

V—24 低温・低速載荷時におけるアスファルト混合物の疲労破壊性状に関する研究

北海道大学工学部

辻 保 人

同 上

正 員 菅 原 照 雄

1. 概 要

最近、温度応力に起因すると見られるアスファルト舗装の横断亀裂が多発している。これらは北海道内のみならず、東北地方においても見られ、北海道内のものにあっても発生地域に次第に南下の傾向が見られ、舗設後数年を経ずして発生するなど深刻な状況にある。これらの現象は温度応力によることは明らかであるが、その破壊のメカニズムは余り明瞭ではなく、またその発生予測も困難とされる。予測を困難にしている理由の一つに低温での混合物の性状が未だ明確に把握されていないことが挙げられる。

本研究は、それらの研究の基礎的な部分をなすものであり、従来の直接温度応力破壊試験では十分明らかにされていない事項について、低温での物性を明らかにするため若干角度を変えて検討してみようとするものである。

本研究では圧裂法の簡便さを利用して、

- 変形速度を一定としたときの低温・低速載荷時における挙動
- 低温クリープ性状
- 低温・低サイクル繰返し載荷（低サイクル疲労）時の挙動 等について検討した。

2. 試験の方法並びに使用機器

a. 装 置 : 装置としては荷重サイクルの可能なインストロン1185静的荷重装置を使用した。

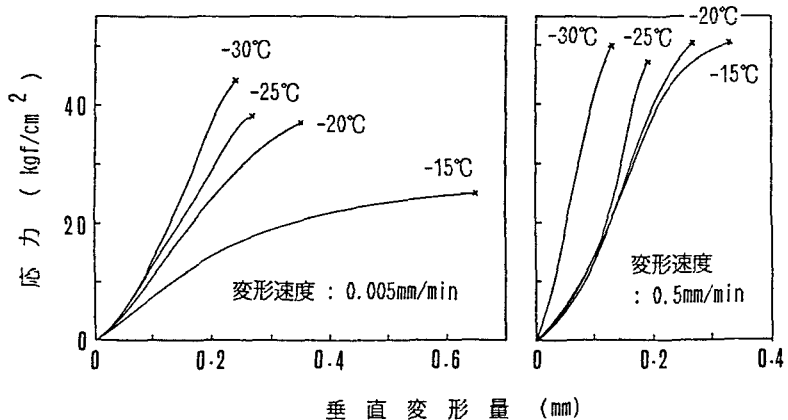
b. 材 料 : 使用した混合物は表に示すアスファルト・コンクリートの表層用混合物である。

各ふるい目の通過重量百分率 (%)							類 目	フ イ ラ ー	ア ス フ ァ ル ト
13 10	10 5	5 2.5	2.5 1.2	2.5 1.2	1.2 0.6	0.6 0.3			
10.8	20.2	17.5	8.9	4.3	5.6	9.4	8.9	8.5	5.8

3. 低速載荷時の強度

従来の多くの研究の結果混合物の破壊強度は変形速度と温度に依存して規則正しく変化することが明らかにされている。しかし温度応力破壊等においては、必ずしもそれらの論が適合しない。その理由はいろいろ考えられるが、主要なものとして極めて遅い速度では、本来的な破壊応力に達する以前に破壊してしまうような、供試体の内部での

表 アスファルト・コンクリートの配合



図—1 破壊試験における応力—垂直変形量

微細なクラックの成長、すなわち応力の作用時間の増大に伴う内部での崩壊の進行が関係しているのではないかと考えられる。世界的にみて温度応力破壊を対象にした場合の混合物の引張り強度の研究成果は、70ないし80 kgf/cm²をピーク値とするものと、30 kgf/cm²程度をピーク値とするものとにほぼ2分されてい

る。これらを背景として本研究では変形速度を広範に変化させ、圧裂法によって低速領域を含めて破壊試験を試みた。

温度 -30 、 -25 、 -20 、 -15 $^{\circ}\text{C}$ の4点において、載荷速度を5段階に変化させ、圧裂強度を求めた。なお、この試験では設定載荷速度として 0.005 、 0.05 、 0.5 、 5 、 50 mm/min を用いているが、試験機の剛性の関係で実際の変形速度は約20ないし50% になっている。

