1.6	1.4	1.6	1.6	1.3			
	1.6	1.6	1.7	2.4	2.0	1.9	1.6	1.3	1.6			
飽和度 (%)	90.2	90.7	90.7	90.7	91.3	92.3	91.3	90.7	89.1		1.3	1.4
	90.2	91.8	89.1	92.4	90.7	91.8	90.7	90.7	92.3			
	90.7	90.7	90.2	86.6	88.6	89.1	90.7	92.4	90.7			
見かけ密度 (g/cm ³)	2.405	2.408	2.405	2.409	2.410	2.414	2.410	2.408	2.400		0.007	0.3
	2.405	2.412	2.401	2.415	2.409	2.413	2.407	2.409	2.414			
	2.407	2.407	2.406	2.388	2.399	2.400	2.409	2.405	2.409			
切取り供試体見かけ密度 (g/cm ³)	2.371	2.373	2.379	2.372	2.374	2.365	2.310	2.363	2.400		0.023	1.0
	2.373	2.360	2.408	2.405	2.375							

表-19 基層アスファルト混合物の試験値 (大阪空港)

項目	試験値									標準偏差	変動係数 (%)
アスファルト量 (%)	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4			0.1	1.2
安定度 (kg)	1067 1021 1009	1034 1181 1023	982 1058 997	1117 959	919 1023	1013 1058	960 1009	984 997	1033 992	55	5.4
フロー値 (1/100cm)	32 28 28	30 35 30	38 36 33	29 28	27 30	24 38	26 25	27 28	31 25	4	13.6
空げき率 (%)	3.8 3.3 3.7	3.8 3.6 4.1	3.8 3.6 4.2	3.7 3.9	3.6 3.4	3.4 3.5	3.8 3.5	3.6 3.2	3.5 3.3	0.3	7.0
飽和度 (%)	77.5 79.9 78.0	77.5 78.5 76.1	77.5 78.5 75.6	78.0 77.0	78.5 79.4	79.4 78.9	77.5 78.9	78.5 80.4	78.9 79.9	1.1	1.5
見かけ密度 (g/cm ³)	2.380 2.391 2.381	2.378 2.384 2.372	2.379 2.385 2.369	2.381 2.376	2.384 2.388	2.389 2.386	2.379 2.386	2.384 2.394	2.386 2.392	0.005	0.2
見かけ密度 (g/cm ³)	2.365 2.332	2.330 2.332	2.351 2.374	2.392 2.330	2.351 2.377	2.339 2.337	2.337 2.377	2.377 2.367	2.367	0.020	0.9

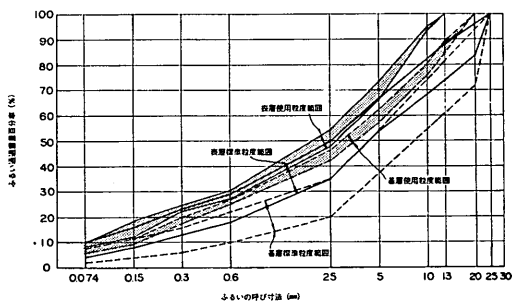


図-21 アスファルト混合物の骨材粒度 (大阪空港)

表-20 航空機の着陸回数 (大阪空港)

航空機の総重量 (t)	昭和46年1月から12月までの1年間の着陸回数	備考
10 未満	2,798	
10 ~ 49	43,230	B-737-200, B-727-100, 200
50 以上	32,578	DC-8-61, B-707-320B

注) 50t 以上の航空機はB誘導路を通過する。

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

表-21 切取り供試体の試験結果 (大阪空港)

区域	区分	切取り供試体 No.	供試体の高さ (cm)	表乾かさ度 (g/cm ³)	見かけ密度 (g/cm ³)	フロー値 (1/100cm)	安定度 (kg)		最大密度 (g/cm ³)	空げき率 (%)	
							測定値	修正値		かさ密度に基づく値	見かけ密度に基づく値
わだちぼれ部	表層	4	4.26	2.395	2.396	46	336	699	2.448	2.2	2.1
		5	4.05	2.393	2.394	34	353	801	2.430	1.5	1.5
		6	4.03	2.399	2.401	46	336	839	2.457	2.4	2.3
	基層	4	4.73	2.418	2.420	39	369	616	2.465	1.9	1.8
		5	4.65	2.421	2.422	30	387	693	2.468	1.9	1.9
		6	4.99	2.407	2.409	57	537	838	2.458	2.1	2.0
非わだちぼれ部	表層	1	4.00	2.315	2.318	29	235	587	2.479	6.6	6.5
		2	4.07	2.330	2.332	38	320	726	2.472	5.6	5.7
		3	3.91	2.251	2.254	29	369	923	2.487	9.5	9.4
	基層	1	5.05	2.365	2.366	24	621	913	2.483	4.8	4.7
		2	4.65	2.371	2.373	31	353	632	2.472	4.1	4.0
		3	4.74	2.403	2.405	28	386	645	2.484	3.3	3.2
				(2.380)	(2.381)	(28)		(730)	(2.480)	(4.1)	(4.0)

注) 1. () 内の数字は平均値を表わす。
2. 切取り供試体 No. の数字は 図-18 を参照。

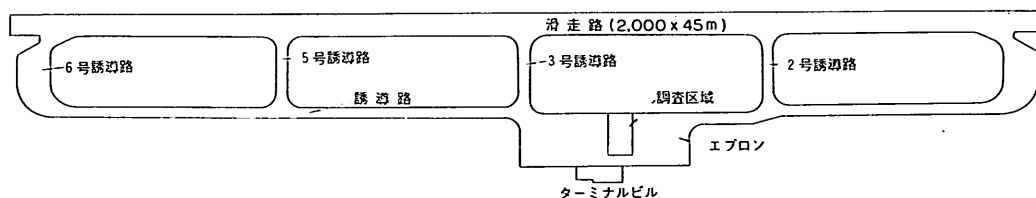


図-22 大分空港わだちぼれ調査箇所

面形状を 図-24 に示す。

これらのわだちぼれの発生がみられたのは47年7月頃で、開港後約6か月であった。

エプロンの舗装構造は 図-25 に示すとおりである。

アスファルト混合物の示方配合および試験結果は、表-22~26 および 図-26 に示すとおりである。使用アスファルトはストレートアスファルトで、その針入度は98であった。表-23 のアスファルト量以外の試験値は46年2月25日から46年7月10日までのアスファルトプラントにおけるアスファルト混合物についてのものである。アスファルト量の値は47年7月20日に採取した切取り供試体についてのものである。表-24 の密度は46年7月

3日(基層)と7月17日(表層)に採取した切取り供試体についてのものであり、それらは表-25 および 26 に示す値の平均値である。

エプロンの使用状況および荷重条件は表-27 および 28 に示すとおりである。

図-22 に示す位置で切取り供試体を採取したが、それらの試験結果を表-29 に示す。

2.3.5 宮崎空港の調査結果

わだちぼれの発生箇所はエプロンで、その調査区域は 図-27 に示すとおりである。エプロンは昭和45年6月から46年2月までに施工されたが、わだちぼれの発生がみられたので46年12月にその補修が行われた。補修は、

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

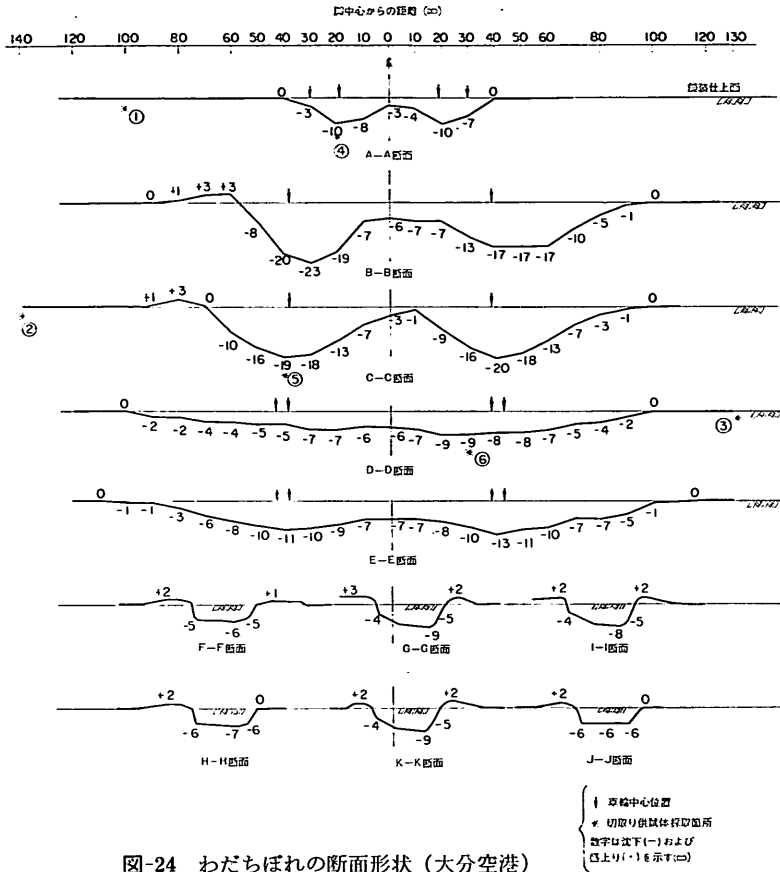


図-24 わだちぼれの断面形状 (大分空港)

A C (表層)	4
A C (基層)	6
粒調碎石 25mm以下	15
クラッシャーラン 50mm以下	15
切込砂利 80mm以下	60

(単位: cm)

図-25 エプロンの舗装構造 (大分空港)

表-22 アスファルト混合物の示方配合 (大分空港)

区分	項目	表層	基層
アスファルト量 (%)		5.5~6.5	5~6
安定度 (kg)		900以上	800以上
フロー値 (1/100cm)		25~40	20~40
空げき率 (%)		3~5	5~7
飽和度 (%)		75~85	50~70

表-24 アスファルト混合物の締固め度 (大分空港)

区分	項目	表層	基層
見かけ密度 (g/cm ³)		2.398	2.400
締固め度 (%)		100	100

表-23 アスファルト混合物の性質 (大分空港)

区分	項目	表層	基層
アスファルト量 (%)		5.7	5.4
安定度 (kg)		1061	960
フロー値 (1/100cm)		31	32
空げき率 (%)		3.7	4.8
飽和度 (%)		78.6	71.7
見かけ密度 (g/cm ³)		2.395	2.394
理論最大密度 (g/cm ³)		2.486	2.515

パッチング工法で行なわれた。パッチングの箇所、すなわちわだちぼれの箇所は 図-28 に示すとおりで、その詳細は 図-29~31 に示すとおりである。

わだちぼれの断面形状は、本調査時期がパッチング施工後なので不明であるが、補修直前でわだちぼれの最大深さは約 3~4 cm であった。補修後のわだちぼれは、調査時点では見られない。

調査区域のエプロンの舗装構造は 図-32 に示すとおりで、この部分は旧コンクリート舗装に対するかさ上げ舗装である。

アスファルト混合物の示す配合および試験結果は、表-30, 31 および 図-33 に示すとおりである。使用アスファルトはストレートアスファルトでその針入度は 90 であった。

エプロンの使用状況は以下のとおりである。47年 9月

表-25 表層アスファルト混合物の試験値 (大分空港)

項目	試験値									標準偏差	変動係数 (%)
	5.7	5.7	5.6	5.5	5.9	5.9	5.7				
アスファルト量 (%)	5.7	5.7	5.6	5.5	5.9	5.9	5.7			0.1	2.4
安定度 (kg)	1015	957	1000	1120	1160	1073	971	1029	1073	66	6.2
	1160	1000	1102	1015	1102	1145					
フロー値 (1/100cm)	37	36	33	36	30	28	30	31	31	3	10.0
	28	31	30	30	27	27					
空げき率 (%)	2.8	3.2	3.6	3.5	3.8	3.1	4.1	3.9	3.6	0.5	12.3
	3.1	4.1	3.9	4.4	3.6	4.3					
飽和度 (%)	82.9	80.8	78.9	79.3	77.9	81.3	76.5	77.4	78.9	2.2	2.8
	81.3	76.5	77.4	75.1	78.9	75.6					
見かけ密度 (g/cm ³)	2.416	2.406	2.397	2.400	2.391	2.408	2.384	2.388	2.397	0.012	0.5
	2.406	2.383	2.390	2.376	2.397	2.379					
切取り供試体見かけ密度 (g/cm ³)	2.397	2.397	2.398	2.397	2.401	2.401	2.397	2.397	2.395	0.007	0.3
	2.403	2.399	2.395	2.401	2.379	2.388	2.402	2.397	2.386		
	2.408	2.420	2.388	2.385	2.412	2.393	2.415	2.406	2.394		

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

表-26 基層アスファルト混合物の試験値 (大分空港)

項目	試験値									標準偏差	変動係数 (%)
アスファルト量 (%)	5.2	5.2	5.0	5.5	5.7	5.5	5.9			0.3	6.2
安定度 (kg)	986	1073	1102	870	971	1000	899	986	1015	76	7.9
	870	942	986	1000	899	855	1000	899	855		
	1131	971	899	942	1029	870					
フロー値 (1/100cm)	34	33	29	33	35	35	30	27	30	3	9.4
	30	26	30	34	36	36	34	36	35		
	31	28	29	34	34	30					
空げき率 (%)	4.1	4.9	4.4	5.1	4.5	5.0	4.3	5.2	5.5	0.5	9.7
	5.0	4.4	4.3	5.5	4.8	4.9	5.5	4.8	4.9		
	4.1	5.2	5.6	5.1	4.6	4.0					
飽和度 (%)	75.0	71.4	73.6	70.5	73.1	70.9	74.1	70.0	68.8	2.1	2.9
	70.9	73.6	74.1	68.8	71.8	71.3	68.8	71.8	71.3		
	75.0	70.0	68.4	70.5	72.7	75.5					
見かけ密度 (g/cm³)	2.411	2.393	2.403	2.386	2.403	2.389	2.408	2.383	2.376	0.012	0.5
	2.389	2.405	2.408	2.377	2.394	2.391	2.377	2.394	2.391		
	2.413	2.384	2.373	2.387	2.400	2.414					
切取り供試体見かけ密度 (g/cm³)	2.416	2.412	2.383	2.415	2.386	2.380	2.403	2.395	2.398	0.020	0.8
	2.381	2.396	2.381	2.385	2.435	2.394	2.429	2.410	2.394		
	2.381	2.462	2.393	2.409	2.429	2.391	2.380	2.385	2.380		
	2.396										

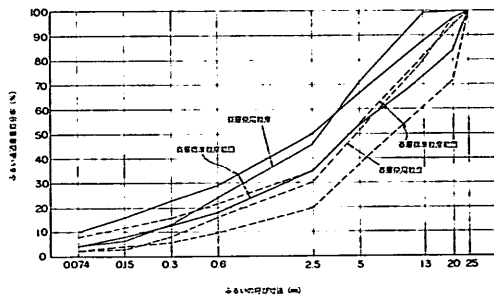


図-26 アスファルト混合物の骨材粒度 (大分空港)

表-27 エプロン (No. 5 スポット) の使用状況 (大分空港)

航空機の種類	昭和46年10月から47年6月までの約9か月間の回数
B-727-200	220
B-727-100	900
B-737-200	600
合計 1,720	

表-28 ローディングブリッジの諸元 (大分空港)

輪荷重 (t)	タイヤ1個の接地面積 (cm²)	タイヤ接地圧 (kg/cm²)
4.8	756	6.4

表-29 切取り供試体の試験結果 (大分空港)

区域	区分	切取り 供試体 No.	供試体 の高さ (cm)	表乾かさ 密度 (g/cm ³)	見かけ 密度 (g/cm ³)	フロー値 (1/100cm)	安定度 (kg)		最大密度 (g/cm ³)	空げき率 (%)	
							測定値	修正値		かさ密度に 基づく値	見かけ密度 に基づく値
わだち ぼれ部	表 層	4	3.43	2.427	2.429	37	285	950	2.451	1.0	0.9
		5	3.00	2.450	2.452	30	252	630	2.453	0.1	0
		6	2.87	2.439	2.440	26	184	840	2.462	0.9	0.9
	基 層	4	5.41	2.453	2.454	36	505	667	2.463	0.4	0.4
		5	5.27	2.455	2.457	39	554	770	2.460	0.2	0.1
		6	5.45	2.432	2.434	50	705	839	2.451	0.8	0.7
			(2.447)	(2.448)	(42)		(759)	(2.458)	(0.5)	(0.4)	
非わだち ぼれ部	表 層	1	4.02	2.334	2.336	34	302	755	2.498	6.6	6.5
		2	4.15	2.387	2.388	42	286	649	2.507	4.8	4.8
		3	3.79	2.366	2.368	37	235	653	2.507	5.6	5.5
	基 層	1	5.88	2.455	2.458	40	453	516	2.513	2.3	2.2
		2	6.20	2.443	2.450	57	673	700	2.501	2.3	2.0
		3	5.77	2.419	2.426	44	673	798	2.502	3.3	3.0
				(2.439)	(2.445)	(47)		(671)	(2.505)	(2.6)	(2.4)

