

わが国のアスファルト混合物における室内疲労曲線に関する実験的検討

(株)NIPPO 総合技術部 技術研究所 正会員 ○白井 悠
 (株)NIPPO 総合技術部 技術研究所 正会員 尾本 志展
 (株)NIPPO 総合技術部 技術研究所 正会員 向後 憲一

1. はじめに

理論的設計法を用いてアスファルト舗装の構造設計を行う場合、アスファルト混合物層の疲労破壊輪数は、アスファルト混合物（以下、As 混合物）の①スティフネス（弾性係数）、②飽和度、および③弾性解析により算出される As 混合物層下面の引張りひずみをパラメータとした疲労破壊規準に基づき照査され、その方法は体系化されている¹⁾。この疲労破壊規準は室内疲労曲線がベースとなっているが、わが国独自のものはまだ構築されていない。そこで、本研究では、わが国で適用されている各種 As 混合物を対象に、①Nottingham Asphalt Tester (NAT)²⁾を使用した Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) 試験方法によるスティフネス試験と②4 点曲げ試験装置によるひずみ制御方式の繰返し曲げ疲労試験を実施し、As 混合物のスティフネスおよび飽和度と疲労破壊回数との関係を検討した。また、海外における Harvey らの既往研究成果³⁾も踏まえたうえで、本実験で得られた疲労曲線の妥当性についても検討した。本論文はこれらの結果について報告するものである。

2. 検討に用いた As 混合物

本検討では、表-1 に示す密粒度(13)、密粒度(20)、粗粒度(20)、SMA(20)、大粒径(30)の計 5 種類の As 混合物を用いた。バインダはストレートアスファルト 60/80 とし、骨材は埼玉県秩父産の硬質砂岩を用いた。なお、大粒径(30)の配合設計は、QRP 工法設計・施工技術指針(案)⁴⁾に準拠して行なった。

3. As 混合物のスティフネス

本検討では、NAT を使用した ITSM 試験方法により、As 混合物のスティフネスを測定した。この試験法は BS EN12697⁵⁾に準拠したもので、円柱供試体を用いて繰返し間接引張試験により変形係数を測定するものである。試験条件は、①試験温度：10、20℃の 2 水準、②荷重載荷モード：ハーバーサイン波、③荷重載荷時間：124ms(8Hz)、④最大横方向変位：5μm とした。なお、スティフネス算出に用いるポアソン比は 0.35 と仮定した。

ITSM 試験に用いた供試体はマーシャル供試体(直径 101.6mm、高さ 63.5mm)とし、締固め度は 100%とした。大粒径(30)の試験供試体は、厚さ 100mm のマーシャル供試体を作製後、上下面を切断し所定の厚さ(63.5mm)となるように調整した。

図-1 および図-2 に、As 混合物のスティフネス測定結果を示す。図-1 は試験温度 10℃、図-2 は試験温度 20℃におけるスティフネスを示した。図-1 および 図-2 より、As 混合物のスティフネスは温度が低いほど大きくなっており、試験温度 10℃のスティフネスは試験温度 20℃と比較して SMA(20)は約 2 倍、その他混合物は約 3 倍となっていることがわかる。

表-1 検討に用いた混合物種

項目	密粒(13)	密粒(20)	粗粒(20)	SMA(20)	大粒径(30)
As 種	60/80	60/80	60/80	60/80	60/80
通過	37.5mm	100.0	100.0	100.0	100.0
過	31.5mm	100.0	100.0	100.0	100.0
粒	26.5mm	100.0	100.0	100.0	98.7
度	19.0mm	100.0	98.7	98.7	83.5
百	13.2mm	99.2	82.4	82.3	64.4
分	9.5mm	79.6	68.7	67.4	49.8
率	4.75mm	62.9	55.0	44.9	40.0
(	2.36mm	43.1	43.0	27.2	28.0
%)	0.6mm	23.8	23.8	15.9	15.6
	0.3mm	15.5	15.5	10.3	10.2
	0.15mm	9.7	9.7	6.3	6.3
	0.075mm	6.7	6.7	4.5	4.4
両面突固め回数(回)	50	50	50	50	75
As量(%)	5.7	5.2	5.3	5.0	4.5
基準密度(g/m ³)	2,395	2,397	2,406	2,442	2,429
理論密度(g/m ³)	2,479	2,497	2,508	2,519	2,532
空隙率(%)	3.4	4.0	4.1	3.1	4.1
バインダ容積(%)	13.2	12.0	12.3	11.8	10.6
骨材間隙率(%)	16.6	16.0	16.4	14.9	14.7
飽和度(%)	79.5	75.0	75.0	79.2	72.1

