

路面損傷と舗装の構造的損傷の関係

神谷 恵三¹・秋田 隼希²・伊藤 穂高³・谷口 滋紀⁴

¹ 法人準会員 中日本高速道路(株) 高度技術推進部 (〒511-0865 名古屋市中区錦 2-18-19)

E-mail: k.kamiya.ab@c-nexco.co.jp

² 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 名古屋支店 道路技術部 道路技術第一課 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 1-8-8)

E-mail: j.akita.a@c-nexco-hen.jp

³ 中日本高速道路(株) 名古屋保全サービスセンター (〒465-0045 愛知県名古屋市名東区姫若町 57)

E-mail: h.ito-au@c-nexco.co.jp

⁴ 中日本高速道路(株) 飯田保全サービスセンター (〒395-0151 長野県飯田市北方 856-1)

s.taniguchi-ab@c-nexco.co.jp

名神高速道路の開通以来、50年以上の供用履歴を有する区間が増加している。加えて排水性舗装は表面からではなく、内部から変状が発生した後に路面損傷が顕在化するため、補修を2層以内に留めることが困難となりつつある。

損傷が深層化する前に修繕を実施するという予防保全の実践にむけて、開削調査から得られる観測結果、並びに路面性状調査の時系列分析から、路面損傷指標と舗装の構造的損傷の関係把握を試みた。その結果、中央自動車道飯田管内において、以下の知見が得られた。

アスファルト層の厚さが30cmである箇所においても下層路盤に永久変形が発生する事例を確認した。また、縦横断方向の路面凹凸の評価長を10mとするIRI-10並びにわだち掘れ量の大きさにより、構造的な問題箇所を大まかにスクリーニングできる条件を整理した。

キーワード：アセット、マネジメント、維持管理、ISO 55001

1. はじめに

NEXCO 中日本が管理する高速道路(2,150km, 2020.4月現在)のうち、供用後50年を経過する東名・名神をはじめ、供用後30年を経過する道路が全体の約6割を

占めている。高齢化する高速道路ネットワークの長期的な保全事業の計画立案が急務となっている。

舗装については、平成10年から改名した高機能舗装(排水性舗装)が現在では路面の8割にまで達しており、安全と安心をお約束するNEXCOの顔として周知されて



図-1 雨天時の高機能舗装

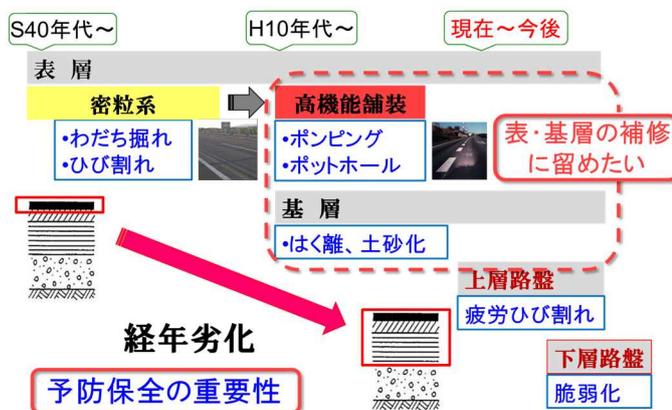


図-2 舗装損傷の深層化

いる(図-1)。高機能舗装は基層上面に雨水を滞留させる構造であるために、表基層の2層補修がその標準的な補修方法として定着してきた。しかし、最近では表層からアスファルト安定処理路盤までの3層補修事例が増えつつあるので、老朽化した重交通路線では損傷の深層化が特に懸念されている。これを防ぐには、予防保全の早期実現が急務であるが、そのためには損傷メカニズムを把握すると共に、そのような問題箇所の予見をして行かねばならない(図-2)。

このような現状に鑑みて、NEXCO 総研が中心となり全国開削調査が進められている。アスファルト安定処理路盤の下面から上方へ進展する疲労ひび割れがこれまでに報告されているが、その多くはアスファルト層の厚さが18cm~25cm程度のものであった。しかし、昨年12月に開削調査を行った中央自動車道飯田保管内の舗装構成は、アスファルト層厚30cmを有するものであった。それゆえ、疲労ひび割れが観測されたことは大きな驚きであった。

