

# 洪水時に橋脚洗掘被害を受けた 近年の被災事例に関する調査報告

国立研究開発法人 土木研究所  
○猪股広典、小関博司、新保友啓

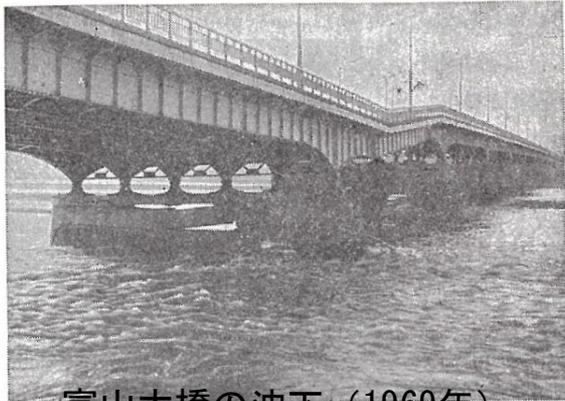
令和5年6月23日

# はじめに

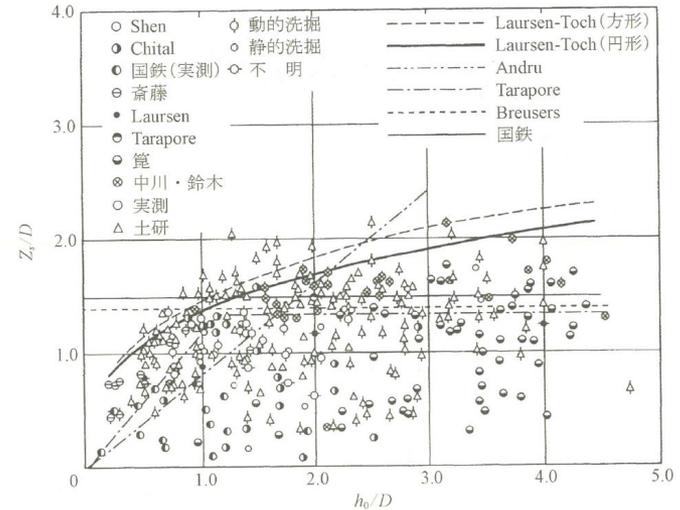
- 近年、洪水時における橋梁の被災事例が毎年のように発生
- 1970年代頃、橋脚の洗掘に関する研究多数。当時の社会的背景を詳細に記す文献はあまり多くはないが、砂利採取に伴う河床低下が一つの要因であったと推測
- 砂利採取が制限されている現在も被害は発生 → 別の被災メカニズムの存在を示唆
- 西川<sup>4)</sup>の分類「圧倒的な超過外力による災害」及び「時間をかけて洗掘が進んだ結果として生じる劣化・損傷の一種」の后者に該当すると考えられる被災事例調査を通じ、メカニズム推定、被害軽減に向けた考察を実施



法雲寺橋の沈下 (2019年)



富山大橋の沈下 (1969年)  
(河川施設等構造令)



Laursen-Toch:  $Z_s/D = K(h_0/D)^{0.3}$  ここで、方形  $K=1.5$ 、円形  $K=1.35$  . Andru:  $Z_s/h_0 = 0.8$  . Tarapore:  $h_0/D > 1.15$  の時、 $Z_s/D = 1.35$  .  $h_0/D \leq 1.15$  の時、 $Z_s/h_0 = 1.17$  . Breusers:  $Z_s = 1.4 D$  . 国鉄:  $Z_s = 1.5 D$  .

