

アスファルト混合物の凍結融解作用

室蘭工業大学 正員 新田 登
 同 学正員 〇高橋 邦明

1. 緒言

アスファルト混合物の空隙は、力学的性状（破壊性状、荷重分散性状など）、および耐久性（流動フラッシュに對する安定性あるいは気象作用によるアスファルトの劣化に對する抵抗性など）に關する主要な因子の1つであると思われる。特に寒冷地においては、混合物中に浸透した水が凍結し融解することによって、供用後の混合物の空隙の状態は大きく変化し、舗装の寿命に大きな影響を与えるものと思われる。そこで本報告では、気象作用によるアスファルト混合物の抵抗性に関する研究の一環として、混合物が凍結融解作用を受けた場合、その性質がどのように変化するかを、おもに弾性波速度を利用して比較検討したものである。

この弾性波速度を利用する手法は、おもに岩石または岩盤の物理的性質と力学的性質を間接的に求めるために、一般に広く用いられてきた方法であるが、先の研究^①で明らかにしたように、この手法はアスファルト混合物にも用いることが可能であり、非破壊的に測定できるため、同一供試体を凍結融解のサイクル毎に連続的に測定できる利点がある。

2. 実験概要

2-1. 試料および供試体作成法

試験材料は、針入度80/100のストレートアスファルトを用いた表層用密粒度アスファルトコンクリートであり、使用したアスファルトの性状および材料配合は、表-1に示してある。

供試体の締固め方法は、内径100mm、高さ80mmのスチール製モールドを使用してアムスラークより静的荷重を加えて締固めた静的締固め方法と、マーシアル安定度試験の締固め方法に準拠して締固めた打撃による締固め方法の2種類である。締固め温度・締固め荷重および打撃回数は、供試体が所定の強度になるよう種々変化させて締固めている。

2-2. 凍結融解試験手法

次の2種類の凍結融解試験を行なった。

(1) 水中凍結融解試験～供試体を水浸させ-20℃の低温室で12時間凍結させ、このあと+20℃の恒温室内に12時間放置し、これを21サイクル繰返した。

(2) 空中凍結融解試験～供試体を水浸させず-20℃の低温室内に12時間、このあと+20℃の恒温室内に12時間放置し、これを28サイクル繰返した。

この凍結融解試験に用いた供試体は、作成時空隙率が約3～7%位まで変化させている。

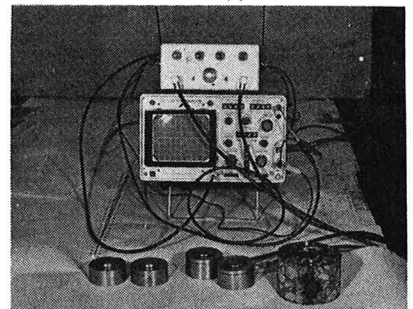
2-3. 弾性波速度測定装置および測定方法

本実験で使用した弾性波速度測定装置は写真1に示した通りのものであり、供試体中の弾性波通過時間は、遊進ダイヤルにより測

表-1

骨材粒度(通過重量百分率)	20 mm	100.0 (%)
	13	85.0
	5	55.0
	2.5	42.0
	0.6	23.9
	0.3	15.5
	0.15	6.7
	0.074	5.5
	アスファルト量(%)	
アスファルト針入度		89
軟化点		44.5℃
P. I.		-1.3

写真



定した。またこの測定装置は、振動子を交換するだけでP波およびS波が容易に測定できるという利点がある。周波数は、P波45 KHz、S波35 KHzであり、弾性波通過速度は次式により算定した。

$$V_p = D / (t_1 - \Delta t_1), \quad V_s = D / (t_2 - \Delta t_2)$$

ここで、 V_p, V_s : P波及びS波の供試体通過速度(Km/sec), t_1, t_2 : P波及びS波の供試体通過時間(sec)
 $\Delta t_1, \Delta t_2$: P波及びS波の初期遅延時間(sec), D : 測定区間距離(Km)

