

歩道部の凍上影響調査について

— 一般国道241号音更町歩道での凍上影響調査報告 —

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所寒地道路保全チーム ○遠藤 康男
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所寒地道路保全チーム 丸山 記美雄

一般国道241号音更町において歩道の凍上影響軽減等を目的とした舗装構成の検討のため、凍上抑制層の増厚、断熱材設置、混合物層の2層構造等の構成を施した試験施工(施工時期2002年)を行った。供用後のひび割れ発生や凍上影響等を検証し、今後の歩道等の舗装構成検討資料とするため追跡調査を行った。追跡調査の結果、混合物層の2層構造が最も凍上や低温に伴う損傷を受けにくいことが確認された。

キーワード：舗装構成、凍上抑制

1. はじめに

歩道の凍上被害軽減等を目的とした舗装構成検討のため、図-1に示す一般国道241号音更町の歩道において、試験施工(施工時期2002年)を行っている。施工後数年間は追跡調査および分析が行われ、研究発表会¹⁾や寒地土木研究所月報²⁾及びシンポジウム³⁾で発表している。本発表では供用後20年以上が経過し、長期的な供用性の評価を再検証することにより、今後の歩道や自転車道の舗装構成検討の基礎資料として活用するため、令和3年度に追跡調査を行った結果を報告する。



図-1 一般国道241号音更町歩道試験施工箇所図

2. 凍上調査断面(試験施工断面)について

凍上被害軽減等の検討を目的として表-1に示す舗装構成タイプI~Vの試験施工と標準断面を一般国道241号音更町の歩道に2002年に施工した。なお、当該地域の車道に必要な置換厚は110cmである。表-1及び図-2~7の赤色部分が試験施工を施した部分である。各タイ

プが隣接しているため、正確な凍上影響を把握することを目的として、各タイプの施工箇所の起終点側それぞれ5m程度を除いた区間について調査を行った。次に各々の試験施工タイプについて、標準断面の舗装構成との相違点を以下に述べる。タイプI及びタイプIIについては歩道部路床の凍上抑制として、路盤材(切込砂利40mm)の下に凍上抑制層(切込砂利80mm)を30cm増厚又は、平均35cmのすりつけ増厚を施した。タイプIIIについては路盤の下に断熱材を施して路床の凍結抑制を図った。タイプIV及びタイプVについては、アスファルト混合物基層を1層3cm増設し、混合物層のひび割れ抵抗性を向上させた。その際、混合物層と路盤層を合わせた総厚は標準断面と同じとした。タイプVはアスファルト混合物表層と基層間にひび割れ抑制シートも敷設した。路床土上面より上側の新設に要するタイプ別の工事費の概算を示すと、タイプI~IIIは標準に比べて7割程度の割増し、タイプIVは3割程度の割増し、タイプVは8割程度の割増しとなる。

表-1 試験施工一覧

工区名	舗装構成	工区延長(m)	内、調査延長(m)
標準	表層(3cm)+プライムコート+路盤材(27cm)	47.00	37.00
タイプI	表層(3cm)+プライムコート+路盤材(27cm) +凍上抑制層(30cm)	50.00	39.50
タイプII	表層(3cm)+プライムコート+路盤材(27cm) +凍上抑制層(平均35cm)	50.00	39.50
タイプIII	表層(3cm)+プライムコート+路盤材(27cm) +断熱材(5cm)	47.00	37.00
タイプIV	表層(3cm)+基層(3cm)+路盤材(24cm)	50.00	39.50
タイプV	表層(3cm)+ひび割れ抑制シート+基層(3cm) +路盤材(24cm)	55.00	44.50

※赤字箇所が試験施工部分。

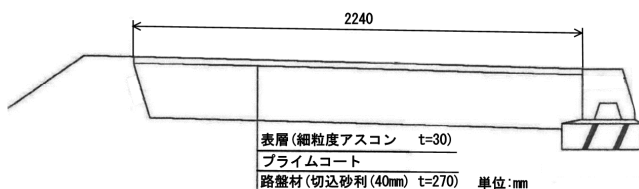


図-2 標準断面

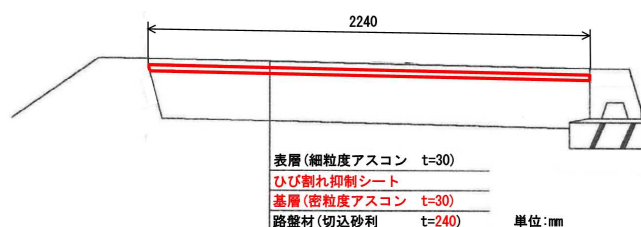


図-7 タイプV断面(混合物層・基層+シート)

