

再生アスファルト混合物評価における海外試験法の適用性検証

(国研) 土木研究所 ○川上篤史、藪雅行
(株) NIPPO 総合技術部 技術研究所 末原俊史、人見信男

1. はじめに

わが国のアスファルト舗装の再生利用は 40 年以上行われており、アスファルト混合物（以下、混合物）の繰り返し再生による影響が懸念される。そこで、土木研究所および日本アスファルト合材協会は、混合物の繰り返し再生試験^{1),2)}や実際の再生骨材を用いた混合物性状試験³⁾、実大供試体を用いた促進載荷試験⁴⁾を行った。その結果、再生混合物は再生用添加剤（以下、添加剤）の成分や再生骨材配合率（以下、R 率）により高温時のひび割れ抵抗性が低下し、その傾向は添加剤成分が芳香族より飽和分、かつ R 率が高いほど顕著になることが明らかになった。また、この傾向は高温カンタブロ試験等により評価可能であることを明らかにした。一方、海外では混合物評価法として日本では採用されていない試験法が多々あり、その適用性について検討事例はまだ少ない。本研究では、筆者らが検討している海外試験法⁵⁾について上記実大促進載荷試験結果と比較し、適用性を検証した。

表-1 検討している海外の疲労・ひび割れ試験法

2. 検討方法

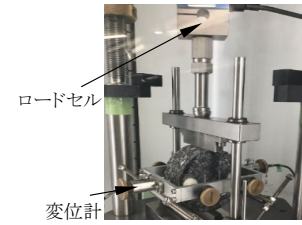
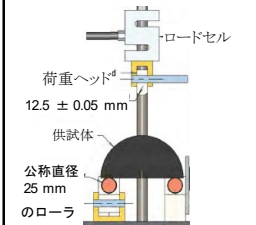
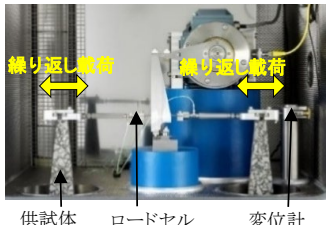
2.1 海外試験法

欧米の疲労・ひび割れ評価方法のうち、筆者らは表-1 に示す半円形供試体を用いた SCB 試験、二点繰り返し曲げ試験（以下、2PB 試験）のほか、新たに開発した SCB 試験供試体を用いた疲労試験（NAT-SCB 試験）等が有用である可能性を明らかにし⁵⁾、本検討でもこれらを採用

した。NAT-SCB 試験および 2PB 試験の評価指標は破壊回数であり、SCB 試験では式(1)、(2)により柔軟性指数 (FI) および破壊エネルギー (G_f) を求めた。この FI および G_f は、圧裂試験による圧裂強度-変位曲線からも算出することができるため、圧裂試験 (25°C) も行い算出した。また、試験供試体は、後述する実大供試体施工時に混合物を採取し、作製した。

2.2 実大供試体を用いた促進載荷試験

再生混合物の疲労・ひび割れ抵抗性を評価するため、土木研究所舗装走行実験場において実大供試体を作製し、促進載荷試験を行った⁴⁾。再生骨材および再生用添加剤の概要を表-2、試験施工工区図を図-1、試験ケースを表-3 に示す。再生骨材は実際のプラント

項目	NAT-SCB試験	SCB試験	2PB試験
試験名称	Nottingham Asphalt Tester (NAT)と SCB試験の組合せ	Semi-circular bending test	Two-point Bending Test on Trapezoidal Shaped Specimens
試験方法	EN 12697-23	AASHTO TP 124-18	EN12697-24
試験条件	試験温度 載荷速度 制御方法 荷重 波形	試験温度 載荷速度 制御方法	試験温度 載荷速度 制御方法 ひずみ量 波形
	10°C 2Hz 荷重制御 1600N ハーバースイン	25°C 50mm/分 荷重制御	40°C 25Hz 歪制御 500μ 正弦波
試験概要			

$$FI = \frac{G_f}{|m|} \quad \text{式(1)}$$

$$G_f = \frac{W_0}{A_{lig}} \quad \text{式(2)}$$

ここに、 G_f : 破壊エネルギー、 A_{lig} : 供試体の破断面積、 W_0 : 破壊仕事量、 m : ピーク荷重後の傾きとする。 W_0 は破断までの荷重-変位曲線の面積、 m は降伏点と下部変曲点の変位中央値における接線の傾き

