強震計観測情報を活用した 港湾施設の供用可否判定システム

~地震時初動体制支援の新たな取り組み~

H28.12.1 民間技術交流会中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所

はじめに

- 1. システム開発の背景
- 2. システムの概要
- 3. 判定手法の構築
- 4. 稼働実績の紹介
- 5. まとめと今後の取り組み

1.システム開発の背景 <①背景>

大規模地震等の災害時

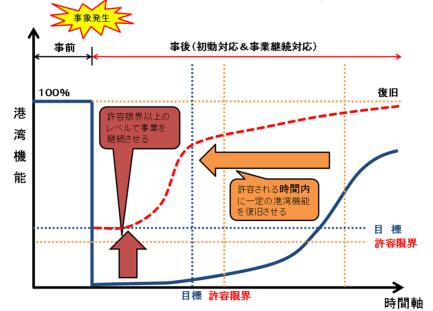
■港湾は被災地への緊急物資輸送の拠点





地震発生後の 港湾施設供用可否 判断が極めて重要

■港湾機能の早期回復(港湾BCP)



※港湾の事業継続計画策定ガイドライン(港湾局,H27.3)より引用

予想復旧曲線

※港湾BCP未策定で、危機的事象への備えも未実施の場合

■ ■ ■ ■ 港湾BCPによる復旧曲線

※港湾BCPを策定し、危機的事象への備えを実施している場合

回復目標(例)

発災後

3日以内:最小限の海上輸送ルート確保

順次、緊急物資受入開始

7日以内:緊急物資輸送ルートの拡充

コンテナ貨物の取扱再開(耐震強化岸壁)

緊急物資

取扱後 : 一般貨物取扱再開

1.システム開発の背景 <②開発目的>

開発目的

地震発生後に「短時間」かつ「自動」で係留施設の供用可否を推定し、緊急物資受入箇所や現地被災状況調査の実施順位を決定するためのツールを開発



大規模地震発生時の初動体制を支援

■今回開発したシステム

『強震計観測情報を活用した 港湾施設診断システム』

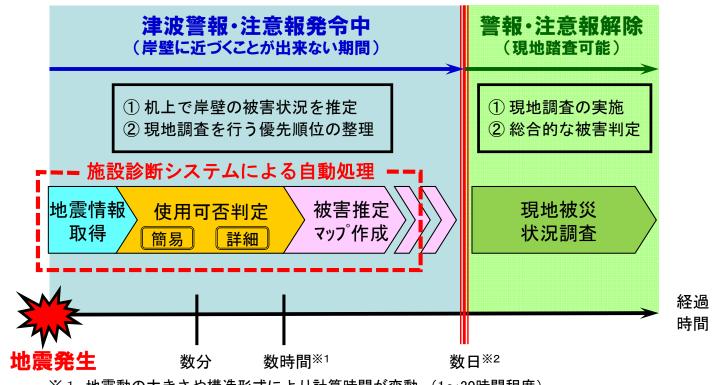
港湾施設診断システム



2.システムの概要 く①システムの時間概念>

システムの時間概念

- 地震後の津波警報等発令中は施設の現地調査は不可
- 現地調査ができない期間に、入手した地震動情報から 港湾施設の被害推定を自動で計算

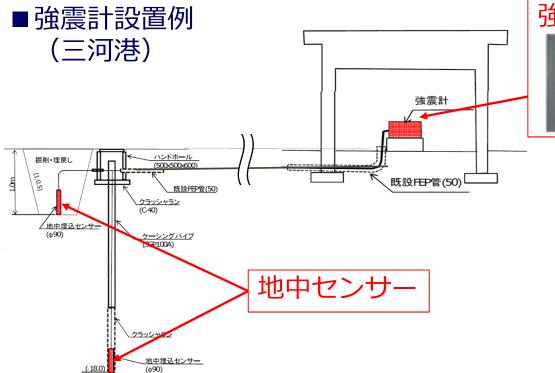


- ※1 地震動の大きさや構造形式により計算時間が変動 (1~30時間程度)
- ※2 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)では、地震発生から51時間後(約2日後)に解除

