

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 308 Dec 1978

空港アスファルト舗装におけるグルーピングの安定性に関する研究

佐 藤 勝 久
福 手 勤
佐 藤 峰 夫

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. グルーピングの破損状況	3
2.1 破損状況調査	3
2.2 調査結果	4
2.3 考 察	6
3. 室内試験による検討	7
3.1 概 説	7
3.2 試験方法	7
3.3 試験結果	8
3.4 考 察	14
4. 試験舗装による検討	17
4.1 概 説	17
4.2 試験舗装の種類と試験方法	17
4.3 試験結果	19
4.4 考 察	21
5. ま と め	23
6. あ と が き	24
謝 辞	24
参考文献	24

Studies on the Stability of Grooves in Asphalt Pavements

Katsuhisa SATO*
Tsutomu FUKUTE**
Mineo SATO**

Synopsis

In this country, runway grooving has been becoming to be widely adopted to insure safer operation of large or high-speed aircraft at time of take-off or landing.

According to the experience in some airports, there are several deteriorations of grooves such as flowing back together and wearing of their edges in asphalt pavement. The stability and durability of grooves must be large to sustain the intended functions of grooving for a long period.

To improve the stability and durability of grooves in asphalt pavement, we made clear at first the basic characteristics of deteriorations of grooves, and investigated on what kinds of runway surface materials were more suitable for grooving and how long runway surface materials had to be cured until grooving construction.

From these investigations, the following items were indicated.

- (1) The aggregate in asphalt concrete should be coarser than that used up to now.
- (2) Rubber-resin-asphalt is desirable for the binder in asphalt concrete.
- (3) The minimum curing time of runway surface materials until grooving construction may be two months.

*Chief of the Runways Laboratory, Soils Division

**Member of the Runways Laboratory, Soils Division

空港アスファルト舗装における グルーピングの安定性に関する研究

佐藤 勝久*
福手 勤**
佐藤 峰夫**

要 旨

最近の航空機の大型化，高速化に対処して，離着陸時の安全性のより一層の確保のため，滑走路上にグルーピングを設置することが多くなってきた。

アスファルト舗装上のグルーピングが所期の機能を長期間にわたって持続するには，グルーピングの安定性や耐久性が十分でなくてはならない。いくつかの空港での実績によれば，グルーピング溝の目つぶれや角欠けといった破損がみられる。

グルーピングの安定性の向上のため，グルーピングの破損について基本的性質を調べ，なおグルーピングが施工される滑走路の表層材料，あるいはグルーピングの施工時期などについて検討した。その結果，グルーピングの安定性が大きい表層材料は，骨材粒度が従来のものより粗く，バインダーとしてゴム樹脂入りアスファルトを用いたものであること，グルーピング施工までに表層は最低2か月は養生する必要があることなどがわかった。

1. ま え が き

航空機の滑走路上での運航においては，湿潤時滑走路表面に生ずる水膜によってハイドロブレイニングが生じたり，摩擦抵抗の低下とともに制動距離が増加するなど，安全な運航の妨げとなる場合も皆無ではない。そこでこのような危険性をできるだけ少なくするため，滑走路舗装上にグルーピング（滑走路の横断方向に幅6mm，深さ6mm程度の溝を数多く切ったもの）を施工することが，空港整備の一環として昭和51年度より行われている。

グルーピングが滑走路面の排水やすべり抵抗にどのような効果があるかについては，国外，国内で数多くの調査，研究がなされている^{1),2)}。しかしグルーピングの設計，施工に関連して，グルーピングの長期にわたる安定性，耐久性などについては，まだ十分な検討がなされているわけではなく，グルーピングの実施にあたって，滑走路表層材の選定や施工時期の決定などでとまどいを感じる人が多い³⁾。

そこでこれら問題点の中でもグルーピングの破損に関連が深い航空機荷重に対するグルーピングの安定性に着目し，以下本資料で検討することにする。グルーピングを施工すべき滑走路舗装としては，アスファルト舗装と

コンクリート舗装があるが，わが国の現状をみると，コンクリート舗装の滑走路はごくわずかで，また外国での実績³⁾などによるとコンクリート舗装でのグルーピングにおいては，安定性や耐久性であまり問題になることがないことから，本研究の対象は，問題が多々あるアスファルト舗装のグルーピングに絞ることにする。

アスファルト舗装のグルーピングの問題点がどのようなどころにあるのかを，何年か供用され経過したグルーピングの破損状況調査から把握し，これら問題点の解明と改善を室内試験と試験舗装での検討から考えてみる。グルーピングを施工してできるだけ破損を少なくするためには，どのようなアスファルト混合物が適当かを，アスファルトの種類，アスファルト量，使用骨材粒度などの観点から考える。また表層アスファルト混合物の安定性，耐久性との関係で，グルーピングの施工時期についても考察を加える。

2. グルーピングの破損状況

2.1 破損状況調査

調査は，昭和51年度までに施工され最低1年間は供用されたグルーピングに対して実施した。調査対象空港のグルーピング施工年月と調査年月は，表-1に示されている。

* 土質部 滑走路研究室長

** 土質部 滑走路研究室

調査項目としては、グルーピングの破損状況はもちろんのことであるが、そのほかグルーピングの破損と深いつながりがあると考えられる運航条件（就航航空機、運航回数）、気象条件（天候、気温、降雨、降雪）、舗装条件（舗装の種類、表層材料、表層施工年月）なども含めた。ここにグルーピングの破損に大変関係が深いと考えられる舗装の温度が含まれていないのは、この項目が一般には定常的に測定されていないからで、気温などから推察することにした。

2.2 調査結果

表-1に調査各空港の一般的事項をまとめて示す。

グルーピングの破損については、図-1～図-4および写真-1,2のとおりである。

今回の調査の範囲内では、グルーピングの破損は大きく分けて、(I)目つぶれ、(II)角欠けになる。写真-1が目つぶれの代表的なもので、写真-2が角欠けの代表的なものである。

表-1 調査空港のグルーピング諸条件

空港名	A	B	C	D																																																												
運航条件 就航航空機	B-737	B-747, L-1011, DC-10 DC-8, B-727, DC-9 B-737, YS-11 その他	B-727, DC-9, YS-11 (B-737)	B-747, L-1011, DC-10 DC-8, B-727, DC-9 YS-11 その他																																																												
運航回数	B-737 4便/日	51年 定期 165,832 その他 2,610	着陸回数(51年) 定期 5,060 その他 1,730	着陸回数(52年) 定期 28,300 その他 2,800																																																												
気象条件 気温(°C)		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">51年</th> </tr> <tr> <th></th> <th>最高</th> <th>最低</th> <th>平均</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>31.8</td> <td>13.2</td> <td>23.2</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>32.0</td> <td>18.0</td> <td>24.7</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>30.8</td> <td>13.4</td> <td>21.7</td> </tr> </tbody> </table>	51年					最高	最低	平均	7	31.8	13.2	23.2	8	32.0	18.0	24.7	9	30.8	13.4	21.7	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">51年</th> </tr> <tr> <th></th> <th>最高</th> <th>最低</th> <th>平均</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>29.4</td> <td>21.4</td> <td>25.0</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>30.7</td> <td>23.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>25.4</td> <td>17.1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	51年					最高	最低	平均	7	29.4	21.4	25.0	8	30.7	23.1		9	25.4	17.1		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">51年</th> </tr> <tr> <th></th> <th>最高</th> <th>最低</th> <th>平均</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>29.4</td> <td>21.4</td> <td>25.0</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>30.7</td> <td>23.1</td> <td>26.7</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>25.4</td> <td>17.1</td> <td>20.9</td> </tr> </tbody> </table>	51年					最高	最低	平均	7	29.4	21.4	25.0	8	30.7	23.1	26.7	9	25.4	17.1	20.9
51年																																																																
	最高	最低	平均																																																													
7	31.8	13.2	23.2																																																													
8	32.0	18.0	24.7																																																													
9	30.8	13.4	21.7																																																													
51年																																																																
	最高	最低	平均																																																													
7	29.4	21.4	25.0																																																													
8	30.7	23.1																																																														
9	25.4	17.1																																																														
51年																																																																
	最高	最低	平均																																																													
7	29.4	21.4	25.0																																																													
8	30.7	23.1	26.7																																																													
9	25.4	17.1	20.9																																																													
舗装条件 表層施工年	51年7月	45年度、46年度、48年度 52年度	45年度 46年度 47年度	48年8月～49年12月																																																												
表層材料 アスファルト量(%) 針入度	6.5 60～100	6～7 60～80、80～100	6.2 6.2 6.2 9.0 9.1 8.6	6.06 (抽出値) 7.0 (実地値)																																																												
施工条件 施工期間 施工機械	51年9月16日～10月15日 ハッチャー G36	48年10月～11月 52年4月～6月 クリッパー ハッチャー SG240 G36	51年11月2日～52年1月20日 クリッパー SG240	51年9月28日～52年1月31日 ハッチャー G36																																																												
施工範囲(m) (R/W 幅×長)	30.5×1,500 (45×1,500)	3.5×2.00 3.0×1,280 3.5×2.00 (4.5×2,500)	3.0×2,000 (4.5×2,000)	4.0×2,800 (6.0×2,800)																																																												
標準断面(mm) (幅×深×間隔)	6×6×32	10×6×127 6×6×32 6×6×48	6×6×32	6×6×32																																																												

