長野県八ヶ岳山麓・青森県八戸市周辺の 冬季気象特性と凍害との関係

Analysis of Extent to Frost Heave Considering with Wintry Climate Character around Yatsugadake and Hachinohe City

福田 誠^{*1}・木村 智博^{*2}・新関 敦生^{*3}
Makoto Fukuda Tomohiro Kimura Atsuo Niizeki

熊谷 浩二^{*4}・前田 勇輝^{*5}・中村 孝博^{*6}
Kouji Kumagai Yuki Maeda Michihiro Nakamura

SYNOPSIS

Even though aggravation of global warming, snow hazards or frozen occurred inland area in northern part of Japan annually. Worsen catastrophic heat made it difficult to forecast of meso-scale under statistical deviation or coefficient of variation. From curtailed budget, it is required to reduce allocation of additional wage based on forensic treaty, in order to establish countermeasure for frost heave from road management or slope stability efficacy.

In this paper, the authors analyzed meteorological observation data Aomori, Nagano and Hokkaido including assimilated our data from Chino City Nagano, as to statistical period proximately two or three generation considering with deterioration of civil facilities. At first, we categorized each meteorological element on Dec., Jan., Feb. and Mar. adjust data of descriptive statistic for finding analogous characteristic results between Honshu and Hokkaido concern with cryogenic circumstances. Secondly, our research member scrutinized frozen ground with field survey, geo - morphological features and temperature focused on Nagano Pref. Finally, occurrence of frost heave and statistical analyzed climatic and hydrologic data, we concluded that several areas in Honshu Japan should be amended Hokkaido's maintenance of social infrastructure in order to alter or promote safety community swiftly.

Keywords : Frost Heave, Meteorological Data, Descriptive Statistic, Soil Property, Maintenance Management

1. はじめに

1956年制定、翌1957年に基準を定めた政令の「積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法」に準拠すると、日本国内の積雪地域「二月の積雪の深さの最大値の累年平均（最近五年以上の間における平均をいう。以下この条件において同じ）が五十センチメートル以上」と、寒冷地域「一月の平均気温の累年平均が摂氏零度以下」の区分は、北海道全域から本州日本海側に沿い山口県の一部に及び、国土の半分以上を占める。近年の災害復旧事業（以下、凍上災）は2001年4月27日の認定があり、さらに2006年5月9日付けで採択基準が緩和され、

[平成18年豪雪]による凍上災が採択された（築土構木ニュース；凍上災害復旧－凍上災の採択基準緩和される）。本州内で凍上災規模の大きい順は岩手、福島等16県、被害4,200箇所以上で、査定額は550億円となった（築土構木ニュース、平成18年度凍上災害の結果；<http://www.kuniomi.gr.jp/chiikudo/news/2006/n.181026.html>）。岩手県は青森県と同様に火山灰粘性土が広く分布し、随所で道路のひび割れ、隆起等の被害が顕著に認められた。

また、長野県諏訪市、茅野市高所山麓等の火山灰堆積箇所を始め、1980年代頃までは東京都檜原村や瑞穂町、時には青梅市といった奥多摩地域でも凍上

* 1 川崎地質株

* 2 元東京大学大学院生

* 3 株村尾技研

* 4 八戸工業大学

* 5 マツイマシン株

* 6 長岡技術科学大学学生

[本稿受理：2007年6月12日、修正原稿受理：2007年8月2日、討論期限：2008年9月30日]

写真-1：青森県階上町での舗装の凍上
(2007年3月上旬撮影)

写真-2：長野県諏訪市郊外にて路面亀裂箇所が凍結による隆起が見られた
(2003年2月中旬撮影)

写真-3：長野県上諏訪道路の横断溝付近の凍上
(2005年2月上旬撮影)

