ISSN 1346-7328
国総研資料 第1285号
令 和 6 年 7 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 1285 July 2024

空港舗装の応急復旧に用いる常温アスファルト混合物の性能評価方法の検討

河村直哉・坪川将丈

Performance Evaluation Method for Cold Asphalt Mixture
Used for Emergency Repair of Airport Pavement

KAWAMURA Naoya, TSUBOKAWA Yukitomo

国土交通省　国土技術政策総合研究所

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

国土技術政策総合研究所資料
No. 1285　2024 年 7 月
(YSK-N-499)

空港舗装の応急復旧に用いる常温アスファルト混合物の性能評価方法の検討

河村直哉＊・**坪川将丈**＊＊

要　旨

本研究では，空港舗装の応急復旧に用いる常温アスファルト混合物の塑性変形抵抗性と施工面との接着性が，加熱アスファルト混合物と同程度であることを評価するための方法を検討した．

塑性変形抵抗性を評価する方法として，降雨がない状況を想定した常温ホイールトラッキング試験と降雨時の状況を想定した常温低速ホイールトラッキング試験を選定し，接着性を評価する方法として，せん断試験を選定した．各種試験における試験条件が試験結果に及ぼす影響を調べた結果，常温ホイールトラッキング試験と常温低速ホイールトラッキング試験では，航空機のタイヤ接地圧下において湿潤硬化型の常温アスファルト混合物の塑性変形量が特に大きくなり，加熱混合物との差が明瞭になることが分かった．また，樹脂系の常温アスファルト混合物は，養生時間が短く発熱による硬化が不十分な場合に，加熱アスファルト混合物の塑性変形抵抗性に及ばないことから，養生時間に留意する必要があることが分かった．樹脂系の常温アスファルト混合物のせん断強度は，施工面に滞水があると低下し，加熱アスファルト混合物より小さくなる場合があった．

得られた結果を踏まえて，加熱アスファルト混合物と同程度の性能であることを評価するための試験条件と評価指標をまとめた．

キーワード：空港舗装，応急復旧，常温アスファルト混合物，塑性変形抵抗性，接着性

＊空港研究部主任研究官
＊＊空港研究部空港新技術研究官
〒239-0826　横須賀市長瀬3-1-1　国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5019　Fax：046-842-9265　　e-mail：ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

Technical Note of NILIM
No. 1285 July 2024
(YSK-N-499)

Performance Evaluation Method for Cold Asphalt Mixture Used for Emergency Repair of Airport Pavement

KAWAMURA Naoya＊
TSUBOKAWA Yukitomo＊＊

Synopsis

The authors investigated methods for evaluating whether the resistance of a cold asphalt mixture to permanent deformation and its adhesion to construction surface are equivalent to or superior to those of hot asphalt mixture.

As methods for evaluating permanent deformation, we selected the room-temperature wheel tracking test assuming a dry condition and the room-temperature low-speed wheel tracking test assuming a wet condition. For evaluation of adhesion, we selected a shear test. As a result of investigations of the influence of test conditions to the results in each test, it was found that the permanent deformation of moisture-curable cold asphalt mixtures was particularly large under aircraft tire pressure in the room-temperature tracking test and the room-temperature low-speed wheel tracking test, clarifying the difference between cold asphalt mixture and hot asphalt mixture. Furthermore, the permanent deformation of resin-based cold asphalt mixtures is larger than that of hot asphalt mixture when curing time is short and curing by heat generation is inadequate. Since adhesion failure occurs in the presence of water, the shear strength of resin-based cold asphalt mixtures decreases when their construction surface is soaked with water. Based on the results obtained, we suggested test conditions and indices for evaluating whether the performance of a cold asphalt mixture is equivalent to or superior to that of hot asphalt mixture.

Key Words: airport pavement, emergency repair, cold asphalt mixture, resistance to permanent deformation, adhesion

＊ Senior Researcher, Airport Department
＊＊ Research Coordinator for Advanced Airport Technology, Airport Department
National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail : ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

目　次

1. はじめに ····· 1

2. 本研究の性能評価に用いる試験方法の選定 ····· 1
2.1 塑性変形抵抗性に関する既往の評価方法 ····· 1
2.2 本研究の性能評価に用いる試験方法の選定 ····· 2

3. 本研究に用いる常温混合物の選定 ····· 2
3.1 試験材料 ····· 2
3.2 供試体の作製方法 ····· 2
3.3 試験条件 ····· 2
3.4 試験結果 ····· 3

4. 塑性変形抵抗性の評価方法に関する検討 ····· 3
4.1 試験材料 ····· 3
4.2 供試体の作製方法 ····· 4
4.3 荷重条件が試験結果に及ぼす影響評価 ····· 4
4.4 温度が試験結果に及ぼす影響評価 ····· 6
4.5 養生時間が試験結果に及ぼす影響評価 ····· 6
4.6 評価方法のまとめ ····· 8

5. 施工面との接着性の評価方法に関する検討 ····· 8
5.1 供試体の作製方法 ····· 8
5.2 試験材料 ····· 9
5.3 試験条件 ····· 10
5.4 試験結果 ····· 10
5.5 評価方法のまとめ ····· 12

6. まとめ ····· 12
6.1 塑性変形抵抗性の評価方法について ····· 12
6.2 施工面との接着性の評価方法について ····· 12

7. おわりに ····· 13

参考文献 ····· 13

1. はじめに

空港のアスファルト舗装では，ポットホール等の局所的かつ突発的な破損が生じることがあり，空港の運用時間内であれば，施設を閉鎖して緊急補修を行う．加熱アスファルト混合物（以下，加熱混合物）で補修を行うには，施設の長時間の閉鎖が必要になる場合があり，それを避けるために，常温アスファルト混合物（以下，常温混合物）を用いて補修することで応急復旧を行い，運用を終えた当日の夜間，天候によっては数日後の夜間に，加熱混合物を用いて再度補修し，本復旧を行う．

過去に，道路で使用実績のある常温混合物を用いて応急復旧を行ったものの，航空機荷重による塑性変形と打音による異音（常温混合物の施工面との接着不良）が数時間後に確認されたことがあった．航空機が高速で走行する場所であれば，それらの変状が重大な事故に繋がりかねない．そのため，航空機の安全な走行のために求められる性能を有する常温混合物を用いる必要があるが，現時点で，求められる性能とその評価方法は示されていない．

空港舗装で確認された常温混合物の変状が塑性変形と接着不良であることを踏まえると，常温混合物に求められる性能は少なくとも，塑性変形抵抗性と，施工面との接着性であると考える．また，常温混合物の性能は，加熱混合物による本復旧を実施するまで耐えられることであり，必ずしも必要ではないが，本復旧に用いられる加熱混合物と同程度であれば十分であると考える．

以上により，本研究は，常温混合物が加熱混合物と同程度の塑性変形抵抗性と接着性であることを評価するための方法を提案することを目的として，常温混合物の塑性変形抵抗性と接着性の評価方法を検討した．

2. 本研究の性能評価に用いる試験方法の選定

東京都と首都高速道路株式会社（以下，首都高）では，常温混合物の性能評価方法が示されている[1)2)]．評価方法には，塑性変形抵抗性に関するものはあるが，接着性に関するものはない．本章では，東京都と首都高の評価方法を整理し，本研究の性能評価に用いる試験方法を選定した．また，接着性については常温混合物の試験ではないが，道路橋床版防水便覧を参考に試験方法を選定した．

