

V-45

アスファルト舗装の粘弾性理論
を用いたレオロジー解析

北海道大学 正員 森吉 昭博
三菱重工(株) 大田黒 直文
北海道大学 学生員 谷 智之

1. まえがき

アスファルト舗装の破壊現象は主に変形(わだち掘れ)と、亀裂による。この変形と亀裂はアスファルト混合物の2つの性状、すなわち高温域での「流動性」と低温域での「脆性」に伴う現象である。これら2つの性状は相反するものであり「変形」と「亀裂」とが同時に発生する事は少ない。しかし、双方を防止する事はきわめて困難である。これらの2つの現象を解析する場合、弾性理論ではアスファルト混合物の特徴である残留変形、応力緩和を取り入れる事が難しく、材料、構造のモデル化が困難であった。本論文ではこれらの現象に対し同時に取り扱う事が可能な粘弾性理論にもとづくFEM解析を試みた。

2. 解析理論

粘弾性体の熱応力を求める一般的な方程式は1次元で表わされる。従って本研究は次に示される粘弾性体の応力、ひずみ関係を1軸に数値変換し、2次元問題の解析に応用する。

$$\sigma(t) = E(t) \epsilon(t) - \int_0^t \frac{dE(t-t')}{dt'} \epsilon(t') dt$$

ここで E(t) はアスファルト混合物の緩和弾性率である。粘弾性体の E(t) は温度、時間により変化するため、本論文は温度時間の換算法則を採用し、緩和弾性率を決定した。緩和弾性率 E(t)、シフトファクター(時間移動量) はアスファルト混合物の種類により異なり、実際の実験より求めた。E(t) の値は図-1 に示す。

3. アスファルト混合物の流動解析および考察

ホイールトラッキング試験はアスファルト混合物の対流動性すなわち、わだち掘れの程度(動的安定度: DS [pass/mm]) を求めるための試験である。ここで表-1 に示す条件でそれぞれ 40, 45, 50°C で変形解析を行い、これと実験結果とを比較した。

解析結果の時間-変位曲線の1例は図-2 に示す。この曲線は実験結果と非常によく似た形状となっている。試験温度が 10°C 変化した場合、動的安定度(DS) は実験ではほぼ 2.1 倍、解析では 1.5 倍変化し、この割合は他の試験条件が変わった場合でも変化しなかった。また荷重が変化した場合にも解析、実験ともにほぼ荷重の大きさに比例した動的安定度が得られた。解析結果は表-2 に示す。

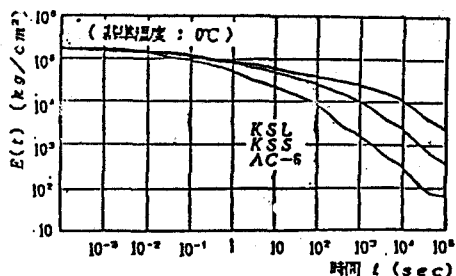


図-1 緩和弾性率 E(t) マスターカーブ

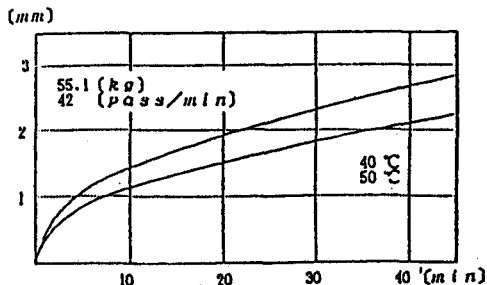


図-2 解析による時間-変位曲線

表-1 ホイールトラッキング試験条件

荷重	変位回数 (pass/min)	4.2	2.1
38.8 (4.10)	変位時間 (sec)	0.069	0.138
	変位速度 (cm/sec)	28.72	13.06
55.1 (5.30)	変位時間 (sec)	0.078	0.153
	変位速度 (cm/sec)	28.11	13.05

表-2 解析、実験による動的安定度

荷重		DS (動的安定度)			
		試験温度			40/50 40/45
		50	45	40	
38.8	実験データ	2897	3652	8000	2.071 1.843
	解析データ	1782	1592	1926	1.526 1.282
55.1	実験データ	2000	2800	4200	2.100 1.500
	解析データ	945	1183	1523	1.516 1.287
38.8	実験データ	1.45	1.30	1.43	1.42
55.1	解析データ	1.28	1.27	1.27	

表-3の条件の舗装構造をモデルとして解析した結果を図-3、表-4に示す。載荷表面より10cm下部の応力は使用アスファルト AC-6 の場合には0、40℃の両方の場合において応力の緩和が見られるが KSL の場合、0℃の時には応力が加算されていく傾向が見られた。