被害が発生していた。

2006～2007年は全国的に暖冬ながら、北海道北見市のガス管切断事故は、凍結地盤に起因するライフライン被害例であり、今後も予期せぬ気象変動で凍害現象が北海道内は勿論、現実には、本稿で示した写真-1～3からも本州各地で生じる可能性は否めない。ここで、北海道を基準とした既存の調査・設計・施工・管理法に準拠すれば事足りる、との見方の再考が要され、本州、九州、四国（以下内地）でも場所によっては凍害現象が見られる点に留意したい。この背景として、内地の積雪寒冷地域でも北海道地域と同様に、大都市や中小都市、山間地の集落まで、高速道路や高所山岳縦貫道路、村道が舗装され、その分、除雪の励行による舗装面の凍上被害が顕在化している事象が挙げられる。

こうした状況を勘案し、北海道方式の道路建設に係るマニュアルを尊重しつつ、本稿では特定地域に限ると内地でも北海道より月平均気温が低く、気温の日内変動が大きい点を明らかにする。そのために各地の観測所データの要約、ならびに筆者らの独自観測データ解析に加え、現場の被害状況精査を行い、より柔軟な地域即応型基準の問題提起を試みる。ここでは気象と地盤状況を考慮し、各地域の調査・設計・施工・管理等の基準で耐久性と安全・安心の道路づくりに寄与させることを目的としている。

具体的には、長野県茅野市高所山麓（標高約1200m）で筆者らが実施した独自観測値を軸に、長野県諏訪市、青森県八戸市と北海道各地域の過去100年の観測所冬季個票データを用い、国家公務員寒冷地手当区分け地域（国家公務員の寒冷地に関する法律で1～4級地の規定）から各気象要素の基本統計量を計算した。ここでは月別平均気温を中心に、気象特性の類似点と相違点を調べ、筆者らが現地で凍上調査している茅野市高所山麓がどの区分に相当するか検証した。

2. 検討対象地域の概要

図-1に示すが、公務員寒冷地手当の区分け地域では、北海道以外は全て一律に4級地に規定されている。北海道の区分け（代表的な自治体として1級地：旭川市・帯広市・北見市・夕張市・芦別市・赤平市・士別市・名寄市・滝川市・砂川市・歌志内市・深川市・富良野市、2級地：釧路市・札幌市・根室市・小樽市・岩見沢市・網走市・留萌市・苫小牧市・稚内市・美唄市・江別市・紋別市・三笠市・千歳市・恵庭市・北広島市・石狩氏、3級地：函館市・室蘭市・登別市・伊達市）は妥当ではあるが、例えば後述する諏訪市や八戸市以上に茅野市高所山麓は寒冷でありながら、4級地という点に違和感を覚えた。寒冷地手当ということで、人件費と関係するだけに、

表－３：１級地：北見市の冬季気象要素の基本統計量

	月平均値	標準偏差	統計（観測）期間
日平均気温 12 月	－2.3℃	1.4	1943～2006
1 月	－3.4	1.6	1943～2006
2 月	－6.5	1.7	1943～2007
3 月	－6.7	1.8	1943～2007
日最低気温平均 12 月	－7.1℃	2.1	1961～2006
1 月	－12.2	1.9	1962～2007
2 月	－16.4	2.7	1961～2007
3 月	－17.2	2.8	1961～2007
日最高気温平均 12 月	14.8℃	2.4	1961～2006
1 月	6.2	2.7	1962～2007
2 月	2.6	2.2	1961～2007
3 月	3.3	3.0	1961～2007
最深積雪 12 月	25.0cm	14.3	1961～2006
1 月	56.3	15.1	1961～2006
2 月	91.6	21.6	1961～2007
3 月	105.9	26.9	1961～2007
全天日射量 12 月	6.9 J/m ²	3.1	1974～2003
1 月	5.7	2.6	1975～2004
2 月	6.7	2.0	1975～2004
3 月	11.5	5.5	1975～2004
相対湿度 12 月	74.6%	2.9	1943～2006
1 月	77.3	2.8	1944～2007
2 月	78.5	3.1	1943～2007
3 月	78.3	4.1	1943～2007