注) 1. () 内の数字は平均値を表わす。
 2. 切取り供試体 No. の数字は 図-23 を参照。

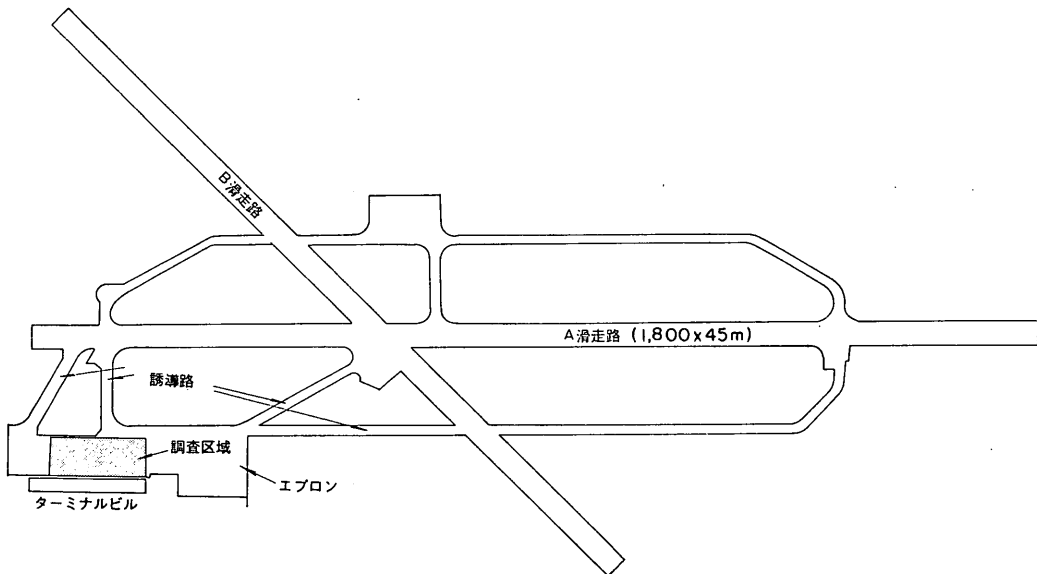


図-27 宮崎空港わだちぼれ調査箇所

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

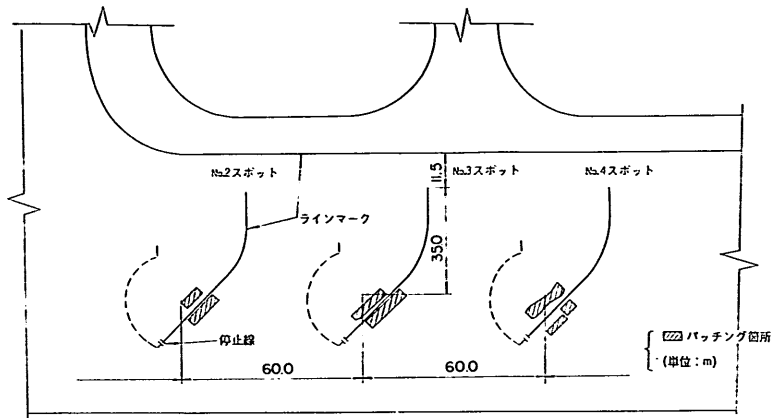


図-28 わだちぼれの位置 (宮崎空港)

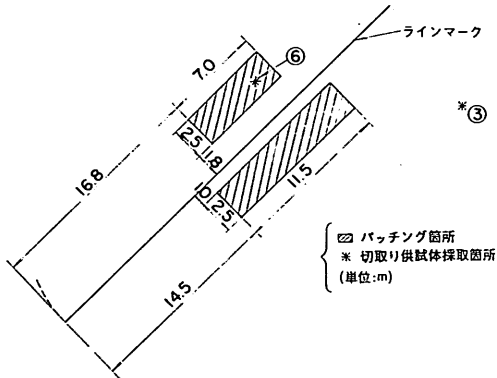


図-29 No. 2 スポットのパッチングの状況 (宮崎空港)

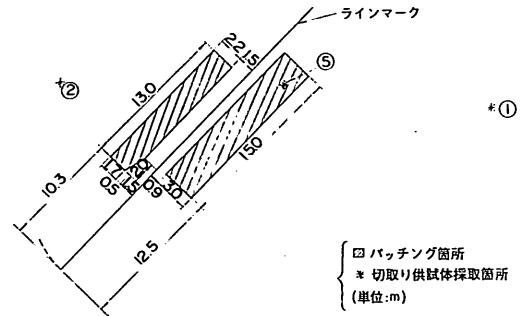


図-30 No. 3 スポットのパッチングの状況 (宮崎空港)

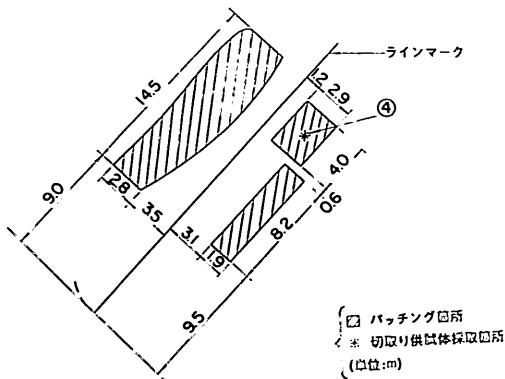


図-31 No. 4 スポットのパッチングの状況 (宮崎空港)

AC (表層)	4
AC (基層)	6
AS	32
CC	10
碎石	10
栗石	25

(単位:cm)

図-32 エプロンの舗装構造 (宮崎空港)

表-30 アスファルト混合物の示方配合 (宮崎空港)

項目	区分	表層	基層
		アスファルト量 (%)	6~7
安定度 (kg)		1000	500
フロー値 (1/100cm)		20~40	20~40
空げき率 (%)		3~5	3~7
飽和度 (%)		75~85	65~80

表-31 アスファルト混合物の性質 (宮崎空港)

項目	区分	表層	基層
		アスファルト量 (%)	6.6

の時点で、1日当り13機の B-737-200 が No. 2 および No. 3 スポットを使用し、1日当り7機の YS-11 が No. 4 スポットを使用していた。

図-28~30 に示す位置で切取り供試体を採取したが、それらの試験結果を表-32 に示す。

表-32 切取り供試体の試験結果 (宮崎空港)

区域	区分	切取り供試体 No.	供試体の高さ (cm)	表乾かさ密度 (g/cm³)	見かけ密度 (g/cm³)	フロー値 (1/100cm)	安定度 (kg)		最大密度 (g/cm³)	空げき率 (%)	
							測定値	修正値		かさ密度に基づく値	見かけ密度に基づく値
わだちぼれ部	表層	4	4.27	2.289	2.292	26	420	871	2.439	6.2	6.0
		5	4.09	2.348	2.351	25	420	956	2.411	2.6	2.5
		6	4.47	2.357	2.361	21	403	774	2.440	3.4	3.2
	基層	4	5.55	2.305	2.313	37	638	797	2.412	4.4	4.1
		5	5.95	2.345	2.350	41	825	899	2.421	3.1	2.9
		6	6.02	2.333	2.346	33	705	768	2.429	4.0	3.4
非わだちぼれ部	表層	1	3.79	2.332	2.334	23	269	745	2.475	5.8	5.7
		2	4.14	2.231	2.236	28	269	611	2.446	8.8	8.6
		3	3.71	2.277	2.279	23	269	812	2.496	8.8	8.7
	基層	1	6.06	2.283	2.290	37	588	641	2.467	7.4	7.2
		2	5.74	2.317	2.332	50	572	681	2.464	6.0	5.4
		3	6.13	2.316	2.327	31	537	558	2.470	6.2	5.8
				(2.305)	(2.650)	(39)		(627)	(2.467)	(6.5)	(6.1)

注) 1. () 内の数字は平均値を表わす。
2. 切取り供試体 No. の数字は 図-29~31 を参照。

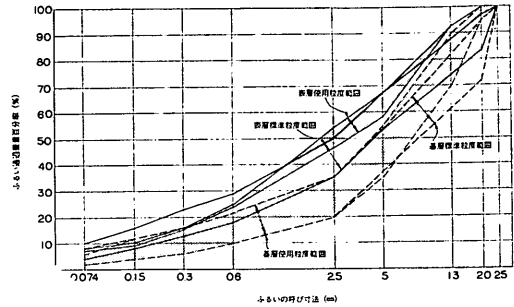


図-33 アスファルト混合物の骨材粒度 (宮崎空港)

2.4 調査結果に対する考察

2.4.1 千歳空港について

(1) わだちぼれの現況

千歳空港のエプロンのわだちぼれは、航空機荷重作用後3~4か月でわずかに見られ、タイヤ停止位置のくぼみは7か月で生じ、更に9~10か月でその深さが1~3cm程度と大きくなっている。その間の気温は 図-10 に示すように最高で 31°C、最低で -27°C、平均で -15°C~20°C の間である。

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

このように寒冷地の空港でも、使用開始後1年もしないうちにわだちぼれが生じ、特にくぼみはパッチングによって補修する必要がある程度のかかりのものである。ここで補修する必要がある程度とは具体的にどのようなものかは問題であるが、この場合は航空機のパイロットから補修の要請があったとのことである。すなわちくぼみ深さが2~4cm程度となると運航に支障をきたすと考えなければならない。しかしこれはパイロットの感で判断されたもので、当然そこには個人差があると考えられる。現在、この種の破損に対する維持補修の必要性の判定基準は、定められていないようである。

No. 2 スポットについてみると、航空機によるわだちぼれの幅は30cm、深さは1~8mm程度である。また、くぼみについて、B-727-100によるものの直径は40cm、深さは5~10mm、一方B-727-200によるものの直径は55cm、深さは18~20mmとなっている。首脚によるくぼみは、直径30cm、深さ10mm程度である。

No. 3 スポットについては、B-727-20によるわだちぼれの幅は30cm、深さは9~14mm程度である。また、くぼみについて、その直径は50~60cm、深さは30~33mm程度となっている。

No. 2 スポットにおいて、B-727-200によるくぼみの深さのほうがB-727-100によるそれより2倍程度大きい、これは前者のタイヤ圧は12.5kg/cm²と後者のそれの11.6kg/cm²より大きいこと、またB-727-100の主脚は常にB-727-200によるくぼみ箇所を通過することによるものと考えられる。また、B-727-200によるくぼみについてNo. 3 スポットのほうがNo. 2 スポットの場合より大きい、これは表-7からもわかるように、駐機回数がNo. 3 スポットの場合のほうがかなり多いからであろう。

No. 5 スポットのDC-8-61によるわだちぼれについて、その幅は30cm、深さは1~9mm程度である。また、くぼみは、直径65cm、深さ15~21mm程度である。

No. 6 スポットのDC-8-61によるわだちぼれについて、その幅は30cm、深さは4~10mm程度である。また、くぼみは、直径60cm、深さは10~14mm程度となっている。

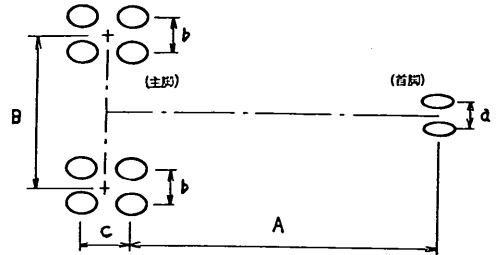
No. 5 スポットのくぼみの深さのほうがNo. 6 スポットのそれより大きいのは、表-7に示すようにその駐機回数の差によるものであろう。

B-727-100 および B-727-200 の主脚タイヤの接地幅

表-33 航空機の脚および車輪配置

型	間隔	A (m)	B (m)	a (cm)	b (cm)	c (cm)
B-727-100		16.23	5.72	61	86.4	—
B-727-200		19.28	5.72	61	86.4	—
B-737-100		10.46	5.23	38	77.5	—
B-737-200		11.38	5.23	38	77.5	—
DC-8-61		22.9	6.3	45.7	76.2	139.7
B-707-320B		17.98	6.73	55.9	86.4	142.2

注) A, B, a, b, c は下図を参照。



は、31cm程度、DC-8-61のそれは29cm程度なので、航空機は図-2に示すラインマークの範囲では、ラインマークを中心に一定の箇所を通過することがわかる。航空機タイヤの接地跡は通常だ円形であるが、これを円形とみなしてその面積が等しいとして直径(等置換算直径という)を求めてみると、B-727-100およびB-727-200のそれは42cm程度、DC-8-61のそれは39cm程度である。したがってNo. 2, No. 3 スポットにおいては、B-727-100およびB-727-200はほとんど一定の箇所に停止することがわかる。一方、No. 5, No. 6 スポットにおけるDC-8-61は表-33に示す車輪間隔からもわかるように、ラインマーク方向に多少ずれて停止していると思われる。いずれにしても航空機がラインマークに沿ってほぼ一定箇所を通過し、かつほぼ一定箇所に停止することは表-33に示す航空機の脚および車輪の間隔からもいえることである。

次にローディングブリッジによるわだちぼれについては、No. 2, No. 3 スポットにおいては、その幅は24cm、深さは10~15mm程度であり、No. 5, No. 6 スポットにおいては、その幅は30cm、深さは3mm程度となっている。この場合、わだちにはローディングブリッジのタイヤのトレッドの跡がかなりはっきりついている。

ローディングブリッジのタイヤの等置換算直径は、

No. 2, No. 3 スポットのそれは 25cm, No. 5, No. 6 スポットのそれは 31cm 程度で、図-3~6 からわかるようにこの差はわだちぼれの差として表われている。わだちぼれの深さについて、No. 2 スポットのそれが No. 5 スポットのそれより大きい、No. 5 スポットの場合がローディングブリッジの使用回数もそのタイヤ圧も大きいのであるから、この理由は荷重条件より他にあることが推測される。

次に、わだちぼれのラインマークに直角方向の断面形状についてみると、図-7 から次のようなことがわかる。B-727-200 に対して左脚車輪によるくぼみは、車輪中心位置で最高に沈下 (20~28mm) しており、かつ2つのタイヤの中間部分も沈下しており、その両端は 10~17mm 盛り上がっている。そしてくぼみの及ぶ範囲は脚中心から両端に 70cm 程度である。主脚車輪によるくぼみは、車輪中心位置で最大に沈下 (30~33mm) しており、各タイヤの両端部分は 7~12mm 程度盛り上がっている。そしてくぼみの及ぶ範囲は脚中心から両端に 110cm 程度である。わだちぼれの場合も車輪中心位置で最大に沈下しており、脚中間部分は平たんを保っている。わだちぼれの及ぶ範囲は脚中心から両端に 80cm 程度である。

舗装の構造についてみると、図-8 に示すようにエプロンは2種類の構造となっている。すなわち旧フィンガー部分は切込砂利、切込碎石、ASを路盤材とする新設舗装であり、その他の部分はコンクリート舗装上のかさ上げ舗装である。新設舗装は No. 2 スポットにだけ施工されているが、これらの舗装構造の差がわだちぼれに及ぼす影響はないと考えられる。

以上をまとめてみると以下のようなものである。ローディングブリッジを利用するエプロンのわだちぼれは、千歳空港のような寒冷地においても使用開始後1年以内に生じ、くぼみについてはパッチングで補修しても、すぐ生ずるようである。

航空機によるわだちぼれは、ラインマークに沿って生じ、その幅は 30cm 程度、深さは最大で 14mm 程度である。一方、ローディングブリッジによるわだちぼれは円弧状に生じ、その幅は 25~30cm 程度、深さは最大で 15mm 程度である。わだちぼれの形状は、車輪中心でその深さは最大となっており、脚の中心部分には盛り上がりは見られない。そして、わだちぼれの及ぶ範囲は、脚中心から両端に 80cm 程度である。

一方くぼみは、航空機の車輪停止位置に生じ、その形

状はほぼ円形である。その直径は 30~65cm 程度、深さは最大で 10~33mm 程度である。主脚車輪によるくぼみのラインマーク直角方向の断面についてみると、2つの車輪の中心部分および両端部には 7~12mm 程度の盛り上がりが見られる。そしてくぼみの及ぶ範囲は、脚中心から両端に 110cm 程度である。

(2) アスファルト混合物の性質

一般にわだちぼれの原因は主としてアスファルト混合物の安定度の欠如と考えられ、他に路盤や路床の沈下が考えられる。そして更には、アスファルト混合物の圧縮沈下も考えられよう。

そこで次に、表層および基層のアスファルト混合物についてみよう。まず骨材の最大寸法は図-9 に示してあるように表層は 13mm, 基層は 25mm となっている。空港土木工事共通仕様書²⁾ (以下共通仕様書という) の規定する標準粒度は、最大寸法を表層および基層の場合とも 25mm としており、表層の粒度は異なるものであるが標準粒度を図示すると図-9 のとおりである。

骨材の粒度は、アスファルト混合物の安定性、たわみ性、耐久性などに影響を及ぼす重要な要素の一つであるが、特に安定性に与える影響は大である。そして安定性を大きくするものとして「最大密度曲線」なるものが提案されており、これは密度が最大になれば安定性も最大となるという考えに基づくものである。

Fuller によると最大密度を求める曲線は次式から求めることができる³⁾。

$$P=100 \times \sqrt{\frac{d}{D}} \quad (1)$$

ここに

P : ふるい目の開き d で表わされるふるいの重量百分率 (%)

d : ふるい目の開き (mm)

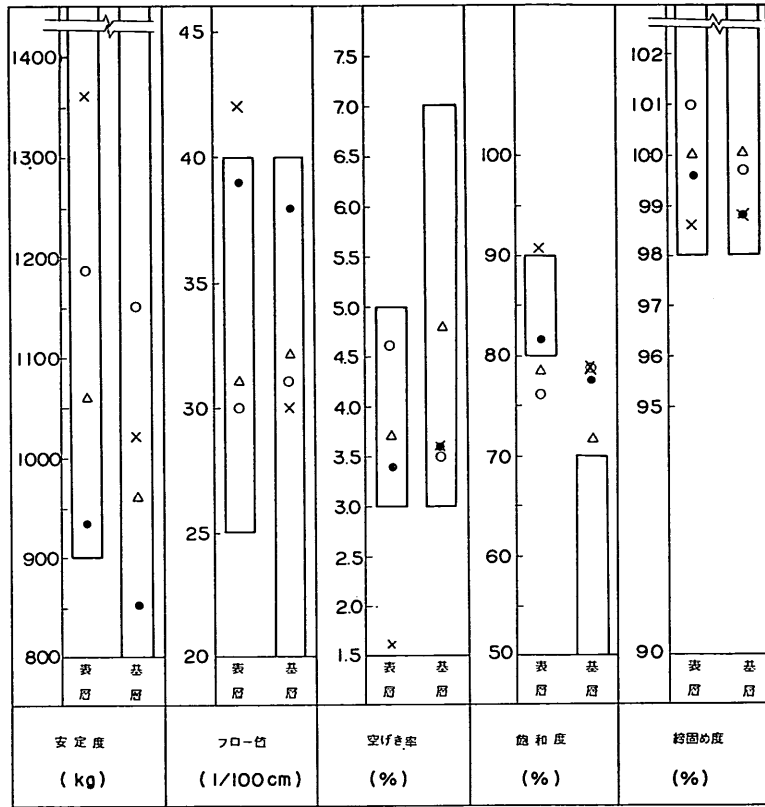
D : 骨材の最大粒径 (mm)

