

新潟大堰管理橋における PCケーブル損傷箇所の補強について

遠山 晃¹・二木 渉¹

¹信濃川下流河川事務所 管理課 (〒951-8153 新潟市中央区文京町14-13)

新潟大堰管理橋は昭和46年竣工のPC橋で、日本海に面した関屋分水路の河口部に位置している。平成21年度末、全7径間のうち第4径間でPCケーブルの損傷が確認され、対策工事着手後にも想定外の損傷が次々に発見された。

本稿では、公共施設の老朽化が進む中、設置後40年以上が経過し、塩害等により極めて深刻な損傷を受けた管理橋(河川管理施設)において、施設更新(架け替え)までの暫定的な対応を行った一例について紹介する。

キーワード PCケーブル損傷, 外ケーブル, 炭素繊維シート, アルカリ骨材反応, 塩害

1. はじめに

(1) 関屋分水路と新潟大堰

新潟大堰は関屋分水路の河口部に位置し、分岐点に位置する信濃川水門と連携して、信濃川本川と関屋分水路の分流量を調節する重要な役割を担う。

出水時は本川流域を洪水被害から守り、平常時は本川水利施設の利便性向上に貢献している。また、新潟大堰から土砂を排出し、本川河口部に位置する新潟西港の土砂堆積防止や、新潟海岸の砂浜流失防止の役割も担っている。

(2) 新潟大堰管理橋

新潟大堰には、設備の維持管理のため管理橋が備えられている。また、管理橋は新潟市道との兼用工作物となっており、関屋分水路の開削により分断された新潟市道を補完する役割も備えている。

2. 新潟大堰管理橋の概要

(1) 管理橋の諸元

- 所在地：(左岸)新潟市西区関屋
(右岸)新潟市中央区浜浦町
- 竣工：昭和46(1971)年12月(40年経過)
- 橋長：2427m(全7径間)
- 全幅員：88m
- 活荷重(設計時)：TL-20t(第1～6径間), B活荷重(第7径間)
- 幅員：歩道1.0m, 車道5.5m, 歩道1.5m
- 上部形式：第2～6径間＝単純PCポステン桁, 4主桁
第1径間＝プレテンT桁(H3年頃架替)
第7径間＝プレテンホロー桁(H9年架替)
- 支間長：12.45m+44.15m×5径間+9.15m

(2) 管理橋の利用状況

本管理橋は新潟大堰の維持管理のため活用されている。ゲート年点検や補修工事の際は、本管理橋上に25tクレーンと10tトラックを配置して予備ゲートを吊り下ろす等の作業を行う。また現在、総重量14tかつ一方通行規



写真-1 新潟大堰管理橋全景(下流側より望む)

制が行われているが、地域住民にとっては新潟市西区方面から同市中心部に向かう、欠かせない生活道路として、地域交流や経済活動に寄与している。

本管理橋の維持管理費用は、兼用工作物管理協定(H9.12)に基づき、上部工について道路管理者(新潟市)：河川管理者(国交省)=5：3で負担している。

3. 管理橋の損傷概要と補修計画

(1) 主桁の損傷

平成20年度末、橋梁点検車を用いて新潟大堰管理橋(全7径間)の点検を実施した。そこで、第4径間の4主桁(G1～G4)のうちの1主桁(G4)に大きなクラックが見つかった。応急的に注入補修した後、翌年度に主桁の一部をはつり詳細調査を実施した結果、G4桁のPCケーブル6本のうち2本が一部破断していた(写真-2、図-1)。また、桁内部の鉄筋も、腐食・消失していた。

調査結果から、G4桁のPCケーブル(全6本)の2本×50%=1.0本相当が破断しているものと想定し、現況における耐荷重を照査した。その結果、現行規制である総重量14tかつ一方通行規制には耐えるものの、G4桁のPCケーブル損傷が1.6本相当に進行すると合成応力度が許容値をオーバーし、落橋の危険が生じる結果となった。そこで、緊急に補修を行う必要が生じた。

また、G3桁およびG4桁についてPCケーブル付近の塩分含有試験を行ったところ、表面より65～100mmのかぶり位置にて、塩化物イオンの含有量が腐食発生限界値¹⁾1.2kg/m³を大きく上回る1.56～7.97kg/m³という結果となった。このことから、PCケーブルおよび鉄筋損傷の原因は、塩害によるものと推察された。

