

港湾における地震・津波に対する取り組みについて

国土交通省港湾局海岸・防災課

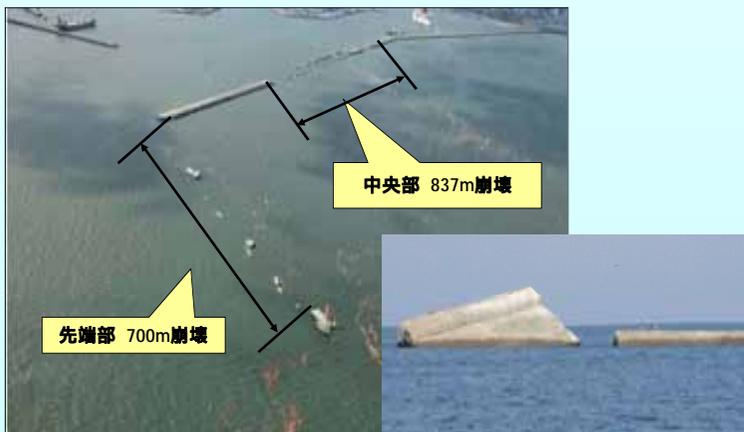
津波による被害は、東北地方から北関東に至る太平洋沿岸の広範囲で甚大であり、第一線防波堤の全壊や半壊、防潮堤の倒壊、ガレキ・コンテナ等による被害、荷役機械の損傷等がみられた。

第一線防波堤の被災

釜石港 湾口防波堤



八戸港 八戸港 八太郎地区 北防波堤



防潮堤の被災

大船渡港 茶屋前地区 防潮堤



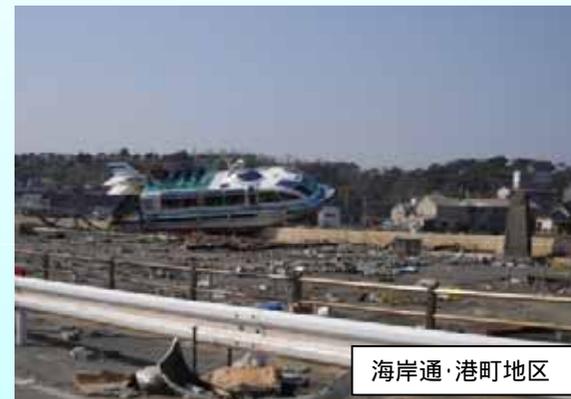
荷役機械の被災

仙台塩釜港(仙台港区)



漂流物による被災

仙台塩釜港(塩釜港区)



コンテナの散乱

仙台塩釜港(仙台港区)



地震動、液状化による被害は、仙台湾より南部に位置する港湾で顕著であり、地震動により係留施設や護岸が被災したほか、液状化により岸壁背後のエプロンや荷さばき地が沈下し、荷役に支障が生じるなど被害がみられた。

地震動による岸壁等の被災

相馬港

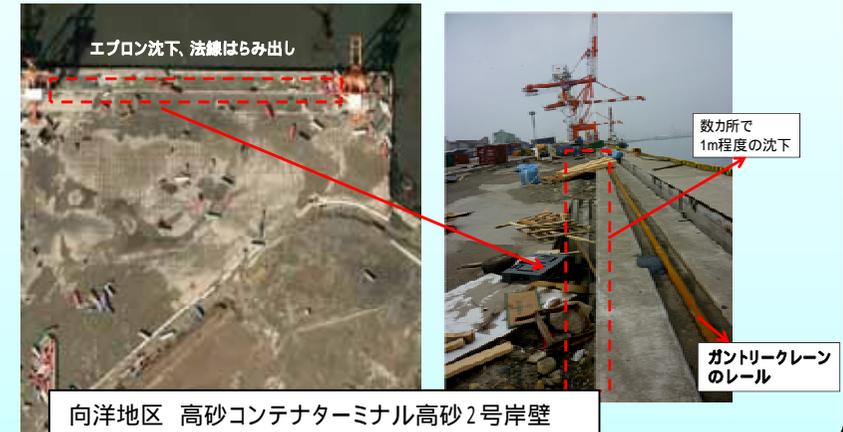


小名浜港



地震動・液状化による荷役機械の被災

仙台塩釜港 仙台港区

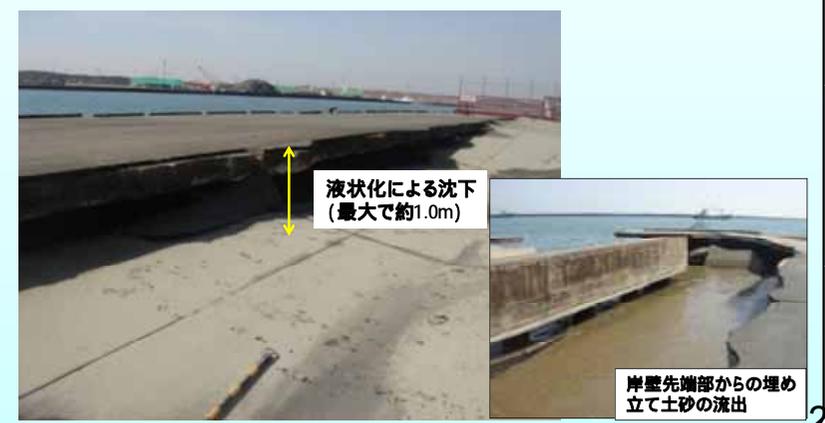


液状化によるエプロン・臨港道路・岸壁の被災

茨城港 常陸那珂港区



茨城港 日立港区

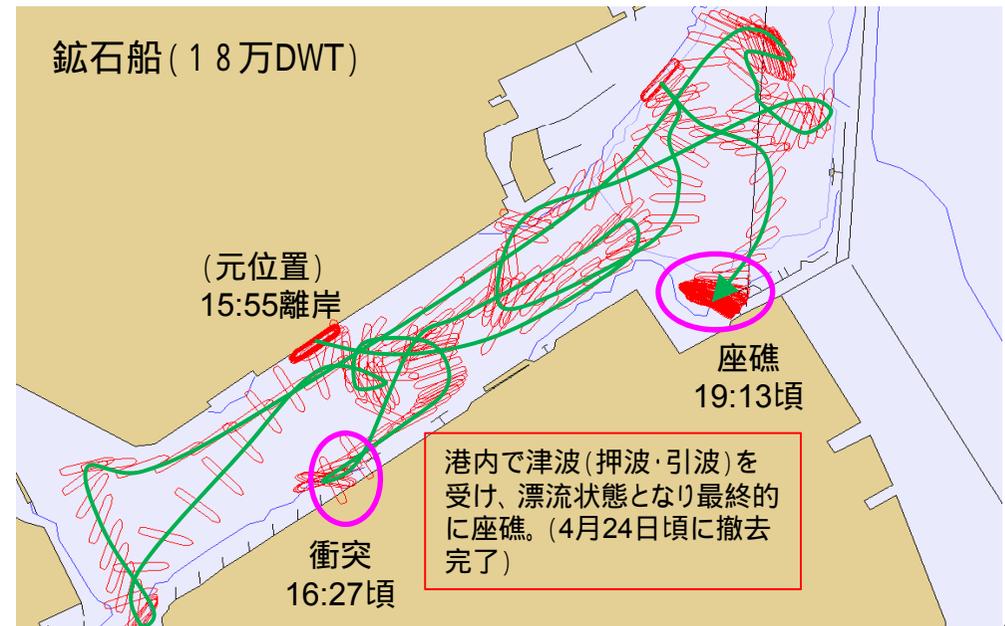
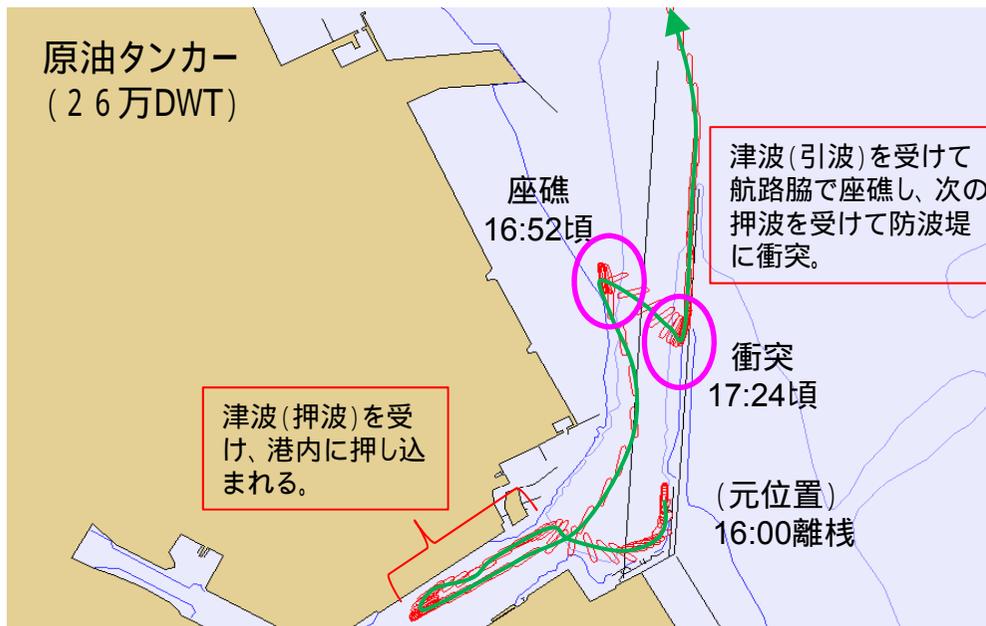
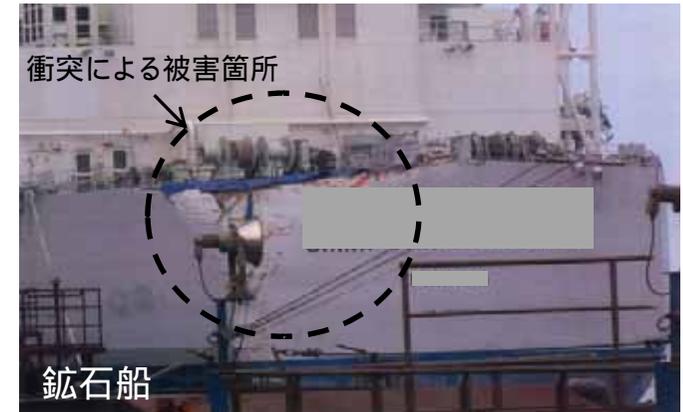


