

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

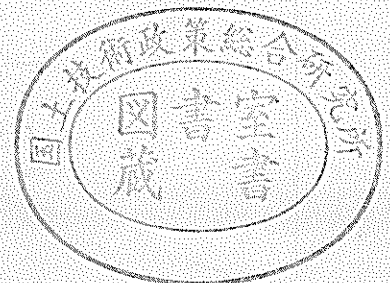
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 8

NO. 3

SEPT. 1969

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。ただし第1巻から第6巻および欧文編第1号から第15号までは下記のとおり不定期に刊行された。報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

和文篇 (Japanese Edition)

- Vol. 1. No. 1 (1963)
- Vol. 2. Nos. 1~3 (1963~1964)
- Vol. 3. Nos. 1~7 (1964)
- Vol. 4. Nos. 1~11 (1965)
- Vol. 5. Nos. 1~15 (1966)
- Vol. 6. Nos. 1~8 (1967)

欧文篇 (English Edition)

Report Nos. 1~15 (1963~1967)

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The report prior to the seventh volume were published in two series in Japanese and English as listed above.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第8巻 第3号 (Vol. 8, No. 3), 1969年9月 (Sept. 1969)

目 次 (CONTENTS)

1. Re-analysis of Laboratory Data on Wave Transmission over Breakwaters
..... Yoshimi GODA..... 3
(防波堤の伝達波高に関する実験値の再整理について.....合田良実)
2. 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第5報)
——八戸港の津波計算——.....伊藤喜行・谷本勝利・木原 力..... 19
(Digital Computation on the Effect of Breakwaters Against Long-period Waves
(5th Report) —For the Case of Hachinohe Port—
..... Yoshiyuki ITO, Katsutoshi TANIMOTO and Tsutomu KIHARA)
3. 造波板の変速運動による発生不規則波のスペクトルについて
.....合田良実・永井康平..... 47
(On the Spectrum of Irregular Waves Generated by the Variable Motion of Wave
Paddles..... Yoshimi GODA and Kohei NAGAI)
4. 粘土試料の攪乱に関する研究 (第2報)
——不飽和粘土のサンプリングに伴なう応力変化について——
.....奥村樹郎..... 77
(Studies on the Disturbance of Clay Samples (2nd Report) —Stress Changes of an
Unsaturated Clay during Sampling— Tatsuro OKUMURA)
5. 空港舗装用アスファルト材料の耐摩耗性とその試験方法について
.....赤塚雄三・関 博・小野寺幸夫..... 99
Abrasion of Asphalt Concrete for Runway Pavement and its Testing Method
.....Yuzo AKATSUKA, Hiroshi SEKI and Sachio ONODERA)

5. 空港舗装用アスファルト材料の耐摩耗性と その試験方法について

赤塚雄三*・関

博**・小野寺幸夫**

要 旨

滑走路の着陸接地帯は、航空機の着陸時に車輪による摩耗作用を受ける。本報告は滑走路舗装表層における摩擦による破損の程度を定性的に捉えることを目的としたものである。摩耗現象を実験的に再現するために、舗装材料摩耗試験機を試作した。本試験機は、周速 200 km/hr で回転する動輪により、供試体に一定時間摩耗作用が負荷される構造であって、接着圧、接着時間はある範囲内で任意に変え得る。今回、取り上げた試料はアスファルト合材であり、アスファルトの種類、アスファルト量、骨材の粒度などを要因として選定した。15種の成形試験片の摩耗試験を実施して、摩耗作用を受ける舗装材料の破損の経緯を考察し、各種の要因が耐摩耗性におよぼす影響を明らかにした。

* 第二港湾建設局 小名浜港工事々務所長

** 構造部 材料施工研究室

5. Abrasion of Asphalt Concrete for Runway Pavement and its Testing Method

Yuzo AKATSUKA*
Hiroshi SEKI**
Sachio ONODERA**

Synopsis

Touch zone of runway suffers abrasion action by the wheels of landing airplane. The purpose of this paper is to examine the degree of damage of pavement caused by friction between wheels of plane and the pavement. A new abrasion tester for paving materials was manufactured to reproduce experimentally the abrasion phenomenon. The mechanism of this tester is as follows: a rotating wheel whose perimeter velocity is 200 kilometers per hour gives the resting specimen the action of abrasion and the loading pressure and period of the wheel to the specimen are changeable. Fifteen specimens were made of asphalt concrete in which several factors were changed for each specimen, such as properties of asphalt, asphalt content, grading of coarse aggregate and so forth. From abrasion tests, abrasion process was investigated and the relations between abrasion and factors mentioned above were discussed.

* Dr. Eng., Chief Engineer, Onahama Port Construction Office, Second District Port Construction Bureau

** Member, Materials Laboratory, Structures Division

目 次

要 旨	99
1. ま え が き	103
2. 材料の性質および供試体の製作	104
2.1 使用材料	104
2.2 アスファルトの配合	104
2.3 供試体の製作	108
3. 舗装材料摩耗試験機および試験方法	109
3.1 舗装材料摩耗試験機の試作	109
3.2 供試タイヤ	111
3.3 摩耗試験の方法	111
4. 摩耗作用によるアスファルト舗装合材の摩耗現象	114
4.1 試験結果	114
4.2 摩耗深さの増加傾向	115
4.3 骨材粒度の影響	116
4.4 アスファルト量の影響	116
4.5 アスファルトの種類の影響	118
4.6 マーシャル安定度と耐摩耗性	119
5. 結 論	119
参考文献	119

1. まえがき

滑走路、誘導路、エプロンなどの空港舗装は、構造上本質的には道路舗装と同等とみなしうるが、その舗装形態は、舗装厚、材料の配合、締め固めなどの点で異なることも少なくない。これは、対象荷重が航空機と自動車との相違に基づくものである。主な相違点は総重量、車輪の接地圧、接地面積、荷重の載荷形式、交通分布などである。したがって、空港舗装において独自の設計法が適用されることは当然であるが、さらに道路舗装において考慮されなかったような問題が新たに検討を加えられるべき事項として提起されている。

本文ではとくに、航空機が着陸する際の滑走路表層のアスファルト舗装材料と航空機の着陸輪との摩耗現象を取り上げ、これを実験的に解明することを試みたものである。

航空機の着陸時における荷重は離陸時に比較してかなり減少する。たとえば DC-8-53/55 の場合、離陸最大荷重の 144.7 ton に対して着陸最大荷重は 108.9 ton となっており、ボーイング 707 の場合、各々の荷重は 148.0 ton および 105.1 ton である。このように国際線用クラスの航空機の場合ほぼ 40 ton 前後の重量減少がみられる¹⁾。さらに着陸時の航空機には、ある程度の揚力が作用しているので実際に着陸時の航空機から滑走路面に加えられる荷重は、さらにこれを下廻るものとみられる。したがって、離陸最大荷重で設計されている滑走路両端部は航空機の荷重や衝撃に対しては比較的大きな安全率を持つものといえる。

しかし名古屋空港やジョン・エフ・ケネディ空港などは、滑走路の着陸接地帯附近が航空機の着陸における衝撃的な摩擦作用によって、舗装表層部に若干の摩耗、破損が生じた例が報告されている²⁾。現在のところでは、このような摩耗破損が舗装破壊の直接的原因とはなっていないようである。しかし航空輸送需要の増大による航空機の大型化、交通量の著しい増加、着陸誘導装置の発達による航空機の着陸通過軌跡の集中化などが予測されることから、将来、航空機の着陸時における舗装の摩耗がさらに著しくなる傾向にあるものと思われる。

航空機の着陸時に生じる滑走路表層部の摩耗、破損は物理的作用および熱的作用の 2 種の原因に基づくものと考えられる。すなわち、物理的作用によるものは、航空機の手輪が滑走路面に垂直方向の荷重を与えることによ

り表層がはく離、飛散する場合、および車輪と滑走路表面との摩擦作用により舗装材料に水平方向のせん断力が作用してはく離、飛散する場合とに分けられる。さらにこれらは、アスファルト合材自身のせん断破壊、および合材と骨材との付着破壊とに区別される。熱的作用によるものは、航空機の着陸時に生じる摩擦熱によってアスファルト合材が熱的変化を呈して粘弾性的性質が変化し舗装表層部の骨材がはく離する場合、および摩擦熱によって舗装表層の温度が、合材自身の発火点以上に昇り白煙をあげたり、発火したりする場合とに分けられるであろう。しかしながら、これらの現象は同時に瞬間的に発生するものであり、明確に分離して検討を加えることは困難である。したがって、現段階においては、航空機の着陸時におけるような摩耗現象に対して、実験的手法により定性的に把握することも、一方法として適切であると考えられる。

現在、このような航空機の着陸時に生じる、舗装の摩耗現象に対しては、各国ともほとんど考慮していないのが実情である。わずかに耐はく離合材として加熱混合方式を推奨すること³⁾、あるいは舗装の耐久性を増加させるためにアスファルト量を若干多くする(約 8%程度)こと⁴⁾などの提示を行なうに止まっており、耐摩耗性を高めるための配合方法、摩耗の評価方法、限界値などに関してはほとんど資料が得られていないに等しい。一方、舗装合材の耐摩耗性試験としては、イギリスでロール・アスファルトに適用している車輪走行試験 (Wheel Tracking Test)、あるいは、冬季におけるタイヤ・チェーンによる道路舗装の摩耗を調べるためのラベリング試験⁵⁾などがあるが、これらはいずれも走行対象車両として自動車を想定しており、滑走路における航空機着陸時のような物理的、熱的作用の複合した特異な摩擦作用による摩耗を対象とするものではない。

