

第V部門 線形粘弾性解析に用いる各種アスファルト混合物の材料定数に関する研究

鹿島道路 (株) 正会員 ○田口 翔大, 横田 慎也, 鎌田 修  
 JIP テクノサイエンス (株) 戸田 圭彦, 田中 克弘, 狩野 正人  
 阪神高速技術 (株) 久利 良夫

1. はじめに

アスファルト (以下, As) 混合物のスティフネスは, レジリエントモデュラス試験や一軸圧縮試験で測定が行われているが, 夏期を想定した60°Cのような高温域での測定方法は確立されていない. このような中, 筆者らは一軸圧縮試験を基本として, 高温域でもスティフネス測定が可能な測定方法や供試体寸法などを見出した<sup>1)</sup>. そして, この方法を用いて線形粘弾性解析に用いる密粒度As混合物の材料定数を算定し, 線形弾性解析では再現できない橋面舗装のひずみ挙動を再現した<sup>2)</sup>. ここで, 実際の道路では種々のAs混合物が適用されているが, 線形粘弾性解析を実施する際もAs混合物の種類により材料定数を適宜設定することが望ましいと考えられる. そこで, 本研究では線形粘弾性解析に用いる各種As混合物の材料定数の違いについて検討した.

2. 検討方法

As 混合物の材料定数は, 非破壊で 0.138~0.55N/mm<sup>2</sup> の荷重でクリープ載荷する一軸圧縮試験から求めた<sup>1)</sup>. 供試体は, 300mm×300mm×50mm のホイールトラッキング試験用供試体から, コアボーリングにより採取した直径 50mm, 高さ 50mm の円柱供試体を用いた. なお, クリープ載荷時間は 3 秒とした. 次に, 一軸圧縮試験から得られた図-1 に示すようなひずみと時間との関係から, 図-2 に示す Burger's モデルに対応する 4 定数を内田が求めた以下の方法<sup>3)</sup>で求めた.

- ① 残留ひずみ  $\epsilon_r$  から  $\epsilon_r = \sigma_0 t / \eta_1$  として  $\eta_1$  を求める.
- ② 除荷直後のひずみ減少量  $\Delta \epsilon$  から  $\Delta \epsilon = \Delta \sigma / E_1$  として  $E_1$  を求める.
- ③ ひずみと載荷時間曲線から全ひずみ量は

$$\epsilon(t) = \sigma_0 / E_1 + \sigma_0 \times t / \eta_1 + \sigma_0 / E_2 \times (1 - e^{-E_2 \times t / \eta_2})$$

から実測値と相関が取れる  $E_2$  および  $\eta_2$  を求める.

ここで, 荷重を除荷した直後の応力の低下分である  $\Delta \sigma$  は, バネ成分の  $E_1$  の成分であり, 理論上は瞬時に変化する応力成分である. しかし, 実際に実験で計測すると, 図-1 のように応力の急激な変化にはいくらかの時間がかかる. そこで, 本研究では, 既報の研究結果<sup>2)</sup>を参考に,  $\Delta \sigma$  を荷重除荷後 0.02 秒として算出した  $E_1$  を使用することとした.

材料定数を求める As 混合物は表-1 に示す密粒度 As 混合物 (以下, 改質密粒), 粗粒度 As 混合物 (以下, 粗粒), ポーラスアスファルト混合物 (以下, ポーラス), グース As 混合物 (以下, グース) の 4 種類とした. なお, 比較のため既報<sup>2)</sup>のストレートアスファルト 60/80 を使用した密粒度 As 混合物 (以下 St 密粒) も併記している.

