2. 中温化剤や中温化アスファルトを用いた低炭素（中温化）アスファルト混合物の適用に向けた検討

Applicability Report for Warm Mix Asphalt Mixture
using Additive-based WMA and WMA Binder

（公財）東京都道路整備保全公社道路部土木技術課　上野 真誉、粉川 心介

1. はじめに

東京都では、2050 年までに二酸化炭素排出量を実質ゼロにすることを目指す「ゼロエミッション東京戦略」を 2019 年 12 月に発表している。以降、都内温室効果ガス排出量を 2030 年までに 50%削減（2000 年比）するなどの「ゼロエミッション東京戦略 2020 Update & Report」を 2021 年 3 月に策定したことに加え、2022 年 9 月に「東京都環境基本計画」へ盛込む等「カーボンハーフ」の取組を強化させている。なお、ゼロエミッション東京戦略の最新版は、2025 年 3 月策定の「ゼロエミッション東京戦略　Beyond カーボンハーフ」である。

また、東京都建設局（以下、「建設局」という。）では、CO_2 排出抑制技術として、加熱アスファルト混合物の中温化技術に着目し、材料による方式や機械式フォーム ド方式の都道での実用化に向けた検討を進めてきた。その結果、2022 年 6 月に機械式フォーム ド方式による中温化混合物（新材）を、2023 年 6 月に機械式フォーム ド方式による中温化混合物（再生材）をアスファルト混合物事前審査制度における審査対象混合物（以下、「事前審査混合物」という。）として承認を受けることができた。

以上の取組により、機械式フォーム ド方式については、一定の目途がついたと考えられることから、中温化剤（プラントミックスタイプ）や中温化アスファルト（プレミックスタイプ）等の材料による中温化方式（以下、「材料による方式」という。）の検討を再開することにした。

本稿は、材料による方式の低炭素（中温化）アスファルト混合物（以下、「中温化混合物」という。）の室内試験結果を報告するものである。

2. 試験概要

試験は、加熱混合物と中温化剤及び中温化アスファルトを用いた中温化混合物について、各種室内試験を行い各種性状の調査を実施した。

実施した室内試験は、**表-1** に示すとおりである。

表-1　実施した室内試験

試験名	目的	備考
標準ﾏｰｼｬﾙ安定度試験	安定度	
水浸ﾏｰｼｬﾙ安定度試験	剥離抵抗	
圧裂試験	耐流動性	再生材のみ
ﾎｲｰﾙﾄﾗｯｷﾝｸﾞ試験	耐流動性	
曲げ試験	曲げ強度	
曲げ疲労試験	疲労抵抗性	

3. 中温化剤（プラントミックスタイプ）を用いた中温化混合物の室内試験

(1) 試験概要

中温化剤には、発泡系、滑剤系、粘弾性調整系（以下、「粘弾系」という。）の 3 系統がある[1]。そのため、各系統 2 種類中温化剤を用意し室内試験を実施した。

(2) 標準温度-30℃で作製した中温化混合物の試験

1) 使用した材料

使用した材料を**表-2** に示す。

表-2　使用材料

骨材名	材質	備考
6 号砕石	硬質砂岩	栃木県鹿沼市
7 号砕石	硬質砂岩	埼玉県秩父郡小鹿野町
砕砂	硬質砂岩	東京都西多摩郡奥多摩町
粗砂	洗い砂	埼玉県川越市
石粉	石灰岩粉末	栃木県佐野市
中温化剤	発泡系	
	滑剤系	
	粘弾性調整系	

中温化剤は、製造メーカーが異なるものを用いた。

2) 新材（ポリマー改質アスファルトII型）に対する調査

中温化剤を用いた中温化混合物（新材）では、ポリマー改質アスファルトII型（以下、「改質II型」という。）のバインダーを用いたものを対象として調査した。これは、改質II型が、ストレートアスファルト（以下、「ストアス」という。）に熱可塑性エラストマーを混入したものであることから、ストアスの混合物に対し中温化剤を適用する場合よりも混合物の製造が厳しくなると考えられたからである。

なお、以降に示す記号はV-0が標準混合物であり、V-1～6が中温化混合物である。

①標準マーシャル安定度試験

標準マーシャル安定度試験の結果を**図-1～3**に示す。

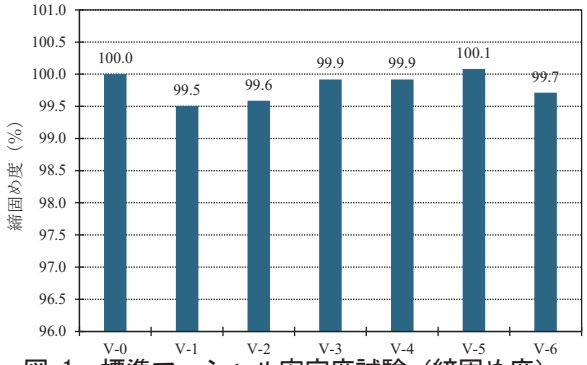


図-1　標準マーシャル安定度試験（締固め度）

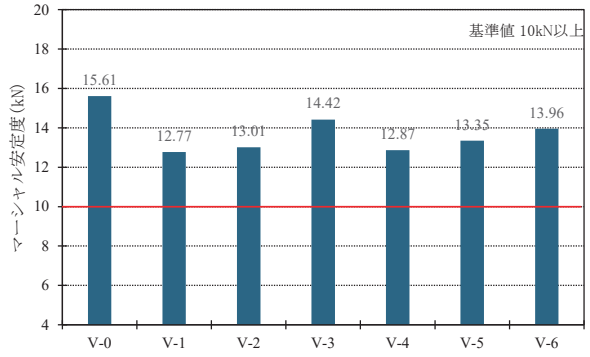


図-2　標準マーシャル安定度試験（安定度）

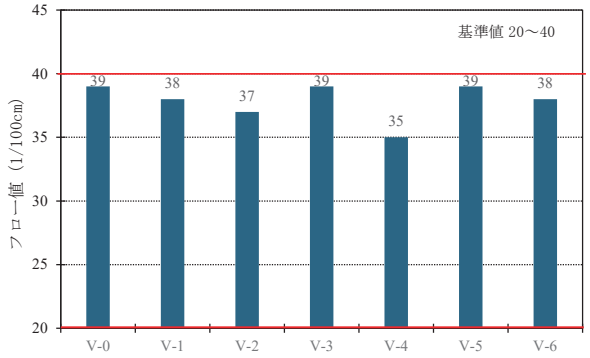


図-3　標準マーシャル安定度試験（フロー値）

図-1の締固め度は、標準混合物V-0を基準とし、中温化混合物の締固め度を示したものである。その結果は、99.5～100.1%の範囲であった。このことから標準混合物-30℃で製造した混合物であっても締固め度を確保する混合物であることが示された。

図-2、3の安定度、フロー値は、土木材料仕様書で安定度が10.0kN以上、フロー値が20～40（1/100cm）と定められている。いずれの混合物も基準値を満足していた。

②水浸マーシャル安定度試験

水浸マーシャル安定度試験の結果を**図-4**に示す。

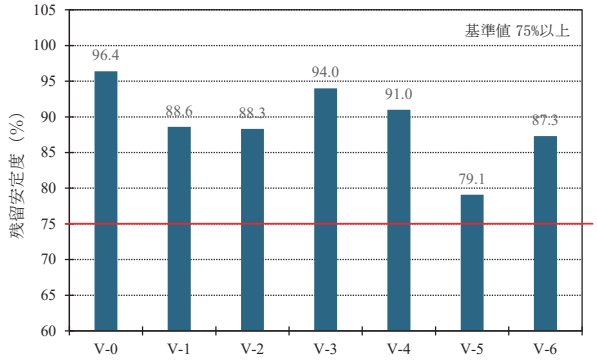


図-4　水浸マーシャル安定度試験（残留安定度）

舗装の構造に関する技術基準では、「水の影響を受けやすいと思われる混合物又はそのような箇所に舗設される混合物は、残留安定度が75%以上であることが望ましい」とされている。本調査では、いずれの混合物も残留安定度75%を上回る結果であった。

③ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験の結果を**図-5**に示す。

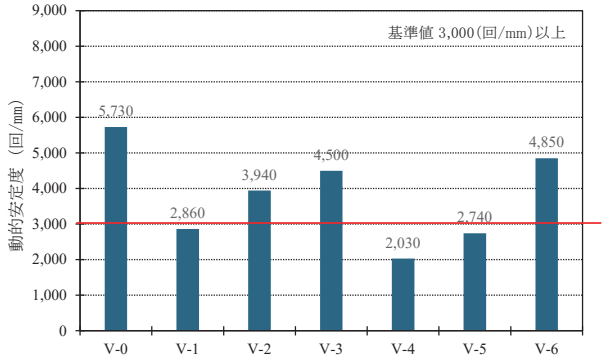


図-5　ホイールトラッキング試験（動的安定度）

土木材料仕様書では、改質II型を用いた場合、動的安定度を3,000（回/mm）以上と規定している。中温化混合物では、半数が基準値を下回った。

④曲げ試験

曲げ試験の結果を**図-6、7** に示す。

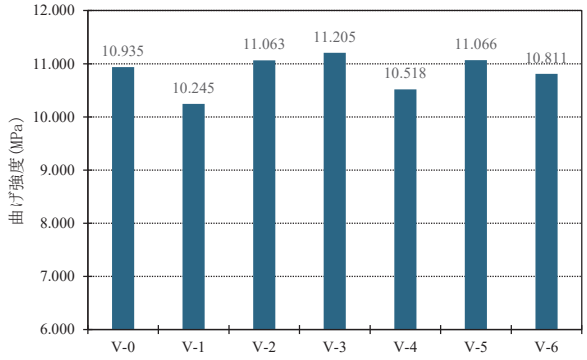


図-6　曲げ試験（強度）

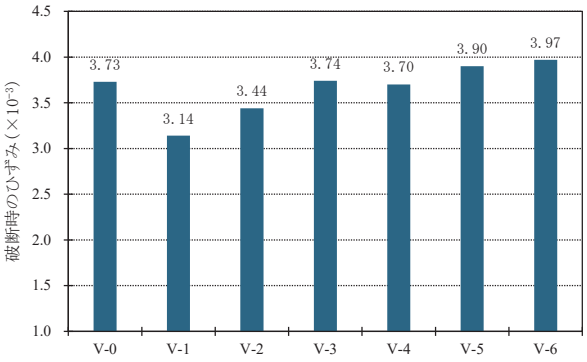


図-7　曲げ試験（破断時のひずみ）

建設局では、曲げ強度の基準を定めていない。なお、曲げ強度(MPa)は、新材の標準混合物 10.935 と比較して中温化混合物は 10.245～11.205 の範囲にあり標準混合物の 0.9～1.0 倍であった。曲げ破断ひずみ($\times 10^{-3}$)は、新材の標準混合物 3.73 と比較して中温化混合物は 3.14～3.97 の範囲にあり標準混合物の 0.8～1.1 倍であった。

⑤曲げ疲労試験

曲げ疲労試験の結果を**図-8** に示す。

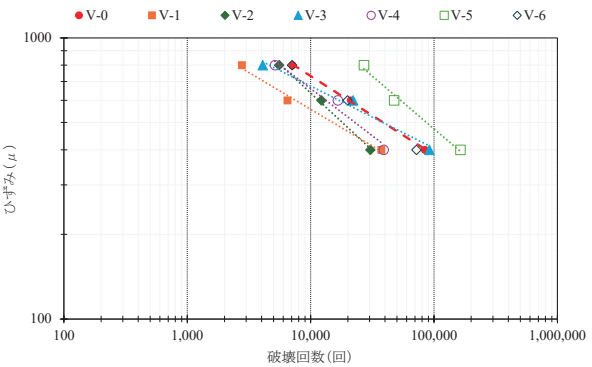


図-8　曲げ疲労試験

曲げ疲労試験は、ひずみ（μ）を 400、600、800 に設定して実施した。なお、建設局では、曲げ疲労試験に対し、基準を定めていない。試験結果では、標準混合物と比較し、V-5 が高い疲労抵抗性を発現した。

なお、ひずみ 400μ では、標準混合物 84,264 と比較して中温化混合物は 30,425～163,652 の範囲にあり標準混合物の 0.4～1.9 倍であった。ひずみ 600μ の疲労破壊回数(回)は、新材の標準混合物 21,161 と比較して中温化混合物は6,493～47,511 の範囲にあり標準混合物の 0.3～2.2 倍であった。ひずみ 800μ の疲労破壊回数(回)は、新材の標準混合物 7,111 と比較して中温化混合物は 2,772～27,018 の範囲にあり標準混合物の 0.4～3.8 倍であった。

3) 再生材（ストアス）に対する調査

東京都内で使用される再生加熱アスファルト混合物（以下、「再生材」という。）の再生骨材利用率（以下、「R 率」という。）を各プラントに調査したところ、R 率 60%が広く使用されていた。そのため、本検討では R 率を 60%に設定し、試験を行った。また、建設局では再生材については、ストアスでの使用が大部分であることから、改質 II 型での検討は行わないこととした。

以降に示す記号は R-0 が標準混合物であり、R-1～6 が中温化混合物である。なお、V-1 と R-1、V-2 と R-2、（中略）V-6、R-6 は同じ中温化剤を使用している。

①標準マーシャル安定度試験　標準マーシャル安定度試験の結果を**図-9～11** に示す。

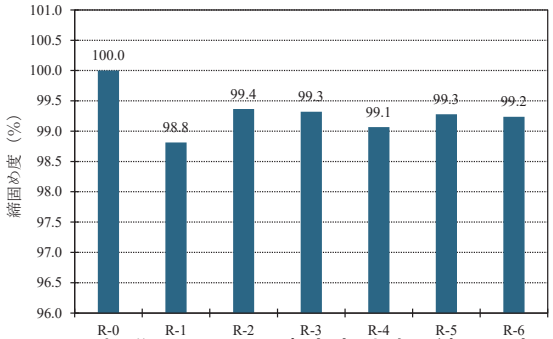


図-9　標準マーシャル安定度試験（締固め度）

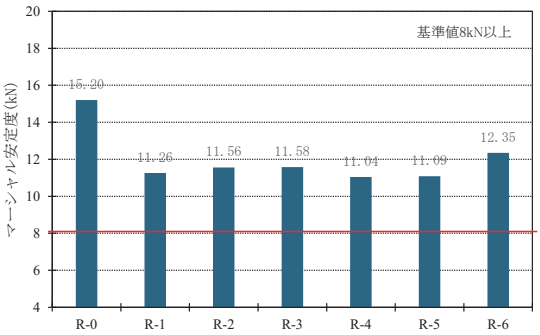


図-10　標準マーシャル安定度試験（安定度）

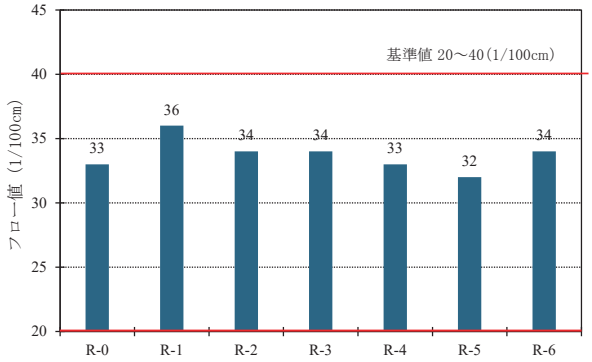


図-11　標準マーシャル安定度試験（フロー値）

図-9 の締固め度は、標準混合物 R-0 を基準とし、中温化混合物の締固め度を示したものである。その結果は、98.8～99.4%の範囲であった。標準混合物に比べ締固め度が低い傾向にあった。

