

チャート式耐震診断システムについて

(独) 港湾空港技術研究所

開発組織

- 近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所
- (独) 港湾空港技術研究所
- (財) 沿岸開発技術研究センター

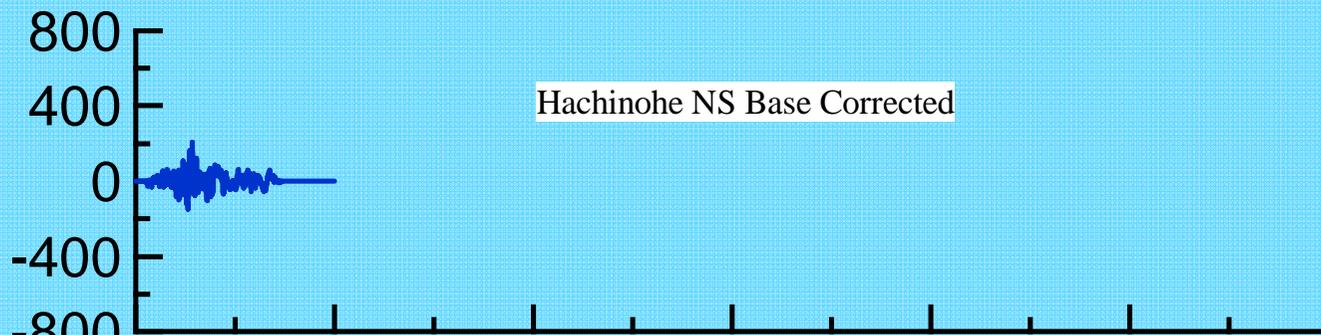
東日本大震災からの教訓

- 地震動の継続時間が長い
何回も揺すられることから被害が進展する
- 地震動に長周期成分が多く含まれている
ゆっくりした揺れに共振する施設もある
- 地震動が作用した直後に津波が作用したため、
地震と津波の複合被害が発生
津波による「波圧」や「洗掘」で被害が進展