腐食が認められたPCケーブルは、他の箇所も破断し



写真-2 G4桁クラック(左)とPCケーブル破断(右)

断面図 S=1/50

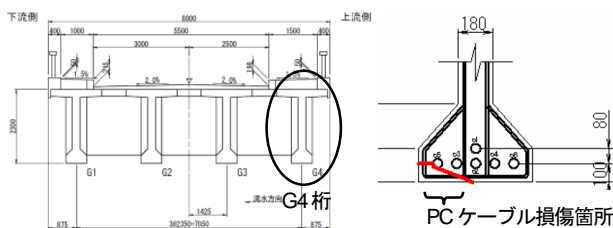


図-1 主桁断面図(左)と下フランジ拡大(右)

ている懸念があった。そこで「応力開放法」により残留プレストレス量を測定し、破断の有無を推定した。その結果、設計応力度7.1N/mm²に対して上流側で11.5N/mm²、下流側で7.7N/mm²となり、架設当時のプレストレスは、現在でも導入されていることを確認した。

なお、他の主桁(他径間を含む)に関しては、緊急対応が必要な損傷はなかった。

(2) 補修計画(第4径間)

調査結果に基づき補修工事の詳細設計を行い、G3、G4桁に外ケーブルで圧縮応力を導入して補強する緊急対応を計画した。許容応力度照査にて各種荷重条件を検討した結果、設備点検時と現行規制(TL-14片側載荷)を満足する外ケーブル規格(G3,G4桁共にF270TS)を選定した。G3桁は、G4桁に外ケーブルで緊張荷重を与えると、横桁を通じて応力が加わることから補強が必要となる。

設計内容に基づき、平成22年度に道路管理者と補修工事の協議を開始し、平成22年度末に補修工事を発注した。

4. 新たな損傷の発覚

(1) 他の主桁(G1,G2)のクラック

工事着手して現地入りしたところ、今回補強対象でないG1桁及びG2桁の下フランジ部に想定外のクラック(コンクリートの剥離・浮き)が確認された。小規模ながら、G4桁のクラックと同じ状況であり、内部のPCケーブルが損傷している可能性が考えられた。

(2) 外ケーブル定着部のクラック

さらに、G3,G4桁に外ケーブルを固定する「定着部」施工のため、既存の塩害防止塗膜を除去したところ、定着部施工箇所に無数の微細クラックが発見された(写真-3)。この微細クラックのため、当該部位が定着部として外ケーブルを緊張した際の荷重に耐えられるか疑問が生じた。これら新たな損傷発見により、補強部位と補強方法の再検討が必要となった。

補修方針を決定しなければ補強工事が出来ないため、現況の把握に必要な調査を実施し、臨時的工事連携会議



写真-3 桁端部ウェブ部のクラック

(受発注者と設計担当者による三者会議)を開催して、補修方法を決定することにした。

5. 追加調査と対策工法の検討

(1) 追加調査

追加調査は、G3,G4桁の外ケーブル定着部となる主桁端部のウェブ部について、①アルカリ骨材反応試験、②桁中央ウェブ部のクラック確認、③下フランジ部全面のクラック確認(G4桁のみ)、④超音波試験、⑤コア採取し孔内の内視鏡観察、⑥コア供試体の圧縮強度試験、を行った。また、⑦G1,G2桁下フランジ部のクラック発生箇所について、PCケーブル・鉄筋の腐食状況を確認した。追加調査の結果は以下のとおり。

① アルカリ骨材反応試験

コンクリートはつり片について、SEM(走査型電子顕微鏡)による観察、EDS(エネルギー分散型X線分析装置)による組成分析を行った。その結果、析出物の形態は「アルカリ-カルシウム-シリカ型」の反応生成物の典型例と良く一致しており、析出物の組成は、「アルカリ-カルシウム-シリカ型」の範囲内となった。この結果から、主桁はつり片に認められた析出物は、アルカリ骨材反応による反応生成物と判定された(写真-4)。

② 桁中央ウェブ部のクラック確認

外ケーブル定着部(桁端部)のクラック状況と比べ、明らかにクラック数が少なかった。アルカリ骨材反応であれば部位毎にクラック状況が異なる事はなく、応力割れの可能性も懸念された。

