

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○古谷 卓也

神戸大学大学院工学研究科 学生員 田中 大樹

神戸大学都市安全研究センター 正会員 吉田 信之

1. はじめに

我が国のアスファルト舗装の理論的構造設計法において、舗装の疲労ひび割れの検討はアスファルト混合物層のみを対象としている。著者らは、これまで実施してきた水硬性粒度調整鉄鋼スラグ（以降、HMS と称す）路盤を有するアスファルト舗装の実路試験舗装での追跡調査結果等からアスファルト混合物層のみならず HMS 路盤層でも疲労破壊が起こる可能性を示唆し、その疲労破壊基準式を提案した¹⁾²⁾。本報では、養生期間および繰返し荷重条件の違いが HMS 路盤材の疲労破壊基準式に及ぼす影響について検討した。

2. 試料と供試体作製

今回は、既報²⁾の2種類の HMS-25 のうち複合スラグについての検討結果を報告する。梁供試体の作製は、神戸大学キャンパス敷地内にて浅層掘削した地盤に特注の5連モールド付鋼製型枠を設置して、HMS 試料を50mm 厚の余盛り分も含めて敷き均し、95%以上の締固度になるように繰返し転圧した後、乳剤散布し、地中養生して作製した。所定期間（3ヶ月と9ヶ月）養生した後、各モールドから供試体を取り出して端面整形してから試験に供した。供試体寸法は、奥行き100mm、高さ100mm、長さ400mmである。

3. 試験概要

疲労試験は、既報²⁾の通り3等分点荷重による繰返し荷重試験である。荷重は荷重時間0.2秒・休止時間なしのサイン波で行い、試験装置の制約上除荷時でも40Nの残荷重が作用する条件である。また、比較として荷重時間0.15秒・休止時間0.85秒で完全徐荷のハーバーサイン波でも疲労試験を実施した。なお、時間の制約上、前者の荷重条件では1,300万回まで、後者の条件では200万回まで荷重した。

繰返し荷重の大きさは事前に行った静的曲げ強度試験の結果を参考に設定した。表-1に曲げ強度を、図-1に曲げ強度（ S_b ）と養生期間の関係を示す。HMS は養生とともに水硬性が発現し強度増加が見込まれるため、曲げ強度は養生期間をパラメータとした双曲線で表わすことができる。

4. 試験結果と考察

まず、破断回数と破壊回数の定義について述べる。図-2に典型的な供試体のたわみと荷重回数の関係の後半部を示す。図のように、供試体のたわみは供試体破断直前に急増することがわかる。そこで、図中A点のように供試体が完全に破断したときの荷重回数を破断回数、B点のように供試体は未破断であるが内部構造が破壊していると思わせる時点の荷重回数を破壊回数と定めた。ここには示さないが、全試験結果について破断回数と破壊回数を求めると、その差はそれぞれの回数と比較して誤差と思えるほど小さいことから、以下では算出しやすい破断回数で試験結果を整理している。

図-3に養生期間3ヶ月と9ヶ月の供試体での繰返し曲げ応力（ s_b ）と破断回数（ N_f ）の関係を回帰曲線とともに示す。図より、両回帰曲線はほぼ同じ所に位置しており、養生に伴う曲げ強度の増加（図-1）と比べて疲労強度の増加が小さいことを示している。ただし、回帰線の勾配は9ヶ月養生の方

表-1 曲げ強度

養生期間	最大荷重 (N)	曲げ強度 (MPa)	平均曲げ強度 (MPa)
3ヶ月	3,143	0.943	0.962
	3,394	1.018	
	3,083	0.925	
9ヶ月	4,327	1.298	1.279
	4,200	1.260	

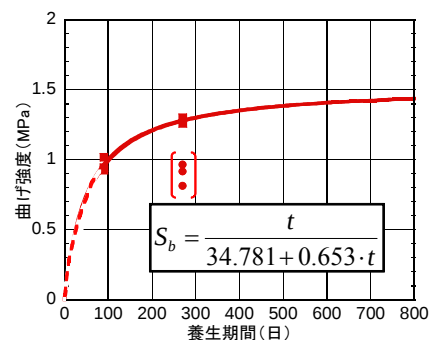


図-1 曲げ強度と養生期間の関係

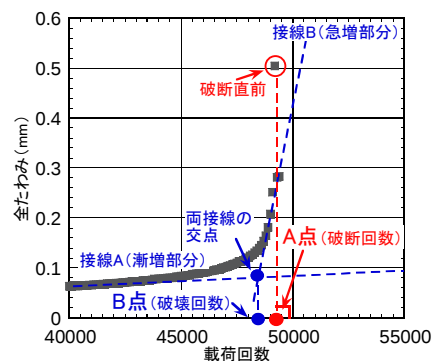


図-2 破断回数と破壊回数の定義

が小さくなっている。さて、疲労破壊基準式は一般的に応力比（繰返し曲げ応力（ S_b ）／曲げ強度（ S_b ）：SR）と载荷回数の関係で表される。図-4 に応力比と破断回数の関係を回帰曲線とともに示す。図より、養生期間 3 ヶ月の疲労破壊基準線が 9 ヶ月の基準線より上方に位置している。これは、前述したように養生期間の増加に伴う曲げ強度の増分に比べて疲労強度の増分が小さいからである。さて、図より養生期間が長くなるにつれて直線の勾配は緩やかに、縦軸切片は小さくなる傾向があり、最終的には疲労限界線に漸近していくと推測できる。言い換えれば、疲労破壊基準線は養生期間（ t ）の関数で表わされ、直線の勾配（ $1/\beta$ ）はゼロに、切片（ a/β ）は疲労限界応力比に収束すると言える。疲労限界応力比については、载荷回数の上限を超えても未破断であった供試体の応力比の平均値、すなわち 0.454 とした。図-5 に疲労破壊基準線の勾配、縦軸切片と養生期間の関係を上述の収束条件を満たす曲線とともに示す。以上より、前述の曲げ強度の予測式を含めて疲労破壊基準式は以下のように表わすことができる。ここで、 N_f : 破断回数, t : 養生期間 (日), σ_t : HMS 層下面の最大引張応力 (MPa), S_b : 養生期間 t での曲げ強度 (MPa) である。

