

融解期における 舗装体内の状況把握手法に関する一検討

寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○上野 千草
丸山 記美雄

積雪寒冷地においては、融解期に凍結融解が繰り返し作用すること、融雪水が路面のひび割れ部より流入することなどにより、一時的に路床・路盤の支持力が低下し、舗装のひび割れや、ポットホールが発生することが知られている。

本文は、電気抵抗等の変化を計測することにより、融解期の舗装体内部の凍結および融解状態の分布を把握した結果、およびFWDにより舗装体の支持力を測定した結果を報告するものである。

キーワード：融解期、支持力低下、ポットホール

1. はじめに

積雪寒冷地の舗装においては、厳冬期に凍結が路盤や路床まで達し、融解期には凍結・融解が繰り返し作用する。さらに、融雪水等が路面のひび割れ部より流入することなども起因し、一時的に路床・路盤の支持力が低下し、写真-1のような舗装のひび割れや、写真-2のようなポットホールが発生することが知られている^{1), 2), 3)}。道路管理者は、このような舗装の損傷を極力減らし、道路利用者に一定のレベルでのサービスを提供していく必要がある。そのため、融解期にこのような損傷が発生するメカニズムを明らかにし、適切な維持管理を行っていくことが求められる。

本文では、舗装体内部の温度および、電気抵抗の変化を計測することにより、融解期の舗装体内部の凍結および融解状態の分布を把握した結果について報告する。さらに融解期においてFWDにより舗装体の支持力を測定した結果を報告する。

2. 調査概要

冬期及び融解期に舗装体内部の凍結および融解の状況を把握するため、土中および舗装内に、熱電対温度計および電気抵抗を測定できるセンサー（以下、凍結融解深度計）等を埋設し計測を行った。また、FWDを用いた支持力測定を実施した。

(1) 計測に用いた施設の概要

当研究所の所有する苫小牧寒地試験道路に設けた土槽、および本線を計測に用いた。以下に概要を示す。



写真-1 融解期の支持力低下によるひび割れ



写真-2 ポットホール



写真-3 土槽

a) 土槽

本施設は写真-3、図-1に示す幅4.4m、奥行き3.0m、深さ2.0mのコンクリート製の土槽と、これに接続するマンホールからなる。マンホール内と土槽内の地下水位は等しくなる構造のため、マンホール内の水位を計測することで、地下水位を確認することができる。土槽内は地表から30cmまでの深さは路盤材を、30cm以深を路床土を敷設している。また、凍結融解状況を把握するため図-2の凡例に示した計測機器が埋設されている。

b) 本線

舗装構成および計測機器の埋設状況を図-2に示す。舗装構成はアスファルト混合物層12cm、下層路盤（切込砕石40mm級）40cm、凍上抑制層（切込砕石80mm級）30cmであり、苫小牧地区のN4交通断面と同様の構成となっている。なお、写真-4に示すように本線上にはひび割れは発生していない。

(2) 調査内容

融解期における舗装体内部の凍結融解状態の把握、および支持力の把握を行うために以下の調査を実施した。

a) 気温・降水量

調査箇所近傍のAMeDAS観測地点である苫小牧のデータを入手し、舗装体の凍結および融解に影響を与える気温と、舗装体内部への水の供給の要因となる降水量を整理した。なお、本施設は降雪毎に除雪を行っているため、融雪水の影響は無視することとし、天候が雨またはみぞれ時の降水量のみを抽出して、考察に用いた。

b) 舗装体温度

熱電対温度計を図-1～2に示すように土槽及び舗装体内に埋設し、温度計測を行い、凍結融解状況の把握に用いた。0°C以上を未凍結または融解状態、0°C未満を凍結状態と判定するが、0°C付近では判定が困難なため、次に示す電気抵抗値の計測を併せて行った。

c) 電気抵抗値

図-3に示す電極を等間隔で配置した棒状の計測装置（以下、凍結融解深度計）を用い、隣り合う電極間の電気抵抗を計測し、凍結および融解の判定を行った。原理・特徴を以下に示す。