2.システムの概要 <②強震計とは>

強震計

- ・地震計のうち強い地震動を記録できるもの
- ・N-S,E-W,U-D3方向の地震波形、震度等を観測
- ・中部地整管内の8港湾に設置



強震計本体



■強震計設置港湾



2.システムの概要 <③強震計による地震観測網>

強震観測網

- ・強震計は全国の港湾に設置 = 「港湾地域強震観測網」
- ・地震動の観測データは港空研※にて収集・解析処理

※国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 観測網は **❷** 港湾地域強震観測 全国62港湾 瀬棚を 港湾地域強震観測による観測記録を検索し、ダウンロードすることができます。 那覇争申城 データ利用上の注意点をご覧いただけます。ご利用いただく前に、こちらのページを一読下さい。 利用上の注意 宮古 ●釜石 /大船渡 港湾地域強震観測の説明ページへのリンクです。 仙台 ▲平良 ▲相馬 600 △ਊ石垣 ●小名浜 -MAX=500.70GAL 関連機関のホームページへのリンク 関連機関リンク 常陸那珂 300 度(GAL) ●鹿島 ページは、国土交通省港湾局が、独立行政法人港湾空港技術研究 ≓ -300 ⊮ -600 10 20 30 50 60 時間(sec)

観測データの収集・

2.システムの概要 <④地震動情報の即時伝達>

強震観測の即時伝達

- ・港空研では、地震時に地震動情報をメールで自動配信 する「地震動情報即時伝達システム」を導入
- ・メールには地震動情報、波形入手先のリンクを掲載

※本メールは港湾地域強震観測網から(独)港湾空港技術研究所経由で自動配信されています。 2016年4月16日1時28分頃、強震計が揺れを検知しました。 地震によるものかどうか確認中です。

名古屋飛島-UB

PSI 値 : 8.5 cm/s⁰.5 計測震度相当値 : 2.0 最大加速度 : 4 Gal ■ 地震動が観測された強震計ごとに PSI値、計測震度相当値、最大加速度を表示

注:PSI 値は速度波形の二乗積分値の平方根として定義される量で、港湾構造物の被害程度と良い相関を示します。 参考までに 1995 年兵庫県南部地震の際、神戸港工事事務所では PSI=99cm/s^0.5、1983 年日本海中部地震の際、秋田 港工事事務所では PSI=61cm/s^0.5 です。

注:計測震度相当値を公表される際には「計測震度相当値」という名称で公表して下さい。 地震動波形の注:最大加速度は港湾施設の被害の大小と結びつかない場合が多いので御注意下さい。 入手先を表示

詳細け以下のページを参照して下さい

名古屋飛島-UB http://www.eq2.pari.go.jp/mobile/mobile_record_view.php?recorddata_id=79671