表－５：２級地：札幌市の冬季気象要素の基本統計量

	月平均値	標準偏差	統計（観測）期間
日平均気温 12 月	－2.2℃	1.7	1900～2006
1 月	－5.1	1.8	1900～2007
2 月	－4.4	1.9	1900～2007
3 月	－0.7	1.4	1900～2006
日最低気温平均 12 月	－10.5℃	2.5	1961～2006
1 月	－13.7	2.4	1961～2007
2 月	－13.2	2.7	1961～2007
3 月	－10.0	2.7	1961～2006
日最高気温平均 12 月	9.5℃	2.5	1961～2006
1 月	5.4	1.8	1961～2007
2 月	5.7	2.9	1961～2007
3 月	10.9	2.5	1961～2006
最深積雪 12 月	44.1cm	20.4	1961～2006
1 月	76.0	19.3	1961～2007
2 月	96.2	21.6	1961～2007
3 月	80.9	22.3	1961～2006
全天日射量 12 月	7.7 J/m ²	3.3	1961～2006
1 月	9.2	3.9	1961～2007
2 月	13.7	6.1	1961～2007
3 月	20.1	8.9	1961～2006
相対湿度 12 月	73.4%	4.1	1900～2006
1 月	74.9	4.5	1900～2007
2 月	73.9	4.7	1900～2007
3 月	71.2	4.8	1900～2006

表－４：２級地：釧路市の冬季気象要素の基本統計量

	月平均値	標準偏差	統計（観測）期間
日平均気温 12 月	－2.6℃	1.6	1910～2006
1 月	－6.3	1.9	1910～2007
2 月	－6.0	1.7	1910～2007
3 月	－1.9	1.2	1910～2006
日最低気温平均 12 月	－15.2℃	2.7	1961～2006
1 月	－18.9	2.7	1961～2007
2 月	－18.9	2.7	1961～2007
3 月	－14.0	3.4	1961～2006
日最高気温平均 12 月	8.7℃	1.4	1961～2006
1 月	4.7	1.6	1961～2007
2 月	4.1	1.9	1961～2007
3 月	8.2	2.2	1961～2006
最深積雪 12 月	15.0cm	10.7	1961～2006
1 月	26.3	18.1	1961～2007
2 月	27.8	17.8	1961～2007
3 月	27.2	17.7	1961～2006
全天日射量 12 月	欠測	－	観測なし
1 月	欠測	－	観測なし
2 月	欠測	－	観測なし
3 月	欠測	－	観測なし
相対湿度 12 月	69.7%	3.4	1910～2006
1 月	77.2	4.3	1910～2007
2 月	73.3	4.6	1910～2007
3 月	74.8	3.7	1910～2006

表－６：２級地：根室市の冬季気象要素の基本統計量

	月平均値	標準偏差	統計（観測）期間
日平均気温 12 月	－1.1℃	1.4	1888～2006
1 月	－4.6	1.6	1889～2007
2 月	－5.3	1.7	1889～2007
3 月	－2.1	1.3	1889～2007
日最低気温平均 12 月	－9.3℃	1.8	1961～2006
1 月	－13.2	2.3	1961～2007
2 月	－14.1	3.0	1961～2007
3 月	－11.1	3.5	1961～2007
日最高気温平均 12 月	8.9℃	2.0	1961～2006
1 月	4.7	1.9	1961～2007
2 月	3.9	2.5	1961～2007
3 月	8.0	2.5	1961～2007
最深積雪 12 月	10.7cm	8.4	1961～2006
1 月	20.3	12.4	1961～2007
2 月	25.0	16.5	1961～2007
3 月	22.1	16.0	1961～2007
全天日射量 12 月	10.2 J/m ²	5.1	1961～2006
1 月	12.2	6.3	1961～2007
2 月	18.1	9.2	1961～2007
3 月	24.3	12.2	1961～2007
相対湿度 12 月	68.5%	4.1	1889～2006
1 月	71.6	4.2	1889～2007
2 月	74.7	4.2	1889～2007
3 月	76.6	3.6	1889～2007

