

# その先へ進む東北、支える港

## III 港湾物流の復活から拡大へ

被災各港の貨物は、港湾の復旧、港湾関連企業の操業再開に伴い回復しつつあります。東北の輸出入や自動車の輸送の拠点である仙台塩釜港仙台港区では、施設・企業の復旧と震災後の自動車製造業の強化により、取扱いが復活し更に完成自動車と関連企業の部品等を中心とした貨物の拡大が見込まれています。



## III LNG(シェールガス)の受入基地が相馬港に平成30年完成

LNGは、北極海のLNG基地開発や北極海経由での輸送の開始、北米を中心としたシェールガスの生産拡大により、2010年の4億m<sup>3</sup>に対し2020年には1.6倍の生産が予測されており世界的な獲得競争が激化しています。

相馬港では、民間会社により東日本地域のLNG供給能力を増強するため、超大型LNG船に対応した栈橋や大型貯槽タンク等の受入基地、パイプラインの整備が計画され平成26年度より着工する予定です。東北地方整備局では、21万m<sup>3</sup>積みの超大型LNG船の入港に合わせて、航路・泊地を水深-14mまで掘り下げることとしています。

### 世界のLNG積出基地

(出展：天然ガス燃料船の普及促進に向けた総合対策検討委員会資料より)

### 相馬LNG 受入基地完成イメージ

(出展：石油資源開発(株)発表資料より)

# その先へ進む東北、支える港

## III 石炭の国際戦略を担う人工島を小名浜港に整備

小名浜港では、背後圏の石炭需要に対応した整備を行ってきましたが、平成23年度には全国的な石炭取り扱い港としての有用性から、東日本地域全体を対象にした国際バルク戦略港湾に選定されました。

これは、一括大量輸送を可能とする175,000DWTの超大型船型にも対応する-18mの大水深岸壁を備える人工島と、人工島を結ぶ橋梁等で構成される国際物流ターミナルにより年間860万トンの石炭を取扱う拠点を中心整備します。物流コスト削減によって産業の国際競争力強化を図るもので、平成30年度完成を目標に整備を進めています。



小名浜港東港（人工島）の完成予想図



人工島と繋ぐ「PCエクストラードスト橋」完成予想図

### ➡ 低炭素化へ向けた港湾での取り組み

復旧事業とともに、将来を見据えて港湾での二酸化炭素削減の取り組みを始めました。この取り組みにより全国の港湾では、年間17,000tの二酸化炭素の削減が図られる予定です。東北の港湾では、次の2つの取り組みが行われています。

#### 〈ハイブリット型ストラドルキャリア〉

コンテナの巻き下げ時と車両の減速時に発生するエネルギーを蓄電します。従来の車両に比べて3割の二酸化炭素削減が見込まれています。

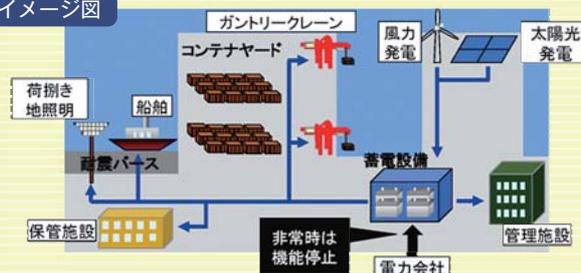
仙台塩釜港の仙台港区で、供用されています。



#### 〈風力・太陽光発電システム〉

風力・太陽光発電で得た電力を蓄電して施設で使用したり災害時の非常電源として使用します。東北管内では、酒田港の民間建屋で太陽光の電力を使用するシステムを導入します。

