

舗装用アスファルト混合物への凍結融解作用の影響

INFLUENCE OF FREEZE-THAW CYCLES ON ASPHALT
MIXTURES FOR PAVEMENTS久 保 宏*
By Hiroshi KUBO

1. ま え が き

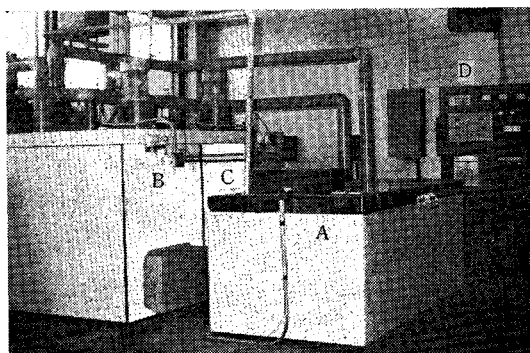
北海道のような積雪寒冷の気象条件下にある舗装用アスファルト混合物は、冬期間に多くの凍結融解作用を受ける。特に近年は道路や空港における除雪が完全に実施されるので舗装表面は、日中のプラスの温度から夜間にマイナスの温度に変化し¹⁾、1日のうちにも凍結融解現象が生ずることになる。このために寒冷地のアスファルト舗装は、温暖な地域のそれよりも老化現象が早期に認められ、それが凍上現象とも競合して亀裂が生じ破壊する例が多い²⁾。したがって、これらの被害を防止するためには凍結融解に対する抵抗性の大きい混合物の種類や配合を選定し実施することが肝要である。また、空港のショルダーやオーバーランのように交通量がほとんどない区域の舗装は、滑走路や誘導路のそれに比較して老化現象がかなり著しいことも認められているため³⁾、凍結融解作用と車両によるニーディング（こね返し）作用の関係も検討する必要がある。

しかしながら、いままで凍結融解作用を受けたことによるアスファルト舗装用混合物の老化現象を定量的に把握した資料があまり見当たらない。

本報告は、実際に寒冷地で広く用いられている舗装用アスファルト混合物が、室内で再現した凍結融解作用を受けたときのその混合物の特性値に関する実験結果を述べたものである^{4)~6)}。

2. 凍結融解試験装置と試験方法

本実験に用いた凍結融解試験装置は、ASTM C 666-73⁷⁾に準拠して供試体の周囲を水で満たし、この水をブライン（不凍液）によって凍結および融解させて、供試体に凍結融解作用を連続的に与えるものである。試験装



A: 試験槽, B: 高温槽, C: 低温槽, D: 制御装置

写真1 凍結融解試験装置

置の構造は、写真1に示すように供試体が所定の凍結融解を受けるのに適当な試験槽・高温槽・低温槽と、所定の温度にするための加熱装置・冷却装置・攪拌装置および制御装置からなっている。

制御装置は全自動式で、所定の温度・時間・回数をセットして、凍結融解を繰返すことができる。また、試験温度は、供試体の中心温度を基準にして、低温槽と高温槽のブライン温度を適宜調整して所定のものとした。なお、ブラインは非腐食性のグリコール系のものを使用した。

温度管理用供試体は、代表的な試料で行うこととし凍結融解の抵抗性の大きいアスファルトモルタル（以下アスモルという）を用いて、凍結融解数100回ごとに切り替えることにした。

図1は、マーシャル試験供試体を温度管理用供試体として用いたものを示す。供試体を綿糸の網に入れたのは、供試体とゴム袋の間隔を一定に保つことと

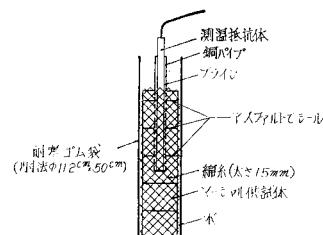


図1 温度管理用供試体

* 正会員 M.S. 北海道開発局土木試験所舗装研究室長

供試体の取り出しを容易にするためである。また、測温抵抗体と銅パイプの間にブラインを入れたのは、供試体と測温抵抗体の温度の一樣化をはかるためである。

本実験におけるアスファルト混合物の凍結融解試験は凍結行程が 4.5～-18°C で 2 時間、融解行程が -18～4.5°C で 1 時間とし、合計 3 時間を凍結融解数 1 回として、各種評価試験用供試体について所定回数実施した。この温度範囲は、冬の北海道におけるアスファルト表層温度のおおよその実測値を示すもので、アスファルトまたはアスファルト混合物の特異な条件を用いたものではない。