本試験においては、このような観点からアスファルト舗装合材の耐摩耗性を実験的に評価することを試みたものである。最初に、滑走路における航空機着陸時の摩耗現象を実験室で再現するために、舗装材料摩耗試験機を試作した。つぎに、この試験機を用いてアスファルト種類、アスファルト量、合材骨材粒度などの異なる 15 種の成形試験片の摩耗試験を実施して、各種の要因が耐摩耗性におよぼす影響について検討したものである。

本報告書作成に当っては、滑走路研究室 須田 潔室長より、種々有益なる御教示を頂いた。ここに厚く御礼

申し上げる次第である。

2. 材料の性質および供試体の製作

2.1 使用材料

(i) 骨材

試験に用いた供試体の骨材は、粒径が 20~13 mm, 13~10 mm, 10~5 mm, 5~2.5 mm の4種の碎石, スクリーニングス, 粗砂, 細砂, 石粉の8種であって, これらの産地は表-1 に示される通りである。表-2 では, 骨

表-1 合材供試体の製作に用いた骨材の生産地

骨材の種類		生産地
碎石	20~13 (mm)	三菱鉱業社 砂岩
	13~10 (mm)	"
	10~5 (mm)	葛生石灰石
	5~2.5 (mm)	"
スクリーニングス		三菱鉱業社硬砂岩
粗	砂	利根川産
細	砂	習志野飯山満産
石	粉	浅野フィルター

材の各種物理試験結果を示している。

(2) アスファルト

供試体に用いたアスファルトは, ストレート・アスファルト 60/80 および 80/100 (日本石油株式会社製), ゴム・アスファルト (日産化学工業株式会社製, ガムファルト), プラスチック・アスファルト (日本石油株式会社製, プレミアム) の4種である。表-3 では, これらのアスファルトの各種性状試験結果を示している。

2.2 アスファルトの配合

試験に用いた舗装合材供試体は密粒度アスファルト・コンクリートと修正トペカの2種である。骨材の粒度はいずれも日本道路協会・アスファルト舗装要綱に規定されている粒度範囲⁴⁾内で3種に変化させたものである。すなわち, 標準配合による密粒度アスファルト・コンクリート用骨材粒度に基づいて使用骨材の粒度調整を行ない, 標準配合粒度における上限, 下限の両限界粒度に一致させたものと, この上下両限界範囲内の中央粒度を有するようにしたもの3種である。表-4 は粒度調整による骨材の配合割合を示したもので, 図-1 は, これら3種の骨材フルイ分け試験結果による粒度曲線を表わしている。

最適アスファルト量の決定にあたっては, 表-5 に示されるアスファルト・コンクリートの特性を基準とした。

表-2 合材供試体の製作に用いた骨材の物理的性質

骨材		碎石				スクリーニングス	粗砂	細砂	石粉	
		20~13 (mm)	13~10 (mm)	10~5 (mm)	5~2.5 (mm)					
比重	見掛け	2.679	2.695	2.792	2.753	2.675	2.707	2.707	2.725	
	表乾	2.659	2.671	2.741	2.689	2.619	2.595	—	—	
吸水量 (%)		0.4	0.5	0.9	1.5	1.3	2.6	—	—	
フルイ通過重量 (%)	フルイ寸法 (mm)	20	100							
		13	0	100						
		10		0	100					
		5			0	100				
		2.5				0	100	100		
		0.6					34	86	100	100
		0.3					20	37	98	98
		0.15					9.8	4.0	86	88
		0.074					4.8	0	15	70

空港舗装用アスファルト材料の耐摩耗性とその試験方法について

表-3 合材供試体に用いたアスファルトの各種試験結果

アスファルト種類		ストレート 60/80	ストレート 80/100	ゴム・アスファルト	プラスチック・アスファルト
針入度 (25°C, 100 g, 5 sec)		63	82	92	89
軟化点 (°C)		50.5	47.5	48.0	49.0
針入度指数		-0.6	-0.6	-0.1	0.0
伸度 (cm)	5°C	—	—	80	11
	10°C	23	100+	100+	29
	15°C	100+			100+
	25°C				
蒸発減量 (%)		0.02	0.02	0.05	0.19
蒸発残留針入度 (%)		97	96	88	84
引火点 (°C)		325	325	315	298
CCl ₄ 可溶分 (%)		99.7+	99.7+	99.7+	99.7+
高温粘度 (秒)	180°C	40	32	67	41
	160°C	78	58	110	77
セイボルトフロー	140°C	180	130	220	176
	120°C	450	310	560	440

表-4 供試体製作に用いた骨材の配合割合

舗装合材の種類	密粒度アスファルト・コンクリート			修正トペカ			
	下限	中央	上限	下限	中央	上限	
配合割合 (%)	(mm)	—	—	—	15	7	—
	20~13	—	—	—	15	7	—
	(mm)	15	7	—	6	6	6
	13~10	15	7	—	6	6	6
	(mm)	35	33	30	14	14	14
	10~5	35	33	30	14	14	14
	(mm)	15	17	20	15	15	15
	5~2.5	15	17	20	15	15	15
	スクリーンングス	24	28	31	36	37	35
	粗砂	4	4	4	7	8	12
細砂	4	4	3	7	8	8	
石粉	4	7	12	0	5	10	

図-2, 3 は、密粒度アスファルト・コンクリートと修正トペカについての最適アスファルト量決定のための各骨材粒度における密度、空げき率、飽和度、安定度およびフローの各試験結果を図示したものである。これにより表-5 に示す基準値を満足するアスファルト量の範囲を

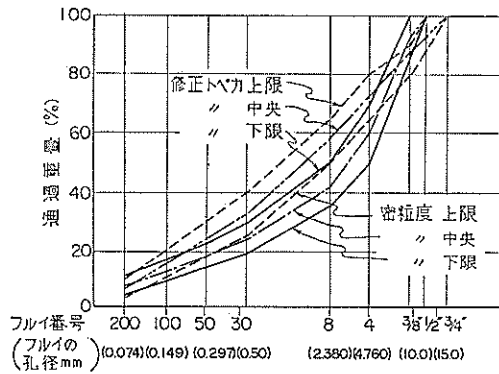
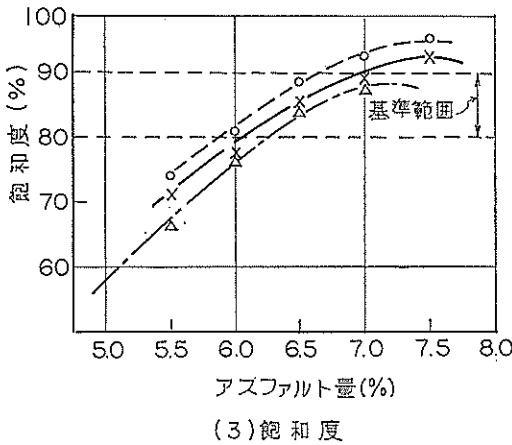
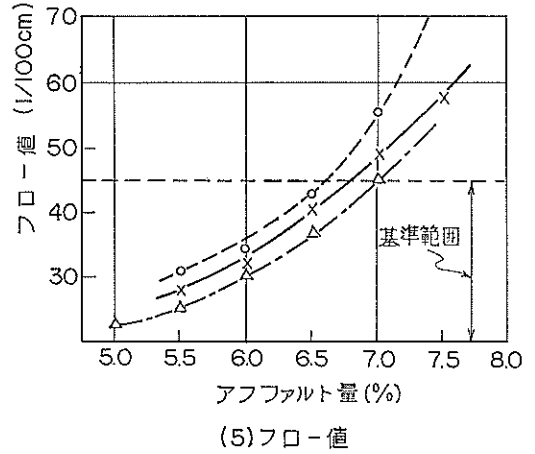
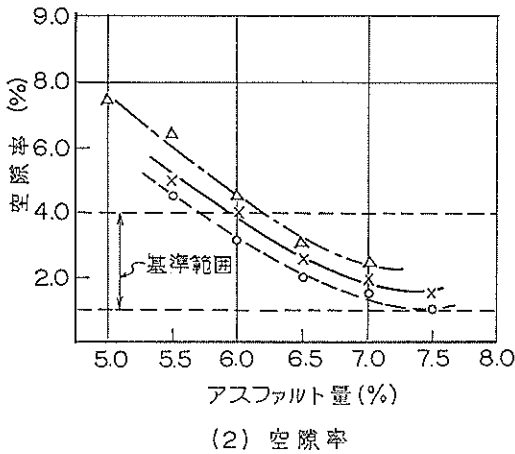
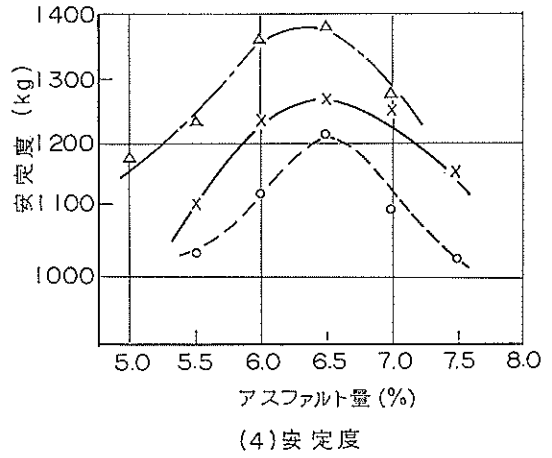
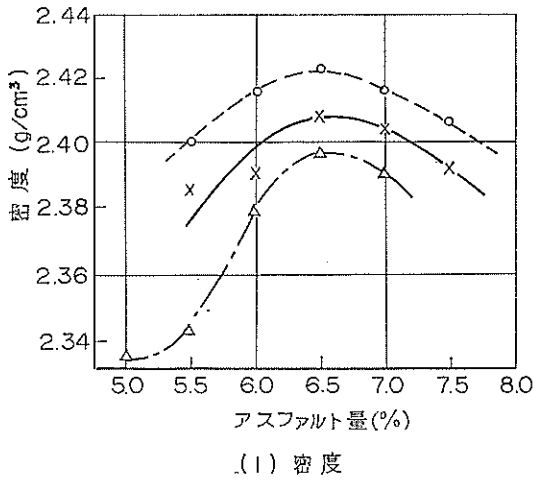