本文は、疲労ひび割れの予見に向けて路面損傷と舗装の構造的損傷の関係把握を試みたものである。

2. 昨年度の路面開削調査

(1) 開削前の路面状況

図-3は、2020年9月に飯田保管内の路面点検で得られた写真である。走行車線の外側軌道位置に3cm程度の

局部沈下が数箇所発生していることが分かった。ここでは切土区間であると共に、周辺のり面に湧水が確認されたが、このような条件は特筆に値しない。しかし、この現場の300m区間は2009年に表基層10cm切削オーバーレイを実施した箇所であったので、10年間で3cmの沈下が発生することは楽観視できるものではない。湧水により、損傷が舗装深層部にまで及んだ可能性が考えられたので、開削調査を実施することとした。

(2) 路面開削調査

路面開削調査の目的は、舗装内の現況を把握することである。このために、路面からブロックコアを採取することとなるが、多大な時間とコストを要することから、一般的な調査とはなっていない。また、供用中の道路においては一車線規制時間の中で作業を終えねばならないので、望ましい状態で実施できるものではない。例えば、アスファルト材料のカッティングに際しては、乾式によることが望ましい。これは、舗装に内在する湿潤状態を把握するためであるが、通常の湿潤切削の数倍の時間を要する。車線規制時間の制約から、飯田管内では湿式による切削を余儀なくされた。

図-4は、路面開削の作業工程を示す写真である。これらのほか、アスファルト層間のひび割れ、混合物のはく離状況、下層路盤の永久変形の有無等が開削位置において確認された。



図-3 開削前の路面状況(中央自動車道上り線飯田保管内)



図4 路面開削の状況



図5 下層路盤の永久変形

同程度の大きさの局部沈下を起こした7箇所について開削調査を実施した結果、図-5の写真が得られた。左の写真から、外側軌道位置（Outer Wheel Path, 以下OWPと付す）の下層路盤において永久変形が発生していることが判明した。その大きさは約4cmに達することから、NEXCOが実施したこれまでの開削調査の中でも非常に大きな変形量であるといえる。

OWPでは永久変形があるものの、車両荷重の影響が少ない非軌道位置（Between Wheel Path, 以下BWPと付す）では下層路盤の欠損は見られない。これより、交通荷重の累積が永久変形の一因であるといえる。路盤面が湿潤しているのは湿潤式開削としたからであるが、当初懸念された顕著な湧水を確認するまでには至らなかった。

一方、開削したブロックコア（図-5の右写真）から、アスファルト安定処理路盤下面から発生した疲労ひび割れを確認することができた。上方へ進展したひび割れは、2009年に改良した表基層にまで達していることが分かる。また、概ね表基層に大きな変形は確認されないものの、この疲労ひび割れに伴う沈下がOWP位置の局部沈下を誘発させたものと推察できる。

管内の舗装構成は表層4cm、基層6cm、アスファルト安定処理上層路盤20cm、セメント安定下層路盤20cmというリッチなものである。それゆえ、全国的にみても厚層の舗装構成においてさえ、4cmもの永久変形が発生した事実は大きく受け止めねばならない。何故なら、中央道のみならず他路線においても永久変形のリスクを考え

ねばならないからである。このためにも、非破壊により疲労ひび割れを予見することは今後の大きな課題であるといえる。

これの先駆けとして、疲労ひび割れと路面性状の関係を整理しておくことは大きな布石になると考えた。先ず路面性状の時系列分析を試みた結果を次章に述べる。

3. 路面性状の時系列分析

飯田保全管内（KP 195.900～KP 288.600）の路面性状（IRI、ひび割れ率、わだち掘れ量）について過去2年度の平均と標準偏差を算出した。ここでは、局部変化を捉えるべく全て10m単位の評価とした。

