

クラックシール材の低温時性能の評価方法と 性能向上に関する一検討

A study on test method and performance of crack sealing materials for cold region

(独)土木研究所 寒地土木研究所 ○正 員 丸山 記美雄 (Kimio Maruyama)
 同上 正 員 安倍 隆二 (Ryuuji Abe)
 大成ロテック株式会社 技術研究所 正 員 紺野 路登 (Michito Konno)
 同上 正 員 島崎 勝 (Masaru Shimazaki)

1. 研究の背景と目的

アスファルト舗装に発生したクラックの補修方法の一つとして、瀝青系加熱型注入材を用いたシール材注入工法が適用されている。しかし、寒冷地域においてはシール材注入後一冬や二冬経過後に、クラックシール材に剥がれ、接着不良、亀裂などが発生し、クラックからの水の浸入を防止する効果を喪失するケースが見られる。低温時にクラックシール材の応力緩和性や変形性および付着性が低下して、クラックシール材自体に発生した応力やクラック部の動きにクラックシール材が追従できなくなることが原因だと考えられ、クラックシール材の性能向上が望まれるところである。

また、クラックシール材には、加熱型注入材（以下、既存のクラックシール材と称す）が主に用いられており、その品質目標値については、表-1 に示すコンクリート舗装目地材の加熱型注入材の品質目標値が転用されているのが実態である。表-1 に示す引張量は、コンクリートブロック面に付着させた加熱型注入材を引き剥がす試験（温度-10℃、引張速さ 0.1mm/6 分間）によって得られる値であり、低温時の変形性を規定する項目と位置づけられる。高弾性タイプの引張量の目標値は 10mm 以上で低弾性タイプと比較して 3 倍以上であるが、寒冷地域においては、高弾性タイプであっても亀裂などの損傷が早期に生じるケースがあることから、当該試験方法並びに引張量の目標値は十分なものではない可能性も指摘できる。

そこで、筆者らは寒冷地域に用いるクラックシール材について、低温時のクラック部の挙動等や供用状況を反映した新たな評価試験方法の開発を行うこととした。同時に、クラックシール材の性能向上（耐久性の向上）を目的として低温時の応力緩和性や変形追従性および付着性に優れたクラックシール材の開発を試み、室内試験および試験施工で効果の検証を実施したので、報告する。

表-1 コンクリート舗装目地材の加熱型注入材の品質目標値¹⁾

試験項目	低弾性タイプ	高弾性タイプ
針入度(円すい針) (mm)	6以下	9以下
弾性(球針)	—	初期貫入量0.5~1.5mm 復元率60%以上
流動 (mm)	5以下	3以下
引張量 (mm)	3以上	10以上

2. 新たな低温時性能評価試験方法の開発

従来のシール材規格や評価試験方法では、寒冷地におけるシール材に必要な機能を適切に評価できていない部分があると考えられることから、寒冷地域のクラックシール材に対する要求性能を的確に評価できる簡便な試験方法を開発することとした。

寒冷地域のクラックシール材に対する要求性能としては、低温域での応力緩和性、変形追従性および付着性が重要であり、それら要求性能を同時に簡便に評価する試験方法として、タフネス・テナシティ試験²⁾を応用することが有用ではないかと考えた。タフネス・テナシティ試験とは、半球状の鋼製テンションヘッドをアスファルト試料中に埋没させて付着させ、試験温度 25℃で一定時間養生後にテンションヘッドを所定の速度(500mm/min)で引っ張り、その際の荷重と変位を測定する試験であり、試験状況を写真-1 に示した。この試験は常温におけるアスファルトの把握力と粘結力を知るために行われるが、筆者らは、低温時におけるクラックシール材の特性を評価するために、予備試験なども実施したうえで試験条件を以下の通り変化させた。

- 1) 試験温度を-10℃に変更
- 2) 試験速度を 1mm/min に変更

つまり、試験温度を冬期間の供用温度程度とし、引っ張り速度をひび割れの動きに近くなるよう遅くしたものであり、これを低温タフネス・テナシティ試験（以下、低温タフテナ試験）と呼ぶことにした。低温タフテナ試験では、試料が金属半球を把握しながら変形する際の抵抗性を評価することができ、付着性や変形追従性および応力緩和性などが評価できる。

