

# 路盤材の凍結融解試験について

久保 宏\* 佐藤 実\*\*

## まえがき

最近、北海道内産の路盤材のうちで、北海道開発局の道路工事仕様書の品質規格には合格していながら、実際の道路に使用してみると比較的短期間のうちに泥濘化し、道路舗装に悪影響を及ぼす事例が多々生じている。その原因については種々考えられているが、その一つとしての凍結融解作用に対する路盤材の抵抗性を検討してみることも必要であろう。そこで、過去において道路の路盤に使用し、多少の泥濘化問題が生じたことのある材料と良質な路盤材を対象に凍結融解試験を行い、2、3の比較検討を加えてみた。

本報文では、道路の路盤材を対象にした凍結融解試験結果ならびに現在適用されている道路用路盤材料の規格値との関連性についてその概要を述べるものである。

## 1. 実験の概要

### (1) 試料

この実験に使用した11種類の路盤用材料の品質規格試験結果と、後述する凍結融解試験による骨材損失量および粒度平均変動率は表—1に示すとおりである。ここで試料番号1～6は40%級切込砕石であり、番号7～11は40%級切込砂利である。また試料番号1の手稲産切込砕石については、過去の実績から凍結融解作用に対して十分耐久性があると認められており、良質材の標準としてこの試験に含めた。

これらの材料の試験値は、北海道開発局道路・河川工事仕様書（以下、局仕様書という。）に示す規格値には合格している。しかし、安定性損失量については、路盤材の種類によってかなりの差があり、試料番号4の留萌大和田産の切込砕石では19.3%で、規格値の20%に近いものであった。なお、今回の試験では、その吸水状態でのすりへり減量試験をもあわせて行った。

### (2) 凍結融解試験装置

凍結融解試験装置は、ASTM<sup>3)</sup>; C666-73に準拠して、試料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、試料に凍結融解作

用を連続的に与えるものである。

試験装置の構造は、試料が所定の凍結融解を受けるのに必要な試験槽・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・覚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・回数を所定の凍結融解数を繰返すことができる。

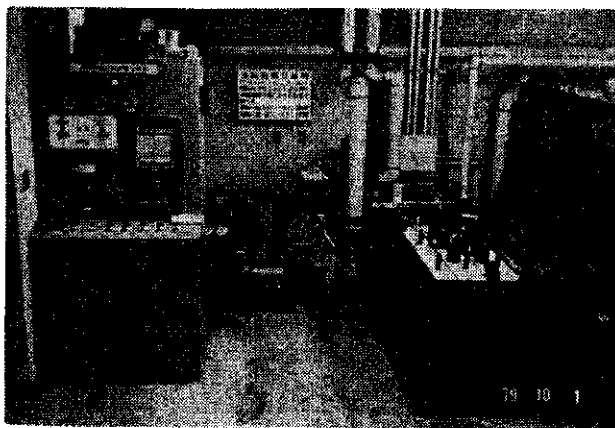
試料の中心温度・試験槽と低温槽および高温槽の温度は、自記記録されており、ブラインの温度を適宜調整できるようにになっている。ブラインは非腐食性のグリコール系のものを使用した。

### (3) 凍結融解試験方法

道路用路盤材を対象とした凍結融解試験では、凍結過程が4.5～-18.0°Cで2時間、融解過程を-18.0～4.5°Cで1時間とし、合計3時間を凍結融解数1回として、所定に回数実施した。なお、温度管理は温度管理用試料の中心に测温抵抗体を組み入れ、温度変化を感知し、所定の温度になるようにした。

写真—1は凍結融解試験装置を示す。この試験の手順としては、まず採取した11種類の40%級材料について、凍結融解前の粒度分布を求めておき、同一試料について凍結融解数50、100、200回のそれぞれの回数ごとの粒度分布を描いて、凍結融解前の分布との比較を行ったものである。

