

アスファルト混合物の耐久性評価手法の検討 ～耐流動性の評価～

新里良輔¹・吉田龍平²・青木康素²

¹ (一財) 阪神高速先進技術研究所調査研究部総括・コンクリート・舗装研究室

² 技術部技術推進室

要約

阪神高速道路の橋面舗装における補修設計では、主に表層の損傷状態を考慮し、表基層打換えもしくは表層のみ打換えを行う箇所を選定している。舗装の損傷は表層における「わだち掘れ」と「ひび割れ」に着目しており、基層の状態を直接評価できていない。そこで、ひび割れ抵抗性・はく離抵抗性・耐流動性について既設アスファルト混合物を対象に、耐久性を評価する方法およびエネルギー等の指標を用いた評価方法を開発することを目指し、各種性能評価試験の手順および結果の評価手法について実験的検討を行っている。本稿では、耐流動性の評価方法の確立に向け、繰返し軸圧縮試験を行った結果を報告する。

キーワード: 耐久性, 高耐久アスファルト混合物, 流動, わだち

1. はじめに

近年、阪神高速道路では従来のアスファルトよりも高耐久型の舗装材料として、基層ではポリマー改質アスファルトⅢ型（以下、改質Ⅲ型）を使用した密粒度アスファルト混合物を、表層では高耐久改質 H 型使用のポーラスアスファルト混合物や改質Ⅲ型使用の密粒度アスファルト混合物が使用されている。

舗装補修のライフサイクルコスト（以下、「LCC」）とする）を低減するためには、これらの既設アスファルト混合物の耐久性（主にひび割れ・はく離・流動に対する性状）を適切に評価する必要がある。しかし、アスファルト混合物の耐久性を評価する試験方法は多数提案されているものの、試験時間を要することや、試験に必要な供試体を現場から採取することが困難であるなど、課題が多い状況である。

また、阪神高速道路の橋面舗装における補修設計では、主に表層の損傷状態を考慮し、表基層打換えもしくは表層のみ打換えを行う箇所を選定しており、舗装の損傷は表層における「わだち掘れ」と「ひび割れ」に着目している。現状、基層の状態を直接評価できていないことから、表層打換え後に早期劣化する事例が確認されており、既設の舗装に対して適切な打換え判断を行う必要がある。

本検討は、アスファルト混合物の耐久性を簡便且つ合理的に評価する方法を検討するものである。最終的には、ひび割れ抵抗性・はく離抵抗性・耐流動性について新規アスファルト混合物だけでなく、供用中の舗装から採取したアスファルト混合物のコア

サンプリング供試体も対象に、耐久性の評価方法を開発する。そして、供用中の基層アスファルト混合物の残存耐力を把握することで、舗装補修設計の合理化を目指している。

アスファルト混合物の耐久性評価方法の確立を行うことで合理的な舗装補修設計が可能となり、通行止め期間や車線規制時間の短縮など、お客さまへの影響を減らすことができ、阪神高速グループビジョン 2030 における「最高の安全と安心を提供する阪神高速」を実現するための一手法となる。

本稿では、新規アスファルト混合物に対し、耐流動性の評価方法の確立に向けて、繰返し軸圧縮試験について試験方法および評価方法を検討し、試験結果の妥当性や再現性について検討した。実施した検討について報告する。

2. 検討計画

(1) 検討のロードマップ

図-1 に示す通り、主に 3 段階に分けて耐久性評価手法を開発することを予定している。まず、Phase 1 では供試体作製方法や試験条件、得られた結果から混合物の残存性能を把握するためのエネルギーを算出する方法を含む試験の実施方法を検討する。次に、Phase 2 では、Phase 1 で検討した試験方法に室内劣化条件を付与することで、劣化度合いによって、結果に差が生じるか確認する。また、最終的に既設材料を対象に評価する手法であることから、現場供試体採取方法の検討を行う。そして、Phase 3 にて、

