

2. 奥多摩周遊道路における舗装の凍上対策

Preventive Measures for Frost Heave of Pavement in Okutama Round Tour Road

技術支援課 田中 輝栄、峰岸 順一

西多摩建設事務所奥多摩出張所 古賀 善久

道路管理部保全課 前田 隆志、斎藤 竜一

1. はじめに

東京都建設局西多摩建設事務所（以下、西建という）の所管する一般都道川野上川乗線（第 206 号）奥多摩周遊道路（以下、周遊道路という）は、都内でも標高が高く積雪の多い場所にある山岳道路である。そこでは冬季に日陰になる道路で、アスファルト舗装版の持ち上がりやそれに起因するひびわれの発生が散見され

ていた。これらの破損原因は、路床土の凍結が氷晶を発生・成長させ、その上の層を隆起させる凍上現象によるものと考え、平成 6 年度冬季に凍上対策のための調査（凍結深さ、土質調査、気温資料整理（AMeDAS（地域気象観測システム）））が行われ、20cm 以下の砂置換の凍上抑制層を有する舗装構造が提案された。その結果に基づき、平成 12 年度までに凍上対策舗装として数

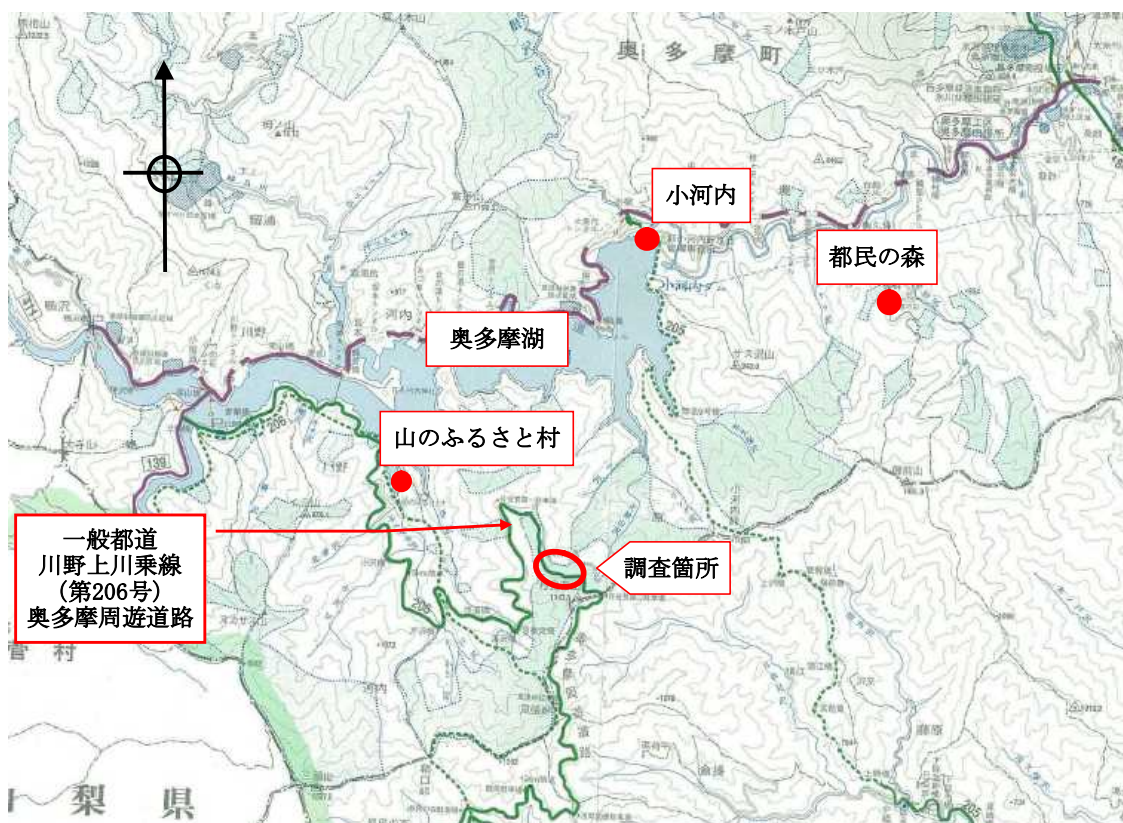


図-1 調査箇所の位置関係¹⁾

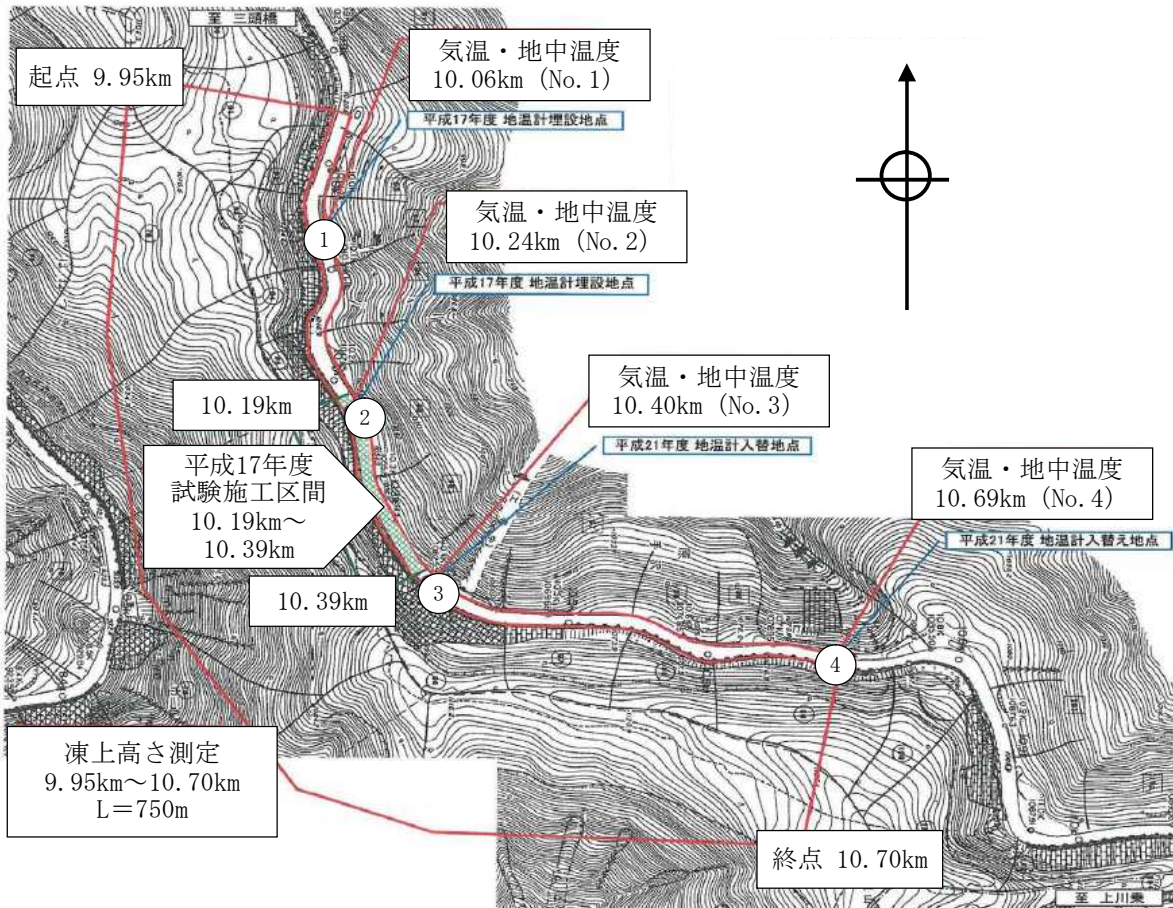


図-2 凍上の調査区間²⁾

箇所が施工された。しかし、平成12年度冬季、それらの箇所では凍上が発生したため、西建、道路管理部、土木技術研究所（現 土木技術支援・人材育成センター）の3者協働による調査検討を行うこととなり、平成15年度から24年度まで10年にわたり調査検討を行ってきた。

本文は、10年にわたる周遊道路における舗装の凍上対策の調査結果を整理し、報告するものである。

2. 調査箇所、経緯、調査項目

本調査は、平成15年度から平成24年度までの10年間継続して実施してきた。調査箇所と経緯・調査項目は、以下のとおりである。

(1) 調査箇所の位置関係、調査区間

