

1. はじめに

空港滑走路のすべり抵抗性を維持することは、航空機の運航安全性を確保する上で重要な要求性能の一つである。摩擦抵抗性は滑走路面が湿潤状態となつてしまうと著しく低下するので、降雨時における排水時間を短縮するために横断方向に勾配を付けるとともにグルーピングを設けている。このグルーピングの効果については、種々の研究がなされている。運輸省港湾技術研究所においてはタイヤゴム付着によるグルーピング効果の減少、グルーピング効果の簡易試験法、さらにはタイヤゴムの効率的除去方法についてまとめられている¹⁾。

アスファルトコンクリートは、施工完了後交通荷重によるニーディング作用を受け、空隙が減少して密度が増加する。したがって、グルーピングはこのような現象がある程度落ち着いてから設置することが肝要であり、現行規定では、表層アスファルトコンクリートを施工してから2ヶ月以上経過後に設置することとされている²⁾。これは新設の場合とはともかく、オーバーレイといった補修の場合には、滑走路のすべり抵抗性確保の観点からは厳しい規定である。近年は航空機の大型化、運行回数の増加に伴って、補修工事が多くなっていることから、この点に関して再検討する必要性が極めて高いものと考えられる。

以上のことを背景として、グルーピングの航空機荷重に対する安定性を明らかにするための試験研究を実施することにした。本研究では、材料ならびに表層施工後グルーピング設置までの期間を種々に変えて室内試験による基本的検討を行った。

以下では、まず、湿潤時の空港舗装上を航空機が走行するときのグルーピングの効果について明らかにする。そして、それを維持するために必要となる方策について、室内試験により明らかにする。

2. グルーピングによる航空機の走行安全性の向上

2.1 空港舗装のグルーピングに関する規定

滑走路の湿潤時におけるすべり抵抗性について、ICAO（International Civil Aviation Organization, 国際民間航空機関）では表-1に示す規定を設けている³⁾。これに対して、わが国では表-2に示す管理目標値⁴⁾が提案されているものの、基準化されるには至っていない。

グルーピングは排水性を高める効果があることから、ICAOは、必要に応じて滑走路の横断方向にグルーピングを設けることを規定しており、その形状の例として3×3

×25mm、6×6×31mm（幅×深さ×間隔）を挙げている⁵⁾。また、FAA（Federal Aviation Administration, 米国連邦航空局）は、ジェット航空機が就航する空港の滑走路ではグルーピングを設置すべきとしている⁶⁾。この場合、グルーピングは、幅6mm、深さ6mm、間隔38mmの寸法で、滑走路全長にわたってほぼ全幅（端部より3m以内まで）に設置することと規定している⁷⁾。わが国の場合は、滑走路の幅員の2/3以上の範囲に全長にわたってグルーピングを施工することを原則としている。このグルーピングは、図-1に示すように、幅6mm、深さ6mmの溝を32mm間隔で横断方向に設けるものである。

表-1 湿潤滑走路のすべり摩擦係数の規格値

測定装置	タイヤ 圧力 (kPa)	速度 (km/h)	水深 (mm)	新設時 目標	補修 計画	最小 値
Mu-meter	70	65	1.0	0.72	0.52	0.42
	70	95	1.0	0.66	0.38	0.26
Skidometer	210	65	1.0	0.82	0.60	0.50
	210	95	1.0	0.74	0.47	0.34
Surface Friction Tester	210	65	1.0	0.82	0.60	0.50
	210	95	1.0	0.74	0.47	0.34
Runway Friction Tester	210	65	1.0	0.82	0.60	0.50
	210	95	1.0	0.74	0.54	0.41
TATRA Friction Tester	210	65	1.0	0.76	0.57	0.48
	210	95	1.0	0.67	0.52	0.42
Grip Tester	140	65	1.0	0.74	0.53	0.43
	140	95	1.0	0.64	0.36	0.24

表-2 わが国のすべり摩擦係数の管理目標値

試験装置	グルーピング		速度 (km/h)	タイヤ
	有	無		
μメータ	0.6	0.5	60	—
SFT	0.55	0.45	95	低圧
	0.45	0.4	95	高圧

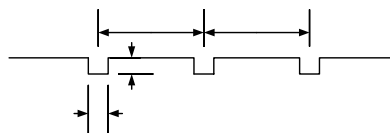


図-1 わが国でのグルーピングの形状

2.2 グルーピング溝の変形によるすべり抵抗性の違い

グルーピングの設置目的は、前述のように、降雨時における雨水の排水を迅速にして舗装表面のすべり抵抗性を確保することである。ここでは、溝の変形がみられるような実際の空港滑走路舗装におけるすべり抵抗性について検証した。

(1) 試料の採取とすべり摩擦係数の測定方法

供用を終了した東京国際空港旧B滑走路から表層部分の試料を採取して、小型測定装置を使用して舗装表面のすべり摩擦係数を測定した。

試料は、表-3に示すように、グルーピングのない箇所とある箇所（4地点）で採取した。後者の場合は、溝の変形程度を目視により、なし、大、中、小と判定して試料の採取箇所を選定した。試料の採取位置は図-2に示してある。採取した試料の寸法は縦50cm、横110cmであるが、これを縦・横50cmの矩形に整形して試験に供した。

まず、上記のようにして準備した供試体の表面形状（プロファイル）を測定した。具体的には、レーザー距離計（スポット径0.07mm、分解能0.003mm）を用いて、横断方向に15cm間隔で設けた3測線に沿って0.1mm間隔でプロファイルを測定した（測線長は30cm）。また、サンドパッチ法⁸⁾による測定も実施した。

表-3 試料の状況

No.	グルーピング	溝の変形
1	なし	—
2	あり	なし
3		大
4		中
5		小

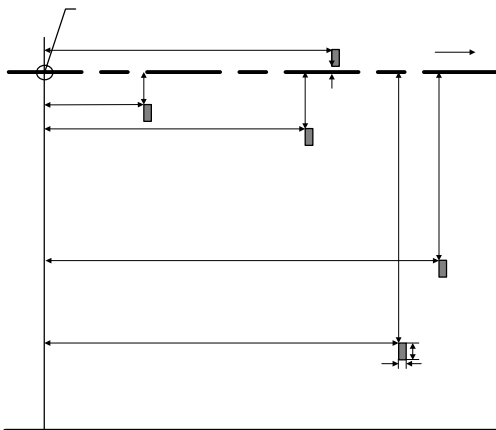


図-2 試料採取位置

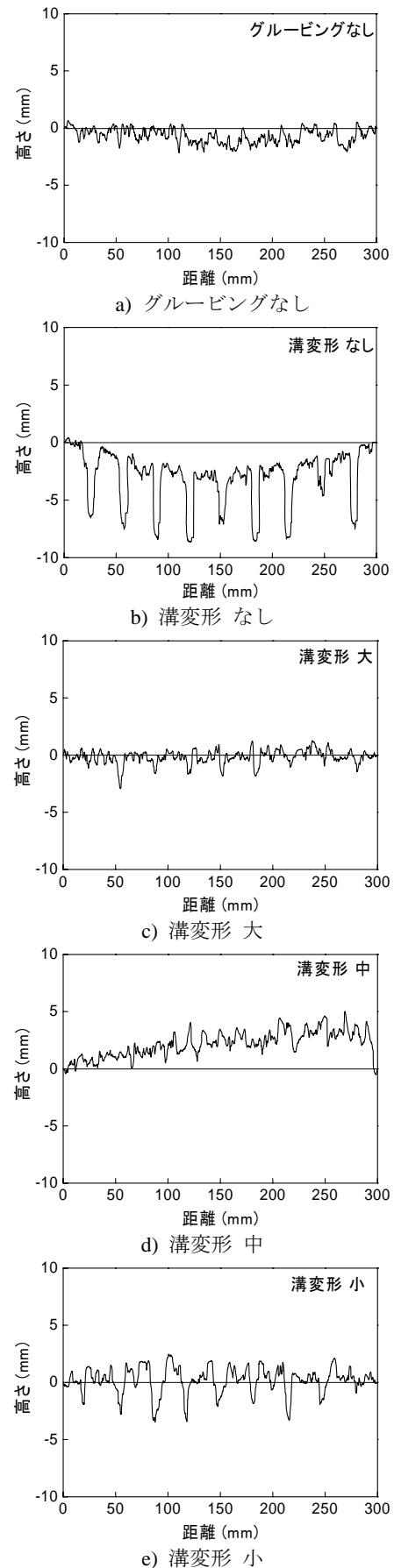


図-3 供試体のプロファイル

すべり摩擦係数の測定には、DFテスト⁹⁾と振り子式測定機⁸⁾を使用し、水深を種々に変えて測定を行った。前者の場合の測定速度は40km/hと60km/hの2種類であり、後者の場合はグルーピングの直角方向と平行方向の両方で測定を実施した。

(2) 溝の変形程度とすべり摩擦係数

a) 表面形状の定量化

レーザー距離計で測定した供試体のプロファイルを図-3に示した。グルーピングのない場合と溝が健全な場合の違いがこのプロファイルに明確に現れていることがわかる。また、溝が変形している場合には両者の間に位置することもわかる。

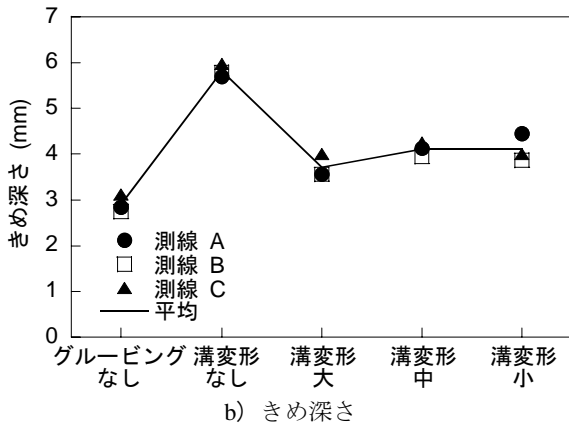
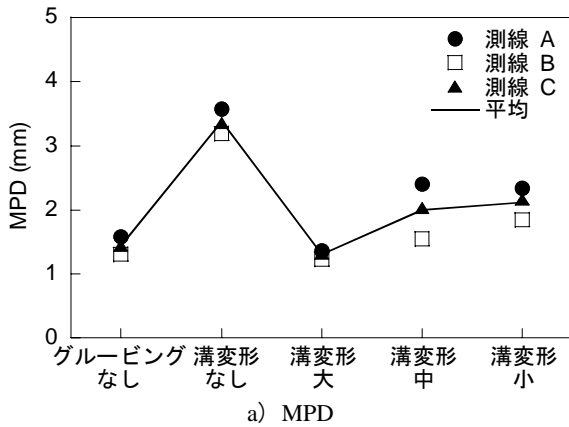


図-4 試料の表面形状の定量化

このようにして測定した舗装のプロファイルを定量化する方法として平均きめ深さ (MPD, Mean Profile Depth) を用いた。このMPDは、参考文献¹⁰⁾を参考にして、プロファイルの平均位置から最も離れたプロファイル上の点までの距離として定義した。なお、サンドパッチ法による表面形状の定量化方法としてはきめ深さをを用いた。

図-4には各供試体のMPDときめ深さを示してある。両方の指標とも目視による溝の変形程度の評価結果とおおよそ合致していることがわかる。また、図-5に示したように、両者の間の相関性は比較的高いものとなっている。

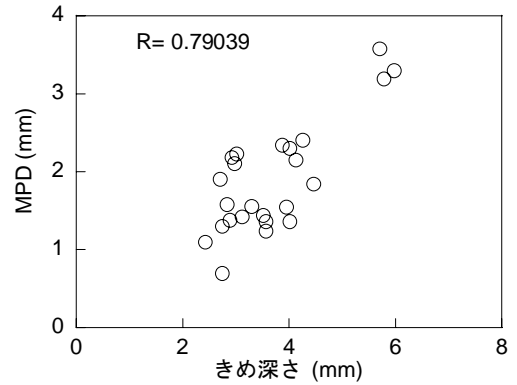


図-5 きめ深さとMPDの相関性

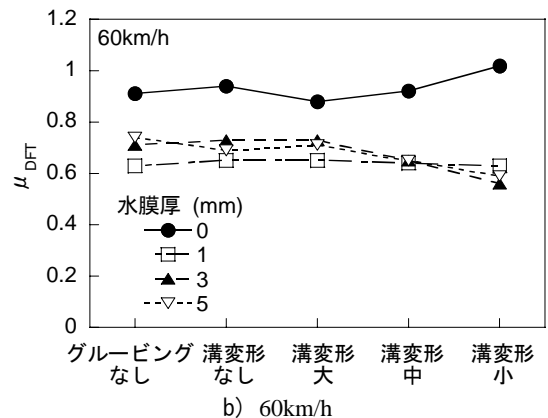
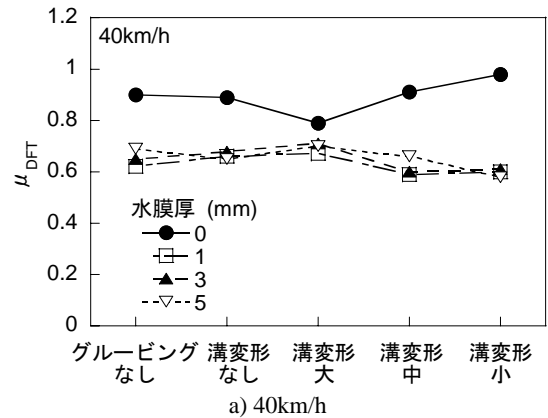


図-6 DFテストによるすべり摩擦係数

b) すべり摩擦係数

DFテストによる測定結果を図-6に示した (測定速度は40km/hと60km/h)。舗装表面が乾燥時と湿潤時ですべり

摩擦係数 μ_{DFT} は大きく異なることがわかる。また、水深が1～5mmの範囲では μ_{DFT} にはほとんど差のみられないこともわかる。さらに、乾燥時には変形が進むほど μ_{DFT} は小さくなるのに対し、湿潤時には目視による溝の変形程度によらず、 μ_{DFT} はほぼ一定となることが認められる。

同様に、振り子式測定機による測定結果を図-7に示した（溝直角方向と平行方向）。DFテストの場合と同様に、表面の乾燥状態によって測定値（BPN）は大幅に異なること、湿潤時で水深が1～5mmの範囲ではほとんど変化しないこともわかる。溝の変形程度によるBPNの違いについてみれば航空機の走行時に相当する溝直角方向の場合にグルーピングが健全であれば、BPNは大きいことが明らかである。しかし、これ以外の場合では、グルーピングの有無、溝の変形程度といった要因によってBPNにはほとんど違いがみられない。

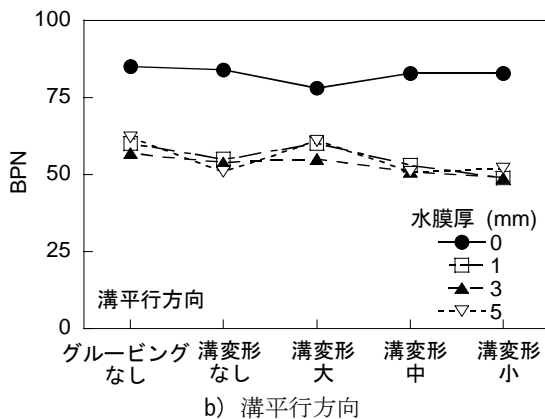
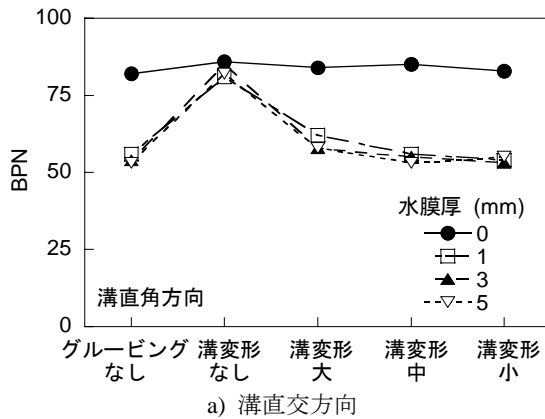


図-7 振り子式測定機によるすべり抵抗性

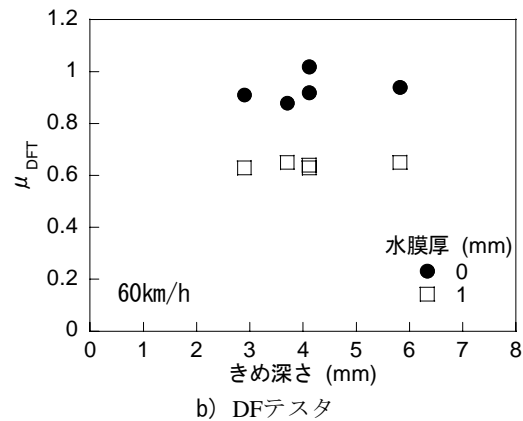
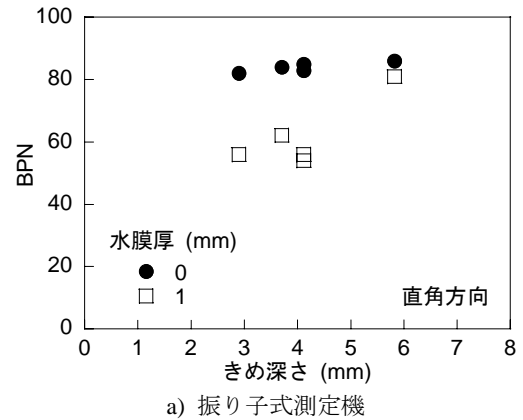


図-8 きめ深さとすべり抵抗性

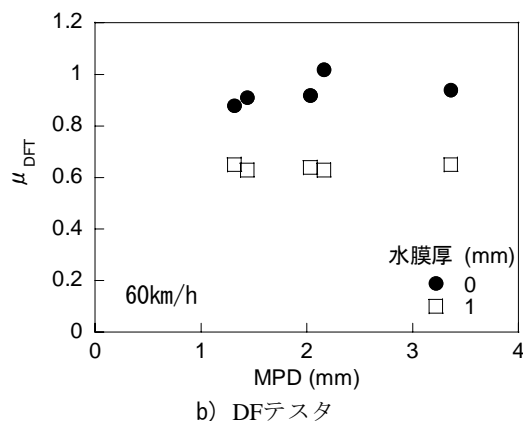
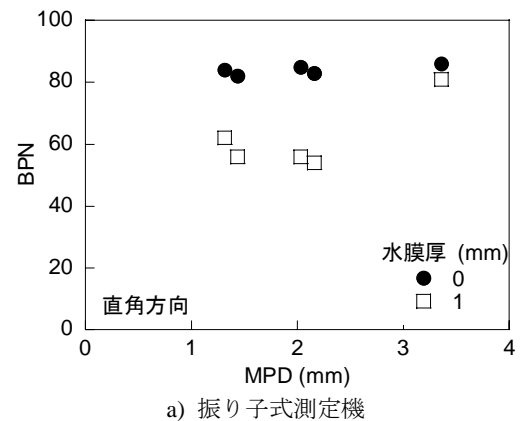


図-9 MPDとすべり抵抗性

DFテスト、振り子式測定機による測定値を上述の舗装表面形状を表す指標と比較した結果を図-8 (MPD) と図-9 (きめ深さ) に示す (前者は測定速度60km/h, 後者はグルーピング直角方向のデータ)。いずれも、舗装表面が乾燥した場合と湿潤の場合 (水深1mm) である。乾湿状態が同じであれば、溝形状が健全なときの振り子式測定機を除いて、きめ深さ、MPDによるすべり抵抗性の違いはほとんどみられない。

以上のことから、滑走路表面が湿潤状態になると、そのすべり抵抗性は一様に低下し、水深やグルーピングの溝の変形程度によっても大きく異なるようなことはないと思われる。しかし、溝形状が健全な場合の振り子式測定機によるグルーピング直角方向の測定値は滑走路表面が湿潤状態となっても良好さを保持していることから、グルーピングを健全に保つことがすべり抵抗性を確保するためには必須のことであると認められる。

2.3 滑走路の滞水状態によるすべり抵抗性の違い

(1) 水深が航空機の走行安全性に及ぼす影響

上記のように室内試験結果からは、水深はすべり摩擦係数に大きな影響を及ぼすことがないとわかったが、車両型式の測定装置によれば影響が表れてくる。たとえば、図-10に示した車両型式の測定装置を用いた場合の種々の測定 (走行) 速度における水深とすべり摩擦係数の関係¹¹⁾から、水深の影響は高速時ほど大きいこと、すべり摩擦係数は水深が比較的小さい範囲で急激に低下することがわかる。

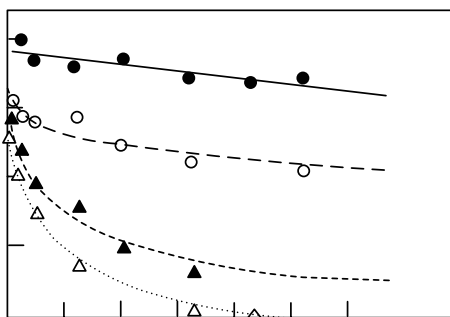


図-10 水深がすべり摩擦係数に及ぼす影響

また、ハイドロプレーニング現象が発生するときの航空機走行速度が、滞水の程度、すなわち水深によって変化することもわかっている。図-11は、タイヤと舗装面間に介在する水の二次元流を考えると、ハイドロプレーニン