3. 実験の概要と使用材料

実験は、アスファルト混合物が凍結融解作用を受けるとどのように混合物の特性値が変化するかを確認するため、次の 3 つに大別して実施した。なお、この 3 つの実験について、同種の混合物でも配合の異なるものを用いたので、同じ評価試験においても異なった特性値を示した。

(1) アスファルト混合物の種類を変えた場合

アスファルト混合物の種類は、現在北海道で実際に使用されている表層用混合物をすべて網羅して、アスファルトモルタルに碎石を 0・25・40・55% 混入したものの 4 種類とし、それぞれアスモル、細粒度アスファルトコンクリート（以下細粒アスコンという）・細粒度ギャップアスファルトコンクリート（細粒ギャップアスコン）・密粒度ギャップアスファルトコンクリート（密粒ギャップアスコン）に相当するものである。

混合物中のアスファルト量は、それぞれの混合物におけるアスファルトモルタル分のアスファルト量（以下アスモル分アスファルト量）を、北海道産出骨材の材質の違いによるアスファルト量の変動範囲である 11% と 12% に統一して、アスモル分の質を変えないで碎石量の違いにより混合物の特性値を検討しようとした。したがって、混合物は合計 8 種類である。

混合物の凍結融解作用による影響を検討するために、各種類ごとに、マーシャル試験は 0・25・50・100・200・300 回、ラベリング試験は 0・100・200 回の凍結融解を繰返した後に実施した。ここで、200 回

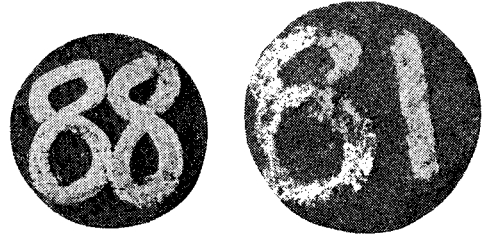


写真-2 凍結融解前後のマーシャル試験用供試体
(細粒ギャップアスコン)

または 300 回までの凍結融解数を選択したのは、北海道におけるアスファルト舗装は一冬の間に 40～50 回の凍結融解作用を受けるという報告⁸⁾があるので、5～6 年後の舗装の供用性を考慮して決めたものである。供試体は、混合物の種類と凍結融解繰返し回数（以下凍結融解数）ごとに、それぞれマーシャル試験用のものを 3 個、ラベリング試験用のものを 1 個作製した。写真-2 は、凍結融解前後のマーシャル試験用供試体を示す。

(2) アスファルト混合物の空隙率を変えた場合

アスファルト混合物の空隙率の違いによる凍結融解に対する抵抗性を検討するため、アスモルと細粒ギャップアスコンの 2 種類について、0・100・200 回の凍結融解を行った後、マーシャル試験およびラベリング試験を実施した。

空隙率の異なる供試体は、その空隙率が寒冷地で実際に施工されている舗装で得られる値をほぼ示すようにマーシャル試験用のものは突固め数 15・20・30・50 回として各 3 個、ラベリング試験用のものは転圧荷重を 20・30・50・80 t とし、各 1 個作製した。