実験の第2段階として11種類の路盤材についての凍結融解による骨材損失量を求めた。これは安定性損失量と



写真—1 凍結融解試験装置

\* 舗装研究室長 \*\* 同室員

同じ要領で、それぞれの材料のうち40%ふるいを通過し20%ふるいにとどまるもの1500g、20%ふるいを通過し10%ふるいにとどまるもの300g、10%ふるいを通過し5%ふるいにとどまるもの100gについて、凍結融解試験を行い、50、100、200、300回でのそれぞれの粒群の損失重量百分率を求めた。ついでこれらの粒群の損失重量百分率にそれぞれの重量百分率を乗じ、凍結融解による骨材損失量としたものである。

ここで凍結融解数に関しては、現地での下層路盤における年間の凍結融解数は地域により、またその年によって変化するものと考えられ、特定な値は把握できない現状にある。したがって、この凍結融解数50、100、200、300回という回数は、単に各試料間の相対的な凍結融解作用に対する耐久性を検討するためのものである。

#### (4) 吸水すりへり減量試験

一般の道路工事では、下層路盤まで完成し交通開放しながら、アスファルト安定処理、基層、表層という順序で施工されることが多い。この場合、下層路盤は雨水などにより湿潤し、その上交通荷重による転圧作用によりその路盤材は細粒化する。この状態を想定して、この材料の吸水状態でのすりへり減量を調べる目的で、吸水すりへり減量試験をJISA1121のロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験を行った。

路盤材の粒度分布については、切込砂利についても切込碎石と同様に13～5%粒度のもとで比較した。

試験結果は、表面乾燥飽水状態の路盤材を5000gとり、ロサンゼルス試験機にて、鋼球8個、500回転させた後、1.7%ふるい通過分を試験前重量で除して求めた。

## 2. 実験結果と考察

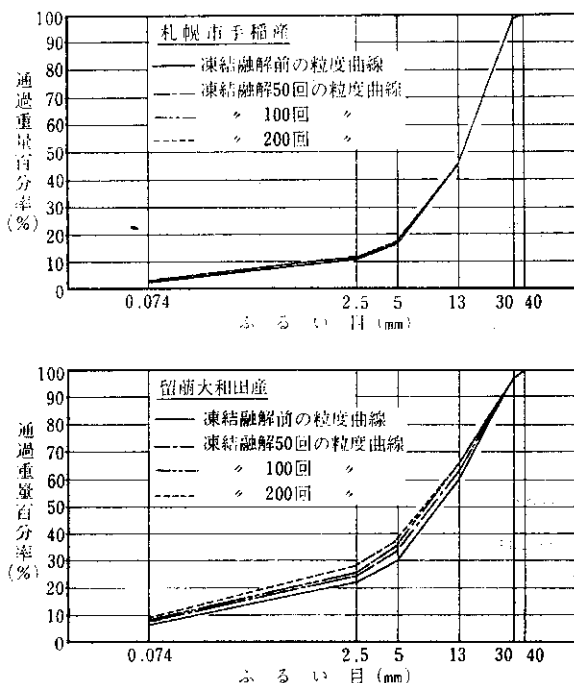
### (1) 粒度平均変動率

40%級の粒度分布の路盤材について、凍結融解作用50、100、200回後の細粒化による粒度変化を示したのが図一1の粒度曲線である。ここでは、凍結融解作用によってあまり細粒化しない手稲産切込碎石と細粒化の大きい留萌市大和田産切込碎石を取り上げて示した。この図から、凍結融解作用によって路盤材が細粒化していく過程がうかがえるが、この細粒化の程度を表わすために、「粒度平均変動率」を求めて、路盤材について比較してみた。

