4．モニタリングによる安全監視

河川堤防の主な被災要因として、越水による破堤、浸潤破壊(すべり破壊)、パイピング破壊等が挙げられる。これらの被災の可能性がある箇所(区間)は、重要水防箇所に指定され、洪水時には重点的に巡視・点検されている。しかし、この目視を主とした巡視・点検による方法だけでは堤防の危険性に関わる定量的評価は難しく、また洪水時の緊急対応という点で課題が残されている。

本章では、堤防が危険な状態にあることを定量的かつ迅速に把握することを目的として、河川水位のほか、堤体内水位および基礎地盤の透水層水位のモニタリング方法について解説する。

4.1　河川水位のモニタリング

河川の水位は、河川管理を目的として時々刻々観測されている。しかし、これらの水位観測所は、河川計画上の基準点をはじめとして管理上必要な箇所に配置されており、水防的にクリティカルな箇所に配置されているわけではない。また、直轄区間と比較して補助区間・補助河川の水位の観測箇所や観測頻度は少なく、河川水位の観測・監視体制は十分とはいえない。

このような状況を踏まえて、本節では防災を目的とした水位観測施設のモデルを示すとともに観測機器の種類や情報提供の方法等について述べる。

(1) 水位観測システムの構成

水位観測に必要な機器として水位計が挙げられるのは当然である。ただし、水位計により観測された河川水位は、いわゆる「点」の情報であり、流水が連続する河川において、その状況を必要十分に表現できるわけではない。これを補間するものとして監視用カメラが挙げられる。カメラ映像（現実には 1 分おきの静止画像など）は、洪水時に刻一刻と変化する河川の状況を把握し、かつ流域住民に対して切迫感を持った情報を提供するのに有用なツールである。水位計のように定量的に表現することはできないが、一方で「面」的な情報という特徴を持っている。

図-4.1 に観測機器として水位計および監視用カメラを用いた水位観測システムの概略図を示す。例示したシステム構成は、現地で観測したデータをインターネットによって流域住民に公開することを前提としたものである。使用する機器によって電気信号の変換器や中継器、要求仕様によって機器制御装置やデータレコーダが必要になり、またサーバを設置する事務所の制約によって、その構成が異なる可能性があることに留意されたい。

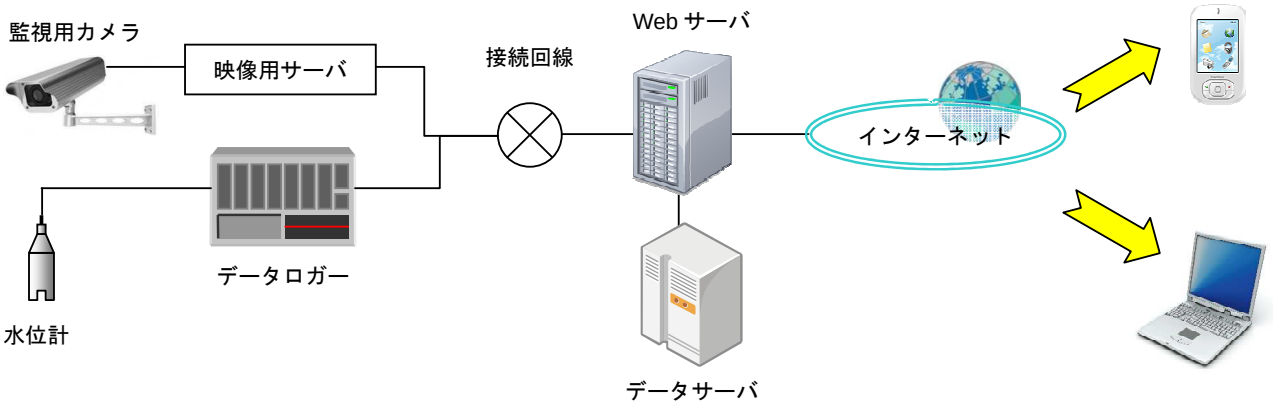


図-4.1　水位観測システムの構成例

その他に警報用のスピーカや回転灯を現地に設置することも想定される。また、写真-4.1 に示すような現地設置用のツールもある。このようなツールを利用して、例えば水位のレベルに応じて光の色を変えて表示し、光の色の違いで水位の状況を周囲に伝えることなども有効と考えられる。

写真-4.1　現場計測データの光(色)変換・即時表示ツール（(株)ダイヤコンサルタント）

(2) 監視用カメラ

ア) 夜間対応

写真-4.2　監視用カメラ
(TOA(株) C-CC364)

監視用カメラは、各メーカから様々な機種が市販されている。使用するカメラは、屋外仕様とすることはいうまでもないが、加えて夜間対応の製品を選定する必要がある。近年はカメラの電子感度アップによって、夜間でも相応に鮮明な画像を得られる。ただし、夜間の画像は電子感度アップの倍率だけで決まるわけではなく、周囲の光源（街灯など）、最低照度や撮像素子サイズにも関連するため注意が必要である。そのため、監視用カメラの選定に当たっては、撮影テストを行い、実際の画像を見てから判断することが望ましい。