図-1 供試体に用いた骨材の粒度曲線

表-5 最適アスファルト量決定のための基準値

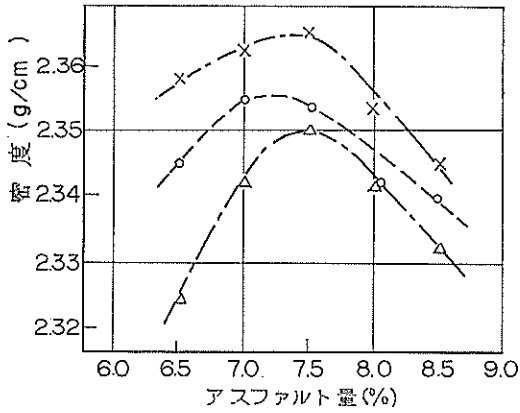
性 状	基 準 値
フ ロー (1/100 cm)	20~45
空 隙 率 (%)	1~4
飽 和 度 (%)	80~90



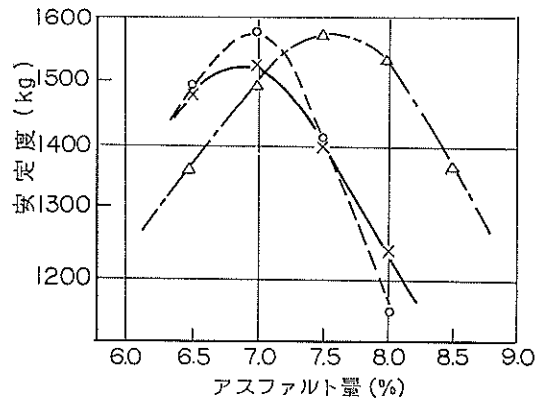
記号	骨材粒度
---○---	上限
---×---	中央
---△---	下限

図-2 各骨材粒度に対する最適アスファルト量の決定のための各種試験結果(密粒度アスファルト・コンクリート)

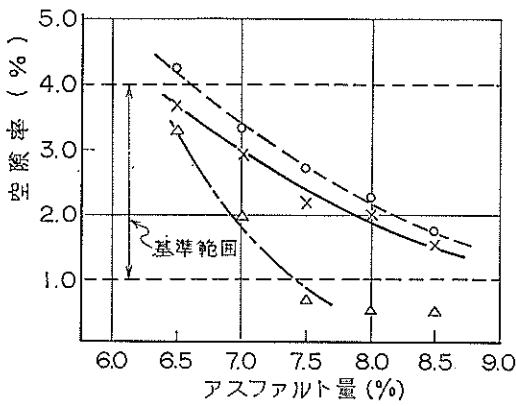
空港舗装用アスファルト材料の耐摩耗性とその試験方法について



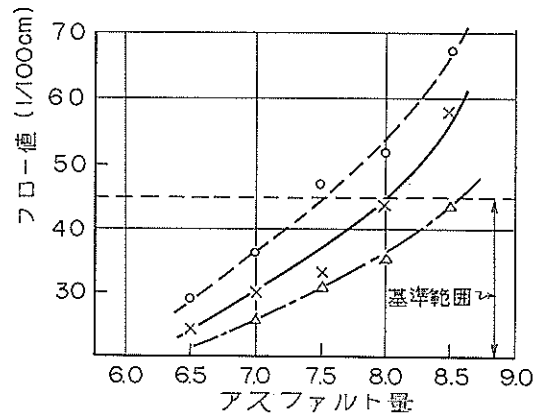
(1) 密度



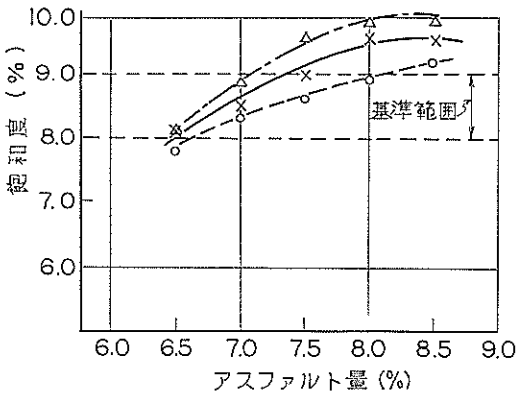
(4) 安定度



(2) 空隙率



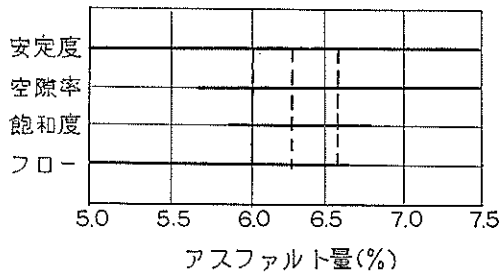
(5) フロー値



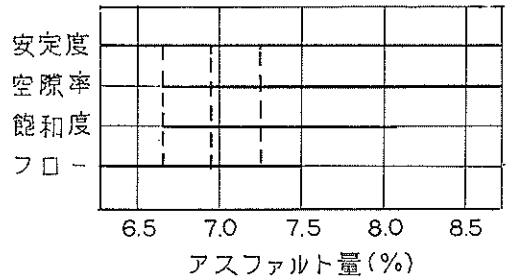
(3) 飽和度

記号	骨材粒度
---○---	上限
—×—	中央
---△---	下限

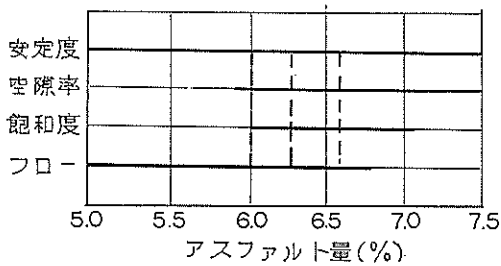
図-3 各骨材粒度に対する最適アスファルト量決定のための各種試験結果 (修正トペカ)



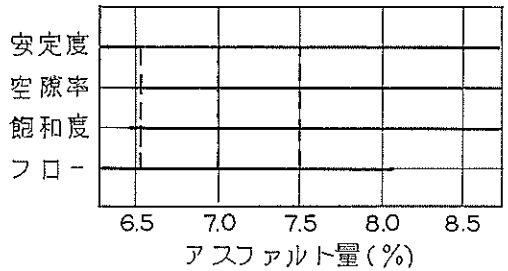
(1) 骨材粒度上限の場合



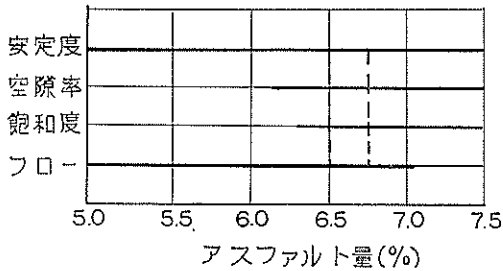
(1) 骨材粒度上限の場合



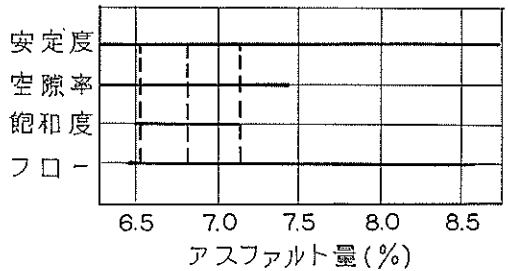
(2) 骨材粒度中央の場合



(2) 骨材粒度中央の場合



(3) 骨材粒度下限の場合



(3) 骨材粒度下限の場合

図-4 最適アスファルト量の決定
(密粒度アスファルト・コンクリート)

図-5 最適アスファルト量の決定
(修正トベカ)