図-1は応力-垂直変形量の実測例を示したものである。ここに見られるように、応力-垂直変形量曲線はいろいろな形を示し、図-2に示したように大きく3つのタイプに分類される。タイプ-Iは延性破壊を、タイプ-IIIは脆性破壊をタイプ-IIはある応力までは直線を示しながらも、破壊強度に近づくにつれ勾配が緩かになり破壊に至るものを示す。載荷速度、温度毎にタイプ分類したものが図-3である。

図に見られるように、温度、速度によって破壊タイプが異なり、低温においても低速の場合延性的な破壊を示す。とくにタイプ-IIのような破壊は低温で極めて速度が遅い場合に起こる。直線を示しつつ、その勾配が緩くなることは混合物の粘性要素だけでは説明出来ない現象が起きていることがうかがわれる。

図-4に見られるように、低温においては応力-変形曲線はおおよそ同じ形を描くにもかかわらず、強度のパラツキが大きくなる傾向が見られる。載荷速度が大きい場合にも同様の傾向が見られる。載荷速度毎に温度-強度関係を示したものが図-5である。

従来の研究結果によれば通常温度-強度曲線は山型を描き変形速度を小さくすると、ピークは低温側に移動するがピークの高さは変化しない。また変形速度の1けたの差はピークの5ないし6 $^{\circ}\text{C}$ の移動をもたらす。それらの結果から推定すると、この実験では 0.05 mm/min で -30°C 、 0.005 mm/min で -35°C でピークに到達すると見られるにもかかわらず、この結果ではいずれもピーク強度に到達する温度より高い温度で、低い強度のままでパラツキが大きくなって脆性破壊の徴候を示してしまい、ピークに達しない。これらの理由の一つに応力の作用時間の長いことにもとづく内部崩壊の進行が考えられる。従って、変形速度の小さい温度応力破壊などの場合には、比較的変形速度の大きい静的試験での引張り強度をもって議論するのは適当ではないと思われる。

4. 低温クリープ性状

従来の研究からかなりの低温にあっても応力の緩和現象が見られることが明らかにされている。このことから混合物が低温においてどの程度クリープ変形できるかについて検討を行った。

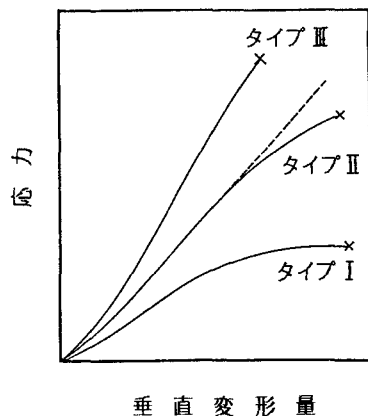


図-2 破壊のタイプ分類

	50 mm/min	5	0.5	0.05	0.005
-15 $^{\circ}\text{C}$	IIII	IIII	IIII	IIII	IIII
-20 $^{\circ}\text{C}$	IIII	IIII	IIII	IIII	IIII
-25 $^{\circ}\text{C}$	IIII	IIII	IIII	IIII	IIII
-30 $^{\circ}\text{C}$	IIII	IIII	IIII	IIII	IIII

図-3 各試験条件における破壊のタイプ

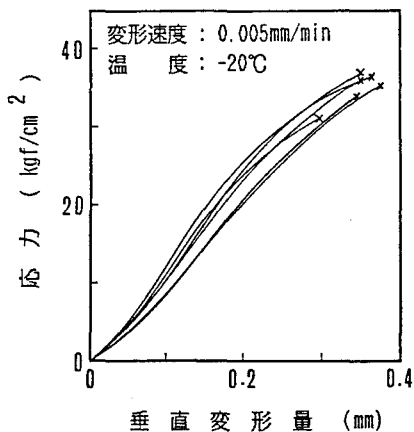


図-4 応力-垂直変形曲線と強度のパラツキ
(-20°C 、 0.005 mm/min の場合)