調査箇所の位置関係を図-1に示す。調査箇所の舗装の凍上対策の調査区間は、図-2に示すとおり、地点標9.95km～10.70km（奥多摩町原地内）である。また、平成24年度調査では、当該区間に加えて、地点標

12.45km～12.50kmの50m、地点標13.22km～13.27kmの50m（檜原村倉掛地内）について追加実施している。

(2) 経緯、調査項目

周遊道路における舗装の凍上対策調査の経緯と調査項目を図-3に示す。

1) 平成6年度冬季

- ① 凍結深さおよび土質に関する調査の実施。
- ② 気温資料の収集整理：周遊道路は、全長20kmにも及び、この区間の道路面の標高はT.P. +536～1146mと標高差610mにも達する。（財）日本気象協会による気温資料をAMeDAS（地域気象観測システム）から調査地近傍もしくは標高500～1200mの間にある秩父（標高+275m）、大月（標高+355m）、小河内（標高+530m）、甲斐大泉（+標高867m）の4か所を選定し、過去10年間分収集し整理した。
- ③ 凍上対策工法の提案：調査の結果、凍上対策工法として、砂による置換工法と施工箇所が提案された。
 - ・標高700m以下：対策を必要としない。

・標高 700～900m 間の構造：

As 混合物 10cm、
上層路盤 15cm、下層路盤 15cm、
凍上抑制層（砂置換） 10cm

・標高 900～1200m 間の構造：

As 混合物 10cm
上層路盤 15cm、下層路盤 15cm
凍上抑制層（砂置換） 20cm

2) 平成 12 年度まで

1) の結果に基づき、凍上対策舗装（砂置換 20cm）を施工した。

・施工区間：

10.5～10.8km 区間
9.4～9.8km の区間（平成 12 年度）
10.85～11.14km の区間（平成 12 年度）

3) 平成 12 年度冬季

① 2) の凍上対策舗装（砂置換 20cm）施工箇所において凍上が発生した。9.4～9.8km 区間で、アスファルト舗装版持上がり高さ最大 3cm 程度が計測された。