凍結した土や乾燥した土は、凍結していない湿潤な土に比べて電気抵抗などが大きく変化することが知られており^{4)~8)}、本検討ではこの特性を利用して凍結・融解の判定を行った。なお、電気抵抗の計測においては交流を用い、直列抵抗にてインピーダンス（以下、電気抵抗値）を計測している。

この手法の特徴は、電極を等間隔で配置した棒状の計測装置を用い、比較的細かい深度間隔で舗装体の凍結および融解の状況を把握できることにある。

切込砕石 40mm 級を最適含水比に調整した試料を用い、約 20°C の部屋から室温 -10°C の部屋へ移し、4 日間養生後、約 20°C の部屋に移し、試料温度と電気抵抗値を計測し

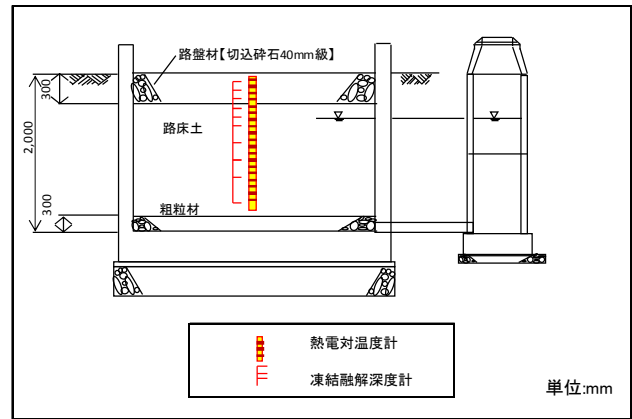


図-1 土槽の概要

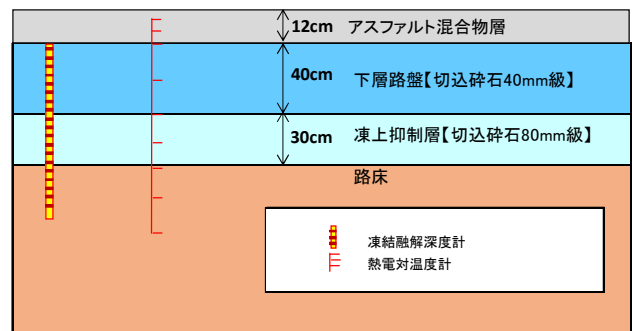


図-2 本線舗装の概要



写真-4 本線

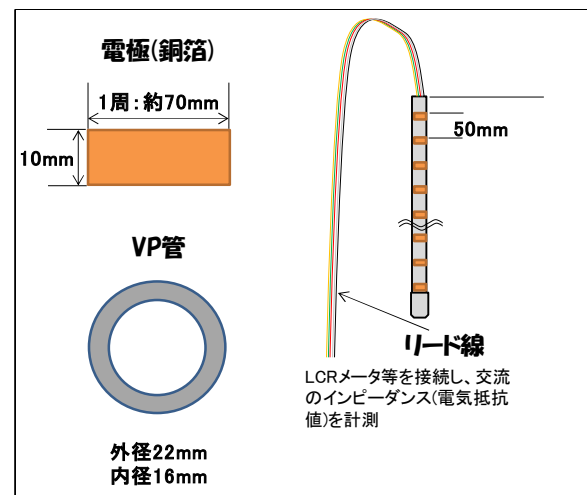


図-3 凍結融解深度計の概要

た結果を図-4に示す。

試料温度約20°Cにおける電気抵抗値は 1.0×10^1 オーダーであるが、試料温度が0°C以下となると凍結に伴う電気抵抗値の急激な上昇が見られ、電気抵抗値は 1.0×10^2 オーダーとなる。また、試料が一樣に凍結に至った後は、電気抵抗値が一定となり、試料温度が上昇し0°C以上となると、電気抵抗値は 1.0×10^2 オーダーから 1.0×10^1 オーダーに急激に変化している。

