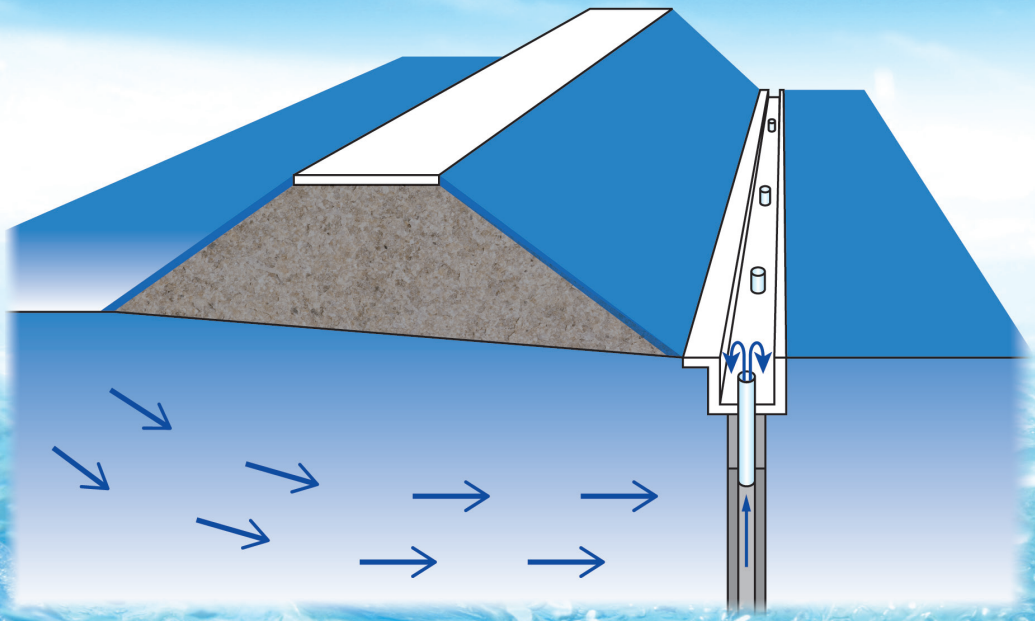
河川堤防新技術活用ガイドブック



一般社団法人リバーテクノ研究会
Research Institute of River Technology

はじめに

一般社団法人リバーテクノ研究会（ＲＩＲＴ）は 2007 年 11 月に各界の知的連携により、環境を配慮した河川防災に関する新技術の開発・普及を図り、地域の安全・安心に貢献することを目的に創設され、2010 年 10 月に一般社団法人に認定された研究会である。本研究会は、当面の課題として近年頻繁に発生する集中豪雨による河川の浸水氾濫災害を軽減するための水防技術であるモバイルレビーの開発に努め、現在その普及活動を実施している。このような活動の中で、地域と一体となって新技術を普及し、専門的技能で地域の防災活動を支援指導するためのスーパーバイザー「スーパー川守」資格の認定制度を立ち上げ、2011 年 2 月に厳選なる資格審査を経て 13 名の資格認定を実施した。

本書は、今回、資格認定した「スーパー川守」が地域で活動するに当たって、常に現場で活用できる生きた河川技術ガイドブックを目標にＲＩＲＴの活動成果として作成したものである。

内容は以下の項目からなる。

・スーパー川守制度について
・堤防情報の管理と活用について
・堤防の点検・診断・調査について
・モニタリングによる安全監視について
・効率的な対策工法について

本ガイドブックはＲＩＲＴの発足以来、地盤コンサルタント５社から構成される地盤ワーキンググループが当研究会三木技術開発委員長の指導を得て約 3 年かけて取り組んだ「河川堤防の点検システム」に関する新技術の開発成果をとりまとめたものである。

本書は、河川施設の中での河川堤防を主体に検討されたものであること、公共投資が抑制される中で効率化を目標にした新技術を主体に検討されていること、直轄管理の河川堤防に関する点検や質的整備の業務経験を十分に生かし、「自治体が管理する地域河川を対象に」を意識して作成したものであるなどを特徴としている。

したがって、今後の中小地域河川管理に必要な局地集中豪雨による氾濫域の想定などに必要な洪水外力に関する項目や減災に関わる河川施設の計画に関する項目については記述していない。この項目については、今後、「スーパー川守」の活動を母体にその実績を踏まえ補填していく予定である。

本ガイドブックの資料編には各社の市販されている堤防関連技術に関し、「スーパー川守」が発注者の要望に応じて即計画が組めるように簡単なリーフレットを添付している。さらに、河川施設に関しての規程類についても必要と思われる箇所を抜粋し添付してある。とりあえず現場で活用していただき、「スーパー川守」が種々経験を経て、この初版をさらに改定し、現場に適した標準的な参考図書に整備されることを期待している。

2011 年 6 月　地盤ワーキンググループ
リーダー　馬場　干児

リバーテクノ研究会　技術開発委員会　名簿

2011年11月28日現在

	氏　　名	所　　属
委員長	三木　博史	
委員	兪　　朝夫	株式会社建設技術研究所
委員	金澤　克己	いであ株式会社
委員	馬場　干児	応用地質株式会社
委員	桝尾　孝之	太陽工業株式会社
事務局	山本　正人	太陽工業株式会社

減災技術開発研究ＷＧ（減災ＷＧ）

	氏　　名	所　　属
研究リーダー	金澤　克己	いであ株式会社
副研究リーダー	高木　茂知	パシフィックコンサルタンツ株式会社
	黒川　信敏	いであ株式会社
	林　　泰二	株式会社クレアリア
	田村　　勲	株式会社クレアリア
	田村　浩敏	株式会社建設技術研究所
	古野　貴史	株式会社建設技術研究所
	川島　幹夫	株式会社東京建設コンサルタント
	都丸　真人	株式会社東京建設コンサルタント
	松田　寛志	日本工営株式会社
	陰山健太郎	日本工営株式会社
	三輪　吉宏	株式会社ニュージェック
	與田　敏昭	株式会社ニュージェック
	北野　真広	八千代エンジニヤリング株式会社
	植田　大造	八千代エンジニヤリング株式会社
	平川　了治	パシフィックコンサルタンツ株式会社
事務局	裹　　義光	いであ株式会社

地盤調査解析技術開発研究ＷＧ（地盤ＷＧ）

	氏　　名	所　　属
研究リーダー	馬場　干児	応用地質株式会社
副研究リーダー	岩崎　公俊	基礎地盤コンサルタンツ株式会社
	佐藤　謙司	応用地質株式会社
	丹下　良樹	基礎地盤コンサルタンツ株式会社
	黛　　廣志	川崎地質株式会社
	川井　康右	川崎地質株式会社
	藤本　弘之	株式会社ダイヤコンサルタント
	荒木　繁幸	株式会社ダイヤコンサルタント
	西江　俊作	中央開発株式会社
	坂本　淳一	中央開発株式会社
事務局	阿部　知之	応用地質株式会社

堤防質的強化技術開発研究ＷＧ（材料ＷＧ）

	氏　　名	所　　属
研究リーダー	桝尾　孝之	太陽工業株式会社
副研究リーダー	近藤　誠二	株式会社　田中
	仲森　鎮雄	旭化成ジオテック株式会社
	坂本　研治	旭化成ジオテック株式会社
	岸本　　修	シーアイ化成株式会社
	日野林譲二	大日本プラスチックス株式会社
	稲津　亮弘	大日本プラスチックス株式会社
	田中　茂樹	東洋紡績株式会社
	坂本　浩之	東洋紡績株式会社
	西村　　淳	三井化学産資株式会社
	明永　卓也	三菱樹脂株式会社
	川原　在博	ユニチカ株式会社
事務局	石田　正利	太陽工業株式会社

河川堤防新技術活用ガイドブック　執筆者名簿

（2011 年 12 月 14 日現在）

馬場　干児	応用地質株式会社　エンジニアリング本部	１章
岩崎　公俊	基礎地盤コンサルタンツ株式会社　営業本部	２章
丸山　昌則	基礎地盤コンサルタンツ株式会社　ＧＩＳ事業部	２章
阿部　知之	応用地質株式会社　エンジニアリング本部	３章
坂本　淳一	中央開発株式会社　技術センター企画室	４章
藤本　弘之	株式会社ダイヤコンサルタント　砂防・防災事業部	５章

目　次

１．スーパー川守制度について　1
1.1　設立の背景　1
1.2　資格認定細則　1
1.3　業務の内容　2
1.4　「スーパー川守」プロジェクト　3
２．堤防情報の管理と活用　5
2.1　堤防に関する情報の種類と収集・整理方法　5
2.2　最新の機器を活用した堤防巡視支援ツール　6
2.3　ＬＰデータの活用　12
2.4　堤防情報管理システムの活用　13
2.5　堤防防災マップの作成　18
３．堤防の点検・診断・調査　21
3.1　堤防点検の現状と課題　21
3.2　効果的かつ効率的な堤防点検方法　23
3.3　効率的な堤防調査手法〈物理探査技術の活用〉　28
４．モニタリングによる安全監視　34
4.1　河川水位のモニタリング　34
4.2　堤体内水位・基礎地盤透水層水位のモニタリング　42
4.3　データ送信システム　49
５．効率的な対策工法　50
5.1　伝統的な水防工法　50
5.2　新材料を活用した効率的な水防工法（モバイルレビー）　59
5.3　従来の堤防強化工法　64
5.4　効率的な対策工法　66
5.5　対策工法選定における留意点　74

参考資料
・新技術リーフレット
・河川施設に関する規程類

1．スーパー川守制度について

1.1　設立の背景

国土交通省において 2010 年に 設置された「今後の治水対策のあり方に関する有識者会議」において、河川堤防質的強化をはじめとする河川改修の推進、施設能力を超える超過洪水による氾濫に対して「流域における対策で安全を確保する治水政策」を推進するための基本的な考え方について検討がなされている。

今後は、総合的な流域治水対策を推進するとともに、現施設能力を超える洪水発生時での減災を図るための取り組みが求められており、地域防災力の強化は治水対策上の喫緊の課題となってくると考えられる。

本研究会では、この課題に積極的に取り組むこととし、河川管理・河川防災に係る高度な専門知識や経験を持つ技術者を「スーパー川守」として認定し、その活動を支援することにより、わが国における治水安全度の向上と減災に寄与したいと考えている。この種の業務については、国交省はプロポーザル方式による発注業務として既に始めており、これについては各社ですでに展開を図っているところであるが、今後地方自治体においても地域防災力を着実に向上させるための取り組みが必要となってくると思われる。

当研究会で認定する「スーパー川守」は、これら河川管理者、地方自治体、その他の団体等からの委託等により、河川管理や河川防災について、当研究会の組織的なバックアップを活用しながら、地域支援のための河川防災の「スーパーバイザー」としての活動を行うものとする。

1.2　資格認定細則

第1章　　総則

第１条（目的）

この細則は、安全で快適な社会の実現のために、「スーパー川守」を認定し、以ってより適切な河川管理、より効果的な河川防災に資することを目的とする。

第２条（定義）

「スーパー川守」とは、経験と蓄積された河川技術を駆使し、これからの効率的な河川の管理、河川防災等に指導的な役割を果たす河川全般に関するスーパーバイザーを言う。

第2章　　スーパー川守認定試験

第３条（認定試験）

認定試験は、推薦書、履歴書（別途定める）論文、面接（当面なし）をもって行う。

第４条（認定実施）

認定試験は、当面、必要に応じ当研究会が行う。

第５条（認定証書）
　認定委員会により認定された者には、会長が「スーパー川守」に認定したことを証する証書を発行する。

第６条（認定の更新）
　認定は、3年ごとに更新するものとする。
　２．更新は、講習会を受講することにより、試験に代える。

第７条（認定費用）
　認定試験及び認定更新の費用は別途定める。（当面無料）

第3章　　認定の取り消し

第８条（認定の取り消し）
　認定者としてふさわしくない不正等の行為を行った場合には、会長は認定委員会の審議を経て認定を取り消すことができる。

第４章　スーパー川守認定委員会

第９条（スーパー川守認定委員会）
　「スーパー川守」認定に関する重要事項の審議並びに認定を適正かつ公正に実施するために、スーパー川守認定委員会を置く。
２．委員会は委員８名以内で組織する。
３．委員の任期は２年とする。ただし、再任を妨げない。
４．　委員が任期途中で交代した場合には、後任の委員の任期は前任者の残任期間とする。
５．委員長は委員の互選とする。必要に応じ委員長は副委員長を置くことができる。
６．委員会の所掌事項及び運営については別途定める。

第５章　秘密の保持義務

第１０条（秘密の保持義務）
　委員会委員もしくは研究会職員は、認定試験に関して知りえた情報について秘密の保持義務を負う。

附則
　第１条　この細則は、平成22年８月末日から施行する。

1.3　業務の内容

(1) 平常時に係る事項

①対象河川の過去に取得した情報や地域特性をコンパイルし、河川工学的な課題を抽出し、大局的な河川防災計画を立案する。

②洪水時に危険が予想され、重点的に巡視点検が必要な河川区域を対象に、現地状況を十分に把握した上で効率的な巡視点検やモニタリング計画を作成する。

③重点区間を対象に河川施設（堤防を含む）や流域の効率的減災対策やモニタリング調査に係わるパイロット業務等の提案を行う。

④地域の水防団ならびに関係機関に対し、工学的課題、初動対応、効率的水防工法等に

関する定期的懇談会の開催により情報の共有に努める。

(2) 非常時に係る事項

①地域の河川防災に係る行政組織や水防団などに対して効率的な防災活動ができるように情報の伝達を含む後方支援活動を行う。

②非常時の現地対応では「スーパー川守」を補佐する「川守アドバイザー」を常駐させ、適切な指導・助言を行うことによって後方支援活動を強化する。「川守アドバイザー」はその地域を担当する「スーパー川守」が任命する。

1.4 「スーパー川守」プロジェクト

当研究会は技術開発委員会（常設）の中に、「スーパー川守」の活動推進と活動情報の共有による支援活動を強化するために、リバーテクノ研究会理事長を委員長とし、技術開発委員長他各ワーキンググループのリーダー、副リーダーからなる「スーパー川守」プロジェクト委員会を立ち上げる。この委員会は技術開発委員会の中での常設委員会として運営する。

２．堤防情報の管理と活用

2.1　堤防に関する情報の種類と収集・整理方法

河川堤防はさまざまな変遷を経て整備されてきている。その築堤の履歴や、堤防が置かれている地形地質的な環境や過去に調査された工学的な情報、さらには各種の点検結果などは、今後の堤防の維持管理において極めて重要な情報である。

なお、中小河川においては情報が蓄積されていない場合が多いが、国を中心に各種の公開情報も整備されてきているので、今後の維持管理のためには、個別の河川毎に統一的に情報が管理・更新されることが望ましい。

このような観点のもとに整備すべき情報として、以下のものが挙げられる。

表 2.1　河川堤防の管理に有用な情報の収集と整理

項目	概要	収集元	整理方法
堤防諸元データ	基本断面形状	河川台帳	諸元、形状確保／未確保
堤防の質的整備レベル	整備状況	管理者	整備状況
背後地の状況	DID 区間、家屋密集区間、浸水想定区域図、堤内地の地歴	管理者	区間種別
重要水防箇所のランク	ランク(A)、ランク(B)および要注意区間	管理者	区分
築堤履歴	時期、土質材料	河川台帳、カルテ等	履歴図
災害履歴	過去の被災履歴	点検記録等	位置、時期、部位、被災形態、原因など
構造物の位置	河川横断構造物（樋門・樋管）、河川横断工作物（堰・床止め・橋梁等）	管理者	位置、名称、種類、竣工年次、管理者
要注意地形 （治水地形分類図）	旧河道、落堀など	旧地形図	位置、種類
ボーリング調査結果	ボーリング調査結果、土質試験結果、原位置試験結果	管理者	柱状図、地層断面図、各種試験結果
LP データ	レーザプロファイラー（LP）による標高データ	国土地理院	5m メッシュ毎の標高
既往点検結果	堤防現況調査結果など	点検カルテ	浸透に対する安全性点検結果など
工事履歴	横断構造物・工作物、災害対策工事などの記録	管理者	時期、工種、仕様
水防活動履歴	出水後点検結果など。 堤体、護岸の変状などに関する観察結果	管理者	点検記録など
モニタリング記録	水位観測結果、変状観測結果	管理者	堤体内水位、沈下・変状等の観測結果

2.2　最新の機器を活用した堤防巡視支援ツール

(1) GPS 機能付デジタルカメラ

現場の写真撮影にデジタルカメラは欠かせない。最近、位置情報を撮影と同時に取得する GPS 機能付きデジタルカメラが普及し始めてきた。撮影した多くの写真を後で整理する際にその場所の特定に悩まされることがあるため、位置情報が特定できることは作業の効率化に非常に有効である。

デジタルカメラで撮影を行うと、通常 JPG という拡張子を持ったファイルで保存されるが、このファイルには主画像のデータとあわせて撮影時の様々な付属情報が付加されている（図-2.1）。この中に、GPS で計測された位置情報(x, y, z)も含まれており、附属のソフトなどを使用することにより地図上に写真データを登録することができるようになっている。この情報の中には、撮影した方向まで含まれている。この附属情報を利用して、市販の GIS に画像を取り込んだ例を図-2.2 に示す。

市販されている GPS 機能付きデジタルカメラの一覧表を表-2.2 に示す。通常のデジタルカメラの価格に比べ特別高価なものではなく、利用しやすい状況にあるといえる。

図-2.1　撮影時の付属情報(Exif 形式)

なお、使用するにあたって、位置情報の精度が問題となるが、撮影場所の条件によって大きく変わり明確なことは不明である。少なくとも車の GPS の位置精度を超えるものではなさそうである。

一方、最近では GPS 付きの携帯電話が普及している。内臓カメラで撮影した画像に、GPS で取得した位置情報を付加することができるので、基本的に GPS 機能付きカメラを簡便化したものとして活用できる。

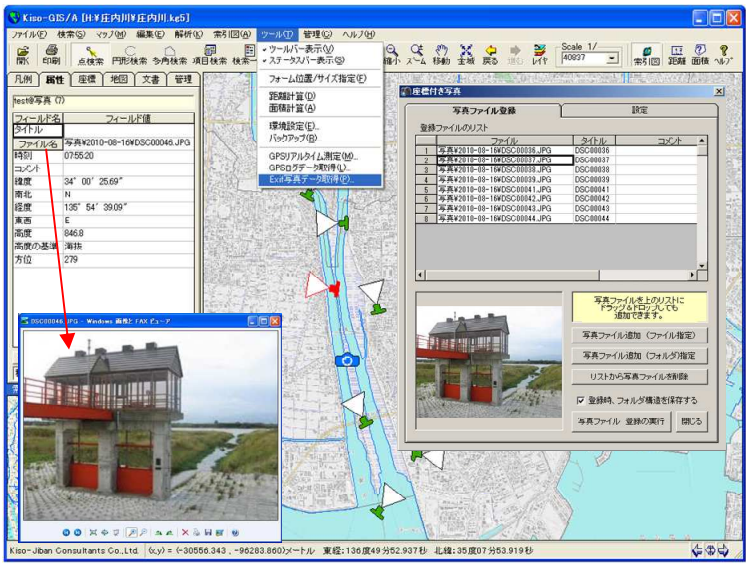


図-2.2　GPS 機能付きデジタルカメラで撮影した画像を GIS に取り込んだ例

表-2.2(1) GPS 機能付きデジタルカメラの例(1/2)

平成 23 年 4 月現在

No.	1	2	3	4	5
製品名	サイバーショット DSC-HX5V	サイバーショット DSC-HX7V (W)	サイバーショット DSC-HX9V	LUMIX DMC-TZ20-K	LUMIX DMC-FT3-A
メーカー名	SONY	SONY	SONY	パナソニック	パナソニック
価格帯	¥16,760～¥44,800	¥22,472～¥39,800	¥36,748～¥44,800	¥26,885～¥46,830	¥33,889～¥46,830
実勢価格	￥20,000弱	￥29,000前後	￥39,000前後	￥32,000前後	￥38,000前後
発売日	2010年 3月 5日	2011年 2月10日	2011年 3月11日	2011年 2月25日	2011年 2月25日
有効画素数	1020	1620	1620	1410	1210
光学ズーム	10 倍	10 倍	16 倍	16 倍	4.6 倍
GPS	GPSの機能は電源オンで測位を開始し、測位に成功した時点から15秒間隔で測位を続ける。 GPS機能とコンパス機能で、位置情報と方位を記録。 撮影場所が変わっても、測位し直すまでは前の場所のデータが記録されることが頻繁にある。	GPSの機能は電源オンで測位を開始し、測位に成功した時点から15秒間隔で測位を続ける。 GPS機能とコンパス機能で、位置情報と方位を記録。 室内では測位せず。 測位の誤記録はなくなった(DSC-HX5V比)。 撮影場所が変わっても、、測位し直すまでは位置情報なしとなっている。	GPSの機能は電源オンで測位を開始し、測位に成功した時点から10秒間隔で測位を続ける。 GPS機能とコンパス機能で、位置情報と方位を記録。 室内では測位せず。 測位の誤記録はなくなった(DSC-HX5V比)。 撮影場所が変わっても、、測位し直すまでは位置情報なしとなっている。	測位は、バッテリーの消耗を抑えるため電源オン直後と、その後5分間隔。 電源オフの場合も15分間隔で測位を続ける(カメラの操作を2時間何も行わないと停止する)。	測位は、バッテリーの消耗を抑えるため電源オン直後と、その後5分間隔。 電源オフの場合も15分間隔で測位を続ける(カメラの操作を2時間何も行わないと停止する)。
防水、耐衝撃など					防塵:IP6X、防水:IPX8(12m)、耐落下:MIL-STD準拠2m、-10度耐低温

表-2.2(2) GPS 機能付きデジタルカメラの例(2/2)

平成 23 年 4 月現在

No.	6	7	8	9	10
製品名	PowerShot SX230 HS	EXILIM Hi-ZOOM EX-H20GSR	FinePix XP30	Optio WG-1 GPS	OLYMPUS Tough TG-810
メーカー名	CANON	カシオ	富士フイルム	ペンタックス	OLYMPUS
価格帯	¥27,638～¥40,500	¥24,041～¥38,900	¥18,120～¥24,801	¥31,158～¥41,070	¥36,299～¥44,700
実勢価格	￥33,000前後	￥29,000前後	￥22,000弱	￥34,000前後	￥39,000前後
発売日	2011年 3月 3日	40508	2011年 3月12日	2011年 3月18日	2011年 3月25日
有効画素数	1210	1410	1420	1400	1400
光学ズーム	14 倍	10 倍	5 倍	5 倍	5 倍
GPS	GPS機能はGPSロガー機能をオンにすると電源オフ時も定期的に測位し続ける。最初の測位こそ時間がかかるが、一度現在地を捕まえてしまえば、次からは数秒。 室内など電波が入らないときはデータ無し。 電源オフ時の測位頻度は非公開だが、おおむね1～3分に1回くらい。	GPSとともに、加速度センサーと地磁気センサーを使ったモーションセンサーを内蔵。GPS衛星の電波が届かない場所でも、移動方向や距離から位置を特定し、電源を入れてすぐシャッターを切っても正しい位置情報を記録できる。 電源オフで持ち歩いても10分に1度は自動でGPS情報を取得。	GPS機能は電源ON/OFF時でも測位できるが、電池の消耗が早い。	屋内などでGPSが受信できない場合、静止画／動画に位置情報は記録されない。 GPSロガーとしての利用も可能。 測位間隔は、1分／30秒／15秒から選択できる。 電源オフの状態でもGPSを動作させ続けることができる。	GPSと電子コンパスを搭載し、写真に位置と方角を記録できる。 電源がオフの状態でも、電信コンパスのみを起動することができる。
防水、耐衝撃など			防塵:IP6X、防水:IPX8(5m以内、120分)、耐衝撃:測定方法はMIL-STD-810F-516.5に準拠、当社独自規格1.5m	防塵:IP6X、防水:IPX8(10m)、耐落下:1.5m、-10度低温対応、耐荷重:100kgf	防塵:IP6X、防水:IPX8(10m)、耐落下:2m、-10度低温対応、耐荷重:100kgf

(2) 簡易 GPS 機器

カメラや携帯電話に内蔵された GPS を独立させた商品もある。簡易 GPS 機器と称しており、PC に接続して位置情報を取り込むことができる。表-2.3 に代表的な簡易 GPS 機器を示す。

この装置は、堤防点検や巡視に際して PC を活用したシステムを用いる場合に、現在の位置情報を取得する方法として有効である。PC 上で堤防情報管理システム（2.4 参照）をタブレット型あるいはノート型 PC にインストールし、簡易 GPS 機器とともに現場に持ち出すことで、現在の位置情報をリアルタイムで取得し利用することが可能となる。簡易 GPS 機器と PC との接続イメージを図-2.3 に示す。この図のように、車載型で利用すれば現在地点を常に把握することができる。またリアルタイムで取得された位置情報を GIS に取り込み、画面の地図上で表示した例を図-2.4 に示す。

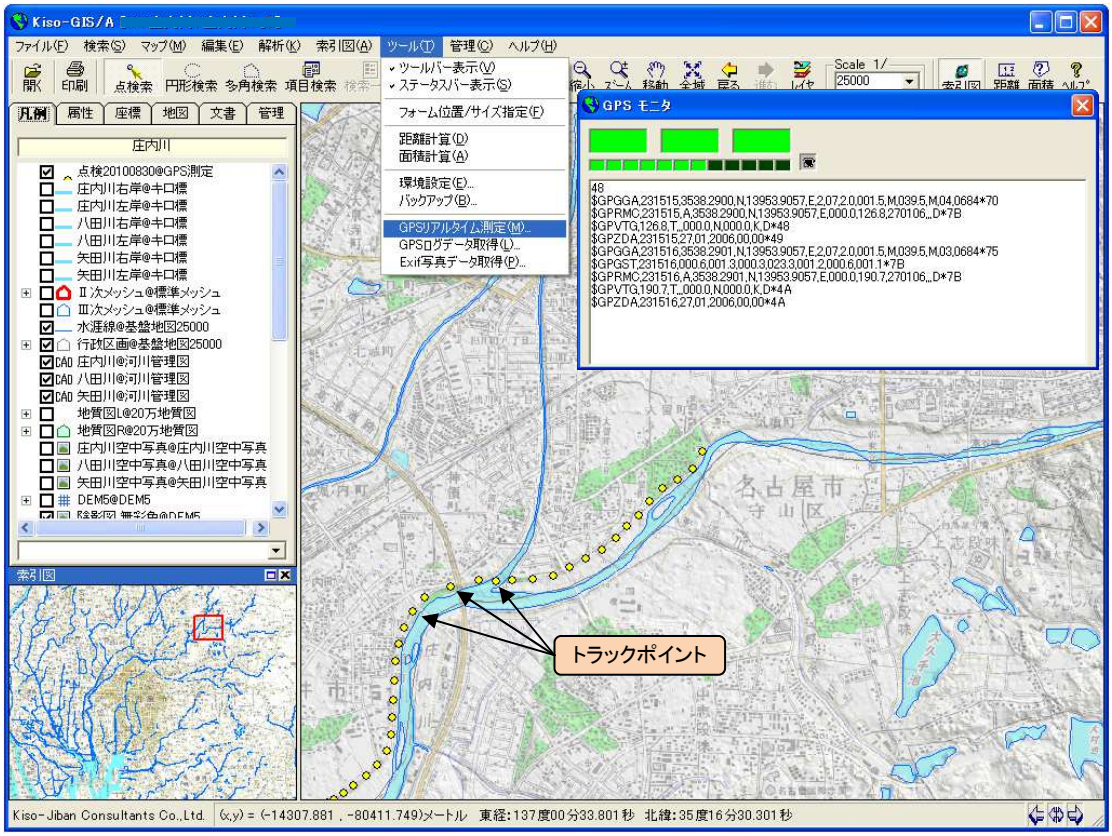
表-2.3　パソコンと連動した GPS 機器の例

平成 23 年 4 月現在

メーカー	商品イメージ	機種	特徴	位置精度（測定モード等）	実売価格
ライカジオシステム		GS5+	車載方のGPS機器で、PCとUSB接続しリアルタイムで位置情報を取得	1～2m（DGPS） 3m（SGPS）	
Hemisphere		A100	移動体管理に適用	0.5m（SBAS）	22.6
Transystem Inc		TripMate850	ブルートゥース機能を有するPCと無線で接続し位置情報を取得	3.0m（2DRMS） 2.5m（DGPS）	1.3
SiRF		BR-355 SiRFstarIII	USB接続		0.5
CanMore		GT-730F(L) GPS USBドングルロガー	PCとUSBで接続し位置情報を取得	5m (CEP)	0.3
WinTEC		WPL-2000	USBポートに差込むだけでソフトウエアが自動起動		1.1

（注）各社は他にも多くの製品を出しているので、ウェブサイトを参照されたい。

図−2.3　GPS 機器と PC の接続例



図−2.4　簡易 GPS 機器と GIS の連携イメージ

2.3 LP データの活用

LP（レーザプロファイラー）とは航空機などに搭載されたレーザ計測機器のことで、それにより計測されたデジタル標高データが一定メッシュ毎に整理されている。最近、国土地理院から基盤地図情報（数値標高モデル）5m メッシュ標高データの提供が開始されたため、3 次元地形データとして活用できる。

従来公表されていたのは 10m メッシュ標高データであり、堤防天端幅より間隔が広いため堤防の高さが確実に捉えられないため精度的に使用困難であった。一方、5m メッシュにおいては図-2.5 に示すように、10m メッシュ標高データでは不可能であった堤防の形状把握が可能で、中小河川においてもおおよその堤防形状把握が可能なレベルにあることが確認できた。今後、より細かい距離間隔に対応した標高データが利用できることも予想され、さらに詳細な地形情報を捉えることが可能になると考えられる。

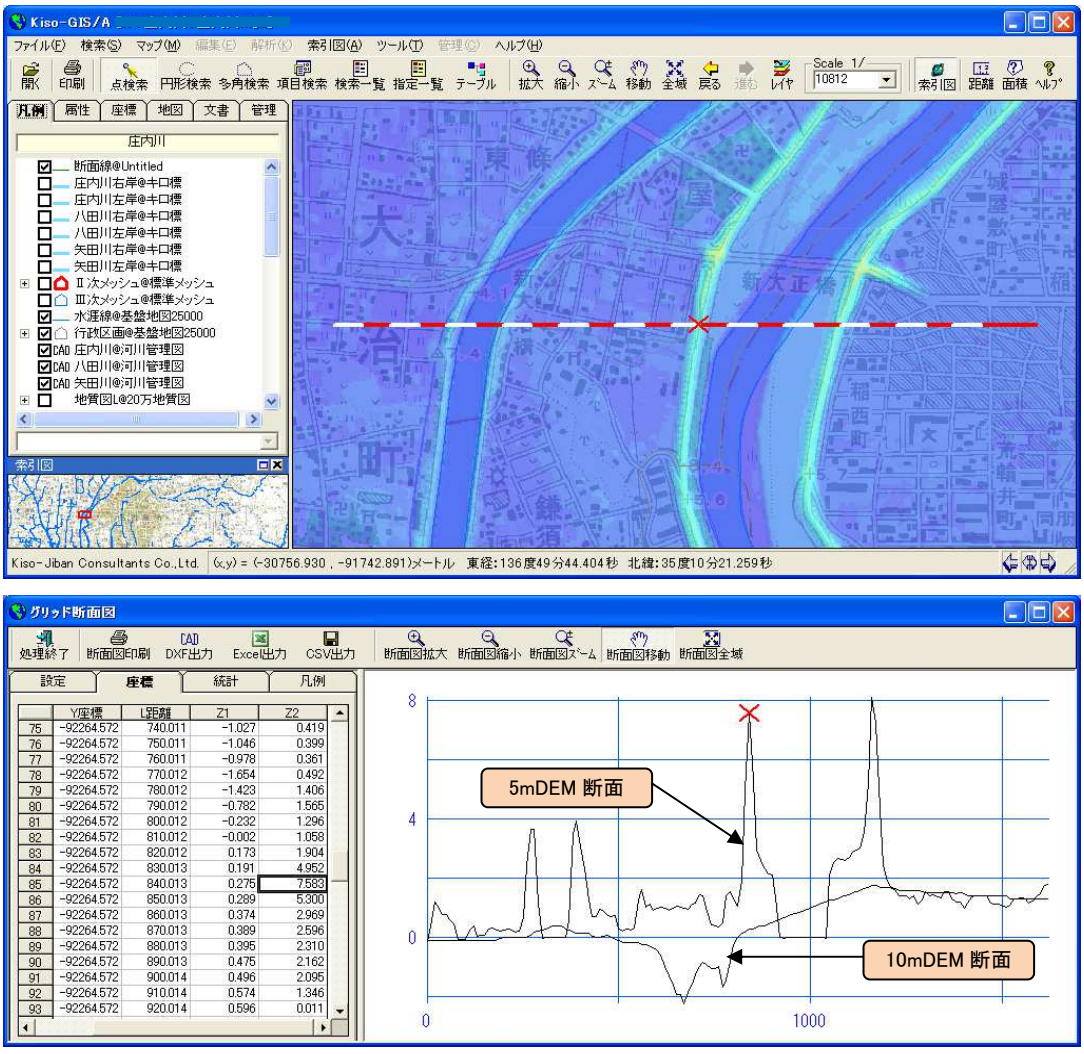


図-2.5 標高（レーザプロファイラ）データの活用イメージ

2.4 堤防情報管理システムの活用

(1) システム化の意義と位置づけ

河川堤防を管理するうえで、管理対象の情報、特に弱点を知ることが極めて重要である。スーパー川守／川守アドバイザーがカバーできる知識・経験だけでは不足するため多くの情報をできる限り客観的に整理し、共有化できれば堤防を管理する際の強力な武器となる。

このような観点で、堤防に特化した情報を管理するシステムを構築することが有用である。このシステムの位置づけを図-2.6 に示す。情報の内容は、2.1 で示したものとなり、それを管理するシステムは GIS（地理情報システム）をプラットフォームにしたものが望ましい。情報のデジタル化や国で整備した地形情報の公開が進みつつあるため、従来に比して低コストでの整備が可能となってきている。情報の量や種類にもよるが、基本的なシステムを構築するのに要するコストは数百万円から 5、6 百万円程度である。問題は、それをいかにうまく活用して効率的な運用が行えるかというソフト面に留意しなければならない。

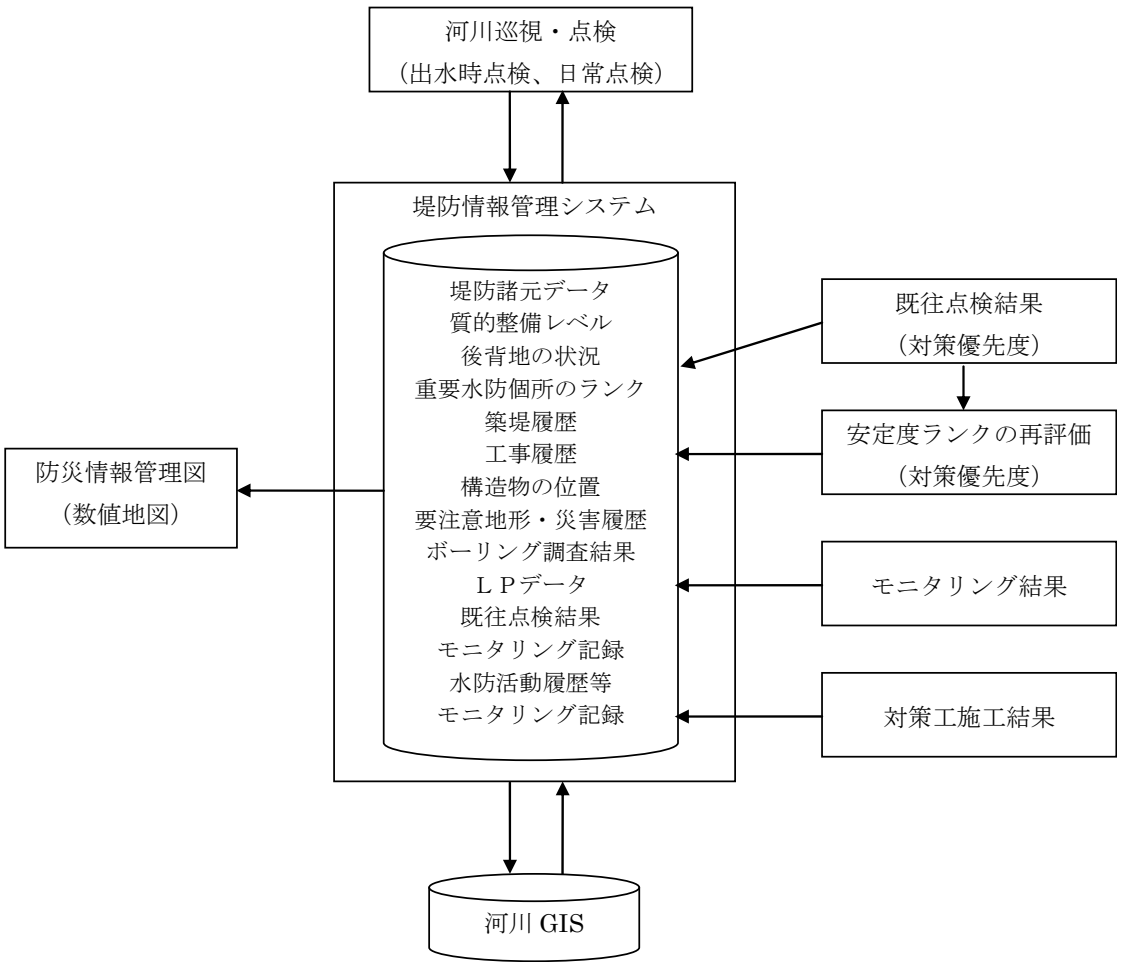


図-2.6 河川堤防点検支援システムの位置づけ

(2) システムに具備すべき機能

堤防情報管理ススステムに必要な機能として以下に示すものが考えられ、必要に応じて整備すればよいであろう。

- 2.1 に示す情報のデータベース化
- モバイル（モバイル PC、モバイル OS、広域無線 LAN）機能
- 地図情報管理機能
- 位置情報（距離標）管理機能
- 既往堤防点検結果の参照機能
- 出水時点検、日常点検結果の登録及び参照機能
- 現在位置と地図の連動機能（GPS）
- 現在位置と現場写真の連動機能（GPS 機能連動型デジタルカメラ）
- 地盤情報（ボーリング結果、地層断面図等）管理機能
- 鳥観図作成表示機能（3D）
- 河川 GIS との管理情報の相互提供機能

(3) システム化の一例

①地図情報管理機能

河川堤防の管理に必要な多種多様の地図情報を、シームレスに切り替え、あるいは重ねて表示する機能である。利用頻度の高い地図を図-2.7 に示す。

図-2.7　河川堤防管理に必要となる背景地図の例

河川堤防を管理するためには広範囲をカバーする必要があり、河川基盤図等の大縮尺地図を利用することも多いため、一般に必要とされる地図情報は非常に大容量となる。これら大規模な地図情報を、リソースの限られたモバイル環境で実用的なスピードで動

作させるための ICT 技術的な工夫も必要となる。

②位置情報（距離標）管理機能

河川堤防管理における位置情報基準である距離標についての指定および管理機能が必要である。距離標間の指定距離と実距離との差異（100m標と 200m標との距離が実際には 80m しかない等）を考慮し、実際の位置（x, y）を算出する（図-2.8 参照）。

