

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月14日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560481

研究課題名（和文）改質アスファルトの力学的性質評価方法に関する研究

研究課題名（英文）An Estimation Method for the Mechanical Properties of Modified Asphalt

研究代表者

丸山 暉彦 (MARUYAMA TERUHIKO)

長岡技術科学大学・工学部・名誉教授

研究者番号：30016646

研究成果の概要（和文）：荷重測定型伸度試験機を使用して、アスファルトに対する準引張試験を提案した。この試験は再現性がよく、結果は時間温度換算則に従う。本試験から得られるポリマー改質アスファルトの最大応力、弾性係数、破壊までのエネルギーは間接引張試験から得られるアスファルト混合物の力学的性質と良い相関を示す。

研究成果の概要（英文）：A quasi-tensile test for bituminous binder is proposed by using the force ductility test. This test has good reproducibility and the test results follow the time-temperature conversion law. The maximum stress, the modulus, and the energy necessary to break point of the polymer modified asphalt obtained from this test show good correlations with the mechanical properties of asphalt mixtures obtained from the indirect tensile test.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：瀝青材料

1. 研究開始当初の背景

アスファルトの物理的性質とこれを原料として作られる舗装用混合物の耐久性との関係はまだよく分かっていない。一方、天然のストレートアスファルトにポリマーを混合し、耐久性向上を意図した様々な改質アスファルトが開発され使用されている。

改質アスファルトの品質は、軟化点、伸度、

タフネス、テナシティ、粗骨材の剥離面積率等で規定されている。これらの規格値を満足していれば、舗装の施工性、耐久性を確保できることは、経験によって確認されている。しかし、材料を改良するに当たってどの規格値をどれだけ向上させればよいのかなど、論理的な因果関係はまったく不明である。した

がって、アスファルト舗装の耐久性と関連のあるアスファルト評価方法の開発が必要となる。

耐久性向上の重要な要素であるアスファルトと骨材との付着力を直接評価する試験法はタフネス・テナシティ試験である。アスファルト中に埋め込んだ鋼製半球を一定速度で引き抜く時のエネルギーを測定するものであるが、タフネス・テナシティ試験には、以下のような欠点がある。

- (1) タフネス・テナシティの試験温度は、低温ではアスファルトが硬くなって鋼製半球ヘッドに付着せず、高温では軟らかすぎて引っ張れないため、常温領域でしか使用できない。
- (2) 鋼製半球で引っ張るため、試料の断面積が一樣でなく、**図 1** に示すように試料によって断面積が異なる。試料中の応力は断面積に直接反比例するため、断面積を計測しない限り結果の比較が難しく、正しい応力ひずみ曲線を記述できない。
- (3) データの再現性がよくない。
- (4) エネルギーを求める際に個人差が生じる。エネルギーは、荷重-変位曲線に接線を引いて求めるが、主観的な判断によるため個人差が生じる。

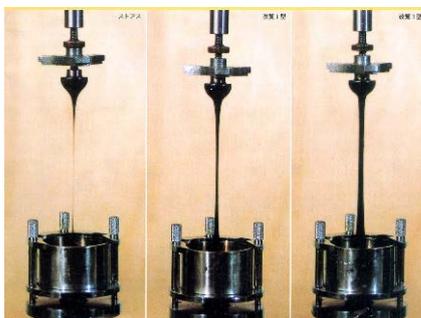


図 1 タフネス・テナシティ試験のバイндаによる伸び方の違い

左から ストレートアスファルト、改質 I 型、改質 II 型

本研究では、伸度試験においてアスファルトを引っ張る際の荷重と変位を測定し、荷重と伸びの関係から、最大荷重、変形係数、切断に要するまでのエネルギーなどの物理的性質を求める the force ductility test と呼ばれる疑似引張試験に着目した。伸度試験は、型枠に流し込んだアスファルトを水中において一定速度で引張り、切断するまでの伸び長さを測定するもので、アスファルトの延性を評価するものである。アスファルトの密度は約 1.03g/cm^3 で水より少し重いだけであるから、水中でほぼ水平に引っ張ることができる。また、水槽の温度を制御することによって、試験温度を変化させることができる。

The force ductility test は 1976 年に Utah DOT の Max L. Wiley らによって開発されたものである。The force ductility test の伸度試験との相違は 3 つあり、(1) 試料の保持部にロードセルをつけて引張荷重を測定できるようにしていること、(2) 荷重と時間の記録装置を有すること（引張速度が一定なので試験時間から変位を計算することができる）、(3) 型枠の形が異なることである。**図 2** の右側が the force ductility test 用型枠である。中心部が $10 \times 10 \times 30\text{mm}$ の直方体であり、試験時に側方部品をはずして引っ張るのは伸度試験と同様である。