表－７：３級地：函館市の冬季気象要素の基本統計量

	月平均値	標準偏差	統計（観測）期間
日平均気温 12 月	－0.5℃	1.6	1900～2006
1 月	－3.1	1.6	1900～2007
2 月	－2.6	1.6	1900～2007
3 月	0.7	1.2	1900～2006
日最低气温平均 12 月	－10.2℃	2.1	1961～2006
1 月	－12.5	2.5	1961～2007
2 月	－12.3	2.2	1961～2007
3 月	－8.9	2.0	1961～2006
日最高气温平均 12 月	10.7℃	2.6	1961～2006
1 月	6.6	1.9	1961～2007
2 月	7.1	2.4	1961～2007
3 月	11.8	2.5	1961～2006
最深積雪 12 月	22.9cm	10.2	1961～2006
1 月	33.4	12.5	1961～2007
2 月	39.3	17.7	1961～2007
3 月	27.8	18.4	1961～2006
全天日射量 12 月	9.0 J/m ²	5.0	1961～2006
1 月	11.4	6.6	1961～2007
2 月	16.3	9.4	1961～2007
3 月	20.9	10.5	1961～2006
相対湿度 12 月	77.4%	3.1	1900～2006
1 月	75.4	3.1	1900～2007
2 月	73.9	3.5	1900～2007
3 月	71.5	3.9	1900～2006

表－９：４級地：諏訪市の冬季気象要素の基本統計量

	月平均値	標準偏差	統計（観測）期間
日平均気温 12 月	1.2℃	1.2	1945～2005
1 月	－1.8	1.5	1945～2005
2 月	－1.3	2.1	1945～2005
3 月	2.8	1.4	1945～2005
日最低气温平均 12 月	－9.2℃	1.9	1961～2005
1 月	－12.9	2.6	1961～2005
2 月	－12.7	3.4	1961～2005
3 月	－8.6	2.4	1961～2005
日最高气温平均 12 月	12.9℃	2.4	1961～2005
1 月	9.6	2.7	1961～2005
2 月	12.1	3.1	1961～2005
3 月	17.3	2.3	1961～2005
最深積雪 12 月	7.8cm	7.9	1961～2005
1 月	13.7	12.1	1961～2005
2 月	17.0	11.7	1961～2005
3 月	9.7	8.4	1961～2005
全天日射量 12 月	25.2 J/m ²	2.9	1961～1966
1 月	28.3	2.1	1961～1967
2 月	36.9	2.8	1961～1966
3 月	43.7	6.1	1961～1966
相対湿度 12 月	73.6%	3.3	1945～2005
1 月	73.0	4.0	1945～2005
2 月	72.1	4.6	1945～2005
3 月	69.6	3.7	1945～2005

表－８：３級地：室蘭市の冬季気象要素の基本統計量

	月平均値	標準偏差	統計（観測）期間
日平均気温 12 月	0.2℃	1.4	1928～2006
1 月	－2.4	1.3	1928～2007
2 月	－2.2	1.3	1928～2007
3 月	0.5	0.9	1928～2006
日最低气温平均 12 月	－7.5℃	1.7	1961～2006
1 月	－8.9	1.9	1961～2007
2 月	－8.5	1.8	1961～2007
3 月	－6.2	1.5	1961～2006
日最高气温平均 12 月	9.9℃	2.0	1961～2006
1 月	6.0	1.7	1961～2007
2 月	5.3	2.1	1961～2007
3 月	9.7	2.3	1961～2006
最深積雪 12 月	10.7cm	7.8	1961～2006
1 月	17.5	10.6	1961～2007
2 月	21.1	11.5	1961～2007
3 月	16.4	13.0	1961～2006
全天日射量 12 月	6.2 J/m ²	2.8	1973～2006
1 月	7.3	3.1	1974～2007
2 月	11.5	4.5	1974～2007
3 月	17.8	7.7	1974～2006
相対湿度 12 月	67.5%	2.5	1928～2006
1 月	69.1	3.0	1928～2007
2 月	70.2	3.0	1928～2007
3 月	71.9	3.1	1928～2006

