

13-9 橋梁のリスク評価手法に関する研究

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：七澤利明、真弓英大、飯島翔一

【要旨】

我が国における道路橋の多くは高度成長期に建設され、多くの橋梁が高齢化を迎えようとしている。このように管理橋梁の高齢化が進む中、橋梁の損傷による社会的リスクは今後益々高まっていくものと推測され、厳しい財政制約の中で効率的な管理を行うための手段としてリスク評価手法の確立が求められている。

本研究は、こうした状況を踏まえ、道路橋を構成する部材の損傷リスクを相対的・定量的に評価する手法及びリスク発生による人命や社会への影響について検討を行い、これらを合わせて橋梁管理体系に組み入れるリスク評価手法について提案することを目的として実施するものである。平成 25 年度は近年 (H19～H24) における橋梁被災要因の約 6 割が豪雨や台風による洪水となっていることを踏まえ、過去の洗掘による損傷事例及び洗掘の点検結果の分析を行い、洗掘に着目したリスク評価の検討を行った。

キーワード 道路橋、基礎、洗掘、点検

1. はじめに

1. 1 調査目的

橋梁のかかえるリスクのうち、洗掘に起因する基礎の損傷は非常に大きな重みを持つ。過去の調査で、アメリカ高速道路橋の落橋原因のうち、約 6 割が河床の変動を含む洗掘や側方移動によることが知られている。我が国においては、河川管理者が許可工作物という形で、橋梁の設置位置や形状について非常に厳しく制限をかけており、欧米のような洗掘に起因する大事故は少ないが、それでも近年 (H19～H24) における橋梁被災要因の約 6 割が豪雨や台風による洪水となっている (表-1)。

本研究は、「橋梁のリスク評価手法に関する研究」を構成する「部材の損傷リスクの評価」の一つとして、洗掘による下部構造のリスクについて調査をおこなった。

1. 2 調査方法

この洗掘による損傷リスクを評価するために、過去に見舞われた災害事例や土木研究所への技術支援実績から、

洗掘による損傷事例の調査分析、平成 19 年度に実施された「橋梁の洗掘に係わる点検」の結果分析を行った。

2. 橋梁の洗掘事例

2. 1 平成 10 年 8 月豪雨による洗掘事例

平成 10 年 8 月末の豪雨による福島県・栃木県豪雨災害の現地調査で得られたデータを元に、洗掘による橋梁の洗掘被害事例をとりまとめた (表-2)。この豪雨では 5 日間で累積雨量 1,200mm、時間最大雨量 90mm が記録され、那珂川及び阿武隈川流域で河川堤防の破堤、道路橋の桁流出、斜面崩壊等甚大な被害があった。

この被害の内容を個別に分析すると、大きく収縮洗掘と局所洗掘に分けられた。

収縮洗掘は、川幅縮小に伴って、掃流力が増加することから生じる洗掘である。今回の事例では氾濫原を含む河道部が元の地形や橋梁取付盛土などによって河道が狭窄され、洪水流の極端な収縮によって河床が洗掘されて

表-1 橋梁の被災要因 (H19～H24)

| 年次 | 融雪 | 豪雨 | 台風 | 地震 | 地滑り | その他 | 合計 | 備考 |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----------------|
| H19 | 0 | 65 | 48 | 58 | 0 | 0 | 171 | 能登半島地震, 新潟中越沖地震 |
| H20 | 0 | 39 | 2 | 64 | 0 | 1 | 106 | 岩手宮城内陸地震 |
| H21 | 0 | 22 | 40 | 2 | 0 | 2 | 66 | |
| H22 | 0 | 93 | 8 | 0 | 0 | 0 | 101 | |
| H23 | 0 | 42 | 157 | 329 | 0 | 1 | 529 | 東日本大震災 |
| H24 | 1 | 125 | 10 | 1 | 0 | 1 | 138 | |
| 合計 | 1 | 386 | 265 | 454 | 0 | 5 | 1,111 | |

H19～H24 災害統計より (国土交通省)

