# 局所洗堀による橋脚沈下の基礎的水理実験

Hydraulic experiment on pier subsidence by local scouring

北見工業大学 工学部	○学生員	稲垣颯栞(Soushi Inagaki)
北見工業大学 社会環境系	正会員	渡邊康玄(Yasuharu Watanabe)

### 1. はじめに

平成27年9月関東・東北豪雨,平成28年8月台風第 10号,平成29年7月九州北部豪雨,平成30年7月豪雨, 令和元年9月台風第15号,令和元年10月台風第19号な ど,近年,台風や低気圧による被害が全国各地で発生して いる.その中でも橋梁の被害は復旧に長い時間を要する ことなどから特に多くの人々に影響を与えている.出水 時の橋梁の被災を防ぐためには,橋脚やフーチングの根 入れ深さは極めて重要な項目の一つである.このため,橋 脚周辺の局所洗堀に関する研究が従来から進められてい る.しかし,実際の河川で橋脚沈下の挙動は,濁水によ って観測できず,減水期には埋め戻しが発生するため橋 脚の洗堀機構は正確に明らかになっていない.

橋脚の洗堀機構解明は、今後起こる可能性のある出水 時における落橋などの対策手法の立案や橋脚の根入れ深 さの決定に不可欠な項目である.本研究では、2018年7 月に橋脚の沈下によって被災をした北海道遠軽町で一級 河川湧別川に架かるいわね大橋(橋長 336.6m,全幅員 9.9m) に着目し、橋脚周辺の洗堀機構を解明するための第一歩 として、基礎的な水理実験を行うこととした.橋脚周辺 の局所洗堀に関する既往の実験では橋脚のみを使用して いることがほとんどであるが、実際の橋脚にはフーチン グが設けられている場合が多いことから、本実験ではよ り現実に近い状況を再現することがほとんどであるが、 実際の橋脚にはフーチングが設けられている場合が多い ことから、フーチングも加えた橋脚模型を用いて実験を 行った.

#### 2. 2018年7月の湧別川といわね大橋の被害概要

2018年7月1日から7月5日の5日間にかけて,停滞 する前線と台風7号から変わった温帯低気圧による大雨 が北海道を襲った. 湧別川流域でも約80mm~160mmの降 水量であった.この降雨を含む2018年7月の月降水量が 統計開始以来最大のものとなったアメダス地点は20地 点を超えた<sup>1)</sup>.この大雨によって北海道オホーツク地方 の湧別川(計画確率年1/100)は確率規模1/15(遠軽地 点基準)の洪水(以降2018年7月出水とする)となった.







写真-1 被災したいわね大橋の橋脚(北海道オホーツ ク総合振興局網走開発建設部提供)

図-1 はその際の流量と水位を表したグラフである<sup>2)</sup>.こ の出水は計画流量と比べて小さな出水であったが,湧別 川のいわね大橋がフーチング下部の河床洗堀による沈下 で橋桁が折れ曲がり,橋脚が破損するという被害を受け た.いわね大橋では1980年以降河床低下が多少観測され ていたが1991年以降は局所的なものを除いて観測され ていない.

2018年7月出水時に北海道開発局網走開発建設部が雨 量の増加に伴って道路異常時パトロールしており,7月4 日午前7時15分の時点では異常が見られなかったが,8 時45分には橋脚の沈下と上部工の損傷が住民から警察 への通報によって確認された<sup>3)</sup>. 写真-1は被災後の橋脚 の写真である.

# 3. 水理実験に用いた水路と実験条件

## 3.1 実験水路

実験では長さ7m,幅40cm,高さ30cmの直線可傾斜 水路を使用し、水路の底に約10cmの厚さで後述する粒 径の珪砂を敷いて移動床とした.橋脚の模型は図-2のよ うに上流端から4.9mのところに配置し、観察しやすい ように水路の左岸側の側面にフーチングの側壁が添うよ うに設置した.このため、左右岸方向の流れが側壁の影 響を強く受ける条件となっており、この影響を含んだ実 験となっている.