左 伸度試験用型枠、右 the force ductility test 用型枠

図 2 伸度試験および the force ductility test の供試体形状

試料の形状を直方体とすることにより**図 3** に示すように、載荷中の断面積が引張り治具

の間でほぼ一様で、試料の種類が異なってもほぼ同じ断面積変化を示すようになった。これによって試験の再現性が格段に向上した。



図3 the force ductility test 載荷中の供試体形状 (300mm 変位時)

アスファルトの種類が異なってもほぼ同じ断面形状を示している。

2. 研究の目的

本研究は、the force ductility test を瀝青材料の「準引張試験」と位置づけ、(1) その再現性、時間温度依存性等の基本的性質を確認すること、(2) 本試験によって各種改質アスファルトの性質を評価すること、(3) アスファルト混合物に対する間接引張試験の結果から、アスファルトバインダーとアスファルト混合物の性質を比較することを目的とする。以後、the force ductility test を「準引張試験」と称する。

3. 研究の方法

準引張試験にはストレートアスファルト、改質Ⅱ型、高粘度型アスファルト、および、タイヤ粉末を混入したアスファルトラバーを使用した。間接引張試験用混合物は密粒度アスファルト混合物とし、マーシャル供試体として締め固めた後、120℃にて 2, 4, 8, 12 日間劣化させた。屋外暴露試験から得られた針入度低下量と比較してそれぞれ 1, 2, 4, 6 年の劣化に相当する。間接引張試験を実施した混合物からアスファルトを抽出し準引張試験に供した。劣化程度の異なる多数の試料を得ることができた。

4. 研究成果

準引張試験の再現性について検討した。試験条件を表 1 に示す。アスファルトバインダーは、荷重-変位曲線において荷重のピークが 2 つ現れる改質アスファルトⅡ型を使用した。この 2 つのピークのうち、初期に現れるものを第 1 ピーク、後半に現れるものを第 2 ピークと呼ぶ。土木学会舗装工学研究小委員会報告書の石油アスファルト類の試験結果によると、伸度が 100 に達しないゴム入りアスファルト (改質アスファルトⅠ型相当) の変動係数は伸度が 48.5%、タフネスが 43.1%、テナシティが 72.7%であった。

表 1 再現性評価試験の試験条件

使用バインダー	改質アスファルトⅡ型
試験温度 (°C)	25°C
試験速度 (mm/min)	150mm/min
養生時間 (分)	90 分
試験本数	N = 10

10 回の準引張試験より得られた荷重-変位曲線を図 4 に示す。最大荷重である第 1 ピークまでは、全ての曲線でほぼ同じ大きさを示したが、第 2 ピーク付近では、曲線にばらつきが生じている。この試験では、第 1 ピークはストレートアスファルトの影響が、第 2 ピークは改質剤を添加した影響が表れると考えられているため、改質剤の添加によりばらつきが大きくなると考えられる。試験より得られた数値をまとめたものを表 2 に示す。第 1 ピークで変動係数は 3.4%、改質剤の添加による影響が大きい第 2 ピーク付近では変動係数は 10.2%であった。先に述べた伸度試験等の変動係数と比べて小さく、準引張試験は再現性に優れた試験であるといえる。

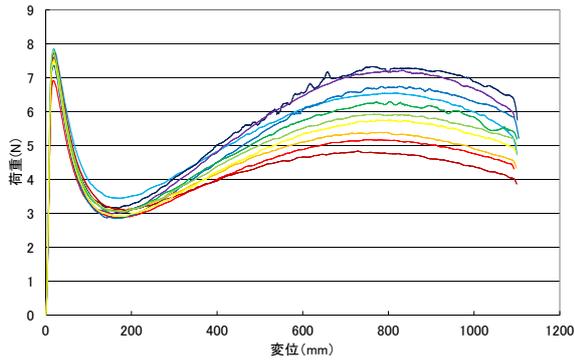


図4 改質Ⅱ型アスファルトの荷重変位曲線

表2 準引張試験の再現性

	平均荷重	分散	標準偏差	変動係数
第1ピーク	7.39	0.06	0.25	3.4%
第2ピーク	5.83	0.35	0.59	10.2%

供試体を一定速度で引張り、図5に示す荷重-変位曲線を求めた。この場合改質材の効果によって第2ピークが生じている。供試体の長さが30mmしかないのに対し、変位は数100mmのオーダーになる大変形試験である。このため試料の断面積が糸のように細くなるので、単位断面積あたりの荷重である応力で評価するのが合理的である。