地震動の比較

1968年
十勝沖地震
八戸港

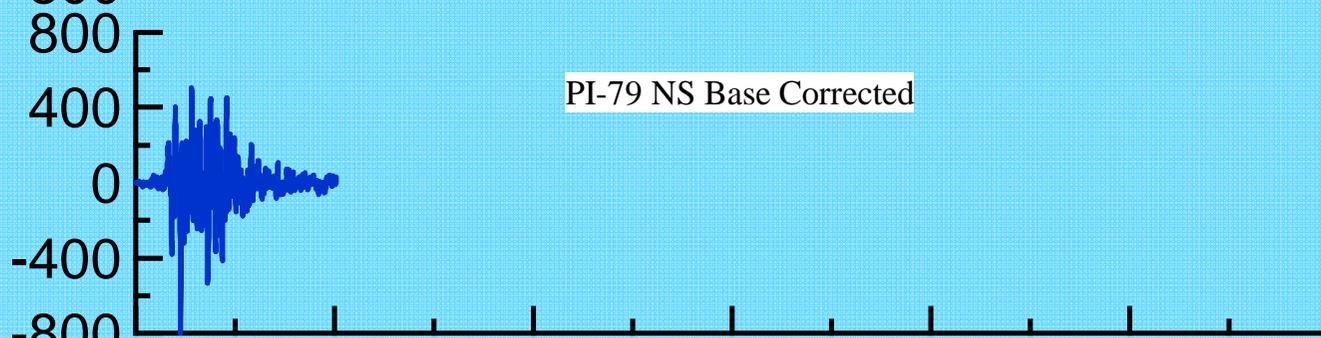
M7.9



1995年
兵庫県南部地震
ポートアイランド

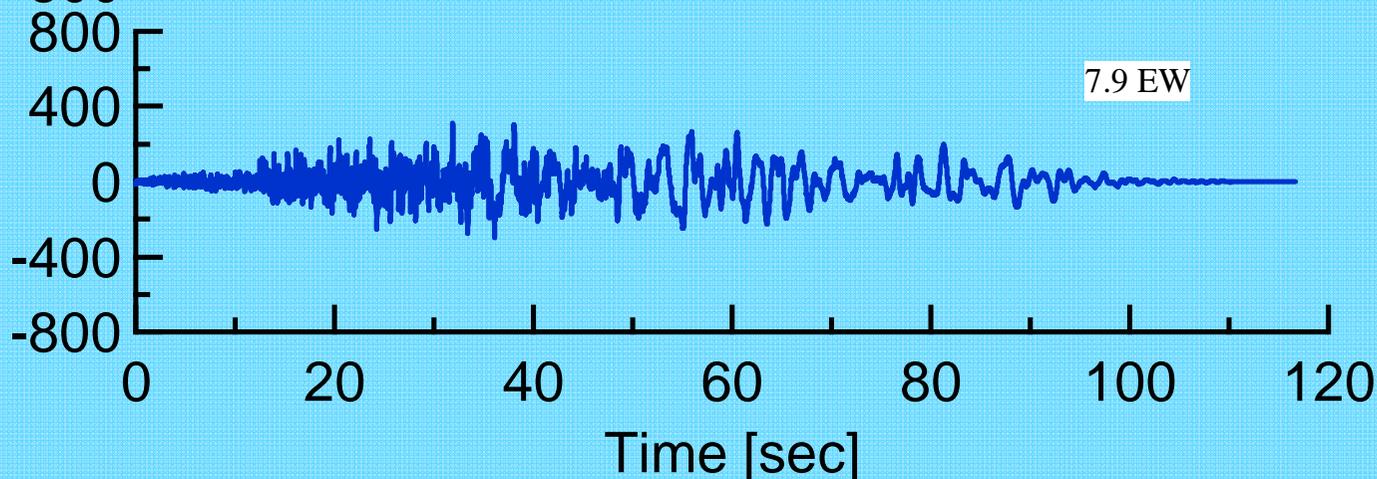
M7.2

Acc. [Gal]