(3) アスファルト混合物にニーディング作用を与えた場合

この実験は、すでに凍結融解作用を受けた舗装用混合物に車輪による繰返しニーディング作用を与えて、その

表-1 使用材料の性状

| 材 料 名 | 比 重 25°C/ 25°C | 針 入 度 25°C 5 秒 100 gr | 軟化点 R & B (°C) | フラスコ 脆化破壊 点 (°C) | 針入度 指 数 | 薄 膜 加 熱 | | 混合物の温度 (°C) | | | | |
|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------|---------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 蒸 発 量 (%) | 原針入度 に対して (%) | 混 合 時 | 締 固 め 時 | | | |
| ストレート アスファルト | 1.028 | 110 | 42.0 | -17.5 | -1.12 | 0.02 | 6.15 | 145 | 135 | | | |
| 材料名 | 産 地 | 比 重 | 吸水率 (%) | ロサンゼ ルスすり へり減量 (%) | 安定性 損失量 (%) | 通 過 重 量 百 分 率 (%) | | | | | | |
| | | | | | | mm 12.7 | 4.76 | 2.38 | 0.59 | 0.297 | 0.149 | 0.074 |
| 石 粉 | 東 鹿 越 | 2.717 | | | | | | | 100 | 93 | 83 | |
| 細 粒 砂 | 銭 函 | 2.593 | 2.0 | | | | | | 100 | 98 | 12 | 1 |
| 粗 粒 砂 | 勇 弘 | 2.709 | 1.0 | | | 100 | 96 | 68 | 33 | 3 | 0 | |
| 碎 石 | 手 稲 | 2.609 | 2.9 | 19.0 | 5.2 | 100 | 0 | | | | | |

表-2 混合物の配合表

| 混合物の種類 | 記号 | アスファルト (%) | 石粉 (%) | 砂 (%) | | 砕石 (%) | |
|----------------------------------|----|------------|--------|-------|------|-------------|------------|
| | | | | 細粒 | 粗粒 | mm 2.5~5 | mm 5~13 |
| アスファルトモルタル (アスモル) | A | 11.0 | 18.7 | 28.1 | 42.2 | — | — |
| | B | 12.0 | 20.4 | 27.0 | 40.6 | — | — |
| 細粒アスファルトコンクリート (細粒アスコン) | C | 8.3 | 14.1 | 21.0 | 31.6 | 12.5 | 12.5 |
| | D | 9.0 | 15.3 | 20.3 | 30.4 | 12.5 | 12.5 |
| 細粒度ギャップアスファルトコンクリート (細粒ギャップアスコン) | E | 6.6 | 11.2 | 16.9 | 25.3 | 16.0 | 24.0 |
| | F | 7.2 | 12.2 | 16.2 | 24.4 | 16.0 | 24.0 |
| 密粒度ギャップアスファルトコンクリート (密粒ギャップアスコン) | G | 5.0 | 8.5 | 12.6 | 18.9 | 16.5 | 38.5 |
| | H | 5.4 | 9.2 | 12.2 | 18.2 | 16.5 | 38.5 |

(注) A,C,E,G 混合物のアスモル分アスファルト量は 11%, その他は 12%

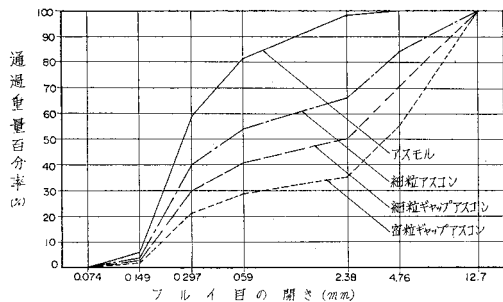


図-2 アスファルト混合物の骨材粒度 (フィラーを含まず)

表-3 混合物の配合表

| 混合物の種類 | アスファルト (%) | 石粉 (%) | 砂 (%) | | 砕石 (%) | |
|------------|------------|--------|-------|------|-------------|------------|
| | | | 細粒 | 粗粒 | mm 2.5~5 | mm 5~13 |
| アスモル | 11.5 | 19.6 | 27.6 | 41.3 | — | — |
| 細粒ギャップアスコン | 7.0 | 11.9 | 16.4 | 24.7 | 16.0 | 24.0 |

表-4 混合物の配合表

| 混合物の種類 | アスファルト (%) | 石粉 (%) | 砂 (%) | | 砕石 (%) | |
|------------|------------|--------|-------|------|-------------|------------|
| | | | 細粒 | 粗粒 | mm 2.5~5 | mm 5~13 |
| 細粒ギャップアスコン | 7.0 | 11.9 | 17.0 | 26.0 | 13.8 | 24.3 |

作用のまったく受けない場合との比較において混合物の特性値がどのように回復するかを実験的に調べるために行ったものである。実験では、このニーディング作用を室内で試験的に再現する装置としてホイールトラッキング試験機を用い、トラバース(横方向への摺動)を 15 分間行って凍結融解後の供試体に車輪によるこね返しを与えた。