イ) カメラの可動

監視用カメラに遠隔制御が可能な旋回台を取り付けることで、カメラの撮影範囲や角度を変更することができる。現地の状況や設置目的に応じて固定とするか可動とするかを選択することになるが、カメラの映像を一般公開する場合には、プライバシーを考慮して撮影範囲や角度を選定することが要求される。この点では、監視用カメラの撮影範囲を固定しておくことが望ましい。監視用カメラを可動させる必要がある場合には、公開用および非公開用として固定カメラと可動カメラの両方を設置する必要がある。

ウ) 設置にあたっての留意点

監視用カメラの撮影範囲を検討する際には、プライバシーに留意する必要がある。居住用建築物や私有地は撮影範囲に入らないよう調整するか、マスキング等の処理をする。いずれにせよ、カメラ設置に当たっては、周辺の住民に対して十分な説明を行い、理解を得る必要がある。

(3) 水位計

ア) 種類と特徴

水位計にはいくつかの種類があるが、ここでは比較的設置が簡易で、かつ使用実績の多い水圧式（水晶式）、超音波式および電波式水位計を取り上げる。表-4.1 に各水位計の概要を示す。

表-4.1　水位計の種類と特徴

種類	水圧式(水晶式)	超音波式	電波式
外観	 (写真:(株)拓和 QS シリーズ)	 (写真:(株)横河電子機器 W-826)	 (写真:(株)池田計器製作所 FMR230)
測定原理	受圧部のうける水圧を感圧素子により検知して電気信号に変換する。水晶式水位計は、水晶振動体が水圧を受けると、振動周波数が変化することを利用した水位計である。	送受波器から水面に向けて発射した超音波パルスが、水面で反射して戻ってくるまでの時間を計測することで、送受波器から水面までの距離を測定する。	微弱な電波を水面に発射し、反射して帰ってくる時間により、水面までの距離を計測する。
測定範囲	最大 100m 程度まで測定可能	最大 15m 程度まで測定可能	最大 10m 程度まで測定可能
測定精度	±0.02～0.05%／F.S.	±1.0～2.0cm	±1.0cm
設置場所	護岸や橋脚等に設置。	橋梁等の横断構造物に設置。 河岸から突き出したアームによる設置も可能。	橋梁等の横断構造物に設置。 河岸から突き出したアームによる設置も可能。
長所	・測定精度が高い。 ・維持管理が容易。 ・設置場所の制約が少ない。	・流出土砂や流木による破損のおそれがない。 ・汚濁物質や沈殿物の影響を受けない。	・流出土砂や流木による破損のおそれがない。 ・汚濁物質や沈殿物の影響を受けない。 ・気温や風の影響を受けにくい。 ・狭い水路、障害物のある水路にも取り付け可能。
短所	・河床堆積の著しい箇所、汚濁物質の多い箇所には不適。 ・流出土砂や流木による破損のおそれがある。	・周囲の障害物に干渉することがある。 ・風や気温、雨滴の影響を受けることがある。 ・川幅が広い河川では、設置場所に制約がある。 ・送受波器の維持管理に足場を要する場合がある。	・妨害電波の多いところでは不安定になることがある。 ・川幅が広い河川では、設置場所に制約がある。 ・送受波器の維持管理に足場を要する場合がある。
使用実績	直轄河川、補助河川ともに実績豊富。	近年、使用実績が増加している。	川幅が小さく、周辺に建築物の多い都市河川での使用実績が多い。
価格※	約 1,200,000 円/基	約 2,200,000 円/基	約 1,600,000 円/基

※センサー部の他、中継器、変換器を含めた価格。データロガーや電源装置は含んでいない。

イ) 管理基準値

当該河川が洪水予報河川や水位周知河川に指定されている場合、既設の水位観測所ごとに水防団待機水位、はん濫注意水位、避難判断水位およびはん濫危険水位が設定されている。このような河川で新たに水位観測を行う場合、既設観測所の水位設定方法に準じて当該位置における各種水位を設定すれば、水防団や住民の混乱を招かずにより密な防災情報を提供することができる。ただし、洪水予報河川や水位周知河川は水防法に基づく指定河川であるため、河川管理者と十分な協議を行って実施しなければならない。

当該河川が洪水予報河川や水位周知河川に指定されていない場合、まず上記のような法指定河川に用いられる水位名称は使用できないことに注意が必要である。水防活動や避難行動につなげるための管理基準値としては、最も危険なレベルを計画高水位とすることが考えられる。また、当該位置の上下流に既設の水位観測所がある場合、その水位記録から洪水波形を複数抽出し、水位の上昇量と上昇速度から必要なリードタイムを勘案して、危険レベルに応じた水位を設定することも考えられる（図-4.2 参照）。ただし、当該河川が法指定されていない場合でも、河川管理者と十分な協議を行って対応を検討しなければならない。