2.システムの概要 <⑤システムフロー>

本システムは

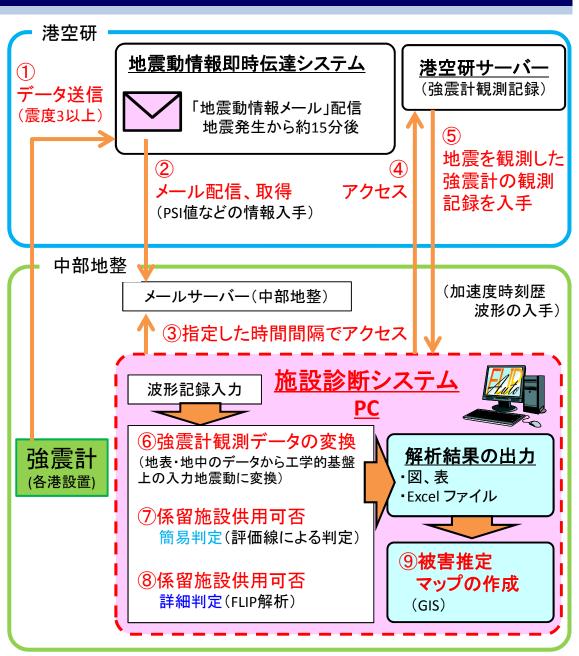
「地震動情報即時伝達シ ステム」からのメール受 信をトリガーとして、

- ・ 強震計観測情報の入手
- ・施設の供用可否判定
- ・被害推定マップの作成

これら自動処理化を実現

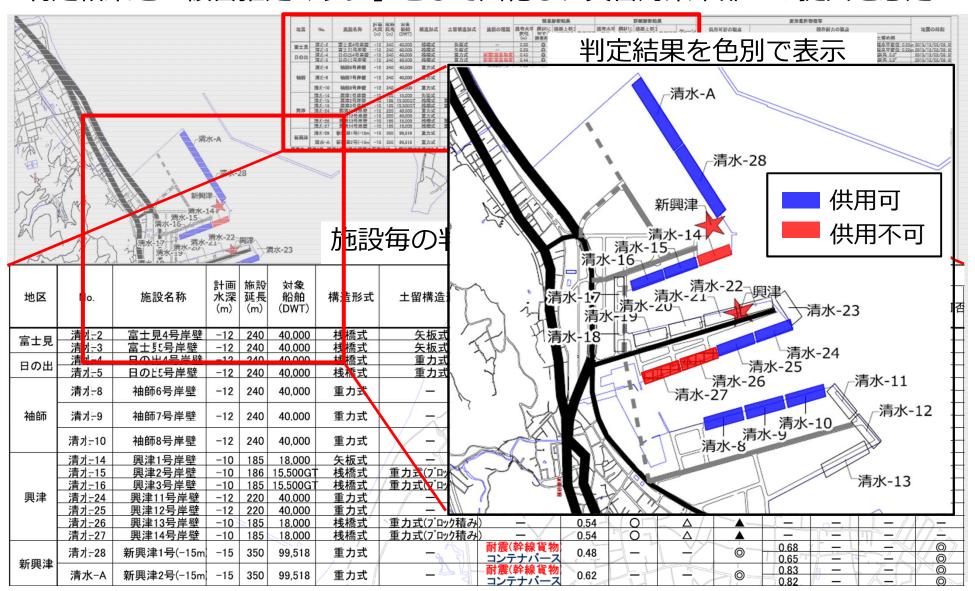
■システム対象港湾





2.システムの概要 <⑥アウトプットイメージ>

判定結果を「被害推定マップ」として図化し、災害対策本部への提出を想定



桟橋式

3.判定手法の構築 <①簡易判定手法>

簡易判定手法

・予め設定した"速度のPSI値と施設の被害度"の相関を 示した評価線により供用可否判定を行う

■速度のPSI値

速度のPSI値=
$$\sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty}}v^2(t)dt$$

桟橋式

港湾構造物の被災程度と 相関が高い地震動指標の一つ

■施設の被害度を表す指標

矢板式



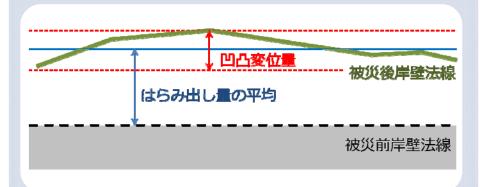
桟橋式

■供用可否の判定基準 (矢板式岸壁の場合)

変位量 (残留水平変位)