表－10：４級地：八戸市の冬季気象要素の基本統計量

	月平均値	標準偏差	統計（観測）期間
日平均気温 12 月	1.1℃	1.5	1937～2005
1 月	－1.5	1.4	1937～2006
2 月	－1.2	1.4	1937～2006
3 月	2.0	1.2	1937～2006
日最低气温平均 12 月	－6.9℃	2.1	1961～2005
1 月	－9.3	1.8	1961～2006
2 月	－9.6	1.8	1961～2006
3 月	－6.9	1.8	1961～2006
日最高气温平均 12 月	13.2℃	2.7	1961～2005
1 月	9.0	2.3	1961～2006
2 月	10.2	3.1	1961～2006
3 月	15.8	2.8	1961～2006
最深積雪 12 月	9.1cm	6.8	1961～2005
1 月	17.7	12.8	1961～2006
2 月	26.7	21.2	1961～2006
3 月	16.8	13.2	1961～2006
全天日射量 12 月	8.1 J/m ²	3.6	1973～2005
1 月	9.4	4.3	1974～2006
2 月	12.4	5.6	1974～2006
3 月	16.6	7.3	1974～2006
相対湿度 12 月	71.6%	3.0	1937～2005
1 月	71.9	3.4	1937～2006
2 月	71.6	3.6	1937～2006
3 月	68.9	4.2	1937～2006

4 級地域と北海道との比較を行う前段として、各地の観測所データ（気象庁電子閲覧室）の基本統計量を以下の表－1～表－10に提示する。

これ等の表から、1 級地を除き、特に1 月と2 月の日平均気温や月別最深積雪が類似している。建築学会の『建築物荷重指針・同解説』の雪荷重で最大積雪を各々、旭川市：1.258m、帯広市：1.910m、北見市：1.095m（北見枝幸：2.407m）、釧路市：1.239m、札幌市：1.347m、根室市：0.982m、函館市：0.977m、室蘭市：0.714m、諏訪市：0.401m、八戸市：1.032mと評価している⁵⁾。m 単位は建築学会が統計的な再現期間を算定するため便宜的に用いたもので、本稿では学会記載に準拠させた。他方、表－1～表－10に見る各地の最深積雪の標準偏差から、COV が1.0 超でばらつきが極めて大きかった。

以上、半世紀超の長期間にわたる気象要素別の平均値から、4 級地であっても3 級・2 級地相当の寒冷環境下にあることが分かる。これを補足し、地域別の柔軟な運用を進めるのが（財）建築環境・省エネルギー機構による「次世代エネルギー基準の地域区分」（平成18年4 月1 日制定）である。この基準では寒冷地域はⅠ地域とⅡ地域、準寒冷地域がⅢ地域に区分されているものの、地域区分の境界線は全国のアメダス観測地点842箇所所で測定された気温データを利用し、等高線作成による詳細な評価を行っている。例えば、Ⅲ地域にある長野県でも茅野市はⅡ地域として細かい基準を示している。全体的な傾向として北海道はⅠ地域（旧函館市外はⅡ地域）、青森県はⅡ地域、長野県はⅢ地域である。

こうした他機関の評定を勘案し、各地域の事情を細かく配慮する必要がある。また、より簡便に国家公務員寒冷地手当区分表の等級地区分を行うには、第1 級地から第4 級地を各自自治体ごとに、気温の低い順に並べ、現在の規定の第2 級地、第3 級地等の区分見直しにもつながり、その意味では表－1～表－10に掲げた基本統計量が参考資料の一つとなる。

3.2 独自気象観測データ解析

凍上抑止にはまず、当該地域の気象状況の把握と道路施設管理に係る適正な人員配置が不可欠となる。このため、観測所データを補間する目的で、独自に気象観測の実施が期待される所以である。これを踏まえ、筆者らは1978～1982年に長野県茅野市高所山

麓で月別平均気温から凍結指数の評価を行った（表－11）。諏訪市に近接する同地は山間部に道路網が延伸し、交通量も多い。加えて1987年のリゾート法の施行で観光地化が進み、道路舗装が至上命題となった。諏訪市と比較して最深積雪は10～20cm 多いが、除雪の励行で凍上被害が深刻である（写真－4～6）。この事実を裏付けるため、表－1～表－10の内、1978～1982年の月別平均気温の差を検討し⁶⁾、表－12～表－15に結果を示す。なお、独立した2 群の差で、自由度は8 である。