いる例が見うけられた。この洗掘は、架橋地点のみならず、周辺の地形や土地利用、堤防などに影響される。

局所洗掘は、橋脚などの河川内構造物の周りの縮流、乱れなどに起因する構造物近傍のごく限られた範囲に生じる洗掘である。今回の事例では水衝部にある橋台が基礎や背面盛土の洗掘によって流出・傾斜したほか、流木による河積阻害により橋台や桁の流出が発生している。なお、通常、我々が橋脚の洗掘と言え、この局所洗掘であり、流水深、流速、河床材料、構造物の形式・寸法、洪水流と構造物の迎角などによって変化する。

1) A橋：収縮洗掘

A橋では、左岸側の橋台がその背後の台地とともに流出し、それが支持する桁が1径間流出している。ここでは、架橋周辺で台地が河道に突き出ており、洪水流の収縮によって、橋梁部だけでなく、突き出た台地が道路やガソリンスタンドごと流失する結果となった。また、流木が大量に集積した記録が残っており、完全に河道を閉塞する状況となっていた。そのため、流木により河道を塞がれた洪水流は、平地の流出部を新たな流路として流下し、橋梁から下流の河道は死水域となっていた。このように河道が流木によって閉塞されたことが、流れを大きく堰上げた主要因となり、橋の上下流で1m強の水位差がある越水が生じ、その結果、橋台や背面台地の洗掘・消失につながったものと思われる。

2) B橋：収縮洗掘

B橋では、右岸側の橋台が取付道路とともに流出し、それが支持する1径間も流出している。残された橋脚や左岸側の橋台に損傷は確認されていない。右岸側は取付道路が10mに渡って流出し、流出を免れた道路上には洪水流の流下跡が残っている。B橋の被災は、本橋の上

流部の右岸側で氾濫原に越流した洪水流が、本橋及び取付道路上を流下して、本橋の下流側で河川に流入。その際に越流・落下した水の勢いによって洗掘が進み、取付道路や橋台ごと流出したものと思われる。

3) E橋：収縮洗掘

E橋では、5径間のうち3径間にわたって桁が流出し、また左岸側の取付道路が150mにわたって流出している。E橋の被災は、谷底地形全体にわたって洪水が流下、谷底地形を横切っていた橋梁及び取付道路が流出したものである。また、橋梁には多くの流木が堆積して残されており、洪水時には流木によって河道閉塞も相当進んだものと思われる。

4) F橋：局所洗掘

F橋では、左岸側橋台が下流側に沈下、傾斜するとともに橋台背面から下流側の河岸が流出している。橋台は下流側で1.2m沈下し、その影響で桁が下流側に40cm程度移動し、そのねじれによって上流側の桁2本にせん断き裂が生じていた。F橋は、河川が右に大きく湾曲している区間にあり、出水時には沈下傾斜した左岸側橋台前面が水衝部となっていた。このため、橋台下流部で洗掘が生じて河岸が流出、下流側からの吸い出しによって橋台背面及び基礎底面の土砂が流出し、橋台の下流側が沈下し、傾斜したと思われる。

