

室内凍上試験の改良について

Improved Methods for Frost Heave Tests

齊藤 敏彦* 野原他喜男**
川村 和幸*** 水島 達朗****

Toshihiko SAITO, Takio NOHARA,
Kazuyuki KAWAMURA and Tatsuaki MIZUSHIMA

積雪寒冷地域における道路は、凍上対策が必要である。凍上対策として、気象データなどを用いて凍結深さを推定し、凍上対策上で必要な深さを難凍上性材料で置換する工法が一般的である。材料自体の凍上性の判断は、基本的には凍上試験に基づいており、道路・河川工事仕様書における基準は従来凍上試験結果に基づいて決定されている。

現行の凍上試験方法は、昭和30年代から40年代にかけて、凍上被害に対処するために考案されたもので非常に大きな成果をあげてきたが、凍上の再現性などいくつかの問題点があり試験方法の改良が必要となっていた。

本報告は、現行の凍上試験方法に代わる改良案として新しく考案した試験装置、試験方法の概要および路盤材料、凍上抑制材料として一般的に用いられている切込碎石と砂に関して実施した実験結果を紹介する。

《凍上試験；試験装置》

Measures to counter the effects of heavy frost are necessary in the construction of roads in cold and snowy regions, to prevent frost damage to pavements.

The material replacement method is widely used, and the replacement depth is determined by weather data.

Frost susceptibility of materials are examined by indoor frost heave tests, and the criteria for materials used to antifrost heave in construction specifications for roads and rivers are determined by the results of presently specified frost heave tests.

These present frost heave test methods were designed about 30 years ago, and have provided useful results, but there are problems with reproducibility.

This report introduces experimental devices, outlines of improved frost heave test methods, and experimental results of commonly used sand and crusher-run materials for base courses, and antifrost heave layers.

Keywords : frost heave test, experimental devices.

*維持管理研究室員 **同室主任研究員 ***同室長 ****同室副室長

1. はじめに

現在、室内凍上試験として、道路排水工指針などにスタンダードなものとして、開発局法が代表的であるが、これ以外にも多くの方法がある。

これは凍上試験で扱う材料、熱、時間、荷重条件などの組み合わせが、現場に対応して非常に広範囲なものとなるためである。

実際には、試験によって得られるデータを、どのような目的で現場にフィードバックするかによって、試験方法を選択しなければならない。

本報告では、道路に用いられる材料に範囲を絞り、現行法の問題点を改善するとともに、試験の簡便化について述べるものである。

2. 現行法の問題点

(1) ガーゼの凍結

現行法において、ポーラス・ストーンへの水の供給をガーゼを介して行っているが、装置のすき間から侵入する冷気のため、ガーゼが凍結してしまうことがある。

ガーゼの凍結は水の供給停止を意味しており、凍結の時点で凍上はそれ以上進行しないこととなる。

(2) 供試体の変形と欠損

供試体の変形および欠損は、凍上率の大きな材料ほど顕著に発生する。凍上初期の段階では、まず供試体の部分的な凍上が発生し、その部分を中心として凍上が進行していく。現行法においては供試体側面部がフリーの状態に近いため、急速な不斉凍上が生じた場合、供試体に傾斜が生じ凍上点とモールド外周部が接地点となり、部分的に供試体がポーラス・ストーンから離れてしまう。

この傾斜が小さな場合は、供試体の変形という現象が発生し、大きな場合には部分的な凍上が発生して未凍上

部分が乾燥、脱落する(写真-1)。

(3) 測定誤差

供試体の変形、脱落が著しい場合には、凍上率を正確に測定することはほとんど不可能であり、測定したとしても個人差により、測定値自体の信頼性が低下する。

(4) 凍上試験機の温度管理

現行の凍上試験機の導入はかなり古く、当時の温度管理機構では最大で1℃程度の周期的な温度変動があり、目標の温度設定を行うことがむずかしい。

以上に掲げた問題点を改良する方向で、試験方法、装置の再検討を行った。

3. 現行法と改良案の比較

現行法と改良案の相違を表-1に、また供試体の設置方法を図-1に示す¹⁾。

4. 改良試験の条件設定

凍上試験で、改良を加えた要点について述べる。

(1) 供試体長

試験条件にもよるが、凍上率は図-2²⁾のように、ある供試体長の範囲(最大凍上率を与える供試体長を意味しているが、ある程度の幅をもつ)で最大となり、供試体長が長くなっても短くなっても減少する。供試体長が l よりも長い領域での凍上率の減少は未凍結土内の導水抵抗の影響であり、また、 l より短い範囲における凍上率の減少は、凍土内に存在する凍上発生領域の有限性によるものである。測定誤差率を少なくするためには、凍上率が極端に変化しない範囲であるならば、供試体長は長い方が適しており、測定のしやすさなども考慮して5cmとした。