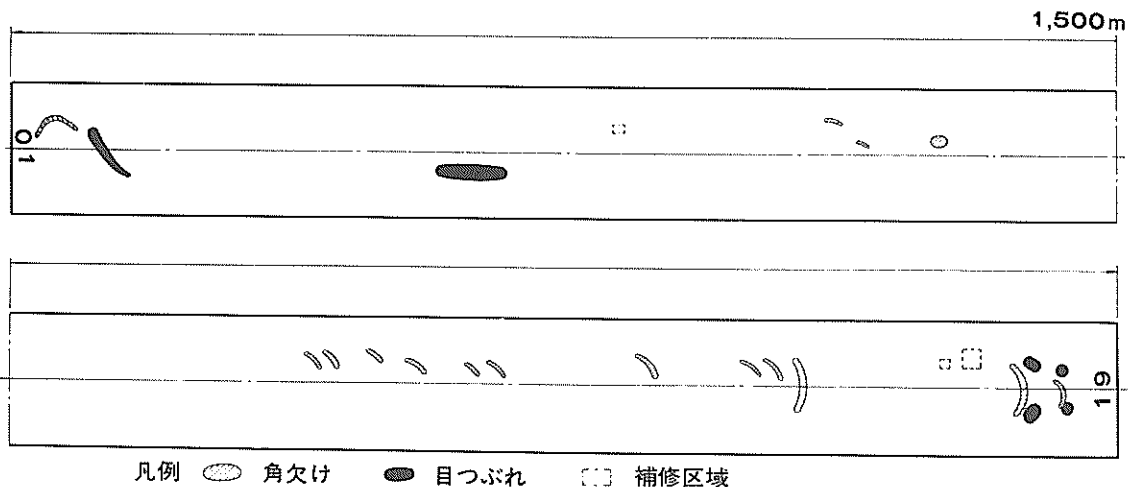


図-1 A空港のグルーピングの破損状況

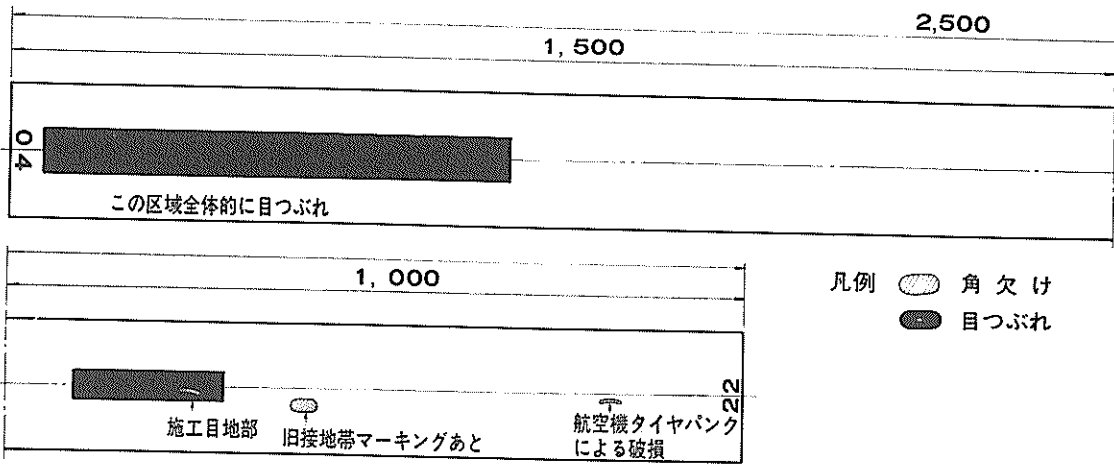
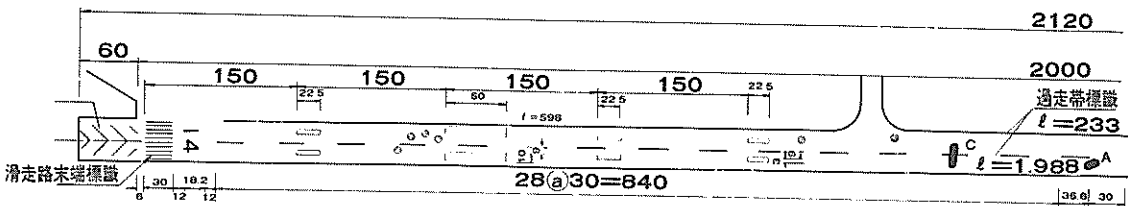
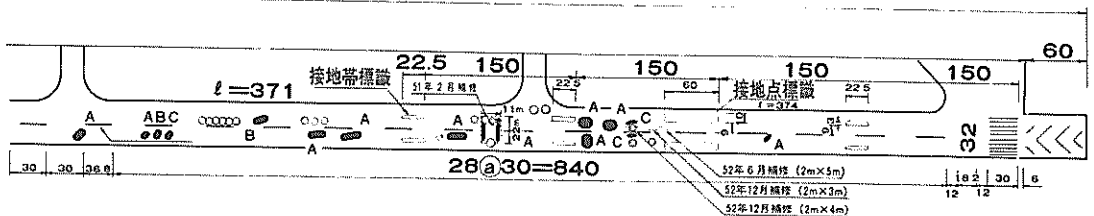


図-2 B空港のグルーピングの破損状況



(単位：m)



凡例 ● 目つぶれ (A：目が完全にふさがっているもの、B：目が溝幅で50%以上ふさがっているもの、C：目が溝幅で50%以下のつぶれのもの)
 ○ 角欠け
 □ 補修区域

図-3 C空港のグルーピングの破損状況

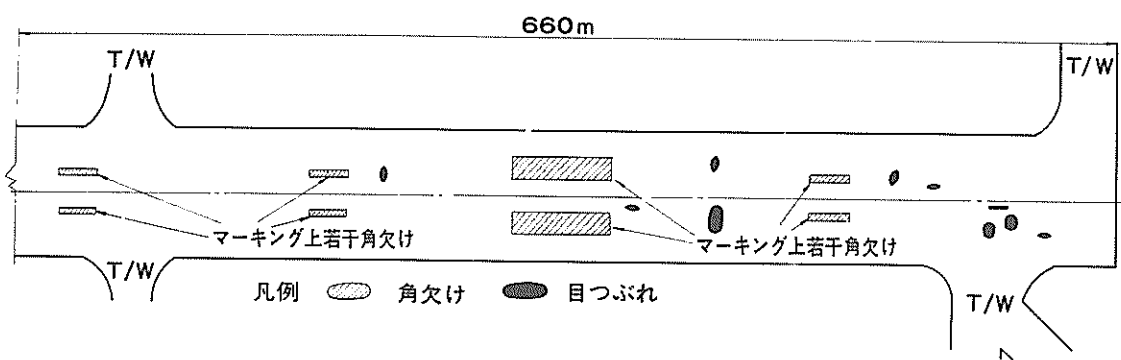


図-4 D空港のグルーピングの破損状況の一部



写真-1 グルーピングの目つぶれの代表例



写真-2 グルーピングの角欠けの代表例

2.3 考察

2.3.1. 破損状況とその原因

A空港でのグルーピングの破損は、円弧状の角欠けが多い。これは、この空港には平行誘導路がないため、離着陸航空機が滑走路上で 180° 旋回をすることになり、グルーピングに大きなねじり力が働き生じたものである。一方この空港の就航航空機はB-737で、便数も少ないことから、荷重による塑性流動的な破損の目つぶれはあまりみられない。角欠けが進行したような目つぶれは一部にある。

同様な角欠け現象はC空港にもみられる。C空港の場合平行誘導路はあるが、騒音対策上滑走路の1.4側から進入した航空機は、滑走路上で 180° 旋回をするため、この部分に角欠けが多い。3.2側からの離陸航空機はやはり滑走路上で旋回を行うが、ホールディングベイも使って大きな回転半径で旋回するため、角欠けは生じていない。C空港ではこのほか、表層が若干老化していることからアスファルト混合物中の骨材がはく離することによる角欠けが少々みられる。

B, D空港の場合平行誘導路を使用しているので、A, C空港のような角欠けはみられない。若干みられる角欠けは、マーキングのひびわれがもたらしたものや、航空機のバンクなどのさいのひっかけによるもので、全体的にはそれほど問題にならない。

これに対しB, D空港は、ジャンボ、エアバスといった大型航空機が就航しているため、目つぶれが多くみられる。目つぶれの大部分は、表層のアスファルト混合物の安定性が不足して航空機荷重、特に静的あるいは緩速

走行での荷重を受けてつぶれたものである。そしてアスファルト混合物が安定性を減ずる原因としては、夏場に温度が高くなる場合、舗装表面に油分が存在して軟化する場合などが一般には考えられる。

今回観察された目つぶれの多くはこのような原因によるものと考えられるが、D空港の目つぶれについては、滑走路中心線から1.0~1.5mに集中し、中でも1.1m前後に最も多いといった特異な状況を示していることから、前述のほかに何か別の問題もありそうである。これについては、大型航空機のL-1011のエンジンの位置が機体中心から1.06mということが何らかの関係を持つと思われるが、その明確なところはわからない。今後より詳細に調査する必要がある。当面はアスファルト混合物の安定性減少の一因として、エンジンプラストの可能性も考慮しておくことにする。

2.3.2. 舗装条件とグルーピングの破損

舗装条件とグルーピングの破損の間には何らかの関係があると考えられる。グルーピングの目つぶれには表層の材質が関係するであろうし、角欠けには表層の老化の度合いが影響しそうである。その他アスファルト舗装のグルーピングの場合、舗装の温度がグルーピングの安定性に重要な要素になることは、アスファルトに関する基本的な知識⁴⁾から十分に理解されるところである。

今回の現地空港における調査の中では、表層の材質にあまり差がないため、グルーピングの安定性、特に目つぶれの状況と表層材料との間に関係を見出すことはできなかった。しかし表層の老化とグルーピングの角欠けについては、舗装後数年経過し若干表層に老化現象がみ

られたC空港において、アスファルト混合物中の骨材がはく離し、グルーピングの角欠けが他の空港より多いといった状況がみられた。

舗装の温度とグルーピングの破損の度合いについては、定量的な把握を今回の現地空港の調査では行っていないが、一般的な状況として、舗装温度が高くなる夏場にグルーピングの目つぶれやねじりによる角欠けが多くなっているようである。A空港における路面温度の測定とグルーピングの破損の観察では、路面温度が40℃を越えるとグルーピングの破損の頻度が高くなるようであった。しかし補修の実績などからみると、さほど舗装の温度が高くない5月以前においても、若干の破損は発生しているようである。

3. 室内試験による検討

3.1 概 説

2.での破損原因の検討からもわかるように、グルーピングの安定性には、グルーピング上を運航する交通条件や、気温とか降雨などの気象条件が大きく影響している。しかしこれらの外的な条件はほぼ決ったものであり、グルーピングの安定性の改善のためといて、簡単に調節するわけにはいかない。

一方グルーピングを施工するアスファルト表層の材質も、グルーピングの安定性にかかなり影響を持つと考えられる。そしてこちらの方は、状況によって種々変化させることも可能である。本章では表層材料の種類を色々に変化させ、室内試験からグルーピングの安定性を検討してみた。

表層材料の種類としては、使用骨材の種類ならびに使用アスファルトの質と量を2～3種類づつ変化させて決めた。グルーピングの安定性の評価試験としては、ホイールトラッキング試験とラベリング試験を選んだ⁵⁾。これは前者でグルーピングの目つぶれを、後者でグルーピングの角欠けをみようとしたものである。これらの試験を通してグルーピングの安定性を大きくするのに適したアスファルト表層材料を検討した。

その他アスファルト舗装の場合、表層施工直後は表層アスファルトコンクリートのオイル分が多く、グルーピングの施工でカッターを入れにくかったり、切ったグルーピングの安定性が小さいといったことがある。この改善には表層施工後適当な養生日数を取り表層アスファルトコンクリートの表面付近のオイル分を減少させてからグルーピングを施工する。この養生日数をどの程度とればよいかについての検討も室内試験で行った。

3.2 試験方法

本章での試験は、基本的には各種試料の供試体の表面にグルーピングを作り、それらに対してホイールトラッキング試験あるいはラベリング試験を行い、それぞれの場合でのグルーピングの変形状態を観察するものである。

試験に用いる試料としては、表-2にとりまとめる5種類で、使用骨材を2種類、使用アスファルトを3種類、使用アスファルト量を2種類変化させた組み合わせになっている。No.1は空港舗装の表層用として従来用いられていたもの⁶⁾で、No.2は道路舗装の表層用の密粒度アスファルト混合物である。No.3はストレートアスファルトで針入度を40～60と小さくした場合で、No.4は使用アスファルトをゴム樹脂入りの特殊アスファルトにした場合である。最後のNo.5は、No.2の場合の最適アスファルト量から0.5%少なくしたアスファルト量を用いたものである。これらについてはそれぞれ空港土木工事共通仕様書に準じて配合設定を行い、図-5.6および表-2に示すような骨材粒度とアスファルト量を決めた。

表-2 室内試験に用いた試料

試料番号 No.	骨材の種類	アスファルトの種類	アスファルト量(%)
1	図-5	ストレートアスファルト 60～80	OAC (6.7)
2	図-6	ストレートアスファルト 60～80	OAC (6.1)
3	図-6	ストレートアスファルト 40～60	OAC (6.3)
4	図-6	ゴム樹脂入りアスファルト (ポリファルトSS)	OAC (6.0)
5	図-6	ストレートアスファルト 60～80	OAC-0.5(5.6)

(注1) 使用アスファルトの物理的性質は、表-3に示す。

(注2) OACは最適アスファルト量、()内は設定アスファルト量である。

表-3 使用アスファルトの物理的性質

アスファルトの種類	針入度	軟化点
ストレートアスファルト 60～80	68	47.5℃
ストレートアスファルト 40～60	48	50.0℃
ポリファルトSS	65	57.6℃