求め、図-4, 5 に示されるようなアスファルト量の最小値をもって最適アスファルト量とした。表-6 は、各骨材粒度における最適アスファルト量を示している。

表-6 最適アスファルト量

骨 材 粒 度		上限	中央	下限
最適アスファルト量 (%)	密粒度アスファルト・コンクリート	6.3	6.3	6.7
	修正トベカ	6.9	7.0	6.8

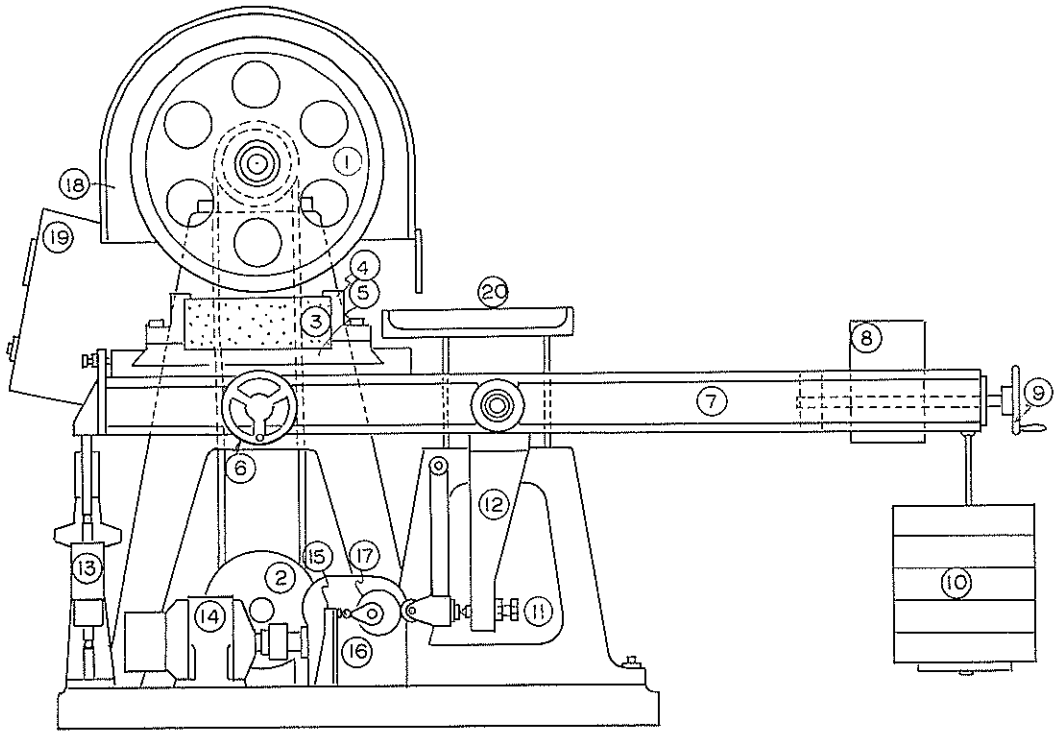
2.3 供試体の製作

試験に用いた供試体の形状は、30×30×10 cm であって、その数量は 15 個である。供試体の製作にあたって

は、加熱混合した舗装材料を所定形状の鋼製型枠に満たした後、耐圧試験機を用いて実際の舗装材料の転圧力にほぼ等しい圧力の下で加圧成形したものである。なお、供試体の製作は、日本舗道株式会社・技術研究所において実施したものである。これらの供試体を使用したアスファルトの種類、アスファルト量、骨材の粒度区分および供試体の密度は、表-7 に示した通りである。

供試体番号 1~9 は、密粒度アスファルト・コンクリートを用いたもので、1~3, 4~6, 7~9 では各々、標準粒度に対して上限、中央および下限の骨材粒度を有する骨材を使用したものである。アスファルト量は、各骨材

空港舗装用アスファルト材料の耐摩耗性とその試験方法について



構成 (部品名称)

① 動 輪 ② 動輪用電動機 ③ 供 試 体 ④ 供試体固定具 ⑤ テーブル ⑥ テーブル移動ハンドル ⑦ 載荷用レバー	⑧ バランス・ウエイト ⑨ 調整ハンドル ⑩ 分 同 ⑪ 載荷時間調整ネジ ⑫ レバー支腕 ⑬ オイル・ダンパー ⑭ 載荷機構作動用モーター (電磁ブレーキ付)	⑮ マイクロスイッチ ⑯ 減 速 機 ⑰ カ ム 固定フレーム部 ⑱ 防護カバー ⑲ 操 作 盤 ⑳ 塵 受
--	---	--

図-6 舗装材料摩耗試験機

粒度における最適アスファルト量, および最適アスファルト量の $\pm 0.3\%$ の増減を与えたものの3種に変化させた。供試体番号 10~12 では, 骨材粒度を中央とし, ストレート・アスファルト 80/100, ゴム・アスファルト, およびプラスチック・アスファルトの3種の異なるアスファルトを使用した。供試体番号 13~15 の供試体は, 修

正トベカであり, 上限, 中央, 下限の各粒度に対して最適アスファルト量を有するものである。

3. 舗装材料摩耗試験機および試験方法

3.1 舗装材料摩耗試験機の試作

試作した舗装材料摩耗試験機 (CH-1010 型, 株式会社

表-7 供試体諸元

供試体番号	アスファルト種類	アスファルト量 (%)	骨材粒度区分	密 度 (g/cm ³)
1	ストレート・アスファルト 60/80	6.3*	密 粒 度 上限	2.347
2	60/80	6.6	密 粒 度 上限	2.394
3	60/80	6.0	密 粒 度 上限	2.343
4	60/80	6.3*	密 粒 度 中央	2.354
5	60/80	6.6	密 粒 度 中央	2.356
6	60/80	6.0	密 粒 度 中央	2.321
7	60/80	6.7*	密 粒 度 下限	2.347
8	60/80	7.0	密 粒 度 下限	2.342
9	60/80	6.4	密 粒 度 下限	2.343
10	60/100	6.3*	密 粒 度 中央	2.345
11	ゴム・アスファルト	6.3*	密 粒 度 中央	2.354
12	プラスチック・ アスファルト	6.3*	密 粒 度 中央	2.352
13	ストレート・アスファルト 60/80	6.9*	修正トペカ 上限	2.308
14	60/80	7.0*	修正トペカ 中央	2.362
15	60/80	6.8*	修正トペカ 下限	2.245

注) 1) 供試体のアスファルト量の上限, 下限は最適アスファルト量 $\pm 0.3\%$ の値を使用した。
 2) * 各粒度における最適アスファルト量 (OAC) を示している。

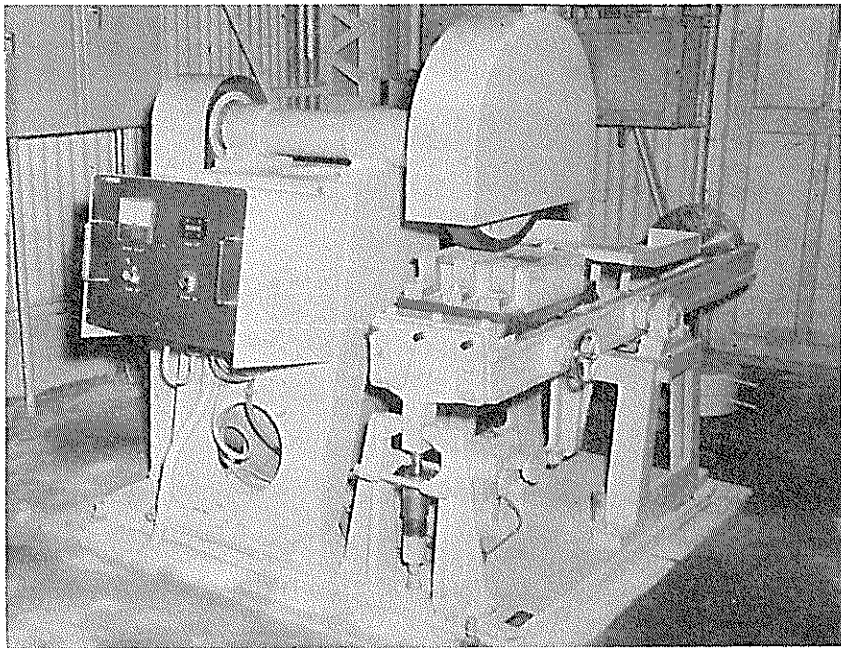


写真-1 舗装材料摩耗試験機

表-8 舗装材料摩耗試験機の主要諸元

型 式	MARUTO CH-1010 ゴム車輪回転式
供試体形状	30×30×10 cm
動輪周速	200 km/hr.
動輪回転数	2150 r.p.m.
接着圧力	1~10 kg/cm ²
接着時間	約2秒
接着サイクル	1 c.p.m.
タイヤ形状	φ50×6 cm および φ50×3 cm 矩形
供試体移動	スピンドル軸方向に ±100 mm 可動
繰返し方式	モーター・タイマーにより60秒に 1回カム・モーターに発信
動輪停止方式	接着直後にリミットスイッチにより 電磁スイッチ開放
接着圧力載荷方式	レバー分銅式
動輪駆動モーター	200 V, 15 HP

・丸東製作所製)の概略機構と形状を図-6 および写真-1 に示す。また、主要諸元は、表-8 に示す通りである。本試験機の特徴は、航空機の着陸時における車輪と滑走路表面との接触速度と接地圧を同時に接着速度、接着圧力として摩耗試験用供試体に作用させる機構を有している点である。

本試験機の機構は、動輪および動輪駆動部、載荷機構部、載荷機構作動部および固定フレーム部の4機構部より構成されている。試験機作動状況はつぎの通りである。すなわち、試験機操作盤上の作動スイッチを入れると動輪回転用モーター、および、供試体載荷接着盤上昇用カム・モーターに連動するモーター・タイマーが同時に始動する。このとき、カウンターには、1サイクルの作動、すなわち摩耗回数1回が記録される。動輪は、その周速が所定の速度になるよう空転加速され、その間、モーター・タイマーは、始動後、所定時間を経て、供試体載荷接着盤上昇用カム・モーターを始動させる。この時点で、動輪の空転により誘引される空気流によって、第2回以後の摩耗作用により生じる供試体摩耗面の熱を発散させ、温度の上昇を抑制する。そして、あらかじめ載荷荷重用重錘によって所定の接着圧力を与えられた供試体載荷接着盤は、カム・モーターの作動により上昇し、供試体を所定の周速で回転している動輪のソリッド・ゴムタイヤに載荷接着させる。供試体とソリッド・ゴムタイヤは、約2秒間この接着状態を保つが、動輪回転用モーターは、この載荷接着時に著しく負荷が増大する。こ

のため、本試験機では負荷の増大による電流の増加を所定の電流に制御している。したがって、初期の載荷接着の場合、その摩耗面における摩擦抵抗が大きく、2秒という接着時間の経過する以前に動輪の回転が停止されるときもある。一方、この作動と併行して、接着後所定の時間経過後に、載荷接着盤が下降し、供試体は載荷接着状態より無載荷状態に戻る。以上の機構により供試体に1回の摩耗作用が与えられ、自動的に次サイクルの作動に移るのである。

3.2 供試タイヤ

動輪に取り付けたソリッド・ゴムタイヤの性能は、航空機用のタイヤに準ずるもので、本実験においては、形状、材質の若干相違する2種のタイヤを用いた。その主成分は、RSS No. 1 のSBR (スチレン・ブタジエン・ラバー) がタイヤ成分の65%程度を占めるもので、それにカーボン・ブラック、イオウなどが混入されているクロロプレン系合成ゴム(ブリジストンタイヤ株式会社製)である。供試タイヤのゴムの諸性状は、表-9 に示す通りである。タイヤは、図-7 に示すように内径38 cm、外径50 cmの形状で、そのタイヤ幅は、実験Iにおいては6 cm、実験IIにおいては3 cmである。ゴムタイヤは、φ=9 mmのボルト6~12本を用いて動輪に固定した。試験機への取り付け状況は、写真-2, 3 に示される通りである。