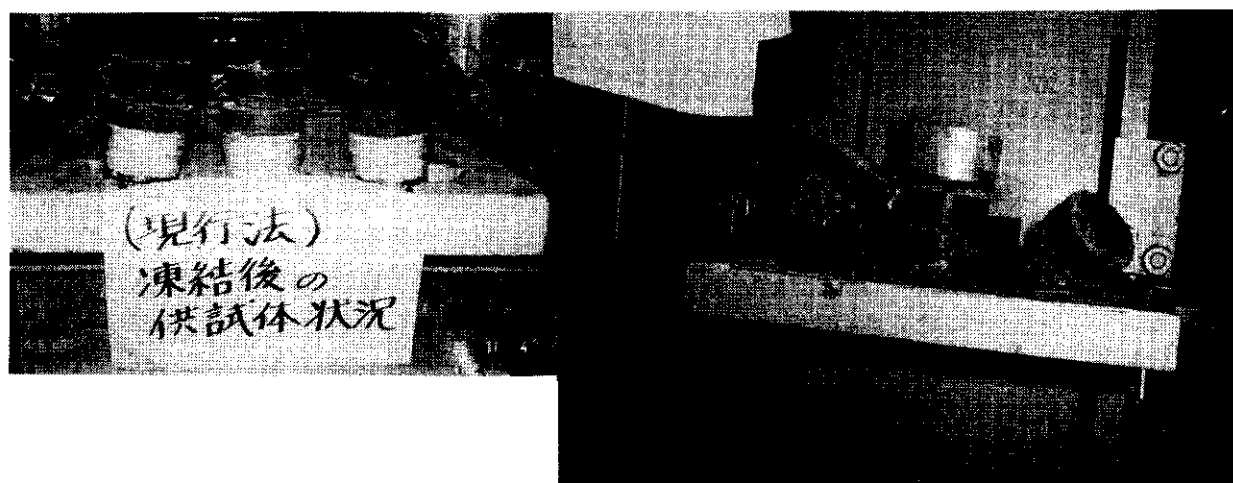


写真-1 現行法による凍結後の供試体状況

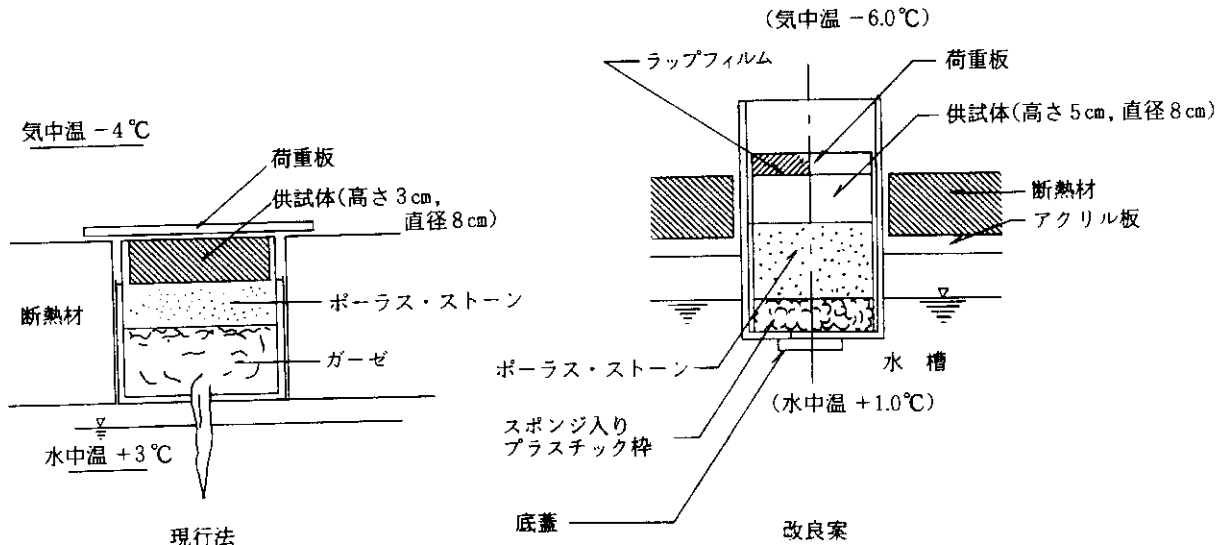


図-1 凍上試験装置

表-1 現行法と改良案の比較

	現 行 法	改 良 案
供 試 体 長	3 cm	5 cm
供 試 体 数	6 個	6 個
気 中 温 度	-4 °C	-6 °C
水 中 温 度	+3 °C	+1 °C
ポーラス・ストーン厚	3 cm	5 cm
給 水 法	ガーゼ→ポーラス・ストーン	スポンジ→ポーラス・ストーン
試 験 時 間	96時間	変位計を用いた測定データによる管理
供 試 体 作 成 荷 重	60~80kgf/cm ²	
上 載 荷 重	1.2kgf/(0.024kgf/cm ²)	
供 試 体 上 面 保 護	なし	ラップフィルム保護
供 試 体 ガ イ ド 機 構	なし	上部ガイドあり

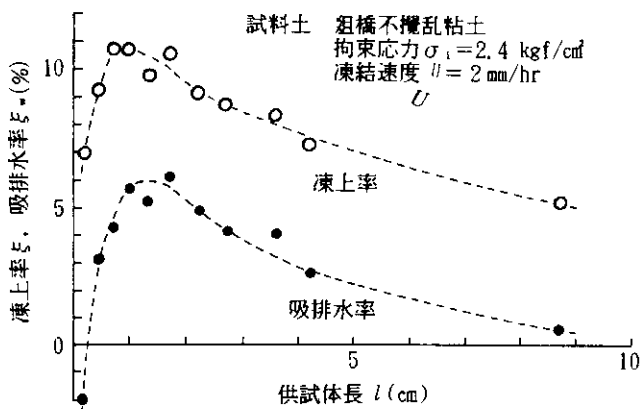


図-2 供試体長と凍上率の関係

(2) 試験温度条件

温度勾配の設定は、取扱う供試体条件により大きく異なるのが通常である。改良案での気中温度、水中温度の設定についてはいくつかの温度勾配の組合わせた実験か

ら、気中温度-6°C、水中温度+1°Cが最適であることが確認されている¹⁾(表-2 参照)。

(3) 供試体作成荷重

供試体を作成するために、モールド中に試料を詰めるにあたっては、突固め試験より求められた最大乾燥密度に対応する湿潤密度を目標としている。

供試体の作成は加圧装置によって行い、このときできる限り目標とする密度に近づける必要がある。しかし、モールドの強度上の理由から最大荷重で80kgf/cm²程度が限界値となる。