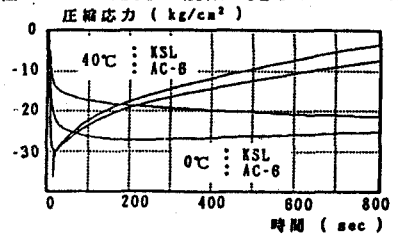
表-3 解析舗装構成モデル条件

舗装構成		荷重	
アスファルト層	12 cm	載荷速度	60 km/h
コンクリート層	20 cm	載荷間隔	4 sec
路幅	3 m	輪荷重	500 kg

表-4 舗装変形解析結果

	舗装温度℃	
	40	0
AC-6	0.2974	0.0237
KSL	0.2398	0.0028

(mm / 200pass)



4. 脆性領域におけるアスファルト混合物の応力および変形解析

使用アスファルト混合物として KSL, KSS を用いた。これらは国道表層に用いられ亀裂の多かったものと少なかったものである。

4-1. 熱応力試験と舗装の熱応力

熱応力試験は2.5cm×2.5cm×26cmの供試体を両端固定で、初期温度 10℃から30℃/hの温度勾配を与えたときの熱応力を求める試験である。この解析結果は図-5に示す。それぞれ-13℃、-17℃で脆性領域に入り以後の曲線の勾配は同一となっている。この形状は実験結果に非常に近いものとなっている。12cm×100cmのモデルに両端固定、もしくは一端固定、

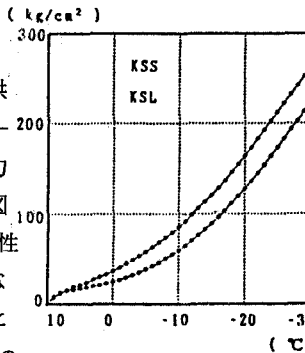


図-5 熱応力試験解析結果

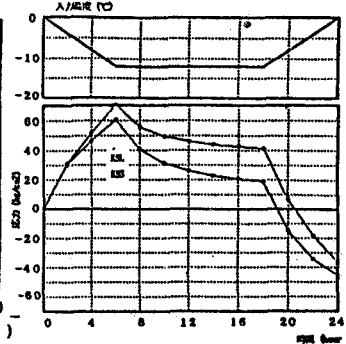


図-6 温度勾配が無いときの応力緩和

他端自由の境界条件で0℃から-12℃まで変化する4つの温度パターンを与えレオロジー解析を行った。両端固定の場合、ほぼ温度勾配に比例した温度応力が得られ、図-6に示すとおり温度勾配が一定の場合には応力が緩和していく傾向が見られた。また、KSLにはいずれの場合も大きな温度応力が発生し、また応力の緩和性状も良くなかった。一端自由の場合の変位は温度パターン、使用アスファルトにより違いがみられた。

4-2. 実際の道路舗装を想定した場合の熱応力、および変位

美々で昭和48年12月6日～7日に観測された外気温と1次元熱伝導方程式を用いて舗装の内部温度分布を求めた。この温度分布は図-7に示す。解析モデルは、接点条件として舗装下部は固定で、両端ローラ(亀裂発生前)、もしくは一端自由(亀裂発生後)の2タイプを想定した。舗装中央部に生じる最大引張り応力は KSL では KSS のほぼ2倍となっており、また KSS では応力緩和により24時間後には圧縮応力が生じているのに対し KSS ではほとんど圧縮応力は生じてはいない。これを図-8に示す。また亀裂部における変位には大きな差は見られないが、ともに亀裂部変位は増加していく傾向にあった。

5. まとめ

- 1) 各種の解析を行った結果は実際の実験結果に非常に近い値が得られた。
- 2) この手法は種々の舗装構造のレオロジー解析にも適用可能と思われる。

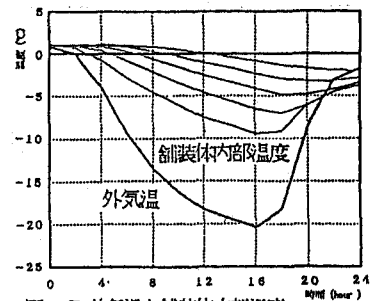


図-7 外気温と舗装体内部温度

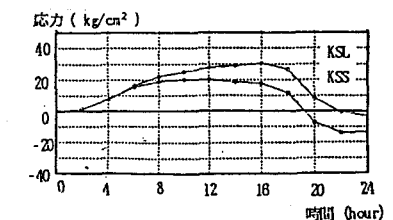


図-8 舗装に生じる時間-応力曲線