

道路橋桁端部の腐食環境調査 ～橋台、橋脚の調査事例～

田中良樹・村越 潤・石田雅博・吉田英二

1. はじめに

道路橋の桁端部では、伸縮装置からの漏水がよく見られる(写真-1, 2)。この漏水は、上部構造、下部構造ともにさまざまな劣化をもたらすことが懸念される。特に、凍結防止剤の散布に伴い、その漏水に塩化物が混入すると、鋼桁端部の著しい腐食や、コンクリート桁端部、橋台、橋脚の塩害や凍害等による著しい劣化を引き起こす可能性が急激に高くなる。これらに対する維持管理の負担軽減の観点から、鋼橋、コンクリート橋を問わず、腐食環境を改善するための漏水対策が不可欠である^{1),2)}。著者らは、道路橋桁端部の劣化対策検討の一環として、既設橋の腐食環境調査を、調査方法の検討も含めて実施している。本文では、下部構造への影響を含めて、桁端部の漏水対策の必要性を述べるとともに、既設の橋台、橋脚の調査事例を紹介する。

2. 桁端部の漏水対策の必要性

2.1 時間軸を意識した対策

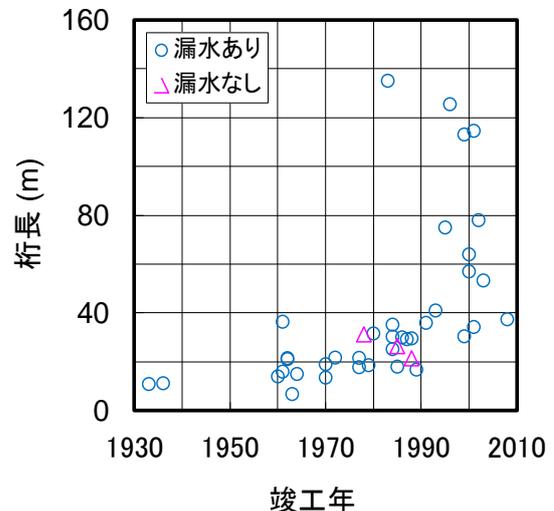
コンクリート構造物の塩害は、早期発見が難しく、コンクリートに塩害によるひび割れが見られた時には既に鉄筋の腐食が著しいことが多い。鉄筋の著しい腐食が生じた後の補修は大掛かりとなるだけでなく、抜本的な補修が難しくなる傾向にある。また、ある程度進行した塩害に対する補修の効果は得られにくく、補修後数年で再劣化する事例が多い³⁾。凍結防止剤の機械散布が行われる路線では、路線内の橋の漏水状況が同じであれば、厳しい塩害が路線内のすべての橋で一斉に生じる時期が来ることを想定しておく必要がある。橋単体のライフサイクルコストで考えても、塩害は大きな負担になる。まして路線内の塩害同時多発は、即時に対応し得ないほどに、維持管理の負担が急増するであろう。



写真-1 多連続桁橋の桁端部からの漏水事例 (奥に見える中間支点下の橋脚に比べて、橋脚の外観が漏水の有無により顕著に異なる。後述のC橋の外観)



写真-2 伸縮装置からの漏水状況 (写真-1の矢印箇所、後付けの止水材が部分的に外れて、垂れ下がっていた。後述のC橋)



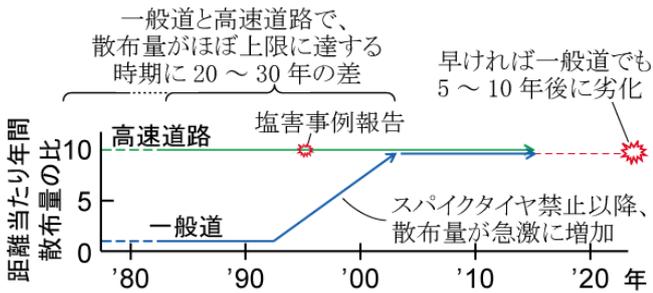


図-2 凍結防止剤の散布量の概略の推移と劣化時期の予測（既往のデータ^{3),4)}を参考に作成）

図-1は、著者らがこれまで行った42橋の桁端部の調査における漏水の有無を示したものである。比較的新しい橋では非排水型の伸縮装置が採用される傾向にあるが、この調査の範囲では伸縮装置の新旧を問わず、漏水が見られる事例が大半を占めていた。