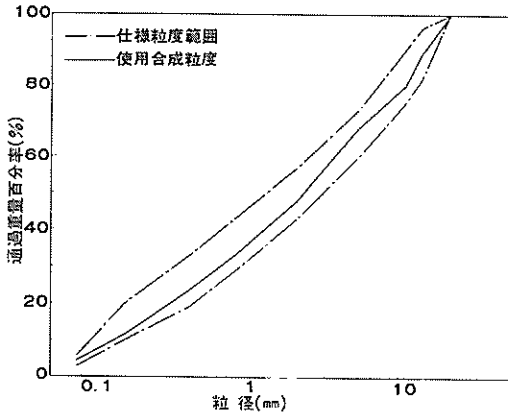


図-5 試料No. 1の骨材粒度

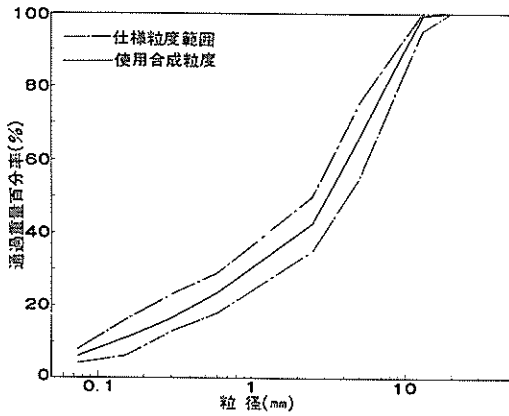


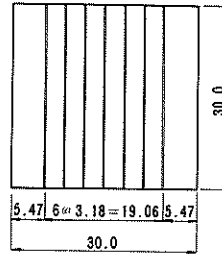
図-6 試料No. 2,3,4,5の骨材粒度

供試体は、各試料を所定の混合、転圧温度により、ホイールトラッキング試験用モールドおよびラベリング試験用モールドにてローラーコンパクターにて締め固めて作った。この場合の締め固め度は、突き固め回数75回のマーシャル基準密度の98%以上となるようにした。供試体は所定の養生日数経過後、表面に図-7のようなグルーピングをカッターで切り、それぞれの試験に供した。

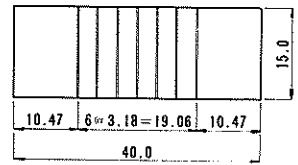
ホイールトラッキング試験は、ソリッドタイヤの接地圧を6.4kgf/cm²に固定し、表-4に示す試験条件のもとに実施した。各試験条件では2個の供試体を用意し試験した。測定は、ソリッドタイヤの通過回数が0, 50, 100, 500, 1000, 2000のときに、グルーピング凹部の容積、幅、深さの各項目について行った。このうち容積は砂置換法で測定し、幅と深さについてはノギスにて測定した。

ラベリング試験では、水平方向に1分間に66往復運動している供試体に、10こま12本のチェーンを付けた車輪(回転数200rpm)が0, 50, 100, 500,

(1)ホイールトラッキング試験用供試体



(2)ラベリング試験用供試体



(単位: cm)

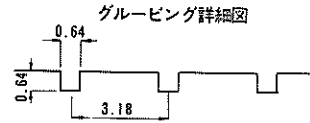


図-7 室内試験用供試体にするグルーピングの寸法

表-4 ホイールトラッキング試験の試験条件

試料No.	養生日数(日)	30			7	14	60
		試験温度(°C)			40	40	40
1		※	※	※	※	※	※
2		※	※	※	※	※	※
3		※	※	※			
4		※	※	※			
5		※	※	※			

1000回接触したときのグルーピングの角欠け状態を調べた。測定は砂置換法によりすりへり量ならびに角欠け量を記録した。試験に供した供試体はすべて養生日数30日でグルーピングしたもので、試験温度は0°, 20°, 40°Cである。各試験条件では2個の供試体を用意し試験した。

3.3 試験結果

グルーピングを施工した供試体でホイールトラッキング試験を行うと、タイヤ通過部分の溝が目つぶれる。写真-3はその一例である。このような目つぶれの程度は、タイヤの通過にあわせてグルーピングの容積、幅、深さを測定していくことにより知ることができる。しかし最初のグルーピングの状態は必ずしも図-7のとおりできているわけではなくかなりまちまちであるため、これらの値そのものでは各種条件での試験相互の比較が行いにくい。そこで何らかの共通のスケールを作る必要があり、ここでは次式のような目つぶれ度を定義した。

$$\text{目つぶれ度} = \frac{a-a'}{a} \times 100 (\%)$$



写真-3 ホイールトラッキング試験でのグルーピングの状況

ここに a : グルーピング溝の試験前の容積 (幅, 深さ)

a' : グルーピング溝の試験後の容積 (幅, 深さ)

このように無次元化した値を用い、以下試験結果の整理をするとともに、グルーピングの評価検討を行っていく。

表-4 で養生日数 30 日の場合は、主として表層材料の違いがグルーピングの安定度に応じてどのように影響するかをみるもので、これらについての試験結果は図-8~10 のとおりである。タイヤの繰り返し通過回数と目つぶれ度の関係で示している。グルーピング施工までの養生日数を変化させた場合の試験結果は図-11, 12 で、試料 No. 1 と No. 2 についての結果である。養生日数は 7, 14, 30, 60 日と変化させている。

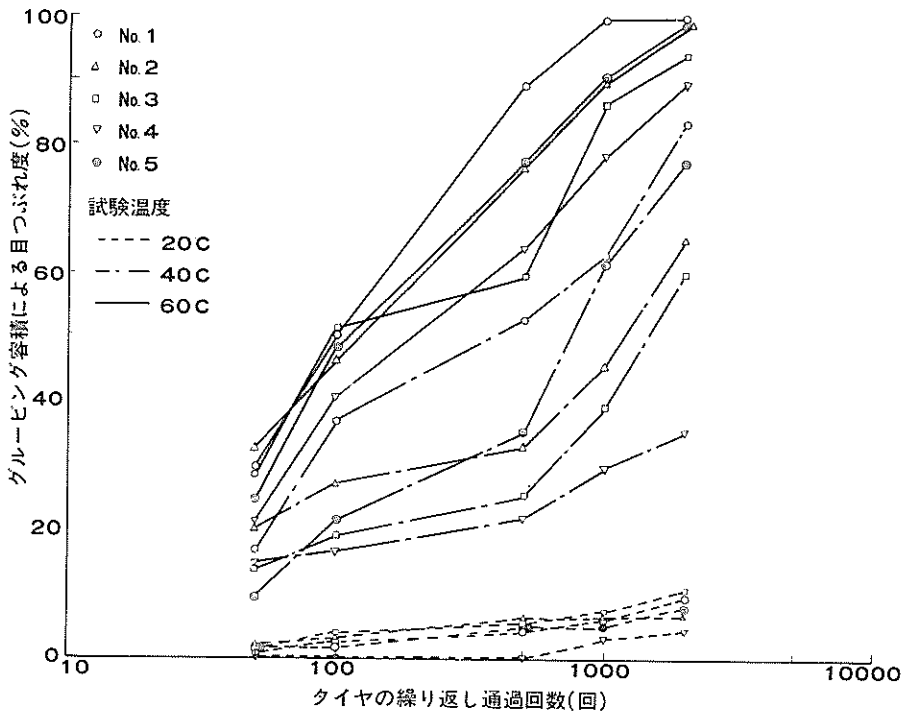


図-8 タイヤの繰り返し通過回数とグルーピング容積による目つぶれ度の関係

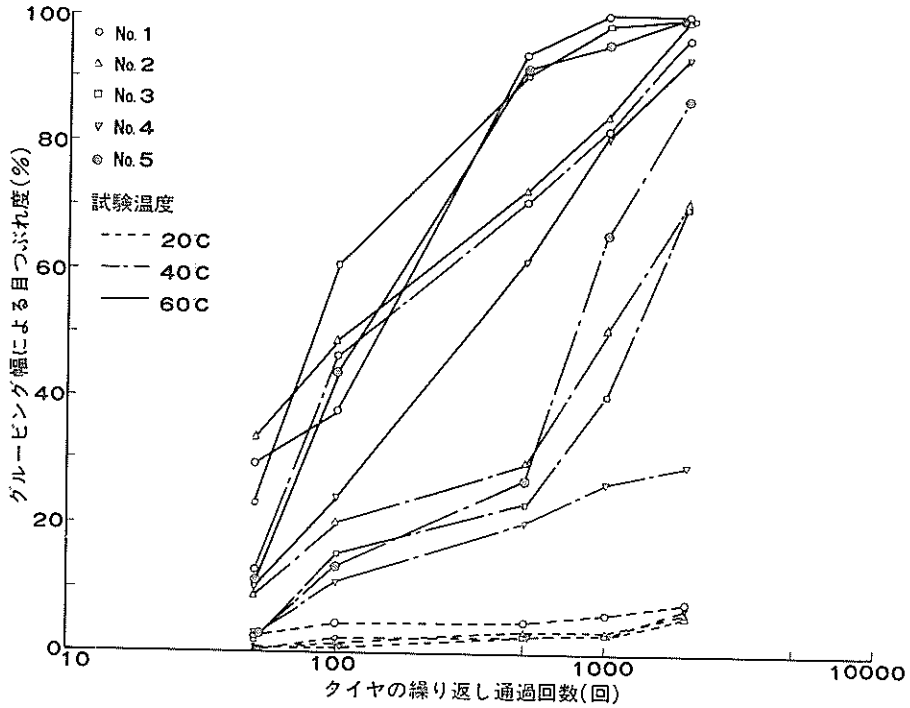


図-9 タイヤの繰り返し通過回数とグルーピング幅による目つぶれ度の関係

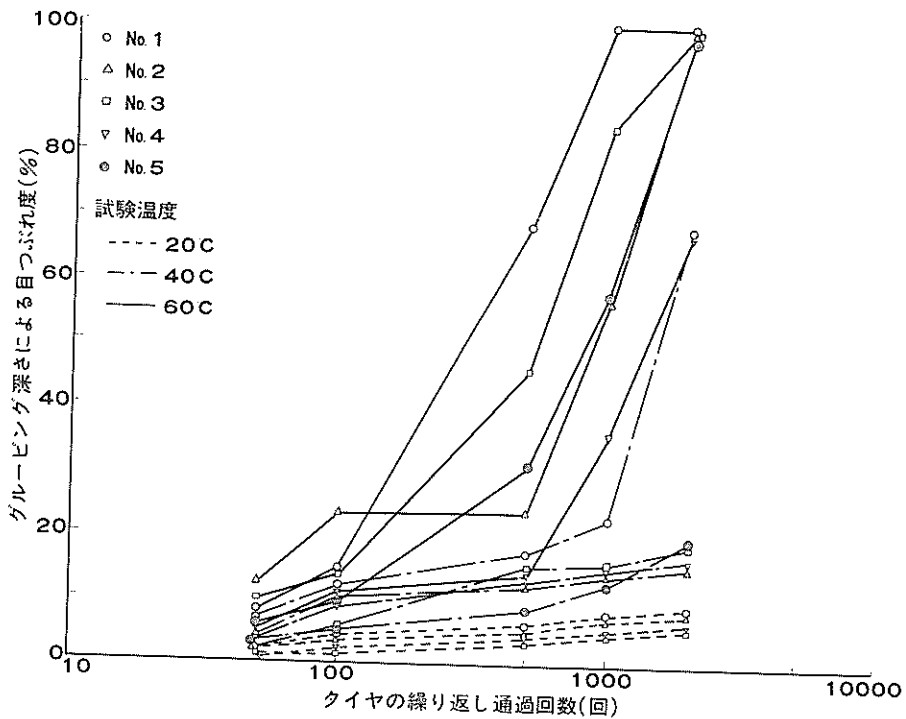


図-10 タイヤの繰り返し通過回数とグルーピング深さによる目つぶれ度の関係

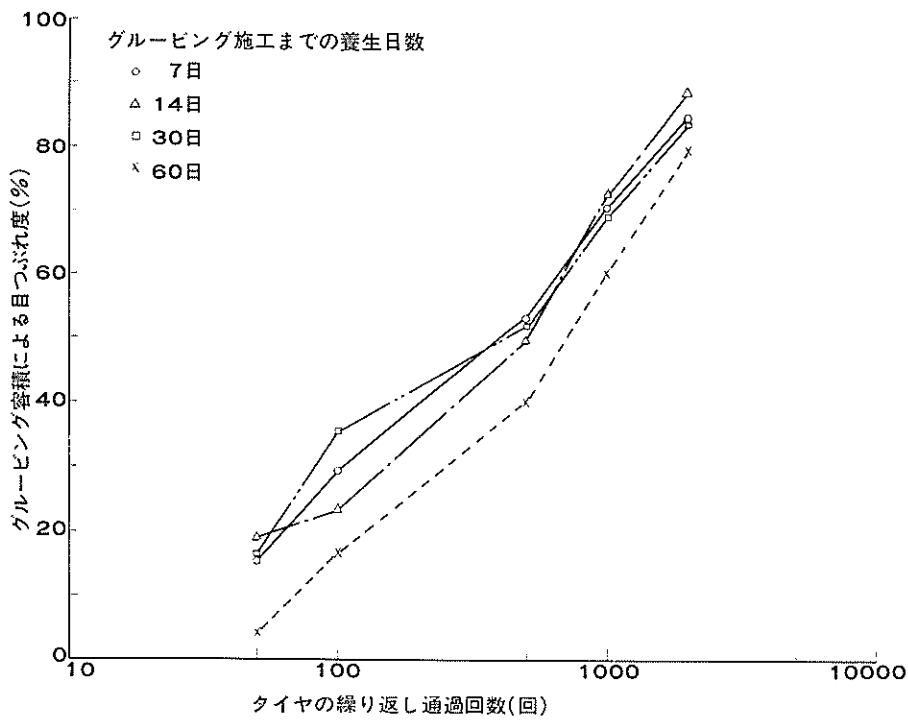


図-11 グルーピング施工までの養生日数を考慮した場合のタイヤの繰返し通過回数とグルーピング容積による目つぶれ度の関係 (試料No. 1)

