

温度特性改良型樹脂を添加した改質アスファルト およびその混合物の基本物性に関する研究

環境社会基盤工学専攻 交通工学研究室 小久保 真純

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 (PM-As) は欠かせない材料となっている。ポリマーの添加量を増加させた PM-As を使用することで製造管理や温度管理が難しく、粘性が高くなるため施工性が悪化する。これらの問題点に対処するため、ポリマーの添加量を少なく抑えて改質剤として特殊樹脂を加えた PM-As が開発された。ポリマーの添加量は PM-As II 型 (改質 II 型) と同等で、これに温度特性改良型の樹脂の添加量を変化させた PM-As である。この PM-As を製品として運用していくためには、基本的性能を評価し、改質効果の高い特殊樹脂の添加量を把握する必要がある。

本研究では、特殊樹脂を添加した PM-As について、バインダレベル、アスファルトコンクリート (アスコン) レベル、締固めを行っていないアスファルト混合物レベルの様々な試験を実施し、アスファルトバインダとしての性能を評価した。本研究の目的は、特殊樹脂の添加によるバインダ性能の改質効果を定量的に評価することである。

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 5~20 % の範囲で変化させて添加したもの、PM-As III 型 (改質 III 型) とした。特殊樹脂は、ガラス転移点である 68.4 °C まで高い貯蔵弾性率を保持することができる。改質 II 型に特殊樹脂を添加すると、貯蔵弾性率は高くなるが、ポリマーを多く使用した PM-As H 型 (改質 H 型) よりも低いことから、粘性が著しく高くないと考えられる。また、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貯蔵弾性率が高く変形しにくい特徴をもつことが期待される。

2. Force Ductility Test (FDT) および Elastic Recovery Test (ERT) によるバインダの性能評価

2.1 試験方法

FDT と ERT は、それぞれ AASHTO の T 300-00¹⁾ と T 301-08²⁾ に規定されているバインダの性状評価試験である。FDT はバインダの変形抵抗性 (粘結性能) を評価する試験であり、ERT はバインダの弾性変形性能および応力緩和性能を評価する試験である。これら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ドセルを搭載した荷重測定型伸度試験機を使用し、既往の研究³⁾ に準拠して実施した。

FDT は、供試体を 50 mm/min の速度で引き伸ばし、破断するか、1000 mm に達するまで伸長させた。その後、試験結果の荷重-変位曲線から後述するバインダの粘結力を示す FD 値と変形抵抗性を示す DR 値を算出して評価値とした。試験より得られる荷重-変位曲線を模式的に表すと、図-1 に示すようになり、この曲線から FD 値と DR 値を求める。FD 値は、図の赤色で塗りつぶした部分の面積とする。中間点から荷重データを用いて傾きを求め直線の方程式を算出し、この直線を接線の方程式として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する。

ERT は、供試体を初期変形量である 100 mm となるまで 50 mm/min の速度で引き延ばし、5 分間静止

させた。5分経過と同時に供試体中央を切断し、その後60分静置して弾性収縮を促した後、切断面を合わせることで残留変形量を測定した。試験結果の荷重を供試体の断面積で除することで応力に変換し、応力緩和による応力低下の過程をモニタした。ERTでは、弾性回復率と応力緩和時間を評価値とした。弾性回復率の算出方法を図-2に、試験より得られた応力-時間曲線の模式図を図-3に示す。

弾性回復率は式(1)により求めた。

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

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)により求めた。

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

ここに、 T ：応力緩和時間(s)、 T_{100} ：100 mm 伸長させて伸長を停止したときの時間(s)、 $T_{1/e}$ ： T_{100} 時点の応力が $1/e$ を乗じた値まで減少したときの時間(s)とする。

