

4. 河道の流下能力を上回る洪水時に生じた橋台周辺の被災機構

本章では、橋台、橋脚、床版を「橋梁本体」と呼び、橋台、橋脚、床版以外も含む全ての上部構造、下部構造、上下部接続部、及び橋台背面アプローチ部を総称して「橋梁」と呼ぶ。

表-1.1 からもわかるように、調査対象とした橋梁被災の共通的特徴として、橋台及びその周辺の損傷が挙げられる。また、これらの被災は、河道の流下能力を上回る洪水規模において生じたことも共通事項として挙げられる。上記のような規模の洪水によって橋梁本体が被災した場合、交通ネットワーク自体の復旧に長い期間を要することにより、被災地域においては洪水による直接的影響のみならず、地域社会の営みへの影響が中長期的に続くことも懸念され、これらの影響を可能な限り小さくするための対策が求められる。このうち、河道の流下能力を大きく上回る洪水が生じた場合、橋梁の被災が一定程度生じることをやむを得ないものとし、「橋梁の壊れ方を一定程度制御」することにより、被災後の施設復旧を短期間で完了させ、さらには地域社会の復旧対応のより迅速な開始を実現するための戦略も、今後の選択肢となり得ると考えられる。このような対策技術を得るためにはまず、洪水中の河道変化に応じ、橋梁周りで生じる局所的な変化の過程を把握する必要がある。しかし、橋台及びその周辺の被災パターンについては、河床洗掘等に伴い発生する橋脚の損傷に比べ知見が少ない現状にある。そこで本章では、上述した戦略を念頭に、調査事例とした5橋梁の被災実態の整理及び移動床模型実験を行い、橋台及びその周辺の被災に至る過程と、その発生要因となる移動床の水理現象の把握を試みた。

4.1 調査対象とした橋梁の被災実態の整理

調査対象とした橋梁の橋台周辺に関する被災実態及び橋台の構造、橋台設置当時の河床形状と橋台基礎高との関係を、表-4.1.1 に示す。表中、埋戻し量（橋台基礎高から橋台近傍の地盤高までの差分）については、各橋梁の設置当時あるいは過去の復旧当時の側面図に記載された河床横断形状をもとに読み取った。表-4.1.1 から得られた知見を以下に示す。なお、表-4.1.1 に示すとおり、調査対象である橋梁の橋台基礎形式は全て直接基礎であることを踏まえ、これ以降に用いる橋台基礎高は、フーチング下面高を示す。また、3.4 節（小林橋）において、流木による水位せき上げが河岸侵食を助長した可能性が指摘されているが、対象とした5橋梁すべてに共通したものではない。このことを踏まえ、流木堆積は必ずしも河岸侵食の主要因ではないと考え、以下の考察の対象外とした。

- 1) 対象とする橋台の基礎形式は全て直接基礎であった（共通事項）。
- 2) 橋台の変位がない橋梁には、背面盛土の上流側が一部侵食されていた橋梁（高原大橋）と、下流まで侵食が到達し流路が形成されていた橋梁（清見橋）があった。これより、背面盛土は上流側から下流方向に侵食が進行し、盛土下流端への到達により、橋台背面に流路が形成されるものと考えられる。

- 3) 橋台が沈下・傾斜した橋梁においては、出水後の背面盛土は上流から下流まで侵食されており、橋台背面に流路が形成されていた（九線橋、千呂露橋、小林橋）。
- 4) 出水前に橋台前面（河道中央側）に位置していた河岸が、出水後には橋台裏側（堤内地側）へ大きく侵食されていた（九線橋、千呂露橋、小林橋、清見橋）。但し、侵食の進行が途中で止まり、橋台背面に流路が形成されなかった橋梁においては、橋台上流側の河岸が優位に侵食されていた（高原大橋）。
- 5) 橋台が沈下・傾斜した後に橋台上の路面を越流したことがあったものの（千呂露橋）、橋台上の路面を越流するような水位が生じなくても、橋台及びその周辺が損傷する場面があった（九線橋、小林橋）。
- 6) **写真-3.4.1** 及び**写真-3.4.2** からわかるように、小林橋では橋脚付近の路面の亀裂幅が広がっており、沈下・傾斜した橋台は、横断方向に元の河道方向とは逆となる堤内地方向に傾斜していることが推察される。従って、橋台が河道方向に沈下・傾斜後に、洪水流が通過するような橋台・背面盛土間の小さな空隙が形成されなくとも、橋台背後に流路が形成され、場合によっては橋台が沈下・傾斜に至る場合がある。
- 7) 上記1)～6) より、調査対象とした5橋梁における橋台及びその周辺の損傷は主に、河岸侵食に起因する橋台近傍の河床高（地盤高）低下によるものであることが有力視される。また、橋梁及び背面盛土等が水没するほどの水位でなくても、この被災パターンが生じることを示している。

表-4.1.1 橋台周辺の被災実態及び橋台と河床形状との関係

	高原大橋	九線橋	千呂露橋	小林橋	清見橋
橋台の変位状況	変位なし	上流側へ沈下・傾斜	下流側へ沈下・傾斜	上流側へ沈下・傾斜	変位なし
橋台背面盛土の侵食状況	上流側のみ侵食	上流から下流まで侵食し、橋台背面に流路形成	上流から下流まで侵食し、橋台背面に流路形成	上流から下流まで侵食し、橋台背面に流路形成	上流から下流まで侵食し、橋台背面に流路形成
橋台越流の有無	越流なし (写真より判読)	越流なし	橋台沈下後に越流 (写真より判読)	越流なし (写真より判読)	越流なし
橋台基礎形式	直接基礎	直接基礎	直接基礎	直接基礎	直接基礎
埋戻し量(基礎高から地盤高までの差分を測)	3~4.5m	3~3.7m	5m	3.2~4.6m	3.7~6m

4.2 基本的な被災機構把握のための移動床模型実験

河川の施設能力を上回る洪水によって生じた、橋台及びその周辺の損傷に関する基本的な被災メカニズムを把握することを目的とし、5つの調査事例のうち、九線橋（石狩川水系辺別川）を代表事例として選定し、移動床模型実験による現象の再現を試みた。

4.2.1 実験条件及び実験ケース

実験のモデルとした九線橋（石狩川水系辺別川）の、被災前航空写真を写真-4.2.1.1に示す。九線橋より上流約190mに床固工が設置されており、本実験ではこの地点を模型上流端とした。床固工から九線橋に向かって、右岸側が外岸となる湾曲部となっており、九線橋付近で河道法線の変曲点を迎え、直下流側で左岸側が水衝部となった後、直線河道となる。本実験ではこの直線河道部分を模型下流端とし、九線橋を中央付近とした延長430m程度の区間を対象とした。

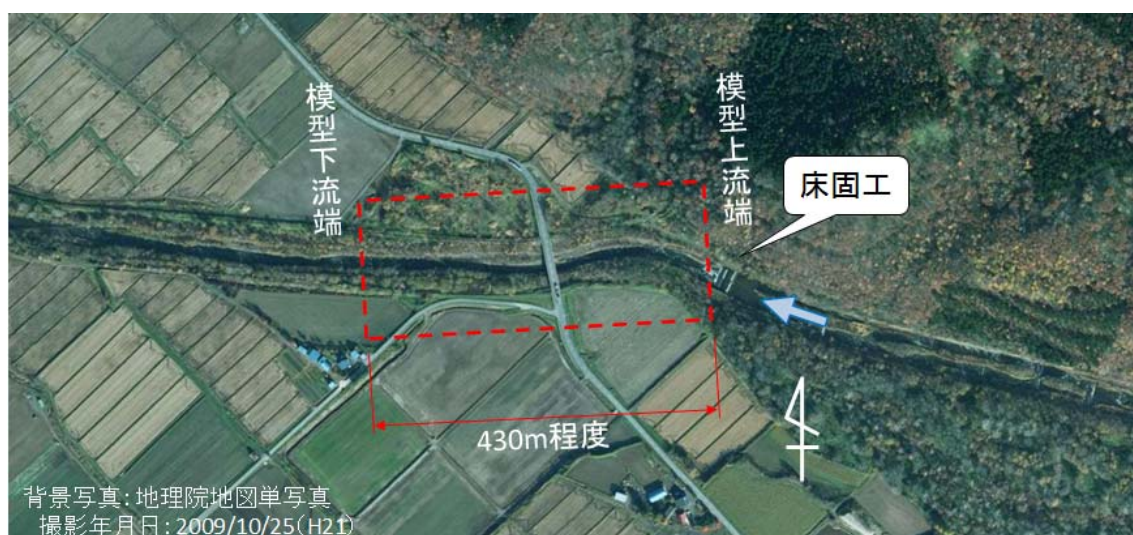


写真-4.2.1.1 九線橋周辺の航空写真と実験範囲

1) 実験条件

辺別川の河道情報を参考に、フルードの相似則を満足させ、模型縮尺を1/120に設定した。模型で設定した諸量を表-4.2.1.1に示す。実験条件のうち無次元掃流力： $\tau_* = U_*^2 / sgd$ 、水深粒径比： h/d 、河道幅水深比： B/h 、河床材料水中比重： s を実河川と合わせ、移動床の相似則を満足させた。ここに、 U_* ：摩擦速度、 g ：重力加速度、 ν ：動粘性係数である。なお、粒子レイノルズ数： $Re_* = U_* d / \nu$ が実河川と模型水路とで異なる。粒子レイノルズ数は実験条件でも十分大きく、小規模河床波発生による流れへの抵抗増が生じず、移動床の相似則を満たすものと考えた（第二義的な量）。