② 凍上発生箇所の開削調査を実施した。

4) 平成 15 年度から

例年、凍上により被害を受ける箇所において、定期的な実地調査により凍上被害の実態を正確に把握し、当該諸状況に対応した凍上抑制効果を有する舗装構造の選定を行うことを目的として、継続的な調査を実施していくこととなった。

(3) 平成 15 から 24 年度までに実施した調査項目

1) 平成 15 年度

舗装路面観察、気温・地中温度計測、電気探査、開削調査、土の物理試験（土粒子密度、含水比、粒度、液性・塑性限界）、土の凍上試験を実施した。

2) 平成 16 年度

舗装路面観察、凍上高さ測量、気温・地中温度計測、電気探査、開削調査、土の物理試験（土粒子密度、含水比、粒度）を実施した。

3) 平成 17 年度

① 平成 15、16 年度の結果に基づき、凍上対策舗装の試験施工を実施した。

・試験施工の構造

As 混合物 10cm



図-3 凍上対策調査の経緯と調査項目

上層路盤 15cm

下層路盤 15cm

凍上抑制層（切込み砕石） 70cm

② 舗装路面観察、凍上高さ測量、気温・地中温度計

測、採取試料の物理試験（土粒子密度、含水比、粒度）、採取試料の凍上試験を実施した。

4) 平成 18～23 年度

舗装路面観察、凍上高さ測量、気温・地中温度計測を実施した。

5) 平成 24 年度

舗装路面観察、凍上高さ測量、気温・地中温度計測、日陰時間算定を実施した。

3. 開削調査

(1) 開削位置

- ① 平成 15 年度冬季、10.40km 地点 (No. 3) (図-2 参照) の凍上箇所を深度 1m 開削し、凍上状況を直接観察した。
- ② 平成 16 年度冬季、10.69km 地点 (No. 4) (図-2 参

照) を開削し、直接観察した。

(2) 10.40km 地点 (No. 3) の開削観察結果

開削断面の特徴をみると、6 層に分けることができる。開削した箇所断面写真を写真-1、2 に示す。また、各層の目視による観察結果を表-1 に示す。

- ① 地表から深度 70cm 付近まで (③層、④層、⑤層) 凍結しており、著しく硬い (ハンマーのピックで削るのも困難な程度)。ブレーカーの爪あとが残る。
- ② 深度 70cm 付近以深 (⑥層) も開削底部まで凍結しているが、やや軟質になる (ハンマーのピックで削ることができ、力を込めれば土塊を手で変形させることが可能な程度)。
- ③ 深度 50cm 程度以深 (⑤層、⑥層) の凍結部には、氷の粒が見られたり、薄いフィルム状の氷が礫にはり付いていたりする。ただし、氷の層や氷の塊など