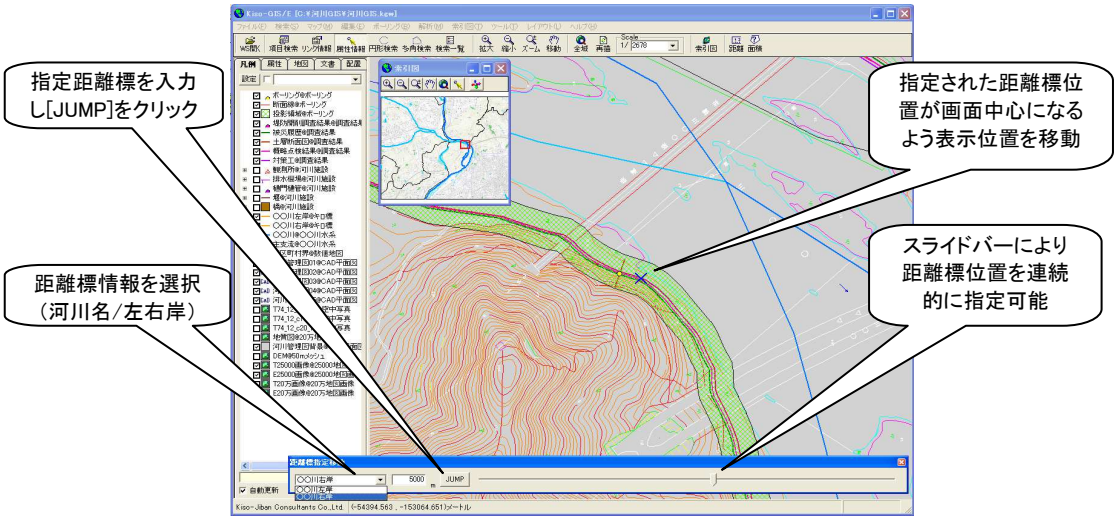


図-2.8 距離標指定機能の例

③位置情報（距離標）と堤防点検結果（帳票＝現況堤防断面図）との連携機能

河川堤防点検結果である現況堤防断面図は、帳票形式で距離標を位置指標として取りまとめている。地図上および帳票内での位置管理基準を連動させることで、河川堤防点検結果と点検位置をリアルタイムで把握することが可能となる（図-2.9 参照）。

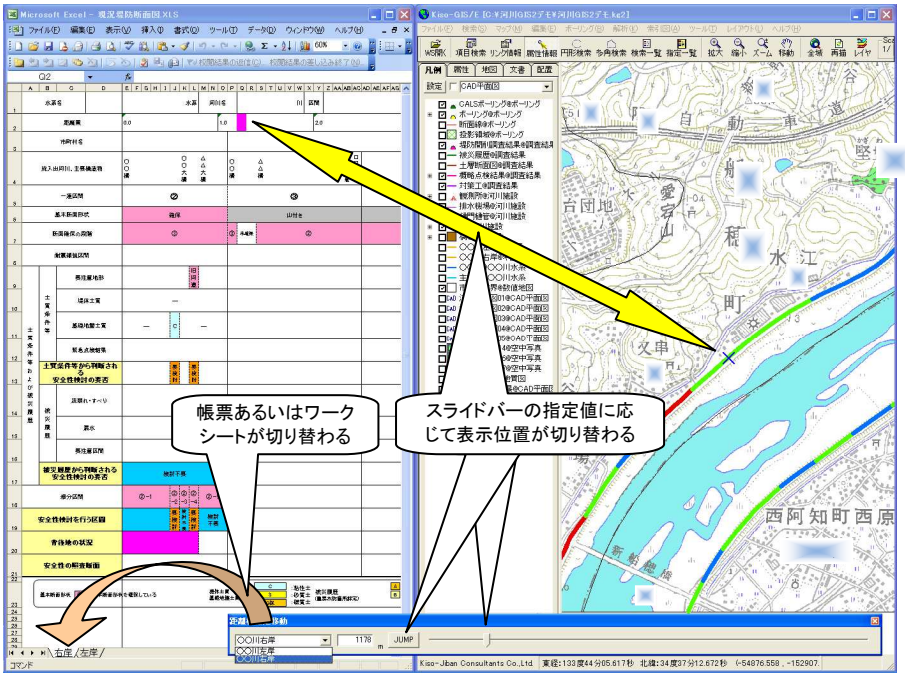


図-2.9 距離標と現況堤防断面図との連携例

④地盤情報（ボーリング結果、地層断面図等）管理機能

地盤調査成果は、CALS 電子納品の普及等もありデジタルデータの入手が容易で、位置情報（経緯度座標）が付与されていることから、システムに取り込んで管理することが簡単である。また、デジタルデータとして登録することで、各種集計図や任意位置での地層断面図の作成など、再加工処理も可能となる（図-2.10 参照）。

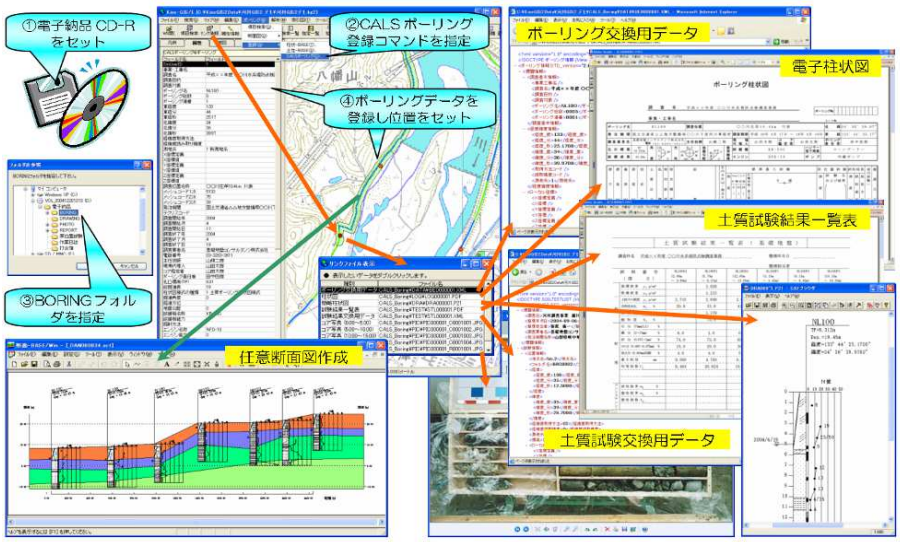


図-2.10　地盤情報管理機能の例

⑤付帯施設情報管理機能

河川堤防と関連する各種付帯施設（樋門樋管・排水機場・堰・橋など）の位置・各種属性・リンクファイル情報を管理する機能が必要である（図-2.11 参照）。

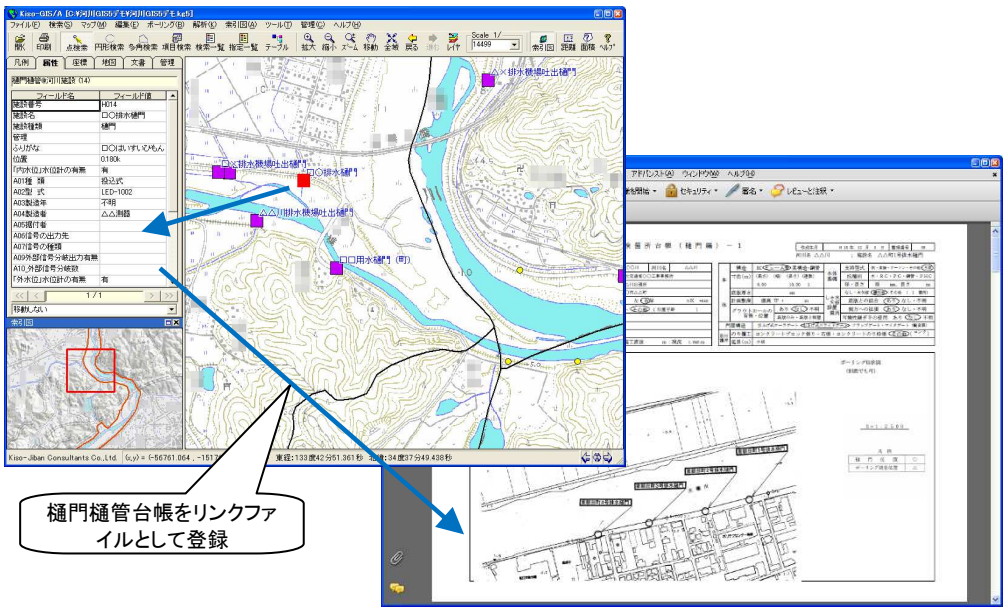


図-2.11　地盤情報管理機能の例

⑥汎用的な履歴情報管理機能

堤防点検など繰り返し実施される情報は、履歴情報として管理されることが望ましい。例えば、樋門樋管は供用期間中に複数回の点検を受け、対応した複数回の改修を実施されることとなり、これらの記録は履歴情報として管理されることとなる。

GIS では一般に、空間（位置）情報と属性情報とは１対１関係のデータ構造となるため、これでは履歴情報を管理することはできない。履歴情報を管理するためには、空間（位置）情報と属性情報とは１対多関係のデータ構造を実現する必要があり、複数種類の履歴情報を持つためには、複数の１対多関係のデータ構造を実現する必要がある（図-2.12 参照）。

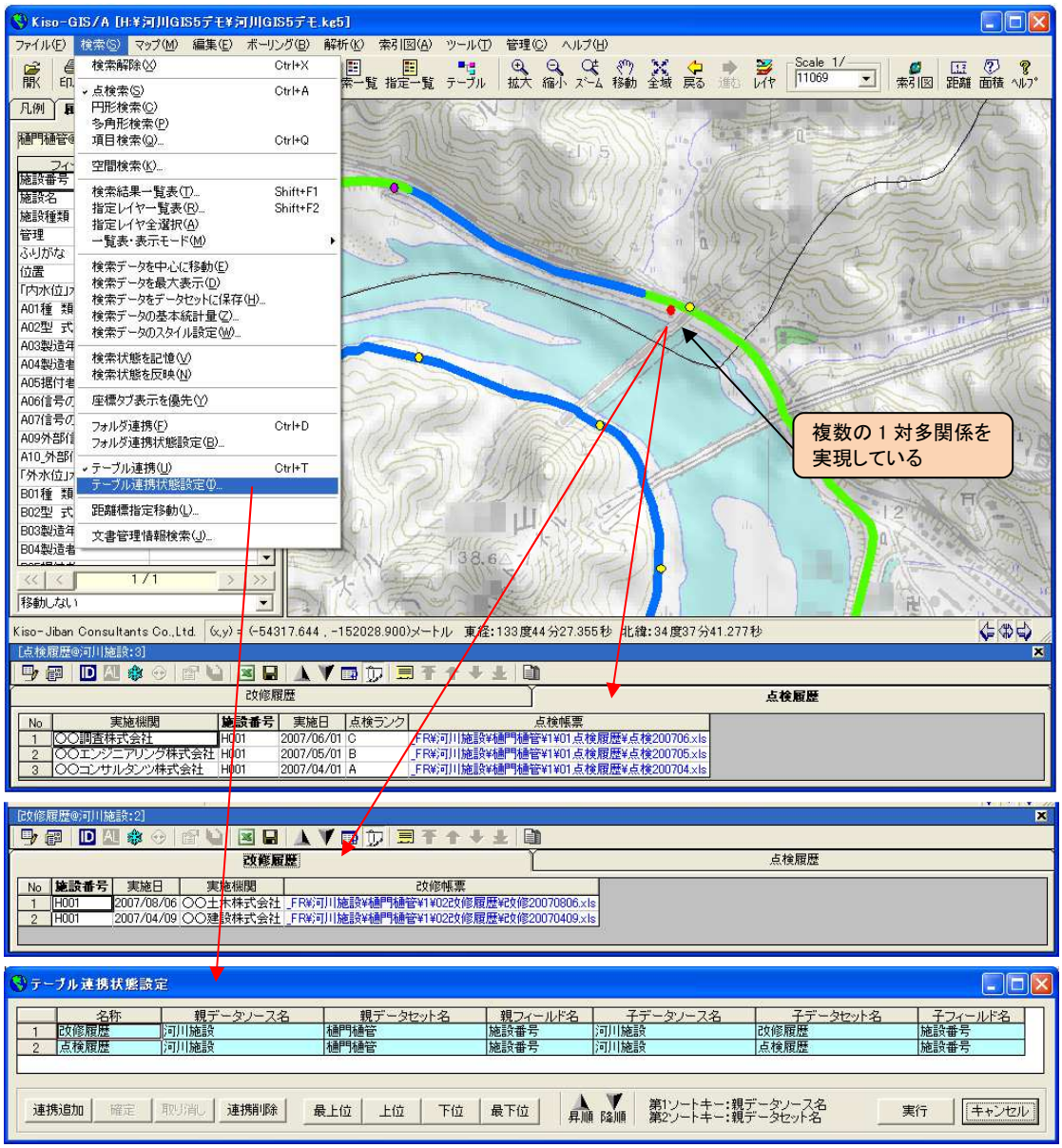


図-2.12　汎用的な履歴情報管理機能の例

2.5　堤防防災マップの作成

従来「治水地形分類図」が治水上重要な基礎情報の一つであった。この地図は、昭和 51 年度～53 年度にかけて作成された縮尺２万５千分１の地図である。この地図には旧河道や後背低地など堤防の安定上重要な要注意地形の情報も盛り込まれており、長らく活用されてきた。

最近では、前節までの情報に示されるように、多くの新しい地形情報が公開されたり点検が実施されたりしている。これらの情報を加味すると共に、各種情報を積み重ねることにより、防災面でより有用な情報を提供することが可能となってきた。ここでは、この情報地図を「堤防防災マップ」と称し、従来の地形治水分類図を発展させたものと位置づけることにする。この地図は、多くの貴重な情報をレイヤーごとに整理し、それらを任意に重ね合わせることから、GIS 上で作成したデジタル地図ということにもなる。

防災情報図の一例を図-2.13 に示す。これは治水地形図を基図とし、LP データから作成される「陰影図」「DEM(Digital Elevation Model)」などの標高関連情報、調査・施設・被災等の管理履歴情報等を重ね合わせたものである。さらに必要に応じて各種の情報を重ね合わせて、当該河川にフィットした「堤防防災マップ」を作成することが望まれる。

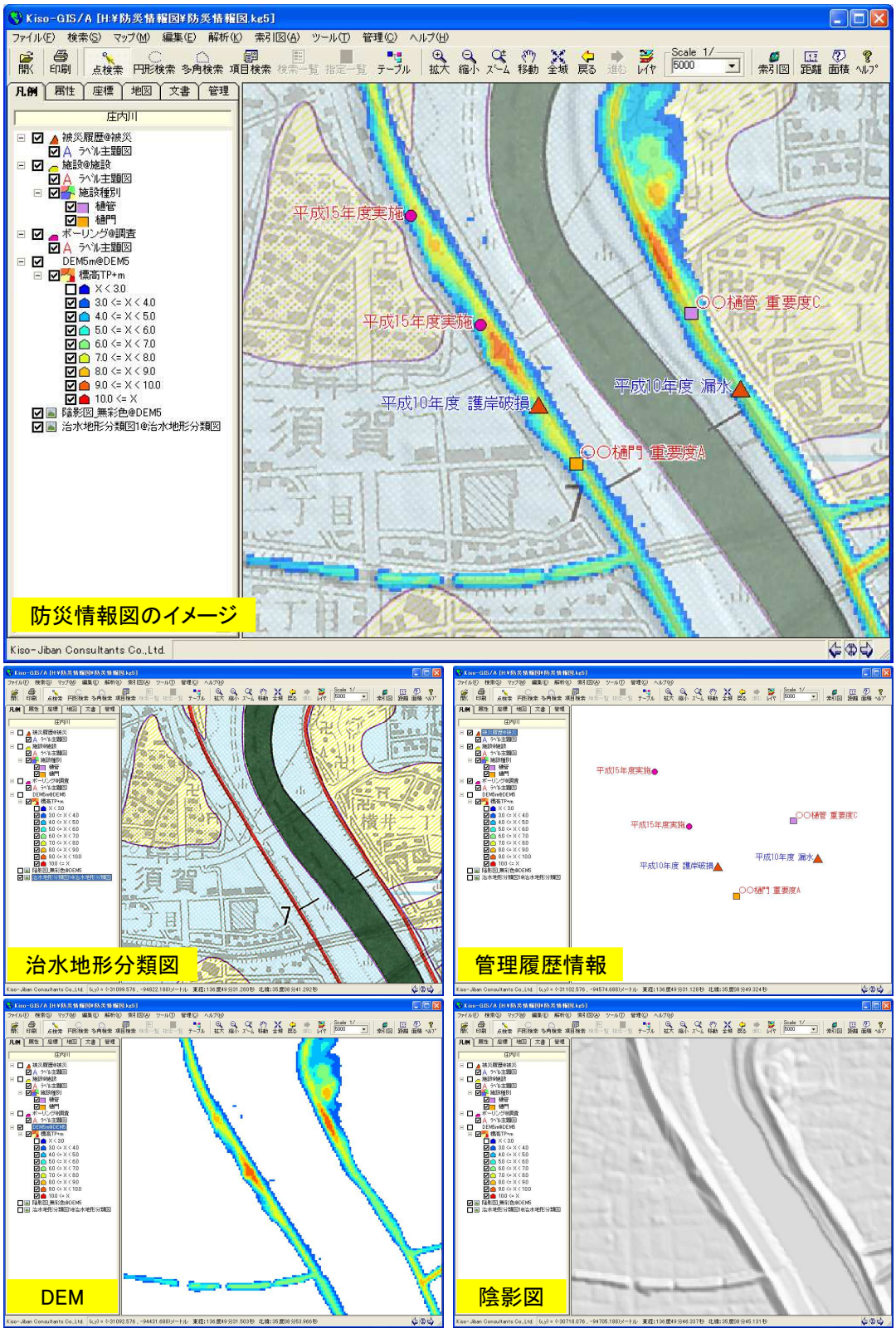


図-2.13 「堤防防災マップ」のイメージ

３．堤防の点検・診断・調査

3.1　堤防点検の現状と課題

現在、河川堤防の巡視・点検・モニタリング等については、以下の通達により規定されており、これらにもとづいて実施されている。

・河川巡視規定例について（平成17年3月29日都市河川室長・水政課企画専門官）
・直轄管理河川に係る地震発生時の点検について（平成21年2月27日河川保全企画室長）
・樋門等構造物周辺堤防点検要領について（平成13年5月25日治水課長）
・河川堤防モニタリング技術ガイドライン（案）について（平成21年3月27日河川保全企画室長）
・河川堤防モニタリング技術ガイドライン（案）同解説について（平成21年3月27日治水課企画専門官）
・中小河川における堤防点検・対策について（平成16年11月2日河川整備調整官）
・中小河川における堤防点検・対策ガイドライン（案）について（平成16年11月2日治水課企画専門官）
・直轄河川堤防の目視点検によるモニタリングの実施について（平成 21 年 3 月 27 日河川保全企画室長）
・中小河川堤防の目視点検によるモニタリングの実施について（平成 21 年 3 月 27 日河川保全企画室長）

維持管理費の縮減が求められている中、直轄河川では堤防点検やモニタリングを効果的かつ効率的に進めるための検討が行われているが、地方自治体が管理している中小河川においては、人員不足も相俟って、より一層、効果的かつ効率的な堤防点検手法が求められている。

3.2　効果的かつ効率的な堤防点検方法

(1) 堤防点検の進め方

堤防点検には、巡視によるものを除いて、出水期前の点検、出水中の点検、出水後の点検がある。河川堤防の維持管理を適切に進めていく上で、これらの点検内容や点検結果の活用方法については、各河川において、地域の特徴や被災実態等を踏まえて検討する必要がある。以下に、堤防点検を含むサイクル型維持管理の一例を示す。

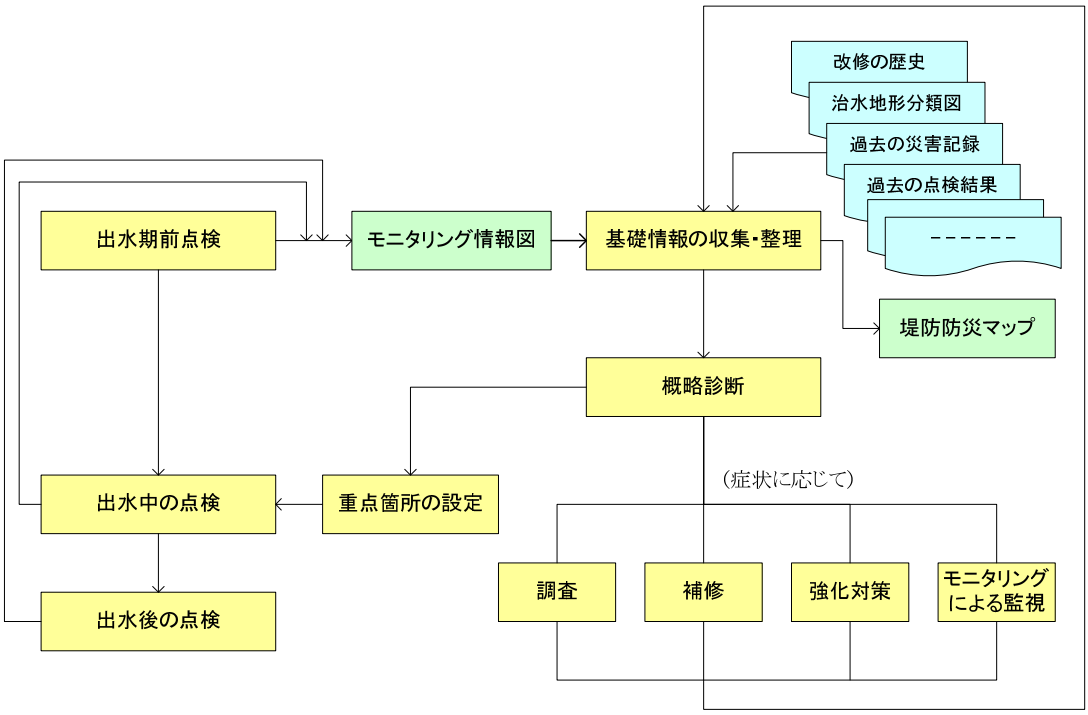


図-3.1　サイクル型維持管理の例

都道府県の管理する中小河川は管理延長が長く、小規模な河川、山間部の河川、都市部の河川等、河川の状況も様々である。このため、中小河川における点検は出水期前に実施することを基本とするが、点検区間については河川の実状に応じて設定することが望ましい。また、出水中および出水後の点検については、時間も人員も限られるため、後述する概略診断の結果等を参考に重点箇所を設定して実施する方法が効果的かつ効率的と考えられる。

(2) 重点箇所の設定

重点箇所の設定に当たっては、対象河川の洪水や改修の歴史、治水地形分類、過去の災害記録、堤防の形状・構造、堤内地盤高、背後地の状況等をもとに概略診断を行い、その結果を参考にするほか、地元の水防団の意見等を参考にしながら検討することが望ましい。

概略診断については、経験を積んだ河川技術者が、過去の洪水や被災実態に関する情報

等をもとに対象河川の特徴を十分に把握した上で行うことが望ましい。客観的な判断指標が必要な場合には、基礎的な情報をもとに、項目ごとに重み付けした評価点により評価する方法も考えられる（図-3.2，表-3.1 参照）。

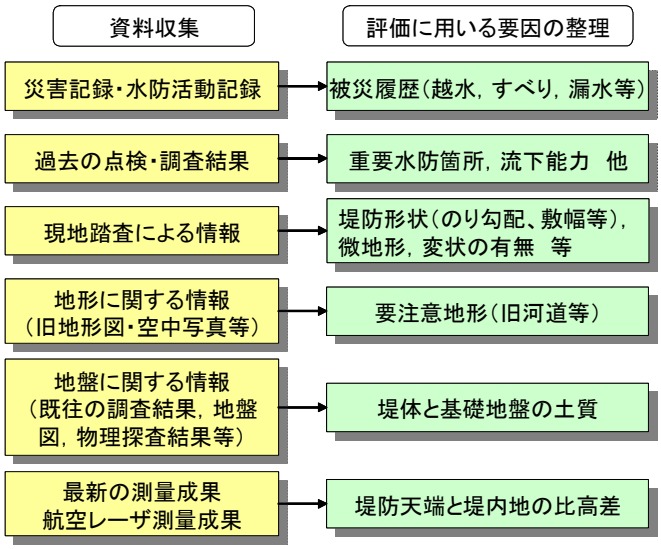


図-3.2　概略診断に用いる情報の例

表-3.1　概略診断表の例

要因	区分	配点	重み	評価点（最大）
基本断面形状	確保している	1	3	3
	確保していない	0		
堤防天端と堤内地の比高差	5m以上	2	5	10
	2m～5m	1		
	2m未満	0		
被災履歴	破堤・越水	3	5	15
	すべり	2		
	漏水	1		
	無し、または強化対策済み	0		
重要水防箇所	指定有り	1	3	3
	指定無し	0		
流下能力	問題有り（不足）	1	2	2
	問題無し	0		
河岸侵食	おそれ有り	1	2	2
	おそれ無し	0		
平均のり勾配	1：2より急	2	3	6
	1：2～1：3	1		
	1：3より緩	0		
要注意地形	有り	1	3	3
	無し	0		
堤体と基礎地盤の土質の組合せ	堤体が砂質、または不明	2	3	6
	堤体が礫質、もしくは堤体が粘土質で基礎地盤が砂質または礫質	1		
	堤体・基礎地盤とも粘性土	0		
堤防変状	要注意項目の変状有り	2	5	10
	要注意項目以外の変状有り	1		
	変状無し	0		
		評価点合計		60

重点箇所については、各河川の被災実態等を考慮して、選定上の基本的な考え方を定めておくことが望ましい。以下に、重点箇所を設定する際の要件の例を示す。

〔重点箇所の要件〕（例）

●被災履歴がある。
●旧河道等の要注意地形がある。
●堤防天端と堤内地との比高差が相対的に大きい。
●概略診断により、相対的に安全性が低いと評価されている。
●目視点検において要注意項目（表-3.2 参照）に係る変状が確認されている。
●詳細点検を実施しており、その結果、所要の安全性を満足していない。
●河道狭窄部にあたる。
●河床低下傾向が著しい。
●堤体土が特に緩い状態にあることが、コーン貫入試験などで確認されている。

(3) 目視による点検

目視による点検の項目については、各河川の被災実態等を考慮して適宜設定することが望ましい。参考のために出水期前点検における点検項目の例を表-3.1 に示した。

なお、堤体表層部において緩みや弱部が確認された場合には、簡易なサウンディングなどで調査を実施しておくことが望ましい。本研究会で開発したリバーテクノコーンは、可搬性に優れ操作も簡単なことからこのような目的に適している（下図参照）。

概要図

専用ケースに
収納した状態

右図は某河川の堤防のり面において、リバーテクノコーンを用いて、堤防表層部の状態について調査を実施した例を示したものです。のり面上部では地表面から30cm程度、のり面下部では地表面から80cm程度は非常に緩い状態にあることが確認できました。

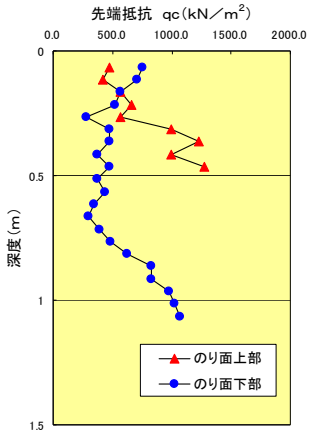


図-3.3 リバーテクノコーンの概要

表-3.2 点検項目（参考）

部位	項目	要注意項目
河道内	湾曲部、横断工作物下流等における深掘れ	○
	樹木の繁茂状況	
	土砂等の堆積状況	
高水敷・低水護岸	低水護岸の基礎部の変状	
表のり面・高水護岸・堤防護岸	張芝の状況	
	人畜による踏み荒らしや車両のわだち状況	
	のり面や小段のクラック	○
	護岸や侵食防止シート等の耐侵食構造物の変状	○
	護岸基礎部の変状	
	坂路・階段取付け部の洗掘，侵食	
	モグラ等の小動物の穴	
天端	クラック	○
	局所的に低い箇所の状況	
	のり肩部の侵食	
裏のり面	張芝の状況	
	人畜による踏み荒らしや車両のわだち状況	
	のり面や小段のクラック	○
	小段の逆勾配箇所や局所的に低い箇所の有無	
	坂路・階段取付け部の洗掘，侵食	
	モグラ等の小動物の穴	
裏のり尻	表層付近の湿潤状態	○
	局所的に低い箇所の有無	
	絞り水の有無	
	モグラ等の小動物の穴	
	堤脚保護工の変形	
堤脚水路	水路の変形・沈下	
堤内地	表層付近の湿潤状態	○
	取付け護岸の変形・クラック	
	施設周辺の堤防との段差（抜け上がり）	
	胸壁・翼壁等の部材接合部の開き	

※「目視点検によるモニタリングに関する技術資料」〈昭和 17 年 3 月，財団法人国土技術研究センター〉を参考に作成

出水中および出水後の点検においては、人員も時間も限られるため、重点箇所に絞って点検を実施するほか、点検項目についても項目を絞って実施することが効率的と考えられる。このときの点検項目については、表-3.2 の要注意項目が参考になるが、各河川の特徴に応じてあらかじめ定めておくことが望ましい。

(4) 点検結果の整理

点検の結果、変状が確認された箇所については、写真やスケッチ等によって記録する必要があるが、その際の留意点を以下に示す。

- 点検結果の整理についても、できるだけ効率的かつ実効的な方法が求められる。そのため、ICT 技術を最大限に活用して、撮影した日時や位置の情報が付いた写真を無線通信し、それらがサーバーに自動的に蓄積されるシステムを構築する。
- 変状箇所の状況や水防活動の実施状況等が随時更新され、それらの経年的な変化や傾向が簡単に閲覧できるデータベースシステムを構築する。

点検結果の整理様式としては、「目視点検によるモニタリングに関する技術資料」〈昭和 17 年 3 月， 財団法人国土技術研究センター〉に示されている「モニタリング情報図」が参考になる（図-3.4 参照）。

(5) 点検結果にもとづく処置

変状が発生した箇所については、その症状に応じて適切な処置を施すことが重要である。以下に処置の例を示す。

表-3.5 点検結果にもとづく処置の例

処置の種類	内 容
調 査	変状原因に不明な点が多く、安全性に対する判断が難しい場合には、より詳細な情報を得るために調査を実施する。主な調査方法としてはサウンディング，ボーリング調査，物理探査等があげられる。
補 修	著しい変状が生じており、放置しておくと危険と判断される場合には、応急的に補修を施す。
強化対策	要注意の変状が繰り返し発生している場合や、安全性照査や概略診断により安全性に重大な問題があると評価された場合には、抜本的な対策方法について検討を行い、強化対策を施す。
モニタリングによる監視	変状が比較的軽微であり、補修や強化対策の必要性は小さいが、経過観察が必要と判断される場合には、目視点検を重点的に行うほか、必要に応じて簡易な計測により監視を行う。

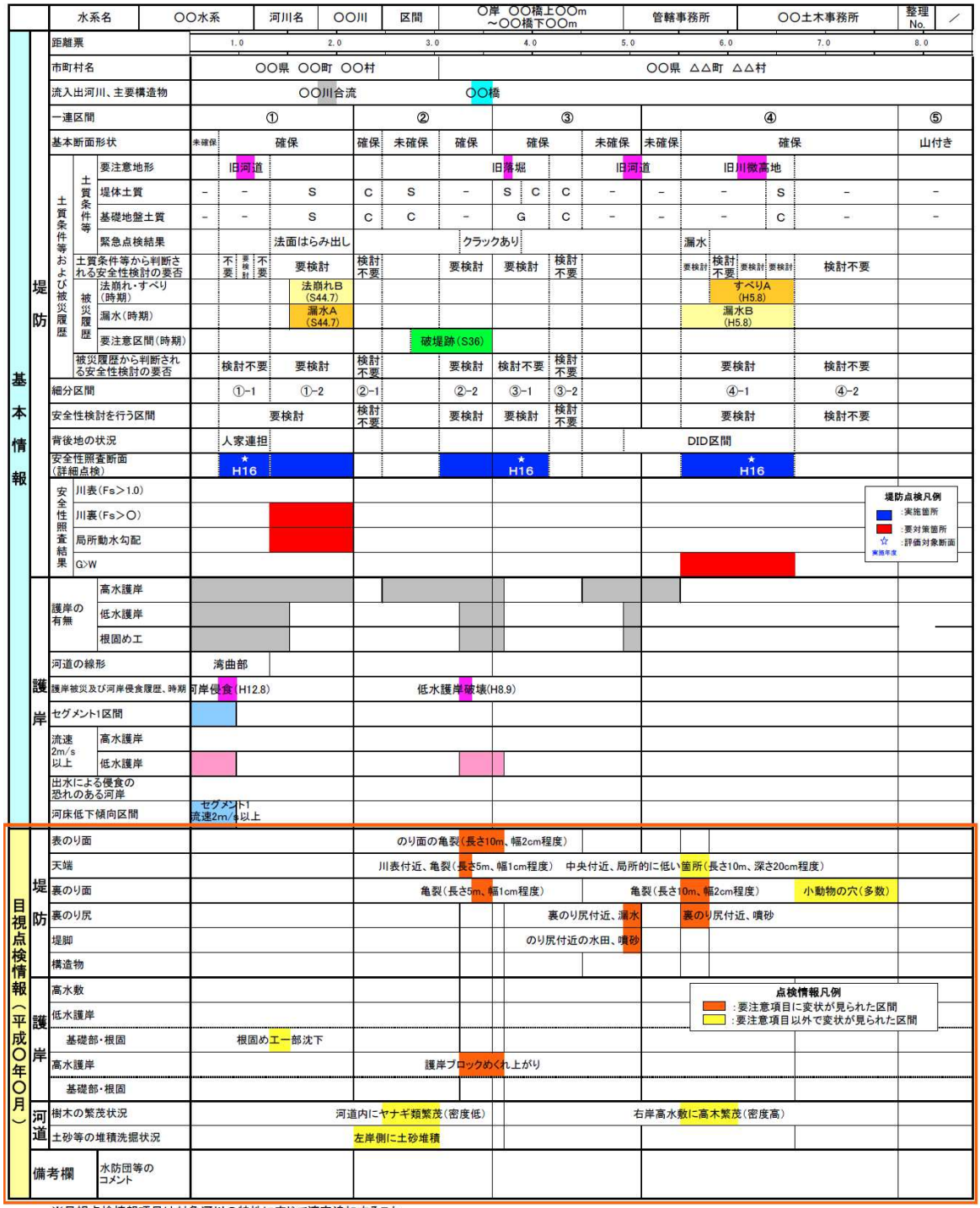


図-3.4 モニタリング情報図の作成例

※「目視点検によるモニタリングに関する技術資料」〈昭和 17 年 3 月，財団法人国土技術研究センター〉より

3.3　効率的な堤防調査手法〈物理探査技術の活用〉

堤防の安全性を照査する上では、築堤材料と基礎地盤の土質構成を把握することが重要である。一般的にはボーリング調査によって堤防を含めた地盤構成を把握するが、縦断方向では 1～2㎞ の大きな間隔で、また横断方向の詳細調査でも一断面あたり 2～3 地点程度で調査を行うのが実態である。そのため、築堤材料や基礎地盤構造の不均質性が大きい場合には、十分な精度で地盤情報を把握することが難しい。そのような場合、非破壊で広範囲な地下構造を効率的に調査できる物理探査手法は、ボーリング地点間の地盤情報を補完する上で有効な手段となる。

(1) 河川堤防調査に有効な物理探査法の研究事例

国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所が、平成 18 年度より３年計画で京都大学に委託実施した河川堤防調査に有効な物理探査法の研究事例 1)について紹介する。

研究では、河川堤防調査を概要調査段階と詳細調査段階に分け、それぞれについて試験探査を実施し、適用性の高い探査手法について評価している。

ア) 概要調査段階

概略調査段階では堤防を縦断方向に効率的・経済的に探査し、堤体と基礎地盤の概略構造および弱部、異常部（旧河道や空洞、ゆるみ領域等）の概略位置を推定することが物理探査に求められる。

概要調査への適用性について以下のような特性が示されている。

○反射法地震探査と表面波法地震探査

反射法は基礎地盤を含む深部までの土質境界の分布を把握するのに適し、表面波法は物性分布が得られるため堤体と基礎地盤の概略の土質構成を把握するのに適する。

○牽引型電気探査（比抵抗法）

物性分布が得られるため堤体と基礎地盤の概略の土質構成を把握するのに適する。

○連続波地中レーダ探査

分解能が高いため、堤体内の小規模な弱部や異常部を検知するのに適する。

イ) 詳細調査段階

詳細調査段階では、ボーリングデータを補完できる堤防縦断の詳細な土質構成や物性分布（含水比、締固め度等）を提供することが求められる。

概要調査への適用性について以下のような特性が示されている。

○連続波地中レーダ探査と３次元電気探査

連続波地中レーダ探査による電磁波速度分布および３次元電気探査による比抵抗分布は地盤の含水比分布状況の把握に適する。屈折法トモグラフィによるＰ波速度分布による地盤構造とともに、ＲＩコーンで測定した含水分布と一致している(図-3.5)。

○電気探査

電気探査による比抵抗値と土試料の最大粒径の相関から、土層構成の把握に適する。

---

1) 山本剛，小段栄一，糸川政孝（京都大学 河川堤防の内部構造と探査機器の開発研究委員会)：河川堤防調査における物理探査の適用性に関する研究 －国土交通省近畿技術事務所　河川堤防の内部構造調査と探査機器の開発研究の成果－，物理探査学会 60 周年記念シンポジウム，2008.