式(1)による粒度を図-9の使用粒度と比較すると、基層用骨材はほぼ式(1)を満足するが表層用骨材はかなり細粒度となっている。

また実験によるとこの場合の骨材間げき率は16~18%であることがわかっており、骨材間げき率が大きくなればなるほど、アスファルト混合物の安定度は低下することもわかっている。

使用した表層および基層のアスファルト混合物について、そのアスファルト量をそれぞれ 6.5% および 5.5% として、骨材間げき率を計算すると、前者のそれは 20%、

空港アスファルト舗装のわだちぼれ



- 共通仕様書の定める基準値
- 千歳空港
- 函館空港
- × 大阪空港
- △ 大分空港

図-34 アスファルト混合物の基準値および試験値

後者のそれは 17% 程度となる。

以上のことから、基層の骨材粒度は妥当であるが、表層のそれは一般的なものであるとはいえないかもしれない。

一般にフィラーは、アスファルトと一体となったフィラービチューメンとしてアスファルトの粘弾性的性質を改善し、感温性を小さくする作用を有し、その量を増すことによってアスファルト混合物の安定度を増すことができる。通常、フィラー量 (F) は、アスファルト量 (A) に対する比 (F/A) で表わされるが、この場合、F/A は表層および基層の場合それぞれ 1.5 および 1.0 となっており、ほぼ妥当と考えられる。ちなみに北海道の道路舗装では、耐摩耗表層とするため表層アスファルト混合物の F/A を 1.7 としている。

また共通仕様書はアスファルト混合物の性質について図-34 のように規定しているが、使用アスファルト混合物の試験値について図-34 に示す。図-34 からわかるように飽和度以外の各値は基準値を満足している。

密で高安定度のアスファルト混合物をつくるには、アスファルトの針入度を40前後、空げき率を1~3%程度、飽和度を80~90%程度、マーシャル安定度を1000kg以上とすればよいという意見がある⁴⁾。使用した表層アスファルト混合物の空げき率は基準値は満足しているが多少大きく、飽和度は小さすぎると考えられる。

更に、アスファルト混合物について、その応力と変形の関係、言いかえれば、なるべく変形しないで大きな応力に耐える性質を論ずることが必要であり、この場合、一般にマーシャル安定度試験における安定度 (S) のフ

ロー値 (F) に対する比 (S/F) が利用される。一般には S/F ($\times 100 \text{ kg/cm}$) が 20~50 のアスファルト混合物が望ましいといわれている。また、波が生じないためには $S/F > 3p$ 、制動力等によるせん断力が作用する箇所では $S/F > 3.75p$ とすべきであるともいわれている。ここに p はタイヤの接地圧 (kg/cm^2) である。

B-727 の p は 12.8 kg/cm^2 、DC-8-61 の p は 14 kg/cm^2 なので、エプロン舗装のアスファルト混合物の S/F は 40~53 であることが必要といえよう。

そこで表-3 から使用アスファルト混合物の S/F を計算してみると、表層および基層についてそれぞれ、40 および 37 程度となる。したがって、この点からも使用アスファルト混合物は、その配合において安定性に欠けていたといえるかもしれない。

次にアスファルトについて述べると、表層にはスーパーアスファルトといういわゆる特殊アスファルトが使用されており、これによってアスファルト混合物の安定性は多少とも向上されていると考えられる。アスファルト量は共通仕様書では特に規定していないが、一般に表層および基層アスファルト混合物でそれぞれ 6% 以上および 5% 以上とされる。使用アスファルト量は 6.5% 程度と推定されるが、ローディングブリッジによりわだちぼれにタイヤのトレッドの跡が見られるように、安定性の点からはアスファルト量は多少過大であることがわかる。

結局、表層アスファルト混合物の骨材粒度と飽和度はその妥当性に多少欠けているのではないかと思われ、またアスファルト量も多少多いと思われる。

(3) 切り取り供試体の性質

わだちぼれ部の切り取り供試体は、図-4 に示すように、主脚車両によるくぼみの中央で採取されたものである。マーシャル安定度試験の供試体の高さは、通常 63.5mm であるが、切り取り供試体の高さは 21.4~78.2mm と種々である。

切り取り供試体の密度の測定方法には 3 つあり、それぞれ見かけ密度 (d_A)、表乾かさ密度 (d_B) およびパラフィンかさ密度 (d_p) と呼ばれる。この場合は、アスファルト混合物の圧密度およびわだちぼれ部と非わだちぼれ部の密度の差を検討することが目的であり、かつ密度が 2.2 kg/cm^3 以上の場合は $d_B \doteq d_p$ である⁵⁾ といわれているので、 d_A と d_B のみ求めた。一般に、供試体の表面がち密で吸水しない場合は d_A 、供試体の表面はなめらかだが吸水する場合は d_B 、供試体の表面があらく、

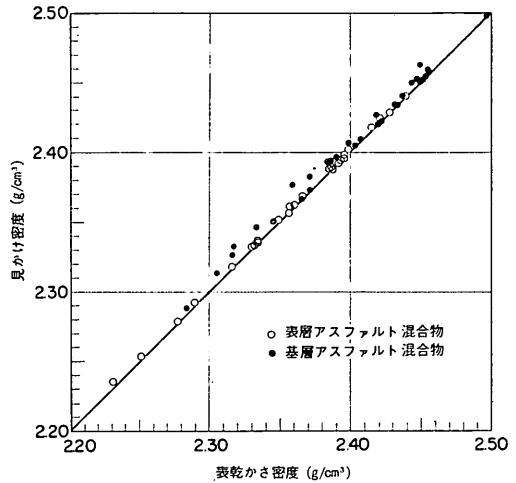


図-35 切り取り供試体の見かけ密度と表乾かさ密度の関係

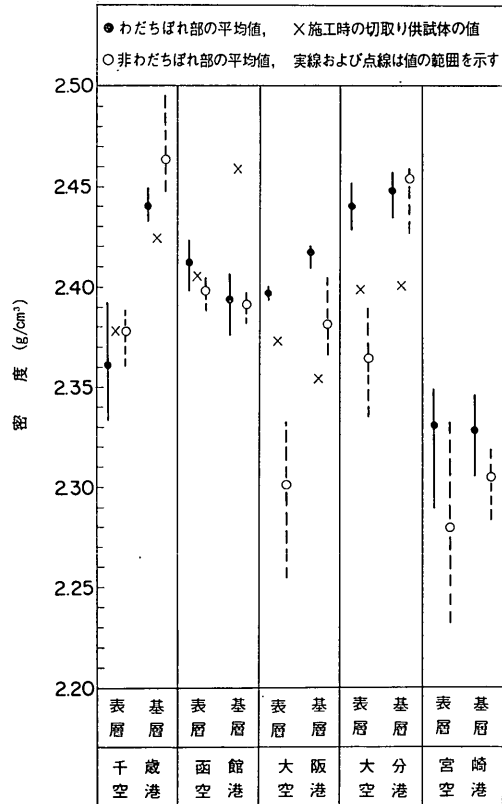


図-36 切り取り供試体の密度

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

すき間も多い場合は d_p を求めることになっている。調査空港の切り取り供試体の d_A と d_B の関係を図に示すと図-35 のとおりとなる。図-35 から、表層アスファルト混合物の場合はその d_A と d_B はほとんど同じであるが、基層アスファルト混合物の場合は、 d_A のほうが d_B より多少大きいことがわかる。したがって表層の密度は、見かけ密度で表現してもよいと考えられる。

表乾かさ密度の結果を図に示すと図-36 のとおりで、表層の密度より基層の密度のほうが大きい。これは表-4 からわかるように施工時における状態と同じである。また施工時の切り取り供試体密度と調査時の切り取り供試体密度を比較すると、表層の場合はほとんど同一であるが、基層の場合は後者のほうが大きく、圧密されたことがわかる。

わだちぼれ部と非わだちぼれ部の密度についてみると、後者のほうがむしろ大きくなっている。しかし両者

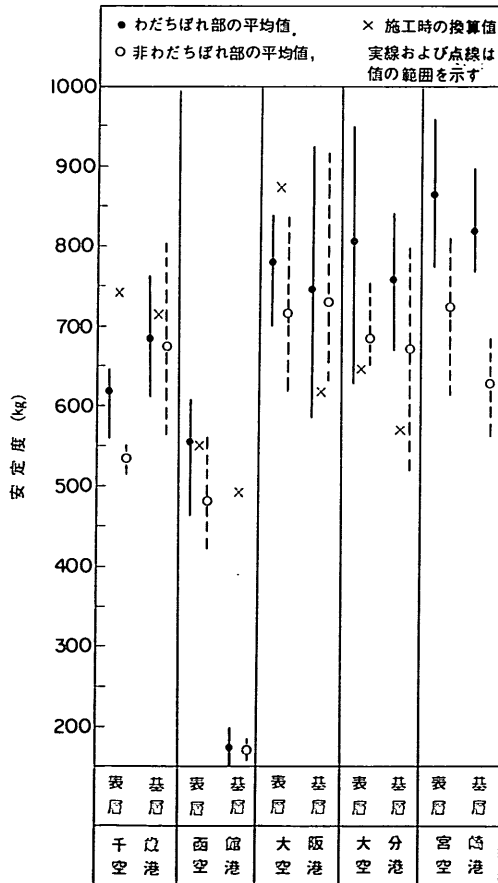


図-37 切り取り供試体のマーシャル安定度

表-34 切り取り供試体とアスファルトプラント供試体間の関係

マーシャル試験値目	相 関 式
密度 (g/cm ³)	$Y=0.819X+0.41$
安定度 (kg)	$Y=0.75X-150$
空げき率 (%)	$Y=0.70X+1.3$
飽和度 (%)	$Y=0.75X+170$
フロー値 (1/100cm)	$Y=0.75X+10$

注) Y: 切り取り供試体の値

X: アスファルトプラントでの供試体の値

間には5%の危険率では有意の差はないといえる。

マーシャル安定度の結果を図示すると図-37のとおりで、基層の安定度のほうが大きい。安定度は前にも記したように、その供試体の高さが63.5mmでない場合に補正を行なったのであるが、切り取り供試体の場合は、この供試体寸法の高さによる補正のほかに、供試体の作製方法の相違による補正も必要である。すなわち、切り取り供試体とアスファルトプラントでのアスファルト混合物から作製した供試体の間には、危険率1%で有意の差があり、表-34に示すような関係が成立する⁹⁾。このこと

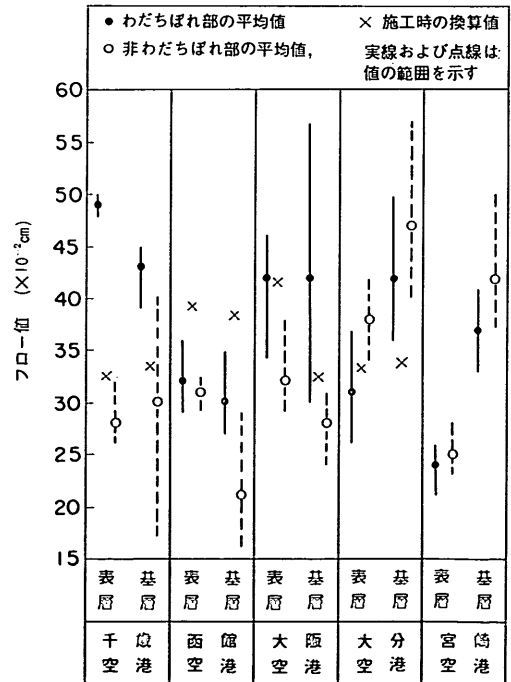


図-38 切り取り供試体のフロー値

は表-34に示すようにマーシャル試験値の他の項目についてもいえる。表-34の式を用いて表-3に示した安定度を切り取り供試体の安定度に換算した値を図-35に示す。これをみると、表層の安定度は低下しており、一方、基層のそれはほとんど変化していない。

わだちぼれ部と非わだちぼれ部の安定度については、前者のほうが大きく、より安定は状態にあるといえる。しかし5%の危険率では両者間には有意の差は認められない。

フロー値の結果を図に示すと図-38のとおりであり、図-38には換算値も表-34の式を用いて記してある。これをみると、わだちぼれ部のフロー値が大きくなっていることがわかる。わだちぼれ部と非わだちぼれ部のフロー値については、前者のほうが大きい。しかし、危険率

5%で表層アスファルト混合物だけに有意の差が認められる。

最大密度の結果を図示すると図-39のとおりである。かさ密度からも予想されるように基層の最大密度のほうが表層のよれより大きい。またわだちぼれ部と非わだちぼれ部については、後者のほうが大きい。わだちぼれ部と非わだちぼれ部は同一配合のアスファルト混合物であるから、その最大密度も同一であるはずであるが、このような差で生じているのは、前者のアスファルト混合物のほうがアスファルト量が多いことが推測される。しかしアスファルトの抽出試験を行っていないので、はっきりしたことはいえない。

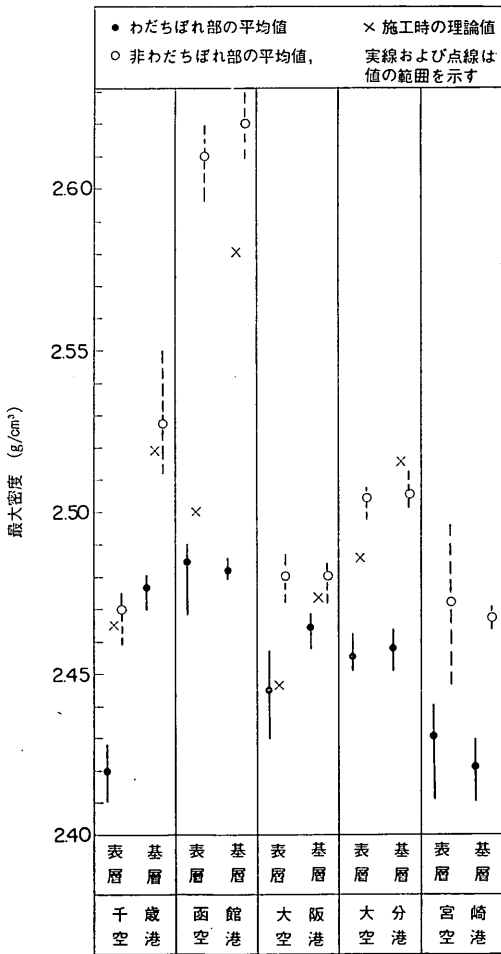


図-39 切り取り供試体の最大密度

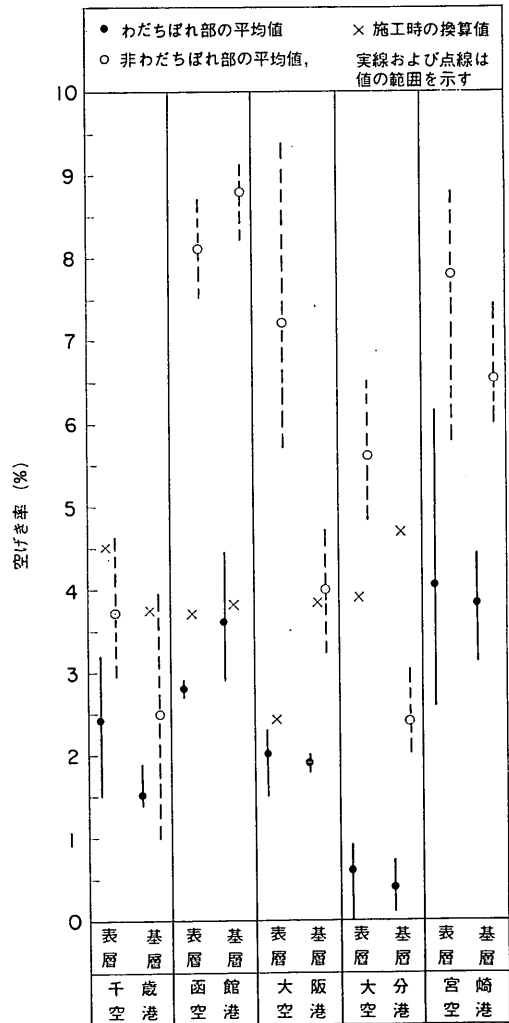


図-40 切り取り供試体の空げき率

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

空げき率の結果を図示すると図-40のとおりであり、わだちぼれ部の空げき率は施工時よりかなり低下しており、航空機荷重によって圧密されたことが推測される。

表層および基層アスファルト混合物の S/F ($\times 100\text{kg/cm}$) についてみると、施工時の換算値は 23 および 21、調査時ではわだちぼれ部のそれは 13 および 16、非わだちぼれ部のそれは 19 および 22 であることがわかる。

以上まとめてみると、アスファルト混合物について、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部よりも安定性に欠けていることがわかる。これは、航空機荷重によってアスファルト混合物の空げきが低下したこと、骨材の配列が変えられ内部摩擦角が低下したこと、などによるものと推測される。したがって、荷重によってわだちぼれ部のアスファルト混合物はますます変形することが予想される。また、いずれの場合も施工時点より安定性は低下していることおよび基層のほうが表層より安定性が大きいことがわかる。

2.4.2 函館空港について

(1) わだちぼれの現況

函館空港のわだちぼれは、エプロンにおける航空機およびローディングブリッジによるものであり(図-12 参照)、このエプロン部分は昭和 46 年 7 月に完成したものである。航空機の駐機が開始したのが 46 年 11 月 6 日で、その後約 1 か月してタイヤの停止位置にくぼみが生じ、約 4 か月後には深さ 2 mm 程度のわだちぼれが見られた。また 46 年 11 月 16 日からローディングブリッジが使用されたが、1 日 9 回の使用で約 1 週間後には、わだちぼれが生じた。