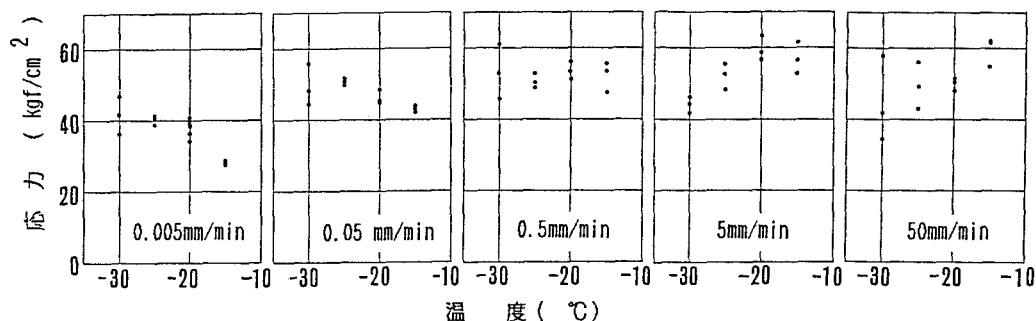


図-5 各載荷速度における温度-強度関係

この研究では、クリープと繰返し載荷との重ね合せを計画したため、繰返し載荷試験において計画した温度と応力の条件を一致させ、引張り応力レベルを 45, 42.5, 40, 37.5, 35, 30, 20, 15, 10 kgf/cm^2 にとって温度 -10, -15, -20, -25°C においてクリープ試験を行った。

図-6 は垂直変形量-時間曲線の例である。従来の比較的高温における曲線とほぼ同様な形状を示している。この図からこのような低温領域にあっても温度と応力への依存性があり、粘弾性体としての性状を失っていないことがわかる。クリープ破壊の起こる変形量は温度が低くなるにつれ小さくなる傾向が見られ、この領域で破壊ひずみは 10^{-3} のレベルにある。

これらの曲線の直線部分の勾配を求めクリープ速度とした。このクリープ速度と応力を両対数紙上で示したものが図-7 である。図に見られるように各温度毎に直線関係を示した。これは比較的高温における従来の研究における結果と一致している。図より温度の 7 ないし 8 °C の差はクリープ速度 1 ケタの差をもたらすことがわかる。またこれらのクリープ速度をひずみ速度に換算するとおよそ 10^{-9} から 10^{-6} /sec の範囲であり従来の比較的高温下でのクリープ試験で得られているひずみ速度に比較して極めて小さい。このように破壊現象にあってはバラツキが示されるにもかかわらず、低温でクリープ速度が極めて小さい場合でもかなりの規則性を示すことが明らかになった。これらの結果は温度応力破壊において、温度の低下によって発生する応力によって混合物にクリープが生じ、実質的に混合物が伸びることを示し、混合物の伸び限度を超える場合には破壊の発生があり得ることを示している。

5. 低温・低サイクル繰返し載荷（低サイクル疲労）

本研究では舗装の温度応力破壊を対象にしており、繰返し温度変化による混合物の性状変化を把握する一つの手段として荷重制御による低温繰返し載荷試験を行った。波形は三角波とし載荷速度は 0.5 mm/min とし

