

樹脂補強による埋設ジョイント舗層体の耐久性改善に関する検討

道路研究室 浅野 正宗
指導教官 高橋 修

1. はじめに

道路橋におけるジョイント部に存在する伸縮装置が段差を生み、振動騒音や車両走行性を悪くするなどの問題を引き起こしていたことから解決策としてノージョイント化工法が進んだ。その一つに埋設ジョイントを用いる方法がある。これは桁の継ぎ目をアスファルト混合物(以下、アスコンと称す)で埋め込んで表面に現れないようにすることで、前後の舗装表面と同一の材料を用いて舗装表面を連続化するものである。

本検討ではその中に格子パネルを埋め込んだ伸縮分散型の埋設ジョイントを対象としている。

近年、道路構造令の改正により、環境負荷の少ない舗装が積極的に取り入れられ、開粒度アスコンを用いた排水性舗装が橋面舗装にも多く用いられるようになった。それに対応するためには埋設ジョイント舗層体の表層部も開粒度アスコンを用いる必要がある。

埋設ジョイント舗装体は一般の土工部とは異なり橋軸方向の伸縮変位と桁端部の回転変位が存在する。これらの変形作用に対し、開粒度アスコンは密粒度アスコンに比べ骨材飛散や骨材の割れ・磨耗といった破損が生じやすい。そこで、これらの問題を解決するために、舗装体を強化し埋設ジョイントの破壊抵抗性を改善する必要がある。

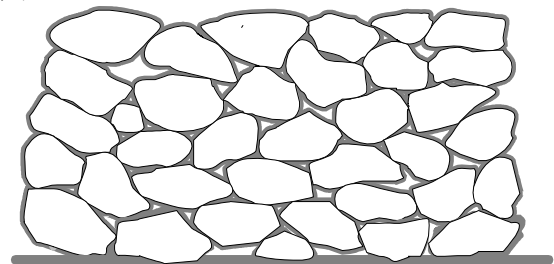
ここでは、開粒度アスファルト混合物の強化として骨材間の空隙に特殊樹脂を流し込んで硬化させる方法について検討している。

そこで、樹脂補強を施した開粒度アスコンと施

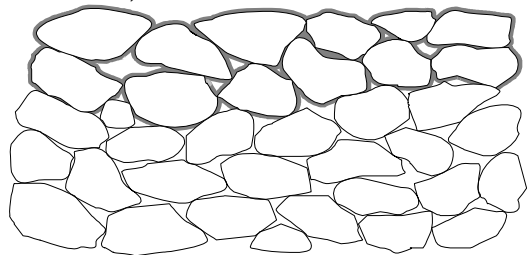
していないものに加え、比較用に密粒度アスコンを用意した。これらに対し、直接引張試験、静的曲げ試験、曲げ疲労試験を実施して、これらの破壊抵抗性を比較することで、樹脂補強の有効性を評価した。

2. 樹脂による補強方法の概要

樹脂による補強方法の概要は次のとおりである。開粒度アスファルト混合物の表面から、樹脂を骨材間の空隙に流し込み硬化させることで骨材間の結合をより強くするものである。この場合、骨材間の空隙を完全に充填してしまうのではなく、ある程度の空隙は残して透水機能は確保しておくものとする。樹脂による骨材相互結合力の増大と浸透して基層との境界に形成されるある種の補強膜によって、強制伸縮変位に対する強度特性や曲げ引張に対する抵抗性が改善されるものと期待される。



a) 本検討での補強概念



b) トップコート工法の補強概念

図-1 トップコート工法との違い

ここで、排水性舗装の表面に樹脂材料を散布・固化させる既往の工法としてトップコートがある。トップコート工法の目的は排水表面に樹脂によって強固な皮膜を形成することによって、排水機能を維持したまま摩擦抵抗性や骨材飛散などに対する耐久性を向上させることである。

トップコート工法はあくまでタイヤ荷重による骨材飛散の防止が主目的であること、また表面から数cmの部分のみを補強の範囲として考えていることから本研究の補強方法とは異なるものといえる。図-1にトップコート工法との違いを模式的に示す。

3. 使用材料

3.1 アスファルト混合物

開粒度アスコンの骨材配合は目標空隙率を20%として、日本道路協会「排水性舗装技術指針(案)」²⁾示されている粒度範囲の中央値を参考にした。アスファルトバインダーは高粘度改質アスファルトを使用し、その量は日本道路公団が規定している付着試験³⁾に基づいて決定した。密粒度アスコンの配合設計は日本道路協会「アスファルト舗装要綱」⁴⁾の中央値を参考にし、アスファルトバインダーに一般的に用いられるストレートアスファルト60/80を使用した。配合設計の結果を表-1に示す。また高粘度改質アスファルトの物性値を表-2に示す。