函館空港は千歳空港同様、寒冷地空港と考えてよいが、46 年 11 月から 47 年 7 月までの気温の状況は図-16 に示すように、最高で 23°C 、最低で -14°C 、平均で $-3\sim 14^{\circ}\text{C}$ の間である。

図-13 から航空機によるわだちぼれについてみると、B-727-100 の主脚によるだ円形状のくぼみは、幅 45 cm、長さ 60 cm、深さ 7~10 mm、B-727-200 によるものは、幅 50 cm、長さ 60 cm、深さ 7~10 mm 程度である。首脚によるくぼみは、幅 32 cm、長さ 50 cm、深さ 10 mm 程度となっている。この場合、航空機によるくぼみの大きさの差異はほとんどないと考えてよからう。

B-727-100 および B-727-200 の主脚タイヤの接地幅は 31 cm、長さは 52 cm であることや表-33 の車輪間隔からして、航空機はラインマークに直角方向に多少ずれることはあるが、ほとんど一定の箇所へ停止している

と考えられる。

次にローディングブリッジによるわだちぼれについては、その幅は 25 cm、深さは 10~17 mm 程度である。

以上をまとめてみると、以下のようなものである。ローディングブリッジを利用するエプロンのわだちぼれは、函館空港のような寒冷地空港においても、使用開始後数か月で生ずる。航空機によるわだちぼれはラインマークに沿って生じ、タイヤ停止位置のくぼみはだ円形状でその幅は 45~50 cm、長さは 60 cm、深さは 7~10 mm 程度である。ローディングブリッジによるわだちぼれは円弧状に生じ、その幅は 25 cm、深さは 10~17 mm 程度である。

(2) アスファルト混合物の性質

骨材の最大寸法は図-15 に示してあるように、表層は 20 mm、基層は 25 mm である。図-15 には共通仕様書の規定する標準粒度も示してある。式(1)の粒度も参考にしてみると、基層の骨材はほぼ一般的な粒度であるが、表層の骨材は千歳空港の場合と同様にかなり細粒度となっている。使用した表層および基層アスファルト混合物の骨材間げき率は表-11 の値を用いて計算すると、それぞれ 19% および 16% 程度で、妥当なものである。結局、表層の骨材粒度は一般的なものであるとはいえないかもしれない。

F/A についてみると、表層および基層のそれは、それぞれ 1.7 および 1.0 であり、ほぼ妥当と考えられる。

また、図-34 からわかるように、基層の飽和度以外は、共通仕様書の基準値を満足している。表層については、その空げき率および飽和度は、安定性の点からは妥当と考えられるが、安定度が少し小さすぎると考えられる。

次に S/F ($\times 100\text{kg/cm}$) についてみると、表-11 から表層および基層のそれは、それぞれ 24 および 22 程度である。この場合、対象航空機は B-727 なので、所要 S/F は 38~48 と考えられ、この点からも使用アスファルト混合物は、安定性に多少欠けていたのではないかと考えられる。

以上をまとめてみると、表層アスファルト混合物について安定性の点から、その骨材粒度、安定度、ブロー値などに、妥当性が多少欠けているのではないかと考えられる。

(3) 切取り供試体の性質

わだちぼれ部の切取り供試体は図-13 に示すように、ローディングブリッジによるわだちぼれ箇所から採取されたもので、切取り供試体の高さは 33.2~65.3 mm で

ある。

見かけ密度についてみると、**図-36**に示すように、基層のそれは、施工時より調査時のほうが小さくなっており、この原因は不明である。わだちぼれ部と非わだちぼれ部の密度については、前者のほうが後者よりわずかに大きく、わだちぼれ部の圧密現象を裏づけると考えられるが、5%の危険率では両者間には有意の差はない。

安定度については、**図-37**に示すように、基層の場合、施工時より極端にその値が低下している。この原因も密度の場合と同様に不明であるが、切取り供試体の安定度をアスファルトプラントでの値に換算しても430kg程度であり、この値はあまりにも小さすぎる。わだちぼれ部と非わだちぼれ部の安定度については、前者のほうが大きく、より安定な状態にあるといえようが、5%の危険率で両者間には有意の差はない。

フロー値については、**図-38**に示すように、施工時より小さくなっている。わだちぼれ部と非わだちぼれ部のフロー値は、前者のほうが大きい、危険率5%で両者間には有意の差はない。

最大密度については、**図-39**に示すように、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部より小さく、有意の差が見られる。アスファルト量の調査を行っていないのではっきりしたことはいえないが、わだちぼれ部のアスファルト混合物のほうがアスファルト量が多いのではないかと推測される。

空げき率についてみると、**図-40**に示すように、表層および基層のいずれの場合も、わだちぼれ部のほうがかなり小さく、また表層の場合は施工時より小さいので、わだちぼれ部の航空機荷重による圧密が推定される。

最後に、表層および基層の S/F ($\times 100$ kg/cm)についてみると、施工時の換算値はそれぞれ14および13、調査時では、わだちぼれ部でそれぞれ17および9、非わだちぼれ部でそれぞれ15および8であることがわかる。

以上をまとめてみると、アスファルト混合物について、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部よりも安定性が多少大きいことがわかる。これは千歳空港の場合と逆の現象であるが、航空機荷重による適度の圧密により安定な状態になっているものと推測される。

2.4.3 大阪国際空港について

(1) わだちぼれの現況

大阪空港のわだちぼれは、**図-17**に示すように誘導路に発生している。この区域の舗装は昭和45年7月に施工されたものである。

この部分には**図-18**に示すように停止線が設けてあり、B滑走路から離陸する航空機はこの線の位置で一定時間停止し、滑走路へ向う方式がとられている。この誘導路を使用する航空機は主として、DC-8-61 および B-707-320 B であり (**表-20** 参照)、タイヤ接地圧はそれぞれ 12.7 kg/cm^2 および 13.9 kg/cm^2 とかなり大きい。

わだちぼれは誘導路中心線に沿って生じているが、**図-18**に示すように停止線の後方10mから40mまでの間が特に著しい。その断面形状は**図-19**に示すとおりであるが、誘導路中心線から両端に向ってある範囲までかなりの沈下がみられる。最大沈下は約2cmで、航空機が誘導路の中心を通過するとして、主脚車輪位置付近に生じている。このことは逆に、航空機は中心線に沿ってほぼ一定の箇所を通過、停止することを意味する。わだちぼれの及ぶ範囲は、誘導路の全幅の23mにわたっており、端付近で1~3mm程度盛り上がっている部分もあるが、大部分は沈下している。特に誘導路中心から両端に約7mまでの部分は、5~20mm程度の大きな沈下が見られる。

(2) アスファルト混合物の性質

骨材の最大寸法は**図-21**に示してあるように、表層は13mm、基層は20mmである。**図-21**には共通仕様書の規定する標準粒度も示してある。式(1)の粒度も参考にしてみると、表層および基層の骨材は両者とも細粒度となっている。また両者の骨材間げき率は**表-16**の値を用いて計算すると、前者のそれは17%、後者のそれは16%程度で、妥当なものである。結局、骨材については最大寸法が小さく、多少細粒度であるといえよう。

F/A についてみると、表層および基層のそれは、それぞれ1.4および1.3程度で、妥当なものである。

図-34からわかるように、表層のフロー値、空げき率および飽和度、基層の飽和度は、共通仕様書の基準値を満足していない。特に表層のフロー値は大きすぎ、空げき率は小さすぎる値である。

次に S/F ($\times 100$ kg/cm)についてみると、**表-16**から表層および基層のそれは、それぞれ32および34程度である。この場合対象航空機はDC-8-61 および B-707-320 B なので、所要 S/F は38~52と考えられ、この点からみると使用アスファルト混合物は安定性に欠けると考えられる。

以上、表層アスファルト混合物について安定性の点から考えてみると、その骨材粒度、フロー値などに、妥当性が欠けているのではないかと考えられる。

(3) 切取り供試体の性質

切取り供試体は図-18に示す位置から採取されたが、その高さは39.1~50.5mmである。

見かけ密度についてみると、図-36に示すように、わだちぼれ部のそれは、施工時より大きくなっており、また非わだちぼれ部のそれより大きい。表層の場合はわだちぼれ部の圧密現象が明らかに認められる。

安定度については、図-37に示すように、表層および基層のそれは施工時の場合とほとんど同じで、またわだちぼれ部と非わだちぼれ部の差は認められない。

フロー値については、図-38に示すように、表層および基層とも施工時とほとんど同じであり、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部より大きい、これも5%の危険率で両者間には有意の差はない。

最大密度については、図-39に示すように、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部より小さく、この場合もわだちぼれ部のアスファルト混合物のほうがアスファルト量が多いのではないかと推測される。

空げき率についてみると、図-40に示すように、わだちぼれ部のほうがかなり小さく、この部分の圧密現象が認められよう。

最後に、表層および基層の S/F ($\times 100 \text{ kg/cm}$)についてみると、施工時の換算値はそれぞれ21および19、調査時におけるわだちぼれ部ではそれぞれ18および18、非わだちぼれ部ではそれぞれ22および26であることがわかる。

以上をまとめてみると、アスファルト混合物について、わだちぼれ部のほうが航空機荷重による圧密の結果密実なものとなっているが、安定性の点では劣っていると思われる。これは千歳空港の場合と同じで、わだちぼれ部のアスファルト混合物の変形抵抗性は小さくなった状態にあると考えられる。

2.4.4 大分空港について

(1) わだちぼれの現況

大分空港のわだちぼれは、エプロンにおける航空機およびローディングブリッジによるものである(図-23参照)。この区域の舗装の表層および基層は昭和46年7月に完成し、46年10月から使用されたが、使用開始後約6か月で航空機によるわだちぼれが発生した。

わだちぼれの断面形状は図-24からわかるように、航空機によるわだちぼれは、ほぼタイヤの中心位置で最大となっている。首脚車輪によるくぼみの最大深さは10mm、B-737-200主脚車輪によるくぼみの最大深さは

23mm程度となっている。図-23のD-DおよびE-Eの部分にはB-737-200、B-727-100およびB-727-200の主脚車輪が通過するが、その部分のわだちぼれの最大深さは13mm程度である。なお、D-DおよびE-E断面のわだちぼれは、約1700回の脚荷重の作用で生じたものである。主脚車輪によるわだちぼれの及ぶ範囲は脚中心から両端に約1mであり、タイヤ停止位置では端の部分で3mm程度盛り上がっている。

ローディングブリッジによるわだちぼれは、幅25cm、深さ8mm程度である。また、わだちぼれの両端は2~3mm程度盛り上がっている。また写真-1からわかるように、わだちぼれ部にはタイヤのトレッド跡がはっきりついている。

以上をまとめてみると、航空機によるわだちぼれは使用開始後約半年で生じ、その深さは13mm程度、タイヤの停止位置のくぼみの深さは20mm程度で、わだちぼれは脚を中心に約2mに及んでいる。またローディングブリッジによるわだちぼれは円弧状に生じ、その幅は25cm、深さは8mm程度である。

(2) アスファルト混合物の性質

骨材の最大寸法は図-26に示してあるように、表層は20mm、基層は25mmである。図-26には共通仕様書の規定する標準粒度を示してあるが、式(1)の粒度も参考してみると、表層および基層の骨材粒度は、ほぼ妥当なものと考えられる。これらの骨材間げき率を表-23の値を用いて計算すると、前者のそれは17%、後者のそれは18%程度で、ほぼ妥当なものである。

F/A についてみると、表層および基層のそれは、それぞれ0.8および0.4であり、フィルター量が少なすぎると思われる。

図-34からわかるように、飽和度以外は共通仕様書の基準値を満足している。表層の飽和度は80%にも達しておらず、小さすぎる。

次に S/F ($\times 100 \text{ kg/cm}$)についてみると、表-23から表層および基層のそれは、それぞれ34および30程度である。この場合対象航空機はB-727およびB-737なので、所要 S/F は33~44程度と考えられ、この点からみると使用アスファルト混合物はわずかながら安定性に欠けていると思われる。

以上、使用アスファルト混合物について安定性の点から考えてみると、フィルター量、飽和度などに、妥当性が多少欠けているのではないと思われる。

(3) 切取り供試体の性質

わだちぼれ部の切取り供試体は図-23に示すように、航空機によるわだちぼれ箇所から採取されたもので、切取り供試体の高さは28.7~62.0mmである。

見かけ密度についてみると、図-36に示すように、わだちぼれ部のそれは、施工時のものより大きく、かつ非わだちぼれ部のそれより大きくなっており、わだちぼれ部の表層の航空機荷重による圧密現象が明らかに認められる。

安定度については、図-37に示すように、わだちぼれ部のそれは、施工時のものより大きく、かつ非わだちぼれ部のそれより大きくなっており、より安定な状態にあると考えられる。しかし、わだちぼれ部と非わだちぼれ部には、5%の危険率で有意の差は認められない。

フロー値については、図-38に示すように、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部のそれより小さいが、5%の危険率で両者間には有意の差はない。

最大密度については、図-39に示すように、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部のそれより小さく、この場合も前者のアスファルト量のほうが多いのではないかと推測される。

空げき率についてみると、図-40に示すように、わだちぼれ部のほうがかなり小さく、この部分の圧密現象が明らかに認められる。

最後に表層および基層の S/F ($\times 100$ kg/cm)についてみると、施工時の換算値はそれぞれ19および17、調査時におけるわだちぼれ部ではそれぞれ26および18、非わだちぼれ部ではそれぞれ18および14であることがわかる。

以上をまとめてみると、アスファルト混合物について、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部よりも安定性が大きいことがわかる。これは函館空港の場合と同じ結果であり、航空機荷重の適度の圧密によってわだちぼれ部のほうがより安定な状態になっているものと考えられる。

2.4.5 宮崎空港について

(1) わだちぼれの現況

宮崎空港のわだちぼれは、エプロンにおける航空機によるものである(図-28参照)。この区域は昭和45年10月から46年2月までにかさ上げされたもので、その構造は図-32に示すようにコンクリート舗装の上に、アスファルト安定処理材とアスファルト混合物を合計42cmかさ上げたものである。

使用開始後1年以内に、主脚タイヤの停止位置に最大3~4cm程度の深さのくぼみが生じたので、46年12月

に図-28に示すような位置でパッチングを行ない補修した。パッチングの範囲の詳細は図-29~31に示すとおりであるが、補修後は著しくくぼみは生じていない。

(2) アスファルト混合物の性質

骨材の最大寸法は図-33に示してあるように、表層は20mm、基層は25mmである。図-33には共通仕様書の規定する標準粒度も示してある。式(1)の粒度も参考にしてみると、基層の骨材の粒度は一般的なものといえようが、表層の骨材は細粒度である。表層および基層の骨材間げき率を非わだちぼれ部の切取り供試体の試験値(表-32参照)を利用し、アスファルト量を前者は6.6%、後者は5.5%として計算すると、それぞれ23%および21%程度と推定される。

F/A についてみると、表層および基層のそれは、それぞれ1.1および0.7程度と推定され、フィラー量が少ないと考えられる。

宮崎空港の場合、施工時のアスファルト混合物に関する種々の試験値がわからないのではっきりしたことはいえないが、安定性の点から考えると、表層アスファルト混合物の骨材の粒度、フィラー量などに妥当性を欠いていると思われる。

(3) 切取り供試体の性質

わだちぼれ部の切取り供試体は図-29~31に示すように、パッチング箇所から採取された。切取り供試体の高さは37.1~61.3mmである。

見かけ密度についてみると、図-36に示すように、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部より大きい、5%の危険率で両者間には有意の差はない。

安定度については、図-37に示すように、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部よりも大きい、表層の場合は5%の危険率で両者間には有意の差はない。

フロー値については、図-38に示すように、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部より多少小さいが、5%の危険率で両者間には有意の差はない。

最大密度については、図-39に示すように、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部より小さく、この場合もわだちぼれ部のほうがアスファルト量が多いのではないかと推測される。

空げき率については図-40に示すように、わだちぼれ部のほうが非わだちぼれ部よりかなり小さく、わだちぼれ部の圧密の進行が推測される。

最後に表層および基層の S/F ($\times 100$ kg/cm)についてみると、わだちぼれ部のそれはそれぞれ36および22、

非わだちぼれ部のそれはそれぞれ 29 および 15 程度である。

以上をまとめてみると、わだちぼれ部のアスファルト混合物のほう わずかではあるが、航空機荷重による圧密作用によって密実なものとなっており、安定性も大きいことがわかる。

2.5 ま と め

まず、わだちぼれは、大阪国際空港においては誘導路、その他の空港においてはエプロンに生じている。大阪空港の場合は、誘導路が特殊な使われ方をされているのだが、いずれにしても、航空機が一定の箇所を通過し、停止する場合に生じている。この場合航空機は、B-727、B-737、B-707、DC-8 など、いわゆる大型ジェット機といわれるもので、それらの主脚タイヤの接地圧は 9~14 kg/cm² である。また、ローディングブリッジが使用されるエプロンでは、それによるわだちぼれが全く同一箇所円弧状に生じている。

わだちぼれの形状寸法は、荷重の大きさおよび作用回数、表層および基層アスファルト混合物の性質、路盤および路床の支持力などによって異なるので一概にいえないが、ほぼ以下のものである。

- (i) 航空機の主脚車輪によるわだちぼれは、幅 30 cm、深さ 10~20 mm 程度である。
- (ii) 航空機の主脚車輪の停止位置のくぼみは、幅 30~50 cm、長さ 50~65 cm のだ円形状で、その深さは 10~30 mm 程度である。
- (iii) 航空機の主脚車輪によるわだちぼれの及ぶ範囲は、脚を中心に 1.5~2.0 m 程度である。
- (iv) 航空機の主脚車輪の停止位置のくぼみの場合、複車輪の中央部は 10~15 mm 程度盛り上がる場合もある。
- (v) ローディングブリッジによるわだちぼれは、幅 25~30 cm、深さ 10~17 mm 程度である。