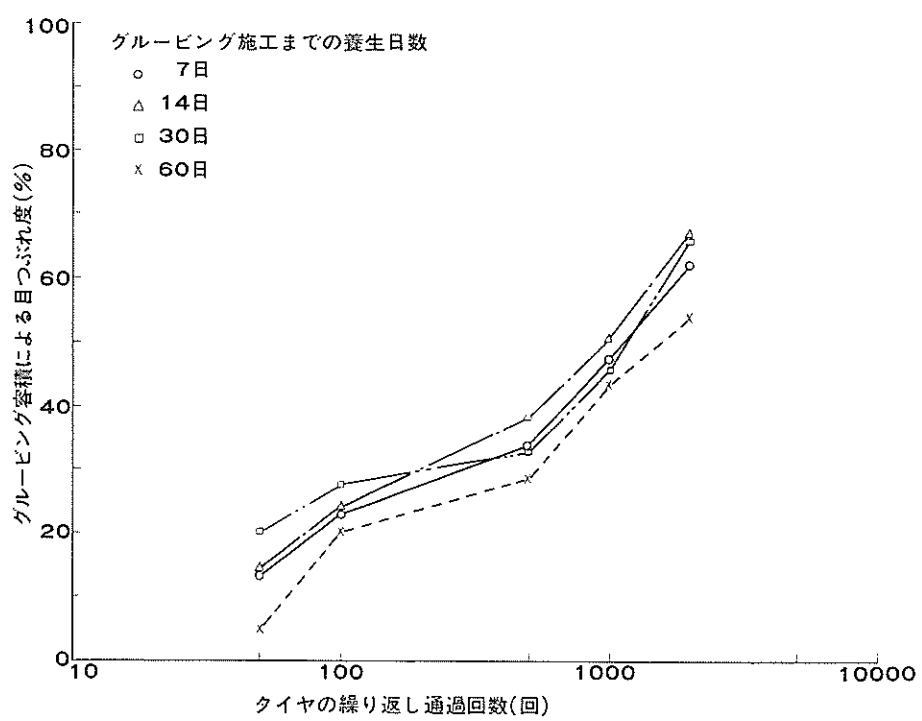


図-12 グルーピング施工までの養生日数を考慮した場合のタイヤの繰返し通過回数とグルーピング容積による目つぶれ度の関係 (試料No. 2)

ラベリング試験で車輪のチェーンがグルーピングにあ
たると、グルーピングの角が欠ける。また同時に表面の
すりへりも生じる。写真-4はこの状態を示している。
グルーピングにとっては角欠けだけが問題なので、それ
らを取りまとめて図-13~15に示す。車輪の繰り返し
通過回数と角欠け量の関係で示している。目つぶれの場
合と違って、角欠けについては角欠け量そのものを比較
すれば相対的な評価もできるので、このような表わし方
をとった。

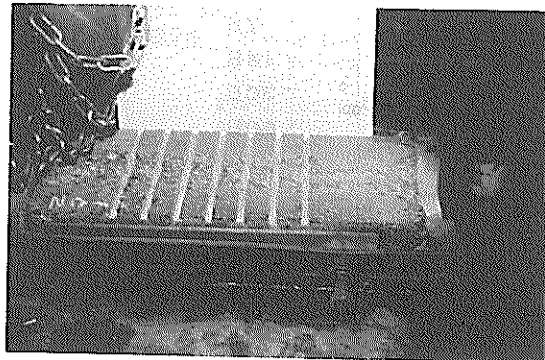


写真-4 ラベリング試験でのグルーピング
の状況

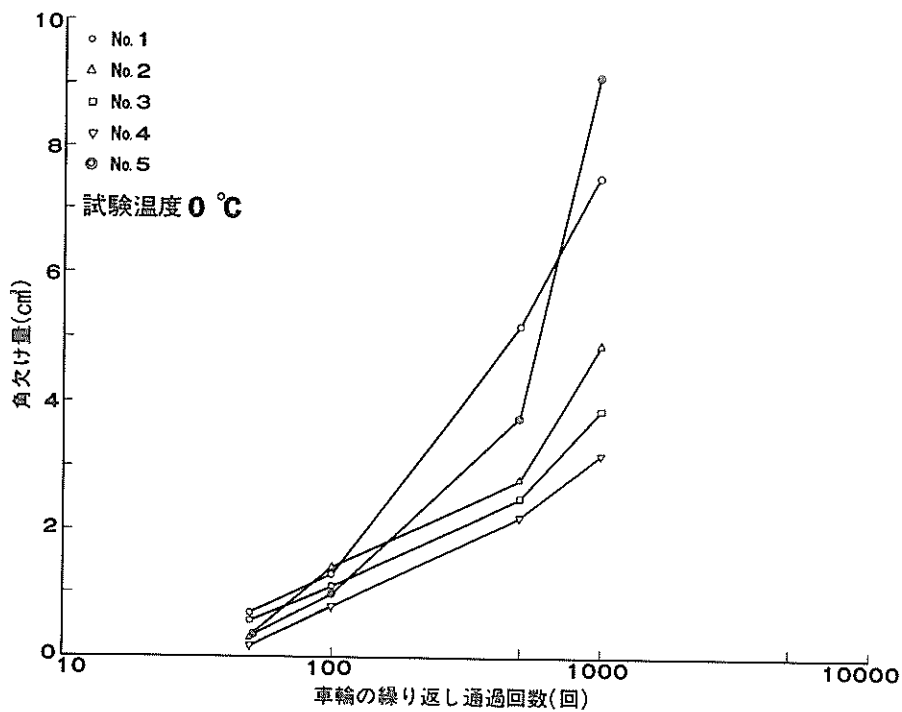


図-13 車輪の繰り返し通過回数と角欠け量の関係 (試験温度 0 °C)

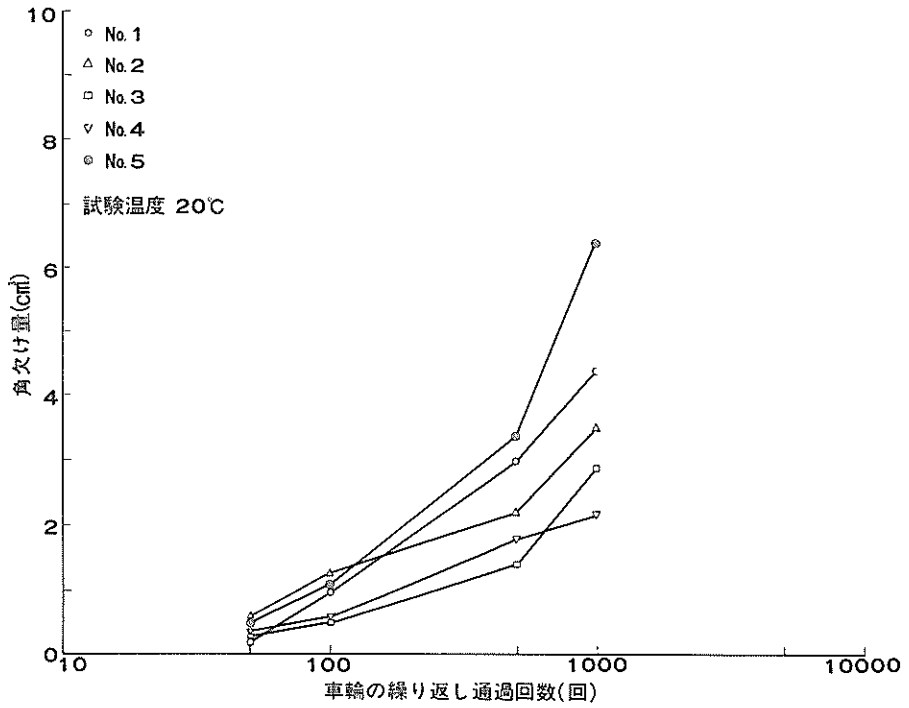


図-14 車輪の繰返し通過回数と角欠け量の関係 (試験温度 20°C)

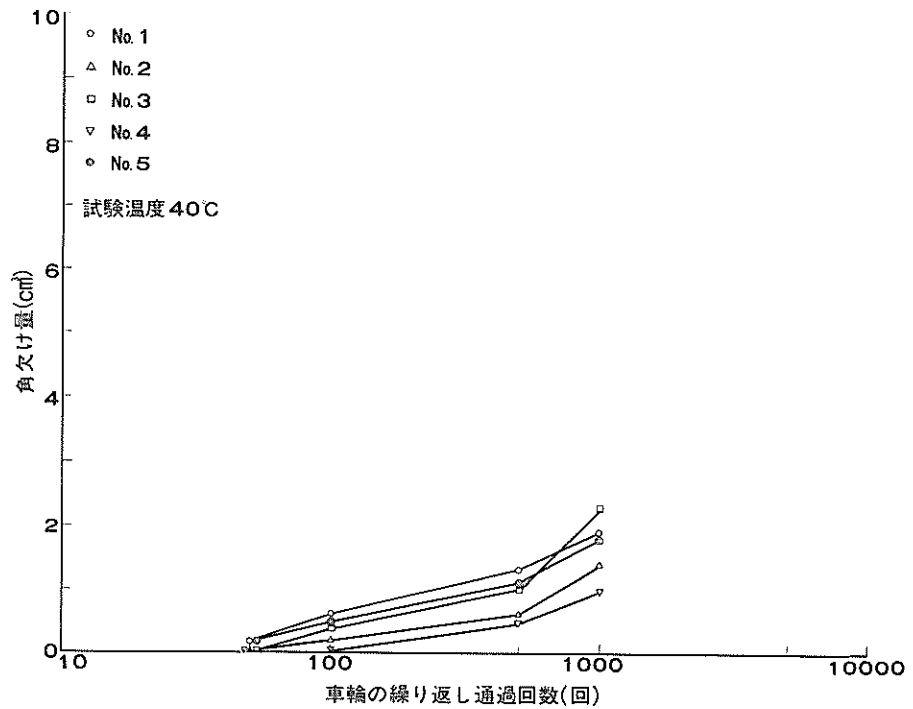


図-15 車輪の繰返し通過回数と角欠け量の関係 (試験温度 40°C)

3.4 考 察

3.4.1 グルーピングの破損の進行状況

まずグルーピングの目つぶれがタイヤの繰り返し通過にともないどのように進行するかであるが、これは図-8~10を検討することにより知れる。グルーピングの排水効果を決めるグルーピングの容積は、図-8のように目つぶれしてしだいに少なくなっていく。この容積変化はグルーピングの幅と深さの変化でおおよそ決まるので図-9~10からこれらをもとにみると、タイヤの通過回数が少ないうちはグルーピング幅の変化が大きく、通過回数が増えるにしたがって深さの変化へと移っていく傾向にある。こうして幅も深さも0になるとグルーピング容積も0になり、完全にグルーピングの機能がなくなることとなる。