図 2-723 平衡最大洗掘深さに関する実験値と推定値の比較

## 水理公式集

# 実施内容

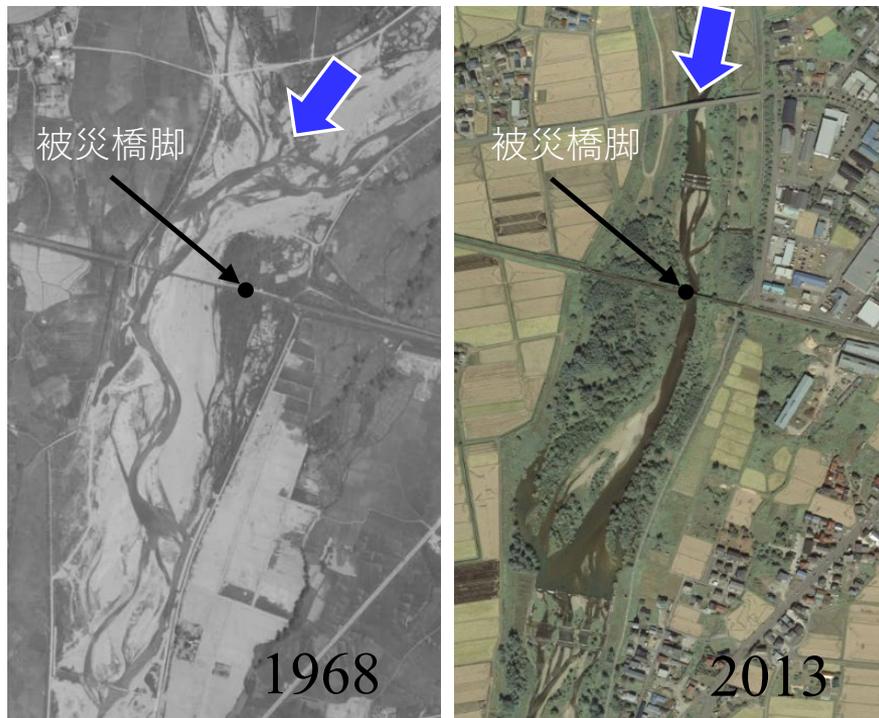
- 2019年から2022年の間に、被災時において上部工までの水位上昇は生じずに橋脚の沈下に至った6事例について事例調査を実施
- 基礎形式、竣工年、航空写真による河道平面形変遷の調査、縦断勾配、橋梁架設近傍の河道横断データ、河床材料情報等の情報を可能な範囲で入手し、これらの情報を基に定性的に検討
- 河道横断データが入手できた事例（B、C、F橋）については横断形状の変遷から水域部と陸域部における比高差拡大が確認された場合、河道横断データが入手できなかった事例（A、D、E橋）については航空写真から樹林化を伴って経年的な主流路固定が確認される場合に二極化が生じていると判定

## 調査対象とした橋の諸元 （※黄色マーカを施した3橋梁は、現地調査を実施）

橋梁	管理者	基礎形式	竣工年	被災年	橋長	径間長	河床勾配	主な河床材料	セグメント区分	河道二極化 ○有 ×無
A橋	国	直接基礎	1959	2019	約60m	約8m	1/60	砂利	1	○
B橋	県	ケーソン	1962	2021	約340m	約75m	1/300	D <sub>50</sub> = 26.2 mm	1	○
C橋	県	ケーソン	1953	2021	約80m	約15m	1/230	砂利	1	×
D橋	市	直接基礎	1987	2021	約110m	-	1/40	D = 19 mmより大きい粗礫多数	M	×
E橋	鉄道	直接基礎	1904	2022	約300m	約25m	1/150	D = 19 mmより大きい粗礫多数	1	○
F橋	県	ケーソン	1957	2022	約340m	約25m	1/570	D <sub>50</sub> = 9.5 mm	2-1	○

# 調査結果(E橋)

- (平面形状の変遷) 1968年当時、滯筋は右岸側に存在。E橋の上下流には礫河原と考えられる白い範囲が存在しており河床材料が活発に動いていたと推定。一方2013年の航空写真からは、滯筋は中央から左岸側に移動し、そこに被災橋脚が位置。右岸側の砂州上には多くの樹木が繁茂しておりこの位置における滯筋の長期間の固定化、それに伴い被災橋脚周辺の河床が継続的に低下していた可能性が示唆。
  - (洪水痕跡) 上流側においては左岸側の痕跡と堤防の間の距離は約50m、右岸側の痕跡は不明瞭。下流側においては右岸側の痕跡と堤防の間の距離は約100m程度、左岸側においては低水路から数mの位置に痕跡が存在。これらの状況から洪水流は低水路中心に流下し、砂州上への冠水は限定的であったと推定。
- (推定被災要因) 固定化された滯筋上に被災橋脚が長期間位置し、河床低下が進行して根入れが徐々に浅くなった状況で2022年洪水を迎えた。その時の洪水が低水路を中心に流れることで洗掘・沈下が発生。