目標とする密度に近づけるために、供試体の圧縮は両面圧縮を標準とする。圧縮法の違いでどの程度密度が違ってくるかを砂の場合で調べた結果(表-3 参照)、大差はないが、供試体の取扱いは両面圧縮の方がよい。

(4) 上載荷重の検討

上載荷重については、現行法の荷重条件と同じ1.2kgfとしている。上載荷重が凍上率に与える影響は大きく、

表-2 温度設定と凍上

	気中温度	水中温度	時間	結果	判定
①	-4	+3	96(4日)	供試体が凍上しなかった。	×
②	-5	+3	96(4日)	供試体の上部がわずかに凍結したが凍上しなかった。	×
③	-5	+1	96(4日)	供試体の下部が凍結しなかったがいくらか凍上した。	×
④	-6	+1	96(4日)	凍上した。供試体のまわりで水ができ取り出したが困難である。	×
⑤	-6	+1	72(3日)	凍上した。供試体も取り出しやすい。	○
⑥	-7	+1	72(3日)	凍上した。急凍結して凍上が少なく供試体の取り出しが困難。	×
⑦	-7	+1	48(2日)	凍上した。急凍結のため凍上が少ない。	×

(試料：砂，シルト分15%使用)

表-3 密度の測定

シルト25%	A目標密度	2.27 g/cm ³
	B片面圧縮	2.10 g/cm ³
	C両面圧縮	2.13 g/cm ³
	B/C	0.986
	C/A	0.938
シルト6%	A目標密度	2.16 g/cm ³
	B片面圧縮	2.02 g/cm ³
	C両面圧縮	2.05 g/cm ³
	B/C	0.985
	C/A	0.949

上載圧が大きくなると凍上率は小さくなることが知られている(図-3参照)。これは凍上による給水能力と、上載荷重による土粒子間の間隙水圧のバランスによって決まってくる³⁾。

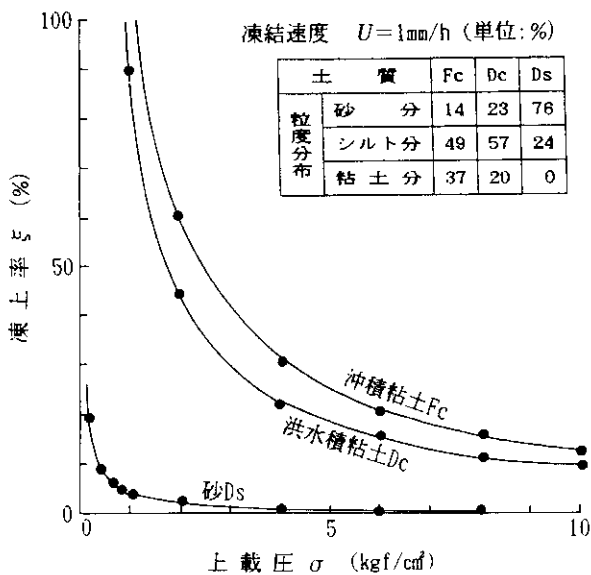


図-3 凍上率と上載圧との関係の例

室内凍上試験においては、読取り可能なスケールで凍上を発生させることと、供試体の変形などをできる限り抑止することが必要である。これらの条件を考えあわせると、極端な供試体変形を生じない範囲内で、取扱い可能な重さとする必要がある。

現行法の上載圧は0.024kgf/cm²ほどであり、図-3を参照すると凍上率には影響を与えない範囲にあることがわかる。また、設置器具などの強度上の面から考えても現行法程度の上載荷重条件が妥当であろう。

(5) 給水法

現行法のガーゼによる給水法が、いくつかの問題点を持っていることは前述した。改良案においては、それらの問題点を回避できるような手法を用いる必要がある。

ガーゼの凍結問題に関しては、ガーゼ先端の給水面とポーラス・ストーンまでの間が空間となっていて、断熱材のすき間、あるいは供試体側方より侵入する冷気のため、ガーゼの一部が凍結してしまう現象が起きる。また、ガーゼとポーラス・ストーンの接着面を均一な状態とすることはむずかしく、部分的に非接着面ができることとなり、凍結しやすくなる。

改良案では、ポーラス・ストーンへの給水はスポンジを介して行い、下部架台に設置されるポーラス・ストーン上面まで水で満たし、この架台を水中に直接設置する方法を用いることとした。これにより、少なくとも、供試体より先にポーラス・ストーンやスポンジが凍結することを防ぐことができる。架台の下部は開くことも可能であるが、その場合架台内の水位の低下を招いたり、供試体中の土粒子が流出することを防ぐため閉じている。