模型水路の横断形状は、辺別川の出水前河道の河床横断形状に基づき設定した。但し、

低水路部の河床は平坦とした。4.1に示したように、今回調査した橋台周辺の損傷事例は、河岸侵食に起因するものと推察される。通常、実河川では低水護岸が設置されていることが多いが、本実験では、河岸侵食を起点とした橋台周辺の損傷過程を確認するため、低水護岸に相当する模型は設置しない条件とした。言い換えれば、大きな外力により低水護岸が被災・流失した後の河道変化と、その変化が橋台周辺に影響を及ぼす過程を調べるものである。

2) 実験ケース

1) で設定した模型に、九線橋を模擬した橋梁本体（橋台、橋脚、床版）及び、橋台背面盛土を設置した。橋梁本体については、九線橋の形状を縮尺 1/120 で製作し、そのうち橋台及び床版の比重は現地と等しくした。本実験は、橋台及びその周辺の基本的な被災機構の把握が目的であることから、橋脚を固定し、河床洗掘等による変位が起こらないようにした。実験前の模型の概観を写真-4.2.1.2に示す。

実験ケースを以下に示す。いずれのケースも、水路上流端では無給砂条件とした。

①橋台変位ありケース

- ・縮尺 1/120 で製作した九線橋の橋台を設置し、河床高変化により橋台が変位し得る条件とした。
- ・橋台基礎高は、九線橋設計図を参考に設定した。

②橋台変位なしケース

- ・橋台を鉛直下向きに伸ばし、水路床に固定することにより、河床高変化により橋台が変位しない条件とした。

表-4.2.1.1 設定した実験模型の諸量

項目	条件	現況値 (辺別川)	実験模型 縮尺：1/120
	河道延長	L (m)	430
河道幅	B (m)	12	0.10
河床材料粒径	d (mm)	130 (d_{60})	1.1 (一様)
土粒子水中比重	s	1.65	1.65
河床縦断勾配	I	1/60	1/60
流量	Q (m ³ /s)	350	0.0022
水深	h (m)	3.8	0.032
無次元掃流力	τ^*	0.30	0.30
水深粒径比	h/d	29	29
川幅水深比	B/h	3.16	3.13
粒子レイノルズ数	Re^*	101403	77.1



i) 全景



ii) 設置した橋梁と背面盛土



iii) 右岸側橋台（左岸上流より臨む）



iv) 右岸側橋台（左岸下流より臨む）

写真-4.2.1.2 模型の概観（実験前）

4.2.2 実験結果 ～①：橋台変位ありケース～

通水後の右岸側橋台周辺の状態を写真-4.2.2.1～写真-4.2.2.4 に示す。それぞれの写真を、出水後の九線橋（辺別川）周辺の航空写真等と比較した結果、右岸側の橋台及び床版の沈下・傾斜の状況や、河岸侵食後の河道形状について、実際の状況を極めて良く再現できていることがわかる。従って、本実験ケースでの河道及び橋台周辺の変化過程を調べることで、基本的な被災メカニズムが把握できる可能性が大きい。



写真-3.2.1 上空写真（美瑛町提供）（再掲）



写真-4.2.2.1 通水後の状況（下流より上流方向を臨む）



写真-3. 2. 2 上空写真（美瑛町提供）（再掲）

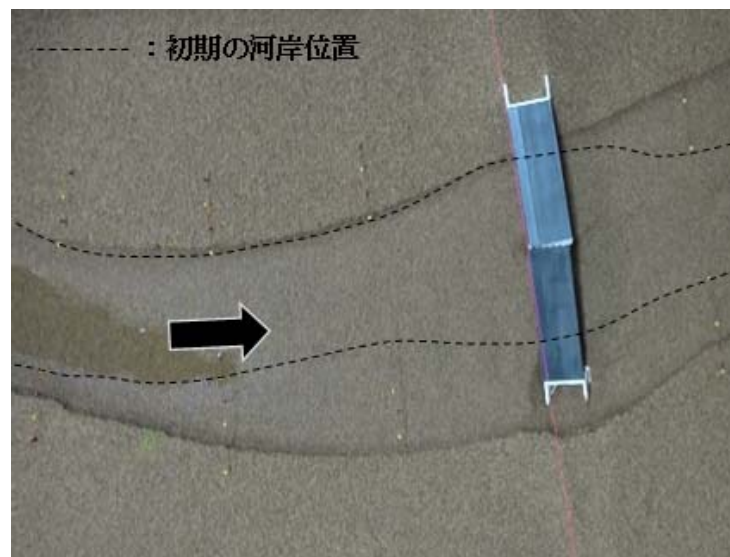


写真-4. 2. 2. 2 通水後の状況（上空より臨む）



写真-3. 2. 3 A1 橋台の状況（再掲）



写真-4. 2. 2. 3 通水後の状況（右岸より左岸方向を臨む）



写真-3. 2. 4 第 1 径間上部構造の状況（再掲）



写真-4. 2. 2. 4 通水後の状況（左岸より右岸方向を臨む）

河床高の時間変化及び、右岸側橋台周辺被災に関する事象を図-4.2.2.1に、それぞれの計測位置を図-4.2.2.2に示す。橋台上流面地点における河床高に着目する。通水開始後5分から15分の間に、「橋台上流面河床高の低下速度がまず増大し、時間経過とともに小さくなった後に河床高が上がる時間帯」が、大きく分けて4つあることがわかる。これに、橋台上流面の河床高が変化しない実験初期の時間帯を加え、以下のように呼ぶこととする。

- ・フェーズ A1 (通水開始後 0~5分)
- ・フェーズ B1 (通水開始後 5~7.5分)
- ・フェーズ C1 (通水開始後 7.5~10.5分)
- ・フェーズ D1 (通水開始後 10.5~13.5分)

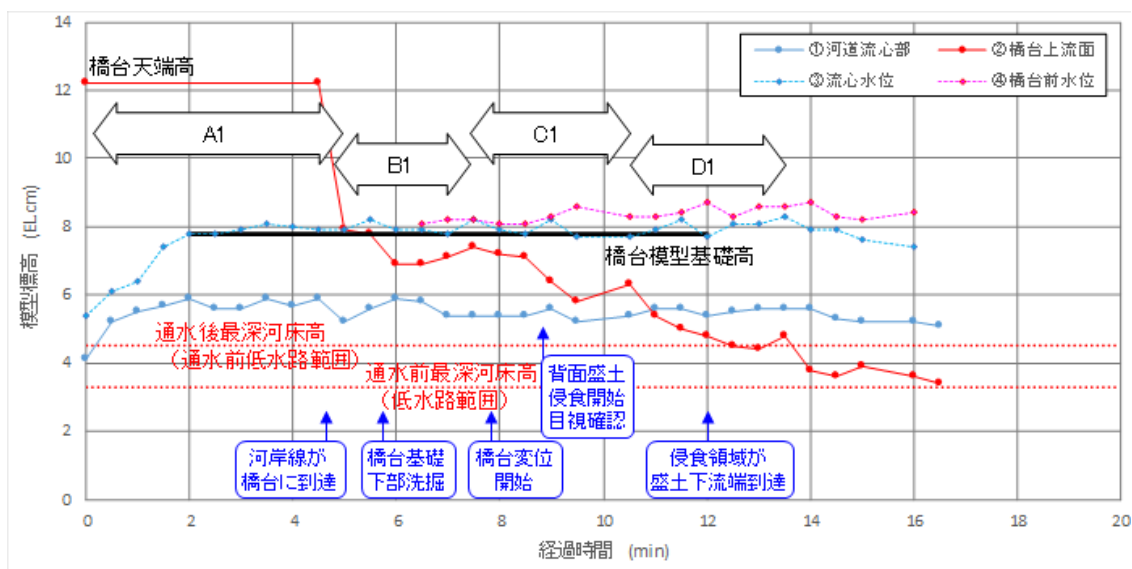


図-4.2.2.1 橋台周辺及び河道流心部の河床高・水位時間変化 (橋台変位ありケース)