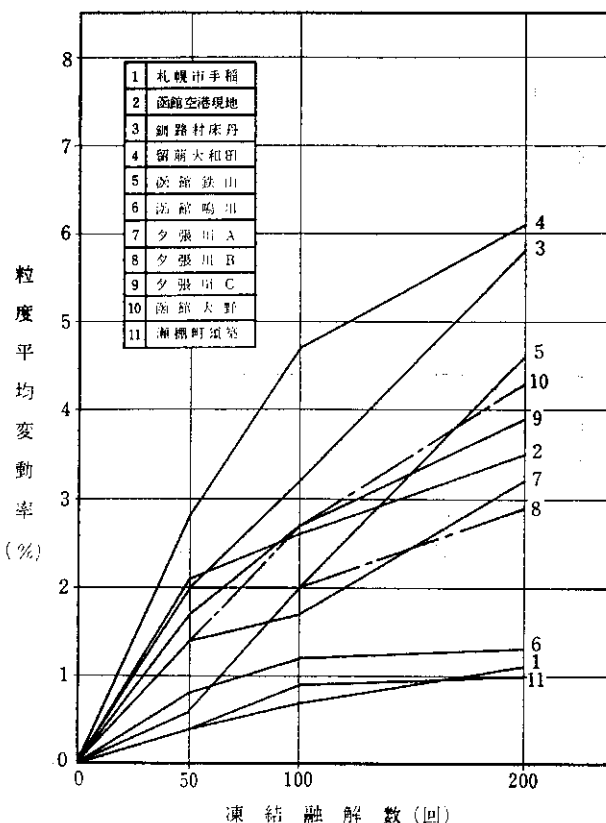
この粒度平均変動率とは、凍結融解数が50、100、200回前の13、5、2.5%の各ふるい通過重量百分率をそれぞれ凍結融解後の各ふるい通過重量百分率から引いて、その3つの値の平均値で表わしたものである。したがって、この変動率の大きい骨材ほど凍結融解作用の影響を