#### イメージ図



# より強い防波堤への挑戦

## III 津波で転倒した防波堤。だが…

津波は防波堤等の破壊をもたらした。しかし残った防波堤があった。



八戸港防波堤の被災状況



釜石港湾口防波堤の被災状況

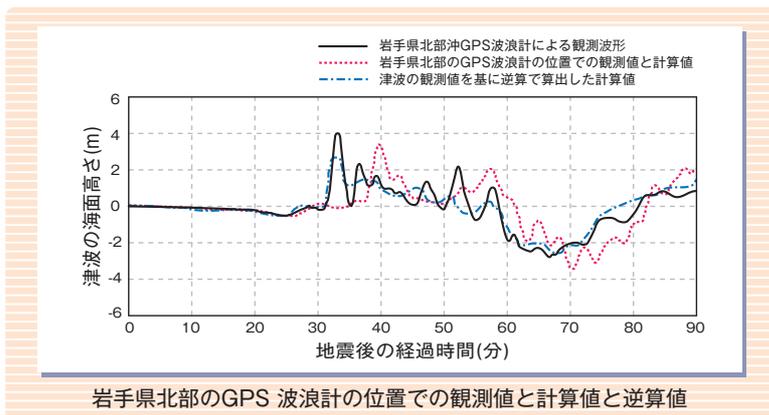
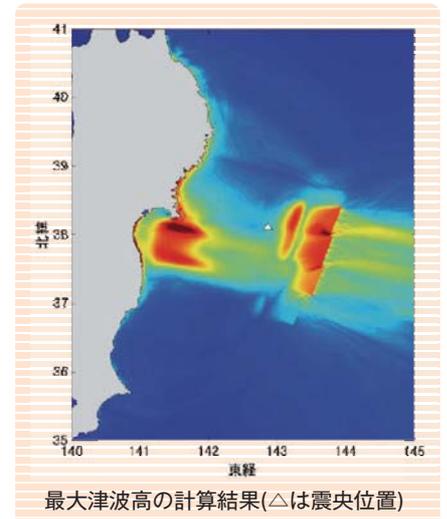
## III 原因を解明して、より強い復旧を！

防波堤の破壊が少なければ、津波からの防護効果がもう少し発揮できたはずだ。災害後も船の荷役が確実にできたはずだ。防波堤はより強い構造での復旧を目指した。

## III 津波の波形を探れ

どのように防波堤が壊れたかは、襲ってきた津波波形の再現が必要。震源からのシミュレーションは、現実との較正が無ければ机上の空論。陸上の浸水高は測定した。海面の津波波形、それを示したのはGPS波浪計の観測値だった。これで防波堤を襲った津波波形を手に入れた。

2波目の津波で破壊した防波堤もあり、津波の水位変化が重要と考えた。一般的な津波の計算は、断層毎のずれた時刻を仮定して計算する。このため、下図のように計算値（赤）とGPS波浪計の観測値（黒）とでは、全体的に合っていない。津波の波形をうまく表現できない。



防波堤を襲った津波を精度よく再現するために、観測された波形に合うよう断層のずれを逆算する計算が港湾空港技術研究所によって行われた。逆算値（青）では津波の立ち上がり時刻が一致して表現された。更に、ピークの高さに合わせ地盤変動量を少し大きくすると観測値とほぼ一致した。この波形によって精度の良い原因究明が可能となった。

# より強い防波堤への挑戦

## III 解明への力

津波と防波堤の現象を解き明かすために、委員会において模型で再現して原因を解明することとした。模型実験の流速、重さ、粘性の係数を設定することで、実際の力や流速等を解明することができる。

実際の被災から想定した幾つかの被災原因を模型実験で確かめ、主要因を抽出し、対策についても効果の程度を模型実験で確認してまとめた。右の写真は、世界最大級の最大2.5mの津波を再現できる港湾空港技術研究所所有の大規模波動地盤総合水路である。地盤と合わせて大きな模型が使えることで構造物の破壊過程の再現が可能となった。



## III 解明そして対策へ

原因究明と対策確立のため行った模型実験は、① 平面模型で行った主要因の選定 ② 1/20の大型の断面模型での洗掘現象の追求 ③ 対策工法の検討の実験に分けられ、行った模型実験は251 ケース\*1)にもものぼった。

\*1) 仙台港湾空港技術調査事務所調べ

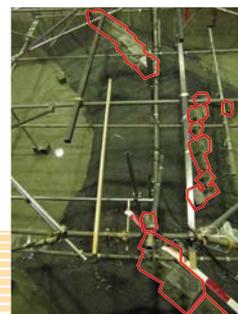
### 被災要因の 選択・抽出



洗掘による防波堤倒壊再現



津波の力に関連しての摩擦測定



防波堤の開口部の倒壊再現

□部は防波堤

### 越流洗掘現象 の追求



防波堤越流状態の再現



越流後のマウンド変形と倒壊

### 対策工法の 検討



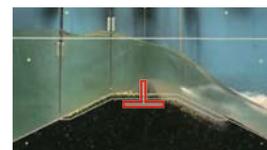
越流(パラペットなし)