この傾向を今回計測の対象とした路床土および凍上抑制層材である切込碎石80mm級にも当てはまることを確認したこと⁹⁾、本測定ではこの特性を利用し、 1.0×10^1 オーダーを未凍結または融解状態、 1.0×10^2 オーダーを凍結状態として判断し、舗装体内部の凍結融解状態の判定に用いた。

d) FWDによるたわみ量

融解期の路床・路盤の支持力の変化を把握するためFWD試験機を用いたたわみ量を測定した。FWD試験の概要を図-5に示す。この試験は、重錘を載荷版に落下させ衝撃荷重を路面に与え、そのときの路面のたわみ量をセンサーで計測するものである。

図-6にFWDたわみ量の計測例を示す。剛性の高いコンクリート舗装 (Co舗装) は載荷版直下も離れた位置でもたわみ量は小さい。また、同じアスファルト舗装 (As舗装) でも、N₅交通断面ではN₄交通断面よりも舗装厚が厚いため舗装全体としての支持力が高く、たわみ量が小さくなる。このため、本検討ではたわみ形状について着目して考察を行うこととした。なお、施設の構造上、土槽では実施できないため本線のみで計測を行った。

3. 調査結果

(1) 気温・降水量

図-7に調査期間(2018. 11. 1~2019. 4. 1)の日平均気温と降雨による降水量を示す。11月19日に初めて日平均気温が0°C以下となり、最後に0°C以下が観測されたのは3月21日であった。この間、1月9日に26mm、3月1~2日にかけて34mm、3月8~9日にかけて70mmのまとまった降雨(みぞれを含む)が確認された。

(2) 舗装体温度および電気抵抗値による凍結状況

図-8~9に融解期の各計測施設における凍結状況を深き別に示す。

図中青色は凍結を示し、電気抵抗値が 1.0×10^2 オーダー、舗装体温度が0°C未満を示している。水色は舗装体温度が0°Cの範囲であり、凍結・融解の判定が困難なものを示している。なお、緑色は電気抵抗値が 1.0×10^2 オーダーであるが、温度が0°C以上の条件であり、凍結ではなく、乾燥の影響により電気抵抗値が上昇したものと考えられることから、凍結判定からは除外した範囲である。

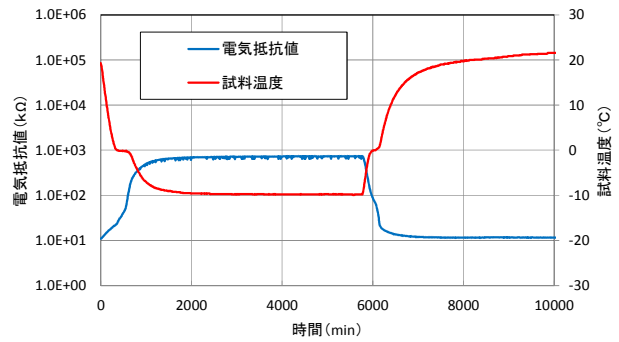


図-4 凍結融解時の電気抵抗値の変化(切込碎石40mm級)

