

直接引張試験による 3 層構造埋設ジョイントのひび割れ抵抗性の評価

交通工学研究室 上野 あかね
指導教員 高橋 修

1. はじめに

伸縮分散型埋設ジョイントとは、橋梁ジョイント部における橋面舗装の基層部に格子パネルを用いて舗装全体を補強し、桁端部の変位による応力、ひずみを舗装体の広範囲に分散吸収させる工法の一つである。埋設ジョイントの主な破壊形態は、主桁の温度変化に起因する伸縮によって床版を含めた桁端部が橋軸方向に変位することで引き起こされる横断クラックの発生である。このような外的な変形作用は、曲げを伴わない緩慢とした強制変位である。検討対象としている埋設ジョイントは、表層と基層、およびその下の格子パネルを埋め込んだ複合体の 3 層で構成されている。格子パネルの特性によってパネル複合体の層には、単純引張に対しては破断が見られない変形挙動であるため、埋設ジョイントの桁伸縮に伴うひび割れは、表層と基層の伸縮性能に依存している。

本研究では、3 層構造埋設ジョイントのひび割れ抵抗性について、各層単体と、表層と基層を一体化させた 2 層一体の供試体の直接引張試験を実施し、3 層構造体のひび割れ抵抗性能を評価した。さらに、埋設ジョイントに作用する実際により即した外力を再現し、それに対する耐久性を把握するため、供試体に段階的に引張を作用させる段階引張試験を行い、定ひずみ速度の引張に対する性能と比較した。そして、スティフネスの推定を加え、実構造に生じる最大ひずみを推定し、以下に示す構造条件におけるひび割れ抵抗性能を評価した。

2. 検討対象としている埋設ジョイントの構造とアスファルト混合

2.1 3 層構造埋設ジョイントの構造概要

本研究で検討対象としている埋設ジョイントは、図 1 に示すとおり 3 層のアスファルト構造体である。構造上の条件を以下に示す。表基層下のパネル複合体には通常のアスファルト混合物とは異なり粗砂を使用していない HPM 混合物を使用する。スライド区間長は 500 mm で、前後の定着長は 125 mm とする。表層は厚さ 40 mm とし、最大骨材粒径が 13 mm の開粒度アスファルト混合物を使用、また基層は厚さ 40 mm とし、最大骨材粒径が 13mm の密粒度アスファルト混合物を使用するものとする。

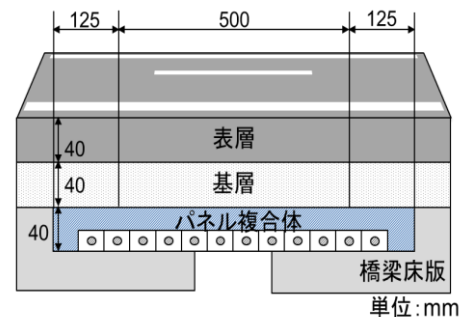


図 1 埋設ジョイントの構造断面

表 1 各種混合物の配合

混合物	表層 (開粒度)	基層 (密粒度)
通過質量百分率 (%)	19 mm	100
	13.2 mm	93.4
	4.75 mm	62.2
	2.36 mm	11
	600 μm	7.4
	300 μm	6.2
	150 μm	5.3
75 μm	4.3	
設計アスファルト量	5.1 (H型)	5.5 (III型)

2.2 使用混合物の概要

本研究で使用した 2 種類のアスファルト混合物の配合を表 1 にまとめる。表層に使用した開粒度アスファルトは、目標空隙率が 20% になるように配合設計を行い、設計アスファルト量はダレ試験によって決定した。アスファルトバインダは改質アスファルト H 型である。基層の密粒度混合物は、粒度範囲の中央値を目標粒度として骨材配合を決定し、改質アスファルト III 型-W(耐水性)を使用したマーシャル法(両面 50 回突き)によって設計アスファルト量を決定した。