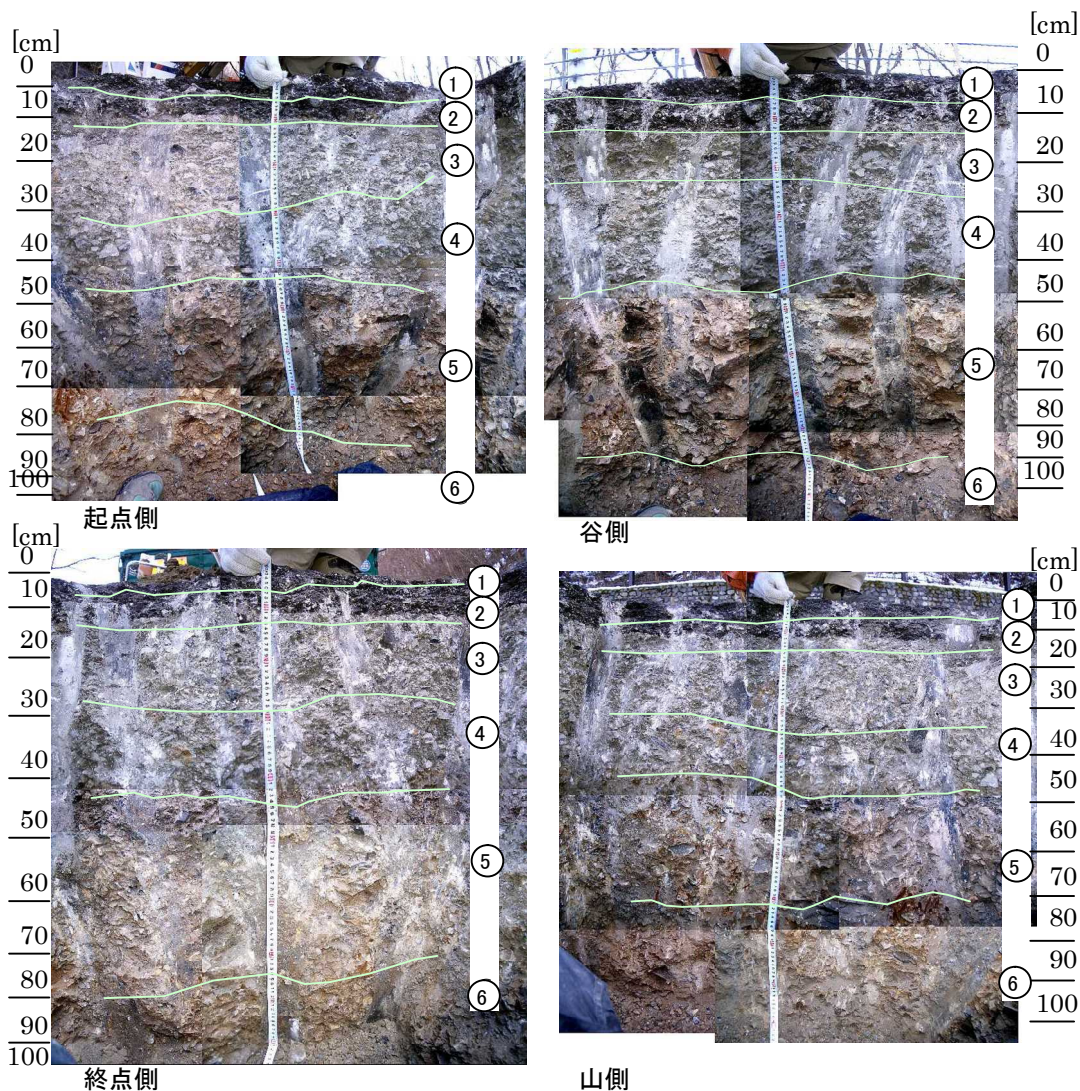


写真-1 開削箇所の断面写真

は見られない。

(3) 10.69km 地点 (No. 4) の開削観察結果

平成 16 年度冬季、10.69km 地点 (No. 4) を開削し、凍上状況を直接観察した。観察結果は、以下のとおりであった。

- ① 地表から深度 60cm まで凍結しており、硬く、ブレーカーの爪あとが残る。ただし、平成 15 年度の凍結時に開削した 10.40km 地点 (No. 3) と比べると軟質で、凍結の度合いも少ない (ハンマーのピックで削ることができ、力を込めれば土塊を手で変形させることが可能な程度)。
- ② 深度 60cm 付近～110cm 付近は、粘土分が多少凍結し、ブレーカーの爪あとが残るものの、軟質である。
- ③ 110cm 付近以深は、凍結していない。
- ④ 平成 15 年度の凍結時に開削した 10.40km 地点 (No. 3) では、氷の粒や礫に貼りついた薄いフィルム状の氷などが確認された層は、本地点では、同様のものは確認されなかった。凍上現象は、起こっていない。

4. 採取試料の物理試験と凍上試験の結果

平成 15 年度冬季から平成 17 年度冬季にかけて、現地における試料を採取し、土の物理試験および凍上試験を実施した。表-2 に、採取試料の採取地点 (地点標)、採取位置 (試料名)、試験項目を示す。

- ① 平成 15 年度冬季、10.32km、10.40km (No. 3 開削調査地点)、10.44km の 3 地点における採取試料の物理試験および凍上試験を実施した。10.40km 地点 (No. 3 開削調査地点) 以外の試料採取地点は、現地における電気探査の測定値 (電位差) から、比抵抗が高い地点として 10.32km 地点を、比抵抗が低い地点として 10.44km 地点を選定した。なお、10.40km 地点 (No. 3 開削調査地点) は、比抵抗が低い地点であった。
- ② 平成 16 年度冬季、10.69km 地点 (No. 4) における採取試料の物理試験を実施した。
- ③ 平成 17 年度冬季、10.32km 地点における採取試料の凍上試験、10.34km 地点における採取試料の物理試験を実施した。

(1) 採取試料の物理試験

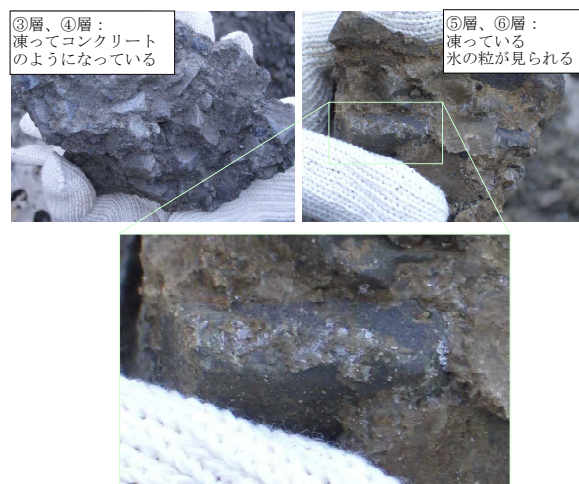


写真-2 開削箇所断面の部分拡大状況

表-1 開削箇所断面の状態

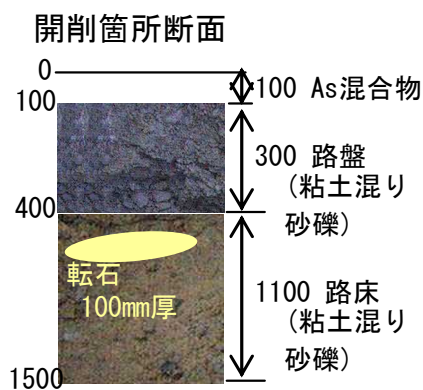
層	層を構成するもの	凍結・凍上の状態
①層	・密粒度アスファルト混合物 (表層部分)	・境界に水平クラックが見られる。
②層	・粗粒度アスファルト混合物 (基層部分)	(①層と②層の厚さは10cm程度)
③層	・よく締め固められた礫質土。 ・暗灰色。 ・礫と粘土分が多い。 ・礫φ max30mm。 ・粘板岩、砂岩、チャート。(上層路盤部分)	・凍結して硬い。
④層	・③層とほぼ同様の土砂からなる礫混じり砂質土。 ・細礫、砂分が多い。 ・粘土分含む。 ・暗灰色を呈す。(下層路盤部分)	・凍結して硬い。
⑤層	・砂岩礫の多い風化岩層。 ・風化により黄褐色を呈す。 ・粘土塊を含む。 ・黒色の粘板岩礫を少量含む。 ・礫φ max80mm。(路床部分)	・凍結して硬い。 ・凍上し、氷の粒が見られる。
⑥層	・地山の風化岩をしきならしたものとみられる。(路床部分)	・凍結しているが、やや軟質。 ・凍上し、氷の粒が見られる。

