

茂辺地木古内道路 山の神大橋の橋面舗装
におけるブリスタリング対応について
—発生事例および電気抵抗を用いた水分検知技術の試行—

函館開発建設部 函館道路事務所 第3工務課

○小笠原 魁

下村 光輝

道路工業株式会社

吉田 竜也

函館江差自動車道 茂辺地木古内道路に建設された山の神大橋(L=241m, 6 径間連続 PC コンポ桁橋)の橋面舗装において、基層に多数のブリスタリングの発生が確認された。本報ではブリスタリング発生箇所の調査および除去方法について報告するとともに、舗装劣化要因となる舗装層間の水分侵入を把握するため、電気抵抗値を用いた水分検知技術も試行したため併せて報告する。

キーワード：舗装、ブリスタリング、電気抵抗

1. まえがき

函館江差自動車道 茂辺地木古内道路は、高速ネットワークの拡充による近隣都市間の連絡機能の強化を図り、地域間の交流の活性化及び重要港湾函館港、拠点空港函館空港等への物流効率化等の支援を目的とした延長 16km の事業である。現場位置図を図-1 に示す。

函館江差自動車道 茂辺地木古内道路に建設された山の神大橋(L=241m, 6 径間連続 PC コンポ桁橋)は、平成 28 年に橋梁の上部・床版が完成し、平成 30 年に橋面防水(塗膜系防水、アスファルト加熱型)および基層(細密粒度ギャップアスコン 13F55、4cm)を施工し、表層は不施工であった。その後、令和 3 年 5 月に基層面に直径 15cm~20cm 程度のプリスタリングが 100 箇所以上確認された(写真-1)。

ブリストリングとは床版とアスファルト混合物、もしくはアスファルト混合物層の層間に水分が閉じ込められた状態で、気温の上昇によって水蒸気圧が

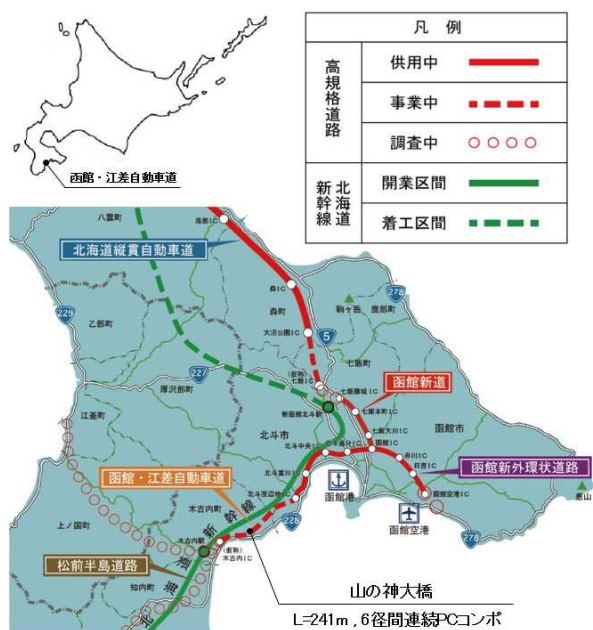


図-1 現場位置図



写真-1 ブリスタリング発生状況

発生し、舗装表面が円形に膨れ上がる現象である。空港舗装のブリスタリングに関する既往の報告^{1),2)}では、アスファルト混合物が輪荷重によって締め固められ、空隙率が低下することがブリスタリングの発生要因の一つとなっている。

橋面舗装でも、鋼床版に用いられる水密性の高いゲースアスファルト混合物の施工時には、ブリスタリングの発生がよく観察されることから、透水性および透気性の低いアスファルト混合物によって舗装下の水分が気中に放出されず、舗装体の温度上昇に伴い水蒸気圧が上昇してブリスタリングが発生する。

ブリスタリングによって舗装面に生じたクラックを放置すると、クラックから床版コンクリートに水分が供給され、コンクリートの砂利化や凍害が発生する恐れがある。RC床版の疲労損傷に関する既往の研究³⁾では、湿潤状態の床版は、乾燥状態に比べて50～300倍の速さで破壊に至ったことが報告されている。以上のことから、ブリスタリングを除去し、床版への水分の浸入を防止する措置が必要であった。