鹿島港における被害(地震・津波・船舶漂流等の複合災害)



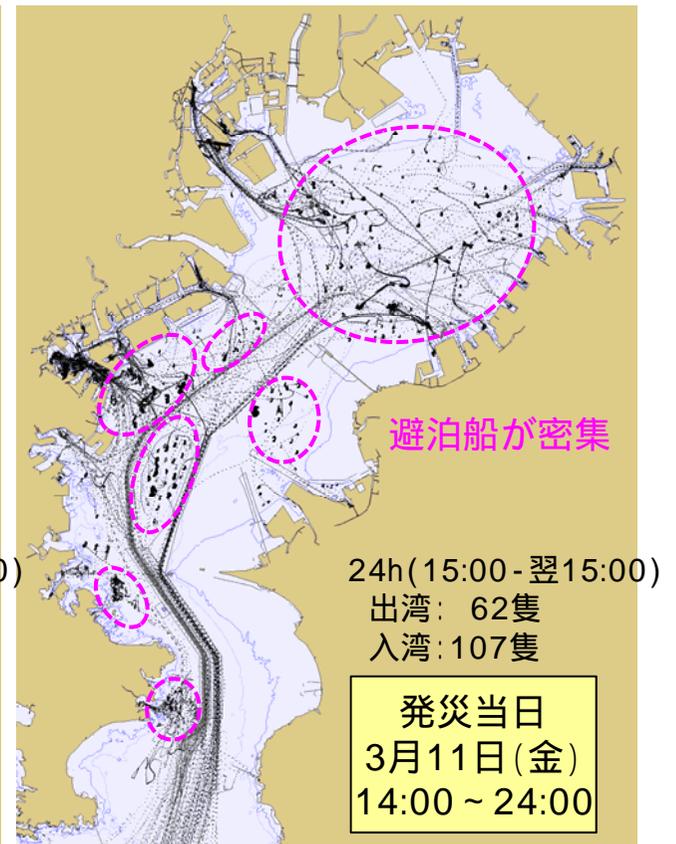
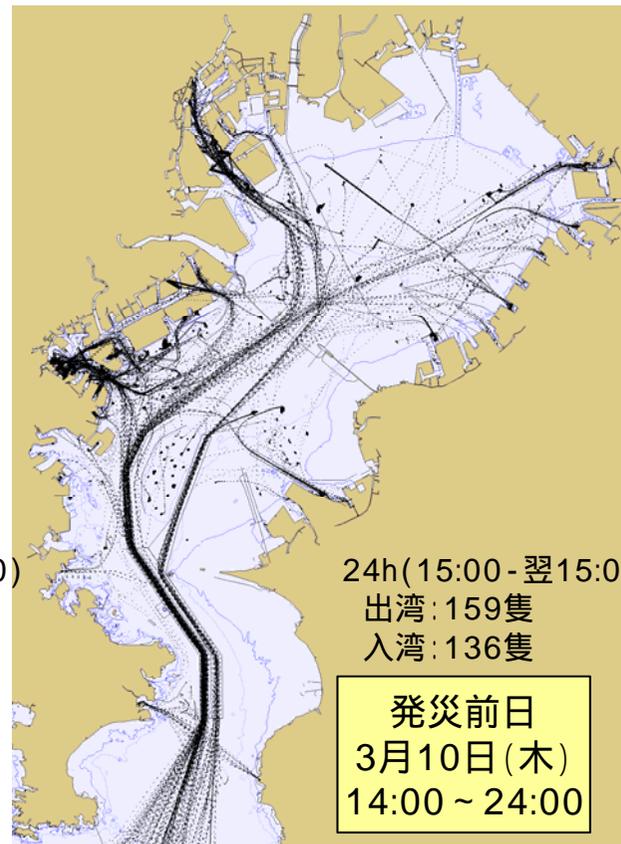
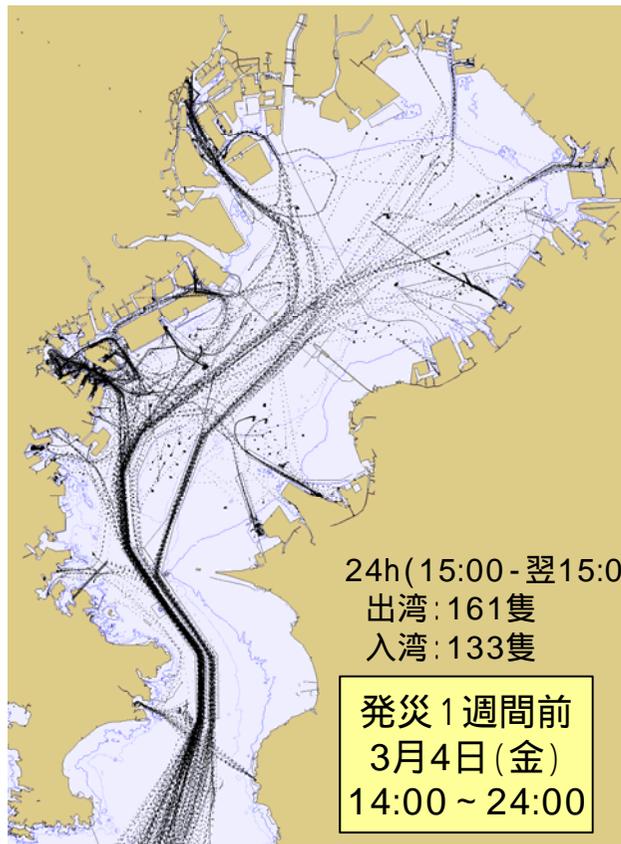
< 津波来襲時の船舶の動静分析概要 >