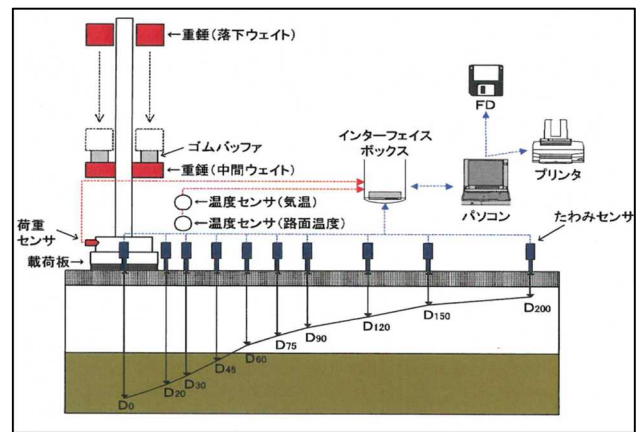


図-5 FWD試験の概要

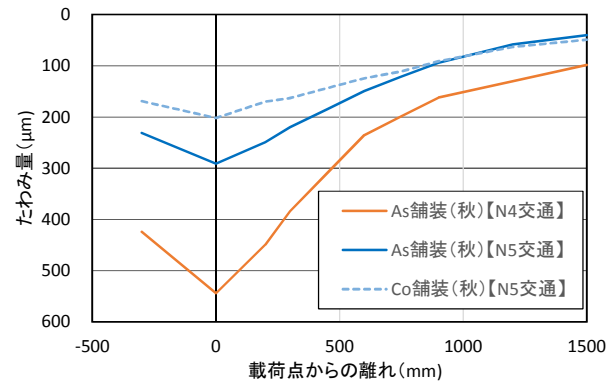


図-6 FWDたわみ量の計測例

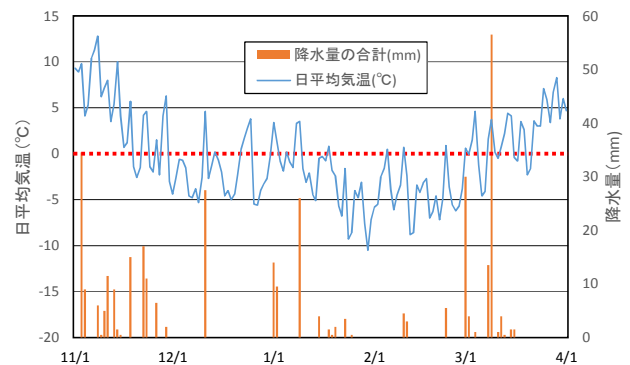


図-7 日平均気温と降水量

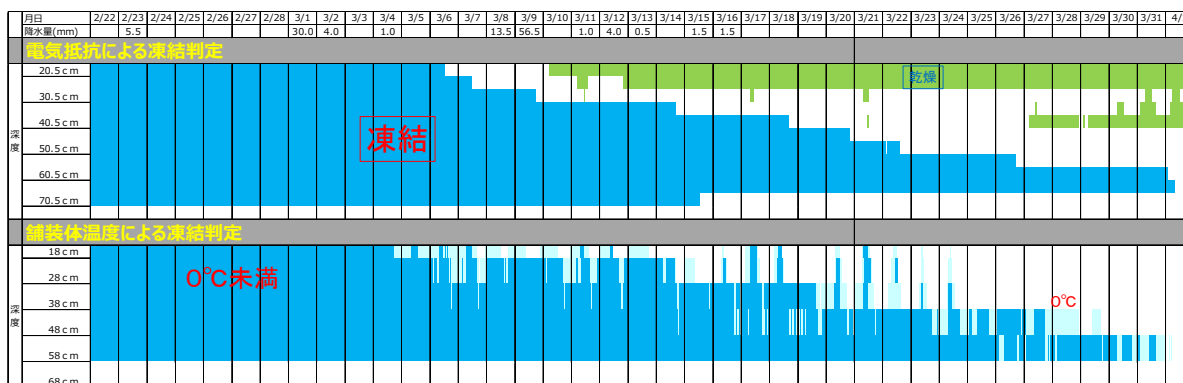


図-8 土槽内の凍結状況

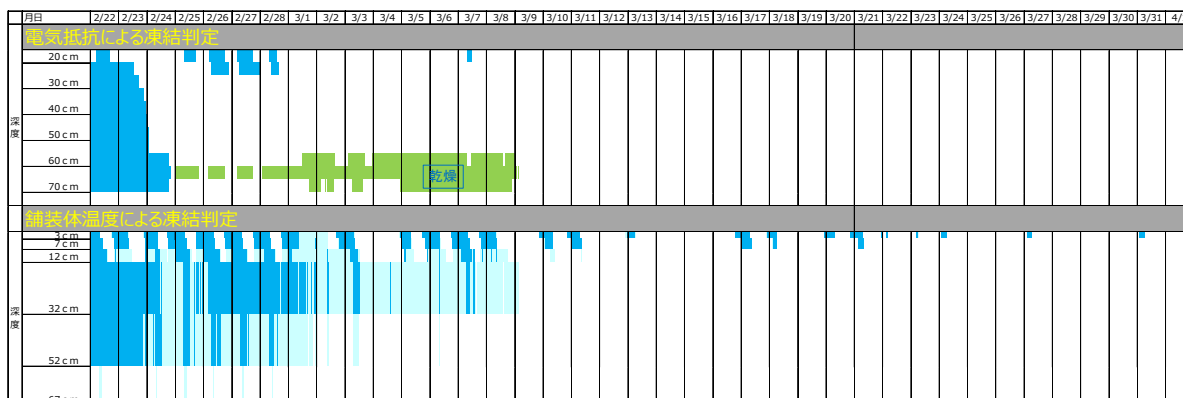


図-9 本線舗装体内部の凍結状況

a) 土槽

図-8より最大で70.5cmの深さまで凍結しており、3月6日以降、地表面、および深部から融解が進んでいく様子が確認された。また、全層が融解したのは4月1日であった。融解が進行する期間内において、3月8～9日にまとまった降雨を確認しているが、融解が急速に進むことはなかった。土槽においては、表層にアスファルト混合物層がないために水の供給を受ける環境のため、路盤・路床中の水分の量が舗装が施されている場合よりも多く、凍結した水分が融解に要するための熱量を多く必要とすることから、緩やかに融解が進んだものと推測される。

連続雨量70mmが観測された後の3月9日午前土槽を確認したところ、写真-5に示すように地表面に滞水が確認された。このとき、土槽内と水位が等しくなるはずのマンホール内における地下水位は地盤面から86cm下であった。これは、凍結した路床および路盤が不透水層を形成し、雨水の浸透を阻害したため、土槽とマンホール内の水位差が生じたと考えられる。また、不透水層より浅い位置の20.5cm以浅の路盤は水浸状態であったと推察される。

このような現象は、ひび割れが発生した舗装においても生じると考えられ、路盤・路床が完全に融解する前に、大量の雨水や融雪水が舗装のひび割れ部から流入した場合、凍結層からアスファルト混合物層までが水浸した状態となり、舗装体の支持力が大きく低下し、ポットホール等の舗装損傷が増加する可能性が考えられる。