本報では、橋面舗装のブリスタリングの発生事例や除去方法に関する文献等は少ないことから、今後、同種の現象が発生した際の一助となるよう山の神大橋のブリスタリングの発生要因と有効な除去方法について述べる。加えて、本現場では除去方法の効果の把握および効果の持続性を検証することを目的として、電気抵抗値を用いた水分検知技術を試行したので併せて詳報する。

2. 調査方法

調査方法は、赤外線サーモグラフィー（以下、サーモカメラ）を併用した目視観察とし、ブリスタリングの発生箇所を特定した。

サーモカメラを用いた舗装調査に関する既往の文献⁴⁾では、アスファルト舗装内部に空隙が存在する場合、気温の上昇過程では太陽光による熱伝導により、空隙の直上部分は周囲のアスファルト舗装よりも早く熱せられ、周囲よりも高温となる。この性質を利用し、目視ではブリスタリングの確認が困難な箇所をサーモカメラ画像から特定することで調査の効率化を図った。

同一箇所で撮影したブリスタリングの発生状況を写真-2および写真-3に示す。目視確認（写真-2）ではブリスタリングが確認できない箇所でも、サーモカメラ画像（写真-3）では確認できることが分かる。

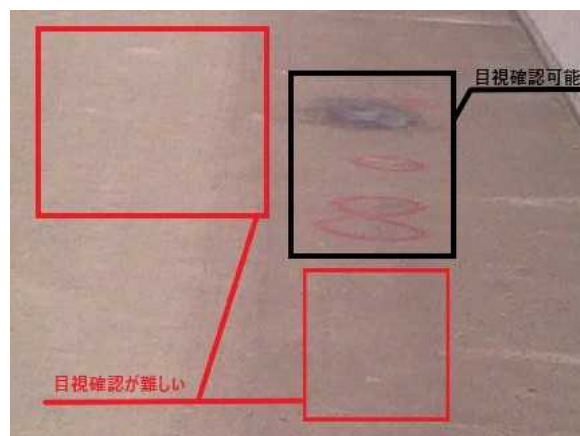


写真-2 ブリスタリング目視調査

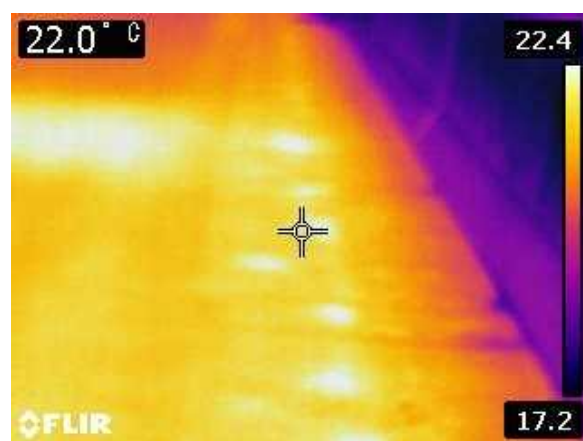


写真-3 サーモカメラによる調査

3. 発生要因

ブリスタリングの発生要因を確認するため、ブリスタリングが発生した箇所の開削調査を実施した。その結果、床版と防水層間の接着不良および防水層と基層間の接着不良の2形態を確認した（写真-4）。

（1）床版と防水層間の接着不良箇所

床版と防水層間の接着不良はコンクリート床板に含まれる水分によるものであると考えられる。コンクリート床板の水分が上昇し、床板と防水層の層間で膨張しブリスタリングが発生したと推察される。この場合、水分は床板と防水層の層間で膨張するため、写真-4（左）に示すとおり、開削すると防水層の浮きが確認できる。コンクリート床板の水分がブリスタリングを引き起こした原因としては塗膜系防

