

# 増水時における橋脚の洗掘に備える



さみぞ まさひこ

佐溝 昌彦

防災技術研究部(地盤防災) 主任研究員

## はじめに

日本の河川では梅雨や台風による豪雨や雪解けに伴う増水により、場合によってはこれを原因とする災害が発生します。河川に架かる橋梁では川を流れる水の影響で橋桁を支える橋台や橋脚の周りの地盤が掘られることで、橋台や橋脚が傾いたり、沈んだり、あるいは倒れたりする場合があります(図1)。

鉄道では、このような災害を防ぐために、日頃から橋梁



図1 橋脚が倒壊した災害の例

や河川の状況を把握し、必要に応じて様々な措置を施して橋梁を守っています。ここでは、こうした増水時の洗掘災害を防止するための措置について紹介するとともに、橋脚の微かな振動に着目して橋脚の健全性を評価する方法について紹介します。

## 洗掘とは

増水した川の流れの中に橋脚などの構造物があると、構造物が流れを遮ることでその周りの水の流れはとて複雑になります。この複雑な流れによって、構造物の足元の土砂は巻き上げられ、その周りだけが部分的に掘られる現象(図2)が起こります。こうした現象を「洗掘(せんくつ)」といいます。洗掘は、流れの速さや土砂の粒の大きさ、橋脚の形や大きさなどが影響し、それら要因が複雑に絡み合っ

## 洗掘被害を防ぐ

橋脚の安定には基礎底面を支える地盤の固さや河床面から基礎底面までの深さ(図3、根入れ長といいます)が大きく影響します。一般に根入れ長が十分に長い場合には安定していますが、これが短くなるとともに安定性が低下しま

す。橋脚の周りで洗掘が発生するとこの根入れ長が短くなり、橋脚基礎の安定性が低下することがあります。

鉄道では、洗掘による橋脚の被害や事故を未然に防ぐために、橋脚の周りの河床にコンクリート製のブロックや石を敷いて洗掘を受け難くする工事や、鉄板やコンクリートの壁で橋脚の周りを囲って橋脚の安定



図2 橋脚周りで発生した洗掘の様子

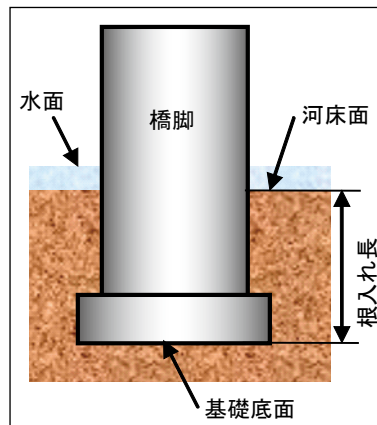


図3 橋脚基礎地盤のイメージ



図4 橋脚周りの洗掘防護工の例

図5 水位観測用の量水標 図6 レールによる洗掘計

性を増すための工事が行われています(図4)。また、橋梁付近の川の水位を観測し(図5)、その水位に応じて列車を徐行させたり運行を中止したりする「運転規制」という措置も併せて行われています。さらに、こうした対策を効果的に行うために、構造物の現状や状態の変化を確認して、構造物の健全度(健全性)を評価し、措置の要否を判断する作業(これを検査といいます)を定期的に行っています。

また、現在はあまり使われていませんが、レールなどを橋脚に沿わせて河床面に建て、それが沈下した程度でどの程度の深さまで洗掘が進行したかを簡易に確認する方法(洗掘計、図6)も採られていました。