③ 下フランジ部全面のクラック確認(G4桁のみ)

②の結果を受け、端部・中央部のクラック状況を確認するため、G4桁の下フランジ部全面の塩害防止塗装を

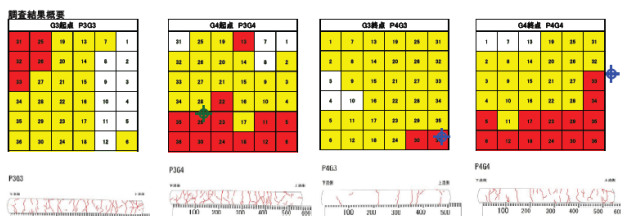


写真-4 周囲の析出物



写真-5 コア供試体

除去してクラックを確認した。その結果、全域に亘り橋軸方向にクラックが発生していた。下フランジ部はPCケーブルのプレストレスによる圧縮応力が大きいため、クラックが多く発生したと考えられた。同様に、ウェブ部もPCケーブルに沿う形で、圧縮応力の大きい桁端部でクラックが多く、桁中央部は少なかったものと推測された。

④ コンクリートの超音波試験

外ケーブル定着部(桁端部)の超音波試験の結果、全144測点中124測点(86%)が「不健全」または「不確定」の診断となった(図-2)。

⑤ コア採取と孔内の内視鏡観察

採取したコア供試体を観察した結果、桁内部まで多数のクラックが確認された(写真-5)。内視鏡観察に関しては、クラック以外の欠陥は確認されなかった。クラックの割合は④の超音波試験で「不健全」と診断された箇所が多数だった。「不確定」と診断された箇所についても、発生頻度は少ないが内部にクラックが発生していた。なお、クラックに方向性はなく、多種多様な状態で発生していた。

④⑤の結果から、超音波試験で「不健全」「不確定」と判定された原因は全てクラックが原因であり、全測点の86%が「不健全」と判定した。

⑥ コア供試体の圧縮強度試験

コア供試体はG3,G4桁の桁両端部及び中央の各3箇所から採取した。桁端部にクラックが多数発生していたことから、桁端部はクラックの少ない位置を確認して採取した。圧縮強度試験の結果は、端部の2供試体で内部のクラックに起因すると考えられる低めの値(20.8mm/N², 27.8mm/N²)となったものの、それ以外は32.4~39.9mm/N²と、概ね適正と判定された。

⑦ G1,G2桁のPCケーブル・鉄筋の腐食確認

G1,G2桁の下フランジ部で発見されたクラック(コンク



写真-6 G1(左上), G2桁(右上)クラックとはつり後(下)

リートの剥離・浮き部分)を長さ3m はつり、内部のPCケーブル(シース)・鉄筋の状況を確認した。その結果、G1桁でPCケーブルの入っているシースが全体に腐食しており、一部孔食による穴が開いていた。G2桁のシースは、腐食がなく良好な状態であった(写真-6)。

また、鉄筋(スターラップ筋)は、G1,G2桁共に腐食が進み、破断した状態であった。

(2) 調査結果の考察

調査結果を受けて、臨時に工事連携会議を開催し、前項(1)の調査結果を考察した。

①～⑥の結果からは、施工当初からの品質不良はないと推察されるものの、アルカリ骨材反応によりクラックが桁内部まで発生(クラックが貫通)しており、外ケーブル定着部(主桁端部のウェブ部)はコンクリートとしての機能を満たさない恐れが高いと考えられた。

また⑦の調査結果から、G1桁のPCケーブル6本中1本に若干損傷を受けていると考えられた。仮に1本が50%破断していると想定して、耐荷重を検証した結果、現行の通行規制(TL-14,一方通行)ならば通行可能であるとの結論に至った。

(3) 対策工法の検討

以上の考察に基づき、対策工法の検討を行った。検討条件として、G4桁PCケーブルが2本×50%=1本破断、G1桁PCケーブルが0.5本破断と仮定し、使用時荷重に対して安全に通行可能な補強を目標とした。

G3,G4桁については、桁端部ウェブ部にクラックが貫通しており、外ケーブル緊張荷重に定着部が耐えられない。しかし、外ケーブル材料が納入済みであったことから、これを活用する検討を行った。