次にわだちぼれ部のアスファルト混合物と非わだちぼれ部のそのマーシャル試験値などを比較検討した結果、各空港によって結果は異なり、また実施試験項目および供試体の数が不足しているため明確な判断を下すのは危険であるが、以下のようなことがいえるものと考え

- (i) わだちぼれ部のほうがより密実なものとなっている。
- (ii) わだちぼれ部のほうが安定性が大きい場合もある。これは荷重による適度の締固め効果に起因す

るものと推測される。

- (iii) わだちぼれ部のほうが安定性が小さい場合もある。これは荷重による過度の締固めによって骨材の配列が変えられ、内部摩擦角が減少したことや空げき率の過度の減少が原因と考えられる。
- (iv) わだちぼれ部のほうが最大密度が小さい。これはアスファルト量が相対的に多いことを意味する。

最後に使用アスファルト混合物の配合について、各空港とも従来の実績等に基づいたものでそれ自体は決して誤りではないが、安定性を重視して考えると以下のようないえよう。

- (i) 骨材の最大寸法が小さい。
- (ii) 骨材の粒度について、特に表層アスファルト混合物の場合、細粒分が多い。なお骨材粒度について式(1)のような理想粒度(P)を考えたが、Talbotによれば $P=100 \times (d/D)^n$ ($n=0.25 \sim 0.35$) で、この式で n を比較的小さい値とすると、 P は使用アスファルト混合物の骨材粒度に比較的近づく。
- (iii) フィラー量が少ないものもある。
- (iv) アスファルトの針入度が大きい。アスファルトに特殊アスファルトを使用しているところもあるが、わだちぼれに対する抵抗性は期待できない。
- (v) アスファルト量が少し多い。
- (vi) S/F の値が小さい。安定度のほうはほぼ 1000kg

以上あるのでよいが、フロー値が大きすぎる。

以上、従来の設計法や施工法に従ってつくられたアスファルト舗装において、かなりのわだちぼれが現実生じている。そして同じように大型ジェット機が就航し、ローディングブリッジを利用する空港では、同じような事態になるのは明らかであろう。そこでアスファルト舗装を適用するからには、安定性の大きなものを得よう配合設計を変えるか修正する必要がある。なお、わだちぼれの大きさがどの程度になったら補修しなければならないかという基準がないようなので、航空機やその他車両の運航上から、これを定める必要もある。

3. アスファルト混合物試験

3.1 試験目的

本試験は、航空機荷重によるわだちぼれに対する抵抗性の大きい、すなわち安定性の大きい表層用アスファルト混合物を見出すことを目的とするものである。

一般にアスファルト混合物の安定性は摩擦、粘着および慣性の関数であると考えられる。このうち慣性は荷重の大きさ、荷重の載荷速度と時間、およびアスファルト混合物自体の質量（層の厚さ、骨材の最大寸法、骨材の粒度などに左右される）の関数であり、荷重については定められた外的条件なので、安定性の大きなアスファルト混合物を得るには、いかに大きな内部摩擦角と粘着力を有し、適当な骨材を含んだものをつくるかに帰結する。これを具体的にみると、アスファルト混合物の安定性を増大させるには、最大粒径の大きな骨材を用いる、りょう角に富む骨材を多量に用いる、フィラー量を増す、針入度の小さいアスファルトを使用する、骨材間げき率を小さくする、などの方策をとることが一般に考えられている。

3.2 試験方法

骨材粒度、アスファルト針入度およびアスファルト量を種々に変えた各種アスファルト混合物について、マーシャル安定度試験、ホイールトラッキング試験および繰返し一軸圧縮試験を実施する。なお、これらの試験に供するアスファルト混合物の配合を決めるために、アスファルト混合物の配合試験を実施する。

3.2.1 アスファルト混合物の配合試験

(1) アスファルト

使用したアスファルトは針入度が 60~80 および 40~60 の 2 種類のストレートアスファルトで、その試験成

表-35 アスファルトの試験成績

項目	種類	種類	
		60~80	40~60
比重	[25°C]	1.025	1.030
針入度	[25°C, 100gr, 5秒]	71	53
引火点	(°C)	320	295
軟火点	(°C)	49.0	52.0
伸度	(cm) [25°C]	100 (+)	100 (+)
蒸発減量	(%)	0.00	0.07
蒸発後の針入度	(%)	94	
四塩化炭素可溶分	(%)	99.9	99.8
	[120°C]	380	800
	セイボルトフローール	140	260
	粘度 (秒)	[140°C]	62
	[160°C]	34	50
	[180°C]		

績は表-35 に示すとおりである。

(2) 骨材

使用した骨材は、JIS A 5001 の定める 4 号、5 号、6 号および 7 号碎石、ならびに粗砂、細砂、フィラーで、その物理的性質は表-36 および 37 に示すとおりである。

骨材の粒度は 4 種類とし、それらは図-41~44 に示すとおりである。なお、図-41~43 には空港アスファルト舗装構造設計要領⁸⁾(以下要領という)の定める標準粒度も記してある。

表-36 骨材の物理的性質

項目	種類	種類						
		4号碎石	5号碎石	6号碎石	7号碎石	粗砂	細砂	砕砂
比重	表	2.697	2.701	2.684	2.690	2.623	2.677	2.793
	乾	2.676	2.677	2.650	2.653	2.566	2.610	2.757
	かさ	2.733	2.742	2.744	2.755	2.722	2.796	2.860
見	かけ							
吸水	量 (%)	1.0	0.9	1.3	1.4	2.2	2.5	1.3
ロサンゼルスすりへり減量	(%)			12.2				

表-37 フィラーの試験成績

水分 (%)	炭酸カルシウム CaCO ₃ (%)	比重	比表面積 (ブレーン方法) (cm ² /g)	標準網ふるい通過分 (%)		
				590 μ	149 μ	74 μ
0.2	96.7	2.71	4060	100	95.8	84.0

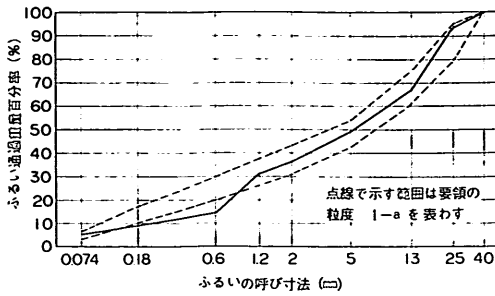


図-41 配合 I の骨材粒度

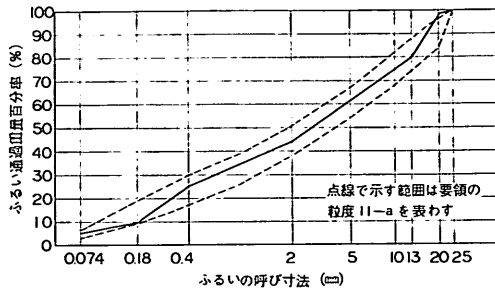


図-42 配合 II の骨材粒度

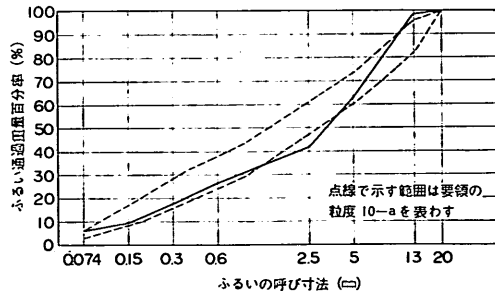


図-43 配合 III の骨材粒度

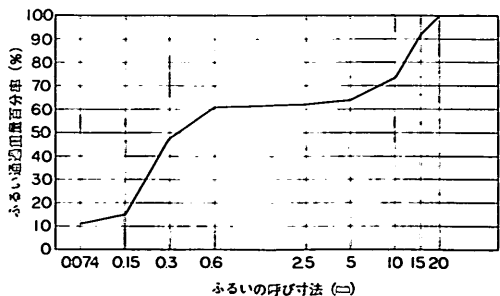


図-44 配合 IV の骨材粒度

この場合、図-41 に示す粒度の骨材を用いるものを配合 I と称し、図-42, 43 および 44 についても同様にそれぞれ配合 II, 配合 III および配合 IV と称する。

骨材は、最大寸法と粒度の変化がアスファルト混合物の安定性に及ぼす影響を調べるために 4 種類としたが、配合 I は最大寸法が 40 mm、配合 II は最大寸法が 25 mm、配合 III は最大寸法が 20 mm である。配合 IV はわが国ではほとんど使用されていない不連続粒度で、いわゆるロードアスファルトのようなものである。

(3) 配合試験

配合 I は 60~80 のアスファルトを用い、その量を 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5 %、配合 II および配合 III は 60~80 のアスファルトを用い、その量を 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7 %、配合 IV は 40~60 のアスファルトを用い、その量を 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8 % とし、それぞれについてマーシャル安定度試験⁷⁾ (突固め回数は 75 回) を行なう。

(4) 配合試験結果および配合の決定

配合 I, II, III および IV の配合試験結果は、それぞれ図-45, 46, 47 および 48 に示すとおりである。

表層用アスファルト混合物のマーシャル試験値に対する基準値は、要領によれば、安定度 900 kg 以上、フロー値 $25 \sim 40 \times 10^{-2} \text{ cm}$ 、空げき率 3~5 %、飽和度 70~80 % であり、図-45~48 にはこれらの基準値も記入してある。一般に最適アスファルト量はこれらすべての基準値を満足する範囲の中央値とされ、配合 I は 5.2 %、配合 II および配合 III は 5.7 % となる。配合 IV はアスファルト量をこのような方法で求めるのは適切でないと思われ、また図-48 からわかるようにこの試験の範囲内では求まらない。

ここでは上記の一般的な方法によらず、要領の規定する最小アスファルト量 6 % を考慮し、また安定度がなるべく大きくなるように、アスファルト量は標準的なものと小さいものの 2 つを選んだ。なお配合 IV については、英国の規定⁸⁾ を参考にして定めた。すなわち配合 IV の骨材の 2.5~20 mm の割合は 38 % であり、B.S. 594 によればアスファルト量は 7.6~9.0 % となるので、これを 8.5 % とすると、規定を満足する。

結局アスファルト量は、配合 I は 6.0 および 4.5 % (配合 I-1 および配合 I-2 と称す)、配合 II は 6.0 % および 5.1 % (配合 II-1 および配合 II-2 と称す)、配合 III は 6.0 % および 5.0 % (配合 III-1 および配合 III-2 と称す)、配合 IV は 8.5 % および 6.5 % (配合 IV-1 およ

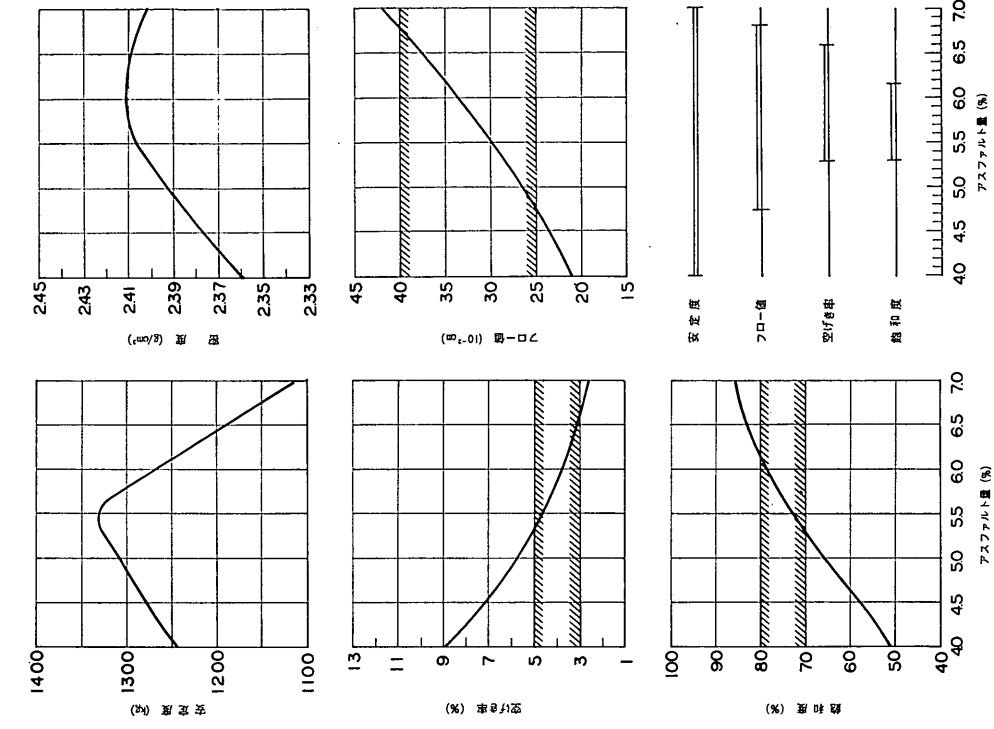


図-46 配合IIの配合試験結果

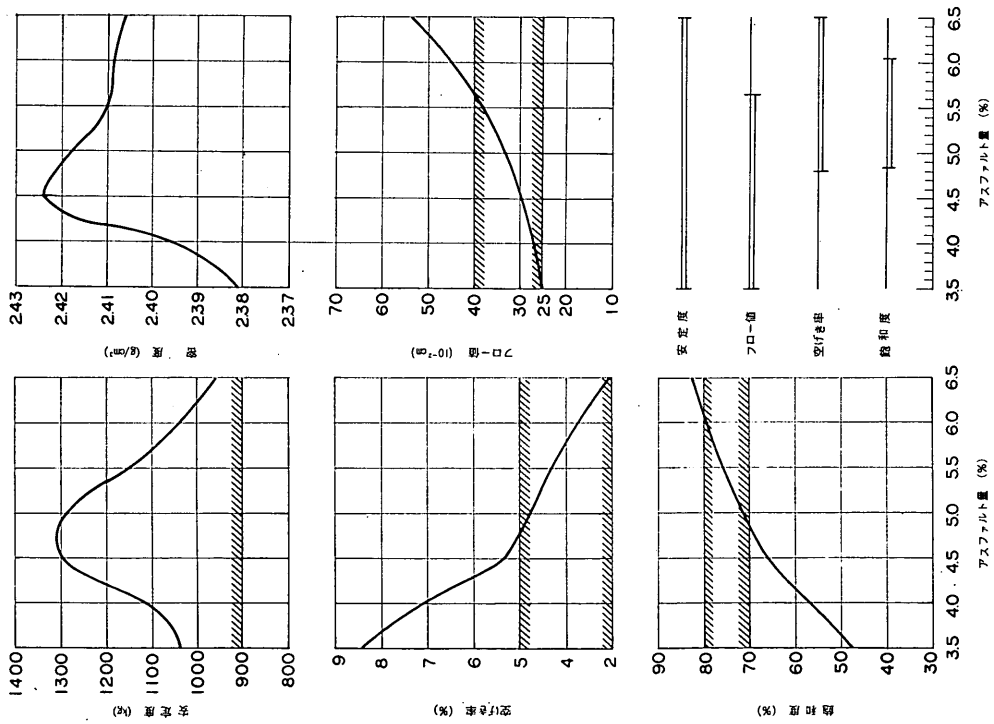


図-45 配合Iの配合試験結果

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

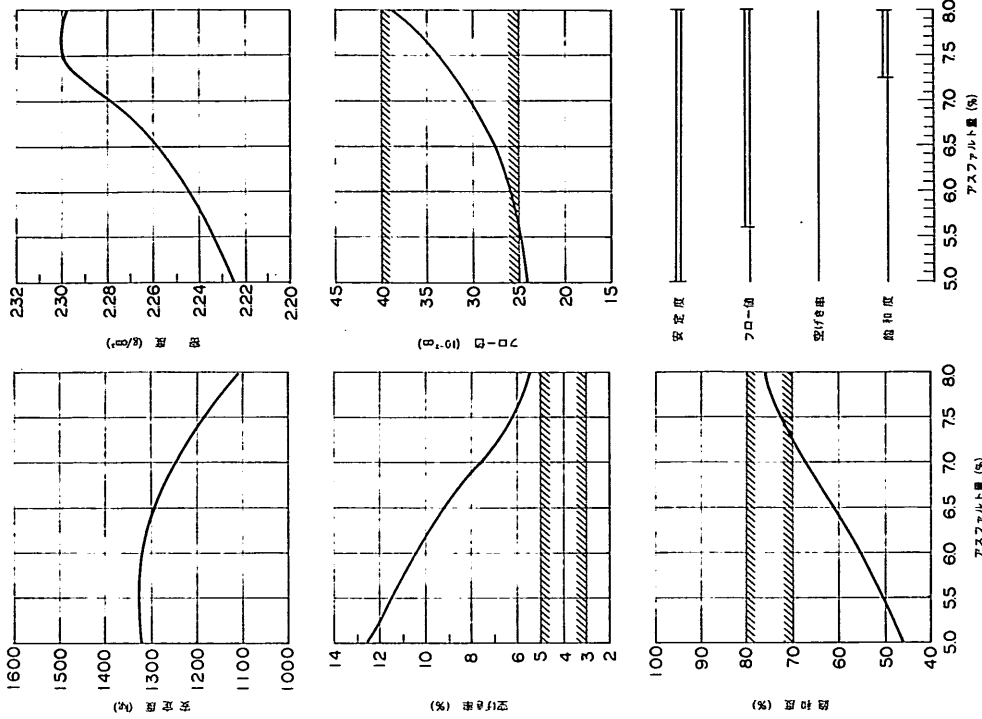


図-47 配合Ⅲの配合試験結果

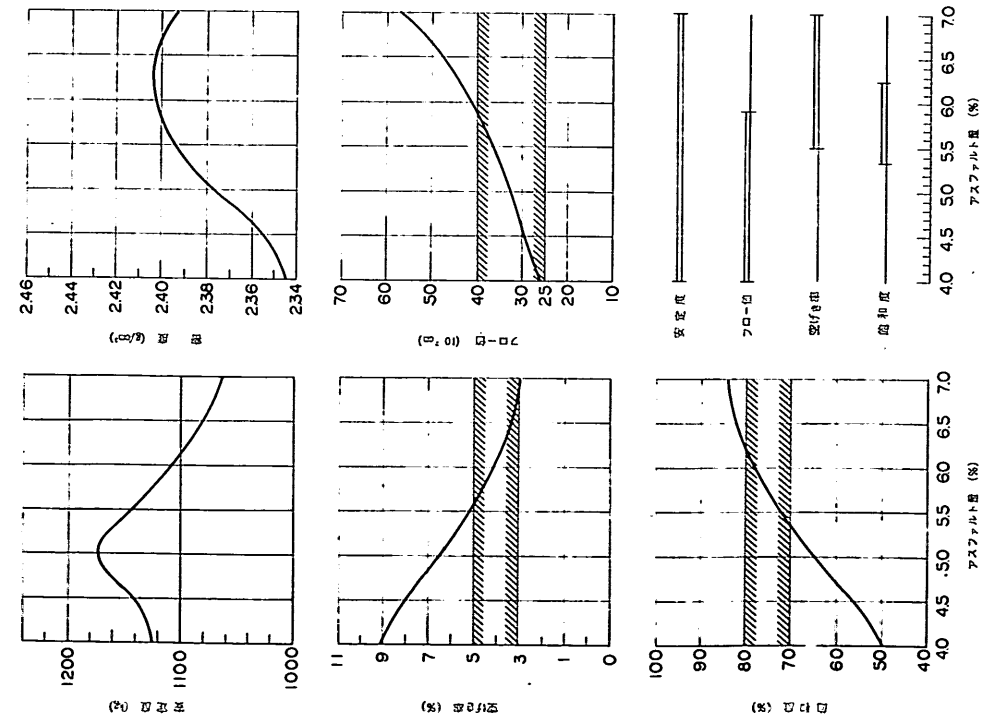


図-48 配合Ⅳの配合試験結果

び配合IV-2 と称す)とした。

3.2.2 マーシャル安定度試験

配合 I-1, I-2, II-1, II-2, III-1, III-2, IV-1 および IV-2 の 8 種類のアスファルト混合物について、マーシャル安定度試験を行なう。供試体の数は各配合について 3 個とする。