グルーピングの角欠けが車輪の繰り返し通過にともないどのように進行していくかは、図-13~15のとおりである。横軸が対数になっているためわかりにくいだが、角欠け量はほぼ車輪の通過回数に比例しているようである。角欠けの場合は、グルーピング幅はしだいに拡がり、深さはしだいに小さくなりやがて0となる。このグルーピングの深さが0となったときが、グルーピングの機能が完全になくなるときである。

3.4.2 グルーピングの破損への温度の影響

アスファルト混合物の温度がグルーピングの目つぶれの進行に及ぼす影響については、図-8~10を書き直して試験温度を横軸にとった図-16~18から容易に理解される。グルーピング容積による目つぶれ度は、試験温度が増加するとほぼ直線的に増加しているが、グルーピング幅、深さによる目つぶれ度、特に深さによるものは、試験温度が40℃を越えてその増加が著しくなる。アスファルト混合物のわだちぼれについては、「アスファルトの軟化点付近の温度から急激にわだちぼれが進行する」とよくいわれる⁷⁾が、今回試験に用いたアスファルトの軟化点は表-3に示すとおりで、図-18などはわだちぼれの場合にいわれるのとはほぼ同様な傾向を示しているようである。

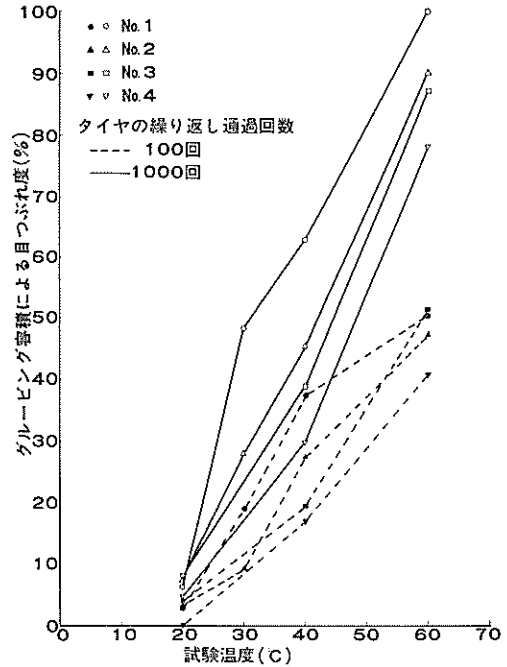


図-16 試験温度とグルーピング容積による目つぶれ度の関係

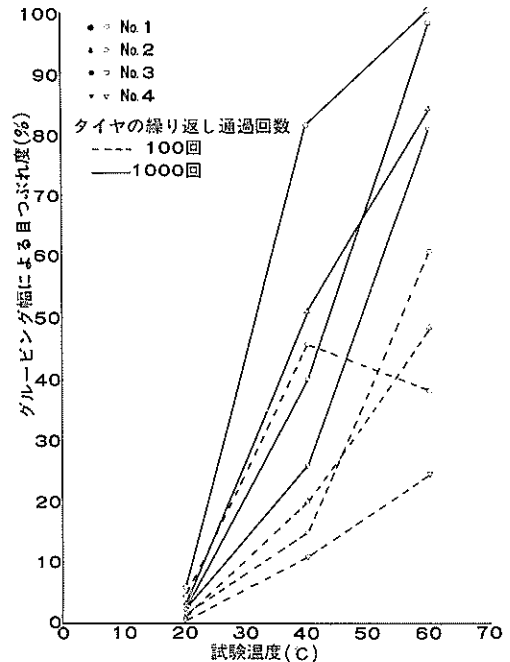


図-17 試験温度とグルーピング幅による目つぶれ度の関係

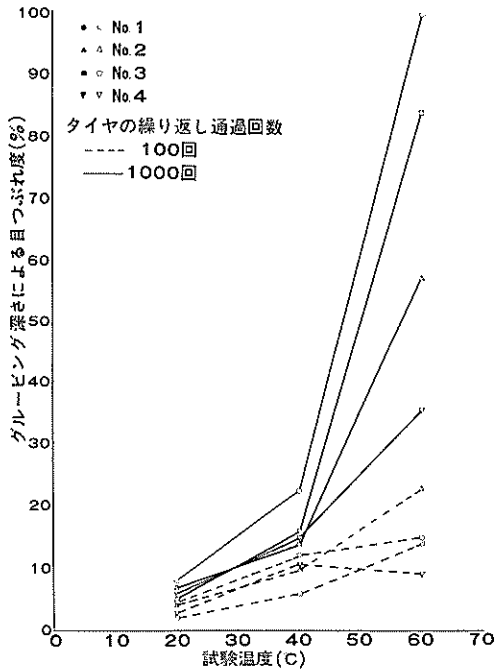


図-18 試験温度とグルーピング深さによる目つぶれ度の関係

こうして温度がグルーピングの目つぶれに及ぼす影響をある程度知ることができ、現地空港の調査でグルーピングの破損が舗装温度の高くなる夏場に多くなることも十分理解できる。そしてまた舗装温度（路面温度）が40～50℃を越えるような時期においては、グルーピング上での航空機の運航について十分な配慮の必要があることもわかる。

グルーピングの角欠けについては図-19のようで、試験温度が低いほど角欠けが多くなっている。目つぶれの場合と逆で、舗装温度が下がる冬場に角欠けの心配がある。しかし2.で述べたように現地空港においては、舗装温度の高いときに航空機のねじりによるグルーピングの角欠けが多くみられ、これは図-19の結果と対応しない。この理由としては、ラベリング試験の角欠けが主としてぜい性破壊的なものを検討しているのに対し、ねじり力による角欠けはどちらかというとし塑性破壊的な現象であるためと考えられる。したがってラベリング試験によるグルーピングの検討は、すべての場合にあてはまるのではなく2.の調査においてC空港にみられた表層材料の老化による角欠けのようなものを対象としているわけである。

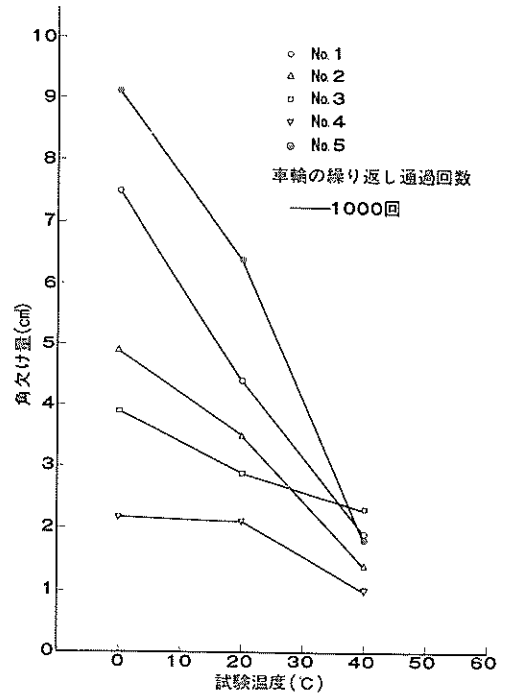


図-19 試験温度と角欠け量の関係

3.4.3 グルーピングの破損への表層材料の影響

ここではグルーピングの安定性に対する表層材料の影響をみている。グルーピングの目つぶれについては、図-8～10からも理解されるが、これらを書き換えた図-20～22によればより一層はっきりする。角欠けについては図-23から様子が見える。

従来空港舗装の表層で用いられてきたアスファルト混合物（No.1）は、試験した材料の中で一番目つぶれが大きく、また角欠けもかなり大きい。このようなことから、今後グルーピングを設置する滑走路の表層材としては、この種のアスファルト混合物の使用はできるだけ避け、グルーピングに対する安定性のより大きな材料を考えるべきである。

今回グルーピングの安定性を大きくするためいくつかの試みがなされた。まず第1番目は、アスファルト混合物中の骨材を変えることで、空港舗装の表層用アスファルト混合物では概して細かいのを、道路の表層用アスファルト混合物程度に粗くしてみたのがNo.2である。図-20～22から目つぶれに対してある程度の効果のあることが認められる。また角欠けについても、No.1より角欠け量が小さくなっておりより良好な材料といえそうである。

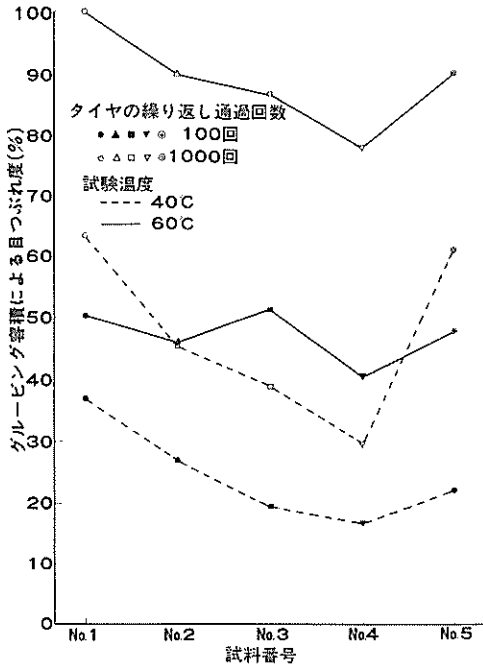


図-20 試料の種類の違いがグルーピング容積による目つぶれ度に及ぼす影響

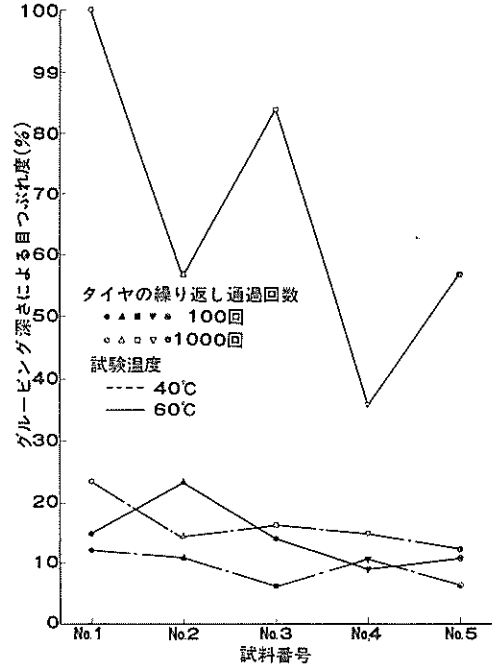


図-22 試料の種類の違いがグルーピング深さによる目つぶれ度に及ぼす影響

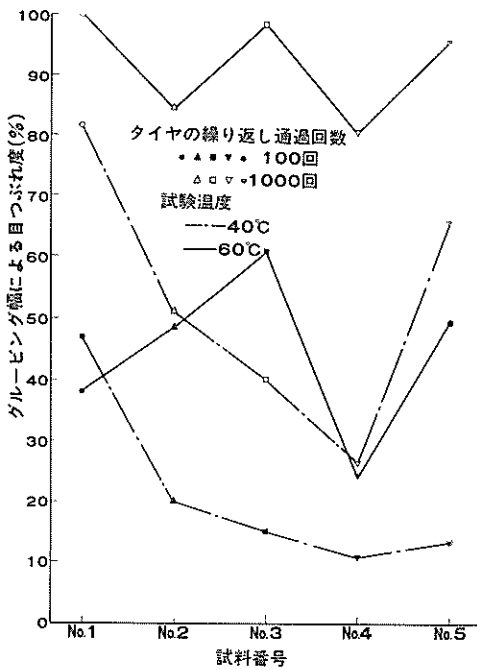


図-21 試料の種類の違いがグルーピング幅による目つぶれ度に及ぼす影響

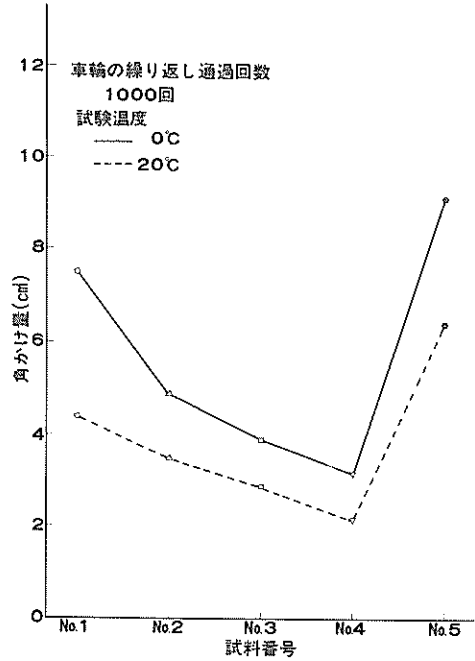


図-23 試料の種類による角欠け量の相違

そこでなお一層の効果を期待して試みられたのがNo. 3, No. 4, No. 5である。No. 3の場合, No. 2で用いた骨材になおNo. 2でのアスファルトより針入度の小さなストレートアスファルト40~60を用いている。No. 5の場合は, No. 2のアスファルト量より0.5%少なくしている。しかしこれらは, 目つぶれに対しては図-20~22からわかるように, No. 2の場合とさほど変わらず期待したほどの効果はない。また角欠けに対しても, No. 5の場合極端に角欠け量が多くなり好ましくない。これに対し, 使用アスファルトをゴム樹脂入りの特殊アスファルトにしたNo. 4は, 他の場合より目つぶれも角欠けも小さく, グルーピングの安定性の改善に効果的なものと考えられる。

