

配合の異なる混合物の疲労破壊特性に関する実験的検討

北海道開発土木研究所 正会員 ○丸山 記美雄 正会員 岳本 秀人
北海道工業大学 フェロー 笠原 篤 学生員 森本 勝彦

1 ． 背景と目的

理論的設計法の確立を目的として国道36号苫小牧市美々に隣接した8つの試験断面を設け、平成2年に一般交通に供用して13年が経過しているが、現時点で図-1に示す4つの断面において疲労ひび割れの発生が認められている。疲労ひび割れが発生した断面はいずれもアスコン層の最下層がアスファルト安定処理であり、アスコン層厚が同一でもアスコン層最下層が粗粒度アスコンや密粒度アスコンで造られた断面には疲労ひび割れの発生は認められていない。交通荷重条件は同一であるため、混合物配合の違いが疲労ひび割れの発生に影響したものと推測されることから、本研究では、室内疲労曲げ試験により配合の異なる混合物の疲労破壊特性の差異やバラツキに関して検証し、疲労破壊規準の設定に関して検討を加えることを目的とする。

図 - 1 美々試験道路の舗装断面と疲労破壊状況



2 ． 試験の概要

混合物の違いによる破壊特性を検証するため、骨材やストアス80-100等の材料は同一の物を使用して表-1の配合でアスファルト安定処理(0-30)と粗粒度アスコン(20)と密粒度アスコン(13F)の3混合物供試体を作成し、図-2に示す4点曲げ試験装置により繰返し曲げ疲労試験を行った(以下、混合物をアス安、粗粒、密粒と称す)。供試体は15×8×40cmの供試体から上下左右4面カットで5×5×40cmの供試体を2本切り出し作成した物を使用した。

試験条件と試験数量を表-2に示す。疲労破壊回数の差とバラツキを統計的に検定するために、300μのひずみで20本の試験を実施した。さらに、疲労破壊規準式を作成するため、200μと400μのひずみで2本ずつの試験を実施した。破壊回数は曲げ応力の変曲点から算出した。

3 試験結果および考察

3.1 混合物による疲労破壊回数の差異

各混合物に対して300μのひずみで20本の疲労曲げ試験を行った。疲労破壊回数の度数分布と基本統計量を図-3に示す。混合物ごとに疲労破壊回数の分布域が異なっている。

破壊回数の平均値の差の検定(Welchのt検定)を実施した結果を表-3に示す。有意水準1%でアス安と粗粒、粗粒と密粒、アス安と密粒の母平均には差があると判断され、アス安、粗粒、密粒の破壊回数には統計的に有意な差があるといえる。その差は破壊回数の平均値で、安定処理を1とすると、粗アスは4.3倍、密粒は7.7倍であり、アス安の疲労破壊回数が最も少ない。

図-1において、実道でも最下層がアス安の断面に疲労ひび割れが入り、粗粒や密粒の断面には入っていない状況を示したが、アスコン層最下層混合物の疲労破壊回数の差が反映されたものと考えられる。

表 - 1 試験混合物の配合設定

混合物種類	最大 粒径(mm)	アス量 (%)	アス 容積率(%)	空隙率 (%)
アス安定処理(0-30)	30	4.5	10.0	8.4
粗粒度アスコン(20)	20	5.3	12.1	5.1
密粒度アスコン(13F)	13	5.4	12.6	3.6

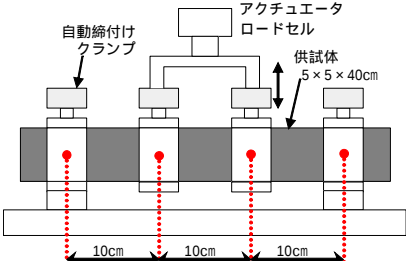


図 - 2 4点疲労曲げ試験概要図

表 - 2 試験条件と試験数量

試験温度	10
載荷周波数	10Hz、サイン波
ひずみレベル	200μ、300μ、400μ
試験数量	2本、20本、2本
養生時間	6時間以上
制御方法	ひずみ制御

キーワード：疲労曲げ、疲労破壊、理論的設計、破壊規準

連絡先 ：〒062-0912 札幌市豊平区平岸1条3丁目 Tel.011-841-1747 Fax.011-841-9747

3.2 疲労破壊回数のばらつき

疲労破壊は確率事象と位置づけられ、そのバラツキを把握しておくことは今後、理論的設計法を確立する上で重要である。そこで、破壊回数のバラツキに関して正規分布と対数正規分布への適合度の検定を行った。結果を表-4に示す。3混合物すべてが正規分布に従うといえるが、対数正規分布に従うといえるのは安定処理と密粒の2種類であった。Pellらによれば対数正規分布に従うと報告されているが¹⁾、変動係数が10～30%程度の正規分布として扱って支障ないとする。

3.3 室内試験での破壊規準式とAI規準式との比較

$\varepsilon = 300 \mu$ での20本の試験結果に加え、 $\varepsilon = 200 \mu$ と 400μ で2本ずつの試験を実施した結果から、回帰式により各混合物の疲労破壊規準式を設定し、図-4に実線で示す。混合物が異なっても、 $\log \varepsilon - \log N$ 曲線の傾きはほぼ同じであることがわかる。

次に、室内作成供試体のアス容積率と空隙率をAI破壊規準式に代入した結果を図-4に点線で示す（10、 $E=8,500\text{MPa}$ として算定）。室内試験の破壊規準式はAI破壊規準式よりも傾きが小さく、混合物同士の線間隔が狭いことから若干混合物間の破壊回数の差が小さく算定されることがわかる。