過去の被災事例より

- ・凹凸変位量1.0m以下であれば 船が着岸できる可能性大
- ・凹凸変位量は、はらみ出し量の 平均の約半分



はらみ出し量2.0m以下であれば凹凸 変位量が1.0m以下と想定

限界值:2.0m

鋼部材の最大曲率比

地震時の鋼材の状態を表す指標

限界值:1.0

船舶接岸時の耐力比

地震後の接岸時の応力状態を推定

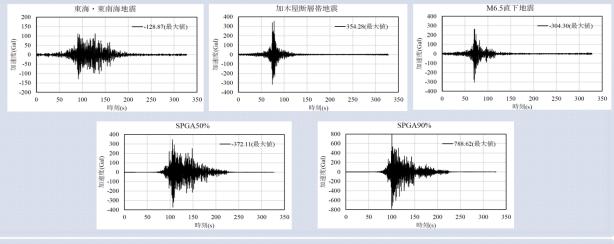
限界值:1.0

■地震応答解析の実施 対象施設において地震応答解析を10ケース程度実施し、残留 水平変位、鋼部材の最大曲率比を算出

解析を行う地震

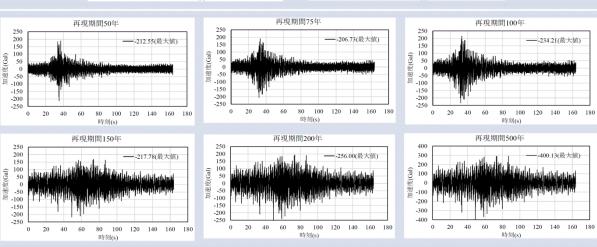
シナリオ地震

- ・東海・東南海
- ·活断層型地震
- ·M6.5直下型地震
- ・南海トラフ巨大地震

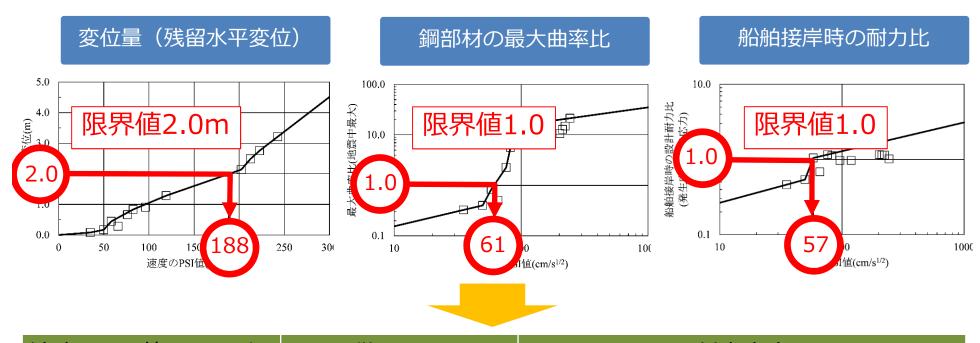


確率波

50年、75年、100年 150年、200年、500年

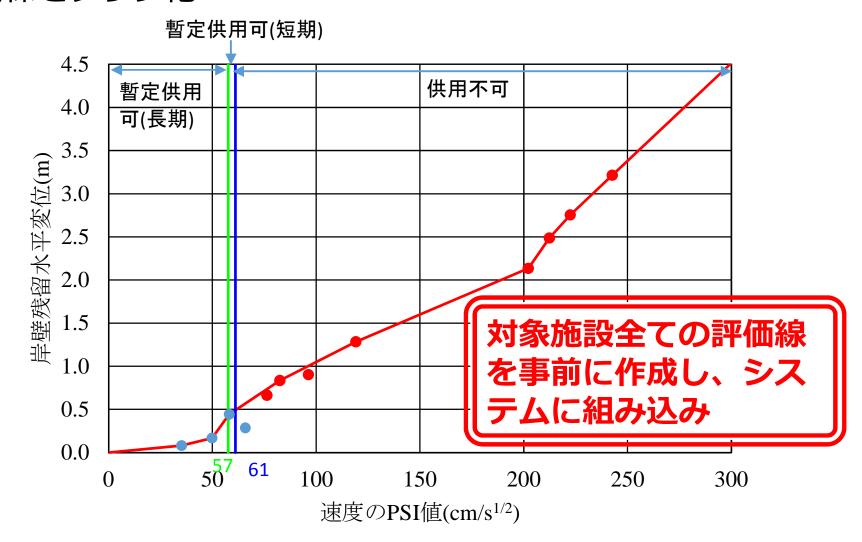


■評価線の作成(矢板式岸壁の場合) 速度のPSI値と残留水平変位、最大曲率比、船舶接岸時耐力比 の関係をグラフ化



速度のPSI値(cm/s¹	^{/2}) 供用可否	判定内容	
57未	ち 暫定供用可(長期)	構造上の問題無し	
57以上 61未	ち 暫定供用可(短期)	構造上問題があるが,一時的かつ短期的には供用できる(緊急物資輸送は可能)	
61以上	供用不可	供用できない	

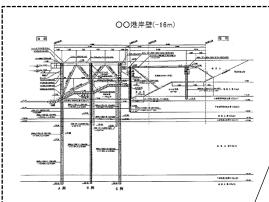
■評価線の作成(矢板式岸壁の場合) 速度のPSI値と残留水平変位、最大曲率比、船舶接岸時耐力比 の関係をグラフ化