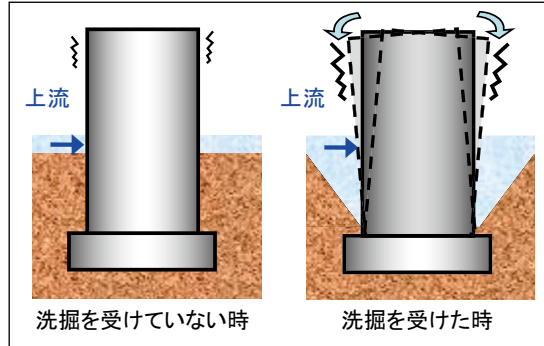


図7 橋脚周りの地盤条件と揺れ具合の違い

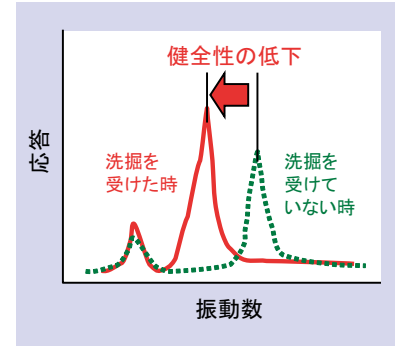


図8 振動数で見る揺れ方の違い

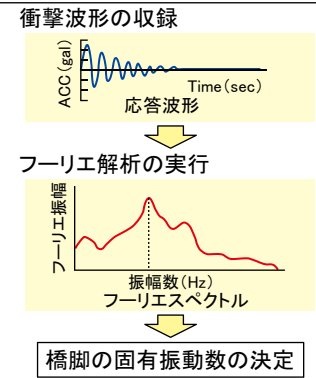
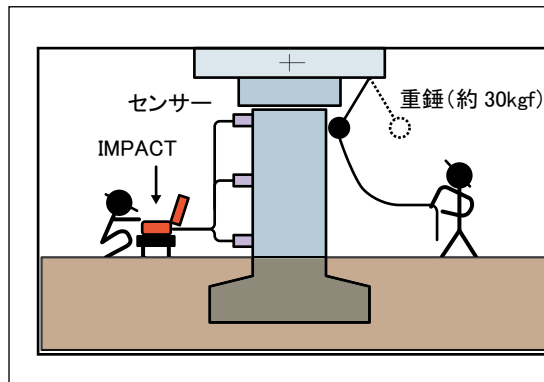


図9 衝撃振動試験のイメージ

### 橋脚の足元の状態を探る

従来から、橋脚周りの地盤の状態(図7)が橋脚の揺れ具合(振動性状)に影響することは知られています(図8)。特に、橋脚が揺れやすい特定の振動数(固有振動数)と橋脚基礎の健全性には密接な関係があることが分かっています。そのため、平常時における橋脚基礎の健全性を調べる方法として、鉄道総研ではこれまで、①重錘を橋脚につけて振動させ、橋脚の固有振動数を測定する手法(衝撃振動試験、図9)と、②橋脚天端で測定した自然に揺れている微かな振動(微動)に着目して、微動の中にロッキング振動(橋脚が上振り子のように揺れる振動)が占める割合に着目した手法、などを開発してきました。

このうち、衝撃振動試験は構造物の固有振動数が簡易にしかも精度良く測定できる方法であり、多くの鉄道事業者にご利用いただいています。しかし、これらの手法は増水時における橋脚基礎の健全性評価への適用については事例も少なく、かつ作業の安全性などの面からも課題が残っていました。

### 微かな振動から基礎の状態を調べる

先ほど、ある水位以上に増水した際には列車の運行を停止させて列車の安全を確保することを紹介しました。逆にこの運転規制では水位が基準値を下回れば運行を再開します。しかし、実はそのとき基礎の状態がどうなっているかを橋梁の上から見ることはできません。そのため、構造物