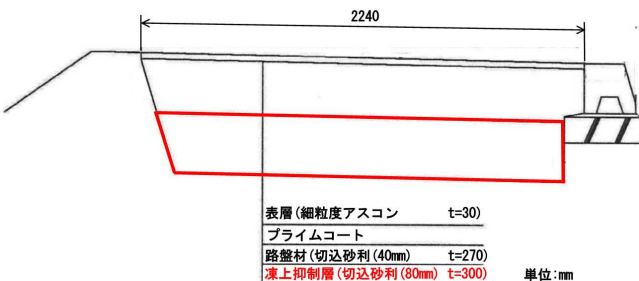


図-3 タイプI断面(凍上抑制層増厚)

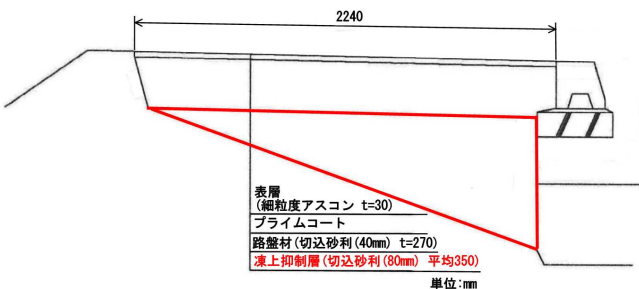


図-4 タイプII断面(凍上抑制層すりつけ増厚)

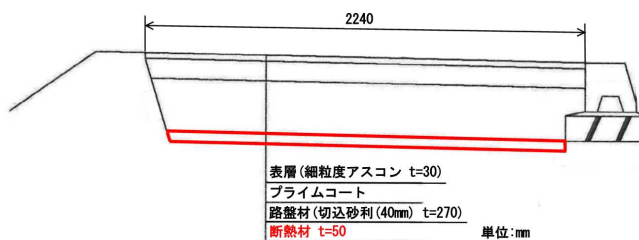


図-5 タイプIII断面(断熱材)

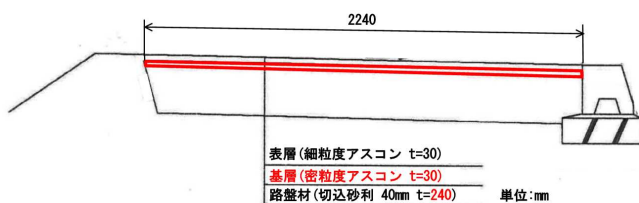


図-6 タイプIV断面(混合物層・基層)

3. 舗装損傷状況調査について

舗装損傷状況については、ひび割れ損傷状況を写真撮影し損傷図を作成する調査を実施(実施日:令和3年11月11日)した。その上で凍上に伴う縦断方向のひび割れと、低温収縮に伴う横断方向のひび割れに着目して、ひび割れ率やひび割れ本数について整理した。各々のひび割れは以下の内容でとりまとめを行った。

縦断ひび割れ: 歩道区間を縁石側(縁石から0~80cm)、中央部(縁石から80~160cm)、法面側(縁石から160~200cm)に分割し、それぞれの区間で縦断ひび割れ延長を調査延長で除してひび割れ率を算出した。