上下流河道の航空写真

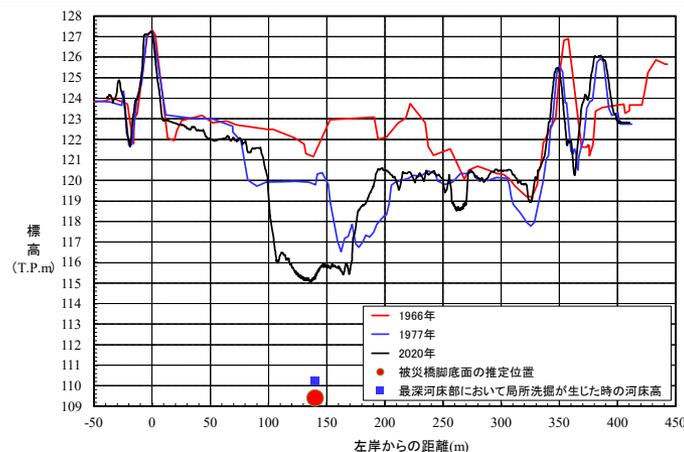
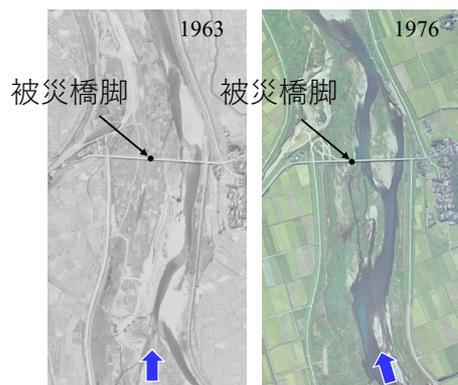
(国土地理院地図・航空写真閲覧サービス)



洪水痕跡 (上：上流側、下：下流側)

# 調査結果(F橋)

- (平面形状の変遷) 1963年の航空写真では右岸側に滯筋が存在。その後2005年においては流路は1つとなり中央からやや左岸よりに移動。2009年の滯筋位置は2005年と同じ位置であり、その滯筋上に沈下した橋脚が位置。2009年の航空写真からは一部の樹林化が確認。2009年の航空写真からはF橋上流の右岸側に礫河原の存在が確認できるものの、現地調査を実施時(2022年)においてはこの範囲についても草木に覆われていたことから、砂州上では全面的に樹林化が進行していたと想定。
- (横断形状) 1966年の測量では右岸側にあった滯筋が、1977年の計測では左岸方向に移動。2020年においては最深河床高は左岸側から約140mの位置にあり1966年の河床高と比較すると2020年は約6m河床が低下し滯筋の河床低下が進行(=被災橋脚の根入れ減少)
- (洪水痕跡) 左右岸共に痕跡と堤防までの間の距離は100m程度。⇒砂州上への冠水は限定的、洪水流は低水路にほぼ集中。  
→ (推定被災要因) 固定化された滯筋上に被災橋脚が長期間位置し、河床低下が進行して根入れが徐々に浅くなった状況で2022年洪水を迎えた。その時に発生した洪水の多くが低水路に集中することで洗掘・沈下が発生したと推定。ただし、最深河床部において局所洗掘が生じた際の河床高の推定値と比較して、橋脚基礎の下面は深い位置にあると推定。この状況において沈下が生じたメカニズムについて、上記以外の要因も視野に入れた検討が今後必要。



横断面図

洪水痕跡 →  
(上：上流右岸側、下：上流左岸側)

← 航空写真  
(国土地理院地図・航空写真閲覧サービス)



# 調査結果(D橋)

- 2021年に発生した洪水の際、橋脚基礎部の河床を構成していた土砂の流出に伴うフーチング露出が発生
- 当該河川の計画高水流量が $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ で設定されているのに対し、近傍雨量観測所の雨量観測値と合理式を用いて推定した洪水時のピーク流量は $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、決して大規模な洪水ではなかった。
- 現地調査の結果、D橋の橋脚周辺の河床はもともとD橋の約150 m下流に設置されている床固工により維持されていた。その床固工を調査した結果、床固工を構成するブロックの流出が確認された。出水の度に上流から運ばれてくる巨礫を含む土砂が床固工を構成するブロックに衝突することでブロックが徐々に損傷し、最終的に2021年の出水によりブロックが流出→床固工の決壊→床固工により維持されていた河床の土砂流出→フーチング露出に至ったと推測



D橋および上下流の河道 (Google Earth)

# 考察

## 1. 被災要因の共通性

- 主たる河床材料が砂利
- 6橋のうち4橋の河道では河道の二極化が発生

→砂利地盤の河川においてはN値が大きい支持層の位置が浅く構造上必要となる根入れが小さいため、結果的に河床低下・局所洗掘による被災に至りやすいとする諏訪の指摘<sup>1)</sup>と整合

→従来の被災事例として挙げた砂利採取に伴う河床低下に起因する沈下、大洪水時の水位上昇に伴う取付盛土流出、橋脚・橋台の被災、上部工流出とは異なる被災形態として、近年顕在化・事例が増加