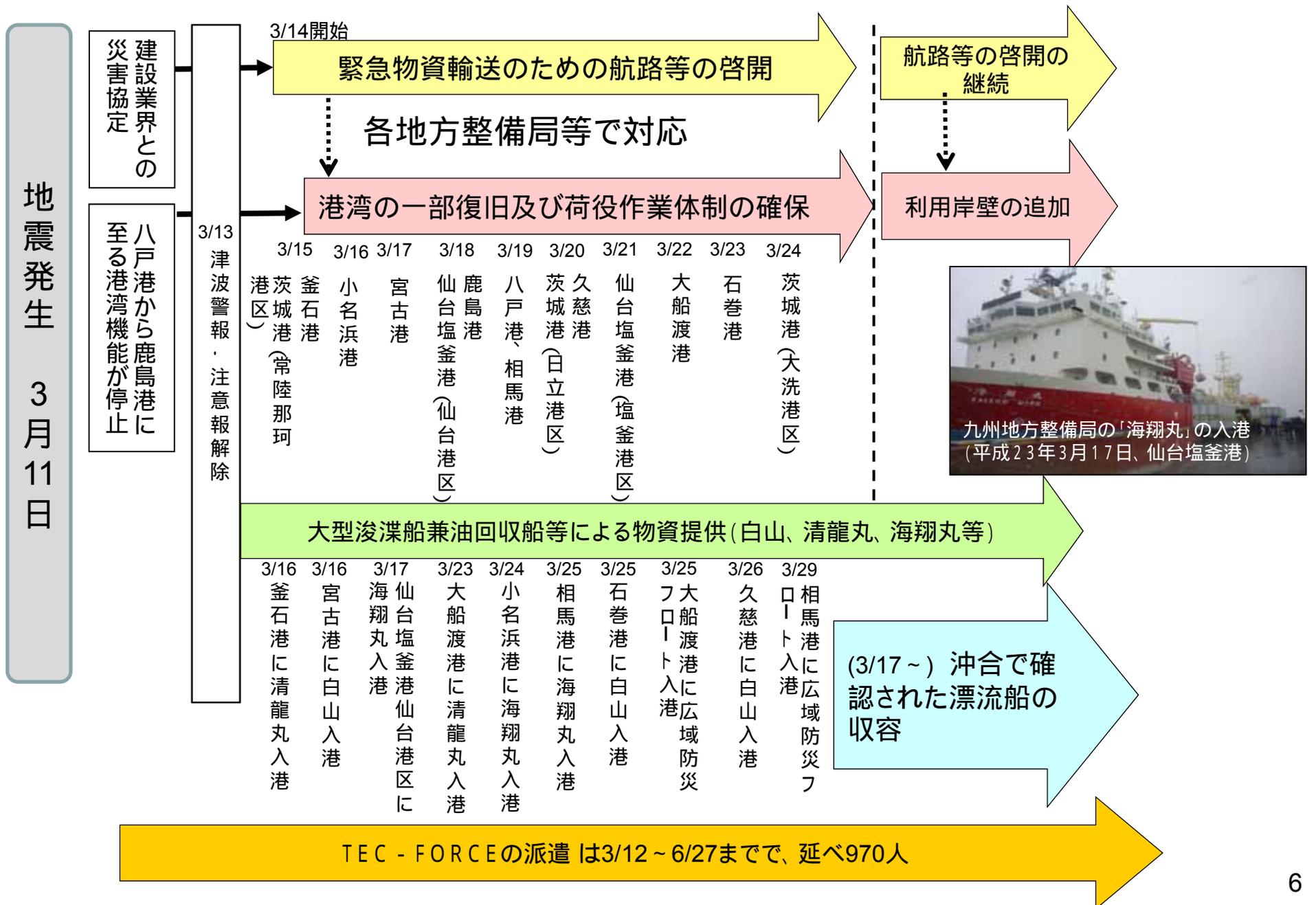
- 14:46 地震発生
- 14:49 気象庁より「大津波警報」
- 15:15 港長より避難勧告発令
- 鹿島港において、AIS (船舶自動識別装置) により、船舶の動きを再現。
(験潮器は津波で流出。)
- AISを搭載する在港船舶は、原油タンカー (26万DWT)、鉱石船 (18万DWT) 等、計38隻確認。
- 地震発生を受けて、緊急離岸するも、津波を受けた在港船は、港内において漂流・衝突・座礁するなど、非常に危険な状況であった。



< 発災当日の船舶の動静分析概要 >

- 14:46 地震発生 14:49 気象庁より「大津波警報」
- 15:30～35 各港長より退避勧告の発令(回線混乱により、情報伝達に遅れ 船長判断で退避行動)
- 急いで出湾している傾向は見られず、湾内又は港内に避泊。
発災後24時間の**出湾隻数は6割減**、**入湾隻数は2割減** (前日・前週日比) **湾内に船舶が滞留**
- 震災当日は、前日・前週日と比較して、**避泊船舶が増加**しており、震災翌日まで継続。
- 海事関係者によれば、出港まで時間を要する大型船は、避泊場所を探すのが困難であった。





仙台塩釜港(仙台港区)の航路啓開

仙台塩釜港(仙台港区)の航路啓開



測量による障害物分布状況 531地点

● 揚収地点



障害物の撤去状況 (5月21日 作業終了)

531点

(揚収物の内訳)

コンテナ 335個、自動車 26 個、その他 74 個

障害物の引き揚げ作業



- 平成23年3月14日 海底状況の確認調査開始
- 平成23年3月15日 航路啓開作業に着手、高松埠頭岸壁前面の音速深浅測量実施、ナローマルチビームによる海域地形測量実施
- 平成23年3月17日 高松埠頭(-12m)1バースが利用可能となり、九州地方整備局の海翔丸が入港し、支援物資及び資機材を搬出。
- 平成23年3月18日 高松埠頭(-12m)1バースが一般開放、引き続き航路啓開作業及び海域地形測量 実施
- 平成24年1月10日 公共岸壁(-4.5m以上)22バース中21バースが開放(一部暫定)
- 平成24年1月22日 外貿定期コンテナ航路である北米航路(日本郵船)が再開

燃料油不足への港湾の役割(仙台塩釜港(塩釜港区))

地震・津波により東北・関東地方の太平洋側の製油所及び油槽所が被災し、東日本全体の燃料供給能力が激減。

・3月15日より航路啓開作業を開始し、3月21日には震災後初めて塩釜港区に石油タンカーが入港し、被災地の燃料油不足の解消に大きく貢献。

ガソリン、食料不足深刻

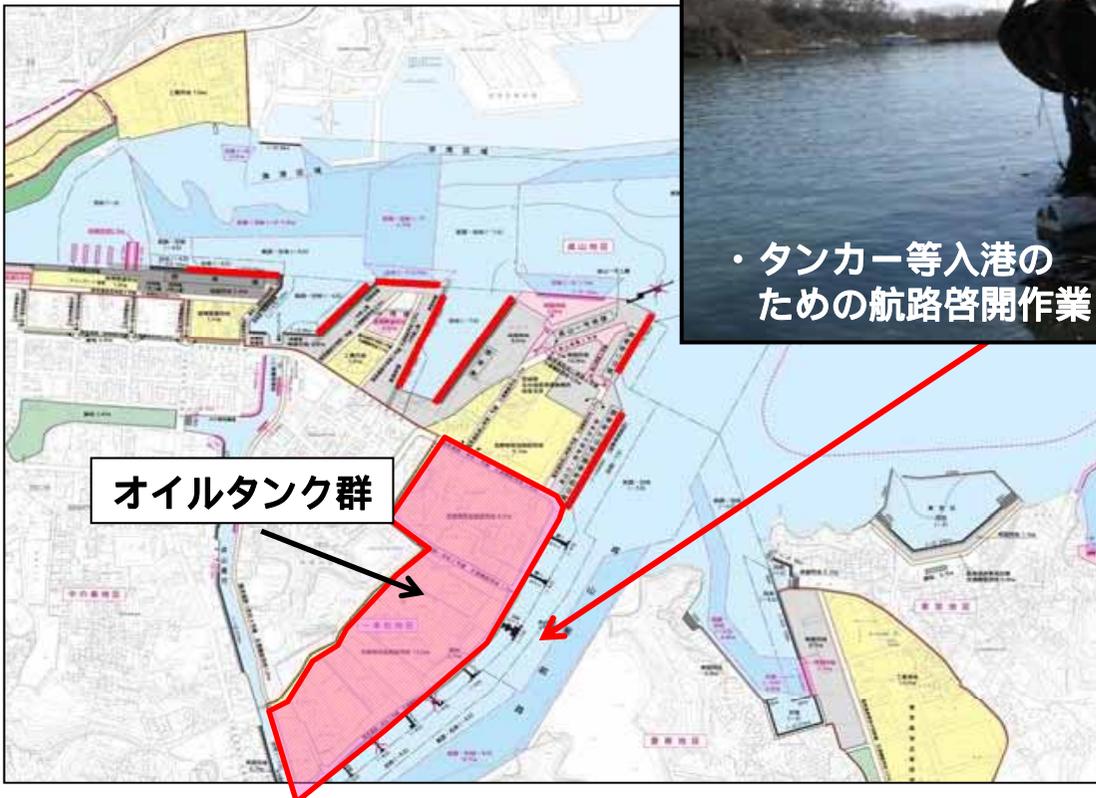


平成23年3月14日
読売新聞17面
(山形県版朝刊)