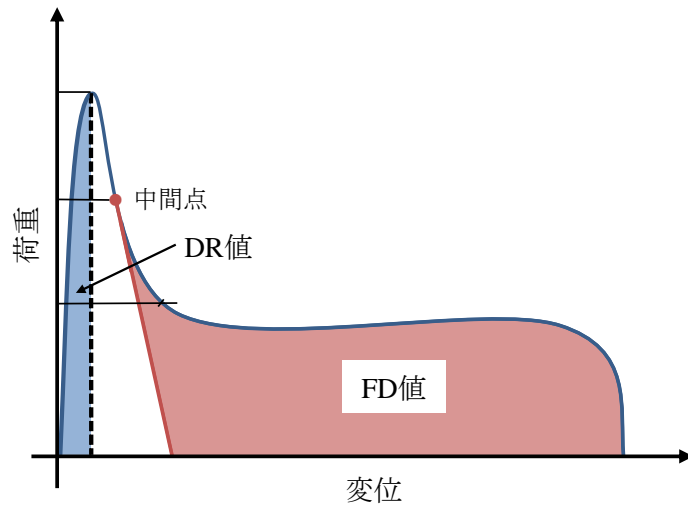


図-1 荷重-変位曲線とFD値およびDR値の定義

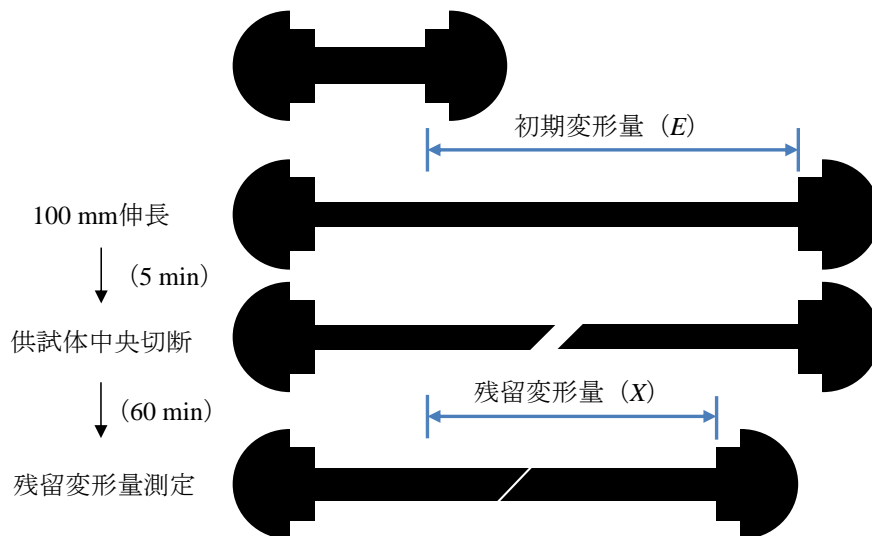


図-2 弾性回復率の算出方法

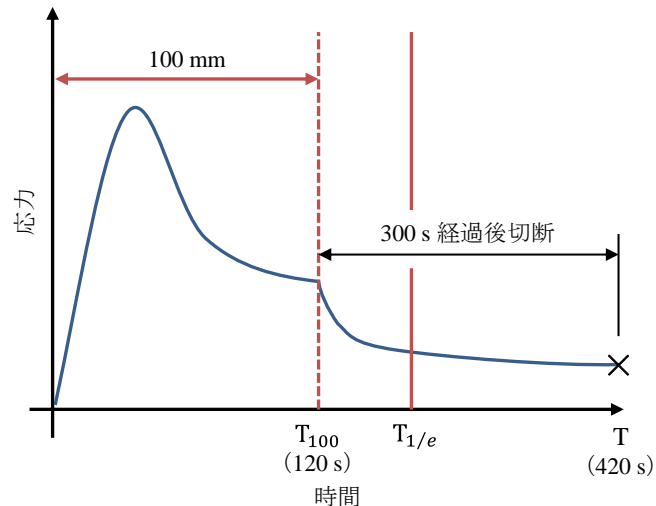


図-3 応力-時間曲線の模式図

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-4 に、これらから求めた FD 値および DR 値の結果を表-1 に、ERT から得られた弾性回復率および応力緩和時間の結果を表-2 にそれぞれ示す。図-4 より、最大荷重は添加量 10 %のバインダが最も大きく、添加なしに比べて添加量 5 %のバインダのほうが多少小さい。また、添加量 5 %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。改質Ⅲ型は、他のバインダとは異なり、荷重が急激に低下した後に荷重が一定にならず増加し続けている。表-1 より、改質Ⅲ型において DR 値と FD 値ともに最大となった。特殊樹脂を添加したバインダでは、添加量 10 %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。また、添加量 10 %と改質Ⅲ型の DR 値は同程度となった。

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発現しないことがわかる。添加量 10 %では特殊樹脂による影響が顕著で、添加量 15 %以上では荷重が逆に減少するため添加量が過多と考えられる。添加量 10 %と改質Ⅲ型ではバインダの変形抵抗性にあまり差がないと考えられる。添加量 15 %以上では、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。