水施工の3日前に48.5mm/日の降雨があったことに加え、施工時期が10月であり昼夜の気温差が大きく、塗膜系防水層に温冷負荷がかかりやすい状態にあったことであると推察される。

(2) 防水層と基層間の接着不良

防水層と基層間の接着不良は(1)の発生要因により、先行して発生したブリスタリングが基層面にひび割れ等を発生させ、そこから水分が侵入する外水によるものであると考えられる。外水はひび割れ箇所より侵入し、水平移動により、防水層と基層の層間の接着不良箇所に滞留しブリスタリングを発生させる⁵⁾。この場合、水分は防水層と基層の層間で水蒸気となって膨張するため、写真-4(右)に示すとおり、健全な防水層が確認できる。しかし、健全な防水層が確認できた箇所は少なく、本事例では(1)の発生要因が大部分を占めると考えられる。



写真-4 ブリスタリング開削状況

4. ブリスタリング除去方法

ブリスタリングの除去方法は、既往の文献²⁾を参考に鉄輪とタイヤ輪の両方を備えたコンバインドローラ(4t)による転圧とし、3ケースの試験施工を実施した。なお、施工時期は路面温度が上昇しアスファルト混合物が軟化する7月中旬以降とした。

(1) 各除去ケースの概要

各除去ケースの概要を以下に示す。

a) ケース1 (図-2)

- ①発生しているブリスタリングの内、転圧進行方向端部の横断方向に発生している各々のブリスタリングの中央部1点をφ6mmのドリルで削孔。
- ②削孔したブリスタリングに向かって縦断方向にコンバインドローラで空気を押出すように転圧。
- ③削孔した穴に塗膜系防水材料を注入し止水する。

b) ケース2 (図-3)

- ①全てのブリスタリングの転圧方向の先端部1点を

φ6mmのドリルで削孔。

- ②コンバインドローラで転圧しブリスタリング内の空気を押出す。

- ③削孔した穴に塗膜系防水材料を注入し止水する。

c) ケース3 (図-4)

- ①全てのブリスタリングの中央部1点をφ6mmのドリルで削孔。
- ②コンバインドローラで転圧しブリスタリング内の空気を押出す。
- ③削孔した穴に塗膜系防水材料を注入し止水する。

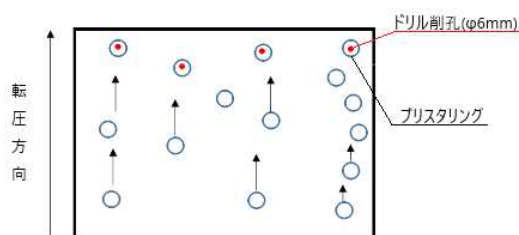


図-2 (ケース1)

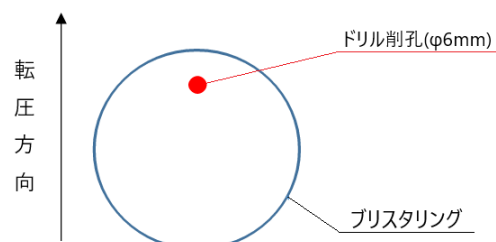


図-3 (ケース2)

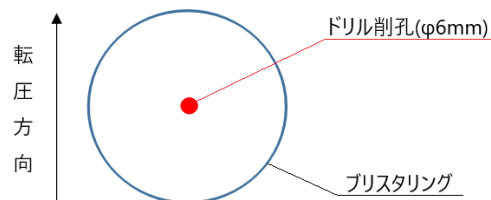


図-4 (ケース3)

(2) 試験施工

ブリスタリングが多発している箇所において、前述(1)の3ケースについて試験施工を実施し、適切な除去方法を検討した。試験施工日は令和3年7月19日午後、現地の条件は気温30度、路面温度は50度前後であった。各ケースの試験施工結果を以下に示す。

a) ケース1

転圧後のサーモカメラ画像を写真-5に示す。写真-5

の黒点は転圧前にブリスタリングの中央に印をつけたものである。転圧後にサーモグラフィの写真を撮影したところ、ブリスタリングの中央部が転圧前の中央部から移動していることを確認したことから、削孔箇所(転圧進行方向端部)では空気が抜けるが、削孔箇所以外で滞留していた空気が移動し、新たに基層が隆起してしまうことを確認した。