$$\log N_f = \frac{(0.891 \cdot e^{-0.00456 \cdot t} + 0.454) - \sigma_t / S_b}{0.124 \cdot e^{-0.00279 \cdot t}}, \quad S_b = \frac{t}{34.781 + 0.653 \cdot t}$$

次に、図-6 に養生期間 9 ヶ月の供試体で実施した異なる繰返し载荷条件（試験概要参照）での試験結果の比較を示す。予想通り、0.15 秒载荷・0.85 秒完全除荷ハーバーサイン波で得られた疲労破壊基準線は、0.2 秒载荷・除荷時 40N 载荷サイン波で得られた基準線よりも上方に位置している。これは、载荷時間が長く完全除荷を伴わないサイン波の方が供試体の疲労蓄積が大きいからである。したがって、比較として行ったハーバーサイン波による载荷条件の方が現実的であることを考えると、上記で誘導した養生効果を反映させた疲労破壊基準式は安全側の基準式になっているとも言える。

5. おわりに

本報では、HMS 路盤材の梁供試体を用いた繰返し曲げ疲労試験結果から、養生期間が疲労破壊基準式に及ぼす影響を考察し、その養生効果を反映させた疲労破壊基準式を提案した。また、载荷条件が疲労破壊基準式に与える影響を調べた結果、提案した疲労破壊基準式は安全側にあることを示唆した。

最後に、疲労試験の実施に際して神鋼スラグ製品(株)の遠山氏には多大な便宜をおはかりいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献: 1) 古谷・吉田: 実路走行試験調査による HMS 路盤系アスファルト舗装の動的挙動と理論的構造設計法について, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 講演概要集 CD, V-058, pp.113-114, 2009. 2) 田中他: 水硬性粒度調整鉄鋼スラグ路盤材の疲労破壊基準式の提案, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 講演概要集 CD, V-108, pp.215-216, 2010.

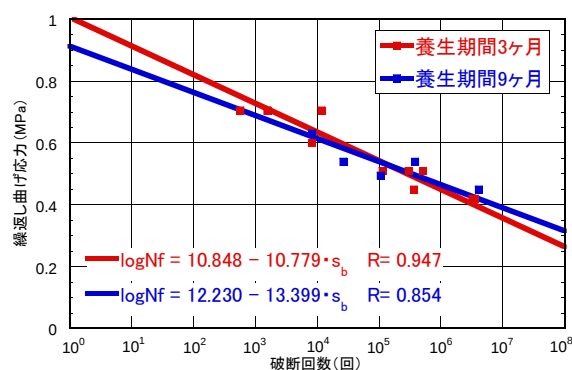


図-3 繰返し曲げ応力と破断回数の関係

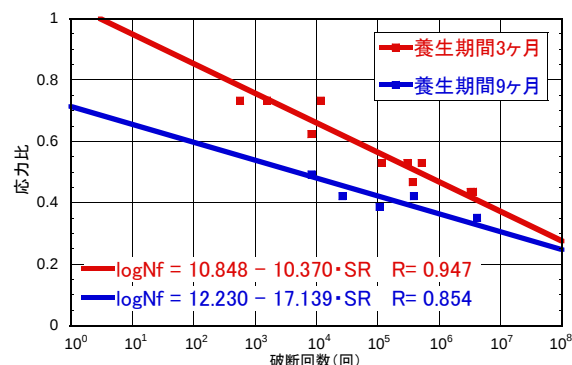


図-4 応力比と破断回数の関係

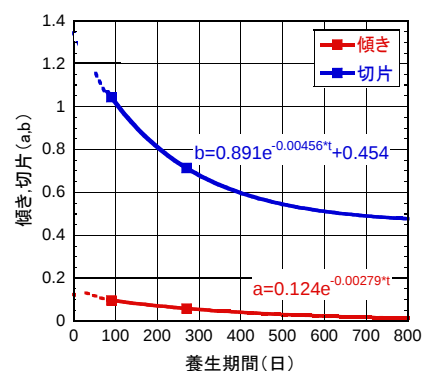


図-5 勾配、切片と養生期間の関係

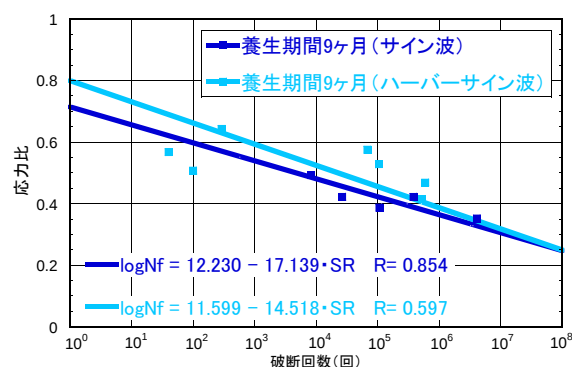


図-6 異なる载荷条件での試験結果の比較