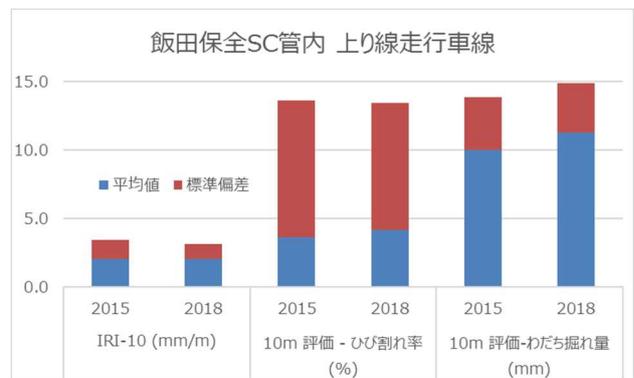


図-6 管内路面性状の時系列比較

図-6は、上り線の第一走行車線に言及したものである。3指標は、2015年度と2018年度においてほぼ変化がないと評価される。ここでは土工区間のみならず橋梁部とトンネル部も含まれるので、より詳細な推移を把握するには構造物単位に分けるべきである。しかしながら、大局的に見る場合には、路面性状に大きな変化は見られないと推しても支障はない。

図-7は、開削調査箇所を含む1km区間（KP 284～KP 285）に焦点を当てたものである。

この1km区間のIRI-10の平均値は、2015年から2018年の間で3.0mm/mから2.2mm/mへ減少する結果を示している。NEXCO舗装マネジメントシステム³⁾によると、2015年秋にKP284～KP285区間において、延長357mの舗装改良工が実施されているので、IRI-10の減少はこの補修に伴う効果であるものと思われる。

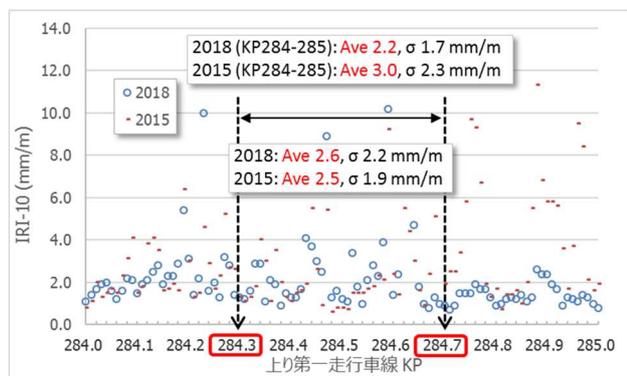


図-7 IRI-10の時系列比較 (KP 284～KP 285)

開削箇所を含む区間をさらに短い400m間（KP 284.3～KP 284.7）に選定すると、平均値の変化は2.5mm/mから2.6mm/mと増加に転じる。これは選定箇所における健全箇所と問題箇所の割合により、評価値が鋭敏に変化するためである。

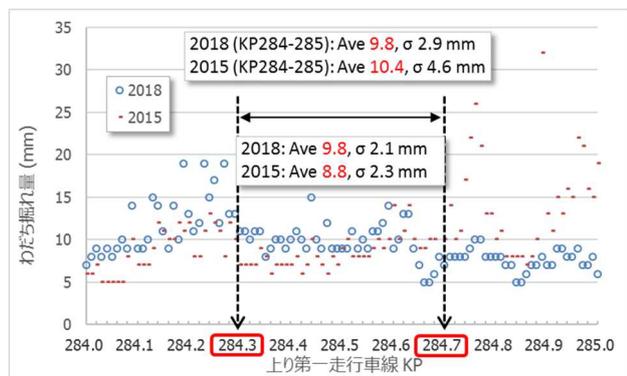


図-8 わだち掘れ量の時系列比較 (KP 284～KP 285)

図-8は、わだち掘れ量について、同様に描いたものである。2015年の平均値は、1km区間と400m区間におい

て共に9.8mmという同値となった。平均値は、2015年からの推移をみると、1km区間では平均値が減少しているが、400m区間では増加する傾向が確認された。これは、IRI-10と同様の傾向である。