これ等の表は飽くまでも5 年間に限定された時期で、中途に56豪雪を挟んでいるため、傾向としての把握が肝要となる。なお、一元配置の考え方から高所山麓を軸として、例えば高所山麓－旭川、高所山麓－北見という具合に、1 級地から4 級地まで2 群の差の有意性を示した。

表－12～表－15から、12月 は2 級地を除けば高所山麓との相違が顕著であるが、月平均気温の要素では1～3 月 は2 級地、比較対象の場所によっては1 級地に相当する寒冷環境が分かった。逆に言えば3 級地よりも寒さが厳しく、前述した（財）建築環境・省エネルギー機構による地域区分の柔軟運用も視野に入ることと言えよう。

ただ、凍上対策の基礎資料としては表－11～表－15以外に、凍結しやすい地盤性状の評価も必要となり、以下の表－16に提示した。

表－11と写真－4～6 から、凍上が深刻化するの

表－11：長野県茅野市高所山麓における気象実測結果

年	積算寒度（℃・日）	月	日平均気温（℃）の月平均
1978	804	12	－0.2
		1	－9.7
		2	－11.8
		3	－3.3
1979	339	12	－2.0
		1	－6.0
		2	－3.5
		3	0.2
1980	288	12	－0.3
		1	－3.5
		2	－5.8
		3	0.2
1981	708	12	－3.0
		1	－9.5
		2	－7.0
		3	－4.2
1982	339	12	－0.4
		1	－3.6
		2	－6.3
		3	－1.0

表－12：長野県茅野市高所山麓（日平均気温の月平均、
－1.18℃）を軸とした12月平均気温による各地
域との差（危険率5%の両側t境界値2.306004）

	平均気温（1978 ～1982年）	t値(危険率5%)	P値(危険率5%)
1級地：旭川	－3.00℃	2.426882	0.041403
1級地：帯広	－2.92	2.838382	0.021866
1級地：北見	1.98	－3.48794	0.008223
2級地：釧路	－0.900	－0.44928	0.665151
2級地：札幌	－0.06	－1.7344	0.12107
2級地：根室	0.72	－2.87483	0.022675
3級地：函館	1.10	－3.80317	0.005213
3級地：室蘭	1.62	－4.45625	0.002122
4級地：諏訪	1.26	－3.22339	0.012177
4級地：八戸	2.34	－5.56561	0.000531

表－15：長野県茅野市高所山麓（日平均気温の月平均、
－1.62℃）を軸とした3月平均気温による各地
域との差（危険率5%の両側t境界値2.306004）

	平均気温（1978 ～1982年）	t値(危険率5%)	P値(危険率5%)
1級地：旭川	－3.12℃	1.461208	0.182093
1級地：帯広	－2.16	0.54716	0.599196
1級地：北見	－8.30	4.949642	0.001121
2級地：釧路	－2.10	0.491076	0.63656
2級地：札幌	－0.32	－1.37738	0.2057
2級地：根室	－1.94	0.329879	0.74993
3級地：函館	0.68	－2.46756	0.035858
3級地：室蘭	0.24	－0.02102	0.077935
4級地：諏訪	2.88	－4.63204	0.001684
4級地：八戸	2.04	－3.95589	0.004201

表－13：長野県茅野市高所山麓（日平均気温の月平均、
－6.46℃）を軸とした1月平均気温による各地
域との差（危険率5%の両側t境界値2.306004）

	平均気温（1978 ～1982年）	t値(危険率5%)	P値(危険率5%)
1級地：旭川	－8.42℃	1.34964	0.214077
1級地：帯広	－8.06	1.095736	0.305081
1級地：北見	－1.82	－3.31175	0.01067
2級地：釧路	－6.36	－0.0711	0.945064
2級地：札幌	－4.74	－1.74351	0.248884
2級地：根室	－4.42	－1.44539	0.186355
3級地：函館	－3.18	－2.38333	0.044315
3級地：室蘭	－3.04	－2.39377	0.043598
4級地：諏訪	－1.76	－3.01741	0.016625
4級地：八戸	－1.30	－3.73208	0.00577