3. 直接引張試験によるひび割れ抵抗性の評価

3.1 試験方法



写真1 単体での試験の実施状況



写真2 2層での試験の実施状況



写真3 2層での試験後の状況

2種類の直接引張試験によってひび割れ抵抗性の評価を行った。各層単体での試験は、既往の研究²⁾と同様に幅40mm×高さ40mm×長さ240mmの供試体を用いた。2層一体の供試体は基層の密粒度アスファルト混合物をローラコンパクタで締め固めた後、その上に表層の開粒度アスファルト混合物を敷き均し、同様にローラコンパクタで締め固めて作製した。表層、基層とも厚さは40mmであり、層間にはタックコートを施工した。その後、ダイヤモンドカッタで幅80×厚80×長240mmの形状に切断し、両単部に引張用治具をエポキシ接着剤で固定した。供試体を空気恒温槽の中に入れ、試験温度で養生した後、偏心荷重が作用しないよう一定の変位速度で試験を実施した。2層構造の供試体は断面が大きいため、治具との接着を確定するために、4辺を箱状に囲んでエポキシ接着剤を充填した。写真1に単体での試験の実施状況を、写真2に2層一体の試験の実施状況、写真3に2層一体の試験後の破壊状況、また試験条件を表2に示す。表層基層の2種類それぞれにおいて試験条件を変化させたアスコンの基本的な引張特性の把握を行った。

表2 試験条件

項目		試験条件
供試体寸法 (mm)	各層単体	40×40×240
	2層	80×80×240
試験数		N=3
試験温度 (°C)		25, 35
試験速度 (mm/min)		0.2, 0.5, 1.0

3.2 破壊時強度の比較

直接引張試験によって得られた応力-ひずみ曲線のピーク点を破壊と定義し、そのときの応力を破壊強度とした。試験温度25°Cにおける破壊強度を図3に、試験温度35°Cにおける破壊強度を図4にそれぞれ示す。どの供試体条件においても、変位速度が高くなるにつれて破壊強度が大きくなる傾向がみられる。ただし、表層単体は他の供試体と較べてその程度は小さい。25°Cと35°Cを比較すると、温度が高くなると破壊強度が小さくなることがわかる。これらの傾向はアスファルトバインダーと骨材配合に起因する強度特性であるといえる。現場の埋設ジョイントを考えると、ひずみ速度がかなり低い条件であることから、引張速度0.2 mm/minで試験温度35°Cの条件が最も実際に近い強度と考えられる。注目されるのは、2層一体の破壊強度があまり低くないことである。表層単体は開粒度混合物で破壊強度がかなり低い、2層一体はその影響を大きく受けていない。