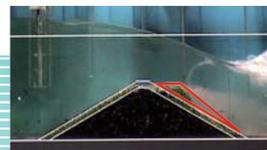
越流対策(パラペットあり)



越流対策(腹付け工)



開口部の対策(逆T字ブロック)



開口部の対策(ネット)

□部は対策工

# より強い防波堤への挑戦

## III 防波堤で完全に津波から守ることはできない。

…しかし、出来ることはある。

防波堤は破壊されながらも、津波の被害を軽減できた。東日本大震災クラスの津波から完全に守る防波堤の整備は難しい。そこで、津波で変形しながらも、機能が大きく低下しない「粘り強い」構造が生まれた。それは新たな技術となった。

### 1. 越流洗掘対策



越流した津波は、ケーソンを支える基礎マウンドへ滝のように落下。石積みの基礎マウンドは流失し、支えを失ったケーソンは転倒。

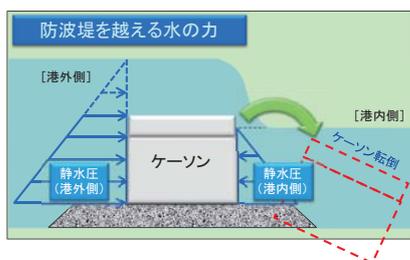
**【対策①流れを変える】**  
 ○ケーソンの上部形状を**パラペット型**に変容する。  
 ○これにより、防波堤を乗り越えた水流は、基礎マウンドを直接叩くことなく、**その先へ着地**するようになる。  
 ○このため、基礎マウンドの**洗掘を防**ぐことができる。

**【対策②マウンドを覆う】**  
 ○基礎マウンドをコンクリートブロックで覆う。  
 ○これにより、**滝のように叩く**水流から**基礎マウンドを守る**ことができる。  
 ○コンクリートブロックは**お互いを連結**することにより更に耐久性が増大する。

**対策①流れを変える**

**対策②マウンドを覆う**

### 2. 津波波力対策



ケーソンを飲み込む津波では、従来の考えより大きな力が作用してケーソンは滑動し転倒。

**【対策③重くする】**  
 ○ケーソンの幅を広げて重くする。

**【対策④抵抗力を増す】**  
 ○ケーソン下面に摩擦増大マットを敷く。

**【対策⑤背後に盛る】**  
 ○石材や補強ブロックで基礎マウンドを覆う。

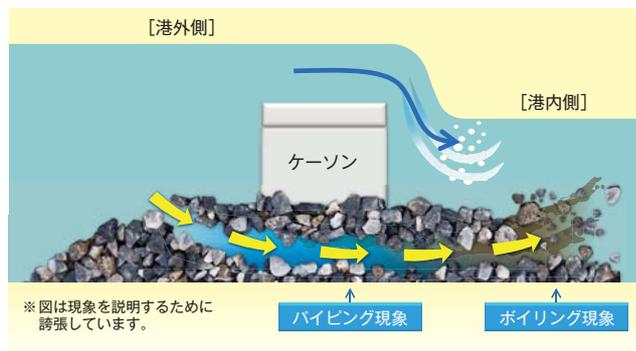
**対策③重くする**

**対策④抵抗を増す**

**対策⑤背後に盛る**

### 3. 今後の課題

津波による防波堤破壊の原因が全て解明されたわけではない。主な要因ではないと考えられているが、津波によるマウンドの支持力低下の懸念もいわれている。この一要因として津波時の基礎石マウンドのパイピング等の影響についての解明が研究者により続けられている。



