

参考資料6

水中部での基礎地盤の洗掘や
部材の腐食等の損傷例

参考資料 6. 水中部での基礎地盤の洗掘や部材の腐食等の損傷例

目 次

I 編	基礎地盤の洗掘.....	参 6-1
1.	本資料の位置付け.....	参 6-1
2.	洗掘のメカニズムや洗掘に対する橋の設計に関する知識.....	参 6-1
3.	基礎地盤の洗掘に対する状態把握.....	参 6-3
II 編	水中部の鋼製パイルベント橋脚の腐食.....	参 6-24
1.	本資料の位置付け.....	参 6-24
2.	水中部の鋼製パイルベント橋脚の腐食に対する 状態把握の留意点.....	参 6-24
3.	水中部の鋼製パイルベント橋脚の腐食の事例.....	参 6-25

I 編 基礎地盤の洗掘

1. 本資料の位置付け

定期点検では、次回定期点検までの橋の耐荷性能の評価や措置の必要性についての診断が求められる。現在の洗掘の状態のみならず、一度ならず複数回の出水、豪雨で洗掘が進行することも想定に入れて、橋の耐荷性能の評価や措置の必要性についての診断を行うことになる。

本参考資料は、道路橋定期点検要領（令和6年3月国土交通省道路局）の趣旨に沿った健全性の診断や状態の把握を行うにあたって理解しておくべき基本的事項を示す。

2. 洗掘のメカニズムや洗掘に対する橋の設計に関する知識

(1) 基礎地盤の洗掘のメカニズム

典型的な洗掘被害の発生メカニズムを以下に示す。

- ① 下部構造周辺の流れは、橋脚前面で、左右に分かれる流れと、橋脚に沿った鉛直下方への下降流に大別される。
- ② 左右に分かれた流れは、下部構造の壁面に沿った湾曲流となり、橋脚側面に局所的な流れの集中が生じる。
- ③ 橋脚前面での下降流は河床に衝突し、河床砂礫を巻き上げる回転渦が発生する。
- ④ この渦によって巻き上げられた土砂が、左右に分かれる流れによって橋脚後方に運ばれる。

※ただし、必ず前面側に洗掘が生じるとは限らないことに注意が必要である。

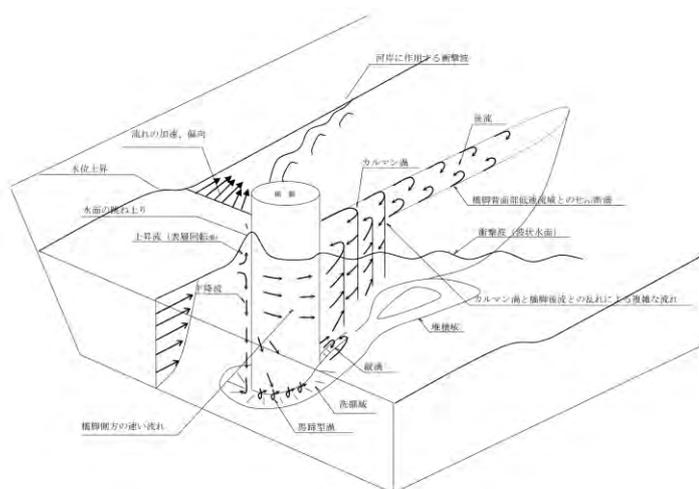


図-2.1 橋脚に生じる水理現象

出典：河川を横過する橋梁に関する計画の手引き(案)（平成21年7月（財）国土技術研究センター）

(2) 設計に関する知識

- ・ 渡河橋の設置は，河川管理者の許可を得て行われる。昭和 51 年に制定された河川管理施設等構造令では，洗掘の防止について適切に考慮することが求められており，制定後に設置された橋梁は，洗掘に対して一定の対策がなされている。一方で，それ以前に設置された橋では，設置時点での洗掘への対策の程度が現在のものとは異なる可能性が高い。
- ・ 洗掘深さは，例えば，土木研究所資料第 3225 号「治水上から見た橋脚問題」（1993 年 11 月）【https://thesis.pwri.go.jp/public_detail/101194/】の推定図等を参考に推定することができる。また，必要に応じて実験等を行うことがある。
- ・ 洗掘深さは，水深，橋脚幅，流下速度，河床材料の粒径が関係する。
- ・ 最大洗掘深さは，流れに直角方向の橋脚幅の 2 倍程度にも及ぶ場合がある。
- ・ 河床材料が砂礫などの粒径が小さいものほど洗掘深が深くなる傾向にあるなど，河床条件も洗掘のされやすさに影響する。