30年前の凍結防止剤の散布量は、北陸や近畿で多く、北海道、東北などの散布量は、寒冷地であっても比較的少ない傾向にあった⁴⁾。また、高速道路における距離当たり年間散布量は一般道よりも1桁多い傾向にあった。図-2に、凍結防止剤の距離当たり年間散布量の概略の推移と凍結防止剤による劣化時期の予測を模式図で表わす。1980年代の旧公団、国、県の年間散布量の比率は、概ね6:2:2であった⁴⁾。これを各総延長で除して距離当たりに換算すると、17:1:0.1となる。車線数やばらつき等を考慮して、その年代の高速道路と一般道の散布量の比をここでは概ね10:1と想定する。これを踏まえて、1980年代の時点で高速道路における距離当たり年間散布量が一般道の10倍に達していたと考える。高速道路では、1970年代に既に多量の散布が行われていたと思われるが明確でない。図-2ではまた、高速道路における距離当たり年間散布量がほぼ上限に達していて、顕著な増加はなかったと仮定している。そのような凍結防止剤の散布状況の下で、1990年代中頃には、高速道路における凍結防止剤による塩害事例の報告が見られるようになった⁵⁾。

1990年代にスパイクタイヤが禁止されて以降、散布量が少なかった東北地方では、一般道における年間散布量がほぼ右肩上がり増加しており、わずか10年で1980年代の散布量の5~10倍に達していた³⁾。全国的に見ても、同時期から散布量が

右肩上がり大幅に増加した⁶⁾。高速道路で距離当たり年間散布量がほぼ上限に達した時期が1970~80年代であったとすると、一般道の距離当たり年間散布量が高速道路と同等のレベルに達する時期は、概ね20~30年程度の時間差があると推定される。散布の量と期間に応じて桁端部の著しい劣化の件数が増加するとした場合、一般道において著しい劣化が顕在化する時期は、高速道路に比べて20~30年程度の時間差があると推定される。ただし、一般道でも路線によっては散布量が1桁多くなってから既に10数年が経過している。この点から考えると、散布量が増加している一般道において、著しい劣化が顕在化するまでの期間は、早ければ残り5~10年不足ということになる。

桁端部の塩害同時多発を防ぐための猶予がないと考えて、できるだけ多くの橋で、かつできるだけ早期に、道路橋桁端部の漏水対策に取り組む必要がある。

2.2 下部構造の劣化の影響

桁端部の漏水による下部構造の劣化事例は、本誌55巻11号で報告した²⁾。下部構造の劣化は上部構造の耐荷力への影響のように、橋として致命的な状態になることは少ないと考えられる。しかし、劣化が著しい場合は、地震時の挙動に影響が及ぶことや、厚いかぶりコンクリートの大規模剥落をもたらすことが懸念される。背の高い橋台、橋脚ではその高さ方向に広範囲にかぶりが剥離する可

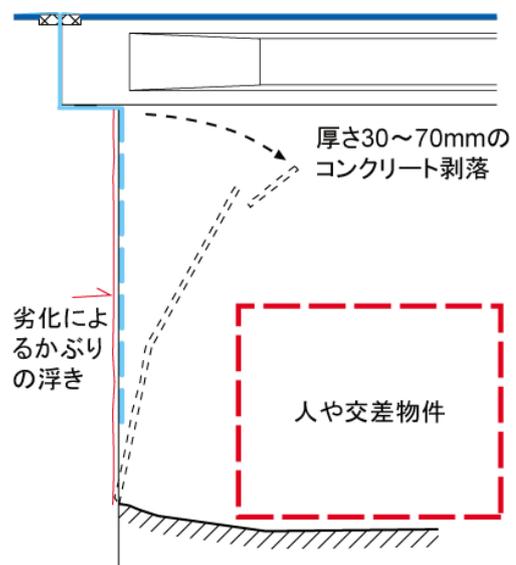


図-3 下部構造のかぶり剥落のイメージ

能性がある(図-3)。特に、著しい漏水が見られる橋台や橋脚の近くに道路や鉄道がある場合など、かぶり剥落による第三者被害が想定される箇所では、その防止対策を優先して実施する必要がある。また、そのような現場で点検や補修等を行う際には、作業員の安全確保を図るため、作業計画において、かぶり剥落の対策を講じておく必要がある。