Phase 1

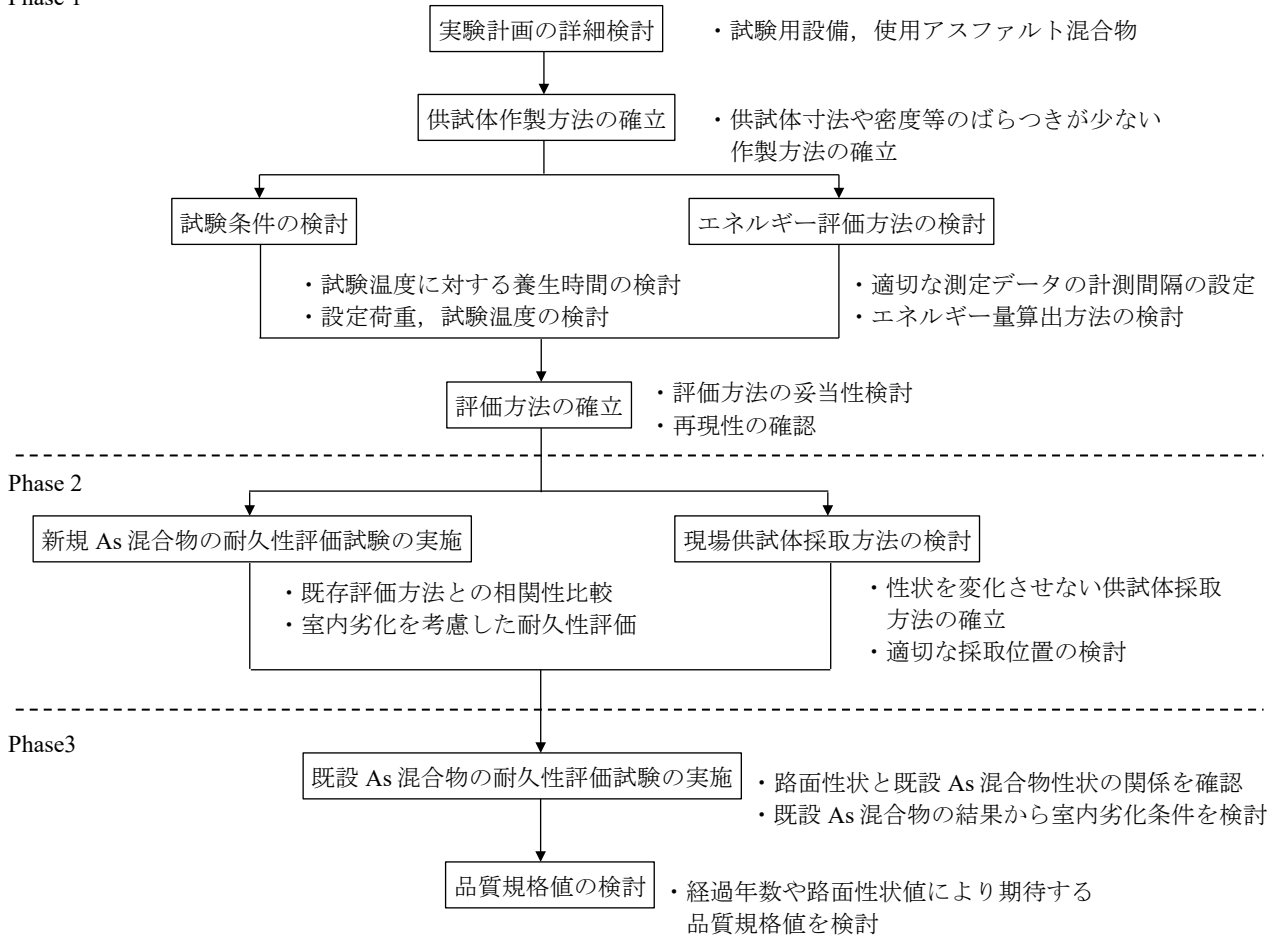


図-1 検討フロー

劣化度合いが異なる現場採取供試体を用いて，既設アスファルト混合物の耐久性評価を行い，試験の適用性を確認する．本稿では，Phase 1 における検討結果について報告する．

(2) 試験方法の検討

一般的な試験方法を整理するとともに，破壊エネルギーを評価可能かつ橋面舗装の動的な作用を考慮できる評価手法について既往の文献を調査し，下記の 3 条件に着目し，繰返し一軸圧縮試験による評価に着目した．

- ① 動的な破壊エネルギーを評価可能
- ② 既存の汎用的な試験機で試験実施が可能または一部の改良で試験実施が可能
- ③ 現場採取したコアサンプリング試料でも試験実施が可能