混合物の種類は、細粒ギャップアスコンとし、凍結融解数 0・40×5・200 回についてホイールトラッキング試験を行った。ここでいう凍結融解数 40×5 とは、まず凍結融解数 40 回を供試体に加え、その後ニーディング作用を 15 分間与える。この操作を 5 回繰返したものである。したがって、試験供試体は 40 回の凍結融解作用と 15 分間のトラバースによるニーディング作用を交

互に 5 回受けたことになる。なお、供試体数は各試験 3 個である。

この実験に用いたアスファルトおよび骨材の性状と粒度を表-1 に示す。アスファルト混合物の種類を変えた場合の実験に用いた混合物の骨材粒度と配合割合を、それぞれ図-2 と表-2 に示す。また、アスファルト混合物の空隙率を変えた場合およびニーディング作用を与えた場合の実験に使用した混合物の配合割合を、それぞれ表-3 と表-4 に示す。

4. 評価試験方法

アスファルト混合物の凍結融解作用に対する抵抗性を評価する試験方法としては、寒冷地における表層用アスファルト混合物の配合設計や管理試験のために現在広く一般に用いられているマーシャル試験、ラベリング試験およびホイールトラッキング試験を採用した。

(1) マーシャル試験

マーシャル試験は、舗装用アスファルト混合物の高湿時安定性状を把握するとともに適切な配合を選定するために用いられているものである。マーシャル試験用供試体の凍結融解前後の安定度を、同種・同配合について測定し、その両者の関係を次式から求めて残存安定度と名づけた。

$$\text{残存安定度 (\%)} = \frac{\text{凍結融解後の安定度 (kg)}}{\text{凍結融解前の安定度 (kg)}} \times 100$$

(2) ラベリング試験

ラベリング試験は⁹⁾、実際の舗装道路ですべり止め用として車両に装着されるスパイクやタイヤチェーンによってもたらされるすりへり作用を室内において再現したもので、舗装用アスファルト混合物のすりへり抵抗性を評価するものである。

本実験では、粗骨材を含む混合物のすりへり抵抗性を検討するため、「回転式ラベリング試験機」¹⁰⁾を使用し、凍結融解後に試験温度 -10°C、片面 3 時間、供試体の両面について行った。

(3) ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験は¹¹⁾、アスファルト舗装における車両の走行によるわだち掘れ現象を高温室内で再現し、アスファルト混合物の塑性流動に対する抵抗性を評価するものである。

供試体の寸法は、30×30×5 cm で、線圧 20 kg/cm の

ローコンパクターを使用して転圧し、供試体を作製した。

試験は、45°C に保った高温実験室で、荷重 53.5 kg・接地圧 5.5 kg/cm²・ゴムタイヤ外径 20 cm・幅 5 cm のホイールトラッキング試験機を用いて、トラバースを 15 分間、その後のトラッキング (42 回/分) を 80 分間行った。

流動に対する抵抗性を示す動的安定度は、トラッキング 60~80 分の 20 分間の変動量から次式で求めた。

$$\text{動的安定度 (回/mm)} = \frac{\text{時間(分)} \times 42(\text{回/分})}{\text{変位量 (mm)}}$$

5. 実験結果と考察

(1) アスファルト混合物の種類を変えた場合

a) マーシャル試験

凍結融解作用を受けたアスファルト混合物について、凍結融解数とマーシャル試験用供試体における空隙率との関係を混合物の種類別に示すと 図-3 に、また、凍結融解数とマーシャル試験安定度および残存安定度の関係をそれぞれ 図-4 と 図-5 に示した。