2.1 塑性変形抵抗性に関する既往の評価方法

常温混合物の塑性変形抵抗性の評価は，供試体上で小型車輪を繰返し往復走行させるホイールトラッキング試験（以下，WT試験）により行われる．**表-1**に，東京都と首都高での評価方法の概要を示す．表中には，東京都と首都高の方法のベースである舗装調査・試験法便覧[3)]の方法も示している．

a) 東京都の評価方法

東京都では，常温WT試験と簡易ポットホール走行試験による評価方法が示されている．2つの試験の違いは供試体の作製方法であり，降雨時の環境を考慮するか否かである．常温WT試験の供試体の作製では，降雨がない時の施工を想定し，30cm×30cm×5cmの型枠内に常温混合物を敷均し転圧を行う．一方，簡易ポットホール走行試験の供試体の作製は，降雨時の施工を想定したものであり，あらかじめ型枠内に加熱混合物を敷均し，中央部分に深さ2cmのポットホール（局所的な凹みを模擬したもの，**写真-1**）を作製しておき，そこに水を満たした状態で常温混合物を敷均し転圧を行う．

それぞれの方法で作製した供試体を試験温度20℃のWT試験装置に設置し，60分間の繰返し走行試験を行う．試験結果の評価では，所定の沈下量となった時の走行回数が規定の回数以上であることを確認する．

表-1 常温混合物に関する既往の塑性変形抵抗性評価方法の概要

試験名		供試体の作製方法の概要	主な試験条件				評価指標	規格値
			温度（℃）	走行速度（回/分）	輪荷重（N）	時間（分）		
舗装調査・試験法便覧（日本道路協会）	WT試験	30×30×5cmの型枠内に施工	60	42	686	60	動的安定度（DS）	－
土木材料仕様書（東京都）	常温WT試験	試験法便覧と同じ	20	42	686	60	20mm沈下時の走行回数	50回以上
	簡易ポットホール走行試験	試験法便覧と同じ供試体を加熱混合物で作製し,中央部に円形の穴を設け、水を満たした状態で常温混合物を施工	20	42	686	60	3mm沈下時の走行回数	30回以上
舗装設計施工要領（首都高速道路）	常温低速WT試験	30×30×5cmの型枠内に水を満たした状態にして，水をかけながら常温混合物を施工	20	21	686	75	常温低速DS	3,000回/mm以上

b)　首都高の評価方法

首都高では，常温低速WT試験による評価方法が示されている．供試体の作製は，降雨時の施工を想定したものであり，**写真-2**に示すように，型枠内を水で満たした状態にしておき，ジョウロ等で雨を模擬した水をかけながら常温混合物を敷均し転圧を行う．

試験では，渋滞が頻発する首都高の実情を鑑みて[3]，舗装調査・試験法便覧に示される走行速度よりも遅くして繰返し走行を行う．評価では，試験開始後45分から75分の間に“1mm変形するのに要した走行回数”である常温低速動的安定度が許容値以上であることを確認する．

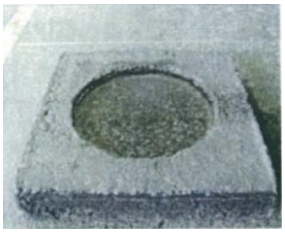


写真-1　簡易ポットホール試験用供試体

a）型枠内に水を注入　　b）水をかけながら敷均し

写真-2　常温低速WT試験の供試体作製状況

2.2　本研究の性能評価に用いる試験の選定

a)　塑性変形抵抗性に関する試験

本研究において常温混合物に求める塑性変形抵抗性は，加熱混合物と同程度であり，東京都や首都高の要求水準と異なるものであるため，東京都や首都高の方法を参考にしつつ，評価方法を検討する必要がある．空港舗装では，非降雨時と降雨時の施工が想定されるため，本研究では，供試体作製時に水の影響を考慮しない常温WT試験と考慮する常温低速WT試験をベースとした評価方法を検討する．簡易ポットホール走行試験も水の影響を考慮する試験ではあるが，既往研究[4]において試験結果のばらつきが大きいことが指摘されていることから，本研究では常温低速WT試験を選定した．

b)　施工面との接着性に関する試験

常温混合物の施工面との接着性に関しては，道路橋床版防水便覧[5]において，コンクリート床板上に施工するアスファルト混合物層と防水層の接着性の試験方法として，引張試験とせん断試験が示されている．引張試験の場合，供試体に切り込みを入れることや治具を接着させることが必要であり，混合物を舗設してから試験を開始するまでに時間を要する．せん断試験は，試験を開始するまでの時間は引張試験より短いため，本研究では，せん断試験を選定した．

3. 本研究に用いる常温混合物の選定

常温混合物は様々なメーカーで製造されており，数多くの製品が販売されている．常温混合物は簡易的な補修材料であるため，基本的には加熱混合物ほどの塑性変形抵抗性を期待できないが，加熱混合物と同程度のものも近年開発されている．本研究では，数ある常温混合物の中から，加熱混合物の塑性変形抵抗性に近いものを検討対象として選定するために，東京都の常温WT試験による評価方法で各種の常温混合物を評価した．

3.1　試験材料

表-2に試験に用いた常温混合物を示す．カットバック系，樹脂系，乳剤系の計3タイプあり，全21種類である．カットバック系とは，溶剤等で液化したアスファルト（カットバックアスファルト）を骨材と混ぜ合わせたタイプのものである．

表-2　選定対象とした常温混合物

分類	硬化機構	数量（種）
カットバック系	揮発硬化	9
	化学反応（湿潤硬化を含む）	3
	その他	2
樹脂系	化学反応	5
乳剤系	乳剤分解	2

3.2　供試体の作製方法

表-3に各種常温混合物の施工方法を示す．メーカーが推奨する方法により，20℃で保管した常温混合物をWT試験用供試体の型枠内に施工した．

3.3　試験条件

表-4に試験条件を示す．東京都で示される条件である．なお，カットバック系と乳剤系は，供試体を作製してか

ら15分後に試験に供し，樹脂系は，供試体を作製してから30分後に試験に供した．

3.4 試験結果

表-5に，東京都で示される評価指標である20㎜沈下時の走行回数を示す．カットバック系では，20㎜沈下時の走行回数が製品によって2桁異なり，製品による違いが大きかった．樹脂系の常温混合物は全て，試験時間内に20㎜沈下しなかった．

常温混合物の塑性変形抵抗性に関する本研究の要求水準は，加熱混合物と同程度であり，加熱混合物についても試験温度20℃では20㎜沈下しないことを想定していたため，本研究に用いる常温混合物は，20㎜沈下しなかったものの中で，湿潤条件でも使用可能なものとして，カットバック系（湿潤硬化型）を1種類、樹脂系を2種類選定した．

表-3 各種常温混合物の施工方法

常温混合物の分類	施工方法
カットバック系	常温混合物を敷均し転圧する.
カットバック系（湿潤硬化）	常温混合物を敷均し，硬化に必要な水を散水した後に転圧する.
樹脂系	骨材、主剤、硬化剤（ものによって、左記に加えて添加材）を常温で混合し流し込む. 金コテで仕上げる.
乳剤系	骨材と特殊乳剤を常温で混合し流し込む. 金コテで仕上げる.