横断ひび割れ: 試験施工タイプ毎の横断ひび割れの本数と、そのうち調査歩道幅(2m)の50%以上を占めるひび割れ本数を調査した。

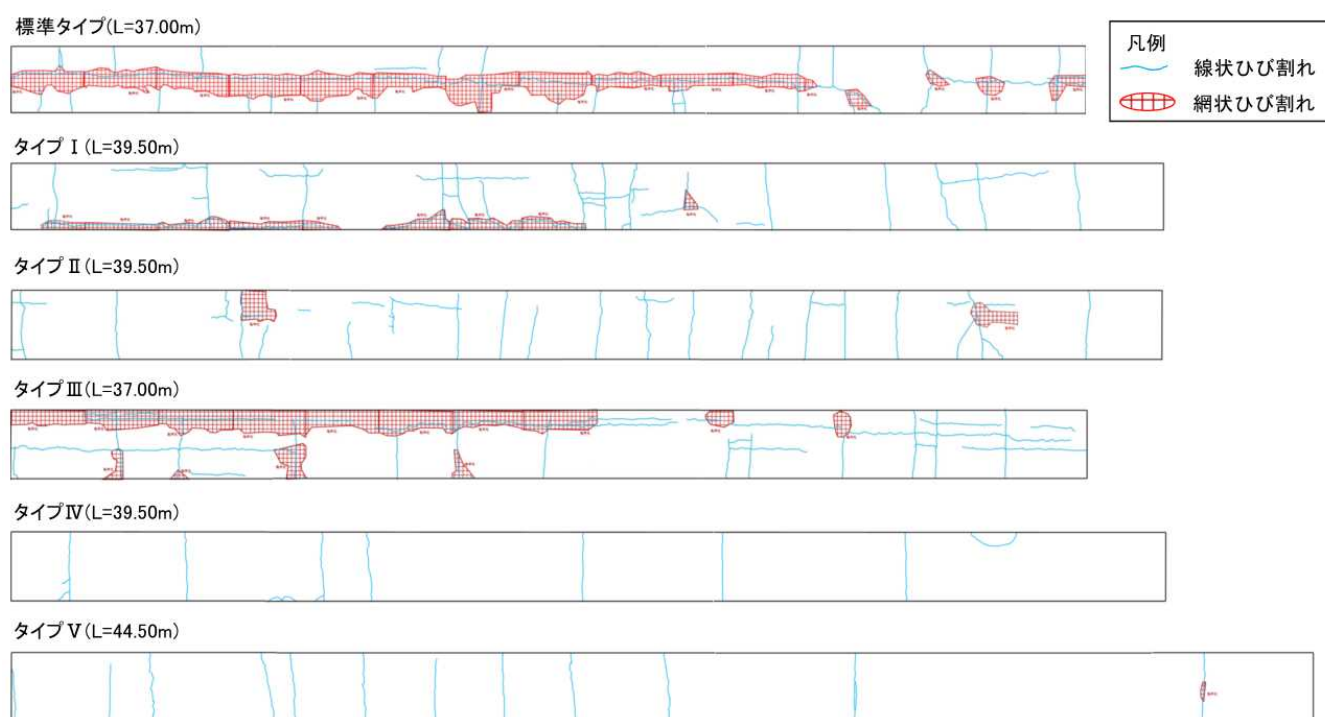
3. 1 舗装損傷状況調査結果(ひび割れ)

標準タイプ及び試験施工タイプI~Vの縦断ひび割れと横断ひび割れ状況を図示したひび割れ損傷図を図-8に示す。標準タイプでは横断ひび割れが多数存在するほか凍上による損傷が大きく、特に歩道中央部に網状のひび割れが施工区間の大半で発生しているのがわかる。タイプIは歩道縁石側に網状のひび割れが発生しているが、標準タイプに比べると損傷が少ない。タイプIIは網状のひび割れが2箇所点在しているが、標準タイプに比べると凍上に伴う損傷は明らかに少ない。タイプIIIは歩道法面側に網状のひび割れや延長の長い縦断ひび割れが多く発生している。タイプIVは縦横断ひび割れの発生が少なく、網状のひび割れは存在しない。タイプVは横断ひび割れが存在するが、網状のひび割れは1カ所のみとなっており、タイプIVとVの損傷の少なさは特筆される。図-9は縦断ひび割れをタイプ別に横断的に区別(法面側・中央部・縁石側)して調査延長に対するひび割れ率について示した図である。標準タイプでは調査延長に対してほぼ縦断ひび割れが発生(中央部)している。タイプIIIは標準タイプと縦断ひび割れ率が同程度である。タイプI, II, IV, Vの試験施工箇所は標準タイプよりも縦断ひび割れ率が小さい結果となった。その中で最も良い結果を示したのがタイプVで縦断ひび割れは発生しておらず、次いでタイプIVが良い結果となった。この2タイプは標準タイプ以外の試験施工タイプと比較しても縦断ひび割れ率は格段に小さい結果となった。図-10は横断ひび割れ本数についてタイプ別に示した図である。標準タイ