図-3 から明らかなように、凍結融解後の混合物の空隙率は、いずれの種類と配合においても凍結融解数を増

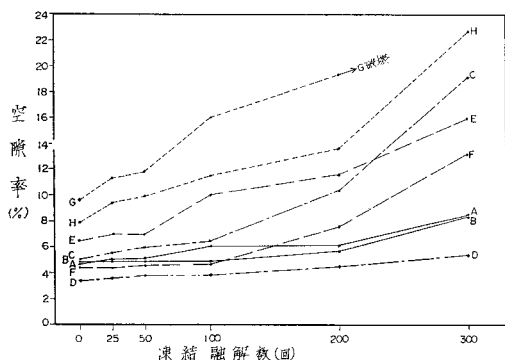


図-3 凍結融解数と空隙率の関係

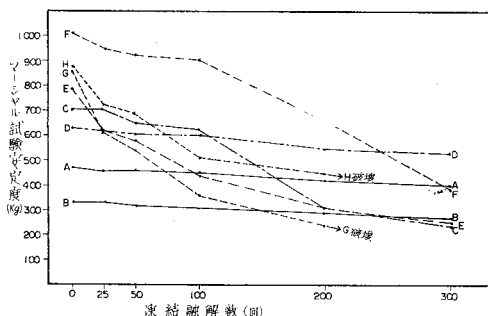


図-4 凍結融解数とマーシャル試験安定度の関係

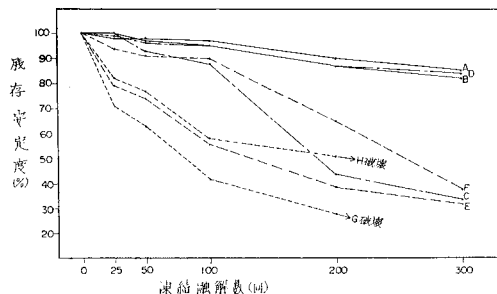


図-5 凍結融解数と残存安定度の関係

すにつれてほぼ比例的に増加する。この傾向とは逆に、安定度と残存安定度は凍結融解の増加に伴って低下していく (図-4, 5)。この実験に用いた混合物の種類と空隙量の範囲内では、供試体の空隙率の増加と安定度および残存安定度の低下とが凍結融解数の関係でほぼ逆比例の傾向にあるため、空隙率の増加は好ましくない影響を混合物に与えているといえる。

凍結融解数の増加によって、空隙率・安定度・残存安定度の変化の小さいものは、アスモル (A・B) と細粒アスコン (D) で、比較的アスファルト量の多い種類のものである。また、寒冷地の国道舗装で最近もっとも多く採用されている細粒ギャップアスコン (F) は、100 回の凍結融解数まではわずかな安定度の変化であるが、その後は急激に安定度が低下する。

北海道で縦断勾配 4% 以上の道路のすべり止め舗装として一般に用いられている密粒ギャップアスコン (G・H) は、凍結融解作用によって空隙率は急激に増加し、逆に安定度は急激に減少してほぼ 200 回の凍結融解数で破壊した。この混合物は、実際の現場において数年間で破損することがよくあることと対応しており、寒さの厳しい場所に採用するには、その種類と配合に一考を要することが判明した。また、アスモル分アスファルト量 12% の方が、すべての種類の混合物において 11% より良好な結果を示し、凍結融解作用に対する抵抗性においてはアスファルトの増量は有効な手段である。

b) ラベリング試験

図-6 は、凍結融解作用を受けたアスファルト混合物のラベリング試験によるすりへり量と凍結融解数の関係を示したものである。いずれの種類のも凍

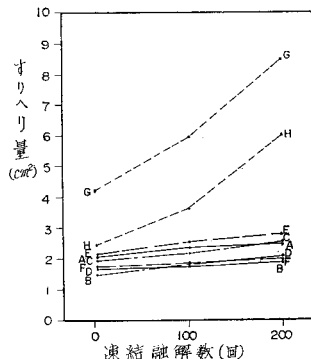


図-6 凍結融解数とすりへり量の関係

結融解数を増すと、すりへり量は増大する傾向を示すが、密粒ギャップアスコン (G・H) はその割合が顕著である。したがって、マーシャル試験の場合と同様に、凍結融解作用によって供試体に内在する空隙量が増大し、その結果すりへり抵抗性が低下するといえる。このことは、密粒ギャップアスコンの現地での挙動とも一致するものである。また、アスモル・細粒アスコン・細粒ギャップアスコンのすりへり抵抗性については、その種類の差よりもむしろアスモル分のアスファルト量によって凍結融解作用の影響を大きく受ける傾向にある。