表-9 動輪用ソリッドゴムタイヤの試験結果

タイヤ形状	圧縮強さ (kg/cm ²)	伸 び (%)	耐摩耗性 (cm ³)
φ50×6 cm	260	480	1
φ50×3 cm	220	400	1

- 注 1) 本表は JIS K-6380 1959 A-700 に基づく試験結果である。
 2) 耐摩耗性試験結果は Akron 摩耗試験機によるものである。
 3) φ50×6 cm のタイヤはキャンパス入りであり、本表では実験に用いたブリジストンタイヤ株式会社製のゴムタイヤの試験結果を示した。

3.3 摩耗試験の方法

試験条件は表-10 に示される通りである。すなわち、供試体と動輪ゴムタイヤとの接着圧は、実験Iにおいて約10 kg/cm²、実験IIにおいて約7.5 kg/cm²とした。この接着圧は、表-10 に示される航空機の接地圧を多少

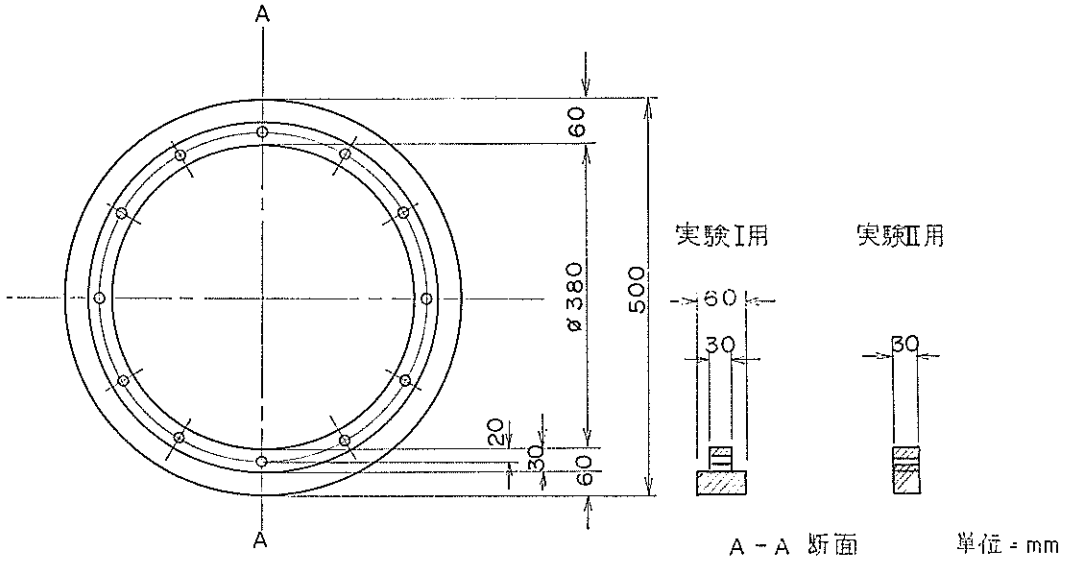


図-7 ソリッド・ゴムタイヤの形状

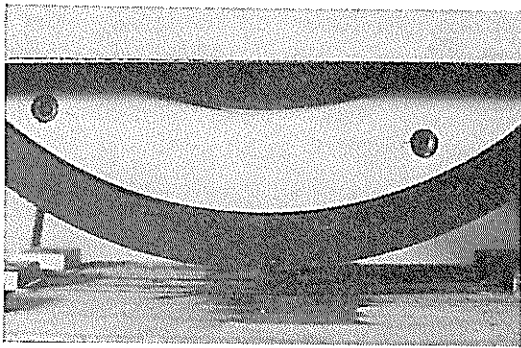


写真-2 ソリッド・ゴムタイヤの取付け状況 (1)



写真-3 ソリッド・ゴムタイヤの取付け状況 (2)

下廻るが、ほぼ実際の状況と類似した試験条件であると思われる。

摩耗深さの測定は、実験 I の場合は摩耗回数が 12, 25, 50, 100, 150, 200 回、実験 II の場合は摩耗回数が 5, 10, 25, 50, 100 回に達した時点において行なった。摩耗深さの測定には、目盛 1/100 mm のダイヤルゲージを用いた。写真-4 では、摩耗深さの測定状況を示している。すなわち、供試体の摩耗部より離れた位置にあらかじめ 3 個の標点を設け、この標点の頂部のなす平面を供試体表面と平行な同一平面上にあるように調整し、こ

表-10 試験条件

実験種別	実験 I	実験 II
載荷接着速度	200 km/hr	200 km/hr
初期接着圧力	10 kg/cm ²	7.5 kg/cm ²
載荷接着時間	2 秒	2 秒
負荷制御電流	35 amp.	35 amp.
サイクルタイム	60 秒	60 秒
タイヤ幅	6 cm	3 cm
測定摩耗回数	12, 25, 50, 100, 150, 200	5, 10, 25, 50, 100

表-11 航空機の設計諸元

航空機の種類	B-707	B-727	B-747	DC-853/55	CV-880	VIS-828	
総重量 (ton)	満載時	148.0	68.9	308.0	147.4	87.5	32.9
	着陸時	105.1	61.2	255.8	108.9	70.3	29.0
	空荷時	111.0	51.7	238.0	110.7	55.1	26.1
脚荷重 (ton)	満載時	69.0	32.1	75.1	67.1	39.4	14.8
	着陸時	49.0	28.5	62.4	49.6	31.7	13.0
	空荷時	51.8	24.1	58.1	50.4	24.8	11.7
タイヤ内圧 (kg/cm ²)	12.7	10.5	13.3	12.5	10.5	9.1	
タイヤ接地圧 (kg/cm ²)	14.0	11.6	14.6	13.8	11.6	10.1	
タイヤ接地面積 (cm ²)	満載時	1232	1383	1151	1216	852	732
	空荷時	925	1037	891	912	534	581
一車輪の接地幅 (cm)	29	31	28	29	24	22	

の平面上に摩耗深さ測定用平板を載せて、平板上からダイヤルゲージによって摩耗深さを測定するものである。摩耗深さは、摩耗の最も著しい箇所における摩耗前後のダイヤルゲージの測定値の差をもって表わした。

動輪用ソリッド・ゴムタイヤは、供試体と同一個数以上用意して、各供試体ごとに新しいタイヤを用いて、試験時のタイヤによる摩耗条件が一定となるようにした。タイヤ幅は、実験 I においては 6 cm として、実際の滑