3. 実験結果

3-1. 凍結融解前のP波速度

図-1には、測定温度+20℃と-20℃での凍結融解前のP波速度と空隙率の関係を示している。この場合、-20℃の方が、+20℃でのP波速度よりも大きい値を示し、スフの締めめ方法の場合とも速度は、約1.1倍となっている。また+20℃と-20℃での使用したアスファルトのスティフネスをこの弾性波の周波数で求めると、約 $6 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ と $3 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ となり、40℃の温度低下に対してスティフネスは約5倍となる。骨材および空隙におけるP波速度は、それほど温度の影響を受けないので、この測定温度が低くなるにつれての速度増加は、ほとんどアスファルトの粘度の増大に依存するものと考えられる。しかし、この粘度の増大に比して、速度の変化は小さいと言える。

次に締めめ方法の違いによる空隙率とP波速度の関係を見るならば、静的締めめ方法の場合よりも打撃による締めめ方法の場合の方が曲線は急であり、空隙が小さくなるほど、つまり十分に締めめられると締めめ方法によってP波速度は大きく異なり、静的な場合は十分に締めめてもさほどの速度増加は見られない。以上のことから静的締めめの場合には、空隙および温度の影響が比較的小さいのに対して、打撃による締めめの場合には、空隙の影響がきわめて大であるということが出来る。このことは、締めめ方法によって、混合物の骨材の配列と空隙の分布状態つまり混合物の内部構造に違いがあることを類推させるものである。

3-2. 凍結融解試験P波速度

図-2に水中凍結融解試験のP波速度とサイクル数の関係を示している。サイクル数による速度変化は、締めめ方法により若干の違いがみられ打撃による締めめ方法の場合の方が速度低下は大きいようであるが、その量は比較的小さいと考えて良いであろう。またP波速度面からは、あまり作成時空隙率の大小による大きな違いは見られないようである。ただし、静的締めめ方法の場合、空隙率が最も小さい場合、最終的には最も速度が遅くなるという特別な傾向を示しているのが特徴的である。

空中凍結融解試験の場合の図は示していないが、静的および打撃による締めめ方法とも水中凍結融解試験結果とその傾向は、ほとんど同じであるが、そのサイクル数が増えることによるP波速度の変化は遅いと言える。

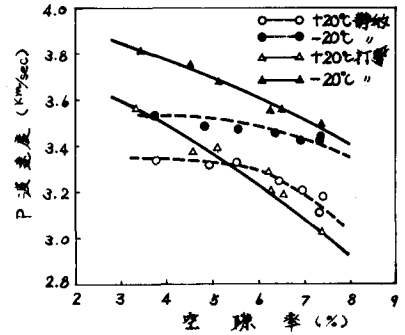


図-1 試験前P波速度と空隙率の関係

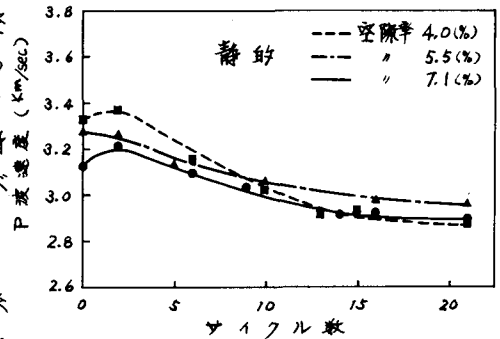
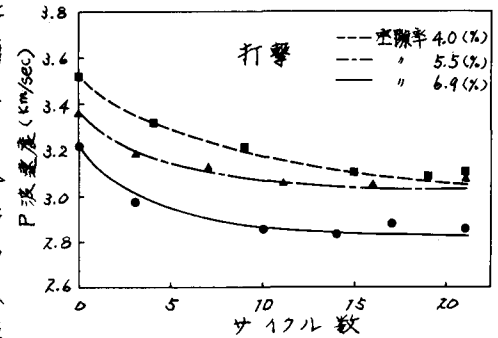


図-2 P波速度とサイクル数の関係

3-3. 凍結融解試験後の空隙率、吸水量、およびP波速度変化

本報告での空隙率の計算には、すべて次の式により求められた混合物密度を用いた。

$$\text{供試体密度} = \frac{\text{はじめの空中重量}}{\text{吸水後表面乾燥状態の空中重量} - \text{水中重量}} \times \gamma_w \quad (\text{g/cm}^3)$$