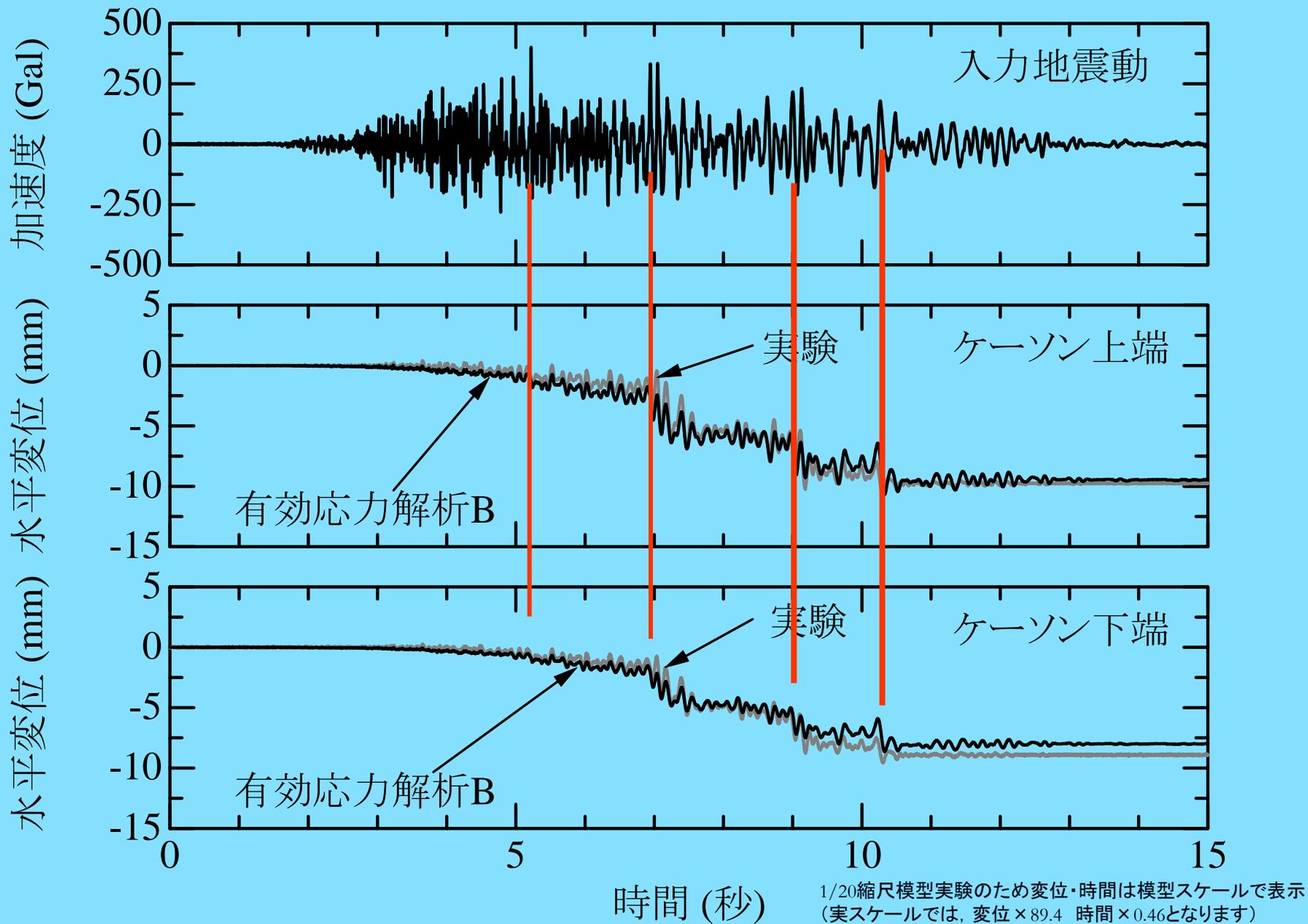


関東地震の再来を
予測
大田区沖合

M7.9

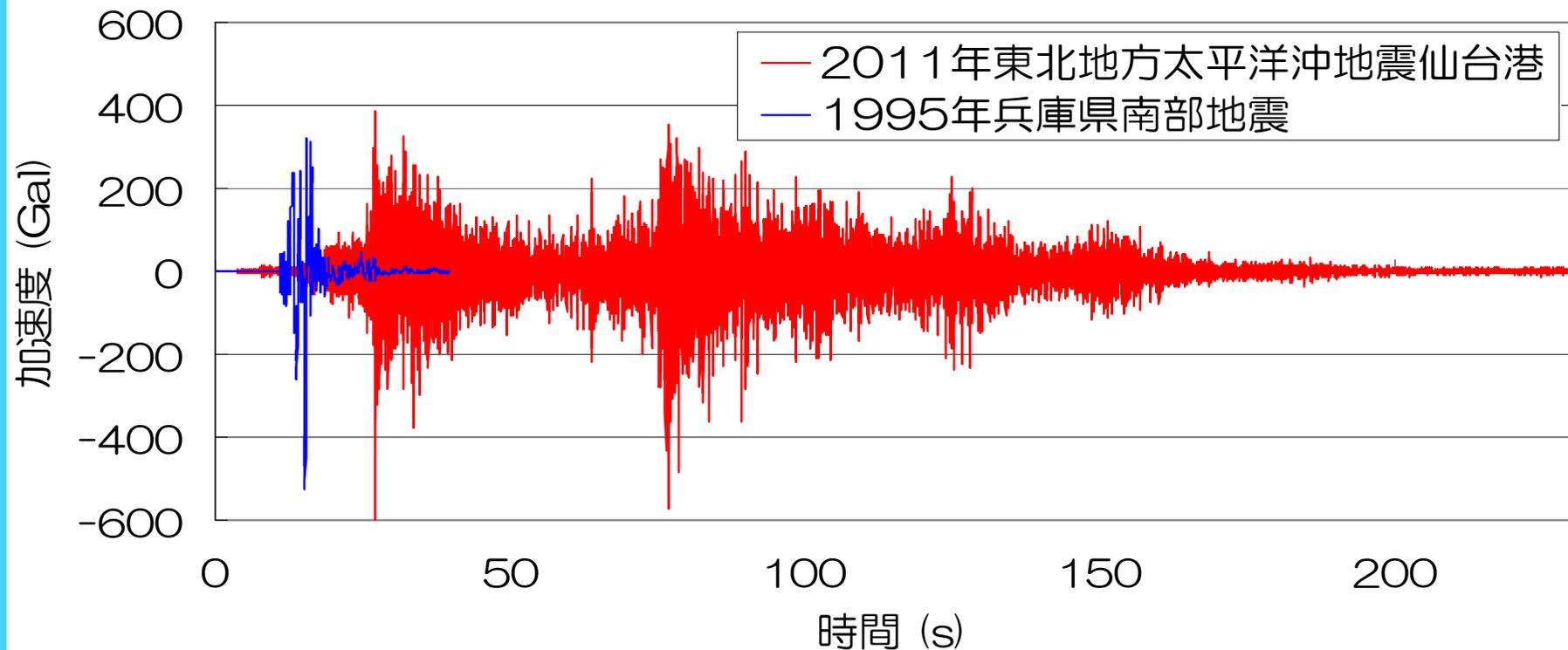


継続時間が長い！ 長周期！



長周期，長継続時間の地震動で被害が進展！

東日本大震災の際に仙台港で観測された地震動 阪神大震災の際にポートアイランドで観測された地震動

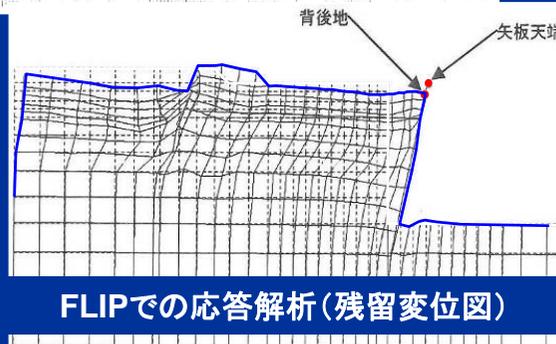
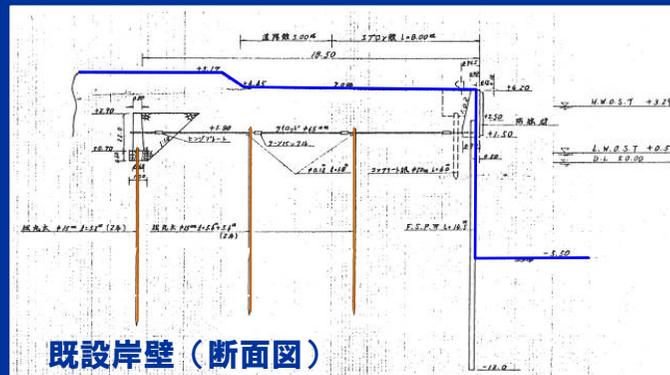


長継続時間の地震動による「被害の進展」を念頭においた
被害シミュレーションの精度向上
対策技術の再評価
(新しい対策技術の開発)

耐震診断の手法の概要

- ・通常、地震時の変形量の予測を行う耐震診断には、FLIP等のFEM解析を行って確認しているが、多大な費用と時間がかかることが課題。 ※ 1断面あたり300~400万円
- ・国土交通省港湾局で開発した簡易的手法である「チャート式耐震診断システム」を使用するにより、地震に対する危険性が高い施設をスクリーニングできることで、迅速、安価に判定を行うことが可能。
※ 「チャート式耐震診断システム」は職員が直接操作可能なため、1断面あたり0円

■チャート式耐震診断システムによる耐震診断の流れ



【チャート式計算例】

矢板式 護岸	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
自立矢板式	-363	-2
背後地	-	-477

【FLIP計算例】

矢板式 護岸	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板天端	-303	-6
背後地	-	-83