受けやすいことを意味している。

図一2は各路盤材の凍結融解数ごとの粒度平均変動率を示す。この図によれば、200回までの凍結融解数において変動率の大きな材料と小さいものの2つのグループ



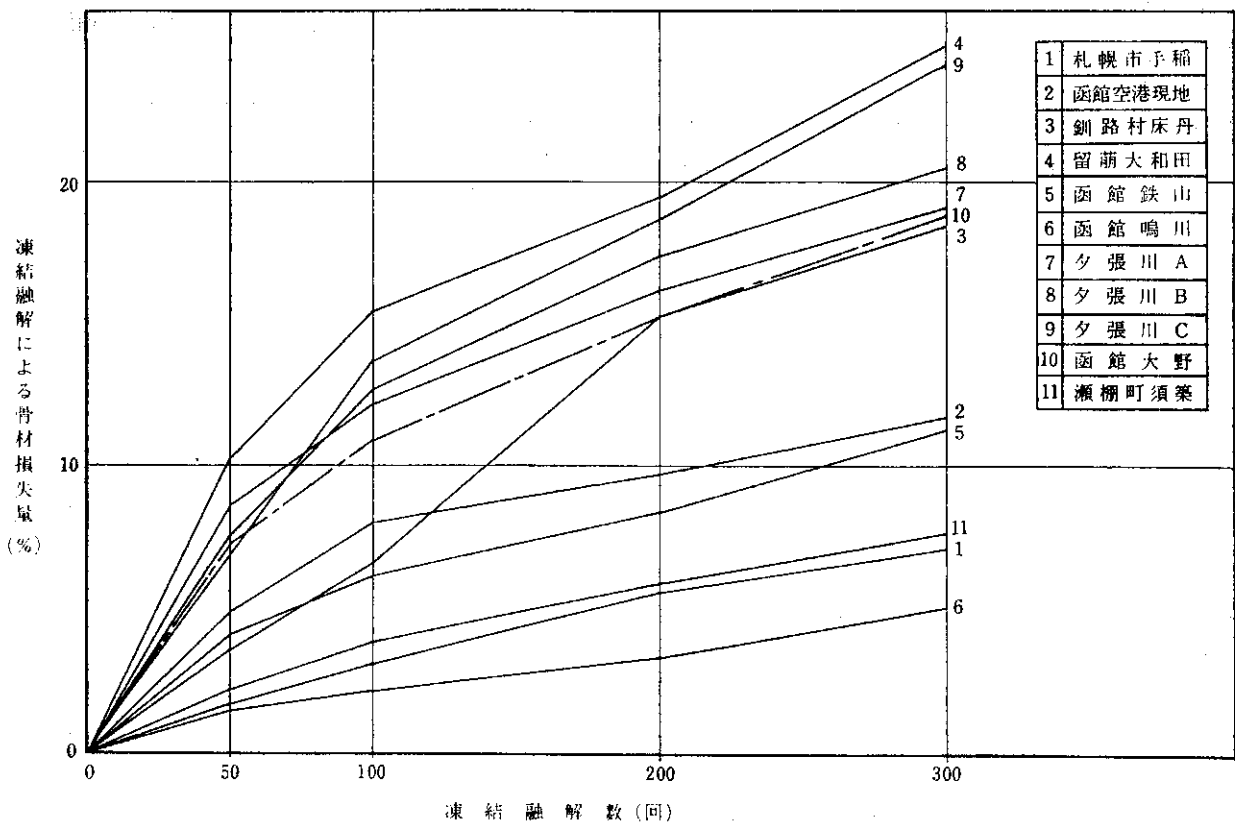
図一1 凍結融解数による粒度曲線の変化



図一2 凍結融解試験による粒度平均変動率

表一 骨 材 試 験 成 績 表

| No. | 試験項目<br>骨材産地名 | 比 重<br>(20T/°C) | 吸水量<br>(%) | 安定性<br>(%) | すりへり減量<br>(%) | 吸水すりへり減量<br>(%) | 凍結融解による骨材損失量 (%)<br>(サイクル) |      |      |      | 粒度平均変動率 (%)<br>(サイクル) |     |     |
|-----|---------------|-----------------|------------|------------|---------------|-----------------|----------------------------|------|------|------|-----------------------|-----|-----|
|     |               |                 |            |            |               |                 | 50                         | 100  | 200  | 300  | 50                    | 100 | 200 |
| 1   | 札幌市 手 稲       | 2.611           | 1.51       | 3.2        | 19.4          | 19.1            | 1.7                        | 3.1  | 5.6  | 7.2  | 0.4                   | 0.7 | 1.1 |
| 2   | 函館空港現地        | 2.582           | 3.30       | 4.3        | 22.9          | 18.8            | 4.8                        | 8.0  | 9.7  | 11.8 | 2.1                   | 2.6 | 3.5 |
| 3   | 釧路村 床 丹       | 2.700           | 1.44       | 8.2        | 22.2          | 23.3            | 3.6                        | 6.6  | 15.3 | 18.5 | 2.0                   | 3.2 | 5.8 |