表－14：長野県茅野市高所山麓（日平均気温の月平均、
－6.88℃）を軸とした2月平均気温による各地
域との差（危険率5%の両側t境界値2.306004）

	平均気温（1978 ～1982年）	t値(危険率5%)	P値(危険率5%)
1級地：旭川	－8.66℃	1.041845	0.327942
1級地：帯広	－8.82	1.119724	0.29532
1級地：北見	－7.16	0.197694	0.848216
2級地：釧路	－7.18	0.170808	0.868618
2級地：札幌	－4.74	－1.31187	0.225956
2級地：根室	－5.84	－5.81449	0.574998
3級地：函館	－3.56	－2.06574	0.072709
3級地：室蘭	－3.22	－2.43309	0.041004
4級地：諏訪	－1.50	－3.1364	0.01388
4級地：八戸	－1.84	－3.22191	0.012204

は明白で、これに表－16にある90%前後の自然含水比の高さから地盤凍結しやすい点分かる。このため、排水工による地下水位の低下や写真－6のジオテキスタイル工法等が必定となる。これに加え、近年の交通振動を考慮した道路確保が肝要となる。具体的には、郵便局員やバイク警邏等による道路を含むライフラインの異状を発見した際の所轄建設局への通報システムの導入であり、コスト的に廉価とな

写真－4：長野県茅野市高所山麓にて道路の凍上被害、舗装の段差が著しい（1972年冬撮影）

写真－5：長野県茅野市高所山麓にて凍結深さの確認の結果、概ね1m前後（1972年冬撮影）

写真－6：長野県茅野市高所山麓にてジオテキスタイル工法による凍上対策工（1972年冬撮影）

る^{7, 8)}。例えば税免除限度額の日当8,499円の場合、道路パトロール編成には車輛運転、測量、記録班という具合に3人を要する。この小部隊で全体をカバーするのは物理的に困難で、やはり日常的な巡回や配

表－16：長野県茅野市高所山麓の試料土の物理的性質

	黒色粘土	ローム
分類	ローム	粘土ローム
土粒子密度	2.45	2.63
自然含水比（％）	90.0	103.0
L.L.（％）	105.9	142.5
P.L.（％）	70.3	85.8
均等係数	29.5	—
透水係数（cm/s）	8.39×10^{-4}	1.33×10^{-4}

写真－7：国道45号線拡幅工事中の路床ローム土（青森県八戸市にて2007年3月上旬撮影）

写真－8：国道45号線掘削工事中の道路断面（路床に砂使用、青森県八戸市にて2007年3月上旬撮影）

写真－9：八戸工業大学敷地内駐車場の凍害（2007年3月上旬撮影）

達業務をこなす機動部隊からの報告を活用することで、必要時に駆け付けて、パッチングの段階で補修が可能となる。パッチングのみの補修費用を考えると理に適っている。

4. 八戸市の舗装道路の凍害写真

長野県茅野市よりも温暖な同県諏訪市（写真－1～3）、青森県八戸市も依然として凍上（国土交通省が認定した場合は凍上災）に悩まされている。道路のみならず、駐車場や歩行帯も凍上に伴い隆起し、日常生活の支障となっている。

八戸市はローム土で有名であり、八戸市へ注ぐ馬淵川と、この北の奥入瀬川に沿う沖積平野の他は、広く洪積段丘が分布する。堆積物は十和田、八甲田火山起源の火山噴出物が卓越している⁹⁾。こうした水文環境から、地下水位が高く、加えて表－10の月別日最低・最高気温平均の差で15℃以上の開きがあることから、日内の凍結－融解の繰り返しに伴い、地盤凍結しやすくなる。この現象は表－17にある、筆者らが測定した42.7%の自然含水比等のデータや、図－2の50cm前後の年最大積雪深からも分かる。ただ、表－16の茅野市高所山麓の事例では、より地盤条件が悪く、凍結しやすい因子を持っていることになる。さらに、表－11に示した長野県茅野市高所山麓の筆者らによる独自観測データからも積算寒度が大きく、凍結が日常的となる。長野県茅野市に準じ、青森県八戸市も寒冷環境下にあると言える。これは写真－7～9の地盤性状でも明白のように、ジオテキスタイル工法や石灰処理工法等が視野に入る。