※“-”は試験未実施

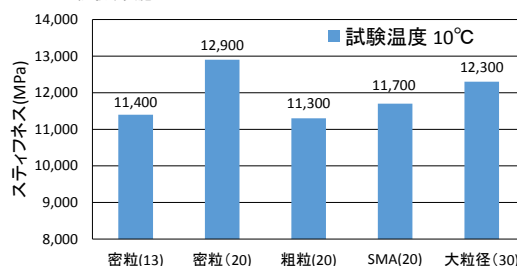


図-1 各種 As 混合物のスティフネス (10℃)

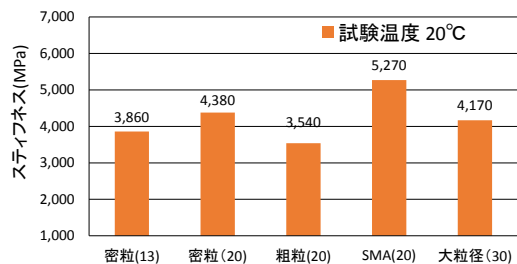


図-2 各種 As 混合物のスティフネス (20℃)

キーワード スティフネス、疲労破壊回数、室内疲労曲線

連絡先 〒331-0052 埼玉県さいたま市西区三橋6-70 (株)NIPPO 総合技術部 技術研究所 TEL048-624-0755

4. As 混合物の疲労破壊回数

本検討では、舗装調査・試験法便覧の「B018T アスファルト混合物の曲げ疲労試験方法」に準拠し、As 混合物の疲労破壊回数（以下、破壊回数）を測定した。試験条件は、①試験温度：10℃、②载荷周波数：5Hz、③载荷波形：正弦波、④ひずみ：200, 300, 400 μ の3水準とした。

200 μ , 300 μ , 400 μ における各種 As 混合物の疲労試験結果を、それぞれ図-3、図-4、図-5 に示す。これらより、破壊回数は混合物やひずみレベルにより違いが見られ、最も小さな200 μ の場合では、その大小関係は密粒(13)>SMA(20)>密粒(20) $\approx$ 粗粒(20)>大粒径(30)の順であった。

5. As 混合物の室内疲労曲線

本検討により得られたデータから、室内疲労曲線の検討を行った。破壊回数 N_f を従属変数とし、飽和度 VFA 、スティフネス S 、曲げ疲労試験時のひずみ ϵ_t を独立変数とした重回帰分析を行った。その結果、室内疲労曲線式として式-1 を得た。

$$N_f = 1.2828 * 10^{-5} e^{0.034VFA} S^{-1.566} \epsilon_t^{-4.127} \quad \text{式-1}$$

また、比較として、Harvey らの研究で混合物の空隙率や As 量などを変えて得られた室内疲労曲線式³⁾ を式-2 に示す。

$$N_f = 2.5875 * 10^{-8} e^{0.053VFA} S_0^{-0.726} \epsilon_t^{-3.761} \quad \text{式-2}$$

ここで、 S_0 : As 混合物の疲労試験における初期スティフネス（载荷回数 50 回での値）(MPa)

図-6 は、破壊回数の実測値と、飽和度・スティフネス・ひずみをもとに両式から計算した破壊回数との関係を示したものである。同図より、両者はともに良好な相関関係を示していた。これより、限定された条件ではあるが、本実験で求めた疲労曲線式は、As 混合物の破壊回数を精度よく推定できており、また Harvey らの式ともよく一致していることがわかった。

以上のことから、さらにわが国で使用されている As 混合物について幅広く検討し、式-1 のような疲労曲線式を構築していけば、混合物のスティフネス（NAT を使用した ITSM 試験による測定値）と VFA を事前に把握しておくことで、破壊回数を精度よく推定できる可能性があることが確認された。