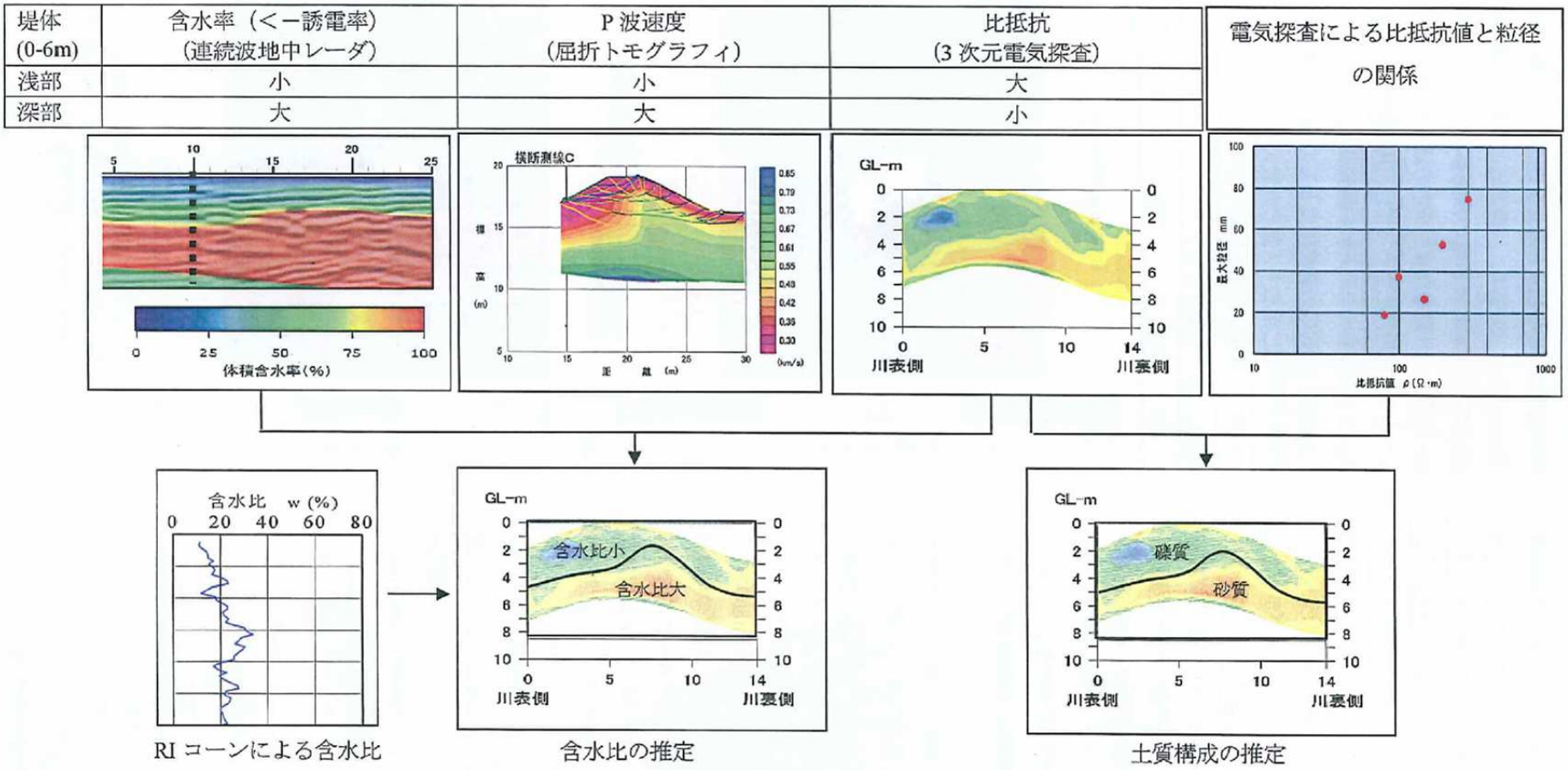


図-3.5 堤防物理探査における含水比と土質構成の定性的推定 [1)]

(2) 物理探査法の適用性

比抵抗探査による地盤の電気的な性質や連続波レーダ探査による電磁的な性質は、地盤の含水状態に対応した物性値分布を示すものであり、粘性土～砂質土～砂礫といった「材料区分」を可能とする技術といえる。

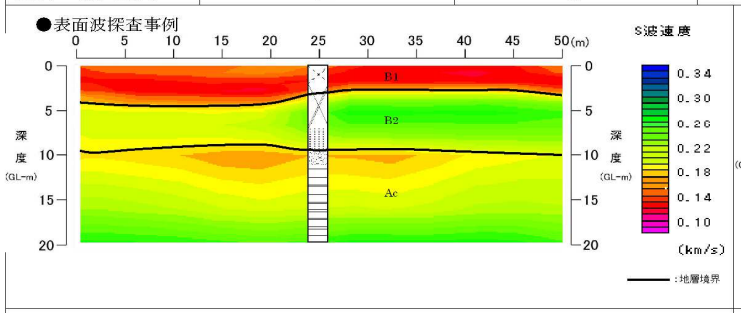
一方で、表面波探査等の地震探査による弾性波速度は地盤の締まり具合に対応した値を示すものであるため、「地盤強度」を反映した探査結果を表現するものである。

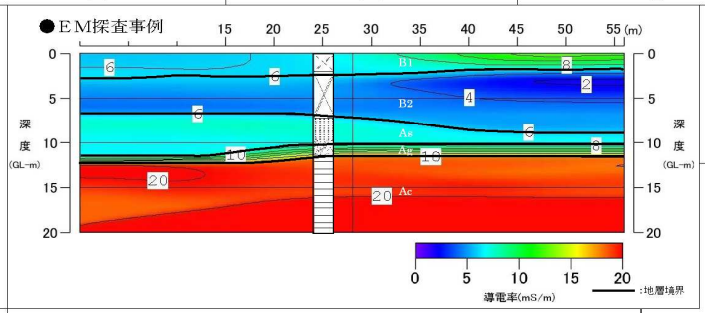
これらの探査手法を組合せることによって堤体材料区分や土質構成とその締まり状態を把握して、堤防の弱部を効率的に抽出することが可能となる。物理探査の組合せによって基礎地盤や堤体材料の面から見た一連区間の見直しを行うことにより、対策範囲や優先順位決定に役立つ情報を得ることが重要である。

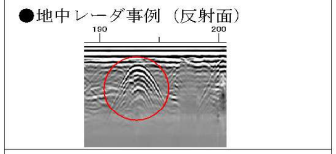
河川堤防に適用できる物理探査技術比較表を表-3.6 にまとめる。

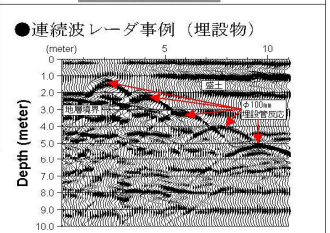
表-3.6 物理探査技術比較表

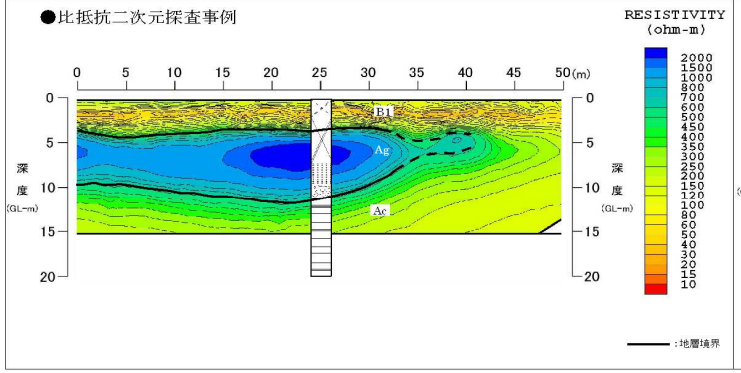
探査技術	表面波探査	弾性波反射法	比抵抗二次元探査	ＥＭ探査（周波数/時間）	連続波レーダ探査	地中レーダ探査
検出物性値	Ｓ波速度	Ｐ波・Ｓ波反射面	比抵抗分布	導電率分布	電磁波速度/電磁波反射面	電磁波反射面
可探深度	10～15m	20m 以上	20m 以上	20m 程度	15～20m	3m 程度
分解能力	2～5m	2m 程度	2～5m	2～5m	0.5～1m	0.5m 以下
作業性	500m/日	250m/日	250m/日	500m/日	300m/日	1000m/日
原理・概要	地表をカケヤ等で打撃し、地中の表面波速度（Ｓ波と同等）を計測する。主に牽引型地震計が使われる。	地表をカケヤ等で打撃し、地中の弾性波反射面を計測する。主に牽引型地震計が使われる。	地表に電流･電位電極を打設し､地中の電位差を計測して比抵抗値を解析求める。最近では電極牽引型の技術もある。	電磁誘導現象を利用して地中の導電率値を計測する。計測は一対のコイルを用いて行う。	電磁波を地中に送信して地中の電磁波反射面を計測する。ﾜｲﾄﾞｱﾝｸﾞﾙ計測を行うことによって地中の電磁波速度も求めることができる。	電磁波を地中に送信して地中の電磁波反射面を計測する。
特　　徴	地中の硬軟変化に良く反応する。	地中の硬軟変化に良く反応する。分解能力が良い。	地中の含水変化に良く反応する。地盤の透水性の判別に優れる。	地中の含水変化に良く反応する。地盤の透水性の判別に優れると共に作業性が良い。	地盤の含水性空隙性変化共に良く反応する。分解能力は非常に良い。	地盤の含水性空隙性変化共に良く反応する。分解能力は最も良い。
地層の検出能力	○	○	○	○	○	×（可探深度不足）
空洞の検出能力	△	○	△	△	○	○

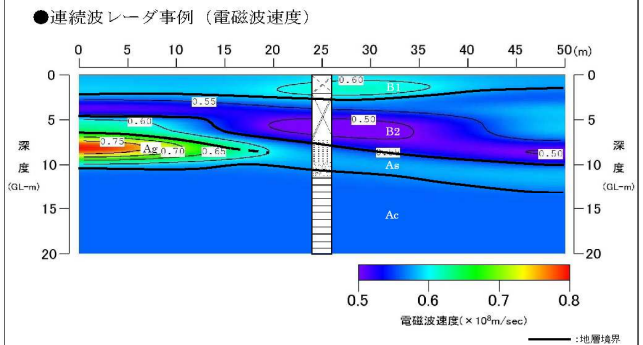


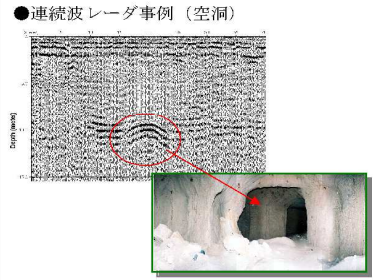












(3) 物理探査法による調査事例

那賀川水系の桑野川において、堤防縦断方向に表面波探査と牽引式電気探査（オームマッパー）を実施して得られたＳ波速度と比抵抗の値をもとに土質判定を行い、その後実施された開削調査により確認された土質との比較を試みた事例[2)]を図-3.6 に示す。この例では、両者の整合性は良好であることが示されている。

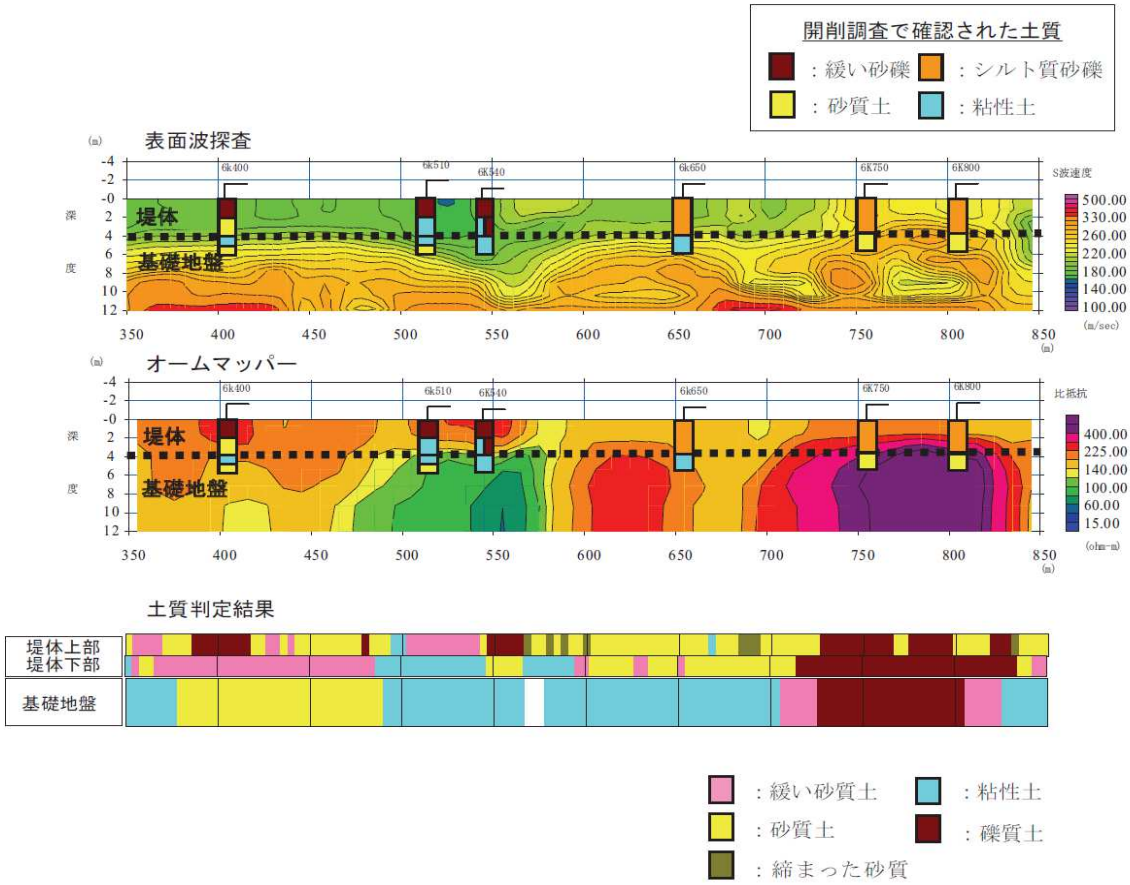


図-3.6　表面波探査と牽引式電気探査を用いた堤防縦断方向探査の例[2)]

複数の測線で物理探査を実施することにより、堤防や基礎地盤構造を３次元的に表現することも新しい技術として開発されている。行き止まり地盤や透水性地盤など浸透に対して弱部となる箇所を抽出することは、堤防の安全性を評価して対策工の優先順位を決定する上で有効な資料となる。図-3.7 は樋管・樋門構造物周辺の堤防弱部を把握するため、連続波地中レーダ探査による電磁波速度構造３次元解析結果から推定された含水比分布の３次元表示例である。樋管側面の堤防部に濃い青色の高含水ゾーンが分布している様子が見てとれるが、これらの部分はポータブルコーン貫入試験によって非常に緩い状態になっていることが確認されており、物理探査によって堤防弱部を３次元的に検出した一例である。

このように、物理探査によって基礎地盤を含めた堤防内部構造を３次元的に把握することは、今後の河川防災対策において有効なツールになることが期待できる。

現在、浸透に対する概略評価ランク（Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ）のＣ，Ｄ区間を主体に詳細点検

2)田中敏彦・阿部知之・林宏一・小西千里：河川堤防における非破壊調査手法の研究－開削調査による物理探査手法の適用性検証－，応用地質技術年報 No.27，pp.29-54，2007.

が行われ、堤防の対浸透安全性を評価しているが、ボーリングは点の情報であるため縦断方向における堤体材料や地層の連続性は保証されていない。物理探査技術でボーリング地点間の情報を補完して評価ランク区間を見直すことは、対策工の必要区間を絞り込む上でも重要なステップである。

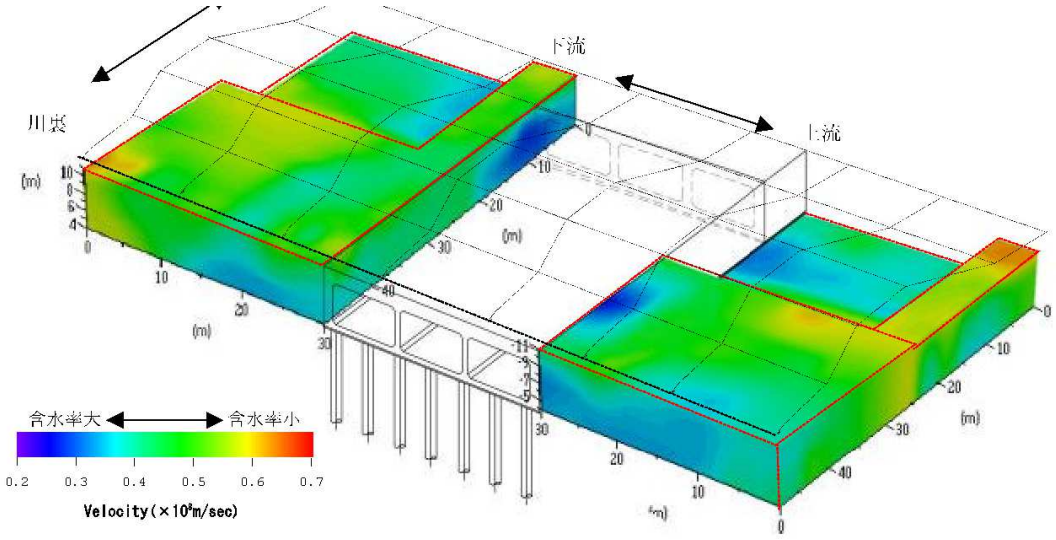


図-3.7 樋門周辺堤防における電磁波速度構造3次元解析結果の例

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。

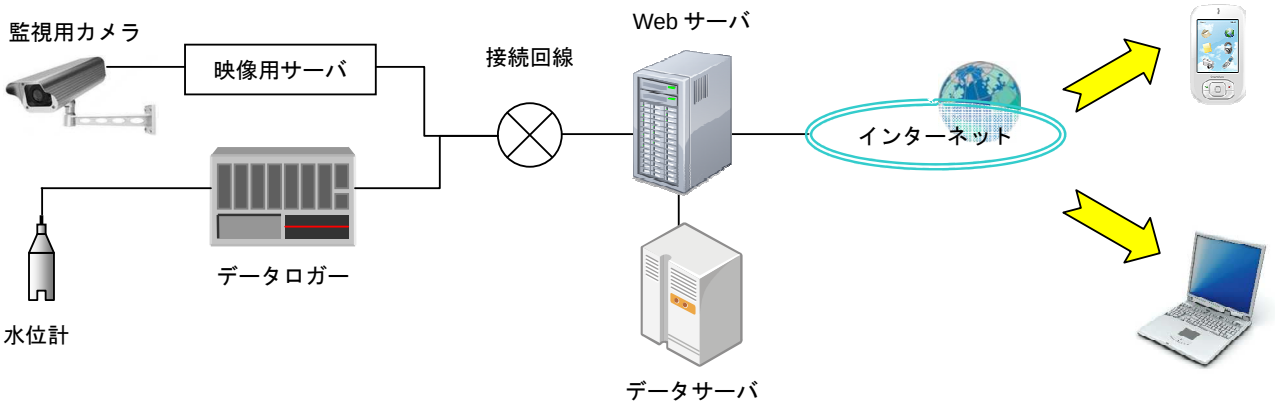


図-4.1　水位観測システムの構成例

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。

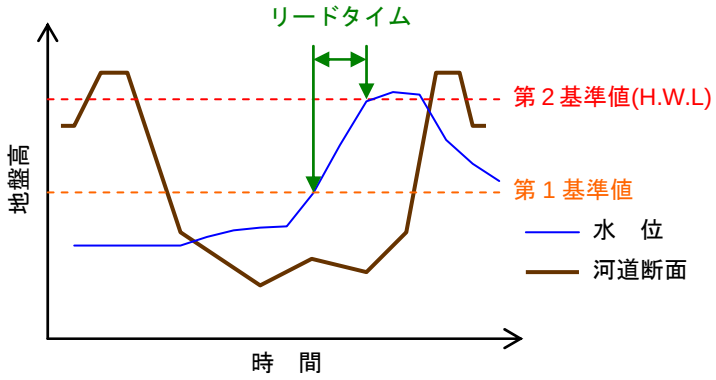


図-4.2　管理基準値設定のイメージ

(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。

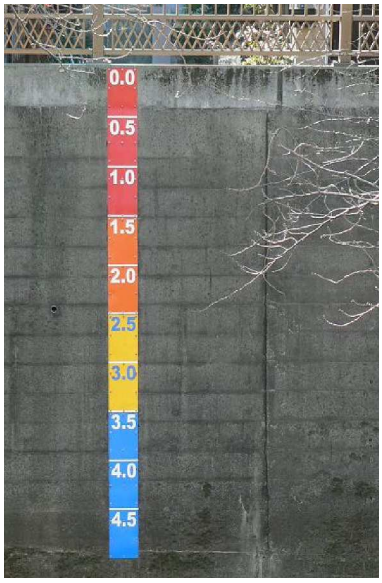


写真-4.2 量水標の設置例
（東京都板橋区）

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。

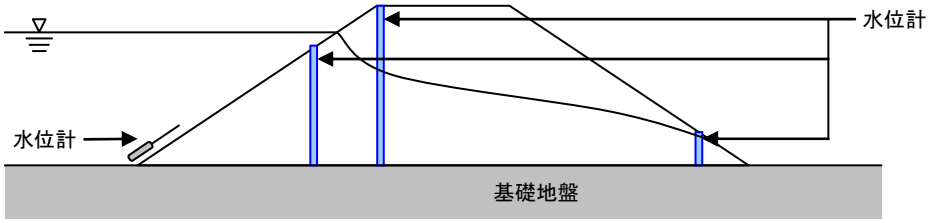
パイピング破壊については、旧河道や落堀等の要注意地形はモニタリングの重要度が高い。観測位置の選定には、治水地形分類図や堤防防災マップを活用する。

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。

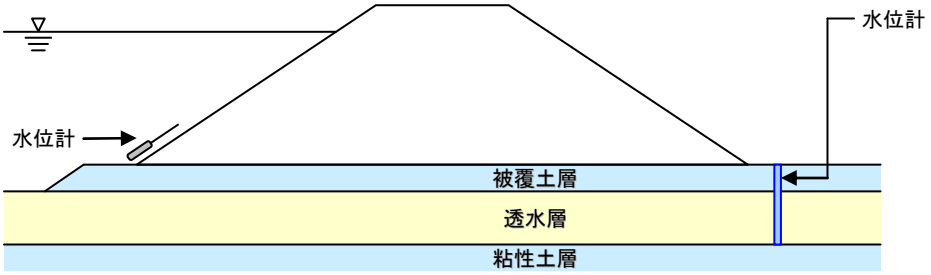
イ) 樋門・樋管等構造物周辺の管理

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。

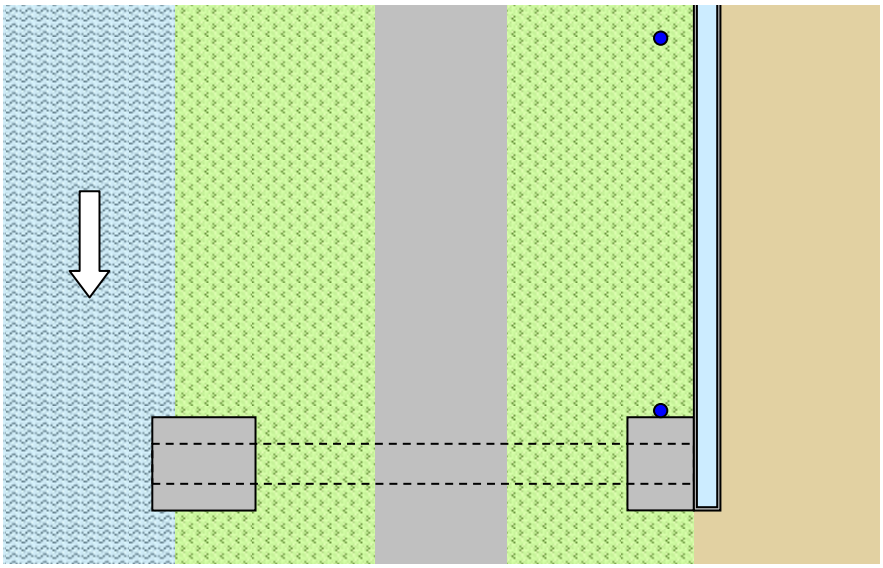


(a) 堤体漏水の場合

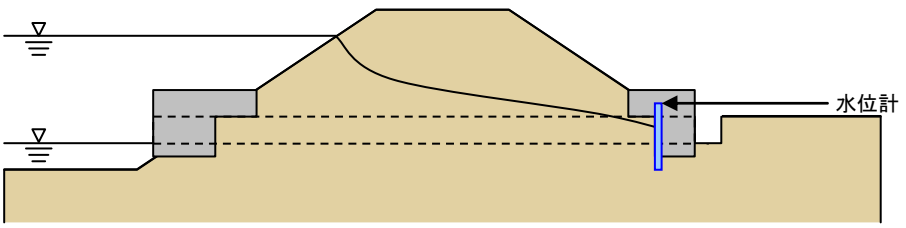


(b) 基盤漏水の場合

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

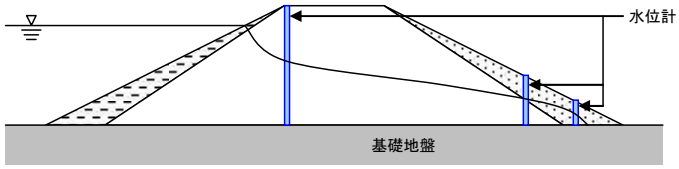
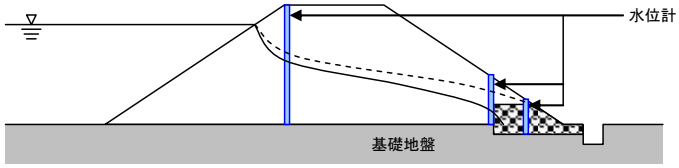
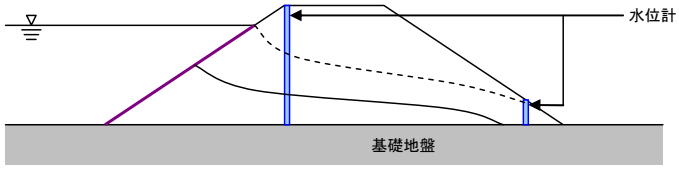
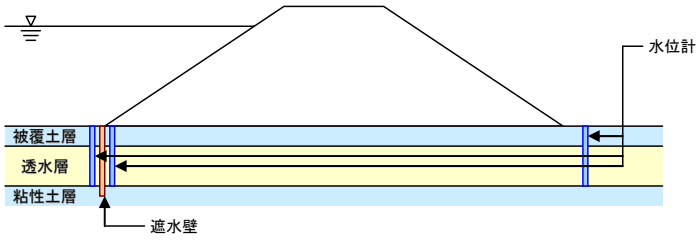
図-4.5 樋門・樋管等周辺のモニタリング

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。

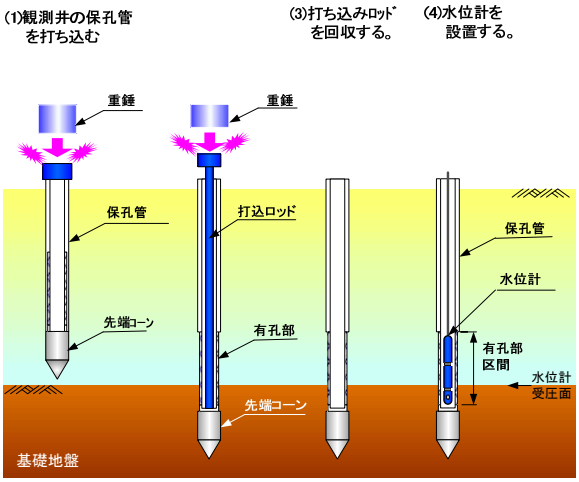
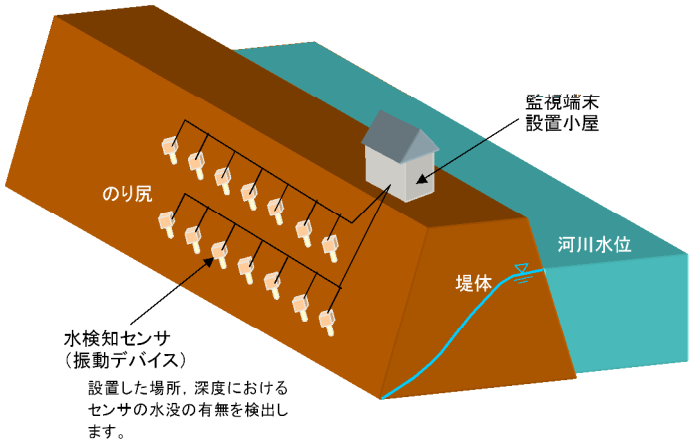


図-4.6 打ち込み式水位観測井の設置手順

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

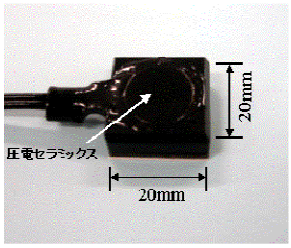
イ) 振動デバイスを用いた水位観測システム

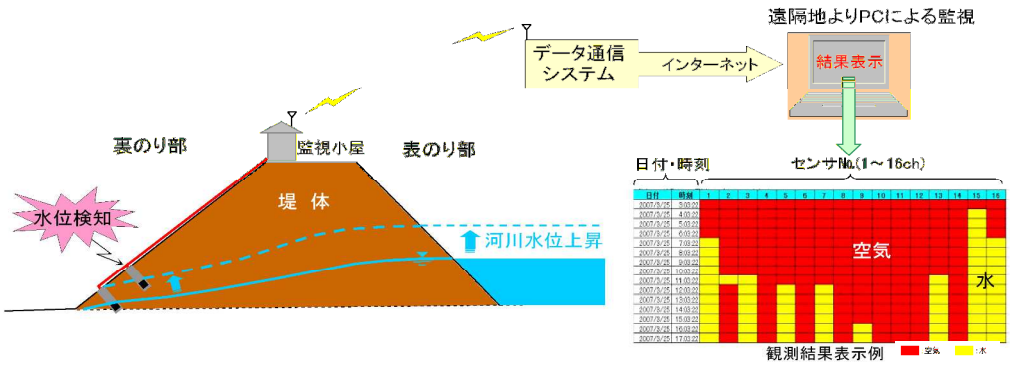
振動デバイスを用いた水位観測システムは、河川の水位上昇に伴う堤体内の水位の変化を小型の水位観測用振動デバイスセンサを用いて検知・観測するシステムである。



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)

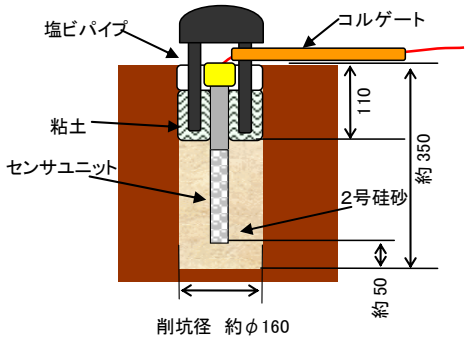
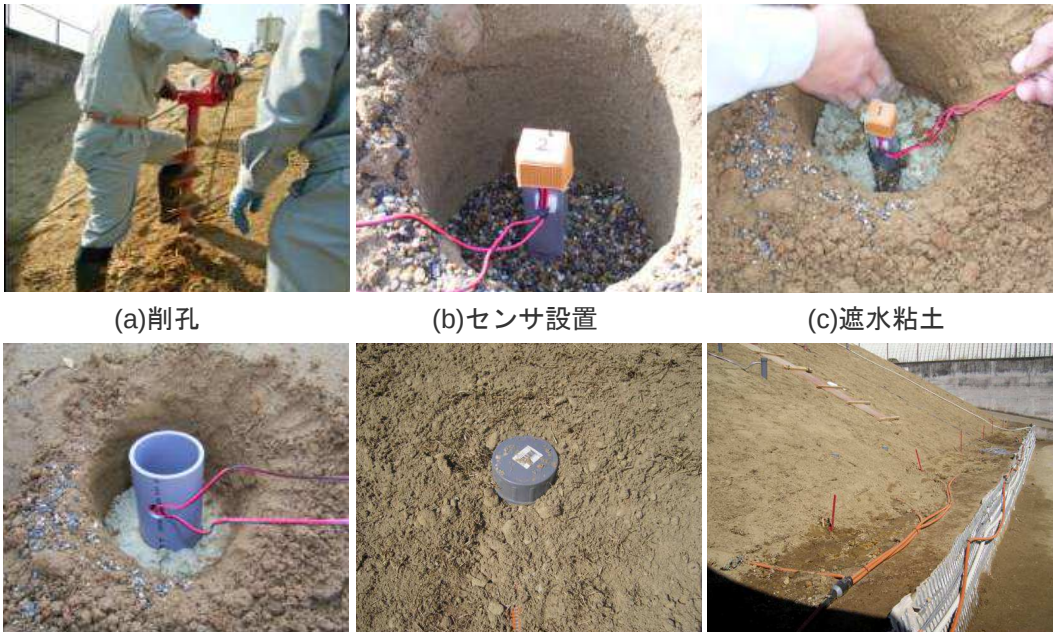


図-4.9　センサ設置方法



(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。

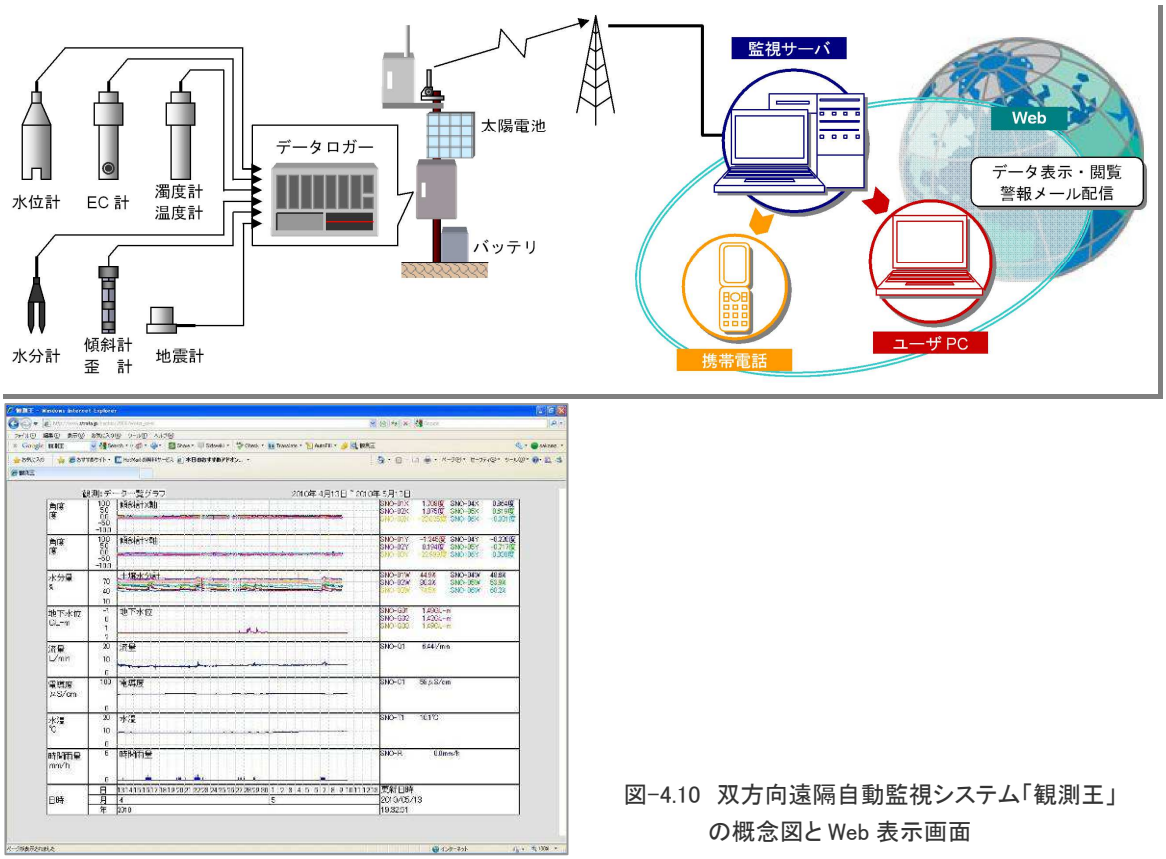


図-4.10　双方向遠隔自動監視システム「観測王」の概念図と Web 表示画面

５．効率的な対策工法

5.1　伝統的な水防工法

(1) 水防とは

広義の水防とは、洪水という自然現象から受ける人命、財産への被害を最小にするために個人あるいは地域が行う自衛の取組み全般をいい、その内容は住居・生活の工夫、生活習慣、土地の利用方法、水害防備林の整備・管理、水制の設置・管理、橋の管理等、個人レベルから地域レベルまで広範囲にわたり、古くより様々な取組みが行われてきた。水防活動を例示すれば以下のようなものが挙げられる。

・洪水位が一定以上になったら近くの寺の畳を堤防に運んで備える。
・水防活動の資材提供の場として河川沿いに水害防備林を整備する。
・氾濫の急所である堤防が溢流する状況になると畳を持ち出して堤防の上に畳を横に立て並べて裏に土俵を積んだり、場合によっては人がスクラムを組んで畳の堤防を築く。しかも洪水の状況に応じて畳と畳の間隔など開け方を変える。
・橋の沿岸・周辺の石材屋、材木屋、旅籠屋、船持ちなどが洪水時の流木取りを行い、橋の破壊やせき止めによる上流の堰上げを防ぐ。
・取水堰を洪水時に一時的に分解し、洪水後再度組み立てる板羽目堰構造として、堰の破壊や堰上げによる上流への悪影響を防ぐ。

このように、**「水防」は地域や個人が水害に対してどのように安全でありたいか、ということから発想されるものである。**一方、これに対して水防が河川沿岸に連続していることを前提に、**どのようにしたら全体の被害を最小にできるかを考えるのが「治水」である。**

(2) 水防材料

水防は特に緊急を要する対策工法であるため、資材については入手が容易で、大量にあり、加工が簡単で、洪水に対しての抵抗力が強く、運搬や施工が容易、などの条件を備えている必要がある。水防材料は大別して水防そのものに用いる水防資材と、水防資材をつくる・加工する・流下物を除去するために必要な水防工具に分類することができ、これらが水防倉庫に保管、備蓄されている。

①水防資材

水防資材は入手が容易であり、かつ大量にあることなどの条件を備えている必要があり、従来は‘わら’を利用することが多く、‘むしろ’や‘なわ’などの利用が大部分を占めていた。しかし、現在はわらに変わる材料が開発され、水防活動の合理化が図られるようになった。

・俵，かます→麻袋，合成繊維製土のう袋
・むしろ→たたみ，ビニールシート，布シート
・なわ→ロープ，鉄線

・木ぐい→既製木ぐい，鉄筋

・竹樋，木樋→ビニールパイプ

・足場板→軽量鋼矢板

②水防工具

水防資材をつくるための道具類であり、土のうをつくるとき、竹とげ、くいごしらえ、照明、運搬、救命用具、通信用具などに分けられる。

・土のうづくり：くわ、スコップ，つるはし，じょれん，かま

・竹とげ，くいごしらえ：竹とげがま，おの，のこぎり，細ひも，台木

・くい打込み：かけや，たこつち，ハンマー

・運搬用具：担棒，皿かご，もっこ，一輪車，二輪車，荷車，あゆみ板，手かぎ

・照明：懐中電灯，大型懐中電灯，大型照明灯，作業灯，携帯用発電機，予備電源，かがり台

・雨具：長靴，雨ガッパ，ウェットスーツ

・救命，救急用具：救命衣，救命浮綱，救急箱，消化器，鉄船，ゴムボート，安全靴、ヘルメット，担架，命綱

・通信用具：トランジスターラジオ，拡声器，振鈴，無線機，手動サイレン

・資材加工用具：むしろ針，ペンチ

・食料：たきだし弁当，おにぎりなど

・その他：とび口，バケツ，はしご，仮設水位測定版，タオル，ポンプ

(3) 水防工法の分類

河川堤防の被災には様々な原因があるが、次の 5 種類が主なものである。水防活動はこれらの被災要因に最も適した工法を選定し、迅速に対応することが重要である。

①洗掘（深掘れ）

河川の流勢や波浪により、川表のり面が削り取られた状態を洗掘という。

洗掘の原因としては、河川が湾曲している水衝部、護岸の損傷箇所、橋や合流点下流部で断面積が変化し流速が早くなる部分では横断方向の洗掘が生じ、さらに河川を横断する床止めなどが設けられた場合は、直下流が縦断方向に深掘れする現象が生じる。