ブと比較するとすべての試験施工タイプで横断ひび割れ本数が少ない結果となった。その中で最も横断ひび割れ本数が少ないのはタイプIVであり、次にタイプV、タイプIIIという結果となった。なお、タイプVはひび割れ本数（総数）で同程度のタイプIIIと比較して、網状ひび割れが1箇所と少なく、タイプIIIよりひび割れ抑制の効果は高いと言える。今回の調査でタイプIV、タイプVが良い結果となったが、この2つの共通点は他の構成と違い、アスファルト混合物層を2層（表層+基層）施工している事である。試験施工箇所は音更町であり、北海道の厳冬期（1～2月）でも積雪が少ない地域（舗装が冬期でも露出している状態）である為、凍上や低温の影響が大きい地域であるが、アスファルト混合物層を2層（表層+基層）施工した断面構成が、他の断面よりも凍上ひび割れおよび低温収縮ひび割れ抑制に効果があると言える。

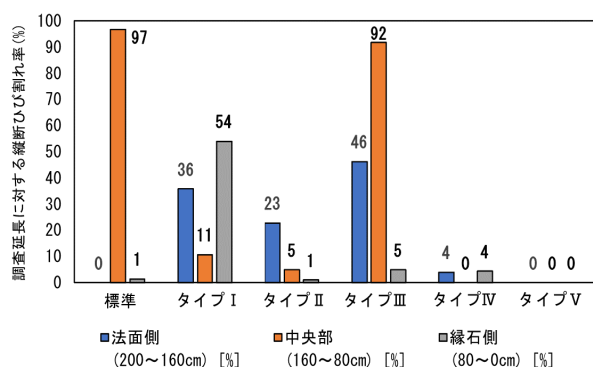
4. 凍上量調査について

試験施工タイプI～Vについて標準タイプと比較して、凍上期の凍上がどの程度抑制されるのか比較するため水準測量を測定した。凍上量についての調査の実施時期は、非凍上期（令和3年11月11日）と凍上期（令和4年2月21日）の2回とし、現地の歩道路面高さは縁石端部から20cm離れた位置からそれぞれ70cm、120cm、170cm、220cmの位置で測定した。その測定結果より、凍上期と非凍上期の歩道路面の横断形状の比較と、それぞれの計測地点での凍上量（凍上期と非凍上期の歩道路面高さの差）の比較をすることとした。

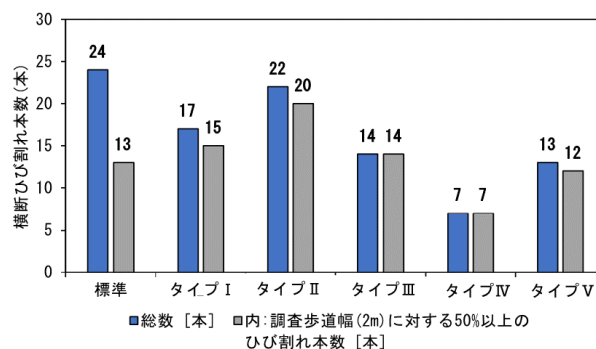


※上記ひび割れ損傷図は、上辺が法面側、下辺が縁石側となっている。

図ー8 ひび割れ損傷図



図ー9 調査延長に対する縦断ひび割れ率



図ー10 横断ひび割れ本数

4. 1. 歩道路面高さ結果(凍上期・非凍上期)