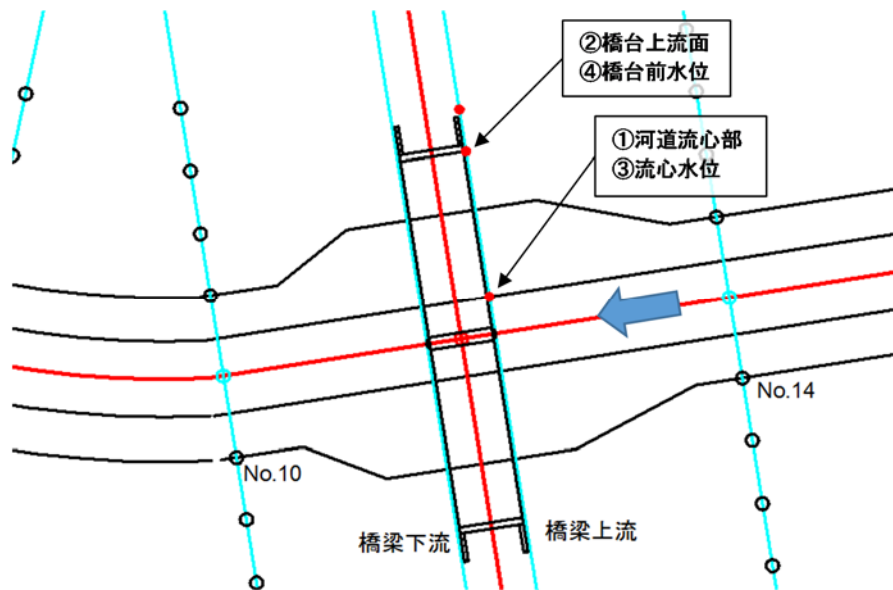


図-4.2.2.2 河床高及び水位の計測位置（橋台変位ありケース）

以下に、各時間の主な河道変化や流況と、橋台周辺の河床高変化の関係を考察する。

1) フェーズ A1 での変化 (0～5 分)

水衝部となる橋梁上流右岸側、橋梁下流左岸側において、河岸侵食が進行した（図-4.2.2.3(a) : 3.5 分）。その後も河岸侵食が進行し、右岸側橋台上流側へ河岸が到達した（図-4.2.2.3(b) : 5.0 分）。河岸が橋台に到達したことにより、橋台上流面付近の河床高が、橋台基礎高と同程度まで低下した（図-4.2.2.1）。

2) フェーズ B1 での変化 (5～7.5 分)

河岸侵食の進行に伴い、露出する橋台の横断方向幅が増大するとともに、橋台基礎下部のうち上流側が洗掘され、空隙が生じた状態となった（図-4.2.2.3(c) : 6.5 分）。その後も河岸侵食が進行し、橋台下部における洗掘領域の増大が継続した（図-4.2.2.3(d) : 7.5 分）。

3) フェーズ C1 での変化 (7.5～10.5 分)

通水開始後 7.5 分過ぎに、橋台の微小な変位が確認された。その後も河岸侵食の進行とともに、橋台は上流側への変位を続け、明らかに橋台が変位したことが確認できたと同時に、橋台背面盛土の露出が目視で確認された（図-4.2.2.3(e) : 9.5 分）。この時、既に橋台背面盛土部に大きな空洞が形成されていた（図-4.2.2.3(e) : 9.5 分）。空洞内に投入された染料は、橋台下流側基礎の下部から河道へ流出した。図-4.2.2.1 より、橋台下部における洗掘領域が増大していったフェーズ B1 の段階から、橋台上流面河床高が橋台基礎高を下回っていることがわかる。このことから、橋台背面盛土が橋台基礎の下部から吸出され始め、既に背面盛土内で空洞が形成されていたものと考えられる。な

お、通水開始後 10.5 分で橋台上流面河床が高くなったが、これは、直前に橋台上流面付近の河岸が大きく崩落し、一時的に土砂供給が大きくなったためと考えられる（図-4.2.2.3(f) : 10.5 分）。

4) フェーズ D1 での変化 (10.5~13.5 分)

橋台は沈下及び上流側への傾斜が進行し、橋台ウイングが水没し始めた（図-4.2.2.3(g) : 11.0 分）。これより少し前の通水開始後 9.5 分以降に、橋台上流面での水位が、河道流心部水位より高くなっていることがわかる（図-4.2.2.1）。これは、流れが橋台上流面に水衝し、動圧が発生したためである。この場合、橋台上流面へ流下方向に水衝した流れが、鉛直方向に向きを変化させることがわかっており、鉛直下向きの流れ発生によって橋台上流面付近の河床洗掘を進行させたものと考えられる。橋台の変位及び背面盛土部の侵食が進行し、侵食域が背面盛土部下流端に到達した（図-4.2.2.3(h) : 12.0 分）。その結果、橋台背面上流側から流入した洪水流が、橋台背面下流側を通過し始めた。

以上の考察から、対象とした橋台被災パターンは、井上ら⁵⁾が指摘するように、大規模な河岸侵食に起因するものであり、橋台基礎高と、河岸侵食の進行に伴い低下する橋台周辺河床高の高低関係から橋台の沈下・傾斜の有無が決まり、周辺河床高は河岸侵食の進行に伴って低下していくことがわかる。

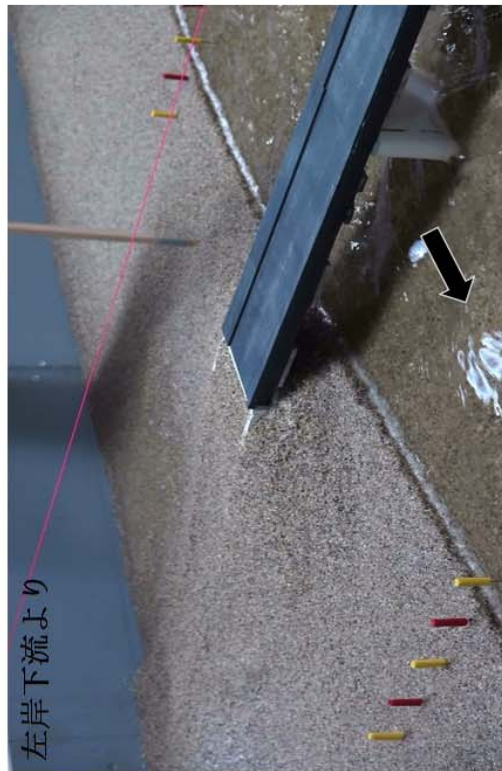
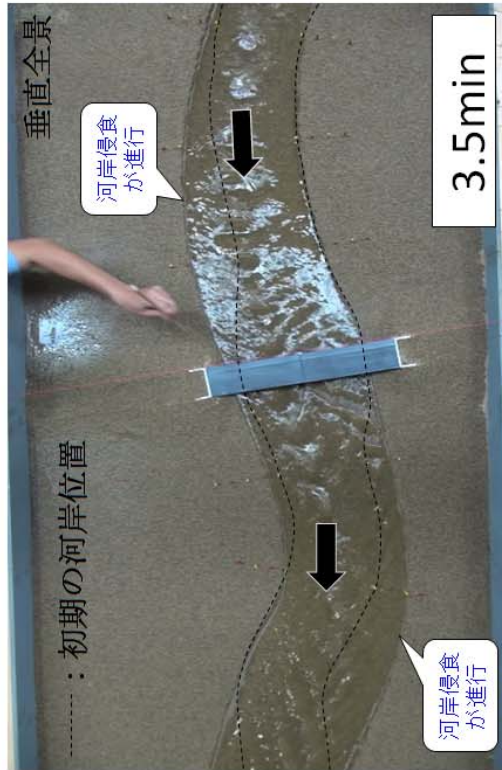


図-4.2.2.3(a) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化 (通水開始後3.5分)

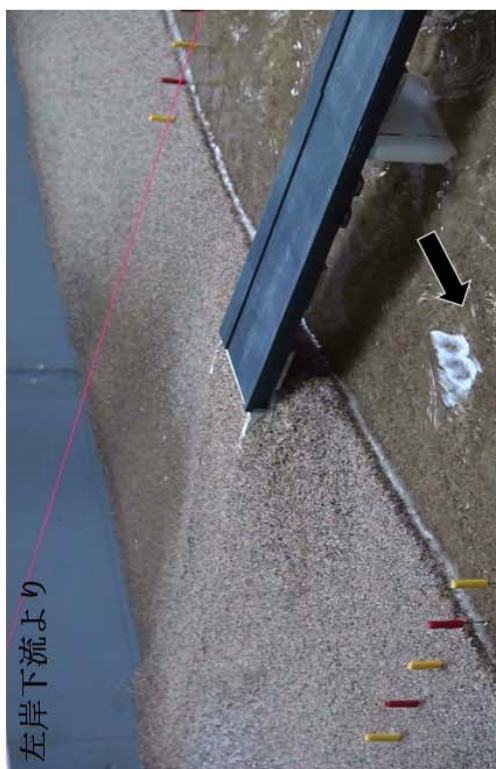
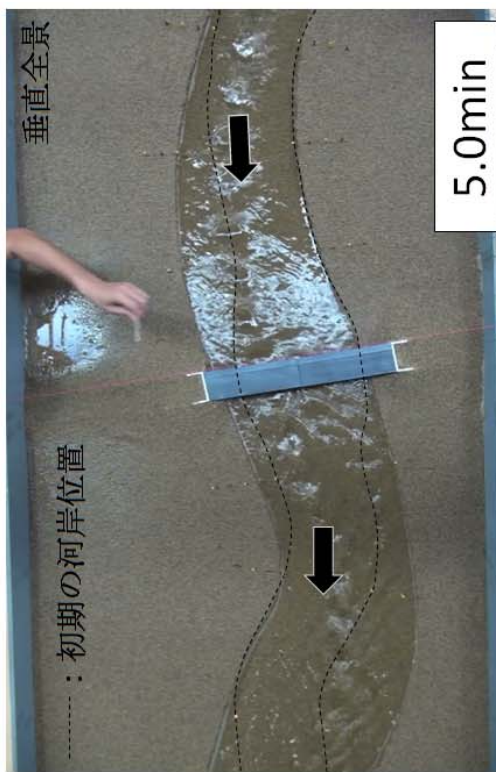