表-2 より、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。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。このことより、添加量 10 %以外の特殊樹脂添加は、バインダの弾性的性状を強くし応力緩和しやすくするが、10 %の特殊樹脂の添加は、バインダの弾性的性状を若干弱くし応力緩和をしにくくする。結局、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。

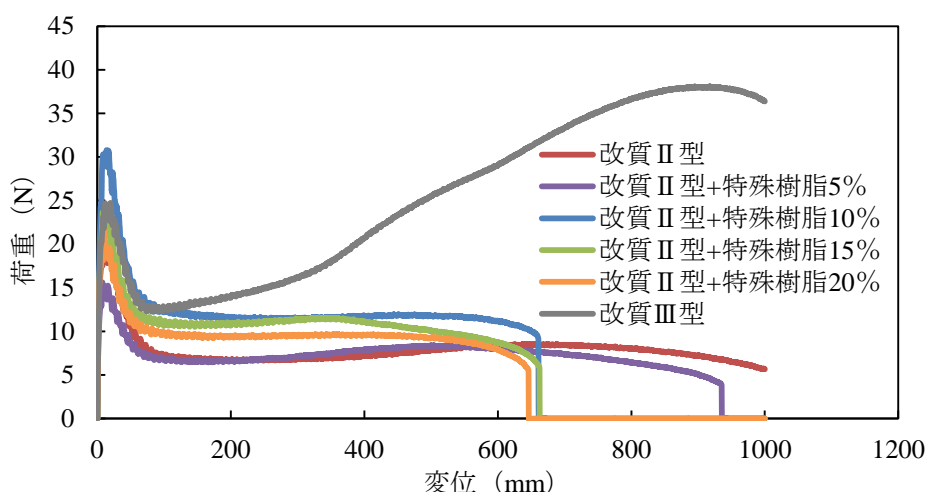


図-4 荷重－変位曲線

表-1 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
改質III型	24,547	343

表-2 弾性回復率と応力緩和時間の関係

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

3. ホイールトラッキング試験 (WT 試験) によるアスコンの塑性変形抵抗性の評価

3.1 試験方法

WT 試験は、舗装調査・試験法便覧〔第3分冊 B003〕⁴⁾に規定されており、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。WT 試験機の車輪上部に載荷したおもりで車輪走行時の荷重を、制御装置で恒温室内の温度と走行回数 (走行速度) を制御し、車輪走行中の垂直変位を記録することで試験を行う。まず、供試体を試験用の型枠に入れて固定し、試験温度 60 ± 2 °C に保った恒温室で5時間以上、24時間以内養生させた。その後、供試体を試験機に設置し、輪荷重をかけた試験車輪を規定の回数トラバース走行させた。このとき、試験車輪の走行位置は供試体の中央部とし、走行方向は供試体の転圧方向と一致するようにした。

3.2 試験結果および考察

WT 試験で得られた各バインダ種の供試体に対する DS の結果を表-3 に示す。DS は改質 II 型、改質 II 型に特殊樹脂を 10 % 添加したバインダ、改質 III 型の順に大きい。改質 II 型に特殊樹脂を添加することで改質 II 型に比べ、DS は約 53 % 大きくなっている。また、特殊樹脂を添加したバインダは改質 III 型に比べ約 13 % 小さい。これらのことから、改質 III 型には及ばないが、改質 II 型に特殊樹脂を添加することにより、塑性変形抵抗性をかなり向上できると判断できる。

表-3 DS の結果

バインダ種	DS (回/mm)		
	供試体①	供試体②	平均
改質 II 型	3,500	2,250	2,875
改質 II 型+特殊樹脂10%	3,938	4,846	4,392
改質 III 型	4,846	5,250	5,048

4. 直接引張試験によるアスコンのひび割れ抵抗性の評価

4.1 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。本試験は既往の研究⁵⁾に準拠して実施した。角柱状供試体に治具を接着した後、20 °C に保った空気恒温槽で 5 時間以上養生した。その後、治具の先端に球面ナットを取り付け、供試体を試験機に設置し、軸方向に一定速度で引張変位を与えた。このとき、引張荷重をロードセルで、与えた引張変位を変位計でそれぞれ計測した。応力値がピークとなる状態を破壊と定義し、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。