図-10、11 の安定度、フロー値は、土木材料仕様書で安定度が 8.0kN 以上、フロー値が 20～40（1/100cm）と定められている。いずれの混合物も基準値を満足していた。

②水浸マーシャル安定度試験

水浸マーシャル安定度試験の結果を図-12 に示す。

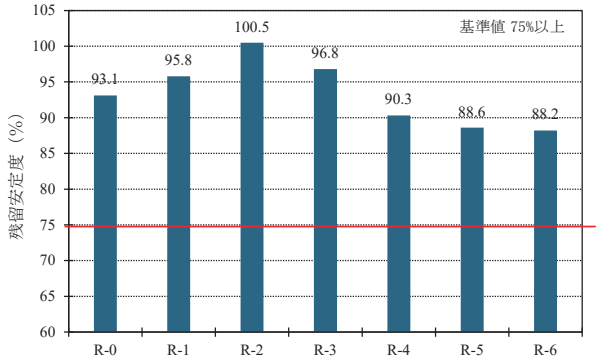


図-12　水浸マーシャル安定度試験（残留安定度）

舗装の構造に関する技術基準では、「水の影響を受けやすいと思われる混合物又はそのような箇所に舗設される混合物は、残留安定度が 75%以上であることが望ましい」とされている。本調査では、いずれの混合物も残留安定度 75%を上回る結果であった。

③ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験の結果を図-13 に示す。

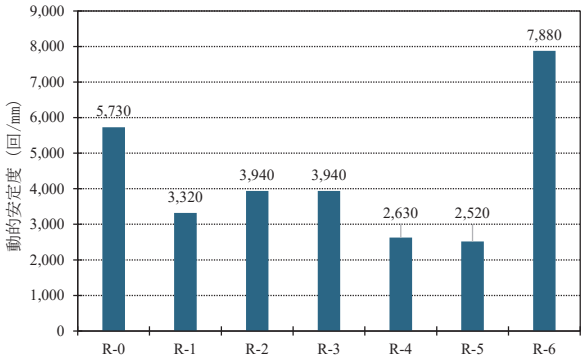


図-13　ホイールトラッキング試験（動的安定度）

再生材に対し、建設局の基準では、動的安定度は定めていない。R-6 を除き、再生材では、中温化混合物の動的安定度は標準混合物と比べ低い傾向であった。

④曲げ試験

曲げ試験の結果を図-14、15 に示す。

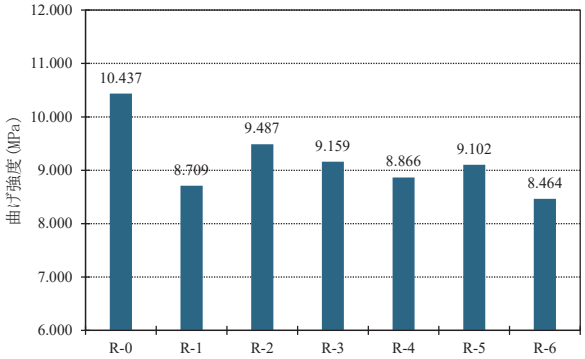


図-14　曲げ試験（強度）

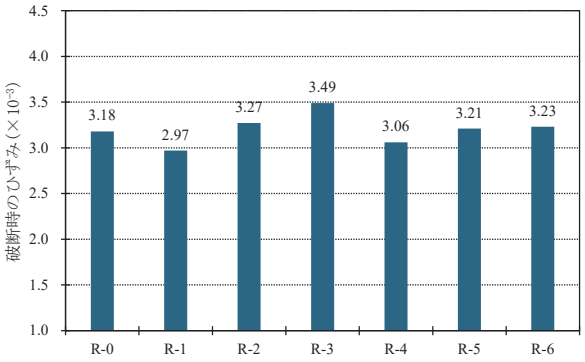


図-15　曲げ試験（破断時のひずみ）

建設局では、曲げ強度の基準を定めていない。再生材の曲げ強度(MPa)は標準混合物 10.437 と比較して中温化混合物は 8.464～9.487 の範囲にあり標準混合物の 0.8～0.9 倍であった。再生材の曲げ破断ひずみ(×10^{-3})は、標準混合物 3.18 と比較して中温化混合物は 2.97～3.49 の範囲にあり標準混合物の 0.9～1.1 倍であった。

⑤曲げ疲労試験

曲げ疲労試験の結果を図-16 に示す。

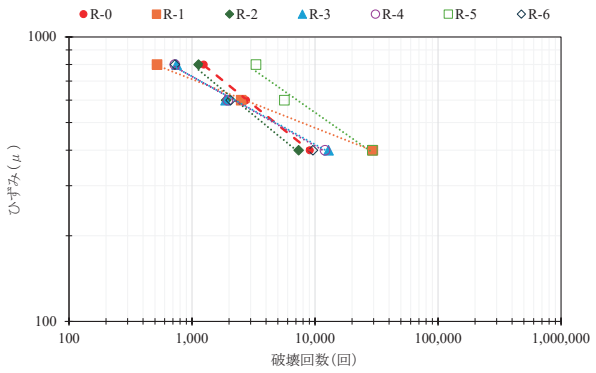


図-16　曲げ疲労試験

曲げ疲労試験は、ひずみ（μ）を 400、600、800 に設定して実施した。なお、建設局では、曲げ疲労試験に対し、基準を定めていない。標準混合物と比較し、R-5 が高い疲労抵抗性を発現した。

なお、ひずみ 400μ の疲労破壊回数(回)は、再生材の標準混合物 9,069 と比較して中温化混合物は 7,365～29,217 の範囲にあり標準混合物の 0.8～3.2 倍であった。ひずみ 600μ の疲労破壊回数(回)は、再生材の標準混合物 2,747 と比較して中温化混合物は 1,877～5,628 の範囲にあり標準混合物の 0.7～2.0 倍であった。ひずみ 800μ の疲労破壊回数(回)は、再生材の標準混合物 1,246 と比較して中温化混合物は 519～3,311 の範囲にあり標準混合物の 0.4～2.7 倍であった。