ひび割れ率については、殆どが0%であったため、経年変化を見ることができなかった。

次に、この400m区間をさらに分割して、局部沈下が発生した7箇所に焦点を合わせると、路面性状値の大きさと問題箇所の整合性を確認することができる。

図-9は、今回の問題7箇所に限定した区間のIRI-10である。図中には、2019年に得られた点検報告時の写真も付している。路面性状調査を実施した2018年との時間差はあるが、問題箇所のKP位置ではIRI-10の増加傾向を確認することができる。より近年の路面性状値と路面写真が得られれば、両者の整合はさらに向上するものと思われる。

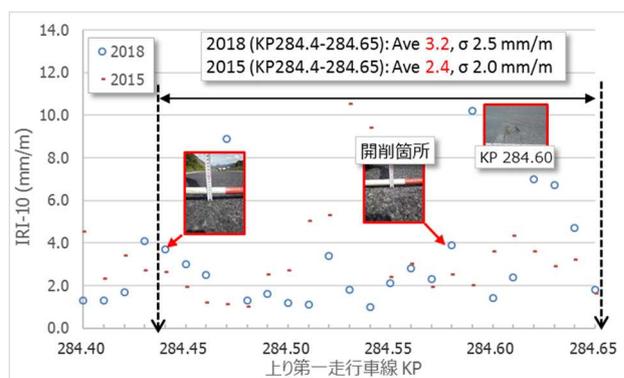


図-9 IRI-10の時系列比較 (KP 284.45～KP 284.65)

KP284.60位置のIRI-10が小さいものの、隣接のKP284.59では大きな値を示している。この辺りは、測定時間の差に加えて、測定精度やKP位置合わせ等に伴う誤差として見なすべきである。

同様に、この小区間においてわだち掘れ量の経年変化を比較すると、図-10が得られる。

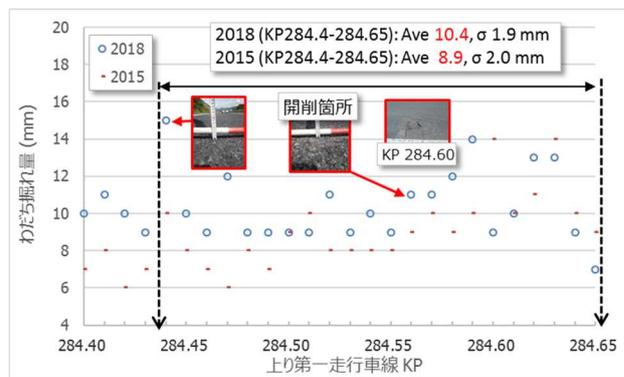


図-10 わだち掘れ量の比較 (KP 284.45～KP 284.65)

ここでの傾向は IRI-10 と同様のものであることが分かる。これは、局部変形を捉える際、縦横断方向の変化が同様に伴うことを意味する。つまり、縦断方向の凹凸を担う IRI-10 は、横断方向のわだち掘れ量と共に増大する傾向にあるという解釈が成立する。

アスファルト安定処理路盤下面から発生する疲労ひび割れと路面性状の傾向を把握するまでには至らないが、上記の観測から、疲労ひび割れ発生 の仮定条件を以下に付しておく。

- 路面の局部沈下量 30mm
- IRI-10: 4~10mm/m
- わだち掘れ量: 10~15mm

4. 疲労ひび割れの仮定条件

昨年 12 月の開削調査に引き続き、飯田保全管内にて今年度も同調査を実施したので、路面性状と開削結果の関係分析を進めた。

開削調査の選定に際しては、前年度と同様に安全走行確保の観点から局部沈下 30mm となる箇所を優先候補とした。その上で、路面性状測定値を参考としたが、選定時点では 2018 年測定結果を参照している。以下には、2021 年時点の Data も含めてあるが、あくまで参考として捉えていただきたい。

図-11 は、下り線の第一走行車線において 2018 年時点のわだち掘れ量=19mm, IRI-10=3 m/mm を超える箇所を開削調査として選定したものである。開削箇所の IRI-10 とわだち掘れ量は周辺よりも概ね大きな値を示している。しかし、上述の仮定条件と比較すると、わだち掘れ量は大きいものの、IRI-10 は小さいことが分かる。