定着部となる桁端部に、緊張荷重に耐えられる補強を施す検討を行ったが、注入材・含浸材等ではコンクリートと一体化して強度を得られる製品は存在しなかった。

そこで、以前の調査で、腐食したPCケーブルにもプレストレスが残留していたことに着目した。外ケーブル緊張荷重を桁端部に引張力を生じない範囲内に抑え、不足する緊張荷重を炭素繊維シート補強で補おうと考えた。

照査条件として、①設備点検車両およびTL-14片側載荷、②G4桁のPCケーブルが1.6本損傷時(終局限界状態)で安全確保出来るプレストレスを与える、③圧縮強度試験最小値(20.8N/mm²)にて定着部付近の圧縮応力度を超過しない、④定着部に引張応力度が生じない、こととした。

照査の結果、G3,G4桁の外ケーブル緊張荷重を当初設計値の半分程度(1,574kN/本→787kN/本)とし、炭素繊維シート(高弾性:繊維目付量300g/m²)を桁下フランジ部底面に4層貼り付ければ補強可能なのことがわかった。また、定着部の外側(端部)には、不慮の引張荷重に対応するため、炭素繊維シート(高弾性)を2層、定着部内側には断面保持のため炭素繊維シート(高強度:繊維目付量200g/m²)を1層貼り付けて、補強を行うこととした。

さらに、無数の微細クラックが発生している下フランジ部は、スターラップ筋が消失していること、クラック幅が0.2mm以下のため注入による補強が困難なことから、表面のかぶり厚30mm程度をはつり取って断面修復を行った後、断面保持のため炭素繊維シート(高強度)1層を貼り付けて補強を行うこととした。(図-3)

G1,G2桁については、現行規制であれば補強しなくても通行可能との結果が出たため、冬期は激しい風波浪に見舞われる現場環境下という制約もあり、補強は行わずに断面修復することとした。

6. 施工

補強内容の確定により、9月から本格施工に着手した。施工は、①外ケーブル定着部・偏向部施工、②断面修復工、を並行で実施し、完了後に③炭素繊維シート工、④外ケーブル補強工、⑤塩害防止塗装工を行った(写真-7)。

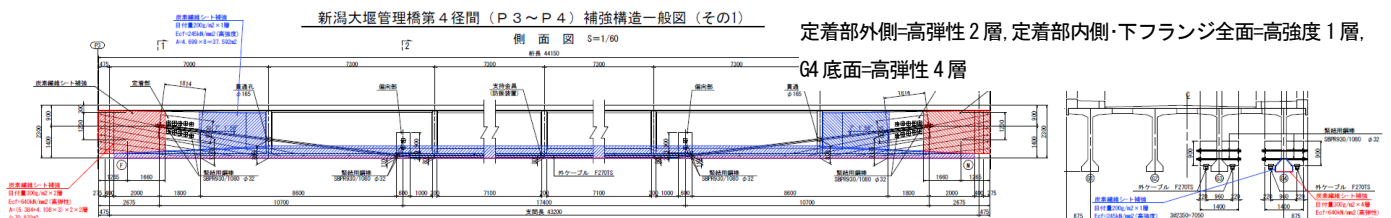


図-3 G3,G4桁の補強構造



写真-7 施工状況



写真-8 施工完了

なお、主桁・横桁削孔の際は念入りに鉄筋探査を行って、PCケーブル・鉄筋等を無傷で削孔出来た。

また断面修復工の際は、コンクリート脆弱部のたたき落とし・はつり後に、露出鉄筋のサビ除去、エポキシ樹脂塗装鉄筋による補強、防錆材の塗布を行い、塩害防止対策を行った。

冬の激しい風波浪が始まる前の12月末の施工完了を目指し、施工は順調に進んだが、塩害防止塗装工の際に天候不順に見舞われてしまい、目標より若干遅れて1月中旬に施工を完了した(写真-7,写真-8)。

7. 今後の対応

(1) 管理橋の更新(架け替え)

本工事により、新潟大堰管理橋は当面の通行の安全を確保する事が出来た。しかし、同構造・同環境下にある第2～第6の他径間にも第4径間と同様の兆候が確認されている。

当初計画では、他径間についても順次補修・補強を行っていく計画であったが、以下の理由により補修・補強は断念し、早期の更新(架け替え)を促進する方針とした。

今回の第4径間の損傷は、「塩害橋梁維持管理マニュアル」¹⁾でいう「グレードIV(最悪)」に該当する(表-1)。この場合の対応として、「安全確保のための早急な対策の実施と、更新を含めた恒久対策が必要」とされており、「(1) 補修・補強対策を実施する」または「(2) 更新を前