「舗装調査・試験法便覧¹⁾」に記載されている耐流動性の評価方法として，B006 圧裂試験があるが，上記条件の「①動的な破壊エネルギーを評価可能」を満足しない．

また，B003 ホイールトラッキング試験（以下，WT 試験）があるが，上記条件の「③現場で採取したコアサンプリング試料でも試験実施が可能」を満足しない．

また，海外ではアスファルト混合物の耐流動性に関する強度特性を評価する試験方法として，「AASHTO Designation: T378-17, Determining the Dynamic Modulus and Flow Number for Asphalt Mixtures Using the Asphalt Mixture Performance Tester」（以下，AMPT）に規定された Flow Number（以下，FN）試験は複層構成のアスファルト混合物の塑性変形に対する有効な評価方法として提案されている²⁾．FN 試験は上記の条件①と③を満足するものの，AMPT 専用の試験機が必要となり，汎用性の観点で上記条件の「②既存の汎用的な試験機で試験実施が可能，または一部の改良で試験実施が可能」を満足しない．そこで，FN 試験を汎用的な万能試験機にて実施することとし，繰返し一軸圧縮試験を試験方法として検討することとした．

(3) 使用材料

検討に用いる材料は，阪神高速道路の RC 床版上の舗装への使用実績がある材料を選定する．骨材は密粒度アスファルト混合物（13），アスファルト材料はポリマー改質アスファルトⅡ型（以下，改質Ⅱ型）および改質Ⅲ型を使用する．