グ現象発生時の走行速度を計算した¹²⁾結果である。水深の大きいほどハイドロプレーニング現象が発生するときの速度が低くなるのがわかる。

以上のことから、湿潤状態の滑走路上の航空機の走行安全性を確保するためには、水深を小さく保持することが肝要であると認識される。

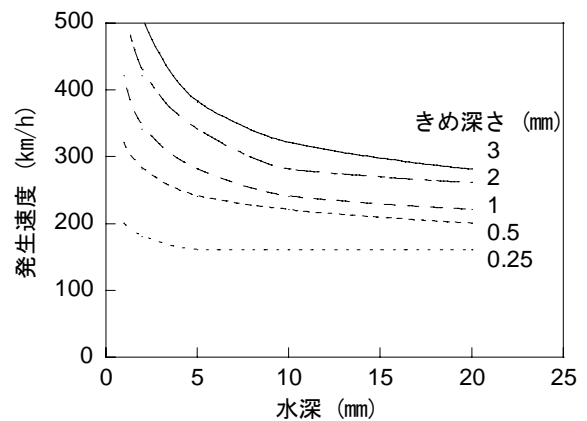


図-11 水深とハイドロプレーニング現象発生速度

(2) 滑走路の滞水状態に関する要因分析

滑走路が滞水する状況は、降雨強度のほか、滑走路の縦横断勾配、テクスチャ、グルーピングの溝形状・溝間隔・設置範囲といった要因により変化することが知られている。以下では、滞水の程度を水深として表して、これら要因が水深に及ぼす影響について検討する。ここでは空港が関東地区にあることを想定して条件を定め、具体的に水深を計算してみた。

a) 計算方法

計算方法としては、参考文献¹³⁾に記されたものを用いた。これは、滑走路の横断方向への雨水排水状態を開水路における定常流として解析する方法である。入力可能な条件は次のとおりであり、具体的な入力値は可能な限り空港土木施設設計基準に基づいて決定した。

- ① 排水長：滑走路の片側幅員である30mを採用した。
- ② グルーピング設置範囲：標準的な値である20mを採用したほか、グルーピングを設けないものも用いた。
- ③ 横断勾配：1.0～1.5%の範囲の値を採用した。
- ④ テクスチャ：標準的な舗装面のテクスチャとしてきめ深さ0.25mmを採用し、参考文献¹³⁾にある関係図からマニング粗度係数として0.01を用いた。
- ⑤ グルーピングの形状：幅6m、深さ6mの矩形の溝を32mm間隔で設けるものを採用した。また、溝が変形し

て溝容積が減少する場合を想定して、溝容積変化率30%、58%、83%となった場合についても計算の対象とした（変化率の定義は5.の場合と同一）。

⑥ 降雨強度：空港排水施設・地下道・共同溝設計要領に記載の降雨強度（60分）を用いた。具体的には、同要領にある東京地区における50年、10年確率に相当する90mm/h、60mm/hに加えて、30mm/hとした。

b) 計算結果と考察

まず、グルーピングのない場合とある場合（種々の溝容積変化率）で、1%の横断勾配の条件下での計算結果を図-12に示す。グルーピングなしの場合は、降雨強度が30mm/hであっても、滑走路中心線から3m程度の位置で水深は1mmに達してしまう。これに対して、グルーピングを設置することの効果は明確に現れており、溝が健全な場合には、60mm/hの降雨強度であっても中央帯部分には滞水しない。しかし、溝の変形が進行し、溝容積が減少するにつれて、滞水範囲が拡大するとともに、同一地点での水深も増加していくことがわかる。

1～3mmの範囲の水深となる滑走路上の位置を滑走路中心線からの距離で表したものが図-13である（降雨強度別）。降雨強度が30mm/hの場合をみると、水深を比較的小さく保持可能な範囲は溝容積の減少に伴って狭くなるが、3mm程度であれば中心線から20mの範囲でも保持可能である。これに対して、降雨強度が60mm/hと90mm/hの場合に所定の水深が保持可能となる位置は、水深によらず、溝容積の減少に伴って中心線寄りになってくる。すなわち、中央線からの距離は短くなる。言うまでもなく、その距離は注目している水深が小さいほど、降雨強度が大きいくほど短いものとなる。

上記の図から、すべり摩擦係数測定時に一般的に使用されている水深が1mmとなる位置を滑走路中心線からの距離として図-14に示した。滞水したとしても中央帯（滑走路中心線から10mまでの範囲）が水深1mm以下とできる降雨強度は、溝が健全の場合で75mm/hであるのが、溝容積が30%減少すると55mm/hに、60%減少すると20mm/h程度にまで低下することがわかる。すなわち、東京地区における10年確率降雨強度60mm/hの降雨があった場合に、中央帯における水深を1mm以内にするためには、溝容積は20%程度の減少に留めなければならないことがわかる。なお、50年確率降雨強度90mm/hに対しては、グルーピングが健全であったとしても、中央帯における水深を1mm以下にすることはできない。

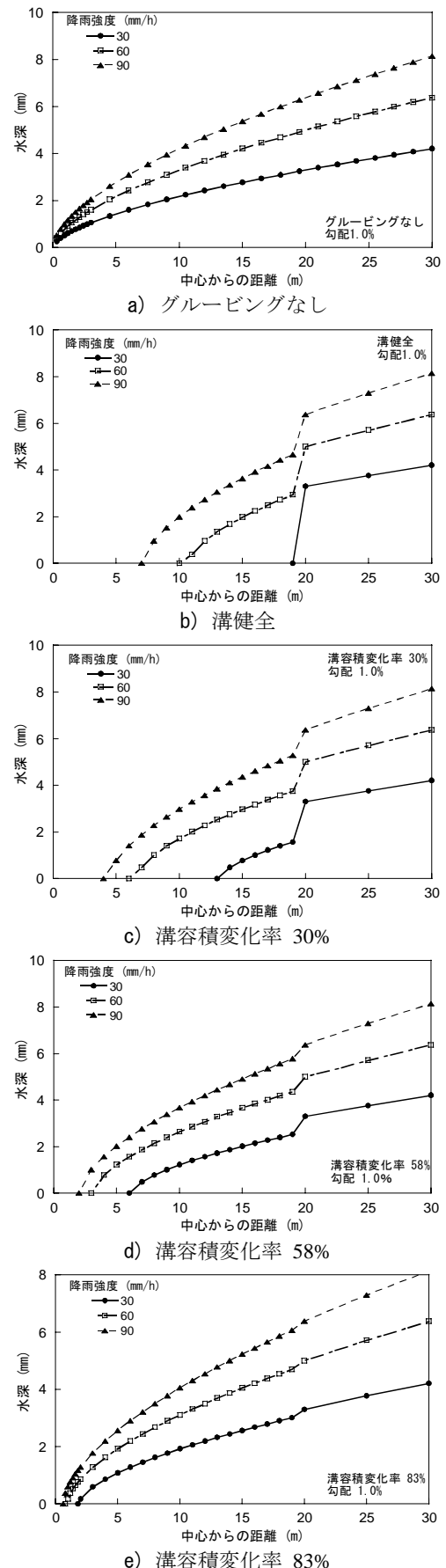


図-12 グルーピングの状況による水深の違い

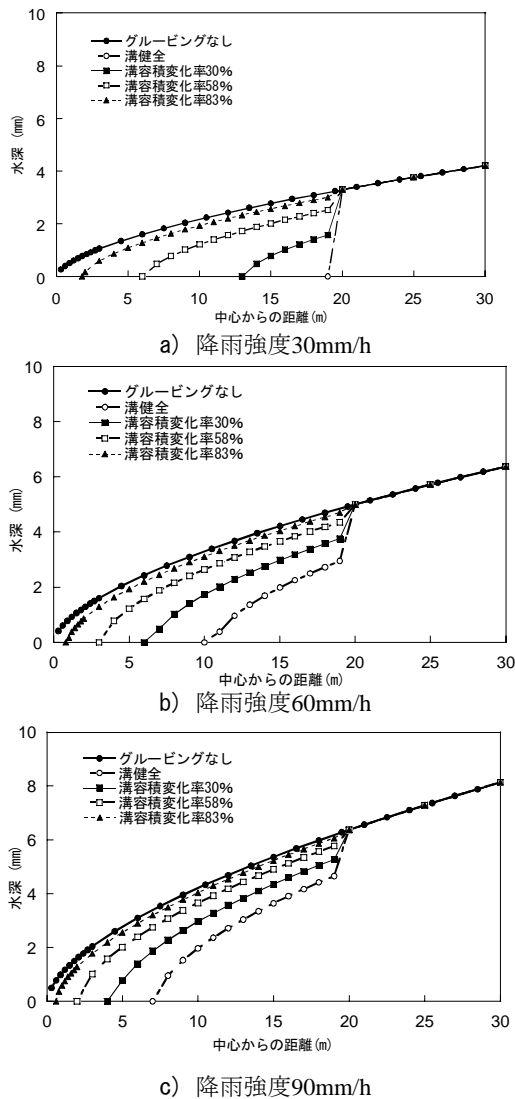


図-13 所定の水深となる位置（滑走路中心からの距離）

水深を1mm以下に保持できる範囲は、上記の要因以外にも、きめ深さや横断勾配によって変わってくる。前者については図-15に、後者については図-16に示した（降雨強度60mm/hの場合）。いずれも影響度合いは大きいものではないことがわかる。このことから、水深を小さく保持するためには、グルーピング溝の形状変化を防ぐことが肝要であるとわかる。

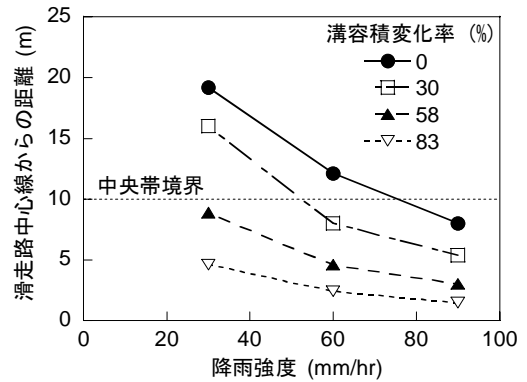


図-14 水深が1mmとなる位置

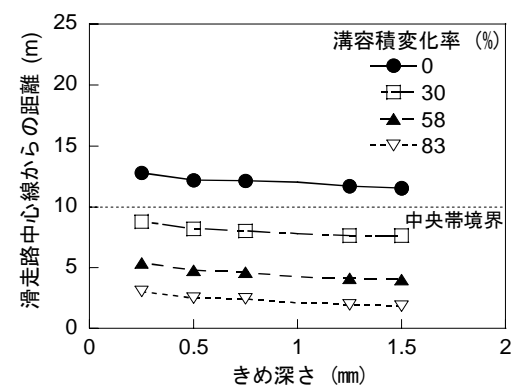


図-15 きめ深さが水深1mmとなる位置に及ぼす影響

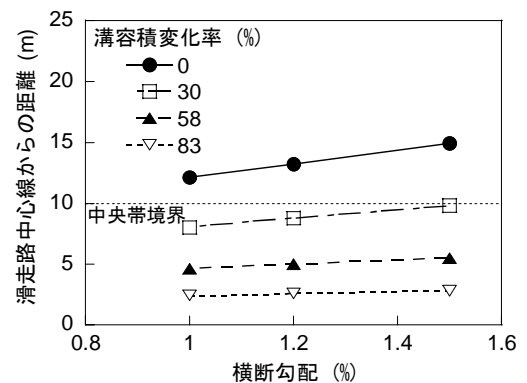


図-16 横断勾配が水深1mmとなる位置に及ぼす影響

3. グルーピングの溝形状安定性に関する既応調査

空港滑走路舗装におけるグルーピングに関する既応の研究事例として、九州地方ならびに関東地方の空港における現地調査と旧運輸省港湾技術研究所において実施された室内試験を取り上げて、その結果をまとめる。

3.1 九州地方の空港における調査¹⁴⁾

1980年に供用中の九州地方の空港においてグルーピング溝形状に関する実態調査が行われた。この空港の滑走路舗装は、コンクリート舗装上にアスファルトコンクリートによるオーバーレイが施された構造になっている。オーバーレイの構造は、表面から、表層、基層（2層）、アスファルト安定処理路盤（3層）となっている。グルーピングはオーバーレイ後3年経過した時点で施工され、その2年後にグルーピング溝形状ならびにアスファルトコンクリートの性状に関して現地調査が行われている。

(1) 溝形状

グルーピングの変状として、溝形状の変形（つぶれ）と角欠けが取り上げられた。

溝の変形がみられた箇所は、滑走路の末端ならびに高速脱出誘導路の手前で、滑走路中心線の両側1～5mの範囲に集中している。また、角欠けは、施工目地に多くみられるほか、特定の骨材が使用されている箇所にもみられた。

前者は、変形のみられた箇所が航空機の低速または減速走行する区間で、かつ航空機主脚位置と一致していることから、アスファルトコンクリートの変形抵抗性の不足が原因と考えられる。後者は、アスファルトコンクリートの老化や骨材とアスファルトの付着力不足といった点が原因と考えられる。

(2) アスファルトならびにアスファルトコンクリート

変形がみられた箇所とみられなかった箇所から試料を採取してその性状が調べられている。

まず、表-4に示した現場採取試料の空隙率をみると変形ありの場合がなしの場合よりも小さくなっていて、交

通荷重により密化の進んでいることがわかる。次に、図-17に示した骨材粒度をみると、若干ではあるが、変形ありのほうが細粒分が多くなっている。また、アブソン法により回収されたアスファルトの針入度ならびに軟化点をみると、特に表層において変形の有無による差が明らかになっていて、変形ありの場合では老化は進行していないことがわかる（表-5）。

アスファルトコンクリートの力学特性を把握するために、ホイールトラッキング試験を実施している。ここでは、既設アスファルトコンクリート層を50mmずつの厚さに薄く切って試験に供した。その結果として図-18に示した動的安定度でみると、表層部分に変形の有無による差が大きく認められ、変形ありのほうが非常に小さい値を示している。

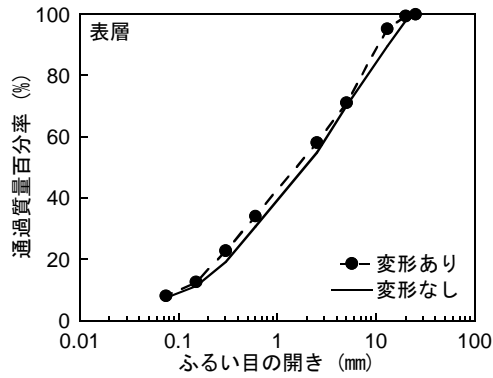
以上のことから、施工当初は違いがなかったと考えられる。アスファルトならびにアスファルトコンクリートの特性は、供用後の交通荷重ならびに老化作用により、特に表層部分で滑走路内の位置による差が生じていることがわかった。すなわち、グルーピングの変形がある箇所ではアスファルトコンクリートの密化が進んで変形抵抗性が低下する反面、老化の進行は遅いという現象が認められた。これが、供用開始後3年が経過し、材料の変形特性がある程度落ち着いたと思われる時点でグルーピングを施工した場合の結果であることを考えると、交通荷重条件の厳しい箇所ではグルーピング形状を保持するためには、変形抵抗性に優れた材料を使用すべきことを意味していよう。

表-4 現場採取試料の層厚・密度

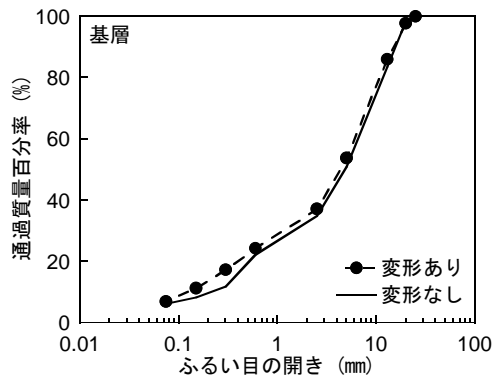
項目	表層		基層（上）		基層（下）		路盤（上）		路盤（中）		路盤（下）	
	変形あり	変形なし	変形あり	変形なし	変形あり	変形なし	変形あり	変形なし	変形あり	変形なし	変形あり	変形なし
層厚 (cm)	4.9	3.6	3.4	3.3	4.1	6.1	5.0	6.3	6.6	7.7	8.8	7.0
密度 (g/cm ³)	2.432	2.412	2.440	2.443	2.458	2.426	2.452	2.381	2.434	2.398	2.398	2.369
空隙率 (%)	1.2	2.2	1.9	1.4	1.1	2.1	0.5	3.2	1.3	2.5	2.7	3.7

表-5 抽出アスファルトの性状

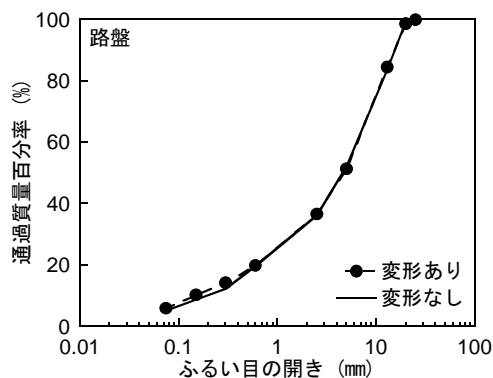
項目	表層		基層		路盤	
	変形あり	変形なし	変形あり	変形なし	変形あり	変形なし
アスファルト量 (%)	5.82	5.71	4.96	4.55	4.95	4.86
針入度	53.6	39.6	52.2	55.0	58.8	57.2
軟化点 (°C)	52.1	55.6	50.9	50.3	50.0	50.6



a) 表層



b) 基層



c) 路盤

図-17 骨材の粒度

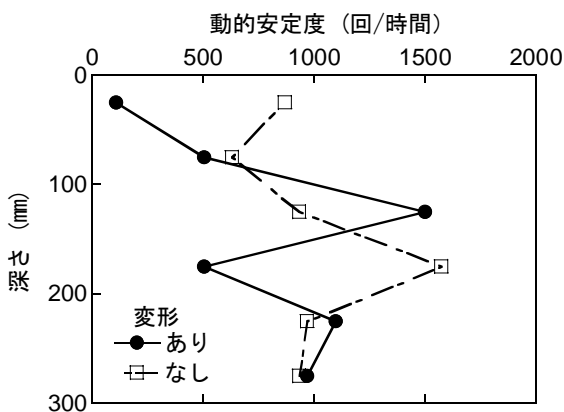


図-18 現場採取供試体の動的安定度

3.2 関東地方の空港における調査¹⁵⁾

アスファルトコンクリートによるグルーピング溝の変形抵抗性の違いについて、上記と同様に、ホイールトラッキング試験により検討した事例がある。使用した供試体は室内で準備したものと供用中の空港から採取したものである。前者については、室内でアスファルトコンクリートの試料を作成してグルーピングを施したのに対し、後者の場合は、供用中の関東地方の空港で建設されてから5年以上経過したアスファルト舗装にグルーピングを新たに施工した箇所から試料を採取した。

室内作製の供試体には空港土木工事共通仕様書¹⁶⁾（以下共通仕様書）に規定されている基本施設の①表層の規定を満足するアスファルトコンクリート（骨材最大粒径20mm）が使用された。アスファルトとして、ストレートアスファルト60/80、改質アスファルト（ストレートアスファルトに熱可塑性エラストマーを8%添加）、硬質アスファルト（ストレートアスファルトとトリニダットレーキアスファルトを3：1の割合で混合）の3種類が用いられた。これら3種類のアスファルトの性状は表-6に示すとおりである。骨材粒度としては、ストレートアスファルトについては規定粒度範囲の中央粒度および下限粒度の2種類が、その他については中央粒度のみが使用された（以下、ストレート、ストレート下限、改質、硬質と称す）。骨材の配合および粒度を表-7、図-19に、最適アスファルト量におけるマーシャル特性値を表-8に示す。

それぞれについて配合試験で求められた最適アスファルト量で供試体を作成し、作成後1ヶ月間屋外暴露してからグルーピングが施された。グルーピングは図-20に示すように供試体中央部分に設置された。

表-6 アスファルトの性状

項目		ストレート	改質	硬質
針入度 (°C)		71	49	42
軟化点 (°C)		48.5	76	54.8
伸度 (cm)		100+	58	100+
三塩化エタン可溶分 (%)		99.7	97.0	89.6
引火点 (°C)		362	320	272
比重 (g/cm ³)		1.030	1.025	1.092
粘度 (cst)	120°C	1038	—	884
	140°C	372	—	277
	160°C	161	—	108
	180°C	80	—	50

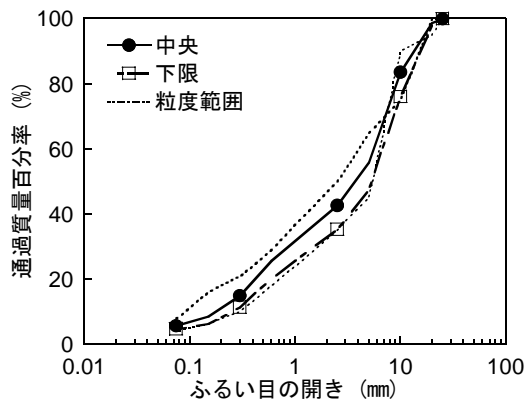


図-19 骨材の粒度

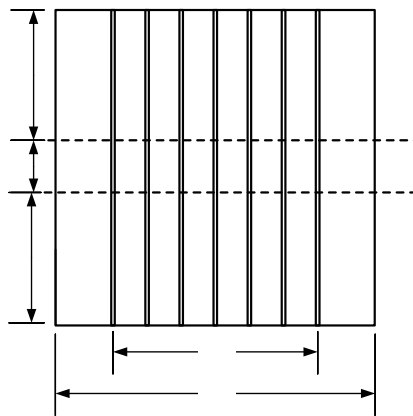


図-20 室内にて準備した供試体

現場採取供試体は、まずブロック状のアスファルトコンクリートを切り出し、これを実験室内で幅280mm、長さ280mm、厚さ50mmに整形してからホイールトラッキング試験用型枠に設置し、供試体の周囲ならびに底面に石こうを充填することにより準備された。なお、アスファルトの抽出試験結果から、骨材は共通仕様書に記された基本施設表層タイプⅠ（最大粒径13mm）の粒度範囲にあること、アスファルト量が5.92%であることが認められている。また、回収したアスファルトの針入度と軟化点はそれぞれ19（1/100cm）、63.4℃であったが、これは供試体の平均的な値であるため、グルーピングの設けられている表層部分はより老化が進んでいるものと考えられる。

