

温度特性改良型樹脂を添加した改質アスファルトの性能評価に関する研究

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻
長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員

○小久保 真純
高橋 修

1. はじめに

アスファルト舗装の長寿命化を目的に、ポリマー改質アスファルトの使用量が増加している。そして、ポリマー改質アスファルトにおいては、ポリマーの添加量を増加させた高粘度タイプのもので開発されている。高粘度タイプのポリマー改質アスファルトは製造管理や温度管理が難しく、そのためのコストを要する。また、粘性が高くなるため施工性が悪化する。これらを解決するため、ポリマー改質アスファルトⅡ型（改質Ⅱ型）に特殊樹脂を添加した改質アスファルトが開発された。この改質アスファルトの基本的性能を評価するためには、バインダレベルでの力学特性を定量的に評価する必要がある。併せて、アスファルトコンクリート（アスコン）レベルでの評価も必要となる。

本研究では、特殊樹脂の添加量を変化させた改質アスファルトに対して、Force Ductility Test (FDT) と Elastic Recovery Test (ERT) を実施してバインダ性状を評価した。さらに、同じ改質アスファルトを使用した密粒度アスコン（20）について、ホイールトラッキング試験（WT 試験）と直接引張試験を実施してアスコン物性を評価した。

バインダの種類は、改質Ⅱ型および改質Ⅱ型に特殊樹脂を5%ずつ、5~20%の範囲で変化させて添加したものとした。特殊樹脂は、ガラス転移点である68.4℃まで高い貯蔵弾性率を保つことが可能である。これにより、特殊樹脂を添加したバインダは、改質Ⅱ型に比べ高い温度域でも貯蔵弾性率が低下しない。

2. FDTによるバインダ変形抵抗性の評価

2.1 試験方法

FDTは、AASHTOのT 300-00¹⁾に規定されているバインダの変形抵抗性（粘結性能）を評価する試験である。これには一般的に恒温水槽を兼ねた伸度試験機が用いられるが、本研究では荷重測定用のロー

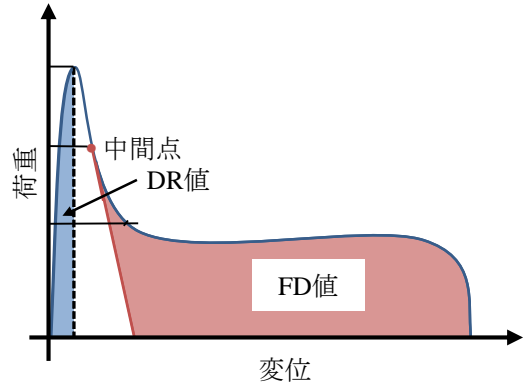


図-1 荷重-変位曲線とFD値およびDR値の定義

表-1 FDTの条件

項目	条件
試験温度 (°C)	15
変位速度 (mm/min)	50

ドセルを搭載した荷重測定型伸度試験機を使用した。これにより、伸長している間の荷重と変位の関係からバインダのもつ仕事量を求めることが可能で、バインダの粘結力を示すFD値と変形抵抗性を示すDR値を求めることができる²⁾。試験より得られる荷重-変位曲線を模式的に表わすと、図-1に示すようになる。FD値は赤色で塗りつぶした部分の面積と定義されている。中間点から傾きを定め、直線の式を決定する。この直線を接線の式とし、中間点から変位軸との交点を結ぶ線分（図の赤線）を確定する。一方、DR値は、伸長開始から最大荷重までの青色で塗りつぶした部分の面積と定義されている。

試験方法は既往の研究³⁾に準拠した。試験条件を表-1に示す。

2.2 試験結果および考察

FDTから得られた荷重と変位の関係を図-2に、これらから求めたFD値およびDR値の結果を表-2にそれぞれ示す。図-2より、最大荷重は添加量10%のバインダにおいて最も大きくなり、添加なしに比

べ添加量 5 %のバインダのほうが多少小さい。また、添加量 5 %のバインダでは改質Ⅱ型に近い伸びとなっているが、それ以上の添加量では変位 650 mm 前後で破断している。表-2 より、添加量 10 %のバインダにおいて DR 値と FD 値の両方とも最大となり、添加量がそれ以上になると減少している。これらより、添加量 5 %では改質Ⅱ型とほぼ同等の性状であり、特殊樹脂の添加による影響があまりないことがわかる。添加量 10 %では特殊樹脂による影響が顕著で、添加量 15 %と 20 %では荷重が減少するため添加量が過多と考えられる。添加量 15 %と 20 %のバインダでは、FD 値も減少していることから、バインダ伸長時の粘結力も低下したものととらえられる。また、同様に DR 値も添加量 10 %のものよりも減少していることから、バインダが脆くなり変形しにくくなったと考えられる。