3. 下部構造の調査事例

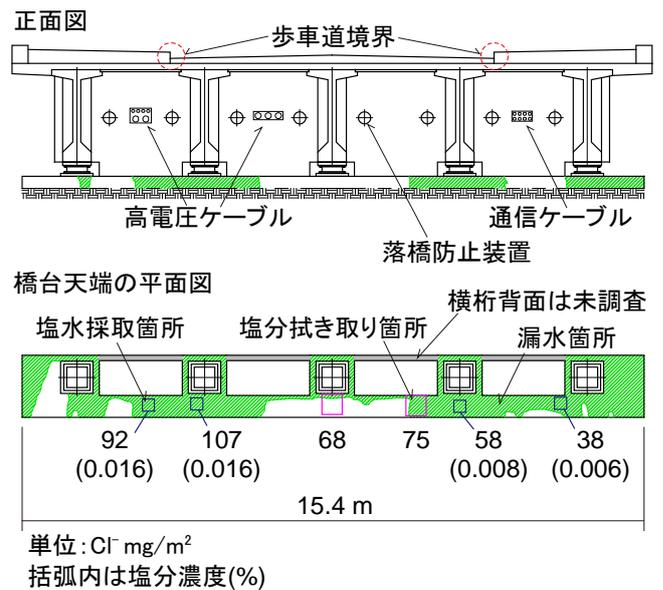
3.1 橋台の付着塩分量

PC橋(本文では2橋の例を示す)の桁端部の漏水箇所において、コンクリート表面の塩分拭き取りによる付着塩分量の測定を行った。拭き取りは、鋼部材の付着塩分量測定⁷⁾と同様の方法によった。図-4に、A橋及びB橋の橋台天端及び前面等における付着塩分量を示す。本文では付着塩分量を塩化物イオン換算で表わす。また、漏水が見られた範囲を図中に緑の網掛で示す。

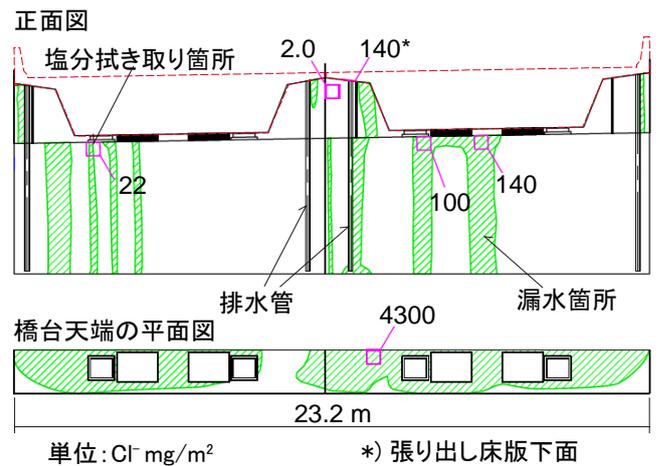
A橋は、2000年竣工の2径間PC連結桁橋であり、橋長64m、有効幅員15mである。一般道で橋のたもとに塩化カルシウムの凍結防止剤の袋が置かれており、人力で散布されている。車道部は非排水型の伸縮装置が使用されているが、歩車道境界の直下付近で多量の漏水が見られた。

B橋は、2000年竣工(供用開始は2009年)の単純PC箱桁橋であり、橋長42m、有効幅員10m(片側)である。伸縮装置はゴムジョイントであった。供用3年で既に橋台前面に漏水が見られた。B橋は積雪が比較的多い地域の自動車専用道で、冬季にアスファルト舗装面が見える程度まで除雪等の路面管理が行われている。

沿岸部の塩害対策区分S⁸⁾に相当する地点にあるRC橋で塩害が著しい部位では、約60 Cl⁻mg/m²以上の付着塩分量が測定されている⁹⁾。A橋、B橋ともに、橋台の天端や前面で60 Cl⁻mg/m²を大きく超える箇所が見られた。いずれも供用期間が短く、かつ下部構造であることからかぶりが比較的厚いため、塩害等の劣化はまだ見られない。しかし、両橋ともに日本海から約10km離れているにもかかわらず、沿岸部の塩害対策区分Sの橋と同等の塩化物イオンがコンクリート表面に存在していることがわかった。



