

## 弾性波による堤防内部状況 探査技術の開発について

No. 133

国土交通省関東地方整備局関東技術事務所機械課長  
機械課整備係長

もちまる しゅういち  
持丸 修一  
もてき まさはる  
茂木 正晴

### 1. はじめに

台風、前線による集中豪雨等により河川氾濫が発生した場合には経済活動が停止し、都市に甚大な被害をもたらすことが想定され、それらの洪水被害を防ぐうえで河川堤防は重要な構造物となる。

このことは、平成12年9月11日から12日にかけての東海地方の記録的な集中豪雨でも明らかで、東海豪雨による家屋や事業所などの被害額（建設省記者発表試算値）は愛知県を中心に約8,500億円に達し、都市域における災害の甚大さは記憶に新しいところである。このようなことから、近代都市が堤防によって守られている現状がクローズアップされ、堤防の重要性の認識が高まっている。

また、過去の洪水被害の大多数は、破堤氾濫によるものであり、それらは異常降雨時の越流破堤や堤防の弱点部が破堤に至ったものであると考えられ、堤防の弱点部は堤防内部に内在する内部の亀裂や樋門・樋管下に発生した水道、堤防を構成する土質のゆるみ等が原因と考えられ、外部からの目視による判定は困難であることから非破壊による堤防の内部状況調査が必要とされる。

そこで、堤防について質の高い維持管理を行うことを目的に堤防内部状況を非破壊（弾性波）で探査確認できる技術開発を行ったので紹介する。

### 2. 探査方法の選定

堤防内部および樋門樋管下の探査に有効となる手法としては、堤防のように深度が深く、樋門・樋管に鉄筋を有している条件下では、表1に示すように弾性波探査が有効であると判断した。

### 3. 探査方法

弾性波を利用した探査方法の具体的な手法としては、堤防の天端より探査する手法と樋門・樋管の底版コンクリート部より探査する手法の2とおりとした。

#### (1) 堤防内探査

堤防内部の状態として亀裂や空洞等の探査法としては、図1のイメージ図に示すような手法によるものとし、比較的深い深度を対象とする際に地質探査と同様に波の速度の遅い横波（S波）を利用したS波浅層反射法を採用した。

#### (2) 樋門・樋管下探査

樋門・樋管下の空洞、水洞等の探査方法として

表 1 探査手法の比較

探査方法	原理・特長	有効性
電磁レーダ探査	地中に放射された電波が誘電率の異なる境界で反射することを利用したレーダ探査である 金属を有する鉄筋コンクリートを介する探査は困難 水を有する水洞は探査不可 探査深度が2m程度である	堤防の浅い位置や護岸ブロック下であれば適用できる
高密度電気探査	大地に直接電流を流して測定された電流および電位差を逆解析することによって堤防断面の面的な比抵抗分布を求め、地盤の状態を推定する探査である アスファルト・コンクリートには適用不可 高電圧線、鋼矢板等の近隣および環境条件（雨天時）での測定は困難 空洞・水洞の特定が困難	堤防のみであれば適用できる
弾性波探査	弾性体（地面）に波（波動）を発生させ、異なる境界での波の反射を利用した探査である 地質・資源探査の分野では多くの実績がある 水・空洞の探査が可能 地質の状況を確認することが可能（新堤旧堤の境界判定が可能） 資源探査の分野では探査方法として確立している 探査深度が15m程度である	

図 1 堤防探査

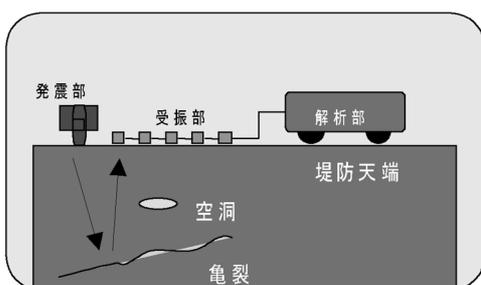
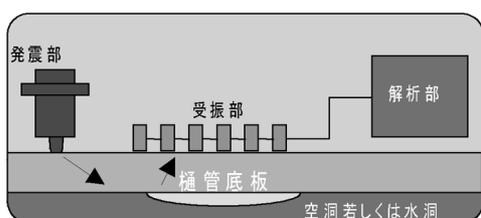