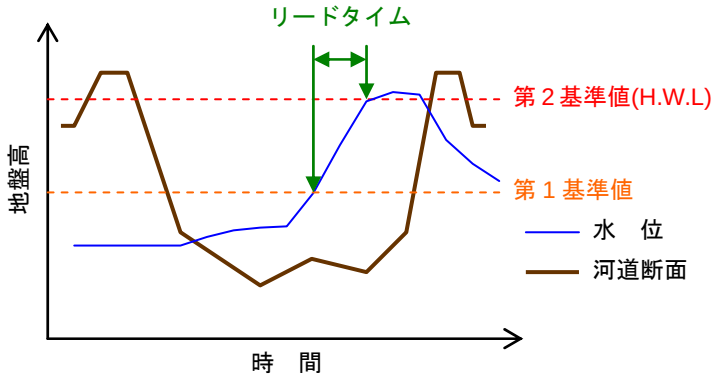


図-4.2 管理基準値設定のイメージ

(4) 量水標

ア) 役割

水位計を設置する箇所には、併せて量水標を設置する。量水標は、それ自体が水位を計測するものであり、洪水時に水防団等が水位を目視で確認するのに役立つ。また、監視用カメラで量水標を撮影すれば画像を通してリアルタイムで水位を把握できる。さらに、水位計のメンテナンスに利用するといった補助的な役割もある。

イ) 種類と特徴

量水標には部分反射タイプと高輝度蓄光タイプがあり、その概要を表-4.2 に示す。

なお、全面反射タイプは監視用カメラで夜間に撮影した場合、ハレーションを起こすため、ここでは除外した。

ウ) 設置にあたっての留意点

量水標は、周辺の景観に留意しながらも、監視用カメラで撮影した場合に十分な視認性を確保できるように幅広タイプ（W300～500 程度）を用いることが望ましい。

防災情報として水位を表現する際、住民に対して分かりやすくするために「○○橋の桁下まで△m」といった表現をすることがある。東京都区内では、写真-4.2 に示すように天端を 0m として下方に向かって数値が増加するように量水標が設置されている。現地の状況に応じて、見やすい・分かりやすい設置方法を検討することが必要である。

表-4.2 量水標の種類と特徴

種類	部分反射タイプ	蓄光タイプ
外観	(写真:(株)サンキキ)	(写真:中央開発(株))
概要	プリント面の数値・目盛線等の必要部分にのみ反射材を用いた量水標。	プリント面の数値・目盛線等の必要部分に高輝度蓄光顔料を用いた量水標。
長所	(全面反射タイプに比べて)カメラで見る場合のハレーションを反射材の種類によって調整できる。	・高輝度蓄光顔料を焼付けているため、劣化(剥げ落ち)がない。顔料の蓄光機能も半永久的。 ・日中の光を蓄えるため、夜間の光源は不要。 ・カメラで見る場合のハレーションが小さい。
短所	周囲に光源(街灯など)が必要。光源のレベルは使用する反射材による。	発光の継続時間に限界がある(約 6～7 時間程度)。
使用実績	河道、水門等の河川構造物、ダム等への設置実績は多数。	設置実績は少ないが、高輝度蓄光材は屋外看板、地下街の誘導板等に多数利用されている。
価格※	約 50,000～60,000 円/m	約 220,000 円/m

※W500、勾配無しタイプの価格。

(5) 設置箇所

ア) 危険箇所

監視用カメラ、水位計、量水標を設置する場所は、流下能力の不足箇所、越水等の被災実績のある箇所等が中心となる。つまり、重要水防箇所を中心に設置箇所を検討することになる。また、設置箇所の検討に当たっては、水防団や地元住民の聞き取りを行うことが望ましい。

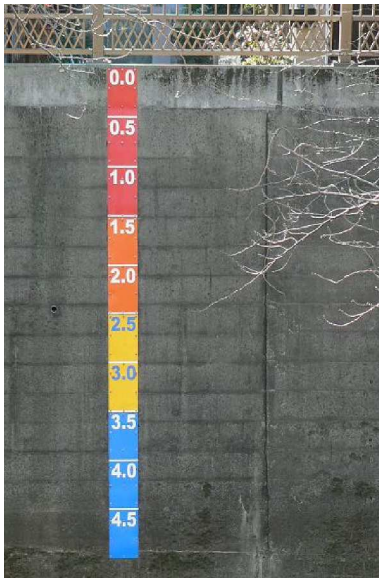


写真-4.2 量水標の設置例

（東京都板橋区）

イ) 構造物およびその周辺

橋梁・護岸等のコンクリート構造物は、水位計や量水標の設置が容易である。加えて、橋梁等の横断構造物はそれ自体が河道のボトルネックになる場合があり、危険箇所という側面もある。

また、監視用カメラは、設置した量水標が入るようにカメラ角度を調整することで面的な水位情報を一般に提供することができるが、橋梁や高水護岸等水面と対比できる構造物を撮影範囲に含めれば、より有効である。

図-4.3 河川監視カメラの事例（神奈川県雨量水位情報：
http://www.pref.kanagawa.jp/sys/suibou/web_general/suibou_joho/main.htm)

ウ) 通信および電源の環境

従来と比較して、観測機器やその他構成機材の小型化・簡素化によって設置スペースの問題はかなり改善されている。さらに、通信回線や電源環境等の周辺設備についても

制約条件となることはほとんどない。仮にこれらが制約条件となる地域でも、無線通信(特定小電力無線、小エリア無線など)やソーラー電源装置の利用によって解決することができる。