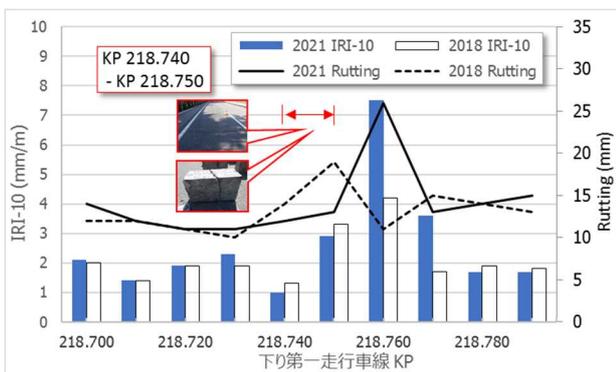


図-11 開削箇所 (KP 218.740~KP 218.75) と路面性状

一方、図中に示したブロックコア写真のように、路面から下に向かって発生した貫通ひび割れは確認したが、疲労を意味する bottom-up ひび割れは確認できなかった。箇所選定の時点で 2021 年時点の Data を入手していれば、IRI-10 とわだち掘れ量がより大きな隣接 10 m 間の採択に

より、疲労ひび割れを確認できたかも知れない。箇所の選定に際しては、最新の路面性状と現況写真の重要性が再認識される。

なお、FWD たわみ測定の結果を下表に示すが、管内の測定実績から健全性に問題があるレベルではなかった。

表-1 FWD たわみ測定の結果 (下り走行 KP218.748)

載荷位置	D0 (μm)	D90 (μm)	D150 (μm)	D200 (μm)	アスコン 層(cm)	路面温度 ($^{\circ}\text{C}$)	測定日	表層種別	下層路盤
OWP	247	76	40	28	22	23.4	2021/8/27	ポーラス	セメント
BWP	132	61	32	22	22	24.1	2021/8/27	ポーラス	安定処理

図-12 は、2018 年時のわだち掘れ量=12.5mm, IRI-10=2 m/mm を少し下回る箇所を開削調査箇所を選定したものである。上述の仮定条件と比較すると、わだち掘れ量は同等であるものの、IRI-10 はかなり小さいことが分かる。ここでは、図中に示すブロックコアのように、疲労ひび割れを確認することができた。また、表-2 に示す FWD たわみ測定結果から、下層部の支持力に問題があることが分かった。何故なら、路床支持力を示す D150 が健全箇所よりも大きな値を示したからである。さらに、NEXCO ではたわみ差 (D90-D150) を下層路盤の健全度照査に使用しているが、このたわみ差も健全箇所と比較して大きな値であったからである。加えて特筆すべきは、BWP 位置の方が OWP よりも大きなたわみ量を示したことである。実は、路面の局部沈下は図-13 の写真にあるとおり、内側起動部 (Inner Wheel Path, 以下 IWP と付す) において発生しているので、BWP の方が大きなたわみ量を呈するという事実に符合する。加えて、下層路盤を撤去した際、IWP 側の隅角部に湧水を確認した (図-14) ので、ここでの沈下原因はこの湧水に伴う支持力の低下であるものと推察される。

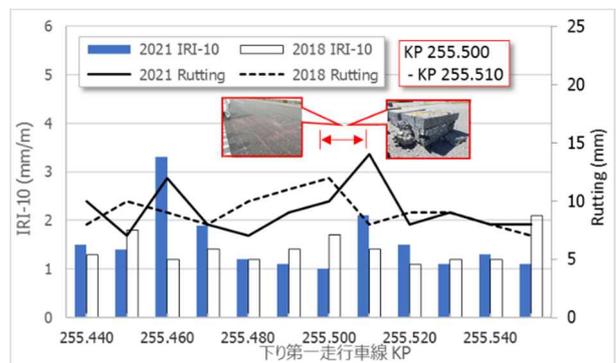


図-12 開削箇所 (KP 255.500~KP 255.510) と路面性状

表-2 FWD たわみ測定の結果 (下り走行 KP255.513)

載荷位置	D0 (μm)	D90 (μm)	D150 (μm)	D200 (μm)	アスコン 層(cm)	路面温度 ($^{\circ}\text{C}$)	測定日	表層種別	下層路盤
OWP	188	142	56	30	24	21.2	2021/8/23	ポーラス	セメント
BWP	281	143	68	36	24	21.5	2021/8/23	ポーラス	安定処理