| 4   | 留萌市 大和田       | 2.684           | 2.16       | 19.3       | 23.8          | 22.9            | 10.2                       | 15.4 | 19.5 | 24.8 | 2.8                   | 4.7 | 6.1 |
| 5   | 函館市 鉄 山       | 2.740           | 3.46       | 12.8       | 24.1          | 25.6            | 4.1                        | 6.2  | 8.4  | 11.3 | 0.6                   | 2.0 | 4.6 |
| 6   | 函館市 鳴 川       | 2.691           | 2.15       | 1.4        | 24.1          | 26.3            | 1.5                        | 2.2  | 3.4  | 5.1  | 0.8                   | 1.2 | 1.3 |
| 7   | 夕 張 川 A       | 2.604           | 2.62       | 10.0       | 17.3          | 14.5            | 8.6                        | 12.2 | 16.2 | 19.1 | 1.4                   | 1.7 | 3.2 |
| 8   | 夕 張 川 B       | 2.641           | 2.44       | 11.8       | 17.6          | 14.5            | 7.6                        | 12.7 | 17.4 | 20.5 | 2.0                   | 2.0 | 2.9 |
| 9   | 夕 張 川 C       | 2.613           | 2.57       | 8.0        | 19.6          | 18.4            | 7.0                        | 13.7 | 18.7 | 24.2 | 1.7                   | 2.7 | 3.9 |
| 10  | 函館市 大 野       | 2.435           | 5.31       | —          | 19.0          | 15.8            | 7.4                        | 10.9 | 15.3 | 18.9 | 1.4                   | 2.7 | 4.3 |
| 11  | 瀬棚町 須 築       | 2.622           | 2.47       | 2.6        | 21.5          | 17.1            | 2.2                        | 3.9  | 5.9  | 7.7  | 0.4                   | 0.9 | 1.0 |