(3) 洗掘と基礎形式等の関係

- ・ 基礎が露出すると，洗掘深さは，基礎幅に比例するようになる。
- ・ 直接基礎の場合，次回定期点検までの間にフーチングが露呈してしまうと，その後の出水にて急激に洗掘が進行するおそれがある。直接基礎は根入れが浅いため，特に注意が必要である。
- ・ 本来根入れが深かったケーソン基礎でも，既に基礎が露出している場合には，基礎幅に応じて大きく局所洗掘が進む可能性がある。
- ・ 橋脚軸と流向が一致しない場合，洗掘深さがさらに深くなる傾向がある。
- ・ 近接した橋脚の両橋脚軸と流向が一致しない場合，洗掘深さ，洗掘範囲がさらに大きくなる傾向がある。

(4) 洗掘と河川特性等の関係

- ・ 山地から扇状地に位置するなど河川勾配が急であるほど被災が多い傾向がある。
- ・ 河積が小さい（河道断面が小さく，越水する可能性が高い）ほど被災が多い傾向がある。
- ・ 直線河道及び蛇行河川に比べて湾曲河道でかつ外岸の被災が多い傾向がある。
- ・ 左右岸の異なる地層分布の境界部で急激な洗掘が生じる場合がある。

3. 基礎地盤の洗掘に対する状態把握

(1) 洗掘の状態把握フローの例

定期点検時における洗掘の状態把握には、一般に、以下の準備が必要である。

- I. 既往資料の調査
- II. 計画の策定
- III. 現地での情報の取得

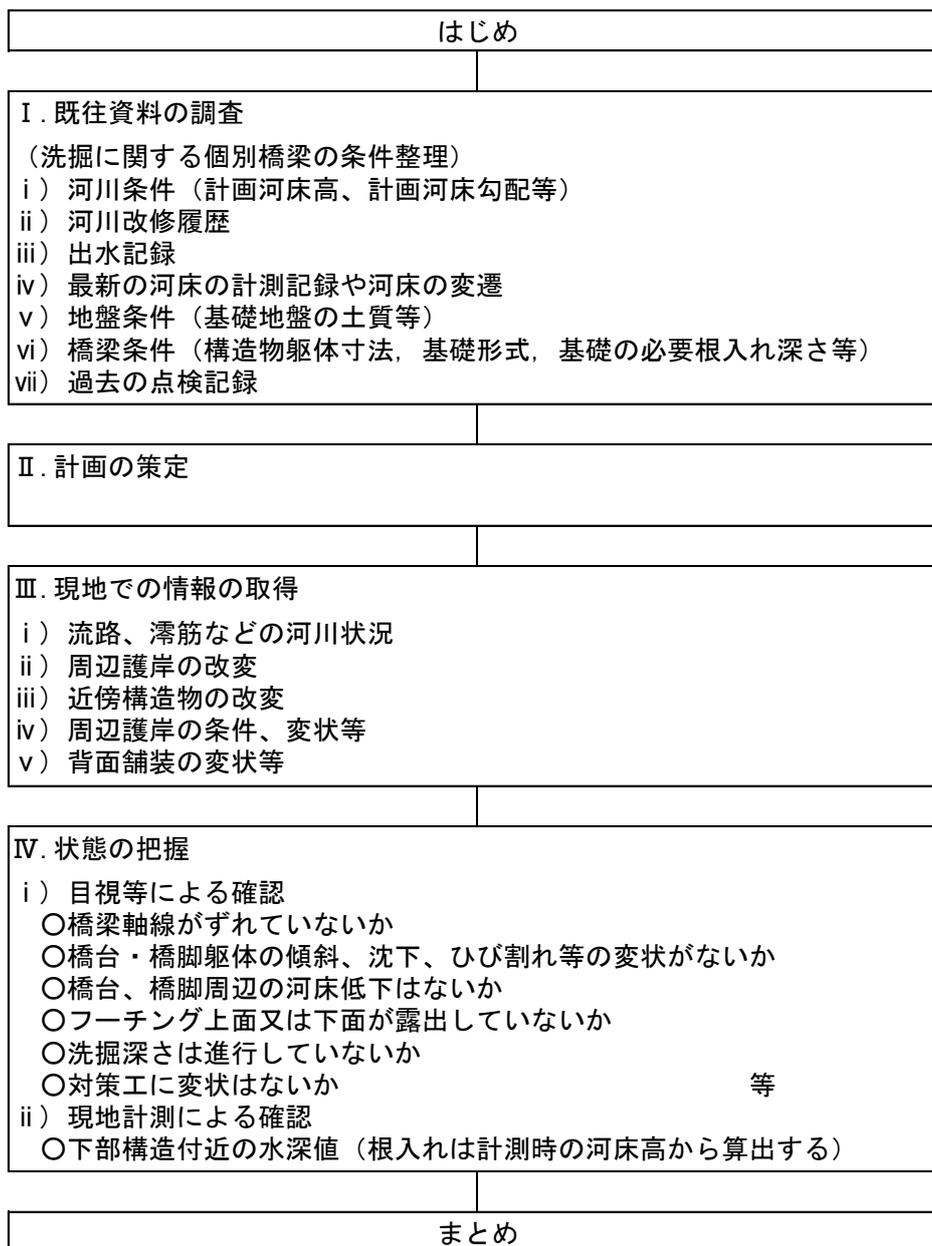


図-3.1 状態把握のフローの例