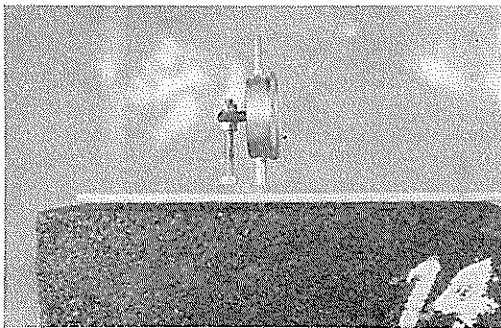


写真-4 摩耗深さの測定状況

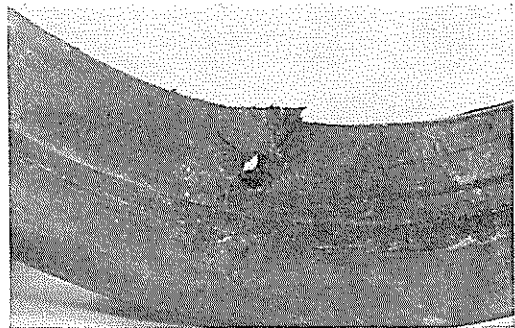


写真-6 ソリッド・ゴムタイヤ装置の破損の状況

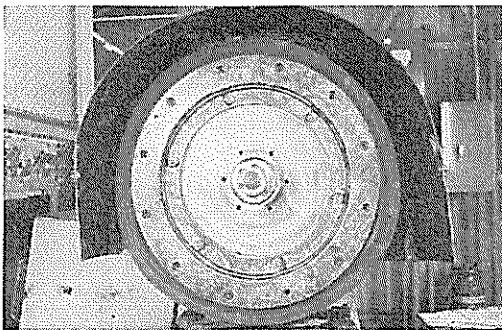


写真-5 動輪に装着したソリッド・ゴムタイヤの外方への膨らみの状況

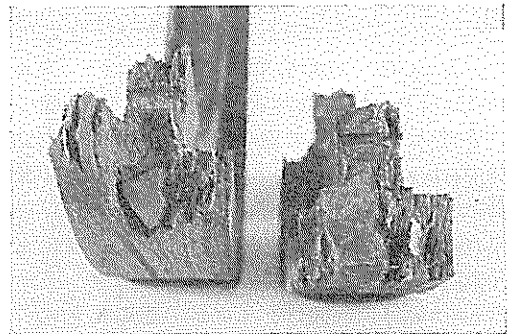


写真-7 破損したソリッド・ゴムタイヤの断面の状況

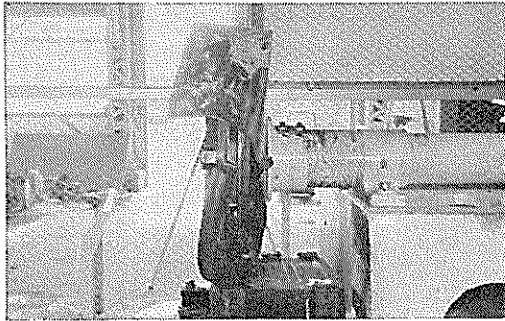


写真-8 破損したソリッド・ゴムタイヤの動輪からの離脱の状況

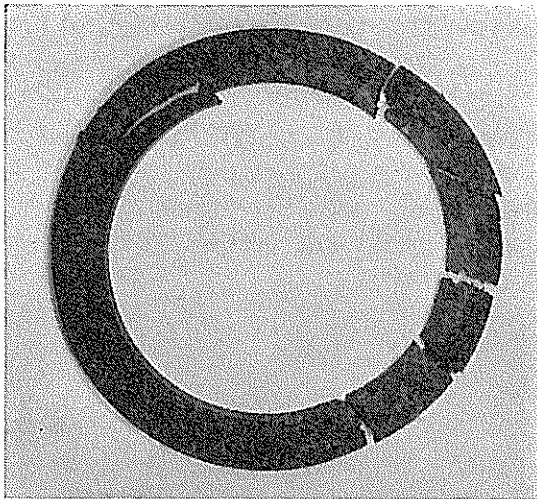


写真-9 破損切断したソリッド・ゴムタイヤ

走路における航空機のタイヤ幅と舗装に使用されている骨材最大寸法との比を同程度の値となるようにした。しかし、所定の摩耗回数に達する以前に、タイヤが、写真-5に示されるように動輪のタイヤ装着部よりはみ出したり、あるいは、写真-6, 7のような状態で、タイヤの装着孔附近より破壊する場合は非常に多くなり、タイヤ幅を6cmとする実験Ⅰの継続が困難となった。これは、動輪の回転によって生じる遠心力に対し、タイヤの装着方法が不十分であるためと思われる。したがって、実験Ⅱにおいては、遠心力を低減してタイヤの破壊を防止するためにタイヤ幅3cmに減じたものを用いた。これによりタイヤ破壊の頻度は減少したが、写真-8, 9に示すようにまだタイヤの装着孔付近で破断するケースが多く、所定の摩耗回数まで、同一タイヤで試験を継続するのが

困難な例も見られた。

4. 摩耗作用によるアスファルト舗装合材の摩耗現象

4.1 試験結果

各々の供試体における摩耗深さの測定結果は、実験Ⅰについては表-12、実験Ⅱについては表-13に示す通り

表-12 摩耗試験結果（実験Ⅰ）

（単位：mm）

供試体番号	摩耗回数（回）					
	12	25	50	100	150	200
1	2.48	3.75	4.33	4.68	5.08	5.79
2	3.41	3.44	4.81	5.81	6.92	7.64
3	2.52	2.90	2.93	4.91	5.08	5.42
4	1.89	3.24	4.41	4.82	4.90	6.05
5	1.35	2.55	3.00	3.32	3.35	3.75
6	2.24	2.44	2.66	3.36	—	—

注) 測定値はいずれも最大摩耗深さである。

表-13 摩耗試験結果（実験Ⅱ）

（単位：mm）

供試体番号	摩耗回数（回）				
	5	10	25	50	100
1	(1.08)	(1.37)	(1.88)	(2.75)	(4.86)
2	1.63	2.42	3.82	7.12	10.52
3	2.02	2.46	6.99	8.70	9.27
4	0.38	1.39	7.23	8.69	10.73
5	1.53	2.43	3.18	6.53	8.27
6	2.29	4.77	8.30	9.94	14.67
7	2.72	3.08	6.57	9.31	12.03
8	2.03	2.84	7.31	9.06	13.61
9	1.26	2.64	6.54	13.61	15.99
10	1.75	4.34	6.44	8.63	13.23
11	0.60	1.63	7.28	10.51	12.98
12	3.03	3.40	4.09	7.53	12.38
13	3.06	4.47	11.50	15.61	20.10
14	2.32	4.52	6.81	10.05	12.08
15					

注) 1) 測定値はいずれも最大摩耗深さである。
2) 供試体1の試験結果は摩耗条件が異っているので考察の対象とはしていない。

である。

4.2 摩耗深さの増加傾向

各供試体における摩耗回数と摩耗深さとの関係を、実

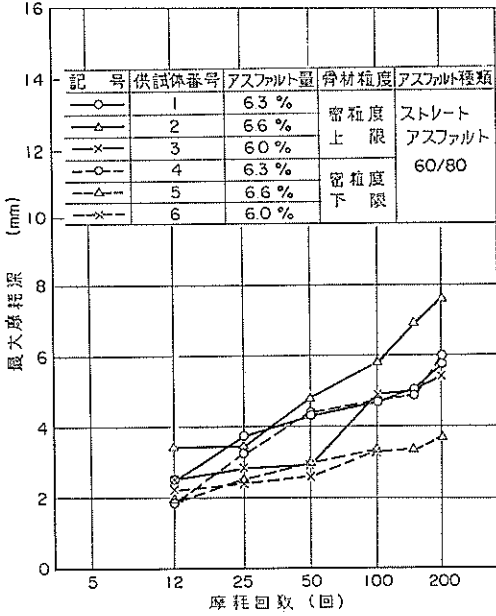


図-8 摩耗回数と摩耗深さの関係 (実験 I)

験 I では 図-8 に、また実験 II では 図-9、図-10 に示している。

実験 II においては、摩耗回数の増加に伴う摩耗深さの増加の傾向はほぼつぎの 4 段階に区分することができると思われる。すなわち、摩耗回数 1～5 回によって生じる第 1 段階の摩耗現象は、かなり急激的で供試体表面の摩耗部には溝の形跡ができて骨材表面が露出される。この現象は、プラスチック・アスファルトに最も明確にみられた。この第 1 段階の摩耗現象は、供試体表面におけるアスファルト・フィルムやアスファルト・モルタル部の摩耗によるもので、供試体の製作方法、アスファルトの種類、アスファルト量および配合などによって大きく影響されるものと思われる。つぎの第 2 段階は、5～10 回程度の摩耗回数時に生じる摩耗現象である。第 2 段階における摩耗深さの増加傾向は、第 1 段階の場合よりも小さく、摩耗現象は、骨材表面の摩滅、あるいは、骨材がわずかに破砕する程度である。この状態では、供試体材における骨材と結合材であるアスファルトが、摩耗に対して比較的有効に抵抗しているものと思われる。この傾向が顕著に表われているのは、密粒度アスファルト・コンクリートにおける骨材粒度が下限の配合となっている場合である。続く第 3 段階における摩耗現象は、摩耗

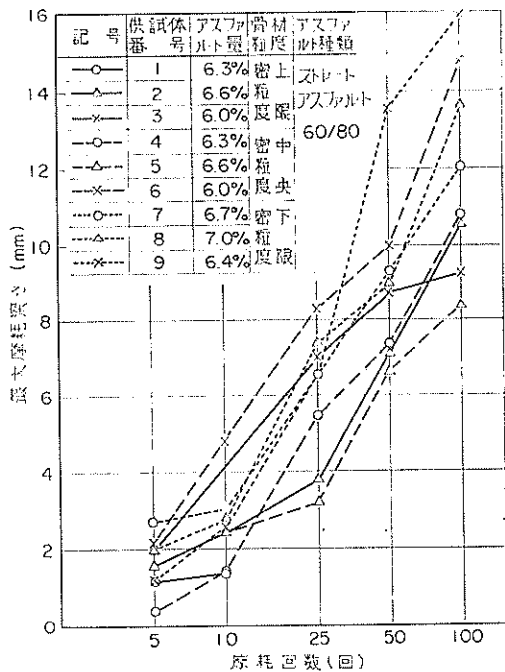


図-9 摩耗回数と摩耗深さの関係 (実験 II)

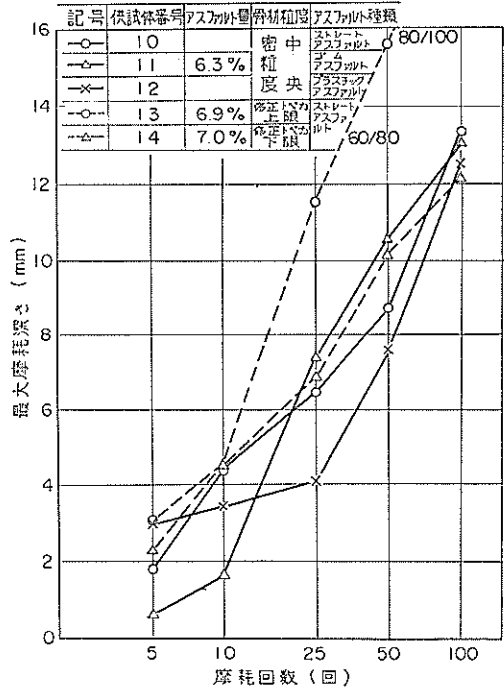


図-10 摩耗回数と摩耗深さの関係 (実験 II)

回数が 10~25 回の場合に生じている。第 3 段階における摩耗現象は供試合材における骨材の破碎、はく離、飛散が同時に生じているが第 2 段階の継続的な現象であるため明確な段階区分を示さない実験結果も少なくない。この第 3 段階における摩耗現象は、比較的アスファルト量の少ない供試体によく見られ、ソリッド・ゴムタイヤによる急激な摩耗作用と、合材における骨材とアスファルト結合材間の付着抵抗、および、骨材間における接触摩擦抵抗などの均衡形態が崩れ、合材としての組織が漸次、破壊してゆく過程を示すものと考えられる。つぎの第 4 段階は、摩耗回数がほぼ 25 回を越えた場合に見られ、骨材の破碎よりも、はく離、飛散が主な現象となる。第 4 段階において、摩耗は著しく増大するが、1 回の摩耗作用による摩耗深さは、初期の段階におけるより減少する。摩耗回数 50 回を越える時点においては、摩耗回数と摩耗深さは、ほぼ一次的関係を有するようである。したがって、本試験方法に準じて摩耗試験を実施する場合には、摩耗回数 70~80 回程度の摩耗深さを測定することにより、耐摩耗性を評価することができると思われる。