写真-5 土槽の滞水の状況 (3月9日午前)

b) 本線

苫小牧寒地試験道路本線においては、最大で70mの深さまでの凍結が確認され、2月22～24日にかけての短い期間に、地表面から融解が進んでいく様子が確認された。

本線においては、表層にアスファルト混合物層があり、写真-4に示したようにひび割れがないため水の供給を受けづらい環境であることから、凍結した水分が融解に要するための熱量を土槽のように多く必要とせず、融解が短期間で進んだものと推測される。

また、図-9の深度3～12cmのアスコン層の温度に着目すると、白色と青色の表示が交互に出現しており、凍結融解が繰り返していることが確認された。

(3) FWD試験による支持力確認結果

FWD試験より得られた本線におけるたわみ量を計測日別に図-10に示す。

舗装体に凍結が入る前の11月17日における荷重点位置のたわみ量（以下、 D_0 たわみ量）は $550\mu\text{m}$ 程度であったが、舗装体に凍結が入るにつれ、12月11日、1月12日、2月20日とたわみ量は小さくなり、たわみの形状は図-6に示したCo舗装のようなたわみ形状に近づいて行く様子が確認された。これは、温度が低下することによりアスファルト混合物層の弾性係数が増加したことと、下層路盤および凍上抑制層が凍結したことにより弾性係数が増加した影響と考えられる¹⁰。

一方、舗装体温度および電気抵抗値による凍結状況の確認で、融解が始まったとされる2月22日以降の計測データである2月23日では、たわみ量が増加に転じている。これは温度が上昇したことによるアスファルト混合物層の弾性係数の低下と、下層路盤にて融解が進んだことによる支持力の低下の影響と考えられる。

さらに3月9日は2月23日よりもたわみ量が大きくなり、舗装体に凍結が入る前の11月17日ほぼ同じたわみ形状となった。ただし、3月9日の方が11月17日と比較して D_0 たわみ量が大きく、荷重点から離れた位置のたわみ量が小さいことから、荷重の分散効果が低下しアスファルト混合物層へのダメージが増加していると推察される。