写真-5 転圧によりブリスタリングが移動

b) ケース 2

ケース 2 でもケース 1 と同様に滞留していた空気が移動し、新たに基層が隆起した箇所を確認した。

c) ケース 3

試験施工前の 6 月 17 日に撮影したサーモカメラ画像(写真-6(左))と 7 月 19 日の試験施工後に撮影した画像(写真-6(右))を比較すると、施工後の画像では高温部が減少しており、ブリスタリングが解消していることが分かる。また、試験施工から 17 日経過後に現地を目視確認した結果、ブリスタリングの再発は確認されなかった。

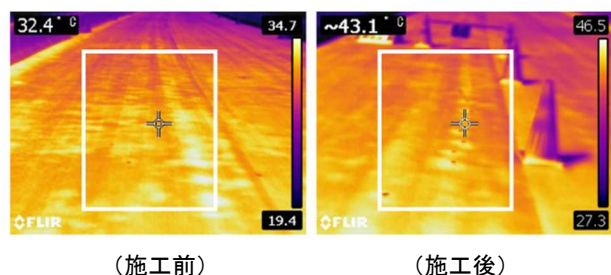


写真-6 転圧によりブリスタリングが解消

(3) 本施工

前述の試験施工の結果から、ブリスタリングが良好に解消されたケース 3 の除去方法により本施工を

実施した(写真-7)。なお、転圧にはタイヤローラー(8t)を使用した。

本施工においてはブリスタリングが良好に解消し、再発も認められていないことからケース 3 の除去方法は、ブリスタリング発生時の措置として有効であると考えられる。



写真-7 本施工時の様子

5. 水分計測方法

転圧によるブリスタリングの解消効果の把握および効果の持続性を観察するため、電気抵抗による水分検知技術の導入を試行した。

既往の文献^{6),7)}によると水分が存在し湿潤な状態にあると、水分が存在しない乾燥した状態、あるいは水分が凍結している状態と比べて電気抵抗が低いことが分かっている。そこで、この技術に着目し、特にブリスタリングが多く発生した箇所の防水層上面に電気抵抗を計測するセンサーを設置し、電気抵抗を計測した。センサーの設置状況を図-5 および図-6 に示す。電極の設置は上下線各 2 箇所ずつ計 4 箇所、設置条件は既往の文献^{6),7)}に準拠し電極間隔はいずれも 5cm としている。

測定は表層施工後にハンディタイプの LCR メータ(GW Instek 製 LCR-916)を用い、交流 100Hz におけるインピーダンス(以下、電気抵抗値)を計測した。なお、測定日以前の 1 週間で累計 15mm の降雨が確認されている。

計測結果を図-7 に示す。令和 3 年 8 月 27 日のセンサー設置時は No. 1~No. 4 の全てにおいて計測装置の定格の $2.0 \times 10^5 \text{ k}\Omega$ 以上となり測定不能であった。約 80 日経過後の令和 3 年 11 月 17 日、表層施工