表-2 再生骨材および再生用添加剤の概要

再生骨材		再生用添加剤		
旧As針入度 (1/10mm)	21 14	種類	A	B
旧As含有量 (%)	6.28 4.70		芳香族分	73.1 14.8
使用工区	2 3~6		飽和分	23.9 78.6
			アスファルテン分	0.2 0.9
			レジジン分	2.8 6.0
		使用工区	2~5	6

表-3 試験施工工区における試験ケース

工区	1	2	3	4	5	6
設計針入度 (1/10mm)	50					
R率 (%)	0	60	30	60	80	60
旧As針入度 (1/10mm)	新規骨材	21	14			
添加剤	—	A(芳香族分系)				B(飽和分系)

で用いられているものを 2 種類選定し、成分組成の異なる 2 種

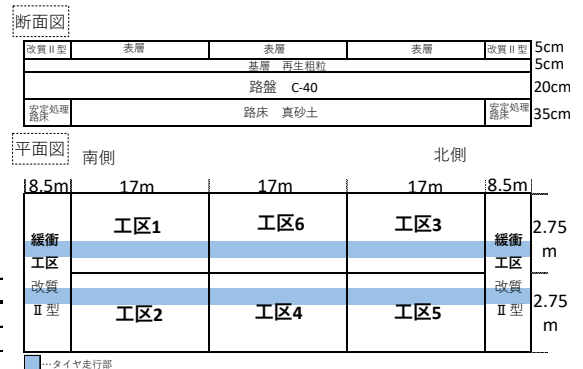


図-1 試験工区の断面図・平面図

類の添加剤、4水準のR率で、針入度50になるように配合設計を行った。信頼度75%における疲労破壊輪数約13万輪(49kN換算)まで走行した。

3. 検討結果

3.1 海外試験法による混合物性状

NAT-SCB 試験結果を図-2、SCB 試験結果を図-3、圧裂試験結果を図-4、2PB 試験結果を図-5に示す。いずれも値が高いと疲労・ひび割れ抵抗性が高い評価となり、全体的な傾向として次の条件により疲労・ひび割れ抵抗性が高い結果となった。①混合物：新規(工区1) > 再生(同2)、②再生骨材旧アス針入度：21(工区2) > 14(同4)、③R率：30%(工区3) > 60%(同4) > 80%(同5)、④添加剤：芳香族分系(工区4) > 飽和分系(同6)。これらは先行の試験結果^{2),3)}と一致した傾向となり、再生混合物の評価に適用できる可能性があることが改めて確認できた。なお、試験法間の値の差(例えば、NAT-SCBとSCB試験における工区1と2の差)があるが、これは試験温度による再生アスファルトの粘弾性状の変化や接着力の差、試験法そのものの違いが考えられる。

3.2 実大供試体を用いた促進載荷試験

促進載荷試験により各ひび割れ率に到達した走行輪数(以下、ひび割れ輪数)を図-6に示し、前節で検討した混合物試験結果と、このひび割れ輪数との相関(一次回帰式における決定係数)を表-4に示す。なお、表には過去の報告²⁾において、再生混合物の(簡易な)ひび割れ評価方法として提案した、高温カンタブロ損失率および圧裂強度比も記載した。

その結果、圧裂試験およびSCB試験によるFIの決定係数が高い値となった。FIは前述の式(1)により算出され、G_fを供試体破断後の接線傾きで除算することから、供試体破断後の亀裂の進行が緩やかなほどFI値は大きくなり、柔軟性が高くひび割れ抵抗性が高い評価となる。米国イリノイ州では再生混合物の評価に用いられているが、今回、SCB試験によるFI、および汎用試験である圧裂試験で求めたFIの相関も高くなったことは新たな発見であった。一方、2PB試験(40℃)およびNAT-SCB試験(10℃)の相関は高くなかった。これらについては、混合物試験温度と実大促進載荷試験時の舗装体温度等の関係も考えられるが、今後も更なるデータを増やし試験法のメカニズムの違いも含めて検証していきたいと考えている。

4. まとめ

今回検討した海外試験法でも再生混合物の性状を評価することができ、可能性があることが改めて確認できた。今後も再生混合物の疲労・ひび割れ評価方法について、海外試験法や簡易法も含め検討していきたい。