試料を採取した地点の断面を図-3 に、舗装構造を図-4 に示す。土の物理試験の試料は、6 地点から 8 試料を採取した。試験結果は、表-3 のとおりであった。

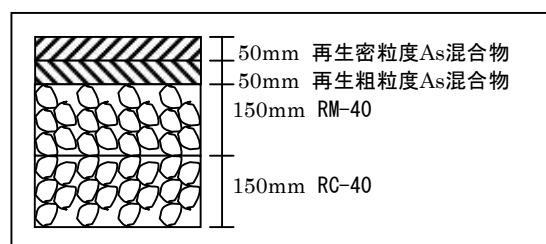
- ① 路床 1、2、3 の試料の粒度は、細粒分が 20% 以上である。
- ② 路床 4 の試料の粒度は、細粒分が 5% 程度で、路床 1、2、3 の試料より少ない。

表一2 試料の採取地点、位置、試験項目

試験年度	試料採取地点 (地点標)		試料採取位置 (試料名)	試験項目	
				物理試験	凍上試験
平成15	1	10.40km 地点 (開削調査地点)	路床1	○	○
			路盤1	○	—
	2	10.32km 地点	路床2	○	—
路盤2			○	—	
平成16	4	10.69km 地点	路床3	○	—
			路盤3	○	—
平成17	5	10.32km 地点	路床4	○	—
			路盤4	○	—
平成17	6	10.34km 地点	路床5	—	○
			路床6	○	—



図一3 開削箇所断面



図一4 設計舗装構造

表一3 採取試料の物理試験結果

試料名	深度 m	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	自然含水比 %	粒度分布						液性・塑性			統一分類	
				礫分 %	砂分 %	シルト分 %	粘土分 %	均等係数	液性限界 %	塑性限界 %	塑性指数	分類記号	分類名	
1 10.40km	路床1	0.5 ~ 0.75	2.279	25.1	51.8	25.5	16.6	6.1	384.6	59.5	40.4	19.1	GCsS	粘性土質砂質礫
	路盤1	0.2 ~ 0.4	2.715	5.4	64.1	21.9	8.6	5.4	309.5	22.6	14.6	8.0	GS-Cs	粘性土混じり砂質礫
2 10.32km	路床2	0.4 ~ 0.6	2.702	11.6	51.0	26.8	12.6	9.6	781.8	28.8	15.9	12.9	GCsS	粘性土質砂質礫
	路盤2	0.2 ~ 0.4	2.715	5.1	63.7	22.4	8.6	5.3	234.4	19.5	14.4	5.1	GS-Cs	粘性土混じり砂質礫
3 10.44km	路床3	0.4 ~ 0.6	2.732	11.0	50.2	27.1	12.8	9.9	714.3	32.0	17.4	14.6	GCsS	粘性土質砂質礫
4 10.69km	路床4	0.3 ~ 0.4	2.688	3.7	73.0	22.0	3.0	2.0	16.0	—	—	—	GS-F	細粒分混じり砂質礫
	路盤4	0.7 ~ 0.8	2.702	5.0	57.0	36.0	6.0	1.0	17.0	—	—	—	GS-F	細粒分混じり砂質礫
5 10.32km	路床5	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6 10.34km	路床6	1.5	2.729	11.9	59.8	24.9	11.9	3.4	282.0	—	—	—	GFS	細粒分質砂質礫

- ③ 路床6の試料の粒度は、細粒分が15%程度であり、路床1、2、3の試料より少ないが、路床4の試料より多い。
 - ④ 路盤1、2の試料の粒度は、路床1、2、3の試料より細粒分が少ないが、凍上抑制層用の材料として適する道路用砕石材料M-40、C-40の粒度範囲よりも細粒分が若干多い。
 - ⑤ 路盤4の試料の粒度は、細粒分が10%未満で、最も細粒分が少ない。
 - ⑥ 路床1、2、3、路床6の試料の自然含水比は、10%以上と高い。
 - ⑦ 路床4の試料の自然含水比は、4%程度と低い。
 - ⑧ 路盤1、2、4の試料の自然含水比は、5%程度と低い。
- (2) 採取試料の凍上試験結果
- 10.40km 地点 (No.3 開削調査地点) および 10.32km 地点の路床における採取試料の凍上試験結果は、表一4に示すとおりである。

① 10.40km 地点 (No.3 開削調査地点) 路床 1 における Wopt (最適含水比条件) および Wn (自然含水比条件) のいずれの場合も凍上様式は「4. 霜降状凍結」であり、凍上率は Wopt (最適含水比条件) 40.7%、Wn (自然含水比条件) 54.7%であった。結果は、道路土工要綱((社)日本道路協会)³⁾ の判定基準より、両者とも不合格と判定された。