貞山堀航路



・タンカー等入港のための航路啓開作業



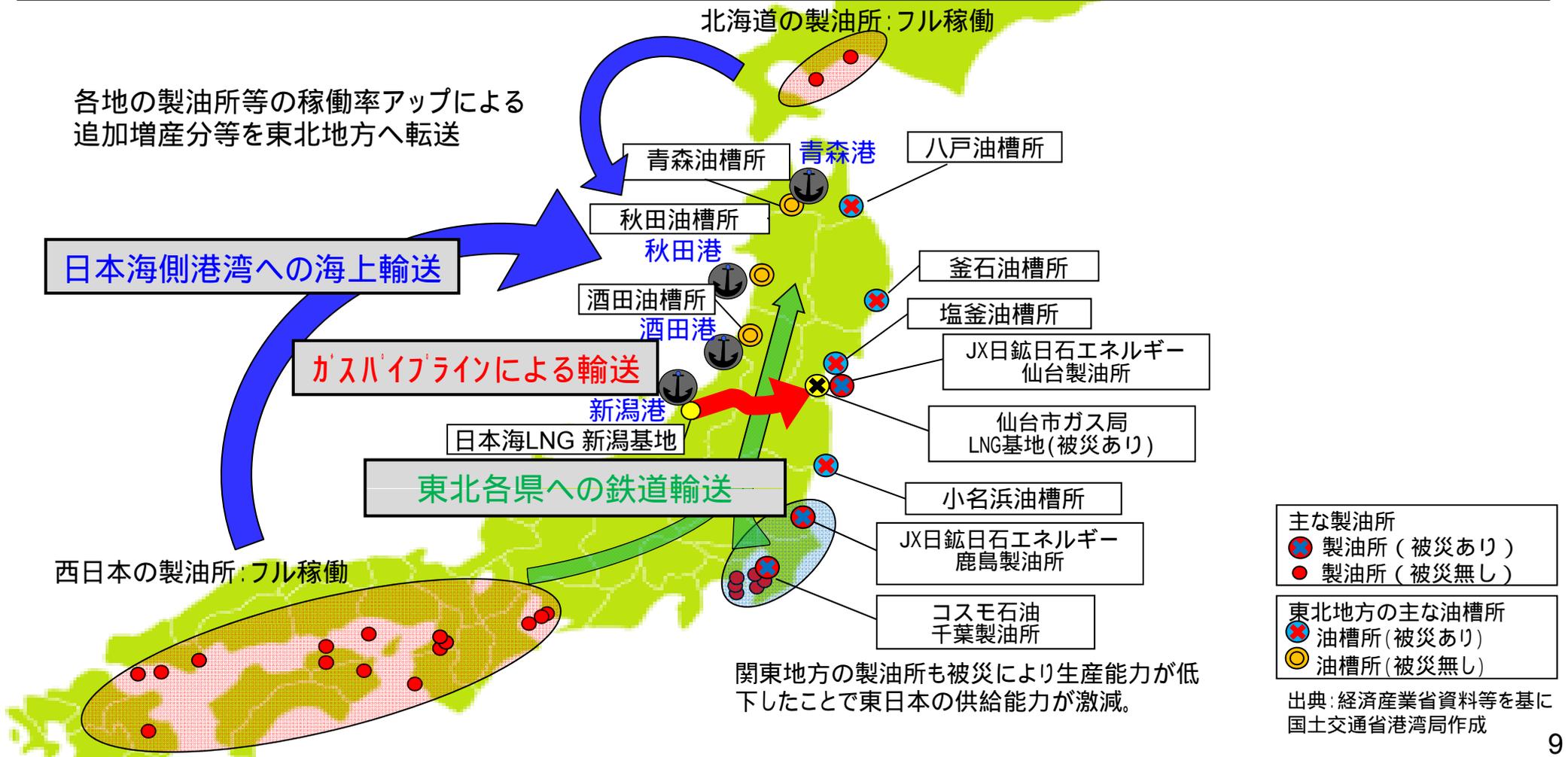
平成23年3月21日 石油タンカー入港
(写真提供 : 海上保安庁)

東日本大震災による石油・ガスの流通への影響

東日本大震災により東北地方太平洋側の製油所及び油槽所が被災し、東北地方における石油供給能力が激減。東北地方太平洋側の港湾も被災しており、タンカーの入港が不可能な状況。

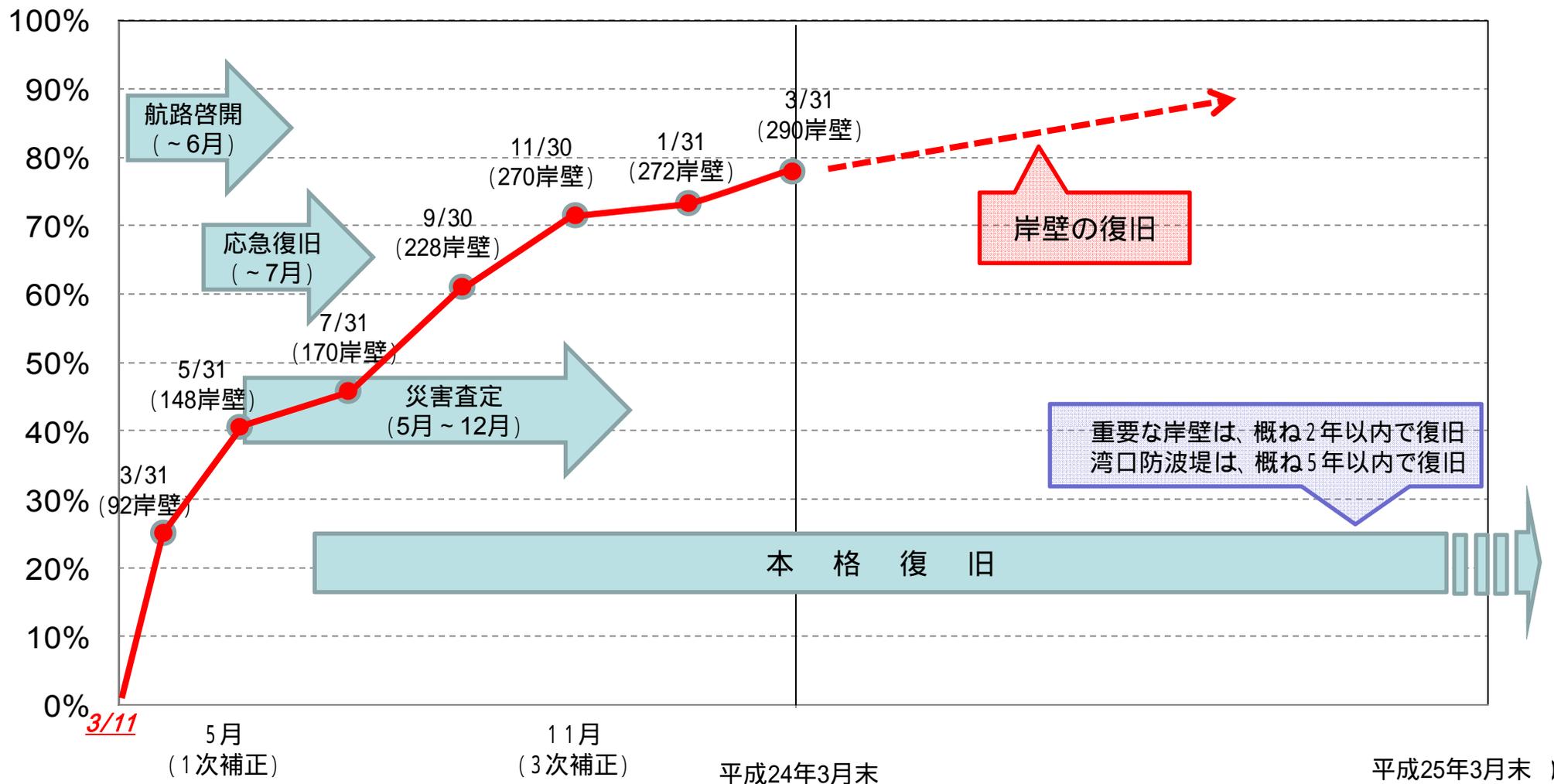
北海道や西日本の製油所の稼働率を最大限まで引き上げるとともに、被災していない日本海側港湾(秋田港、酒田港、新潟港)への海上輸送や、鉄道を活用して、東北地方で必要な石油の燃料供給を確保。

なお、仙台都市圏へのガスの供給については、新潟からの広域パイプラインが連結されていたため、早期復旧可能であった。



被災地の港湾における利用可能岸壁の推移

八戸港～鹿島港(地方港湾含む)の公共岸壁373岸壁については、3月31日現在で約8割(290岸壁)が暫定利用可能となっている。
 産業・物流上特に重要な港湾施設については、概ね2年以内での復旧を目指す。
 湾口防波堤等については、まちづくりや産業活動に極力支障が生じないように、概ね5年以内での復旧を進める。



課題

東日本大震災の教訓

防災・減災目標の明確化と避難対策の充実の必要性
防波堤による津波からの減災効果の発現
地域経済を支える物流基盤の耐震性・耐津波性確保の必要性
初動から復興に至る時間軸に沿った対応の必要性
災害に強い物流ネットワーク構築の必要性