3.2.3 ホイールトラッキング試験

この試験は、アスファルト混合物のわだちぼれ現象や繰返し車両走行によるこね返し作用の影響などを模型的な室内試験機によって評価予想しようとするものである¹⁰⁾。

(1) 試験機

ホイールトラッキング試験機は、写真-2 に示すように、荷重付きの硬質ゴム車輪と 30×30×5 cm の供試体を 4 面で拘束した型わくを取り付ける台から成る。台は前後に移動し、車輪は横方向に移動できる機構となっている。供試体上の前後左右に車輪を一定の速度で走行させてこね返すことをトラバースという。

(2) 試料

使用するアスファルト混合物は、前述の 8 種の配合のもので、供試体の密度は 3.2.2 のマーシャル安定度試験の場合と同一とする。供試体の数は各配合について 4 個とする。

(3) 試験条件

試験条件は以下のとおりとする。(i) 温度: 45°C, (ii) 車輪荷重: 50 kg (接地圧約 5.2 kg/cm²), (iii) 載荷速度: 前後 21 往復/分, (iv) トラバース: 前後 21 往復/分, 横方向 1 往復/6 分, 走行時間 2 時間。

(4) 試験項目

トラバース前とトラバース後の供試体について載荷し、載荷時間 5, 10, 15, 20, 30, 40, 45 および 50 分

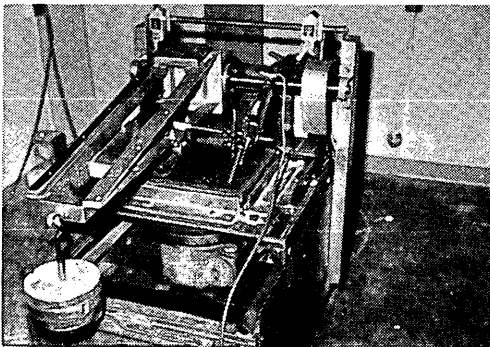


写真-2 ホイールトラッキング試験機

における変形量を測定し、時間と変形量の関係を求める。なお、変形量はペン書きレコーダによって自動的に記録された。

測定結果より、30~45 分までの 15 分間の変形量を求め、これを変形率、 RD (mm/分) で表わし、また、このとき 1 mm 変形するのに要する車輪の通過回数として表わしたものを動的安定度、 DS (回/mm) という。 RD および DS は次式によって求める。

$$RD = (d_2 - d_1) / 15 \quad (2)$$

$$DS = 42 / RD \quad (3)$$

ここに

d_1 : 時間—変形量曲線の 30 分における変形量 (mm)

d_2 : 時間—変形量曲線の 45 分における変形量 (mm)

3.2.4 繰返し一軸圧縮試験

前述の 8 種のアスファルト混合物について、弾性係数や変形特性を調べるために繰返し一軸圧縮試験を行なう。

供試体の寸法は、直径 10 cm, 高さ 12.7 cm で、その製作はセメント安定処理土の一軸圧縮試験方法¹¹⁾に準拠する。供試体の密度は 3.2.2 のマーシャル安定度試験の場合と同一で、その個数は各配合について 2 個とする。

試験条件は、温度 45°C, 載荷強さ 14 kg/cm², 載荷速度 1 mm/分, 繰返し回数 20 とする。

各繰返し載荷について、応力とひずみの関係を求め、弾性係数 (E_{100} , 応力が 14 kg/cm² のときの割線弾性係数) と最終永久変形量を求める。

3.3 試験結果

3.3.1 マーシャル安定度試験結果

配合 I-1, I-2, II-1, II-2, III-1, III-2, IV-1 および IV-2 の 8 種類のアスファルト混合物のマーシャル安定度試験結果は、表-38 および 図-49 に示すとおりである。

3.3.2 ホイールトラッキング試験結果

各配合についての時間と変形量の関係は、図-50~57 に示すとおりで、変形率と動的安定度の計算結果は表-39 に示すとおりである。また各配合の変形率を図示すると、図-58 のとおりである。

3.3.3 繰返し一軸圧縮試験結果

繰返し一軸圧縮試験における応力とひずみの関係は、図-59~66 に示すとおりである。これらの図には修正原点が点線で示して求めてあり、また最終永久変形ひずみも示してある。

3.4 試験結果に対する考察

3.4.1 アスファルト混合物の配合

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

表-38 マーシャル安定度試験結果

配合番号	アスファルト量 (%)	密度 (g/cm ³)		空げき率 (%)	飽和度 (%)	安定度 S (kg)	フロー値 F (1/100cm)	S/F (×10 ⁻² kg/cm)
		かさ	理論					
I-1	6.0	2.399	2.501	4.1	77	1124	45	25.0
		2.405		3.8	79	1107	41	27.0
		2.423		3.1	82	1007	47	21.4
		(2.409)		(3.7)	(79)	(1079)	(44)	(24.5)
I-2	4.5	2.426	2.560	5.2	67	1242	32	38.8
		2.422		5.4	66	1242	30	41.4
		2.422		5.4	66	1326	33	40.2
		(2.423)		(5.4)	(66)	(1270)	(32)	(39.7)
II-1	6.0	2.400	2.505	4.2	77	1359	34	40.0
		2.418		3.5	80	1309	37	35.4
		2.413		3.7	79	1376	38	36.2
		(2.410)		(3.8)	(79)	(1348)	(36)	(37.4)
II-2	5.1	2.379	2.540	6.3	65	1275	26	49.0
		2.389		5.9	67	1342	30	44.7
		2.415		4.9	71	1275	25	51.0
		(2.394)		(5.8)	(67)	(1297)	(27)	(48.0)
III-1	6.0	2.411	2.504	3.7	79	1007	41	24.6
		2.408		3.8	79	1107	39	28.4
		2.398		4.2	77	1107	43	25.7
		(2.406)		(3.9)	(78)	(1074)	(41)	(26.2)
III-2	5.0	2.390	2.543	6.0	65	1309	32	40.9
		2.366		7.0	62	1175	30	39.2
		2.372		6.7	63	1275	32	39.8
		(2.376)		(6.6)	(63)	(1253)	(31)	(40.4)
IV-1	8.5	2.289	2.414	5.2	78	1023	49	20.9
		2.277		5.7	77	956	44	21.7
		2.279		5.6	77	973	51	19.1
		(2.282)		(5.5)	(77)	(984)	(48)	(20.5)
IV-2	6.5	2.246	2.482	9.5	60	1275	28	45.5
		2.266		8.7	62	1208	29	41.7
		2.269		8.6	62	1342	27	49.7
		(2.260)		(8.9)	(62)	(1275)	(28)	(45.5)

注) () 内の数字は平均値を表わす。

配合 I について、図-45 からわかるように最適アスファルト量は 5.2% となるが、これは最小値の 6% を満足しない。一方アスファルト量を 6% に示すと、フロー値を満足しない。配合 I の骨材粒度は要領の付表-6.12 に示す粒度 1-a に相当するものであるが、使用した骨材の

粒度は要領の定めるアスファルト混合物の基準値を満足しないことがわかる。これを満足させるには、りょう角に富む骨材の量を増すか、フィラー量を減らすかすればよからう。ところが、配合 I-1 および I-2 の F/A はそれぞれ 0.8 および 1.1 であり、安定度の点からフィ

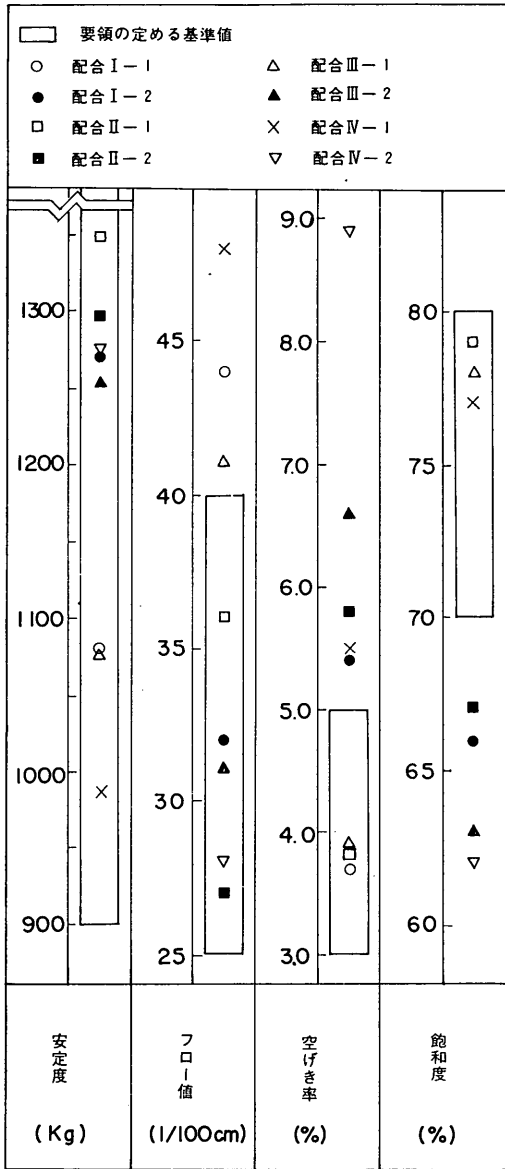


図-49 マーシャル安定度試験結果

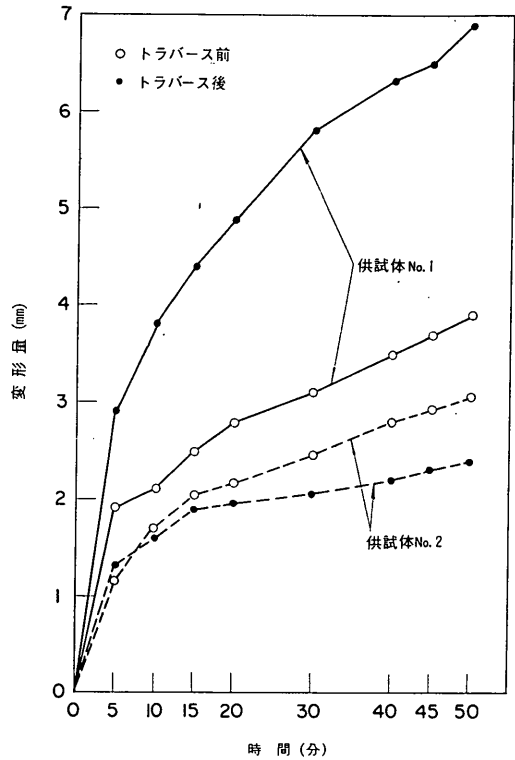


図-50 時間と変形量の関係 (配合Ⅰ-1)

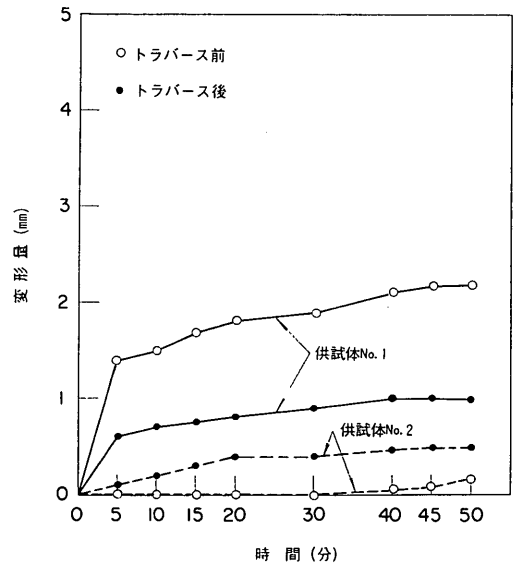


図-51 時間と変形量の関係 (配合Ⅰ-2)

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

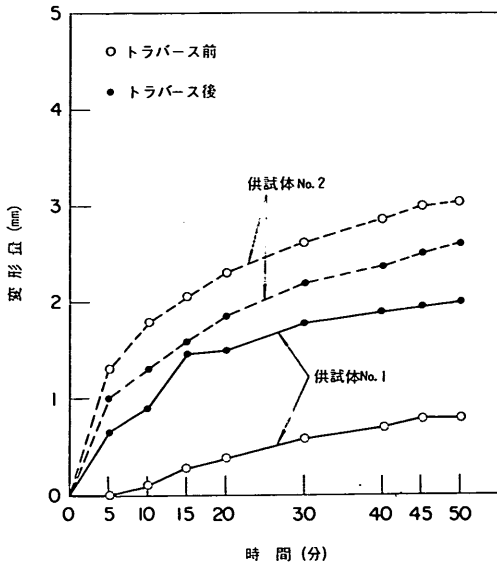


図-52 時間と変形量の関係 (配合Ⅱ-1)

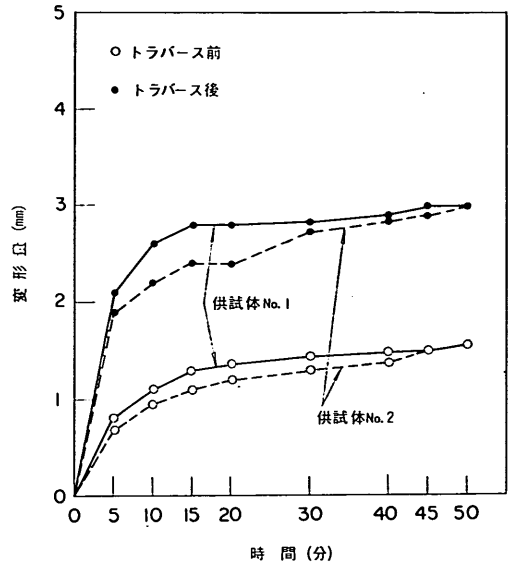


図-54 時間と変形量の関係 (配合Ⅲ-1)

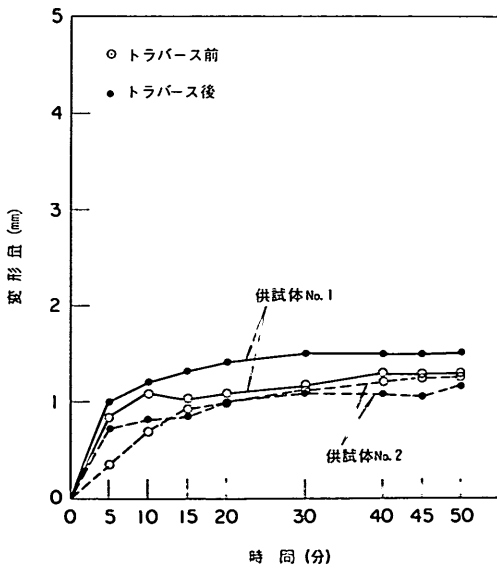


図-53 時間と変形量の関係 (配合Ⅱ-2)

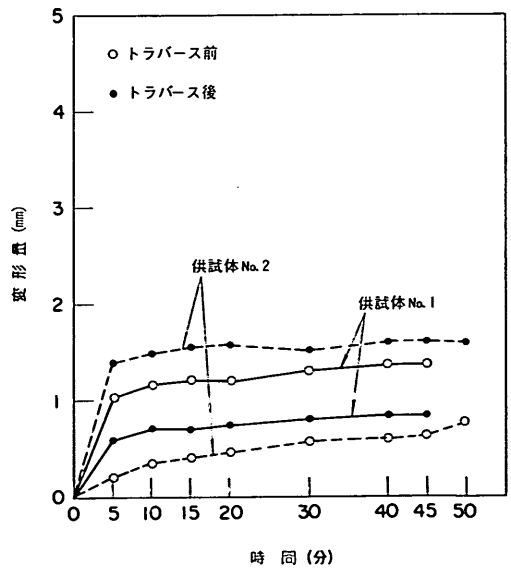


図-55 時間と変形量の関係 (配合Ⅲ-2)