表-1 外観変状調査結果の評価

：架設後の経過年数が約30年以上の橋梁
(塩害橋梁維持管理マニュアル¹⁾P31より)

健全度	損傷原因が塩害以外	外観変状	
		過去に補修が行われていない部材	過去に補修が行われた部材
グレードI		塩化物イオン含有量調査の結果、現状の含有量が1.2kg/m ² 未満	
グレードIII	損傷原因が塩害	①ごく軽微なひび割れや錆汁が認められる	—
		②ひび割れ、錆汁、剥離、あるいは剥落が部分的に認められる	②補修後の経過年数が5年を超えて損傷の範囲が局部的
グレードIV		③ひび割れ、錆汁、剥離、あるいは剥落が連続的に認められる	③補修後の経過年数が5年以内で損傷の範囲が局部的もしくは補修後の経過年数が5年を超えて損傷の範囲が全体的
		④コンクリートの断面欠損が認められ、内部の鋼材の露出が認められる	④補修後の経過年数が5年以内で損傷の範囲が全体的
グレードIV		⑤コンクリートの断面欠損が認められ、内部の鋼材の切断が認められる	⑤内部の鋼材の切断が認められたとき

提とした対策を実施する」とされている(図-4)。

当初、本工事は前者(1)を念頭に計画・施工を開始したが、前述のとおり施工の進捗につれ、PCケーブルが損傷したPC桁にプレストレスを与える最も有効な補強方法である「外ケーブル補強」が適用出来ない状況に陥った。

その要因となった桁端部(外ケーブル定着部)の微細クラックの原因がアルカリ骨材反応であり、微細クラックは主桁全体(表面・内部)に亘って発生していること、PCケーブル(シース)および鉄筋の腐食原因が微細クラックの内部にまで達した高濃度塩化物イオンによる塩害だったこと、塩害防止対策のため施工した「塩害防止塗装」により目視によるクラックの早期発見を阻害していること、そして、第2～第6径間が同時期に施工され、同構造・同環境下にあること、を考慮した結果、本管理橋の補修・補強による維持管理は限界と考え、早期の更新を促進する方針に転換した。

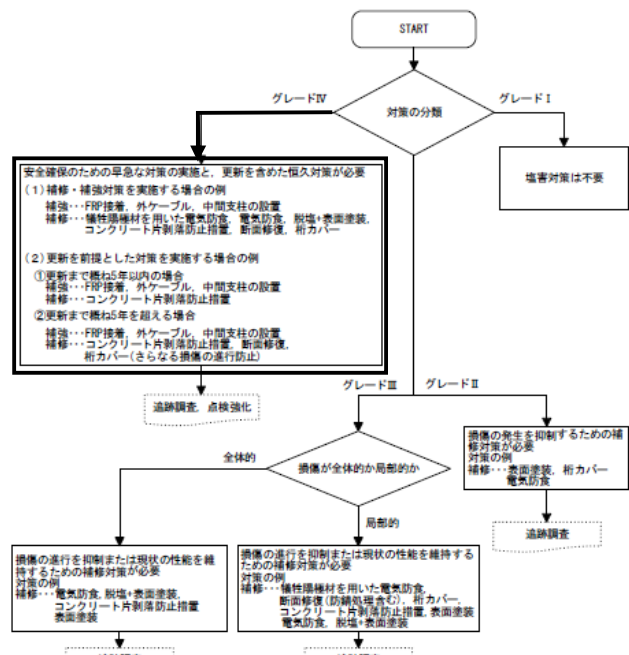


図-4 各健全度により必要な対策の例
(塩害橋梁維持管理マニュアル¹⁾P34より)

(2) 当面の維持管理

本工事により、新潟大堰管理橋は当面の通行の安全を確保する事が出来た。管理橋更新までの当面の対応として、損傷の進行や異常の有無を日常点検により監視することとした。異常が認められた場合は直ちに道路管理者と協議を行い、通行止め等の必要な措置を講じるものとする。