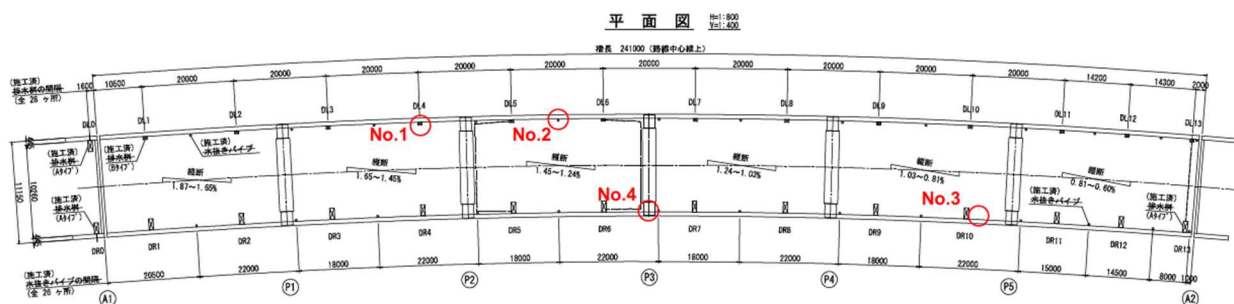


図-5 電気抵抗設置箇所図



図-6 No. 1 電極設置状況

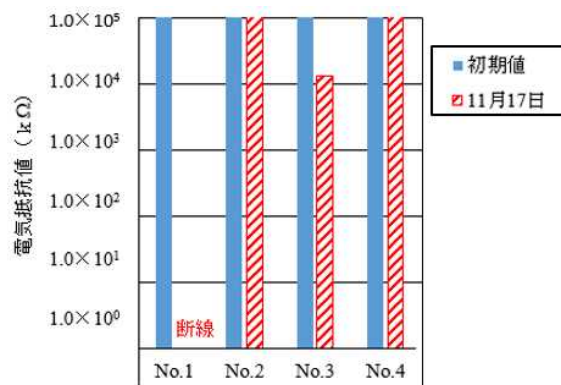


図-7 電気抵抗測定結果

後に計測を実施した結果、No. 3において多少の電気抵抗値の低下はあったものの、No. 2、No. 4においては定格の $2.0 \times 10^5 \text{ k}\Omega$ 以上となり水分が増加していないと判断できる結果となった。このことから、本施工で実施したプリスタリング除去方法の効果は概ね十分であると考えることができる。

6. まとめ

本報ではプリスタリングの発生箇所の調査、除去方法の検討及び水分検知技術の試行を行った結果を取りまとめた。

プリスタリング発生箇所の開削調査によって、プリスタリングには床版と防水層間の接着不良および防水層と基層間の接着不良の2形態があることが明らかとなった。また、プリスタリングの除去方法に関して3ケースの試験施工を行い、各除去方法の有効性を確認した結果、前述の4.(1)c) ケース3の方法が有効であることを確認した。

さらに、本施工の効果を電気抵抗値の測定によって確認した結果、初期値と比較して水分が増加していないと判断できる結果が得られたことから、プリスタリング除去方法の有効性が認められた。

今後は、各箇所の電気抵抗値を継続的に計測し、床版-基層の水分の有無を調査し、効果の持続性を把握していきたい。本報告が橋面舗装のプリスタリング発生時の除去事例、水分検知技術の現場導入事例として、今後の参考となれば幸甚である。

謝辞：本件の調査および措置の実施にあたり、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より多大なご指導、ご協力を賜り、心から厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 浮田洋一、笹山博、吉田秀樹、濱田浩二：福岡空港におけるアスファルト舗装の変状と原因について、沿岸技術研究センター論文集 No. 6、2006
- 2) 山岡、伊東：釧路空港滑走路の舗装老朽化改良について—滑走路におけるプリスタリング対策—、第60回（平成28年度）北海道開発技術研究発表会、2017.2
- 3) 松井繁之、太田孝二、西川和廣：RC床版とその損傷（その2）、橋梁と基礎、Vol. 32、No. 6、pp. 47-50、1998.6

- 4) 丸山、星、木村：赤外線カメラによるポットホール発生危険部位の診断技術に関する基礎検討、国土交通省国土技術研究会論文集、PP. 116-121、2016
- 5) 星、丸山、木村：R C床版上に施工する耐久性の高い基層用アスファルト混合物の検討、寒地土木研究所月報、第 763 号、2016. 12
- 6) 伊藤、上野、丸山：電気抵抗を用いた舗装層間の水分検知技術に関する一検討、令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会
- 7) 上野、木幡、星、丸山：電気抵抗の計測による舗装層間の水分検知技術の適用性に関する検討、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol. 77、No. 2 (舗装工学論文集第 26 巻)、I_67-I_75、2021