3.2 補強用樹脂

補強に使用した樹脂は常温硬化型のビニルエステル樹脂でモノマーにメチルメタクリレートを使用しており、柔軟性、付着性、施工性に優れている。液状での物性値および硬化後の物性値を表-2、表-3に示す。硬化後の物性値において温度依存性が確認される。後述するアスコンの引張強度およびは断時ひずみと比較しても桁違いに大きい値である。

表-1 配合設計の結果

フルイ目 (mm)	通過質量百分率(%)	
	開粒度アスコン	密粒度アスコン
19	100(100)	100(100)
13.2	96.2(90-100)	98.3(95-100)
4.75	18.5(11-35)	62.2(55-70)
2.36	15.8(10-20)	42.2(35-50)
0.6	9.3	22.9(18-30)
0.3	7.2	16.0(10-21)
0.15	5.8	9.2(6-16)
0.075	4.7(3-7)	7.0(4-8)
アス量	5.2(4-6)	5.8(5-7)

() 内は粒度範囲を示す

表-2 樹脂の液状での物性値

項目	物性値
粘度(25°C, Mpa·s)	200~500
硬化特性	5~15
可使時間(25°C, hr)	

表-3 樹脂の硬化後の物性値

温度(°C)	引張強度(kPa)	引張ひずみ($\times 10^{-6}$)
-10	27302	150,000
0	27900	200,000
10	21604	280,000
23	10503	1,360,000

3.3 供試体作成方法

用意した供試体は樹脂を注入していない開粒度アスコン(樹脂なし)、樹脂注入量の多い開粒度アスコン(樹脂多)、樹脂注入量に少ない開粒度アスコン(樹脂少)と密粒度アスコン(密粒度)の4種類である。試験用供試体は各試験の供試体寸法の型枠を用意し、ローラーコンパクターを用いて板状のアスコンを作製する。一日養生の後、ダイヤモンドカッターで切り出す。樹脂補強を施す供試体は、板状の状態でも底面、側面から樹脂が流れ出ないようにし、表面から樹脂を流し込む。硬化後、他の供試体同様に切り出す。樹脂を注入

する供試体は、作製した供試体の空隙率が 17%であったため、その空隙率の 25%を充填する量（樹脂少）と 50%を充填する量（樹脂多）の 2 通り作製した。

4 試験方法

評価方法として直接引張試験、静的曲げ試験、繰返し曲げ試験を実施した。

4.1 直接引張試験

試験は以下の手順で行った。供試体の両端面にエポキシ樹脂系接着剤で引張用の治具を固定する。接着剤の硬化後、空気恒温槽で設定温度になるまで十分に養生を行う。養生を終えた供試体から、試験装置にセットし、一定ひずみで供試体を引き伸ばした。試験条件は試験温度を 10℃、20℃、30℃の 3 水準とし、変位速度を 0.1mm/min、1.0mm/min、10mm/min の 3 水準としてそれぞれの条件で行った。供試体の寸法は開粒度アスコンの供試体は幅 60mm、厚さ 40mm、高さ 240mm とし、密粒度アスコンの供試体は幅を 40mm とした。

試験は各条件 3 回行った。

4.2 静的曲げ試験

静的曲げ試験は、試験方法が舗装試験法便覧（日本道路協会）に規定されているためそれに準拠して行った⁵⁾。ただし、標準の試験法では試験温度が-10℃のみであるが、より実的な温度でも評価できるように-10℃、0℃、10℃、20℃の 4 条件で行った。供試体寸法は幅 100mm、厚さ 50mm、高さ 300mm とし、各条件 3 回試験を行った。

4.3 繰返し曲げ試験

繰返し曲げ試験は 2 点支持 2 点荷のひずみ制御方式で試験を行った。供試体の設置状況を図-2 に示す。

与えたひずみは両振りの正弦波で振動数

を 5Hz とした。ひずみ振幅は試験によって異なるが、300 μ ～800 μ の範囲で 4 水準とした。試験温度は-10℃と 5℃の 2 水準とし、1 条件につき 5 回の試験を行った。試験供試体は開粒度アスコンに樹脂を多く注入した（樹脂多）と樹脂を注入していない（樹脂なし）と密粒度アスコン（密粒度）の 3 種類で行った。