3. 試験結果

材料定数算出結果を表-2 および図-3 に示す. 表および図中には, 比較として St 密粒の結果も併記している. ここで, St 密粒の  $\eta_1$  は温度によらず一定の値を示している. これは一軸圧縮試験を実施した際に残留ひずみがほとんど発生せず, 載荷応力  $\sigma_0$  を 0.138N/mm<sup>2</sup>,  $t_1$  を 3 秒とした際の残留ひずみを参考に, 全ての温度で 20 $\mu$ m/m に設定したことに起因して

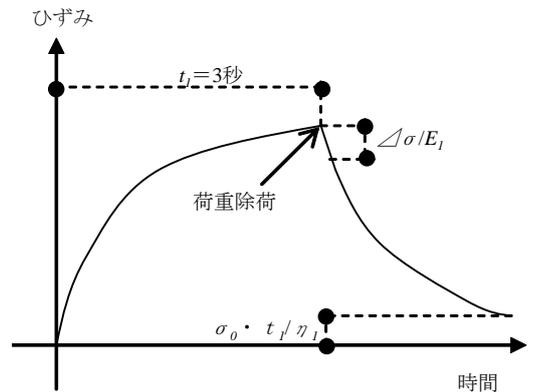


図-1 一軸圧縮試験で得られるひずみ-時間曲線

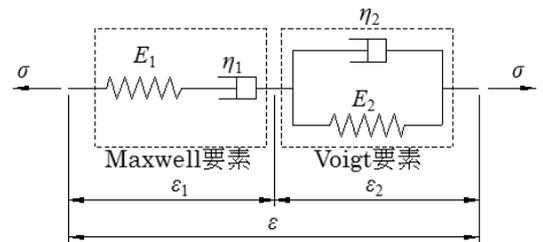


図-2 Burger's モデル

いる<sup>2)</sup>。本研究でも残留ひずみを一定と仮定する方法も検討したが、As 混合物間の違いをより明確にするため、残留ひずみの実測値を用いることとした。まず、 $\eta_1$ については、改質密粒、ポーラス、グースは高温になるに従い低下する傾向にあり、粗粒は40℃で大きくなる傾向が認められた。 $\eta_2$ では、グースとSt密粒では高温になるに従い低下する傾向にあるが、改質密粒、粗粒、ポーラスでは60℃で上昇する傾向が見られた。また、 $E_1$ は全ての混合物で高温になるに従い低下しているが、 $E_2$ は粗粒とポーラスの60℃で上昇する傾向が見られた。このように、As 混合物の違いにより、材料定数の大小のみならず、温度による傾向も異なることが明らかとなった。

ここで、材料定数の違いが線形粘弾性解析結果に与える影響を確認するため、改質密粒とSt密粒の材料定数を用いた、輪荷重走行試験<sup>4)</sup>の解析結果を図-4に示す。なお、解析手法は既報に示す方法<sup>4)</sup>を踏襲している。また、図中のグラフは、輪荷重走行試験における供試体側面上側のひずみ挙動を示している。改質密粒のひずみ挙動の振幅がSt密粒に比べやや小さくなっていることがわかる。材料定数の違いにより線形粘弾性解析で得られる結果も異なることが確認できた。

#### 4. まとめ

本研究では、一軸圧縮試験から線形粘弾性解析に用いる各種As混合物の材料定数を算出し、その結果を用いて実際に解析を行った結果、得られるAs混合物の挙動も異なることを確認した。今後は、各種材料定数を用いた様々なパターンの線形粘弾性解析を実施していくことで、材料定数の各パラメータが線形粘弾性解析結果の変化にどの程度影響を及ぼしているかを具体的に明らかにし、より精度良く解析できる手法を確立していきたいと考えている。

#### 【参考文献】

- 1) 久利ほか：高温域を考慮したアスファルト混合物のステイフネス測定に関する研究，土木学会舗装工学論文集第13巻,2008.12.
- 2) 久利ほか：線形粘弾性解析による鋼床版上アスファルト舗装のひずみ挙動に関する研究,土木学会論文集 E1 (舗装工学),Vol.67,2011.12.
- 3) 内田：鋼床版舗装における縦表面ひび割れに関する研究，中央大学博士論文，2005.
- 4) 横田ほか：線形粘弾性解析による輪荷重走行試験の再現性に関する研究，舗装, pp.10-13,2016.11.