(6) 降雨状況の把握

近年、局地的豪雨が頻発する傾向にあり、流域の都市化も相俟って、中小河川では水位が瞬時に上昇することも珍しくない。水位が急激に上昇すると避難行動が間に合わず、人命が失われる被害も発生しているのは周知のとおりである。

このような現状では、水防上、河川水位を監視するだけでは十分とはいえず、最終的に河川に流れ込む降雨の状況を注視しておくことが重要になる。

降雨状況を面的に把握するにはレーダ雨量が有効である。国土交通省では、全国に 26 基のレーダ雨量計を設置している。この 26 基のレーダ雨量データは、地上の地点雨量によるキャリブレーションを行い、全国合成レーダ雨量として一般に公開されている。

また、気象庁ではアメダスを利用して降水短時間予報および降水ナウキャストを発表している。降水短時間予報は 30 分間隔で発表され、6 時間先までの各 1 時間雨量を予報する。降水ナウキャストは、より迅速な情報としてさらに短い 10 分間隔で発表され、1 時間先までの各 10 分間雨量を予報する。

さらに、国土交通省河川局では、X バンド MP レーダの導入により、リアルタイムで詳細な降雨状況を把握する試みを開始した。2010 年 7 月には、三大都市圏および北陸の 4 地域を対象として試験運用を開始し、観測データの情報提供も実施されている。

表-4.3 に上記の情報を閲覧できるサイトの URL を示す。

表−4.3 レーダ雨量に関するサイト一覧

名称	URL	所管
全国合成レーダ雨量(「川の防災情報」)	http://www.river.go.jp/	国土交通省
X バンド MP レーダ	http://www.river.go.jp/xbandradar/	国土交通省
降水短時間予報・降水ナウキャスト	http://www.jma.go.jp/jma/menu/flash.html	気象庁

4.2　堤体内水位・基礎地盤透水層水位のモニタリング

(1) 目的

【防災情報の提供】

浸潤破壊（すべり破壊）やパイピング破壊に対しては、漏水現象、あるいはその危険性を早期に発見することができれば、適切かつ迅速な水防活動によって、被害の拡大を防ぐことができる。前節で述べた河川水位（外水位）の観測とあわせて、水防活動につながる情報を提供することを目的とする。

【樋門・樋管等周辺の管理】

樋門・樋管等周辺は、透水性の高いゾーンの発達、水みちの形成等によって、浸透に対する弱部になりやすい。浸潤破壊の兆候を早期に発見し、水防活動につながる情報を提供するとともに、樋門・樋管等の機能維持のための基礎資料を得ることを目的とする。

【堤防強化工法の効果検証】

浸透に対する対策工を実施した箇所において、その効果を検証するとともに、機能維持のための基礎資料を得ることを目的とする。

(2) 観測位置･断面

ア) 防災情報の提供

浸潤破壊やパイピング破壊のおそれがある箇所を測定するため、重要水防箇所や被災履歴のある箇所（漏水、法崩れ・すべり）を中心に観測位置（断面）を選定する。

浸潤破壊については、堤防点検（概略点検・詳細点検）を実施している場合には、その結果を十分に活用するものとし、安全度の低い一連区間において、最もクリティカルな断面位置を選定する。

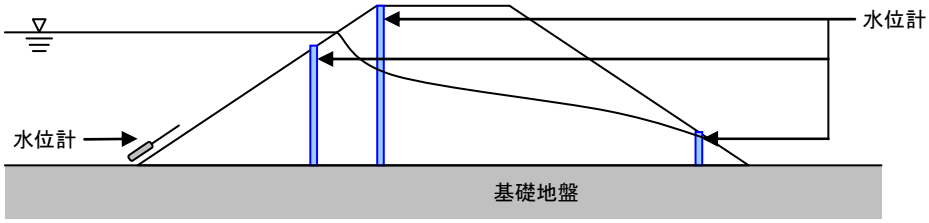
パイピング破壊については、旧河道や落堀等の要注意地形はモニタリングの重要度が高い。観測位置の選定には、治水地形分類図や堤防防災マップを活用する。

測定項目は、図-4.4 に示すように、堤体漏水が対象の場合には河川水位(外水位)と堤体内水位、基盤漏水が対象の場合には透水層水位となる。堤体内水位は、堤体の規模にもよるが、できれば 3 箇所(表法面、天端、裏法尻)測定することが望ましい。堤体の規模に応じて測定箇所を少なくする場合には、裏法尻、次に天端を優先する。また、小段を有する断面形状の場合で、特に裏小段で漏水等が発生している箇所では、裏小段の測定を優先する。