6. おわりに

本研究では、わが国の一般的な混合物を対象に、NAT を使用した ITSM 試験で測定したスティフネスと飽和度、試験ひずみをもとに、室内疲労曲線を検討した。その結果、得られた疲労曲線式は概ね妥当であることがわかった。今後は、他の配合や産地の異なる骨材、改質アスファルト等を用いてデータをさらに蓄積し、より実用的な疲労曲線式の構築を図っていきたいと考える。

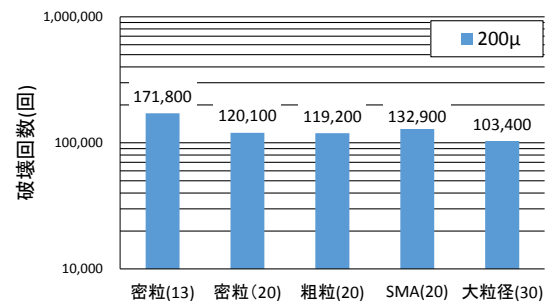


図-3 各種 As 混合物の破壊回数 (200 μ)

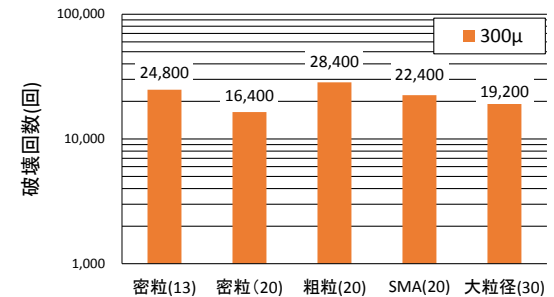


図-4 各種 As 混合物の破壊回数 (300 μ)

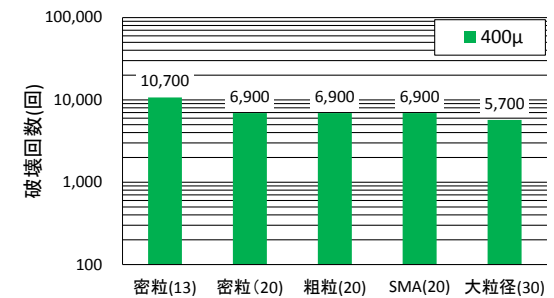


図-5 各種 As 混合物の破壊回数 (400 μ)

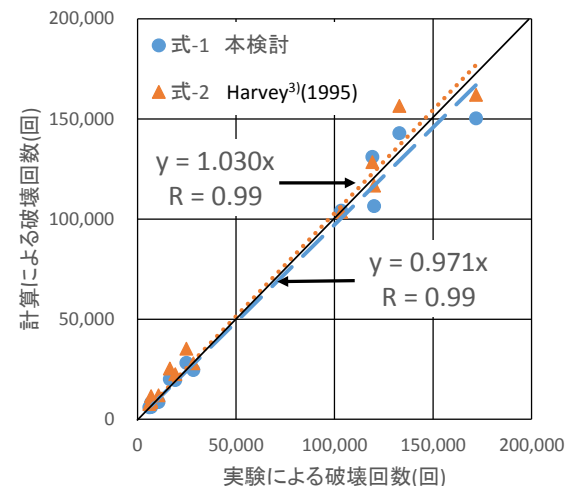


図-6 破壊回数の実測値と計算値の関係

＜参考文献＞ 1)(社)日本道路協会：舗装設計便覧，2006. 2)岩間: Nottingham Asphalt Tester(NAT)によるアスファルト混合物の評価方法について，アスファルト，Vol.58, No.231, 2016. 3) J.T.Harvey et al.: FATIGUE PERFORMANCE OF ASPHALT CONCRETE MIXES AND ITS RELATIONSHIP TO ASPHALT CONCRETE PAVEMENT PERFORMANCE IN CALIFORNIA, University of California, Berkeley, 1995. 4)国土交通省中国地方整備局中国技術事務所ほか：QRP 工法設計・施工技術指針(案)，2007.3 5)British Standards Institution: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part26, 2004.