② 10.32km 地点路床 5 における凍上試験は、①の結果 (自然含水比のほうが凍上率が大きい) を考慮し、自然含水状態で締固めた 3 試料により行い、3 試料全ての凍上様式は「1. コンクリート状凍結」、凍上率は Wn (自然含水比条件) 16.0~18.3%であった。結果は、道路土工要綱 ((社)日本道路協会)³⁾ の判定基準より、3 試料全て合格と判定された。

5. 試験施工舗装構造の設定

(1) 試験施工の箇所

平成 15、16 年度の 10.40km 地点 (No.3 開削調査地点) と 10.69km 地点 (No.4) での調査結果に基づき、凍上抑制を考慮した舗装構造を設定し、10.19~10.39km の区間において試験施工を行った。

(2) 凍結指数

- ① 平成 15 年度 10.40km 地点 (No.3 開削調査地点) における凍結指数は、図-5 に示すとおり、123.8 °C・days であった。
- ② 平成 16 年度 10.40km 地点 (No.3 開削調査地点)、10.69km 地点 (No.4) における凍結指数は、測定開始日時点で既に深度 50cm までが凍結するほど気温が低下しており、日平均気温累積の極大値を得ることができなかつたため、凍結指数は不明であった。

(3) 理論最大凍結深さ

- ① 理論最大凍結深さは、式-1 により求めた⁴⁾。
- $$D_{max} = D_e + (F_{max} / Fe)^{1/2} \dots \text{式-1}$$
- D_{max} : 理論最大凍結深さ (cm)
 F_{max} : 設計に用いる凍結指数 (°C・days)
 Fe : 現地で調査した年の凍結指数 (°C・days)
 De : 換算最大凍結深さ (cm)
- $$D_e = D_c + 1.8 \times D_f$$
- D_c : 実測した凍結深さ内の凍上を起こしにくい粒状材料からなる層の厚さ (cm)

表-4 採取試料の凍上試験結果

試料名	深度 m	凍上試験			
		試験条件	凍上率 %	凍上試験	
				凍上様式	判定
1 10.40km 路床1	0.5 ~ 0.75	Wopt	40.7	4. 霜降状凍結	不合格
		Wn	54.7	4. 霜降状凍結	不合格
5 10.32km 路床5	1.5	Wn	17.7	1. コンクリート状凍結	合格
			16.0	1. コンクリート状凍結	合格
			18.3	1. コンクリート状凍結	合格

表-5 理論最大凍結深さ計算のパラメータ

		平. 15	平. 16	
		No. 3	No. 3	No. 4
凍結深さ	cm	110	110	110
D _c	cm	50	50	110
D _f	cm	60	60	0
D _e	cm	158	158	110
Fe	°C・days	123.8	不明	

D_f : 実測した凍結深さ内の凍上を起こしやすい細粒材料からなる層の厚さ (cm)

- ② F_{max} については、以下の理由により、F_{max}=Fe と仮定した。
- 過去 10 年間の現地の気温データがない。
 - 気象庁公開の最寄観測点「小河内」(図-1 参照) のデータは、日平均気温の累積値に、極大値および極小値が現れないため、不適切である。
 - 「都民の森」(図-1 参照) の気温データは、月ごとの集計だったため、使用不能である。
 - 「山のふるさと村」(図-1 参照) の気温データは、日平均気温の累積値に極大値および極小値が現れるものの、調査地との標高差 400m 強の影響が明らかだったため、理論最大凍結深さの計算に使用することは望ましくない。
- ③ ①および②と、表-5 より、理論最大凍結深さ D_{max} =158cm であった。

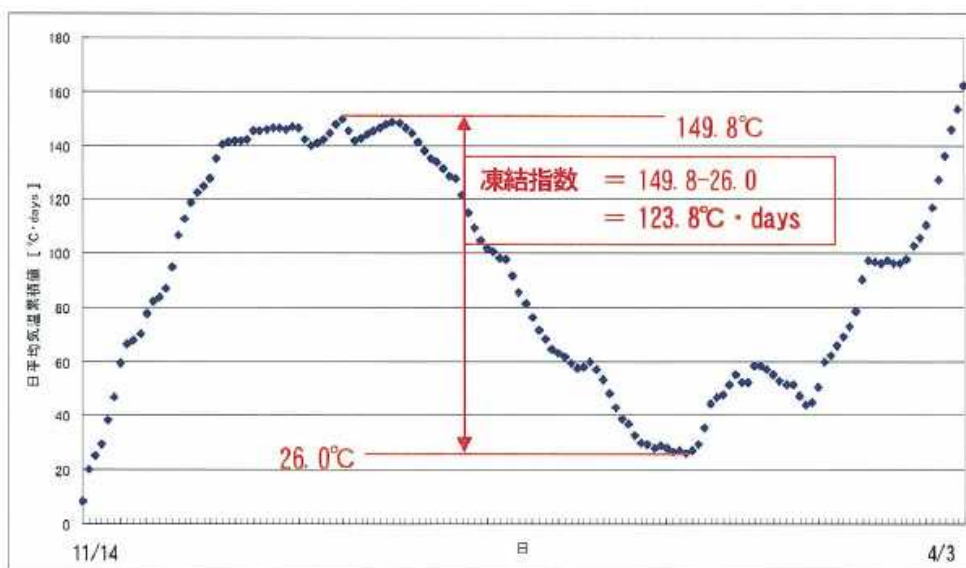


図-5 10.40km 地点における日平均気温累積値
(期間 2003 年 11 月 14 日～2004 年 4 月 3 日)