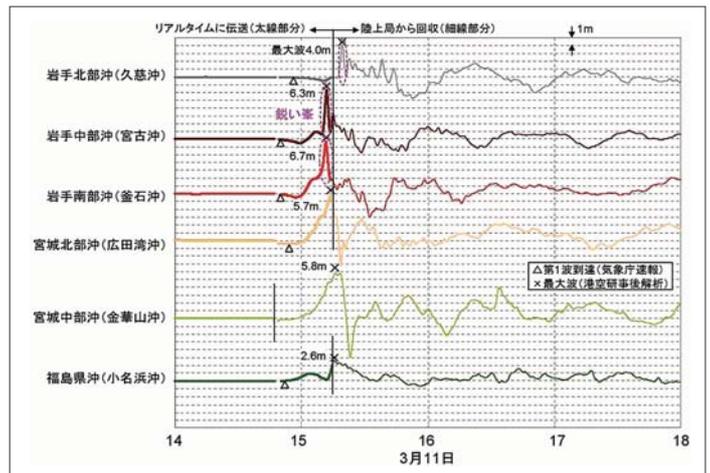
# 沖合津波情報の確実な伝達

## III GPS波浪計で津波を捕らえる

東北地方整備局では沿岸から約20km離れた沖合に10機のGPS波浪計を配置しています。GPS波浪計とは、概ね直径6m、水面上8m、53t（気中）程度の大きさのブイにGPS測位装置を取り付けたもので、海面の上下動から波浪を観測していますが、津波の観測も可能です。東日本大震災ではGPS波浪計での観測値が、気象庁発表の「津波警報」の切り換えにも活用されました。



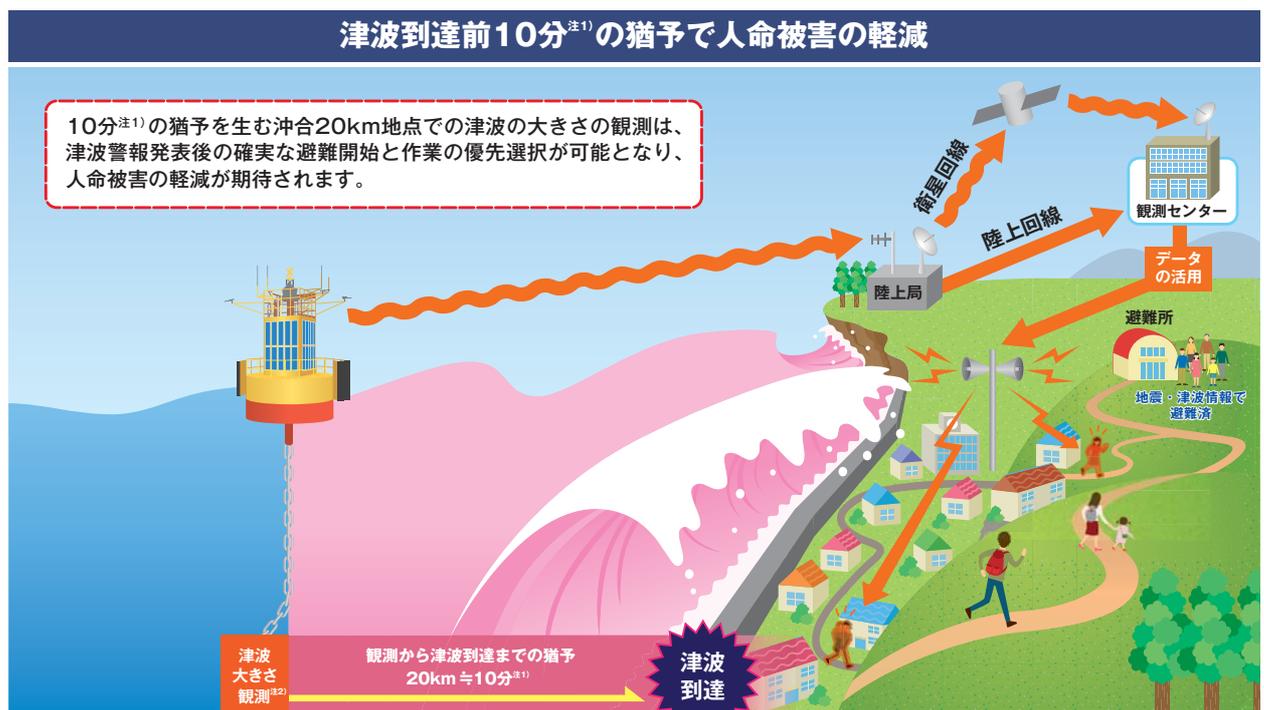
沖合に設置しているGPS波浪計（点検中）



東日本大震災での沖合の津波の観測波形

## III 捕らえた津波を確実に伝達

東日本大震災では、GPS波浪計の観測データが陸上部の通信回線の断線・陸上局の電源喪失により、送信途中で途絶してしまいました。このため、衛星回線を利用したデータ伝送機能の追加や、3日間まで対応できる陸上局の非常電源容量の変更を行いました。