上記の方法で準備した供試体に対して、ホイールトラッキング試験が実施された。試験車輪の接地圧は1.4MPaとし、供試体中央部分を2,000回まで繰返し走行させている。試験温度は45℃である。

試験結果として、溝形状の消失度（定義は後述の(1)式と同じ）が材料によって異なる状況が図-21に示されている。これから、表層として一般的な材料であるストレートアスファルトを使用して中央粒度の骨材とした場合、グルーピングの溝形状の消失度は最も大きいことがわかる。また、溝形状を保持する上では、改質アスファルトを使用することが有効であることもわかる。さらに、通常材料の場合であっても現場採取試料と室内作成供試体を比較すればわかるように、舗装施工後グルーピングを設置するまでの期間を長く取って材料を硬化させることが有効であることもわかる。これらについては、図-22に示した走行2,000回終了時における溝形状の最終消失度からも認められる。

表-7 骨材の配合

混合比	骨材種別	砕石5号	砕石6号	砕石7号	粗砂	細砂	スクリーニングス	石粉
	中央粒度	17	28	9	19	11	11	5
	下限粒度	25	28.5	8	19	8	8	3.5

(単位：%)

表-8 最適アスファルト量におけるマーシャル特性値

項目	ストレート	ストレート下限	改質	硬質
最適アスファルト量 (%)	5.4	5.5	5.7	5.8
密度 (g/cm ³)	2.382	2.387	2.378	2.380
空隙率 (%)	3.4	3.1	3.2	3.6
飽和度 (%)	78	80	80	84
安定度 (kN)	117.7	127.5	147.1	121.6
フロー値 (1/100cm)	32	33	36	38

図-23、図-24には、アスファルトの特性である針入度、軟化点とグルーピング溝形状消失度との関係を示してある。針入度の小さいほうが消失度も小さいことがわかる。同様に、軟化点が高いほど消失度が小さいことも明らかである。これらのことから、アスファルトが硬いほうがグルーピング溝形状も変化しにくいとわかる。

アスファルトコンクリートの特性として空隙率とマーシャル安定度を取り上げ、グルーピング溝形状との関係について検討した（それぞれ、図-25、図-26）。空隙率が3～3.5%程度の範囲では空隙率と溝形状消失度との間には相関性のないことがわかる。これに対して、安定度と溝形状消失度の間には相関性のあることが明らかで、安定度が高いほど溝形状の消失度は小さい。このことから、グルーピングの溝形状を保持するためには変形抵抗性の大きいアスファルトコンクリートを使用することが必要であることがわかる。

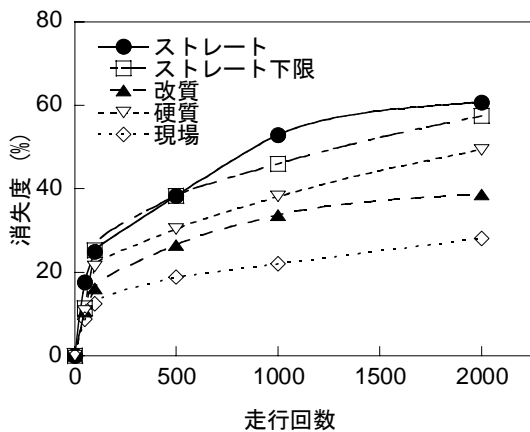


図-21 材料による消失度の違い

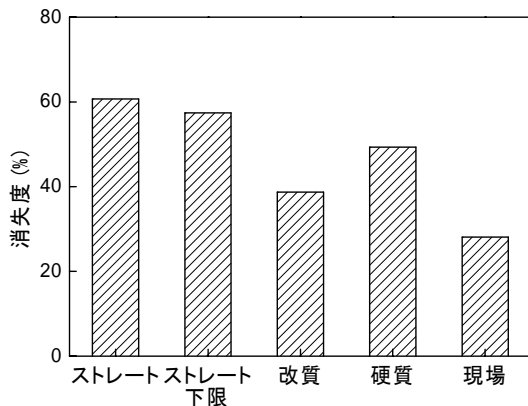


図-22 材料による最終消失度の違い

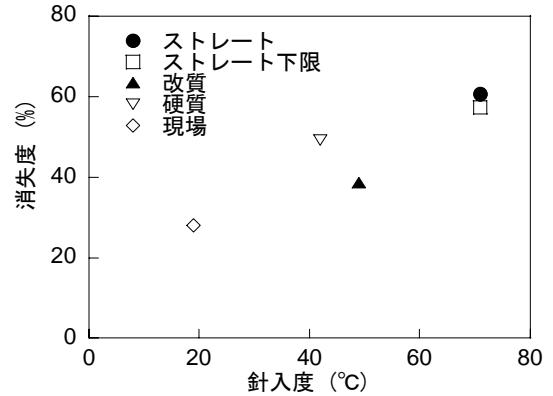


図-23 針入度と最終消失度の関係

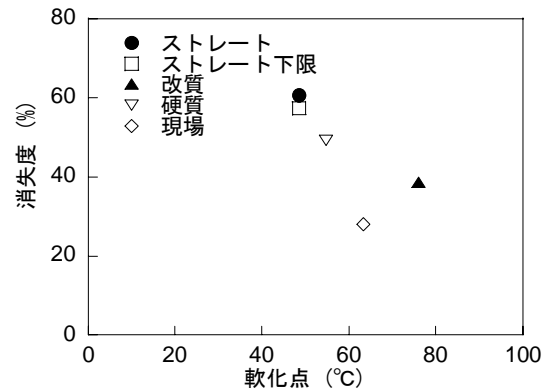


図-24 軟化点と最終消失度の関係

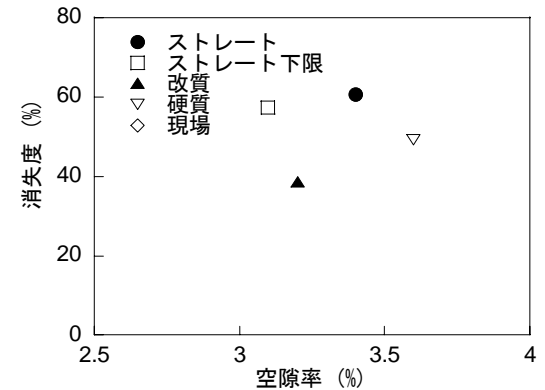


図-25 空隙率と消失度

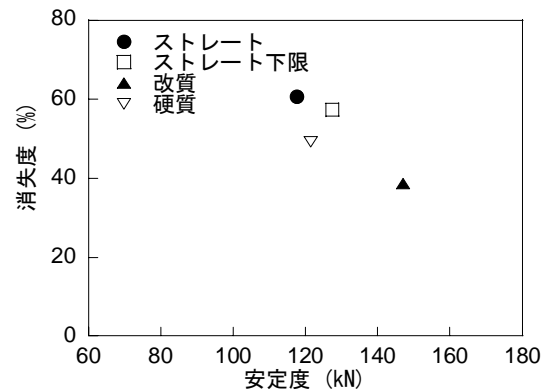


図-26 安定度と消失度

3.3 港湾技術研究所における調査^{17), 18)}

1978年に港湾技術研究所により同様の試験研究が行われ、佐藤らによってまとめられている。具体的には、骨材、アスファルト、グルーピング設置までの期間を変えて供試体を作製して、ホイールトラッキング試験が実施されている。グルーピング設置までの期間は、オーバーレイ工事の場合に特に重要な事項であることから、検討事項に加えられている。

骨材とアスファルトの違いがグルーピング溝形状の消失度に及ぼす影響は、図-27にまとめられている。ここでは骨材として規定粒度範囲の中央粒度と下限粒度を、アスファルトとしてストレート60/80とゴム入り改質アスファルトが使用されている。試験結果から、骨材としては下限粒度のほうが、アスファルトとしては改質アスファルトのほうがグルーピング溝形状の消失度が小さく、変形抵抗性に優れていることがわかる。

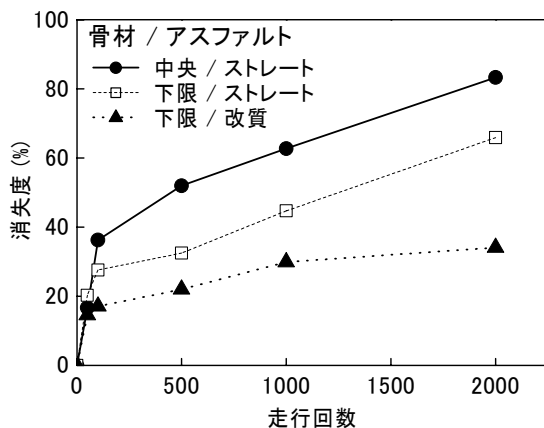


図-27 材料によるグルーピング安定性の違い

グルーピングを設置するまでの放置期間を7～60日と変化した場合のグルーピング溝形状の消失度について図-28に示されている（ストレートアスファルト・骨材中央粒度）。この結果から、放置期間を60日程度確保することが、グルーピングの安定性を確保するために必要であるとまとめられている。しかし、この場合であっても改質アスファルトを使用した場合には及ばないことが、図-27に比較するとわかる。

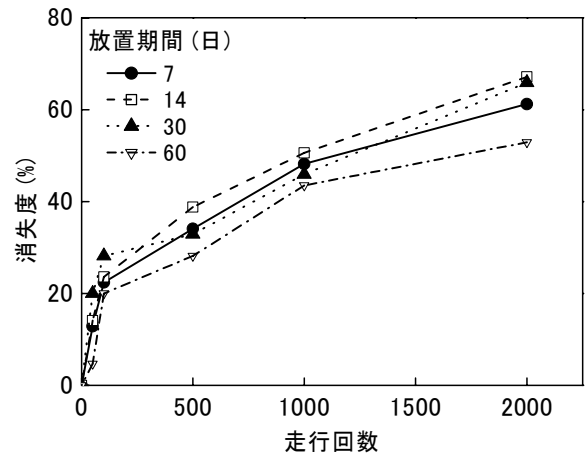


図-28 放置期間によるグルーピング安定性の違い

3.4 まとめ

以上に示した既応の調査研究結果は次のようにまとめられる。

- 1) グルーピングの損傷としては、角欠けよりも溝の変形・消失が主たるものである。
- 2) ストレートアスファルトを使用した場合、骨材粒度を規定の範囲内で調整することでグルーピング溝の変形を防止することは難しい。
- 3) ストレートアスファルトを使用した場合、舗装を施工してからある程度の期間経過後にグルーピングを設けることは、グルーピング溝の変形を防止する点では効果がみられる。
- 4) アスファルトの硬さはグルーピングの溝の変形度合に影響し、改質アスファルトを用いることが変形防止の観点からは有利となる。
- 5) アスファルトコンクリートの変形抵抗性が大きくなるほど、グルーピングの安定性は向上する。

4. グルーピングの安定性に関する室内試験

2. , 3. で示したように、滑走路のすべり抵抗性を確保するためにはグルーピングの溝形状を保持することが肝要であるとわかった。これを実現するための具体的な方法を見出すことを目的として室内試験を実施した。

4.1 試験計画

既応の調査・研究事例から、グルーピングの安定性を確保するためには、変形抵抗性に優れたアスファルトコンクリートを使用する方策が有効であるとわかった。そこで、変形抵抗性に優れたアスファルトコンクリートを得る方法

として、次の二つを考えた。

- ①アスファルトコンクリートの材料自体を工夫するもの
- ②舗装工事後ある程度の期間が経過してからグルーピングを設けるもの

前者の材料自体の工夫については、アスファルトならびに骨材（最大粒径と粒度）をいろいろ変えてアスファルトコンクリートを作成し、その性状を調べた。また、再生アスファルトコンクリートについても試験を行った。後者の養生期間の確保については、グルーピングを設置するまでの間に、アスファルトコンクリートが自然環境に暴露されて老化が進むこと、これに加えてオーバーレイの場合には航空機が繰り返し走行してアスファルトコンクリートの密化が進むことから、それらを再現した試料を準備した。

具体的には、表-9に示すように材料ならびに老化・交通履歴を変えて試験を実施した。

標準的な材料としては、アスファルトとしてストレートアスファルト60/80を、骨材として共通仕様書にある基本施設表層タイプⅠ（最大粒径13mm）の中央粒度のものを使用した。すなわち、No.1とNo.2である（No.2は最大粒径30mmの場合に対応可能なように、後述する供試体の厚さを100mmとした）。

アスファルトコンクリートの材料を変えた場合として、まず骨材の最大粒径と粒度に注目した（No.3～No.5）。No.3, 4は最大粒径を20mmとしたもので、前者は表層用、後者は基層用の粒度（共通仕様書の規定）を有するのに対し、No.5は最大粒径30mmで、粒度は米国の規定¹⁹⁾に合致するものである。このほか、No.6として東京国際空港における基本施設の解体に伴って発生したアスファルト・コンクリート塊を調整した再生骨材を混入したものも用いている（再生骨材使用率40%）。なお、アスファルトはいずれも標準と同じものである。

アスファルトの種類を変えた場合がNo.7～No.10である（骨材については標準と同じ）。No.7, 8はストレートアスファルトであるが、品質が異なるもの（針入度が40/60と80/100）、No.9, 10はゴム熱可塑性エラストマーを使用した改質Ⅰ型、改質Ⅱ型アスファルト²⁰⁾を用いている。これらの4種類のアスファルトのうち、後述するように、グルーピング安定性について評価のよかった改質Ⅱ型アスファルトを使用して、骨材の種類を変えた場合について検討した。それがNo.11～No.13であり、最大粒径20mmで粒度が表層用と基層用のものならびに最大粒径30mmのものである。

表-9 試験に用いた材料ならびに老化・交通履歴

No.	アスファルト	最大粒径 (mm)	履歴		比較対象					
			老化 期間 (時間)	交通	骨材 粒度	アスファ ルト	骨材粒度 (改質)	養生期間 (新設)	養生期間 (補修)	骨材 品質
1	S 60/80	13			○	○		○	○	○
2	S 60/80	13			○					
3	S 60/80	20			○					
4	S 60/80	20 (基層)			○					
5	S 60/80	30			○					
6	S 60/80	13 (再生)								○
7	S 40/60	13				○				
8	S 80/100	13				○				
9	改質Ⅰ型	13				○				
10	改質Ⅱ型	13				○	○			
11	改質Ⅱ型	20					○			
12	改質Ⅱ型	20 (基層)					○			
13	改質Ⅱ型	30					○			
14	S 60/80	13	12					○		
15	S 60/80	13	24					○		
16	S 60/80	13	36					○		
17	S 60/80	13	72					○		
18	S 60/80	13	12	有					○	
19	S 60/80	13	24	有					○	
20	S 60/80	13	36	有					○	
21	S 60/80	13	72	有					○	

注) アスファルトのSはストレートアスファルトを意味し、最大粒径のかっこ内には特徴を記述している。

老化ならびに交通履歴を付与したものはNo.14～21である。この場合の材料は上記の標準的なものである。アスファルトコンクリートを施工してからグルーピングを設置するまでの期間としては、12～72時間の4種類を設定した（表中の数字は試験において老化作用を与えた時間）。No.18～21については交通履歴を付与した。すなわち、No.14～17は新設時に、No.18～21はオーバーレイ時に対応するものになる。

これらの材料について、グルーピング溝の変形抵抗性、すなわちグルーピングの安定性を把握するために、繰返し载荷による溝形状の変化を調べた。具体的には、航空機荷重の繰返し走行による溝の変形・形状消失（つぶれ）と角欠けの二つを取り上げた。これらの現象について室内試験により検討する方法として、既応の研究と同様に、ホイールトラッキング試験とラベリング試験を用いた。

4.2 材料

(1) アスファルト

使用したアスファルトは、ストレートアスファルト（針入度60/80を標準に、40/60と80/100も使用）、改質Ⅰ型、改質Ⅱ型である。いずれの品質も所定の値を満たしている（ストレートアスファルトはJISの規定、改質アスファルトは舗装設計施工指針における標準的性状）。表-10には使用したアスファルトの特性を示す。

(2) 骨材

a) 通常材料

骨材としては、最大粒径13mmのものを標準にして、20mm、30mmのものも用いた。骨材の粒径分布については

共通仕様書にある表層の規定範囲の中央粒度を標準としたが、最大粒径20mmの場合には基層の規定範囲の中央粒度も用いた。

ここで使用したアスファルトコンクリートに用いられている骨材の配合については表-11に示すとおりにまとめられる。表-12には、最大粒径が13mm、20mm、30mmの場合における骨材の通過質量百分率を示す。これら骨材の品質は表-13に示すとおりである。

b) 再生骨材

通常骨材に加えて再生骨材も使用した。この再生骨材は、東京国際空港の旧ターミナル地区における舗装の撤去に伴って発生したアスファルト・コンクリート塊を調整した旧骨材と通常骨材を配合したものである。再生アスファルトコンクリートの骨材中に占める再生骨材の割合（再生率）は、空港舗装構造設計要領で規定している再生率の上限値である40%とした。なお、旧骨材は13～5mmと5～0mmで分級してある。

再生骨材の比重、吸水率については、表-14に示すように、共通仕様書の規定を満足している。また、再生骨材からソックスレー抽出法により回収したアスファルト（旧アスファルト）の品質については、表-15に示すように、アスファルト量5.15%、針入度31（1/10mm）と、いずれもブランド再生技術指針に記されている規格を満足している。

表-10 使用したアスファルトの特性

項目	S 40/60		S 60/80		S 80/100		改質Ⅰ型		改質Ⅱ型	
	試験値	規格値	試験値	規格値	試験値	規格値	試験値	規格値	試験値	規格値
針入度 (1/10mm)	51	40～60	70	60～80	87	80～100	55	50以上	56	40以上
軟化点 (°C)	50	47～55	48.0	44～52	46	44～52	54.5	50～60	58.5	56～70
伸度 (7°C, cm)	—	—	—	—	—	—	63	30以上	—	—
伸度 (15°C, cm)	150+	100以上	150+	100以上	150+	100以上	—	—	97	30以上
60°C粘度 (Pa・s)	280	—	200	—	130	—	580	—	670	—
タフネス (N・m)	—	—	—	—	—	—	14.1	4.9以上	19.9	7.8以上
テナシティ (N・m)	—	—	—	—	—	—	9.4	2.5以上	14.2	3.9以上
密度 (g/cm ³)	1.036	1.000以上	1.036	1.000以上	1.032	1.000以上	1.030	1.000以上	1.032	1.000以上

表-11 骨材配合

No.	4号 碎石	5号 碎石	6号 碎石	7号 碎石	スクリーニングス	粗砂	細砂	石粉	再生骨材 13～5mm	再生骨材 5～0mm
1,2,14～21	15.0	15.0 18.0	37.5	22.0	11.5	17.0	6.0	6.0	14.0	26.0
3,11			30.0	13.0	12.0	17.0	7.0	6.0		
4,12			37.0	20.5	7.0	6.0	7.0	4.5		
5,13			40.0	14.5	15.0	6.5	5.0	4.0		
6			25.0	14.5	6.0	8.0	3.0	3.5		
7			37.5	22.0	11.5	17.0	6.0	6.0		
8			37.5	22.0	11.5	17.0	6.0	6.0		
9			37.5	22.0	11.5	17.0	6.0	6.0		
10			37.5	22.0	11.5	17.0	6.0	6.0		

表-12 通過質量百分率

a) 骨材最大粒径13mm

ふるい目の寸法 (mm)	No.						規定範囲
	1,2,14～21	6	7	8	9	10	
19.0	100	100	100	100	100	100	100
13.2	97.8	98.4	97.8	97.8	97.8	97.8	100～95
4.75	62.4	63.5	62.4	62.4	62.4	62.4	70～55
2.36	42.6	42.4	42.6	42.6	42.6	42.6	50～35
0.6	24.2	24.3	24.2	24.2	24.2	24.2	30～18
0.3	16.5	17.0	16.5	16.5	16.5	16.5	21～10
0.15	8.7	9.0	8.7	8.7	8.7	8.7	16～6
0.075	5.9	6.1	5.9	5.9	5.9	5.9	8～4

b) 骨材最大粒径20mm

ふるい目の寸法 (mm)	No.	規定範囲	No.	規定範囲 (基層)
	3,11		4,12	
26.5	100	100	100	100
19.0	99.1	100～95	98.9	100～95
13.2	84.3	90～75	81.1	90～70
4.75	55.1	65～45	45.1	55～35
2.36	42.5	50～35	27.4	35～20
0.6	25.1	30～18	17.4	23～11
0.3	17.3	21～10	12.7	16～5
0.15	8.9	16～6	6.4	12～4
0.075	6.0	8～4	4.3	7～2

c) 骨材最大粒径30mm

ふるい目の寸法 (mm)	No.	規定範囲
	5,13	
37.5	100	100
26.5	97.6	100～90
13.2	67.6	80～56
4.75	45.2	59～29
2.36	32.0	45～19
0.3	12.9	17～5
0.075	4.1	7～1