表-4 常温WT試験の条件

試験温度（℃）	20
試験時間（分）	60
輪荷重（N）	686
走行速度（回/分）	42
走行距離（mm）	230

表-5 各種常温混合物の20㎜沈下時の走行回数

分類	硬化機構	数量（種）	20mm沈下時の走行回数（回）
カットバック系	揮発硬化	9	7種類は16～1123，2種類は20mm沈下しなかった
	化学反応（湿潤硬化を含む）	3	①1191，②1219，③20mm沈下しなかった
	その他	2	①1，②20mm沈下しなかった
樹脂系	化学反応	5	5種類とも，20mm沈下しなかった
乳剤系	乳剤分解	2	①79，②559

4. 塑性変形抵抗性の評価方法に関する検討

輪荷重等の試験条件のパラメータが塑性変形に及ぼす影響を把握し，加熱混合物と同程度であることを評価するための試験条件と評価指標を検討した．

着目するパラメータは，塑性変形への影響が大きいものとして，①輪荷重，②温度，③供試体を作製してから試験を開始するまでの時間（以下，養生時間）である．本章では，試験材料と供試体の作製方法を示したのち，着目するパラメータごとに試験条件と試験結果を示す．

4.1 試験材料

表-6に本検討で用いた混合物の種類を示す．前章で選定した3種類の常温混合物に加えて，常温混合物の比較対象である加熱混合物を1種類用いた．以下では，各々の呼称を湿潤，樹脂A，樹脂B及び加熱混合物とする．

加熱混合物については，空港舗装に使用される最大骨材粒径13㎜の密粒度混合物を用いた．骨材粒度は基本施設の表層タイプⅠの中央粒度とした．**表-7**に使用した材料，**図-1**に粒径加積曲線を示す．アスファルト量は，空

表-6 本検討で用いたアスファルト混合物

混合物の種類		呼称
常温混合物	湿潤硬化型 1種	湿潤
	樹脂系 2種	樹脂A，樹脂B
加熱混合物	密粒度混合物(13) 1種	加熱混合物

表-7 本検討に用いた加熱混合物の骨材とアスファルト

粗骨材	6号砕石	硬質砂岩
	7号砕石	硬質砂岩
細骨材	砕砂	硬質砂岩
	細目砂	洗砂
石粉		石灰岩
アスファルト		ストレートアスファルト60/80

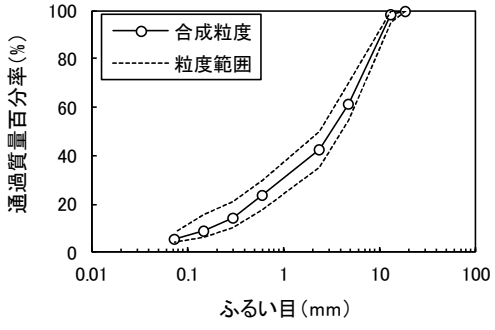


図-1 加熱混合物の粒径加積曲線

港土木工事共通仕様書に示されるマーシャル試験に対する基準値を満足するように配合設計を行い，最適アスファルト量である5.5%とした．

4.2 供試体の作製方法

a) 常温混合物（湿潤）の場合

常温 WT 試験の供試体では，型枠内に常温混合物を敷き均した後，硬化に必要な水を散布し，**写真-3** に示すローラコンパクタを供試体上で 25 往復させて転圧した．

常温低速 WT 試験の供試体では，型枠内を水で満たした状態にし，雨を模擬した水をジョウロでかけながら敷き均し，ローラコンパクタを 25 往復させて転圧した．

b) 常温混合物（樹脂系）の場合

常温 WT 試験の供試体では，骨材と樹脂を混合し，型枠内に常温混合物を敷き均した後，ローラコンパクタでは締固めを行わず，ヘラで突き固め，金コテで表面を仕上げた．この手順は，実施工での流し込みによる施工を想定したものである．

常温低速 WT 試験の供試体では，骨材と樹脂を混合し，型枠内を水で満たした状態にし，雨を模擬した水をジョウロでかけながら敷き均し，ヘラで突き固め，金コテで表面を仕上げた．

c) 加熱混合物の場合

舗装調査・試験法便覧の「B003　ホイールトラッキング試験方法」を参考にして作製した．WT 供試体用の型枠内に加熱混合物を敷均し，タンパで予備転圧を行った後，ローラコンパクタを供試体上で 25 往復させた．なお，15 往復目までは，そのまま転圧を行ったが，それ以降は供試体上にゴム板を乗せ，その上で転圧を行った．これは，本復旧における実際の加熱混合物の転圧を再現したものであり，ロードローラの鉄輪とタイヤローラのゴム輪による転圧を模擬した．

4.3 荷重条件が試験結果に及ぼす影響評価

a) 試験条件

表-8に，荷重の影響に着目した場合の試験条件を示す．輪荷重は686Nと980Nとした．686Nでのタイヤ接地圧は0.7MPaであり，自動車のタイヤ接地圧に相当する．980Nでのタイヤ接地圧は1.4MPaであり，大型ジェット機のタイヤ接地圧に相当する．なお，タイヤ接地圧を1.4MPaとする場合，タイヤには，20℃で硬度95のウレタン製硬質ゴムを用いた．

写真-3　ローラコンパクタによる転圧

表-8　荷重の影響に着目した場合の試験条件

		常温WT試験	常温低速WT試験
供試体の養生時間※)	分	常温混合物:30 加熱混合物:試験体表面が50℃になるまで	
養生温度	℃	20	
試験温度	℃	20	
試験時間	分	60	75
輪荷重	N	686, 980	
タイヤ接地圧	MPa	686Nの場合:0.7 980Nの場合:1.4	
走行速度	回/分	42	21
走行距離	mm	230	

※)養生時間: 供試体を作製し終えてから試験を開始するまでの時間

試験は，供試体を作製し終えてから**表-8**に示す養生時間と養生温度で静置してから実施した．加熱混合物については，工事後に交通開放が可能となる舗装の表面温度50℃となった時点で試験を開始した．

1条件あたり3枚の供試体に対して試験を実施した．

b) 評価指標

常温WT試験の場合，東京都で示される20mm沈下時の走行回数に加えて，塑性変形量で評価した．

常温低速WT試験の場合，首都高で示される常温低速動的安定度（以下，常温低速DS）に加えて，塑性変形量で評価した．常温低速DSの定義は式(1)に示すとおりで，試験開始後45分から75分の30分間で1mm変形するのに要した走行回数である．変位計の分解能は0.01mmであることから，63,000回/分が常温低速DSの上限値となる．

$$\text{常温低速DS} = v \times \frac{75 - 45}{d_{75} - d_{45}} = \frac{630}{d_{75} - d_{45}} \quad \cdots (1)$$

ここに，常温低速DS ： 常温低速動的安定度（回/分）

v ： 走行速度（21回/分）

d_{75} ： 75分時点の塑性変形量（mm）

d_{45} ： 45分時点の塑性変形量（mm）

c) 試験結果（20mm沈下時の走行回数と常温低速DS）

表-9 に常温 WT 試験における 20mm 沈下時の走行回数を示す．接地圧によらず，樹脂 B の場合では約 10 回であった一方で，湿潤，樹脂 A 及び加熱混合物は，試験時間内に 20mm 沈下せず，20mm 沈下時の走行回数を求めることができなかった．20mm 沈下時の走行回数では，湿潤と樹脂 A の塑性変形抵抗性が加熱混合物と同程度であるか否かを評価できない．