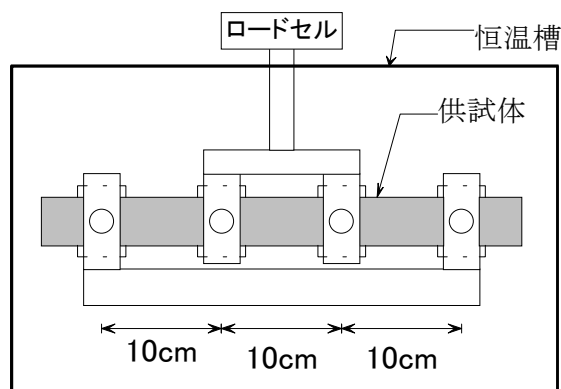


図-2 供試体設置状況

5. 試験結果および考察

5.1 直接引張試験

直接引張試験の結果例として、図-3 に試験温度 30℃、変位速度 0.1mm/min における応力-ひずみ曲線を示す。それぞれの供試体について引張強度が最も平均値に近いもの示した。応力は荷重を供試体断面で除した値、ひずみは変形量を供試体長さで除した値である。各曲線の最大値、最大値までの傾きから樹脂補強による補強効果が確認される。

ここで、応力が最大となったときを破断と定義し、そのときのひずみとスティフネスについて整理した。30℃における試験結果を図-4、図-5 に示す。図-4 は破断時ひずみと変位速度の関係を表し、図-5 は破断時スティフネスと変位速度の関係を表している。温度変化に伴う桁伸縮は非常に緩慢な速度であることから、変位速度の遅い 0.1mm/min に注目すると、開粒度アスコンは高粘度改質アスファルを用いているため破断時ひずみが密粒度アスコンと比べて大

きいことが分かる。樹脂を注入した供試体の破断時ひずみは補強を施すことで小さくなっているが、密粒度アスコンを少し下回った程度で極端に小さくはならなかった。

開粒度アスコンの破断時スティフネスは非常に小さいが、樹脂による補強を施すことで8倍以上の値となった。さらに、その値は密粒度アスコンを上回る値となった。

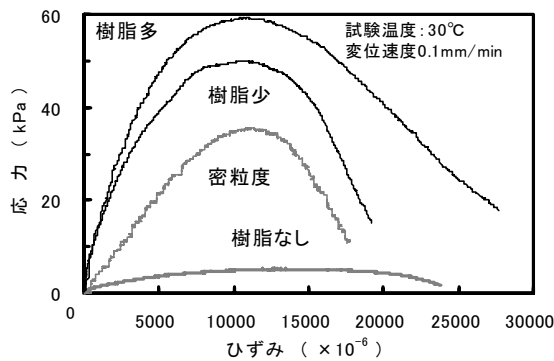


図-3 直接引張試験の結果例

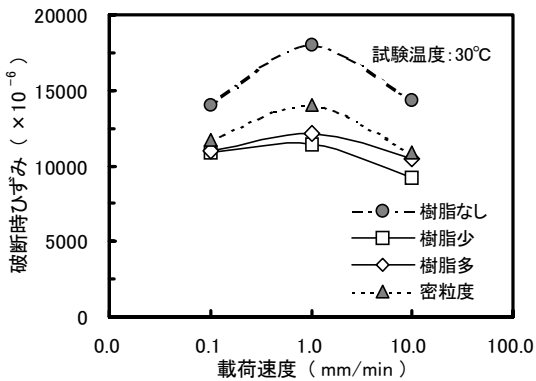


図-4 は破断ひずみと載荷速度

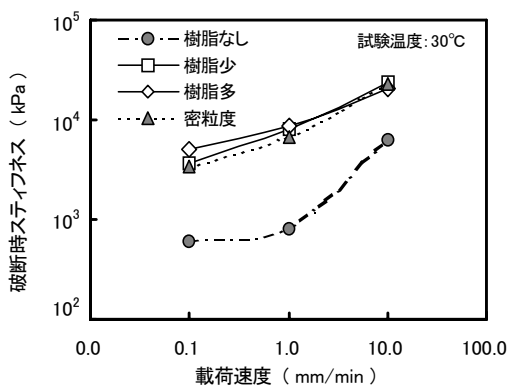


図-5 破断時スティフネスと載荷速度の関係

伸縮分散型の埋設ジョイントの場合、桁の伸縮変位により舗装体が引き伸ばされる際に、埋設ジョイント舗装体はひずみ分散機能⁹⁾を有するため、引張に対する舗層体の強度特性は非常に重要になってくる。特に、スティフネスが小さいとひずみが舗装体全体に分散されず、桁の遊間部に集中するため、早期の破壊につながることになる。