注1) 一事例です。 注2) 沖合で観測された津波は、沿岸部では3~5倍以上の津波高となります

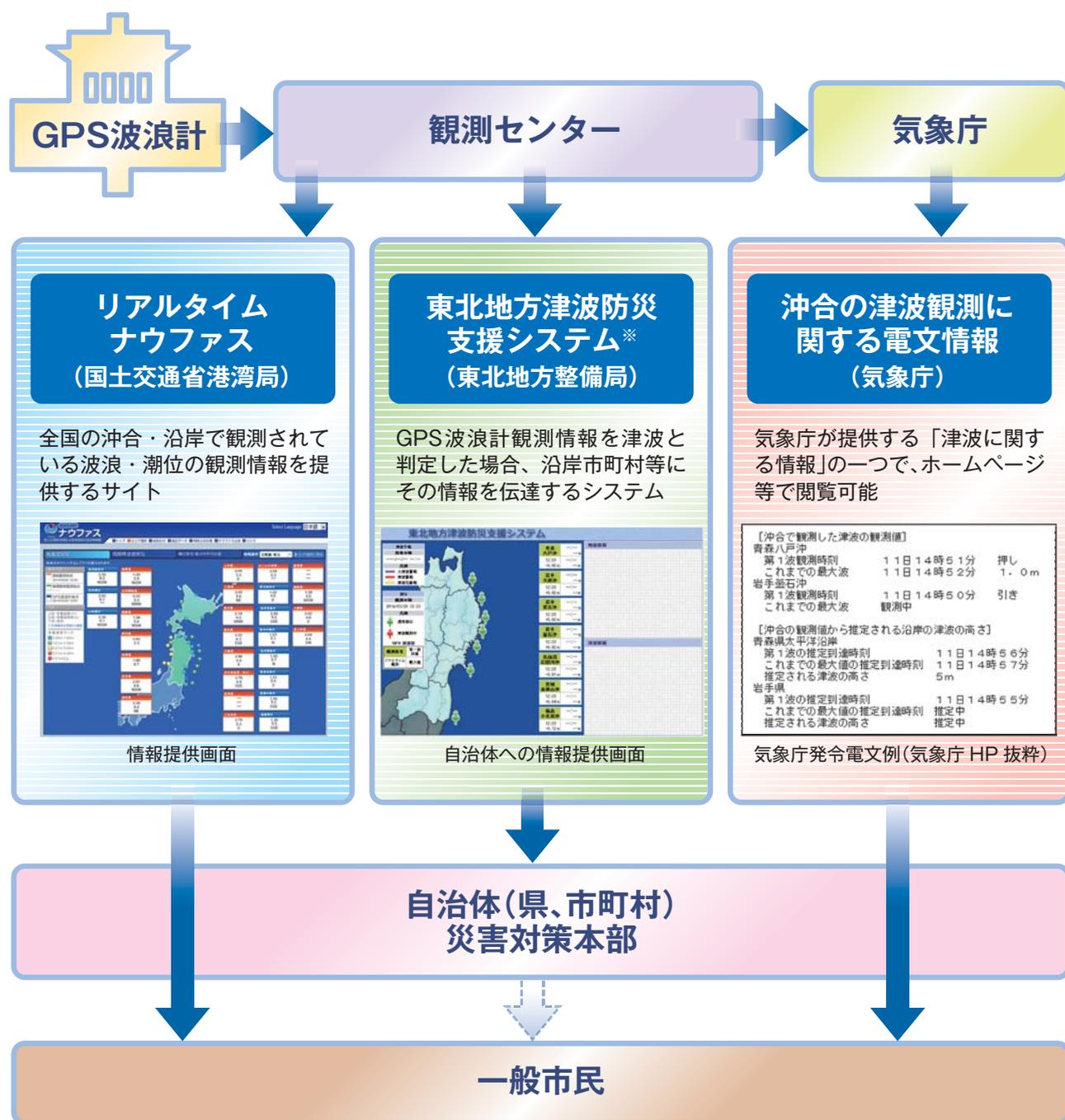
# 沖合津波情報の確実な伝達

## III 津波避難につなげる

地震が発生した場合、津波の発生が懸念されます。沿岸部にいて地震に遭ったら、まず真っ先に高台へ避難してください。

沖合での津波変動は、GPS波浪計によって沿岸部に到達する約10～10数分前に観測することが可能で、気象庁や、防災活動への活用を目的に自治体の災害対策本部へ配信されています。