表-13 骨材の品質

a) 粗骨材

項目		4号碎石		5号碎石		6号碎石		7号碎石	
		試験値	規格値	試験値	規格値	試験値	規格値	試験値	規格値
比重	表乾	2.653	2.45以上	2.638	2.45以上	2.649	2.45以上	2.633	2.45以上
	かさ	2.635	—	2.615	—	2.630	—	2.604	—
	見掛	2.684	—	2.678	—	2.679	—	2.682	—
吸水率 (%)		0.7	3.0以下	0.9	3.0以下	0.7	3.0以下	1.1	3.0以下
すりへり減量 (%)		—	—	—	—	12.9	3.5以下	—	—
通過質量百分率 (%)	(mm)								
	37.5	100	100						
	31.5	98.6	85~100						
	26.5	84.0	—	100	100				
	19	0.7	0~15	93.7	85~100	100	100		
	13.2			7.3	0~15	94.0	85~100	100	100
	4.75			0.3	—	1.5	0~15	96.9	85~100
	2.36					0.1	—	17.7	0~25
	1.18								0~5

b) 細骨材

項目		スクリーニングス		粗砂	細砂	石粉	
		試験値	規格値	試験値	試験値	試験値	規格値
比重	表乾	2.609	—	2.591	2.553		
	かさ	2.574	—	2.531	2.492	2.690	2.6以上
	見掛	2.666	—	2.693	2.654		
吸水率 (%)		1.3	—	2.4	2.4	0.05	1.0以下
通過質量百分率 (%)	(mm)						
	4.75	100	100	100	100		
	2.36	96.8	85~100	91.5	99.1		
	0.60	43.6	25~55	39	77.7	100	100
	0.30	25.7	15~40	16.6	16	100	—
	0.15	10.1	7~28	5.0	2.2	95.6	90~100
	0.075	3.5	0~20	1.6	1.5	84.9	70~100

表-14 旧骨材の品質と粒度

項目		骨材粒径 (mm)	
		13~5	5~0
旧アスファルト量 (%)		2.65	6.27
通過質量百分率 (%)	(mm)		
	19.0	100	—
	13.2	98.8	100
	4.75	32.0	99.0
	2.36	19.9	78.6
	0.60	13.0	42.3
	0.30	9.8	29.6
	0.15	5.1	14.7
	0.75	3.6	9.6

表-15 旧アスファルトの品質

項目	骨材粒径 (mm)	
	13~5	5~0
最大比重 (g/cm ³)	2.609	2.474
針入度 (1/100cm)	36	
軟化点 (°C)	54.5	
伸度 (cm)	11	
粘度 (60°C, Pa·s)	5,900	
密度 (g/cm ³)	1.044	

旧アスファルトの性状を回復させるために必要な再生用添加剤としては、表-16に示すような品質のものを用了。

再生用添加剤量は、原則として再生用添加剤を旧アスファルトに混合した後のアスファルトの針入度が新規アスファルトの針入度、すなわち設計針入度に等しくなるように決定した。しかし、新規アスファルトと再生アスファルト

の針入度を同一にしたとしても、アスファルトコンクリート製造過程におけるアスファルトの劣化程度が両者で異なることから、新規アスファルト、再生アスファルトをそれぞれ単独で用いて製造したアスファルトコンクリート中のアスファルトの針入度が製造直後の時点で同一になるように添加剤量を決定した。ここでは、製造後におけるアスフ

アルトの針入度を薄膜加熱試験（RTFOT）に供したものに
対する値とした。この場合の試験時間としては、現地アス
ファルトプラントにおける状況を再現できると考えられる
45分間とした。最終的に得られた再生用添加剤の添加率は
5.2%となった。

表-16 再生用添加剤の品質

項目		測定値	標準値
動粘度 (60°C, mm ² /s)		202	80~100
引火点 (°C)		232	230以上
粘度比		1.37	2以下
質量変化率 (%)		-1.78	±3以内
密度 (g/cm ³)		1.011	—
成分 (%)	アスファルテン	2.0	—
	飽和分	51.9	—
	芳香族分	33.2	—
	レジン分	12.7	—

(3) 配合設計

アスファルトコンクリートの配合については、共通仕様
書を満足するように設計した。具体的には、骨材の粒度は
基本施設の表層タイプI, 骨材最大粒径13mmを標準とし、
マーシャル安定度試験に対する基準値は基本施設①表層の
ものを適用した。このほか、最大粒径を20mmとしたもの
についても同様に、骨材は基本施設の表層タイプ I (最大
粒径20mm), マーシャル試験に対する基準値は基本施設①
表層のものを採用した。このほか、基層用（最大粒径
20mm）のものについても、共通仕様書のマーシャル試験
に対する基本施設③基層の基準を満足するように設計した。
さらに、最大粒径30mmのものについては、ASTM D3515,
NAPAに従って配合設計を行った。

決定された配合におけるアスファルトコンクリートのマ
ーシャル試験特性については、表-17のようにまとめられ
る。

表-17 マーシャル安定度試験結果

a) 骨材最大粒径13mm

No.	1,2,14~21	6	7	8	9	10	基準値
アスファルト量 (%)	5.6	5.5	5.6	5.6	5.6	5.6	—
密度 (g/cm ³)	2.387	2.399	2.388	2.388	2.385	2.380	—
理論密度 (g/cm ³)	2.461	2.479	2.461	2.460	2.459	2.460	—
空隙率 (%)	3.0	3.2	3.0	2.9	3.0	3.2	2~5
飽和度 (%)	81.1	79.8	81.3	81.7	81.1	79.9	75~85
安定度 (kN)	12.2	13.4	11.9	10.8	14.6	13.3	8.8以上
フロー値 (1/100cm)	28	35	33	27	36	37	20~40
残留安定度 (%)	84.4	90.2	85.6	83.0	85.1	94.7	75以上

b) 骨材最大粒径20mm

No.	3	4	11	12	基準値
アスファルト量 (%)	5.3	4.9	5.3	4.9	—
密度 (g/cm ³)	2.396	2.386	2.400	2.381	—
理論密度 (g/cm ³)	2.471	2.485	2.470	2.484	—
空隙率 (%)	3.0	4.0	2.8	4.1	2~5
飽和度 (%)	80.2	73.8	81.6	73.2	65~85
安定度 (kN)	11.9	10.8	16.4	13.0	8.8以上
フロー値 (1/100cm)	30	28	34	34	20~40
残留安定度 (%)	86.3	83.8	89.4	86.2	75以上

c) 骨材最大粒径30mm

No.	5	13	基準値
アスファルト量 (%)	5.0	5.0	—
密度 (g/cm ³)	2.385	2.380	—
理論密度 (g/cm ³)	2.484	2.483	—
空隙率 (%)	4.0	4.1	3~5
飽和度 (%)	74.2	73.6	—
安定度 (kN)	22.4	27.4	19.8以上
フロー値 (1/100cm)	37	39	30~60
残留安定度 (%)	86.4	88.6	75以上

4.3 試験方法

グルーピングの安定性として、上記のように、グルーピング溝の変形（つぶれ）と角欠けに注目した。前者についてはホイールトラッキング試験を、後者についてはラベリング試験を実施した。以下では、供試体作成方法、試験前の供試体調整方法ならびに試験方法について記す。

(1) アスファルトコンクリート供試体の作成

ホイールトラッキング試験、ラベリング試験用供試体は、ともに配合試験により得られた最適アスファルト量により作成した。その手順は次のとおりである。

- ① ミキサ内に計量済みの骨材を投入し30秒ほど混合する。
- ② 所定量のアスファルトを投入後、3分間混合する。
- ③ 配合試験で得られた基準密度に基づいてアスファルトコンクリート量を算出し、型枠へ投入する。
- ④ 投入したアスファルトコンクリートを均一に敷き均し、タンパにより突き固める。
- ⑤ ローラーコンパクタを用いて10往復程度転圧後、供試体上にゴム板を敷いて所定の密度が得られるまで転圧を行う。
- ⑥ 締固め終了後、供試体表面が平坦になるようにタンパによる仕上げ転圧を行う。

以上の方法で作成した供試体の密度と締固め度の測定結果を表-18に示す。

表-18 供試体の密度と締固め度

No.	ホイールトラッキング試験		ラベリング試験	
	密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)	密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)
1	2.382	99.8	2.404	100.7
2	2.379	99.6	2.387	100.0
3	2.394	99.9	2.409	100.5
4	2.370	99.3	2.404	100.7
5	2.383	99.9	2.395	100.4
6	2.396	99.8	2.417	100.7
7	2.381	99.6	2.395	100.3
8	2.381	99.7	2.399	100.5
9	2.377	99.7	2.402	100.7
10	2.378	99.9	2.402	100.9
11	2.401	100.0	2.414	100.6
12	2.384	100.2	2.410	101.3
13	2.391	100.3	2.396	100.5
14	2.378	99.6	2.405	100.7
15	2.375	99.5	2.403	100.6
16	2.374	99.4	2.402	100.6
17	2.377	99.6	2.403	100.6
18	2.376	99.5	2.404	100.7
19	2.378	99.6	2.407	100.8
20	2.372	99.3	2.403	100.6
21	2.378	99.6	2.401	100.6

(2) 老化ならびに交通履歴

作成したアスファルトコンクリート供試体の一部について老化ならびに交通履歴を与えた。具体的には、表層アスファルトコンクリート施工後グルーピングを設置するまでの間の自然環境の作用による劣化、すなわち老化履歴と、交通荷重の繰返し作用による劣化、すなわち交通履歴である。

a) 老化履歴による劣化付与

アスファルトコンクリートの老化を促進させる方法として、高温下で酸化させるものを採用した。具体的な方法は次のとおりである（図-29）。

- ① 60℃に調整した恒温槽（真空乾燥炉）内に、アスファルトコンクリート供試体を入れる。
- ② 真空ポンプにより恒温槽内の空気を排出する。
- ③ 恒温槽内に酸素を送り込んで充満させる。
- ④ 6時間放置する。

上記①～④を1サイクルとして、これを2～12サイクル（老化促進時間で12～72時間）繰り返す。既述の研究²¹⁾によれば、上記④の放置時間を24時間とした老化促進方法を4サイクル繰り返した場合に供試体に与えられる老化作用が、9ヶ月の自然環境下で暴露したものと同等であることがわかっている。したがって、ここで用いた老化促進方法は、1～6ヶ月程度の自然環境下での老化に相当することになる。

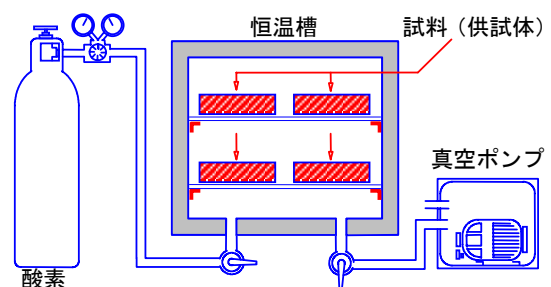


図-29 老化促進試験装置

b) 交通履歴による劣化付与

交通履歴による劣化は、写真-1に示すような外径202mm、幅45mm、輪荷重700N、接地圧320kPaの載荷車輪を幅150mmの範囲にわたって均一に分散させながら走行させることによって与えた（トラバース走行）。なお、この車輪は、数種類のものによる走行試験を行い、航空機が実際に走行した状況に最も近いものとして選定した。

この交通履歴による劣化は、老化履歴による劣化が1サイクル終了するたびに、すなわち劣化時間6時間ごとに、

供試体上で载荷車輪を700回走行させることにより与えた。具体的には、老化による劣化付与の時間が12～72時間の場合は、1,400～8,400回の交通履歴を与えた。これは、空港における航空機の離着陸数に関する最近の調査結果を参考に、わが国の空港滑走路の1日あたりの離、着陸回数をそれぞれ平均で60回²²⁾とし、航空機関連情報（車輪数とカバーレージ換算係数）ならびに試験方法関連情報（車輪幅とトラバース幅）に基づいて決定したものである。



写真-1 载荷車輪

(3) グルーピングの設置

グルーピングは供試体転圧方向と直角に、幅6mm、深さ6mmの溝を32mm間隔で供試体中央部に7本設けた（図-30参照）。このとき、グルーピングは、実際の場合と同様に、ダイヤモンドカッターを用いて施工した。なお、老化履歴ならびに交通履歴による劣化を付与する場合（No.17～24）は、劣化を付与してからグルーピングを施したことは言うまでもない。

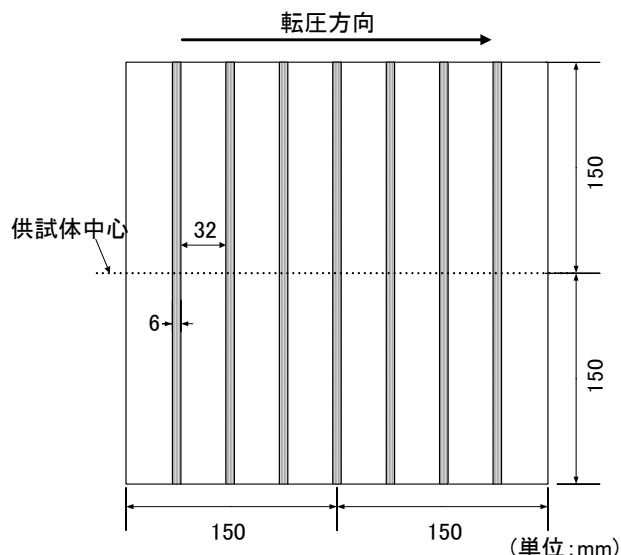
グルーピング施工後、供試体密度を計測して空隙率を算出した。また、グルーピングの溝の幅、深さ、容積を計測した。このとき、幅および深さはノギスにより、容積は砂置換法により供試体中心線に沿って7箇所計測した。測定結果を表-19に示す。

(4) ホイールトラッキング試験

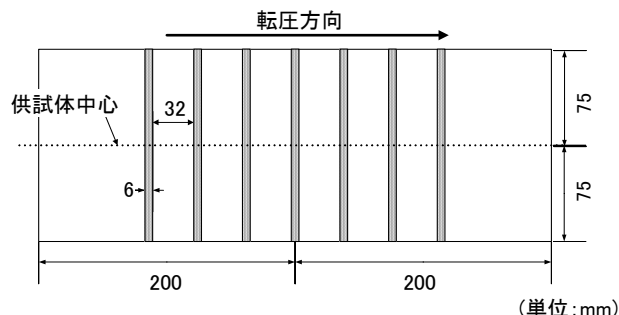
a) 試験方法

ホイールトラッキング試験は、舗装試験法便覧の方法に準拠して载荷重700Nのソリッドタイヤを使用して行った。ただし、予備試験の結果、試験温度を60℃とすると、試験条件の違いによるグルーピングの変形抵抗性が明確にならないことがわかったので、試験温度は40℃とした。また、走行载荷は5,000回まで実施し、走行回数が100、300、

1,000、2,000、5,000回の時点で、グルーピング溝の幅、深さ、容積および供試体の表面形状を測定した。このほか、舗装試験法便覧に記載されている方法に従って動的安定度を算出した。



a) ホイールトラッキング試験用供試体



b) ラベリング試験用供試体
図-30 グルーピング設置位置

ホイールトラッキング試験終了後、表面からの厚さが2cmの部分ダイヤモンドカッターにより切り出し、車輪通過部と非通過部の密度を測定した。また、標準条件のNo.1および劣化を付与した場合（No.14～21）については、アスファルトを回収して性状を調べた。

b) グルーピング溝形状測定方法

i) 溝の幅と深さ

溝の幅はノギスを用いて、深さはダイヤルゲージ式変位計を用いて測定した。測定対象は、7本の溝で供試体中心線に沿った箇所である。

グルーピングの溝の変形の程度を表す変化率 l は次式により定量化した。

表-19 供試体密度・空隙率とグルーピング溝の幅・深さ容積

No.	ホイールトラッキング試験					ラベリング試験				
	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	幅 (mm)	深さ (mm)	容積 (cm ³)	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	幅 (mm)	深さ (mm)	容積 (cm ³)
1	2.390	2.9	6.74	6.31	2.38	2.414	1.9	6.85	6.41	4.59
2	2.384	3.1	6.53	6.18	2.15	2.392	2.8	6.73	6.01	4.24
3	2.399	2.8	6.63	6.62	2.11	2.418	2.0	7.27	5.78	4.27
4	2.375	4.4	6.66	5.79	1.97	2.417	2.8	6.97	5.99	4.44
5	2.390	3.8	6.55	6.66	2.27	2.401	3.3	6.73	4.77	3.46
6	2.400	3.2	6.56	5.75	1.94	2.425	2.2	6.64	5.95	4.10
7	2.388	3.0	6.50	6.33	2.04	2.407	2.2	6.95	5.15	3.76
8	2.389	2.9	6.45	6.60	1.96	2.407	2.2	6.95	5.51	3.88
9	2.383	3.1	6.59	5.97	1.95	2.413	1.9	6.94	5.82	4.14
10	2.384	3.1	6.57	5.96	2.08	2.411	2.0	6.97	5.63	3.89
11	2.404	2.6	6.64	5.51	1.84	2.416	2.1	6.99	5.31	3.81
12	2.391	3.8	6.64	5.35	1.73	2.415	2.8	7.11	5.66	4.16
13	2.393	3.6	6.64	5.76	1.88	2.398	3.4	7.01	5.44	3.83
14	2.392	2.8	6.51	5.03	1.80	2.395	2.7	7.15	6.18	4.40
15	2.385	3.1	6.57	5.00	1.79	2.400	2.5	7.14	5.79	4.13
16	2.385	3.1	6.46	5.38	1.87	2.405	2.3	7.07	5.49	4.13
17	2.396	2.6	6.61	5.00	1.78	2.399	2.5	7.26	5.84	4.20
18	2.408	2.1	6.67	5.88	1.92	2.412	2.0	6.89	6.35	4.51
19	2.421	1.6	6.88	5.75	2.00	2.413	2.0	6.69	6.37	4.87
20	2.420	1.7	6.71	6.38	2.21	2.411	2.0	6.67	6.38	4.71
21	2.423	1.6	6.61	6.32	2.15	2.413	1.9	6.69	5.87	4.65

$$l = \frac{a-a'}{a} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここに、

a : 試験前における溝の幅または深さ、

a' : 試験後における溝の幅または深さ。

ii) 溝の容積

溝の容積は砂置換法により測定した。このときに使用した砂は0.3mmふるいを通過し、0.15mmふるいに留まるものである。測定対象は、7本の溝の供試体中心線に沿った範囲である。すなわち、供試体中心線から左右2.5cmの位置（ソリッドタイヤ通過位置の両端部）の外側に粘土を詰め、内側の溝に入る砂の量を測定し、砂の単位体積質量を用いて溝の容積を計算した。写真-2はグルーピングの溝に砂を入れている状況である。

この場合の容積変化率については、i)で示した溝の幅・深さの変化率算定方法と同一の方法によって求めた（ a 、 a' は溝の容積）。



写真-2 グルーピングの溝の容積測定状況

iii) 供試体表面形状

供試体縦断方向の表面形状はレーザー距離計を用いて測定した。具体的には、供試体の両端25mmを除いた250mmの範囲にわたって1mm間隔で一定の高さからの距離を測定した。そして、試験前後の測定値の差を変形量として算出し、全データの平均値を圧縮量として定量化した。なお、このときは、図-31に示すように、溝部のデータが含まれないように工夫している。

このほか、2.2で記述した平均きめ深さ（MPD）としても定量化を行った。

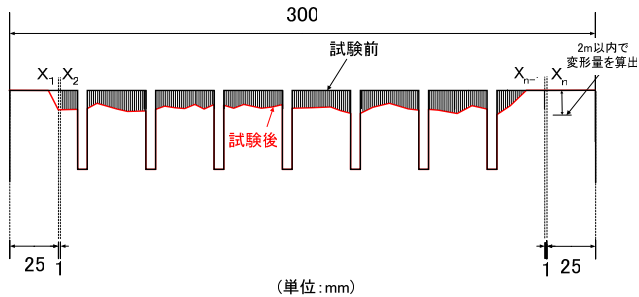


図-31 変形量の算出方法

(5) ラベリング試験

a) 試験方法

ラベリング試験は、試験温度を0℃としたほかは舗装試験法便覧に則って往復チェーン方式で行った。そして、試験開始後30秒、90秒、5分、10分、25分において、グルーピングの溝の幅、深さ、容積を測定した。また、舗装試験法便覧に記載されている方法に従って摩耗量についても算出した。

b) グルーピング溝形状測定方法

i) 溝の幅と深さ

グルーピング溝の幅、深さについては、写真-3、写真-4に示すようにホイールトラッキング試験の場合と同じ方法により測定した。溝形状が変化する状況については、ホイールトラッキング試験と同様の方法により溝形状の変化率として定量化した。ただし、この場合には、溝幅が拡大することが変状として大きいことから、符号を逆になっている。

ii) 溝の容積

溝の容積は、ホイールトラッキング試験と同様、砂置換法により測定した。ただし、チェーンを使用することから、測定範囲を供試体中心線から左右5cmまでとしている。容積の変化率は溝の幅、深さの場合と同じ方法を用いて定量化した。

iii) 供試体表面形状

供試体横断方向の表面形状は、ホイールトラッキング試験と同様に、レーザー距離計を用いて測定した。この場合のデータ処理方法として、ホイールトラッキング試験と同様に、試験前後の測定値の差を変化量とし、全データの平均値を縦断（走行）方向の切削量として定量化した。