表－17：八戸大グランド付近の盛土試料の物理試験結果

土粒子の密度	ρ_s 【g/cm ³ 】	2.711
自然含水比	w_n 【％】	42.7
粒度	礫 【％】	17
	砂 【％】	44
	シルト 【％】	32
	粘土 【％】	7
	最大粒径 【mm】	19
	均等係数 U_c	45.2
	曲率係数 U_c'	0.624
	D_{50} 【mm】	0.176
	D_{10} 【mm】	0.0154
液性限界	【％】	81.7
塑性限界	【％】	46.3
地盤材料の分類名		火山灰質砂礫
分類記号		(GSV)

表－18：八戸市の冬期気象データの基本統計量
(気象庁電子閲覧室記録を計算)

	降雪量 (cm)	最深積 雪 (cm)	雪日数 (日)	平均気 温 (°C)	冬日 数 (日)	真冬日 数 (日)
平均値	137.548	32.000	90.256	9.947	113.326	14.558
標準 偏差	48.074	20.187	11.472	0.593	11.821	8.840
変動 係数	0.350	0.631	0.127	0.060	0.104	0.607
最大 値	266	110	110	135	135	782
最小 値	48	9	68	8.7	77	1

図－2：八戸市の降積雪量の年次推移
(気象庁電子閲覧室記録より)

5. まとめ

本論では過去から現在の冬季気象，特に気温に注目し，国家公務員寒冷地手当区分表を手がかりに，内地・北海道の相違点や類似点を比較検討した。具体的には，各観測所データ，及び建設現場で筆者らが測定した気象データを基に分析し，以下の結果が得られた。

- ①各観測所データの基本統計量から，長野県諏訪市と青森県八戸市でも2級地の札幌市や根室市，3級地の室蘭市等と比較し，月別の日平均気温で類似している傾向が見られた
- ②観測期間が短いながら，筆者らの独自データから，長野県茅野市高所山麓は1，2月の月別平均気温が－6℃付近を推移し，5年間に限定した1～4級地との比較で2級地，場所によっては1級地に相当し，3級地より寒冷傾向にある。自然含水比も高く，積算寒度の大小に関わらず昼間気温がプラス，夜間は氷点下のサイクルで，地盤凍結しやすい条件であった

すい条件であった

- ③青森県八戸市で見られる凍上しやすい地盤性状を勘案すると，内地でも北海道に準じた設計・施工法の適用が視野に入る。同時に，本稿の写真群から石灰処理工法，ジオテキスタイル工法等も検討課題となる

今後は冬季の気象変動を加味し，凍上被害の詳細な調査を継続させ，地域に即した凍上対策を確立することにある。

謝辞

本稿作成で過去半世紀から1世紀に及ぶ気象データの整理等，議論に参加された長岡高専技術職員の猪爪高見氏，ならびに現地調査でご協力戴いた各自治体の担当者に深謝致します。

参考文献

- 1) 中谷宇吉郎，孫野長治：凍上の実験的研究，気象雑誌，低温科学第1号，1942.
- 2) 土質工学会 編：『土の凍結—その制御と応用—』，土質基礎ライブラリー23，1982.
- 3) 福田誠，小川正二，亀井建史：高所寒冷地域における道路舗装の凍上防止対策工法とその効果，土と基礎，Vol.36，pp.25－30，1988.
- 4) 土質工学会 編：『土質工学と気象』，土質基礎工学ライブラリー35，1990.
- 5) 日本建築学会 編：『建築物荷重指針・同解説』，pp.169－239，1993.
- 6) 松原望：『改訂版 統計の考え方』，(財)放送大学教育振興会，pp.165－170，2000.
- 7) 木村智博：三陸はるか沖地震10周年記念シンポジウム報告とその後の動向，日本雪工学会誌，Vol.21，No.2，pp.130－133，2005.
- 8) 木村智博，川原潮子：「北海道火山防災サミット2005 in 札幌」から雪害対策を考える，日本雪工学会誌，Vol.22，No.2，pp.176－179，2006.
- 9) 東北地質調査業協会編：<http://www.tohoku-geo.ne.jp/data/aomori.html> に掲載.