切迫性が指摘される大規模地震への対応

東海・東南海・南海地震等が連動して発生する巨大地震
や首都直下地震に対する早急な対応

基本的考え方

災害時においても国民生活及び産業活動を支えるため、島国日本の人口・資産を守り、港湾の物流機能を維持する

1. 防災・減災目標の明確化

津波の規模、発生頻度に応じた防護目標の明確化
水門・陸閘等の施設の管理・運用体制の見直し

2. 港湾BCPに基づく港湾の災害対応力の強化

港湾BCPの策定による物流機能の早期回復
港湾施設の耐震性・耐津波性の確保
(粘り強い構造とする補強対策の検討等)
港湾における液状化対策の検証

3. 港湾間の連携による災害に強い海上輸送ネットワークの構築

広域的な港湾間の連携による海上輸送ネットワークの維持
三大湾や瀬戸内海の船舶航行の安全性の確保

施策方針

1. 港湾の津波からの防護

防災・減災目標に従った津波防護対策、避難対策の推進
(防潮堤等による背後市街地の防護、最大クラスの津波に対する施設による防護水準確保の検討、港湾における避難対策、避難に係る情報提供システムの強化・多重化など)

水門・陸閘等の施設の管理・運用体制の構築
(安全確保を最優先とした管理体制、自動化・遠隔操作化の促進など)

2. 港湾の災害対応力の強化

耐震強化岸壁を核とする港湾の防災拠点の形成
(復旧・復興の拠点となる防災拠点の位置づけ、耐震強化岸壁背後のオープンスペースの確保など)

施設や機能の重要度に応じた耐震性・耐津波性の向上
(国際物流ターミナル、エネルギー基地など重要度の高い施設の耐震性・耐津波性の向上)

3. 災害に強い海上輸送ネットワークの構築に向けた対策の推進

海上輸送ネットワークの核となる施設における耐震性・耐津波性の向上
(全国的・国際的な観点から重要なターミナルについての地震・津波からの早期復旧など)

湾域において船舶航行の安全性を確保する対策の推進
(船舶の避難ルールの策定、避泊水域や航路配置のあり方の検討など)

広域的なバックアップ体制の構築
(被害が広域化する最悪のシナリオを考慮した港湾相互のバックアップ体制など)

東海・東南海・南海地震等の津波を想定した対策検討の必要性

東海・東南海・南海地震等の切迫性が指摘されており、それに伴い、巨大津波の発生が懸念されている。東海・東南海・南海地震による被害が予想される地域と東京湾は、全国のコンテナ取扱貨物量の約8割、製造品出荷額の約5割を占めており、地震・津波対策の検討が急がれる。

「東海地震に係る地震防災対策強化地域」、「東南海・南海地震防災対策推進地域」及び東京湾沿岸

東海・東南海・南海地震による被害が予想される地域と東京湾の状況

コンテナ取扱貨物量

全国のコンテナ取扱貨物取扱量約1,802万TEUのうち、約1,428万TEU (**79.3%**)

製造品出荷額

全国の製造品出荷額約265兆円のうち、約140兆円 (**52.8%**)

東海・東南海・南海地震等の今後30年以内の発生確率

日向灘のプレート間 (M7.6前後) **10%**

南海 (M8.4前後) **60%程度**

東南海 (M8.1前後) **70%**

東海 (M8程度) **88%(参考値)**

南関東 (M6.7~7.2程度) **70%程度**

東海・東南海・南海の3連動地震 (M9.0)

コンテナ取扱貨物量:平成21年指定統計より
対象:「東海地震に係る地震防災対策強化地域」、「東南海・南海地震防災対策推進地域」及び東京湾沿岸にある港湾(木更津港、千葉港、東京港、横浜港、川崎港、横須賀港)

製造品出荷額:平成21年工業統計より
対象:「東海地震に係る地震防災対策強化地域」、「東南海・南海地震防災対策推進地域」及び東京湾沿岸の自治体(千葉県:館山市、南房総市、富津市、木更津市、袖ヶ浦市、市原市、中央区、美浜区、習志野市、船橋市、市川市、浦安市、東京都:江戸川区、台東区、中央区、港区、品川区、大田区、神奈川県:川崎区、鶴見区、神奈川区、西区、中区、南区、磯子区、金沢区、横須賀市、三浦市)

津波の規模や発生頻度に応じて、防護の目標を明確化して対策を進める必要があり、中央防災会議等における議論を踏まえ、基本的には2つのレベルの津波を想定する。

発生頻度の高い津波

数十年～百数十年に1回発生する規模の津波。

最大クラスの津波

数百年～千年に1回発生する規模の津波

防災・減災目標

人命を守る

堤内地の財産を守る

経済的損失の軽減

堤内地の経済活動の継続

大きな二次災害の防止

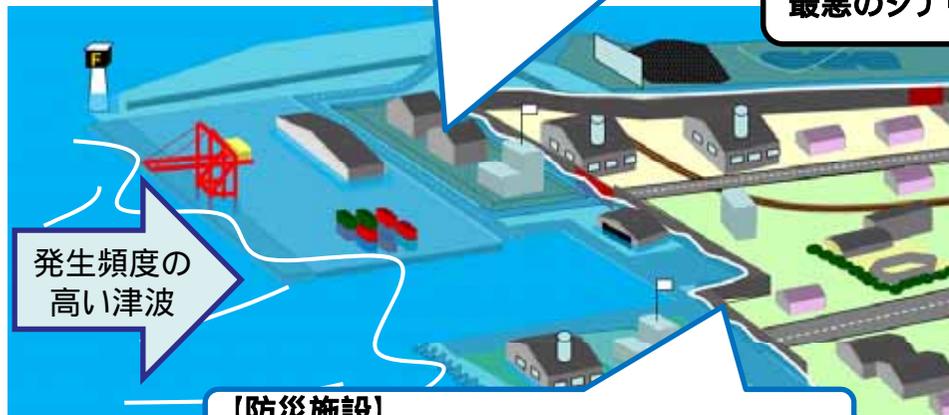
発災直後に必要な港湾機能の継続

早期復旧

【土地利用】
堤外地の重要な港湾施設が被災しないよう計画

【避難計画】
最悪のシナリオを想定して計画

【土地利用】
堤内地の浸水を前提として計画



【防災施設】
堤内地の浸水を防止するよう計画・設計

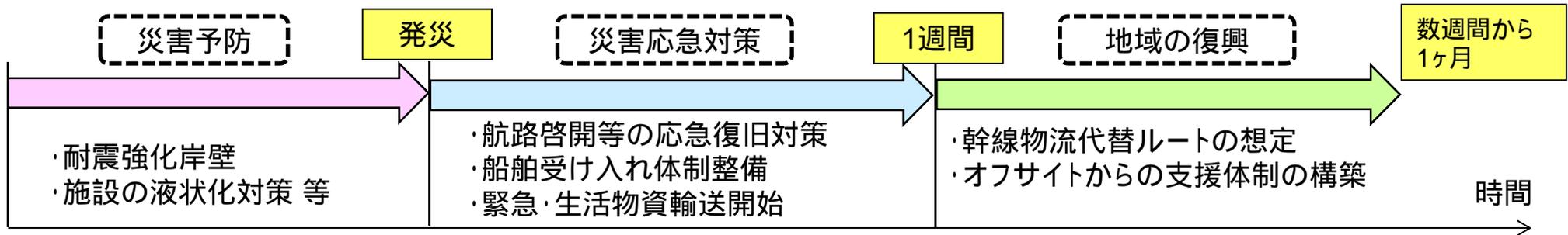
【防災施設】
堤内地への浸水を許すが、破堤等により被害が拡大しないよう計画・設計、必要に応じ多重の防護方式を活用

港湾BCPは、大規模な地震等災害の発生を想定し、発災後の港湾の災害応急対策から地域の復興までのシナリオをあらかじめ計画するとともに、これを最も効果的・効率的に行うための災害予防の対策として、耐震性・耐津波性の高い施設を計画するもの。

港湾BCPの
基本構成

港湾関係者の協働の下、以下の対策を実施。

- ・発災後の港湾の災害応急対策・地域の復興までのシナリオ(行動計画)。
- ・耐震性・耐津波性を高めるべき耐震強化岸壁、臨港道路の耐震化等の施設計画。



港湾BCPのイメージ

広域的なバックアップ

行動計画

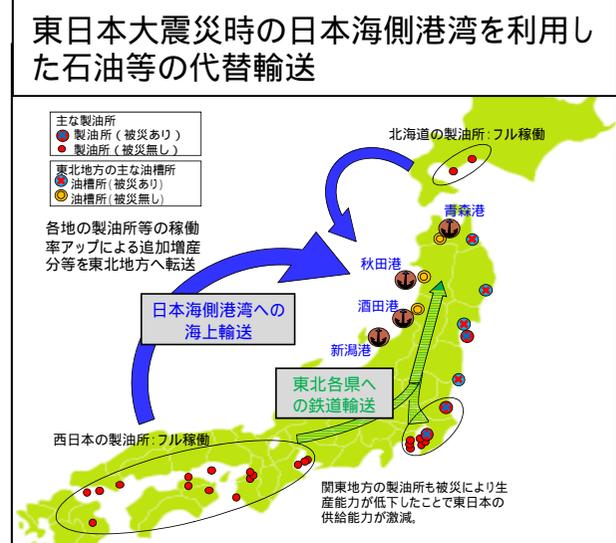
- ・被災後の応急復旧体制の構築
- ・船舶受け入れ体制整備
- ・緊急・生活物資輸送