なお、2月23日には 5.5mm の降雨が、3月8～9日には 70mm のまとまった降雨が確認されたが、ひび割れの生じていない本線舗装においては、11月17日と比較して極端な支持力の低下は確認されなかった。

4. まとめ

アスファルト混合物層にひび割れのない舗装体では、融解期にまとまった降雨があっても、舗装体内部に滞水することはないため、下層路盤以下の大きな支持力低下は確認されなかった。一方、表面に舗装が施されていない土槽においては、融解期に路床・路盤内に一ヵ月程度凍結層が存在し続け、この層が不透水層となり、降雨等があった場合に、下に雨水等が浸透することを妨げる状況が確認された。このため、凍結層が浅い路盤が水浸状態となる様子が観察された。

今回検討は行っていないが、ひび割れが多く発生した舗装においては、融解期にまとまった降雨や、融雪水が路肩の堆雪により適切に排水されず路面の滞水状態が長く続くような状況になると、今回の土槽のような状態となり得る可能性が高いと考える。路床・路盤が水浸状態となり、支持力が低下した条件において、走行荷重が繰り返し作用した場合、ひび割れの急速な進展や、ポットホールが多発を招く可能性が高くなると考えられる。

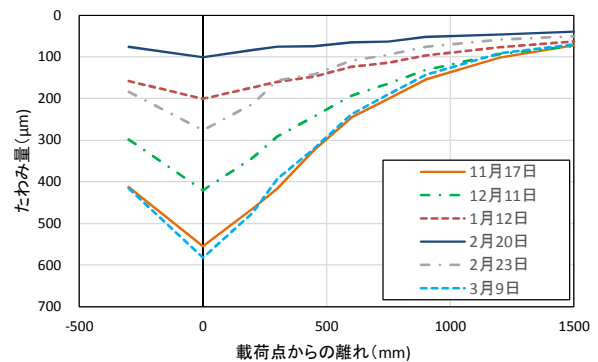


図-10 冬期および融解期のたわみ量

今後は、ひび割れの発生している舗装に対し同様の調査を行い、ポットホールが発生するメカニズムの解明と、ポットホールが多発するときの気象条件等の把握を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 石川達也, 川端伸一郎, 亀山 修一, 安倍隆二, 小野 丘: 舗装構造の疲労寿命に及ぼす粒状路盤の凍結融解の影響とその評価, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.67, No.3, pp.109-116, 2011.
- 2) 安倍隆二, 田高淳, 久保裕一: 積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の厳冬期および融解期のひずみ特性, 土木学会舗装工学論文集, 第14巻, pp.147-154, 2009.
- 3) 融解期に発生する舗装のポットホールの実態と発生メカニズムの検討, 寒地土木研究所月報 No.730, p.10, 2014.
- 4) 公益社団法人 土木学会: 舗装工学ライブラリー15 「積雪寒冷地の舗装に関する諸問題と対策」, pp.32-33, 2016.
- 5) 地盤工学会北海道支部地盤の凍上対策に関する研究委員会: 寒冷地地盤工学, pp.21-28, 32-52, 2009.
- 6) FHWA: LTPP Seasonal Monitoring Program: Instrumentation Installation and Data Collection Guidelines, FHWA-RD-94-110, pp.II-6-12, 1994.
- 7) S. Thordarson, N. Jonasson, E. Sveinbjornsson, A. H. Thorolfsson, G. O. Bjornsson: Real-time frost depth model for thaw-induced axle load limitation management, PIARC International Winter Congress Proceedings, p2, 2010.
- 8) 原田鉦一郎, 福田正己, 石崎武志: 北海道大学低温科学研究所業績第3512号, 凍土の電気比抵抗値の測定, pp.57-67, 1992.
- 9) 上野千草, 丸山記美雄: 電気抵抗による舗装体の凍結融解評価に関する一検討, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.74, No.3, pp. I_1-19, 2018. 【舗装工学】
- 10) 安倍隆二, 上野千草, 木村孝司: 動的荷重によるアスファルト舗装の挙動に関する一考察, 第61回北海道開発技術研究発表会, pp.推3 (道), 2018.