3. 判定手法の構築

<①簡易判定手法>

■判定結果例



速度のPSI値を用いた簡易判定

工学的基 <u>盤</u> における 速度のPSI値(cm/s ^{1/2})	3.6		
残留水平変位(岸壁)	0.01m		
残留水平変位(土留め)		0.01m	
地震中の設計耐力比 (上部エコンクリート)	0.06	設計耐力以下	
地震中の最大曲率比 (桟橋杭)	0.00	全塑性未満	
地震中の最大曲率比 (土留め)	0.30	全塑性未満	
船舶接岸時の作用耐力比 (桟橋杭)	0.01	発生応力は降伏未満	
供用可否判断	0	暫定供用可(長期)	

対象船舶: 108,500DWT

対象船舶: 108,500DWT

計測震度を用いた簡易判定(速度のPSI値が得られない場合等に実施する ことができる。判定の精度は速度のPSI値を用いた方法には劣る。)

震度階級		4以下
残留水平変位(岸壁)		0.06m
残留水平変位(土留め)		0.10m
地震中の設計耐力比 (上部エコンクリート)	0.09	設計耐力以下
地震中の最大曲率比 (桟橋杭)	0.16	全塑性未満
地震中の最大曲率比 (土留め)	0.49	全塑性未満
船舶接岸時の作用耐力比 (桟橋杭)	0.17	降伏未満
供用可否判断	0	暫定供用可(長期)

	工学的基盤における 速度のPSI値(cm/s ^{1/2})	3.6	
/	残留水平変位(岸壁)		$0.01 \mathrm{m}$
	残留水平変位(土留め)		$0.01 \mathrm{m}$
	地震中の設計耐力比 (上部エコンクリート)	0.06	設計耐力以下
	地震中の最大曲率比 (桟橋杭)	0.00	全塑性未満
	地震中の最大曲率比 (土留め)	0.30	全塑性未満
	船舶接岸時の作用耐力比 (桟橋杭)	0.01	発生応力は降伏未満
	供用可否判断	0	暫定供用可(長期)
7	116.4016		

対象船舶:108,500DWT

1	震度階級		4以下
	残留水平変位(岸壁)		0.06m
	残留水平変位(土留め)		0.10m
	地震中の設計耐力比 (上部エコンクリート)	0.09	設計耐力以下
	地震中の最大曲率比 (桟橋杭)	0.16	全塑性未満
	地震中の最大曲率比 (土留め)	0.49	全塑性未満
	船舶接岸時の作用耐力比 (桟橋杭)	0.17	降伏未満
	供用可否判断	0	暫定供用可(長期)

対象船舶:108,500DWT

(1) **ここが求まる** と瞬時に判定が 行われる

(2) 簡易判定結果

3

■通信網不通時の 対策として,気 象庁発表の震度 階級を手入力す ることでも判定 が可能

3. 判定手法の構築 <②詳細判定手法>

詳細判定手法

- ・入手した地震波形を用いて地震応答解析を実施
- ■使用するプログラム=FLIP
 - ・港湾施設を中心に多数の使用実績有り
 - ・既設構造物の耐震性能照査、最適な耐震対策工法の検討、新設構造物の耐震対策検討などに有効な手法
 - ・港湾構造物と地盤を一体的にモデル化することで、地 盤と構造物の動的な相互作用を考慮した変形解析が可能
 - ・兵庫県南部地震等、過去の被災状況を精度高く再現できている

3. 判定手法の構築

〈②詳細判定手法〉

■判定結果例

〇〇岸壁 (-14m) (荷役機械有り)

(1) 桟橋・<u>護岸の天端変位{〇〇岸壁(-14m):荷役機械有り</u>}

位置	変位	水平(m)	鉛直(m)	備考
岸壁天端	残留変位	-0.86	-0.13	暫定供用可(長期)と暫定供用可(短
序笙人油	最大変位	-1.05	-0.15	期)の閾値(岸壁天端の残留水平変
護岸天端	残留変位	-1.12	0.07	位)
喪戶人均	最大変位	-1.39	0.10	0.23m
	*)	水亚 正-陆	個 各一海側	

*) 水平 正=陸側, 負=海側 *) 鉛直 正=上向き, 負=下向き

(2) コンテナクレーンに対する照査結果 [〇〇岸壁(-14m):荷役機械有り]