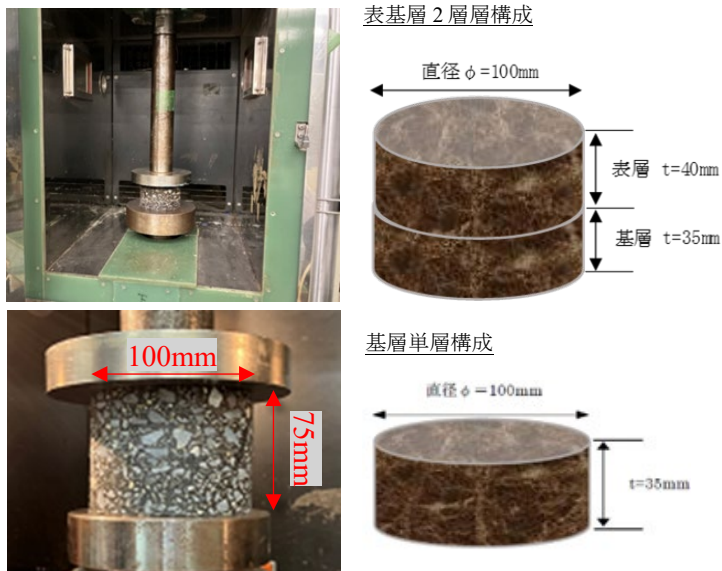


図-2 万能試験機試験状況および供試体寸法

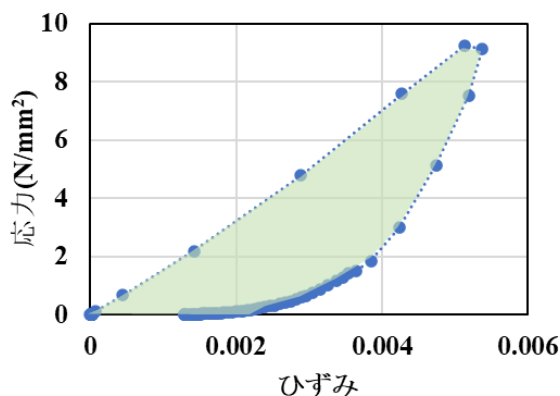


図-4 ヒステリシスループで囲まれる単位エネルギー

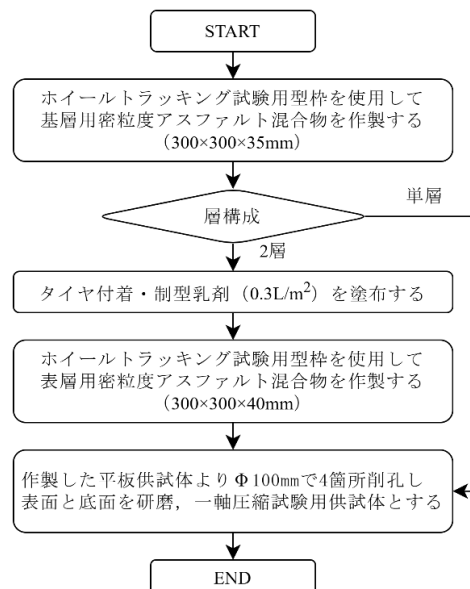


図-3 供試体の作製フロー

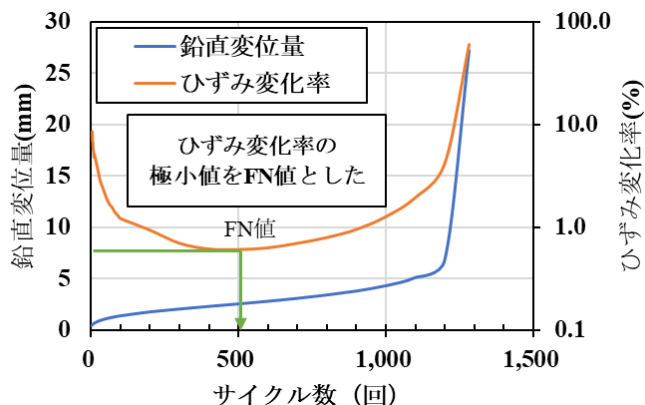


図-5 耐流動限界エネルギーの算出

3. 試験の実施

(1) 試験条件

AMPTを用いたFN試験を参考に、図-2に示す恒温恒湿室機能付きの万能試験機を用いるものとし、圧縮型のロードセルおよびデータロガーにより、供試体上部治具の鉛直変位量を経時的に測定した。供試体は図-3に示す方法で作製し、直径は既設の基層アスファルト混合物を現場で採取する際のコアの寸法を考慮して供試体厚さは阪神高速道路のRC床版の設計厚さである表層40mm、基層35mmの2層構成または基層のみの単層構成とし、直径はφ100mmとした。(図-2)。動的载荷条件はハーバーサイン波(载荷0.1秒・休止0.9秒)と载荷周波1Hzとした。試験温度は60℃とし、载荷圧は想定試験時間が1時間程度となるように予備試験を実施した上で1.25MPaに設定した。なお、FN試験との試験条件の違いは载荷圧(FN試験:0.9MPa)と供試体寸法(FN試験:φ100×h150mm・複層供試体)である。

(2) 耐流動限界エネルギーの算出

耐流動性を評価するため、各载荷サイクルの応力と鉛直ひずみの関係から図-4に示すようなヒステリシスループで囲まれる面積を各サイクル数の単位エネルギーとし、図-5に示すように繰返し载荷による鉛直ひずみの変化率が極小値となるサイクル数(FN値)までの単位エネルギー量の累計を、耐流動限界エネルギーと定義して評価した。なお、ひずみ変化率の算定は式(1)、式(2)による。

$$\varepsilon_{n,max} = \frac{\Delta x_{n,max} \times 10^6}{h} \quad (1)$$

$$\varepsilon'_n = \frac{\Delta \varepsilon_n \times 10^6}{\varepsilon_0} \times 100 = \frac{\varepsilon_{n,max} - \varepsilon_{n-1,max}}{\varepsilon_{1,max}} \times 100 \quad (2)$$

ここで、

$\varepsilon_{n,max}$: nサイクルにおける最大ひずみ
 $\Delta x_{n,max}$: 最大鉛直変位量 (mm) × 10⁶
 h : 供試体高さ (mm)
 ε'_n : nサイクルにおけるひずみ変化率 (%)
 $\Delta \varepsilon_n$: ひずみ変化量 (mm) × 10⁶
 ε_0 : 基準となるひずみとなる。

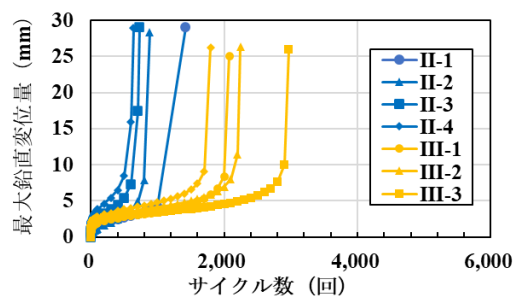


図-6 最大鉛直変位量-サイクル数
(2層構成改質Ⅱ型・改質Ⅲ型)

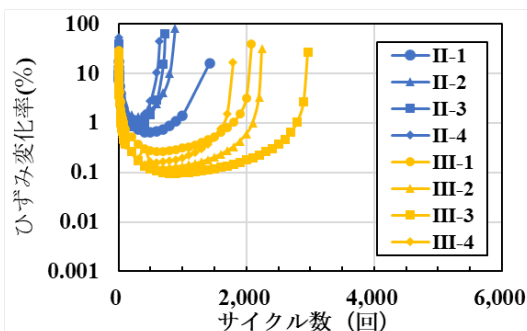


図-7 ひずみ変化率-サイクル数
(2層構成改質Ⅱ型・改質Ⅲ型)