一般に完全凍上のような特殊な試験を除けば、通常のパラス材料、凍上抑制層材料では、凍上による氷晶生成に要する水量は70cc程度であることが試験よりわかっている。改良案のスポンジ、ポーラス・ストーン、下部架台空間部に含み得る水量は300ccを越え、凍上終了まで十分な給水を行うことができる³⁾。

(6) 試験時間の検討

凍上試験に要する時間は、現行法において4日(96時間)としている。過去の実験結果を見る限りにおいては、砂および碎石の場合96時間以内に凍上が終了している。

実際に凍上開始から終了するまでの時間を想定する場合には、6個の供試体の凍上時間のバラツキを考慮して、余裕を見込んだ時間を設定する必要がある。

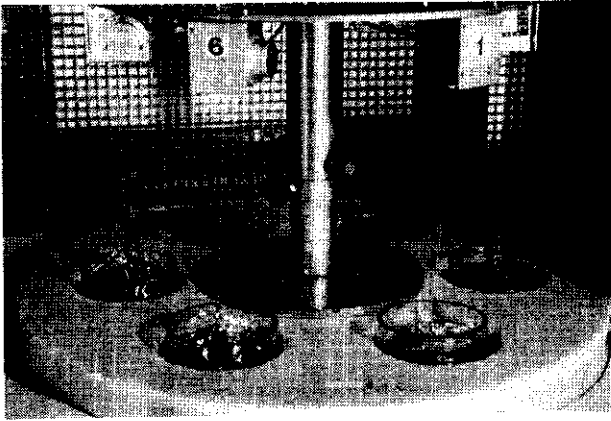


写真-2 改良案試験装置

表-4 所用凍上時間の測定

	シルト分 (%)	所 凍 上 時 (時間)	要 間
砂	9	16	
	12	18	
	15	43	
	25	78	
砕 石	6	12	
	15	34	
	20	35	

改良案では写真-2に示すように、各々の供試体の上部に変位計を設置し、実際に凍上に要する時間を測定した(表-4参照)。

砂、碎石ともにシルト分が増加すると凍上に要する時間は長くなるが、シルト分25%の砂の場合では78時間、シルト分20%の碎石の場合でも35時間程度の時間しか要していない。特に、碎石の場合には短時間で凍上が終了しており、試験時間を大幅に短縮することができることがわかった。この凍上時間は、6つの供試体すべての凍上が終了するまでの時間である。

路盤材料、凍上抑制層材料の凍上試験では、仕様書規格に沿った材料品質の範囲内における最適含水比、シルト含有率などはあまり大きく変化しないので、現行法のように一定の所要凍上時間を想定して試験を行うことが可能である。しかし、路床土の凍上試験を実施する場合には、過去の試験からも、土質によって凍上時間に大きな差があり、96時間で凍上が終了しない場合がある。

改良案では、凍上の過程を変位計とコンピュータにより逐次管理することが可能である。このため、あらかじめ設定された試験時間に拘束されることなく、凍上終了の時点で試験を終了することができるため、試験時間を大幅に短縮することも可能である。

改良案での凍上終了の判定は、後述の図-8に見られるように、連続した凍上変位が終了したときと考える。また、直接凍上過程を管理するというで6個の供試体の、凍上時間のバラツキによるデータの取りこぼしを防ぐこともできる。

以上のような理由では、改良案では試験終了時間を特定せずに、変位計を用いた測定データで管理することとした。

5. 改良案による凍上試験

改良案では、試験の安定性と材料の凍上性を判断するという2つの項目を中心に実施した。

(1) 試験の安定性

凍上試験における安定性を考える場合、試験対象材料による供試体間のバラツキということを考慮する必要がある。

具体的には、路床土のような自然材料と路盤、凍上抑制材料のような人為的に管理された材料とに分類される。自然材料を取扱う場合には細かく見ると材料は均質ではなく、供試体間で条件が異なるため凍上率などにバラツキが出ることが多い。今回は実験自体の信頼性を求めることが目的のため、調整材料を用いて実験を行っている。

使用した材料は、砂、碎石ともに粒径は5mm以下の材料を対象とし、75 μ m以下の微粒分を洗いだして、均質となるようにした。

なお、使用材料は次に示すものを用いた。

砂-錦岡産 海砂

切込碎石-古平産 切込碎石

シルト-恵庭島松産 シルト

以上の材料を用いて、試験を行った結果が表-5である。砂、碎石ともに、シルト分15%として試験を実施した。

変動係数は砂の場合で18.1%、碎石の場合で18.2%であった。現行法砂の場合の変動係数は47.0%であり、改良案は現行法に比較して、かなり安定した試験方法であるといえる¹⁾。

つぎにシルト分含有量の違いによる変動係数の動きを比較したものが、表-6、表-7である。現行法では供試体条件の変化により変動係数も上下しているが、改良案では材料間で多少変化はしているものの、同種材料内では非常に安定した値を示している。

(2) 材料の凍上性について

積雪寒冷地における路盤材料、凍上抑制層材料については、凍上防止に対するシルト分含有率の規制値が定められている²⁾。

表-5 凍上試験結果

		改良案 (砂)	改良案 (碎石)
		凍上率 (%)	凍上率 (%)
1 回目	1	15.5	17.5
	2	13.0	17.0
	3	14.0	24.0
	4	15.0	21.5
	5	15.5	17.5
	6	10.5	19.5
2 回目	1	11.5	17.5
	2	10.0	18.0
	3	10.5	22.5
	4	16.5	14.0
	5	11.5	26.0
	6	13.0	16.5
3 回目	1	11.5	15.0
	2	12.0	13.5
	3	10.0	17.0
	4	14.5	19.5
	5	9.5	20.5
	6	10.0	16.0
総和		224.0	333.0
平均		12.44	18.50
分散		5.053	11.350
標準偏差		2.248	3.369
変動係数		0.181	0.182