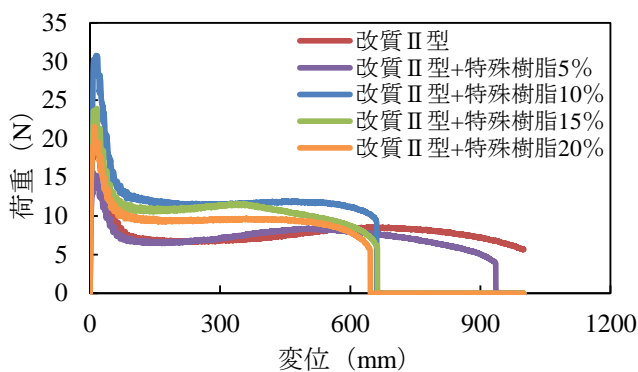


図-2 荷重-変位曲線

表-2 FD 値および DR 値の結果

バインダ種	FD値 (N・mm)	DR値 (N・mm)
改質Ⅱ型	6,790	175
改質Ⅱ型+特殊樹脂5%	6,121	133
改質Ⅱ型+特殊樹脂10%	7,148	333
改質Ⅱ型+特殊樹脂15%	6,206	218
改質Ⅱ型+特殊樹脂20%	5,597	170

3. ERT によるバインダの粘弾性の評価

3.1 試験方法

ERT は、AASHTO の T 301-08⁴⁾ に規定されているバインダの弾性あるいは粘性の程度を評価する試験である。本試験は、FDT と同様の荷重測定型伸度試験機を用いて実施した。これにより、評価値として弾性回復率と応力緩和時間を求めた。本試験では、

供試体を 100 mm まで伸長した状態を初期変形量とし、その後中央部を切断して戻した状態の残留変形量から弾性回復率を算出する。また、試験機に搭載したロードセルにより、バインダ伸長時と伸長停止時における荷重の変化を測定している。この荷重を供試体の断面積で除すことで応力に変換でき、応力緩和による応力低下の過程が測定可能となる。弾性回復率の算出方法を図-3 に、試験より得られた荷重-時間曲線の模式図を図-4 に示す。

弾性回復率は式 (1) により導出する。

$$R = \frac{E - X}{E} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 R : 弾性回復率 (%), E : 初期変形量 (mm), X : 残留変形量 (mm) とする。

応力緩和時間は式 (2) により導出する。

$$T = T_{1/e} - T_{100} \quad (2)$$

ここに、 T : 応力緩和時間 (s), T_{100} : 100 mm 伸長させた時間 (s), $T_{1/e}$: T_{100} の応力に $1/e$ を乗じた応力まで減少したときの時間 (s) とする。

試験条件を表-3 に示す。

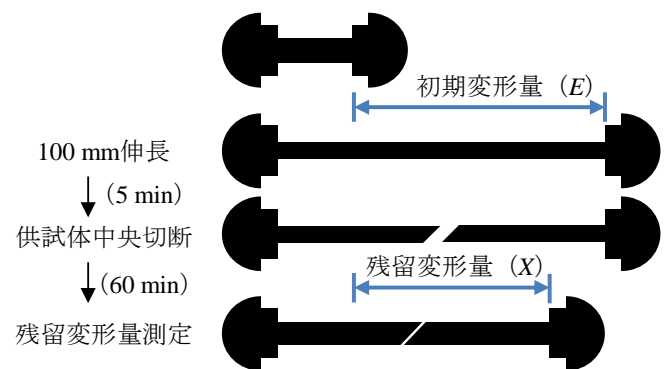


図-3 弾性回復率の算出方法

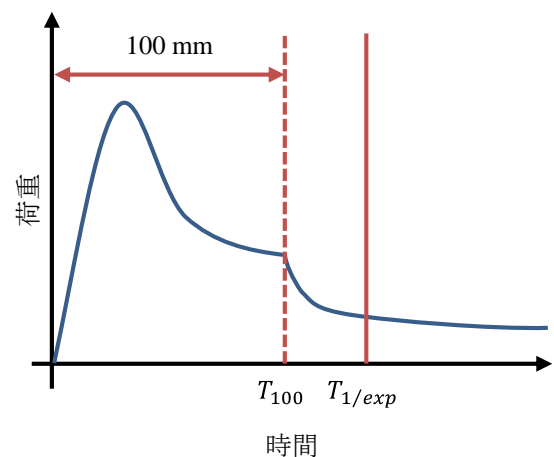


図-4 荷重-時間曲線の模式図

3.2 試験結果および考察

ERT から得られた伸長時の荷重と変位の関係を図-5 に、変位 100 mm で伸長を停止した後の応力と時間の関係を図-6 にそれぞれ示す。また、これらの関係から求めた弾性回復率および応力緩和時間の結果を表-4 に示す。