表-10 に常温低速 WT 試験における常温低速 DS を示す．樹脂 B は養生時間 30 分では硬化せず，試験途中で変形が大きくなり試験を終了したため，常温低速 DS を求めることができなかった．湿潤の常温低速 DS は，接地圧 0.7MPa で 52,500 回/分であったが，接地圧 1.4MPa にすると，45 分から 75 分までの塑性変形量が多くなり，6,660 回/分になった．樹脂 A の場合，接地圧 0.7MPa では 52,500 回/分，接地圧 1.4MPa で 42,000 回/分であった．加熱混合物では，接地圧によらず 63,000 回/分であった．舗装調査・試験法便覧では，6,000 回/分を超える場合には，測定誤差等により明確な有意差は得られないとしているため，加熱混合物と同程度の塑性変形抵抗性を評価することにおいては，常温低速 DS を評価指標として用いることは適切でないと考える．

d) 試験結果（塑性変形量）

図-2に常温WT試験における塑性変形量の経時変化を示す．湿潤の塑性変形量は接地圧を高くすると多くなり，それに伴い加熱混合物との差も大きくなった．樹脂Aの塑性変形量も接地圧を高くすると若干多くなった．樹脂Bの塑性変形量は接地圧によらず試験開始後早期に20mm以上となった．

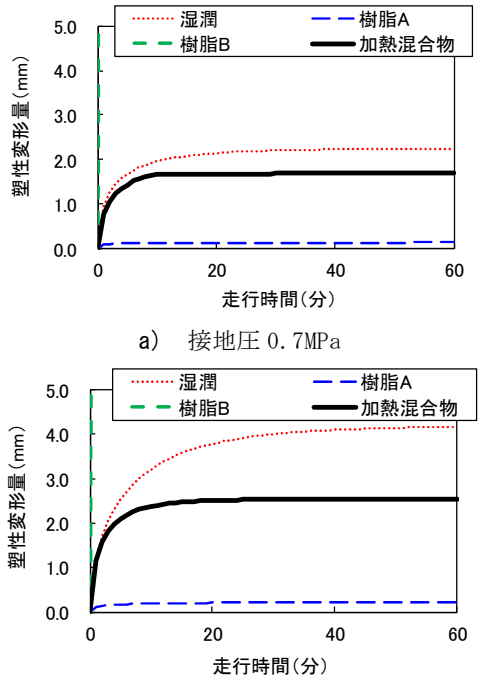
図-3には常温低速WT試験における塑性変形量の経時変化を示す．樹脂Bについては，試験開始直後に20mmを超えたため，図示していない．接地圧を高くすることで塑性

表-9　20mm 沈下時の走行回数（回）

混合物の種類		タイヤ接地圧（MPa）	
		0.7	1.4
常温混合物	湿潤	試験時間内に20mm沈下しなかった	
	樹脂A		
	樹脂B	9	8
加熱混合物		試験時間内に20mm沈下しなかった	

表-10　常温低速 DS（回/mm）

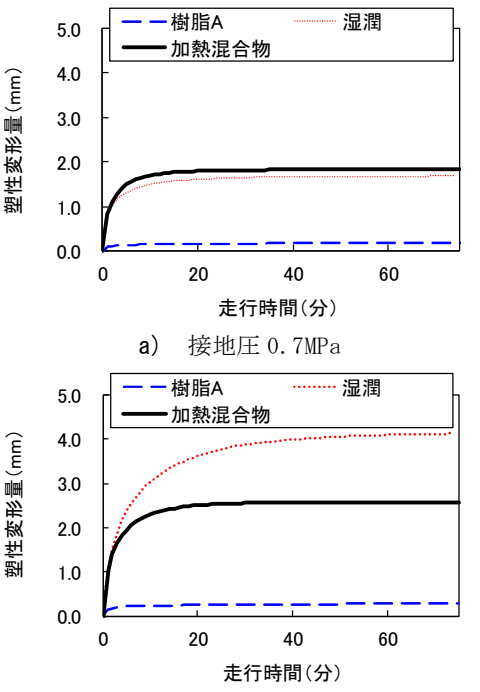
混合物の種類		タイヤ接地圧（MPa）	
		0.7	1.4
常温混合物	湿潤	52,500	6,660
	樹脂A	52,500	42,000
	樹脂B	変形が大きく算出不可	
加熱混合物		63,000	63,000



a)　接地圧 0.7MPa

b)　接地圧 1.4MPa

図-2　常温 WT 試験における塑性変形量の経時変化



a)　接地圧 0.7MPa

b)　接地圧 1.4MPa

図-3　常温低速 WT 試験における塑性変形量の経時変化

変形量が多くなる傾向は，常温WT試験と同様であった．なお，湿潤の塑性変形量は，自動車のタイヤ接地圧では加熱混合物と同程度であったが，航空機のタイヤ接地圧にすると加熱混合物より多くなった．

以上より，自動車接地圧では加熱混合物と同等の評価でも，航空機接地圧では加熱混合物より低い評価となる場合があるため，空港舗装のための荷重条件としては，航空機接地圧（1.4MPa）とする必要がある．よって，以降の試験では，荷重条件を1.4MPaとして試験を実施することとした．

4.4　温度が試験結果に及ぼす影響評価

a)　試験条件

表-11に，養生時と走行試験実施時の温度（以降まとめて，温度という）の影響に着目した場合の試験条件を示す．東京都や首都高で示される温度20℃以外に，気温の低い冬期の路面温度を想定した5℃，夏期の晴天時の路面温度を想定した60℃で養生と走行試験を実施した．なお，常温低速WT試験は降雨時を想定しているため，晴天時を想定した60℃での試験は実施していない．

b)　評価指標

評価指標は，前節の結果を踏まえて，試験終了時点の塑性変形量である最終変形量とした．

c)　試験結果

図-4に常温WT試験の最終変形量を示す．5℃と60℃における湿潤の最終変形量は，20℃の場合と比べて多かった．5℃では温度が低く硬化が遅れたためであり，60℃では温度が高くアスファルトの粘度が小さかったためであると考えられる．樹脂Aでは，いずれの温度でも養生時間30分で強度が発現し，温度による最終変形量の違いはなかった．樹脂Bでは，いずれの温度でも30分では硬化せず，最終変形量は20mm以上であった．また，各種の常温混合物の最終変形量を加熱混合物と比較すると，温度によらず，湿潤の最終変形量は加熱混合物より多く，樹脂Aの最終変形量は加熱混合物より少なかった．各種の常温混合物と加熱混合物との塑性変形抵抗性の大小関係は，温度を変えても，変わらなかった．

図-5に常温低速WT試験の最終変形量を示す．試験温度5℃と20℃での常温WT試験の結果と同じ傾向であった．

4.5　養生時間が試験結果に及ぼす影響評価

a)　試験条件

表-12に，養生時間の影響に着目した場合の試験条件

表-11　温度の影響に着目した場合の試験条件

		常温 WT試験	常温低速 WT試験	備考
供試体の養生時間	分	常温混合物：30 加熱混合物：試験体表面50℃になるまで		
養生温度	℃	試験温度と同じ．ただし，試験温度60℃の加熱混合物のみ30℃で養生．		
試験温度	℃	5, 20, 60	5, 20	常温WT試験の場合、晴天時を想定し、高温も追加
試験時間	分	60	75	
輪荷重	N	5℃: 686 20℃、60℃: 980		5℃では、接地圧1.4MPaに近づけるため荷重調整
接地圧	MPa	1.4		
走行速度	回/分	42	21	
走行距離	mm	230		