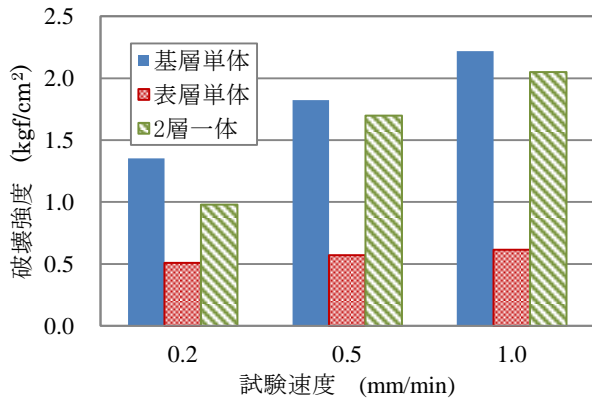


図3 試験温度 25°Cにおける破壊強度

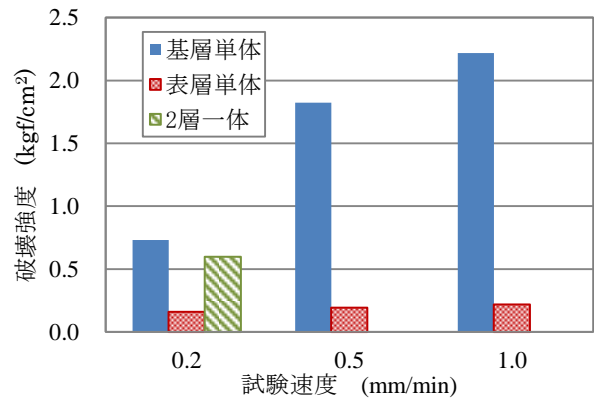


図4 試験温度 35°Cにおける破壊強度

3.3 破壊時ひずみの比較

破壊時ひずみは応力-ひずみ曲線のピーク点より求めた。図5に試験温度 25°Cにおける破壊時ひずみを、図6に試験温度 35°Cにおける破壊時ひずみをそれぞれ示す。破壊時ひずみは、変位速度の違いによる大きな差異がみられない。つまり、本試験の引張速度より低いひずみ速度においても、破壊時ひずみは大きく下回らないと推定される。また、より粘度が高いバインダーを使用している表層は、基層に比較して破壊時ひずみは約3倍も大きな値となった。実際に最も近い強度と考えられる2層一体の引張速度0.2 mm/minで試験温度35°Cの条件に注目すると、破壊強度の場合と違って表層単体の値よりも小さい。しかし、基層単体よりは大きな値となっていることから、2層一体の破壊時ひずみは基層の影響を強く受けると思われる。

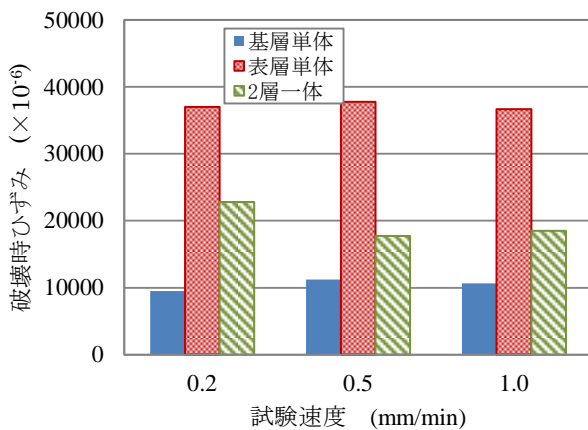


図5 試験温度 25°Cにおける破壊ひずみ

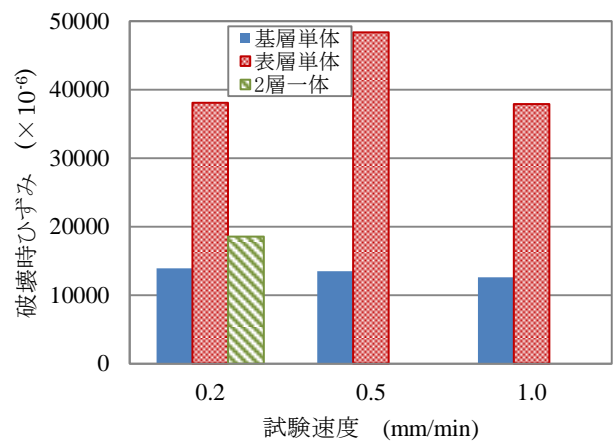


図6 試験温度 35°Cにおける破壊ひずみ

4. 段階引張試験による伸縮性能の評価

4.1 試験方法

供試体は、3節と同様のものを使用し、基層混合物について検討を行なった。本研究で実施した試験法は、まず通常実施している直接引張試験と同様に、供試体があるひずみレベルに達するまで引き伸ばし、その後この状態を30分間保持して応力緩和の様子をモニタ

表3 試験条件

項目	試験条件
載荷速度 (mm/min)	0.2
試験温度 (°C)	20, 25, 35
緩和時間 (min)	30

する。そして、この操作を供試体が破壊に至るまで繰り返す。本研究で使用した载荷装置は、供試体の上部の治具を固定し、载荷用クロスヘッドを下へ移動させることにより引張応力を発生させている。実際の桁伸縮による载荷作用は引張と圧縮を繰り返すが、引き伸ばした供試体を逆に押し縮めることができないことから、引張作用を停止することにより応力緩和させている。表 3 に試験条件を示す。既往の研究で明らかとなっている实际的に生じるひずみ速度は非常に緩慢であることから、研究室で再現できる最も遅いひずみ速度で試験を行った。試験は 1 条件につき 2 回行った。