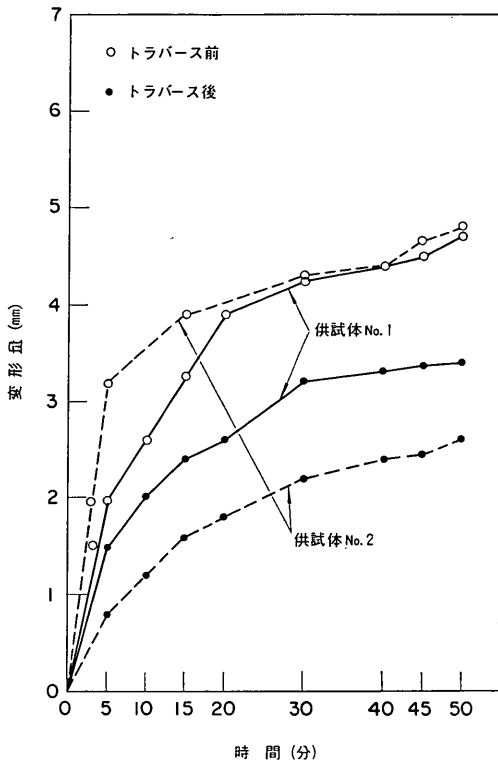


図-56 時間と変形量の関係 (配合IV-1)

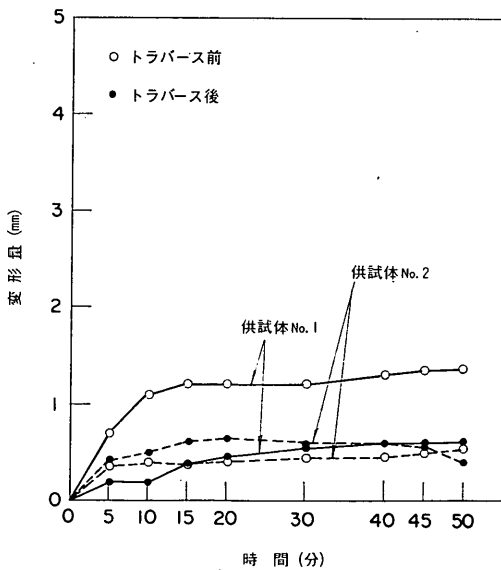


図-57 時間と変形量の関係 (配合IV-2)

表-39 変形率と動的安定度

配合番号	試験時	RD ($\times 10^{-2}$ mm/分)	DS (回/mm)
I-1	BT	4 3 (3.5)	1,050 1,260
	AT	4.7 1.7 (3.2)	900 2,520
I-2	BT	1.7 0.7 (1.2)	2,520 6,300
	AT	0.7 0.7 (0.7)	6,300 6,300
II-1	BT	1.3 1.3 (1.3)	3,150 1,575
	AT	1.0 1.0 (1.0)	3,150 1,800
II-2	BT	1.0 0.7 (0.9)	4,200 6,300
	AT	0 0 (0)	∞ ∞
III-1	BT	0.7 1.3 (1.0)	6,300 3,150
	AT	1.0 1.0 (1.0)	4,200 4,200
III-2	BT	0.3 0.7 (0.5)	12,600 6,300
	AT	0.3 0.7 (0.5)	12,600 6,300
IV-1	BT	1.7 2.0 (1.9)	2,520 2,100
	AT	1.3 1.7 (1.5)	3,150 2,520
IV-2	BT	1.0 0.3 (0.7)	4,200 12,600
	AT	0 0 (0)	∞ ∞

注) 1. BT とはトラバース前, AT とはトラバース後を意味する。

2. ()内の数字は平均値を示す。

空港アスファルト舗装のわだちぼれ

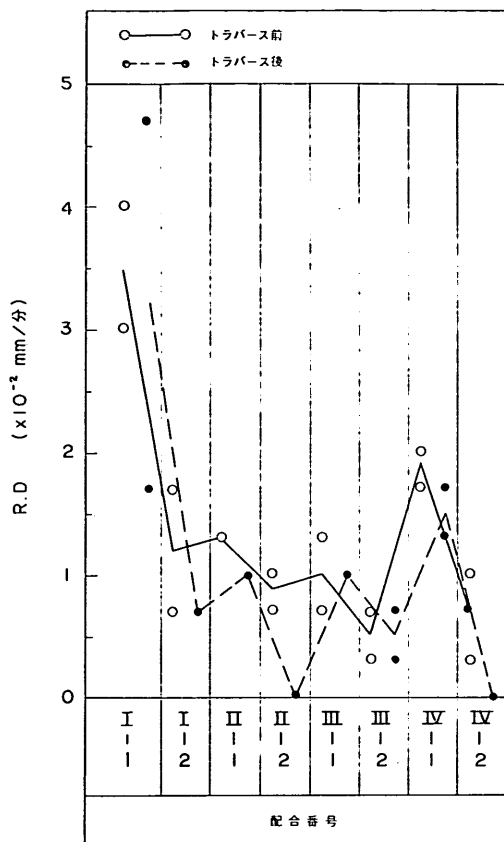


図-58 変形率の比較

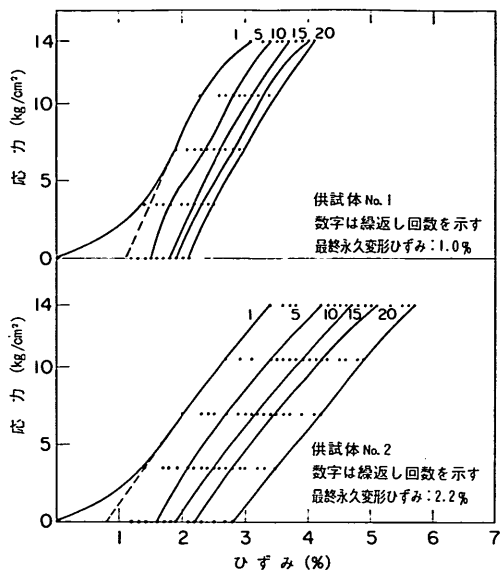


図-60 応力とひずみの関係 (配合 I-2)

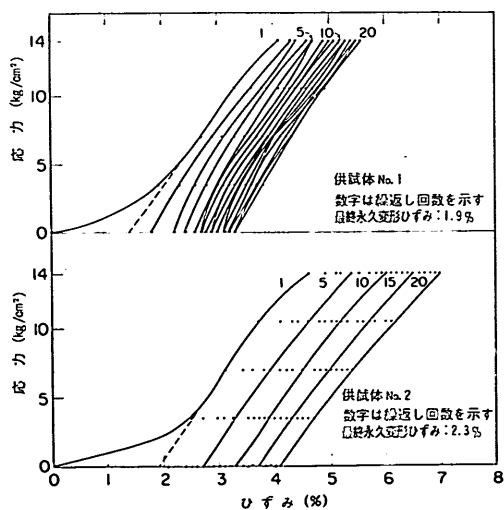


図-59 応力とひずみの関係 (配合 I-1)

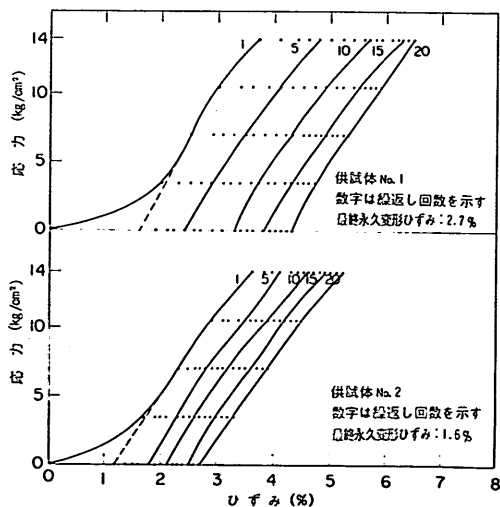


図-61 応力とひずみの関係 (配合 II-1)

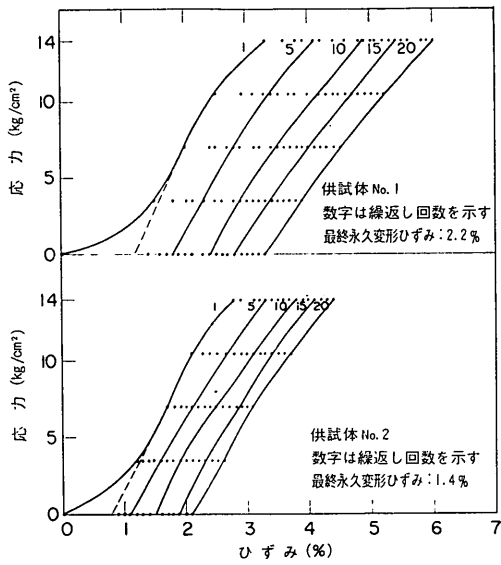


図-62 応力とひずみの関係 (配合Ⅱ-2)

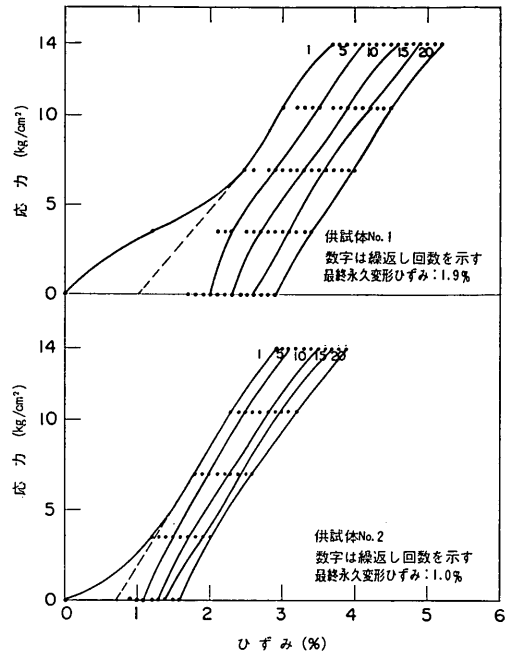


図-64 応力とひずみの関係 (配合Ⅲ-2)

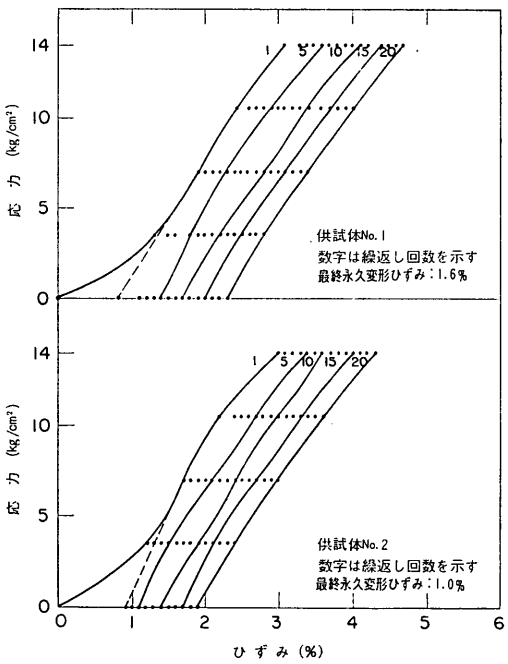


図-63 応力とひずみの関係 (配合Ⅲ-1)

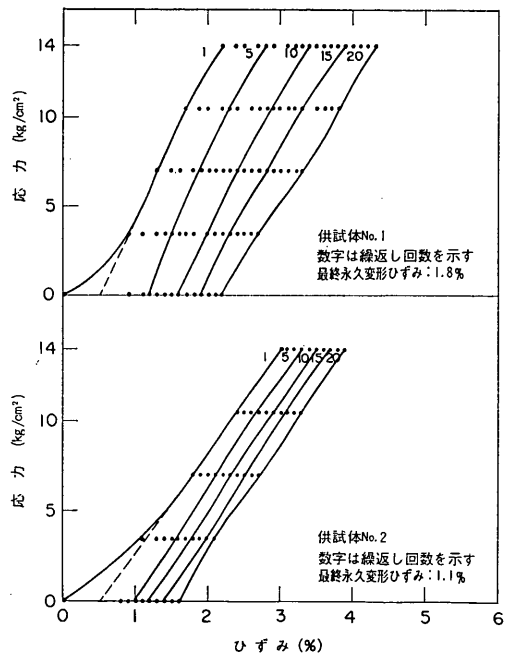


図-65 応力とひずみの関係 (配合Ⅳ-1)

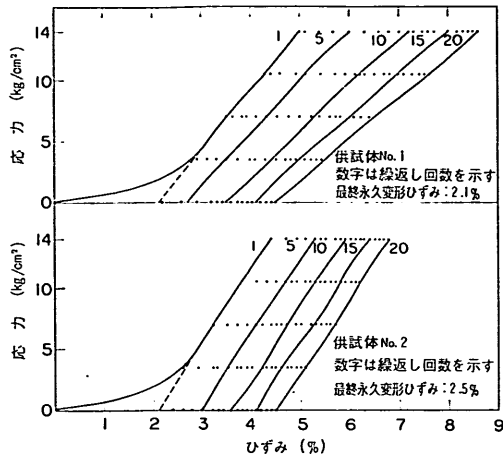


図-66 応力とひずみの関係 (配合IV-2)

ラー量はこれ以上減らさないほうが有利であろう。

配合Ⅱについて、図-46 からわかるように最適アスファルト量は5.7%となるが、これは最小値の6%を満足しないので、アスファルト量は6%としなければならない。配合Ⅱの骨材粒度は要領の付表-6.11に示す粒度10-aに相当するもので、この粒度の設計アスファルト量は6%となる。

配合Ⅲについて、図-47 からわかるように最適アスファルト量は5.7%となるが、これは最小値の6%を満足しない。一方アスファルト量を6%とすると、フロー値をわずかに満足しない。配合Ⅲの骨材粒度は要領の付表-6.11に示す粒度11-aに相当するものであるが、この粒度は要領の定めるアスファルト混合物の基準値を満足しないことがわかる。これを満足させるには、配合Ⅰの場合と同様にりょう角に富む骨材の量を増すか、フィルター量を減らすかすればよからう。ところが、 F/A についてみると配合Ⅲ-1およびⅢ-2で、それぞれ1.0および1.2であり、安定度の点からはフィルター量はこれ以上減らさないほうが有利であろう。

配合Ⅳについて、図-48 からわかるように試験の範囲内では最適アスファルト量を決定することはできないし、また前述のように配合Ⅰ、ⅡおよびⅢの場合と同様な方法でこれを求めるのは適切でない。

3.4.2 マーシャル安定度試験

配合Ⅰ-1、Ⅰ-2、Ⅱ-1、Ⅱ-2、Ⅲ-1、Ⅲ-2、Ⅳ-1 およびⅣ-2の8種類のアスファルト混合物のマーシャル安定度試験値を要領の定める基準値と比較すると、以下のとおりである。図-49 からわかるように、安定度はすべ

て満足するが、フロー値は配合Ⅰ-1、Ⅲ-1 およびⅣ-1の場合大きすぎ、空げき率は配合Ⅰ-1、Ⅱ-2、Ⅲ-2、Ⅳ-1 およびⅣ-2の場合大きすぎ、飽和度は配合Ⅰ-2、Ⅱ-2、Ⅲ-2 およびⅣ-2の場合小さすぎる。結局、すべての基準値を満足しているのは配合Ⅱ-1 だけで、配合Ⅰ-1 およびⅢ-1 はフロー値だけがわずかに大きい。アスファルト量の少ない配合Ⅰ-2、Ⅱ-2 およびⅢ-2 は、いずれも空げき率が大きく、飽和度が小さい。骨材が不連続粒度の配合Ⅳについては、アスファルト量が6.5%の場合特に空げき率と飽和度が大きい。

$S/F(\times 100 \text{ kg/cm})$ についてみると、2.4.1(2)で述べたように所要 S/F を $(3\sim 3.75)p$ 以上と考えると、大型ジェット機に対しては35~53以上が要求される。表-42 からわかのように、アスファルト量の比較的多い配合Ⅰ-1、Ⅲ-1 およびⅣ-1の S/F はかなり小さいものであり、また S/F が50以上のものもない。

3.4.3 ホイールトラッキング試験

まず、変形率は前述のように単位時間当りの変形量のことであり、時間と変形量の関係は試験開始後は曲線だが、ある時間以降は直線であるという仮定に基づいて計算される。図-50~57 からわかるように、この仮定はほぼ正しいと考えてよいであろう。なお、時間と変形量の関係における曲線部分は、荷重によるアスファルト混合物の圧密などに起因するものと考えられる。

図-58 に示された変形率から、各配合の安定性について考えてみると以下のとおりである。アスファルト量の観点からは、各配合ともアスファルト量の少ないほうが変形率は小さく、他の条件が同じ場合はアスファルト量が小さいほうが安定性は大きいことがわかる。骨材の最大寸法の観点からは、変形率はほぼ配合Ⅲ、Ⅱ、Ⅰの順で小さくなっており、骨材最大寸法の小さいほうが安定性は大きいことがわかる。これは一般に認められている事実と逆の結果であるが、変形率の読取り誤差 $\pm 0.2 \times 10^{-2} \text{ mm/分}$ を考慮すると、配合Ⅰ-1を除いては、各配合間には大きな差はないと考えられる。

配合Ⅳについては、アスファルト量が多い配合Ⅳ-1の安定性は小さいが、アスファルト量が6.5%の配合Ⅳ-2をアスファルト量が6%の配合Ⅰ-2、Ⅱ-2 およびⅢ-2と比較すると、安定性は多少大きいかほとんど同じであることがわかる。

次にトラバース前とトラバース後の安定性についてみると、いずれの配合の場合もトラバース後のほうが安定性が大きいか、またはほとんど等しくなっており、こね

返し作用によるアスファルトコンクリートの安定化現象が認められる。特に配合Ⅱ-2とⅣ-2の場合はそれが顕著である。

本試験は各配合の各試験について供試体の数は2個であるので、試験値の比較を統計的に処理して行なうことができず、また試験値のばらつきもかなり大きいものもあるので、明確な結論は下せないが、以上をまとめてみると以下のとおりであろう。アスファルト量が小さいほうが安定性は大きいこと、こね返し作用によって安定性