(a) A橋 (一般道、供用12年、人力散布)



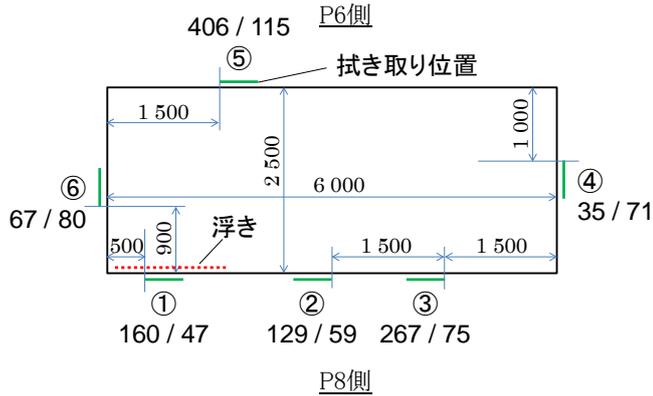
(b) B橋 (自動車専用道、供用3年、機械散布)

図-4 道路橋橋台の付着塩分量調査結果の例

注1) 図中の数値は各拭き取り位置の塩分量を示す。
 注2) A橋の水たまり箇所は300mm×300mmのガーゼに吸水させて塩水を採取し、塩分濃度を測定するとともに、試行的に面積当たりの塩分量に換算して示す。

3.2 橋脚の付着塩分量

写真-1、2に示したC橋は、1987年竣工、橋長約500m、有効幅員9.5m(片側)の一般道であり、内陸に位置する。交通量が多いため、冬季に、頻繁に除雪や散布車による凍結防止剤の散布が行われている。C橋の橋脚は、その直上の伸縮装置がフィンガータイプであり、供用の途中から漏水対策が行われた形跡が見られた。しかし、写真-1に



注) 太字数値は、付着塩分量(Cl⁻ mg/m²) / 最小かぶり (mm) 寸法の単位はmm

図-5 C橋橋脚の付着塩分量調査結果 (橋脚周囲の拭き取り位置を平面図で示す)

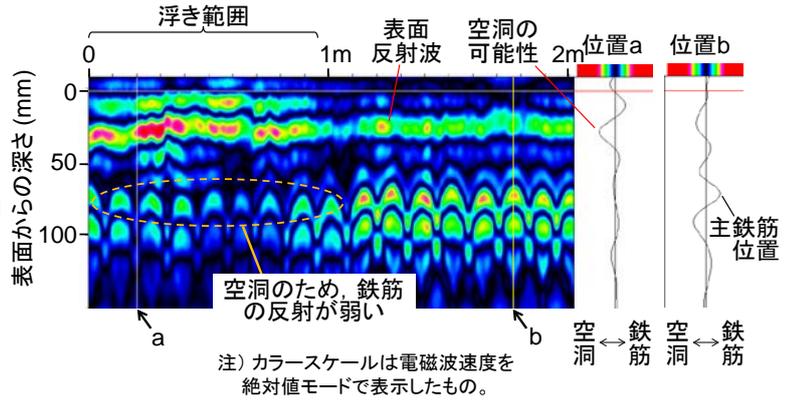


図-7 剥離位置付近のレーダ探査結果



写真-3 C橋橋脚のひび割れと浮き、剥離 (写真-1の右橋脚の左下拡大、右上写真は実線四角部分の拡大、矢印は浮きのレーダ探査位置)

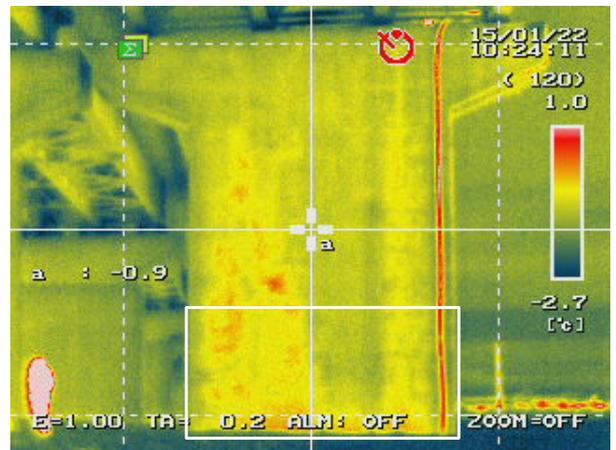


図-8 サーモグラフィによる画像例 (午前10時半頃曇り、四角枠は図-6のスケッチ範囲)