各段階に与えるひずみレベルは図 7 に示すように設定した。 ϵf は直接引張試験での破壊時ひずみ、 ϵ_1 は各段階において与える 1 回当たりのひずみ量、そして $\epsilon' f$ は段階引張試験で得られた破断ひずみを示している。ここでは ϵ_1 はそれぞれの試験条件で得られた ϵf の 20% とした。段階引張試験では $\epsilon' f$ の判断が困難であるため、以下のように定義した。図 7 に示したように、一回の引張に対する応力の増加量は引張回数の増加に伴って大きくなり、ある引張回数を超えると、その増加量は徐々に低下していく。そこで、本研究では応力の増加量が、最大時 σ_{max} の 1/2 未満に低下したときを破壊と定義し、それまでに与えたひずみの累計を破壊時ひずみとした。

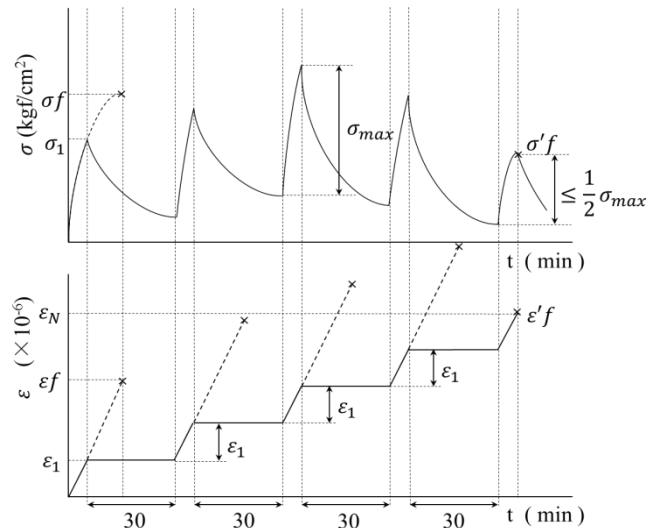


図 7 ひずみレベルと破壊の定義

4.2 引張作用の違いによるひび割れ抵抗性能

段階引張試験では、引張荷重により応力は増加するが、引張作用を休止すると応力は大きく緩和し、引張を再開すると再び応力は増加することが認められた。試験温度に作用されず破壊時ひずみは $20,000 \times 10^{-6}$ 前後になることが確認された。図 8 は段階引張試験で得られた破壊時ひずみと、直接引張試験で得られた破壊時ひずみの比を試験温度との関係で整理したものである。20℃と 25℃の条件においては段階引張試験での破壊時ひずみは直接引張試験でのものの約 2 倍、35℃の条件においては約 1.2 倍と増加しており、段階的に引張することによって破壊までのひずみ量は増加することが確認できた。

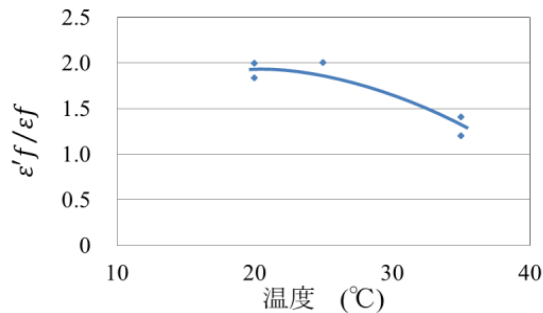


図 8 ひずみの増加量と試験温度の関係

5. 実構造に生じる最大ひずみの推定

本研究が対象としている舗装体は異なる 3 層のアスファルト層で構成されているが、埋設ジョイント特有の構造を図 9 に示すような 2 次元モデルに単純化し、既往の研究で得られた以下の式で実際の舗装体に発生するひずみを推定した。