空隙率の計算に、このようにして求められた供試体密度を用いることは、水の浸透しうるような供試体内部の隙間の部分をも空隙量に加えようとする測定方法である。このようにして求められる混合物の空隙率は、水および外圧が入り込める空隙とそうでない空隙の2つから構成されることになり、本来水の浸入可能な空隙量で処理すべきであるが、ここでは両者の空隙量で処理した。

(1) 凍結融解作用による空隙率の変化 ~ 凍結融解作用を受けた場合の混合物の性状を空隙率の変化から評価すべく図-3のような凍結融解作用を受ける前の空隙率と凍結融解試験後の空隙率との関係を求めた。

この図より混合物は、凍結融解作用を受けることにより次第にルーズな状態に移行し、初期空隙率が大なる混合物ほどルーズになる傾向が大である。例えば打撃によって締固めた混合物についてみると、水中凍結融解作用を受ける前の平均空隙率が4.0%、7.0%の混合物は、サイクル後空隙率がそれぞれ5.4%、10.2%となっている。

同一の締固め法で締固めた混合物について、凍結を水中と空中で行った場合を比較してみると、空中凍結融解の場合がサイクルタイクモかかわらず、水中凍結融解の場合の方が、空隙率が大々く変化している。また、締固め方法によっても空隙率の変化に差がみられるようである。

これらのことから、寒冷地の舗装のように凍結融解作用を受けると考えられるような場合には、混合物中の空隙を小さくすること、つまり十分な締固め管理を行うことが必要であり、かつ混合物の耐久性を評価する場合に、ローラー転圧の場合と同じように締固められた供試体を用いなければ、適切な判断ができまいものとする。

(2) 水中凍結融解作用による吸水量変化 ~ 前節で水中凍結融解試験の場合の空隙率の変化が大いことが知られる水の影響が大いと考えられるので、凍結融解後の吸水量の変化を調べた。図-4は、吸水量と空隙率との関係を示したものである。凍結融解する前の吸水量は、空隙率が約4%、7%のとき、静的締固めの場合0.4%、0.7%、打撃による締固めの場合0.6%、1.3%で打撃による締固めの場合が約1.5~2倍ほど多いが、凍結融解後吸水量には、締固め方法の違いによる差はほとんどみられない。

また本報告の実験に使用した混合物と同じような配合を有する混合物の透気係数は、空隙率5%において、静的締固めの場合で $2 \times 10^{-9} \text{cm}^2$ 、打撃による締固めの場合で $1 \times 10^{-9} \text{cm}^2$ であり、両締固めの方法の間には約1オーダの差があることから、透気係数と試験前吸水量との間には密接な関係があるものとする考えができようであり、凍結融解作用に対する抵抗性を考える場合に空隙の質的は面からの検討が必要であろう。

(3) 凍結融解作用によるP波速度変化 ~ 図-5は、凍結融解試験前後の+20°Cで測定したP波速度と空隙率の関係である。空隙率が大い場合には、試験前後のP波速度にそれほど大なる差はみられないが、空隙率が小さくなるとその差は大々くなるようである。そして凍結融解作用の方法によっても、試験前後のP波速度の変化量には差がみられ、水中凍結融解の場合の方が、その変化量は大い。

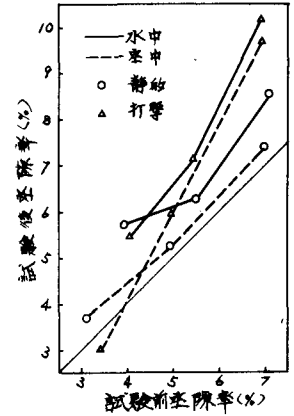


図-3 試験前後の空隙率の関係

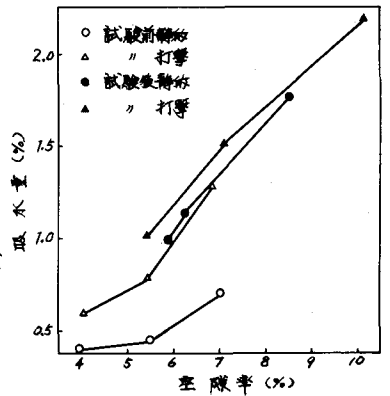


図-4 吸水量と空隙率の関係

次に水中凍結融解試験前後のP波速度と吸水量の関係を求めてみると、図-6 のようになる。吸水量が増すにレタがP波速度は遅くなり、掃固め方法によりその速度にも若干の差がみられる。そして試験後のこれらの関係も試験前の曲線上にのってくるようである。レタが、凍結融解試験後のP波速度は、空隙率による関係よりも吸水量によって、より関係づけられるものと思われる。