※）養生時間：供試体を作製し終えてから試験を開始するまでの時間

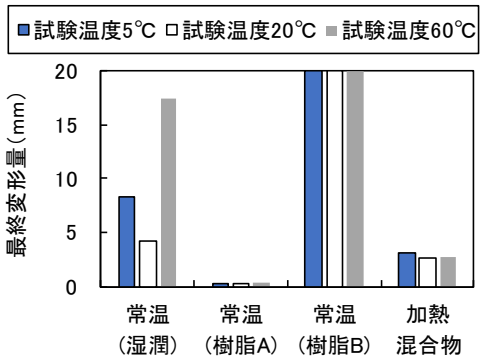


図-4　常温WT試験の最終変形量

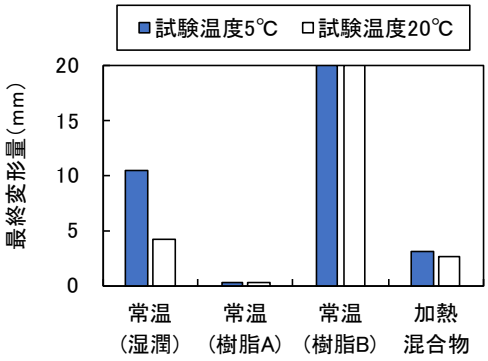


図-5　常温低速WT試験の最終変形量

を示す．樹脂系は化学反応による発熱を伴い硬化することから，養生時間は，**図-6**に示す供試体作製後の常温混合物の温度変化を参考にして，**表-13**のとおり設定した．具体的には，樹脂Aでは，養生温度5℃で28分，20℃で16分に発熱温度が最大値となったため，その付近の時間で

養生時間を設定した．樹脂Bでは，養生温度5℃では90分後でも発熱途中であり，明確なピークを示さなかったことから，養生時間を90分以内で設定し，養生温度20℃では28分に発熱温度が最大値を示したため，30分付近で養生時間を設定した．なお，湿潤では，養生温度によらず，時間の経過に伴う温度の変化はなかったので，養生時間30分以降で設定した．

表-12　養生時間の影響に着目した場合の試験条件

		常温 WT試験	常温低速 WT試験	備考
供試体の養生時間	分	常温混合物：表-13の通り 加熱混合物：試験体表面が50℃になるまで		養生時の温度は試験温度に同じ
養生温度	℃	試験温度と同じ		
試験温度	℃	5, 20		
試験時間	分	60	75	
輪荷重	N	5℃：686 20℃：980		5℃では、接地圧1.4MPaに近づけるため荷重調整
接地圧	MPa	1.4		
走行速度	回/分	42	21	
走行距離	mm	230		

表-13　常温混合物の養生時間

	試験温度	養生時間(分)						
		20	25	30	40	50	60	90
湿潤硬化	5℃			○			○	○
	20℃			○				
樹脂A	5℃	○	○	○				
	20℃	○		○	○			
樹脂B	5℃			○		○		○
	20℃			○	○	○		

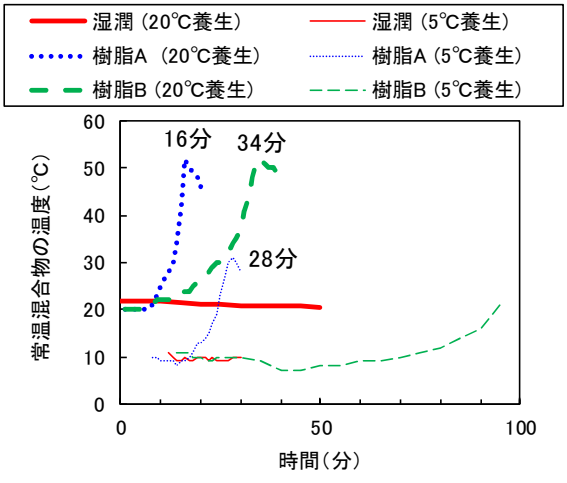


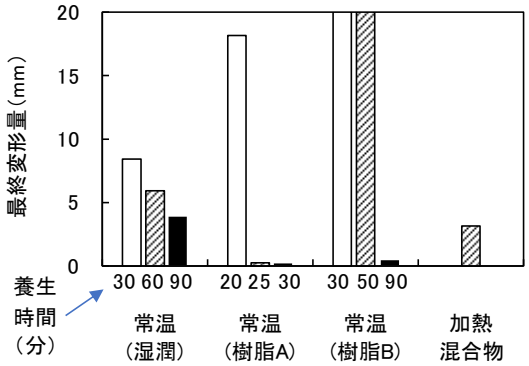
図-6　時間の経過に伴う常温混合物の温度変化

b）試験結果

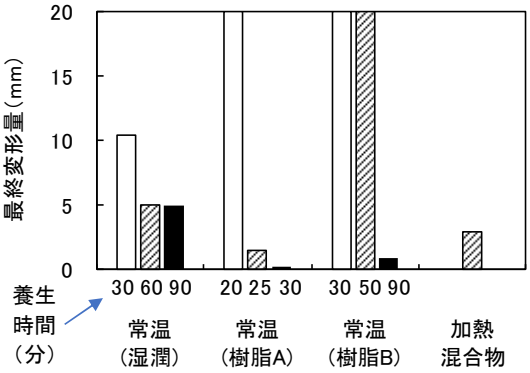
図-7に，5℃における常温WT試験と常温低速WT試験の結果を示す．いずれの常温混合物についても，養生時間が長くなると最終変形量は少なくなった．樹脂Aは，養生20分では硬化しておらず，最終変形量が20mm以上となったが，発熱温度が最大値付近となった養生25分以降では加熱混合物よりも最終変形量は少なくなった．樹脂Bでは発熱温度の明確なピークは確認されなかったが，90分で加熱混合物よりも最終変形量が少なくなった．

図-8には，温度20℃における常温WT試験と常温低速WT試験の結果を示す．樹脂系の常温混合物では，試験温度5℃の場合より短い養生時間で，最終変形量が加熱混合物より少なくなった．