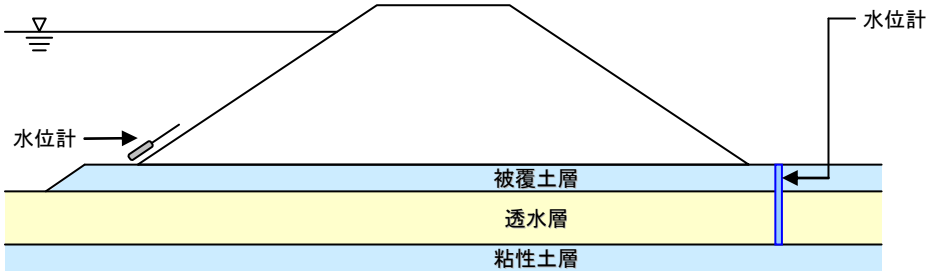
イ) 樋門・樋管等構造物周辺の管理

樋門・樋管等の構造物周辺では、漏水の発生、樋管の抜け上がりといった被災履歴のある箇所を選定する。既往の点検記録があれば、それを十分活用する。

樋門・樋管等の周辺での漏水を監視するには、そのごく近傍の堤体内水位を測定する必要がある。また、上下流側の堤体の透水性との差異を比較するために、図-4.5 に示すように対象構造物から少し離れた位置の堤体内水位も測定しておくとよい。

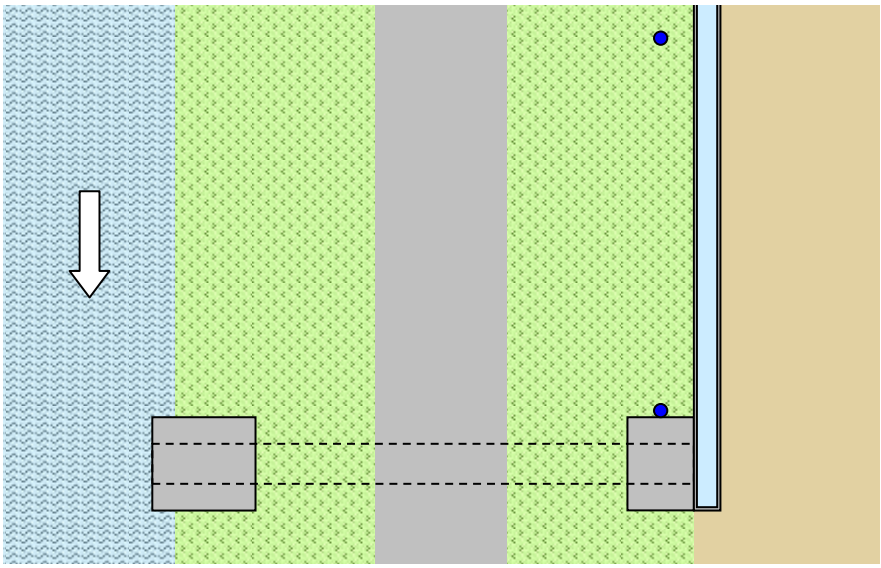


(a) 堤体漏水の場合

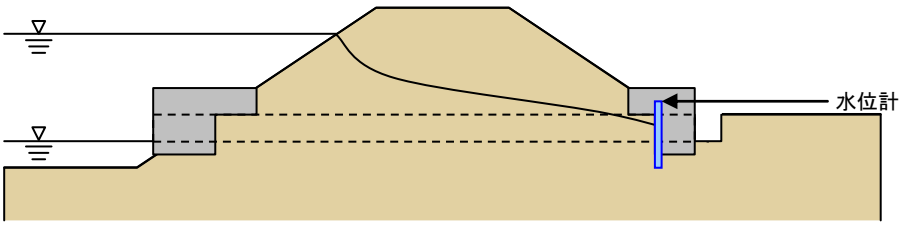


(b) 基盤漏水の場合

図-4.4 防災情報の提供を目的としたモニタリング



(a) 平面図



(b) 断面図

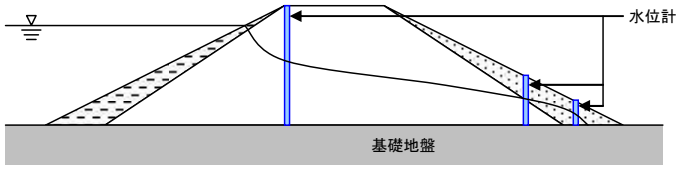
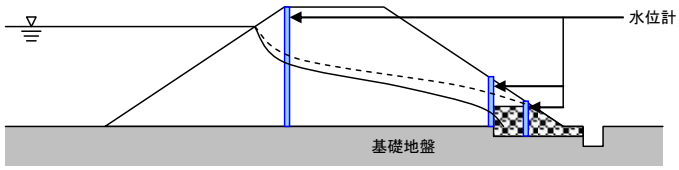
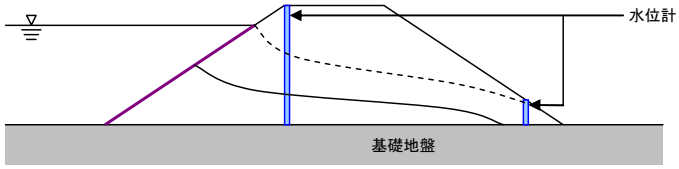
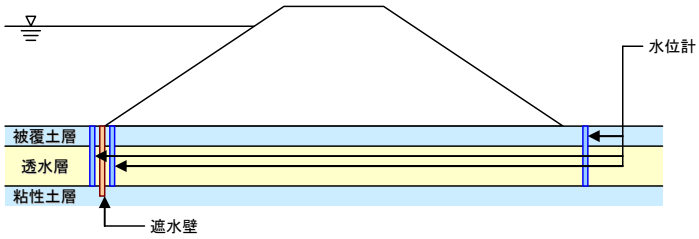
図-4.5 樋門・樋管等周辺のモニタリング