3-4. 動的弾性定数の算定

凍結融解試験前後でのP波およびS波速度の測定と供試体密度の測定より、種々の動的弾性定数を求めることができる。その中で、動ポアソン比と動弾性係数を次式に示し、図-7に、試験前後の動弾性係数と空隙率の関係を示す。

$$\text{動ポアソン比 } \mu_D = \frac{V_P^2/V_S^2 - 2}{2(V_P^2/V_S^2 - 1)}$$

$$\text{動弾性係数 } E_D = \frac{(1 + \mu_D)(1 - 2\mu_D) \cdot \gamma_t V_P^2}{(1 - \mu_D) \cdot 9.8 \times 10^5} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

V_P, V_S : P波およびS波速度 (cm/sec)

γ_t : 混合物密度 (g/cm³)

試験後の動弾性係数値は、供試体の空隙率および吸水量の増加にレタがい、それ以前よりも小さくなる傾向はみられるが、その変化量が1オーダー以上も低下するというような極端な変化はない。これは、サイクル数が水中凍結融解で21サイクル、空中凍結融解で28サイクルと少ないためと考えられる。

4. 結 語

以上の実験結果より次のことが結論づけられる。

- (1) アスファルト混合物の凍結融解に対する抵抗力を増大せしめるには、十分な掃固めが必要である。
- (2) 凍結融解作用を受けると、混合物はルーズな状態に移行し、水が浸透しうる空隙が多くなるとわかることができる。
- (3) 凍結融解による混合物の性状変化は、弾性波速度を利用することによって評価できる。

なお、本報告は、アスファルト混合物に含まれる空隙が混合物の性状に与える影響について行った実験の一部であり、実験に供した試料数の関係から、凍結融解に対する空隙の影響の一般的な傾向についてのみ述べたものである。現在も実験を継続中であり、個々の問題については、さらに検討をすすめていく予定である。

参考文献

- ① 新田 高橋：アスファルト混合物の弾性波速度について（土木学会オス8回年次学術講演概要集）
- ② 新田：アスファルト混合物の室内掃固め方法に関する一考察（土木学会オス8回年次学術講演概要集）
- ③ 土木学会編：岩盤力学

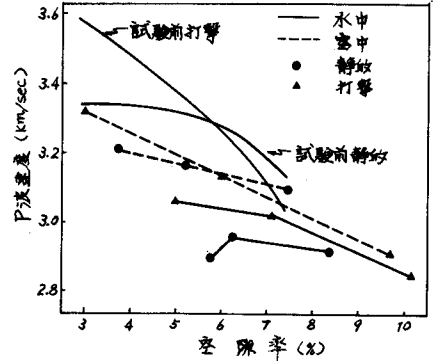


図-5 P波速度と空隙率の関係

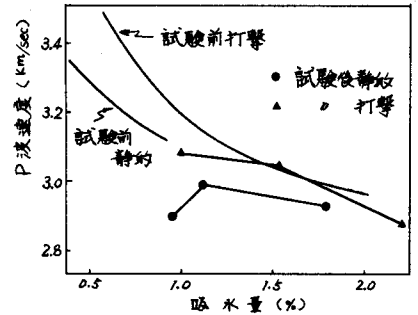


図-6 P波速度と吸水量の関係

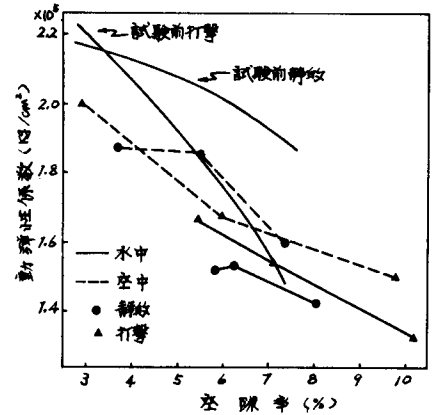


図-7 動弾性係数と空隙率の関係