→二極化が生じている河道と生じていない河道を比較した場合、降雨規模が同じでも二極化が生じている河道の方が滲筋部分に働く掃流力が大きくなり、二極化の進行が促進されることが考えられる。今後は二極化に関する水理的な解析を実施し、より定量的な現象把握を行うことが必要。

## 2. 二極化に起因する被災の被害軽減に向けて

二極化に起因して生じる沈下被災は、2.において述べたように航空写真による河道の変遷、植生繁茂状況、河道横断測量結果等から予見、対策できる余地が（超過洪水対応と比較して）大きいと考えられる。

### ① 河床の状態把握

- 河川管理者による定期横断測量が行われている河川に存在する橋梁  
道路管理者は河川管理者が有する横断測量の結果や空中写真等による二極化発生有無の把握が必要
- 河川管理者による横断測量が行われていない河川に架橋されている橋梁
  - 道路管理者自ら橋脚周辺の洗掘状況や周辺の河床形状について測量を実施する等による情報収集が必要
  - ALB計測をはじめとして高精度な測量技術が利用可能であるもののコスト面での懸念もあるため、洗掘のリスク把握を目的とした場合に測量に求められる精度要件を整理した上で、コストと精度のバランスに優れた測量方法を選択することが重要

### ② 洗掘・沈下の恐れがある橋梁が発見された場合の対策

- ソフト対策：出水時の適切な通行規制の執行による利用者の安全確保。通行規制を実施する基準となる雨量や水位を予め設定しておき、基準を超過する雨量や水位が観測された際には速やかに通行規制をかける体制の構築
- ハード対策：橋脚周辺への護床工の設置や橋脚の根継ぎ、河床低下対策として橋梁下流での落差工の設置等が二極化した河道においても適用可能であると想定されるものの、各々の対策について二極化した河道における効果の持続性や施工時の労力等の観点から知見の蓄積・整理が必要

今回報告した被災事例について、被災前に洗掘リスクの事前認知が可能であったのか、交通規制を導入する場合の雨量・水位等の基準の設定方法、ハード対策を実施した場合の効果の有効性や労力の評価が知見の蓄積に向けて有効

## 3. 砂河川における洗掘リスク評価

# 考察

- 本報告は西川<sup>4)</sup>の「時間をかけて洗掘が進んだ結果として生じる劣化・損傷の一種」に関する調査・考察が主体であるが、今後の気候変動に伴う洪水外力増大が想定される状況においてはもう一つの分類である「圧倒的な超過外力による災害」への対応についても同時に考慮することが必要。河積の観点からは時に両者は背反的關係であることが想定され、両者のバランスを考慮することが必要。
- 超過洪水発生時においては、取付盛土の流出、橋台背面側からの侵食、上部工の桁高まで上昇する水位や上部工での流木の補足等が複合的に生じるため、予めどのような現象が発生するかを予測して対策を立てることは技術的な難易度が高くなる。河川施設等構造令施行以前に建設された橋梁（既存不適格）は、施行以降に建設された橋梁と比較して河積阻害率等の観点から被災しやすい構造であるため<sup>11)</sup>、既存不適格橋梁については被災した後に速やかに架け替えに着手するための事前設計することが一つの手段

	徐々に進行する洗掘	超過洪水
リスク認識	<ul style="list-style-type: none"> <li>河川管理者が有する情報（河道横断測量データ等）の道路管理者との共有等を通じた洗掘リスクの共有</li> <li>河川管理者による横断測量が実施されていない橋梁においては、洗掘リスクの把握を目的とした測量の実施</li> <li>砂河川における洗掘リスクに関する事例検討</li> </ul>	既存不適格橋梁の存在認識
河道状態の制御，対策	二極化河道における効果的な洗掘対策方法による予防保全	—
二次被害軽減のための事前の備え	—	被災した後に速やかに架け替えに着手するための事前設計
ソフト対策	洪水発生時において速やかに通行止めするための基準、	体制の確保

# まとめ

- 2019年以降に発生した6件の沈下被災事例について、航空写真等を通じて被災要因の推定を行った結果、調査した6件中4件が砂利区間における河道の二極化が被災の一因であると考えられ、これまで発生してきた砂利採取に伴う河床低下に起因する沈下、大洪水時の水位上昇に伴う取付盛土流出、橋脚・橋台の被災とは異なる被災形態として近年件数が増加していることが分かった。
- これに向けた対策として、河川管理者が有する横断測量結果の道路管理者との共有をはじめとする道路管理者と河川管理者の間の情報共有が重要であるとともに、ソフト対策として出水時の交通規制の確実な執行、ハード対策として二極化発生河川における各種対策の効果や労力の評価が今後必要となること、超過外力への対応を同時に考慮することの必要性等について述べた。