ウ) 堤防強化工法の効果検証

強化対策工については、その効果や長期的な持続性については十分な知見が得られていないものが多いことから、これらを検証するために、強化対策工の施工箇所では代表断面を選定してモニタリングを行うことが望ましい。

堤体を対象とした強化工法から断面拡大工法、ドレーン工法および表のり面被覆工法、基礎地盤を対象とした強化工法から川表遮水工法を取り上げ、表-4.4 に各々のモニタリングイメージを示す。

表-4.4 堤防強化工法の効果検証を目的としたモニタリング

工法名	モニタリングイメージ	測定位置
断面拡大工法		・天端 ・裏法尻(断面拡大前) ・裏法尻(断面拡大後)
ドレーン工法		・天端 ・ドレーン前面 ・ドレーン内部
表のり面被覆工法		・天端 ・裏法尻(断面拡大前)
川表遮水工法		・遮水壁前面 ・遮水壁背面 ・堤内地

(3) 計測機器

河川水位を観測する水位計については前節で述べたとおりである。ここでは、堤体内水位および透水層水位を計測する装置について概説する。

ア) 打ち込み式水位観測井

打ち込み式水位観測井は先端コーンと押し出し式有孔部を持つ保孔管で構成されている。オートマチックラムサウンディング等の簡易打撃装置を用いて地中に打ち込み設置することで観測井として利用できるものであり、迅速かつ低コストで水位観測孔を設置できる。また、目詰まりを防止するため、所定の深度まで打設した後管内に専用ロッドを挿入して先端部だけを打撃し、有孔部を露出させる構造になっている。さらに、有孔部には樹脂製の親水性フィルタを装着しており、有孔部の内径Φ20mm を確保したことにより、小口径の水位計を用いれば、有孔部下端部からの水位を計測できる。

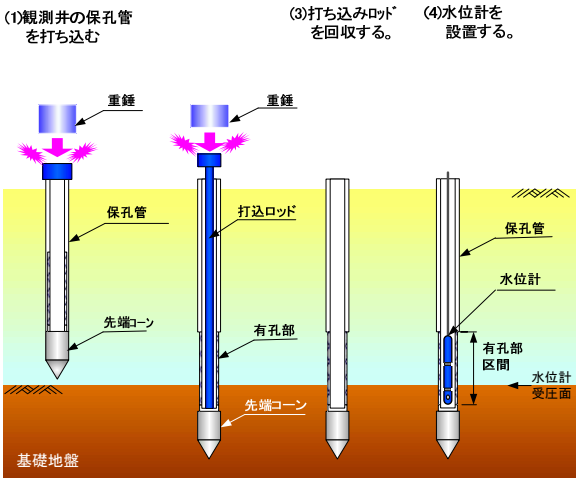


図-4.6 打ち込み式水位観測井の設置手順

写真-4.3 オートマチックラムサウンディングによる設置状況

イ) 振動デバイスを用いた水位観測システム

振動デバイスを用いた水位観測システムは、河川の水位上昇に伴う堤体内の水位の変化を小型の水位観測用振動デバイスセンサを用いて検知・観測するシステムである。

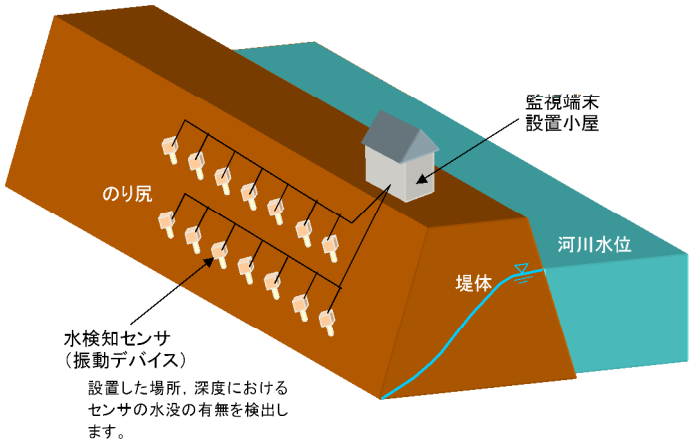
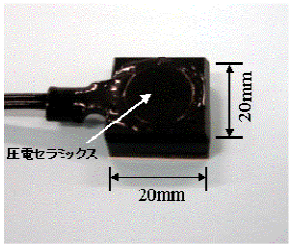


図-4.7　振動デバイスを用いた堤体内水位検知・観測システム

この方式では、振動デバイス中央部の圧電セラミックスをデータロガー側から微小に振動させ、その振動周波数特性を分析することで圧電セラミックスに接触した物質が空気なのか水なのかを識別し、空気：■　水：■と色分けし表示する。従来、建築構造物の施工時にコンクリートの充填を管理するために開発された技術を堤体内水位計に応用したものである。小型なため施工性が高く、また安価なため複数のデバイスを利用して浸透の状況を面的に把握することができる。