	グレーンに対する無重				
Ε	応答加速	速度 (Gal)	221. 9		
	浮き_ 限界加速		256. 0		
Γ	設計	震度		0. 25	
Г	判定	浮き上がり	0	浮き上がらない	
ı	刊ル	設計震度	0	応答値は設計震度以下	

(3)鋼管杭・鋼管矢板に対する照査結果[〇〇岸壁(-14m):荷役機械有り]

杭	最大 曲率比	塑性ヒンジ 箇所数	評	価	備考	
杭1 杭2	0.94 2.88	0		ダブルヒン ジとなって	暫定供用可(短期)とな る最大曲率比の上限値	6. 80
杭3 杭4	0. 97 0. 82			ンとなって いない杭が 存在する。	暫定供用可(長期)とな る最大曲率比の上限値	0. 32
<u>杭5</u> 矢板	0.93		0	全塑性モー メントが発		
控え直杭	0.89	0	0	生していな い。		

	押込み力(kN/本)			引抜き力(kN/本)		
	応答値の 最大値	抵抗力の 最大値	判定	応答値の 最大値	抵抗力の 最大値	判定
杭1	6595.0	16130.8	0	-	11064. 2	0
杭2	1522. 0	16846. 2	0	51.9	11779.6	0
杭3	1103.5	17561.6	0	1	12495.0	0
杭4	1478. 5	18277. 0	0	46.6	13210.4	0
杭5	5405.0	18326. 0	0	1731.0	13259.4	0
矢板	-	_	_	-	-	_
控え直枯	_	_	-	_	_	_

*)杭の番号は、海側からの番号である。

(4)タイ材に対する照査結果 [〇〇岸壁(-14m): 荷役機械有り]

	発生最大 引張り力 (kN/本)	抵抗刀の 最大値 (kN/本)	判定
タイ材	894. 4	4292, 4	0

(5)上部工に対する照査結果 (〇〇岸壁(-14m);荷役機械有り)

	発生 曲げモーメント (kN·m)	設計曲げ耐力 (kN·m)	判定
上部工	2935. 0	3130.6	0
*)発生モー	メントと設計曲げ耐力の	比が最も大きくなる部材	位置での値

詳

紐

判

定

結

	発生 せん断力 (kN)	設計せん断耐力 (kN)	判定
上部工	968. 3	1868. 4	0
*)発生せん	新力と設計せん断耐力の	比が最も大きくなる部材	位置での値

(6)供用可<u>否の判断 {〇〇岸壁 (-14m) : 荷役機械有り}</u>

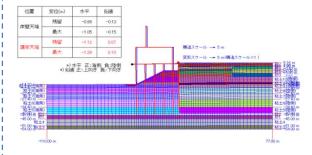
暫定供用可(短期)。

(7)2点間の相対変位 {〇〇岸壁 (-14m):荷役機械有り}

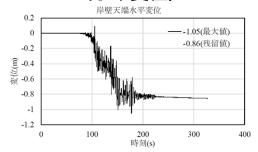
桟橋-護岸間の	残留変位	-0.2
相対変位(m)	最大変位	-0.2
クレーン基礎問	残留変位	0.00
の相対変位(m)	最大変位	0.00

*) 正=拡幅,負=縮まり

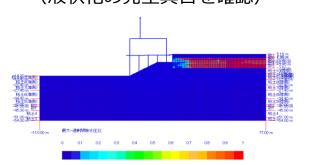
残留変形図 (地震終了後の変形を確認)



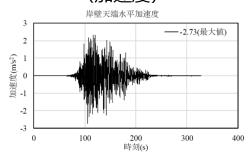
岸壁天端の応答波形 (水平変位)



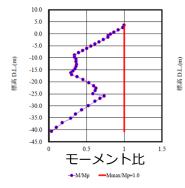
過剰間隙水圧比の最大分布 (液状化の発生具合を確認)

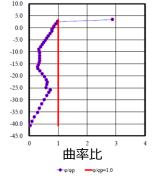


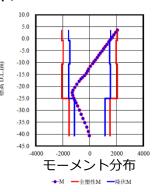
岸壁天端の応答波形 (加速度)