上記条件で実施した既存のクラックシール材（低弾性タイプおよび高弾性タイプ）の低温タフテナ試験結果を図-1 に示す。

低弾性タイプは、破壊荷重が大きく、変位は小さい。また、金属半球を引き抜く際に部材が割れるなど、脆性的な破壊を生ずる。一方、高弾性タイプは、荷重 500N 程度で推移して変位が 15mm 程度まで延びて追従し、その後金属半球との付着が切れて剥がれる状況であった。

低弾性タイプは脆性的な破壊を生じることからも変形追従性や応力緩和性に劣り、高弾性タイプは低弾性タイプよりも付着性や変形追従性および応力緩和性に優れるという特長を有すると考える。



写真-1 タフネス・テナシティ試験の状況
(試験温度 25°C)

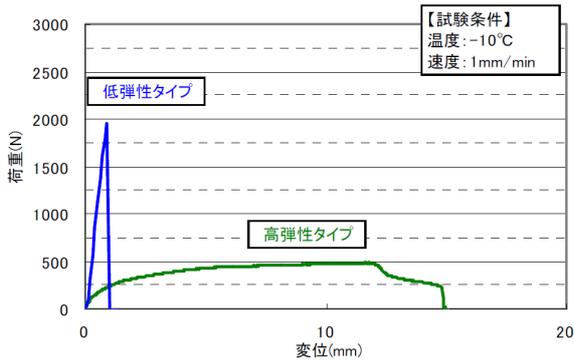


図-1 低温タフテナ試験結果 (試験温度-10°C)

3. 寒冷地用クラックシール材の性能向上

寒冷地域では付着性や変形追従性および応力緩和性に優れた高弾性タイプをクラックシール材に用いても、早期に亀裂などの損傷が生じるケースがある。

そのため、早期に損傷が生じない寒冷地用クラックシール材としては、更に低温時の変形追従性や応力緩和性を向上させることが必要と考え、開発を行った。

筆者らは、道路舗装のリフレクションクラック抑制対策で実績のある特殊改質アスファルト³⁾をクラックシール材に改良することで、高弾性タイプより低温時の変形追従性や応力緩和性を向上させることができるのではと考えた。

開発したクラックシール材(以下、開発品と称す)の性状を、高弾性タイプの目標値と合わせて表-2に示す。

開発品の針入度(円すい針)は14.2mm、弾性(球針)の初期貫入量は3.8mmで高弾性タイプの目標値と比べて大きい。また、高温時の安定性を表す流動は1.9mmで高弾性タイプの目標値3mm以下である。

表-2 開発品の性状例と高弾性タイプの目標値

試験項目	開発品	高弾性タイプの目標値
針入度(円すい針)(mm)	14.2	9以下
弾性(球針)初期貫入量(mm)	3.8	0.5~1.5mm
流動(mm)	1.9	3以下

4. クラックシール材の性状評価

開発品および既存のクラックシール材(低弾性タイプ、

高弾性タイプ)に関して、各種性状試験を実施し、各種性状の比較評価を試みた。性状試験は、低温タフテナ試験のほか、ベンディングビームレオメータ試験、直接引張り試験、および剥がれ疲労試験とした。

また、アスファルト舗装に発生した実際の温度応力クラック部に各種クラックシール材を試験的に施工し、冬期間の耐久性を比較評価した。

各種試験の概要、試験方法、試験結果を以下に示す。

(1) 低温タフテナ試験

a) 概要および試験方法

概要および試験方法は、前述の2章の通りである。

b) 試験結果

試験結果を図-2に示す。

前述の3章で述べたとおり、低弾性タイプは脆的な破壊を生じることから変形追従性や応力緩和性に劣り、高弾性タイプは付着性、変形追従性および応力緩和性に優れる。

そして、開発品は高弾性タイプと同程度の変形追従時の荷重500Nを有しつつ、変位量は高弾性タイプの4倍にあたる60mmと大きい。このことから、開発品は低温時の付着性、変形追従性および応力緩和性が高弾性タイプと比較して更に優れていると判断した。