シルト分15%での凍上試験

図-4 はシルト分の含有率と凍上率の関係を改良案での凍上試験で示したものであり、砂、碎石のどちらの場合においても、シルト分含有率が大きくなるに従って凍上率も大きくなっている。

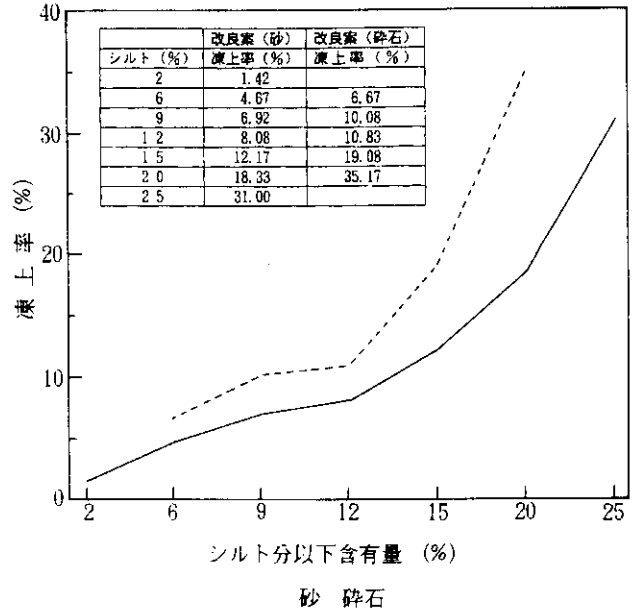


図-4 シルト分以下含有量と凍上率の変化

表-6 凍上試験結果一覧表 (改良案)

気中温度-6℃, 水中温度+1℃

シルト分	凍 (上) 率 (%)						平均値 (%)	標準偏差 (%)	変動係数
	1	2	3	4	5	6			
砂									
2%	1.5	1.0	1.5	1.5	2.0	1.0	1.42	0.38	0.27
6%	5.5	5.0	4.5	4.0	5.0	4.0	4.67	0.61	0.13
9%	4.5	7.0	6.0	7.5	8.0	8.5	6.92	1.46	0.21
12%	10.0	8.5	6.0	8.5	6.5	9.0	8.08	1.53	0.19
15%	11.5	10.0	10.5	16.5	11.5	13.0	12.17	2.36	0.19
20%	17.5	21.0	20.0	17.0	20.5	14.0	18.33	2.68	0.15
25%	34.5	29.0	38.0	22.0	29.0	33.5	31.00	5.59	0.18
碎石									
6%	7.0	6.5	8.5	8.5	5.5	4.0	6.67	1.75	0.26
9%	9.0	4.5	8.5	10.5	14.5	13.5	10.08	3.64	0.36
12%	10.5	11.5	10.0	14.5	12.5	6.0	10.83	2.86	0.26
15%	17.5	18.0	22.5	14.0	26.0	16.5	19.08	4.38	0.23
20%	31.5	42.5	38.5	21.5	40.0	37.0	35.17	7.64	0.22

凍上に対するシルト分の影響を考える場合、シルト分は少ないほど望ましいが、必ずしも理想的な材料を入手できるとは限らない。そこである程度シルト分が増加しても、その影響が小さくなる範囲で規制値を設定することが必要となる。

図-4を見ると、砂、碎石ともにシルト含有率が12%を超える点で凍上率の増加傾向が強まってくることがわかる。つまり、シルト分の規制をするのであれば12%と

いう値が試験上は最も合理的な値である。

次に、実際に利用される条件を加味して材料ごとに考察してみる。

① 路盤材料

北海道開発局道路・河川工事仕様書においては、路盤材料に用いられる粒状材料の規格値は、切込砂利の場合全試料について75μmフルイを通過するものは4.75mm、フルイを通過する量に対して9%以下、切込碎石の場合

表-7 凍上試験結果一覧表（現行法） 気中温度-4℃，水中温度+3℃

シルト分	凍上率 (%)						平均値 (%)	標準偏差 (%)	変動係数
	1	2	3	4	5	6			
砂									
6%	9.2	9.2	7.5	6.7	7.5	4.2	7.38	1.86	0.25
9%	25.8	15.0	8.3	6.7	9.2	10.0	12.50	7.09	0.57
12%	27.5	29.2	52.5	24.2	50.0	25.0	34.73	12.94	0.37
15%	45.0	39.2	18.3	21.7	59.2	51.7	39.18	16.33	0.42
20%	133.3	100.8	167.5	108.3	265.8	172.5	158.03	60.45	0.38
碎石									
9%	25.8	32.4	23.9	26.8	36.0	24.6	28.25	4.85	0.17
12%	27.0	37.8	29.8	30.0	39.9	49.5	35.67	8.43	0.24
15%	31.0	41.0	30.0	58.3	55.1	61.5	46.15	14.00	0.30
20%	62.0	62.3	48.8	114.2	68.9	47.2	67.23	24.50	0.36