図-4.2.2.3(b) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化（通水開始後5分）

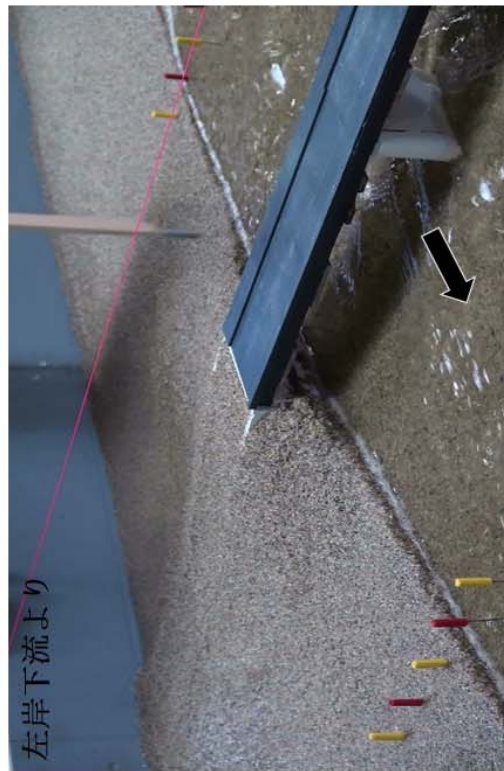
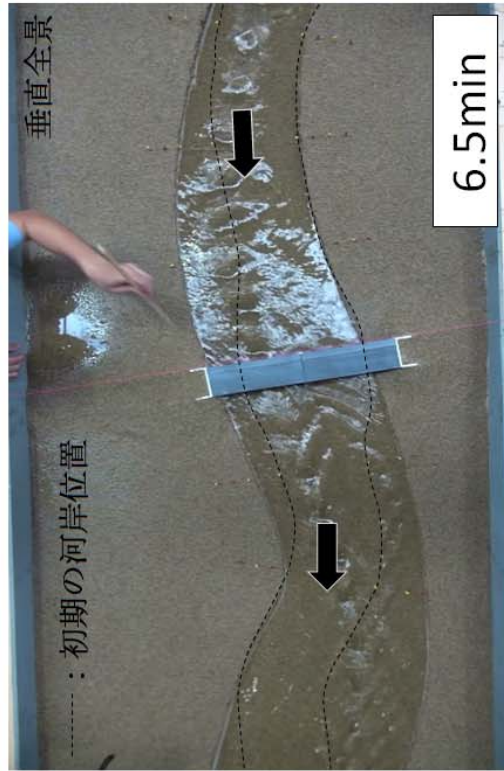


図-4.2.2.3(c) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化 (通水開始後 6.5分)

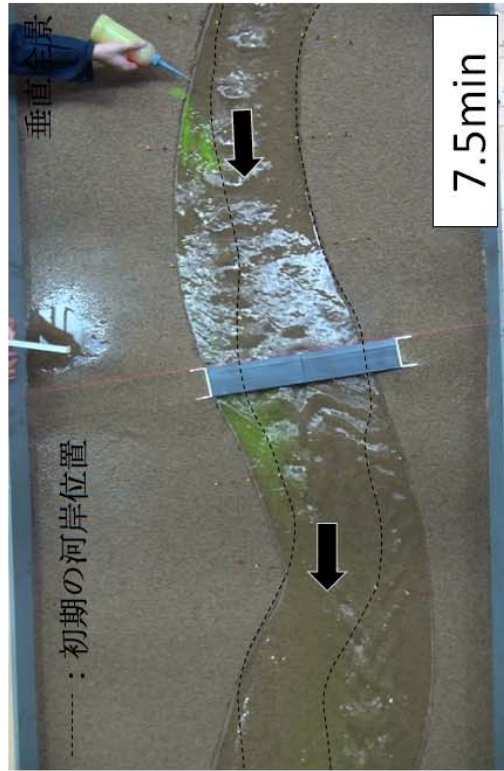


図-4.2.2.3 (d) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化 (通水開始後 7.5 分)

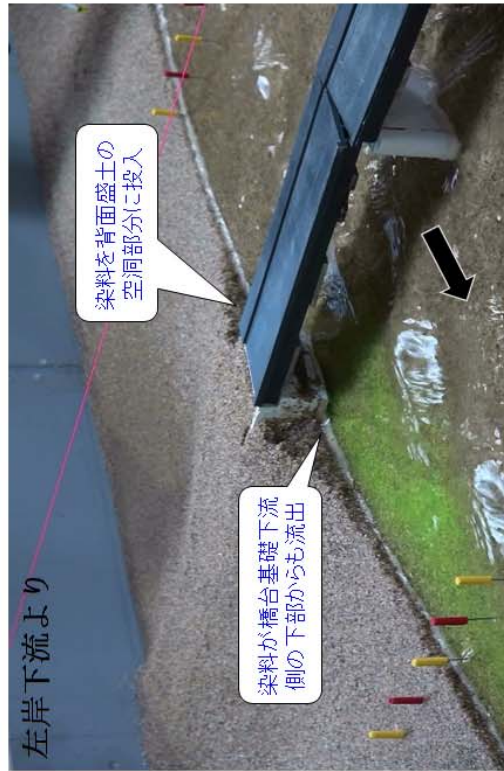
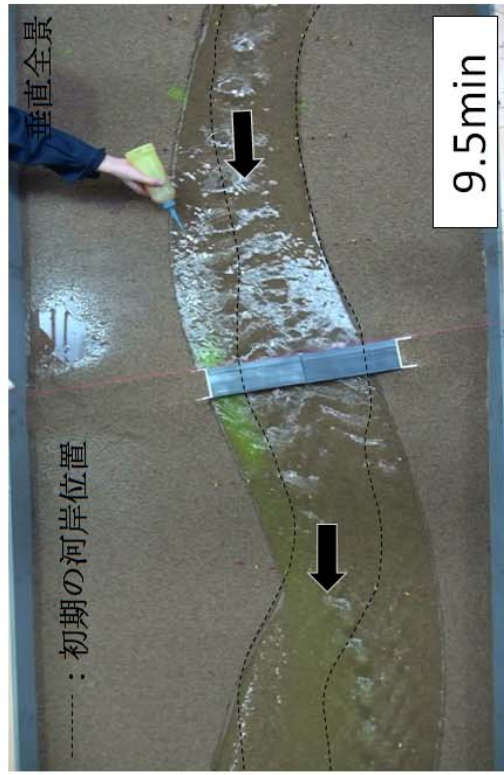


図-4.2.2.3(e) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化（通水開始後9.5分）

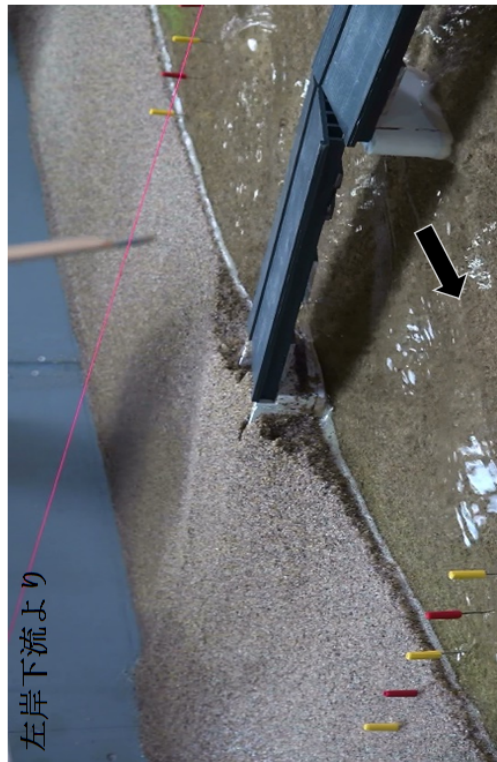
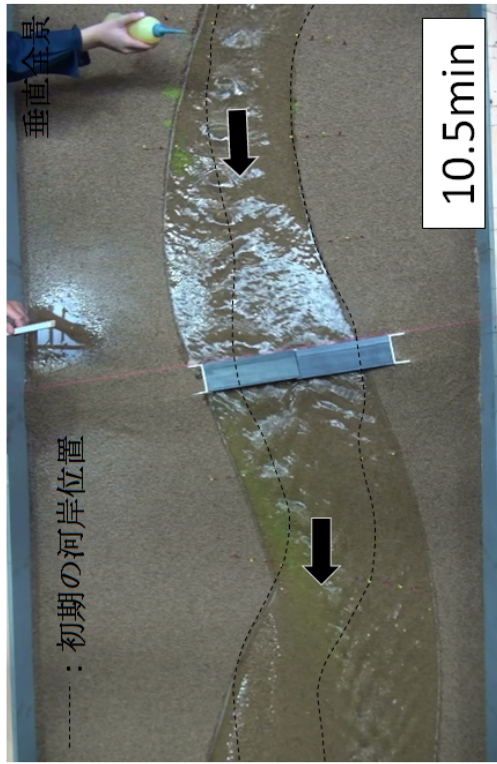


図-4.2.2.3(f) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化 (通水開始後 10.5 分)