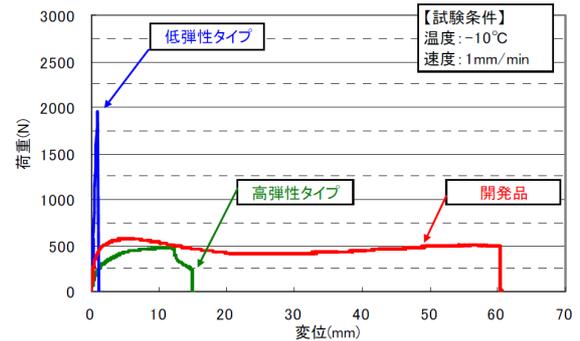


図-2 低温タフテナ試験結果

(2) ベンディングビームレオメータ試験

a) 概要

ベンディングビームレオメータ試験(以下、BBR試験)によって、曲げクリープスティフネスを測定することで、低温時の応力緩和性などを評価できると考えた。

b) 試験方法

「舗装調査・試験法便覧 A060 ベンディングビームレオメータ試験法」に準拠して実施した。

c) 試験結果

試験結果を図-3、図-4に示す。開発品と高弾性タイプは同程度のS値(低温時に収縮して発生する応力)とm値(発生した応力を緩和する能力)を示し、低弾性タイプと比較してS値が小さく、m値が大きい。なお、開発品と高弾性タイプは温度-10°C、-15°C程度では変形性能が高すぎて試験が成立しなかった。以上のことから、開発品と高弾性タイプは、低弾性タイプと比較して低温時に発生する応力が小さく、また応力緩和性が優れていると判断した。

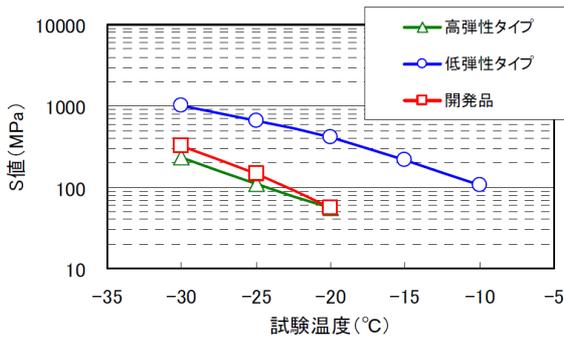


図-3 温度とS値の関係

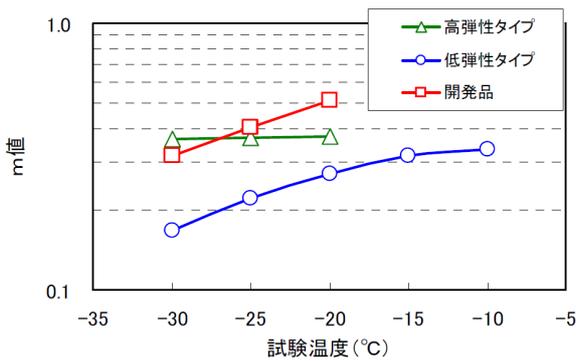


図-4 温度とm値の関係

(3) 直接引張り試験

a) 概要

アスファルト混合物とクラックシール材の付着性を直接引張り試験で確認した。

b) 試験方法

直接引張り試験の供試体は、図-5 に示すように 2 個の円柱供試体 (φ10cm, 厚さ 5cm, アスファルト混合物) の間にクラックシール材を塗布して作製したものである。

試験はインストロン万能試験機を用いて、温度-10°C、引張り速度 1mm/min の条件下で行った。なお、クラックシール材は塗布後に 2 個の円柱供試体を押し付けて、0.1mm 程度のできるだけ薄い塗布厚とした。

c) 試験結果

直接引張り試験結果を図-6 に示す。

全てのクラックシール材が最大荷重 3~3.5MPa 程度で同等の値を示した。いずれのシール材も、供試体表面とシール材付着面の境界面で破断しており、アスファルト混合物とシール材の付着力は概ね本試験で得られた 3MPa 程度であると考えられる。