#### 3.2 実験条件

橋脚周辺の局所洗堀を再現するため,現地と模型の形 状や水深が同一の縮尺となるように設定するとともに, 出水時の無次元掃流力が現地と模型実験で一致するよう に水理量を設定した.



図-2 実験水路の概要

具体的には水路幅や水深,河床材料の粒径を現地の縮尺 1/120 とするとともに,2018 年 7 月出水時の遠軽観測 所でのピーク流量時における無次元掃流力になるように 初期河床勾配を 1/200 とした.実験に用いた河床砂の平 均粒径は 0.7mm である.図-5 にいわね大橋の橋脚模型の 大きさを示す.この条件の実験を Case1 として,勾配を 1/400 としてそれ以外の条件を Case1 と同じとしたもの を Case2,模型の橋脚部分を大きくし,水理量などを Case2 と同じにしたものを Case3 として計 3 種類の実験 を行った.実験の水理条件を表-1,2 に示す.

給水を開始し、水が橋脚の上流端に触れた時点を通水 開始とし、10分ごとに流量を記録するとともに、水路側 壁を通して橋脚周辺の洗堀状況を動画撮影を行った.各 ケースの流量観測結果を図-3,4にそれぞれ示す.なお、 Case3は約30秒で橋脚が倒れたので流量は測定していな いが Case2とほぼ同じ流量である.





表-1	Case1	の実験条件
~ ~ ~		

設定流量 (cm³/s)	水深(cm)	河床 勾配	流速(cm/s)	フルード数	無次元掃流力
7698.7	3.8	1/200	57.7	0.95	0.21

表-2 Case2, Case3の実験条件

設定流量 (cm³/s)	水深(cm)	河床 勾配	流速(cm/s)	フルード数	無次元掃流力
7698.7	3.5	1/400	55.3	0.95	0.09

#### 4. 実験結果

#### 4.1 Case1 の実験結果

写真-2 は通水してからの橋脚模型とその付近の河床 の写真で、水は右から左に流れている.いずれのケース でも常流ではあるものの流れが限界流に近いため反砂堆 が形成された.

Case1 では橋脚の上流端が通水開始から洗堀され始め たが、河床波の峰が通過するたびに埋め戻しが生じてい るため、総じてあまり変化がなかった.ただし、橋脚があ る部分ではフーチングまで到達してはいないが洗堀が多 少確認された.



図-5 橋脚模型の規格





図-6 橋脚寸法変更後の規格

Case1 で河床波の形成による埋め戻しが洗堀の進行を 遅らせていることが考えられたことから勾配を緩くする ことで無次元掃流力を小さくして小規模河床派の影響を 極力抑えた実験を Case2 行った.

図-7 は実験中の河床変化を表したものである.なお, 暖色になるほど時間が経過している.またそれぞれの河 床は変化が大きかった時間を抜粋したものであり,図に 示している以外の時間でも同じような変化が繰り返され ていた.

洗堀深は Casel と比べて深くなり,フーチング上面より深く洗堀された.しかしながらフーチング下端から 0.78cmより低い河床は洗堀されず,橋脚の傾斜や沈下は 確認できなかった..

## 4.3 Case3 の実験結果

いわね大橋の被災直後の状況を撮影した写真-3 を見 ると、橋脚の上流側に樹木が集積いることが分かる.こ のことから集積した樹木によって橋脚の幅が増大したよ うな状態となったため局所洗堀が進行し、橋脚の沈下に 至ったと推測される.このことから、Case3として模型の 橋脚を横断方向に2倍にして行うこととした.

なお,橋脚の横断方向の長さ以外の橋脚とフーチング の寸法は,変更していない.

図-8 は通水してから橋脚が傾斜・沈下するまでの河床 変化を表したものである.