このほか、横断方向の測定結果を用いて、舗装試験法便覧による摩耗量も算出した。摩耗量は、図-32のように1mm間隔でのデータに基づいて切削された面積を求めることによって算出した。なお、供試体幅の両端から15mmは計算から除外した。



写真-3 溝幅の測定



写真-4 溝深さの測定

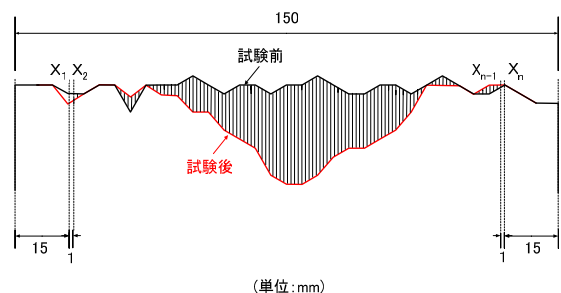


図-32 摩耗量の算出方法

5. グルーピングの安定性向上方策

航空機荷重に対するグルーピングの安定性を高める方策として、アスファルトコンクリートの材料自体に改良を加えるもの、工事終了後グルーピング設置までの養生期間を確保するものを考え、室内試験を実施した。以下では、その結果をまとめ、グルーピングの安定性向上方策を明らかにする。溝の変形についてはホイールトラッキング試験に、

角欠けについてはラベリング試験によった（図のタイトルでは、それぞれWT, Rと略記）。

5.1 材料の改良による安定性確保策

アスファルトコンクリートの材料については、骨材とアスファルトに注目した。具体的には、前者については最大粒径・粒度分布の違いや新規、再生といった骨材の質の違い、後者についてはストレート、改質といった成分の違いである。

(1) 骨材の影響

アスファルトをストレート60/80として、骨材を最大粒径13, 20, 30mm（20mmの場合は基層用の粒度も）とした場合についてまとめた。

溝の変形について、図-33に示したホイールトラッキング試験結果を示す。これは上記の4種類の骨材を用いた場合である。骨材の影響は溝深さにはあまり見られないが、溝幅と溝容積に現れている。4種類の骨材のうちでは、基層用20mmの性能が良好であることがわかる。なお、圧縮量自体でみると最大粒径の大きい30mmのものが最も性能がよいようである。なお、図-34に示した骨材最大粒径20mmの場合で厚さを50mmと100mmの2種類とした場合のデータに見られるように、これは供試体厚の違いによるものではないと思われる。

ホイールトラッキング試験終了時の溝容積変化率を図-35に示す。ストレートアスファルトの場合をみても、基層用粒度配合を有する最大粒径20mmのものが溝容積変化率が最も小さいことがわかる。

同様に、図-36にはホイールトラッキング試験終了時のMPDを示す。また、ホイールトラッキング試験前におけるMPDの変化率を図-37に示す。MPD自体では骨材による違いは明らかではないが、変化率をみれば、基層用粒度配合を有する最大粒度20mmの性能が良好であることがわかる。

再生骨材を使用した場合の溝の変形について、新規骨材の場合と対比して、図-38にまとめた（骨材最大粒径、アスファルトの種類は同一）。いずれの指標においても、再生材料のほうが溝の変形抵抗性は良好であることがわかる。

角欠け抵抗性を明らかにするために実施したラベリング試験の結果を図-39、図-40、図-41に示した（それぞれ、ホイールトラッキング試験と同様に、骨材粒度、供試体厚、新規・再生骨材の違いをみたもの）。最大粒径13mmのものは溝幅変化率が大きく、最大粒径30mmのものは溝深さ変化率が大きいようである。また、最大粒径30mmのものは切削量も大きいことがわかる。再生骨材については角欠けの点では新規骨材に劣っていることも明らかである。

(2) アスファルトの影響

a) ストレートと改質アスファルトの違い

アスファルトが異なる場合の溝形状の変化への影響として、図-42には骨材最大粒径13mmの骨材を使用した場合についてまとめた。改質アスファルトを用いることにより、溝の変形に対する抵抗性は著しく向上する。ストレートアスファルトでは硬いほうが、すなわち針入度40/60のものが溝の変形に対する抵抗性は良好なようであるが、改質アスファルトにははるかに及ばない。

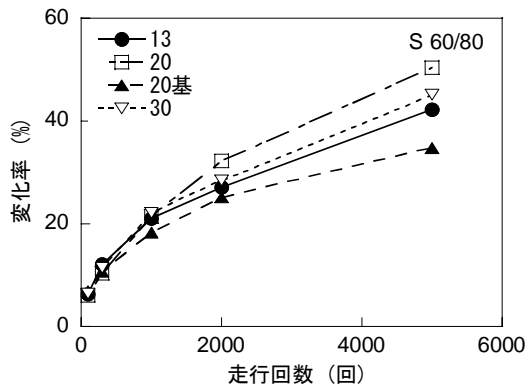
ホイールトラッキング試験終了時の溝容積変化率を図-43に示す。ストレートアスファルトに比較すると改質アスファルトの溝容積変化率が著しく優れていることがわかる。ストレートアスファルトだけをみると若干ではあるが、針入度の小さいほうが性能は良好なようである。

MPDについてホイールトラッキング試験終了時のものを図-44に、試験前後の変化率を図-45に示す。骨材の種類が異なる場合と同様に、試験終了時ではアスファルトの影響は明らかではないが、試験前後の変化率をみれば、改質アスファルトの溝形状変化に対する抵抗性が優れていることがわかる。

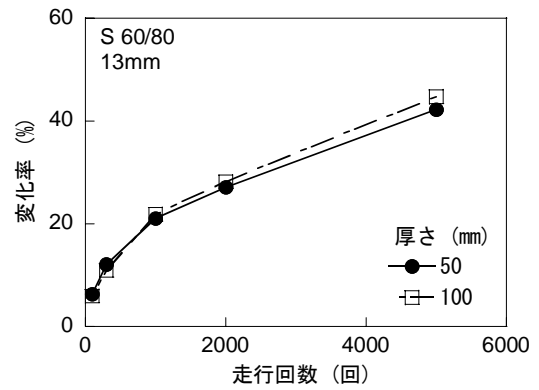
ラベリング試験による角欠け抵抗性については図-46にまとめた。改質アスファルトを使用することにより若干角欠け抵抗性は向上するようであるが、溝の変形ほどには顕著ではない。ストレートアスファルトのみに注目すると、ストレートアスファルト40/60といった硬いほうが、溝深さの変化率が大きく、また、切削量も大きいことから、角欠け抵抗性の点では他のものより劣ることが明らかである。

b) 改質アスファルトの効果

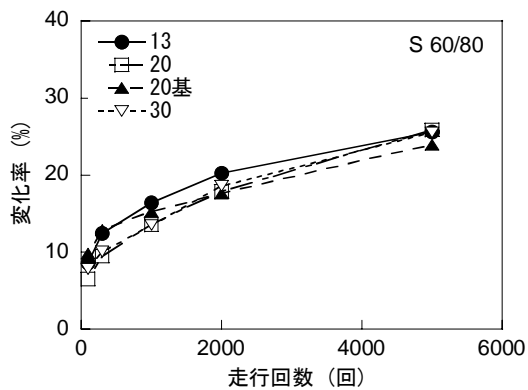
a)でみたように、改質アスファルトを用いることにより、グルーピングの溝の変形と角欠けに対する抵抗性は増大するが、改質Ⅰ型とⅡ型の違いについてはあまり明確にはなっていない。前者は摩耗対策、後者はわだち掘れ対策として開発されたものであり、後述する動的安定度にもそれが現れている。すなわち、改質Ⅱ型の方が大きい動的安定度を示している。これに加えて、空港舗装の表層には近年改質Ⅱ型が使用されることが多くなっていることから、ここでは、改質Ⅱ型を使用して、骨材の種類を変えた場合について検討した。



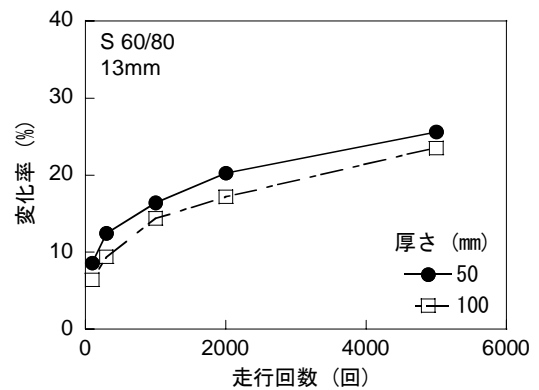
a) 溝幅



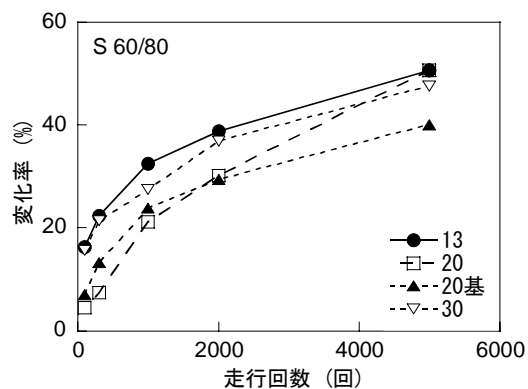
a) 溝幅



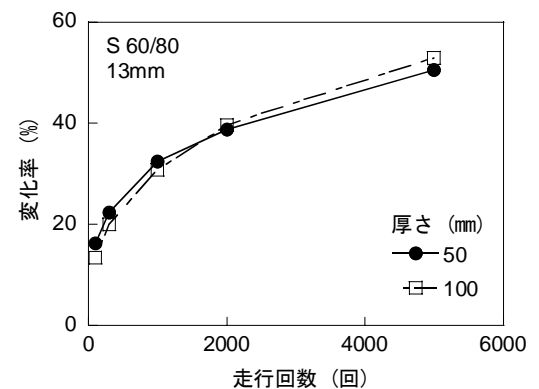
b) 溝深さ



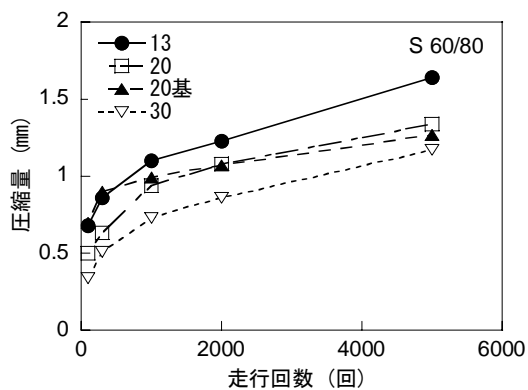
b) 溝深さ



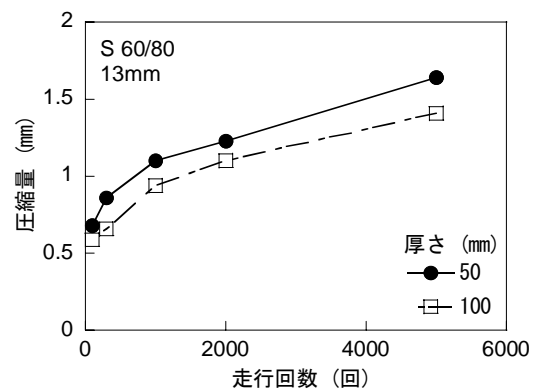
c) 溝容積



c) 溝容積



d) 圧縮量



d) 圧縮量

図-33 骨材の影響 (WT)

図-34 供試体厚の影響 (WT)

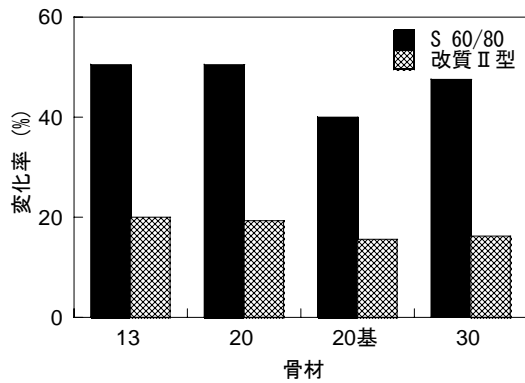


図-35 試験終了時の溝容積変化率 (骨材)

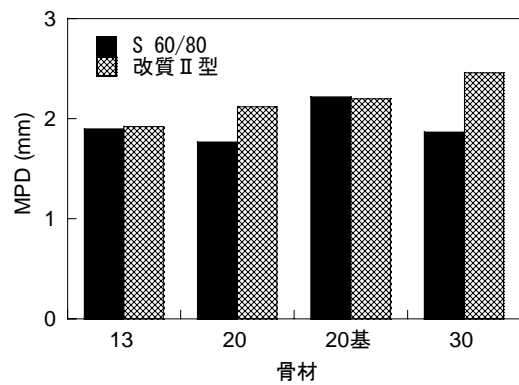


図-36 試験終了時のMPD (骨材)

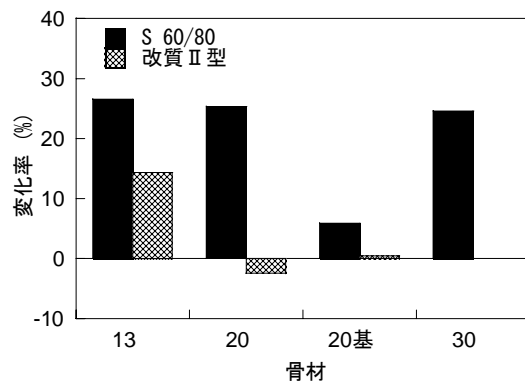
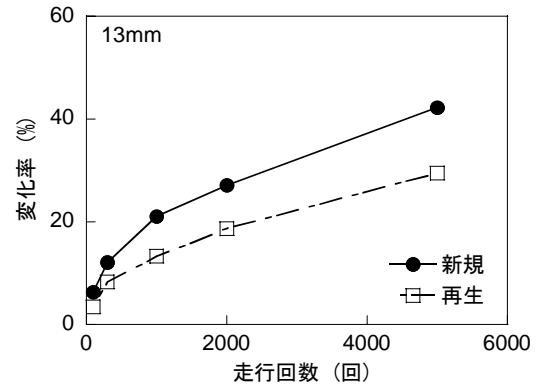
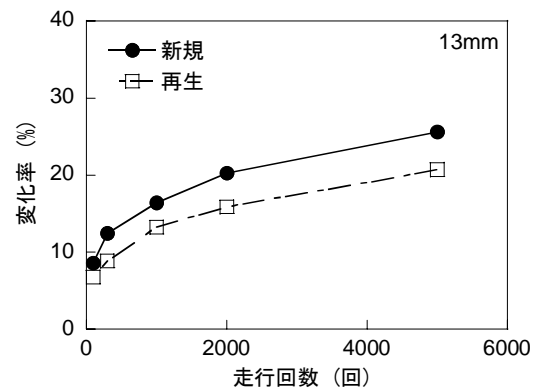


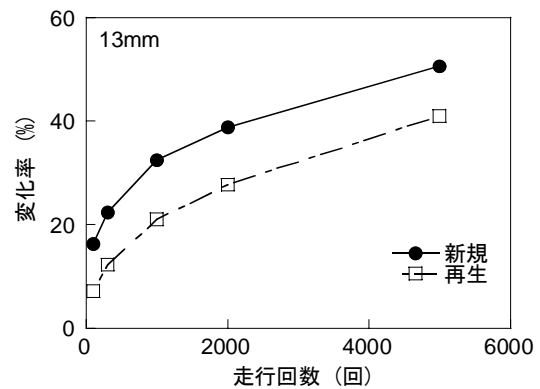
図-37 試験前後におけるMPDの変化率 (骨材)



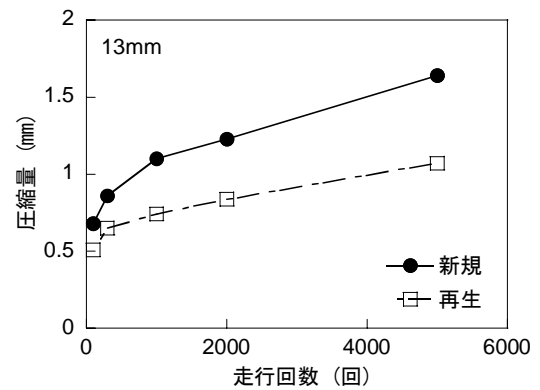
a) 溝幅



b) 溝深さ

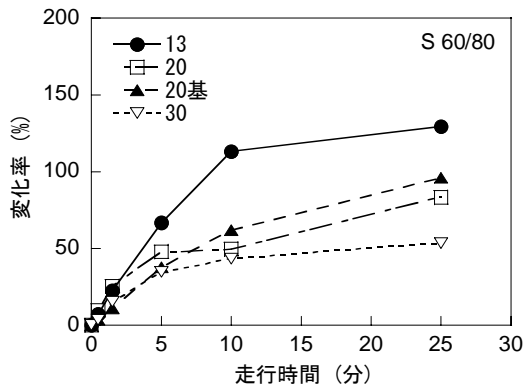


c) 溝容積

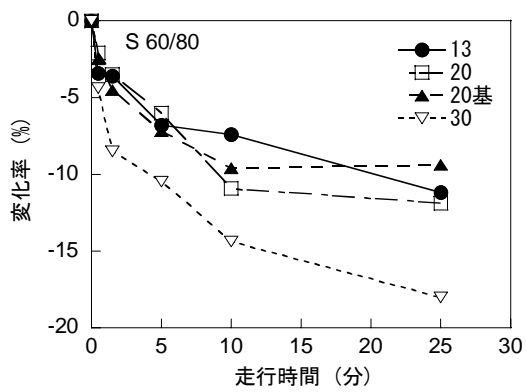


d) 圧縮量

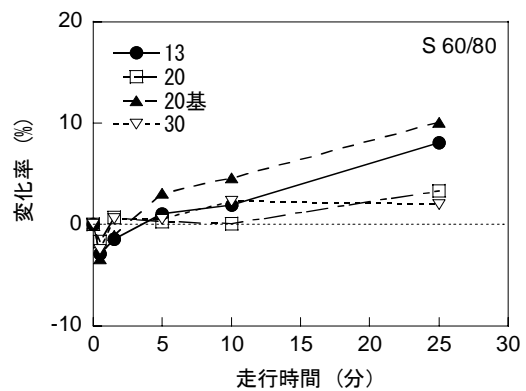
図-38 新規材料と再生材料の違い (WT)



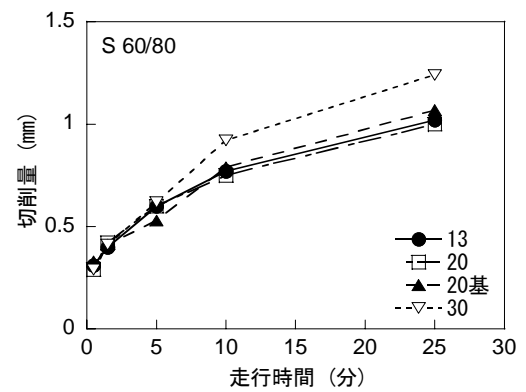
a) 溝幅



b) 溝深さ

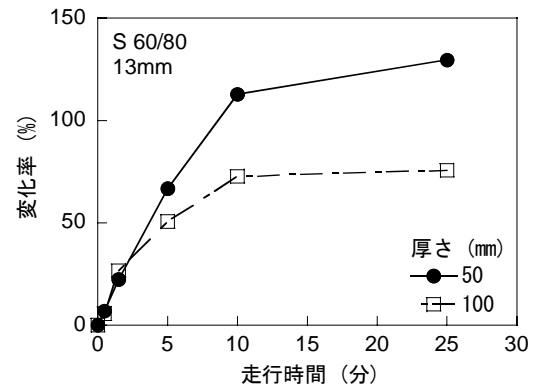


c) 溝容積

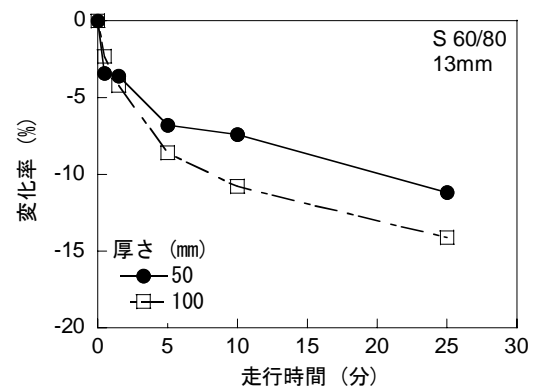


d) 切削量

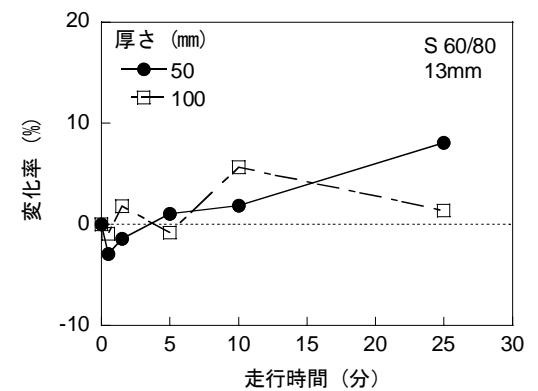
図-39 骨材の影響 (R)