④ 本調査地は、凍結指数が 500 °C·days 以下の地域に相当するため、置換え深さは、理論最大凍結深さ 158cm の 70～100%、すなわち、110cm～158cm の範囲から 110cm とした。

⑤ 結果、試験施工の構造は、表層（再生密粒度アスファルト混合物）5cm、基層（再生粗粒度アスファルト混合物）5cm、上層路盤（RM-40）15cm、下層路盤（RC-40）15cm、凍上抑制層（切込み砕石）70cm の合計厚さ 110cm とし、平成 17 年度に施工した。

6. 舗装路面観察の結果

平成 25 年 3 月に実施した舗装路面の観察結果は、以下のとおりである。

(1) 9.95～9.97km 区間

(平成 22 年度、表層打換え区間)

本区間の表層は平成 22 年度に打換えを行ったため、目立った路面のひびわれは観察されない。

(2) 9.97～10.19km 区間

(平成 17 年度、全層打換え区間)

道路センターに道路延長方向に舗装の打継ぎ目のひびわれが発達している。特に、10.01～10.02km 付近や 10.05km 付近、10.105km 付近、10.125km 付近、10.130～10.165km 付近には、平成 24 年度新たに発生した路面のひびわれが観察された。また、10.01～10.02km の

ひびわれは、ひびわれ域を広げている。

(3) 10.19～10.39km 区間

(平成 17 年度、凍上抑制対策の試験施工区間)

道路センターに道路延長方向に舗装の打継ぎ目のひびわれが発達している。また、10.23km、10.24km 付近に、平成 24 年度新たに発生した路面のひびわれが観察された。また、雪解け期において、10.32km 付近、10.35km 付近に、路面のひびわれからの水の浸み出し跡がみられた。全体としては、同時期に施工された 9.97～10.19km 区間と比較して、本区間は舗装の凍上によるひびわれは少ない。

(4) 10.39～10.70km 区間

(平成 21 年度、全層打換え区間)

平成 21 年度に全層打換えを行っている区間であるため、路面のひびわれは少ないものの、施工 3 年目にして 10.408km 付近、10.458km 付近、10.535km 付近、10.58～10.60km 付近には道路縦断方向のひびわれが発生し、ひびわれ幅が広がっている。また、道路センターの施工ジョイントに段差がみられるなど、徐々に路面の劣化が進行している。さらに、10.645km 付近には路面表面に水の浸み出し跡がみられ、路面下が水で飽和している可能性があることが判った。

7. 凍上高さ測定の結果

(1) 凍上高さについて

- ① 平成 17 年度、凍上抑制未対策の 10.40～10.70km 区間の凍上高さの量は、平均で 3cm であった。また、平成 24 年度においても、平均 3cm 強の凍上高さが計測されている。
- ② 凍上抑制対策の試験施工が行われた 10.19～10.39km 区間の 10.39km 地点付近では、平成 17 年度で 1.7cm、平成 24 年度で 1.0cm であり、凍上が生じても大きな被害にならない程度であった。

(2) 凍上対策効果

凍上抑制対策の試験施工区間と、対策を講じていない区間では、明らかに凍上高さの発現に差があることが確認された。

8. 気温・地中温度計測の結果

平成 15 年度から行ってきた気温・地中温度の計測結果から求めた凍結指数と凍結深さを表-6 に示す。

(1) 10.40km 地点 (No. 3) における調査結果

凍上抑制対策の試験施工を行った 10.40km 地点 (No. 3) について整理すると以下のとおりであった。

- ① 計測期間中の最低気温は、平均値-10.3℃、標準偏差 1.8℃、変動係数 17%、最小値-13.4℃、最大値-6.9℃であった。
- ② 計測期間中の実測凍結深さは、平均値 89cm、標準偏差 21cm、変動係数 23%、最小値 59cm、最大値 120cm であった。
- ③ 計測期間中の日平均気温による凍結指数は、平均値 138.5℃・days、標準偏差 67.8℃・days、変動係数