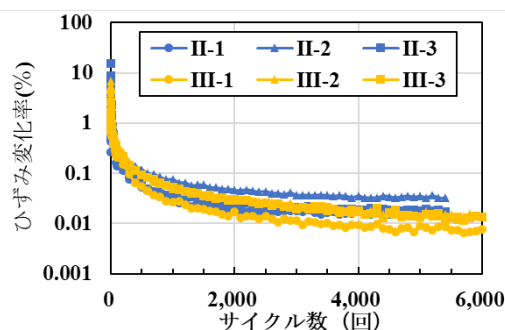


図-9 ひずみ変化率-サイクル数
(基層単体改質Ⅱ型・改質Ⅲ型)

表-1 エネルギーの算定結果 (2層構成)

項目	改質Ⅱ型		改質Ⅲ型	
	FN値 (回)	エネルギー (10^{-3} N/mm ²)	FN値 (回)	エネルギー (10^{-3} N/mm ²)
1	500	275	700	601
2	300	150	700	601
3	300	179	800	741
4	300	201	600	527
平均	350	201	700	618
変動係数	25%	23%	10%	13%

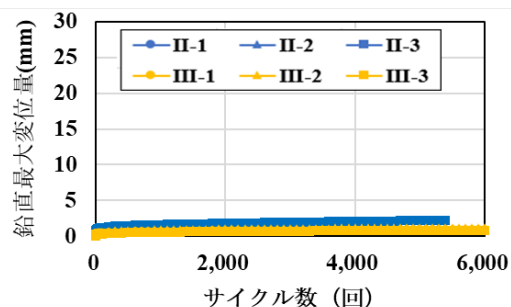


図-8 最大鉛直変位量-サイクル数
(基層単体改質Ⅱ型・改質Ⅲ型)

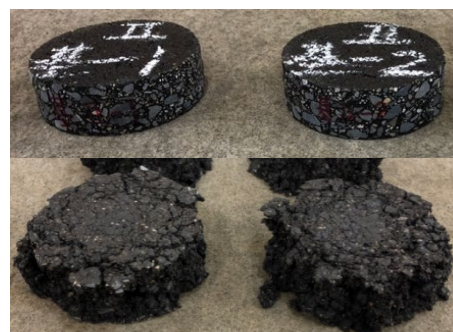


図-10 試験後の供試体
(上：単層供試体，下：2層供試体)

(3) アスファルト材料ごとの試験結果の比較

耐流動限界エネルギーによりバインダーの違いが評価可能かどうか検討するため、改質Ⅱ型と改質Ⅲ型の2層供試体を用いて試験を行った。最大鉛直変位量とサイクル数の関係を図-6に、ひずみ変化率とサイクル数の関係を図-7に示す。改質Ⅲ型は改質Ⅱ型と比べて、FN値や耐流動限界エネルギーが大きく、変動係数が小さい(表-1)。改質Ⅱ型および改質Ⅲ型いずれの指標の変動係数も25%以下とばらつきが小さく評価指標として用いることができる。また、改質Ⅲ型は改質Ⅱ型と比較して、FN値は約2倍、耐流動限界エネルギーは約3倍となっており、エネルギーを評価指標として用いる方が混合物の材料物性が評価しやすいことが示されている。ただし、現時点では改質Ⅱ型と改質Ⅲ型の2材料のみの評価であるため、他のアスファルト材料を用いて試験を実施して、評価指標の妥当性を確認する必要がある。

(4) 単層供試体による評価の検討

既往文献²⁾では複層構成の供試体の耐流動性を評価可能としているが、既設舗装の場合は表層の劣化状態が試験結果に影響を与える可能性がある。そこで、基層の単層供試体の試験により基層の直接評価が可能かどうかを検討するため、改質Ⅱ型と改質Ⅲ型を用いた基層の単層供試体を用いて試験を行った。最大鉛直変位量とサイクル数の関係を図-8に、ひずみ変化率とサイクル数の関係を図-9に示す。改質Ⅱ型と改質Ⅲ型ともに、想定している試験時間(1時間・3,600サイクル)で明確なFN値が認められなかった。また、基層単体および2層構成の試験後の供試体を図-10に示す。2層供試体は側方に流動破壊し、鉛直変位量が30mm程度となった。一方で、基層単層供試体は変状が認められず、鉛直変位量は1mm程度となった。基層単層の場合、供試体の厚さが薄いことから、寸法効果により強度特性が増加し、耐流動性を適切に評価できないと推測する。