施設計画

- 緊急輸送動線
- 耐震化されたアクセス道路
- 耐震強化岸壁



広域的なバックアップ



港湾施設の耐震性・耐津波性の確保

耐震強化岸壁の機能を十分に発揮するため、地震・津波による被災リスクや費用対効果を勘案しつつ、背後の埠頭用地・臨港道路の耐震化・液状化対策及び前面の航路・泊地の安全性の確保を適切に講じる必要がある。

【耐震性・耐津波性の確保 イメージ】

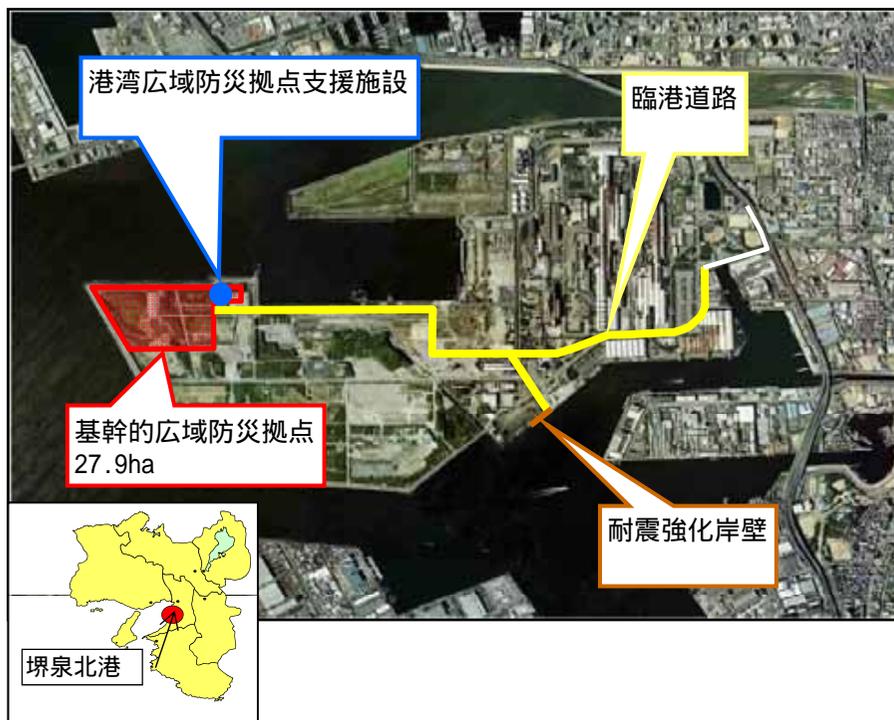


広域的な緊急物資輸送体制の確立(基幹的広域防災拠点)

複数の都道府県に被害が及ぶような大規模災害発生時に緊急物資輸送の中継拠点や広域支援部隊のベースキャンプとして機能する基幹的広域防災拠点を京阪神都市圏及び東京湾臨海部に整備するとともに国による災害時の運用体制を強化する。

< 堺泉北港堺2区 > 平成24年4月に供用開始
敷地面積; 約27.9ha

東南海・南海地震等の大規模災害発生時において、緊急物資の輸送活動等を円滑に実施するため、平成20年度より整備に着手。



< 川崎港東扇島地区 > 平成20年度より供用開始
敷地面積; 約15.8ha

首都直下地震等の大規模災害発生時には、国土交通大臣が管理し、緊急物資輸送の中継拠点や広域支援部隊のベースキャンプとして機能。一方、平常時は川崎市管理の緑地として市民に開放。

災害時の運用体制を強化するため、ヘリコプターや船舶による緊急物資輸送訓練や拠点の応急復旧訓練等を、関係機関と協働して年間2回程度実施。

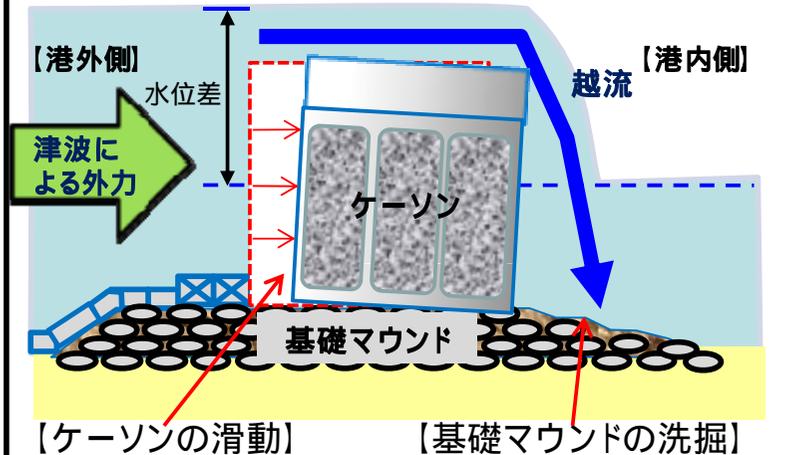


倒壊した場合に早期復旧が困難となる防波堤については、通常時の港内静穏度確保や二次災害防止等の減災の観点からも粘り強い構造を目指す必要がある。

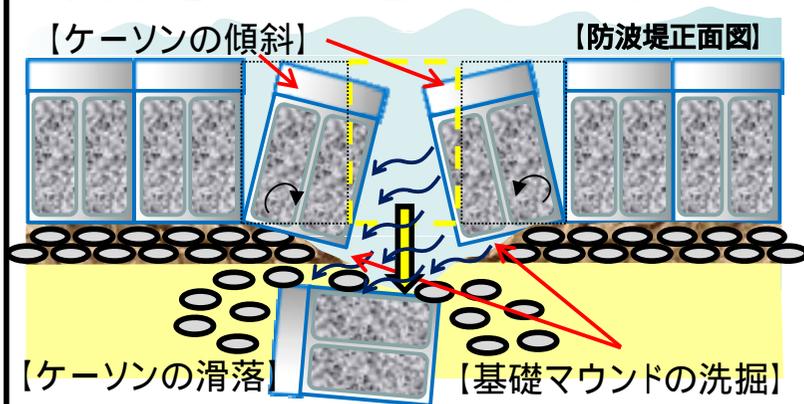
このため、水理模型実験等による技術的検討を進め、得られた検討成果をもとに、港湾の施設の技術上の基準を改正するとともに、費用対効果を勘案しつつ、防波堤を粘り強い構造とする補強対策を検討することが必要。