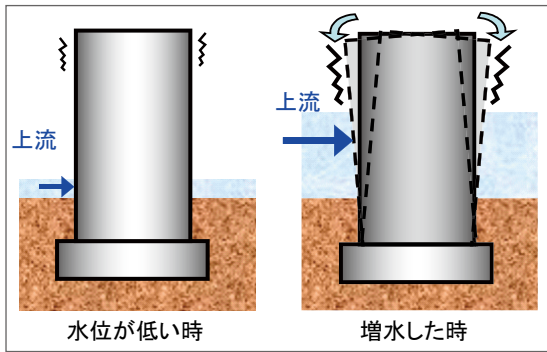


図10 平水時と増水時での揺れ具合の違い

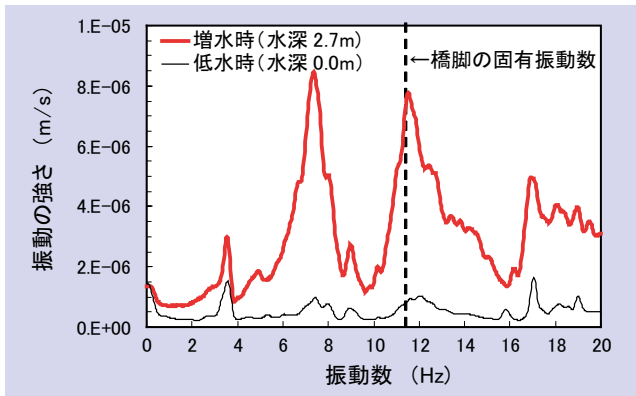


図11 平水時と増水時の揺れの強さの違い

を管理している技術者たちは実際には目視と経験に基づいて判断せざるを得ないことが多く、これはとても難しい判断となります。そのため、運行を再開する際の判断を支援する合理的な方法が望まれていました。

そこで、増水時であっても橋脚の振動をより簡易に測定して、基礎の状態を把握できる方法が望まれています。これまで、橋脚で測定した微動からは橋脚の固有振動数を特定することがきわめて難しいと言われてきました。微動とは、意図的に強制的な力を加えなくても、自然や人工的な様々な振動源により周辺から伝わってくる微かな振動のことです。地盤や構造物は常に微動によって僅かに揺れています。微動の振動源には、工場などの機械によるものや自動車や電車などの交通によるもの、風や波浪が原因のものなど様々なものがあり、それぞれを特定し分離することは容易ではありません。しかし、特別な装置を用いて加振(強制的に振動)させなくても、構造物は揺れているので、微動から揺れ具合を把握できればとても便利です。

そこで、増水時における橋脚基礎周辺の地盤条件を捉える方法を検討するため、増水時の橋脚の微動に着目して現地計測および実験を行いました。その結果、増水時には流水の影響で橋脚が低水時に比べて大きく振動し(図10)、衝撃振動試験によって予め橋脚の固有振動数が分かっているならば、橋脚の微動から固有振動数を特定できることが分か



図12 試作した橋脚基礎の健全性評価システム



図13 システムの設置状況

りました(図11)。このように、微動から求めた橋脚の固有振動数は増水時における橋脚基礎の健全性評価の指標として有効です。

### 健全度評価システムの開発

上記に成果に基づき、橋脚の微かな振動を測り、その振動の変化から増水時における橋脚基礎の健全性を定量的に評価するシステムを開発しました。この評価システムは、橋脚天端(上面)に設置して微動を計測する「振動センサ」、計測の制御・データの保存・評価・結果の送信を行う「計測処理装置」、河川水位を計測する「水位計」および評価結果を受信・表示する「表示装置」、で構成されています(図12)。これらの機器はバッテリーで駆動し、設置に際して電源設備などを必要としません。図13には、実