で15%以下となっている。

昭和62, 63年度に実施した凍上被害箇所解体調査⁵⁾より得られた路盤材料のシルト分以下含有率は、切込砂利で平均14%であった(図-5参照)。また、全道の出荷段階におけるシルト分以下含有量調査の平均は図-6より5.8%であった。解体調査を行った個所のシルト分をもって、その他の個所のシルト分増加量を推定することはできないが、最悪の場合を想定すれば、出荷段階と施工後でのシルト分は約8.2ポイント程度増加する可能性がある。

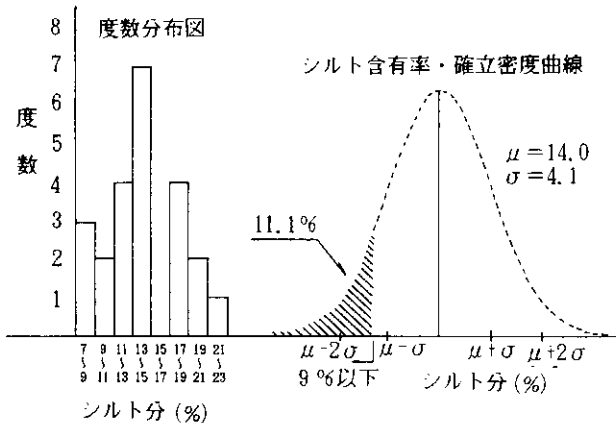


図-5 凍上被害箇所における路盤材料のシルト分含有率

このシルト分の増加量は、材料の搬入条件、路盤のままの放置年数など、施工条件で大きく変化する。一例を上げると、12号岩見沢バイパスで6年間放置後の40mm級切込砂利路盤の深さ方向におけるシルト分の分布は図-7のようになっていた。このような場合、上部路盤材料の入替えが必要となってくる。切込碎石の場合でも、同様な考え方が必要であると思われる。この個所での出荷段階のシルト分含有率は、当時のミルシートでは5.2%であった。なお、参考までに全道の切込碎石と切込砂利

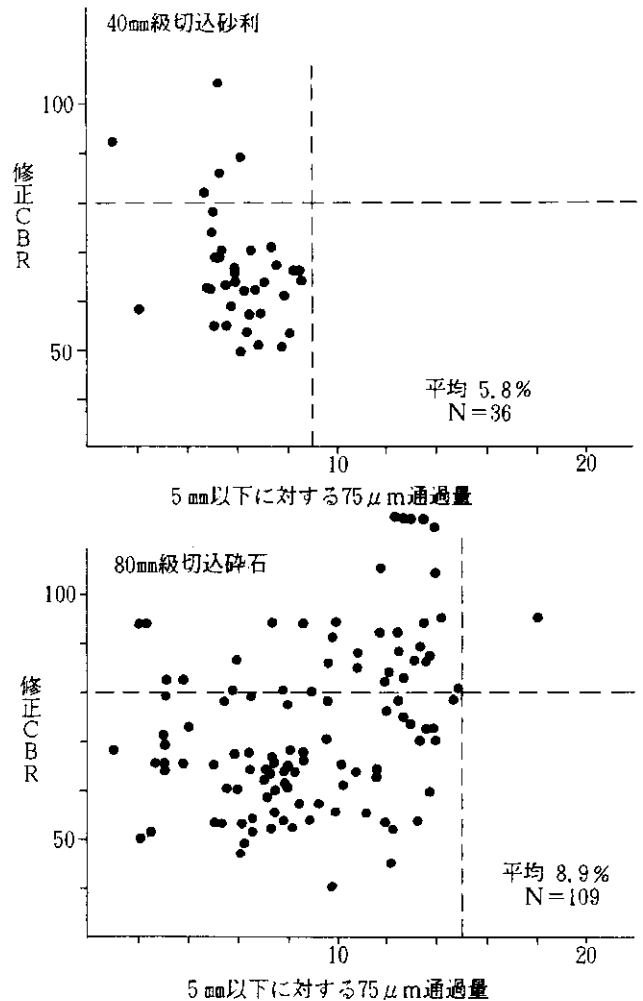


図-6 全道の路盤材料調査

の出荷段階におけるシルト分含有量調査結果を図-6に示す。

② 凍上抑制層材料

凍上抑制層材料として通常利用される砂、火山灰などの材料は、実際に用いられる材料条件で凍上試験が可能なたため、試験の結果をそのまま現地に適用することができる。砂の試験結果からはシルト分以下含有率が12%程