(2) 洗掘の状態把握に関する留意点

I. 既往資料の調査

洗掘のメカニズムに基づけば、下記のような情報を収集しておく、より信頼性の高い診断につながると考えられる。これらの情報を事前に入手し、現地での点検計画にも反映するとよい。

i) 河川条件（計画河床高，計画河床勾配等）

ii) 河川改修履歴

iii) 最新の河床の計測記録や河床の変遷

■ 河川管理者による河床の計測記録があれば，それも活用するとよい。

iv) 出水記録

v) 地盤条件（基礎地盤の土質等）

■ 河床材料が砂礫など粒径が小さいほど洗掘深が深くなる傾向にあるなど，河床条件も洗掘のされやすさに影響する。

■ 洗掘後，上流から流れ着いた土砂の堆積により洗掘部が埋まることがあるが，設計で期待している地盤とは異なることに注意が必要である。

vi) 橋梁条件（構造物躯体寸法，基礎形式，基礎の必要根入れ深さ等）

■ 洗掘は構造物の上流側に発生することが多い。

■ 斜面上の橋台では，下方地盤の洗掘や侵食により移動・沈下し不安定になることがある。

■ 洗掘による下部構造の異常は直接基礎に多い傾向にある。直接基礎の場合，次回定期点検までの間にフーチングが露呈してしまうと，その後の出水にて急激に洗掘が進行するおそれがある。直接基礎は根入れが浅いため，特に注意が必要である。本来根入れが深かったケーソン基礎でも，既に基礎が露出している場合には，基礎幅に応じて大きく局所洗掘が進む可能性がある。