は増大すること、粗骨材の最大寸法は安定性に大きな影響を及ぼさないこと、アスファルト量が比較的大きくても不連続粒度のものは安定性はかなり大きいことなどがわかる。

3.4.4 繰返し一軸圧縮試験

図-59~66 からわかるように、第1回載荷の応力ひずみ曲線は応力が小さいところではかなり凹状になっているが、これは供試体の表面の平坦性が十分でないことに起因するものと思われる。第2回載荷以降では、応

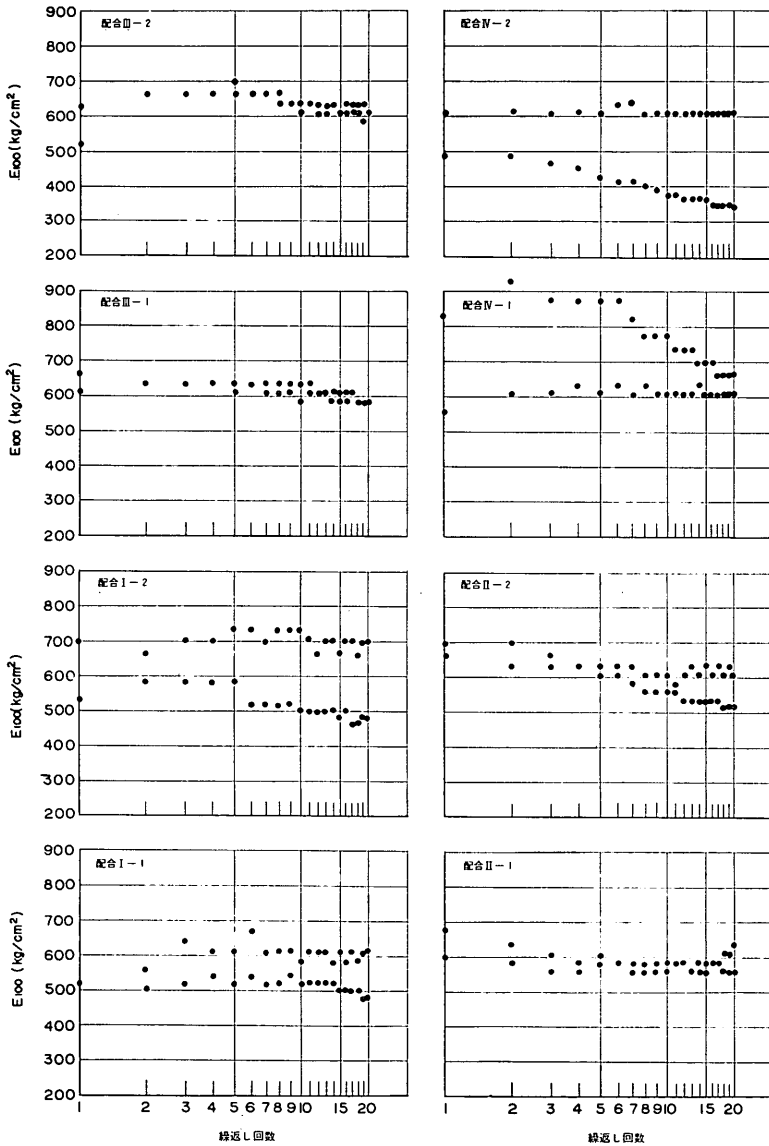


図-67 E_{100} と繰返し回数の関係

力一ひずみの関係はほぼ直線関係にあるといえよう。

図-59～66 に示された関係から求めた各載荷回数における E_{100} を図示すると 図-67 のとおりである。図-67 には供試体 2 個の試験値が示してあるが、それらにかなりのばらつきが見られる。図-67 から、アスファルト量および骨材の最大寸法が E_{100} に及ぼす影響はほとんどないことがわかる。これは骨材が不連続粒度の配合Ⅳについてもいえる。 E_{100} はいずれの配合も 500～700 kg/cm² 程度である。繰返し載荷が E_{100} に及ぼす影響も顕著ではないが、全般的には繰返し載荷数の増加とともに E_{100} は多少減少する傾向が見られる。

次に最終永久変形ひずみについてみると、配合ⅠおよびⅡではアスファルト量の小さいほうが小さいが、配合ⅢおよびⅣはその逆の結果となっている。最終永久変形ひずみの小さい順にならべると、配合Ⅲ-1、Ⅲ-2、Ⅳ-1、Ⅰ-2、Ⅱ-2、Ⅰ-1、Ⅱ-1、Ⅳ-2 とみるが、大きな差はないと考えてよからう。

本試験は、載荷重の大きさを大型航空機のタイヤ接地圧と同等の 14 kg/cm² までとしたが、供試体の拘束状態は実際とはかなり異なるものであり、また供試体の数も各配合について 2 個なので、試験値を統計的に処理できない。試験の範囲内で以上をまとめてみると、弾性係数および永久変形ひずみにおいて各配合による差はほとんど認められないこと、荷重の繰返し作用によって弾性係数は減少する傾向にあることがわかる。

3.5 結 論

空港アスファルト舗装の表層アスファルト混合物については、骨材の最大寸法は 20～25 mm、骨材粒度は連続粒度、アスファルトは針入度 60～100 のストレートアスファルト、アスファルト量は 6.5% 前後が一般に適用されてきた。今回、骨材最大寸法、骨材粒度、アスファルト針入度およびアスファルト量を因子として考え、合計 8 種類のアスファルト混合物について安定性を特性値とする実験を行なったが、実験の範囲内で以下のようなことがいえると考えられる。

- (i) 配合Ⅰおよび配合Ⅲのような骨材粒度は、アスファルト量の最小値 6% を満足させようとすると、要領の定めるマーシャル試験の基準値を満足しない。したがって、りょう角に富んだ骨材をもっと多量に使用する必要がある。
- (ii) 配合Ⅳのような不連続粒度の骨材は、要領の定めるマーシャル試験の基準値を満足するようなアスファルト量は見い出せない。

- (iii) S/F の点からみて、大型ジェット機（タイヤ接地圧 14 kg/cm² 程度）に対して安定性の十分大きなアスファルトコンクリートは見い出せない。
- (iv) アスファルト量の少ないほうが、ホイールトラッキング試験における変形率は小さい。
- (v) 骨材の最大寸法が変形率に及ぼす影響は小さく、最大寸法が小さいほうが変形率は小さい傾向にある。
- (vi) アスファルト量が 6% 程度の場合は、配合Ⅳのような不連続粒度骨材のほうが変形率は小さい。
- (vii) ホイールトラッキング試験において、こね返し作用によるアスファルトコンクリートの安定性の増大が認められる。
- (viii) 骨材の最大寸法、粒度およびアスファルト量は、一軸圧縮試験における弾性係数および永久変形ひずみに大きな影響は及ぼさない。
- (ix) 変形に対する抵抗性という点から総合的に判断すると、配合Ⅲ-2 および Ⅱ-2 が有利で、次いで配合Ⅲ-1 および Ⅳ-2 が有利である。
- (x) アスファルト混合物の安定性を検討する試験として、ホイールトラッキング試験は有効である。

4. 結 言

今までみてきたように、空港アスファルト舗装のわだちぼれは大きな問題となってきている。わだちぼれの原因は、安定度の小さい表層上の、あるいは支持力が十分でない路床や路盤上の、荷重の繰返し作用と考えられる。5 つの調査空港について、舗装構造の設計および施工は適切であり、これらのわだちぼれの主原因はアスファルト混合物の安定度の不足ではないかと考えられる。ところが、使用アスファルト混合物の配合は一般に妥当と認められている方法によって決定されたもので、それに特に欠点はないと考えてよい。したがってわだちぼれの原因をあえてあげるならば、荷重条件の苛酷ということになろう。すなわち大型航空機の就航とローディングブリッジの利用により、大きな荷重の同一箇所への数多くの集中化が著しくなってきたのである。なお、わだちぼれの原因としてアスファルト混合物の圧密が考えられ、調査空港についてもこの傾向が見られる。そこで締固め度規定をもっときびしくし、圧縮沈下をできるだけ防止することも必要であろう。また圧密に関連して、調査結果からわかるように、わだちぼれ部のアスファルト混合物のほうが非わだちぼれ部のそれより安定性が大きい場合

もあり、小さい場合もある。これは航空機荷重によるこね返し作用が原因と考えられる。すなわち、こね返し作用が適度であればアスファルト混合物は適度の空げき率と飽和度になって安定な状態になり、一方これが過大であれば、アスファルト混合物の骨材のかどがかけてたり、骨材の配列が変化したり、空げき率が過度に小さくなったりして、安定性が低下すると考えられる。したがって施工時の締固め度をどの程度にするかが重要な問題となってくる。

現在、舗装の構造設計のほうは、荷重の増大に対処されているが、表層および基層アスファルト混合物の配合設計のほうは、大きな圧力の荷重に対して十分な配慮が払われているとはいえないと思われる。また構造設計のほうでも、問題が生ずる可能性もある。すなわち、設計に用いる反復作用回数は、誘導路の幅、交通量および交通量の誘導路上の分布などから計算するようになっているが、エプロンのわだちぼれが発生しているような区域の反復作用回数はもっと大きなものとなるであろう。

そこで問題は、表層および基層アスファルト混合物の変形に対する抵抗性、すなわち安定性をいかに大きくするかに帰結する。一般に、アスファルト混合物の安定性を増大するには、最大寸法の大きな骨材を用いること、りょう角に富む骨材を多量に用いること、針入度の小さいアスファルトを用いること、骨材間げき率を小さくすること、フィラー量を適切に用いることなどが考えられる。調査空港について以下みてみると、骨材の最大寸法は、表層の場合 13 または 20 mm、基層の場合 20 または 25 mm であるが、実験結果からは 20 mm が妥当と考えられる。骨材の粒度は、表層の場合いわゆる密粒度となっているが、これをもう少し開粒度側にするほうがよいのではないと思われる。骨材のりょう角については、使用粗骨材はすべて碎石であり、これで十分と思われるし、実際問題として今以上にりょう角に富んだ骨材をつくるのは困難であろう。使用アスファルトの針入度はほとんど 60~80 で、これを 40~60 のものとする余地がある。また、いわゆる特殊アスファルトを表層アスファルト混合物に使用した空港が 2 つあったが、わだちぼれに対してはほとんど効果はないものと考えられる。F/A についてみると、これが 0.4 とか 0.8 の空港もあるが、この値は 1.2~1.5 が妥当と考えられる。

ところで、わが国では一般にアスファルト混合物の配合は、マーシャル安定度試験における安定度、フロー値、空げき率および飽和度のすべてが定められた基準値を満

足するようなアスファルト量を見出すことによって行なわれている。この場合アスファルト量は必ずしも安定性から決められていない。すなわち、すべて基準値を満足し、安定度が最も大きく、かつフロー値が最も小さいようなアスファルト量ではない。上記の一般的な方法によって設計されたアスファルト混合物にはわだちぼれが生じているのだから、基準値を変えて従来のものとは性質の異なった安定性の大きなアスファルト混合物にするか、それと関連して安定性の試験としてマーシャル安定度試験以外の方法を適用するかしなければならぬと思われる。現在の設計法によれば、S/F の値が 50×100 kg/cm 以上のアスファルト混合物をつくることは無理と思われる。

そもそもマーシャル安定度試験は本質的には一軸圧縮試験であり、実際の舗装における変形と同じ状態を再現するものではない。安定性の試験として、このほかにアスファルト混合物の内部摩擦角と粘着力を測定する三軸圧縮試験、ビーム安定度試験、ハーバードフィールド安定度試験、前述のホイールトラッキング試験などいくつかのものがあるが、試験の簡便さや試験値と実際の舗装の挙動とを関連づける資料の豊富さなどから、わが国ではマーシャル安定度試験が一般に適用されている。ホイールトラッキング試験によると、アスファルト混合物の塑性流動に対する抵抗はアスファルト量の減少に伴って増大する。一方、マーシャル安定度については、最適アスファルト量以下のアスファルト量では安定度は低下し始める。したがって、アスファルト量が定められていない場合は、マーシャル安定度は変形に対する抵抗性を表わすものとはいえないことがわかる。実験結果を利用して、マーシャル安定度とホイールトラッキング変形率の

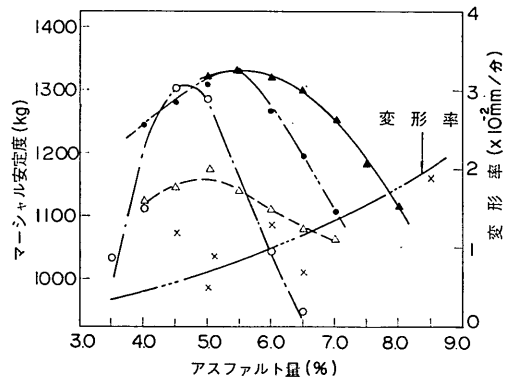


図-68 マーシャル安定度とホイールトラッキング変形率の関係

関係を示すと、図-68 のとおりである。図-68 からマール安定度は配合の異なる混合物間の安定度の差を正確には表わさないことがわかる。結局、空港舗装、少なくともエプロン舗装のアスファルト混合物の安定性の試験としては、マール安定度試験以外のものを適用する必要があると考えられ、あるいは実際の舗装のアスファルト混合物の変形に対する抵抗性を正しく表わす何か別の試験値とマール安定度試験値とを関連づける必要があると思われる。なお、実験ではホイールトラッキング試験の室温を 45°C としたが、気温が 33°C 程度するとき、表層アスファルト混合物の表面から 3cm の深さの温度は約 60°C という実測値があり、また路面温度は大阪地区で 70°C という資料もあるので、試験温度を 60~70°C に高くする必要がある。

実験結果からアスファルト量が小さいほうが安定性は大きいことがわかったが、最小アスファルト量については空港舗装の場合、耐久性の点から特に問題がある。すなわち、空港舗装ではその全面に交通荷重が作用することではなく、交通量が不足する区域がどうしても生ずる。このような区域のアスファルトは、ゲルからゾルへの変化が交通荷重によって行なわれないので、老化現象が促進されることになる。そこで老化に対処するために、空港舗装のアスファルト量は多少多めにするのが一般となっており、前述のように要領では表層の場合これを 6% 以上としている。したがって、アスファルトの老化現象による舗装の破壊とわだちぼれによる舗装の破壊のいずれがアスファルト混合物の配合設計に大きく影響するかを知る必要がある。すなわち、安定性を考慮したうえで、老化を防ぐかまたは遅延させるために必要な最小アスファルト量を見出す必要がある。実験によるとアスファルト量 6% 程度では、不連続粒度のアスファルト混合物の安定性は比較的大きいので、老化に対する抵抗性も大きいアスファルト混合物という点からも、これに関するいっそうの研究が望まれる。

以上、調査および実験結果などから、わだちぼれの発生が予想される区域の舗装について、以下のような提案をする。この提案は、特殊アスファルトの使用も含めて、まず安定性の大きなアスファルト混合物の配合設計法を開発する努力をし、それが総合的に判断して不都合な場合は積極的にコンクリート舗装を適用する、という考えに基づくものである。

(a) アスファルト混合物の配合について

- (i) 針入度 40~60 のアスファルトを使用する。

- (ii) アスファルト量は 5~5.5% 程度になるべく小さくする。

- (iii) マール安定度試験に基づく配合設計だけでなく、ホイールトラッキング試験結果も利用する配合設計法に変更ないしは修正する。この場合マール安定度試験の基準値を変更してもよい。

(b) エプロン舗装に関して

- (i) 航空機荷重の反復作用回数の現行の算出方法を変更する。

- (ii) コンクリート舗装を適用する。

- (iii) ローディングブリッジの車輪の数を 4~6 個に増し、荷重を分散させる。

(c) 関連研究事項について

- (i) ホイールトラッキング試験値を実際の舗装の挙動と直接または間接的に関連づける研究を行なう。

- (ii) 不連続粒度のアスファルト混合物について、安定性を特性値とする研究を行なう。

- (iii) わだちぼれ区域の補修方法として、プレキャストプレストレスコンクリートスラブの敷設工法を開発する。

- (iv) わだちぼれが発生した場合の補修判定基準を作成する。

謝 辞

本研究は運輸省航空局、港湾建設局ならびに北海道開発局の御協力を得てなされたものであり、特にわだちぼれ調査については、航空局建設課、千歳空港建設事業所、函館空港建設事業所、大阪空港工事々務所、別府港工事々務所、鹿児島港工事々務所の方々には直接多大な労を払っていただいた。ここに関係各位に感謝の意を表する次第である。

また、佐藤士質試験課長にはアスファルト混合物の室内試験に関して有意義な御意見をいただいたが、ここに感謝申し上げる。なお、室内試験は日本舗道株式会社の請負の下に実施されたことを付記する。

(1973年9月29日受付)

参 考 文 献

- 1) アスファルト舗装要綱, 日本道路協会, 昭和36年, p. 158.
- 2) 空港土木工事共通仕様書, 運輸省航空局, 昭和48年, 217 pp.
- 3) 鈴木康一, 山本信明: 最新アスファルトコンクリート舗装, 理工図書, 昭和47年, pp. 24~25.

- 4) 西田俊策, 青山一, 石野康太郎: 羽田国際空港滑走路の舗装, 土木施工, Vol. 7, No. 11, 昭和41年11月, pp. 173~178.
- 5) 松野三朗, 他: アスファルト舗装に関する試験, 建設図書, 昭和46年, p. 210.
- 6) 試験舗装による調査研究—発表会論文集—, 土木研究所資料, 第616号, 昭和45年10月29日, p. 18.
- 7) 5)の pp. 222~229.
- 8) 空港アスファルト舗装構造設計要領, 運輸省航空局, 昭和45年, 103 pp.
- 9) Bituminous Materials in Road Construction, Road Research Laboratory, Her Majesty's Stationery Office, 1962, p. 262.
- 10) 5)の pp. 250~253.
- 11) アスファルト舗装要綱, 日本道路協会, 昭和42年, pp. 148~150.