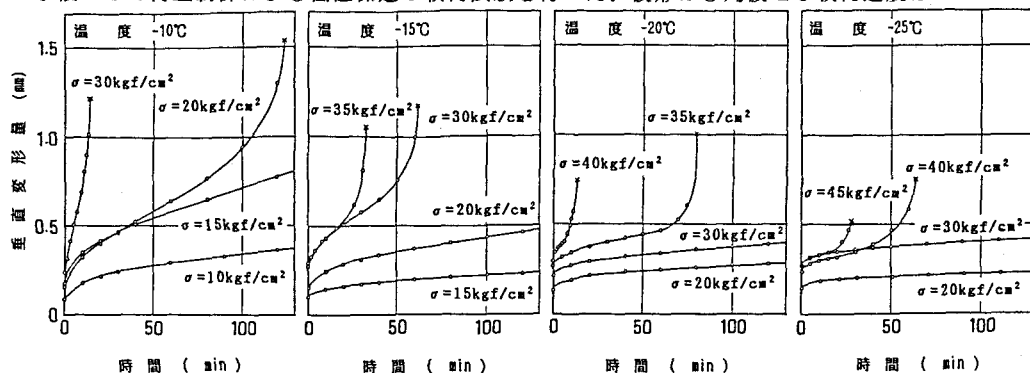


図-6 クリープ試験における垂直変形量-時間曲線

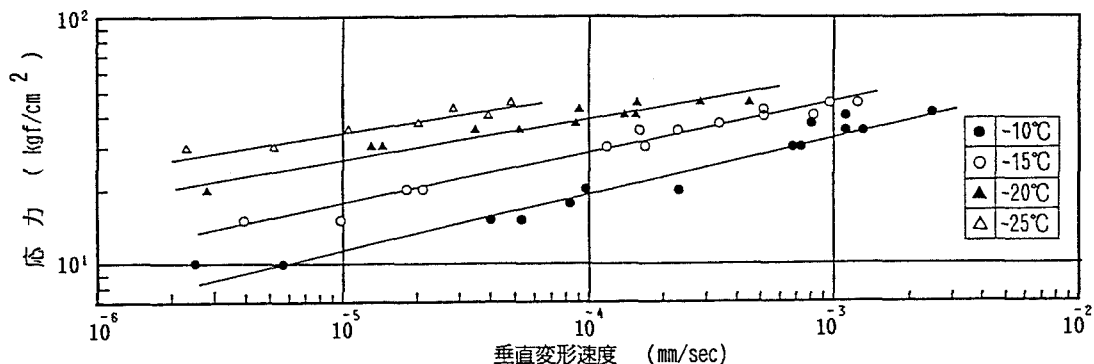


図-7 応力とクリープ速度との関係

た。温度は-10, -15, -20, -25℃とし、上限応力は45, 42.5, 40, 37.5, 35, 30, 20 kgf/cm²とした。またベース応力がかかる場合も考慮し、下限応力レベルは0, 20, 30 kgf/cm²（一部に10 kgf/cm²）とした。また、0.005 mm/minの载荷速度による試験も一部行った。図-8は入力した応力波形と測定された垂直方向変形波形を示したものである。図に見られるように低温であってもかなりの残留変形がある。本研究では破壊回数が比較的小さいので供試体が完全に破壊した回数を破壊回数とした。

図-9は下限応力レベル0の場合の上限応力レベルをパラメータとしたS-N曲線である。各温度において両対数紙上で直線と見られるが、-20, -25℃ではバラツキが大きく一本の線として表現するのは難しい。直線の延長とN=1の交点における応力レベルが同じ载荷速度における強度より高いレベルにあり一致しない。これらは破壊応力に近い点での応力ひずみ関係がそれより低い応力レベルでの性状とかなり異なったものになっていることを示しており、破壊試験で得られる破壊強度が混合物の強度を表現しているか否かも検討の必要があろう。

また下限応力レベル20, 30 kgf/cm²のものについても、S-N曲線が得られるが、下限応力レベル0のものと大差なく、バラツキを考慮するならば下限応力の有無にはほぼ無関係に上限応力によって破壊回数が決っているように見える。

しかしこの繰返し試験においては1回あたりの载荷時間が温度、応力によって変化しており、単に破壊回数のみで解析するのは適当ではなく、結果をいかに表現するかは大変難しい。

次に図-8に示したように垂直変形量の増加率が一定となる区間の载荷一回あたりの残留変形量を求め、さらにこれを一回あたりの载荷時間で割ったものを残留変形速度とし、これらをパラメータとして検討した。図-10は一回あたりの残留変形と破壊回数の関係をベース応力の有無にかかわらず両対数紙上で示したものである。これから载荷一回あたりの残留変形量が大きければ疲労抵抗性は低下し、一回あたりの残留変形が同じであっても温度が高いほうが疲労抵抗性は大きいことがわかる。これは先に行った研究の結果と一致している。一般的には破壊