⑥圧裂試験

圧裂試験の結果を図-17～19 に示す。

圧裂試験は、再生材の設計に活用される試験であり、本来であれば、標準マーシャル安定度試験と同様の段階で記載すべきものであるが、段組みの構成上、こちらで記載する。

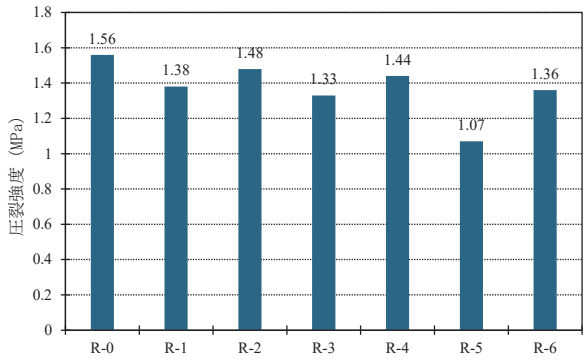


図-17　圧裂試験（圧裂強度）

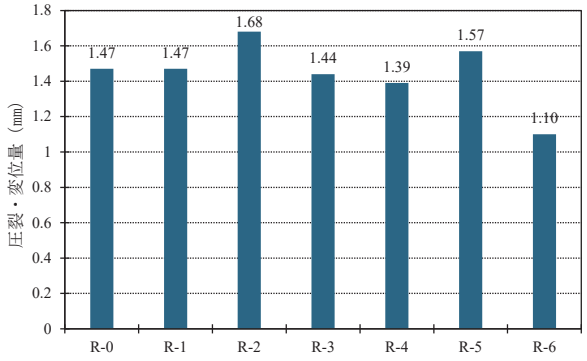


図-18　圧裂試験（変位量）

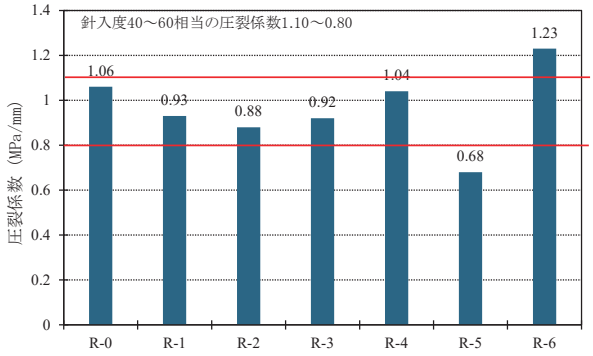


図-19　圧裂試験（圧裂係数）

舗装再生便覧（令和 6 年版）によると一般地域における設計圧裂係数の例は、0.80～1.10(MPa/mm)とされている。一部設計圧裂係数の範囲を逸脱する混合物があることを確認した。

4）標準温度-30℃で作製した中温化混合物の試験結果まとめ

以下に、標準温度-30℃で作製した中温化混合物の試験結果をまとめる。

中温化混合物の品質は、試験値のバラツキもあり、マーシャル安定度、動的安定度および疲労破壊回数で標準混合物の品質より低下が見られた。また、規格値に対しては、新材において動的安定度の規格値 3,000（回/mm）を満足しない種類が 6 種類中 3 種類で確認された。再生材において圧裂係数の範囲を逸脱する混合物が 6 種類中 2 種類で確認された。

なお、上述した結果となった原因として、以下の 2 つが考えられる。

①供試体作製時に標準的な方法で行い、各社製品の特性（作製時のノウハウ）を考慮していないこと。

②そのため、標準温度-30℃で供試体を作製した際に、各供試体で所定の締固め度が発現しなかったこと。

(3) 標準温度-20℃で作製した中温化混合物の試験

(2)標準温度-30℃で実施した結果、当局が定める基準を満足しないものが確認された。この原因は、標準温度-30℃では、各試験の供試体を作製する際に十分に締め固まらず混合物が所定の強度を発現しなかった可能性が考えられる。このため、中温化混合物製造時の温度を標準混合物-20℃とし、再度室内試験を実施した。

1) 使用した材料

使用した材料を表-3 に示す。

表-3　使用材料

骨材名	材質	備考
6 号砕石	硬質砂岩	埼玉県秩父郡小鹿野町
7 号砕石	硬質砂岩	埼玉県秩父郡小鹿野町
砕砂	硬質砂岩	埼玉県大里郡寄居町
粗砂	川砂	千葉県野田市
石粉	石灰岩粉末	埼玉県秩父市
中温化剤	発泡系	
	滑剤系	
	粘弾性調整系	

中温化剤は、標準温度-30℃で試験したときと同じものを使用した。

2) 新材（改質 II 型）に対する調査

(2)2)で示したのと同様に、以降に示す記号は V-0 が標準混合物であり、V-1～6 が中温化混合物である。

①標準マーシャル安定度試験

標準マーシャル安定度試験の結果を図-20～22 に示す。

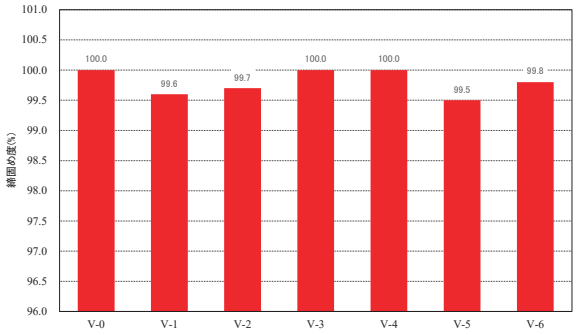


図-20　標準マーシャル安定度試験（締固め度）

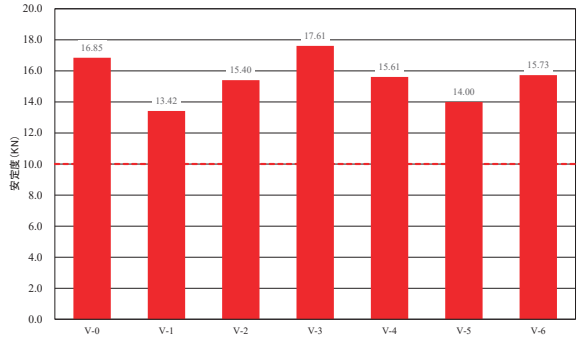


図-21　標準マーシャル安定度試験（安定度）

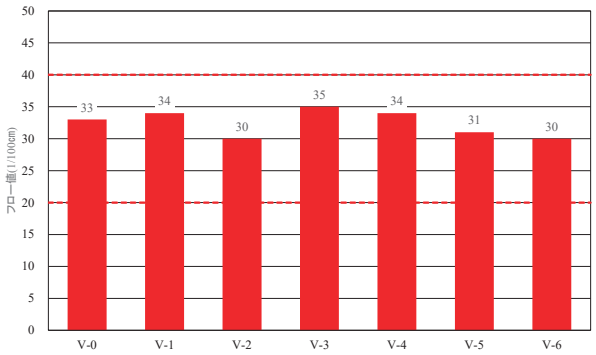


図-22　標準マーシャル安定度試験（フロー値）

図-20 の締固め度は、標準混合物 V-0 を基準とし、中温化混合物の締固め度を示したものである。その結果は、99.5～100.0%の範囲であった。このことから標準混合物-20℃で製造した混合物であっても締固め度が確保される混合物があることが示された。中温化混合物 V-1～V-6 の締固め度の平均値は、標準混合物-30℃で供試体を作製した場合と標準混合物-20℃で供試体を作製した場合と大きな差異はなかった。

図-21、22 の安定度、フロー値は、土木材料仕様書で安定度が 10.0kN 以上、フロー値が 20～40（1/100cm）と定められている。いずれの混合物も基準値を満足していた。

②水浸マーシャル安定度試験

水浸マーシャル安定度試験の結果を図-23 に示す。

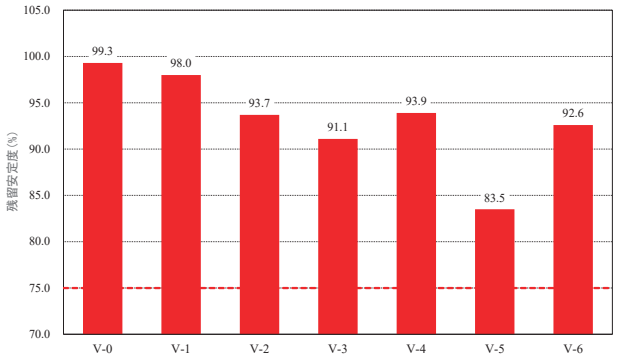


図-23　水浸マーシャル安定度試験（残留安定度）

舗装の構造に関する技術基準では、「水の影響を受けやすいと思われる混合物又はそのような箇所に舗設される混合物は、残留安定度が 75%以上であることが望ましい」とされている。本調査では、いずれの混合物も残留安定度 75%を上回る結果であった。

③ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験の結果を図-24 に示す。

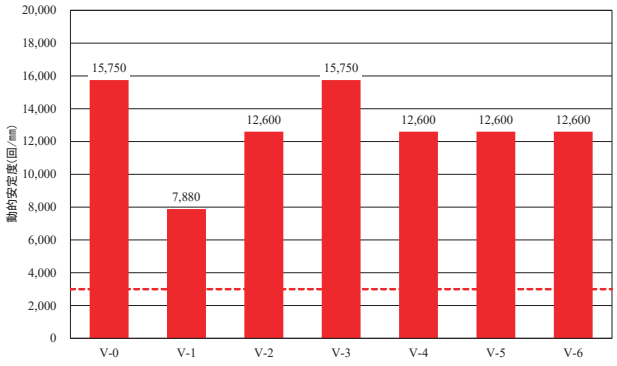


図-24　ホイールトラッキング試験（動的安定度）

土木材料仕様書では、改質 II 型を用いた場合、動的安定度は 3,000（回/mm）以上と規定している。標準混合物-30℃で供試体を作製した際は、中温化混合物では、半数が基準値を下回る結果となったが、標準混合物-20℃で供試体を作製した際は、いずれの混合物の基準値を上回った。

④曲げ試験

曲げ試験の結果を図-25、26 に示す。

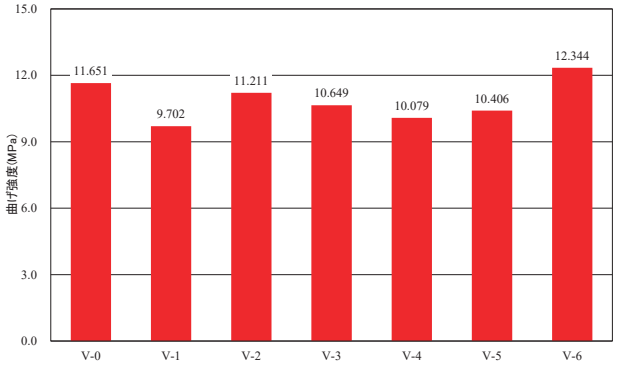


図-25　曲げ試験（強度）

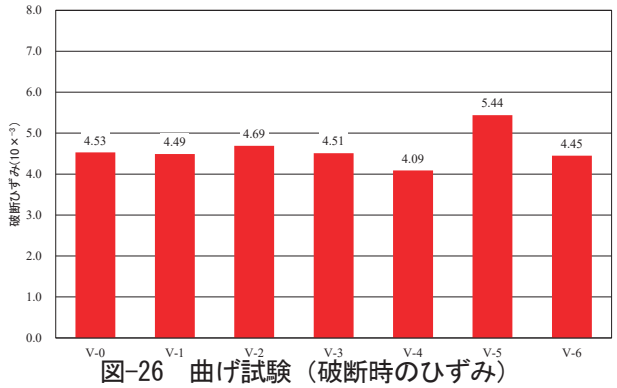


図-26　曲げ試験（破断時のひずみ）

建設局では、曲げ強度の基準を定めていない。なお、曲げ強度(MPa)は、新材の標準混合物 11.651 と比較して中温化混合物は 9.702～12.344 の範囲にあり標準混合物の 0.83～1.06 倍であった。曲げ破断ひずみ($\times 10^{-3}$)は、新材の標準混合物 4.53 と比較して中温化混合物は 4.09～5.44 の範囲にあり標準混合物の 0.9～1.2 倍であった。

⑤曲げ疲労試験

曲げ疲労試験の結果を図-27 に示す。

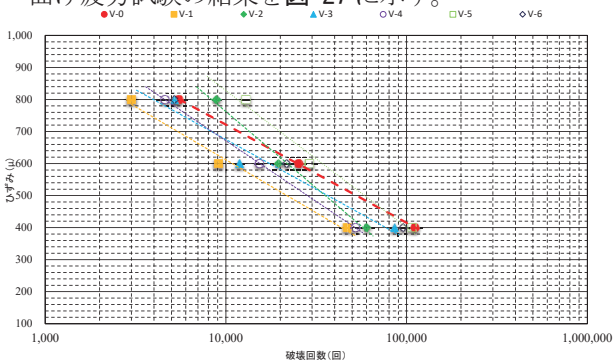


図-27　曲げ疲労試験

曲げ疲労試験は、ひずみ（μ）を 400、600、800 に設定して実施した。なお、建設局では、曲げ疲労試験に対し、基準を定めていない。標準混合物-20℃の場合においても V-5 が高い疲労抵抗性を発現した。

なお、ひずみ 400μ では、標準混合物 111,000 と比較して中温化混合物は 46,900～107,000 の範囲にあり標準混合物の 0.4～0.9 倍であった。ひずみ 600μ の疲労破壊回数(回)は、新材の標準混合物 25,300 と比較して中温化混合物は9,100～28,900の範囲にあり標準混合物の 0.3～1.1 倍であった。ひずみ 800μ の疲労破壊回数(回)は、新材の標準混合物 5,500 と比較して中温化混合物は3,000～12,900 の範囲にあり標準混合物の 0.5～2.3 倍であった。

3) 再生材（ストアス）に対する調査

(2)3)で示したのと同様に、以降に示す記号は R-0 が標準混合物であり、R-1～6 が中温化混合物である。R 率や中温化剤は(2)3)で使用したものと同様の条件で実施した。

①標準マーシャル安定度試験

標準マーシャル安定度試験の結果を図-28～30 に示す。

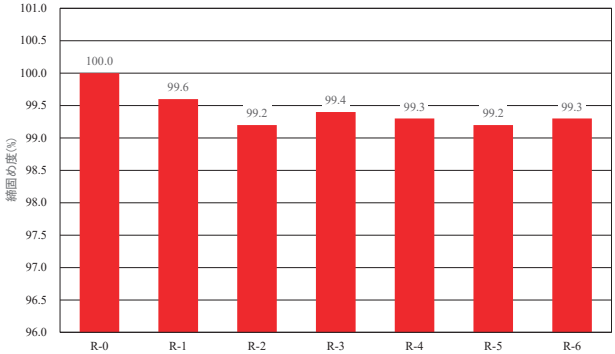


図-28　標準マーシャル安定度試験（締固め度）

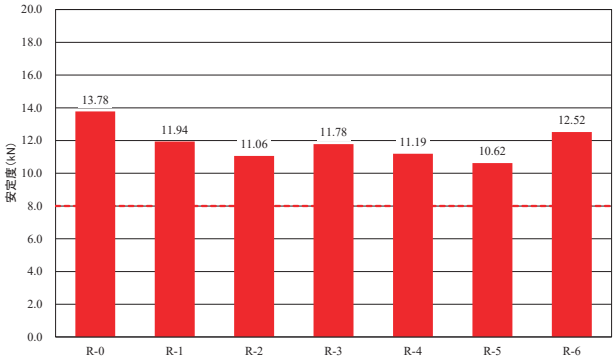


図-29　標準マーシャル安定度試験（安定度）

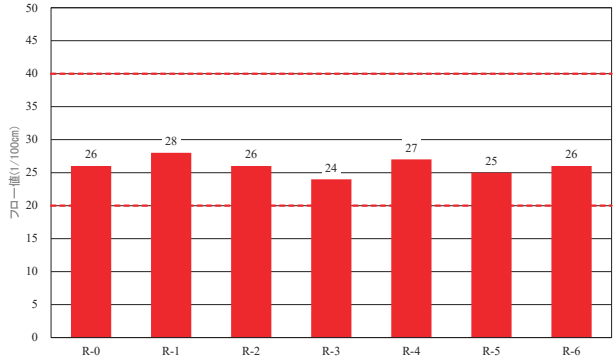


図-30　標準マーシャル安定度試験（フロー値）

図-28 の締固め度は、標準混合物 R-0 を基準とし、中温化混合物の締固め度を示したものである。その結果は、99.2～99.6%の範囲であった。標準混合物-30℃で供試体を作製した際よりも全体的に締固め度が向上した。