図-5 より、どのバインダにおいても供試体の伸長に伴って荷重は増加し、変位が 20 mm となる手前で最大荷重となって、その後減少している。FDT の結果と同様に、添加量 10 % のバインダにおいて荷重が全体的に最も大きくなっている。図-6 では、すべてのバインダで伸長の停止直後から急激に応力が減少している。添加量 10 % のバインダにおいて、300 s (5 min) 後の残留応力が最も大きくなっている。

表-4 において、弾性回復率はバインダの違いによる差がほとんど認められないが、添加量 10 % のバインダが最も小さな値であった。このことより、特殊樹脂の添加は弾性回復率にあまり影響しないが、添加量 10 % のバインダにおいて変形後の復元性能が低いことがわかる。応力緩和時間は、各バインダでばらつきがあるものの添加量 10 % のバインダにおいて最も長く、添加量がそれ以上になると短くなっている。結局のところ、特殊樹脂の添加は、バインダの応力緩和性状についてあまり影響を及ぼすことはないと評価される。

4. WT 試験による塑性変形抵抗性の評価

4.1 試験方法

WT 試験は、動的安定度 (DS) を指標にアスコンの塑性変形抵抗性を評価する試験である。試験方法は、舗装調査・試験法便覧 [第 3 分冊 B003] ⁵⁾ の記述に準拠した。試験条件を表-5 に示す。

供試体のバインダは、特殊樹脂による改質効果が最も顕著であった 10 % 添加したものと比較対象の改質 II 型単体の 2 種類を使用した。骨材配合とアスファルト量は共通とした。

4.2 試験結果および考察

WT 試験で得られた各バインダ種アスコンの DS の結果を表-6 に示す。特殊樹脂の添加により、DS は大きくなった。これより、特殊樹脂の添加は、ア

表-3 ERT の条件

項目	条件
試験温度 (°C)	10
変位速度 (mm/min)	50

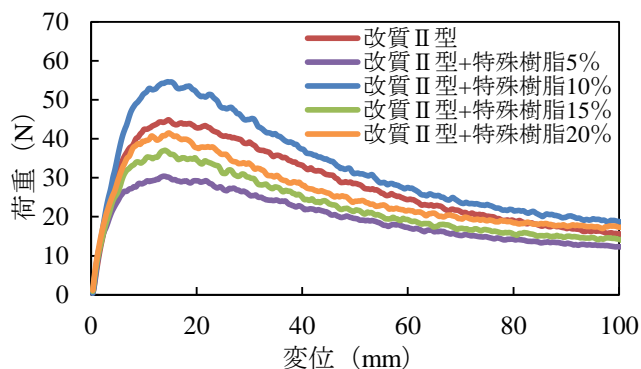


図-5 伸長時の荷重-変位曲線

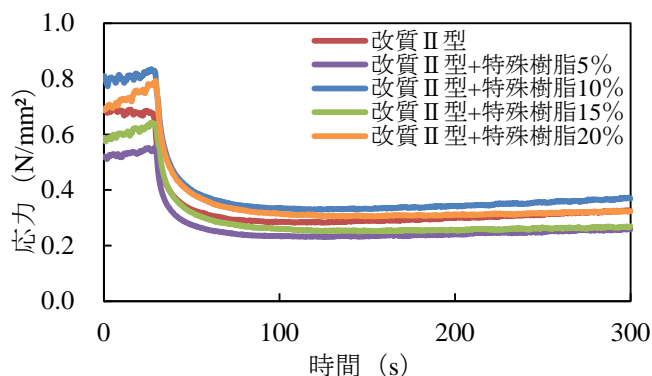


図-6 伸長停止後の応力-時間曲線

表-4 弾性回復率および応力緩和時間の結果

バインダ種	弾性回復率 (%)	応力緩和時間 (s)
改質 II 型	63	98
改質 II 型+特殊樹脂 5%	70	101
改質 II 型+特殊樹脂 10%	60	104
改質 II 型+特殊樹脂 15%	67	77
改質 II 型+特殊樹脂 20%	67	91