2.2 その他の洗掘事例

土木研究所構造物メンテナンス研究センターが把握している近年の洗掘による損傷事例をとりまとめた(表-3)。

1) P橋：局所洗掘

P橋では、耐震補強工事に伴う現地調査において橋脚付近の洗掘が確認された。詳細な調査の結果、橋脚基礎

表-2 平成10年8月豪雨災害における洗掘被害事例

| | 変状 | 分類 | 素因 | 誘因 | |
|----|-----------------|------|---------------|----------------------|--------|
| A橋 | 橋台・桁流出、橋台背面盛土流出 | 収縮洗掘 | 流木による河積阻害 | 地形・橋梁による河道狭窄 | 全面通行止め |
| B橋 | 橋台・桁の流出 | 収縮洗掘 | 上流で越流した洪水流の流入 | 橋梁・取付盛土による河道狭窄 | 全面通行止め |
| C橋 | 橋台の傾斜、桁・背面盛土の流出 | 局所洗掘 | 流木による河積阻害 | 流下能力を上回る洪水 | 全面通行止め |
| D橋 | 橋台の沈下、桁の流出 | 局所洗掘 | 上流で越流した洪水流の流入 | 流下能力を上回る洪水 | 全面通行止め |
| E橋 | 桁・背面盛土の流出 | 収縮洗掘 | 流木による河積阻害 | 谷底地形に橋梁が位置 | 全面通行止め |
| F橋 | 橋台の沈下・傾斜 | 局所洗掘 | 橋台根固めの不十分 | 被災橋台が水衝部 | 全面通行止め |
| G橋 | 橋脚の沈下・傾斜 | 局所洗掘 | 橋脚根固めの不十分 | 架橋位置が水衝部 | 道路閉鎖中 |
| H橋 | 橋脚の沈下・傾斜 | 局所洗掘 | 橋脚根固めの不十分 | 架橋位置が水衝部(橋脚位置が流心) | 全面通行止め |
| I橋 | 橋脚の沈下 | 局所洗掘 | ラーメン式橋脚 | 流下能力を上回る洪水(流心の橋脚が沈下) | 全面通行止め |
| J橋 | 橋台背面盛土の流出 | 収縮洗掘 | 流木による河積阻害 | 橋梁・取付盛土による河道狭窄 | 全面通行止め |
| K橋 | 橋台背面盛土の流出 | 収縮洗掘 | 上流で越流した洪水流の流入 | 橋梁・取付盛土による河道狭窄 | 全面通行止め |
| L橋 | 橋台背面盛土の流出 | 局所洗掘 | 流木による河積阻害 | 桁高の不足 | 全面通行止め |
| M橋 | 橋台背面盛土の流出 | 局所洗掘 | 流木による河積阻害 | 流下能力を上回る洪水 | 全面通行止め |
| N橋 | 前面護岸の洗掘 | 局所洗掘 | 橋台護岸の不十分 | 架橋位置が水衝部 | 全面通行止め |
| O橋 | 背面盛土・道路の流出 | 局所洗掘 | 橋台護岸の不十分 | 橋台の河道法線阻害 | 全面通行止め |

表-3 その他の洗掘事例

| 橋梁名 | 変状 | 分類 | 原因 |
|-----|-----------|------|------------|
| P橋 | 橋脚の傾斜 | 局所洗掘 | 橋脚根固め工の不十分 |
| Q橋 | 橋脚前面護岸の浸食 | 局所洗掘 | 橋脚護岸の不十分 |
| R橋 | 橋台基礎下面の浸食 | 局所洗掘 | 想定外の洪水流入 |
| S橋 | 橋台背面の路面陥没 | 局所洗掘 | 橋台護岸の不十分 |

周辺の護床コンクリート下だけでなく、橋脚下まで洗掘されていることが確認され、橋脚がねじれる方向（上流側と下流側の傾きが逆）で傾いていた。暫定的な対応として、基礎及び護床コンクリートの下を水中コンクリートで充填し、供用を再開したが、交通規制の解除まで約3ヶ月を要している。護床コンクリートの設置から25年が経過しているが、点検記録が無いためどのように洗掘が進行していたかは不明である。

2) Q橋：局所洗掘

Q橋では、台風による増水で護岸とともに上路式ランガー橋の橋脚法面の洗掘が確認された。この時の雨量は、時間最大雨量100mm、連続雨量は512mmであった。詳細調査の結果、地震時にすべり破壊が生じる可能性があることが判明し、通行止めの処置（上り線の対面通行で対応）が取られ、応急対策後の規制解除まで約3ヶ月を要している。この事例では、支持層だと思われた凝灰岩の下に未固結のスコリア層が存在し、豪雨でスコリア層が浸食された結果、基礎としていた凝灰岩が一部崩落したものである。

3) R橋：局所洗掘

R橋では、橋脚基礎の洗掘が確認された。詳細調査の結果、橋脚の傾斜も確認されたため、片側交互通行の規制を行い、高流動性コンクリートで空洞部を充填、3日後に強度発現を確認後、抑え盛土を実施して交通規制を解除している。なお本事例は、台風による増水で支川の水が本川へ流れなくなり、支川が破堤した結果、氾濫した洪水がR橋の橋脚基礎を浸食したものである。本来、洪水流のような流下を想定しておらず、基礎の浸食が急激に進行したと思われる。