今回の津波による被災メカニズム

- 1) 津波の越流による港内外の水位差で押されるとともに、港内側マウンドが越流等により洗掘され、ケーソンが滑落

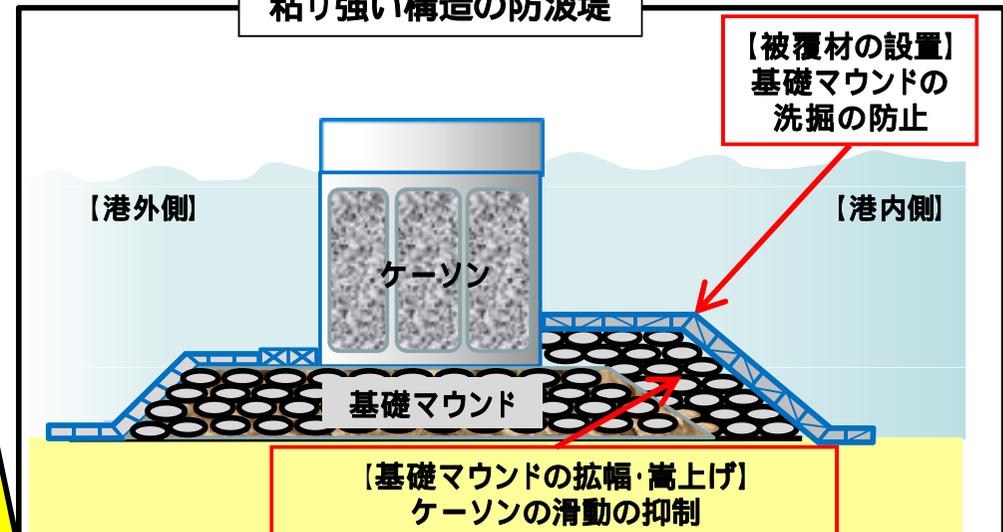


- 2) ケーソンが滑落した部分に流れが集中、マウンドの洗掘が両側に進行し、マウンド上に残ったケーソンも傾斜

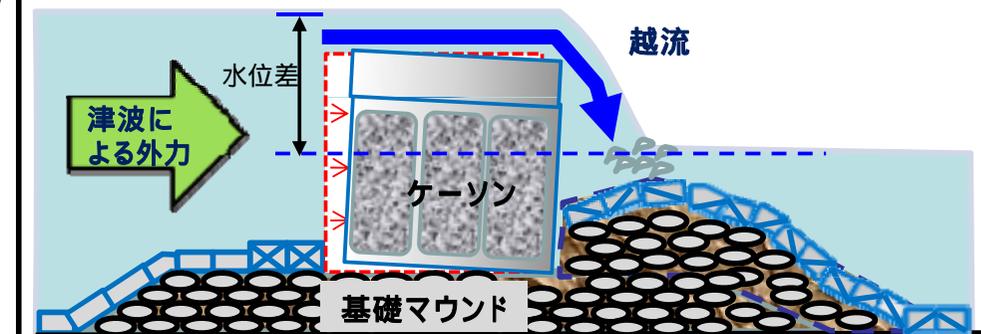


「粘り強く持ちこたえる」構造としての工夫

粘り強い構造の防波堤



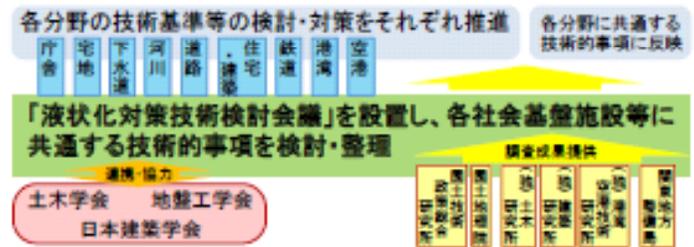
(津波の来襲時)



ケーソンは滑動するが、基礎マウンドにめり込み、マウンドからの滑落は生じにくい。マウンドの港内側にも被覆材を設置し、洗掘を抑止。

1. 検討体制

関係学会と連携して液状化の被害実態等の把握や液状化判定法の検証及び発生メカニズムの確認・解析等を行い、各社会基盤施設等に共通する技術的事項を検討・整理。



2. 検討結果の概要

今回地震の被害実態を把握し、それと代表的な液状化判定法である現行のFL法での判定結果を比較分析。現行FL法を直ちに直視する必要性は低いことを確認するとともに、高度化に向けた今後の課題を整理。

被害実態等の把握

現地踏査等により関東地方で液状化発生箇所を抽出。

※ 地表面の礫砂等の現地確認結果で抽出しており、全ての液状化発生箇所が抽出できたものではないことに注意が必要。

液状化発生箇所の抽出結果を活用

液状化判定法の検証及び発生メカニズムの確認・解析等

液状化判定法(FL法)の検証

<FL法:地震動と地盤の特性から液状化発生の可能性の有無を判定する代表的な手法>

今回地震での実態と判定結果の比較

・液状化発生箇所と周辺等の112箇所を判定を実施。
 ・液状化発生箇所であるが「液状化しない」と判定されるケース(見逃し)は無かった。
 ・非液状化箇所の結果を踏まえて更なる研究が必要であるが、FL法は概ね今回地震に整合している」と評価。

判定結果	被害実態 (単位:箇所)		合計
	液状化発生箇所	非液状化箇所	
液状化	53	35	88
非液状化	0	24	24
合計	53	59	112

「見逃し」は無かった。

地震動特性を考慮する係数の検証

・現行FL法では、揺れの長い海溝型地震と揺れの短い直下型地震それぞれに係数を設けて計算し、地震動特性を考慮している。
 ・その係数(Cw)について、今回地震の波形で妥当性が説明できるかどうかを分析。
 ・一般的に液状化しやすいとされる地盤について概ね整合して地震動特性を反映できると評価。

「海溝型特性と概ね一致」

その他の分析

造成年代の影響

埋立等による造成年代の新しい地盤が、古い地盤より液状化しやすい傾向が見られた。

継続時間の影響

地震動の継続時間が長かった今回地震では、過去の短い地震と比較して液状化しやすい傾向が見られた。

余震の影響分析

液状化直後の地盤は液状化しやすく、余震でも液状化する事例を確認。

・関東地方で少なくとも96市区町村の広い範囲で液状化現象が発生。
 ・特に、東京湾岸や利根川下流域等の埋立地等で集中して発生。

・現行の液状化判定法(FL法)は今回地震についても液状化発生を概ね整合して判定できる(見逃さない)結果が得られた。
 ・非液状化箇所の判定結果を踏まえて更なる研究が必要であるが、現行の液状化判定法(FL法)を直ちに直視する必要性は低いことを確認。

今後、液状化判定法等の高度化に向けて、更なるデータ収集・分析を進めることが必要。

各種の社会基盤施設等に共通する技術的事項の検討

関係学会とも連携して「液状化対策技術検討会議」において検討し、下記の成果をとりまとめ。

- ・ 現行の液状化判定法(FL法)は、今回地震についても液状化発生を概ね整合して判定できる(見逃さない)結果。
- ・ 現行の液状化判定法(FL法)を直ちに見直す必要性は低いことを確認。
- ・ 今後、液状化判定法等の高度化に向けて、更なる研究が必要。

公共インフラ

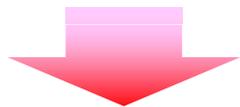
- ・ 施設の特徴を踏まえて、各技術基準のあり方を検討する。
- ・ 各施設において、本復旧に合わせ、必要な液状化対策を実施する。

住宅・宅地

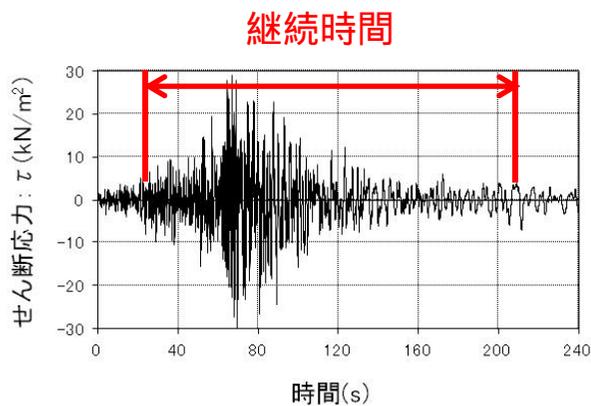
- ・ 有識者の意見や、地方公共団体の地盤の液状化等に対する対応方針を踏まえつつ、工法やコスト削減方策等を含め、公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策について検討する。
- ・ 住宅性能表示制度を活用した住宅購入者等への液状化関係の情報提供について検討する。

地震の継続時間を考慮した液状化判定手法の確立

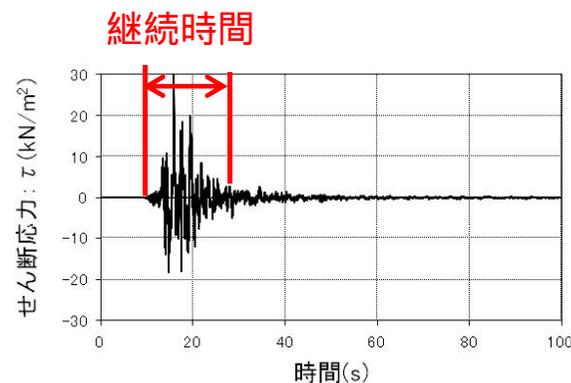
今回の震災では、地震動の継続時間が長かったため、液状化被害が拡大。しかし、これまでの液状化判定方法は、継続時間が考慮されていなかった。



継続時間を考慮した液状化判定方法に見直し、港湾における液状化の予測精度の向上を図る。



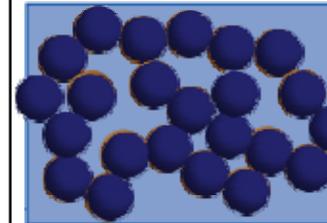
地震動の継続時間が長い波形
(東日本大震災)



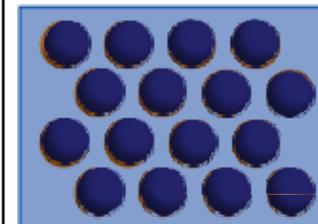
地震動の継続時間が短い波形
(阪神大震災)

【参考】 液状化現象とは

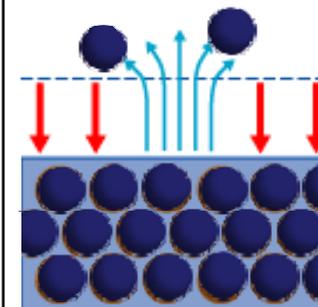
液状化とは、水を十分に含んだ暖かい砂地盤が強い地震で激しく揺すられたときに起こる現象。