実験 I においては、摩耗回数の増加とともに摩耗深さは増大しているが、その絶対量は少なく、摩耗回数 200 回における摩耗深さは、実験 II の摩耗回数 10~25 回程度の場合に相当しているが、摩耗現象としては、骨材のはく離、飛散の現われる領域には到達していないようである。このような現象の相違は、実験 I と実験 II においては動輪のタイヤ幅が相違するため、供試合材の骨材

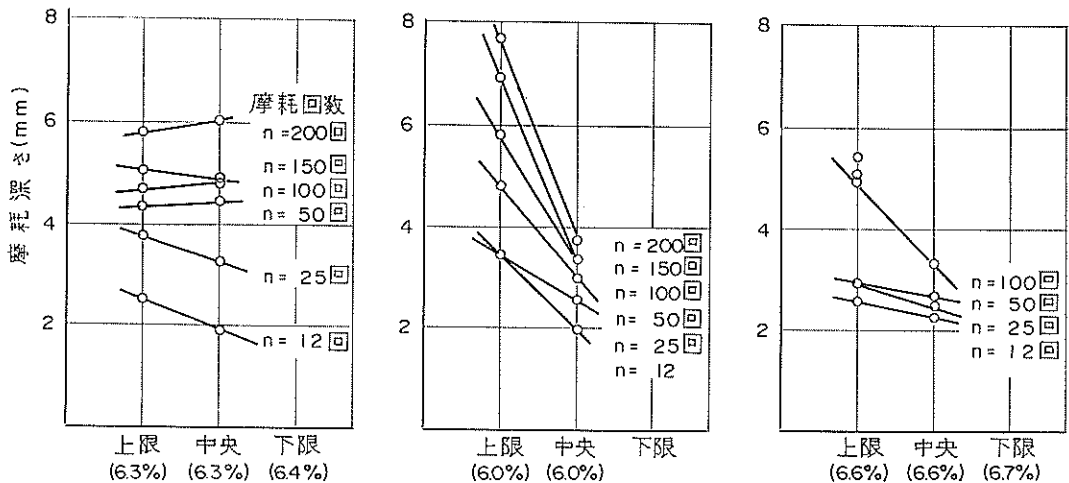
最大寸法とタイヤ幅との比率が異なること、供試体とタイヤの接着機構、摩擦圧力の分布が異なることなどの原因に基づくものと思われる。

4.3 骨材粒度の影響

図-11 では実験 I について、図-12 では実験 II についてのアスファルト量をほぼ同一とした場合の、供試合材における骨材粒度の相異による摩耗深さの増加傾向を示している。これによれば、同一摩耗回数において、密粒度アスファルト・コンクリートでは、骨材粒度中央のものが、他の骨材粒度のものに比較して、摩耗深さが少なくなっている。修正トベカでは、骨材粒度中央のものが、下限のものよりも摩耗深さは減少している。10~25 回程度の摩耗を受ける場合、すなわち、第 3 段階付近における摩耗現象においては、骨材粒度の相違による耐摩耗性の差異は明確でない。しかし、摩耗回数が 25 回を越え、合材骨材のはく離、飛散を伴う摩耗現象の第 4 段階に達すると、その摩耗深さの増加する傾向は、第 2、第 3 段階の摩耗現象とは、明確な相違を示し、摩耗深さは骨材の粒度によって大きな影響を受けるようである。これは、第 4 段階の摩耗現象を呈する場合には、合材の耐摩耗性に対してかなり重要な要因となりうることを示しているものと思われる。

4.4 アスファルト量の影響

図-13 では密粒度アスファルト・コンクリートを用いた供試体について、そのアスファルト量を最適アスファルト量、および、最適アスファルト量の $\pm 0.3\%$ の 3 種



密粒度アスファルト・コンクリート ()内の数字はアスファルト量
 図-11 骨材粒度と摩耗深さの関係(実験 I)

空港舗装用アスファルト材料の耐摩耗性とその試験方法について

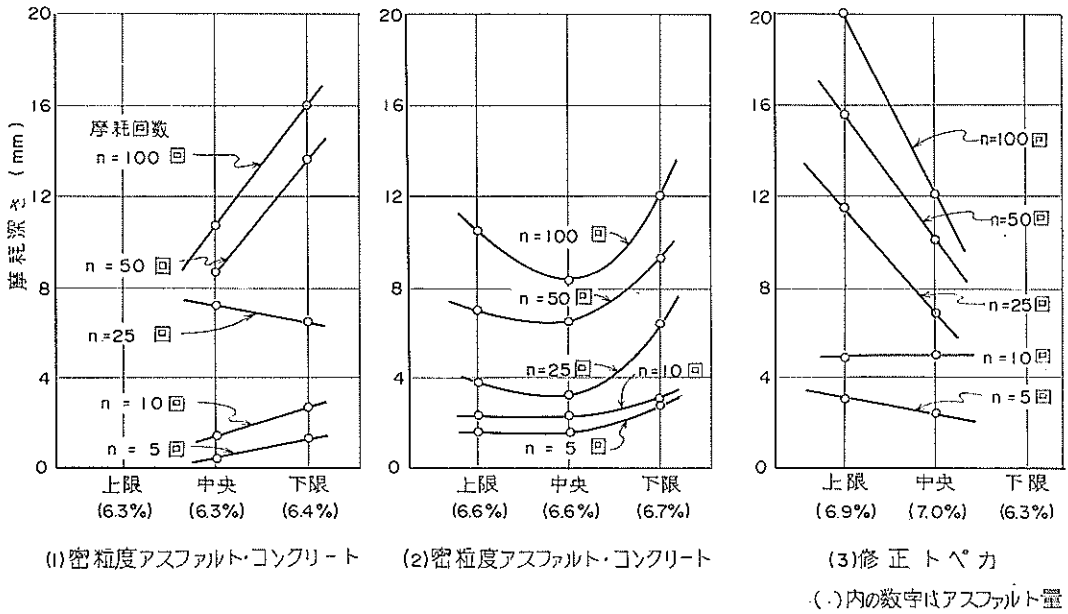
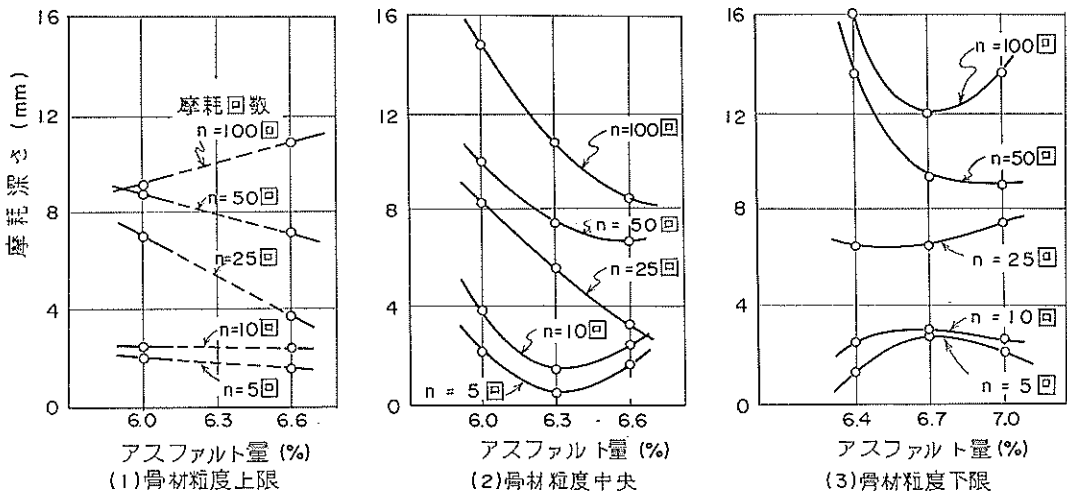


図-12 骨材粒度と摩耗深さの関係(実験Ⅱ)

類に変えた場合のアスファルト量の相違が摩耗深さに与える影響について示したものである。ただし、これらの供試体に用いた合材骨材粒度は、上限、中央、下限の3種の場合である。

これによれば、密粒度アスファルト・コンクリートにおいては、5~10回程度までの初期の摩耗作用に対して

は、上限および中央の骨材粒度の場合には最適アスファルト量を有するものが摩耗深さは比較的小きな値を示しており、骨材粒度下限の場合には最適アスファルト量を有するものが摩耗深さは、やや大きくなる傾向を示している。しかし、第3段階の摩耗現象を示す10~25回程度の摩耗作用に対しては、摩耗深さの変動が大きく、最



密粒度アスファルト・コンクリート

図-13 アスファルト量と摩耗深さとの関係(実験Ⅱ)

適アスファルト量に対して0.3%程度のアスファルト量の変化による耐摩耗性に与える影響を見いだすことは困難であった。摩耗回数が、25回以上となる場合、すなわち、第4段階の摩耗現象においては、骨材粒度上限の場合、摩耗深さには大きな差異が見られず、骨材粒度中央の場合には、アスファルト量が大なるものほど摩耗深さは少ない傾向が見られた。骨材粒度下限のものについては、最適アスファルト量を有する供試合材が最も優れた耐摩耗性を示していた。

4.5 アスファルトの種類の影響

供試体の製作に用いたアスファルトは、針入度 60/80, 80/100 の2種のストレート・アスファルト、ゴム・アスファルト、およびプラスチック・アスファルトの計4種である。本試験結果よりアスファルトの種類が摩耗深さの増加の傾向に与える影響について示したものが 図-14 である。なお、骨材粒度は、密粒度密合材における中央粒度とし、アスファルト量は、最適アスファルト量である6.3%の場合についての試験結果である。