洗掘により堤防は川表のり面から洗掘が進行し、ついには決壊する。

②漏水

河川水位が上昇し、水圧により川裏のり面のり先に堤防または基礎地盤を通った浸透水が漏れ出した状態を漏水という。

漏水の原因としては、堤体漏水では堤防材料に砂分の多い材料が使用されていること、堤防肉厚が薄く、いわゆるやせた堤防（カミソリ堤）であること、樋門・樋管・水門・橋梁アバット部などに堤防材料と異なったコンクリートなどが使用されている箇所の土と土以外の材料の接合面からの浸透などがある。

漏水が進行すると堤体内の土砂が排出され、堤防が決壊する。

③越水

河川水位が上昇し、堤防の上面を超えてあふれ出した状態を越水という。

越水の原因としては、単に堤防が低い、高さが不足しているだけではなく、流水が流れる断面積、すなわち河積が不足し水位を上昇させることや、橋梁や堰のピア、桁に流木が引っかかり断面を阻害したり、あるいは急流河川では流れてきた巨石が水位を上昇させるなどの原因により、その上流では越水の危険が生じる。

越水により堤防上面や川裏のり面が削られて堤防が決壊する。

④亀裂

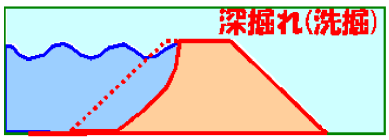
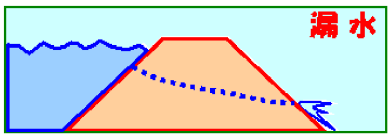
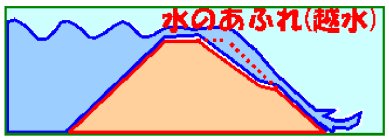
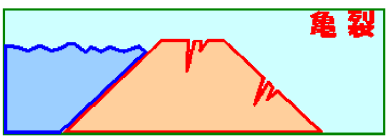
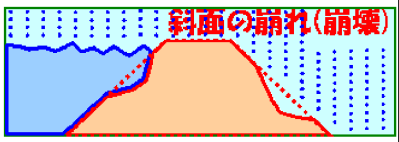
河川水の水圧や堤防内の浸透水などの影響で堤防が変形し、ひび割れが発生した状態を亀裂という。

⑤崩壊

激しい川の流れや降雨の影響で堤防の一部が崩れた状態をいう。

表-5.1 には、水防工法の被災要因と対策の基本方針を整理した。

表-5.1 水防工法の被災要因と対策の基本方針[資料 1)から引用]

堤防の被災要因			対策の方針
洗掘		河川の流勢や波浪により，川表のり面が削り取られた状態を洗掘という。堤防は川表のり面から洗掘が進行し決壊する。	洗掘が進行しないように，堤防斜面を保護する。
漏水		河川水位が上昇し，水圧により川裏のり面のり先に堤防または基礎地盤を通った浸透水が漏れ出した状態を漏水という。漏水が進行すると堤体内の土砂が排出され，堤防が決壊する。	浸透水が増加しないように，川表側と川裏側の水位差を小さくする。
越水		河川水位が上昇し，堤防の上面を超えてあふれ出した状態を越水という。越水により堤防上面や川裏のり面が削られて堤防が決壊する。	堤防を嵩上げする。
亀裂		河川水の水圧や堤防内の浸透水などの影響で堤防が変形し，ひび割れが発生した状態を亀裂という。	亀裂が広がらないように被災箇所を縫い合わせる。
崩壊		激しい川の流れや降雨の影響で堤防の一部が崩れた状態をいう。	崩壊箇所の補充をする。

(4) 水防工法の種類

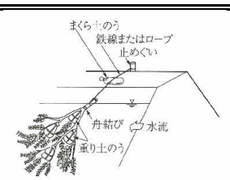
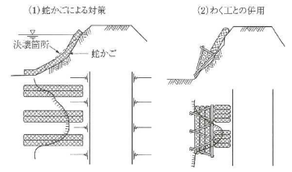
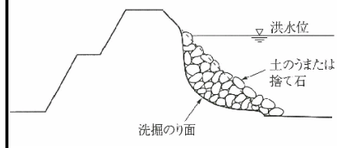
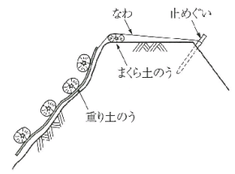
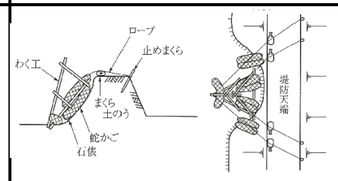
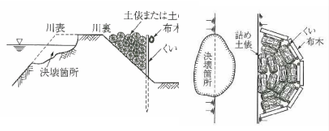
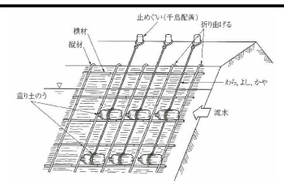
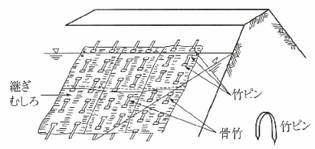
歴史的に使用されていた、または現在も使用されている伝統的な水防工法を表-5.2 に整理した。なお、表中の「普及状況」の凡例は以下のとおりである。

○：普及している

△：時々用いられる

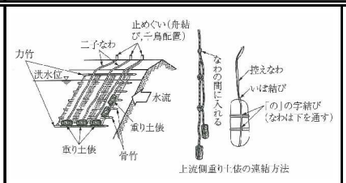
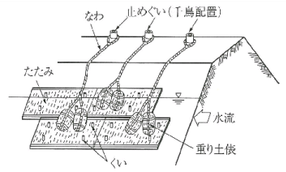
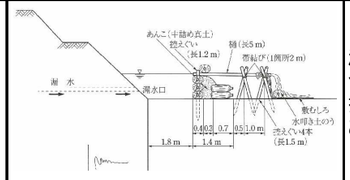
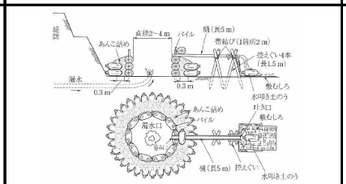
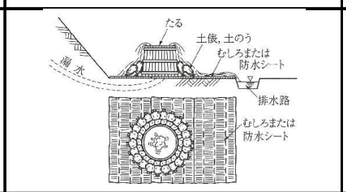
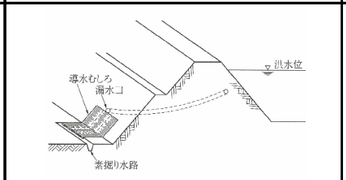
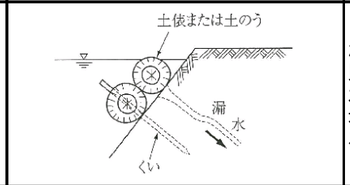
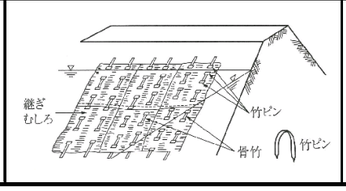
×：普及していない

表-5.2(1)　伝統的な水防工法一覧表(その 1)[資料 2)より一部引用]

被災要因	水防工法の種類	概要		留意点	利用箇所	使用資材	普及状況
洗掘	木流し工法		川表のり面に投入した樹木の抵抗力により、堤防表面の河川流速を低減させ、深掘れの進行を抑える工法である。シート張り工法に比べ、あおりに対する抵抗力が高く、比較的流速の速い河川にも適用可能である。	現地調達できる樹木を使用するが、流水に対する抵抗力を得るためには、枝葉の茂った木を用いる方が効果的である。また、木流しがあおられないよう、重し土のうを確実に取り付けることが重要である。	流速が早い箇所でも対応可能	立木、土俵、なわ、鉄線、くい、(土のう)、(ロープ)	○
	立てかご工法		主として急流部で洗掘、崩壊箇所の拡大防止に効果的な工法で、決壊した箇所に蛇かごを立てかけるものである。決壊の状況に応じて、蛇かごを前面に並べるか、2～3本ずつ並列に並べる。	立てかご工法を施工する河川はきわめて急流な場合が多く、堤防がどんどんえぐり取られるような危険な状態になることが多い。	流速が早い箇所でも対応可能	竹蛇かご、詰め石、くい、鉄線、(鉄線蛇かご)	×
	捨土のう(人力)工法		深掘れされた部分に土のう等を投入し、斜面を保護する工法である。被災箇所が、土のうを人力で投げ入れることができるような水際に近い箇所で、比較的緩やかな流速の場合にのみ適用可能である。	石や土のうを単体で投入するため流水に流されやすく、特に被災箇所が広範囲に及ぶ場合には適用が困難である。緊急時の応急処置として位置付けて他の有効な工法と併せて準備するべきである。	流速が遅い箇所で対応可能	土俵、石俵、石、(土のう)、(異形コンクリートブロック)	○
	竹編流し工法		川表のり面の決壊防止を目的として太目の竹を格子状に結び、その格子を骨に竹格子の中を鉄線やなわで格子をつくり、大きい網状にし決壊したのり面に押し当て、網の上に土のうや石のうを投入し、のり面の洗掘を防止する工法である。	土のうや石のうが流水に流されないようにする必要がある。	堤防天端から川表のり面付近で適用	竹、くい、なわ、土俵、(ロープ)、(土のう)、(石のう)	×
	わく入れ工法		急流河川において、流水を緩和し堤脚洗掘面の拡大を防止するときに用いられる工法で、洗掘箇所に丸太を使用した川倉、牛わく、鳥脚などの合掌木を投入する工法である。	わく工には、様々な種類があるので、あらかじめその川の水防に適したわく工が何であるかを知っておき必要がある。また、2基以上のわく工を投入する場合には、上端部から施工することが被害を最小限に止めることになる。	流速が早い箇所で対応可能	わく組み(丸太、鉄線、かすがい)、石俵、蛇かご	×
	築きまわし工法		川表のり面の崩壊は、洪水の程度によってあるところまで洗掘が進むと、それ以上の決壊が止まることがある。この場合、堤防の肉厚が減少したために、漏水によって破堤することがあるので、堤防断面の不足を補うために、裏のり側に土のうなどを積み上げ、堤防を補強する工法である。	裏のり補強にばかり気を取られるのではなく、表のり決壊にも注意することが必要である。	川裏のり尻付近で適用	くい、割竹、板、土俵、くぎ、(土のう)	×
	びょうぶ返し工法		波浪や流水により川表側欠け込んだ場合、その拡大を防止し、かつ漏水防止工法としても採用される。竹を骨組みとして使用し、わら、あし、よし、かやなどをあて「びょうぶ」のようなものを作り、これを竹材の根本から折り曲げて川表のり面に倒し、洗掘面を覆う工法である。	竹、あし、よし、わらなどが容易に入手できる地方に適した工法である。最近は使用例が少なくなっている。	川表のり尻付近で適用	竹、なわ、わら、かや、あし、よし、くい、土俵、(土のう)	×
	むしろ張り工法		この方法は詰め土俵工法を採用したときの条件と異なって、吸込み口が判然としていない、または吸込み口が隣接して数箇所にわたるような場合、あるいは詰め土俵工法では閉鎖が困難な場合に堤防表のり面にむしろを何枚か縫い継ぎし、骨竹を通して、これを竹ピンでのり面にさし、場合によっては重い土俵を乗せる方法である。	むしろ、竹などの入手が困難になってきているため、防水シート、鉄パイプ、鉄筋のピンなどが多く用いられることが多くなってきている。また、この工法は直接洪水の中で作業をしなければならないので水防団員などには命綱、救命胴衣をつけさせるなどの安全対策が必要である。	川裏のり面で適用	むしろ、竹ピン、骨竹、土俵、土のう	×

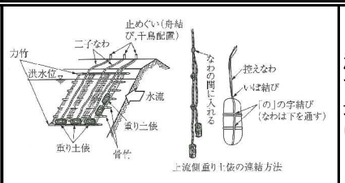
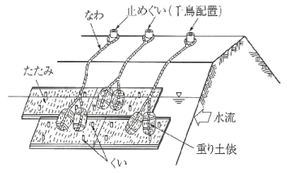
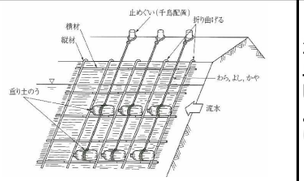
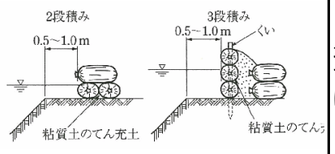
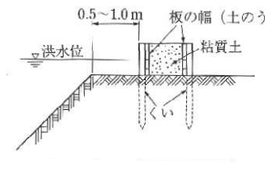
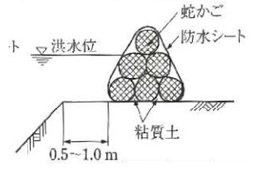
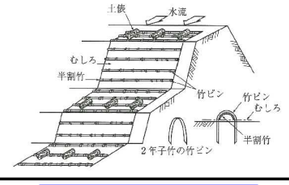
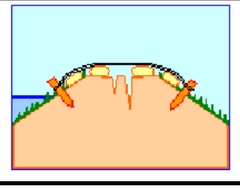
「普及状況」の凡例　○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない

表-5.2(2)　伝統的な水防工法一覧表(その 2)[資料 2)より一部引用]

被災要因	水防工法の種類	概要		留意点	利用箇所	使用資材	普及状況
洗掘	おもてむしろ張り工法		漏水吸込み口の表のり面にむしろを羽重ねし、これをなわで縫い合わせ、さらに骨竹を0.5～0.9mピッチに粗く縫い、最も下段のむしろ1枚に1個の割合で土俵や土のうを取り付け、これを裏のり肩に打った止めぐいに固定する。	吸込み口が水中深くにあり、漏水口が特定できない場合に用いられる。継ぎむしろをすのこ巻きにするまでは、陸上の作業になるので、かなり広い面積が必要であり、作業できる場所の確保および迅速な作業ができる体制を確保しておく必要がある。	川裏のり面で適用	むしろ、なわ、くい、ロープ、土俵、土のう	×
	たたみ張り工法		たたみを川表のり面の漏水吸い込み口またはのり面決壊部分に直接押し当て、漏水や洗掘を防止する工法であり、対策必要箇所の水深が比較的浅い場合に適している工法である。	水防の範囲は長手方向の約1.8mから2倍の3.6m程度のため、深い位置での対策には適していない。また、むしろ張り工のむしろより厚さがあり、防水効果が大きいので、古だたみが多く入手できる場所では有効な対策である。また、直接洪水に面して、または中に入って施工しなければならないので、水防団員などの安全対策には十分な配慮が必要である。	川表付近で適用	たたみ、なわ、竹ぐい、土のう、鉄線	×
漏水	月の輪工法		漏水箇所周辺に、土のうを月の輪状に積み上げ水深を保つことにより、川表側との水位差を小さくし漏水量の増加を抑え、堤防内部の土砂流出による決壊を防止する工法である。住宅地側斜面に用いられる。	月の輪部分の水密性を確保し、漏水箇所(川裏側)の水位を上げることが重要である。なお、漏水量を増加させないことが目的であり、漏水を完全に止めることを期待する工法ではない。	川裏のり尻付近で適用	土俵、むしろ、くい、樋、竹ぐい、(土のう)、(防水シート)、(パイプ)、(鉄筋棒)	○
	釜段工法		形が円形となる他は、機能・目的とも月の輪工法と同じである。住居地側の平地に適用される。	月の輪工法と同様で、円形部分の水密性を確保することが重要である。	川裏のり尻から堤内地付近で適用	土俵、むしろ、くいまたは竹ぐい、樋、(土のう)、(防水シート)、(パイプ)、(鉄筋棒)、(ビニール)	○
	たる伏せ工法		漏水が比較的小規模な場合には、地盤状況を十分考慮し、底を抜いたたるや桶を漏水口にかぶせ、これにより漏水の噴出力を弱める工法である。	身近にある土管、コンクリート管を使用する場合には、その管長が河川水位より高いときには堤体内の水位を高め漏水口を塞ぐことになり、かえって堤体の弱体化・堤体の土砂流出を助長することにもなるので、管長の長い土管やコンクリート管の使用には注意が必要委である。	川裏のり尻から堤内地付近で適用	たる、桶、むしろ、土俵、(防水シート)、(土のう)	×
	導水むしろ張り工法		漏水量が少ない場合に用いられる工法で、その漏水の流路にむしろや防水シートを張り、堤体土の流出を防ぐ工法である。	漏水量が少ない場合に用いる工法であるため、それ以上漏水量が多くならないかどうかの判断が必要である。	川表のり面で適用	むしろ、丸太、竹、(防水シート)	×
	詰め土俵工		洪水中に堤防川表のり面にはっきりとした吸い込み口が発見できた場合、この吸い込み口に土俵や土のうを詰め、止水を図る工法である。土俵が転倒し、水中に落下しそうな場合には、くいや竹ぐいを突き刺して安定を図ることもある。	吸い込み口の発見に当たっては、堤内地側の漏水箇所とペアになっている場合が多いので、堤内地漏水を参考に発見することになるが、その作業は濁流の中で人間が潜り、堤体に手を当てて探すことになるので、作業する場合には命綱をつけるなど安全対策には十分な配慮が必要である。	川表のり面で適用	土俵、むしろ、くい、竹ぐい、(土のう)	×
	むしろ張り工法		この方法は詰め土俵工法を採用したときの条件と異なって、吸込み口が判然としていない、または吸込み口が隣接して数箇所にわたるような場合、あるいは詰め土俵工法では閉鎖が困難な場合に堤防表のり面にむしろを何枚か縫い継ぎし、骨竹を通して、これを竹ピンでのり面にさし、場合によっては重い土俵を乗せる方法である。	むしろ、竹などの入手が困難になってきているため、防水シート、鉄パイプ、鉄筋のピンなどが多く用いられることが多くなってきている。また、この工法は直接洪水の中で作業をしなければならないので水防団員などには命綱、救命胴衣をつけさせるなどの安全対策が必要である。	川裏のり面で適用	むしろ、竹ピン、骨竹、土俵、土のう	×

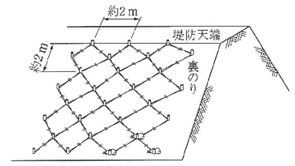
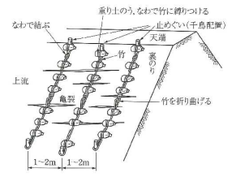
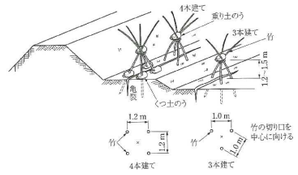
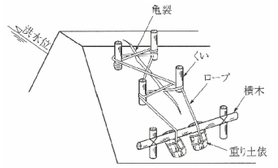
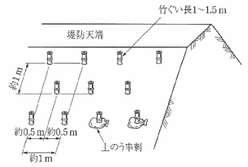
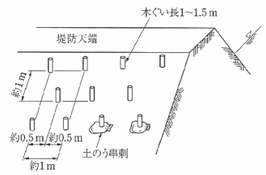
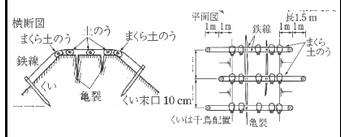
「普及状況」の凡例　○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない

表-5.2(3)　伝統的な水防工法一覧表(その 3)[資料 1)、2)より一部引用]

被災要因	水防工法の種類	概要		留意点	利用箇所	使用資材	普及状況
漏水	おもてむしろ張り工法		漏水吸込み口の表のり面にむしろを羽重ねし、これをなわで縫い合わせ、さらに骨竹を0.5～0.9mピッチに粗く縫い、最も下段のむしろ1枚に1個の割合で土俵や土のうを取り付け、これを裏のり肩に打った止めぐいに固定する。	吸込み口が水中深くにあり、漏水口が特定できない場合に用いられる。継ぎむしろをすのこ巻きにするまでは、陸上の作業になるので、かなり広い面積が必要であり、作業できる場所の確保および迅速な作業ができる体制を確保しておく必要がある。	川裏のり面で適用	むしろ、なわ、くい、ロープ、土俵、(土のう)	×
	たたみ張り工法		たたみを川表のり面の漏水吸い込み口またはのり面決壊部分に直接押し当て、漏水や洗掘を防止する工法であり、対策必要箇所の水深が比較的浅い場合に適している工法である。	水防の範囲は長手方向の約1.8mから2倍の3.6m程度のため、深い位置での対策には適していない。また、むしろ張り工のむしろより厚さがあり、防水効果が大きいので、古だたみが多く入手できる場所では有効な対策である。また、直接洪水に面して、または中に入って施工しなければならないので、水防団員などの安全対策には十分な配慮が必要である。	川表付近で適用	古たたみ、なわ、竹ぐい、土俵、鉄線、(土のう)	×
	ぴょうぶ返し工法		波浪や流水により川表側欠け込んだ場合、その拡大を防止し、かつ漏水防止工法としても採用される。竹を骨組みとして使用し、わら、あし、よし、かやなどをあて「ぴょうぶ」のようなものを作り、これを竹材の根本から折り曲げて川表のり面に倒し、洗掘面を覆う工法である。	竹、あし、よし、わらなどが容易に入手できる地方に適した工法である。最近は使用例が少なくなっている。	川表のり尻付近で適用	竹、なわ、わら、かや、あし、よし、くい、土俵、(土のう)	×
越水	積土のう工法		堤防上面に土のうを積上げ、水のあふれを防止する工法である。構造が簡単で汎用材料で製作できる。広く一般的に用いられている。	止水の役割は主に中詰め材が受け持つため、しっかりと踏み固め、止水性を確保することが重要である。	堤防天端	土俵、くい、竹ぐい、(土のう)、(防水シート)、(鉄筋棒)	○
	せき板工法		計量鋼板製のせき板を杭で固定し、中詰め材で安定させる構造である。何らかの理由で大量土のうを作製できない場合に有効である。	中詰め材を重機で投入できる場合は作業性が飛躍的に向上するが、越水範囲が広範囲に及ぶ場合は、せき板の確保が課題となる。	堤防天端	くい、板、くぎ、(鋼製支柱)、(軽量鋼板)	×
	蛇かご積み工		堤防の欠け込みを考慮して堤防天端の表のり肩から0.5～1.0m程度後退して蛇かごを積み越水を防止する工法である。玉石類が豊富で入手が容易な地方で、かつ洪水継続時間の比較的短い急流河川に用いられる工法である。	玉石を蛇かご内に詰める場合、人海戦術1個づつ詰めていくため非常に時間がかかるため、水防訓練などにより必要時間の短縮に努めなければならない。また、あらかじめ玉石を詰め終えた蛇かごを用いる場合には、重量が大きいので重機の使用などにより搬出方法を決めておかなければならない。	堤防天端	竹網蛇かご、玉石、むしろ、鉄線、(鉄線蛇かご)、(防水シート)	○
	裏むしろ張り工(補強策)		堤防川裏側に、むしろを法尻の下端部から堤防に長手が平行になるように下草を刈り取り、敷き並べる工法である。洪水が堤防を越流し、天端、裏のり、裏小段、犬走りなどが洗掘、崩壊するのを防ぐ場合や積み土俵などからの漏水が多いとき、あるいはこれが予想されるときなどに、積み土俵工と併せて使用される。	堤防天端に十分むしろをかぶせ、のり尻、平場にもむしろを張って堤体を保護するほか、越流する場合でも、十分落ち着いて対処し、一連の作業が粗雑な施工にならないよう最善の努力をする必要がある。	堤防天端から川裏のり面	むしろ、半割竹、竹ピン、土俵	×
亀裂	打ち継ぎ(鉄線)工法		堤防に発生した亀裂を鉄線で挟み込み、亀裂が広がることをくい止める工法である。主に堤防上面に発生した亀裂に対して用いられる。	亀裂が広がろうとする際に、鉄線に直ちに引張力が発生する状態が理想的であるため、鉄線に緩みがないように固定することが重要である。	堤防天端付近	杭、鉄線、土俵、(土のう)	○

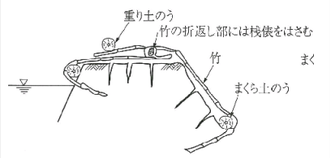
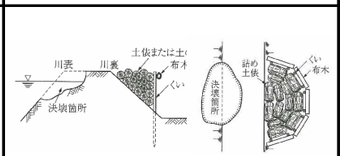
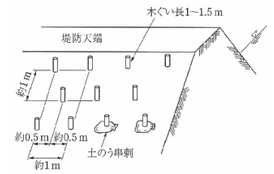
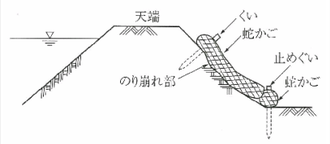
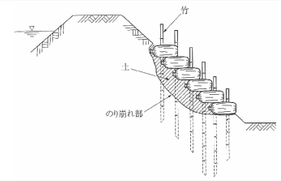
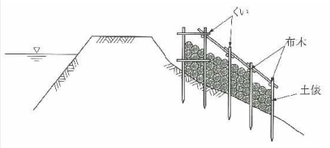
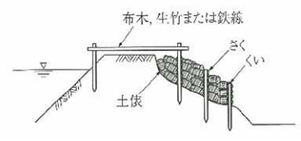
「普及状況」の凡例　○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない

表-5.2(4)　伝統的な水防工法一覧表(その 4)[資料 2)より一部引用]

被災要因	水防工法の種類	概要		留意点	利用箇所	使用資材	普及状況
亀裂	籠止め(鉄線)工法		堤防に発生した亀裂を鉄線で縫い合わせることにより、亀裂が広がることをくい止める工法である。堤防斜面に広範囲に発生した亀裂に対して有効である。	亀裂が広がろうとする際に、鉄線に直ちに引張力が発生する状態が理想的であるため、鉄線に緩みがないように固定することが重要である。	川裏のり面	杭、竹、鉄線、土俵	×
	繋ぎ縫い(鉄線)工法		堤防に発生した亀裂を鉄線で挟み込み、亀裂が広がることをくい止める工法である。堤防上面から居住地側斜面にかけて発生した亀裂に対して用いられる。	亀裂が広がろうとする際に、鉄線に直ちに引張力が発生する状態が理想的であるため、鉄線に緩みがないように固定することが重要である。	堤防天端から川裏のり面	杭、竹、鉄線、土俵、(土のう)	×
	五徳縫い工法(竹利用)		裏のりまたは裏小段における亀裂の拡大を防止する工法で、亀裂を挟んでこれを縛るように、竹3～4本を地中に深く一辺が1mくらいの正三角形または正方形になるようにさし、地上1.2～1.5mくらいの所で1本ずつなわ、鉄線でのの字結びに結束し、その交点上に重り土俵または重り土のうを乗せる工法である。	竹を堤体内の地盤に十分な深さまで突きさし結束しなければ、亀裂拡大とともにのり面が崩壊し、五徳が流されてしまうことがあるので、竹の突きさし深さは十分に取る必要がある。また、重り土俵の大きさは70cm以上なければ亀裂が拡大し、竹を引き合ったときに土のうから竹がずれるので注意を要する。	川裏のり面または裏小段	竹、なわ、鉄線、土俵、(土のう)	×
	五徳縫い工法(くい打ち)		竹の入手が困難で、くいが比較的入手しやすい地域で、のり面の亀裂拡大を防止するために取られる工法である。	亀裂部は土で埋戻しを行い、雨水の流入を防止する必要がある。	川裏のり面または裏小段	くい、なわ、土俵、丸太、(ロープ)、(土のう)	×
	竹さし工法		五徳縫いを簡単にしたもので、目通り12～18cmの竹を堤体深くに突きさし、深い土と浅い土を一体化させて、のり面を滑らないようにする方法である。	この工法は五徳縫い工法と併用すると効果的である。	川裏のり面	竹、土俵または土のう	×
	力ぐい打ち工法		竹さし工法の竹に代えて木杭を使用するもので、末口9cmくらいの杭を堤体深くに突きさし、深い土と浅い土とを一体化させて、のり面を滑らないようにする工法である。	のり面が軟弱な場合は、土俵または土のうを置いてその上から杭を打ち込む。	川裏のり面	くい、土俵、(土のう)	×
	折り返し工法		表のり、裏のりの適当な場所に土俵または土のうを置き、その土俵、土のうの下側に竹を突きさし、土俵をまくらに竹を折り曲げ、堤防天端で双方の竹を折り返し、なわで結束する工法である。	この工法は複雑な組合せで実施されることが多いので、竹の立て込み位置を必ず千鳥配置とし、竹の立て込みによってのり面に亀裂が生じないようにしなければならない。	堤防天端付近	青竹、なわ、土俵、桟俵、(土のう)	×

「普及状況」の凡例　〇:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない

表-5.2(5)　伝統的な水防工法一覧表(その 5)[資料 2)より一部引用]

被災要因	水防工法の種類	概要		留意点	利用箇所	使用資材	普及状況
亀裂	控え取り工法		堤防天端から裏のりにかけて生じた亀裂の拡大を同時に防止する工法である。	表のり面の竹の立て込みは一直線にならないように、千鳥配置と土、竹の立て込みのために、のり面に亀裂が生じないようにしなければならない。	堤防天端から川裏のり面	竹、土俵、小竹、割竹、くい、なわ、鉄線、(土のう)	×
崩壊	築きまわし工法		川表側の深掘れ(洗掘)・斜面の崩れ(崩壊)で不足した堤防断面を居住地側に確保することにより決壊を防止する工法である。	川表の洗掘や斜面崩壊の反対側(川裏側)の同じ位置に同程度以上の土のうを積むことが基本である。なお、併せて川表側の洗掘防止対策を実施すると効果的である。	川表のり面の崩壊防止として川裏側で実施	杭、さく材、布木、土俵、(土のう)	×
	力ぐい工法		竹さし工法の竹に代えて木杭を使用するもので、末口9cmくらいの杭を堤体深くに突きさし、深い土と浅い土とを一体化させて、のり面を滑らないようにする工法である。	のり面が軟弱な場合は、土俵または土のうを置いてその上から杭を打ち込む。	川裏のり面	くい、土俵、(土のう)	×
	立てかご工法		急流河川の堤防は、一般に砂利分の多い透水性の高い堤体材料が用いられることが多い。このため、浸透水によって裏のり面が崩れやすいので、裏のり下部に蛇かごを立て込んでこれを防止する。	軟弱なのり面を保護する場合には、補強するのり面にそだを敷き、その上に蛇かごを敷設することがある。	川裏のり面	蛇かご、くい、そだ	○
	土のう羽口工法		川裏、川表のり面が崩壊したとき、堤防断面の補強またはのり崩れの拡大を防止するため、崩壊した部分の下部のほうから土のうまたは土俵を小口に並べ、積み上げる工法である。	―	川表、川裏のり面	土俵、竹杭、割竹、土砂、(土のう9	△
	継ぎくい打ち工法		裏のりの崩壊した部分に木ぐいを数列並べて打ち、これを連結して、その中に土俵または土のうを詰め込み、堤防断面の補強を図るものである。	くい間に土俵や土のうを詰める際、くいや布木丸太に損傷を与えないように注意して作業する必要がある。なお、詰め土俵は芋継ぎにならないように詰め込む。	川裏のり面	くい、布木、鉄線、丸鋼、土俵、(土のう)	×
	さくかき詰め土俵工法		崩壊の程度によって、その最下部から天端と平行に数列の杭を打ち、その各列に竹やそだで柵を作って、詰め土俵を行い堤防を補強する工法である。	土俵詰めを行うとき、各くい、さくを損傷しないように施工することが必要である。	川裏のり面	くい、竹、そだ、鉄線、丸太、土俵	×

「普及状況」の凡例　○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない

5.2　新材料を活用した効率的な水防工法（モバイルレビー）

水防材料は入手が容易であり、かつ大量であることなどの条件を備えている必要があり、従来は‘わら’を利用することが多く、‘むしろ’や‘なわ’などの利用が大部分を占めていた。しかし、現在はわらに代わる材料が以下に示すように次々と開発され、水防活動の合理化が図られるようになった。

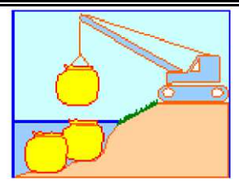
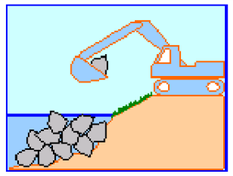
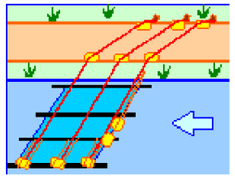
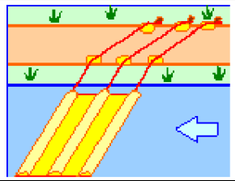
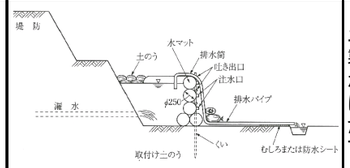
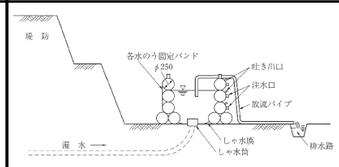
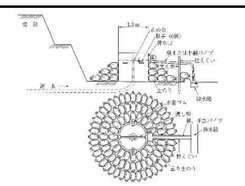
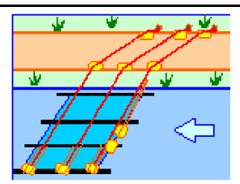
・俵，かます→麻袋，合成繊維製土のう袋
・むしろ→たたみ，ビニールシート，布シート
・なわ→ロープ，鉄線
・木ぐい→既製木ぐい，鉄筋
・竹樋，木樋→ビニールパイプ
・足場板→軽量鋼矢板

表-5.3 には、従来の材料ではなく、近年開発された材料を使った水防工法をまとめた。これらの工法は従来の工法に対して、効率化や大型化が進み水防活動に大きく寄与している。なお、表中の「普及状況」の凡例は以下のとおりである。

○：普及している
△：時々用いられる
×：普及していない

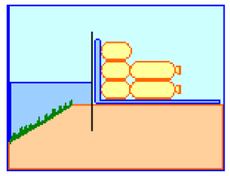
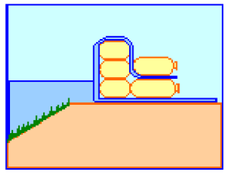
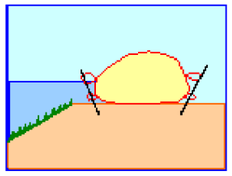
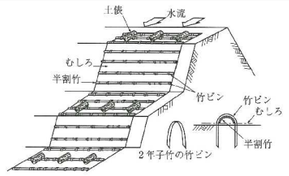
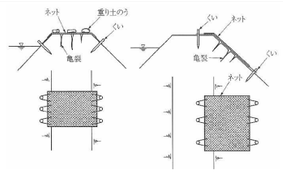
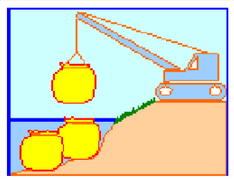
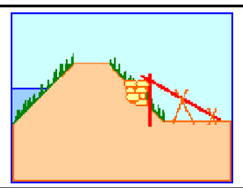
一方、リバーテクノ研究会では、新材料を活用した越水防止対策として「モバイルレビー」（可搬式の特殊堤防）に関する研究開発を進めているところである。表-5.4 に現在提案されているモバイルレビーの例を示す。なお、モバイルレビーの適用性については、検討途上であり、実河川への適用に当たっては、河道特性や堤体および基礎地盤の土質特性等を踏まえて事前に十分な検討を行う必要がある。たとえば、モバイルレビーを設置した場合には、計画高水位よりも水位が高い状態となるため、一時的に浸透に対する安全性が損なわれる可能性がある。特に、堤内地の地盤高が低い箇所では、堤防横断方向の動水勾配が大きくなるため、すべり破壊やパイピングの発生について注意が必要となる。

表-5.3(1) 新材料を活用した効率的な水防工法一覧表（その 1）資料 1)、2)より一部引用

被災要因	水防工法の種類	概要		留意点	利用箇所	使用資材	普及状況
洗掘	大型土のう・大型ブロック工法		土木工事などで使用される大型土のうや大型ブロック（消波ブロック等）を被災箇所に投入し，川表のり面を直接保護する工法である。流速が速い河川にも適用でき，深掘れ防止効果が高い工法である。	クレーン等の重機を使用する必要があり，被災箇所の水際まで重機が近づける進入路を確保しなければならない。また，専用の資機材を使用するため，建設業者の協力を求める必要がある。	流速が早い箇所でも対応可能	大型土のう・大型ブロック，クレーン	○
	捨石（バックホウ）工法		比較的大きな石をバックホウ等の重機で被災箇所に投入し，川表のり面を直接保護する工法である。流速が速い河川にも適用でき，深掘れ防止効果が高い工法である。	バックホウ等の重機を使用する必要があり，被災箇所の水際まで重機が近づける進入路を確保しなければならない。また，砕石等が大量に得られる場所が必要である。	流速が早い箇所でも対応可能	土のう，石・異形コンクリートブロック，バックホウ	○
	シート張り工法		合成繊維シート（ブルーシート等）に骨組み材や重し土のうを取り付けた状態で投入し，川表のり面を直接保護する工法である。汎用材用を用いて人力で作製することができる。シートを被災箇所に密着できないと効果が得られないため流速の速い河川での適用は困難である。	シートがあおられないように重し土のうを確実に取り付ける必要がある。	大型土のう・大型ブロック工法や捨石工法に比べて，流速が早い箇所では対応できない場合がある。	防水シート，鉄パイプ，杭，ロープ，土のう	○
	水防マット工法		シート張り工法と同じ効果を持つ，水防活動専用に開発された工法である。緊急時に迅速に効果を発現することができる。袋体に砕石等を大量に投入できるため，シート張り工法に比べ，あおりに対する抵抗力が高く，比較的流速の速い河川にも適用可能である。	被災が広範囲に及ぶ場合には多量の専用資材（水防マット）を短時間に確保できるかが課題となる。	大型土のう・大型ブロック工法や捨石工法に比べて，流速が早い箇所では対応できない場合がある。	水防マット，鉄パイプ，杭，ロープ，土のう	△
漏水	水マット月の輪工法		土俵や土のうが入手困難な都市地域などに適しており，既製のビニロン帆布製水のうを利用する月の輪工法で，施工が簡単であるため水防工法の近代化の一つである。作業はほとんどが機械施工のため，土のう，土砂などの不足した都市地域などに有効であり，水マットは折りたたむことが可能で，備蓄，運搬が容易である。	漏水が貯留する水深が適正かどうかを判断することの他に，水マットと土のうとの接合部は特に入念に施工し，良質土などで十分踏み固め，漏水のないよう施工しなければならない。	川裏のり尻付近で適用	水マット，土のう，くい，防水シート，パイプ	○
	水マット式釜段工法		土俵や土のうが入手困難な都市地域などに適しており，既製のビニロン帆布製水のうを利用する釜段工法で，施工が容易なため，水防工法の近代化の一つである。作業はほとんどが機械施工のため，水防団員の確保が難しい都市地域などに有効であり，水マットは折りたたむことが可能で，備蓄，運搬が容易である。	従来の土俵，土のうを全く用いない工法であり，水防担当者は十分にその作業になれておかなければならないので，特に日頃の訓練が重要である。	川裏のり尻から堤内地付近で適用	水マット，くい，土砂，鉄パイプ	○
	鉄板式釜段工法		2枚の半円板鉄板を堤防裏のり先平場の漏水噴出箇所を中心に，それを囲むように円形に組み合わせ，漏水をせきあげ，その水を上部の排水口より放出し，漏水の流勢を減じ，堤体土砂などの流出を防止する工法である。	釜段の高さを土のうや水マットのように任意に選ぶことができないので，漏水噴出箇所の水深が適正かどうか判断して円筒形鉄板を選ぶ必要がある。	川裏のり尻から堤内地付近で適用	既製半円形鉄板，水密ゴム，土のう，パイプ，渡し棒，止め金	○
	シート張り工法		合成繊維シート（ブルーシート等）に骨組み材や重し土のうを取り付けた状態で投入し，川表のり面に発生した漏水箇所（入口）を直接遮断する工法である。汎用材用を用いて人力で作製することができる。シートを被災箇所に密着できないと効果が得られないため流速の速い河川での適用は困難である。	シートがあおられないように重し土のうを確実に取り付けることが重要である。	川表のり面付近で適用	防水シート，鉄パイプ，杭，ロープ，土のう	○