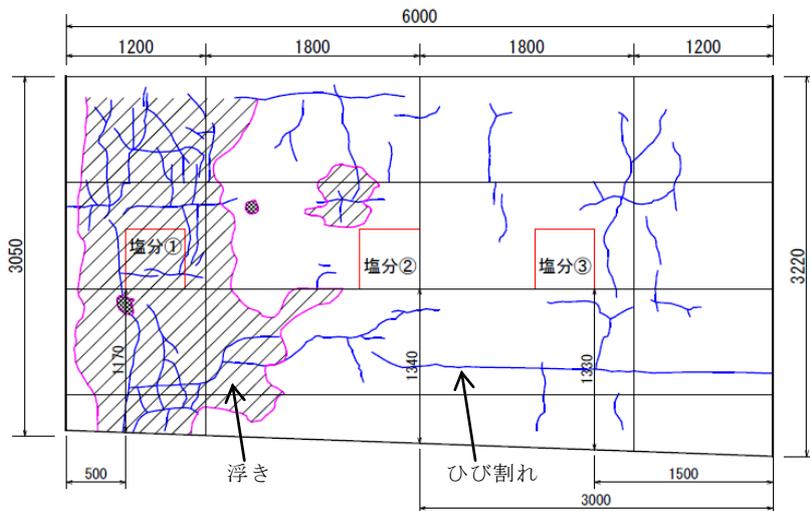


図-6 C橋橋脚のひび割れと浮きの範囲 (スケッチの範囲は、図-8に四角枠で示す。図中の塩分①～③は図-6に示す塩分拭き取り位置を示す)

示した橋脚の外観から、フィンガータイプのままで供用されていた期間に、既に多量の漏水があったと推察される。また、写真-2に示したとおり、調査時点では、止水材が抜け落ちて、著しい漏水が見られた。図-5に、C橋の橋脚周囲の付着塩分量を示す。付着塩分量が $60 \text{ Cl}^- \text{ mg/m}^2$ を大きく超える箇所が多く見られ、C橋橋脚も沿岸部で塩害対策が必要とされる橋と同等の塩分環境に置かれていると考えられる。

3.3 C橋橋脚の損傷状況

写真-1に示した橋脚では、写真-3、図-6に示すように、漏水範囲の一部にコンクリートのひび割れと広範囲の浮き、剥離が見られた。図-6に示した浮きの範囲は、点検ハンマーによるたたき調査によった(地上3mまでの範囲を調査)。この橋脚では、漏水が四方の面に見られたが、コンクリートの浮きは図-6に示した一面のみで確認された。

図-5には、塩分拭き取り位置におけるレーダ探査によるかぶり推定値も示した。コンクリートの浮きが見られた測定位置①の推定かぶりは47mmであり、測定した範囲で最もかぶりが小さかった。しかし、写真-3右に示したコンクリートの剥離箇所を見ると、剥離位置が比較的浅く、鉄筋の腐食が見られなかった。また、粗骨材の割れが比較的多く見られた。この近傍でのレーダ探査の結果を図-7に示す(写真-3の矢印上を探査)。浮きが見られた範囲では、表面反射波と区別し難いものの、深さ30mm以内の、鉄筋かぶりより浅い範囲に空洞と思われる信号が見られた。以上の結果から、この橋脚の浮きは、かぶりが小さい箇所での鉄筋腐食による可能性もあるが、凍害等の他の要因も考えられ、現時点では劣化原因を特定できていない。

図-8に、同橋脚のコンクリートの剥離が見られた面を対象とした、サーモグラフィの画像を示す。撮影の時間によって大きく異なるため必ずしも明確ではないが、図-8の画像によれば、コンクリートの浮きが見られた範囲で温度が高い部分(図中赤い部分)が見られ、高さ方向に広い範囲で浮きが生じている可能性があると考えられる。