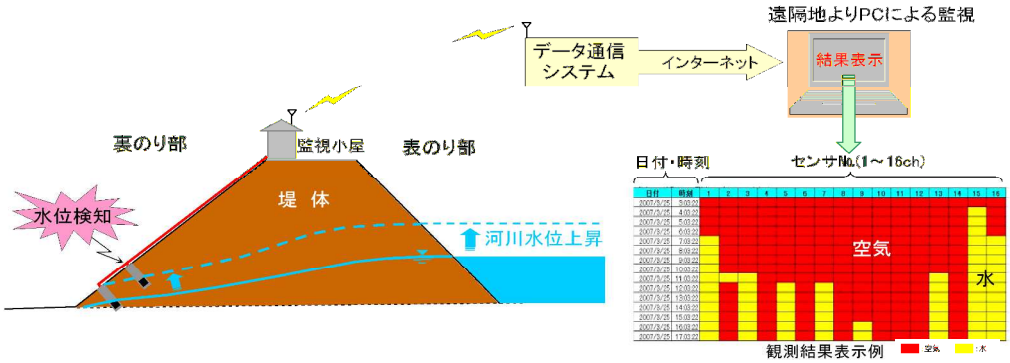


図-4.8　検知・観測システムの概要

表-4.5　検知・観測システム仕様

項目	仕様
検知方式	振動デバイスによる周波数検出方式
識別能力	水、空気、故障
測定チャンネル	16チャンネル/ロガー1台
表示	LCD表示（色別　黄色■：水，赤色■：空気，灰色■：故障）
計測時間	0.6sec／ch
ケーブル長	標準5m，専用延長ケーブルにて最長50m延長可
センサ耐圧	0.3MPa（水圧）
日付機能	内臓時計による 年/月/日/時/分/秒
記録イベント数	約2000イベント
データ出力形式	テキスト形式
電源	AC90～110V
PCとの接続	シリアルポート D-sub(9ピン)
使用温度範囲	0～40°　5～85%(結露なきこと)

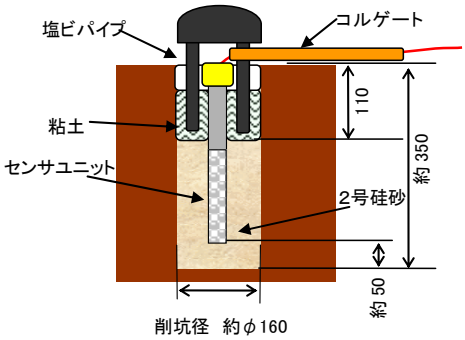
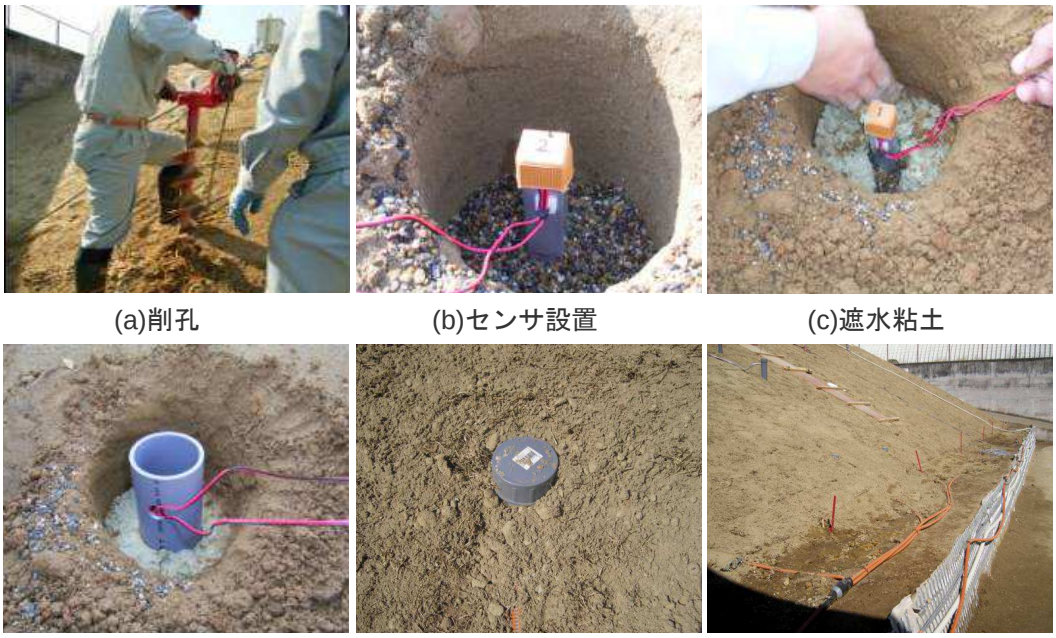