(2) アスファルト混合物の空隙率を変えた場合

混合物の種類と凍結融解数の関係から混合物の空隙率が、その特性値に重要な役割を果たすことがわかった。また、空隙率の多い寒冷地の舗装がより早く劣化し、ひびわれなどが生じやすいことも多くの経験から定性的に確認されている。したがって、ここでは、あらかじめ空隙率の異なる供試体をアスモルと細粒ギャップアスコンについて作製し、100回と200回の凍結融解作用を与えて残存安定度を求めた。この実験結果を図-7に示す。この図から、作製直後の供試体の空隙率が大きいほど凍結融解後の残存安定度が低下して好ましくない影響を受けることがわかる。特に、細粒ギャップアスコンでは、作製時の空隙率がほぼ6%を越えると凍結融解作用の

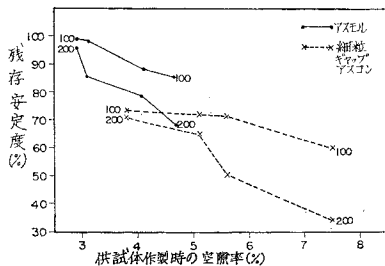


図-7 供試体作製時の空隙率と残存安定度の関係

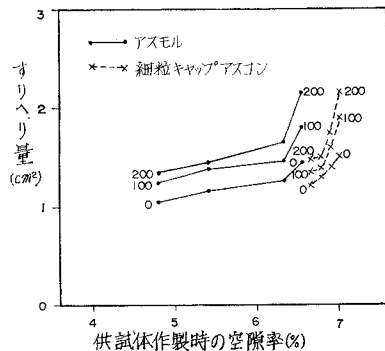


図-8 供試体作製時の空隙率とすりへり量の関係

影響を大きく受けるため、寒冷地においてはできるだけ空隙率の小さな混合物を施工することが望ましい。

また、作製時空隙率とラベリング試験によるすりへり量の関係を 図-8 に示すが、アスモル・細粒ギャップアスコンの両混合物とも作製時空隙率を小さくすると、凍結融解作用に対する抵抗性が大きくなることがわかる。作製時の空隙率を大きくすると、凍結融解作用の影響を受けやすく、高温時の安定性やすりへり抵抗性は低下するが、その場合は混合物の種類と評価試験方法によって異なることがこの実験から得られた。

(3) アスファルト混合物にニーディング作用を与えた場合

空港のショルダーやオーバーランの舗装は冬期間に凍結融解作用を受けて、交通量が多い滑走路や誘導路のそれよりも老化しやすいことが経験からわかっている。そこで、ほぼ一冬の間を受けると考えられる40回の凍結融解作用後に、ある一定量の車両によるニーディング作用を与え、この操作を5回連続させたときのホイールトラック試験における動的安定度を求めた。この結果を凍結融解数0回と200回の関係において示すと 図-9 のようになる。この図から、凍結融解作用を受けた供試体にニーディング作用を与え、この操作を繰返し与えることによって動的安定度はかなり回復し、凍結融解数200回と作製直後の動的安定度のほぼ中間的な値を示すことがわかる。したがって、寒冷地で交通量のあまりない区域の舗装においては、夏の間車両などによってできるだけニーディング作用を与え、それを数年間にわたって繰返すことが望ましい。

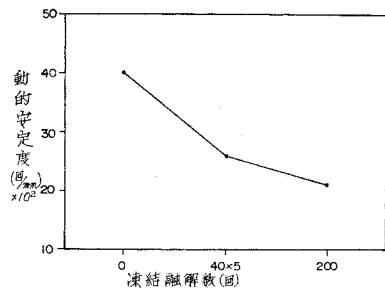


図-9 凍結融解数と動的安定度の関係

6. 結 論

寒冷地の道路や空港で実際に用いられているアスファルト混合物について凍結融解試験を行い、混合物の種類や配合と凍結融解作用の関係を検討した。この実験から得られた結論は次のとおりである。