非凍上期(令和3年11月11日)と凍上期(令和4年2月21日)の歩道路面の横断形状についてタイプ別に表した図を図-11~16に示す。標準タイプと試験施工タイプI~Vを比較すると、標準タイプは図-11の横断形状図でもわかる通り、縁石からの離れ20cm~70cmのあたりまで急激に上昇し、そこから歩道端部の220cmまでなだらかな勾配となっている。これは、縁石からの離れ20cm~70cmのあたりで歩道路面が不均一に凍上し不陸を生じている事を意味する。タイプIIIも標準タイプと同様に縁石からの離れ20cm~70cmまで急激に上昇し、120cm~170cmあたりで勾配が若干下降し、170cm付近から歩道端部(220cm付近)に向かって上昇している。これは、標準タイプと同様に歩道路面が不均一に凍上し不陸を生じていることを示している。その他の試験施工タイプI, II, IV, Vの横断形状はほぼなだらかに勾配が上昇しているため、不均一な凍上に伴う不陸は生じてないことを示している。しかし、タイプVはタイプI, II, IVと比べるとやや凍上量が大きい結果となった。この結果を踏まえると、タイプI及びIIは標準タイプと比較して凍上に伴う不陸の発生を抑制する効果が一定程度出ていることが分かった。また、タイプIV及びVについても同様に、不均一な凍上に伴う不陸を生じづらい形状となっており、この測定結果からひび割れ抑制に効果がある事が分かった。

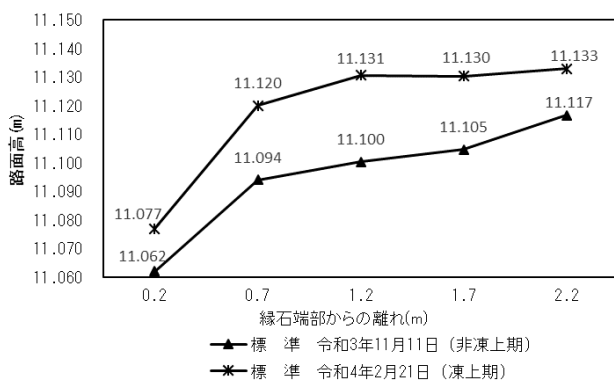


図-11 標準タイプ横断形状図(非凍上期及び凍上期)

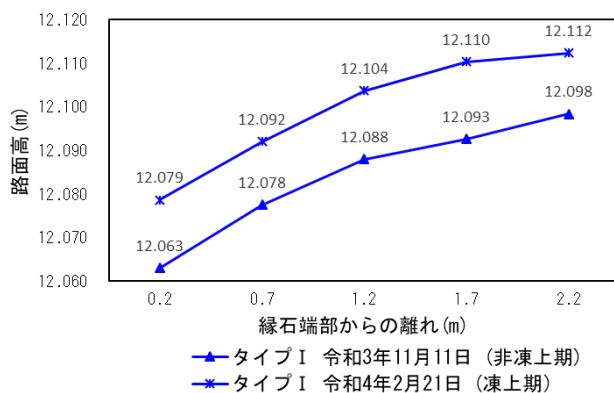


図-12 タイプ I 横断形状図(非凍上期及び凍上期)

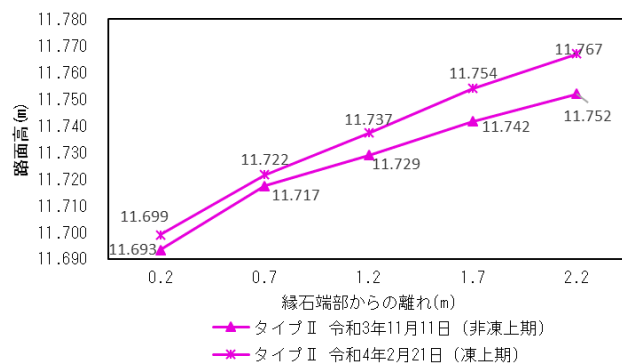


図-13 タイプ II 横断形状図(非凍上期及び凍上期)

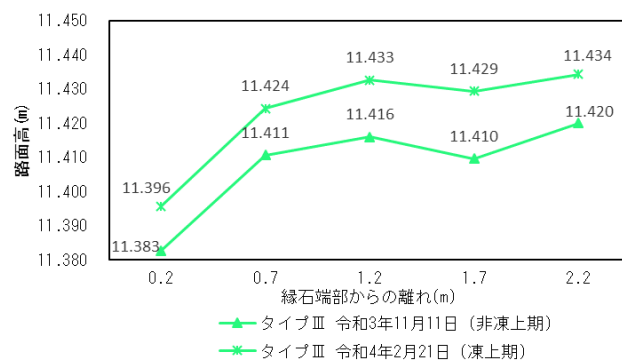


図-14 タイプ III 横断形状図(非凍上期及び凍上期)