### 津波災害発生時の GPS 波浪計観測情報活用フロー



※東北地方津波防災支援システムは、沿岸部の市町村災害対策本部のみ閲覧可

# 迅速な海中踏査 ～迅速な復旧へ繋ぐ～

## III 津波による海中の爪痕を、いち早く知る。

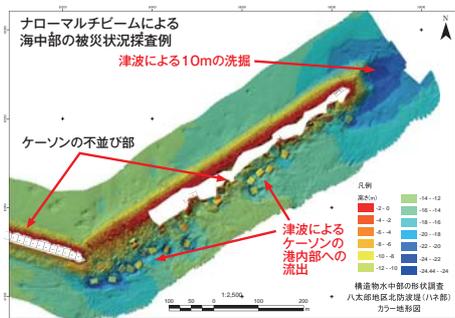
港湾の整備に使用する港湾業務艇があります。この艇にナローマルチビーム測深機、ROV(Remortry Operated Vehicle)の最新機材を積み、発災後の迅速な調査への対応が可能となりました。



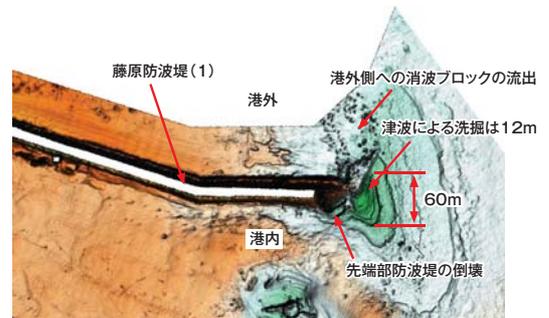
### 広い海底の状況を一気に知る

ナローマルチビーム測深機は、超音波で広い海底面を 50cm ピッチの詳細さで、一気に測定・表現出来る装置です。データは 3 次元の位置情報を持つので、鯨瞰図等立体表示できます。東日本大震災時でのナローマルチビーム測深機による活用事例を紹介します。

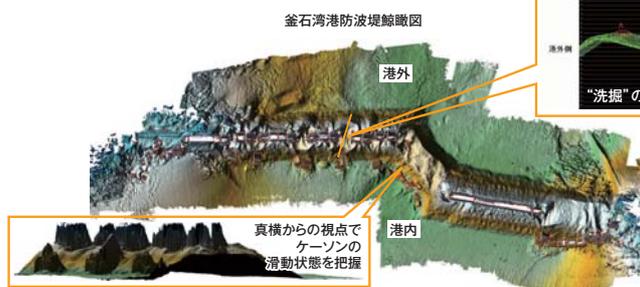
#### 1. 八戸港北防波堤飛散状況



#### 2. 宮古港藤原防波堤(I)での先端洗掘測定



#### 3. 立体視で被災状況を追求



釜石港北防波堤転倒状況

### 海の中をカメラで見る

移動式水中ビデオカメラ ROV は、防波堤の破損状況や岸壁直下の洗掘状況など、必要な個所を鮮明なビデオ画像で観ることができます。

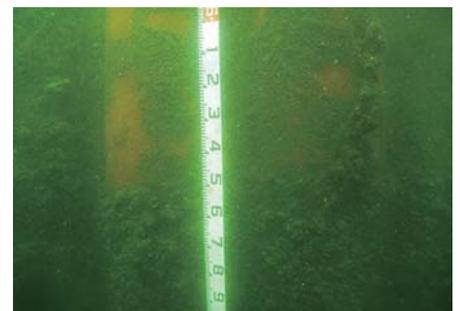
所有の ROV は、重量が 11kg と軽く人力で海面まで降ろせます。小型でも水深 200m までの調査が可能です。



ROV 本体



操作状況



探査事例(矢板岸壁の目地確認)