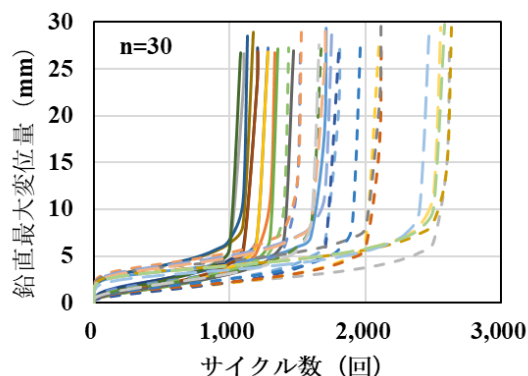


図-11 最大鉛直変位量-サイクル数
(再現性の検討) 改質Ⅲ型

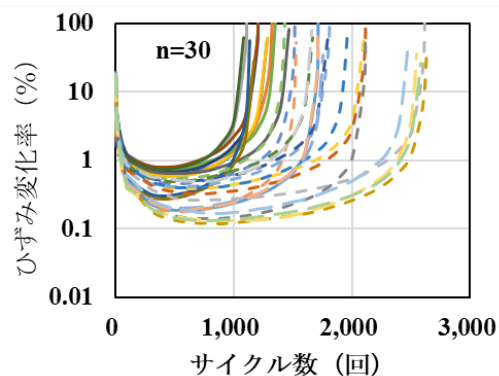


図-12 ひずみ変化率-サイクル数
(再現性の検討) 改質Ⅲ型



図-13 試験状況

(5) 再現性の検討

本検討手法の再現性を確認するため、 $n = 30$ 個の改質Ⅲ型 2 層供試体に対して繰返し一軸圧縮試験を実施した。図-11 に最大鉛直変位量とサイクル数の関係を、図-12 にひずみ変化率とサイクル数の関係を示す。また、表-2 に FN 値と耐流動限界エネルギーの算出結果を示す。FN 値の変動係数は 30%であり、耐流動限界エネルギーの変動係数は 29%であった。また、いずれの供試体も図-13 に示す通り 2 層の界面でズレは生じておらず、2 層全体で耐流動性を評価できていると考えられる。

4. 結論

アスファルト混合物の評価手法の確立に向けて、耐流動性に着目し、破壊エネルギーによる評価が可能かつ、現場採取したコアサンプリング試料を用いて汎用的な試験機で実施できる繰返し一軸圧縮試験について検討した。

- 1) 表基層の 2 層構成の供試体による試験の結果より得られる耐流動限界エネルギーを用いて評価することで、改質Ⅱ型と改質Ⅲ型の試験結果において有意な性能差を評価することができた。
- 2) 基層単層のみの供試体で試験を実施した結果、明確な FN 値が認められず、耐流動限界エネルギーを評価することができなかった。
- 3) 表基層の 2 層構成の改質Ⅲ型の供試体による再現性の検討を行った結果、FN 値の変動係数が 30%、耐流動限界エネルギーの変動係数は 29%であった。

表-2 エネルギーの算定結果
(再現性の検討) 改質Ⅲ型

項目	FN値 (回)	エネルギー (10^{-3} N/mm ²)	項目	FN値 (回)	エネルギー (10^{-3} N/mm ²)
1	500	445	16	600	421
2	400	324	17	500	369
3	400	368	18	500	417
4	500	429	19	700	501
5	500	423	20	700	545
6	400	311	21	800	711
7	400	357	22	900	727
8	400	290	23	600	468
9	500	376	24	500	415
10	400	373	25	500	489
11	400	379	26	600	553
12	400	338	27	800	628
13	500	412	28	1,000	778
14	500	500	29	900	774
15	700	516	30	800	713
平均	577	478	変動係数	30%	29%

以上より、繰返し一軸圧縮試験によりアスファルト混合物の耐流動性を評価できる可能性を確認した。今後は試験結果のばらつきの低減策を検討した上で、WT 試験などの既存の耐流動性を評価する

また、本稿の実験的検討にあたっては鹿島道路（株）に尽力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧（平成31年版）第3分冊，2019，3.
- 2) 宮城裕一，丸山陽，内海正徳：AMPTを用いたアスファルト混合物の弾性係数 E^* と塑性変形抵抗性の関係の検討，土木学会第72回年次学術講演会，V-008，2017,9.