本検討では、樹脂補強によりスティフネスを大きく改善した。

以上より、ひずみ分散機能の観点から樹脂補強を施すことでその機能が向上し発生するひずみを小さくすることができる。結果的に耐久性改善につながることから樹脂補強の有効性が確認された。

5.2 静的曲げ試験

静的曲げ試験の結果は、舗装試験法便覧に示してある破壊時の曲げ強度とそのときのひずみを算出して整理した。曲げ強度と温度の関係を図-6に示し、破断時ひずみと温度の関係を図-7に示す。樹脂注入量の違いによる差は明確ではないが、全体的に樹脂補強を施すことで曲げ強度は増加している。破断時ひずみにおいては、開粒度アスコンに注入した樹脂量の違いによる差は表れなかった。また、補強の有無による差もみられなかったが、密粒度アスコンよりも全体として大きい値をとっている。

埋設ジョイント舗層体を受ける変形作用のうち回転変位は、曲げによるものであるがこの変形作用は、動的なものであることから、繰返し曲げ試験を行い評価する。

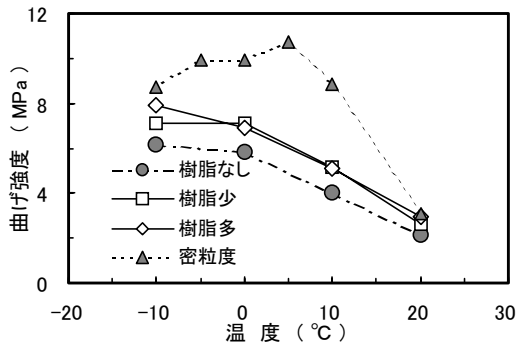


図-6 曲げ強度と曲げ強度の関係

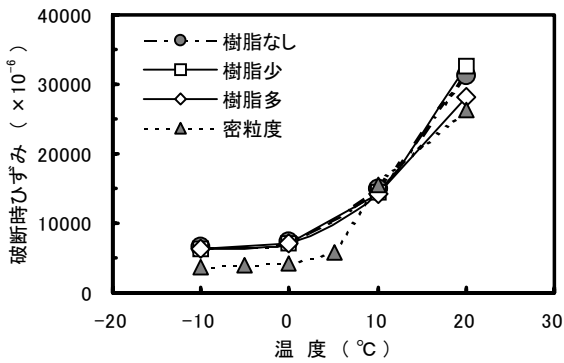


図-7 破断時ひずみと温度の関係

5.3 繰返し曲げ試験

繰返し曲げ試験の結果例を図-8に示す。開粒度アスファルト混合物は、バインダーに高粘度改質アスファルトを用いているため、密粒度アスファルト混合物のように応力が急激に低下せず大きな弧を描きながら低下する。

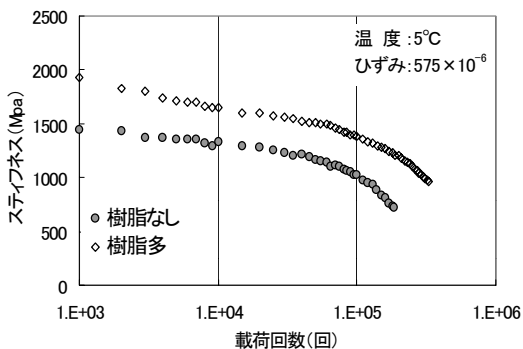


図-8 曲げ疲労試験結果の一例

そのため最小2乗法で近似直線を引いて交点から破壊点を求めるのではなく、応力が50%減少したときを破壊点とする米国のSHRP (Strategic Highway Research Program)で示されている規定に準拠した。1000回載荷時点でのステイフネスを初期ステイフネスとし、初期ステイフネスが50%低下した時点を破壊としている。また、そのときの載荷回数を破壊回数とし、破壊回数とひずみの関係についてまとめると図-9、図-10となる。図-9は試験温度が-10°C、図-10は試験温度が5°Cにおける結果である。プロットした点が各試験結果を表し、直線がそれを近似したものである。近似した直線が、より右側にあれば破壊抵抗性が高いといえる。