図-4.9　センサ設置方法



(a)削孔　(b)センサ設置　(c)遮水粘土

(d)保護管設置　(e)設置完了　(f)配線状況

写真-4.4　センサ設置事例

(4) 管理基準値

堤体内水位や透水層水位に関しても、河川水位と同じような管理基準値が設定できれば、水防活動へのトリガーとして利用できる。しかし、これらの水位と堤防の安全性との関係は、堤体や基礎地盤の土質構造の複雑さ等を反映して場所によって異なり、一義的に設定することは困難である。

このような現状では、管理基準値を検討していく上で、できるだけ多くの実測データを取得することが重要になる。多くの実測データから、河川水位と堤体内水位・透水層水位の関係、洪水継続時間と堤体内水位・透水層水位の関係等を整理し、当該位置でのクリティカルな条件を探し当てていくことになる。堤体内水位について、一般的には浸潤面が裏法尻や裏小段に達した時点で危険な状態となる。したがって、裏法尻や裏小段での測定を密に行い、実測データと当該位置の現象を比較しながら検討することが重要である。

また、降雨浸透による影響についても考慮する必要がある。上昇した河川水位に降雨が加わる場合や考慮すべき前期降雨がある場合には、浸潤面の上昇速度が速まることが知られている。そのため、当該位置の近傍に雨量観測所が無ければ、雨量計も設置することが望ましい。

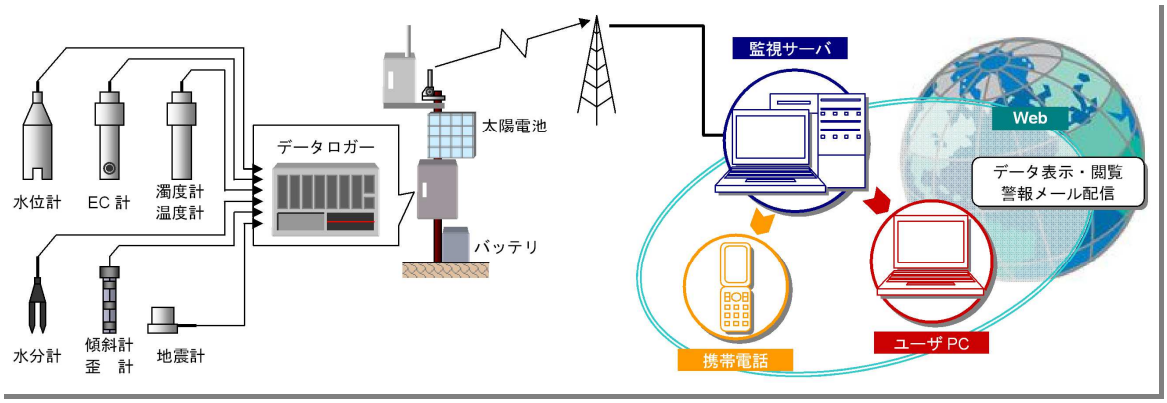
4.3　データ送信システム

河川水位や堤体内水位、透水層水位の観測データについては、省力化のために自動的にデータ回収できる自動観測システムを導入することが望ましい。自動観測システムを導入には、以下のような効果が考えられる。

- リアルタイムデータをインターネットによって公開することで、観測データを水防団や地域住民に対する防災情報として活用できる。
- 自動観測システムによってデータの受信状況を自動監視すれば、観測機器や通信機器の異常の早期発見につながり、欠測を最小限に抑えることができる。

また、洪水時は平常時よりも密に観測する必要があるため、遠隔操作で観測データのサンプリング間隔を変更できるような双方向型の観測システムが便利である。下記に紹介する双方向遠隔自動監視システム「観測王」は双方向通信が可能なシステムであり、データ閲覧にあたっては Web ブラウザ画面を使用しているので、関係者が専用ソフトウェアをインストールする必要がなく、端末（PC、携帯電話等）があれば、いつでもどこでも観測データを閲覧できる。

現地と管理事務所を接続する通信回線には、河川管理用光ファイバネットワークの他、携帯電話回線、公衆回線や ADSL 等が考えられる。現地の通信インフラの整備状況と送受信するデータ量、ランニングコスト等を勘案のうえ、選択することが必要である。



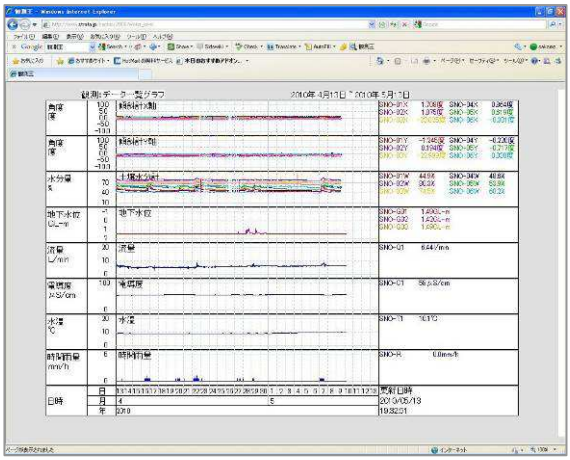


図-4.10　双方向遠隔自動監視システム「観測王」の概念図と Web 表示画面