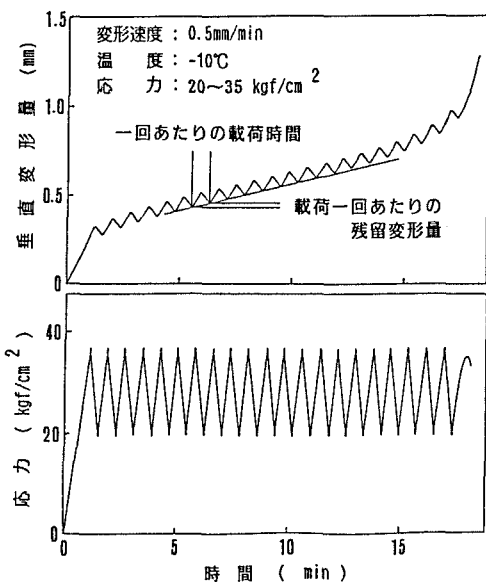


図-8 応力波形と垂直方向変形波形

時の累積残留ひずみは温度が高いときに大きく、低温で小さい傾向を見せるが、各温度での限界累積ひずみを特定することは出来なかった。

低サイクル試験で得られた残留変形速度はクリープ試験で得られたクリープ速度に変形の累積のかたちで対応しており、とくにベース応力のかかった低サイクル試験ではこのベース応力によるクリープ変形が大きな影響を与えていると考えられる。図-11はクリープ試験で得られた各温度毎の応力-クリープ速度のグラフに低サイクル試験で得られた残留変形速度を上下限応力幅との関係で示したものである。なお下限応力 0のものについては点線で示してある。また -15と -20℃には 0.005mm/minにおける低サイクル試験の結果も加えた。

これらの結果は低サイクル試験における残留変形量の増加は、実質的に静的なクリープ性状に支配されていることを示している。従って例えば平均応力をパラメータとし、その応力におけるクリープ性状からおおよその変形量が推定されることになる。

6. 結 論

a. 低速載荷時においては、ピーク強度に到達する温度より高い温度で、低い強度のままバラツキが大きくなって脆性破壊の徴候を示してしまい、強度のピーク値は高速載荷時のピーク値に達しない。これらの理由の一つに応力の作用時間の長いことにもとづく内部崩壊の進行が考えられる。温度応力破壊のような場合に想定すべき混合物の強度は通常の静的試験によって得られるものよりかなり小さい。

b. 低温においてもクリープ性状は温度と応力への依存性を示し、クリープ速度と応力は両対数紙上で直線となり、規則的である。

c. 低サイクル繰返し載荷試験における載荷一回あたりの残留変形量と疲労破壊回数はベース応力の有無にかかわらず、両対数紙上で直線を示し、1回あたりの残留変形が同じであっても温度が高いほうが疲労抵抗性が大きい。低温ではバラツキが大きい。

d. 低サイクル繰返し載荷試験における疲労性状はクリープ性状に大きく支配されている。

e. 従来の温度応力破壊に関する研究は、主として低温側の応力緩和が遅い領域を対象としてきたが、これは発生する応力が大きい場合には適切であると思われるが、温度が比較的高い場合にあっては、混合物はクリープしやすい特性をもち、条件によっては繰返しによって低温の場合よりむしろ破壊しやすい