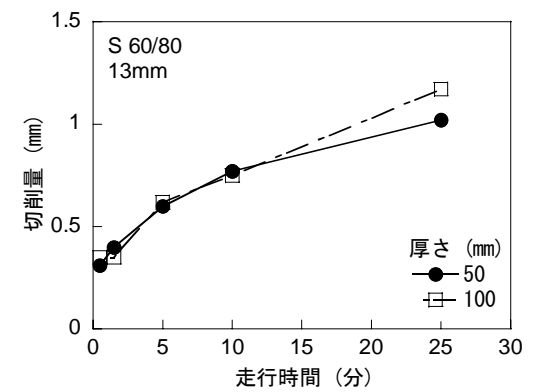
a) 溝幅



b) 溝深さ

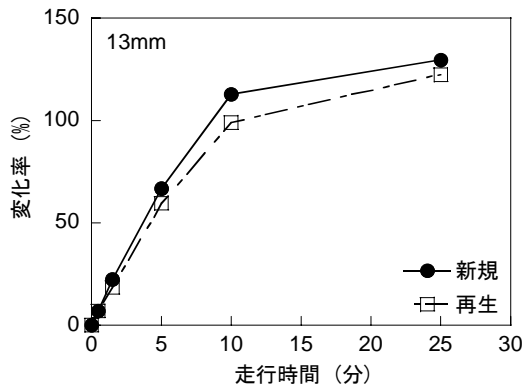


c) 溝容積

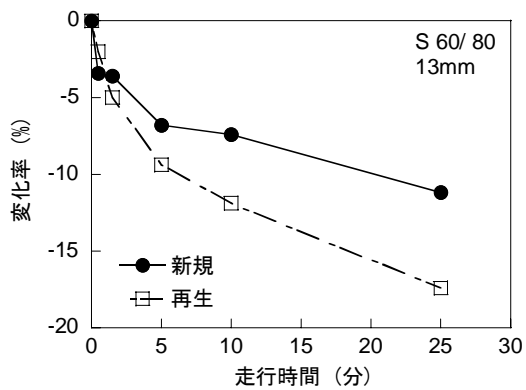


d) 切削量

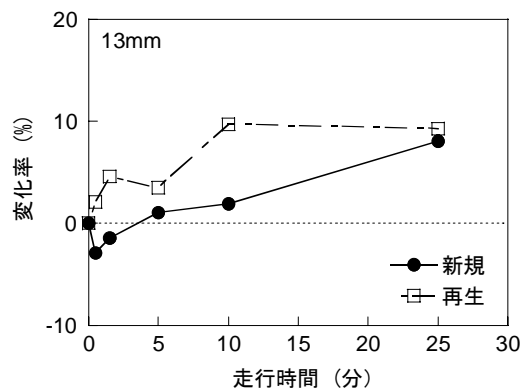
図-40 供試体厚の影響 (R)



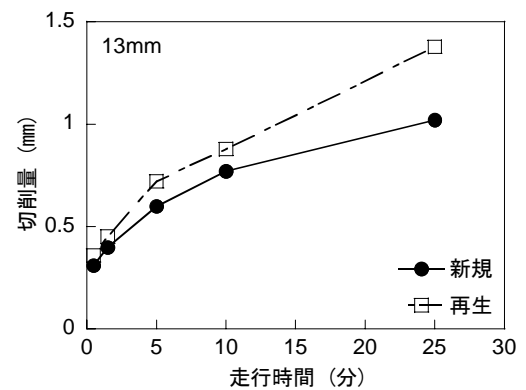
a) 溝幅



b) 溝深さ

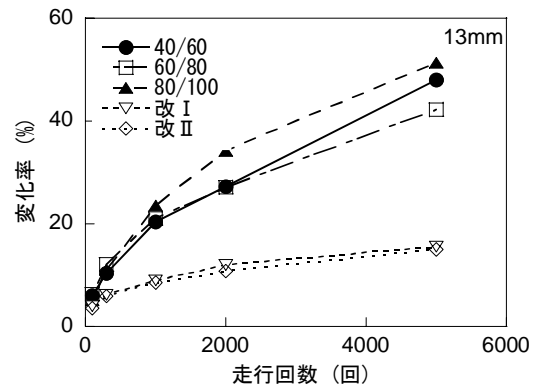


c) 溝容積

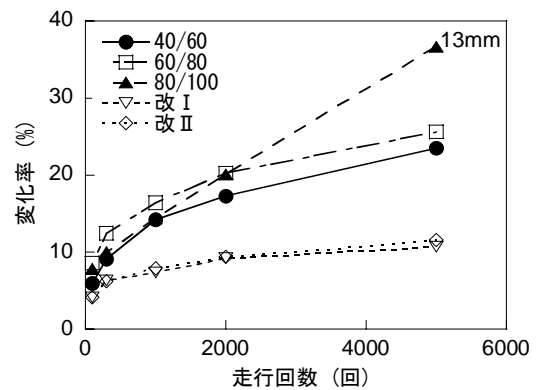


d) 切削量

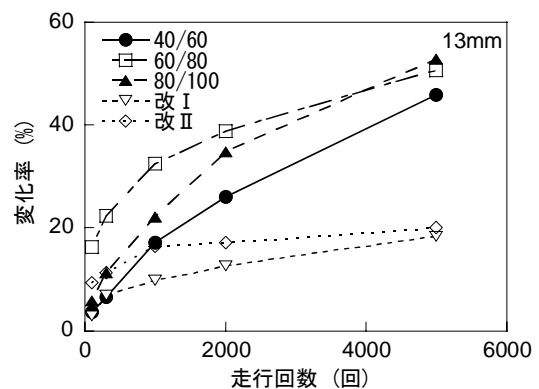
図-41 新規材料と再生材料の違い (R)



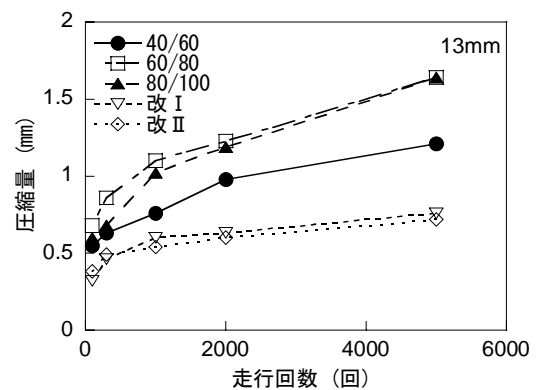
a) 溝幅



b) 溝深さ



c) 溝容積



d) 圧縮量

図-42 アスファルトの影響 (WT)

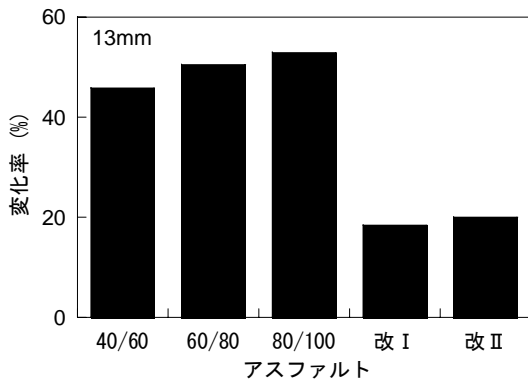


図-43 試験終了時の溝形状変化率
(アスファルト)

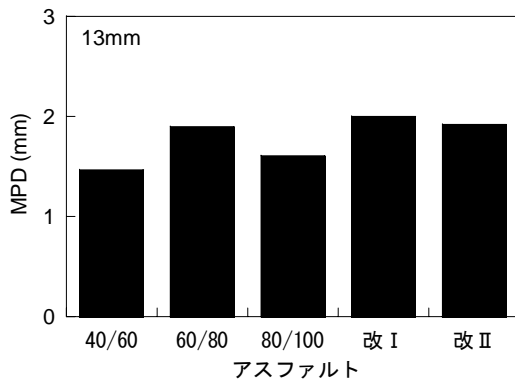


図-44 試験終了時のMPD (アスファルト)

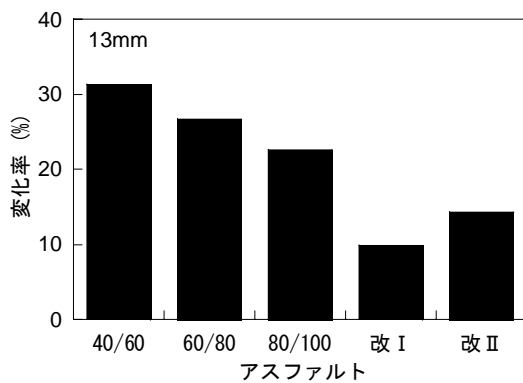
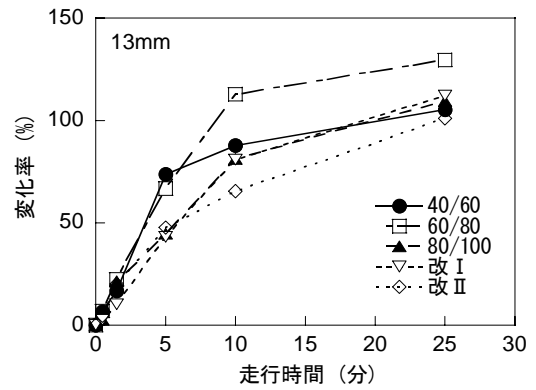
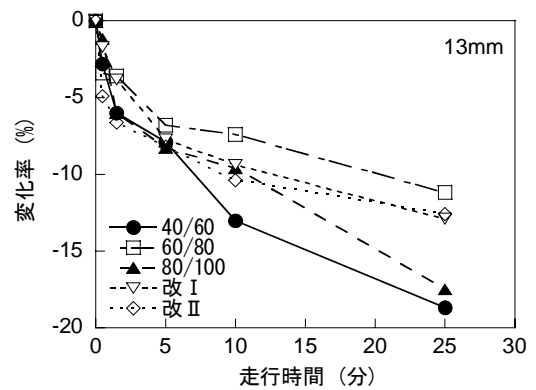


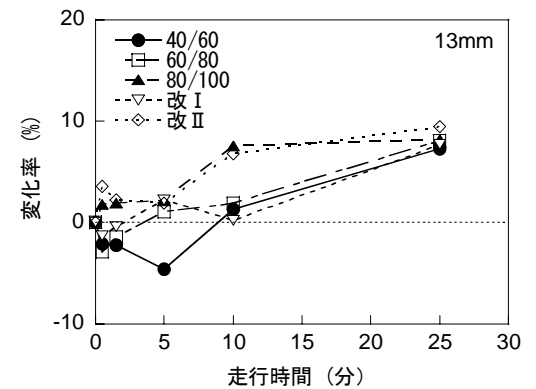
図-45 試験前後におけるMPDの変化率 (アスファルト)



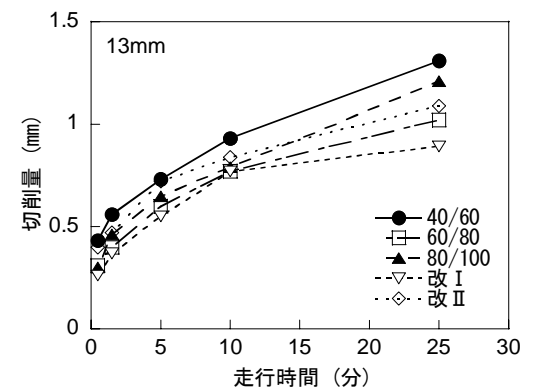
a) 溝幅



b) 溝深さ



c) 溝容積



d) 切削量

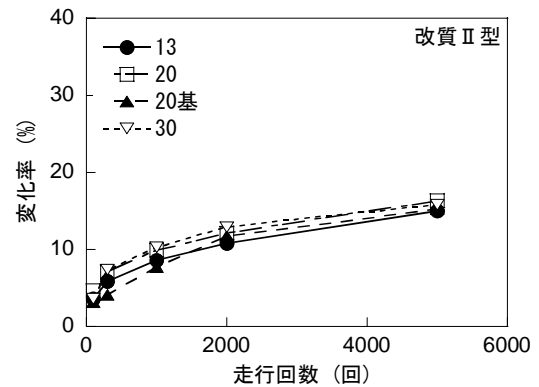
図-46 アスファルトの影響 (R)

図-47, 図-48には, 溝の変形と角欠けについて示した. 溝の変形に関しては, 粒径20mm(基層用)のものに加えて粒径30mmのものの性能が良好であるとわかる. また, ホイールトラッキング試験終了時の溝容積変化率では, 骨材の違いによる影響はあまり明確になっていない(図-35)が, MPDの変化率でみれば, 骨材の違いによる影響が出ている(図-37). すなわち, 最大骨材粒径13mmの場合のMPDの変化率が15%程度であるのに対して, それ以外のものはほとんど変化しておらず, 骨材粒径13mmの場合は溝形状変化に対する抵抗性が劣ることがわかる. 角欠けについては, ストレートアスファルトと同様の傾向, すなわち溝幅については13mmが, 溝深さについては30mmのものが若干劣ることが認められる.

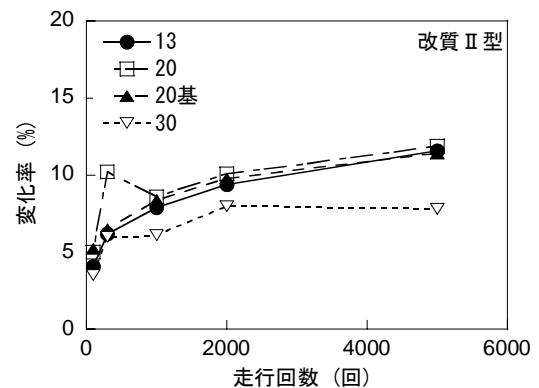
(3) まとめ

アスファルトコンクリートの材料がグルーピングの安定性に及ぼす影響については, 次のようにまとめられる.

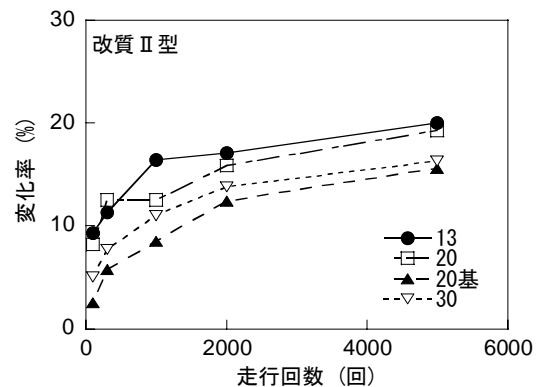
- 1) 骨材については, 最大粒径, 粒度の影響がみられ, 最大粒径20mmで, 基層用粒度のものがグルーピングの安定性の点からは有利である.
- 2) 再生骨材の場合には, 高温時における溝の変形抵抗性は向上するものの, 低温時には角欠けが生じやすい傾向がみられる.
- 3) アスファルトとして改質アスファルトを使用することは, グルーピングの安定性を向上させるためには非常に効果がある. この場合も, 最大粒径の大きい骨材を使うことが有利である.



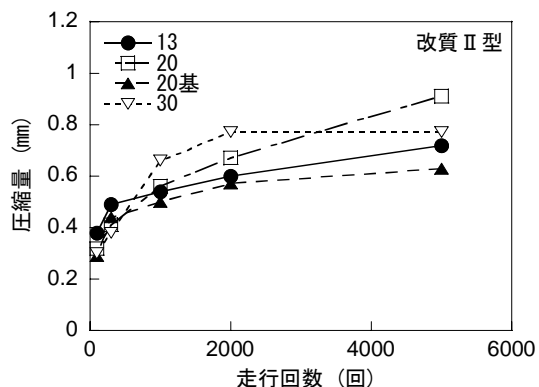
a) 溝幅



b) 溝深さ



c) 溝容積



d) 圧縮量

図-47 骨材の影響 (改質II型アスファルト, WT)

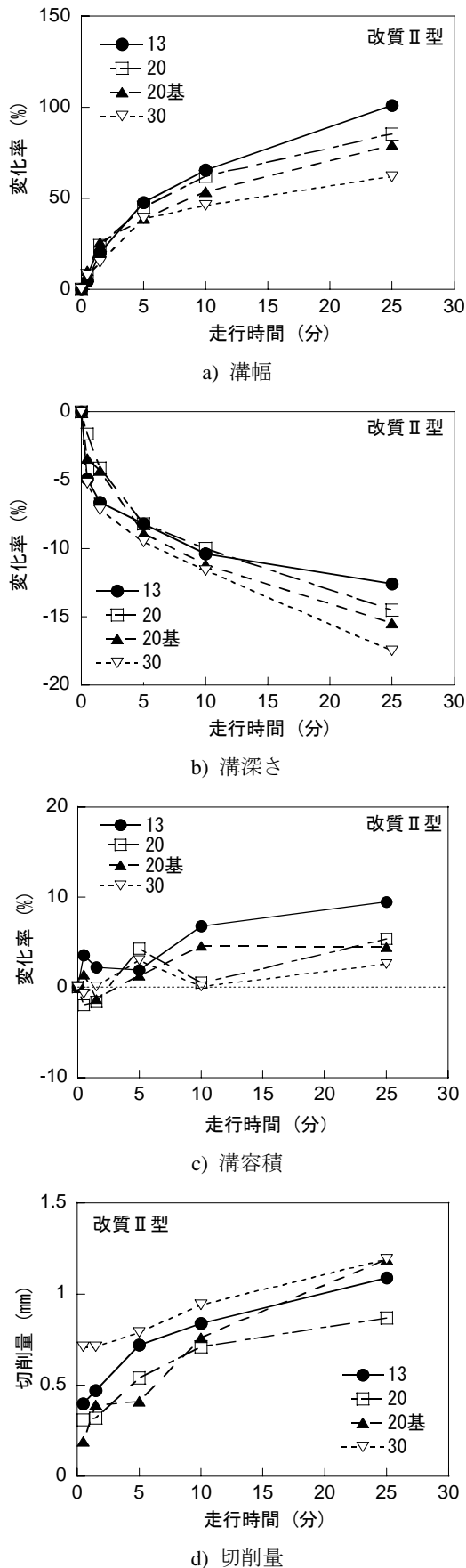


図-48 骨材の影響 (改質Ⅱ型アスファルト, R)

5.2 表層の養生による安定性確保策

表層アスファルトコンクリート施工後にグルーピングを設置するまでに必要となる期間について検討するために、供試体作成後に所定の期間老化促進作用を与えてからグルーピングを設置して、試験を実施した。これには、標準的な材料、すなわちストレートアスファルト60/80、最大粒径13mmの骨材（基本施設表層タイプⅠ）を使用した。

(1) 新設時の性能

舗装新設時にはグルーピング設置までに航空機の走行がないことから、所定の養生期間においては老化促進作用のみを与えた。

図-49には、溝の変形抵抗性を明らかにするために実施したホイールトラッキング試験の結果をまとめた。圧縮量では養生期間を設けることの効果がみられるようであるのに対し、溝形状に関しては老化促進時間が72時間となって初めて効果が現れてくるようである。具体的には、溝幅と溝容積の変化率に差が出てくることがわかる。

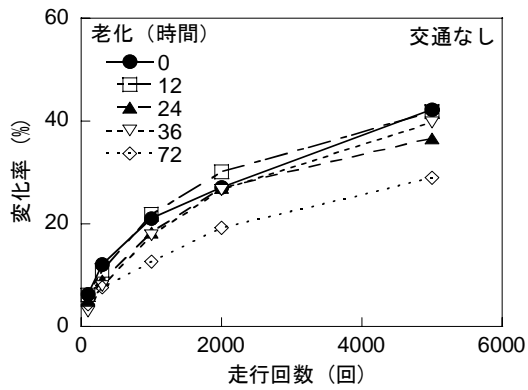
角欠け抵抗性について検討したラベリング試験の結果を図-50に示した。養生期間を長くとることにより、溝幅の拡大は抑えられるものの、溝深さの減少程度は大きくなることから、溝周囲の比較的狭い範囲が削られる状況となっていることがわかる。また、切削量自体についても養生期間を長くとることにより減少することが明らかである。

(2) オーバーレイ時の性能

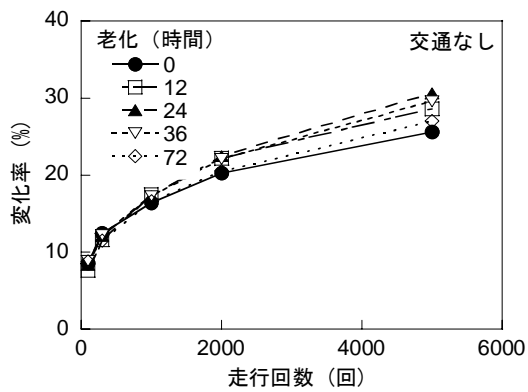
オーバーレイ工事の場合には工事後グルーピングを設置する前にも航空機の走行があることから、老化促進作用とともに交通履歴を与えてから、ホイールトラッキング試験とラベリング試験を実施した。

図-51にはホイールトラッキング試験結果である溝の変形抵抗性を示した。この場合は、老化と交通履歴の作用を受けることにより、溝の幅、深さ、容積のいずれも変化が小さくなり、溝の変形抵抗性が明らかに向上していることがわかる。