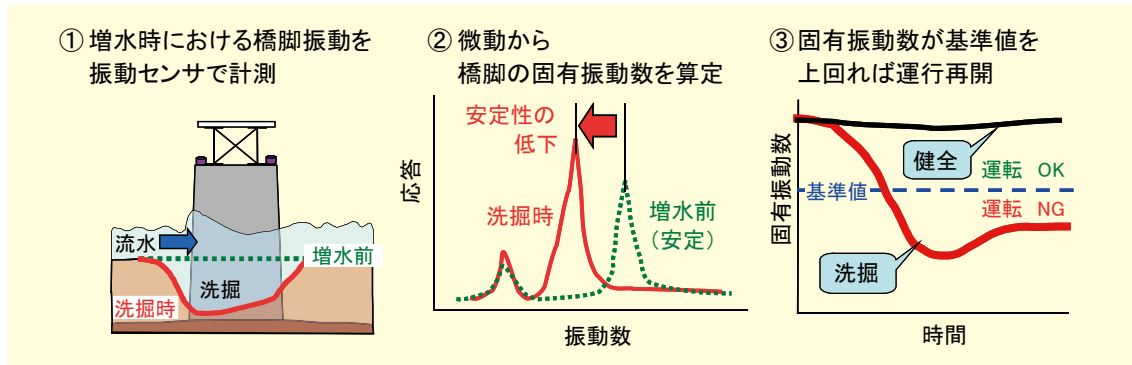


図 14 増水時における橋脚基礎の健全性判定の考え方

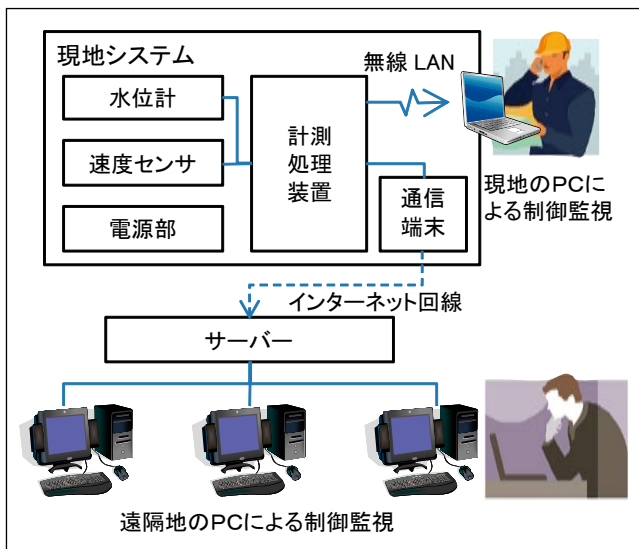


図 15 遠方監視型の評価システムのシステム構成

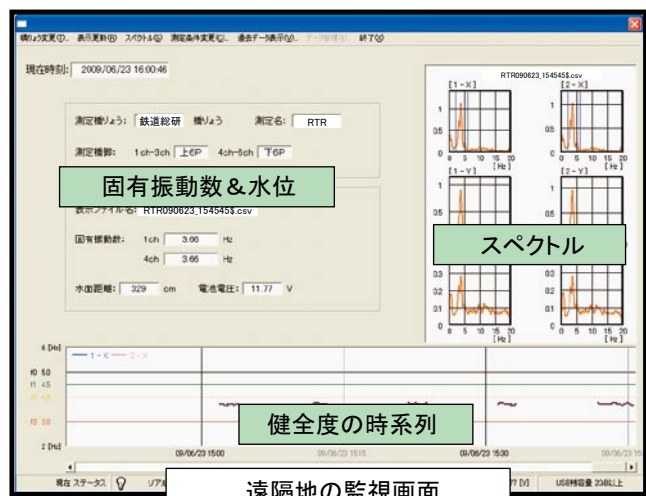


図 16 遠隔地の監視画面の例

橋りょうへの設置例を示します。

この評価システムは、①橋脚天端に設置した振動センサで橋脚の微動を測定し、②測定した微動から橋脚の固有振動数を自動的に算定し、③その固有振動数と橋脚基礎の状態に応じてあらかじめ定めた基準の値とを比較することで橋脚基礎の健全性をリアルタイムに評価し、列車運行の可否の判断を支援します(図14)。

### 遠方監視を可能とした改良

当初試作したシステムでは、評価結果を確認するためには、制御装置の近くで表示装置を動作させる必要があり、保守区員が橋梁上に行く必要がありました。そこで、遠隔地からシステムの制御および健全性の経時変化を監視できるように改良しました。改良したシステムでは、現地のPCで測定条件を設定(制御)することや評価結果の閲覧(監視)ができるだけでなく、保守区や管理部署の担当者が現地から離れた職場のPCで制御・監視が随時できるように

なりました。

図15は遠方監視型の評価システムの構成を示しています。現地システムは、システムの起動の都度、サーバーに測定条件や解析条件を確認し、設定された条件で動作します。これにより、遠隔地から任意の条件で測定させることが可能となります。また、評価結果は現地の処理装置内に保存されるとともに、随時サーバーにアップロードされるため、サーバーにアクセスできる複数の端末から同時に閲覧できます。遠隔地では図16に示す画面によって状態を監視することが出来ます。

### おわりに

河川増水時における洗掘による災害を防止するための取り組みとして、増水時の橋脚基礎の健全性を微動から評価するシステムの開発について紹介しました。このシステムは現在現地での稼働試験を実施中であり、システムの信頼性と評価手法の更なる精度向上に努めています。[RRR]