図-13 IWP位置の局部沈下 (KP 255.500~KP 255.510)



図-14 IWP側の湧水 (KP 255.500~KP 255.510)

図-15 は、2018 年時のわだち掘れ量が約 15 mm, IRI-10 = 4 m/mm を少し超える箇所を開削箇所を選定したものである。上述の仮定条件と比較すると、わだち掘れ量は同等であるものの、IRI-10 は顕著に大きいわけではない。しかし、図中に示すブロックコアのような疲労ひび割れを確認した。なお、FWD たわみ測定の結果を表-3 に示すが、OWP 位置のたわみ量は管内の中では 3 層破損に相当するレベルであることが分かった。これは、開削したブロックコアの状態に符合するものである。

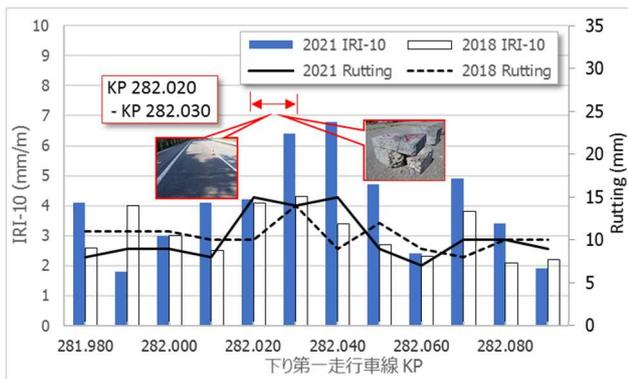


図-9 開削箇所 (KP 288.020~KP 288.030) と路面性状

表-3 FWD たわみ測定の結果 (下り走行 KP 288.030)

載荷位置	D0 (μm)	D90 (μm)	D150 (μm)	D200 (μm)	アスコン 層(cm)	路面温度 ($^{\circ}\text{C}$)	測定日	表層種別	下層路盤
BWP	138	63	33	23	28	23.7	2021/8/24	ポーラス	セメント
OWP	357	66	33	24	28	23.5	2021/8/24	ポーラス	安定処理

以上より、今年度の開削調査結果から、疲労ひび割れの仮定条件は以下のようにフィードバックされる。

- ・路面の局部沈下量 30 mm
- ・IRI-10: 4~10 mm/m (あまり決定的ではない)
- ・わだち掘れ量: 10~15 mm
- ・FWD たわみ量: 3 層破損に相当するレベル

IRI-10 については決定的ではないものの、今後のために追記しておくこととしたい。

5. まとめ

非破壊により疲労ひび割れを予見することは、老朽化して行く今後の高速道路管理において重要な課題である。これの実現に向けた一つの布石として、本文は路面性状と疲労ひび割れの関係分析を試みたものである。

中央自動車道飯田保全管内における 2 年度の開削調査と路面性状調査等の結果から、疲労ひび割れ発生 の仮定条件を以下のように整理した。

- ・路面の局部沈下量 30 mm
- ・IRI-10: 4~10 mm/m
- ・わだち掘れ量: 10~15 mm
- ・FWD たわみ量: 3 層破損に相当するレベル

しかしながら、確認事例が未だ十分ではないことからさらなる開削調査による追認をせねばならない。この時、路面写真をはじめ路面性状調査等の一連の Data が最新であるとともに、同一時期であることが望ましい。これにより、疲労ひび割れと路面性状の関係把握は向上するものと思われる。

国土交通省の舗装点検要領²⁾にもあるとおり、路盤の長期耐久性確保は国内全体の大きな課題である。本文で得られた知見が、他の現場の参考になれば幸いである。

謝辞：本調査にご協力下さいました全ての関係諸氏に対し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 神谷、滝、洲崎：舗装の予防保全に向けた NEXCO-PMS による実態分析。第 5 回 JAAM 研究・実践発表会。2020.11
- 2) 国土交通省道路局：舗装点検要領。2017.3