図 2 樋門・樋管下探査



は、図 2 のイメージ図に示すように、コンクリートのように波の速度の速い対象物や水中での伝搬も可能な縦波（P 波）を利用した P 波浅層反射法を採用した。

#### 4. 目標値の設定

堤防および樋門・樋管下の探査技術を開発するうえでの目標値を以下のように定めた。

探査対象：堤防内部状況，樋門・樋管下  
 探査深度：10m程度

対象形状：50cm 以上の空洞・水洞

#### 5.

#### 机上シミュレーションによる弾性波探査の有用性についての検証

コンピュータシミュレーションにより、堤体内に空洞を想定し検討を行い、以下のような結果が得られた。

- ① 直径30cm 程度の空洞を探査するためには、発震源の周波数として少なくとも100～200Hzの周波数が必要であることが分かった。
- ② 空洞からの回折波の振幅は地層境界からの反射波の振幅に比べて非常に小さいため、発震点のエネルギーの増強が必要である。
- ③ 反射する波の重合数を確保するために、現場の作業方法を考慮した、最適な発震、受振パターンを選択する必要がある。
- ④ 三次元データ処理の手法としては、タイムスライスを用いた表示方法が空洞の回折パターンを平面的に捉えることができ、非常に有効であることが分かった。

#### 6.

#### 検証実験

- (1) 関東技術事務所試験盛土での試験探査  
 関東技術事務所構内において、試験盛土に図

図 3 擬似空洞

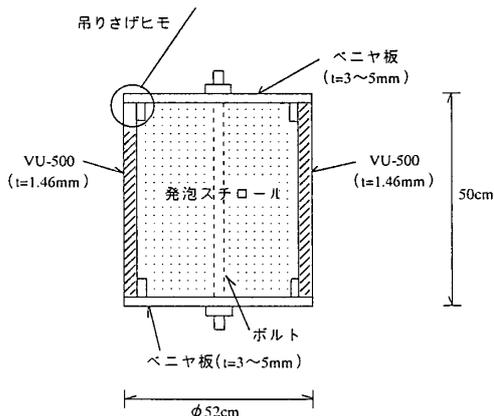
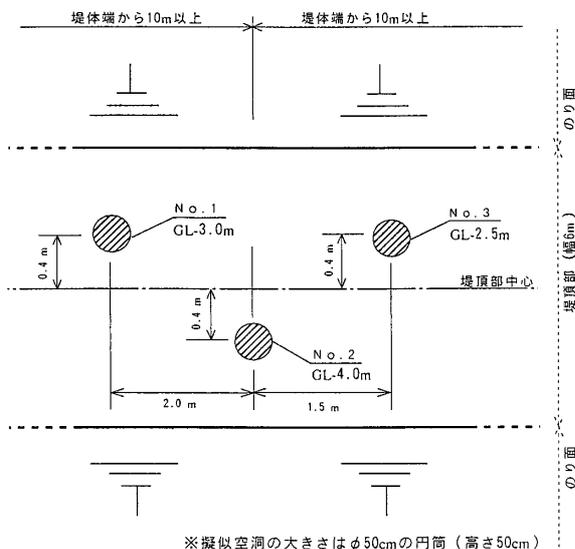


図 4 試験盛土



※擬似空洞の大きさはφ50cmの円筒（高さ50cm）

3に示すような擬似空洞を図4に示す位置に埋込を行った。

弾性波の受振発震については、写真1に示すような板叩き法によって弾性波を発生させ、写真2に示すような受振器によって反射波を受振しデータロガーに記録した。その結果、図5に示すような結果が得られた。

埋め込まれた空洞の位置をおおむね探査できることが分かった。また、擬似空洞以外に空洞らしき波形が現れているものは、締固不足による土質状況の不均一によるものと思われる。

### (2) 実現場での堤防内探査

実際の堤防内探査については、図6に示すようなランドストリーマー探査手法により実施した。

なお、ランドストリーマー探査は、資源探査の分野ではすでに一般的な非破壊探査手法として普

写真 1 板叩き法



写真 2 受振器

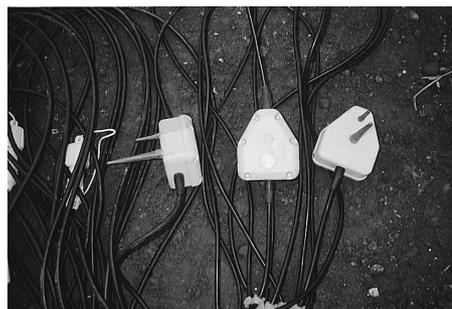


図 5 探査結果

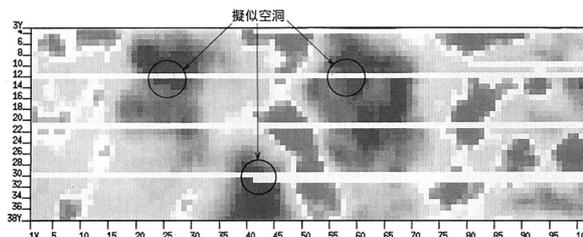
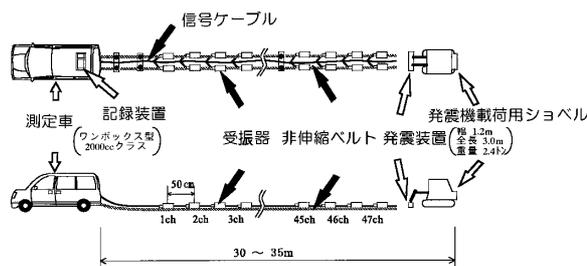