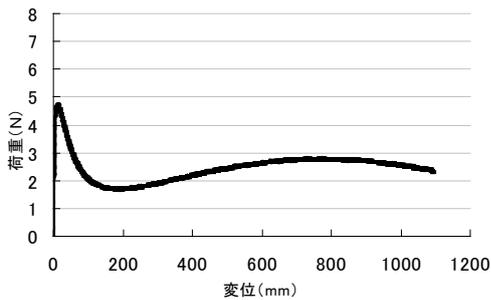


図5 改質アスファルトの荷重変位曲線

従来の試験法では試験中の試料の断面積を求めることは不可能であったが、準引張試験では以下の仮定のもとにこれを計算することができる。

- (1) 载荷中の試料の体積は不変とする。体

積不変のときポワソン比を0.5とできるのは微小変形の場合だけであって、大変形試験には適用できない。

- (2) 試料長さ30mmに対する変位をひずみとする。
- (3) 供試体両肩からの試料の供給はないとする。
- (4) 断面形状は正方形を維持しているとみなす。
- (5) 重力による試料の垂れ下がりは無視する。

これにより求めた断面積変化を次式に示す。

$$A = \frac{B^2}{1 + \epsilon}$$

- ここに
- A 载荷中の試料断面積
 - B 载荷前の試料の1辺の長さ
 - ϵ 縦方向ひずみ

試料の体積を不変として求めた試験中の断面積から応力を算出し、図6に示す応力-ひずみ曲線を求める。この曲線は、断面積が小さくなる後半にピークが一つだけ出る合理的な曲線である。図5の荷重-変位曲線の第1ピークは応力-ひずみ曲線においては消滅する。

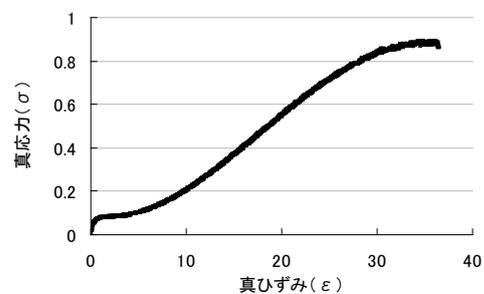


図6 改質アスファルトの応力ひずみ曲線

The force ductility test は米国ですでに AASHTO Designation T300 “Standard Method of Test for Force Ductility Test of Bituminous Materials,” (2001.01) として規格化されているものである。ここでは試験温度 4°C, 引張速度 50mm/min と固定されている。本研究では, 準引張試験を, 試験条件を固定した規格試験ではなく, 温度や載荷速度を変化させた場合の瀝青材料の力学的性質の変化を検討するための試験と位置づけている。本研究では, 以後の準引張試験に使用する温度および載荷速度の試験条件が適切かどうかを判断するために, 本試験から得られるパラメーターに時間温度換算則が成立するか否かを検討した。

水槽中で試験を実施するために, 可能な温度限界を低温側で 5°C, 高温側で 35°C とした。高温側ではアスファルトが軟化して, 循環水槽中の水流の影響を受けて出力荷重に影響を与えるためである。

本試験ではストレートアスファルトを使用し, 試験温度を 5, 15, 25, 35°C, 載荷速度を 50, 100, 150mm/min とした。その結果, 最大応力, 弾性係数, ピークまでのエネルギーのすべてについてマスターカーブを描くことができ, 時間温度換算則が成立することを確認した。すなわち準引張試験において, 本研究で使用した条件の範囲内で任意の温度, 載荷速度における試験が可能である。

アスファルト混合物の耐久性を評価する重要な指標の 1 つに, 間接引張試験から評価されるひび割れ抵抗性がある。間接引張試験の試験温度は 40°C, 準引張試験の試験温度は 25°C である。図 7 に示すとおり, 間接引張強度と準引張試験における最大応力までのエネルギーとの間に高い相関のあることを確認した。準引張試験の載荷速度はもともと

早い 150mm/min としている。

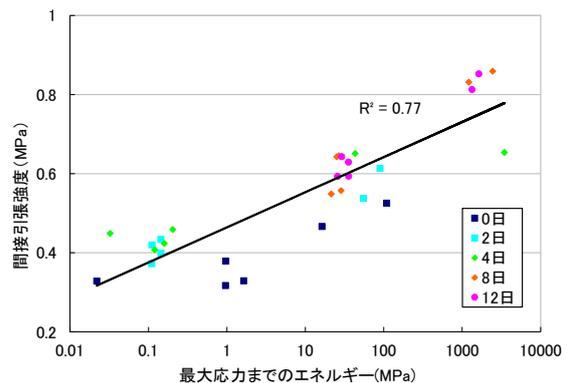


図 7 準引張試験と間接引張試験の相関性

結論として本研究で提案する「準引張試験」は改質アスファルトの物理的性質を評価する試験方法として適切なものであり, 本試験によって求めたバインダーの性質から, 混合物の耐久性の是非を検討することができる。

なお, 学会等への発表はこれからである。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸山 暉彦 (MARUYAMA TERUHIKO)
長岡技術科学大学・工学部・名誉教授
研究者番号: 30016646