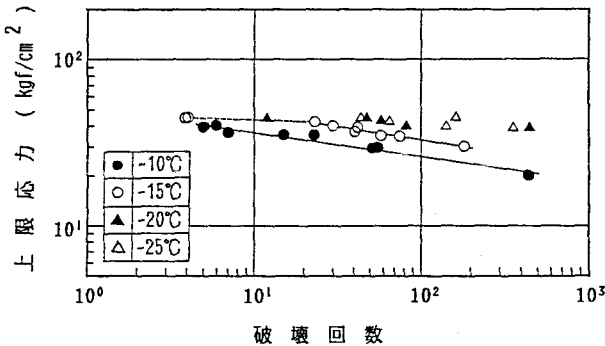


図-9 上限応力レベルをパラメータとしたS-N曲線

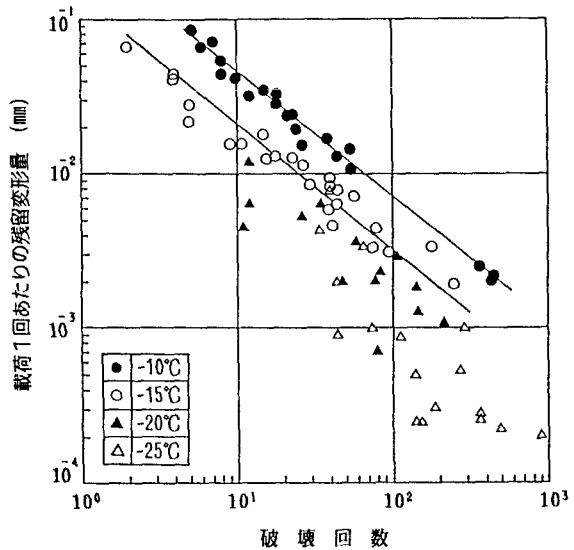


図-10 載荷一回あたりの残留変形量と破壊回数の関係

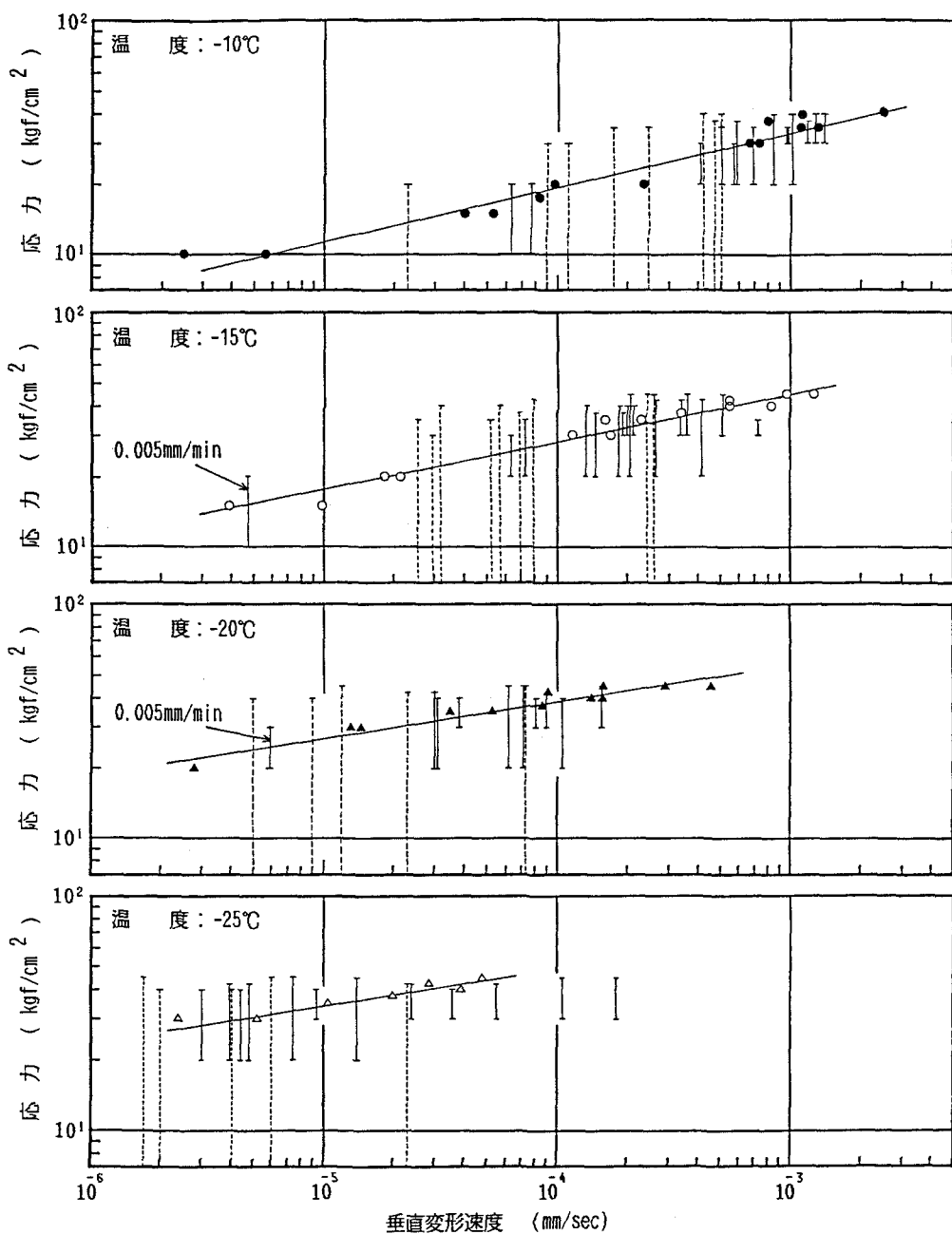


図-11 クリープ試験と低サイクル繰返し載荷試験の対応

こともあろうと思われる。

なお本研究は文部省科学研究費補助金の交付を受けて実施したものである。

参考文献

張 肖寧, 菅原照雄, “低温におけるアスファルト混合物の低サイクル疲労に関する研究” 土木学会昭和61年度年次学術講演会, 昭和61年11月