表-1 As 混合物の種類

混合物の種類	改質密粒	粗粒	ポーラス	グース	St密粒 <sup>2)</sup>
アスファルトの種類	改質II型	St.As. 60/80	改質H型	グース用As*	St.As. 60/80
通過質量百分率 (%)	26.5mm	—	100.0	—	—
	19	100	98.0	100	100
	13.2	99.0	80.1	97.7	99.2
	4.75	60.6	45.2	17.6	67.5
	2.36	42.5	27.4	15.5	48.7
	0.6	24.6	16.4	10.8	38.6
	0.3	15.5	10.8	7.6	34.1
	0.15	9.4	7.2	5.7	30.4
	0.075	6.2	5.0	4.5	25.4
アスファルト量 (%)	5.3	4.9	5.0	8.3	5.5
動的安定度 (回/mm)	5600	700	5700	510	390

※St.As20/40 : TLA=75 : 25

表-2 材料定数算出結果

改質密粒	20℃	40℃	60℃	粗粒	20℃	40℃	60℃
$\eta_1$	65,239	15,751	4,589	$\eta_1$	14,317	30,558	14,912
$\eta_2$	816	50	52	$\eta_2$	583	117	243
$E_1$	8,422	1,129	295	$E_1$	6,038	1,814	494
$E_2$	1,026	272	169	$E_2$	718	582	1,505
ポーラス	20℃	40℃	60℃	グース	20℃	40℃	60℃
$\eta_1$	70,510	14,502	7,384	$\eta_1$	119,724	9,349	4,697
$\eta_2$	306	35	216	$\eta_2$	6,660	413	88
$E_1$	2,544	1,224	397	$E_1$	13,131	2,975	898
$E_2$	584	320	625	$E_2$	5,196	501	192
St密粒	20℃	40℃	60℃	※単位 $\eta_1 : N \cdot s / mm^2$ $\eta_2 : N \cdot s / mm^2$ $E_1 : N / mm^2$ $E_2 : N / mm^2$			
$\eta_1$	20,700	20,700	20,700				
$\eta_2$	433	22	10				
$E_1$	8,297	1,545	551				
$E_2$	512	147	145				

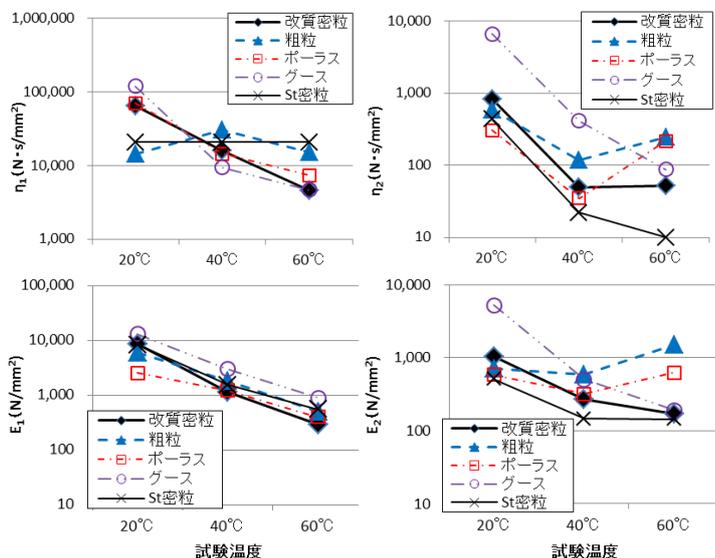


図-3 材料定数算出結果

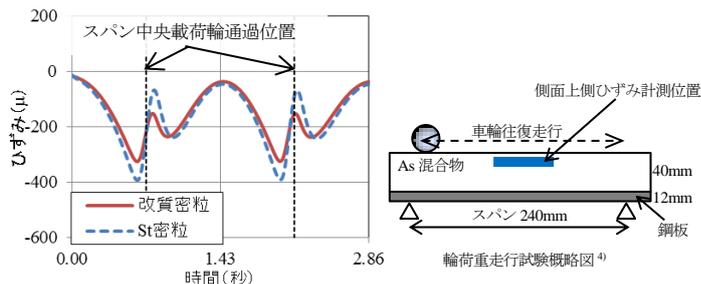


図-4 輪荷重走行試験<sup>4)</sup>の解析結果 (側面上側ひずみ)