■ 河川管理施設等構造令（S51）制定前に建設された橋では，基礎の根入れが浅いものや護岸や護床工が設置されていないものがあり，洗掘が生じることがある。

vii) 過去の点検記録

Ⅱ.計画の策定

定期点検における洗掘の状態把握にあたっては、当該橋梁の状況に応じて適切に点検が実施できるよう、以下の事項を考慮し、点検計画の策定を行う。

i) 点検項目および点検方法

- 基礎地盤の洗掘の状態を正確に把握し、健全性の診断を行うために必要な情報を得られるよう点検項目および点検方法を選定する。
- 目視等による変状の確認に加え、必要に応じて下部構造付近の水深値の測定などを検討するとよい。

ii) 点検体制

iii) 現地踏査

iii) 管理者協議（河川管理者等）

iv) 安全対策

v) 緊急連絡体制

vi) 緊急対応の必要性等の連絡体制

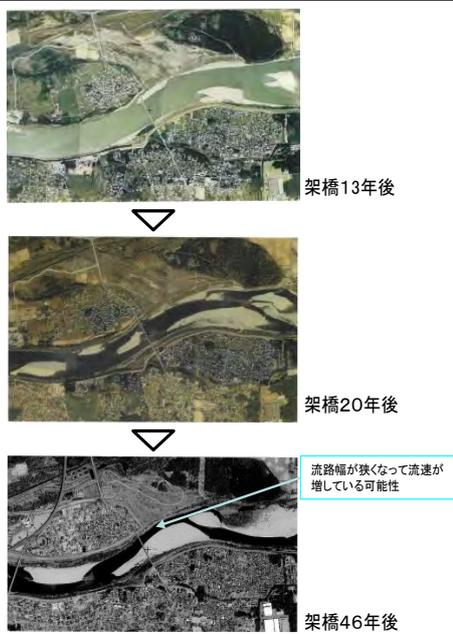
vii) 工程

Ⅲ.現地での情報の取得

i) 流路，滯筋などの河川状況

- 河川の湾曲部や狭隘部等の流速が速い箇所では、著しい洗掘が生じる可能性がある。
- 滯筋が変化して流路幅が狭くなった箇所では、急激な洗掘につながることもある。過去の航空写真と比較することが有効である。水の流下位置と下部構造位置の関係，阻害の程度，基礎の露出の有無などから，すでに洗掘が発生している可能性や，次回定期点検までの洗掘の発生や進行の可能性を疑うことができる。

河川状況が変化している例



例

経年により流路が変化した例
 (流路幅が狭くなった箇所では
 流速が増している可能性がある)



例

豪雨により滞筋が変化し、新たな水衝部となった橋脚が移動・傾斜し、上部構造も変形している例

備考

■ 流路や滞筋が変化する場合は、急激に洗掘が進む場合があるため、過去の状況と比較することが有効である。(地理院地図の活用など)

ii) 周辺護岸の改変, iii) 近傍構造物の改変

- 周辺の護岸改修により河川特性に変化が生じる場合がある。特に水が当たるところでは、過去の点検結果等とは異なる状態になっている可能性がある。
- もともと高水敷だった箇所などでは、河川構造令上、根入れ深さ1 mほどで施工されている可能性があり、河道変化により元の高水敷が河道になっている場合は、洗掘が進んでいないか注意が必要である。

周辺護岸・近傍構造物の改変の例



例

高水敷の造成により滞筋が変化し、新たに水衝部となった橋脚が移動し落橋している例

例

備考

- 周辺の護岸改修により河川特性に変化が生じる場合がある。
- 河道変化により元の高水敷が河道になっている場合は、洗掘が進行していないか注意が必要である。

iv) 周辺護岸の条件，変状等

- 橋梁周辺の護岸等で洗掘対策がなされている場合，洗掘しやすい条件となっているため，周辺の構造物の変状にも留意して情報を把握するのがよい。
- 周辺の護岸ブロックの流出や橋脚に衝突物がある場合は，洗掘が生じている場合がある。
- 洗掘対策として実施した護床ブロックが増水時の流水の影響等で散乱している等の既存対策工の変状から，洗掘がすでに生じている可能性や，次回点検までの発生又は進行を疑うことができる。
- 護床工の変状を把握することで，河床や周辺護岸の変化が把握できる場合がある。過去の写真と比較することも有効である。
- 河川増水時に，橋脚の上流側で洗掘により河床材料が消失し，洗掘が進む。平時から，洗掘が生じやすい条件となっていないか把握することが重要である。
- 平常時の洗掘の程度が軽微に見えても，洪水時には，橋脚周囲の流速増加により土砂が局部的に失われて洗掘されることがある。フーチングが通水部に露呈したりすると，フーチングそのものが流水を阻害し，局所洗掘が急増する。洗掘が深くなると洗掘範囲もさらに広がることとなり，基礎の支持力が低下するおそれがある。
- フーチング上面又ケーソン基礎側面が露出していれば，基礎底面位置まで洗掘が進む可能性を疑うことができる。