以上より，いずれの常温混合物についても，養生時間が塑性変形に及ぼす影響は大きく，特に樹脂系の常温混合物では，養生時間の長短により，加熱混合物の塑性変形抵抗性との大小関係が変わるため，その使用にあたっては養生時間に留意する必要があることが確認された．



a）　常温 WT 試験



b）　常温低速 WT 試験

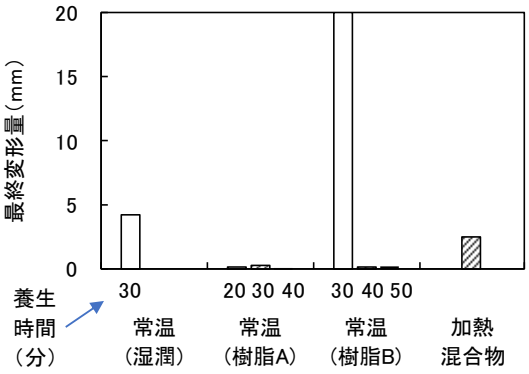
図-7 5℃における常温WT試験と常温低速WT試験の結果

4.6　評価方法のまとめ

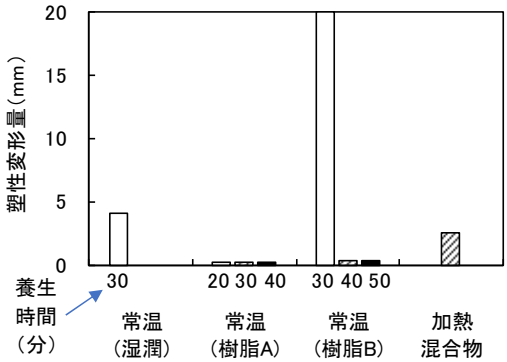
a)　試験条件

各種パラメータが試験結果に及ぼす影響を踏まえて，**表-14** に常温混合物が加熱混合物と同程度の塑性変形抵抗性であることを評価するための試験条件をまとめた．

温度について，常温混合物ごとの加熱混合物との塑性変形の大小関係は，温度が変わっても同じであったため，東京都や首都高の条件と同じ 20℃とした．



a)　常温 WT 試験



b)　常温低速 WT 試験

図-8 20℃における常温WT試験と常温低速WT試験の結果

表-14　試験条件のまとめ

		常温 WT試験	常温低速 WT試験
供試体の養生時間	－	常温混合物：硬化に必要な時間を踏まえて設定する 加熱混合物：試験体表面が50℃ になるまで	
養生温度	℃	20	
試験温度	℃	20	
試験時間	分	60	75
輪荷重	N	980	
接地圧	MPa	1.4	
走行速度	回/分	42	21
走行距離	mm	230	

輪荷重については，本検討で用いた湿潤のように，航空機のタイヤ接地圧条件では加熱混合物の塑性変形抵抗性に及ばない材料があったことから，東京都や首都高の条件を変更して，接地圧 1.4MPa となる 980N とした．

養生時間については，常温混合物の種類によって硬化に要する時間が異なったことから，硬化時間を踏まえて設定することがよいと考えた．

なお，降雨時の使用を想定する常温混合物については，降雨がない状況での使用も想定されるが，常温WT試験と常温低速WT試験では同様の結果が得られていたことを踏まえて，常温WT試験での評価は必要ないと考える．よって，降雨時の使用を想定しない場合は常温WT試験，降雨時の使用を想定する場合は常温低速WT試験で評価を行えばよいと考える．

b)　評価指標

東京都の 20mm 沈下時の走行回数や首都高の常温低速 DS を用いると，評価対象とする常温混合物の塑性変形抵抗性が加熱混合物と同程度であるか否かを評価できない場合がある．一方，最終変形量では，常温混合物と加熱混合物との差が生じることが確認されたことから，評価指標は最終変形量とする．

結果の評価では，常温混合物と加熱混合物の最終変形量を比較し，常温混合物の最終変形量が加熱混合物と同程度であることを確認することとする．

なお，本検討で用いた加熱混合物の最終変形量は約 2mm であったため，この値を評価の目安値とすることも考えられるが，配合や材料が違えば値が異なる可能性があるため，今後の検討課題としたい．

5.　施工面との接着性の評価方法に関する検討

本章では，養生時間，温度，供試体作製時の施工面の滞水有無が接着性に及ぼす影響を把握し，加熱混合物の接着性と同程度であることを評価するためのせん断試験の方法を検討した．

5.1　供試体の作製方法

図-9に供試体の作製からせん断試験までの手順を示す．まず，幅10cm×長さ10cm×高さ5cmの型枠内に基層用の加熱混合物を敷均し，ローラコンパクタで締め固める．以降は，表層に常温混合物を用いるか，加熱混合物を用いるかで手順が異なるため，分けて記載する．

a)　表層に常温混合物を用いる場合

基層用の加熱混合物を型枠から取り外し，基層表面に対してショットブラスト処理を行い（**写真-4**），表面のアスファルト被膜を除去した．これは，緊急補修を行う際に電動ピック等で掘削した時の状態（**写真-5**）を再現するためであり，本検討では，ショットブラストの鋼球照射密度を100kg/m^2，通過回数を2回とした．

幅10cm×長さ10cm×高さ10cmの型枠を準備し，ショットブラスト後の加熱混合物を型枠底部に設置する（**写真-6**）．降雨時の施工を想定する場合には，施工面を滞水させた状態で表層に常温混合物を施工し，降雨を想定しない場合は，施工面を滞水させないで表層に常温混合物を施工した．

b)　表層に加熱混合物を用いる場合

基層用の加熱混合物を幅10cm×長さ10cm×高さ5cmの型枠から取り外し，幅10cm×長さ10cm×高さ10cmの型枠底部に設置し直す．基層表面にアスファルト乳剤PK-4を塗布したのち，表層に加熱混合物を施工した．これは，応急復旧後の加熱混合物による本復旧を想定したものであり，乳剤の塗布量は0.4m^2/lである．

上記の手順により，**写真-7**のような基層厚 5cm，表層厚 5cm の供試体が出来上がる．

5.2　試験材料

常温混合物は，4章で用いた3種類（湿潤，樹脂A，樹脂B）である．基層用の加熱混合物には，空港舗装に使用される最大骨材粒径20mmの粗粒度混合物を用い，表層用の加熱混合物には，4章で用いた密粒度混合物を用いた．基層用の加熱混合物の骨材粒度は，基本施設の基層の中央粒度とした．使用した骨材とアスファルトは表層用の加熱混合物に用いたものと同じであるが，骨材の粒度は**図-10**の通りである．アスファルト量は，空港土木工事共通仕様書に示されるマーシャル試験に対する基準値を満足

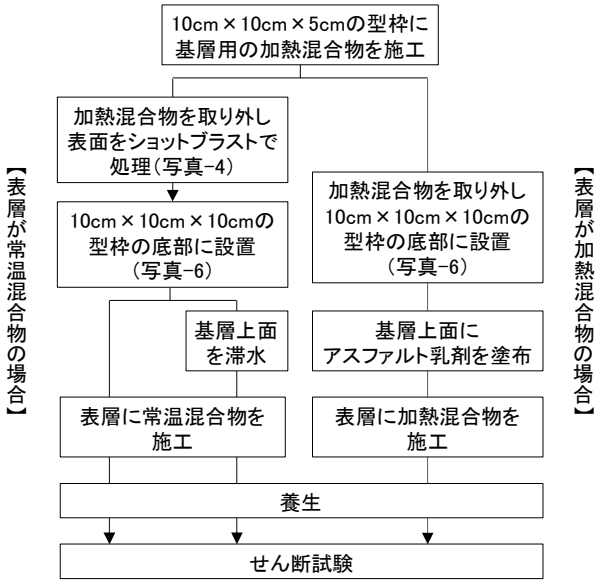


図-9　供試体作製からせん断試験までの手順

写真-4　基層上面に対するショットブラスト処理

写真-5　緊急補修時の施工面の例

写真-6　幅10cm×長さ10cm×高さ10cmの型枠に基層用の加熱混合物を設置した状態

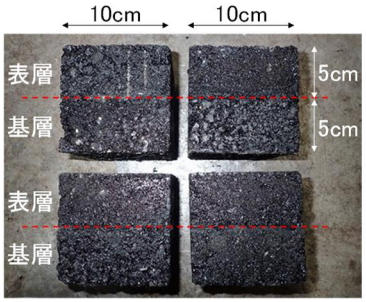


写真-7　せん断試験の供試体の例

するように配合設計を行い決定し，最適アスファルト量である4.8%とした．

5.3 試験条件

図-11 のように，供試体のうちの基層混合物を固定し，表層混合物に載荷することによりせん断試験を実施した．**表-15**に試験条件を示す．

養生時間の影響を把握するために，常温混合物の養生時間は3時間と24時間とした．3時間はできる限り施工直後の状態として供試体を作製できる時間，24時間は十分養生を行った状態である．加熱混合物については，既往研究[6)]により養生時間の影響はほとんどないことが分かっているため，24時間のみで実施した．