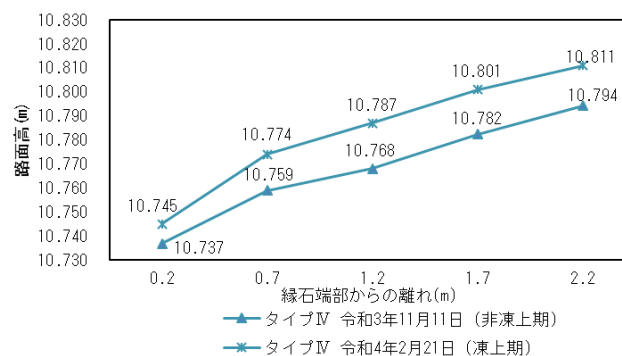


図-15 タイプ IV 横断形状図(非凍上期及び凍上期)

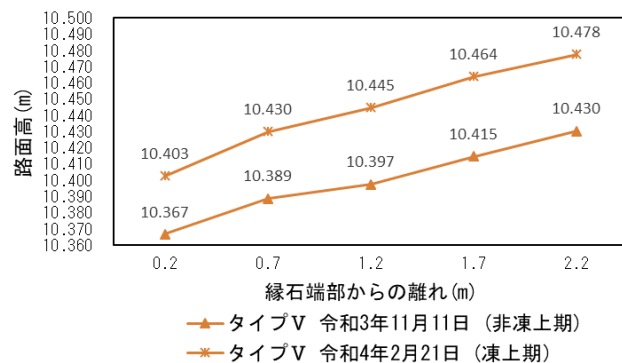


図-16 タイプ V 横断形状図(非凍上期及び凍上期)

4. 2 凍上量結果(凍上期・非凍上期)

歩道路面の凍上量について凍上期(令和 4 年 2 月 21 日) から非凍上期(令和 3 年 11 月 11 日)の高さを差し引いて算出した結果を図-17 に示す。標準タイプでは最大で 3cm 程度凍上しており、上に凸の形状となっている。それに比べてタイプI及びIIについては、凍上量が小さく、凍上抑制層を増厚している効果が出ている。タイプIIIは断熱材を施工しているため標準タイプよりも凍上量は抑えられているが、下に凸の形状となっており不陸を生じている横断形状となっている。断熱材が配されていない縁石側や法面側からの寒気によって局部的な凍上を起こす可能性があることが分かった。タイプIVについては、最大で 2cm 程度の凍上で緩やかな上に凸の形状となっていることから標準タイプよりも凍上の悪影響が抑えられている結果と言える。タイプVについては最大で凍上量 5cm 程度と標準より大きい結果となったが、緩やかな上に凸の形状となっており、凍上の悪影響が抑えられている結果と言える。