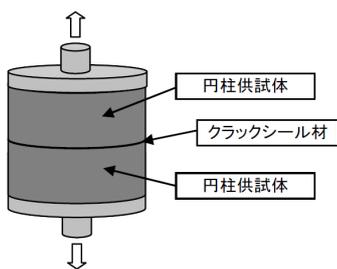


図-5 直接引張り試験

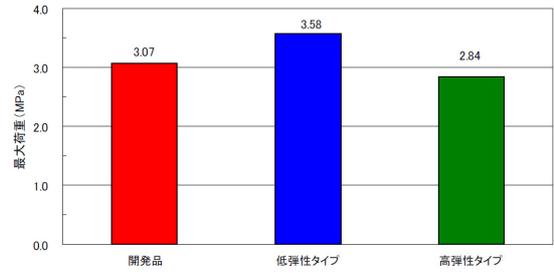


図-6 直接引張り試験結果

(4) 剥がれ疲労試験

a) 概要

繰返し交通荷重による界面剥離の抵抗性を剥がれ疲労試験で確認した。

b) 試験方法

剥がれ疲労試験は、寺田らが提案した試験方法⁴⁾を参考に、4点曲げ載荷方式によるひずみ制御とした。試験治具の構造を図-7に、試験条件を表-3に示す。

なお、供試体は図-7に示す角柱供試体 (40×40×410mm) とし、供試体中央部 10mm をクラックシール材とした。

c) 試験結果

剥がれ疲労試験結果を図-8に示す。剥がれ疲労試験終了後の供試体の破壊は、全て付着界面における付着の剥がれであった。低弾性タイプは、荷重回数 8,000 回程度に明確な破壊点が見られた。しかし、開発品および高弾性タイプは荷重回数 80,000 回程度から応力の低下傾向が見られるものの、明確な破壊点は確認できなかった。このことは、開発品と高弾性タイプは低弾性タイプと比較して、付着界面の剥がれの発生が遅く、また発生した剥がれは一気に進行せず徐々に進行することを意味している。

以上のことから、開発品と高弾性タイプは、低弾性タイプと比較して界面剥離抵抗性に優れていると判断される。

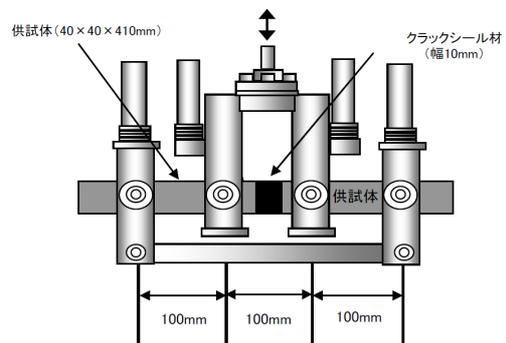


図-7 剥がれ疲労試験 (試験治具の構造)

表-3 剥がれ疲労試験条件

項目	条件
載荷方法	両端固定2点載荷、ひずみ制御
寸法	40×40×410mm (クラックシール材10mm)、スパン長300mm
温度、周波数、ひずみ	-10°C、5Hz、サイン波、200μ