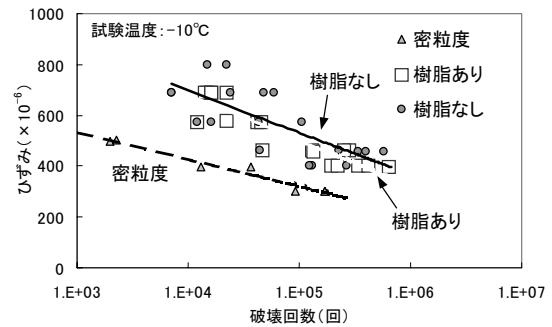


図-9 破壊回数の比較 (-10°C)

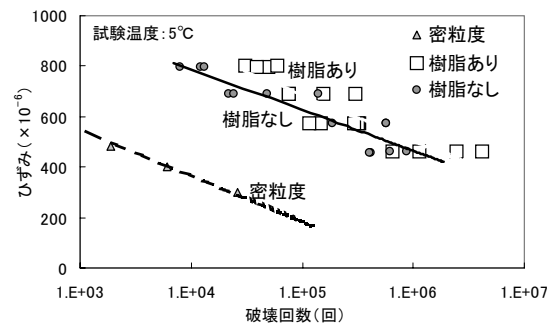


図-10 破壊回数の比較 (5°C)

-10°Cの結果では、試験結果がかなりばらついており樹脂補強による明確な差は確認できなかった。注目すべきは密粒度アスコンとの差異である。開粒度アスコンを用いた供試体は、密粒度アスコンに比べて大きく右側に位置しており、非常

に疲労抵抗性が高いといえる。これは、密粒度アスコンのバインダーはストレートアスコンを用いているのに対し、開粒度アスコンのバインダーは、高粘度改質アスファルトを用いているためと考えられる。5℃の試験条件においては、試験結果はばらついているものの樹脂補強により多少右側にシフトしており、疲労破壊抵抗性が改善されているものと考えられる。密粒度アスコンと比べた場合、-10℃の試験結果と同様、かなり右側に位置しており破壊抵抗性が高いことが確認された。以上から、樹脂補強による疲労破壊抵抗性への効果は明確な結果が得られなかったが、密粒度アスコンと比べた場合、いずれの温度域においても高粘度改質アスファルトを用いることで優れた疲労破壊抵抗性を有していることから、埋設ジョイント舗層体の表層に開粒度アスコンを用いた場合、動的な変形作用においては十分な疲労破壊抵抗性があると評価された。

6. 結論

本検討では、埋設ジョイント舗層体の表層部の開粒度アスコンに樹脂補強を施し、その効果を評価するため、直接引張試験、静的曲げ試験、繰返し曲げ試験を実施した。

これらの試験結果から、樹脂を注入することで、静的な変形作用に対し、破断時ひずみが多少小さくなるもののスティフネスが大きくなることが確認された。このことは、ひずみ速度の遅い変形作用に対し顕著に表れていた。

この結果を、実際の埋設ジョイントにおきかえた場合、桁伸縮の緩慢な速度における変形作用に対しひずみ分性能を向上させるのに非常に効果である。

繰返し曲げ試験の結果から、開粒度アスコンは密粒度アスコンよりも疲労破壊抵抗性が高かった。

以上のことから、伸縮分散型の埋設ジョイント舗層体の表層部に開粒度アスコンを用いる場合、

樹脂による補強効果は大きく耐久性向上において必要な工法といえる。

7. 今後の課題

本検討は単純化された変形作用に対するものである。実際の埋設ジョイント舗装体が受ける変形作用は複雑であり、それらが同時に作用した場合は考えていない。今後はこれらを総合的に捕らえ、さらに詳しい耐久性を明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 高橋修, 稲葉武男: 埋設ジョイントの概要と現状について, 舗装, Vol.32, No.6, pp21-26, 1997.
- 2) (社)日本道路協会: 排水性舗装技術指針(案), p.30, 1996
- 3) 日本道路公団試験方法, JHS232-1992, 排水性アスファルト混合物の付着試験
- 4) (社)日本道路協会: アスファルト舗装要項, p.92, 1993
- 5) (社)日本道路協会: 舗装試験法便覧, pp.562-567, 1988
- 6) 高橋修, 丸山暉彦, 稲葉武男: 格子パネルを用いた埋設ジョイントのひずみ分散機能に関する基礎的検討, 土木学会論文集, No.532/V-30, pp.77-87, 1996.