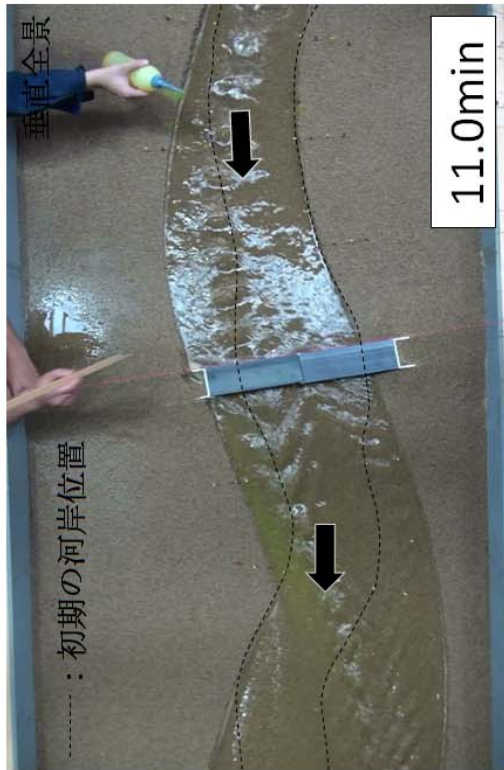


図-4.2.2.3(g) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化（通水開始後11分）

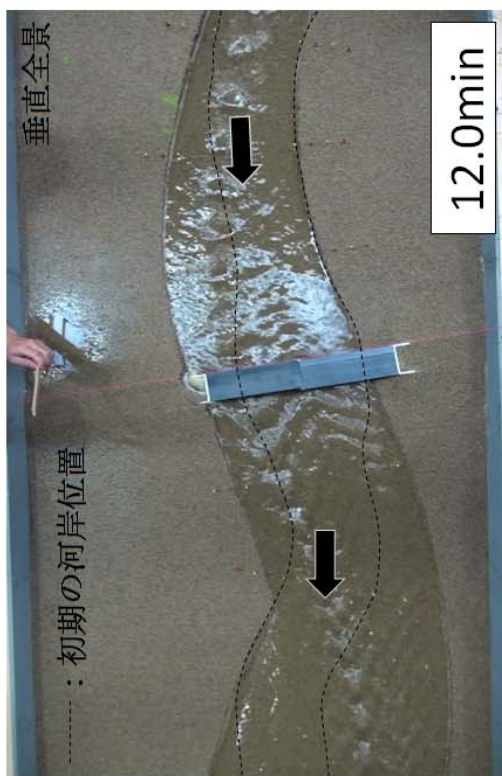


図-4.2.2.3(h) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化（通水開始後12分）

4.2.3 実験結果 ～②：橋台変位なしケース～

章冒頭で示した狙いは、河川の流下能力を大きく上回る洪水が生じた場合、橋梁の被災が一定程度生じることをやむを得ないものとし、「橋梁の壊れ方を一定程度制御」することである。そのため、最低限、橋梁本体である橋台の沈下・傾斜を食い止めるための基礎情報として、河岸侵食の進行に伴う橋台周辺河床高の低下過程を把握する必要がある。そこで、橋台変位なしケース（橋台を鉛直下向きに伸ばし、水路床に固定することにより、河床高変化により橋台が変位しない条件）での実験を行った。

河床高の時間変化及び、右岸側橋台周辺被災に関する事象を図-4.2.3.1に、それぞれの計測位置を図-4.2.3.2に示す。橋台上流面地点における河床高に着目する。通水開始後4.5分から13分の間に、「橋台上流面河床高の低下速度がまず大きくなり、その後時間経過とともに小さくなっていく時間帯」が、大きく分けて4つあることがわかる。これに、橋台上流面の河床高が変化しない実験初期の時間帯を加え、以下のように呼ぶこととする。

- ・フェーズ A2（通水開始後 0～4.5 分）
- ・フェーズ B2（通水開始後 4.5～7.5 分）
- ・フェーズ C2（通水開始後 7.5～8.5 分）
- ・フェーズ D2（通水開始後 8.5～10 分）
- ・フェーズ E2（通水開始後 10～13 分）

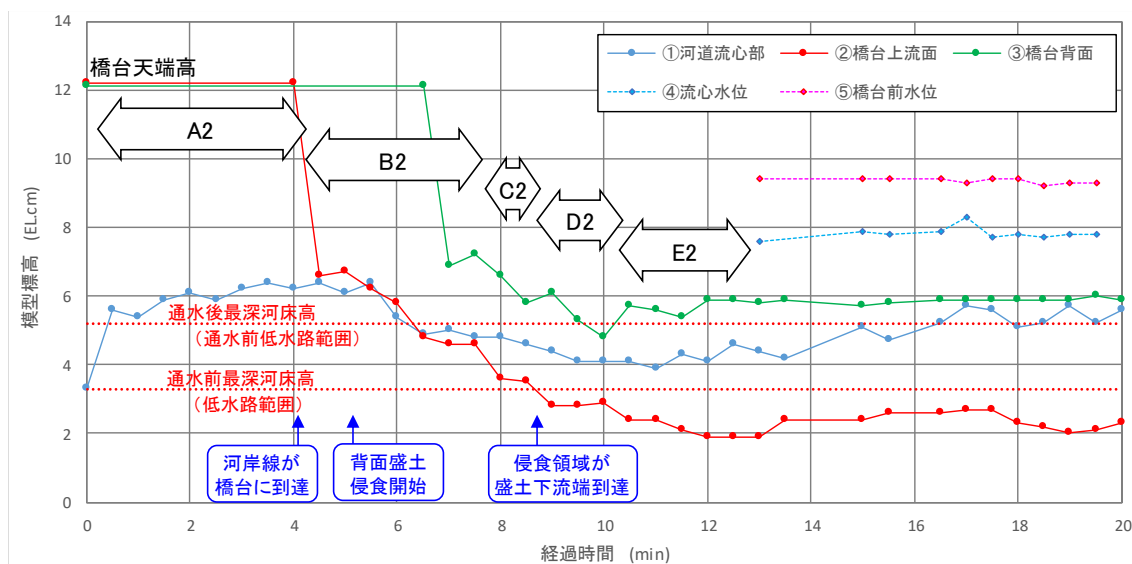


図-4.2.3.1 橋台周辺及び河道流心部の河床高・水位時間変化（橋台変位なしケース）

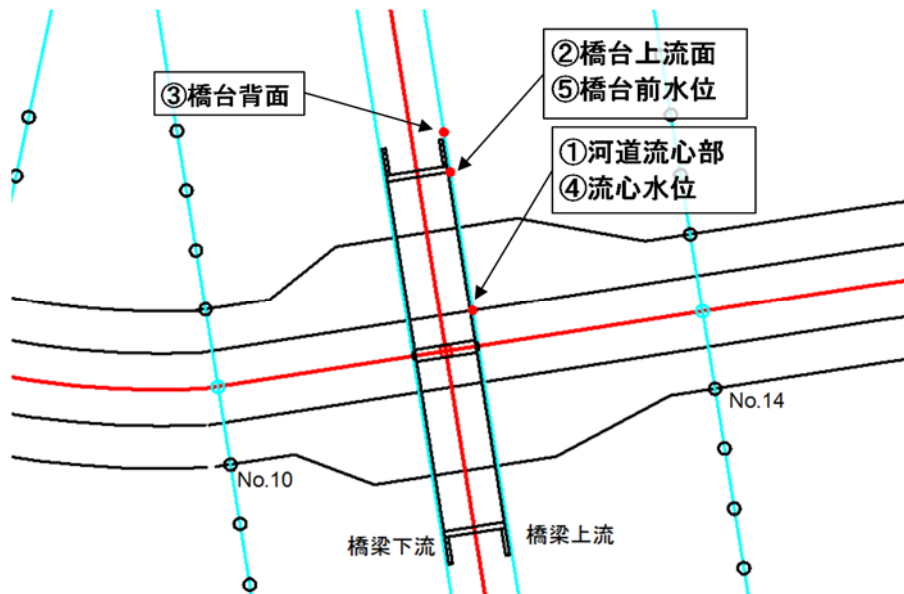


図-4.2.3.2 河床高及び水位の計測位置（橋台変位なしケース）

以下に、各モードの主な河道変化や流況と、橋台周辺の河床高変化の関係を考察する。

1) フェーズ A2 での変化 (0~4.5 分)

水衝部となる橋梁上流右岸側、橋梁下流左岸側において、河岸侵食が進行していることが確認された (図-4.2.3.3(a) : 3.0 分)。その後も河岸侵食が進行し、右岸側橋台上流側へ河岸が到達した (図-4.2.3.3(b) : 4.5 分)。その結果、橋台前面上流端の河床高が急激に低下した。栗山ら⁶⁾や井上ら⁵⁾は、上流からの供給土砂量が多い場合に、砂州の形成等に伴って流心が移動し、河岸侵食が引き起こされることを数値解析的に調べた。本実験では、水路上流端において無給砂条件としたが、水路上流端付近の局所洗掘や、橋梁上流区間での河岸侵食により、下流への土砂供給が生じたため、これらの知見と同様に大きな河岸侵食が引き起こされたものと考えられる。