図一3 凍 結 融 解 に よ る 骨 材 損 失 量

表-2 凍結融解による骨材の損失量

| No. | 骨 材 産 地 名 | 凍結融解<br>(サイクル)<br>粒群 mm      | 各群の損失重量百分率 (%)      |                      |                      |                      | 各群の重量百分率 (%)         | 骨 材 の 損 失 重 量 百 分 率 (%) |                   |      |                   |      |                   |      |
|-----|-----------|------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|
|     |           |                              | 各群の損失重量百分率 (%)      |                      |                      |                      |                      | 計                       | 100               | 計    | 200               | 計    | 300               | 計    |
|     |           |                              | 50                  | 100                  | 200                  | 300                  |                      |                         |                   |      |                   |      |                   |      |
| 1   | 札幌市 手 稲   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 1.5<br>1.5<br>1.8   | 2.0<br>3.6<br>3.2    | 3.6<br>7.6<br>4.9    | 4.6<br>9.5<br>6.4    | 25.1<br>37.9<br>37.0 | 0.4<br>0.6<br>0.7       | 0.5<br>1.4<br>1.2 | 3.1  | 0.9<br>2.9<br>1.8 | 5.6  | 1.2<br>3.6<br>2.4 | 7.2  |
| 2   | 函館空港現地    | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 4.8<br>6.9<br>3.2   | 8.6<br>9.8<br>5.8    | 10.8<br>12.3<br>6.6  | 14.3<br>14.4<br>7.9  | 27.6<br>33.4<br>38.9 | 1.3<br>2.3<br>1.2       | 2.4<br>3.3<br>2.3 | 4.8  | 3.0<br>4.1<br>2.6 | 9.7  | 3.9<br>4.8<br>3.1 | 11.8 |
| 3   | 釧路村 床 丹   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 5.6<br>5.1<br>1.1   | 8.8<br>9.7<br>2.7    | 21.3<br>23.6<br>4.4  | 24.4<br>26.7<br>7.9  | 22.9<br>36.5<br>40.6 | 1.3<br>1.9<br>0.4       | 2.0<br>3.5<br>1.1 | 6.6  | 4.9<br>8.6<br>1.8 | 15.3 | 5.6<br>9.7<br>3.2 | 18.5 |
| 4   | 留萌市 大和田   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 7.5<br>14.3<br>8.5  | 12.0<br>19.9<br>13.9 | 19.3<br>23.7<br>15.6 | 23.3<br>27.8<br>22.8 | 29.4<br>35.2<br>35.4 | 2.2<br>5.0<br>3.0       | 3.5<br>7.0<br>4.9 | 10.2 | 5.7<br>8.3<br>5.5 | 19.5 | 6.9<br>9.8<br>8.1 | 24.8 |
| 5   | 函館市 鉄 山   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 7.3<br>3.9<br>3.0   | 12.1<br>6.8<br>3.7   | 17.9<br>8.8<br>4.8   | 23.1<br>11.7<br>6.5  | 18.5<br>31.2<br>50.3 | 1.4<br>1.2<br>1.5       | 2.2<br>2.1<br>1.9 | 4.1  | 3.3<br>2.7<br>2.4 | 8.4  | 4.3<br>3.7<br>3.3 | 11.3 |
| 6   | 函館市 鳴 川   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 1.6<br>2.2<br>0.9   | 2.5<br>3.1<br>1.1    | 3.3<br>5.8<br>1.3    | 4.7<br>9.2<br>1.6    | 33.6<br>32.9<br>33.5 | 0.5<br>0.7<br>0.3       | 0.8<br>1.0<br>0.4 | 1.5  | 1.1<br>1.9<br>0.4 | 3.4  | 1.6<br>3.0<br>0.5 | 5.1  |
| 7   | 夕 張 川 A   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 11.8<br>11.2<br>4.6 | 16.5<br>17.3<br>5.6  | 22.3<br>21.2<br>8.8  | 26.4<br>24.4<br>11.0 | 22.9<br>34.4<br>42.7 | 2.7<br>3.9<br>2.0       | 3.8<br>6.0<br>2.4 | 8.6  | 5.1<br>7.3<br>3.8 | 16.2 | 6.0<br>8.4<br>4.7 | 19.1 |
| 8   | 夕 張 川 B   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 14.2<br>5.2<br>5.5  | 17.5<br>10.6<br>11.3 | 23.2<br>14.2<br>16.6 | 26.5<br>17.8<br>19.0 | 25.6<br>36.7<br>37.7 | 3.6<br>1.9<br>2.1       | 4.5<br>3.9<br>4.3 | 7.6  | 5.9<br>5.2<br>6.3 | 17.4 | 6.8<br>6.5<br>7.2 | 20.5 |
| 9   | 夕 張 川 C   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 7.4<br>8.8<br>5.1   | 24.6<br>11.1<br>8.6  | 28.7<br>15.4<br>15.3 | 31.6<br>19.7<br>23.5 | 25.5<br>36.6<br>37.9 | 1.9<br>3.2<br>1.9       | 6.3<br>4.1<br>3.3 | 7.0  | 7.3<br>5.6<br>5.8 | 18.7 | 8.1<br>7.2<br>8.9 | 24.2 |
| 10  | 函館市 大 野   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 15.7<br>7.2<br>3.4  | 19.6<br>12.2<br>5.6  | 24.3<br>20.4<br>7.4  | 28.7<br>26.9<br>8.6  | 22.9<br>30.9<br>46.2 | 3.6<br>2.2<br>1.6       | 4.5<br>3.8<br>2.6 | 7.4  | 5.6<br>6.3<br>3.4 | 15.3 | 6.6<br>8.3<br>4.0 | 18.9 |
| 11  | 瀬棚町 須 築   | 5 ~ 10<br>10 ~ 20<br>20 ~ 40 | 2.3<br>3.0<br>1.5   | 6.7<br>4.2<br>2.3    | 12.4<br>5.8<br>3.2   | 16.1<br>8.2<br>3.4   | 20.4<br>33.6<br>46.0 | 0.5<br>1.0<br>0.7       | 1.4<br>1.4<br>1.1 | 2.2  | 2.5<br>1.9<br>1.5 | 5.9  | 3.3<br>2.8<br>1.6 | 7.7  |

ブに分けられ、試料番号1, 6, 11の粒度平均変動率は小さい値となっている。これに反して、試料番号3, 4, 5が200回で大きな値を示している。このうち、試料番号5の函館市鉄山産切込碎石は、凍結融解数50回で、0.6%と試料番号1, 6, 11と同じ程度の小さな変動率であるが、50回を越えると急激に細粒化が進んで、変動率が大きくなっている。