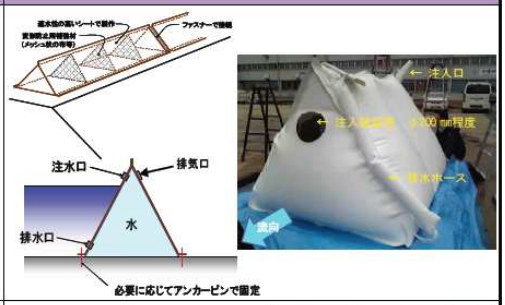
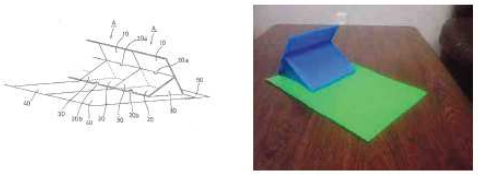
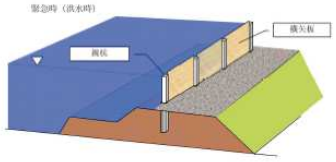
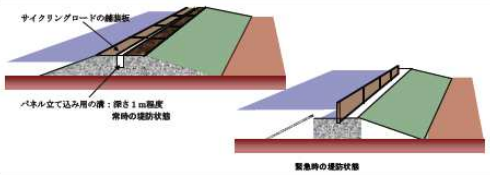
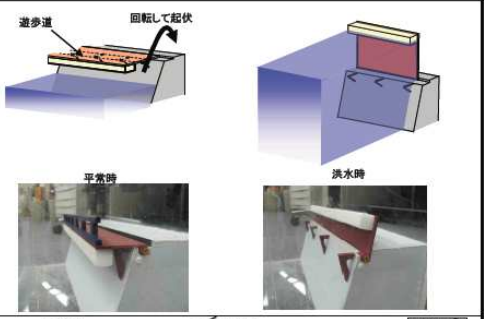
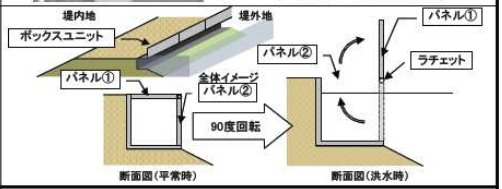
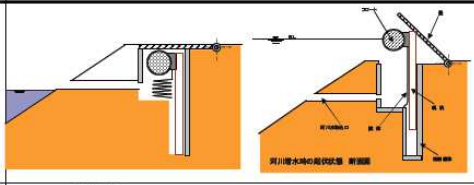
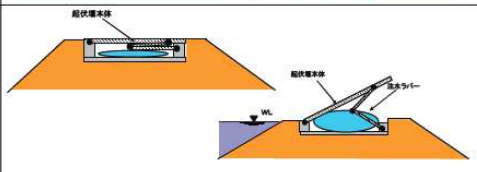
「普及状況」の凡例　○：よく用いられる、△：時々用いられる、×：あまり用いられない

表-5.3(2) 新材料を活用した効率的な水防工法一覧表（その 2）資料 1)、2)より一部引用

被災要因	水防工法の種類	概要		留意点	利用箇所	使用資材	普及状況
越水	改良積土のう工法		積土のう工法の改良型で，中詰め材を省略する替わりにブルーシート等で止水の役割を受け持たせる工法である。中詰め材を省略した分，施工性が向上している。	積み土のうと同様に，土のう重量と杭で水圧に抵抗する構造であるため，舗装された堤防上面等杭が打ち込めない場所では抵抗力が減少する。	堤防天端	土のう，防水シート，鉄筋棒，杭	△
	改良積土のう工法(2)		改良積土のう工法から，さらに杭を省略している。舗装された堤防上面など，くいが打ち込めない場所で有効である。	土のう重量のみで水圧に抵抗する構造であるため，杭を打ち込む必要がない分作業が容易である。止水性は改良積土のう工法と同様にシートで確保する。	堤防天端	土のう，防水シート，鉄筋棒	△
	水のう工法		ビニロン帆布製の水のうにポンプで水を注入し水があふれることを防止する構造である。都市部で多量の土が得られない場合に有効である。	水のうがあふれる箇所が広範囲に及ぶ場合は，水のうの確保が課題となる。また，河川水位が予想以上に上昇した場合に対処することができない。	堤防天端	既製水のう，ポンプ，鉄パイプ	×
	裏シート張り工（補強策）		裏むしろ張り工の主要材料のうち，むしろを防水シートに，半割竹を軽量鉄パイプに，竹ピンを鉄筋ピンに，土俵を土のうに置き換えた工法である。この工法はむしろ張り工に使う材料の入手が困難なときに採用される。	使用材料は緊急水防時に利用できるなら何でも構わないので，常に裏シート張りに使えそうな材料を用意しておく。	堤防天端から川裏のり面	防水シート，軽量鉄パイプ，鉄筋ピン，土のう	×
亀裂	ネット張り亀裂防止工法		青竹の入手困難な地域で，堤防天端及び裏のり面の亀裂拡大を防止するために，亀裂の両側に杭を打ち込み，亀裂箇所をネットで覆う工法である。	亀裂発生の範囲に応じて，ネットを切断して用いる場合には，鉄線との接合部がほぐれないように十分な対策を講じて使用する必要がある。	堤防天端から川裏のり面	くい，ネット，鉄線，土のう	○
崩壊	大型土のう工法		主に居住地側斜面の斜面崩れ箇所に，土木工事（仮締切り工）等で使用される大型土のう（1m×1m×1m）を充填し，決壊を防止する工法である。比較的規模の大きな崩れに対して有効である。なお，堤防高が低い箇所では，川表のり面崩壊への対策としても適用可能である。	被災箇所近くまでクレーンが近づける進入路を確保しなければならない。また，建設業者の協力を求める必要がある。	川裏のり面の崩壊防止として川裏側で実施	大型土のう，クレーン	○
	杭打積土のう工法		居住地側斜面で崩れの恐れがある場合，または比較的小規模な崩れが発生した場合に，対象箇所下面に打ち込んだ杭と崩れ面との間に土のうを充填し，崩れの進行を防止する工法である。	斜面崩れ箇所下部のすべりを杭と押え木でくい止め，上部の崩れを充填した土のうで押さえる構造である。杭を十分打ち込むことと押さえ木で適切に支えることが重要である。	川裏のり面の崩壊防止として川裏側で実施	杭，布木，鉄線，土のう	△

「普及状況」の凡例　○：よく用いられる、△：時々用いられる、×：あまり用いられない

表-5.4 モバイルレビー一覧表

			特徴	模式図
可搬式		三角水のう方式	近代型伝統的水防工法（土のう積み） ⇒水で水を制する ・遮水性の高いシートを用いて製作した三角形の長い袋体を堤体の上に伸ばして設置し、その後袋体の中に水を注入し、越水を防止するための構造体とする。	
		折りたたみ方式	組み立てパネルによる止水壁 ・パネルを組み合わせた壁体を現地に設置して越水を防止するための構造体とする。 ・下部の三角形の空間には袋が付けられており水位の上昇とともにその中に水が入り，ウェイトとしての役割を果たす。	
		親杭横矢板方式（防水板立て込み）	近代型たたみ堤 ・堤防天端に一定間隔で親杭を立て込める孔を予め設置しておき、緊急時は親杭を立て込む。親杭の間は板またはシートにより越水を防止する方法である。	
可動式	手動タイプ	防水板立込み方式	近代型たたみ堤（洪水時） サイクリングロード（常時） ・天端に深さ1～1.5mの溝を設置しておき、緊急時にその中に板を立込み，越水を防止する。 ・平常時には、板を天端に敷設しておく。	
	自立タイプ	壁体起伏方式（自立式）	浮体起動・洪水水圧利用による回転型止水壁（洪水時） 親水遊歩道（常時） ・フロートの浮力で止水壁が初期起動(回転が始動)する。 ・洪水で水位上昇するにつれ，止水壁に作用する水圧が　回転力になる（回転を加速）。 ・常時に遊歩道として親水空間を演出，地震時は緊急避難路として活用。	
		水圧（浮力）回転方式	回転パネル起動による回転型止水壁 ・ボックス形状のユニットのうち、前面及び上面のパネルが水圧または浮力によって一体が回転し、越水防止の機能を果たす。 ・ボックスは、越水の危険がある箇所に必要個数を連続して設置する。	
		壁体起伏方式（堤体内埋込み式）	浮体起動による上昇止水壁 ・平常時には堤体の天端内に浮力体および膜体を格納しておき，増水時には浮力体に浮力が作用することを利用して膜体を持ち上げ，仮堤防とし越水を防止する構造である。	
		壁体起伏方式（ラバー起伏堰方式）	注水チューブ起動による起立止水壁 ・平常時には堤体の天端内にラバーチューブを格納しておき、増水時にはチューブ内にコンプレッサーによって空気袋注水してチューブを膨張させ、堰本体を持ち上げることにより仮堤防とし、越水を防止する構造である。	

5.3　従来の堤防強化工法

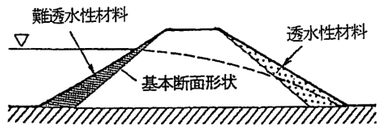
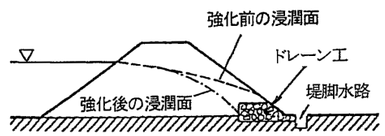
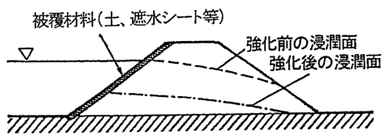
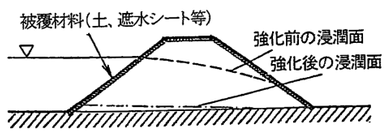
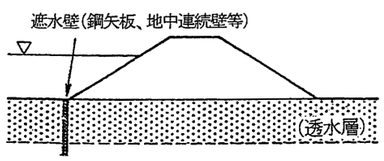
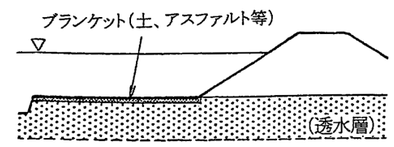
河川堤防の浸透に対する従来の強化工法は表-5.5 のように整理することができる。すなわち、浸透に対する強化工法は大きく、堤体に対するものと基礎地盤に対するものとに分けられるが、前者には、堤体の動水勾配を低減するとともに、すべり破壊に対する安全性を増すための断面拡大工法、降雨や河川水の堤体への浸透を防止、抑制するための被覆工法（表のり被覆工法と全面被覆工法）、および堤体への浸透水を速やかに排水することを目的としたドレーン工法がある。ドレーン工法は堤体の裏のり部のせん断強さを増すことにもなる。

一方、後者は主として河川水の基礎地盤への浸透を抑制あるいは防止することに期待したもので、川表のり尻に鋼矢板等を打設する川表遮水工法、高水敷等の表面の透水性の低下を図るブランケット工法のほか、裏のり尻近傍の浸透圧を低下させるウェル工法等がある。また、堤体の強化が主目的のドレーン工法も、地盤条件や設置高によっては基礎地盤対策としても有効な場合がある。

以上のように、浸透に対する強化工法は対象や原理とするところが異なるので、強化工法の選定にあたっては、浸透に対する問題点を明確にした上で、基礎地盤や堤体の土質条件や外力条件、あるいは被災の履歴等を十分に勘案し、適用性を総合的に検討することが重要である。また、浸透に対する堤防強化工法には、単独では効果を十分に発揮することが難しい場合もあるので、工法の選定にあたってはこの点にも配慮することが重要である。堤防が浸透に対して極端に脆弱で強化に多大の費用を要するような場合には、全面的な改築も視野に入れた堤防強化も考えられる。

表 5.3.-1 からもわかるように、強化工法は高いもので、350 万～400 万円／10m で、安価なドレーン工法でも 70 万円／10m程度の工事費を必要としており、より安価で軽微な対策工法が望まれる。

表-5.5 従来の堤防強化工法の一覧表[資料 3)]に一部加筆・修正

	代表的な工法	強化の原理・効果	簡易性・適用性・経済性	概算費用（10m当たり）	問題点（改善点）	そ の 他
堤体を対象とした強化工法	**断面拡大工法** 	・堤防断面を拡大することにより浸透路長の延長を図り、均動水勾配を減じて堤体の安全性を増加させる。 ・のり勾配を緩くすることによりすべり破壊に対する安全性を増加させる。 ・川裏のり尻近傍の基礎地盤のパイピングを防止する押え盛土としての機能も兼ねる。	・川表側、川裏側ともに用地を確保する必要があり、また、大規模な工事を伴うため簡易性には欠ける。 ・他の強化工法と併用しやすい。 ・有効上載圧が増加するためある程度の液状化防止効果が期待でき、また緩傾斜化により地震時の安定性は向上する。	360 万	・浸透路長の延長、のり勾配の緩傾斜化や押さえ盛土効果等確実に機能は向上する。 ・築堤材料の透水性の違いにより効果が異なる。	・軟弱地盤での対策費用の付加
	ドレーン工法 	・堤体の川裏のり尻を透水性の大きい材料で置き換え、堤体に浸透した水を速やかに排水する。 ・堤体内浸潤面の上昇を抑制し、堤体のせん断抵抗力の低下を抑制する。 ・のり尻部をせん断強度の大きいドレーン材料で置き換えるため安定性が増加する。	・堤脚水路（用地）の確保や堤防掘削の工事を伴うため、簡易性にはやや欠ける。 ・緑化のために覆土する場合には、ドレーン内への土砂の流入防止に注意する。 ・間隙水圧を消散するため液状化の防止にもある程度有効である。	70 万	・ドレーン材の目詰まり等により機能が低下する可能性がある。 ・のり尻部はせん断強度が向上するため、安定性は向上する。	・ドレーン材料に新材料摘要
	表のり面被覆工法 	・表のり面を難透水性材料（土質材料あるいは人口材料）で被覆することにより、高水位時の河川水の表のりからの浸透を抑制する。	・用地確保の必要がなく、施工は比較的簡易に、安価に実施できる。 ・遮水シートを用いた場合は地震後に変形や損傷の有無を確認する必要がある。	150 万	・土を用いる場合には乾燥によるクラックから浸透水が浸入する可能性がある。 ・遮水シートを用いる場合にはシートの継ぎ目、端部から浸透水が浸入する可能性がある。	・ブロック張り護岸等の浸食対策工の遮水効果検討
	全面被覆工法 	・堤体全体を難透水性材料（土質材料あるいは人口材料）で被覆することにより、降雨および高水位時の河川水の堤体への浸透を抑制する。	・用地確保の必要がないが、天端の利用状況により施工が難しい場合がある。 ・天端や小段を被覆するだけでも降雨浸透を抑制する効果が期待できる。 ・遮水シートを用いた場合は地震後に変形や損傷の有無を確認する必要がある。	380 万	・被覆材料に土を用いる場合には、乾燥によるクラックから浸透水が浸入する可能性がある。 ・被覆材料に遮水シートを用いる場合には、シートの継ぎ目、端部から浸透水が浸入する可能性がある。	・舗装の耐降雨浸透効果の検討
基礎地盤を対象とした強化工法	**川表遮水工法** 	・川表のり尻に止水矢板等により遮水壁を設置することにより、基礎地盤への浸透水量を低減する。	・用地確保の必要がなく、施工は比較的簡易に、安価に実施できる。 ・地下水流を遮断するので、周辺への影響を検討する必要がある。 ・側方を拘束するため、川表側の液状化による変形に対してはある程度の効果が期待できる。	390 万	・難透水層まで貫入した場合には効果が得られる。 ・綱矢板等を玉石混じり礫地盤に打設する場合には、貫入できない場合もあり、確実性に欠ける。	・三次元的な矢板効果の検証
	ブランケット工法 	・高水敷を難透水性材料（主として土質材料）で被覆することにより、浸透路長を延伸させ、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。	・川表側に用地の確保が必要であり、すでに利用が進んでいる場合には施工が難しい。 ・耐震性の向上にはつながらない。ただし、高水敷が新設される場合には川表側の上載圧が増加し、液状化に対するある程度の効果が期待できる。	75 万	・ブランケット内部や既存堤体とブランケットの接合部にクラックが生じ、浸透水が浸入する可能性がある。	耐久性等施工実績の収集と分析

5.4　効率的な対策工法

簡易で安価な河川堤防の浸透に対する対策工法として、補強工法を提案したものが表-5.5である。これらの補強工法は、河川堤防における実績等はほとんどないが、今後は幅広く、利活用されることが期待される工法である。

以下には、各工法について概説する。なお、リリーフウェル工法の具体的な設計計算例については、参考資料を参照されたい。

(1) リリーフウェル工法

①工法の概要

リリーフウェル工法の基本的な考え方は以下のとおりであり、概要を表-5.6 に示す。

・堤体内に浸透した水（降雨および河川水）を速やかに排水する。

・堤体および基礎地盤の動水勾配を小さくする（特に裏のり尻近傍）。

・基礎地盤表層に被覆土がある場合、被覆土底面の水圧を低減させる（特に裏のり尻近傍）。

表-5.6 リリーフウェル工法の概要

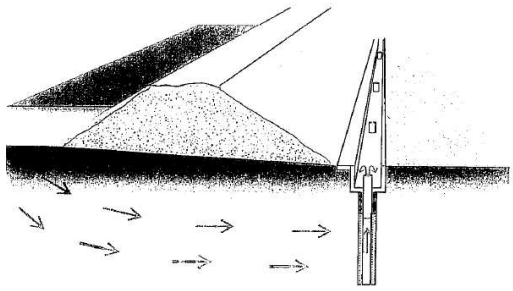
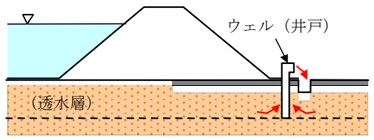
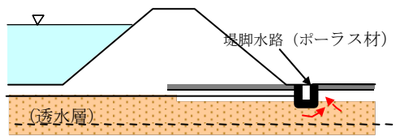
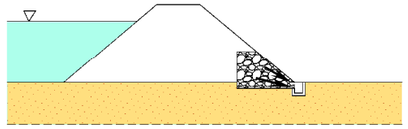
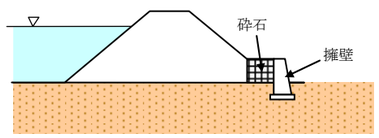
リリーフウェル工法	
概略図	
強化の原理・効果	・川裏のり尻部に一定間隔の浅い井戸を設置し、河川水位の上昇とともに高まる堤内地側の水圧を開放することにより、基盤漏水およびパイピングを防止する。
計画・設計上の留意点	・井戸および堤脚水路を設置する必要があり、そのための用地が必要である。 ・縦断方向に適切な間隔で設置する必要がある。 ・軽微な補強工法として、他工法との併用による複合的対策工として検討する。
施工上の留意点	・井戸から地下水の自噴に伴い周辺の細粒土砂が吸い出されないように、有孔管周辺のフィルター構造や材料選定、地表付近の遮水処理等に十分に留意する。
維持管理上の留意点	・土砂の流出やフィルター材の馬頭まり等による機能低下が生じないように、適切な維持管理が必要である。
その他	・周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。 ・他の強化工法と併用しやすい。 ・平常時の周辺地下水に与える影響が少なく、経済的にも優れている。

表-5.5 効率的な対策工法一覧表

	代表的な工法	補強の原理・効果	簡易性・適用性・経済性	問題点（改善点）	そ の 他
基礎地盤を対象とした強化工法	**リリーフウェル工法** 	・基礎地盤からの浸透水を裏のり尻に設置した減圧井戸等で排水することにより、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。	・井戸及び堤脚水路を設置するために用地を確保する必要があり、また排水路の設置等により工事が大規模になる。 ・状況に応じて井戸の本数や長さを増減させたりできる。 ・周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。	・井戸は目詰まりの生じない構造とする。 ・井戸からの排水により浸透圧を低減させるため効果は確実に期待できる。 ・周辺の排水路の形状やポンプの稼働により排水量が制御される。	・海外での実績の収集と分析
	堤脚水路減圧工法（ポーラスタイプ） 	・裏のり尻に設置した堤脚水路の底版をポーラス材料にして、裏のり尻近傍および堤内地盤内の浸透圧を低減する。	・堤脚水路を設置するために用地を確保する必要があり、また排水路の設置等により工事が大規模になる。 ・状況に応じて底版の透水性を変化させることができる。 ・周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。	・底版の目詰まりにより機能が低下する場合がある。	・机上における効果確認 ・施工実績の収集と分析
	堤脚水路減圧工法（スリットタイプ） 	・裏のり尻に設置した堤脚水路の土留め部のスリットにより、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。	・ドレーン工法と併用すれば、水処理を適切に行うことができる。 ・堤脚水路を設置するために用地を確保する必要があり、また排水路の設置等により工事が大規模になる。 ・周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。	・スリットの幅によっては、水路内に土砂が堆積することがあり、メンテナンス方法を検討しておくことが重要である。	・机上における効果確認 ・施工実績の収集と分析
堤体を対	**のり尻補強工法** 	・川裏のり尻に小型擁壁を設置し、その背面に砕石を設置する方法であり、砕石によるのり尻部の置換え効果と押さえ効果により、すべり破壊に対する安全性を増加させる。 ・擁壁からの排水を適切に施すことによって、排水による浸潤面の低下も多少期待できる。	・小～中規模の堤防において、すべり安全率が基準値をわずかに下回るような場合の比較的簡易な強化対策として有効と考えられる。 ・通常の擁壁と同様に、堤脚水路等を設置する必要性はない。	・擁壁の排水性を確保するために、水抜きパイプを適切に設置する必要がある。 ・砕石上面の処理方法については、維持管理や利用の面からの検討が必要である。	・施工実績の収集と分析

②設計手法

設計手法の基本的な考え方は、「河川堤防の構造検討の手引き」（平成 14 年 7 月，財団法人国土技術研究センター）[資料 3)]に準拠する。

本工法は、堤体内および基礎地盤に浸透した水を堤防横断方向および縦断方向に排水する三次元的な対策効果が期待できる。この対策効果を評価する方法としては、三次元浸透流解析による手法が望ましいが、簡易的な方法として三次元的な対策効果を擬似的に評価した手法を取り入れ、堤防縦断方向の設置間隔を決定する設計方法とした。

リリーフウェル工法の設計では、以下に示す諸条件を設定する必要がある。なお、図-5.1 にリリーフウェル工法の設計の流れを示す。

・縦断方向の設置ピッチ
・設置深度
・横断設置位置
・リリーフウェルの構造

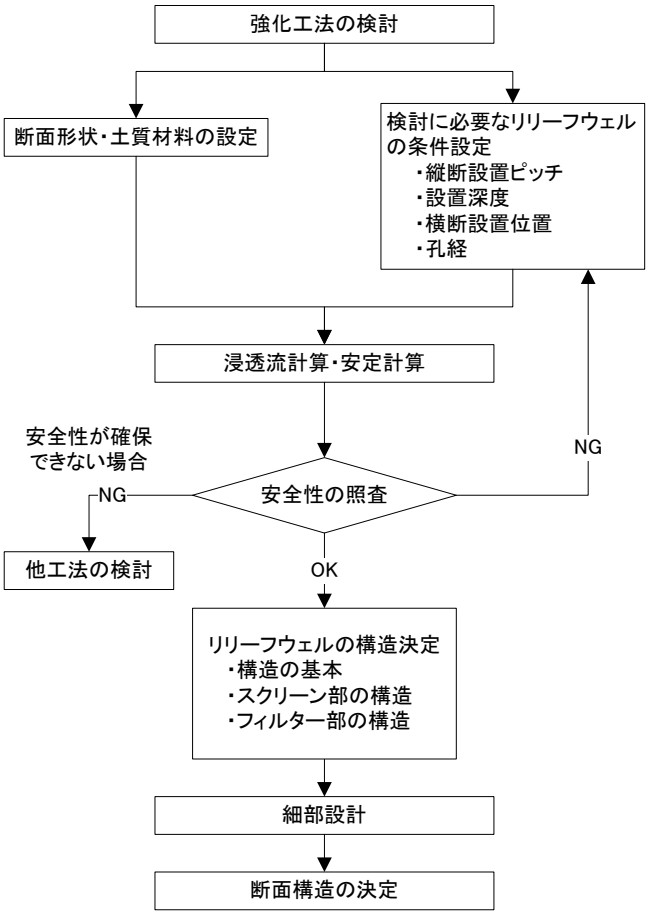


図-5.1 リリーフウェル工法の設計の流れ

a）縦断設置ピッチ

リリーフウェルの設置ピッチは、リリーフウェル中心間の距離とする。

b) 設置深さ

施工実施例[資料 4)]では、設置深さが透水層の 25%以下より短くなると、浸透量は急激に減じウェル相互の中間点の水頭を上昇させ効果が減少するといわれている。これより、最低設置深度を透水層の 25%とする（図-5.2 参照)。

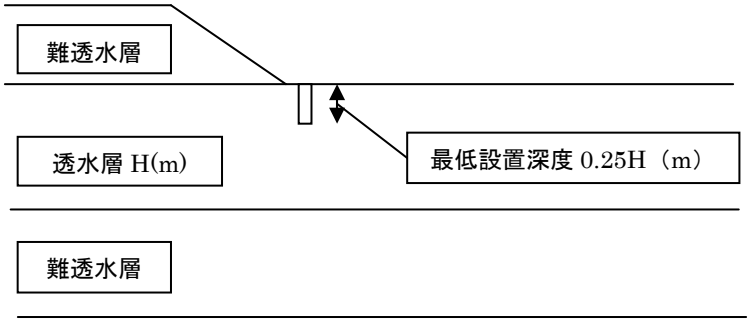


図-5.2 最低設置深度

c) 横断設置位置

横断設置位置は堤内側のり尻付近とし、堤脚水路等の排水経路を考慮して決定する。

d) リリーフウェルの構造

ボーリングにより削孔し、孔内に鋼管製のスクリーンとフィルターを設置するのが一般的な構造であるが、より簡易で低コストのスクリーンが開発されている。このスクリーンは高密度ポリエチレンからなり、孔径は 100 ㎜程度で、写真-5.1 に示すように遮水部と透水部の 2 重構造からなる。孔内に挿入した後はスクリーンの周囲にフィルター材として硅砂等を投入する。掘削は通常のボーリングマシンで可能であり、大規模な仮設や広い用地を必要としないため、ある程度の用地（3m×5m 程度）があれば施工が可能である。

写真-5.1 ポリエチレン製スクリーンの外観

e) 解析手法

対象となる断面形状、土質材料およびリリーフウェルの各種条件設定を行い、浸透流解析および安定計算を実施する。浸透流解析では設定した縦断設置ピッチからリリーフウェルの三次元的な効果を考慮した透水係数（以下、等価透水係数と呼ぶ）を求め、二次元の浸透流解析により所要の安全率を確保できるか安全性の照査を行う。

f) 解析例

・地盤定数と地盤モデル（二次元）

区分	土質記号	透水係数 (m/sec)	貯留係数 (1/m)	浸透特性 土質分類
堤体	Bs	1.00E-06	1.00E-04	SF
基礎地盤	粘性土層	1.00E-07	1.00E-03	C
	砂層	1.00E-05	1.00E-04	S
	難透水層	1.00E-08	1.00E-03	C
リリーフウェル（三次元）		1.00E-03	1.00E-04	S

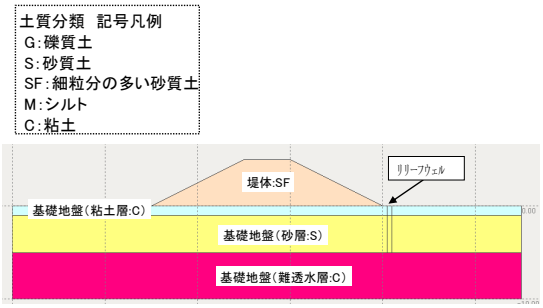


図-5.3　地盤モデル図（二次元）

・地盤モデル（三次元）

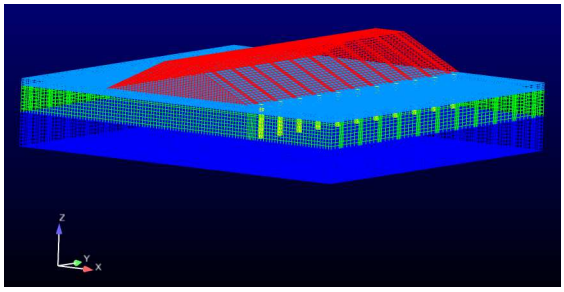


図-5.4　地盤モデル図（三次元）

・検討箇所（図-5.5 に示す D 点）

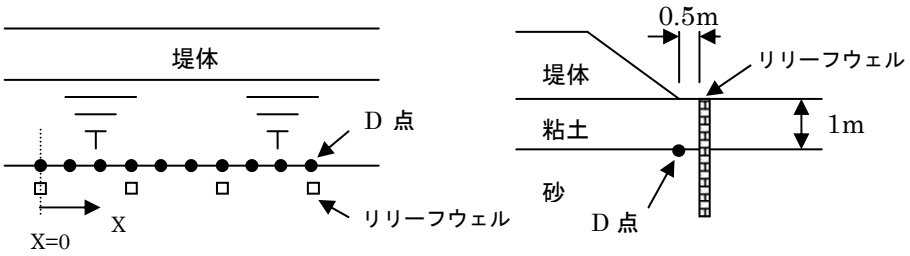


図-5.5　検討箇所位置（D 点）

・リリーフウェルの設置条件

設置間隔は 2.5m、5.0m、10.0m とし、リリーフウェルの形状は□0.1m×0.1m

・水位、外力条件については参考資料に示す。

・圧力水頭の変化

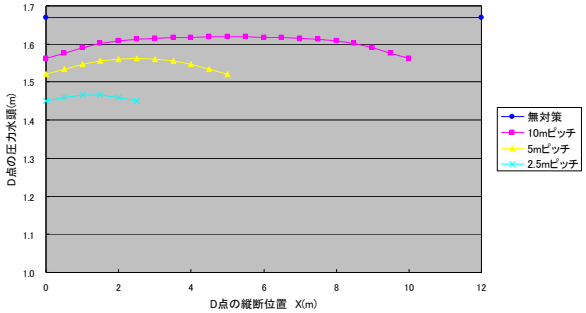


図-5.6　D 点の圧力水頭
（三次元，T=220hours）

・圧力低減効果

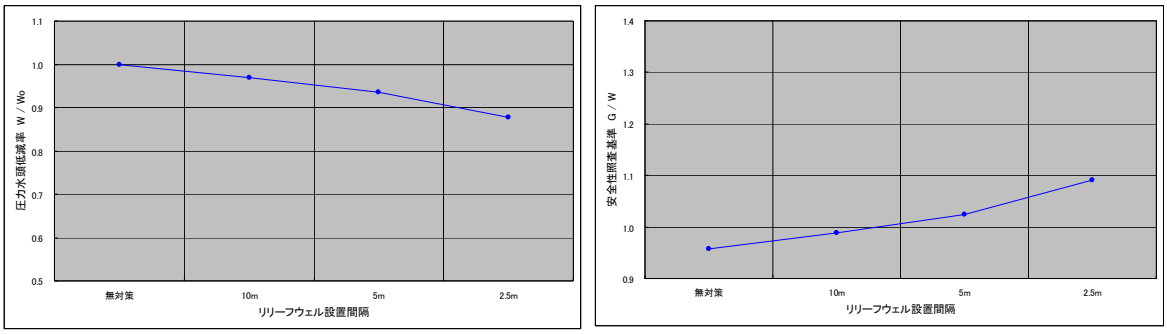
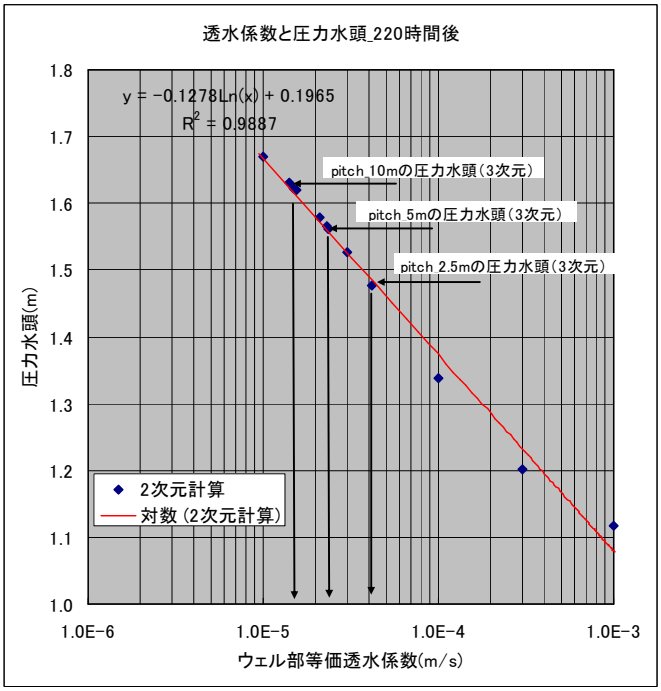


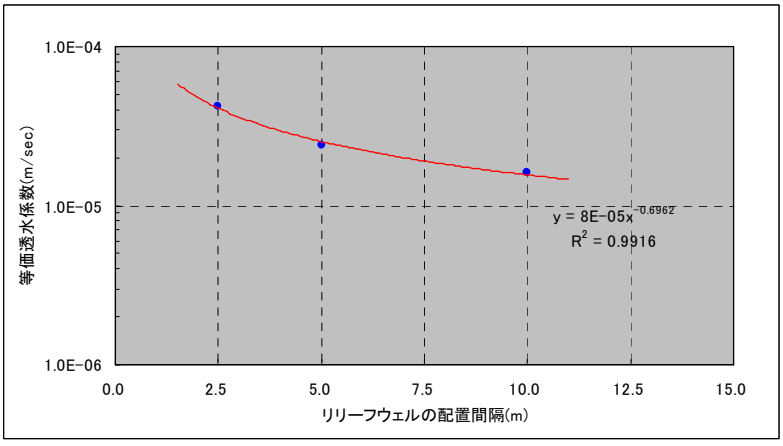
図-5.7 対策工の効果

・三次元解析結果との同定条件



ウェル部透水係数 (m/s)	圧力水頭 (m)
1.00E-05	1.669
1.40E-05	1.631
1.50E-05	1.623
1.55E-05	1.619
2.10E-05	1.578
2.30E-05	1.566
2.35E-05	1.562
3.00E-05	1.526
4.15E-05	1.476
1.00E-04	1.339
3.00E-04	1.202
1.00E-03	1.118

図-5.8 リリーフウェルの透水係数と圧力水頭の関係



被覆土あり	
縦断方向 配置間隔(m)	等価透水係数 k1(m/sec)
2.5	4.2E-05
5.0	2.4E-05
10.0	1.6E-05

図-5.9 リリーフウェルの間隔と等価透水係数の関係

(2) 堤脚水路減圧工法(ポーラスタイプ)

裏のり尻に設置した堤脚水路の土留め部や底盤をポーラス材料にして、裏のり尻近傍および堤内地盤内の浸透圧を低減する工法である（図-5.10 参照)。

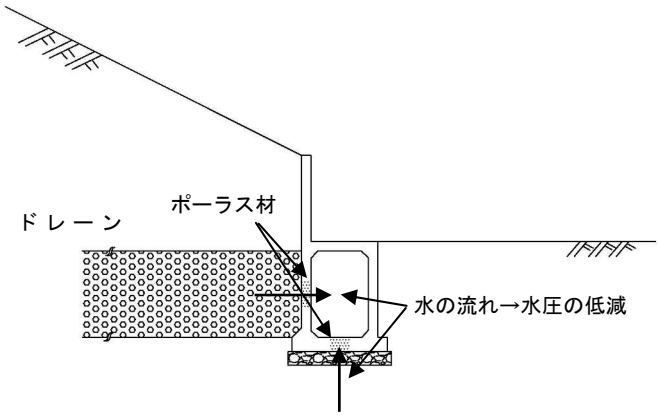


図-5.10 堤脚水路減圧工法(ポーラスタイプ)

(3) 堤脚水路減圧工法(スリットタイプ)

裏のり尻に設置した堤脚水路の土留め部のスリットにより、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する工法である（図-5.11 参照)。ドレーン工法と併用すれば、水処理を最適に行うことができる。

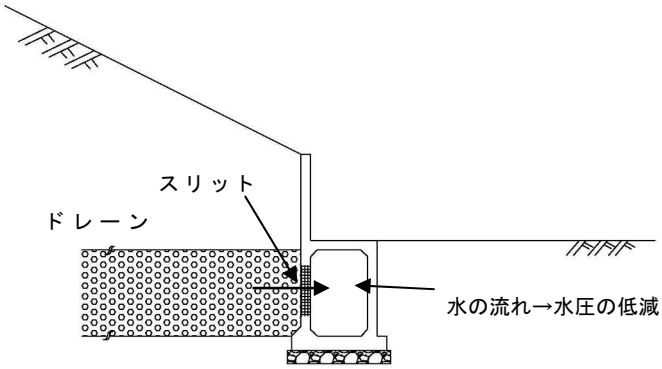


図-5.11 堤脚水路減圧工法(スリットタイプ)

(4) のり尻補強工法

裏のり尻に小型擁壁を設置し、その背面に砕石を設置する方法であり、砕石によるのり尻部の置換え効果と押さえ効果により、すべり破壊に対する安全性を増加させる。

擁壁からの排水を適切に施すことによって、排水による浸潤面の低下も多少期待できる。通常の擁壁工と同様に、堤脚水路等を設置する必要性はない。

5.5　対策工法選定における留意点

(1) リリーフウェル工法

①本工法は、井戸からの排水により浸透圧を低減するため、パイピングよりも表層部が粘土で覆われる盤ぶくれへの適用が有効である。

②ウェルからの排水を伴うため、用地も含め排水設備（堤脚水路とその流末施設）を検討する必要がある。

③ウェルは目詰まりが生じないような構造となっているが、定期的に井戸内洗浄を行い、目詰まりを防止する必要がある。

④ウェルの設置には、通常のボーリングマシンで施工が可能であるが、ウェルの効果を向上させるために、ウェルの径を大きくする場合には大型のボーリングマシンを必要とし、その場合には、用地を確保する必要がある。