図-29、30 の安定度、フロー値は、土木材料仕様書で安定度が 8.0kN 以上、フロー値が 20～40（1/100cm）と定められている。いずれの混合物も基準値を満足していた。

②水浸マーシャル安定度試験

水浸マーシャル安定度試験の結果を図-31 に示す。

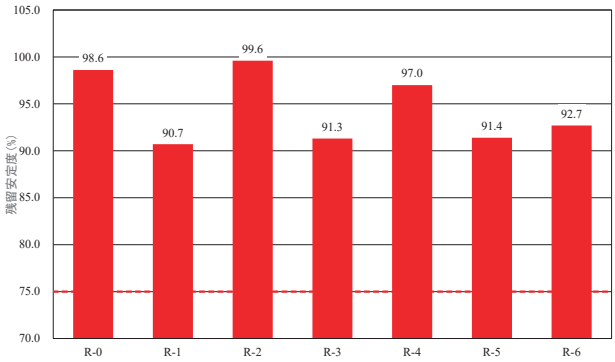


図-31　水浸マーシャル安定度試験（残留安定度）

舗装の構造に関する技術基準では、「水の影響を受けやすいと思われる混合物又はそのような箇所に舗設される混合物は、残留安定度が 75%以上であることが望ましい」とされている。本調査では、いずれの混合物も残留安定度 75%を上回る結果であった。

③ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験の結果を図-32 に示す。

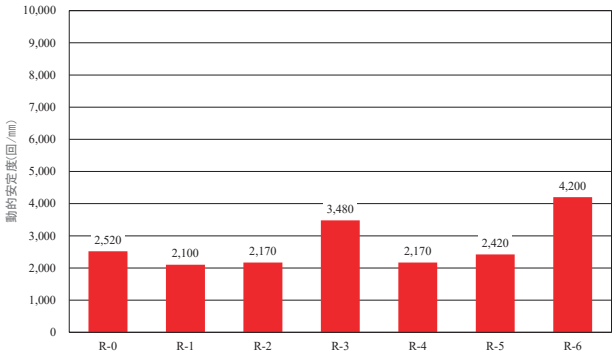


図-32　ホイールトラッキング試験（動的安定度）

再生材に対し、建設局の基準では、動的安定度は定められていない。R-3、6 等標準混合物に比べ高い値を示したものもあったが、標準混合物に比べ概ね同程度の値を示したものと考えられる。

④曲げ試験

曲げ試験の結果を図-33、34 に示す。

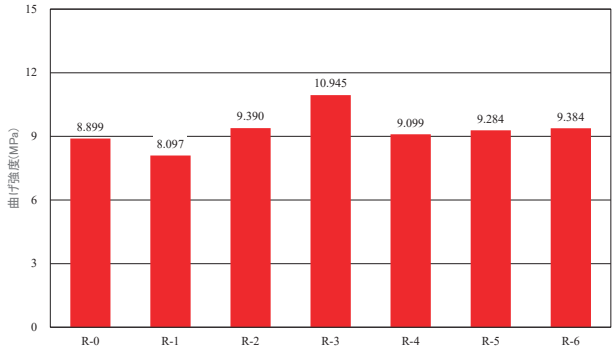


図-33　曲げ試験（強度）

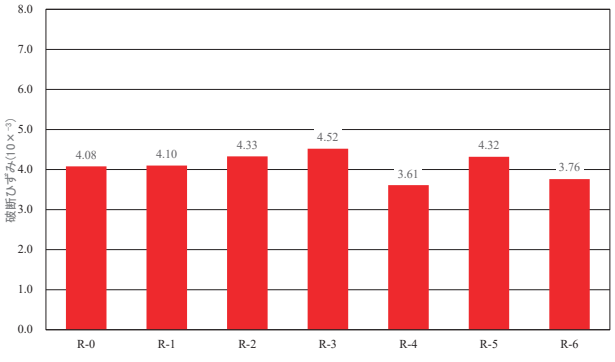


図-34　曲げ試験（破断時のひずみ）

建設局では、曲げ強度の基準を定めていない。なお、再生材の曲げ強度(MPa)は標準混合物 8.899 と比較して中温化混合物は 8.097～10.945 の範囲にあり標準混合

物の 0.9～1.2 倍であった。再生材の曲げ破断ひずみ(×10^{-3})は、標準混合物 4.08 と比較して中温化混合物は 3.61～4.52 の範囲にあり標準混合物の 0.9～1.1 倍であった。

⑤曲げ疲労試験

曲げ疲労試験の結果を**図-35** に示す。

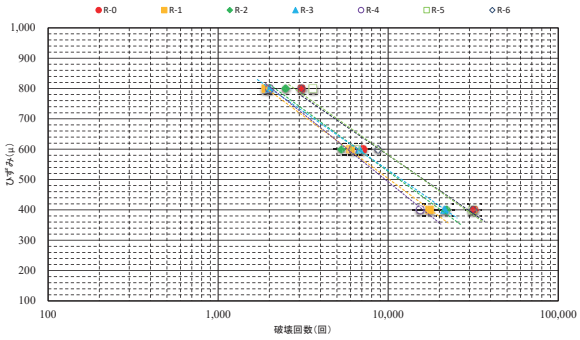


図-35　曲げ疲労試験

曲げ疲労試験は、ひずみ（μ）を 400、600、800 に設定して実施した。なお、建設局では、曲げ疲労試験に対し、基準を定めていない。標準混合物と比較し、R-5、6 が高い疲労抵抗性を発現した。

なお、ひずみ 400μ の疲労破壊回数(回)は、再生材の標準混合物 31,900 と比較して中温化混合物は 15,400～31,400 の範囲にあり標準混合物の 0.5～1.0 倍であった。ひずみ 600μ の疲労破壊回数(回)は、再生材の標準混合物 7,100 と比較して中温化混合物は 5,300～8,700 の範囲にあり標準混合物の 0.7～1.2 倍であった。ひずみ 800μ の疲労破壊回数(回)は、再生材の標準混合物 3,100 と比較して中温化混合物は 1,900～3,600 の範囲にあり標準混合物の 0.6～1.2 倍であった。