【図1/地震前】
砂粒子がかみ合い安定している状態



【図2/液状化時】
砂粒子のかみ合いがはずれ泥水化した状態

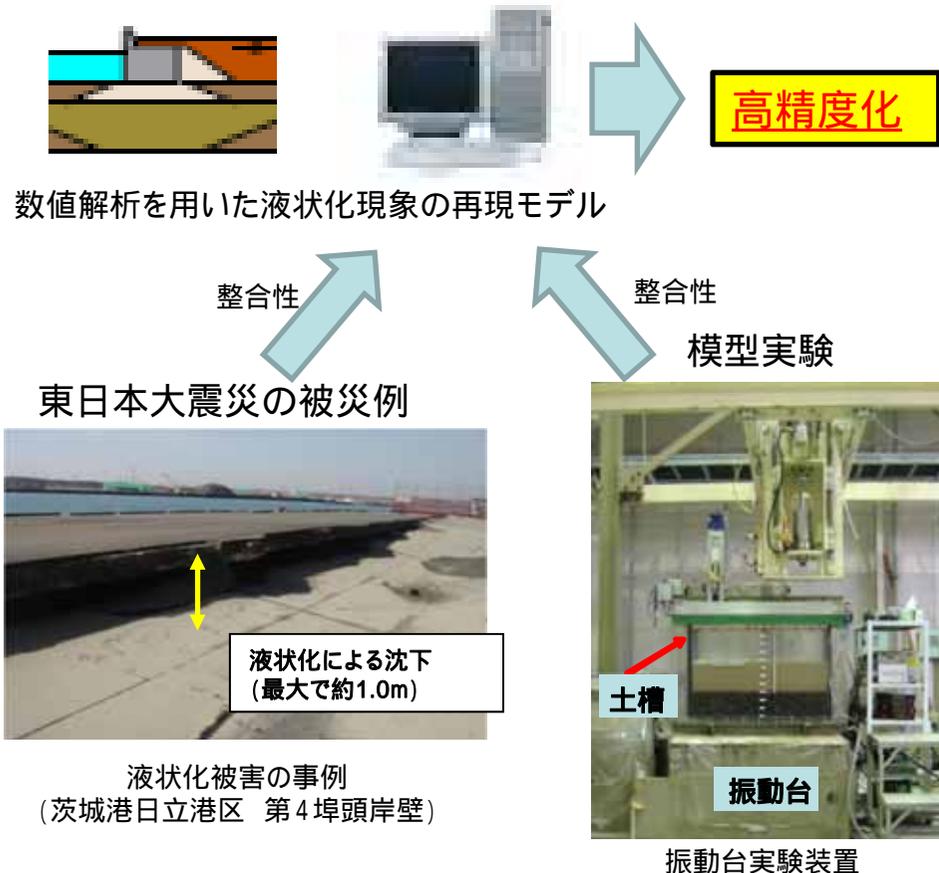


【図3/地震後】
砂粒子が再堆積し地盤が沈下した状態(噴砂、噴水)

液状化現象の再現モデルの構築

精度の高い再現モデルの構築

「数値解析を用いた液状化現象の再現モデル」について、東日本大震災の被災例や模型実験との整合性の確認を行い、より精度の高い再現モデルを構築する。



簡易な再現モデルの構築

様々な条件を設定した数値解析結果を予めデータベース化し、個別施設の条件を照合するだけで液状化に対する危険性を簡易に判定することが出来るシステムを構築する。



**あらかじめ危険性が高い施設を抽出
→時間と費用の節約**

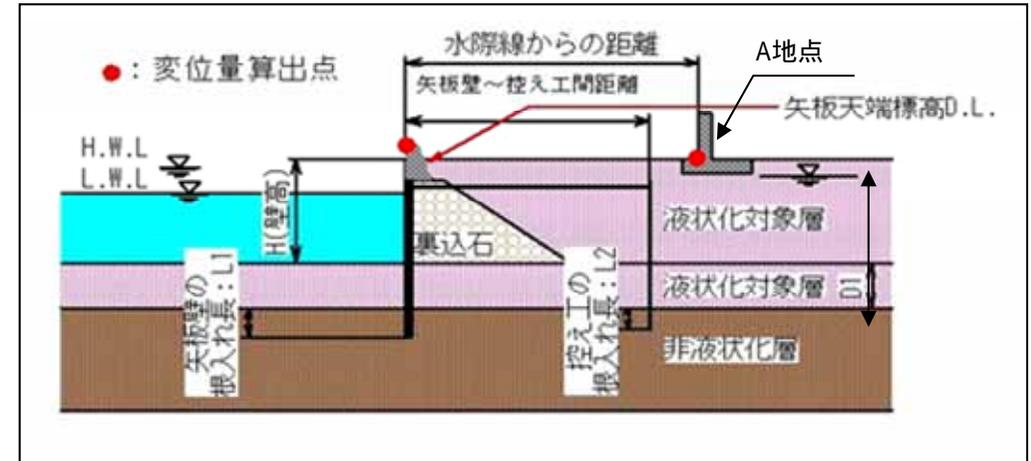
【同じ構造物での算定結果を比較】

チャート式耐震診断システム

矢板型	残留変位 (ケースA注)	
	水平cm	鉛直cm
天端	-213	-6
A地点	-	-195

構造形式：矢板型（控え・直杭式）を準用
 地震波の種類：ケースA注)における地震動波形
 最大加速度 127 gal (PSI値=62cm/s^{1/2})
 液状化対象層：埋立土(盛砂含む) 16.5m
 等価N値：「5」

チャート式耐震診断システム 構造形式：矢板型



注) ケースA

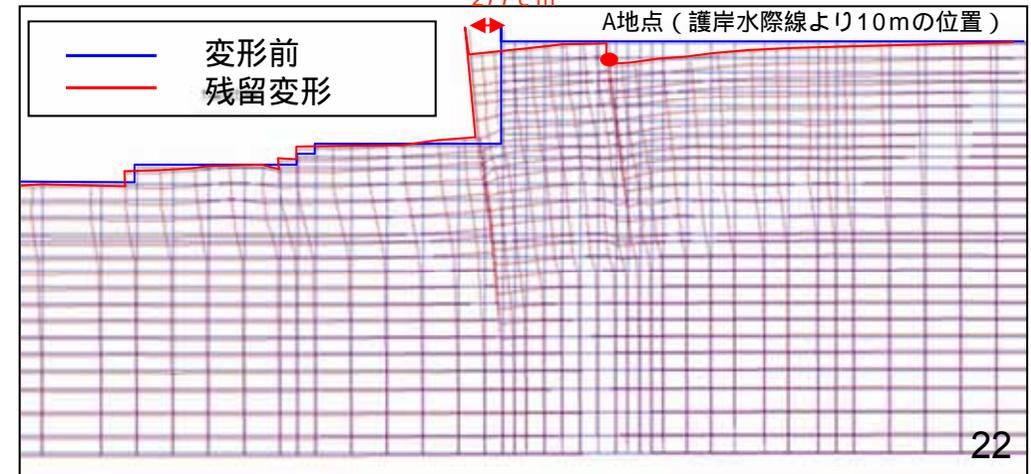
暫定モデル：平成15年に中央防災会議で想定した東海・東南海・南海地震について、現在の中央防災会議の議論等をふまえ、国土交通省港湾局において強めに想定した暫定モデル

FLIP 応答解析

矢板型	残留変位 (ケースA注)	
	水平cm	鉛直cm
天端	-277	-93
A地点	-	-151

構造形式：矢板型（控え・矢板式）
 地震波の種類：ケースA注)における地震動波形
 最大加速度 127 gal
 等価N値：「4.5～31.1」
 その他パラメータ：工学的基盤、飽和・水中・湿潤重量密度、粘着力、せん断抵抗角、せん断弾性係数、ポアソン比、砂質土と粘性土の間隙率、減衰係数 等

FLIP 応答解析結果



残留変形図

適合性確認対象施設

1 . 適合性確認対象施設【法第56条の2の2第2項】

技術基準対象施設であつて、**公共安全その他の公益上影響が著しい**と認められるものとして国土交通省令で定めるもの（国土交通大臣が定めた設計方法を用いる場合を除く）

2 . 公共安全その他の公益上影響が著しいと認められるもの

当該施設の建設又は改良が技術基準に適合していない場合、人命、財産、物資の円滑な輸送等に著しい影響を及ぼすおそれがある技術基準対象施設

3 . 適合性確認対象施設（公共・民間の区別なし）

（技術基準への適合性確認の対象施設【港湾法施行規則第28条の2】）

外郭施設

係留施設（水深7.5m以上、旅客船・危険物船等、耐震強化施設）

臨港交通施設のうち道路及び橋梁

廃棄物埋立護岸

海浜

荷役機械、緑地及び広場（大規模地震対策施設に限る）

適合性確認対象施設