2) フェーズ B2 での変化 (4.5~7.5 分)

橋梁上流右岸側の河岸侵食の進行に伴い、橋台上流面の横断方向露出幅が増大していった。この時、上流から橋台上流面に向かう流れは、橋台前面上流端付近で河道方向に向きを変え、その後橋台前面 (河道側) に回り込んでいた (図-4.2.3.3(c) : 5.5 分)。この過程において、橋台上流面では、特に河道に近い部分 (橋台前面上流端付近) における河床の洗掘が進行した。この流況及び洗掘の特徴は、例えば音田ら⁷⁾が指摘する非越流・不透過型水制周りの流れ及び水制先端部の局所洗掘と良く似ており、これと同様の機構により、橋台前面上流側における河床低下が進行したものと考えられる。その後も橋梁上流右岸側の河岸侵食が進行し、橋台背面盛土の上流側部分に空洞ができ、洪水流が流入し始めた (図-4.2.3.3(d) : 7.5 分)。

3) フェーズ C2 での変化 (7.5~8.5 分)

侵食された河岸が橋台背面に到達し、背面盛土上流面の侵食が進行するとともに、背面盛土内部には空洞が形成され始め、盛土天端がオーバーハングの状態となった (図-4.2.3.3(d) : 7.5 分)。空洞部壁面の土砂は侵食後に空洞底面に堆積後、空洞内で生じた渦によって橋台上流側面付近を経由して河道側に流送されていた。露出した橋台上流面において、局所的に水位上昇が生じていることが確認された (図-4.2.3.3(d) : 7.5 分)。これは、流れが橋台上流面に水衝し、動圧が発生したためである。この場合、橋台上流面へ流下方向に水衝した流れが、鉛直方向に向きを変化させることがわかっており、フェーズ B2 で見られた水制周りの流れにこの鉛直方向の流れが加わり、橋台上流面付近の河床洗掘が進行したものと考えられる。橋台背面盛土の侵食・流出が進行し、侵食域が背面盛土下流端に到達し、橋台背面上流側から流入した洪水流が橋台背面下流側を通過し始めた (図-4.2.3.3(e) : 8.5 分)。

4) フェーズ D2 での変化 (8.5~10 分)

橋台背面を通過する流れが生じた後も、河岸侵食は進行を続け、橋台背面盛土の侵食幅増大に伴い、橋台背面側を通過する流速が徐々に大きくなっていくことが、目視により確認された (図-4.2.3.3(f) : 10 分)。前述の「3) フェーズ C2 での変化」及び、後述する「5) フェーズ E2 での変化」を踏まえると、フェーズ D2 は「フェーズ C2 からフェーズ E2 への遷移フェーズ」であると考えられる。

5) フェーズ E2 での変化 (10~13 分)

橋台背面盛土の横断方向侵食幅が十分に大きくなり、橋台の両側に速い流れが発生した (図-4.2.3.3(g) : 12.5 分)。この時の橋台上流面近傍の水位は、河道流心部水位に比べ有意に高くなっており、橋台上流面に動圧が働いていることがわかる (図-4.2.3.1 : 通水開始後 12.5 分以降)。すなわち、フェーズ E2 において、橋台周辺は、橋脚周りの流れ及びそれに伴う局所洗掘の発生と類似した機構として説明できるものと考えられる。なお、橋脚周りの局所洗掘については、例えば福岡ら⁸⁾などにより、多くの研究が蓄積され、洗掘深評価手法が数多く得られている。

以上の考察から、橋台上流側面付近の河床高低下には、次に示す 3 つのフェーズが存在し、大規模な河岸侵食という大きな平面スケールの変化の中で、局所スケールである橋台上流側面での河床低下がカスケード的に進行すると考えられる。

- i) 侵食された河岸が橋台に到達することにより、低水路河床高相当まで急激に低下するフェーズ (フェーズ A2)
- ii) 河岸侵食の進行に伴い橋台上流面の横断方向露出幅が増大し、橋台周辺が「非越流・不透過水制周りの流れ」で説明される流況に変化することで生じる、橋台前面上流端付近の河床洗掘フェーズ (フェーズ B2, C2)

- iii) 河岸がさらに侵食され、橋台背面においても速い流れが生じるようになった結果、橋台周辺が「橋脚周りの流れ」で説明される流況に変化することで生じる、橋台上流面付近の河床洗掘フェーズ（フェーズ D2, E2）

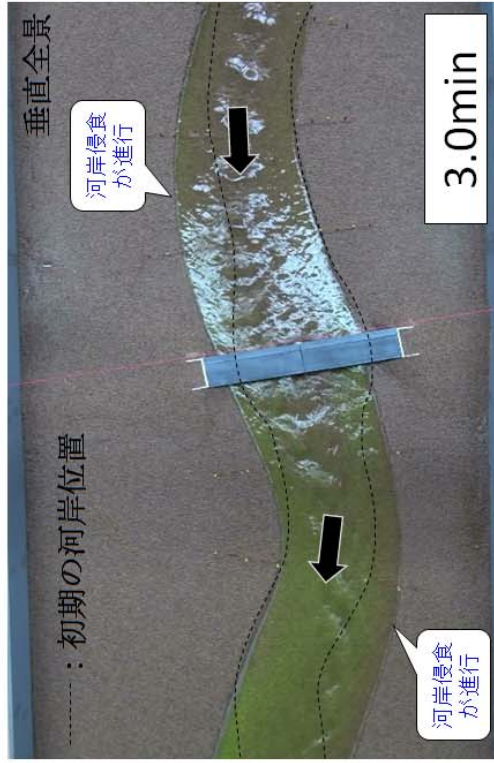
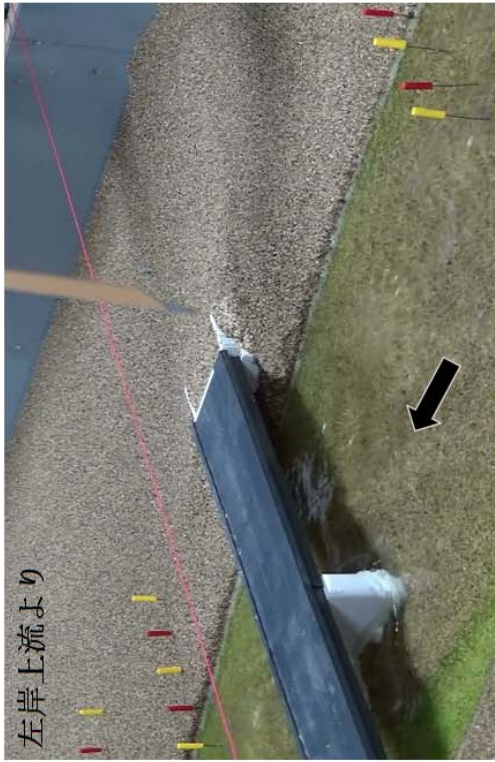