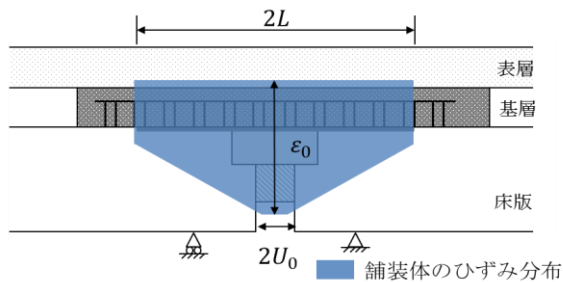


図 9 埋設ジョイントのひずみ分布

$$\varepsilon_0 = \frac{U_0}{L} + \frac{\mu mg}{2E} L$$

ここに、 ε_0 は最大ひずみ、 U_0 は桁伸縮による強制変位、 L はスライディング区間長の1/2、 μ は2層式スライディングシート間の静摩擦係数、 m はジョイント本体の密度、 g は重力加速度、 E は埋設ジョイント本体のスティフネス(弾性係数)である。既往の研究よりパネル複合体に対して、時間温度換算則を適用し、実際の埋設ジョイント3層構造埋設ジョイントの舗装体スティフネスを推定すると、 300 kgf/cm^2 程度となった。そして、それらの結果から、実際の舗装体に発生するひずみは 9040×10^{-6} 程度と推定された。先の試験結果と比較すると基層単体ではひび割れの可能性を否定できないが実際の構造体に近い2層で試験した場合と、段階的に引張作用を与えると破壊ひずみは予想最大ひずみを上回ることから応力緩和とパネル複合体のひずみ分散機能を考慮すると、適用性は高いと推察される。

5. まとめ

3層構造埋設ジョイントのひび割れ抵抗性について、各層単体と、表層と基層を一体化させた2層一体の供試体の直接引張試験を実施し、3層構造体のひび割れ抵抗性を評価した。さらに、供試体に段階的に引張を作用させる段階引張試験を行い、定ひずみ速度の引張に対する性能と比較した。実構造に生じる最大ひずみを見積もって、3層構造の埋設ジョイントの構造条件におけるひび割れ抵抗性を評価した。以下に、本研究で得られた知見を示す。

- 1) 表層単体、基層単体、および表層と基層混合物の2層構造体において直接引張試験を行った。その結果、単体と2層構造体では明確にひび割れ抵抗性の差が確認された。2層構造の供試体は単体と比較した場合に基層単体の影響を強く受ける傾向が確認され、パネル複合体の層においては、単純引張に対しては破断が見られない変形挙動であることが確認された。
- 2) 段階引張試験において引張荷重により応力は増加するが、引張作用を休止すると応力は大きく緩和し、引張を再開すると再び応力は増加する。引張回数の増加とともに応力の増加量は増え、最大値になった後次第に応力の増加量は減少していく傾向が見られた。また、試験温度の上昇に伴い、応力のピークと応力緩和の程度の増加量は減少した。直接引張試験と比べ破壊時ひずみは大きくなることが確認された。
- 3) パネル複合体に対して、時間温度換算則を適用し、実際の埋設ジョイント3層構造埋設ジョイントの舗装体スティフネスを推定すると、 300 kgf/cm^2 程度となる。そして、それらの結果から、実際の舗装体に発生するひずみは 9040×10^{-6} 程度と推定された。
- 4) 上記1)～3)の知見より3層構造の埋設ジョイントの構造条件における適用性は高いと推察される。

参考文献

- 1) 古川雄太：高ポリマー改質アスファルトを用いた伸縮分散型埋設ジョイント基層の伸縮特性，長岡技術科学大学卒業論文，2013。
- 2) 吉田隆輝，高橋正一：アスファルト混合物の直接引張試験について，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，第5部，pp.66-67，1994。
- 3) 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.77-87，1996.2。
- 4) 社会法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説〔I 共通編〕，pp.72-75，1978。