⑥圧裂試験

圧裂試験の結果を**図-36～38** に示す。

圧裂試験は、再生材の設計に活用される試験であり、本来であれば、標準マーシャル安定度試験と同様の段階で記載すべきものであるが、段組みの構成上、こちらで記載する。

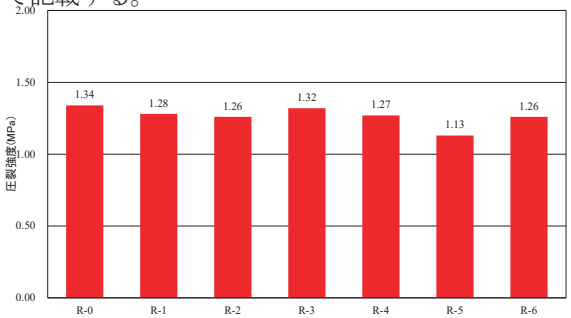


図-36　圧裂試験（圧裂強度）

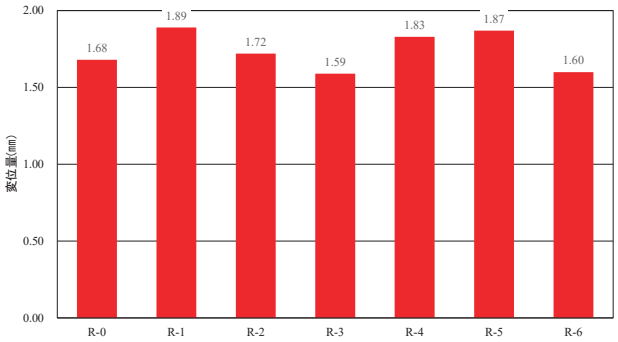


図-37　圧裂試験（変位量）

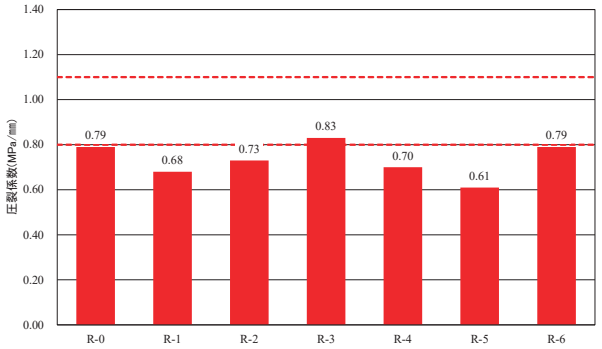


図-38　圧裂試験（圧裂係数）

舗装再生便覧（令和 6 年版）によると一般地域における設計圧裂係数の例は、0.80～1.10(MPa/mm)とされている。標準混合物も含め多くの混合物で設計圧裂係数の範囲を逸脱した。

4）標準温度-20℃で作製した中温化混合物の試験結果まとめ

以下に、標準温度-20℃で作製した中温化混合物の試験結果をまとめる。

新材（改質 II 型）については、基準値のある試験ではすべての基準を満足した。また、中温化混合物の種類で各数値にばらつきが発生することを確認したが、中温化混合物は標準混合物と同程度の強度を有すると考えられる。

再生材については、標準混合物も含め、多くの混合物で圧裂係数を逸脱するものがあることを確認した。一方、他の基準値がある試験については、基準値を満足している。実際の運用時には設計圧裂係数の管理を適切に運用していく必要があると考えられるが、中温化混合物は標準混合物と同程度の強度を有すると考えられる。

4.　中温化アスファルト（プレミックスタイプ）を用いた中温化混合物の室内試験

(1) 試験概要

中温化アスファルトは、中温化剤やその他添加剤をプレミックスしたアスファルトである[1]。本調査では、一般に流通している中温化アスファルトの内、製造メーカーが異なるもの 3 種類に対し、試験を実施した。

(2) 標準温度-30℃で作製した中温化混合物の試験

1) 使用した材料

使用した材料を**表-4** に示す。

表-4　使用材料

骨材名	材質	備考
6 号砕石	硬質砂岩	茨木県笠間市
7 号砕石	硬質砂岩	茨木県笠間市
粗砂	川砂	栃木県宇都宮市
細砂	川砂	栃木県宇都宮市
石粉	石灰岩粉末	埼玉県秩父郡横瀬町
中温化As	プレミックス	3種類

2) 新材（ポリマー改質アスファルト II 型）に対する調査

中温化アスファルトを用いた中温化混合物（新材）では、ポリマー改質アスファルト II 型（以下、「改質 II 型」という。）のバインダーを用いたものを対象として調査した。これは、改質 II 型が、ストレートアスファルト（以下、「ストアス」という。）に熱可塑性エラストマーが混入したものであることから、ストアスの混合物に対し中温化アスファルトを適用する場合よりも混合物の製造が厳しくなると考えられたからである。

なお、以降に示す記号は V-0 が標準混合物であり、V-1～3 が中温化混合物である。

①標準マーシャル安定度試験

標準マーシャル安定度試験の結果を**図-39～41** に示す。

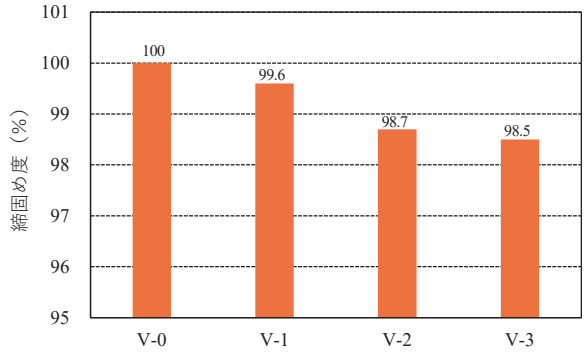


図-39　標準マーシャル安定度試験（締固め度）

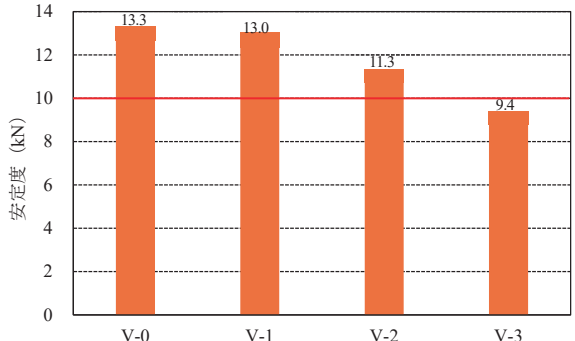


図-40　標準マーシャル安定度試験（安定度）

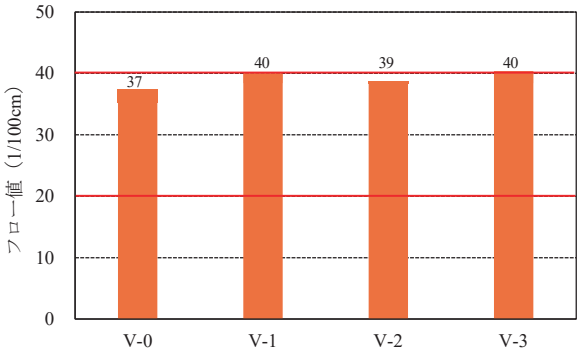


図-41　標準マーシャル安定度試験（フロー値）

図-39 の締固め度は、標準混合物 V-0 を基準とし、中温化混合物の締固め度を示したものである。その結果は、98.5～99.6%の範囲であった。このことから標準混合物-30℃で製造した混合物であっても締固め度が確保される混合物があることが示された。

図-40、41 の安定度、フロー値は、土木材料仕様書で安定度が 10.0kN 以上、フロー値が 20～40（1/100cm）と定められている。今回の試験では、V-3 は安定度の基準値を満たさなかった。