図-14 によれば、針入度 80/100 のストレート・アスファルトの摩耗深さは針入度 60/80 の場合に比較して大きくなる傾向を示している。ゴム・アスファルトの場合、ストレート・アスファルトに比較してその性質は、適度の弾性があり、自動車走行時の衝撃および摩耗作用に対して抵抗性が大きいとされているが^{5),6)}、本実験のような

強度の摩耗に対する抵抗性は、第3段階の摩耗現象程度まででは、針入度 60/80 のストレート・アスファルトの場合とほぼ同程度となっている。第4段階以降における摩耗現象においては、ストレート・アスファルトよりも摩耗深さは若干増加する傾向を示すが、耐摩耗性に明確な相違があるとはいえない。

プラスチック・アスファルトは、アスファルトに樹脂を混入することにより、合材の耐久性、付着性の増大を目的としたものであるが^{7),8)}、本実験結果においては、摩耗回数が10回程度の場合の摩耗深さは、他のアスファルトを使用した供試合材の摩耗深さを上廻る値を示している。第4段階の摩耗現象における摩耗深さは、他のストレート・アスファルト、ゴム・アスファルトを用いた供試合材の摩耗深さに対して、明確な差異は認められなかった。

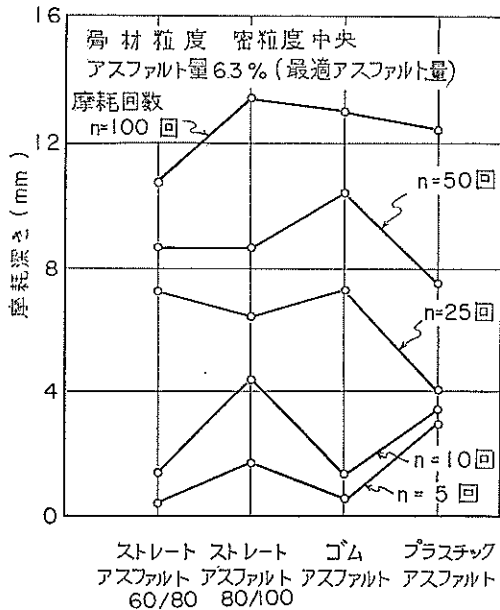


図-14 アスファルト種類と摩耗深さの関係 (実験Ⅱ)

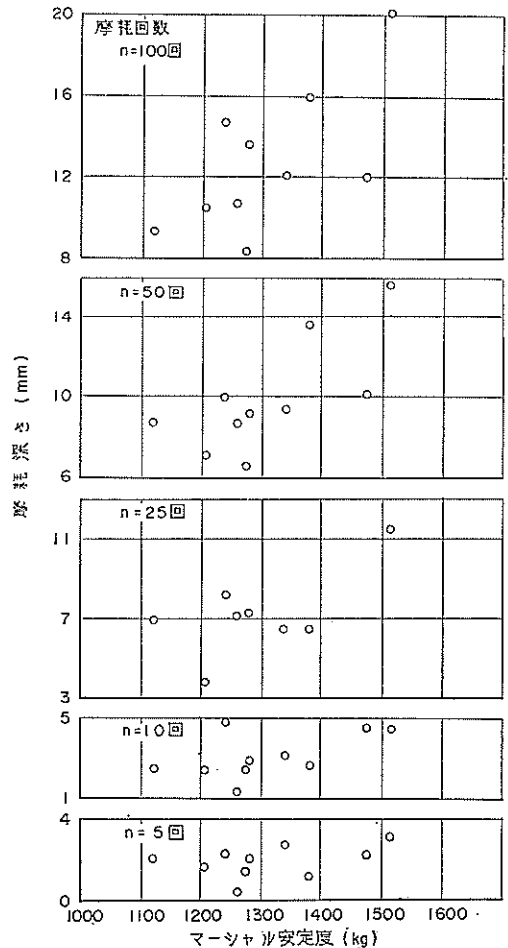


図-15 マーシャル安定度と摩耗深さの関係 (実験Ⅱ)

本実験の範囲内では、摩耗回数 25 回以降における第 4 段階の摩耗現象の場合、アスファルトの種類によって耐摩耗性に大きな相違は認められなかった。今回、試験に用いた供試合材の成形条件は、ほぼ同一であるが、舗装現場においては、施工技術、施工機械などの施工条件によって、舗装合材表層の性状がかなり異なると考えられ、したがって、今後は施工方法による舗装の質の点に関しても検討の余地があると思われる。

4.6 マーシャル安定度と耐摩耗性

本試験結果からマーシャル安定度と摩耗深さとの関係について示したものが図-15 である。

図-15 によれば、マーシャル安定度と摩耗深さとの間に明確な相関性は認められない。

マーシャル安定度は、アスファルト合材の静的な強度特性を示す一指標と考えられ、本試験結果では、静的な安定度を耐摩耗性の評価に直接に適用することが不可能であることを示しているものと思われる。したがって、物理作用、熱作用を伴う急激な摩耗現象に対して、その摩耗の程度を適確に判定するためには、新たに試験方法を開発する必要があるものと考えられる。

5. 結 論

滑走路の着陸接地帯における、航空機の車輪による摩耗現象を定性的に捉えることを目的として、アスファルト舗装材料の摩耗試験を実施した。

航空機による着陸時の滑走路表層の摩耗現象を実験室で再現するために、舗装材料摩耗試験機を試作した。実験要因としては、試験機のタイヤ幅、アスファルトの種類、アスファルト量、合材骨材粒度などを取り上げた。

本実験の範囲内では、およそつぎの事項がいえると考えられる。

(1) 骨材の粒度による耐摩耗性は、摩耗作用が増加して、著しい摩耗破損が進んだ状態のときに最も顕著に現われている。本実験においては、骨材粒度による耐摩耗性の最も大なる骨材粒度は、密粒度密合材ではアスファルト舗装要綱に定める粒度範囲の中央の粒度を有する場合であった。

(2) アスファルト量による耐摩耗性は、摩耗回数が 25 回を越える場合に、骨材粒度中央においては最適アスファルト量のアスファルト量 $+0.3\%$ の供試合材が、また、骨材粒度下限においては最適アスファルト量を有する供試合材が最も優れた耐摩耗性を示していた。

(3) 本試験結果では、ストレート・アスファルト、ゴ

ム・アスファルト、プラスチック・アスファルトの 3 種のアスファルトを使用した供試合材間における耐摩耗性の明確な差異は認められなかった。

(4) 舗装合材の摩耗現象は、ほぼ 4 段階に区分することができるようである。すなわち、初期の摩耗作用によって表層のアスファルト結合材の摩耗が生じたり（第 1 段階摩耗）、骨材表面が露出され、わずかに摩滅する程度（第 2 段階摩耗）で、その摩耗深さは比較的小さい。そして、供試合材中の結合材であるアスファルトと骨材による衝撃的摩耗に対する抵抗方式の限界（第 3 段階摩耗）があり、この限界を越えて摩耗を受ける場合、摩耗現象は、はく離、飛散が主現象となる（第 4 段階摩耗）ようである。

摩耗現象は、多くの要因により左右され個々の要因による影響の程度、および、これらの相互関連性など不明の事項が多々残されており、本実験においては、これらの基礎的資料を提出するに止めた。

本実験において、最も困難とされたのは、航空機の着陸時に相当する接着速度と接着圧力の下で、摩耗現象を実験室で適確に再現することであった。特に、供試合材の摩耗とともに試験機に装着するソリッド・ゴムタイヤの摩耗が著しく、これに応じて試験条件も各摩耗回数ごとに変化するものは避け難いものとなっている。本実験では、これを一定に保つようには努めたが、必ずしも期待通りの効果を挙げ得ず、試験結果には、この影響が幾分含まれているものと思われる。

したがって、摩耗試験方法自体の再検討が極めて重要な課題と思われる。さらに、今後航空機の着陸輪ゴムタイヤと滑走路舗装合材との摩耗量の限界を規定し、これらの課題の合理的解決を図るためには、以下の問題点が残されていると思われる。

(1) 航空機による着陸時の摩耗現象を十分に調査し、再現性の優れた摩耗試験機を開発する。

(2) 実際の航空機着陸時の摩擦熱の発熱量、熱の伝播現象を理論的、実験的に検討してこれが舗装合材の摩耗におよぼす影響を調査する。

(3) 自然条件下における、滑走路舗装合材の耐久性と摩耗現象との関係を検討する。

(4) 摩耗現象における摩耗深さと合材骨材のはく離、飛散現象との相関性の調査検討を行なう。

参 考 文 献

- 1) 須田 潤, 佐藤勝久, 藤本 悠久: “空港アスファルト

- 舗装の設計に関する提案”，港湾技研資料 No. 54, pp. 52~74, 1968年9月
- 2) 運輸省港湾技術研究所：“米国およびカナダにおける空港土木の現況” 52 pp., 1967年1月
 - 3) 大越孝雄, 臼井加一：“タイヤチェーンによるアスファルト舗装のはく離摩損とその対策について” 日本道路協会, 第4回日本道路会議論文集, pp. 257~260, 1958年3月
 - 4) 日本道路協会：“アスファルト舗装要綱” pp. 57~59, 1967年12月
 - 5) 日瀝化学工業株式会社：“アスファルト舗装材料” アスファルト舗装講座 第1巻, pp. 66~84, 1962年6月
 - 6) 斎藤茂, 佐藤昌司, 杉本容信：“ゴム化アスファルト混合物のはく離性について” 日本道路協会, 第7回日本道路会議論文集, pp. 383~386, 1964年3月
 - 7) 梶田慈, 佐々木賢也：“樹脂変性舗装用アスファルト” 日本道路協会 第8回日本道路会議論文集 pp. 358~360, 1966年3月
 - 8) 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, 7巻11号, pp. 173~178, 1966年1月

(1969.7.7. 受付)