参考文献

- 1) 新田他：繰り返し再生したアスファルトの性状における再生用添加剤の組成の影響，土木学会論文集 E1(舗装工学)，Vol. 75, No. 1, 59-67, 2019.
- 2) 川上他：繰り返し再生したアスファルト混合物への再生用添加剤と再生骨材配合率の影響，土木学会論文集 E1(舗装工学論文集第25巻)，I_251-I_259, 2020.
- 3) 掛札他：再生アスファルト混合物の高温時のひび割れ抵抗性の評価方法，土木学会論文集 E1(第26 舗装工学講演会)，Vol. 77, No. 2, I_11-I_19, 2021.
- 4) 掛札他：実大促進載荷試験による再生アスファルト混合物のひび割れ抵抗性の検証，土木学会論文集 E1(舗装工学)，78 巻, 2号, I_58-I_63, 2023.
- 5) 安藤他：再生アスファルト混合物の力学性状の評価方法に関する研究，土木学会論文集 E1, 78 巻 1号, 12-27, 2022.

促進載荷試験には荷重車を用い、

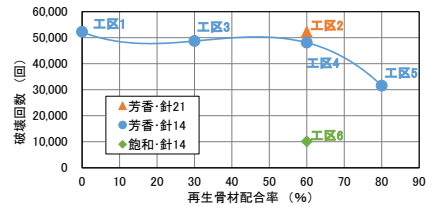


図-2 NAT-SCB 試験結果

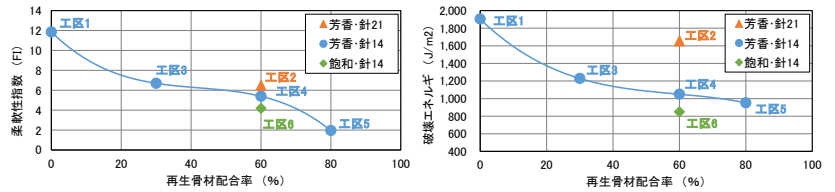


図-3 SCB 試験結果 (左: FI、右: G_f)

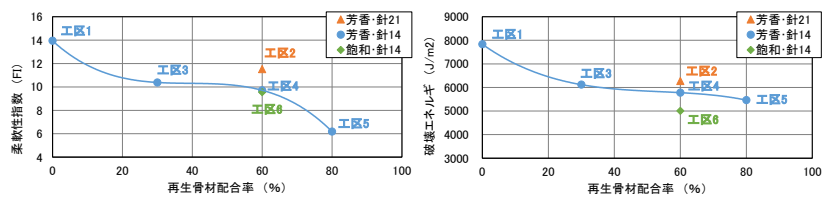


図-4 圧裂試験結果 (左: FI、右: G_f)

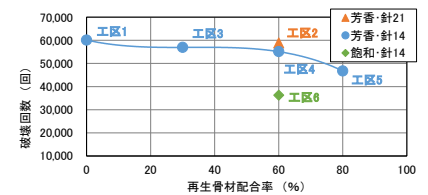
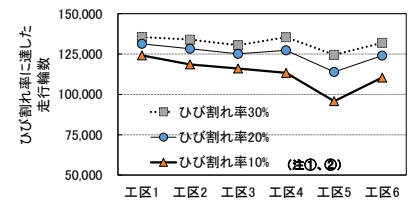


図-5 2PB 試験結果



- 注①: ひびわれ率の評価範囲は、横断方向・車輪走行部1m、延長方向・両端1mを除外した15mとした
 注②: ひび割れの増加に伴い、並行する工区の影響が懸念されたため、評価にはひび割れ率10%を採用した

図-6 促進載荷試験結果

表-4 決定係数

試験	評価指標	決定係数R ²
圧裂試験	圧裂強度比(0°C/60°C)	0.76
高温カンタブロ試験	カンタブロ損失率(60°C)	0.82
NAT-SCB	破壊回数(10°C)	0.32
SCB試験	破壊エネルギー(25°C)	0.59
	柔軟性指数FI(25°C)	0.81
圧裂試験	破壊エネルギー(25°C)	0.52
	柔軟性指数FI(25°C)	0.95
二点曲げ疲労試験	破壊回数(40°C)	0.38