以上の結果をとりまとめると, 目つぶれや角欠けに対するグルーピングの安定性を高めるためには, 表層材料の骨材を道路の場合程度に粗くすることがまず第1で, 次にできたら使用アスファルトをゴム樹脂入りのような特殊アスファルトにするとなお一層の効果が期待され望ましい。一方単に固いアスファルトを用いたり, アスファルト量を減らしたりするのは, 十分な効果が期待されないばかりか, 場合によってはかえって悪い結果にもなりかねないので, ことグルーピングに関しては実施しない方がよいようである。

3.4.4 グルーピング施工までの養生日数

表層舗設後グルーピング施工までの程度表層アスファルト混合物を養生すればよいかについては, 過去の実績によれば, 表層舗設後数年経過してグルーピングを設置したC空港で角欠けが少々ある以外養生日数を多くとることに問題はなく, むしろ舗設後すぐにグルーピングを施工した場合の施工中のグルーピング角のはく離と航空機荷重による目つぶれの方に問題がある。このようなことから, 表層舗設後ある期間経過してからグルーピングを施工するわけであるが, この養生期間をどの程度とればよいかについては特に資料はない。FAAの指針⁹⁾では最低1か月としているが, これについても十分な根拠があるわけではない。

そこで今回室内試験で図-11, 12のような結果を得, これに基づいて検討してみた。図-11, 12を書き直したのが図-24で, これからグルーピングの目つぶれに対しては, 養生日数30日までは大差なく, 養生日数が60日になるとだいぶ程度がよくなることわかる。2の調査において, A空港でこの養生日数を45日にしているのは, 今回の試験結果から判断してほぼ妥当といえそうで, またこの空港の過去の実績で特に異常はみられていない。このようなことから, 新設アスファルト表層

上へのグルーピングの設置は, 今後表層舗設後最低2か月経過してから実施すべきであるといえそうである。

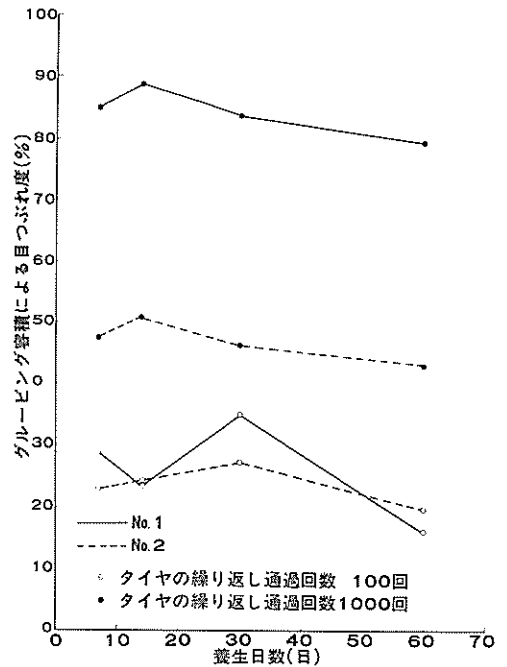


図-24 グルーピング施工までの養生日数がグルーピング容積による目つぶれ度及ぼす影響

4. 試験舗装による検討

4.1 概 説

グルーピングの安定性について, 3.での検討から種々の事実が判明してきた。しかしこれらはあくまでも定性的な事柄であり, 実際上このとおりであるかどうかはわからない。そこで試験舗装上に実際と同様なグルーピングを作り, そこで種々の試験を実施し, それらの結果から室内試験で求めた事柄を検証してみた。

試験舗装は別の目的で作ったものであるが, グルーピングの安定性を検討するために, 表層部分だけは室内試験に用いた材料などにより施工されている。この表層にグルーピングを設置し, 航空機と同等の荷重を持つ大型の原型走行荷重車を走行させ, グルーピングの安定性, 特に目つぶれ現象を観察した。

4.2 試験舗装の種類と試験方法

今回グルーピングの安定性の実地試験を実施した試験舗装は, 種々の目的を持って作られた図-25の一部で

ある。図-25の試験舗装は過去に数多くの研究に用いられてきたが、今回グルーピングの安定性を検討するため、No.17~No.7の区画のかさ上げに際し、かさ上げ表層に各種材料を使用し、これら路面にグルーピングを設置して試験を行った。

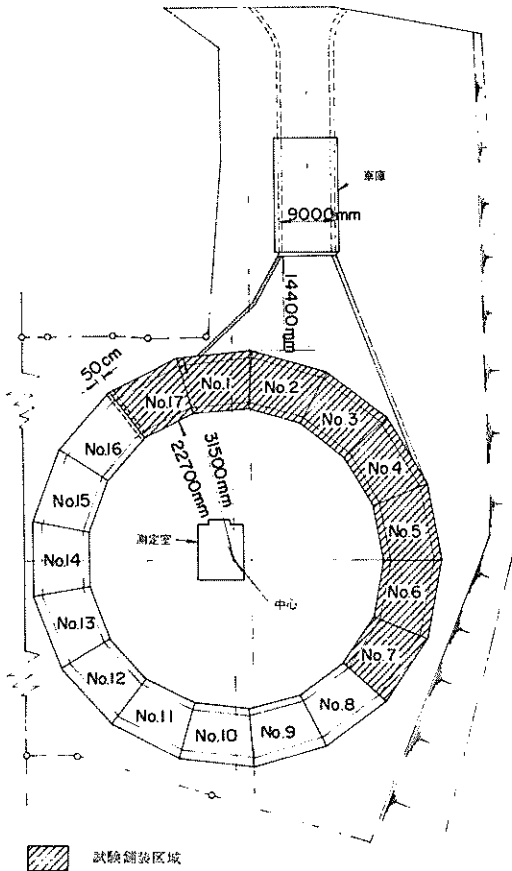


図-25 試験舗装の平面図

表-5 試験舗装の表層に用いた材料

試験区画 No.	骨材の種別	アスファルトの種別	アスファルト量(%)
1	図-26	ストレートアスファルト 60~80	OAC (6.3)
3	図-27	ストレートアスファルト 60~80	OAC (5.9)
5	図-26	ストレートアスファルト 40~60	OAC (6.3)
7	図-27	ゴム樹脂入りアスファルト (ポリファルトSS)	OAC (5.8)

(注1) 使用アスファルトの物理的性質は表-6に示す。

(注2) OACは最適アスファルト量、()内は設定アスファルト量である。

使用した表層材料は表-5にとりまとめる4種類である。試験区画No.4,5の使用骨材を除き、他の材料条件は室内試験の場合とほぼ同じにしてある。図-26,27および表-5には、配合設定により決まった各区画の表層アスファルトコンクリートの骨材粒度とアスファルト量も示している。

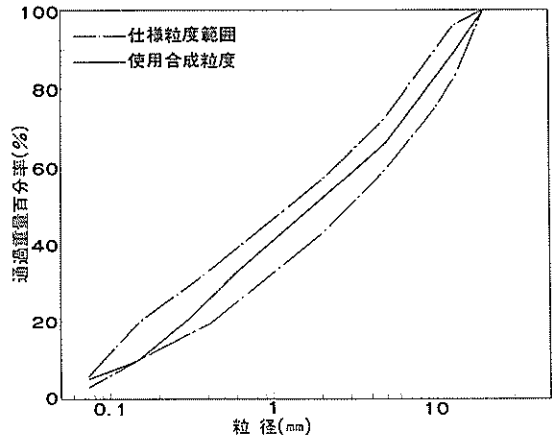


図-26 試験区画No.1,5の表層用アスファルトコンクリートの骨材粒度

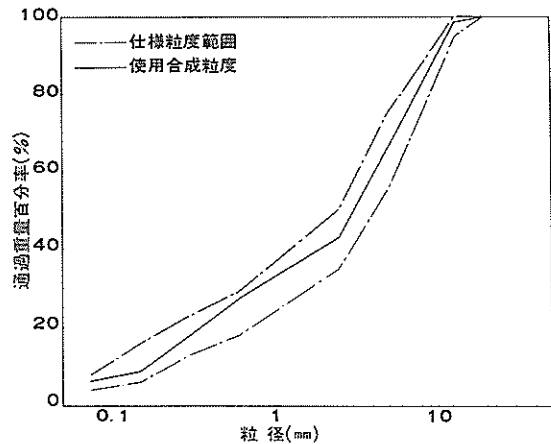


図-27 試験区画No.3,7の表層用アスファルトコンクリートの骨材粒度

表-6 使用アスファルトの物理的性質

アスファルトの種類	針入度	軟化点
ストレートアスファルト 60~80	72	47.5℃
ストレートアスファルト 40~60	55	49.0℃
ポリファルトSS	56	57.2℃

グルーピングの設置は表層施工後1か月経過後に行った。設置した試験区画はNo. 1, 3, 5, 7である。なお試験舗装での試験結果等は、この番号により整理している。グルーピングのパターンは、わが国で一般的な室内試験の場合(図-7)と同じタイプに統一した。

グルーピングに対する試験としては、2などから角欠けと目つぶれについて行う必要がある。しかしこのような試験舗装で角欠けを再現し定量的に評価することは大変むずかしいため、今回は何とか試験ができる目つぶれについてだけ行うことにした。目つぶれの試験は、写真-4に示す原型走行荷重車を用い、グルーピング舗装のある決められた走行線上をこの荷重車を繰り返して走行させ、そのときのグルーピングの変形状況を観察するものである。

原型走行荷重車の主車輪は大型航空機のDC-8シリーズのものと同等で、今回の試験ではタイヤ接地圧を14.0 kgf/cm²、複々車輪の脚荷重を50.4 tfに調整して用いた。荷重車の走行速度は、實際上航空機の低速走行で目つぶれの問題が大きいことと、試験上の制約から、約10 km/hにした。グルーピングの変形状況の測定は、走行線上に長さ30 cm、幅15 cmの測定区域を各区画とも3か所ずつ設け、この中のグルーピングについて容積、

幅、深さの変化を計ることによった。これら各項目の計測は室内試験の場合と同じで、容積は砂置換法、幅、深さはノギスによった。

試験は計3シリーズ行った。それは路面温度がほぼ20~30℃、30~40℃、40~50℃の場合である。それぞれの場合で走行線を変え、荷重車を100回づつ走らせた。荷重車の主脚は複々車輪なので、同一地点のタイヤの繰り返し通過回数は走行回数の2倍になるが、そのタイヤの繰り返し通過回数が6, 20, 60, 100, 140, 200回するとき目つぶれ状況の測定を行った。