図-4.2.3.3(a) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化（通水開始後3分）

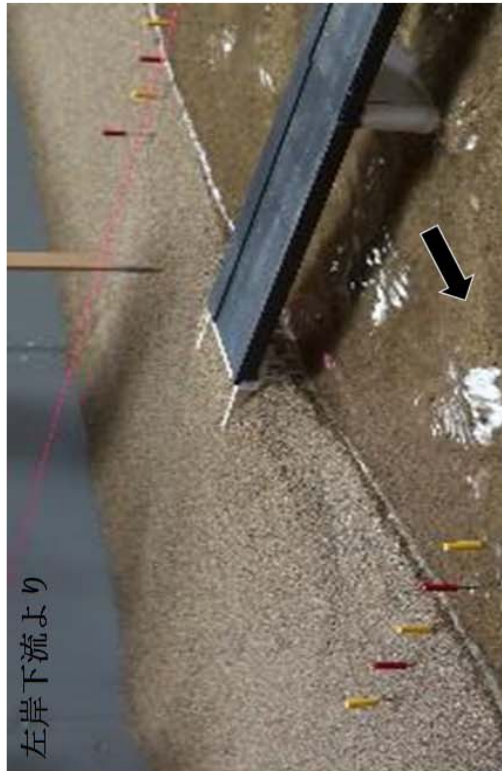
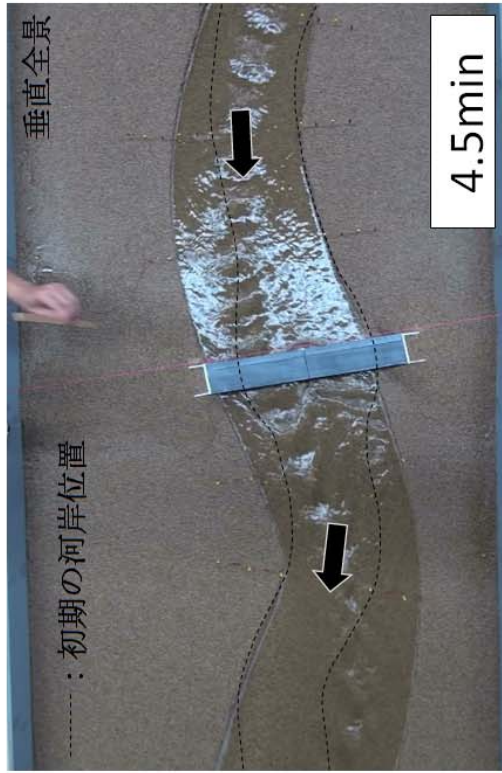
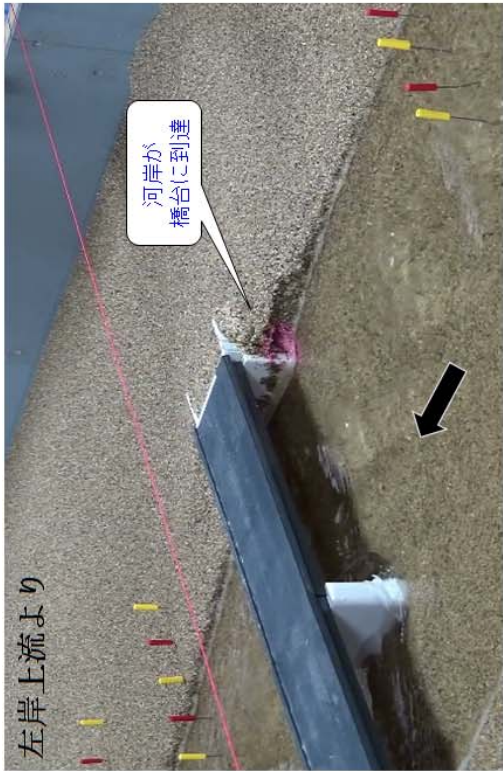
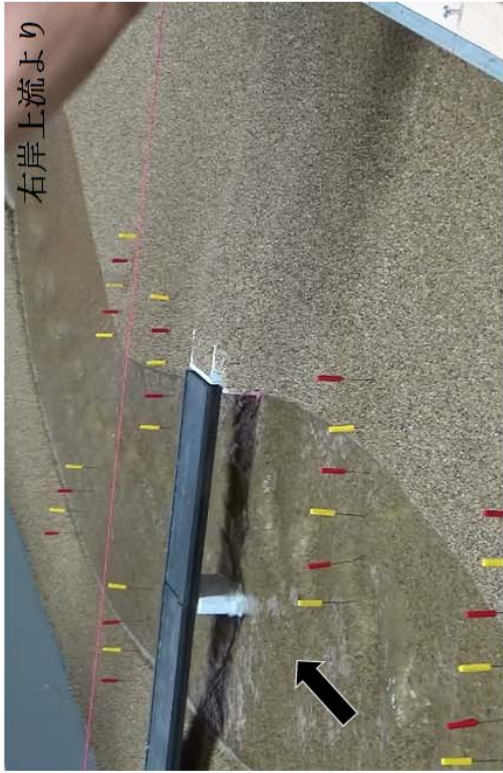


図-4.2.3.3(b) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化 (通水開始後 4.5分)

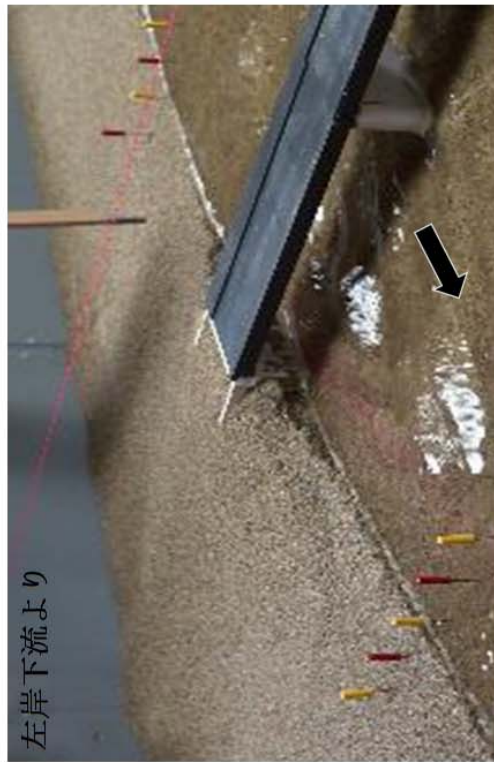
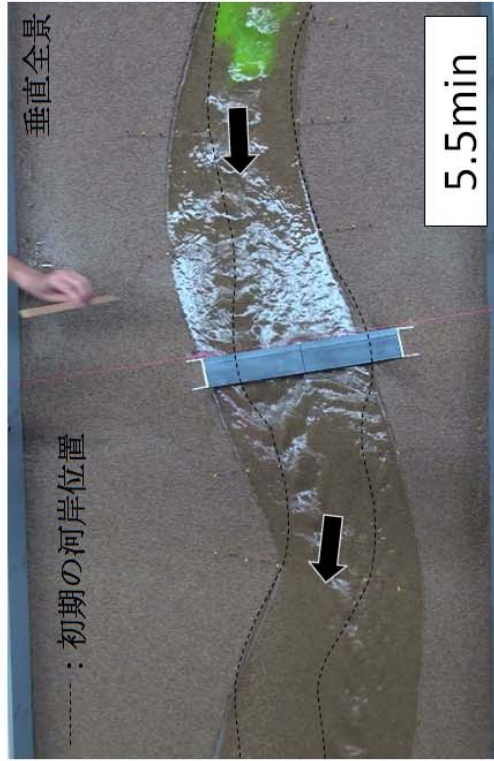


図-4.2.3.3(c) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化 (通水開始後5.5分)

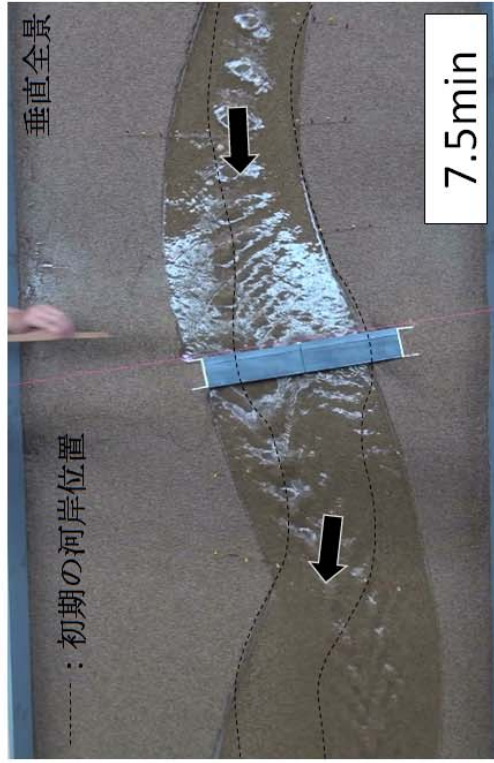
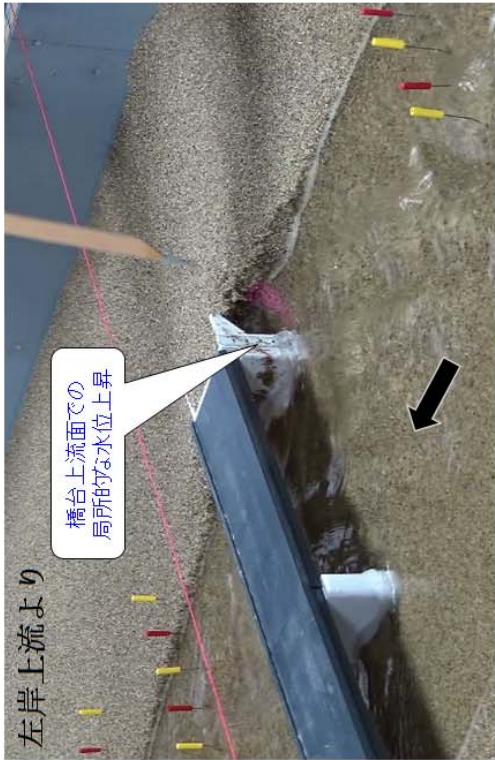


図-4.2.3.3(d) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化 (通水開始後 7.5 分)

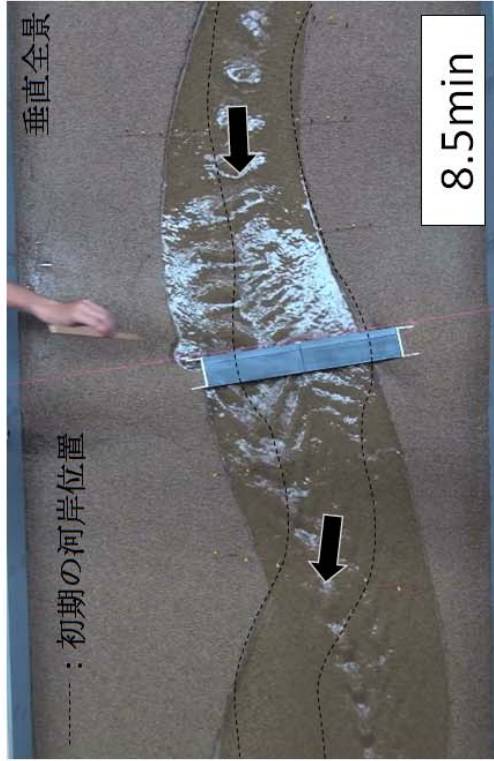
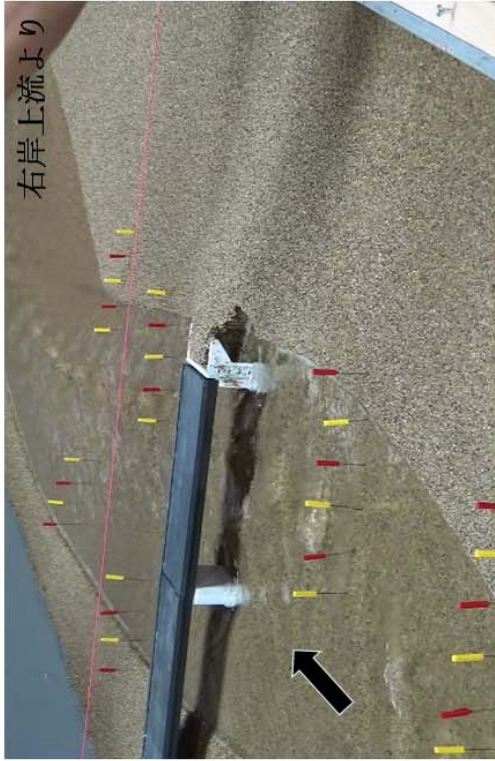