養生と試験時の温度（以降まとめて，温度）の影響を把握するために，低温と常温で養生と試験を実施した．

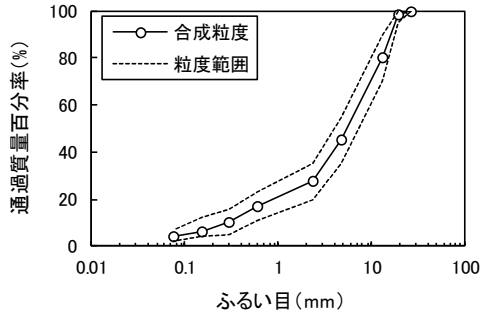


図-10 基層用加熱混合物の骨材の合成粒度

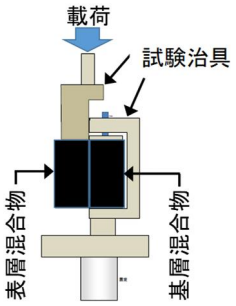


図-11 せん断試験時の供試体設置状況

表-15 せん断試験の条件

表層材料	常温混合物	加熱混合物
表層を施工してから試験を開始するまでの養生時間(h)	3, 24	24
養生温度(℃)	5, 23	
試験温度(℃)	5, 23	
載荷速度(mm/min)	1	

5.4 試験結果

a) 養生時間に着目した試験結果

図-12に，常温混合物を施工する際に基層上面を滞水させていない供試体の試験結果を示す．比較として加熱混合物の結果も示している．5℃の場合，湿潤と樹脂Aでは，養生時間によるせん断接着強度の違いはなかったが，樹脂Bでは，養生時間が長くなるとせん断接着強度は高くなった．4章で示した樹脂Bの低温下におけるなだらかな温度上昇（**図-6**）を踏まえると，5℃では3時間以降も硬化が進んでいた可能性がある．23℃の場合，いずれの常温混合物についても，養生時間によるせん断接着強度の違いはなかった．

3時間養生と24時間養生の常温混合物のせん断接着強度を24時間養生の加熱混合物と比較すると，養生時間によらず，湿潤のせん断接着強度は，加熱混合物より高く，樹脂系の常温混合物は，加熱混合物より低かった．常温混合物と加熱混合物のせん断接着強度の大小関係は，養生時間を変えても，変わらなかった．

図-13には，基層上面を滞水させた場合の試験結果を示す．いずれの常温混合物についても，養生時間3時間と24時間のせん断接着強度は同程度であった．

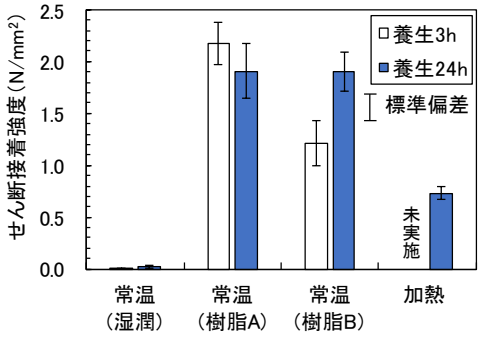
b) 温度に着目した試験結果

図-14に，温度に着目した場合の養生時間24時間におけるせん断接着強度を示す．湿潤のせん断接着強度は，温度による違いはなかったが，樹脂系のせん断接着強度は，温度を高くすると低くなった．

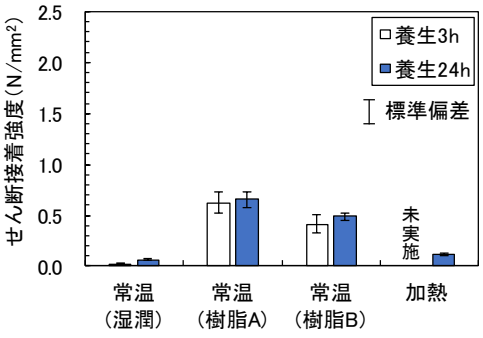
常温混合物のせん断接着強度を加熱混合物と比較すると，温度によらず，湿潤は加熱混合物より低く，樹脂系は加熱混合物より高かった．各種常温混合物と加熱混合物のせん断接着強度の大小関係は，温度を変えても変わらなかった．

c) 表層施工時の施工面の滞水有無に着目した試験結果

図-15 に，表層施工時の滞水有無に着目した場合の養生時間 24 時間におけるせん断接着強度を示す．樹脂系の常温混合物では，表層を施工する際に基層上面が滞水していると，せん断接着強度が低くなり，滞水により接着が阻害されることが確認された．特に，樹脂 B のせん断接着強度を加熱混合物と比較すると，滞水がなければ加熱混合物の強度より高い一方で，滞水があると加熱混合物の強度より低くなった．