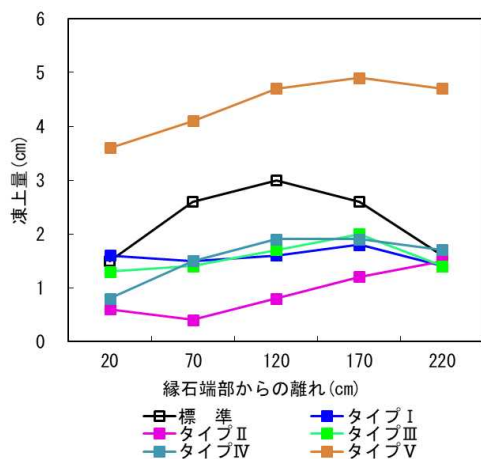


図-17 タイプ別凍上量結果

5. 横断プロフィール計測(MRP)について

歩道部のタイプ別横断形状について、横断計測間隔を cm 単位で計測して歩道勾配を詳細に確認するため、横断プロフィール(MRP)を現地で実施(実施日:令和 3 年 5 月 17 日)した。試験施工タイプI~Vと標準タイプの横断形状計測結果を図-18 に示す。図中には標準勾配(2%)ライン(赤点線)も比較として入れた。横軸は縁石端部(歩道舗装と縁石の境界)を 0 として横断方向の離れを表し、縦軸についてはそれぞれの測点での縁石端部との高さの差分を表している。標準タイプでは縁石端部から横断方向 1.0m 地点位にかけて急激に盛り上がり、そこから 1.4m 付近で若干逆勾配となり、また歩道端部にかけて緩やかに右肩上がりで上昇しており、他の試験施工タイプよりも凍上に伴う不陸が著しいことが分かる。つまり横断方向 1.0m 付近で縦断ひび割れが発生しやすいと言える。タイプI, II, IV, Vについては、若干の凹凸は見受けられるが、横断形状が標準タイプよりも緩やかに上昇する形状となっており、凍上ひび割れが標準タイプよりも起こりづらい結果を示した。タイプIIIについては、

4.1 で横断勾配が不均一で不陸を生じている結果を示したが、本項での MRP 計測でも同様な結果を示した。

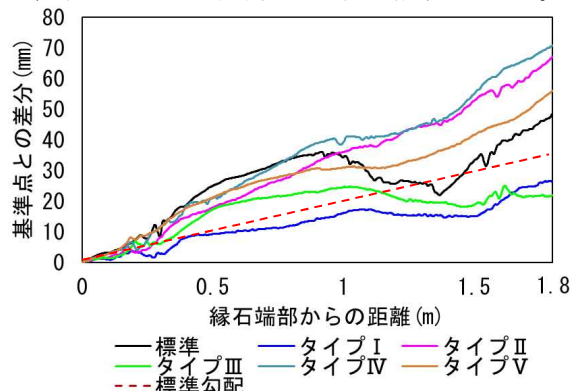


図-18 横断プロフィール(MRP)測定結果

6. 路面の平坦性について

舗装路面の平坦性(舗装縦断方向)について、試験施工タイプ(I~V及び標準タイプ)別に図-19 に示す。標準タイプは試験施工タイプI~Vと比べて舗装路面の平坦性 σ 値が最も悪い結果を示し、最も良い結果を示したのはタイプII、2 番目に良い結果を示したのはタイプIという結果となった。タイプI, IIIは凍上抑制層を増厚したタイプで平坦性向上に効果が出る結果となった。

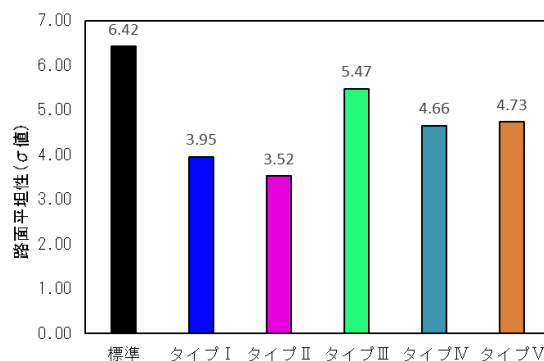


図-19 路面平坦性(標準、タイプ I ~ V)

7. 小型 FWD 測定について

試験施工タイプI~Vと標準タイプの支持力特性を確認するため、舗装表面で小型 FWD 試験を実施(実施日:令和 3 年 5 月 17 日)した。図-20 にその試験測定結果を示す。重錘落下高さは 10cm として試験を行った。また、重錘落下点からの水平距離 15cm、30cm、60cm、100cm の位置でもたわみ量測定を行った。タイプI~Vと標準タイプの支持力で良い数値を示したのが、タイプIVとVという結果となった。小型 FWD 試験は舗装表面に重錘を落下させてたわみ量を測定するが、アスファルト混合物層が 2 層施工されているタイプIVとVでは、その他のタイプより混合物層厚が厚く、荷重が分散されやすいため