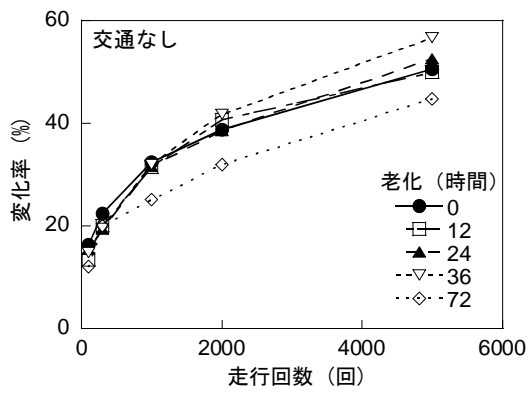
ラベリング試験結果である角欠けについては図-52に示した。溝幅の変化率が低下することは新設の場合と同様であるが、養生期間を長くすることにより溝深さの変化率が小さくなっていく点が異なっている。また、養生期間を長くすることによって切削量も小さくなっている。



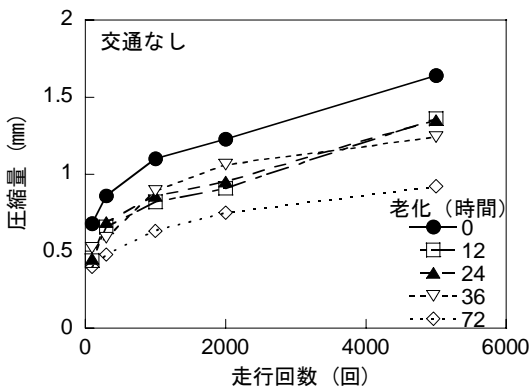
a) 溝幅



b) 溝深さ

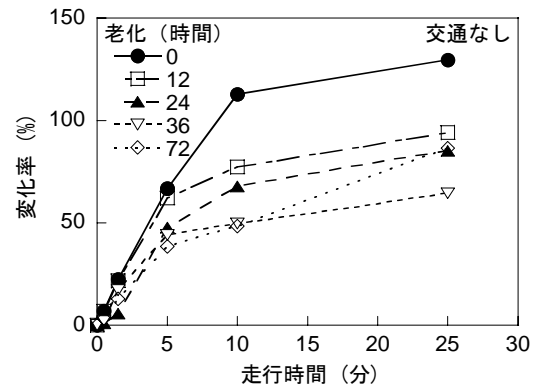


c) 溝容積

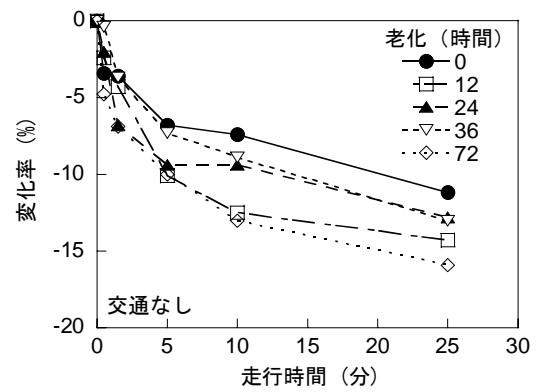


d) 圧縮量

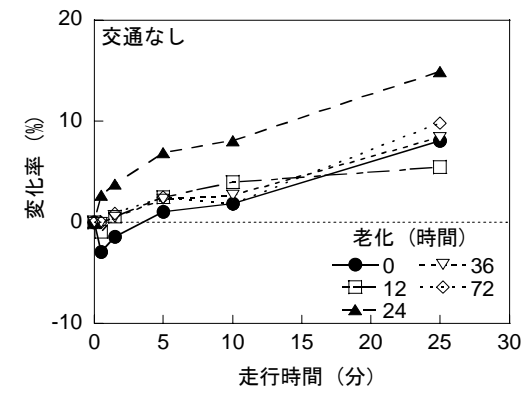
図-49 老化時間の影響 (交通なし, WT)



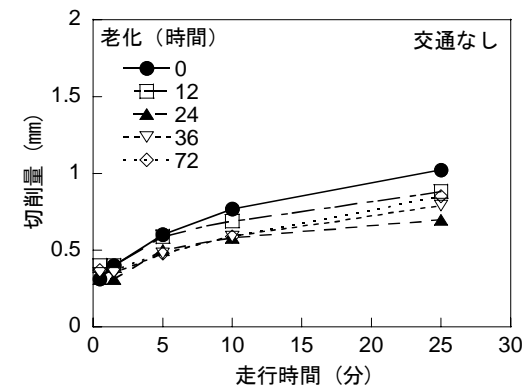
a) 溝幅



b) 溝深さ

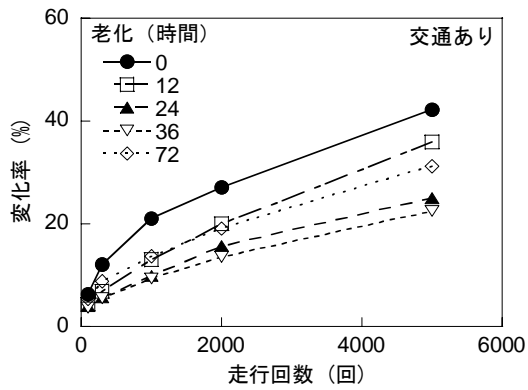


c) 溝容積

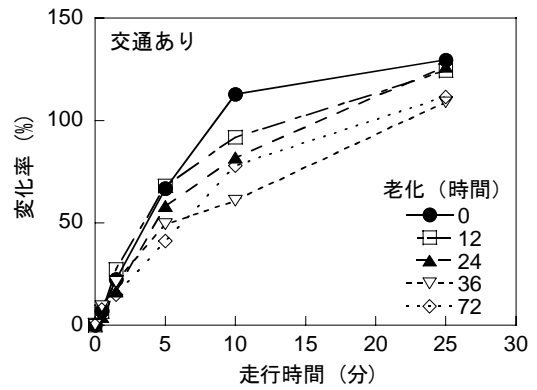


d) 切削量

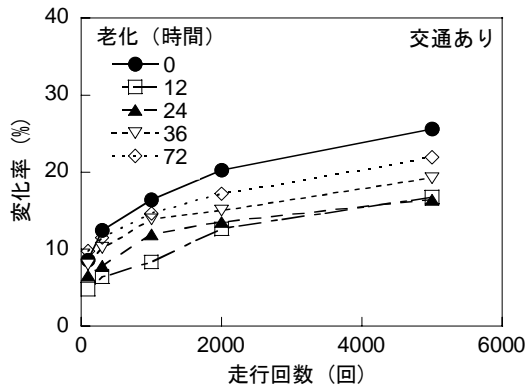
図-50 老化時間の影響 (交通なし, R)



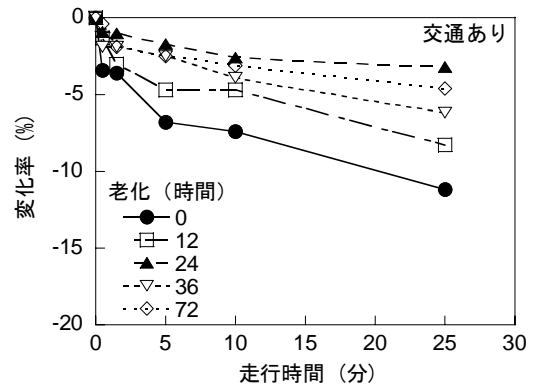
a) 溝幅



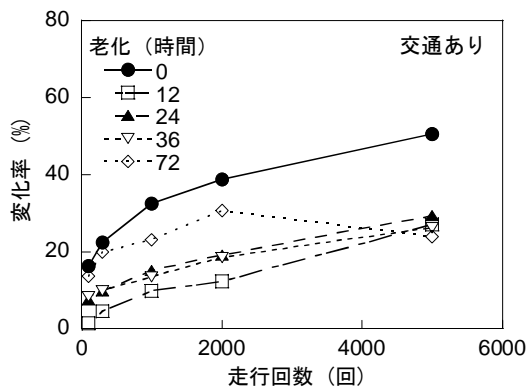
a) 溝幅



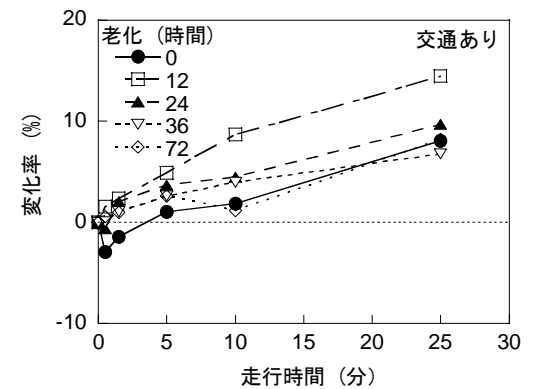
b) 溝深さ



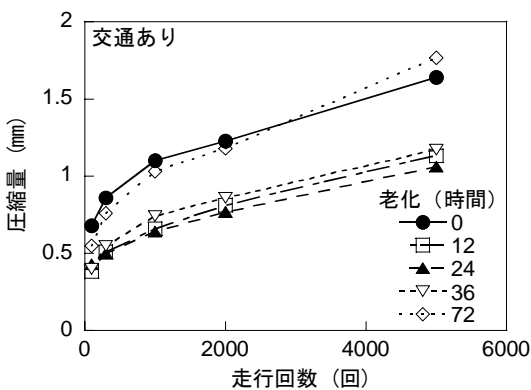
b) 溝深さ



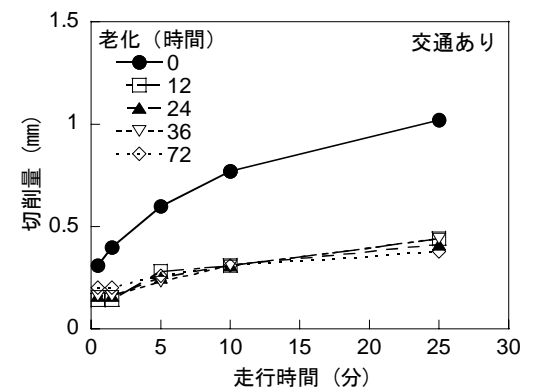
c) 溝容積



c) 溝容積



d) 圧縮量



d) 切削量

図-51 老化時間の影響 (交通あり, WT)

図-52 老化時間の影響 (交通あり, R)

(3) 新設時とオーバーレイ時の性能比較

ホイールトラッキング試験における溝形状の変化状況について、新設時とオーバーレイ時で比較した（図-53）。溝の幅、深さ、容積のいずれかをみても、オーバーレイ時のほうがそれらの変化率が小さいことから、オーバーレイ時には表層施工後グルーピング設置までの養生期間を短くすることも可能であると考えられる。なお、圧縮量については差は明確ではない。

また、新設時とオーバーレイ時のラベリング試験結果を図-54で対比した。交通履歴を与えることにより、溝の幅は拡大するものの、深さはあまり変化しなくなることがわかる。容積の変化率には両者でほとんど差のないことから、交通履歴を与えることにより、溝の周囲が削られる現象から表層の表面付近の部分が薄く削られる現象に変化するものと思われる。なお、切削量自体でみると交通履歴を与えたほうが、すなわちオーバーレイ時のほうが値は小さいものとなる。

ホイールトラッキング試験終了時の溝容積変化率を図-55に示した。交通履歴のない場合には養生期間を長くとっても変化率には大きな差はないが、交通履歴を与えた場合には養生期間を長くとることによって変化率は低下してくる。

MPDについて、ホイールトラッキング試験終了時の値を図-56に、試験前後における変化率を図-57に示した。試験終了時のMPDには養生期間による違いはあまりみられないが、試験前後のMPDの変化率でみれば、養生期間を長くすると変化率は低下すること、特に交通履歴のある場合、すなわちオーバーレイ時のほうが、変化率の低下度合いは大きいことがわかる。

老化促進作用のみを付与した場合と、老化促進作用と交通履歴の両者を付与した場合のアスファルト自体の老化状況の違いについて検討した。具体的には、両者についてホイールトラッキング試験終了後の供試体からアスファルトを回収して、その物理特性を調べた（図-58）。針入度、軟化点、深度はいずれも標準であるNo.1のものと対比する形でまとめている。

表層アスファルトコンクリート敷設後グルーピングを施工するまでの期間、すなわち養生期間が長くなると、針入度がわずかに低下するとともに、軟化点がわずかに増加する傾向が認められる。これについては交通履歴の有無による違いは明らかではない。

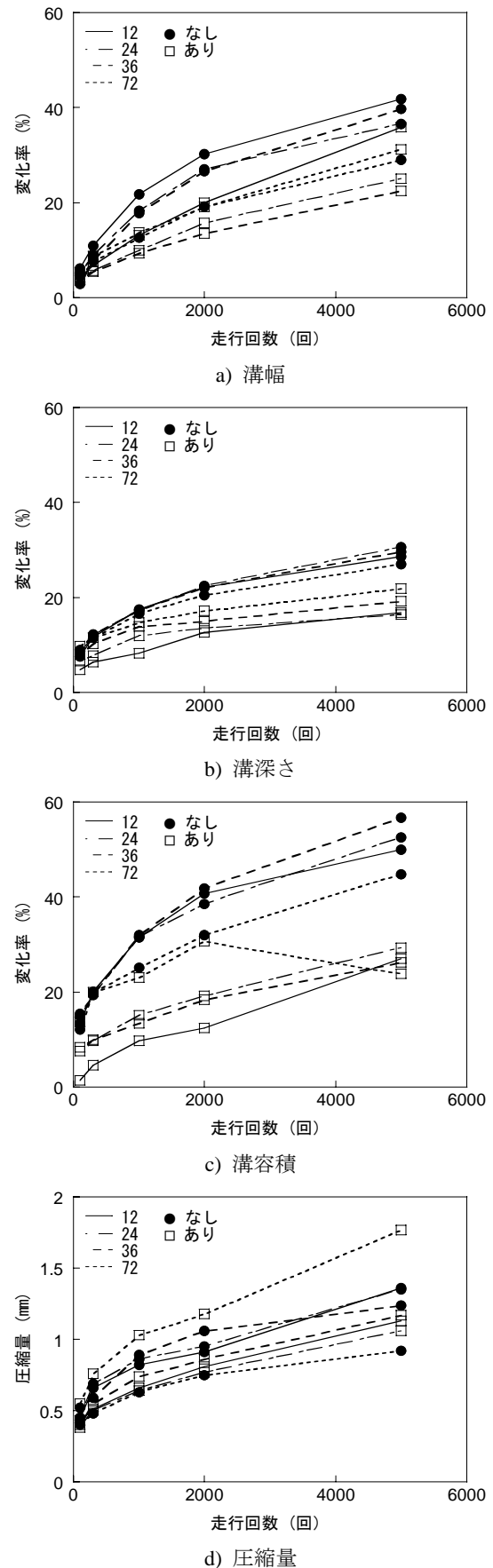
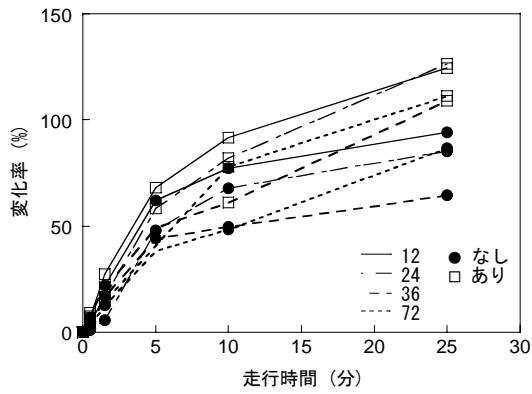
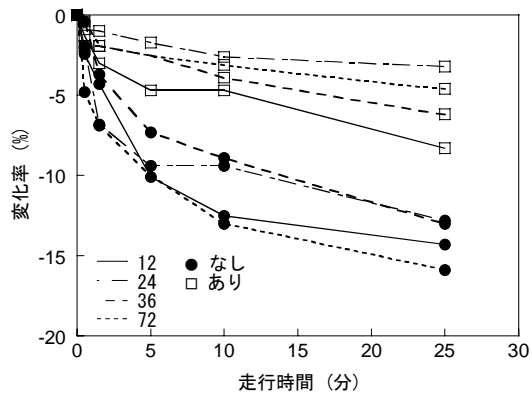


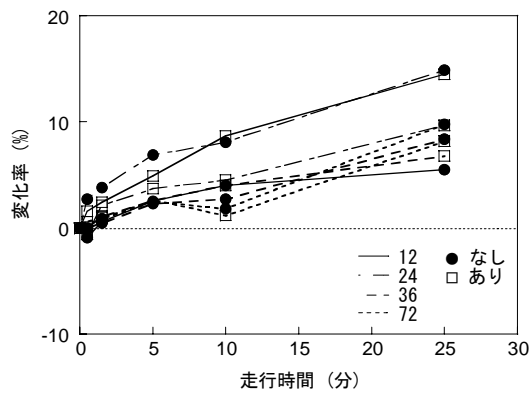
図-53 交通履歴の影響 (WT)



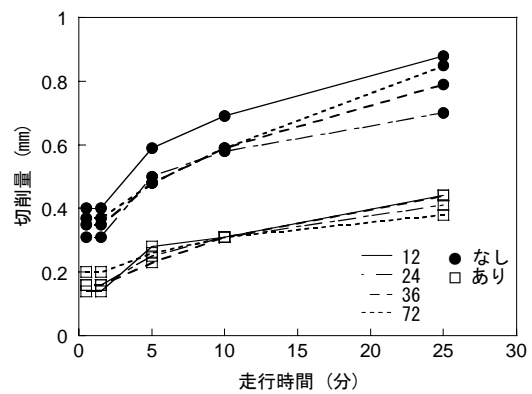
a) 溝幅



b) 溝深さ



c) 溝容積



d) 切削量

図-54 交通履歴の影響 (R)

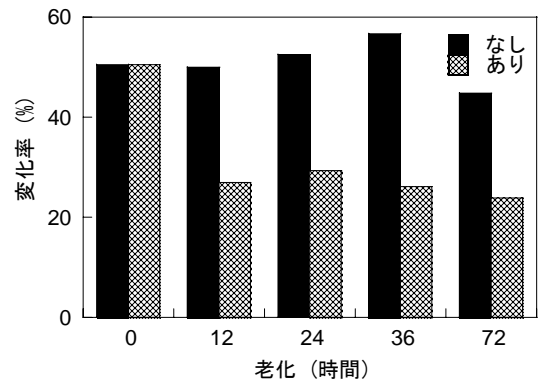


図-55 試験終了時の溝容積変化率 (交通履歴)

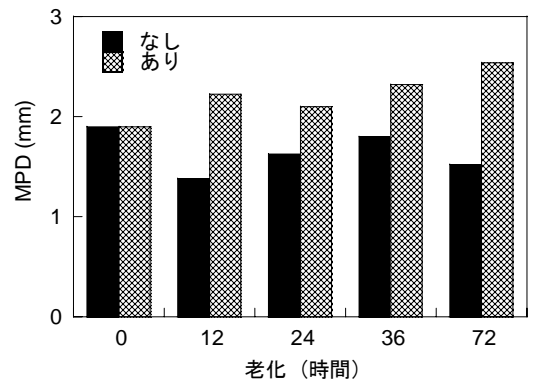


図-56 試験終了時のMPD (交通履歴)

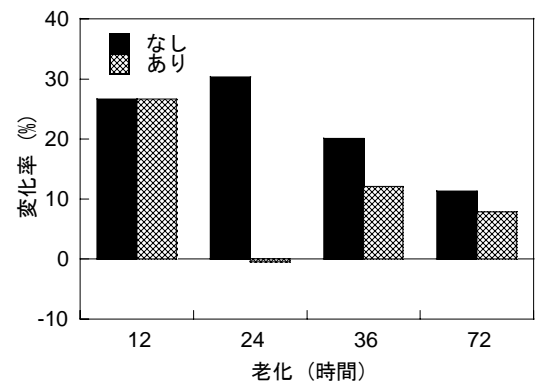


図-57 試験前後におけるMPDの変化率 (交通履歴)

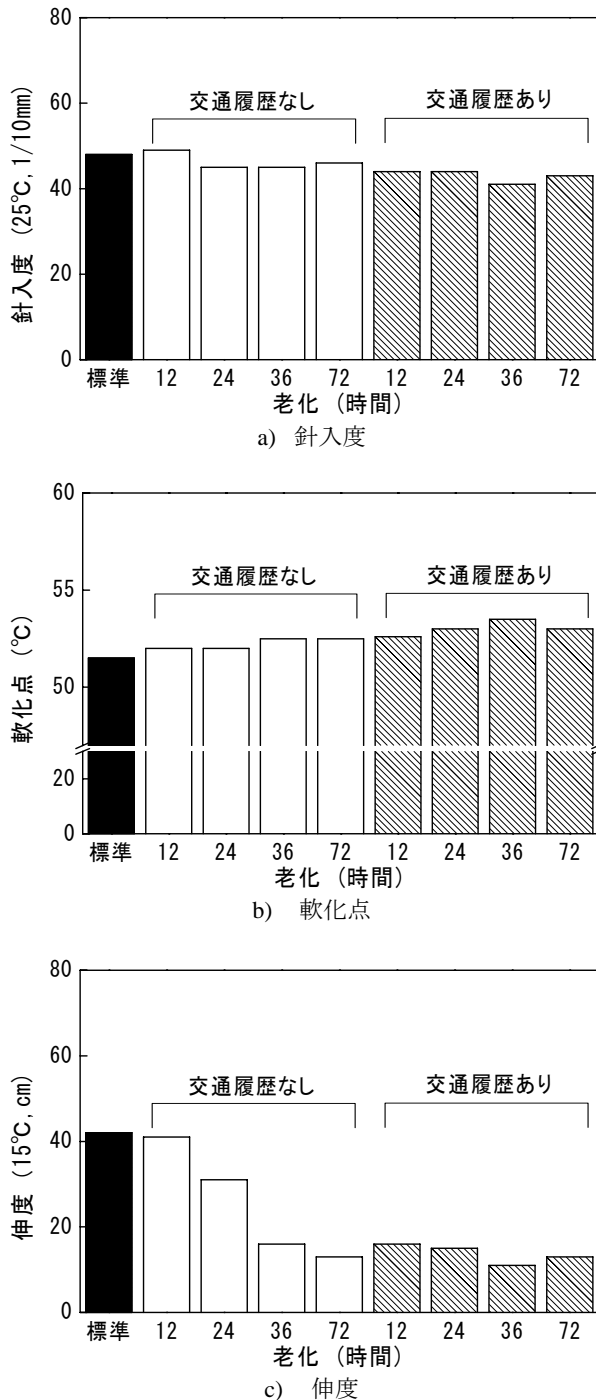


図-58 老化に伴うアスファルトの特性

これに対して、伸度については、養生期間が長くなると低下してくることは明らかである。しかも交通履歴の影響が顕著に現れている。すなわち、交通履歴がない場合に養生とともに伸度は徐々に減少し、72時間後では当初の1/3程度になっている。一方、交通履歴のある場合には、12時間の老化促進期間（1,400回の交通履歴）経過後に当初のほぼ1/3にまで低下し、その後養生期間が長くなってもその低下度合いはわずかである。