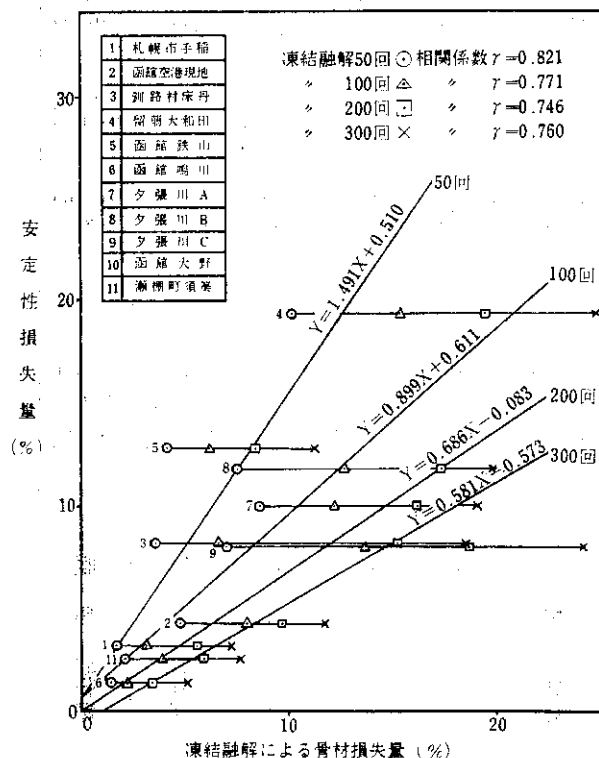
## (2) 凍結融解による骨材損失量

凍結融解による骨材損失量について、各試料ごとに取りまとめたのが、表一2である。また、図一3は凍結融解数とそれによる骨材損失量との関係を表わしたものであるが、これらの図表によると凍結融解数300回終了後、11種類中最も凍結融解による骨材損失量の少ないものとしては、函館市鳴川産切込碎石であり、次いで札幌市手稲産切込碎石、瀬棚町須築産切込砂利である。反対に骨材損失量の大きいものとしては、留萌市大和田、夕張川A, B, C, 函館市大野、釧路村床丹産があげられる。

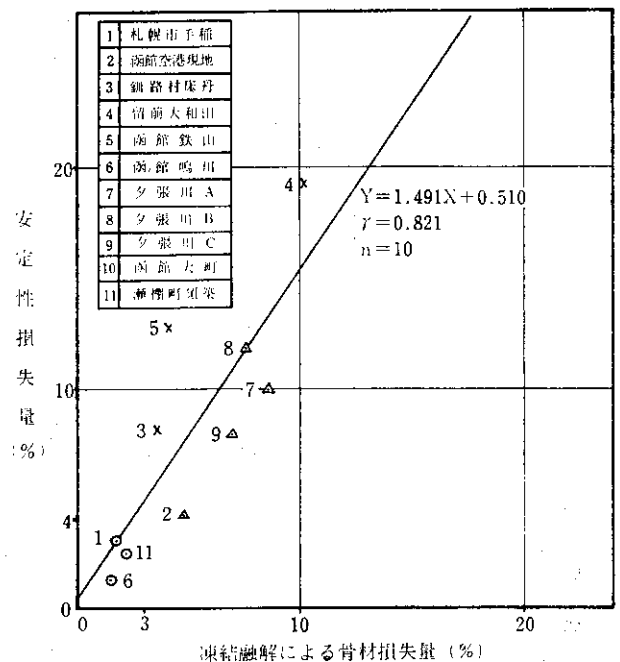
次に、凍結融解による骨材損失量においては、最初の50回の凍結融解数のときの損失量が、200回および300回のもものと各材料ごとに同じ傾向を示している。したがって、釧路村床丹のような例外はあるが、全体的にみて路盤材の凍結融解作用に対する抵抗性のおおよその判定が凍結融解数50回の値によってできそうである。