表-6 凍結指数と凍結深さの調査結果

調査年度	No. 1 10.06km地点			No. 2 10.24km地点			No. 3 10.40km地点			No. 4 10.69km地点		
	最低気温	日平均気温による凍結指数	実測凍結深さ	最低気温	日平均気温による凍結指数	実測凍結深さ	最低気温	日平均気温による凍結指数	実測凍結深さ	最低気温	日平均気温による凍結指数	実測凍結深さ
年度	℃	℃・days	cm	℃	℃・days	cm	℃	℃・days	cm	℃	℃・days	cm
15	-	-	-	-	-	-	-10.5	123.7	110	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-9.8	103.7	90	-9.6	99.9	110
17	-	-	20	-	-	40	-10.5	168.2	120	-	-	150
18	-7.4	15.2	27	-7.5	11.6	12	-6.9	41.5	59	-8.0	37.3	100
19	-9.7	75.6	22	-10.3	102.3	16	-10.7	169.5	98	-11.3	138.3	90
20	-8.3	21.2	23	-9.0	32.7	23	-9.1	69.2	65	-9.1	73.0	70
21	-9.0	39.7	17	-9.5	57.0	18	-11.7	154.3	70	-11.3	153.2	93
22	-7.3	-	40	-7.7	-	50	-8.6	-	110	-7.8	-	125
23	-12.7	159.8	40	-12.4	158.2	70	-13.4	276.4	80	-12.9	275.4	120
24	-11.3	87.8	30	-11.4	48.8	20	-11.5	140.0	90	-11.5	138.6	120
平均値	-9.4	66.6	27	-9.7	68.4	31	-10.3	138.5	89	-10.2	130.8	109
標準偏差	2.0	54.1	9	1.8	53.3	20	1.8	67.8	21	1.8	75.9	23
変動係数 (%)	21	81	32	19	78	66	17	49	23	18	58	22
最小値	-12.7	15.2	17	-12.4	11.6	12	-13.4	41.5	59	-12.9	37.3	70
最大値	-7.3	159.8	40	-7.5	158.2	70	-6.9	276.4	120	-7.8	275.4	150
日陰時間 (時間)	105			150			615			840		

49%、最小値 41.5°C・days、最大値 276.4°C・days であった。

(2) 気温・地中温度を計測した 4 地点における調査結果

気温・地中温度を計測した 4 地点について整理すると以下のとおりであった。

- ① 計測期間中の最低気温の平均値は、10.06km 地点 (No. 1) が -9.4°C と 10.24km 地点 (No. 2) が -9.7°C と同程度、10.04km 地点 (No. 3) が -10.3°C と 10.69km 地点 (No. 4) が -10.2°C と同程度であった。
- ② 計測期間中の凍結指数の平均値は、10.06km 地点 (No. 1) が 66.6°C・days と 10.24km 地点 (No. 2) が 68.4°C・days と同程度、10.40km 地点 (No. 3) が 138.5°C・days、10.69km 地点 (No. 4) が 130.8°C・days で、10.40km 地点 (No. 3) が最大であった。
- ③ 計測期間中の実測凍結深さの平均値は、10.06km 地点 (No. 1) が 27cm と 10.24km 地点 (No. 2) が 31cm と同程度、10.40km 地点 (No. 3) が 89cm、10.69km 地点 (No. 4) が 109cm で、10.69km 地点 (No. 4) が最大であった。
- ④ 日陰時間は、10.06km 地点 (No. 1) が 105 時間、10.24km 地点 (No. 2) が 150 時間、10.40km 地点 (No. 3) が 615 時間、10.69km 地点 (No. 4) が 840 時間で、10.69km 地点 (No. 4) が最大であった。なお、ここでいう日陰時間とは、現場で凍結が始まる各年 11 月 7 日～翌年 3 月 22 日までの期間で 8:00～16:00 までの間の日陰時間（日照が無い時間）の累計とした。
- ⑤ 凍結深さが大きい地点は、日陰時間が長い。
- ⑥ 10.40km 地点 (No. 3)、10.69km 地点 (No. 4) の気温・地中温度の状況は、10.06km 地点 (No. 1) と 10.24km (No. 2) とは、大きく異なるものであった。

9. まとめ

平成 15～24 年度までの 10 年間の継続調査により、以下の成果が得られた。

- ① 開削調査により、直接、凍上状況を把握した。
- ② 採取試料による物理試験および凍上試験により、舗装下の路床の土質および凍上性を把握した。
- ③ 定量的な凍上高さの変動を把握した。
- ④ 舗装路面の破損状況を把握した。
- ⑤ 平成 17 年度の凍上抑制対策を講じた舗装の試験施工区間の凍上効果の有効性を確認した。
- ⑥ 計測期間の定量的な気温・地中温度の変動を把握した。
- ⑦ 上記⑥により、凍上抑制対策に必要な凍結深さを推定するための重要なパラメータである凍結指数を把握することができた。
- ⑧ 各地点における日陰時間を算定した。
- ⑨ 上記①～⑧の成果により、有効な凍上抑制対策を有する舗装構造を設定することができる。

10. おわりに

本調査の目的は、凍上被害の著しい箇所において、継続的な現地調査を行うことにより凍上被害の実態を正確に把握し、当該地域の環境に対応した凍上抑制効果を有する舗装構造の選定を行うことである。本文は、西建奥多摩出張所における平成 15 から 24 年度の 10 年間にわたる現地調査の成果を整理したものであり、凍上対策に必要な凍上状況、気温・地中温度、土質状況などを把握することができた。今後は、得られた情報に基づき、周遊道路の環境に適した具体的な舗装構造を検討し取りまとめしていく。

最後に、これまでに当該調査に携わってこられた西建奥多摩出張所道路保全係、道路管理部保全課調査係、補修担当係の各位に対して、深甚なる感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 東京都西多摩建設事務所 (2004) : 東京都西多摩建設事務所管内図、平成 16 年 10 月
- 2) 東京都西多摩建設事務所 : 斜面分布図
- 3) (社) 日本道路協会 (2009) : 道路土工要綱 (平成 21 年度版)、411-416、平成 21 年 6 月、丸善 (株)
- 4) (社) 日本道路協会 (2009) : 道路土工要綱 (平成 21 年度版)、202-213、平成 21 年 6 月、丸善 (株)