4.3 試験結果

試験舗装のグルーピング上を大型の荷重車が低速走行すると、車輪の通過部分のグルーピングはしだいに変形し、グルーピング溝が小さくなっていく。写真-5はその状況の一例である。グルーピング溝の変形をグルーピング容積、幅、深さの3項目で測定し、室内試験の場合と同様に目つぶれ度で整理してみた。図-28~30がこれらの結果である。結果は同一地点のタイヤの繰り返し通過回数と目つぶれ度の関係で示され、路面温度の3ケースについてまとめられている。

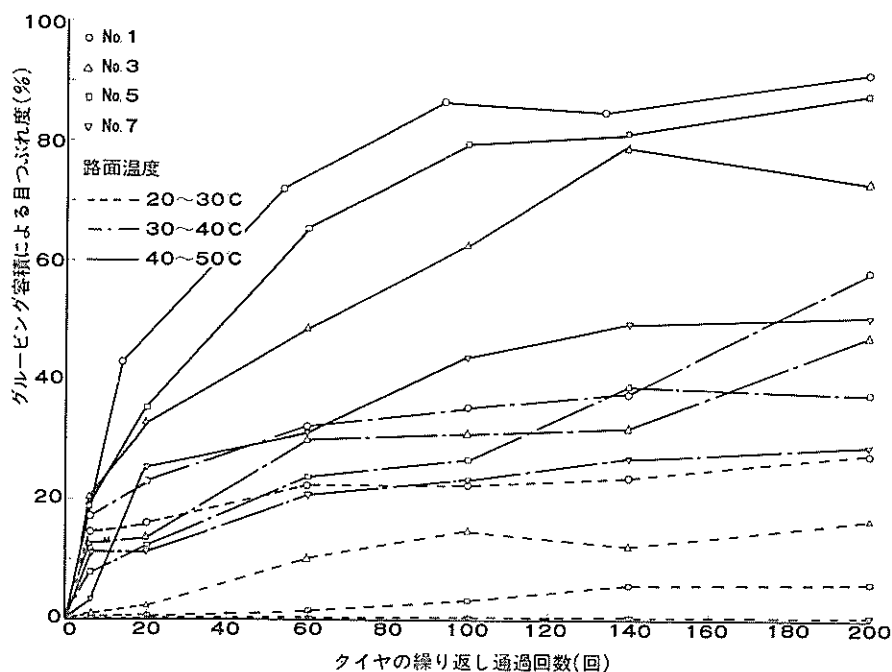


図-28 タイヤの繰り返し通過回数とグルーピング容積による目つぶれ度の関係

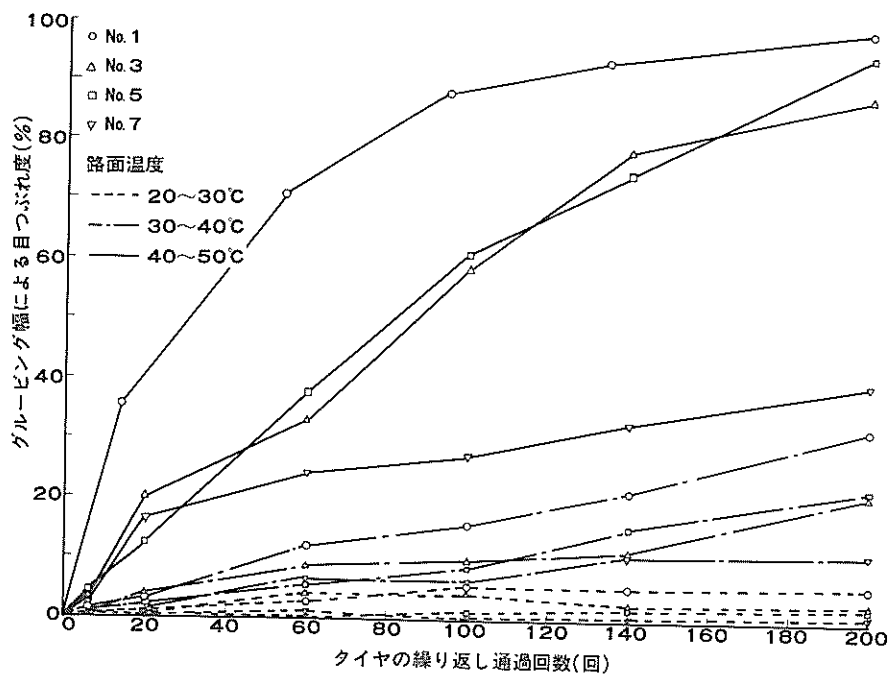


図-29 タイヤの繰り返し通過回数とグルーピング幅による目つぶれ度の関係

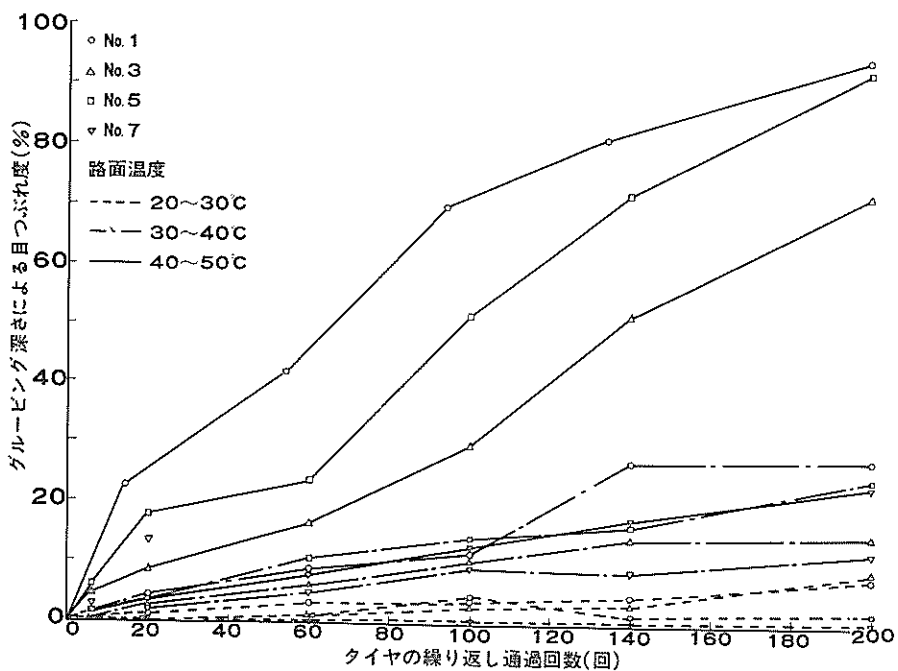


図-30 タイヤの繰り返し通過回数とグルーピング深さによる目つぶれ度の関係

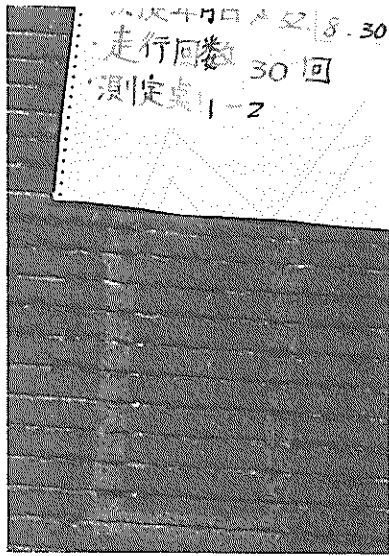


写真-5 走行試験でのグルーピングの目つぶれ状況

4.4 考察

4.4.1 グルーピングの破損の進行状況

試験舗装では目つぶれだけが検討され、その破損の進行状況は図-29~31のとおりである。これらの図の横軸は普通目盛りなのでわかりにくいですが、タイヤの繰り返し通過回数のオーダーの違いを除けば、グルーピング容積、幅、深さの各項目について、室内試験のホイールトラッキング試験の場合とほぼ類似の傾向にある。航空機荷重の通過にともなうグルーピングの目つぶれの場合も、初期にはグルーピング幅が小さくなっていき、やがて深さの変化が大きくなっていくようである。

4.4.2 グルーピングの破損への温度の影響

試験舗装でのグルーピングの目つぶれについても、温度の影響をみてみた。路面温度と目つぶれ度の関係を示したのが図-31~33である。この場合も、室内試験での結果の図-16~18と傾向は類似である。グルーピング幅、深さでの目つぶれ度ではっきりしているように、路面温度が40℃を越えると目つぶれの進行が著しく大きくなっている。この点も室内試験での結果とよく符号している。

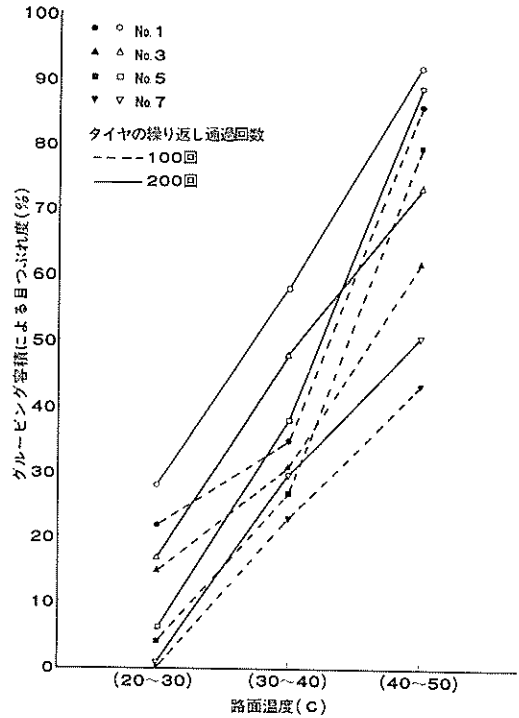


図-31 路面温度とグルーピング容積による目つぶれ度の関係

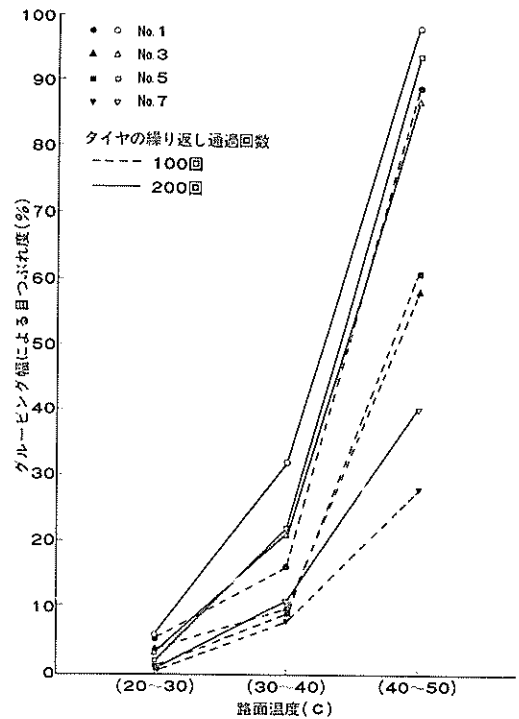


図-32 路面温度とグルーピング幅による目つぶれ度の関係

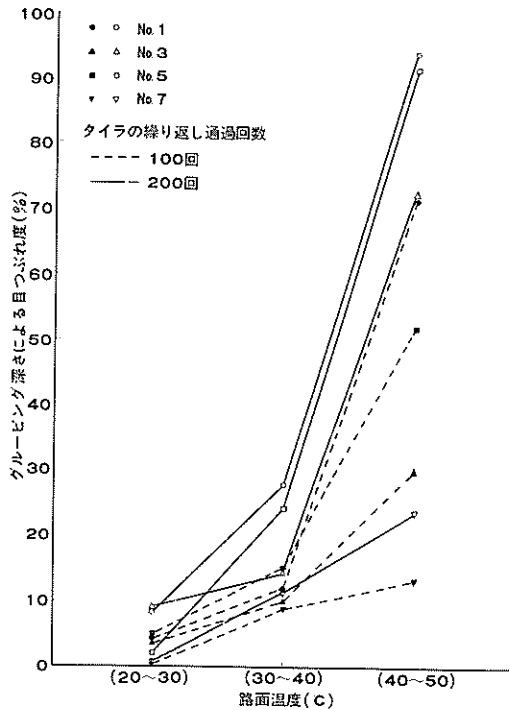


図-33 路面温度とグルーピング深さによる目つぶれ度の関係

4.4.3 グルーピングの破損への表層材料の影響

グルーピングの安定性、特にここでは目つぶれに対して表層材料がどの程度影響するかについては、図-34~36からわかる。室内試験の場合と同様に、従来空港舗装の表層で用いられてきたアスファルト混合物の試験区画No. 1は、試験舗装の中で一番目つぶれが大きい。これに対し、使用骨材の粒度を道路舗装の表層用アスファルト混合物程度に粗くしたNo. 3は、室内試験の場合もそうであったが一応の効果は認められる。一方使用骨材はNo. 1と同じにして、使用アスファルトをNo. 1の場合より固い針入度40~60のストレートアスファルトを用いたNo. 5は、若干の効果は認められるものの、No. 3の場合ほどには大きな効果はみられない。このような試みのほかNo. 7では、室内試験の場合にも用いたゴム樹脂入りの特殊アスファルトを用いている。この区画は使用骨材もNo. 3と同じに粗くしてあるため、骨材とアスファルトの両者の効果があいまって、グルーピングの目つぶれに対し非常に顕著な効果を示している。