ひずみの値が 300μ 以上の領域では室内試験の破壊規準式はAI破壊規準式よりも破壊回数が1オーダー程度小さく算定されるが、多層弾性理論による設計ではアスコン層下面の引張ひずみを $50 \sim 200 \mu$ 程度として設定することが多く、このひずみ領域では両式は破壊回数のオーダーが同じであり、実用上の範囲において両式は比較的近い値を導くといえる。

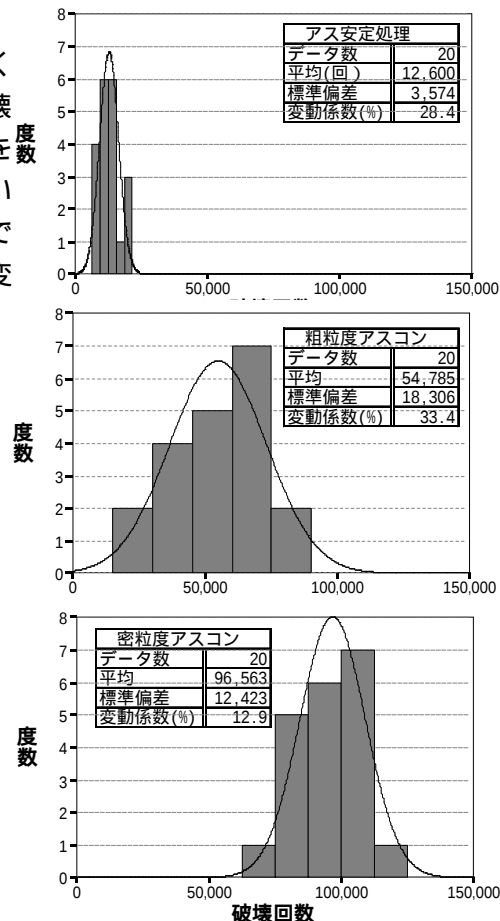


図-3 各混合物の破壊回数頻度分布
(上から、アス安、粗粒、密粒)

表-3 平均値の差の検定結果

	差の検定 (両側検定) 有意水準 $\alpha=1\%$	差の検定 (片側検定) 有意水準 $\alpha=1\%$
アス安定処理と 粗粒度アスコンの差	$p=2.09 \times 10^{-9} < \alpha=0.01$ 差がある	$p=1.31 \times 10^{-9} < \alpha=0.01$ 差がある
粗粒度アスコンと 密粒度アスコンの差	$p=8.36 \times 10^{-10} < \alpha=0.01$ 差がある	$p=4.65 \times 10^{-9} < \alpha=0.01$ 差がある
アス安定処理と 密粒度アスコンの差	$p=4.10 \times 10^{-19} < \alpha=0.01$ 差がある	$p=2.43 \times 10^{-19} < \alpha=0.01$ 差がある

a: 有意水準、p: 有意確率

表-4 破壊回数頻度分布の正規性検定結果

	対数正規分布への適合度検定		正規分布への適合度検定	
	判定指標	判定	判定指標	判定
アス安定処理	$\chi^2_2 = 0.467$ $\chi^2_2 = 5.992$	適合する	$\chi^2_2 = 2.322$ $\chi^2_2 = 5.992$	適合する
粗粒度アスコン	$\chi^2_2 = 8.085$ $\chi^2_2 = 5.992$	適合しない	$\chi^2_2 = 5.611$ $\chi^2_2 = 5.992$	適合する
密粒度アスコン	$\chi^2_2 = 1.843$ $\chi^2_2 = 5.992$	適合する	$\chi^2_2 = 0.897$ $\chi^2_2 = 5.992$	適合する

χ^2_2 : χ 自乗計算値, χ^2_2 : χ 自乗基準値

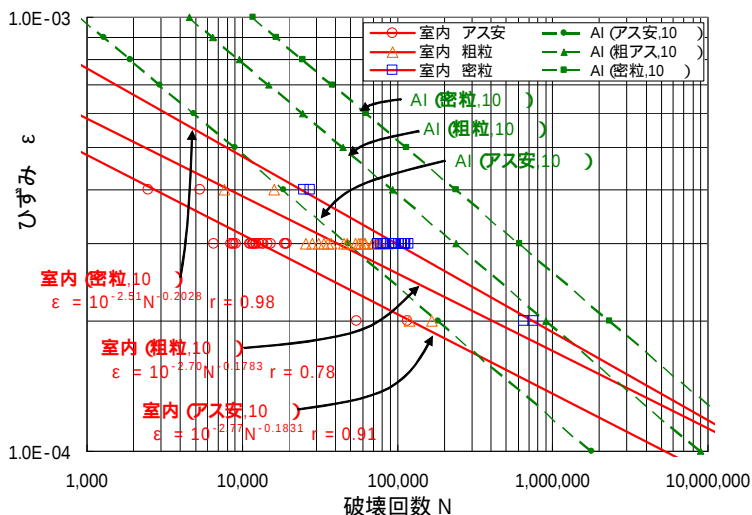


図-4 破壊基準式の比較

4. まとめ

同一条件下における疲労曲げ試験を実施した結果、配合が異なる混合物の疲労破壊回数には統計的に有意な差があり、現道の疲労ひび割れ発生状況に符合することを確認した。また、破壊回数の分布は変動係数10～30%程度の正規分布として扱うことができ、確率事象である疲労破壊予測を行う上で有益な知見を得た。

今後はひずみレベルや温度を変えた試験データを増やし、美々試験道路などからの現場切取供試体に対しても試験を実施して現地疲労ひび割れ発生状況と照合することで、ひび割れ進展度や破壊確率論を取り入れた疲労破壊予測技術の向上を図る予定である。

<参考文献>

1) Pell 他: Fatigue characteristics of bitumen and bituminous mixes, Procs. of ICSDAP, pp.310～323, 1962年