②水浸マーシャル安定度試験

水浸マーシャル安定度試験の結果を**図-42** に示す。

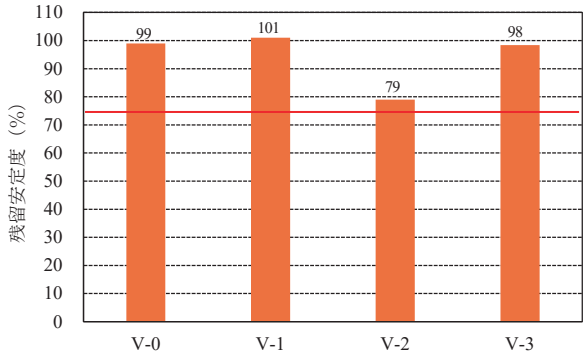


図-42　水浸マーシャル安定度試験（残留安定度）

舗装の構造に関する技術基準では、「水の影響を受けやすいと思われる混合物又はそのような箇所に舗設される混合物は、残留安定度が 75%以上であることが

望ましい」とされている。本調査では、いずれの混合物も残留安定度 75%を上回る結果であった。

③ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験の結果を**図-43** に示す。

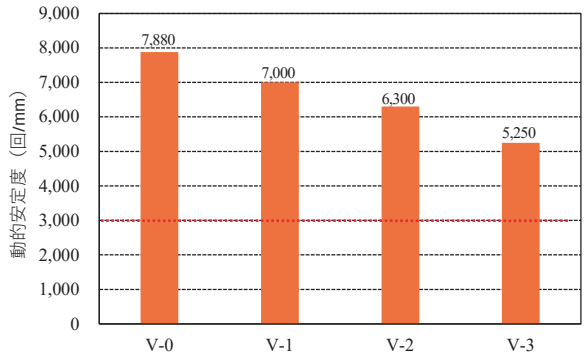


図-43　ホイールトラッキング試験（動的安定度）

土木材料仕様書では、改質 II 型を用いた場合、動的安定度は 3,000（回/mm）以上と規定している。いずれの混合物も基準値を満足した。

④曲げ試験

曲げ試験の結果を**図-44、45** に示す。

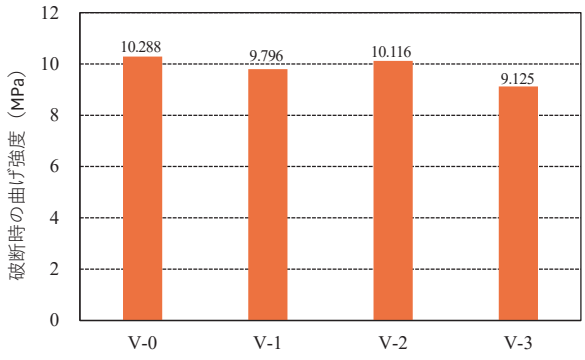


図-44　曲げ試験（強度）

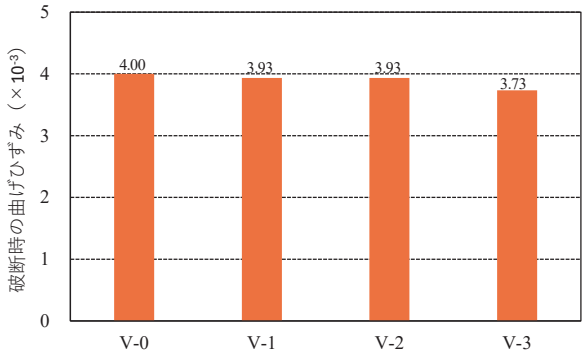


図-45　曲げ試験（破断時のひずみ）

建設局では、曲げ強度の基準を定めていない。曲げ強度(MPa)は、新材の標準混合物 10.288 と比較して中温化混合物は 9.125～10.116 の範囲で標準混合物の 0.9～1.0 倍であった。曲げ破断ひずみ(×10^{-3})は、新材の標準混合物 4.00 と比較して中温化混合物は 3.73～3.93 の範囲にあり標準混合物の 0.9～1.0 倍であった。

⑤曲げ疲労試験

曲げ疲労試験の結果を**図-46** に示す。

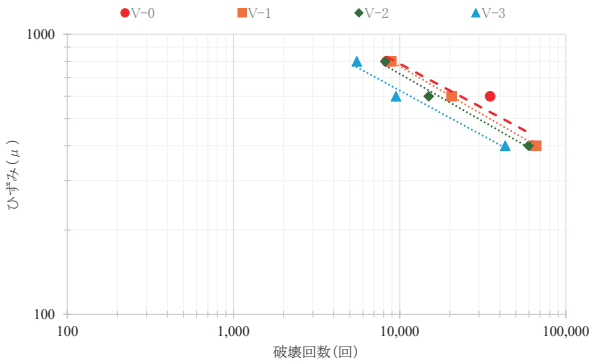


図-46　曲げ疲労試験

曲げ疲労試験は、ひずみ（μ）を 400、600、800 に設定して実施した。なお、建設局では、曲げ疲労試験に対し、基準を定めていない。

ひずみ 400μ では、標準混合物 62,603 と比較して中温化混合物は 43,126～66,250 の範囲にあり標準混合物の 0.7～1.1 倍であった。ひずみ 600μ の疲労破壊回数(回)は、新材の標準混合物 35,035 と比較して中温化混合物は 9,506～20,505 の範囲にあり標準混合物の 0.3～0.6 倍であった。ひずみ 800μ の疲労破壊回数(回)は、新材の標準混合物 8,348 と比較して中温化混合物は 5,517～8,909 の範囲にあり標準混合物の 0.7～1.1 倍であった。

4）中温化アスファルト（プレミックスタイプ）を用いた中温化混合物の室内試験結果まとめ

以下に、中温化アスファルトを用い標準温度-30℃で作製した中温化混合物の試験結果をまとめる。

標準マーシャル安定度試験において、一部の混合物で基準を満足しなかったが、他の基準値が定められている試験においてはすべて満足した。また、基準値が定められていない試験についても概ね中温化混合物は標準混合物と同程度の強度を有するものと考えられる。

5.　まとめ

本検討により得られた知見を以下に 3 点示す。

①中温化剤を用いた中温化混合物は、標準混合物と同程度の強度を有するものと考えられる。

②中温化アスファルトを用いた混合物は、標準混合物と同程度の強度を有するものと考えられる。

③材料による中温化方式では、製造メーカーごとのノウハウを考慮した上で中温化混合物を製造することが標準混合物と同程度の強度を発現させるために必要と考えられる。

6. おわりに

本検討では、中温化剤や中温化アスファルトを用いた中温化混合物を室内試験により性状調査を実施した。このことについては、既に東京都土木技術支援・人材育成センター年報（令和元年）[2]にて報告しているが、その後、機械式フォームド方式について先行して調査したことから、５年以上期間が空いてしまった。その間、中温化剤及び中温化アスファルト業界でこれら材料の技術進展等があり、成分が過去に調査した時と変わっている可能性が考えられたことから再度調査を行うものとした。その結果、材料による中温化方式であっても標準混合物と同程度の強度を発現することを確認した。これらの調査は、当センターにて行ったものであり、各中温化剤や中温化アスファルトメーカーの製造ノウハウや材料の相性等を考慮せず一般的な方法で供試体を作製し、試験を実施した。また、中温化剤で標準混合物-30℃、-20℃及び中温化アスファルトで標準混合物-30℃で試験した際のアスファルトや再生材の産地は異なっているため、一律で強度を比較し、各混合物の性能の良し悪しを述べるのは適切だとは考えていない。これらを考慮した結果、材料による中温化方式であっても標準混合物と同程度の強度を発現するものと考えられる。この結果を踏まえ、今後、実プラントを使用した混合性や敷均し試験を行うことで改めて中温化混合物の性状を確認する予定である。

令和７年４月に改正された道路法では、道路の脱炭素化の推進が明記され、同年 10 月に国土交通省より公表された「道路分野の脱炭素化政策集 Ver.2.0」に中温化混合物の活用が掲載された。今後、これら技術の活用が期待される。

中温化技術について、業界等の動向を踏まえ、今後も適宜調査を継続していく予定である。

謝辞

本検討は、（一社）日本アスファルト合材協会及び（一社）日本改質アスファルト協会と協定を締結し調査した結果をとりまとめたものである。両協会には、試験方法や材料選定等、各段階で多大な協力をいただいた。ここに記し感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

1) （一社）日本道路建設業協会、（一社）日本アスファルト合材協会 (2024) ：低炭素（中温化）アスファルト舗装の手引き，p. 2, 5, 9-11

2) 橋本、関根 (2019) ：中温化混合物の適用性に関する調査報告，令元 都土木技術支援･人材育成センター年報、47-56