洗掘	洗掘	3 / 13
----	----	--------

周辺護岸・護床工に変状が生じている例		
	例	橋脚周辺の護床ブロックが散乱している例
	例	橋脚周辺の護床ブロックが散乱している例
	例	橋脚が傾斜し、下部構造の根固めコンクリートに割れが生じている例
	例	橋台周辺の護岸ブロックが流出している例 (豪雨災害時に発見された損傷)
備考	<p>■水中部の直接目視可能な範囲を最大限にするために、濁水期に状態把握を行うのがよい。</p> <p>■基礎部の状態を直接確認できないときには、必要に応じて水中カメラ等で見るなどできるだけ状態を把握することが効果的である。</p>	

<p>周辺護岸に変状が生じている例</p>	
	<p>例</p> <p>下部構造周辺の護床工の変化を 観察した例</p>
	<p>例</p> <p>洗掘により橋脚周辺の河床材料 が流失している例</p>
<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ■護床工の変状を把握することで、河床や周辺護岸の変化が把握できることがある。 ■過去の写真と比較することが有効である。 	<p>例</p>

v) 背面舗装の変状等

- 洗掘により橋面背面土が流出することがある。
- 護岸の隙間から、吸い出しが起きていることがある。
- 橋台背面土の流出や吸い出しにより、橋台背面の路面が陥没する場合がある。繰り返し橋台背面に陥没が生じる場合には、河川による洗掘の影響が疑われる場合がある。
- 水衝部（増水した時に水の流れが強くなる箇所。河川の湾曲部に多い。）にあたる箇所に橋台が突出している場合、流水の影響で洗掘が生じやすい。洗掘により橋台が沈下・移動・傾斜するほかに、橋台背面土の吸い出しにより橋台背面の路面が陥没する可能性があることに留意する。

背面舗装に変状が生じている例



例

橋台背面土の流出や吸い出しにより、橋台背面の路面が陥没している例



例

橋台背面土の流出や吸い出しにより、橋台背面の路面が陥没している例



例

橋梁背面土の流出や吸い出しにより、橋梁背面の路面が陥没している例

(豪雨災害時に発見された損傷)



例

橋台前面の洗掘に伴い、橋台背面部に陥没が生じている例

備考

- 繰り返し橋台背面に陥没が生じる場合には、河川による洗掘の影響が疑われる場合がある。
- 河川管理施設等構造令制定前に建設された橋では、基礎の根入れが浅いものや護岸、護床工が設置されていないものがあり、洗掘が生じやすい。

背面舗装に変状が生じている例



例

水中部において、橋台近傍の護岸工が抜け落ち、橋台背面の路面が陥没している例

例

備考

■周辺の護岸が抜け落ちている場合は、橋台背面工の流出や吸い出しにより橋台背面の路面が陥没する場合がある。

IV.状態の把握

流木等が下部構造周辺に堆積している場合や下部構造に付着物がある場合は、取り除いたうえで状態の把握を実施するのがよい。

必要に応じて、下部構造近傍の河床位置やフーチング近傍の状態の計測や潜水士による直接目視又は水中カメラ等による視認で変状を把握することが効果的である。

水深や洗掘状態の把握は、超音波の活用や水中カメラの活用など多様な方法が考えられる。各機器の特性を考慮して結果の解釈を行うのがよい。

i) 目視等

■ 目視等で以下を観察することで、異常が把握できることがある。

- ・ 橋梁軸線がずれていないか
- ・ 橋台・橋脚躯体の傾斜，沈下，ひび割れ等の変状がないか
- ・ 橋台・橋脚周辺の河床低下はないか
- ・ フーチングの上面又は下面が露出していないか
- ・ 洗掘深さは進行していないか
- ・ 対策工に変状はないか