4) S橋：局所洗掘

S橋では、当初、橋台背面の路面陥没が確認された。原因調査のためダイバーによる調査の結果、橋台前面の洗掘が確認された（路面陥没から4日後）。洗掘の進行を止めるため、橋台前面に袋詰め玉石を設置して緊急対応を行った後、流動化処理土と鋼矢板打設により恒久対策を実施している。陥没前に急激な河川の増水等は観測されておらず、また、過去にも同様の路面陥没が発生していることから、徐々に洗掘が進行したと推測される。また、河川護岸法面より橋台が突出しているため、フーチング下の砂が流出しやすい条件であったことも洗掘が進

んだ要因の一つであると考えられる。

2. 3 洗掘事例の分析結果

これらの洗掘事例から、以下のことが明らかとなった。

- ・橋梁の洗掘による損傷の要因としては、これまでも知られているように局所洗掘が卓越する。
- ・集中豪雨などによる洪水の発生時には、局所洗掘の他に、収縮洗掘による被災が見られる。
- ・収縮洗掘は、橋梁の構造的要因よりも、架橋条件や周辺地形など地域的な要因により発生する。
- ・R橋で見られるように、想定されていない事象によって損傷が発生した場合は、損傷の度合いも大きい。

3. 洗掘に関する点検調査

我が国における洗掘に主眼をおいた点検事例として、平成19年度に行われた「橋梁基礎の洗掘に係る点検」（以下、特別点検と記す。）がある。この特別点検は、平成9年の台風9号による、橋脚基礎の洗掘に起因すると考えられる橋脚の沈下及び水平移動、上部工の落橋という事態を受けて実施されたものである。

今回の分析は、点検実施記録のある467橋1134基のうち、緊急対応が必要とされた1橋2基、維持・補修が必要とされた103橋158基及びそれと同等程度の洗掘を受けていた橋梁について対象とした。

3. 1 特別点検対象橋梁

特別点検の点検対象橋梁は以下のとおりである。

- ・基礎形式が直接基礎であり、支持地盤が砂または砂礫である橋梁
- ・過去の橋梁定期点検で、洗掘に対する損傷の評価が“c”または“e”と評価された橋梁
- ・過去の道路災害経験箇所調査において、洗掘に対する安定度が“対策又は防災カルテ作成の必要あり”と判断された橋梁

3. 2 特別点検の実施方法

特別点検の実施方法は、以下のとおりである。

- ・橋梁基礎の洗掘状況等を現地調査により直接点検する
 - ・橋梁定期点検における方法による（着目点は以下の項目）
- ① 橋梁軸線がずれていないか
 - ② 橋台・橋脚躯体の傾斜、沈下、ひび割れ等の変状がないか
 - ③ 橋台・橋脚周辺の河床低下はないか
 - ④ フーチングの上面又は下面が露出していないか
 - ⑤ 洗掘深さは進行していないか
 - ⑥ 対策工に変状はないか

3. 3 洗掘条件と架橋条件の分析

平成19年度の特別点検の評価は、①緊急に対応が必要、②維持・補修が必要、③詳細な調査又は継続的な観察を行い対応を検討、④対応不要と分けられている。

対象となった467橋のうち、①緊急対応及び②維持・補修に区分されたのはあわせて104橋であった。このうち、橋台、橋脚の基礎もしくはフーチングの底版まで露出した重度の洗掘を受けた橋梁は11橋あり、橋台、橋脚の基礎もしくはフーチングの上面や一部が露出した中程度の洗掘を受けた橋梁が49橋あった。

この点検結果から見えてくる洗掘による損傷状況は、特に水衝部において顕著であることがわかった。104橋のうち、水衝部に位置する橋台もしくは橋脚があった11橋については、全て重度もしくは中程度の洗掘が確認され、そのうち4橋で重度の洗掘が確認されている。

また、上流部においては、低水量時の流路が橋台もしくは橋脚に近接している場合は、洗掘が確認される事例が多く、9橋でフーチングの重度もしくは中程度の洗掘が確認されている。このように、水衝部や低水時の流路が橋台・橋脚に近接している箇所は、洗掘の被害に至る可能性が高いことがわかった。