4.2 試験結果および考察

直接引張試験で得られた各種アスコン供試体の代表的な応力とひずみの関係を図-5 に示し、破壊応力および破壊時ひずみを読み取って集計した結果を表-4 にまとめる。改質 II 型と改質 II 型に特殊樹脂 10 % を添加したバインダの結果を比較すると、特殊樹脂の添加により破壊応力は約 23 %、破壊時ひずみは約 37 % 小さくなっている。改質 III 型は破壊応力・破壊時ひずみともに改質 II 型と同程度であった。

第 2 節で記述した FDT の試験結果では、特殊樹脂の添加により改質バインダは硬くなり、粘結力は大きくなるが伸度は低下した。本章の直接引張試験の結果ではアスコン供試体は低いひずみレベルでひび割れが発生しており、特殊樹脂の添加は、引張作用に対するひび割れ抵抗性を若干低下させるものと評価される。

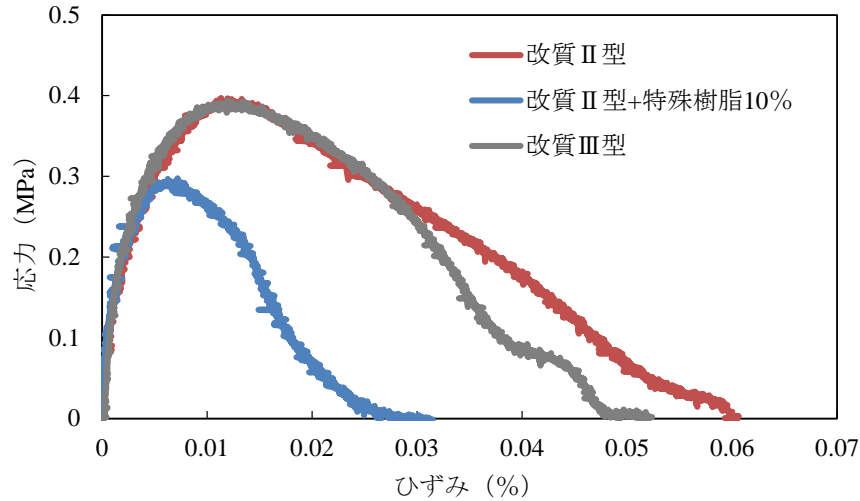


図-5 直接引張試験による応力-ひずみ曲線

表-4 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
改質III型	0.40	12.3

5. アスファルト混合物を用いた施工性の評価

5.1 試験方法

本研究では、アスファルト混合物の施工性を定量的に評価するために、アスファルト混合物の施工における締め固まりやすさおよび敷均しやすさに着目し、アスファルトバインダの違いによる影響について検討した。アスファルト混合物の締め固まりやすさについては既往の研究⁶⁾を参考に、Superpave Gyrotory Compactor (SGC)を用いたアスファルト混合物の締め固め試験を実施し、敷均しやすさについては国内の民間研究機関が考案した合材フロー試験と貫入抵抗試験⁷⁾を実施して評価を行った。

締め固め試験は、SGCを用いて円筒状供試体を作製する際のスファルト混合物を所定の密度に圧縮するために必要なエネルギーを回転数でモニタし、WEI (Workability Energy Index) および CEI (Compactability Energy Index)⁶⁾を評価値とした。合材フロー試験は、所定量のアスファルト混合物がロートから落下する時間を測定し、合材フロー値を評価値とした。貫入抵抗試験は、アスファルト混合物試料をマーシャルモールドに投入し、軽度の締め固めを施した試料表面に対し、一定速度で貫入する治具の抵抗値を測定し、貫入抵抗値を評価値とした。

5.2 試験結果および考察

締固め試験で得られた WEI および CEI の結果を表-5 に、合材フロー試験および貫入抵抗試験で得られた合材フロー値および貫入抵抗値の結果を表-6 に示す。

表-5 より、WEI は、どちらの締固め温度においても改質Ⅲ型を使用したアスファルト混合物が改質Ⅱ型に特殊樹脂を 10 % 添加したバインダを使用したものよりも大きいことがわかる。また、特殊樹脂 10 % バインダを使用したアスファルト混合物において、締固め温度 165 °C よりも 140 °C のほうが WEI および CEI が大きくなった。このことより、改質Ⅲ型を使用したアスファルト混合物のほうが改質Ⅱ型に特殊樹脂を 10 % 添加したバインダを使用したよりも締め固まりやすいと判断できる。また、改質Ⅱ型に特殊樹脂を添加したバインダのアスファルト混合物は 165 °C よりも 140 °C で締め固めたほうが締め固まりやすいが、改質Ⅲ型のアスファルト混合物は 140 °C よりも 165 °C のほうがわずかながら締め固まりやすい。しかし、アスファルト混合物の塑性変形抵抗性については、特殊樹脂を添加したバインダを使用したほうが高いと考えられる。結果として、施工における締固めという観点では、特殊樹脂を添加することの有意性は確認できなかった。