■ 水中部の直接目視可能な範囲を最大限にするために、濁水期に状態把握を行うのがよい。

<水中カメラを活用する際の留意点>

■ 水中カメラを活用する場合，水の濁りにより水中の様子が正確に把握できないことがある。

■ 水中カメラにより洗掘が生じていないように見えても上流から流れ着いた土砂が堆積しているだけの場合がある。

■ 水中カメラを活用する際は，機器により色調や分解能にそれぞれ特徴があることを理解したうえで使用するものとし，実際に用いることが想定される条件でキャリブレーションしておくがよい。

橋梁軸線に異常が生じている例



例

橋梁の軸線に異常が生じている
例



例

橋梁の軸線に異常が生じている
例



例

橋梁の軸線に異常が生じている
例



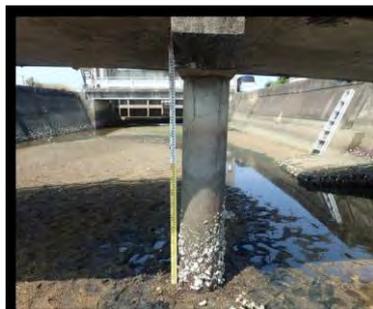
例

橋梁の軸線に異常が生じている
例

備考

- 軸線の異常が見られる場合、洗掘が既に橋の安定に影響を及ぼしている可能性がある。
- 基礎が不安定になっていることが疑われる場合には、規制等、早急な措置の必要性を検討する必要がある。

橋台・橋脚躯体に傾斜等の異常が生じている例



例

パイルベント橋脚が傾斜している例



例

橋脚に洗掘が生じ、断面欠損が生じている例



例

沈下橋の橋脚が傾斜している例



例

橋脚が傾斜し、上部構造が支持できていない例

備考

- 軸線の異常が見られる場合、洗掘が既に橋の安定に影響を及ぼしている可能性がある。
- 基礎が不安定になっていることが疑われる場合には、規制等、早急な措置の必要性を検討する必要がある。

パイルベント杭に変形・軸線の異常が生じている例

	<p>例</p> <p>パイルベント杭が変形し、杭頭部が破断している例</p>
	<p>例</p> <p>パイルベント杭が変形し、杭頭部が破断している例</p>
	<p>例</p> <p>パイルベント杭が変形し、杭頭部が破断している例</p>
	<p>例</p>

備考

- 軸線の異常が見られる場合、洗掘が既に橋の安定に影響を及ぼしている可能性がある。
- 基礎が不安定になっていることが疑われる場合には、規制等、早急な措置の必要性を検討する必要がある。

橋台・橋脚周辺の河床低下が生じている例

	<p>例</p> <p>基礎部が流水のため著しく洗掘されている例</p>
	<p>例</p> <p>橋台に洗掘が生じている例</p>
	<p>例</p> <p>橋台に洗掘が生じている例</p>
	<p>例</p> <p>橋台に洗掘が生じている例</p>

備考

- 増水時に、橋脚の上流側での河床材料が消失し、洗掘が進行する可能性がある。
- 基礎部の状態を直接確認できないときには、必要に応じて水中カメラ等で見えるなどできるだけ状態を把握することが効果的である。

フーチングが露出している例

<p style="font-size: small;">前面地盤の崩壊</p> 	<p style="font-size: small; border: 1px solid black; padding: 2px;">例</p> <p>護岸が整備されていないため、増水の繰り返しにより洗掘が進行し、フーチングが露出している例</p>
--	---

	<p style="font-size: small; border: 1px solid black; padding: 2px;">例</p> <p>洗掘が進行し、フーチングが露出している例</p>
--	---

	<p style="font-size: small; border: 1px solid black; padding: 2px;">例</p> <p>洗掘が進行し、フーチングが露出している例</p>
---	---