また、他径間に関しても詳細点検の実施を検討する。

なお、本年度中に架け替えに向けた詳細設計を実施する予定である。

協定を締結する際は、費用負担のみならず、点検・補修工事の実施主体についても覚え書き等により明示すべきであると感じた。

また不具合発覚後、道路管理者との予算措置協議に大幅に時間を要して工事開始が遅れたことも、課題を残す結果となった。

現在、管理橋更新に向けて道路管理者と協議を開始したところであるが、今後は今回の教訓を活かし、手続きの遅れがないように進めるとともに、新潟大堰の維持管理や市道通行の安全確保に万全を期したい。

本稿が、今後増加すると思われる同種の事例の一助となれば幸いである。

8. おわりに

本稿では、塩害の厳しい環境下において、老朽化したPC橋の補修について、対応の一例を紹介した。

記録によると、新潟大堰管理橋では昭和58年度の補修を皮切りに、断面修復等の各部補修が実施されており、平成3年度に第1径間架け替え、平成9年度に第7径間が架け替えられている(表-2)。しかし、平成10～19年度の間、詳細点検が実施された記録が残っていなかった。

本管理橋は、河川管理施設と新潟市道との兼用工作物という位置付けであるが、管理協定書の記載内容だけでは点検主体が不明瞭であると感じた。兼用工作物の管理

謝辞：本工事を進めるにあたり、工法検討・受託協議・施工のためご尽力頂いた工事関係者、設計関係者、新潟市関係者、当事務所及び本局関係者の皆様に、この場をお借りして感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 橋梁塩害対策検討委員会：塩害橋梁維持管理マニュアル(平成20年4月)

表-2 新潟大堰管理橋の過去の損傷と補修履歴

(平成21年度信濃川水門外総合点検及び新潟大堰管理橋補修設計業務委託成果より)

年度	経緯	1号径間	2号径間	3号径間	4号径間	5号径間	6号径間	備考
昭和44年								可動橋管理計画設計報告書
昭和53年								第1号・第7号架け替え
昭和58年	主桁錆汁・ひび割れ・剥離	主桁錆汁・ひび割れ・剥離	主桁錆汁・ひび割れ・剥離	主桁錆汁・ひび割れ・剥離	主桁錆汁・ひび割れ・剥離	主桁錆汁・ひび割れ・剥離	主桁錆汁・ひび割れ・剥離	管理橋管理対策工法検討書(PC橋部)：第7径間は応力継手の結果、許容値を満足したため補修による対応は選択しなかった(通行止め)
昭和60年	A1継合に幅0.5mの水平クラック、A/SRによる構造劣化	床下腐食調査	ボスラン部(2〜6径間)調査報告	主桁1桁1m深5cmのひび割れ、但し鋼材の腐蝕はない。	床下腐食調査	PC鋼線継ぎ(12桁/13桁)・PC鋼線継ぎ(6桁)	PC鋼線継ぎ(12桁/13桁)・PC鋼線継ぎ(6桁)	管理橋管理対策工法検討書(PC橋部)：ボスラン部調査報告書(2/21)参照。橋身腐蝕・点検と点検
昭和62年	架け替え・架け直し							第1号・第7号架け替え
昭和63年	A1継合A/SRの腐蝕							管理橋ボスラン部設計書・A1継合ひび割れ補修設計書
昭和64年	ひび割れ調査							新潟市PC鋼線継ぎ調査報告書(橋身腐蝕)：A/SR劣化に関する補修、対策(ひび割れ)調査(橋身腐蝕)
昭和65年								塩害防止設置補修工(4〜5径間)
昭和66年								塩害防止設置補修工(5〜6径間)
昭和67年								歩道橋部(ガードレール取り替え)
昭和68年								
昭和69年								
平成元年	プレキャスト新架け替え設計							建設計画業務委託(セントラルコンサルタンツ)
平成2年	管理橋管理対策工(橋脚(5/300)引張調査)							
平成3年	上部工架け替え下部工工事							
平成5年								
平成6年	床下腐食・遊離石戻	床下腐食調査	新潟大堰管理橋管理対策委員会「調査書」参照(文)	遊離石戻	遊離石戻	遊離石戻	遊離石戻	
平成8年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成9年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成10年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成11年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成12年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成13年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成14年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成15年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成16年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成17年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成18年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成19年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会
平成20年	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	床下腐食調査	管理橋管理対策委員会(社)ダム・橋梁管理対策委員会