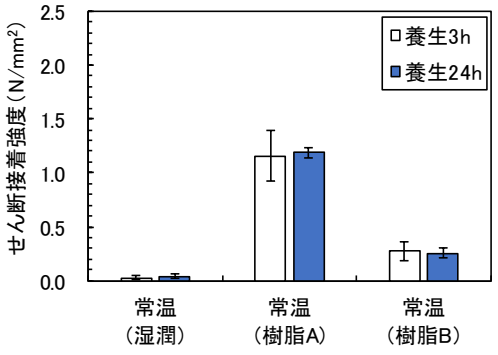


a) 5℃

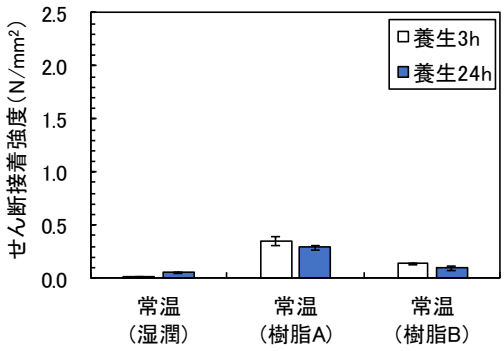


b) 23℃

図-12 養生時間に着目した場合のせん断接着強度（基層上面に滞水がない状態で試験体を作製）



a) 5℃



b) 23℃

図-13 養生時間に着目した場合のせん断接着強度（基層上面が滞水した状態で試験体を作製）

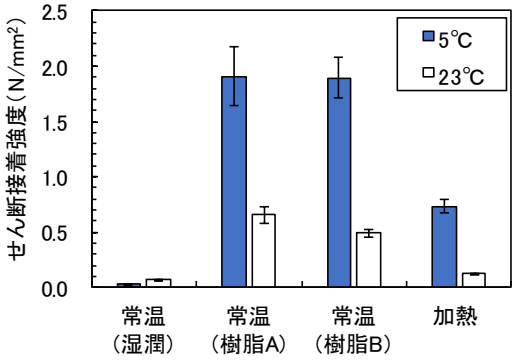
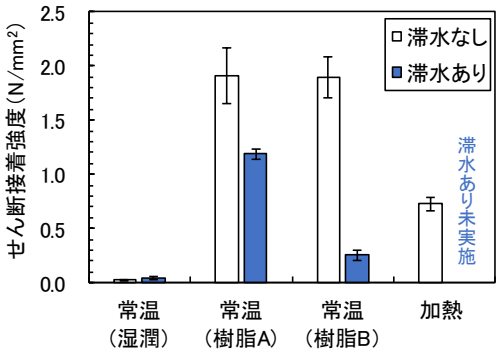
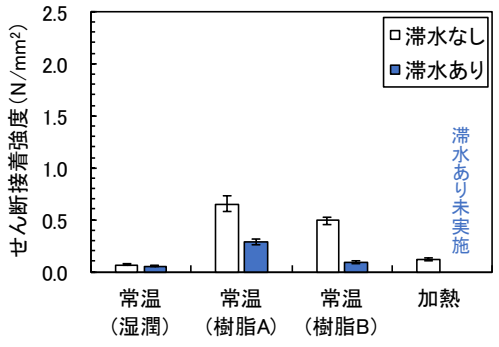


図-14 試験温度に着目した場合の養生時間24時間におけるせん断接着強度



a) 5℃



b) 23℃

図-15 表層施工時の滞水有無に着目した場合の養生時間24時間におけるせん断接着強度

5.5 評価方法のまとめ

a) 試験条件

各種パラメータが試験結果に及ぼす影響を踏まえて，**表-16** に，常温混合物の施工面との接着性が加熱混合物と同程度であることを評価するための試験条件を示す．

養生時間について，本検討では，養生時間を変えても常温混合物と加熱混合物のせん断接着強度の大小関係は同じであったものの，できるだけ施工直後に近い状態のせん断接着強度を評価することとし，養生時間は 3 時間とする．なお，この 3 時間は材料特性を評価するための条件であり，応急復旧時に必要とする養生時間ではない．また，接着は常温混合物の硬化に伴い生じるため，硬化していれば 3 時間未満でも常温混合物は施工面と接着した状態にあると考える．

試験温度については，温度を変えても，常温混合物と加熱混合物のせん断接着強度の大小関係は変わらなかったことから 23℃とした．

滞水の有無については，塑性変形抵抗性の評価の考え方に合わせて，降雨時の使用を想定しない常温混合物では滞水させずに供試体を作製し，降雨時の使用を想定する常温混合物では滞水がある状態で試験体を作製することがよいと考える．

b) 評価目安

表-16の試験条件における加熱混合物のせん断接着強度は，本研究では0.12N/mm^2，既往研究では0.15N/mm^{2}であったため，評価の目安は0.12N/mm^{2}以上であればよいと考える．

表-16 せん断試験の条件

表層を施工してから試験を開始するまでの養生時間(h)	3
養生温度(℃)	23
試験温度(℃)	23
載荷速度(mm/min)	1

6. まとめ

6.1 塑性変形抵抗性の評価方法について

塑性変形抵抗性を評価するための試験として，常温 WT 試験と常温低速 WT 試験を選定し，本研究で得られた以下の知見に基づき，加熱混合物と同程度であることを評価するための試験条件と評価指標を **4.6** の通り提示した．

(1) 東京都の常温WT試験と首都高の常温低速WT試験の試験条件と評価指標では，常温混合物の種類によっては，加熱混合物と同程度であることが分からない場合がある．そのような場合でも，最終変形量であれば，加熱混合物との差を確認できた．

(2) 常温WT試験及び常温低速WT試験におけるタイヤ接地圧を自動車から航空機相当に高くすると，湿潤硬化型の常温混合物の塑性変形量が特に多くなり，加熱混合物の塑性変形抵抗性に及ばなくなった．この結果を踏まえて，荷重条件は航空機タイヤ相当の接地圧がよいと考える．

(3) 湿潤硬化型の常温混合物では，常温WT試験と常温低速WT試験の最終変形量は温度によって異なっていたが，樹脂系では，温度による違いはなかった．各種常温混合物の最終変形量を加熱混合物と比較すると，温度を変えても，加熱混合物との大小関係は変わらなかった．

(4) 養生時間を長くすると常温混合物の硬化が進むため，最終変形量は少なくなる傾向であった．樹脂系の常温混合物は，硬化に伴う発熱が最大値を示す付近で，塑性変形抵抗性が大きく異なり，養生時間が短いと，加熱混合物の塑性変形抵抗性に及ばないことが確認された．樹脂系の常温混合物については特に養生時間に留意する必要がある．

6.2 施工面との接着性の評価方法について

施工面との接着性を評価するための試験としてせん断接着試験を選定し，本研究で得られた以下の知見に基づき，加熱混合物の接着性と同程度であることを評価するための試験条件を **5.5** の通り提示した．

(1) 養生時間を変えても，各種常温混合物と加熱混合物とのせん断接着強度の大小関係は変わらなかった．

(2) 温度が低くなれば，樹脂系の常温混合物のせん断接着強度は高くなった．また，温度を変えても，各種常温混合物と加熱混合物のせん断接着強度の大小関係は変わらなかった．

(3) 施工面を滞水させた状態で常温混合物を施工すると，樹脂系の常温混合物では，水の存在により施工面との接着が阻害され，せん断接着強度は低くなった．特に，エポキシ樹脂の常温混合物では，滞水させた状態では，加熱混合物のせん断接着強度を下回る結果となった．

7. おわりに

本研究において提示した常温混合物の性能評価方法は，常温混合物のユーザーである空港管理者等が，緊急補修時の応急復旧に用いる常温混合物を事前に選定する方法を一例として示すものである．なお，応急復旧用の常温混合物は，本復旧を行うまでの 1 日～数日間耐えられればよく，本方法で想定する「加熱混合物と同程度の性能」である必要は必ずしもないことから，今後の空港での活用状況を踏まえて評価方法を改善していきたい．

また，本研究で提示した方法は，常時の空港舗装における緊急補修用の常温混合物を選定すること以外に，地震により生じた舗装の段差を応急復旧するための常温混合物を事前に選定する際にも参考になると考える．

（2024年5月23日受付）

参考文献

1) （公社）日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，第3分冊，pp.44-64，2019.
2) 東京都建設局：土木材料仕様書，p.424，2023.
3) 首都高速道路株式会社：舗装設計施工要領，pp.25-26，2019.
4) つくば舗装技術交流会：維持修繕に関する検討，TPT Report No.13，2013.
5) （公社）日本道路協会：道路橋床版防水便覧，pp.128-134，2007.
6) 坪川将丈，河村直哉，伊豆太：表層舗設直後のアスファルト混合物層間のせん断強度，土木学会第74回年次学術講演会，V-89，2019.

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of ＮＩＬＩＭ

No. 1285 July 2024

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話：046-844-5019
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所資料　No.1285

空港舗装の応急復旧に用いる常温アスファルト混合物の性能評価方法の検討

July 2024