	<p style="font-size: small; border: 1px solid black; padding: 2px;">例</p> <p>洗掘が進行し、フーチングが露出している例</p>
---	---

備考	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水中部の直接目視可能な範囲を最大限にするために、濁水期に状態把握を行うのがよい。 ■ 基礎部の状態を直接確認できないときには、必要に応じて水中カメラ等で見られるなどできるだけ状態を把握することが効果的である。
----	---

フーチングが露出している例

	<table border="1"> <tr> <td style="width: 50px;">例</td> <td> <p>基礎部が洗掘されフーチングや杭が露出している例</p> <p>(津波後に発見された損傷)</p> </td> </tr> </table>	例	<p>基礎部が洗掘されフーチングや杭が露出している例</p> <p>(津波後に発見された損傷)</p>
例	<p>基礎部が洗掘されフーチングや杭が露出している例</p> <p>(津波後に発見された損傷)</p>		

	<table border="1"> <tr> <td style="width: 50px;">例</td> <td> <p>洗掘が進行し、フーチングが浮いている例</p> </td> </tr> </table>	例	<p>洗掘が進行し、フーチングが浮いている例</p>
例	<p>洗掘が進行し、フーチングが浮いている例</p>		

	<table border="1"> <tr> <td style="width: 50px;">例</td> <td> <p>洗掘が進行し、橋台が傾斜している例</p> </td> </tr> </table>	例	<p>洗掘が進行し、橋台が傾斜している例</p>
例	<p>洗掘が進行し、橋台が傾斜している例</p>		

	<table border="1"> <tr> <td style="width: 50px;">例</td> <td> <p>洗掘が進行し、橋台が傾斜している例</p> </td> </tr> </table>	例	<p>洗掘が進行し、橋台が傾斜している例</p>
例	<p>洗掘が進行し、橋台が傾斜している例</p>		

備考	<p>■水中部の直接目視可能な範囲を最大限にするために、濁水期に状態把握を行うのがよい。</p> <p>■基礎部の状態を直接確認できないときには、必要に応じて水中カメラ等で見えるなどできるだけ状態を把握することが効果的である。</p>
----	---

既存の対策工に変状が生じている例

	<p style="text-align: center;">例</p> <p>護岸ブロックが抜け落ち、空洞が確認された例</p>
	<p style="text-align: center;">例</p> <p>護岸ブロックが崩落し、橋台が不安定な状態となっている例</p>
	<p style="text-align: center;">例</p> <p>護岸が崩落し、上部構造が沈下した例</p>
	<p style="text-align: center;">例</p> <p>下部構造を保護する擁壁が破損している例</p>

備考

- 既存対策工の変状から、異常を把握できることがある。
- 周辺の護岸ブロックの流出や橋脚に衝突物がある場合は、洗掘が生じている場合がある。

ii) 現地計測

- 下部構造付近の水深値を計測し、基礎の根入れ深さを河床高から算出する。
- 計測の原点は、不動点とみなせる箇所とするのがよい。
- 水深や洗掘深さや範囲を計測したとき、記録には、計測地点（座標）や計測方法、想定される計測誤差程度も合わせて残しておく、今後の計測時に結果を比較できる。
- 上流から流れ着いた土砂が堆積してしまっている可能性もあることも考慮し、非破壊検査など計測された洗掘深さを絶対視し、活用することには注意が必要である。

○その他の留意点

- 大規模な増水があった場合、速やかに状態の把握を実施し、水位低下後に再度状態の把握を実施するのがよい。
- 河川の増水によって再び洗掘が進行する、あるいは地震の影響により不安定となる可能性もあるため、必要に応じて、恒久対策までの間に更なる変状が生じないか監視を行うことも有効である。