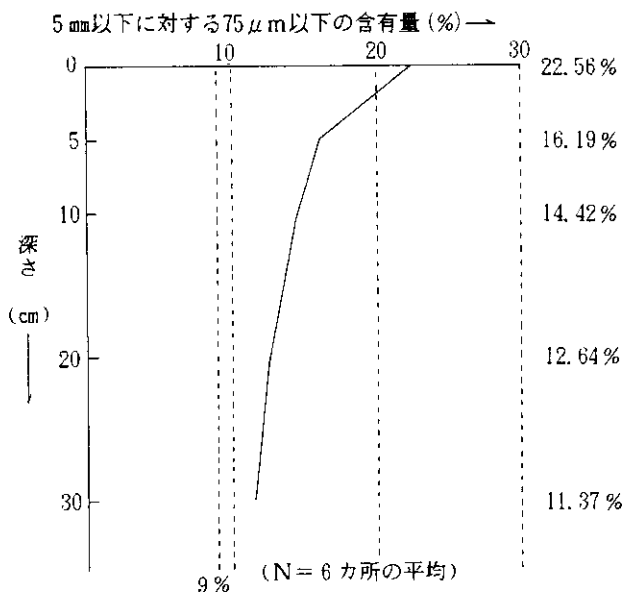


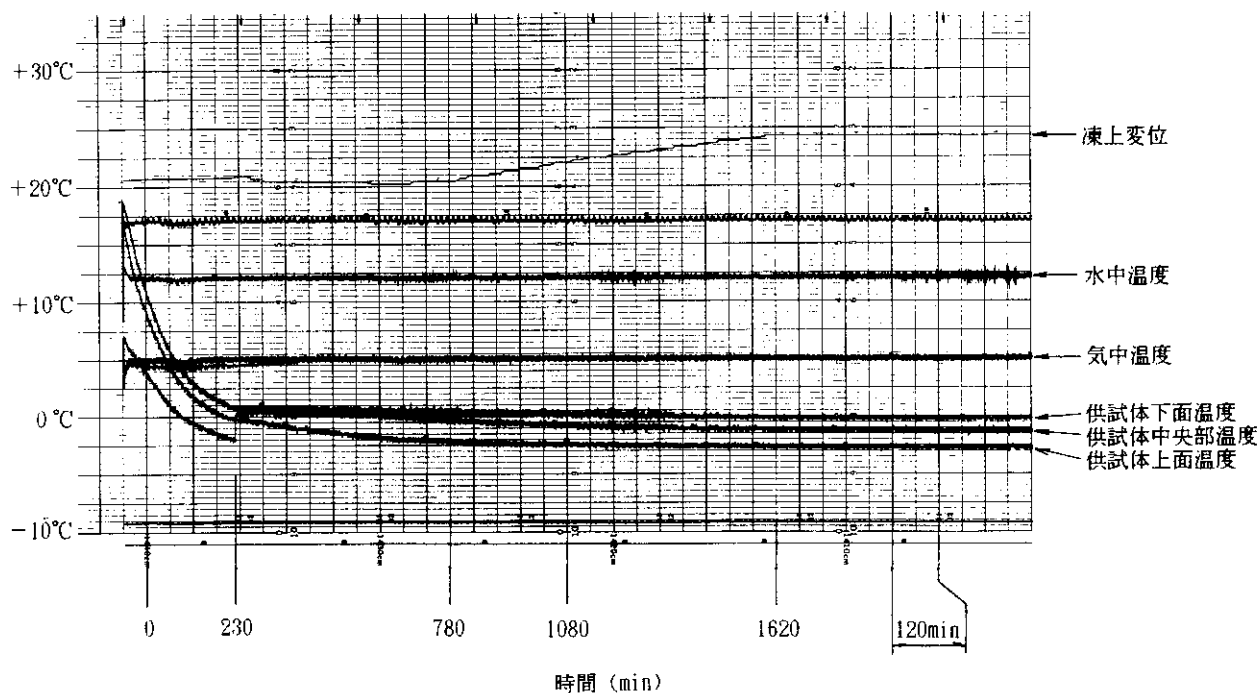
図-7 6年間放置路盤のシルト分含有分布図

度まで比較的凍上率は小さいが、凍上抑制層が路床土と接しているため路床土の混入に対する安全を見積った場合、現行の規制値6%という値は妥当であると考えられる。

6. 凍上試験の実際

室内試験レベルでの凍上現象がどのような過程を経て起こっているのかを調べるために、凍上の成長過程を時系列で追ってみた(図-8)。調査の項目としては供試体の上面、中心部、下面の温度測定と凍上変位置量を変位計で測定した。

図-8は凍上の進行過程を記録したものであるが、これによれば、凍上による変位は一定の凍上速度で起こるのではなく、細かく時間をとれば不連続な階段状を呈していることがわかる。一般に凍上現象において、水晶成長領域においては、成長領域より下部の部分より水の移



水中温度、気中温度はオフセットして記録してある (オフセット値: +10°C)

図-8 凍上の進行状況

動があり、これを吸水領域と呼び、これと同時に水を排出した領域を、排水領域と呼んでいる。すなわち、凍上過程においては、氷の状態の水を多く含んだ領域と、水を凍上領域へ排出した領域とが交互に重なっている。図-8の不連続な凍上変位置量は、実際の凍上現象が水晶の生成過程で、吸水、排水を繰返して生じていることを裏づけている。また、1回の水晶の析出に要する時間は、数分程度であることがわかる。

一般に路床土のような凍上量の大きな試料の場合には、凍上速度が大きくなるとともに、1回の吸排水に要する時間も短くなる傾向にある。これは試料の持っている給水能力の差であり、有限長の供試体内で大きな凍上を発生させるためには、水晶の発生している下の部分の給水能力が大きくなってはならない。その要素として上げられるのが、冷却条件、土粒子の曲率半径、土粒子の電気的性質などである。給水能力が大きいということは、

同じ厚さの氷晶を発生させるために必要な排水領域が小さくて済むということであり、氷晶の発生回数が多くなり結果として大きな凍上が発生する。

次に、供試体内の各測点での温度がどのような挙動を示しているのかを見ると、供試体の冷却が始まり230分経過時点で、供試体上面の温度が一瞬にして上昇していることがわかる。この温度上昇は、試料内に含まれる水の相変化に伴う潜熱であると考えられる。試料内温度の上昇は凍結領域が深くなるにつれて徐々に下降していき、凍上終了時点で平衡状態に達する。