(4) まとめ

表層アスファルトコンクリート施工後グルーピングを設置するまでの養生期間に関しては次のようにまとめられる。

- 1) 養生期間を長くすることにより、高温時の圧縮量ならびに低温時の切削量は小さくなることから、アスファルトコンクリート自体の変形抵抗性は増加する。ただし、その度合いには交通履歴の有無により差がみられる。
- 2) 交通履歴のない新設時のグルーピングの安定性については、養生期間を確保することによりわずかではあるが増加する傾向がみられる。
- 3) 交通履歴を与えたオーバーレイ時を想定した場合のグルーピングの安定性については、養生期間を確保することの効果が顕著に表れている。

5.3 標準的力学特性によるグルーピング安定性の推定

(1) ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験結果の一般的な整理方法である、動的安定度についてまとめた。まず、アスファルトの種類を変えた場合の動的安定度について図-59に示した。ストレートアスファルトでは針入度の小さいほうが動的安定度は大きく上がっていることがわかる。

次に、骨材を種々のものとした場合の結果を図-60に示す。前掲の圧縮量に関する図-33からもわかるように、最大粒径の大きい骨材を使用したほうが動的安定度は大きく、耐流動性の点では骨材最大粒径を大きなものとすることが有利であるとわかる。また、改質アスファルトを用いることにより動的安定度は著しく増加することも明らかである。しかし、ストレートアスファルトを用いた場合と異なり、骨材の違いによる影響はほとんどみられない。

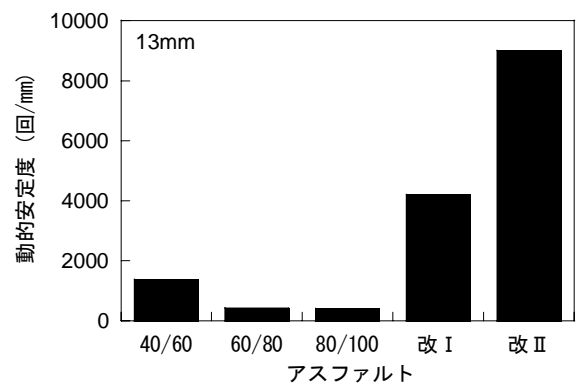


図-59 アスファルトによる動的安定度の違い

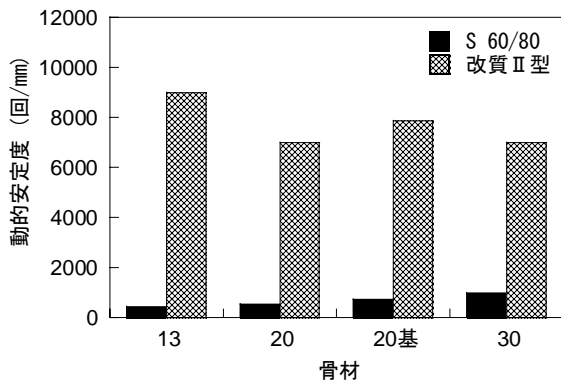


図-60 骨材による動的安定度の違い

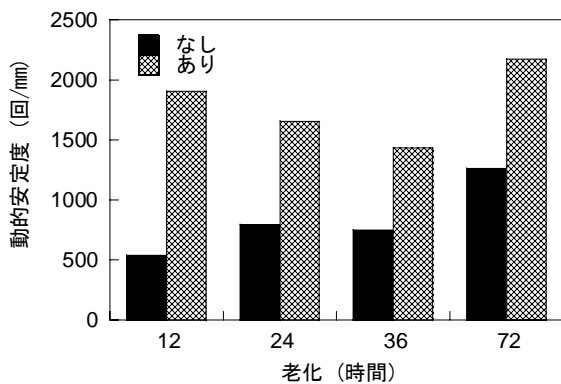
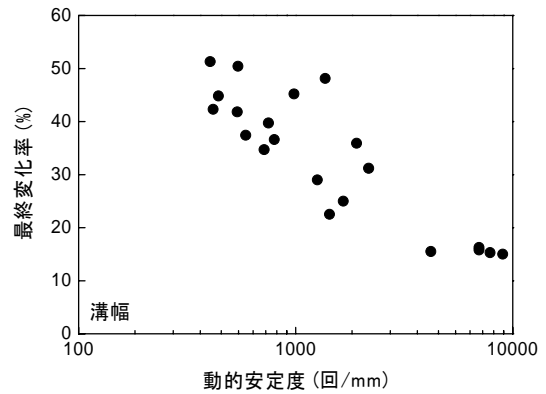


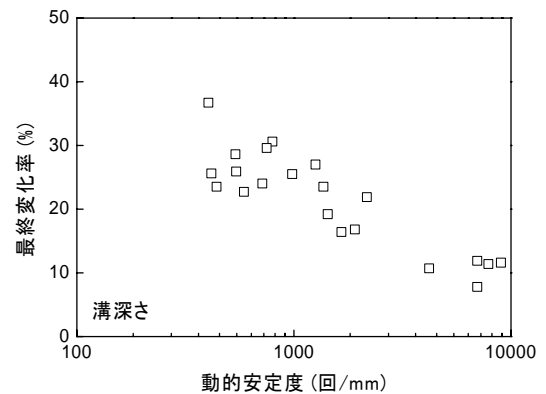
図-61 交通履歴の有無による動的安定度の違い

表層アスファルトコンクリート敷設後グルーピング施工までの期間が異なる場合の動的安定度について図-61にまとめた。交通履歴がない場合、養生期間が増加するにつれて動的安定度が徐々に増加し、72時間では施工直後の場合の3倍にまで増加することがわかる。これに対して、オーバーレイ時に相当する交通履歴のある場合は、比較的少ない養生期間で動的安定度が増加することがわかる。しかし、養生期間を長くすることの効果については明らかではない。交通履歴の有無により動的安定度が大きく異なることは明らかで、交通履歴のある場合が動的安定度は非常に大きいことから、新設時とオーバーレイ時で養生期間を変えることも十分可能であると思われる。

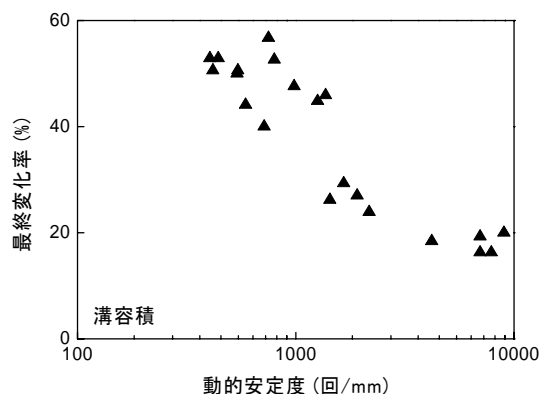
ホイールトラッキング試験結果の標準的な表現である動的安定度と試験終了時における溝形状の最終変化率（幅、深さ、容積）ならびに最終圧縮量の関係を図-62に示した。いずれの指標をみても、動的安定度が増加するにつれて小さい値となることがわかる。これから、動的安定度の高いアスファルトコンクリートを使用することによりグルーピングの安定性は向上することが明らかである。



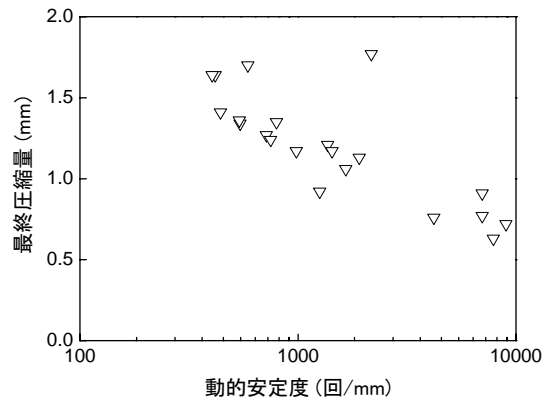
a) 溝幅



b) 溝深さ



c) 溝容積



d) 圧縮量

図-62 動的安定度とグルーピングの安定性

(2) 摩耗量

ラベリング試験結果の一般的なとりまとめ方法である摩耗量について示す。

まず、骨材を同一として異なる5種類のアスファルトを用いた場合の摩耗量を図-63に示した。これから、アスファルトが異なっても摩耗量にはほとんど差の生じないことがわかる。

図-64は、アスファルトとしてストレート60/80と改質Ⅱ型を使用し、骨材として4種類を用いた場合の比較をしたものである。これからは骨材による摩耗量の違いといったものはほとんどみられず。また、ストレート60/80と改質Ⅱ型といったアスファルトの違いも摩耗量には大きく影響を及ぼすものではないことがわかる。

図-65には、交通履歴の有無によって摩耗量に変化する状況をまとめた。全体的にみると交通履歴のない場合に比較すると交通履歴のあるほうが摩耗量が若干小さいこと、交通履歴のある場合は老化作用・交通履歴の進行につれて摩耗量が減少する傾向があるとわかる。

ラベリング試験の結果表示に通常用いられる摩耗量と、試験終了時における溝の幅、深さ、容積の最終変化率ならびに最終切削量の関係について図-66に示した。溝形状や溝容積と切削量との間に相関性は、ホイールトラッキング試験の場合と異なり、ほとんど認められない。

(3) まとめ

ホイールトラッキング試験、ラベリング試験結果の標準的な表わし方である、動的安定度、摩耗量とグルーピング安定性の相関性については、前者が高いものの、後者についてはほとんど認められないことがわかった。このことから、高温時のグルーピング安定性については通常の供試体を用いた動的安定度により推定可能と考えられるが、低温時のものを検討するためにはここで用いたようなグルーピング安定性試験による必要があるとまとめられる。

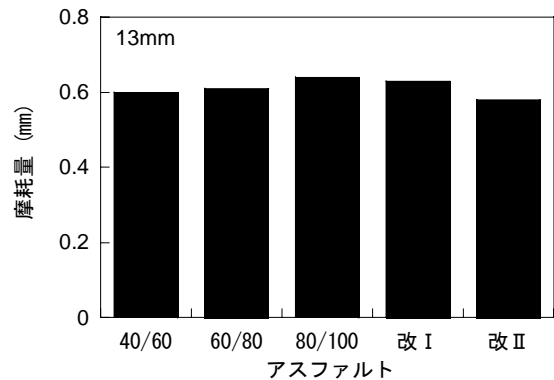


図-63 アスファルトによる摩耗量の違い

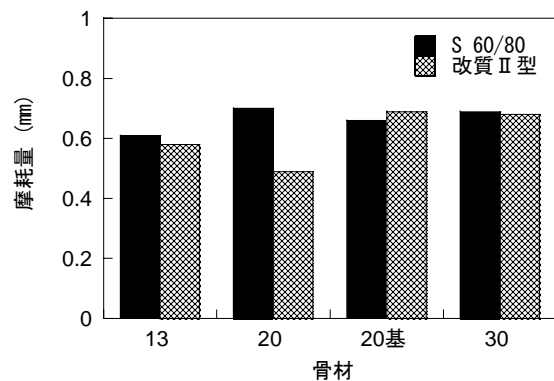


図-64 骨材による摩耗量の違い

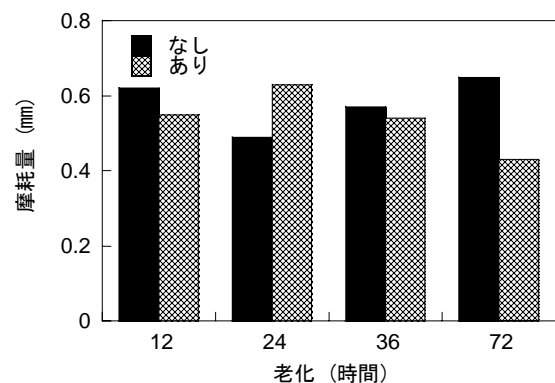


図-65 交通履歴の有無による摩耗量の違い

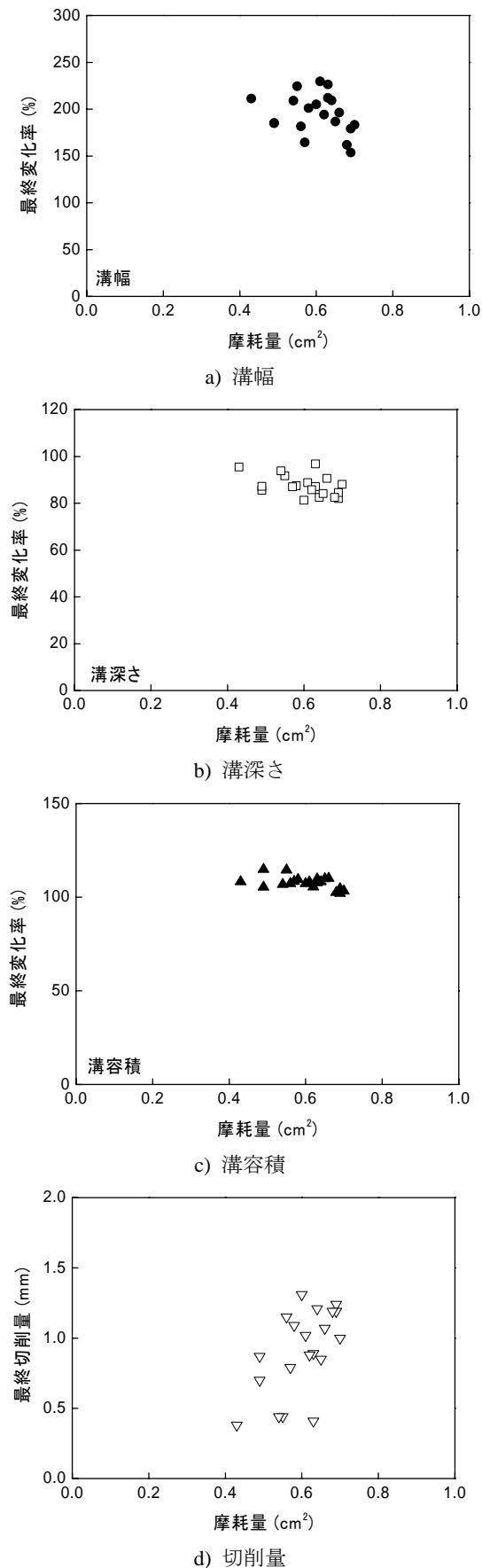


図-66 摩耗量とグルーピングの安定性

5.4 滑走路のすべり抵抗性の確保方策

滑走路表面のグルーピングは、2. で示したように、降雨時のすべり抵抗性を確保するために設けられている。以下では、これを可能とするために必要となるグルーピング形状の保持方策について考えてみる。

まず、室内試験によるすべり摩擦係数と水深との関係から、水深を1mm以下に抑えることが肝要とわかった。そして、降雨強度として東京地区の10年降雨確率である60mm/hを用いると、滑走路の中央帯（中心線から10mの範囲）が1mm以下の水深となるためには、溝容積の変化率が20%程度が必要であることもわかった。そこで、今回の室内試験として用いたホイールトラッキング試験とラベリング試験終了時の溝容積変化率が上記の20%であることを、グルーピング溝形状の変形、抵抗性に関する要求性能と仮定して、検討を進めた。

ラベリング試験により検討した角欠けに対する抵抗性については、いずれの材料もほとんど問題なく満足できることが明らかである。これに対して、ホイールトラッキング試験により検討した溝形状の変形抵抗性については、改質アスファルトを使用することが必要となることがわかる。さらに、その場合であっても、粒径の大きな骨材を使用することが望まれる。また、ストレートアスファルト60/80を用いた表層アスファルトコンクリートを敷設してからグルーピングを施工するまでの期間については、新設時にあっては今回用いた期間では不十分であること、オーバーレイ時にあっては2ヶ月程度を確保することが必要であることになる。なお、この結果はいくつかの仮定に基づいたものであることから、今後現地試験を行って、今回実施した室内試験結果を検証することが必要である。

6. まとめ

今回実施した室内試験結果は次のようにまとめられる。

- 1)アスファルトコンクリートの骨材の違いでは、最大粒径13mmで中央粒度というものがグルーピングの溝形状が最も消失しやすく、最大粒径20mmで粗粒度としたものが溝形状を比較的保持できている。
- 2)アスファルトの違いでは、針入度の小さい、すなわち硬いものが変形抵抗性が大きい。改質アスファルトを使用したほうが、また、再生アスファルトコンクリートが有利である。
- 3)表層敷設後グルーピングを設置するまでの期間を長くすることによりグルーピングの安定性は向上する。特に、オーバーレイ時においてその効果は著しい。

4) 滑走路のすべり抵抗性を確保するためには、改質アスファルトを使用することが必要である。オーバーレイの場合には、ストレートアスファルトを用いてある程度養生期間を確保することでも対応可能である。

7. おわりに

本文中に示したように、本研究では、室内試験によってグルーピングの溝形状確保方策を明らかにした。具体的には、いくつかの仮定をすることによって、改質アスファルトを使用すること、オーバーレイの場合にはストレートアスファルトを使用したとしてもグルーピング施工までにある程度の養生期間をとることによってグルーピングの安定性を確保できることを示した。

本研究の成果は、表層施工後2ヶ月経過してからグルーピングを施工することとなっている、現行基準の改訂資料となるものである。また、これを実際の空港へ適用することにより航空機の安全運航性のさらなる向上が期待できる。今後は、本成果を適用した空港滑走路の性能を長期的に観測することにより、本技術のさらなる高質化を図っていく所存である。

(平成17年9月21日受付)

参考文献

- 1) 梅野修一，八谷好高，藤倉豊吉，横田 弘：空港滑走路のすべり抵抗性，港湾技研資料，No. 846，20p.，1996.
- 2) 運輸省航空局（監）：空港土木施設施工要領，（財）港湾空港建設技術サービスセンター，1999.
- 3) ICAO: Aerodromes, Volume 1, Annex 14, 2004.
- 4) （財）航空保安協会：グルーピング滑走路の安全性に関する第二次調査研究報告書，101p.，1986.
- 5) ICAO: Airport Services Manual, Part 2, Pavement Surface Conditions, 1984.
- 6) Federal Aviation Administration: Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-resistant Airport Pavement Surfaces, AC150/5320-12B, 1991.
- 7) 国土交通省航空局（監）：空港土木施設設計基準，（財）港湾空港建設技術サービスセンター，2001.
- 8) （社）日本道路協会：舗装試験法便覧，1069p.，1979.
- 9) （社）日本道路協会：舗装試験法便覧別冊，317p.，1996.
- 10) 安部裕也，亀山修一，玉井昭典，笠原 篤，斎藤和夫：Circular Texture Meter (CTM)とDF テスタによる国際摩擦指標(IFI)の算出，舗装工学論文集，土木学会，pp.15-22，1999.
- 11) Pelloli, R.: Road Surface Characteristics and Hydroplaning, Transportation Research Record, No.624, pp.27-32, 1976.
- 12) 酒井秀夫：タイヤ工学，グランプリ出版，426p.，1987.
- 13) Reed, J.R., Kibler, D.F. and Proctor, M.L. : Analytical and Experimental Study of Grooved Pavement Runoff, DOT/FAA/PM-83/34, 65p.，1983.
- 14) 運輸省大阪航空局：グルーピング補修材料調査報告書，103p.，1981.
- 15) 運輸省第二港湾建設局東京空港工事事務所：東京空港グルーピング性状調査報告書，143p.，1986.
- 16) 国土交通省航空局（監）：空港土木工事共通仕様書，（財）港湾空港建設技術サービスセンター，2001.
- 17) 運輸省港湾技術研究所：グルーピングの安定性試験報告書，128p.，1978.
- 18) 佐藤勝久，福手 勤，佐藤峰夫：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，港湾技研資料，No.308，24p.，1978.
- 19) 日本道路建設業協会技術振興委員会海外技術資料部会：マーシャル配合設計手法を用いた大粒径混合物の試験評価(1)，道路建設，3/5，pp.86-91，1991.
- 20) （社）日本道路協会：舗装施工便覧，314p.，2001.
- 21) 野村健一郎・丸山暉彦・高橋光彦：アスファルトの劣化促進方法に関する研究，土木学会，舗装工学論文集，第1巻，pp.223-230，1996.
- 22) 国土交通省航空局（監）：数字でみる航空 2004，2004.