4. おわりに～これまでの対策と課題～

本文では、桁端部の漏水対策の必要性を述べるとともに、その影響の一つとして、下部構造の付着塩分量や劣化の調査事例を紹介した。

既設橋の桁端部の漏水対策は、いつか止めれば良いというものではなく、凍結防止剤の散布状況に応じて、路線ごとに劣化顕在化までの期限が迫っていることを強く意識する必要がある。これまで桁端部の漏水対策として、非排水型の伸縮装置に交換する等の対策が行われているが、伸縮装置交換後数年で漏水が再び生じる事例が少なからず見られる。これについては、最近、二重止水による伸縮装置の改善の動きが見られる¹⁰⁾。ただし、伸縮装置の交換を路線単位で一斉に行うことは、通行規制や費用の点から難しい。また、交換後の早期漏水が見られた時には、次の交換時期まで放置するのではなく、早期に応急処置を施す必要がある。

構造物メンテナンス研究センターでは、コンクリート橋桁端部用の排水装置をはじめ、桁端部の漏水対策の支援ツールを開発している²⁾。他の機関においても、小遊間止水工など¹¹⁾、さまざまな漏水対策技術や支援ツールが開発されつつある。遊間内部のディテール(完成形での詳細構造だけでなく、コンクリート面の大小の凹凸や劣化の程度を含む)は個々の橋ごとに様々であり、桁端部の漏水を止めるのは容易でない。しかし、桁端部の狭い遊間での塩害や広範囲に広がった塩害の補修に比べれば、漏水対策はまだ対応し得る範囲であると考えられる。漏水を止めるには、様々な支援ツールを巧みに利用して漏水対策を行う人材が各地域に必要である。個々の橋で試行錯誤しながら漏水対策を確実なものにしていく必要がある。道路橋桁端部の路線単位での塩害同時多発を未然に防止するため、そして漏水対策の技術を向上させるためにも、道路管理者が先導して、桁端部の漏水対策に関するPDCAサイクルを構築する必要がある。

謝 辞

桁端部の調査にご協力いただいている道路管理者の方々をはじめ、調査にご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 田中良樹、村越潤：道路橋桁端部における腐食環境の評価と改善方法に関する検討、土木技術資料、第50巻、第11号、pp.16～19、2008
- 2) 村越潤、田中良樹、藤田育男、坂根泰、田中健司、植田健介：既設コンクリート道路橋桁端部の腐食環境改善への取り組み、土木技術資料、第55巻、第11号、pp.29～34、2013
- 3) 西川和廣、河野広隆ら：コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究—コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査—、土木研究所資料第3811号、2001.3
- 4) 下村忠一、酒井洋一、中島久男：凍結防止剤の散布実態調査、土木技術資料、第31巻、第5号、pp.50～55、1989.5
- 5) 例えば、融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集、日本コンクリート工学協会、1999.11
- 6) 木村恵子、曾根真理、並河良治、桑原正明、角湯克典：凍結防止剤散布と沿道環境、国土技術政策総合研究所資料第412号、2007.7
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0412.htm>
- 7) 鋼道路橋防食便覧、日本道路協会、2014.3
- 8) 道路橋示方書・同解説、Ⅲコンクリート橋編、日本道路協会、2012.3
- 9) 藤原稔、箕作光一、井川敏正、杉山純、湯浅晃行、家室育夫、大塚慎一：コンクリート橋の塩害に関する実橋詳細調査、土木研究所資料第2707号、1988.12
- 10) 例えば、田村正樹、菊地淳、千葉洋：道路橋における漏水対策の検討について、平成26年度東北地方整備局管内業務発表会、2014.6
- 11) 鈴木裕二、東田典雅、清水尚志：既設橋の桁端漏水対策、橋梁と基礎、pp.17～21、2012.11

田中良樹



国立研究開発法人土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター 主任研究員
 Yoshiki TANAKA

村越 潤



国立研究開発法人土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員
 Jun MURAKOSHI

石田雅博



国立研究開発法人土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員
 Masahiro ISHIDA

吉田英二



国立研究開発法人土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター 研究員
 Eiji YOSHIDA