写真-2 Caselの橋脚模型の様子



写真-3 被災直後のいわね大橋(北海道オホーツク 総合振興局網走開発建設部提供)

通水開始直後から洗堀が開始し,5 秒後にはフーチン グまで到達した.さらに 10 秒後にはフーチング下端より も深くなり,下流側に進行している.そして 15 秒,20 秒 と経過すると洗堀深はあまり深くへは進行はしなくなり フーチング下端の河床を洗堀し始め,洗堀がフーチング の約半分に達した約 30 秒後に右岸側に倒れる結果とな った.

橋脚が左岸側壁に沿って設置したため,実験結果には 側壁の影響が含まれている.この影響について確認する ため,橋脚模型を水路中央に設置して,その影響の確認 実験を行った.橋脚模型の設置個所以外は,Case3と同一 の条件での実験である.

水路の中央に置いた場合は、左岸側に置いたときより も局所洗堀により橋脚模型が倒れるのが早かった.ただ しフーチング下の河床の洗堀については目視することが できなかった.

5. 考察

橋脚部分を倍にした状態で洗堀が進行し倒れたこと から,水に触れる面積が大きいほど洗堀は進みやすいこ とがわかる.これは流水に対する投影面積が大きいほど 潜り込む流れが大きくなるためと考えられる.

また,右岸側に倒れたのはフーチング下の洗堀に伴う 支持力低下が右岸側のほうが大きかったものと推測され る.

さらに、通水直後の状況を映した写真-4と通水から7秒 後で洗堀がフーチング下端に到達した時の状況を映した 写真-5とを見比べてみると、フーチングに到達してから 洗堀の幅が横断方向に大きくなっていることがわかる. また、その後の洗堀がフーチング到達前と比べて遅くな っている.これは、より広い範囲が.洗堀を受けることに なるため、洗堀に時間をより多く要するためと考えられ る.

また,水路中央に橋脚模型を設置した場合に倒れるの が早かった理由として側壁近傍に置いた場合,側壁の影 響により局所洗掘の原因となる潜り込みの流れが弱くな ったものと考えられる.

#### 6. おわりに

本論文では橋脚の洗堀機構の解明を目的にフーチン グを含めた橋脚模型を用いて定流実験を行った.結果と して洗堀を起こすことができ、上流側の橋脚部が集中的 に洗堀されることが分かった.また、洗堀速度がフーチン グ到達前と後で異なることから、フーチングは橋を支え る以外にも、洗堀の進行を遅らせる機能を有するものの、 フーチング下部の洗掘が橋脚の沈下に大きく関係するこ とから、さらなる詳細な検討が必要と考えられる.

今回は洗堀の状況を観測するために左岸側の側壁に接 する形で模型を設置して実験を実施した. 側壁の影響を 受けない位置での実験を実施し,倒れ方や洗堀のされ方 をより詳細に把握する必要がある.

また,水路の側壁から観察したため,最も洗堀深が大き いと思われる橋脚模型の中心の下端より深い河床が観測 できていない.さらに,河床高が模型下端より深い場所で



図-8 Case3の河床変化

最大洗堀深は約 2.5cm



写真-4 通水開始直後の橋脚の様子



写真-5 洗堀がフーチング下端に到達した際の橋脚 の様子(通水から約7秒後)

詳細な実験を行い,洗堀が進行する条件等を確認する必 要がある.

# 参考文献

- 気象庁札幌管区気象台:停滞前線による大雨(2018 年7月), https://www.jma-net.go.jp/sapporo/t enki/kikou/tokucho/kencho\_summer2018.html(閲覧 日:2021年12月9日)
- 国土交通省、国土交通省水文水質データベース、htt p://www1.river.go.jp/,(閲覧日:2021年12月9日)
- 株式会社鋼構造出版,道路構造物ジャーナルNET:オホーツク総合振興局網走建設管理部いわね大橋復旧工事の軌跡,https://kozobutsu-hozen-journal.net/walks/detail.php?id=224&page=1(閲覧日:2021年10月11日)