## (3) 凍結融解による骨材損失量と安定性損失量の関係

各路盤材についての凍結融解による骨材損失量と比



図一4 凍結融解による骨材損失量と安定性損失量



図一5 凍結融解数50回における骨材損失量と安定性損失量

重、吸水量、ロサンゼルスすりへり減量の各規格値との相関関係はあまり明らかでなかったが、安定性損失量との間には、図一4に示すとおり高い相関性が認められた。

凍結融解数50回での相関係数は  $r=0.821$  で最も高い値である。一般に安定性試験は、凍結融解作用を考えたものとされているが、これらの試験値間の関連によってこのことが再確認された。図一5は凍結融解数50回のもとの安定性損失量との関係を示したものである。図中の○印は、過去の実績で問題がないとされている材料であり、×印は問題のあった材料である。また△印は、使用にあたって疑問がありそうだとした試験を開発建設部から依頼されたものである。

局仕様書によれば、安定性損失量は20%以下を合格としており、今回の試料はすべて合格するものであったが、図一5からみてわかるように、凍結融解による路盤材の細粒化に対しては、安定性損失量4%以下に良質材料が位置し、不良路盤材は8%以上の安定性損失量のものである。また、凍結融解損失量からみると、凍結融解数50回での損失量が3%以下に良質材料、4%以上に不良材料が位置しているといえる。

吸水すりへり減量については、その試験の性格から当初、凍結融解による骨材損失量と相関があるのではないかと予想されたが、結果は現行のすりへり減量と大差ない値を示し、凍結融解による骨材損失量とはあまり相関性がないことがわかった。

### 3. ま と め

以上の試験結果から、仕様書の規格に合格する路盤材でも、過去の使用実績の悪いものは、凍結融解による粒度平均変動率および骨材損失量とも大きな値を示すことが認められた。

凍結融解による骨材損失量と規格試験値との関係では安定性損失量との間に高い相関関係があることが再確認され、しかも50回の凍結融解数でその抵抗性を判定できそうである。また、今回試験した路盤材のうち、良質材と判定できるものの凍結融解による骨材損失量は、凍結融解数50回、100回、200回、300回で、それぞれ3%、5%、7%、10%以下のものであるといえる。凍結融解試験が大がかりな試験装置を要することから、安定性試験によって凍結融解試験を代用することはやむを得ないが、現在使用されている安定性損失量の路盤材料に対する規格値20%が少し大きすぎることがこの実験から明らかとなった。

#### あ と が き

今回の試験は、局仕様書の規格は合格するが、過去において実際の現場で問題のあった骨材について、その良

否に対する意見を各開発建設部から依頼されて行ったものである。使用した路盤材の種類も少なく、完全に満足のいく結論を得ることは困難であったが、凍結融解に対する路盤材の耐久性について、いくつかの特性は見いだせたものと考えている。今後は試験の数を多く行い、凍結融解に対する規格値決定に向け試験を続けていくつもりである。

最後に、本報文の取りまとめにあたり、終始御教示をいただいた前舗装研究室主任研究員中村俊行氏と実験を実施した舗装研究室大類和昭技官ならびに骨材収集に御協力いただいた各開発建設部の関係者の各位に深甚なる謝意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) 久保 宏、中村俊行、佐藤 実：路盤用骨材の凍結融解試験について、第21回北海道開発局技術研究発表会論文集、昭和53年8月
- 2) 北海道開発局：昭和52年度改訂、道路・河川工事仕様書
- 3) ASTM : C666-73  
Standard Method of Test for Resistance of Concrete Rapid Freezing and Thawing

#### 土試ニュース

### 役 職 員 の 異 動

昭和54年10月1日付

| 新 役 職               | 旧 役 職            | 氏 名     |
|---------------------|------------------|---------|
| 札幌開発建設部幌加内道路改良事業所副長 | 第2研究部基礎工研究室主任研究員 | 竹 原 義 一 |
| 帯広開発建設部帯広道路事務所長     | 第3研究部道路研究室長      | 石 橋 明   |
| 第3研究部道路研究室長         | 釧路開発建設部釧路道路事務所長  | 島 山 惇 史 |