⑥設計手法として、便宜的に等価透水係数をリリーフウェル部分に与えて二次元の浸透流解析を行うため、堤体や基礎地盤の地盤状況が複雑な場合には、三次元の浸透流解析を実施し、その効果を確認することが望ましい。

(2) 堤脚水路減圧工法（ポーラスタイプ、スリットタイプ）

①本工法は、堤体内部の浸透圧を低減するため、パイピングへの適用が有効である。

②ポーラスタイプを盤ぶくれにて適用する場合には、表層の粘土層が薄い場合に限られる。

③堤脚水路を設置するため、用地を必要とする。

④底版やスリットの目詰まりを確認する必要がある。特に、スリットタイプは土砂が入りやすいため、定期的に排土を必要とする。

(3) のり尻補強工法

①本工法は、小～中規模の堤防において、すべり安全率が基準値をわずかに下回るような場合の比較的簡易な強化対策として有効と考えられる。

②擁壁の排水性を確保するために、水抜きパイプを適切に設置する必要がある。

③砕石上面の処理方法については、維持管理や利用の面からの検討が必要である。

参考文献

1)時代に即した水防工法　工法選定と作製の手引き：平成 18 年度，国土交通省中国地方整備局

2)実務者のための水防ハンドブック：平成 20 年 10 月，国土交通省国土技術政策総合研究所

3)河川堤防の構造検の手引き：H14.7，財団法人国土技術究センター

4)河川堤防の地盤漏水とその対策について：昭和 41 年，土と基礎 14-7、北野・杉本・池上ら

参考資料

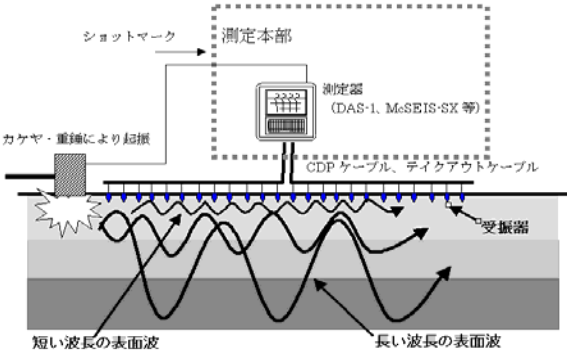
【新技術リーフレット】

1. **表面波探査とオームマッパーによる効率的地盤調査技術**（応用地質株式会社）
2. **打ち込み式水位観測井**（応用地質株式会社）
3. **堤体内水位状態検知システム**（川崎地質株式会社）
4. **ＥＭによる堤防探査**（川崎地質株式会社）
5. **地中レーダーによる護岸背面空洞調査**（川崎地質株式会社）
6. **樋門、樋管周辺の空洞探査**（川崎地質株式会社）
7. **河川堤防情報管理システム**（基礎地盤コンサルタンツ株式会社）
8. **堤防の非破壊探査技術／ＥＭ探査**（株式会社ダイヤコンサルタント）
9. **堤防の非破壊健全度技術**（株式会社ダイヤコンサルタント）
10. **計測データの変化を色で表示／光るシリーズ**（株式会社ダイヤコンサルタント）
11. **リリーフウェルの設計／三次元浸透流解析**（株式会社ダイヤコンサルタント）
12. **地盤情報管理システム／G-Cube**（中央開発株式会社）
13. **高密度表面波探査・高密度電気探査**（中央開発株式会社）
14. **高輝度蓄光ウォーターゲージ**（中央開発株式会社）
15. **双方向遠隔自動監視システム／観測王**（中央開発株式会社）

表面波探査とオームマッパーによる効率的地盤調査技術

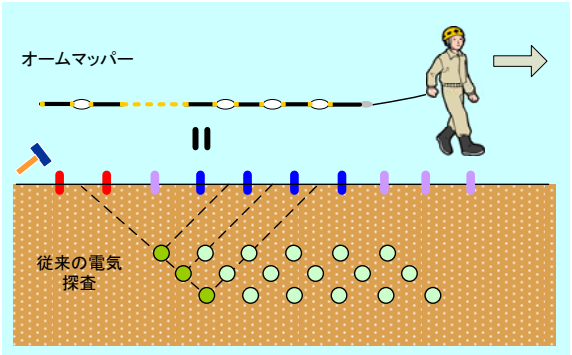
表面波探査

地盤の地表付近を伝わる表面波を多チャンネルで測定・解析することにより、深さ 20m程度までの地盤のＳ波速度分布を求める技術。ケーブルと地震計が一体となったランドストリーマーを用いることにより、さらに効率的な測定が可能となります。



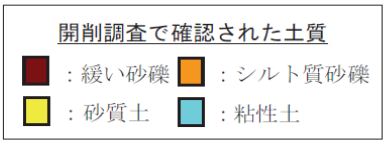
オームマッパー（牽引式電気探査）

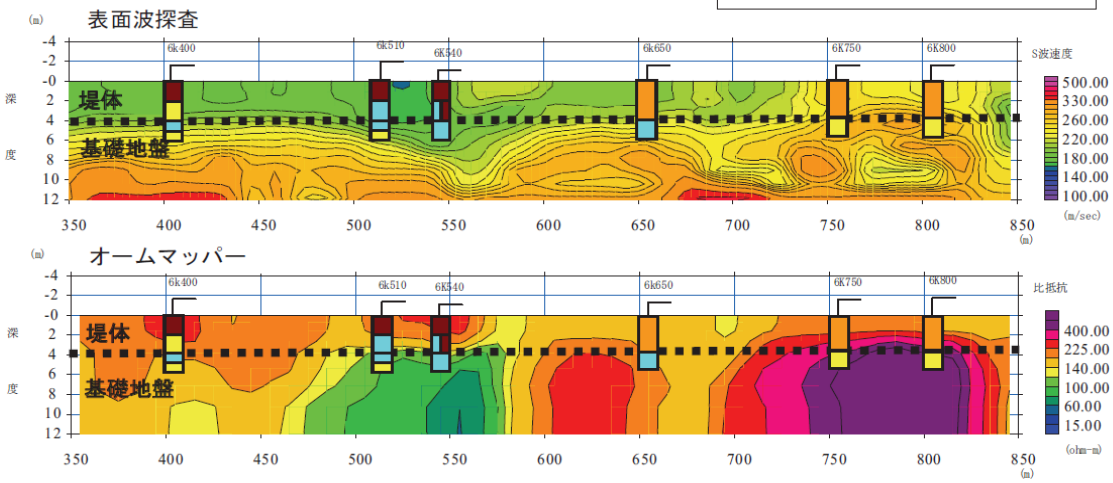
ケーブル式キャパシタ電極を用いる電気探査法。ケーブルを牽引しながら連続的に測定できることから、従来の電気探査法に比べて作業効率は格段に優れています。



堤防縦断方向に表面波探査あるいはオームマッパーを実施すると、地盤のＳ波速度分布や比抵抗分布が得られ、これらをもとに概略の土質構造を迅速に把握することができます。下図は、同一の測線で表面波探査とオームマッパーを実施して、密度を考慮した土質区分を行った例です。

（参考）標準的な費用
表面波探査　70 万円／km（探査延長 1km／日の場合）
オームマッパー　30 万円／km（探査延長 4km／日の場合）



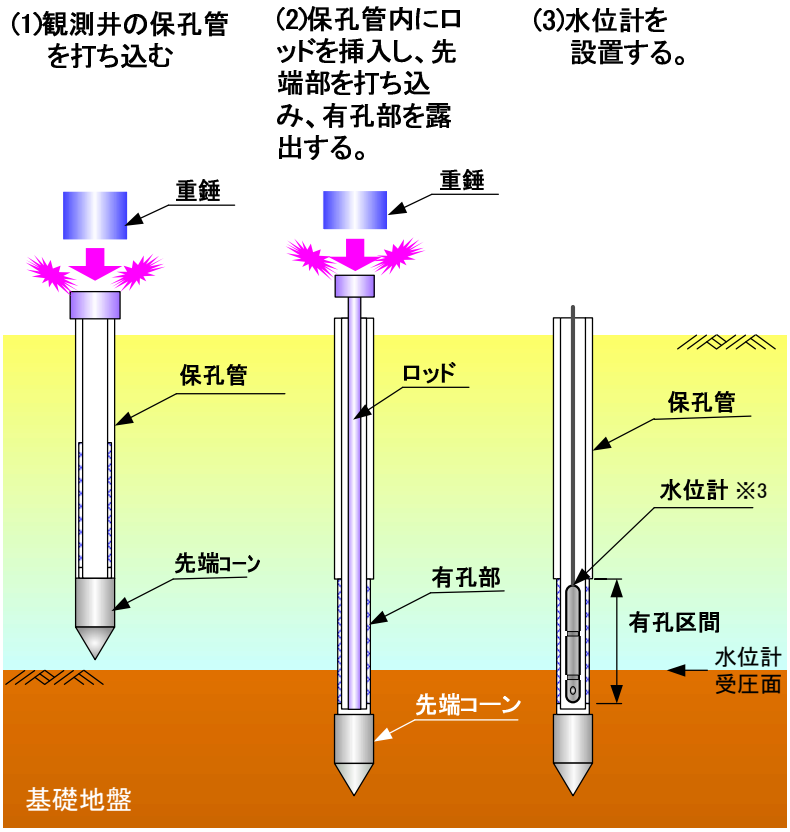


問合せ先：応用地質株式会社　エンジニアリング本部　048(652)0651

GEOLOGICAL, GEOPHYSICAL, GEOTECHNICAL SERVICES AND INSTRUMENTS

OYO

打ち込み式水位観測井



打ち込み式水位観測井の設置手順

※3:水位計の機種により保孔管内の位置が変わります。詳しくは裏面をご参照ください。

＜概　要＞

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ます。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ます。

目詰まりを防止するために、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ます。また、有孔部には樹脂製の親水性フィルタを装着しています。

有孔部の内径をΦ20mm 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ます。

※1　礫質土では、打ち込みによる設置のため適用できません。

※2　打ち込みの際は、あらかじめ測定対象層の深度がわかっていることが必要です。

NETIS 登録番号：TH-110007-A

＜特　長＞

- ●ラムサウンドを用いて迅速かつ低コストで水位観測孔を設置することができます。
- ●先端にコーンを付けた外径φ40mmのステンレス鋼管または鋼管を打ち込んで設置するため、設置後の洗浄は不要です。
- ●有孔部には樹脂製の親水性フィルタを装着しています。
- ●水位の計測には、専用の細径水位計を用います。
- ●インターネットデータ配信が可能なi-SENSORデータ通信ユニットと組み合わせることにより、水位の遠隔観測システムを容易に構築することが可能です。
- ●フィルタの目が細かいため、地下水の水質モニタリング孔としての利用にも適しています。
- ●設置時に、地盤の硬軟に関する情報も得られます。
- ●撤去が必要な場合には、引き抜くことも可能です。

※本装置は、(独)土木研究所，(財)国土技術研究センターとの共同研究「堤防管理技術高度化のための堤体内水位観測方法の開発(平成 17～19 年度)」において開発したもので、共同特許を申請中です。

＜仕　様＞

■構成

（1）先端コーンおよび有孔部付き保孔管

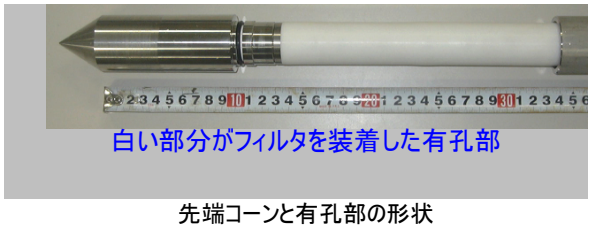
（2）貫入ロッド

■先端コーンおよび有孔部付き保孔管

寸法	長さ　1．2m　（有孔部収納時）	
保孔管	外形Φ40mm	内径Φ26mm
有孔部	外径Φ29mm	内径Φ20mm
材質	本体	ステンレス
	有孔部（フィルタ）	プラスチック

■貫入ロッド

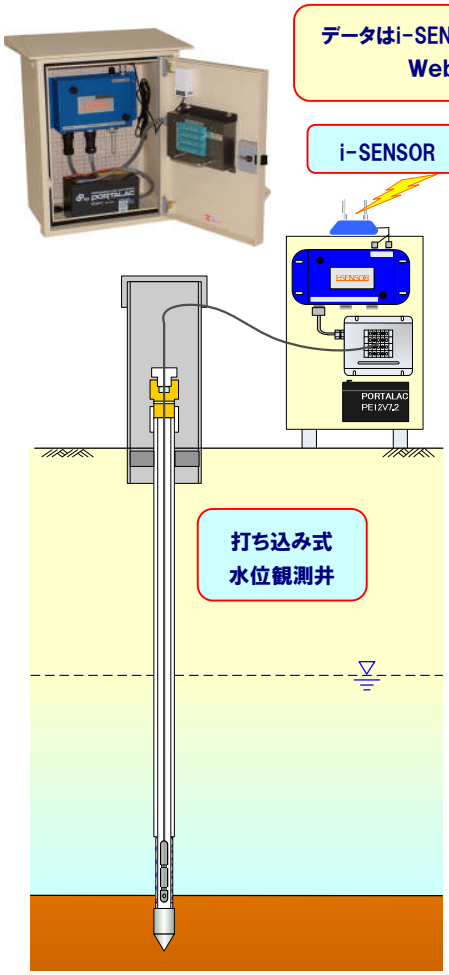
寸法	長さ　1m	
	外径Φ39mm	内径Φ26mm
材質	鉄	



先端コーンと有孔部の形状

オートマチック
ラムサウンディングによる設置状況

＜打ち込み式水位観測井の適用事例＞

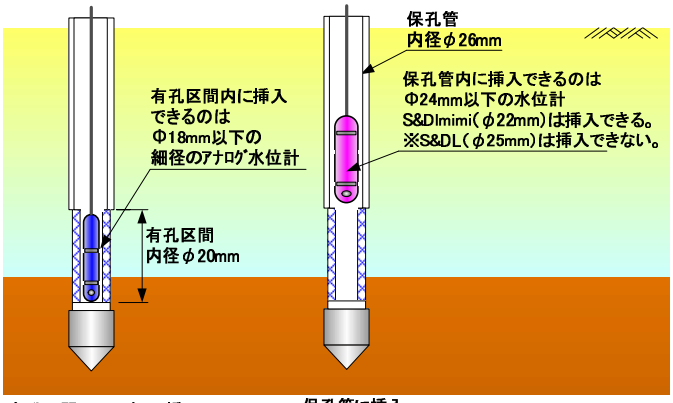


■ 保孔管内に挿入可能な水位計の一例

圧力式アナログ水位計

アナログ水位計の
一例
GE製　PTX1730

S＆DLmini



（参考）標準的な設置費用　243,000 円（堤防のり面で深度 10m の観測井を1ヶ所設置する場合）

応用地質株式会社

● 製品に関するお問い合わせは、機器事業本部・営業企画部にて承ります。
● 仕様は製品改良のため、予告なしに変更することがありますのでご了承ください。

JQA-2772
機器事業本部

RP-2036(08.06) Printed in Japan

提 体 内 水 位 状 態 検 知 シ ス テ ム

『堤体内水位状態検知システム』は，河川堤防モニタリング技術ガイドライン(案)に記される「計画高水位以下の水位時における河川堤防の浸透作用及び侵食作用に対する安全性・信頼性を維持し高めていくために必要となるモニタリング」の一手法として，要注意箇所の監視に役立てることを目的として提案するものです。

川 崎 地 質 株 式 会 社
曙ブレーキ工業株式会社
（新規事業部）

堤体内水位状態の検知をリアルタイムで広範囲な縦断方向で行うことができ、堤防の安定性を安価で簡易に監視することが可能な『**堤体内水位状態検知システム**』を提案いたします。

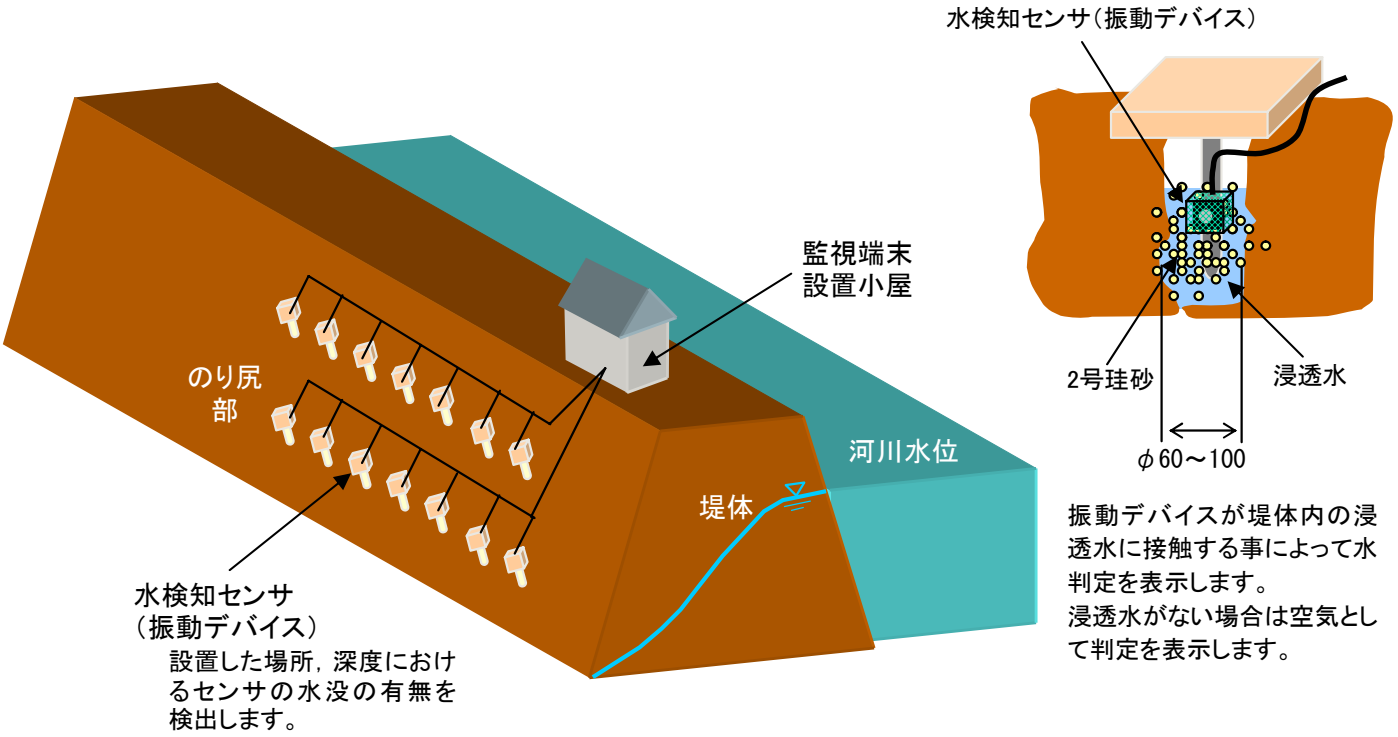


図-1 検知システム設置模式図

【水位検知概念図】

河川の水位上昇に伴う堤体内の水位が、センサ位置（深度・場所）に到達したかを検知します。堤防縦断方向に設置したセンサにより，図-２に示すように，センサが水没した地点を遠隔地より監視することが可能となります。

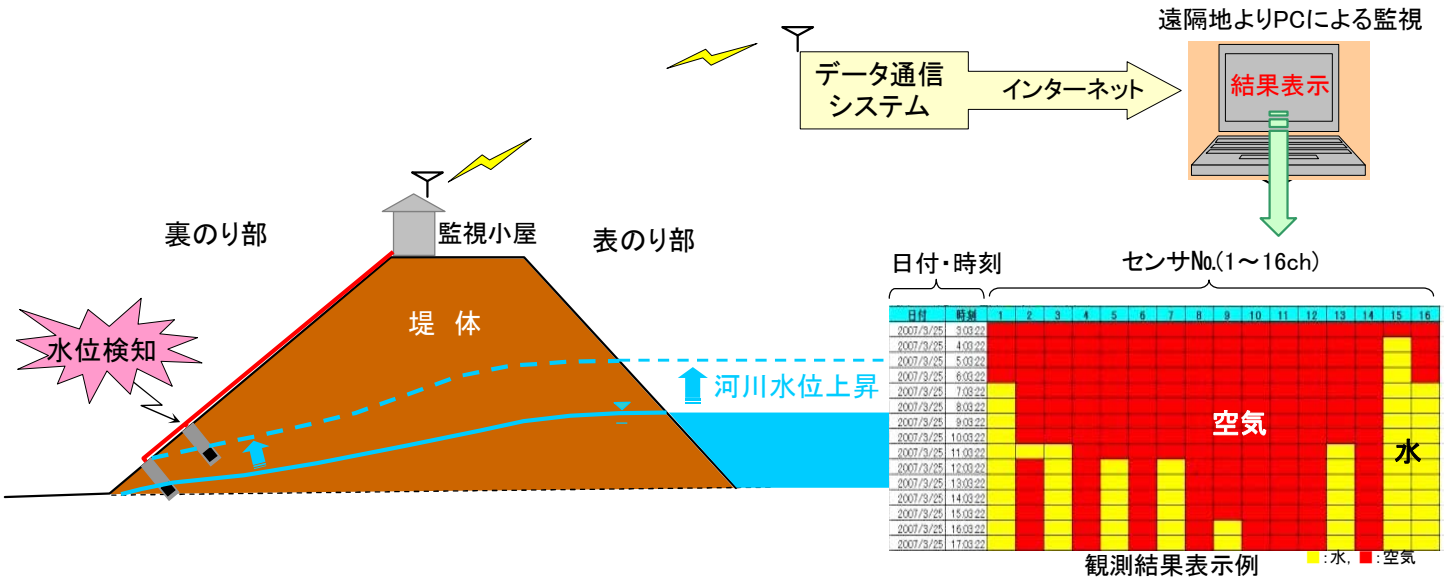


図-2　水位検知監視概念図

【計測原理】

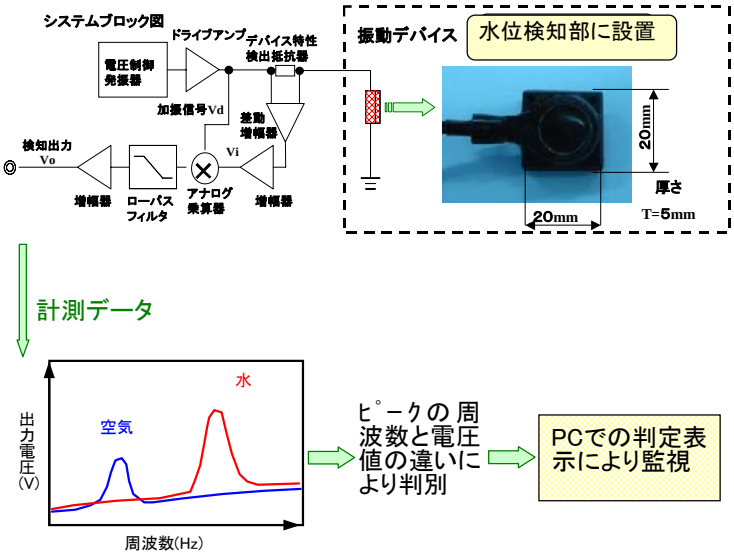


表-1 センサ仕様一覧表

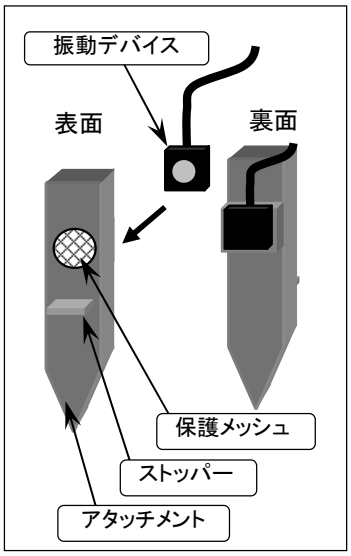
項目	仕様
検知方式	振動デバイスによる周波数検出方式
識別能力	水、空気、故障
測定チャンネル	16チャンネル/ロガー1台
表示	LCD表示（色別　黄色■：水，赤色■：空気，灰色■：故障）
計測時間	0.6sec／ch
ケーブル長	標準5m，専用延長ケーブルにて最長50m延長可
センサ耐圧	0.3MPa（水圧）
日付機能	内臓時計による 年/月/日/時/分/秒
記録イベント数	約2000イベント
データ出力形式	テキスト形式
電源	AC90～110V
PCとの接続	シリアルポート D-sub(9ピン)
使用温度範囲	0～40°　5～85%(結露なきこと)

【水位検知概念図】

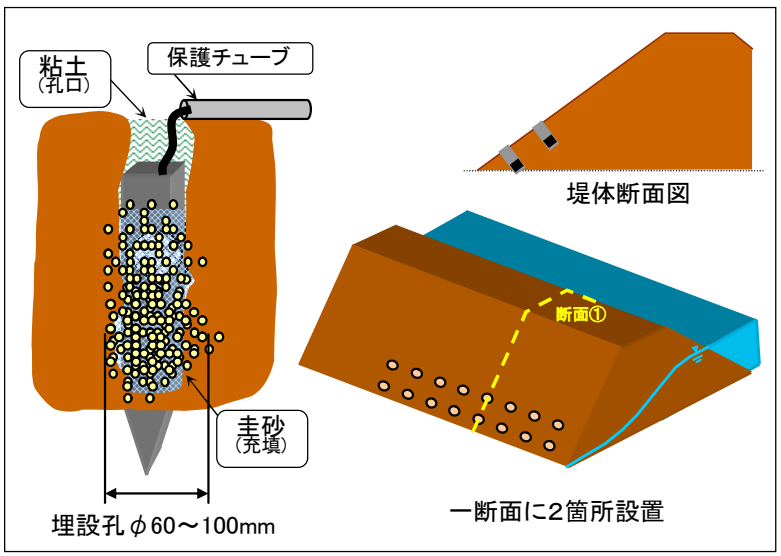
堤体裏のり部をオーガーボーリング等によりφ60～100㎜にて削孔し、センサの設置を行います。

センサの設置は、削孔した穴にセンサ付きのアタッチメントを埋設、ケイ砂で充填しその後、孔口を粘土にて閉塞する手順にて行います。

削孔状況写真



検出部の構造



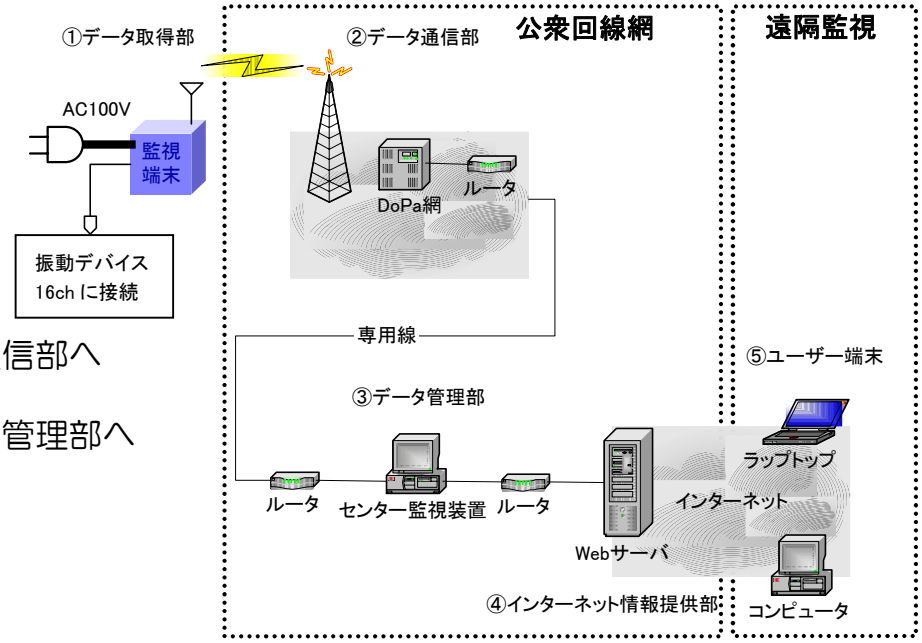
センサ設置概要図

【システムの特徴】

1．堤体内水位の状況と堤防安定性のデータ提供
・堤体内における安定水位と危険水位の評価
・のり尻部での局所的な水位検出による安定性評価

2．小型・安価なセンサで、水、空気をリアルタイムで検出
・従来水位計と比較して小径掘削（φ１００mm以下）のため、インパクトドリル、小口径オーガーなどで掘削可能
・不飽和時の空気検出が可能
・既存水圧計などのフィルター目詰まりの影響がない
・センサが小さく、安価である
・故障時の検出およびセンサ交換が容易

【データ通信システムの構成】



①データ取得部
　水位状態データを取得し、通信部へ
②データ通信部
　公衆回線通信網によりデータ管理部へ
③データ管理部
　水位状態データ受信、記録
④インターネット情報提供部
　情報配信
⑤ユーザー端末
　堤体内水位状態の監視

本データ通信システムのメリット

●公衆通信網を利用するため、電話線工事等が不要。サポートエリア内であれば設置可能
●パケット通信方式のため、国内どこでも同一の通信コスト
●ユーザーはインターネット経由で情報入手可能
●ユーザーはホームページを閲覧する要領で情報を入手可能
●通信コストを抑えるためデータ送信間隔を変更可能

本技術に関する詳しい技術資料を用意しております。下記の事業所，あるいは当社のホームページ　http://www.kge.co.jp　までご請求下さるようお願いします。

川崎地質株式会社

〒108-8337　東京都港区三田 2-11-15（三田川崎ビル）技術本部
TEL.03-5445-2077,　FAX.03-5445-2093
URL：http://www.kge.co.jp　Mail：kgetec@kge.co.jp

曙ブレーキ工業株式会社（新規事業部）

〒348-8509　埼玉県羽生市東5-4-71
TEL.048-560-1519,　FAX.048-560-3108
URL：http://www.akebono-brake.co.jp

概略金額は検討中です。

ＥＭによる堤防探査

－NETIS新技術登録（HR-040013-A）－

川崎地質株式会社

特徴

●粘性土等の含水率の高い領域のピックアップに優れており、堤防の質的評価にとって重要な難透水領域を定量的に区分できます。

●地表と非接触で計測することにより地表状況に左右されずに常に安定した精度で計測できること、また１人～２人の少人数で一日数百mも計測できるため、河川堤防のような長大区間を連続的に評価することに最適な物理探査技術です。

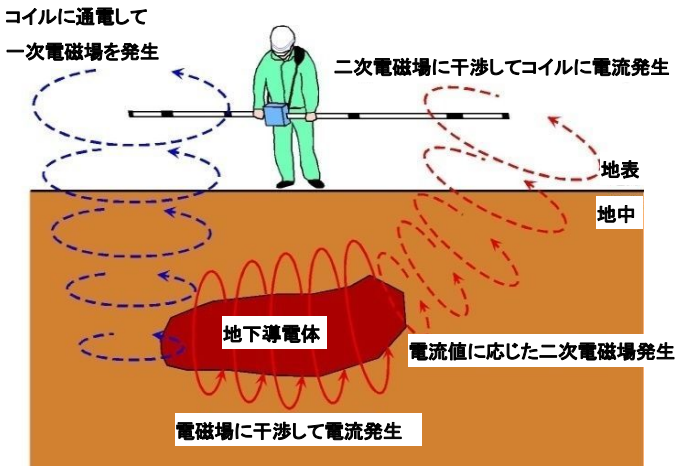
ＥＭ探査の概要

当社は堤防の浸透性点検にスリングラムＥＭ探査を利用します。この手法は、電磁誘導現象を利用して地下の電気構造を精度良く迅速に計測できる技術です。従来技術の電気探査に比べ、粘性土等の不透水層の識別能力に優れ、しかも地表と非接触で計測できることから作業性が向上していることが特徴です。

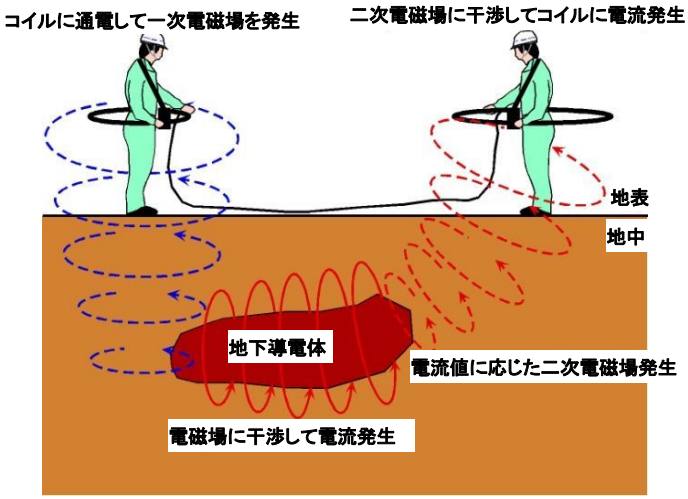
探査原理および探査装置

探査装置は浅部と深部用に分かれており、探査深度に応じて使い分けます。何れの装置も持ち運びに優れ、しかも１点の計測は数秒で終了します。

地下6mまで対応する浅部探査装置



地下20mまで対応する深部探査装置



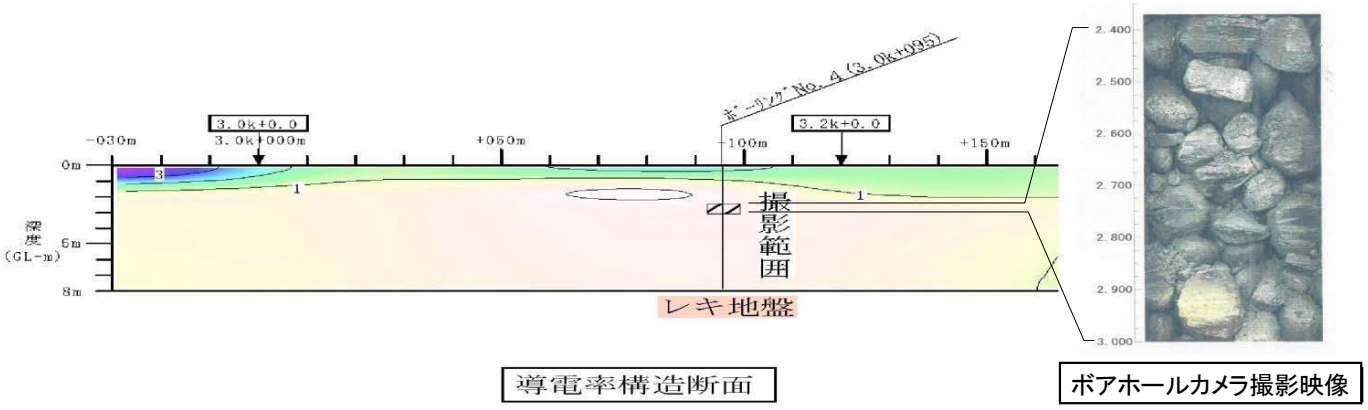
探　査　原　理

なぜ粘土層が区別できるのか？

地盤の電気特性は、間隙比・含水比と水分の保水性によって変わります。含水比が高くて保水性が良い土壌であるほど導電率は高くなり、逆に含水比が低く、保水性の悪い土壌の場合には導電率は低くなります。

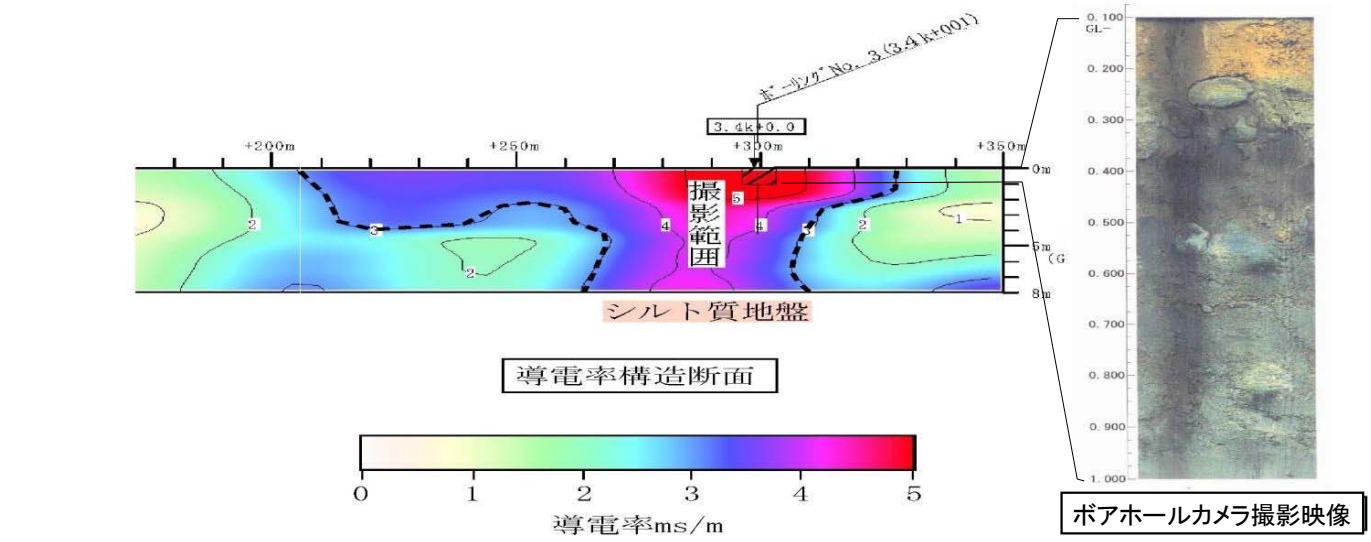
粘性土は、砂や砂礫に比べて含水比や保水能力が高く、堤防土層中で最も導電率が高まるため、高導電体の発見が得意なＥＭ探査にとって最も区別しやすい土層となります。砂や砂礫層も含水比の違いにより導電率が変化し、飽和領域においては不飽和領域の粘土層よりも低導電率になる傾向があります。

EM探査による砂礫層と粘土層の区別と検証事例



導電率構造断面　　ボアホールカメラ撮影映像

砂礫地盤におけるEM探査結果の検証結果

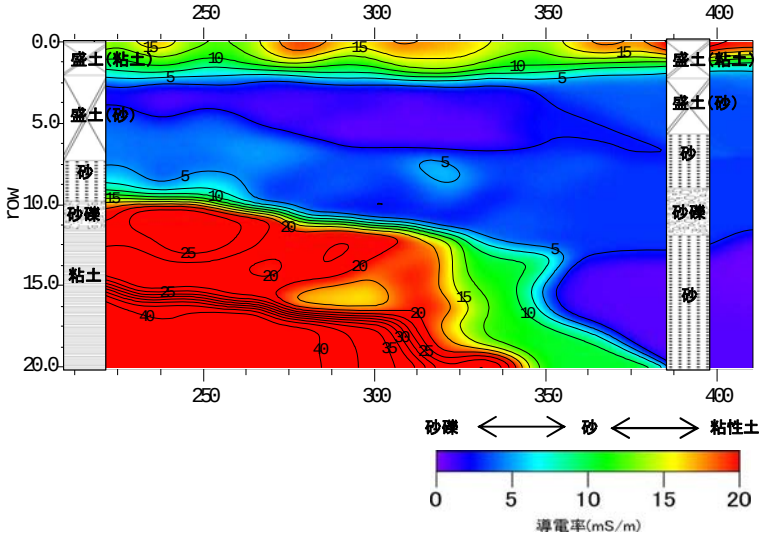


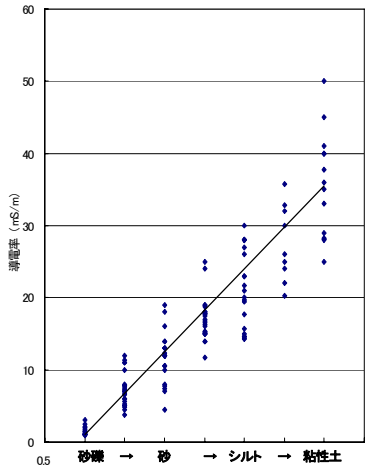
導電率構造断面　　ボアホールカメラ撮影映像

粘土地盤におけるEM探査結果の検証結果

堤防探査事例

盛土および基礎地盤共に浸透性が異なる細粒土と粗粒土の領域を二次元的に評価することができます。





右上のグラフは解析された導電率と、その地点の土質状況を確認した結果を整理したものであり、土質状況と概ね良好な相関性を示していることがわかります。

“コイル”を使って堤体や基礎地盤の電気特性を簡便かつ連続的に計測し、導電率の違いから土の含水特性に応じた質的構造を評価します。長大な堤防区間を本技術によって連続的に概査することにより、浸透流解析等の詳細調査を実施すべき堤防の危険個所を的確に抽出できます。堤防の質的調査において、調査精度の向上並びにトータルコストの低減の両面に貢献できる技術です。ぜひともご利用をご検討下さい！