3. 4 判定結果の分析

点検調書による点検結果を比較・分析を行った。今回の点検で唯一①緊急対応が必要と判定とされた橋梁は、橋台フーチング下面の一部が露出していた。しかし、この橋梁以外にもフーチング下面の露出が確認された橋梁は全部で10橋あり、橋梁によって、判定の基準や判断が異なっていた。この10橋のうち6橋が②維持・補修、2橋が③調査・観察、残る2橋については判定結果が示されていないかった。

このことから、点検による判定結果だけでなく、個別の点検調書や架橋条件を考慮して、橋梁の洗掘リスクを評価する必要があることがわかった。

4. まとめ

洗掘による橋梁の損傷のリスクを、実際の損傷事例及び橋梁点検結果から調査し、明らかになったことは次の点である。

- ・洗掘による損傷の事例分析から、局所洗掘の事例が多く確認されたが、集中豪雨等による洪水発生時は、局所洗掘の他に収縮洗掘による損傷リスクが高い。
- ・局所洗掘は、河川内構造物の周りの縮流等を起因とする洗掘であり、流水深・流速・河床材料・構造物形式・洪水流と構造物との迎角等で変化する。
- ・通常時は局所洗掘が要因となるが、水衝部付近に構造物がある箇所と、上流部で低水時に流路に橋台や橋脚が近接している箇所で洗掘のリスクが高い。
- ・収縮洗掘は、元の地形や取付盛土等で河道が狭窄され、洪水流の極端な収縮によって洗掘されることから、架橋地点のみでなく、周辺の地形等、地域的な要因が関係している。
- ・点検による判定結果に加えて、個別点検調書や架橋条件を考慮し、洗掘リスクを評価する必要がある。

表-4 特別点検の点検結果一覧

| | 損傷状況 ※橋台、橋脚共に沈下、傾斜なし。 | | | | | 状況 | 点検結果 点検評価 |
|-----|-----------------------|------|------|------|------|----------------------------------|--------------|
| | 基礎地盤 | 河道条件 | 橋台洗掘 | 橋脚洗掘 | 損傷評価 | | |
| T橋 | 砂礫 | | あり | なし | c | A1・A2橋台で洗掘、橋台下面の一部が露出 | 維持・補修 |
| U橋 | 砂礫 | | あり | なし | e | A1・A2橋台で洗掘、A2橋台ではフーチング下面の一部が露出 | 維持・補修 |
| V橋 | 不明 | 水衝部 | なし | あり | c | P6橋脚周辺で洗掘、橋脚底版の一部が露出 | 調査・観察 |
| W橋 | 岩盤 | | あり | なし | e | A2橋台周辺で洗掘、フーチング下面が0.2m露出 | 緊急対応 |
| X橋 | 砂礫 | | あり | あり | c | A1橋台、P1橋脚周辺で洗掘、橋台下面のフーチング下面露出 | |
| Y橋 | 不明 | | あり | あり | | P1橋脚周辺で洗掘、フーチング下面が露出 | |
| Z橋 | 不明 | | あり | なし | c | A1橋台周辺で洗掘、A1橋台の一部で橋台下面が露出 | 維持・補修 |
| AA橋 | 岩盤 | | あり | なし | c | A2橋台周辺で洗掘、A2橋台フーチング下面が露出 | 維持・補修 |
| AB橋 | 土砂 | | あり | なし | c | A2橋台周辺で洗掘、A2橋台フーチング下面が露出 | 維持・補修 |
| AC橋 | 岩盤 | | なし | あり | S | P2橋脚周辺で洗掘、フーチング底面露出も、岩着のため調査観察判定 | 調査・観察 |
| AD橋 | 礫 | | なし | あり | c | P1橋脚周辺で洗掘、フーチング下面が露出 | 維持・補修 |

RESEARCH ON THE RISK ASSESSMENT OF BRIDGES

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Bridge and Structural
Technology Research Group

Author : Toshiaki Nanazawa
Hidemoto Mayumi
Shoichi Iijima

Abstract : The purpose of this study is development of a risk assessment method for highway bridges, which evaluates relative damage risk of the members, and which considers impact on human life and society caused by the damage of bridges.

In FY2013, we analyzed the cases of damages by past scouring and the results of inspection for scouring, we investigated the methodology of the risk assessment focused on scouring.

Keywords : highway bridges, basement, scouring, investigation