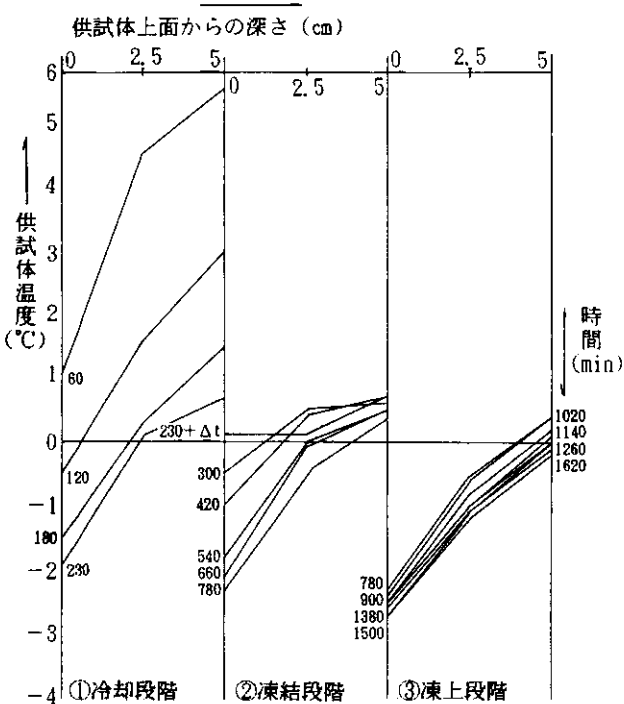


図-9 供試体内温度勾配

供試体内の温度勾配は、図-9のような変化を示す。供試体の凍結段階は3つの段階に分類される。

①の冷却段階では、供試体のほとんどの部分は未凍結状態であり、供試体の温度は与えられた温度勾配に対応するまで下がり続ける。

②の凍結段階では、試験開始後230分での供試体温度の急激な上昇を境に供試体上部の凍結が始まる。この段階ではまだ氷晶の発生はなく、内部に含まれる水分がコンクリート状の凍結をしている。冷却面付近では急激に凍結が始まるため、氷晶の析出するより先に凍結が始まってしまう。この傾向は、熱伝導率の大きな粒状材料で顕著に現われる。また、上部の凍土と下部の未凍結土が共存状態にあり、図-9より、供試体の凍結側と未凍結側で温度勾配が大きく変わっていることがわかる。この状態は、凍上の始まる780分まで続いている。

③は凍上段階であり、氷晶が次々と発生し未凍結領域がなくなるまで凍上が続く。この段階では供試体のほとんどの部分が0℃以下であり、実際の凍上が起こっている範囲は、供試体下部1cm程度の幅であることがわかる。温度勾配は、供試体のほとんどの部分が凍結領域のため直線に近いものとなっている。

凍結線付近においては、このような現象を繰返しながら凍上が進行していることがわかる。

7. まとめ

- (1) 改良案は各供試体間での凍上率のパラッキが少なく、試験間での変動も少ないため再現性に優れる。凍上率の変動係数値で現行法1/2以下である。
- (2) 凍上の経過を逐次観測できるため、試験時間を大幅に短縮することができる。
- (3) 改良案での温度勾配の与え方は、気中温度-6℃、水中温度+1℃が最適である。
- (4) 供試体の厚さは、5cmが適している。
- (5) 砂、切込砕石ともにシルト含有率が増加するに従って凍上率も大きくなるが、どちらも12%程度を境に凍上率の増加傾向が強まる。
- (6) 路盤材料は、出荷段階と最終施工段階でのシルト分以下含有率に大きな開きができる場合がある。また、このときはシルト分以下の含有率は表面に近いほど多くなる傾向がある。
- (7) 凍上現象を氷晶析出にあわせた時間レベルで見ると、吸排水現象と氷晶析出が交互に繰返されている様子が確認できる。このとき、凍上速度は一定ではなく小刻みな階段状に発生する。
- (8) 供試体内温度の分布は、少なくとも3つの段階に分かれていて、凍上が始まる前の凍結の段階で相変化に伴う潜熱の発生が確認される。

8. おわりに

凍上試験の最も困難な部分は、単に実験レベルでの精度を上げればよいというものではなく、結果をいかに現地にフィードバックするのか、というところにある。現在までの試験器具の改良、試験方法の改良も過去の多くの実験に支えられている。

今後はこの改良試験装置を基に、実際に用いられている材料の産地による違いを調査し、全道の材料マップを作成するつもりでいる。特に、凍上抑制層に用いられる機会の多い火山灰については、早急な調査が必要であると思われる。

本報告を終えるにあたり、現地調査の段階で多大な御

協力をいただいた各開発建設部の皆様に対し、ここに謝意を表する次第であります。

参考文献

- 1) 水島達朗, 熊谷茂樹, 佐藤繁治, 佐藤敏彦:「凍上試験方法の改良に関する実験」, 第30回北海道開発局技術研究発表会, 1987年.
- 2) 木下誠一著:「凍土の物理学」, 森北出版, 1982年.

- 3) 土質工学会編:「土の凍結—その制御と応用」, 1982年.
- 4) 道路土工—排水工指針, 社団法人日本道路協会, 1979年.
- 5) 齊藤敏彦, 杉岡博史, 水島達朗:「国道の凍上対策について」, 第32回北海道開発局技術研究発表会, 1989年.

*

*

*