Ⅱ編 水中部の鋼製パイルベント橋脚の腐食

1. 本資料の位置付け

本参考資料は、定期点検における水中部の鋼製パイルベント橋脚の腐食に対する状態の把握を行うにあたって、留意すべき事項を示す。

なお、パイルベント橋脚における洗掘に対する状態把握については、「Ⅰ編 基礎地盤の洗掘」を参考にするとよい。

2. 水中部の鋼製パイルベント橋脚の腐食に対する状態把握の留意点

- 鋼製パイルベント橋脚の断面欠損は水中部で生じることがあり、没水部や飛沫部の腐食条件が最も厳しく、条件によっては著しい腐食が生じる場合がある。
- 干潮河川など塩分の影響を受けている箇所においては著しい腐食が生じる場合がある。
- 水中部の直接目視可能な範囲を最大限にするために、濁水期に状態把握を行うのがよい。
- 水中部に付着物がある場合は付着部について局部腐食が進行している場合もあるため、付着物を除去しながら状態の把握を行うのがよい。
- 状態の把握においてケレンした部分やハンマ等で防食を傷めた可能性がある場合は、防錆措置を行うのがよい。
- 出水期に流下した土砂などが鋼管に衝突し鋼管表面を削ることがある。
- 防食が施されている鋼部材でも、石や砂の衝突による傷や磨耗、防食の欠陥等が原因で局部的に著しく腐食が進行し、孔食や断面欠損につながる場合がある。
- 孔食や断面欠損が進展するとパイルベント橋脚に座屈が生じることがある。
- 状態の把握にあたっては、潜水土による直接目視あるいは水中カメラ等による視認で変状を把握することが効果的である。水中カメラを活用する際の留意点は、「Ⅰ編 基礎地盤の洗掘」を参考にするとよい。
- 状態の把握の結果、局部的な孔食が生じている、断面欠損が生じている、あるいは著しい減肉が生じているなど部材に著しい腐食があるか、その疑いがあることが判明した場合には、腐食の範囲・断面減少の規模を可能な限り定量的に記録しておくことよい。また、状況に応じてより詳細な状態の把握が必要となる。

3. 水中部の鋼製パイルベント橋脚の腐食の事例

次頁以降に水中部の鋼製パイルベント橋脚の腐食の事例を示す。

パイルベント橋脚	腐食	1 / 2
----------	----	-------

鋼製パイルベント橋脚に腐食が生じ、断面欠損や変形が生じている状態



例

汽水域にあるパイルベント橋脚の水面付近に著しい腐食が生じている例



例

汽水域にあるパイルベント橋脚の水面付近に著しい腐食が生じている例



例

パイルベント橋脚の水面付近に著しい腐食が生じている例



例

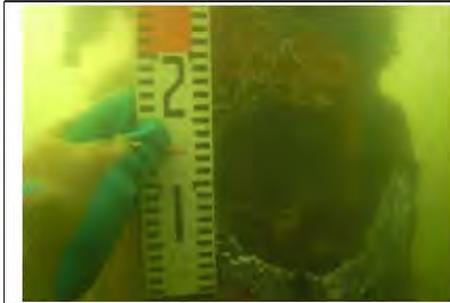
海中のパイルベント橋脚に海洋生物が付着している例

備考

- 鋼製パイルベント橋脚の断面欠損は水中部で生じることがあり、没水部や飛沫部の腐食条件が最も厳しく、条件によっては著しい腐食が生じる場合がある。
- 水中部に付着物がある場合は付着部について局部腐食が進行している場合もあるため、付着物を除去しながら状態の把握を行うのがよい。

パイルベント橋脚	腐食	2 / 2
----------	----	-------

鋼製パイルベント橋脚に腐食が生じ、断面欠損や変形が生じている状態



例

パイルベント橋脚の没水部に腐食による著しい断面欠損が生じている例



例

パイルベント橋脚の没水部に腐食による著しい断面欠損が生じている例



例

パイルベント橋脚の没水部に孔食が生じている例



例

パイルベント橋脚の没水部に座屈による変形が生じている例

備考

- 水中部の直接目視可能な範囲を最大限にするために、濁水期に状態把握を行うのがよい。
- 必要に応じて、潜水士による直接目視あるいは水中カメラ等で把握することが効果的である。