本技術に関する詳しい技術資料を用意しております。下記の事業所，あるいは当社のホームページ　http://www.kge.co.jp　までご請求下さるようお願いします。

川崎地質株式会社

〒108-8337　東京都港区三田 2-11-15（三田川崎ビル）技術本部
TEL.03-5445-2077,　FAX.03-5445-2093
URL：http://www.kge.co.jp　Mail：kgetec@kge.co.jp

概略金額（旅費日当別、諸費用込み）

- 調査範囲：1kmで約1,000,000円
- 探査深度：地下20m
- 業務内容：測定・データ解析・土質や水ミチ評価・報告書作成

地中レーダによる護岸背面空洞探査

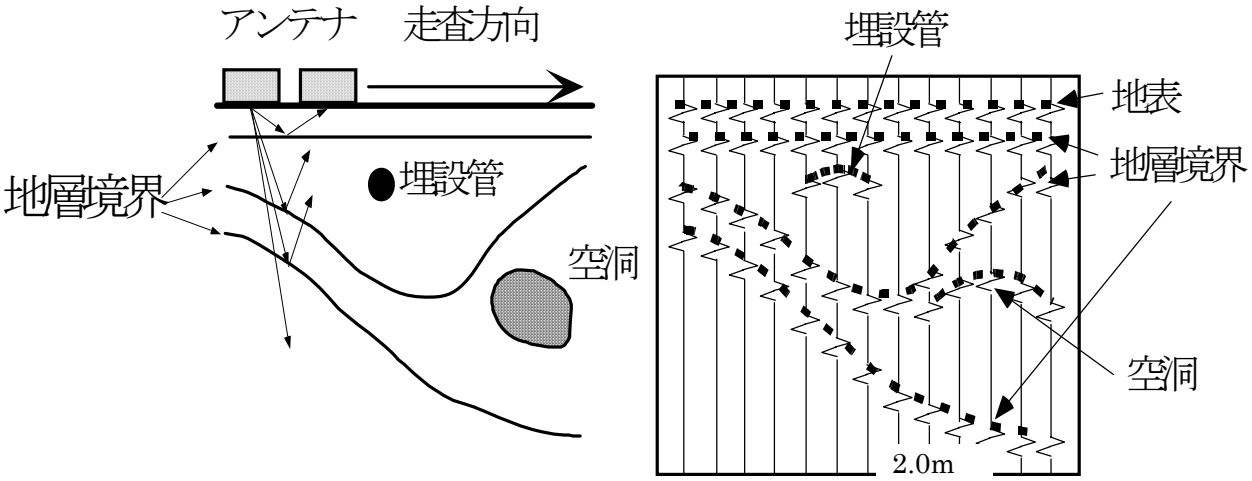
―NETIS新技術登録（TH-040005-A）―

川崎地質株式会社

特殊な地中レーダ装置を用い、河川堤防の護岸に発生した空洞を広域的に迅速かつ的確に発見します。また、空洞の分布性や量を三次元的に評価するため、的を絞った対策設計を実施することが可能です。

当社の地中レーダシステムは，空洞をビジュアルな断面として表現し、現場で迅速に発見します。

地中レーダ探査の探査イメージ



舗装構造を問わず、大小様々な地中空洞に対応します。

いつでも高精度の調査ができるように、調査箇所の舗装状態（ｺﾝｸﾘｰﾄorAs舗装）・空洞の大きさ・深度に応じて当社は最適な装置を選定します。

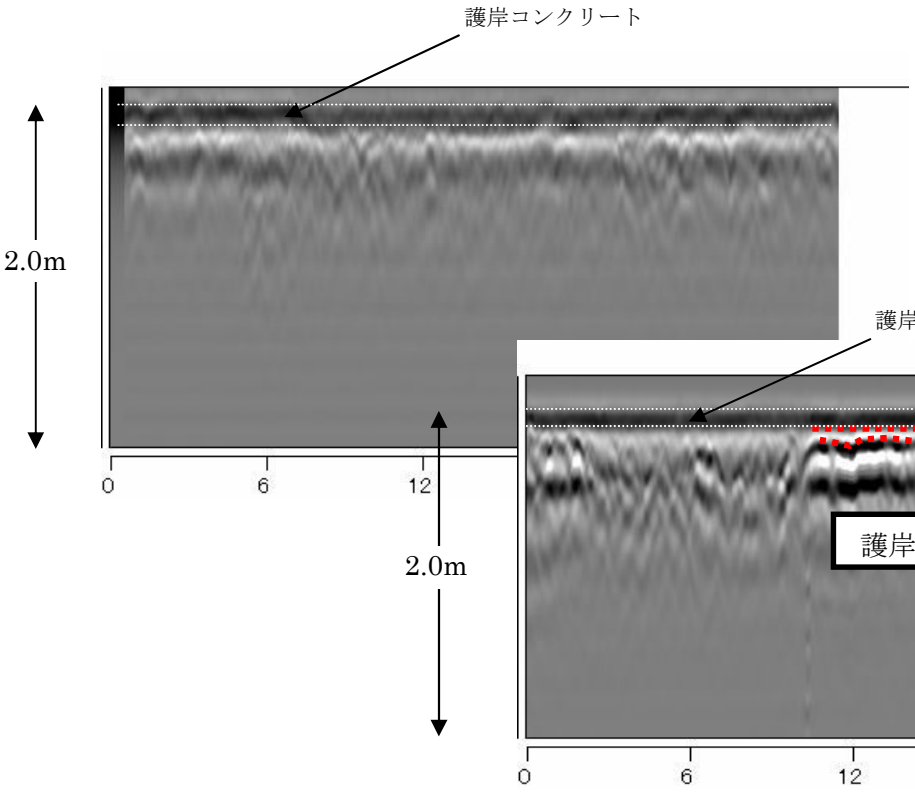
探査装置の種類	空洞探査ができる深度	使用周波数	用　　途
一般舗装用レーダ装置	地下3m～4mまで	350MHz	液状化によって発生した大小様々な路面下空洞や、埋設管・人孔周辺に空洞を調査できます。
護岸用レーダ装置	地下2mまで	700MHz	護岸等のコンクリート直下の空洞を調査できます。当社の装置は鉄筋コンクリートでも問題なく、BOX函内からでも調査可能です。

●一般舗装用レーダ装置の探査風景

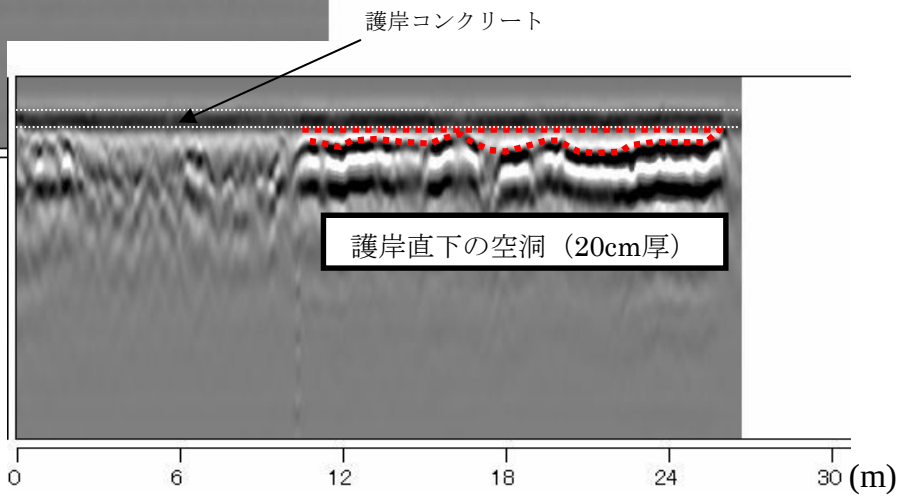
●コンクリート舗装用レーダ装置の探査風景

護岸直下の空洞を的確に検出します。

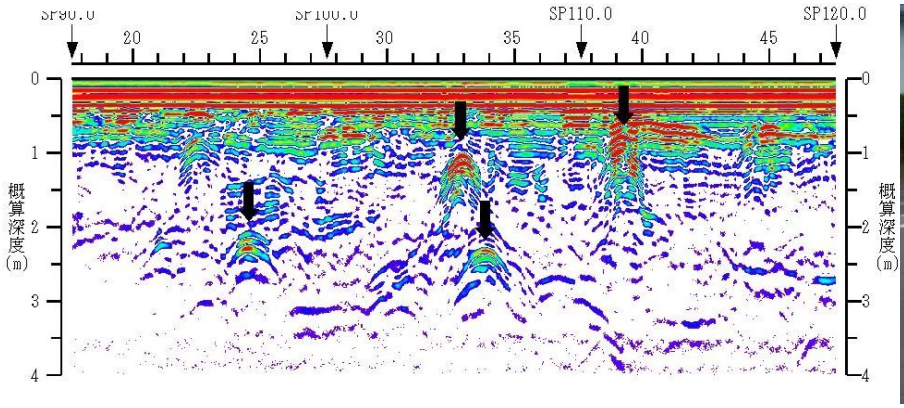
●護岸コンクリート直下が健全な場合の反応例

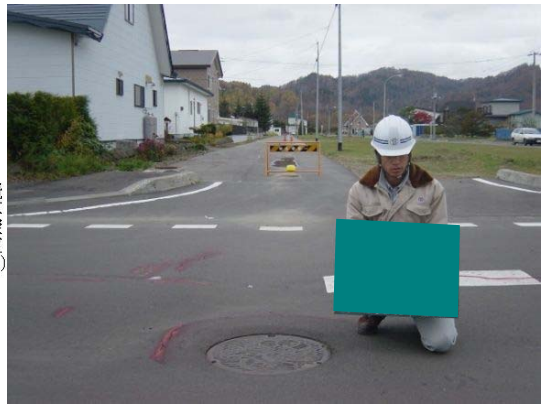


●護岸コンクリート直下に空洞がある場合の反応



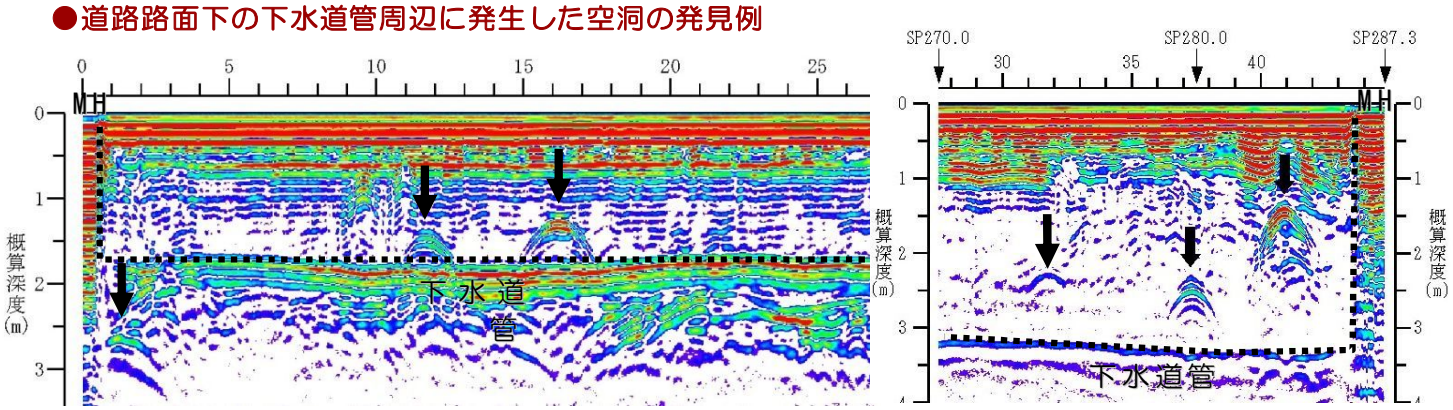
●堤体に群発した空洞の発見例





●液状化による激しい路面沈下（釧路）

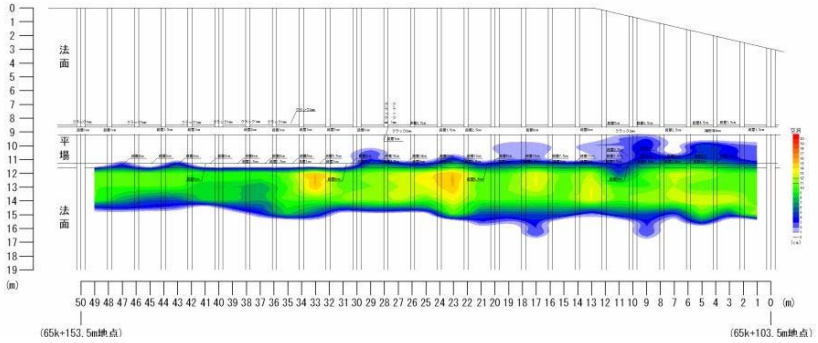
●道路路面下の下水道管周辺に発生した空洞の発見例



：空洞反応

護岸直下の空洞を定量的に評価します。

● 護岸直下に発生した空洞の3次元評価結果例



空洞内カメラによって空洞の広がりを視覚的に捉えることができます。

● 削孔および空洞カメラ撮影状況

● 樋管胸翼壁周辺護岸に発生した空洞内のカメラ撮影結果

本技術に関する詳しい技術資料を用意しております。下記の事業所，あるいは当社のホームページ　http://www.kge.co.jp　までご請求下さるようお願いします。

川崎地質株式会社

〒108-8337　東京都港区三田 2-11-15（三田川崎ビル）技術本部
TEL.03-5445-2077,　FAX.03-5445-2093
URL：http://www.kge.co.jp　Mail：kgetec@kge.co.jp

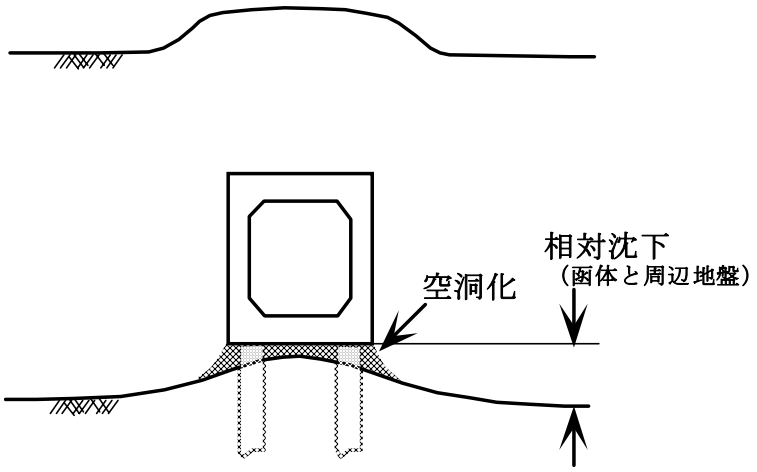
概略金額（旅費日当別、諸費用込み）

- 調査範囲：1kmで約1,000,000円
- 探査深度：護岸コンクリート直下の空洞
- 業務内容：測定・データ解析・空洞の三次元評価・報告書作成

樋門、樋管周辺の空洞探査

－NETIS新技術登録（TH-040005-A）－

弊社探査システム（函内から探査できる）



樋門背面の一般的空洞化メカニズム

川崎地質株式会社

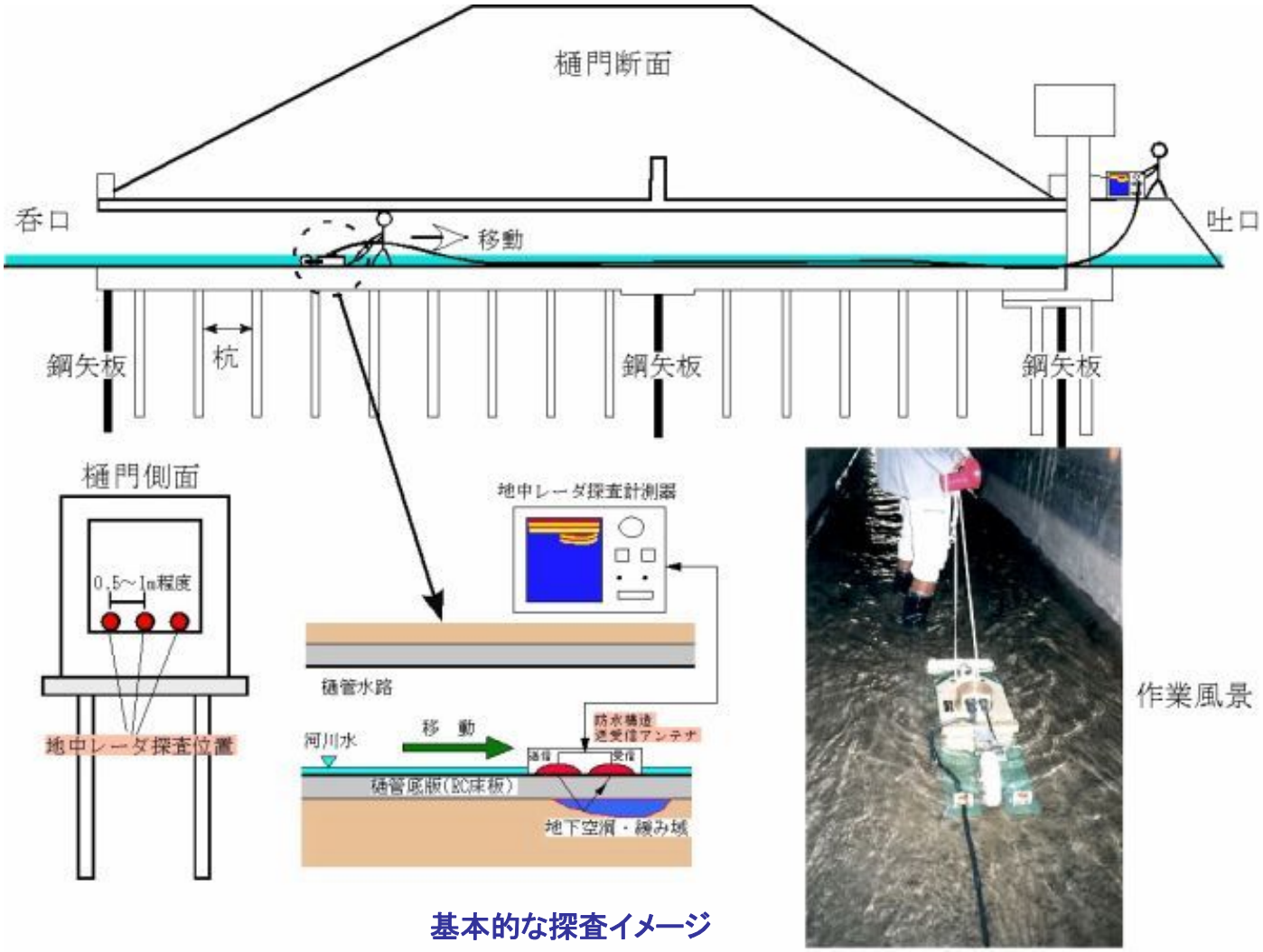
自社開発した地中レーダ技術を用い、従来は困難とされた鉄筋コンクリート版の裏側の空洞を非破壊で探査します。60cm程度までのコンクリート厚に対応できるため、多くの既設樋門や他の鉄筋コンクリート構造物に適用が可能です。

当社の樋門空洞化探査は連通試験ではなく電磁波を利用します。連通試験ではできない空洞定量評価や緩み地盤の空隙率を判定できるようになりました。

①地中レーダ探査による函内からの空洞探査

●装置と探査イメージ

・電磁波は、コンクリート床版背面に透過していく過程で空洞境界面で反射します。
・反射波を計測することで、空洞状況を二次元的に可視化することができます。
・20cm程度の函内水位であれば排水しなくても探査が行えます。



基本的な探査イメージ

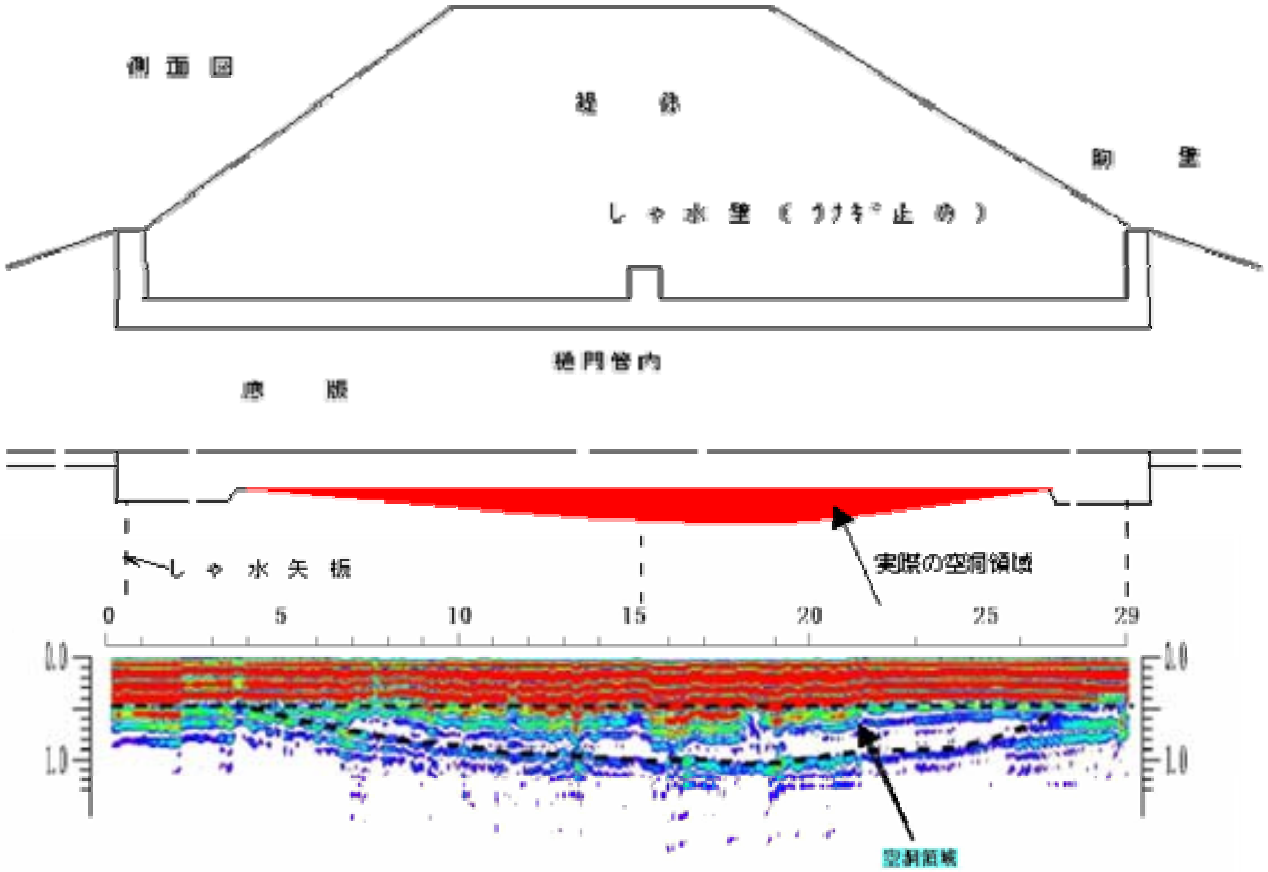
作業風景

●適用条件・精度

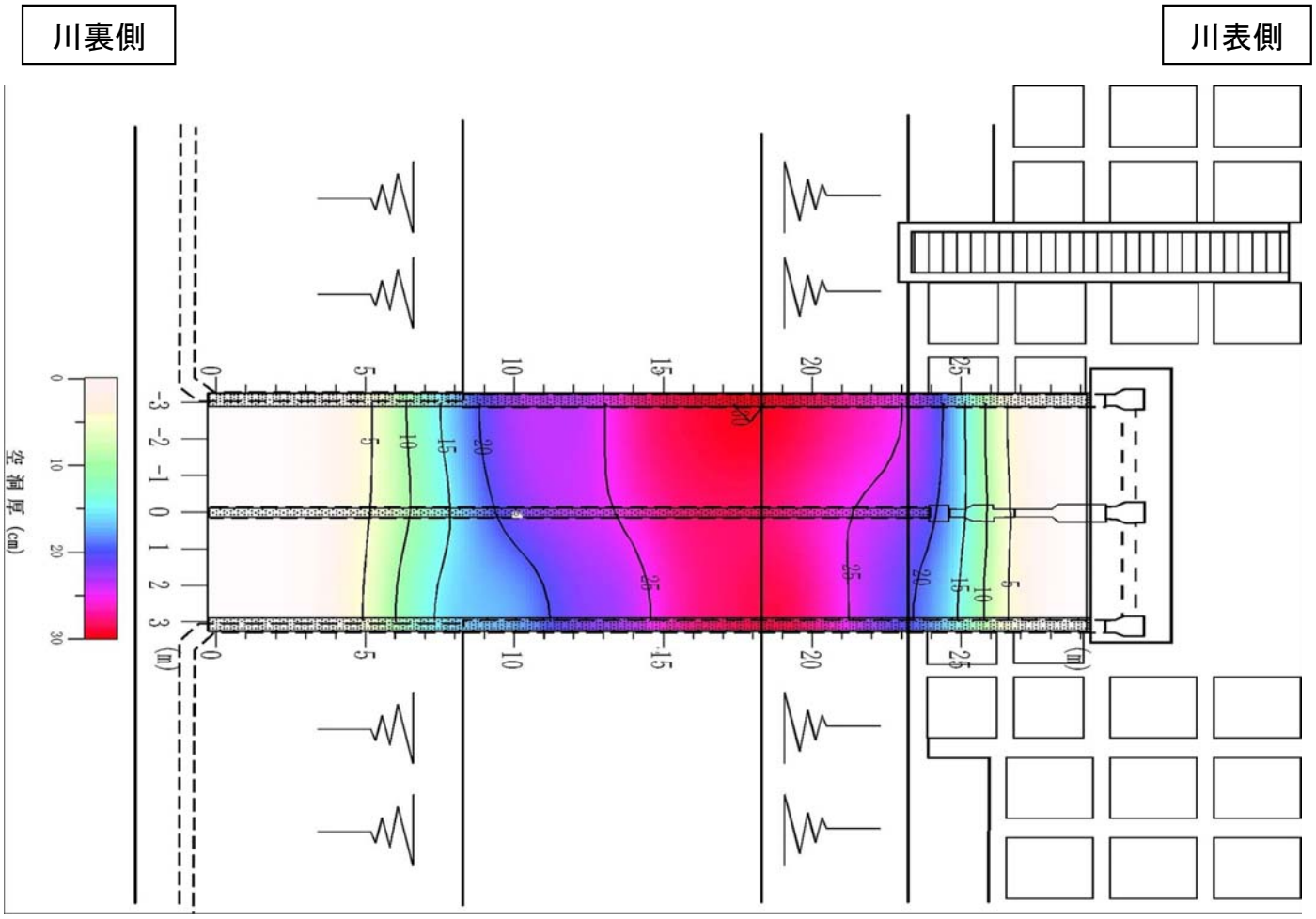
・コンクリート床版の厚みが60cm以下であること。
・コンクリート床版の配筋間隔が10cm以上であること。
・測線上における精度は、水平および鉛直方向共に±10%程度
・測線横断方向における精度は測線配置間隔の1/2程度
・計測員が函内で作業できるスペースがあること（函径60cm以上）

●探査結果（底版直下の空洞化断面図が得られます）

・抜け上がりによって底版直下が空洞化した樋管の調査事例です。
・実際の空洞化状況と良く整合した探査結果が取得されています。



樋門底版下の実際の空洞化状況と探査結果の比較



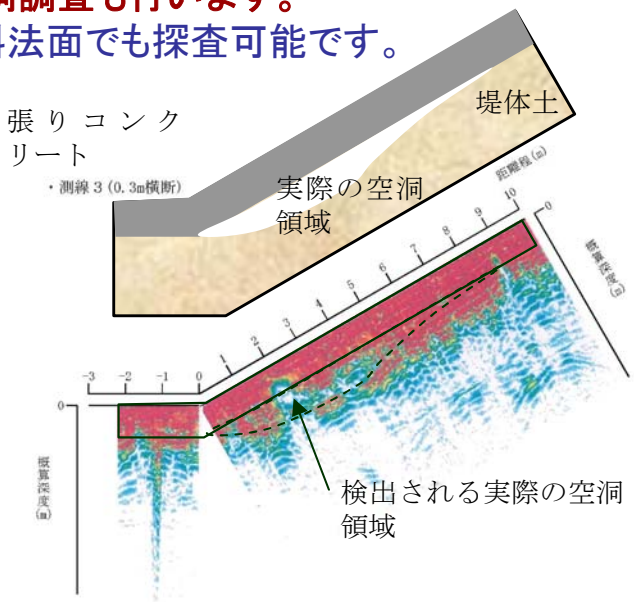
樋門底版下の空洞厚展開図（空洞厚コンター図）

②護岸部空洞調査

●お客様のニーズにより、樋門周辺護岸の空洞調査も行います。

・陸上用の小型軽量装置を用いるため、急傾斜法面でも探査可能です。

探査風景
（小型軽量装置のため急斜面でも計測可能）



護岸コンクリート下の実際の空洞化状況と探査結果の比較

③対策設計

●基本的な補修方法である注入対策を中心に対策工法を検討・設計します。

空洞注入材料としては水に接する箇所の充填に優れた特殊可塑状セメントを推奨しています。右下写真が示すとおり水中で希釈されません。従って以下の優れたメリットを有しています。

①材料の逸走率が従来材料（CB）に比べて1/3。
②河川に溶け出さないため、水質汚濁が少ない。
③流動性が少ないため、想定領域にロスなく充填できる。
以上の特徴から、空洞探査結果を活かして必要最小限の工費に抑えた対策工事が可能です。

本技術に関する詳しい技術資料を用意しております。下記の事業所，あるいは当社のホームページ　http://www.kge.co.jp　までご請求下さるようお願いします。

川崎地質株式会社

〒108-8337　東京都港区三田 2-11-15（三田川崎ビル）技術本部
TEL.03-5445-2077,　FAX.03-5445-2093
URL：http://www.kge.co.jp　Mail：kgetec@kge.co.jp

概略金額（旅費日当別、諸費用込み）
- 調査範囲：1基で約750,000円
- 探査深度：底板コンクリート直下の空洞
- 業務内容：測定・データ解析・空洞の三次元評価・報告書作成

KISO-JIBAN

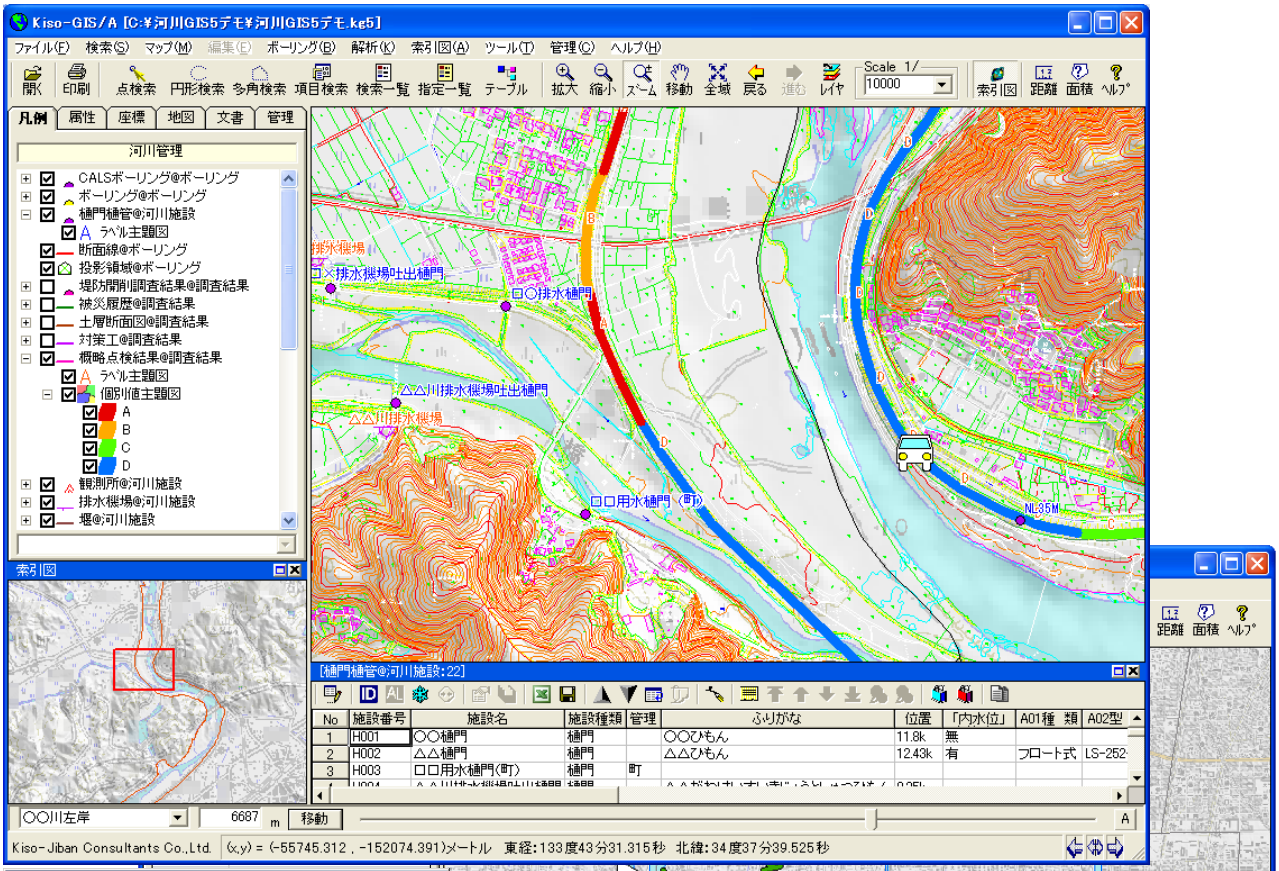
Kiso-GISによる

『河川堤防情報管理システム』

堤防および河川施設の情報管理から
堤防防災マップの作成まで...