表-6 より、合材フロー値は、どちらの混合物温度においても改質Ⅲ型を使用したアスファルト混合物のほうが改質Ⅱ型に特殊樹脂を 10 % 添加したバインダを使用したものよりも大きくなった。また、どちらのバインダ種のアスファルト混合物においても温度が低下することで値が大きくなった。したがって、特殊樹脂を添加した改質バインダを使用したアスファルト混合物のほうが、ばらばらになりやすく、レーキ作用が容易であると評価できる。

貫入抵抗値は、低温時の特殊樹脂を添加したバインダにおいて最大となったが、バインダ種および混合物温度の違いによる差があまりなかった。検討したアスファルト混合物は最大骨材粒径が 20 mm であり、貫入抵抗値は測定位置によってかなりばらつくものであった。155 °C で特殊樹脂を添加したアスファルト混合物の値が大きくなっているが、測定値のばらつきを考慮すると、バインダの違いによる貫入抵抗値の差異はほとんどないものと評価すべきである。

表-5 WEI および CEI の結果

バインダ種	締固め温度(°C)	WEI(N·m)	CEI(N·m)
改質Ⅱ型+特殊樹脂10%	165	15.51	1.89
改質Ⅲ型		21.84	3.68
改質Ⅱ型+特殊樹脂10%	140	16.96	2.47
改質Ⅲ型		20.99	3.45

表-6 合材フロー値および貫入抵抗値の結果

バインダ種	混合物温度(°C)	合材フロー値(s)	貫入抵抗値(N)
改質Ⅱ型+特殊樹脂10%	165	4.4	61.8
	155	5.3	73.5
改質Ⅲ型	165	6.8	67.0
	155	10.7	65.1

6. まとめ

本研究の一連の検討で得られた知見を以下にまとめる。

- ・添加量 10 %において特殊樹脂による改質効果が最も高く、添加量 15 %以上ではバインダの粘結力が小さくなる。添加量 10 %は、改質Ⅲ型と同程度の変形抵抗性をもつが、粘結力、伸度ともに改質Ⅲ型には及ばない。
- ・特殊樹脂の添加はバインダの応力緩和性状にあまり影響を及ぼさない。
- ・特殊樹脂の添加はアスコンの塑性変形抵抗性をかなり向上させる効果があるが、ひび割れ抵抗性を若干低下させてしまう。
- ・特殊樹脂を添加した改質Ⅱ型は改質Ⅲ型に比べてアスファルト混合物の締固め性能は低いですが、締固め後の载荷に対する塑性変形抵抗性は高い。また、特殊樹脂を添加した改質Ⅱ型を使用したアスファルト混合物は、改質Ⅲ型を使用したよりもほぐれやすく、レーキ作用が容易である。

参考文献

- 1) AASHTO : Force Ductility Test of Asphalt Materials, AASHTO Designation : T 300-00, 2004.
- 2) AASHTO : Elastic Recovery Test of Asphalt Materials by Means of a Ductilometer, AASHTO Designation : T 301-08
- 3) 石井翔太 : バインダの応力緩和性状によるアスコンの流動抵抗性評価に関する研究, 長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文, 2019.
- 4) 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.
- 5) 覚張涼平 : 規格外再生骨材を使用した再生アスファルト混合物の配合設計に関する研究, 長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文, 2019.
- 6) Samer Dessouky, Arvindreddy Pothuganti, Lubinda F.Walubita, Dale Rand : Laboratory Evaluation of the Workability and Compactability of Asphaltic Materials prior to Road Construction, Journal Of Materials In Civil Engineering, pp.810-818, 2013.6.
- 7) 門田誠也, 横溝克美, 安藤政浩 : 新たな再生材料の適用と製造装置の改善による再生加熱アスファルト混合物の性能向上に関する一検討, 舗装, pp5-9, 2019.9.