図-4.2.3.3(e) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化 (通水開始後 8.5分)

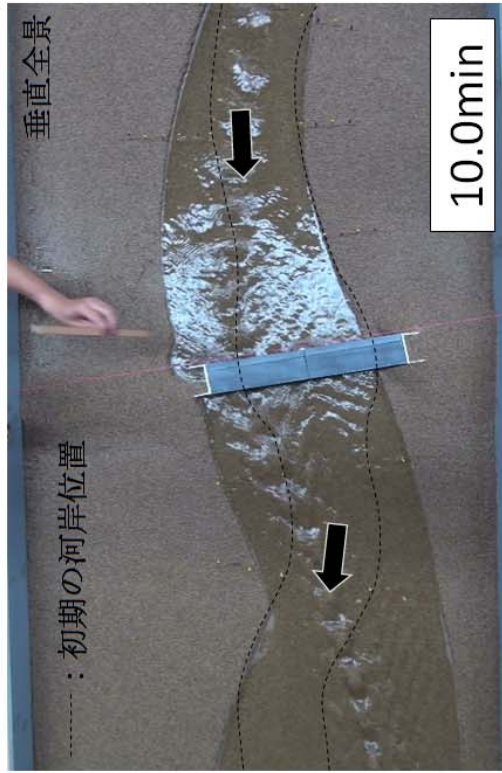
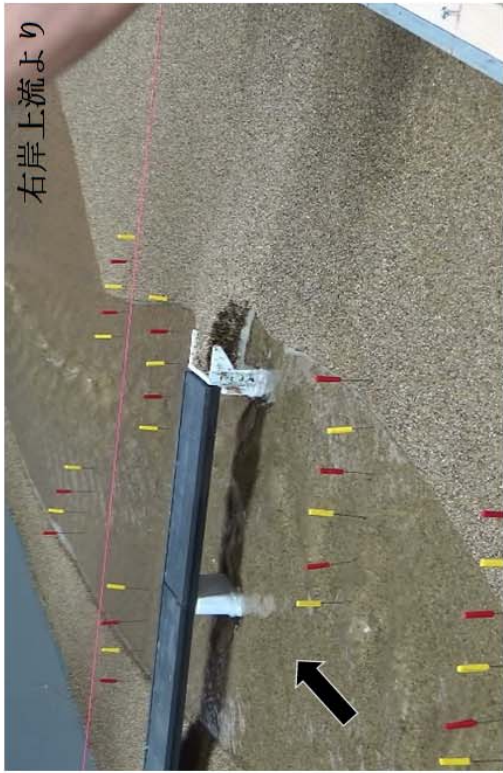


図-4.2.3.3(f) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化（通水開始後10分）

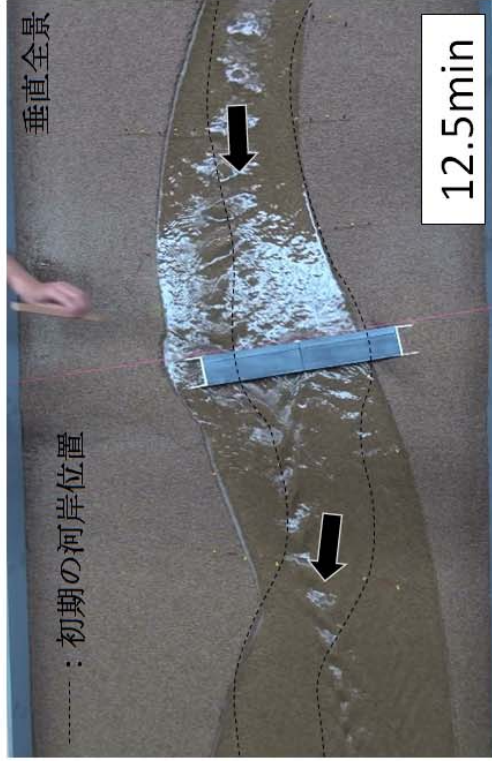
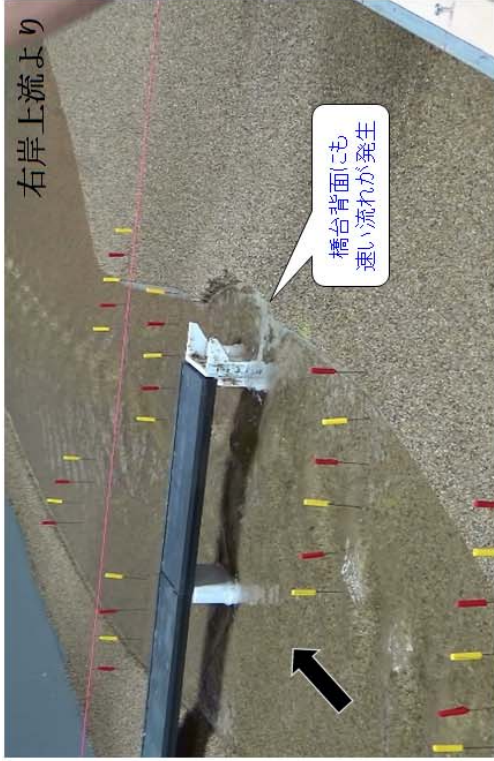


図-4.2.3.3(g) 水路平面形状及び右岸側橋台周辺の変化（通水開始後12.5分）

4.3 橋台周辺の被災機構に関する基本的知見（まとめ）

調査対象とした事例の実態分析及び実験結果から得られた、「河道の流下能力を上回る洪水が発生した際に生じる、直接基礎形式である橋台の被災機構（沈下・傾斜）に関する基本的知見」を、本章のまとめとして以下に示す。

1) 被災実態の整理・考察から得られた仮説

本章で対象とした橋台の沈下・傾斜は、大きな洪水外力による大規模な河岸侵食に起因して生じるという有力な仮説が得られた。

2) 実験から得られた橋台の沈下・傾斜過程の概略

今回の実験においては、侵食や洗掘により低下した橋台近傍の河床高が、直接基礎形式である橋台基礎高（フーチング下面高）を下回り、基礎の下部の土砂が侵食され、その侵食範囲が平面的に拡大し、橋台が自立できなくなった結果として橋台の沈下・傾斜が生じた。

3) 実験から得られた橋台近傍の河床高の低下過程

橋台近傍の河床高の低下過程において、河岸侵食の進行に伴い少なくとも以下の3つのフェーズがあることが見出せた。

- i) 河岸侵食が橋台に到達することに伴い、元の流路範囲における低水路河床高と同程度の高さまで急激に低下するフェーズ
- ii) 露出した橋台の横断方向幅が増大することに伴い、「非越流・不透過型水制周りと類似する流況」が発生することで局所洗掘が進行するフェーズ
- iii) 橋台背面盛土が侵食・流出し、背面側にも高流速の流れが生じた結果、橋台周辺が「橋脚周りと類似する流況」の流れで概ね説明される流況に変化することで、橋台上流面付近の河床洗掘が進行するフェーズ

4) 被災実態の整理・考察及び、実験結果を踏まえた総合的解釈

橋台上の路面を越流するような水位に至らずとも、大規模な河岸侵食が橋台に生じた場合は、今回のような被災が生じ得ることが推察された。

5) 今回の検討から考えられる留意事項等

○橋台近傍の河床高低下に関する上記3つのフェーズのうち、i) では大きな平面スケールでの河道変化の結果としての河床低下が発生する。この後ii) 及びiii) のフェーズでは、橋台周りに速い流れが生じたことによる局所スケールでの河床洗掘により、更なる河床低下が進行する。例えば橋台周りに根入れや矢板等の対策を考えるにあた

っては、ii)、iii) に示す局所的な河床低下も考慮して、その設置深さを検討することが望まれる。

- 上記 i)、ii) のフェーズにおいて、橋台周辺の河床高が橋台基礎高を下回るような場合は、河岸が橋台に到達後、背面盛土上流側面が侵食され始めるまでの間に、背面盛土表層部に変状が見られない状況であっても、橋台基礎の下部からの土砂吸出しによって背面盛土内部に空洞が形成されている場合がある。橋梁の安全性を確保する上で、このことに留意する必要がある。