表-5 WT 試験の条件

項目	条件
供試体寸法 (mm)	300×300×50
試験温度 (°C)	60
養生時間 (min)	360
試験時間 (min)	60
往復走行回数 (回)	1260
輪荷重 (N)	686±10
車輪材質	ソリッドゴム

スコンの塑性変形抵抗性を向上させる効果があると評価される。

5. 直接引張試験によるひび割れ抵抗性の評価

5.1 試験方法

直接引張試験は、アスコンのひび割れ抵抗性を評価する試験である。本試験は、角柱状供試体の長軸方向に強制的に引張変位を与えるもので、荷重がピークとなる状態を破壊と定義した。そして、破壊時の応力とひずみの値を破壊応力、破壊時ひずみとして評価値とした。試験条件を表-7に示す。

前章のWT試験と同様に、供試体アスコンとしては2種類のバインダを使用したものとした。

5.2 試験結果および考察

直接引張試験で得られた応力とひずみの関係を図-7に、破壊応力および破壊時ひずみの結果を表-8に示す。特殊樹脂の添加により破壊応力、破壊時ひずみとも小さくなった。先のFDTの試験結果も考慮して特殊樹脂の添加について考察してみると、以下のとおりである。特殊樹脂の添加によりバインダは硬くなり、粘結力が大きくなるが伸度は低下する。そのため、アスコンの物性としてひび割れが低いひずみレベルで発生することになる。特殊樹脂の添加は、引張作用に対するひび割れ抵抗性をわずかながら低下させるものと評価される。

6. まとめ

本研究により得られた知見を以下にまとめる。

- (1) FDTにおいて、特殊樹脂の添加はバインダ伸長時の荷重を大きくし、粘結力を大きくするが伸度は低下してしまう。添加量が10%の条件で特殊樹脂による改質効果が最も高く、添加量が15%を超えると、伸長時の荷重が低下してバインダの粘結力が小さくなる。
- (2) ERTにおいて、特殊樹脂の添加はバインダの応力緩和性状についてあまり影響を及ぼさない。
- (3) WT試験において、特殊樹脂の添加はアスコンの塑性変形抵抗性を向上させる効果がある。

表-6 DSの結果

バインダ種	DS (回/mm)
改質II型	2903
改質II型+特殊樹脂10%	3675

表-7 直接引張試験の条件

項目	条件
供試体寸法 (mm)	40×40×240
試験温度 (°C)	20
変位速度 (mm/min)	1
養生時間 (h)	5以上

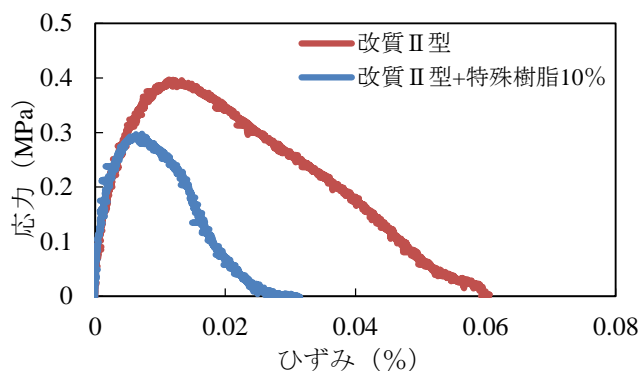


図-7 応力-ひずみ曲線

表-8 破壊応力および破壊時ひずみの結果

バインダ種	破壊応力 (MPa)	破壊時ひずみ ($\times 10^{-6}$)
改質II型	0.40	11.5
改質II型+特殊樹脂10%	0.31	7.2

- (4) 直接引張試験において、特殊樹脂の添加はひび割れ抵抗性を若干低下させる効果がある。

参考文献

- 1) AASHTO : Force Ductility Test of Asphalt Materials, AASHTO Designation : T 300-00, 2004.
- 2) 中村健, 藤井政人 : 新たな評価指標に基づく改質アスファルト混合物の再生手法に関する研究, 舗装, pp15-19, 2011.4.
- 3) 鈴木辰徳 : バインダの粘弾性を考慮した再生骨材の品質評価方法に関する研究, 長岡技術科学大学大学院修士論文, 2008.
- 4) AASHTO : Elastic Recovery Test of Asphalt Materials by Means of a Ductilometer, AASHTO Designation : T 301-08
- 5) 社団法人 日本道路協会 : 舗装調査・試験法便覧, pp.[3]39-55, 2007.6.