このような各種表層材料によるグルーピングの目つぶれに対する改善効果は、室内試験で得られた結果とほぼ同じで、とりまとめると、グルーピングの安定性向上には、まず表層材料の骨材を道路舗装の場合程度に粗くし、なおできたら使用アスファルトをゴム樹脂入りのような特殊アスファルトにするとよいようである。

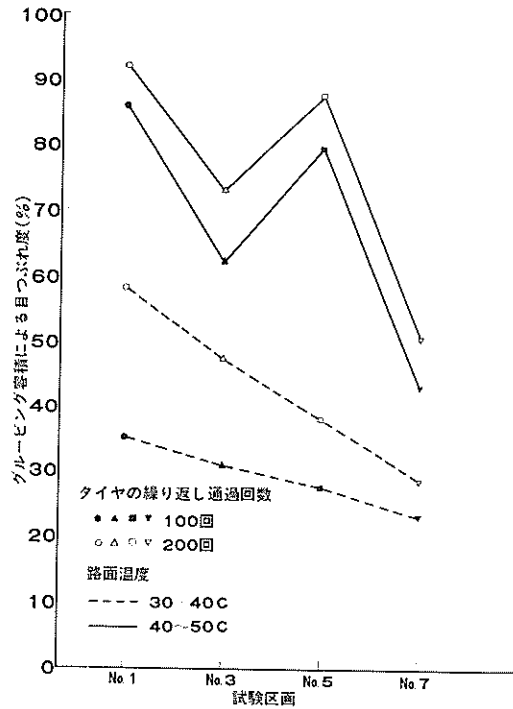


図-34 表層材料の違いがグルーピング容積による目つぶれ度に及ぼす影響

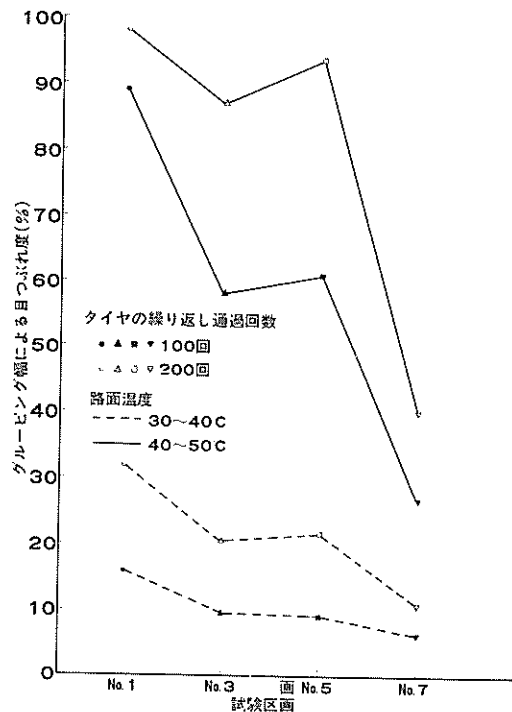


図-35 表層材料の違いがグルーピング幅による目つぶれ度に及ぼす影響

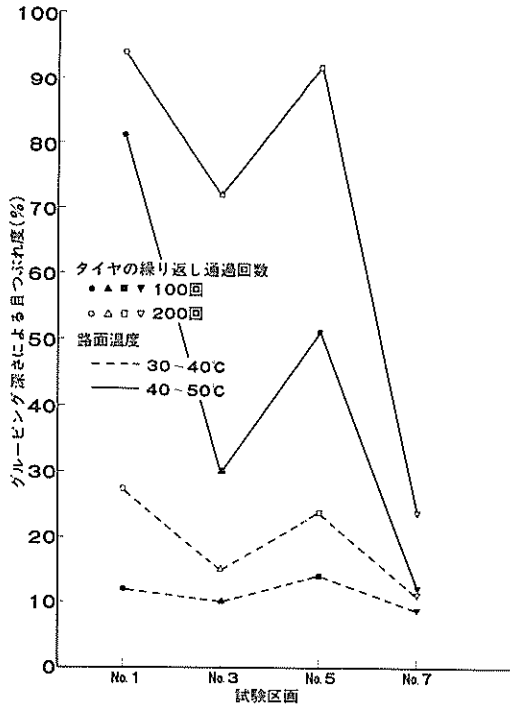


図-36 表層材料の違いがグルーピング深さによる目つぶれ度に及ぼす影響

4.4.4 室内試験結果と試験舗装での結果の関係

前項までに個々に示しているように、グルーピングの安定性に対する室内試験のホイールトラッキング試験での結果は、実際の舗装でのグルーピングの目つぶれ現象をよく表わしている。グルーピングの目つぶれのタイヤの繰り返し通過回数ともなり進行状況、舗装温度のグルーピングの目つぶれに及ぼす影響、舗装表層材料の違いによるグルーピングの目つぶれに対する安定性の改善等において、定性的には十分よい相関があった。

ここではもう少し定量的に両者の相関をみでみる。室内試験と試験舗装で同一の材料を用いているので、それらに対する結果を比較する。この場合温度のほぼ同じものどうしをタイヤの繰り返し通過回数の同じところで比較して、図-37のようにプロットした。両者による相関がみられることから、本章の前項までに考察した事柄などは、今後は室内試験だけで検討することもできよう。

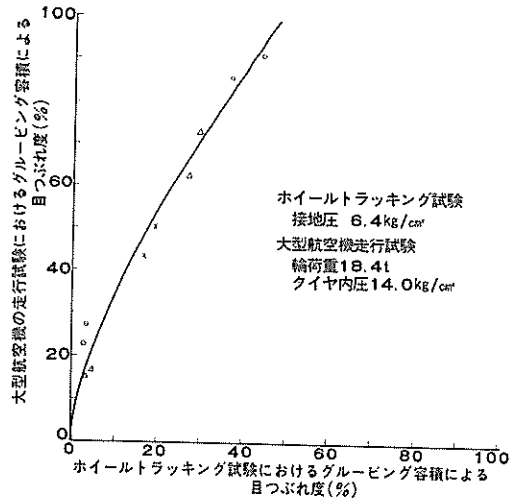


図-37 大型航空機の走行におけるグルーピング容積による目つぶれ度とホイールトラッキング試験におけるグルーピング容積による目つぶれ度の関係

5. ま と め

以上グルーピングの破損状況調査結果、室内試験結果ならびに試験舗装での結果をそれぞれ紹介し、それぞれについて考察してきた。ここではこれらを総合して、グルーピングの安定性に関して判明した事柄をとりまとめて示す。

(1) 実際の空港でのグルーピングの破損としては、目つぶれと角欠けが主なものである。角欠けには、航空機のねじりによるものと、表層の老化からのはく離によるものとがみられる。

(2) 目つぶれは、タイヤの繰り返し通過回数ともない初めグルーピングの幅が小さくなり、やがて深さが小さくなっていく。

(3) 目つぶれは舗装温度が高くなるほど進行が著しくなる。

(4) 角欠けは一般には舗装温度が低くなるほど多くなりそうであるが、航空機のねじりによる角欠けは逆に舗装温度の高いときに多くなる。

(5) 舗装温度の高いときのグルーピング上での航空機の運航では、急旋回をしないなど十分な配慮が必要である。

(6) 目つぶれや角欠けに対するグルーピングの安定性を高めるためには、表層材料の骨材を道路舗装の表層の場合程度に粗くするのがよく、ストレートアスファルトの針入度を小さくしたり、アスファルト量を少なくす

ることは行わない方がよい。

(7) ゴム樹脂入りの特種アスファルトは、グルーピングの目つぶれや角欠けに大きな効果がある。

(8) 表層舗設後グルーピング施工までに最低2か月は養生期間をとることが望ましい。

(9) 実際の航空機荷重による目つぶれを評価するのに、ホイールトラッキング試験による目つぶれ試験は十分なものである。

6. あとがき

ここ1～2年の間に全国各地の空港の滑走路にグルーピングの設置がなされ、今後もその他の数多くの空港でグルーピングの設置が予定されている。このような状況に基づき、過去実施されたグルーピングの追跡調査を行い今後のグルーピング工事に反映させることとし、その一部として航空機荷重によるグルーピングの破損の実態を調べた。その結果、目つぶれ、角欠けといったグルーピングの安定性に関する問題点がクローズアップされた。

本資料では、グルーピングの破損状況の実態を紹介するとともに、室内試験や試験舗装での結果から破損に影響する各種要因を調べ、グルーピングの安定性を高めるための方策をいくつか提案した。今後のグルーピングの設置、管理において、今回判明したいくつかの事実が何らかの参考になるものと考えられる。

ただわが国の空港でグルーピングが設置されだして日が浅いため、今回の検討には長期間にわたる耐久性の項目は含まれていない。グルーピングすることによって表層の老化が促進されて耐久性が低下する懸念もある。また表層の老化が進んだときに、グルーピングの安定性がどうかという問題もある。これらは短期的には解答がだせないものなので、今後の長期的な観察が望まれる。

またグルーピングの供用性についても、グルーピングの破損と深い関係がありそうである。排水効果やすべり抵抗増大効果について良好な供用性を持続するには、今回研究したようにより一層グルーピングの安定性を高める努力をするとともに、グルーピングの破損と供用性の間の関係を十分に把握し、グルーピングの補修、改修といったことを適切に行っていく必要がある。これらの点については今後の大きな課題として残された。

謝 辞

本研究の中のグルーピングの破損状況調査は、本省航空局建設課が中心になって地方航空局、各空港事務所の協力のもとに実施されたもので、その努力に対し敬意を表したい。また本資料にこれらの貴重な調査結果を利用させていただけたことに対し、調査結果の提供をいただいた本省航空局建設課には厚く御礼申し上げる次第です。

参考文献

- 1) たとえば、NASA : Pavement Grooving and Traction Studies, Nov. 1968, 512 p.
- 2) 湿潤滑走路安全基準調査研究委員会：湿潤滑走路の安全基準調査研究報告書（そのⅢ），昭和49年3月，49 p.
- 3) 湿潤滑走路安全基準調査研究委員会：湿潤滑走路の安全基準調査研究報告書（そのⅣ），昭和51年3月，108 p.
- 4) たとえば、金崎健児，岡田富男：アスファルト，日刊工業新聞社，昭和38年，289 p.
- 5) 山形県：山形空港滑走路改良工事報告書，昭和52年4月，33 p.
- 6) 運輸省航空局：空港土木工事共通仕様書，昭和48年，217 p.
- 7) たとえば、菅原照雄，他：アスファルトの針入度・軟化点が混合物のなかにおいて持つ意義について，第12回日本道路会議論文集，昭和50年10月，pp. 237～238.
- 8) Federal Aviation Administration : Method for the Design, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces, AC No. 150/5320-12, June 1975, 80 p.

港 湾 技 研 資 料 No. 308

1978・12

編集兼發行人 運輸省港湾技術研究所

發 行 所 港 湾 技 術 研 究 所
橫須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 阿部写真印刷株式会社