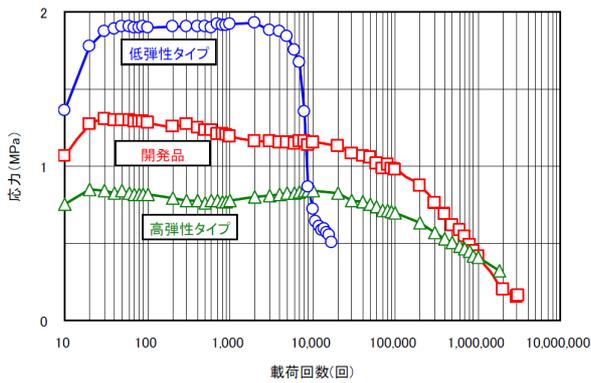


図-8 剥がれ疲労試験結果

(5) 試験施工での検証

a) 概要

実際の温度応力クラックに各種クラックシール材を11月に施工し、1冬経過後の3月に観察を行い冬期間の耐久性を比較評価した。

b) 試験方法

寒地土木研究所の苫小牧寒地試験道路（実物大の周回道路、周回延長 2,700m、幅 3.5m×2 車線）において、既設アスファルト舗装に発生している幅 5～15mm 程度の温度応力クラック箇所において、開発品および既存のクラックシール材（低弾性タイプ、高弾性タイプ）を施工した。施工は 5 箇所の温度応力クラック箇所、同一のクラックに開発品と既存のクラックシール材 1 種類をそれぞれ 1.5m 程度ずつ行い比較することとした。また、クラック幅の季節変動を確認するために、クラック部を挟んだアスファルト舗装体の両端に観測ピンを埋め込んで変動幅を計測することとした。

c) 試験結果

1 冬経過後の 3 月にクラックシール材の観察を実施した。なお、苫小牧市の 11 月～3 月の最低気温は-16.2℃、日平均気温は-1.6℃（気象庁データより）であった。また、観測ピンの計測で、1 冬経過後には幅が 2～5mm 程度広がっていることが確認された。高弾性タイプの 1 冬経過状況を写真-2 に、開発品の 1 冬経過状況を写真-3 に示す。

高弾性タイプは、写真-2 のように既設アスファルト舗装とクラックシール材の境界面の付着が剥がれてできた大きなすき間が見られた。既設アスファルト舗装とシール材の付着がなくなり、剥がれたことが伺える。低弾性タイプも高弾性タイプ同様に、すき間が発生した。施工延長に対する損傷の無い延長の割合を残存率と定義すると、高弾性タイプの残存率は 3 箇所計 7.2m の施工延長に対して 44.1%、低弾性タイプの残存率は 2 箇所計 3.8m の施工延長に対して 35.5%であった。このことは、苫小牧寒地試験道路の冬期において、高弾性タイプと低弾性タイプの付着性、変形追従性および応力緩和性が不十分であったことを意味する。

一方、開発品は大部分が写真-3 に示すように境界面の付着が保たれすき間が無い良好な状態を維持していた。一部すき間が発生した箇所があったものの、残存率は 5 箇所計 10m の施工延長に対して 92.8%と良好であった。

開発品は、優れた付着性や変形追従性および応力緩和性を有し、冬期のクラック幅の変動に対しても追従できていることが確認された。

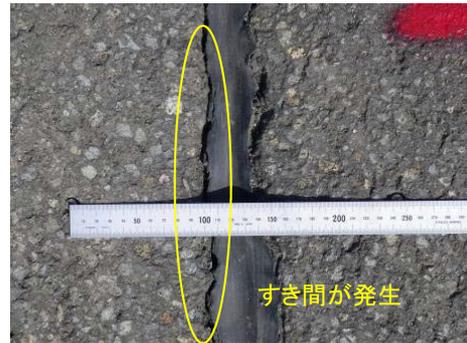


写真-2 高弾性タイプの一冬経過後の状況



写真-3 開発品の一冬経過後の状況

5. まとめ

本研究は以下の様にまとめられる。

(1)寒冷地用クラックシール材の評価試験方法

寒冷地用クラックシール材を評価する試験方法の一つとして、低温タフテナ試験を開発した。この試験は簡便で汎用性があり、また寒冷地用クラックシール材の要求性能である応力緩和性や変形追従性および付着性を総合的に評価することができる。と考える。

(2)寒冷地用クラックシール材の性能向上

低温時の付着性や変形追従性および応力緩和性に優れた寒冷地用クラックシール材を開発し、室内試験および苫小牧寒地試験道路で寒冷低温時の性能が優れていることを確認した。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：舗装施工便覧（平成 18 年版），pp.46～48，2006.
- 2) (社) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第 2 分冊〕，pp[2]-244～250，2007.
- 3) 島崎勝，紺野路登，高橋光彦：応力緩和性能を改善した SMA によるリフレクションクラック抑制工法，道路建設，pp28～34，2009.
- 4) 寺田剛，渡邊一弘，久保和幸：ひび割れ注入材の品質規格の提案に向けて，第 28 回日本道路会議，pp77～78，2009.