(1) アスファルト混合物が凍結融解作用を受けると

その空隙率は増加し、マーシャル試験およびラベリング試験で評価した混合物の物理的性状は低下する。その程度は、混合物の種類・配合・供試体作製時の空隙率・ニーディング作用の有無によって異なる。また、混合物に内在する空隙量が凍結融解作用の影響度合の重要な要因となっている。

(2) 凍結融解作用に対する抵抗性の比較的大きい混合物は、アスファルト量の多いアスファルトモルタルと細粒度アスファルトコンクリートである。また、寒冷地のすべり止め舗装として一般に用いられている密粒度ギャップアスファルトコンクリートは、凍結融解作用に対する抵抗性に劣り、その配合や空隙率を工夫する必要がある。

(3) 寒冷地で、交通量の比較的小さい道路に用いられている細粒度アスファルトコンクリートは、凍結融解作用に対する抵抗性が大きいので、今後は道路ばかりでなく空港のショルダー部の舗装にも適用するよう検討すべきである。

(4) 混合物の供試体作製直後の空隙率は、凍結融解作用に対してはできるだけ小さい方がよく、約 6% 以下にすべきである。

(5) 凍結融解後にニーディング作用を繰返し与えた場合の動的安定度はかなり回復する。したがって、寒冷地空港のショルダー、オーバーラン舗装のようにあまり交通量のない区域では他の区域の舗装に比較して苛酷な条件下にあるため、混合物の種類や配合の選定にはよりいっそうの工夫が必要であり、また、夏期のうちに車両などで繰返しニーディング作用を与えることが望ましい。

7. あとがき

今回の実験で、アスファルト混合物が凍結融解作用を受けるとその空隙率が増加して物理的性状が低下し、好ましくない影響を受けることがわかった。しかし、混合物の種類や配合を適切に選定し、よく締固めることによ

って凍結融解作用の影響を最小限にできることも判明した。

寒冷地の道路や空港において比較的交通量の少ない区域の舗装には凍結融解作用による老化が多く認められるが、この実験結果を有効に利用することによって抵抗性の大きなアスファルト混合物を選択できる。

今後は、寒冷地舗装の上層路盤および基層として用いられているアスファルト安定処理および粗粒度アスファルトコンクリートについて凍結融解作用の影響を検討する必要がある。

謝 辞：本実験にご尽力いただいた舗装研究室 熊谷茂樹副室長ならびに帯広開発建設部道路課 岩崎信行舗装主任に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 太田・久保・熊谷・菅原：舗装体の温度について、北海道開発局土木試験所月報，第 193 号，pp. 20~22. 昭和 44 年 6 月。
- 2) 河野・久保：道路の凍上とその対策，日本機械学会誌，第 80 巻，第 709 号，p. 86. 昭和 52 年 12 月。
- 3) 西田・青山・石野：羽田国際空港滑走路の舗装，土木施工，第 7 巻，第 11 号，pp. 173~178. 昭和 41 年 11 月。
- 4) 岩崎・斎藤・熊谷：アスファルト合材の凍結融解試験について，第 10 回日本道路会議論文集，pp. 181~182. 昭和 46 年 10 月。
- 5) 美馬・久保・岩崎：アスファルト混合物の凍結融解試験について，土木学会第 30 回年次学術講演会概要集，第 5 部，pp. 281~282. 昭和 50 年 10 月。
- 6) 久保・岩崎：アスファルト混合物の凍結融解試験について，北海道開発局土木試験所月報，第 287 号，pp. 1~13. 昭和 52 年 4 月。
- 7) ASTM C 666-73 Standard Method of Test for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.
- 8) 板倉・菅原・小山：低温域における混合物の物理的性質について，北海道開発局土木試験所月報，第 8 号，pp. 33~45. 昭和 27 年。
- 9) 建設省：土木試験基準（案）下，pp. 28~35. 昭和 45 年 12 月。
- 10) 太田・久保・熊谷：粗骨材を含むアスファルト合材のすりへり試験について，北海道開発局土木試験所月報，第 170 号，pp. 11~17. 昭和 42 年 7 月。
- 11) 斎藤・久保・熊谷：アスファルト混合物のホイールラッキング試験について，北海道開発局土木試験所月報，第 256 号，pp. 1~9. 昭和 49 年 9 月。

(1977.12.17・受付)