図 6 ランドストリーマー探査手法



及している技術である。

探査の結果、図7に示すような波形が得られた。波形からも分かるように樋管の位置確認や新堤と旧堤の境界を確認することができた。

また、樋管を堤防に布設する際に掘削した痕跡を捉えることができた。

なお、探査終了後に現場において探査箇所の開削を行い、弾性波探査結果とほぼ同様な断面状況であることが確認できた。

### (3) 実現場での樋管下探査

図 7 弾性波による堤防内部状況

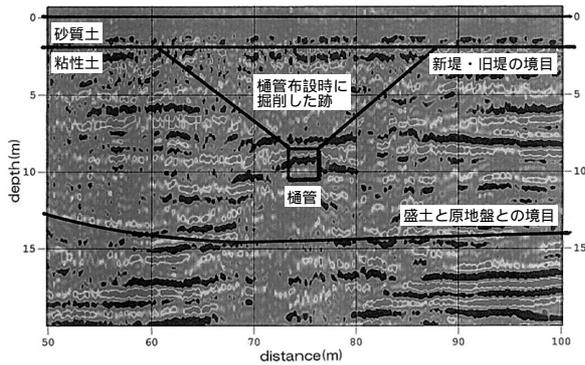


写真 3 探査状況および受振器設置状況



図 8 弾性波による樋管下内部状況

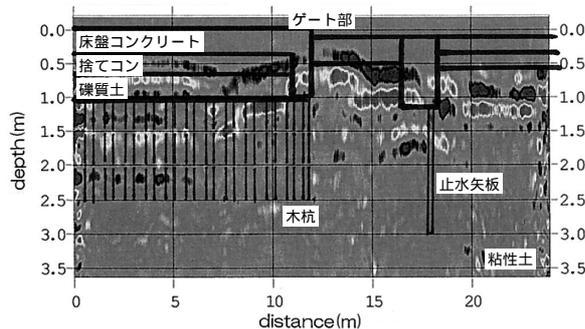
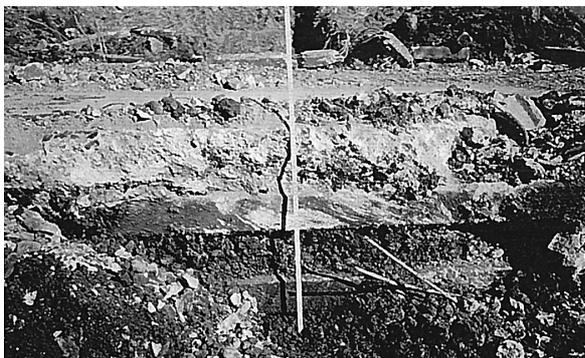


写真 4 開削断面状況



樋門・樋管下の探査については、写真 3 に示す受振器を樋管底部に配置し、ハンマによる発震により、内部状況の探査を行った。

探査結果は、図 8 に示す波形を得ることができ、解析された波形と地質データおよび開削デー

タを比較すると、弾性波探査によって構造物底部の状況を確認することが可能であることが分かる。

なお、今回の開削現場での状況確認としては、写真 4 に示すように樋管下の空洞は見られなかった。

## 7. まとめ

### (1) 堤防内部状況

堤防内部状況については、新堤旧堤の境界、過去の堤防開削埋戻しの痕跡を今回の弾性波探査によって確認することができた。

今回開発した弾性波による堤防探査は、堤防表層部（小動物による穴）、護岸下に見られる空洞・水洞や新堤旧堤の境界、堤防開削埋戻しによる締固め不足や土質性状の違いなどによる堤防の亀裂、水道の発見に有効な手法と考えられる。

### (2) 樋門・樋管下

樋門・樋管のようなコンクリート構造物直下に存在する空洞および水洞の探査を目的とした弾性波探査を実施した結果、樋門・樋管下の状況を確認することができた。

## 8. おわりに

現在、堤防探査手法については、現場での適用性を考慮した機器構成、受振器数および配置に関するシミュレーションおよび実現場での試験探査および解析を実施している。また、樋管下探査について精度の向上を目的に受振記録間隔をより狭いものに改良した機器によるシミュレーション、実現場での試験探査および解析を実施しており、とりまとめ整理中である。現場での探査費用は、電磁レーダ探査とほぼ同等である。

今後は、堤防内部状況および樋門・樋管下の空洞・水洞の探査に弾性波による探査手法を現場活用し、データベース化を図るとともにさらなる探査データの精度向上、探査機の適用性の向上を進める予定である。