鋼管杭の照査結果

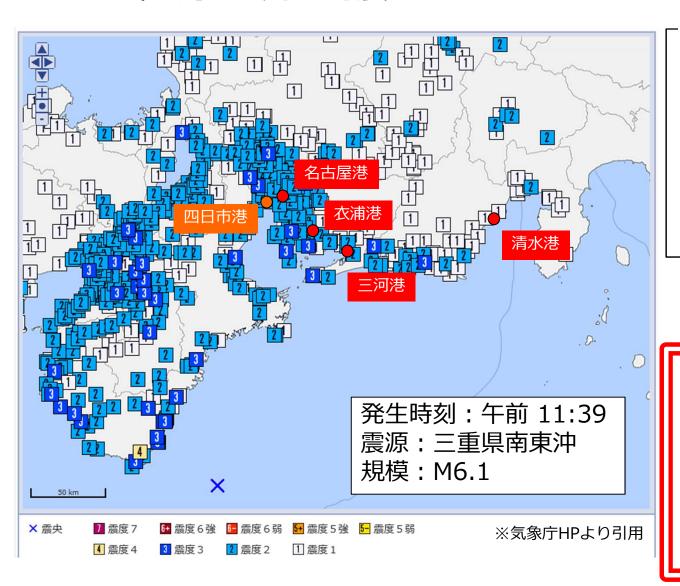






4.稼働実績の紹介

■2016年4月1日発生地震



地震動を観測した港湾・

- ・清水港
- ・三河港
- ・衣浦港
- ・名古屋港
- ・四日市港※
- ※四日市港については通信状況が 悪く、港空研へデータ未達 (現在改善済み)



システムによる 供用可否判定施設

- ・清水港 7
- ・三河港 3
- ・衣浦港 6
- ・名古屋港 20

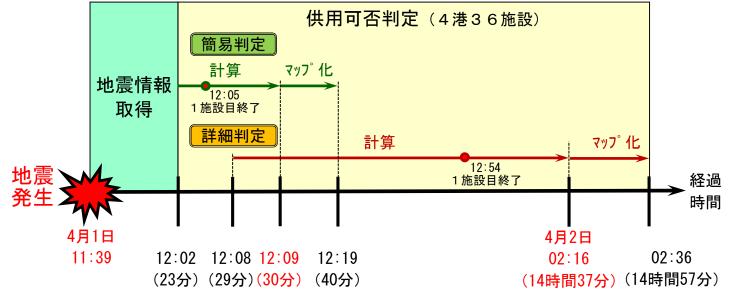
計 4港湾36施設

4.稼働実績の紹介

■地震発生からシステム稼働~結果出力の経過

4月1日 11:39 地震発生 港湾地域強震観測網(港空研)より地震動情報のメール配信 11:49 12:02 港湾施設診断システムによる地震動情報のメールチェック及びシステム稼働開始【地震発生23分後】 12:05 簡易判定1施設目完了 12:08 詳細判定開始 12:09 簡易判定全施設終了【地震発生30分後】 12:12 簡易判定結果のマップ化1港目終了 12:19 全港の簡易判定結果のマップ化終了 12:54 詳細判定1施設目完了 4月2日 詳細判定全施設終了【地震発生14時間37分後】 02:16

全港の詳細判定結果のマップ化終了



5.まとめ <成果>

システム開発の成果

- ・地震発生後に「短時間」かつ「自動」で供用できる 可能性の高い施設の絞り込みを実現
- ・結果をマップ化することで緊急物資受入箇所や被災 状況調査の実施順位をより迅速に決定できる



地震時の効率的・効果的な初動体制構築を 支援するツールを開発できた

5.まとめ <今後の取り組み>

①システムの高度化

2016年熊本地震 = 最初の地震発生以降に同規模の後震が 散発的に発生

→ 前震での変位や部材の応力状態を考慮した、後震による 施設診断手法の検討

②システムの冗長化

港湾事務所へのシステム導入、当事務所のシステムPC増台、 強震計観測情報不達時の検討

③効率的・効果的な施設点検診断技術の検討 UAVや水中ROV等の新技術の導入検討や本システムと連携 した点検システムの開発

地震時の初動体制支援をより充実させる