測定たわみ量が小さくなったと思われる。

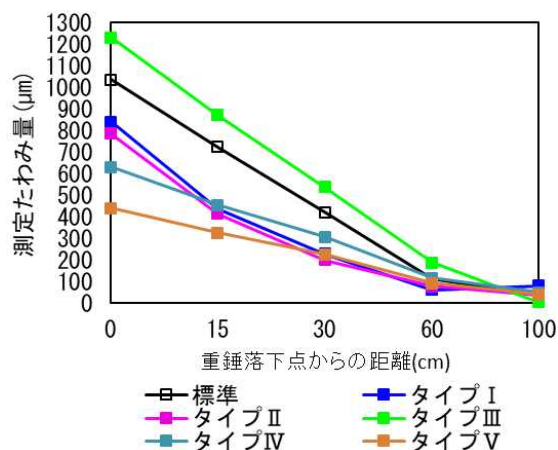


図-20 小型 FWD 測定結果

8. まとめ

歩道の凍上影響調査について、以下に調査結果をまとめる。

- 1) 舗装損傷状況調査について、標準タイプでは横断ひび割れが多数存在するほか凍上による損傷が大きく、特に歩道中央部に網状のひび割れが施工区間の大半で発生していることが分かった。音更町のように寒さが厳しく積雪が少ない地域では、標準タイプでは長期間の供用の間に損傷が大きくなる可能性が指摘される。標準タイプに比べるとタイプI～Vではひび割れ損傷が少ない傾向となっており、特にタイプIVとタイプVのひび割れ損傷の少なさは特筆される。縦断ひび割れに着目すると、タイプI, II, IV, Vでは標準タイプよりも縦断ひび割れ率が小さく、特にタイプIV及びVでは格段に小さい結果となった。横断ひび割れ本数に着目すると、標準タイプと比較してすべての試験施工タイプで小さい結果となり、最も横断ひび割れ本数が少ないのはタイプIVであった。
- 2) 歩道路面の高さ結果について、タイプI及びIIでは標準タイプと比較して凍上に伴う不陸の発生を抑制する効果が一定程度出ていることが分かった。また、タイプIV及びVについても同様に、不均一な凍上に伴う不陸を生じづらい形状となっており、ひび割れ抑制に効果がある事が分かった。
- 3) 歩道路面の凍上量について、標準タイプでは最大で3cm程度凍上している結果となった。タイプI及びIIについては、凍上量が標準タイプより小さくなり、凍上抑制層の増厚効果が出る結果となった。タイプIIIでは断熱材を施工しているため標準タイプよりも凍上量は抑制されたが、断熱材が施されていない縁石側や法面側からの寒気によって局所的な凍上を起こす可能性があることが分かった。タイプIVについては、最大で

2cm程度の凍上で標準タイプよりも凍上の悪影響が抑えられている結果となった。タイプVについては凍上量5cm程度と標準タイプよりも大きい結果となったが、緩やかな勾配でひび割れも少なく、凍上の悪影響が抑えられている結果となった。

- 4) 横断プロファイル(MRP)について、標準タイプでは縁石端部から横断方向1.0m地点位にかけて急激に凍上し、1.0m地点から1.4m付近で若干の逆勾配となり歩道端部に向けて緩やかに右肩上がりですり上がりしており、凍上に伴う不陸が1番著しい結果となった。タイプI, II, IV, Vについては、若干の凹凸は見受けられるが横断形状が標準タイプよりも緩やかな形状であった。タイプIIIは横断勾配が不均一で不陸を生じている結果となった。
- 5) 舗装路面の平坦性(舗装縦断方向)について、標準タイプは試験施工タイプI～Vと比べて舗装路面の平坦性 σ 値が最も悪く、最も良い結果を示したのはタイプII、2番目に良い結果を示したのはタイプIであった。
- 6) 小型 FWD 試験による支持力特性について、アスファルト混合物層2層施工しているタイプIVとVがその他の試験施工タイプと比較して良い値を示した。

9. おわりに

本発表は供用後20年以上を経過した歩道部での試験施工箇所を再検証した結果を報告したものである。得られたデータは、20年以上の長期間における低温や凍上の影響を受けた後の舗装状態を示すものであり、短期的な計測のみでは得られない貴重なデータであると考えられる。今回得られたこのデータを基に歩道や自転車道の舗装構成の検討を進める考えである。

参考文献

- 1) 安倍隆二、久保裕一、布施浩司、岳本秀人：歩道の凍上対策に関する検討、第16回雪と道路の研究発表会、2003。
- 2) 久保裕一、岳本秀人、安倍隆二：積雪寒冷地における歩道部の凍結対策、寒地土木研究所月報、No.624、pp.21-30、2005。
- 3) 安倍隆二、田高淳、千葉学：積雪寒冷地における歩道凍上対策の検討について、寒地技術論文・報告集、Vol.22、pp.405-410、2006。