システムの特徴

- 距離標連動機能 ： 距離標スライドバーの導入により、指定位置に迅速に移動
- 帳票連動機能 ： 一連区間単位で情報を管理するため、閲覧・集計が飛躍的に効率化
- ボーリング情報管理機能 ： CALS ボーリングを１コマンドで登録
- 任意土質断面図作成機能 ： 任意の堤防縦横断の地質断面図を作成・登録
- 文書管理機能 ： あらゆる電子文書（報告書/設計図/台帳類）の登録・閲覧



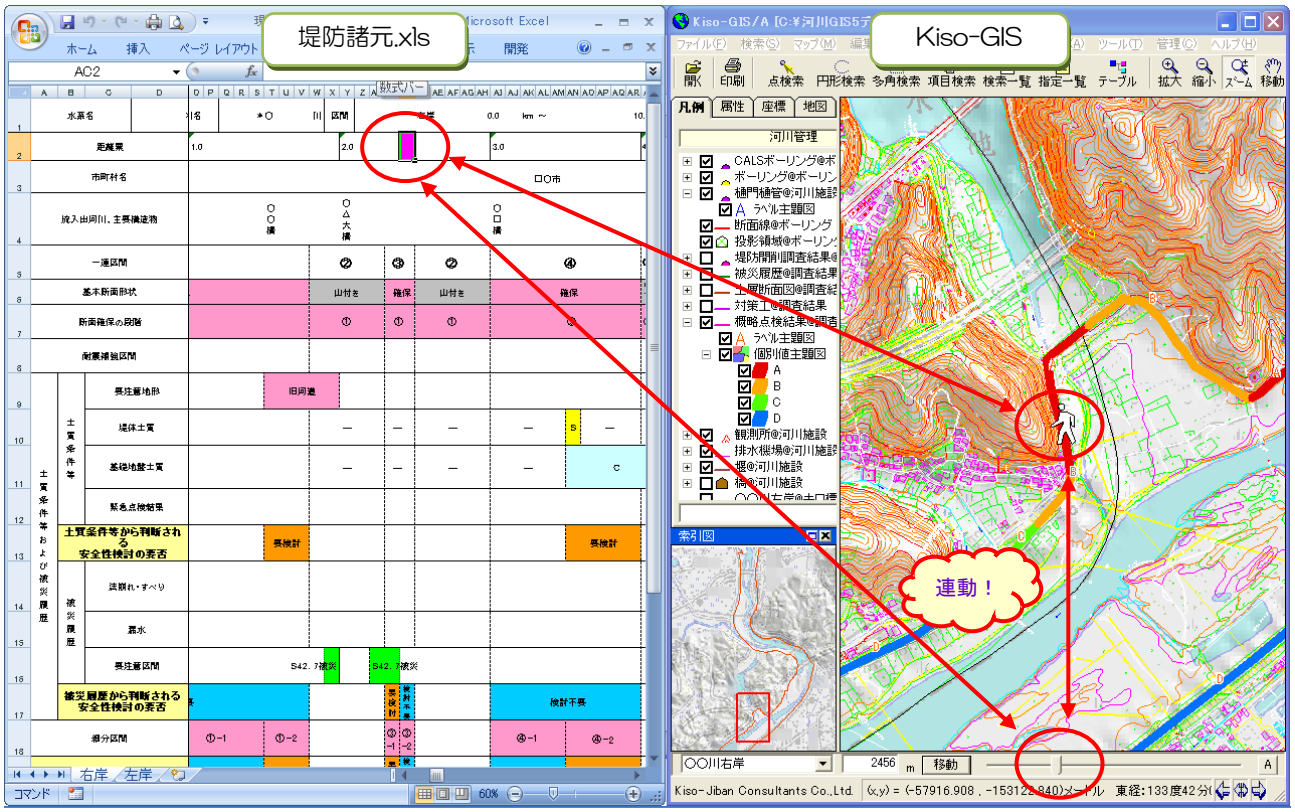
デジタルカメラ機器との連携機能

システムの概略費用

- 河川堤防情報管理システム・・・・・・・ 200～300 万
  （基本的な情報をインストール済み）
- 堤防防災マップ・・・・・・・・・・・・・・・・ 300～600 万
  （情報内容による）

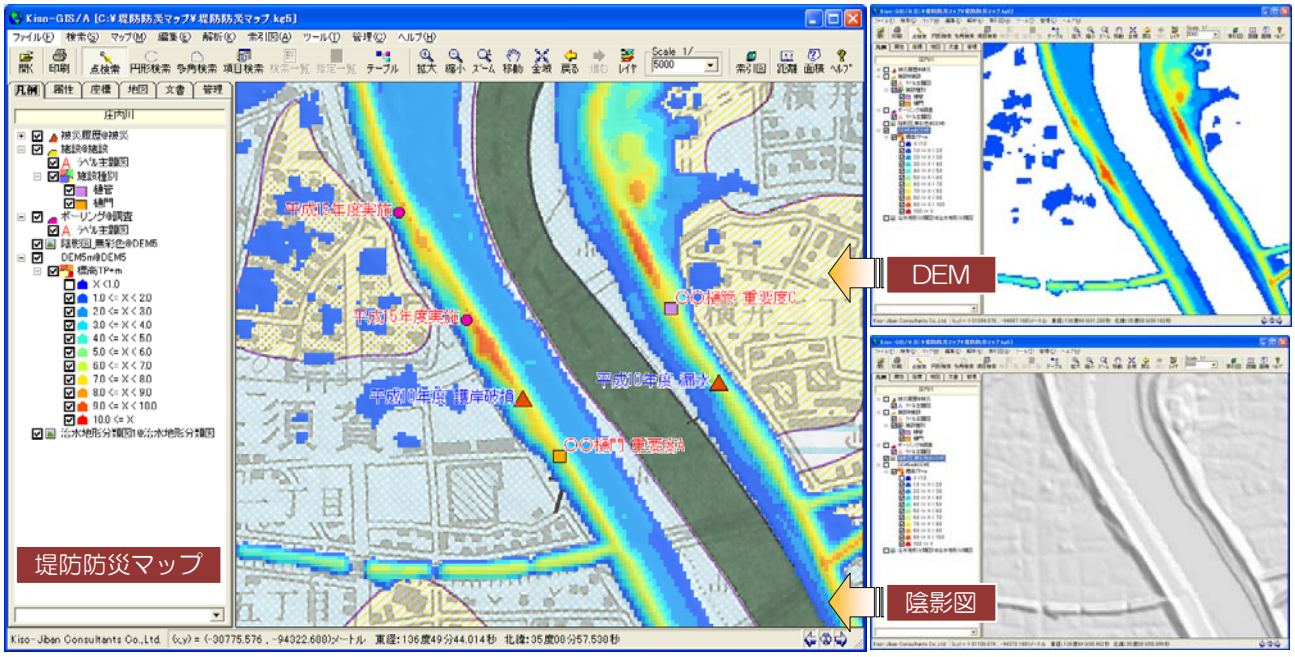
帳票連動機能/距離標連動機能

- 距離標～堤防諸元（エクセル帳票）～平面位置を並行管理可能。知りたい関連情報を１システムで取得できるので好評！



堤防防災マップ＝治水地形分類図の発展形

- 治水地形分類図を基図とし、LP データから作成される「陰影図」「DEM(Digital Elevation Model)」などの標高関連情報、調査・施設・被災等の管理履歴情報等を重ね合わせたもの・・・



基礎地盤コンサルタンツ株式会社　問い合せメール：kisogis-info@kiso.co.jp

本社　(03) 6861-8800　北海道支社　(011) 822-4171　東北支社　(022) 291-4191
関東支社　(03) 5632-6800　中部支社　(052) 589-1051　関西支社　(06) 6536-1591
中国支社　(082) 238-7227　九州支社　(092) 831-2511　海外事業部　(03) 6861-8885
担当：保全・防災センター GIS 事業部（関東）(03) 6861-8877 / GIS 事業部（関西）(0745)32-6486

L031HQ1009

堤防の非破壊探査技術

周波数領域簡易電磁法探査手法（EM探査）

(Electro-Magneteic Method)

― 地球と人の調和を考える ―

株式会社 ダイヤコンサルタント

http://www.diaconsult.jp

特徴および概要

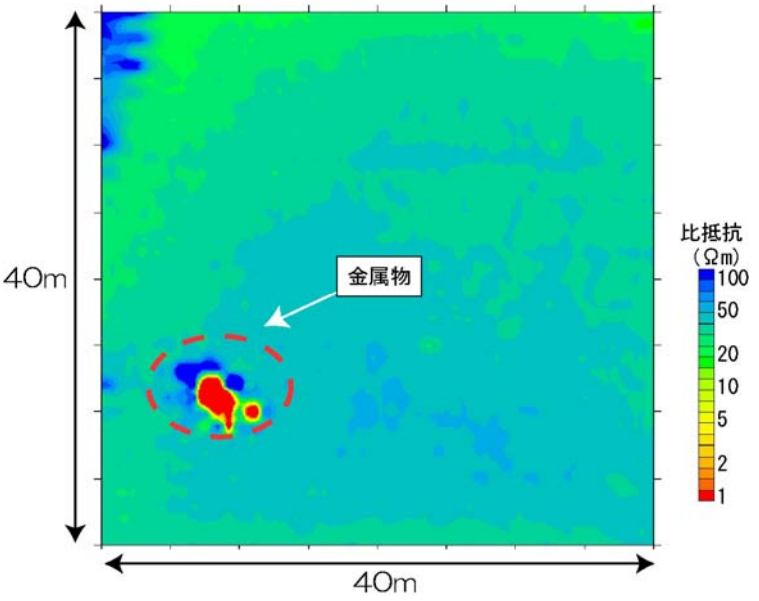
◇ 地表に電極を設置する必要がなく，地下 10m程度までの比抵抗の分布を安価で、効率的（短時間）に測定できます。

◇ 堤防の縦横断方向（1m間隔）に測定することで，堤体や基礎地盤の概略の地盤構成や旧河道や空洞・緩み領域・埋設物等を把握することができます。

◇ さらに，三次元的にデータ整理することで，地層や旧河道の分布状況を精度よく表現することができます。

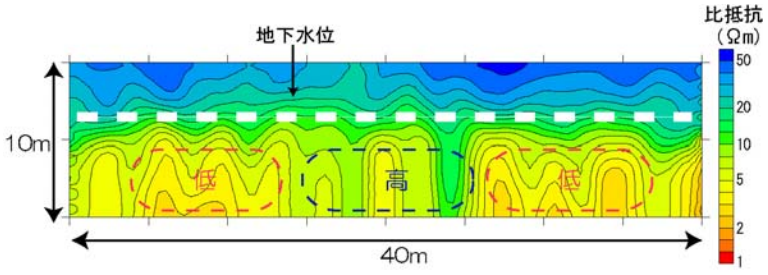
測定実施例

◇ 平面図



金属埋設物の検出例

◇ 断面図



地下水位と低比抵抗部の検出例

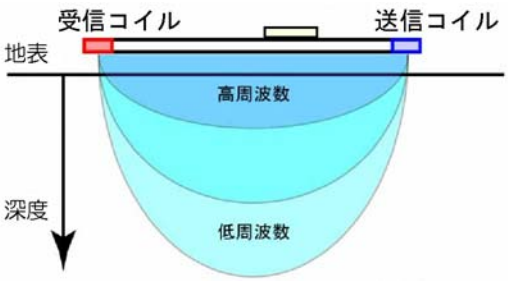
測定器仕様

◇ 機器名称：ＧＥＭ（Geofhex 製）

◇ 周波数帯域：330～40,000Hz

◇ 測定モード：最大 15 周波数（同時計測）

測定風景



地表を移動しながら多周波数のデータを迅速に測定します。

概略金額（旅費日当別、諸経費込み）

・調査範囲：50m×50mで約 500,000 円

・業務内容：簡易測量・測定・データ解析・報告書作成費

・ただし，交通費・宿泊費は別途精算願います

問合せ先：株式会社ダイヤコンサルタント

ジオエンジニアリング事業本部

担当者　杉本，山田

TEL：048-654-6677，FAX：048-654-6600

堤防の非破壊健全度技術

－ 熱赤外線画像計測とダイヤサウンドアナライザー －

－ 地球と人の調和を考える －

株式会社 ダイヤコンサルタント
http://www.diaconsult.jp

熱赤外線画像計測

◇ 熱赤外線画像計測は，熱赤外線カメラを用いて，非接触・非破壊で比較的短時間に調査対象物の温度分布を把握する調査方法です。

◇ 本計測は，調査対象物の温度の温まりやすさや冷めやすさなどの性質（温度特性）を考慮して，得られた温度分布を解析，物体表面のほか内部・背後（比較的表層内部）の状態を推定・把握することも可能です。

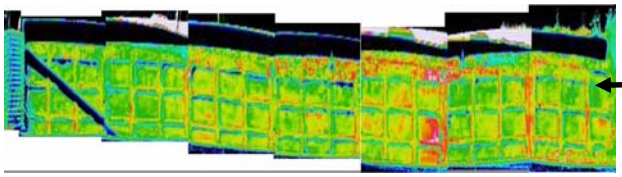
ダイヤサウンドアナライザー（Dia Sound Analyzer：DSA）

◇ DSA は，調査対象物を打撃し，その際に発生する打撃音を数値化（解析）する装置で，打診音調査法の一種です。

◇ 従来，人の聴感に頼っていた清音（健全側）から濁音（劣化側）までの打撃音を，200 以下の DSA 値として表し，記録を残すことで，調査対象物表面近傍の劣化状況（浮き・はくり，背面空洞の有無等）を推定・把握することができます。

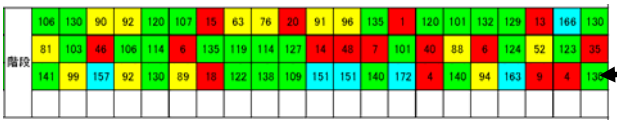
これらの技術を河川堤防の調査に用いると･･･

可視画像（河川堤防法枠部での実施例）



熱赤外線画像（日中と早朝の温度差画像）

温度差は，青，水色，緑，黄(オレンジ)，赤の順に大きく，温度差が大きいほど，相対的弱部の可能性あり。



DSA 値マッピング

DSA 値は，水色，緑，黄(やや劣化)，赤(著しく劣化)の順に小さい。

所見：当該区間は DSA と熱赤外線画像ともに劣化の可能性が高く弱部となる区間と推定。
既往調査により要注意とされる区間と概ね一致し，整合的な調査結果が得られた。

概略金額（旅費日当別、諸経費込）

・熱赤外線調査：
のり面面積 1,000m² あたり約 1,800,000 円

・DSA
500m²（1m 間隔）あたり約 1,000,000 円

問合せ先：株式会社ダイヤコンサルタント
ジオエンジニアリング事業本部
担当者　浅川，小泉
TEL：048-654-6677，FAX：048-654-6600

計測データの変化を色で表示

～光るシリーズ（遠隔監視型光る変位計・光る傾斜計・LEC）～

－ 地球と人の調和を考える －

株式会社 ダイヤコンサルタント
http://www.diaconsult.jp

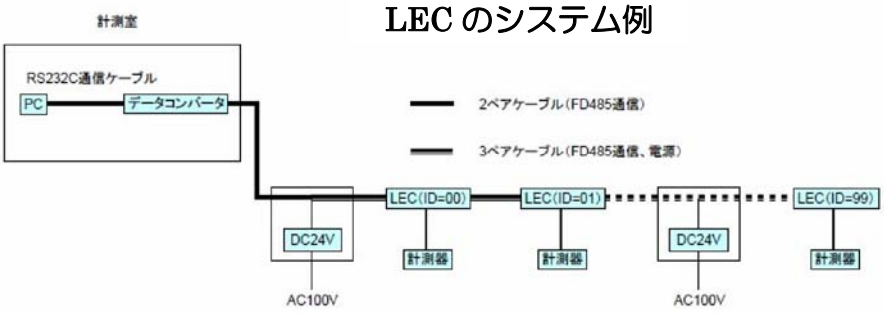
遠隔監視型光る変位計・光る傾斜計

◇これらの装置は，変位や傾斜角度を，光の色に変えて現場で表示する装置です（写真は遠隔監視型光る変位計）。
◇通常の現場計測では，計測データを一旦 PC 上で処理・表示し，専門技術者が情報を読み取る事が多く，現地での即時確認が容易ではありません。一方，これらの装置を併用した場合，光の色から，誰でも現場で即時に視認判断することができます。

LEC（ライト・エミッテング・コンバーター）

◇ 本装置は，各種現場計測において得られる任意のデータを基に，データが示す情報を光の色に変えて表示する装置です。
◇ 様々な計測器にペアで新規・追加設置可能です。
◇ 予め設定した管理値に応じて異なる光の色を表示します。
◇ パソコンを常設すればデータ保存も可能です。

LEC のシステム例



これらの光るツールを河川堤防の調査・維持管理に用いると･･･

- これらの光るツールは，光の色の違いで現地状況（現場異常の有無や各種災害の危険度，計測対象物の変状など）やその変化を周囲に伝えることができるため，地域防災や現地の安全管理，あるいは維持管理・モニタリングなどを目的として使用することが可能です。
- 河川堤防の場合，雨量計・水位計・間隙水圧計，沈下計・堤体の変形（豪雨・地震時）などの各種計測器センサーと光るツールを組み合わせた使用が想定されます。
- 管理基準値に対し安全かどうかなど，光の色として周囲に知らせること（情報発信）ができるため，専門的な知識が無くても、早期に異常や危険を把握し，緊急対策や避難などの行動判断が可能です（効率的な維持管理や地域防災にも役立ちます）。

概略金額（旅費日当別、諸経費込）

・光る変位計・傾斜計（1 基あたり）：
　設置・撤去費（リース可）　約 300,000 円
・LEC（1 基あたり）
　設置・撤去費（リース可）　約 300,000 円

問合せ先：株式会社ダイヤコンサルタント
ジオエンジニアリング事業本部
担当者　浅川，小泉
TEL：048-654-6677，FAX：048-654-6600

リリーフウェルの設計

－ 三次元浸透流解析 －

－ 地球と人の調和を考える －

株式会社
ダイヤコンサルタント
http://www.diaconsult.jp

特徴および概要

◇ 解析には，岡山大学（西垣誠教授）・株式会社ダイヤコンサルタント・三菱マテリアル株式会社が共同開発した浸透流解析・移流分散解析コード「Dtransu-3D･EL（ディートランス・スリーディ・イー・エル）」を用いています。

◇ 弊社では，複雑な地質・水理構造に対応可能な大規模三次元モデル作成ソフト「Hypermesh」により詳細なモデル化が可能であり，また，大規模三次元解析結果可視化ソフト「Ensight」とリンクさせて，地下水の流れに関連する問題を検討可能なシステムを構築しています。

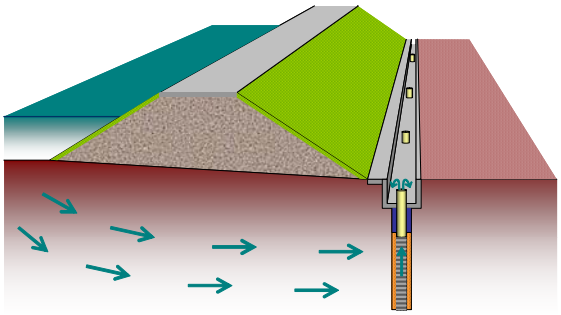
得られる結果

◇ 三次元浸透流解析によって得られる成果は，次の項目である。

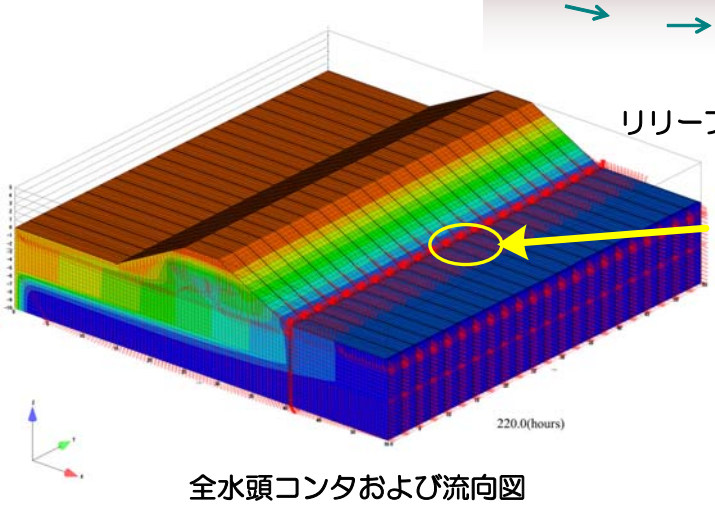
・地下水位分布，地下水流速，局所動水勾配，揚圧力，流入量，流出量，地下水対策工仕様など

リリーフウェルへの適用事例

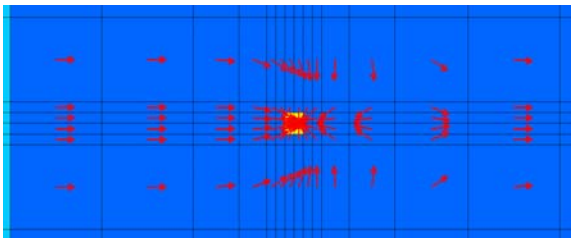
◇ リリーフウェル工法は，堤体内および基礎地盤に浸透した水を，堤防横断方向および縦断方向に排水する三次元的な対策効果が期待できます。この対策効果を評価（三次元の流動場の評価）するため，三次元浸透流解析を実施し，堤防の安全性評価に利用します。



リリーフウェル概念図



全水頭コンタおよび流向図



リリーフウェル周辺流向図

概略金額（旅費日当別、諸経費込）

・検討範囲：1 箇所（50m×50×深さ 10m），
30 万接点で約 2,000,000 円

・業務内容：現況 1 解析，対策工 1 解析

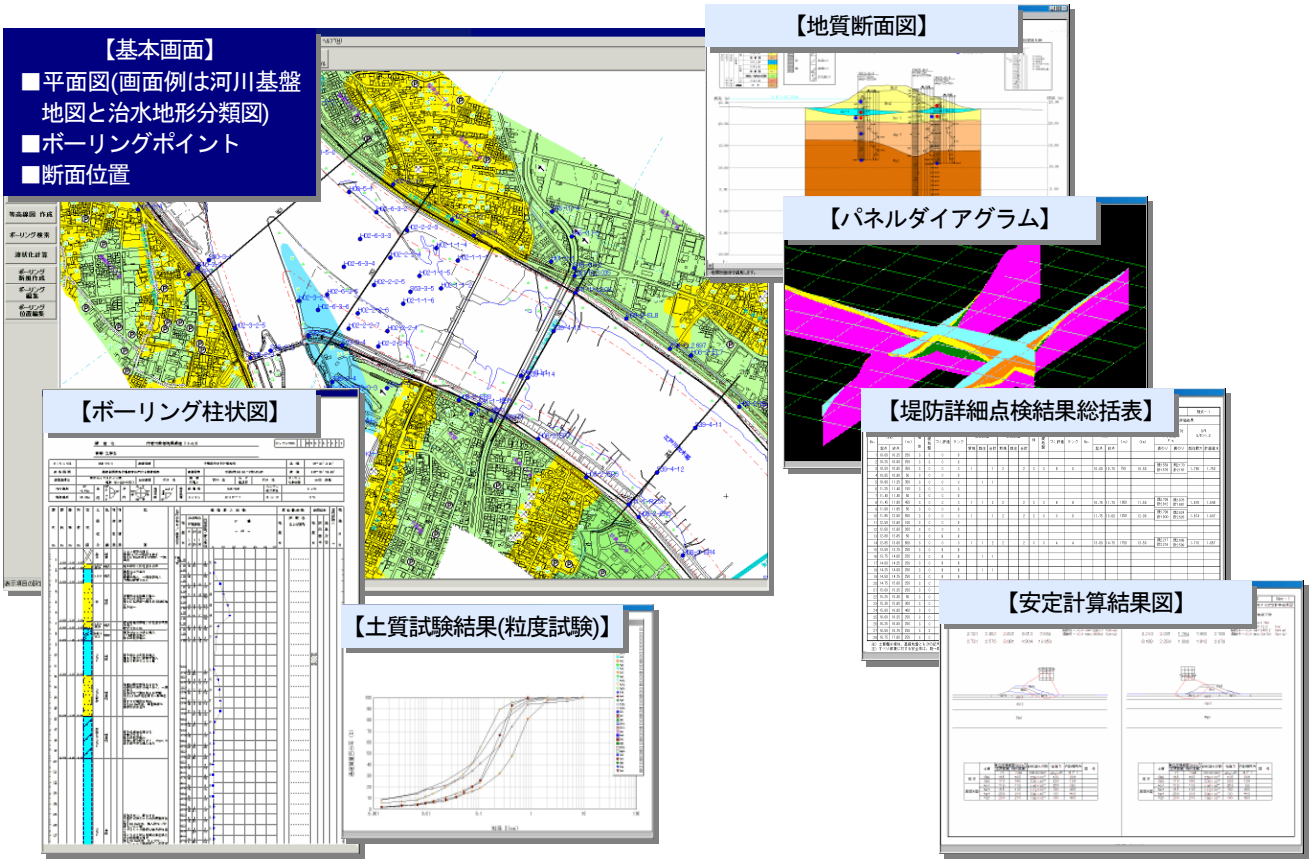
・ほぼ水平地盤で，構造物なしの条件です

問合せ先：株式会社ダイヤコンサルタント
ジオエンジニアリング事業本部
担当者　菱谷，森島，坂東
TEL：048-654-6677，FAX：048-654-6600

G-Cube for windows ～河川堤防管理への活用～

G-Cube は、**GIS** を基盤とした統合地盤情報管理システムであり、ボーリングデータや各種の土質試験結果、地質断面図などを一元管理するシステムです。河川分野においても、堤防及び河道のボーリングデータ、堤防の縦断図・横断図など多くの地盤情報の管理に利用できます。また、堤防点検結果や被災履歴などの管理についても、**GIS** の機能を活用して容易に管理することができます。

弊社は、本システムの販売だけでなく、地盤情報データベースの構築、システムのカスタマイズ、システム及びデータの保守・運用管理に関してもお手伝い致します。



システムライセンス価格　630,000 円(税込)
※システム導入・構築に掛かる費用は別途御見積致します。

～柱状図作成ツール・断面図作成ツール・液状化判定プログラムの無償ダウンロードについて～

下記に示すツールは、G-Cube のサブシステムとして機能する他、単体でも使用できます。ホームページ(http://g-cube.ckcnet.co.jp)よりダウンロード(無償)してご利用ください。

■柱状図作成ツール「**GeoBuild**」：柱状図データの他、各種試験結果を入力するツールです。柱状図の表示・印刷、ボーリング交換用データ(XML)など各種ファイルフォーマットの入出力機能を備えています。

地盤工学会
技術業績賞受賞**(H21)**

■断面図作成ツール「**LayBuild**」：**GeoBuild** で作成した柱状図ファイルを読み込んで、各種試験結果とともに表示、印刷するツールです。想定断面図を作成するための描画機能を備えています。

■液状化判定プログラム「**CKC-Liq**」：**GeoBuild** で作成した柱状図ファイルを基に、液状化判定を行うプログラムです。道路橋示方書、建築基礎構造設計指針、港湾の施設の技術上の基準、消防法、埋立地の液状化対策ハンドブックなどの主な指針類に対応しています。

問い合わせ先

創発と複合と協働(ECC)で拓くオンリーワン
中 央 開 発 株 式 会 社
http://www.ckcnet.co.jp

■技術サポート　技術センター　担当：王寺
〒169-8612　東京都新宿区西早稲田3-13-5　Tel 03-3208-5252　Fax 03-3232-3625

地下浅部の状態をイメージする

高密度表面波探査／高密度電気探査

弊社は、豊富な実績をベースに、目的に応じた測線の提案、測定データの品質管理を行うとともに、独自の解析技術を用いた高精度な探査結果をご提供します。

高密度表面波探査

(2,000,000～3,000,000 円/km)

高密度表面波探査は、応答振動を多数の受振器により同時に記録することで、高精度な S 波速度構造を求める探査手法です。位相速度解析からレイリー波の位相速度を求め、さらに速度構造解析によってＳ波速度構造を求めるものです。

弊社は、独自の解析技術によって、S 波速度構造を精度良く推定するとともに、従来求めることができなかった逆転層(下層の方が上層より速度が遅い)の解析を可能にしました。

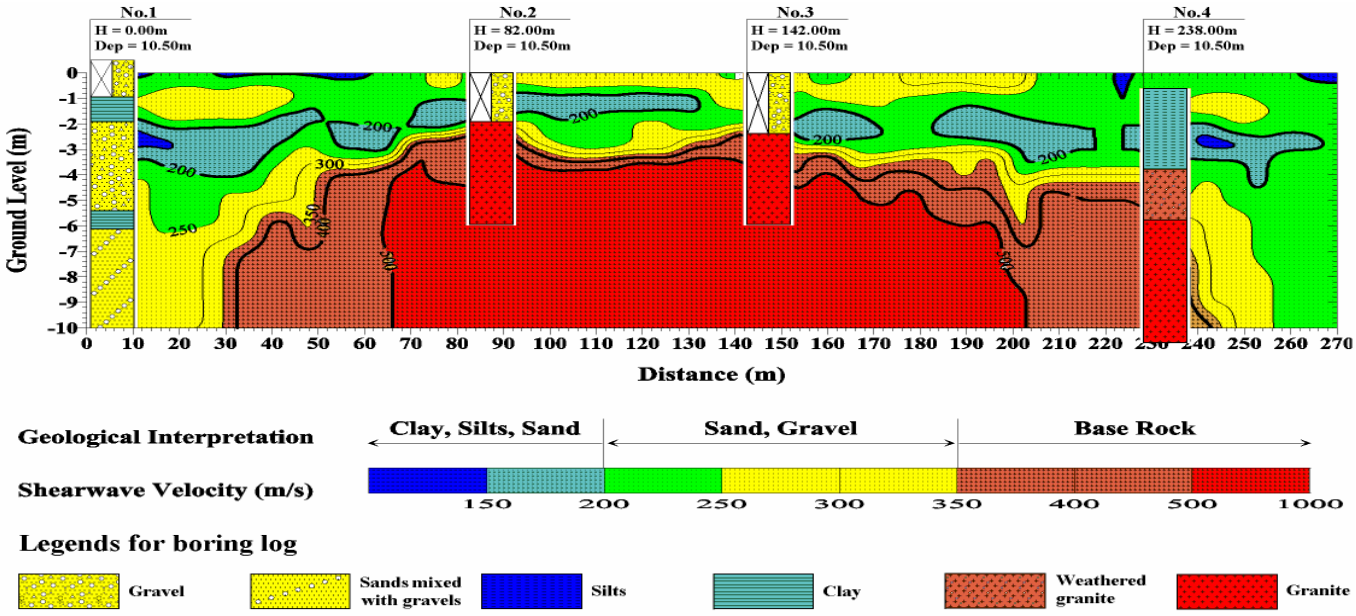
高密度電気探査

(2,000,000～3,000,000 円/km)

高密度電気探査は地下に電流を流す電流電極と地表の電位分布を検出する電位電極を利用して、地盤の電気的特性を反映するデータを大量に収録し，逆解析により地盤内の土質構造を 2 次元的に把握する探査手法です。

適 用 事 例

河道沿いの道路直下に分布する岩盤上面深度を探査した事例。S 波速度 250m/s 以下を示すシルト・砂・砂礫層と 400m/s 以上の高い S 波速度を示す基盤岩の分布域が明瞭に得られた。



【基盤岩上面の探査事例】

物理探査学会賞 受賞(H18)

表面波を利用した「微動アレイ探査」で物理探査学会賞を受賞しました。

1)馮少孔・杉山長志・山中浩明(2003)：微動アレイ探査における多地点同時逆解析，物理探査，56,1,1-11，2003

2)馮少孔・杉山長志・山中浩明：Effectiveness of multi-mode surface wave inversion in shallow engineering site investigations(マルチモードレイリー波位相速度インバージョン及び適用例)，物理探査，58,1,26-33，2005

問い合わせ先

創発と複合と協働(ECC)で拓くオンリーワン

中 央 開 発 株 式 会 社

http://www.ckcnet.co.jp

■技術サポート　ソリューション本部　探査・計測部　担当：鍛冶・杉山

〒332-0035　埼玉県川口市西青木3-4-2　Tel 048-250-1481　Fax 048-250-1482

NETIS登録：QS-070003-A
※根本特殊化学(株)、(株)ノレッジとの共同企画商品です。

高輝度蓄光ウォーターゲージ

～長残光性蛍光体ーN 夜光(ルミノーバ)™を用いた量水標～

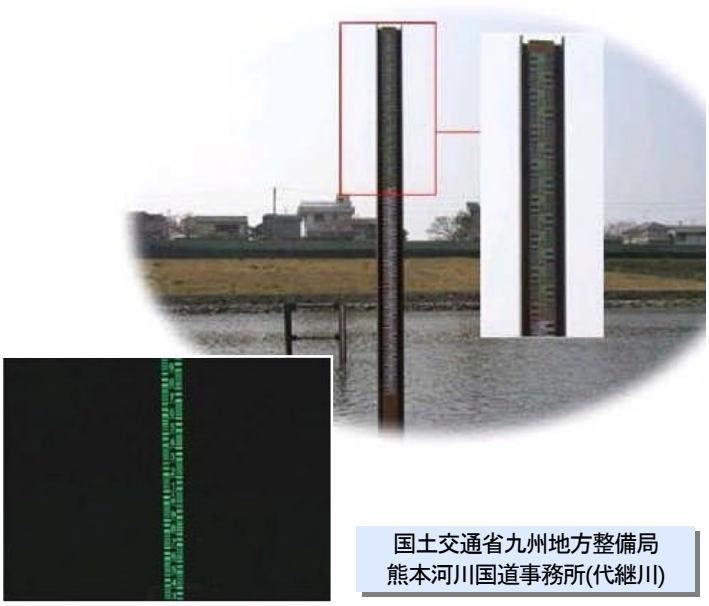
※N 夜光（ルミノーバ）は根本特殊化学株式会社の登録商標です

高輝度蓄光ウォーターゲージは、従来から使用されている反射型とは違い、紫外線を吸収することで光を蓄え、自ら発光することで量水標目盛の視認性を高めるものです。不測の事態でも補助光源を必要としない画期的な量水標です。

Q&A ～蓄光材について～

Question	Answer
蓄光とは？	自然光、照明の光などからのエネルギーを吸収し、暗闇において光を放出する特性のことです。ルミノーバの明るさは従来の蓄光の 10 倍の明るさです。
蓄光材の材料は？	科学的安定性に優れるアルミン酸ストロンチウムを母体に希土類を加えた化合物です。
発光について	発光ピークは 520nm のグリーン発光です。
蓄光に必要な時間	晴天で 3 分程度、曇りや雨の場合でも 30 分程度(両方とも屋外にて使用した場合)です。
蓄光材の耐久性	高温にて焼成されていますので、陶器と同じ性質を持ちます。そのため化学的に安定しており、その機能は半永久的です。
蓄光材の耐水性	JISZ9107(安全標識板)の 7.7 耐水試験方法に規定され方法に従い、試料を 20±5℃の水中に 24 時間浸した後取り出し、室温に 1 時間放置しましたが、変色、ひび、割れ、膨れ、はがれはありませんでした。 量水標のメモリは蓄光基板に印刷又は再帰性反射シートが圧着されていますので、アルミ基板自体が破損しない限り、性能は保たれます。
その他の活用法は？	建造物の避難誘導に活用できるのはもちろんのこと、山間部の電源のない箇所での急傾斜地崩壊危険区域標識、土石流危険渓流標識などへの活用も、その効果が期待できるものと考えています。

設置事例／標準価格



国土交通省九州地方整備局
熊本河川国道事務所(代継川)

量水標		タイプ	m^2	価格	m^2単価
①	120×1000	標準	0.12	39,400	328,333
	120×1000	コーティング	0.12	44,500	370,833
②	150×1000	標準	0.15	46,800	312,000
	150×1000	コーティング	0.15	52,600	350,667
③	200×1000	標準	0.20	63,800	319,000
	200×1000	コーティング	0.20	72,300	361,500
④	250×1000	標準	0.25	78,200	312,800
	250×1000	コーティング	0.25	87,600	350,400
⑤	300×1000	標準	0.30	94,400	314,667
	300×1000	コーティング	0.30	104,600	348,667
⑥	350×1000	標準	0.35	112,600	321,714
	350×1000	コーティング	0.35	121,900	348,286
⑦	400×1000	標準	0.40	128,600	321,500
	400×1000	コーティング	0.40	138,800	347,000
別注	500×1000	標準	0.50	199,800	399,600
	500×1000	コーティング	0.50	212,500	425,000

・標準タイプはコーティング無し、コーティングタイプはコーティング 1 回塗りの仕様です。
・上記は勾配無しタイプの価格です。勾配有りタイプは+7,000 円/m です。

問い合わせ先

創発と複合と協働(ECC)で拓くオンリーワン

中 央 開 発 株 式 会 社

http://www.ckcnet.co.jp

■技術サポート　プロジェクト本部　営業部　担当：西原・奥田

〒169-8612　東京都新宿区西早稲田3-13-5　Tel 03-3204-0561　Fax 03-3204-0475

特許出願中　：特願2009041040
商標登録　　：第4946492号
NETIS登録　：KT-060036-A

双方向遠隔自動監視システム

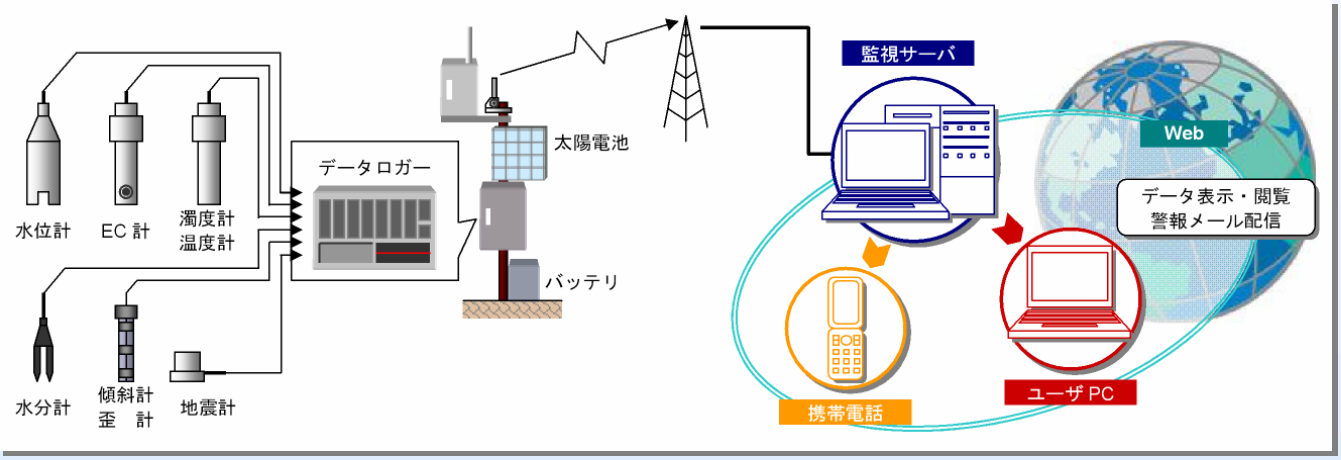
観測王

弊社が開発した「観測王」は、インターネットを介して各種の計測機器から自動的に伝送されるデータを配信するとともに、現地計測機器を遠隔地から制御することができるシステムです。
河川の水位や堤体内水位、堤防法面の変状計測、工事等の施工安全管理などに適用できます。
弊社は、監視対象にあわせた計測機器の選定、機器の配置計画の立案、現地の状況に応じた最適な通信制御方式の選定など、トータルでコンサルティング致します。

観測王の主な機能と特徴

観測王の特徴	導入効果
観測局と監視局の双方向通信 (観測局：データ配信、監視局：機器制御)	■観測の省力化・低コスト化を実現します。 ■現地立入作業を最小限に抑えます。
リアルタイムデータ配信と常時監視	■危険な変状の早期発見につながります。 ■自動メールによる警報発信が可能です。 ■機器異常の早期発見によって欠測期間を最小化します
Web ブラウザによるデータ閲覧	■専用端末(ソフト・ハード)は不要です。 ■PC・携帯電話があればいつでもどこでも閲覧できます。
様々な計測機器との接続実績	■既設計測機器を継続利用できます。 ■手動・半自動観測を自動観測に切り替えることも可能です。
自社サーバの保有と利用提供(有償)	■サーバ設置スペース、導入費用は不要です。 ■サーバの管理・メンテナンスも弊社が行います。

概要図



※計測機器について
上図に示す計測機器の他に雨量計、トータルステーション、Web カメラなどの接続実績がございます。
また、その他のセンサーにも対応致しますので、技術サポート窓口にご相談ください。

初期導入費用　　約 200,000 円～
システム利用料　月額 20,000 円
※現地作業は現地条件により異なるため、別途御見積致します。
※別途、通信回線費用が必要になります。

問い合わせ先

創発と複合と協働(ECC)で拓くオンリーワン
中 央 開 発 株 式 会 社
http://www.ckcnet.co.jp

■技術サポート　防災モニタリング事業部
〒169-8612　東京都新宿区西早稲田3-13-5
担当：山口・後藤・田邊
Tel 03-3208-5251　Fax 03-3208-3572

【河川施設に関する規程類】

●河川法　→
http://www.mlit.go.jp/river/hourei_tsutatsu/kasen/gaiyou/houritu/kasenhou.html

●水防法　→　law.e-gov.go.jp/htmldata/S24/S24HO193.html

●洪水等に関する防災情報体系の見直し実施要領
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/saigai/tisiki/disaster_info-system/

●危険水位の設定要領　→
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/saigai/suii/pdf/kiken_suii.pdf

●中小河川の特別警戒水位の設定要領　→
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/saigai/suii/pdf/tokubetsu_suii.pdf

●洪水予報河川における避難判断水位の設定要領　→
たとえば　http://www.pref.miyagi.jp/kasen/pdf/ko-yo-hi-setteiyou.pdf

●河川砂防基準（計画編，維持管理編）　→
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/index2.html

●河川堤防設計指針　→
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/gijyutukaihatu/pdf/teibou_sekkei.pdf

●河川堤防の構造検討の手引き　→　http://www.jice.or.jp/tosho/index.html

●河川堤防質的整備技術ガイドライン　→
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/05/050609/01.pdf

●河川堤防モニタリング技術ガイドライン　→
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/05/050609/02.pdf

●中小河川における堤防点検・対策の手引き（案）　→
http://www.jice.or.jp/siryo/t1/pdf/tebiki_01.pdf

●河川巡視規程例について（平成 23 年 5 月 11 日付事務連絡）　→
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/ijikanri/kasen/pdf/4-4-4-1_01.pdf

●堤防等河川管理施設及び河道の点検要領案について（平成 23 年 5 月 11 日付通知）　→
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/ijikanri/kasen/pdf/4-5-5-1_01.pdf

河川堤防新技術活用ガイドブック

平成 23 年 6 月　　初　版　発行

発　行　一般社団法人 リバーテクノ研究会
〒154-0001 東京都世田谷区池尻 2-33-16
TEL　03-3414-5091
FAX　03-3791-5454
http://www.rirt.org/

印　刷　株式会社ウインズ