チャート式耐震診断システムの開発目的

■背景■

- ・海岸保全施設は施設延長が膨大
- ・耐震診断には複雑なシミュレーションが必要のため**高度な技術、多大な時間・費用**が必要



多くの海岸保全施設で耐震診断が未実施の状況であり、津波越流の可能性が不明

■開発目的■

「簡単に」、「すばやく」、「**経済的に**」耐震診断が可能なシステムを開発

システムのコンセプト

- **チャート式による耐震診断の位置づけ**

危険性のある施設を抽出するための第1次スクリーニングに用いる

- **使用方法はできるだけ簡単に**

Ms Excelで稼動

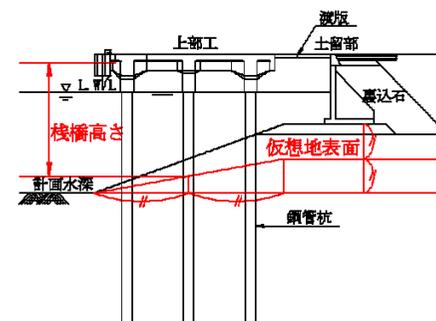
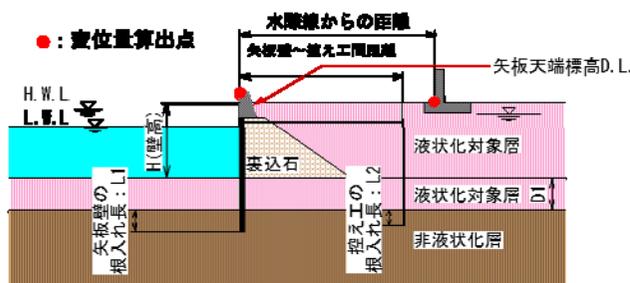
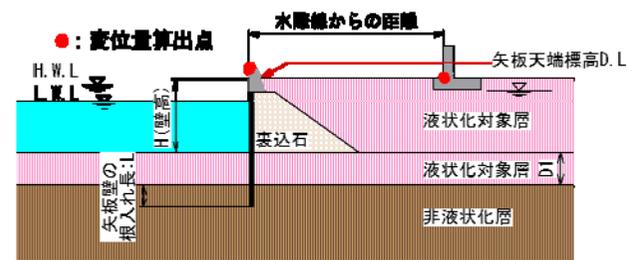
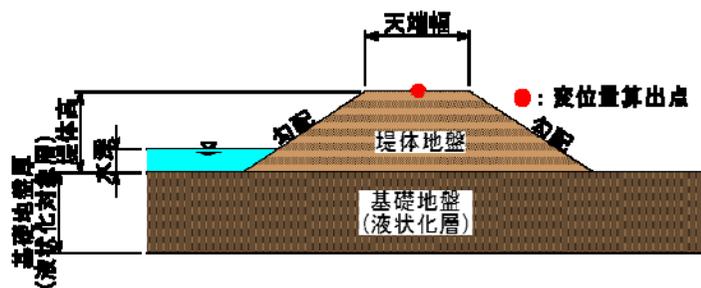
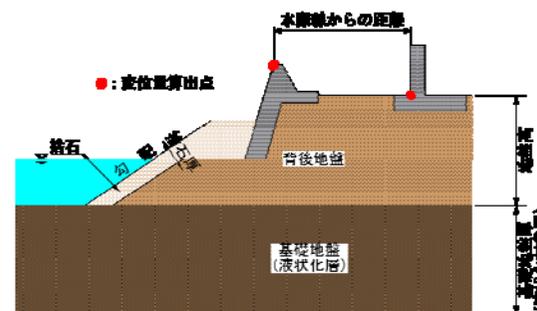
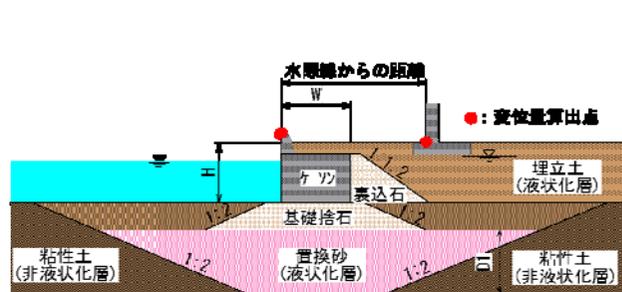
- **使用方法は簡単であるが、精度の高いシステムを**

数百ケースのFEM解析(コンピュータシミュレーション)を実施し、その結果を地盤条件、施設形状、地震動条件により体系的に整理しデータベース化

耐震診断結果(残留変位等)は、そのデータベースから入力条件に照らしあわせ算定される

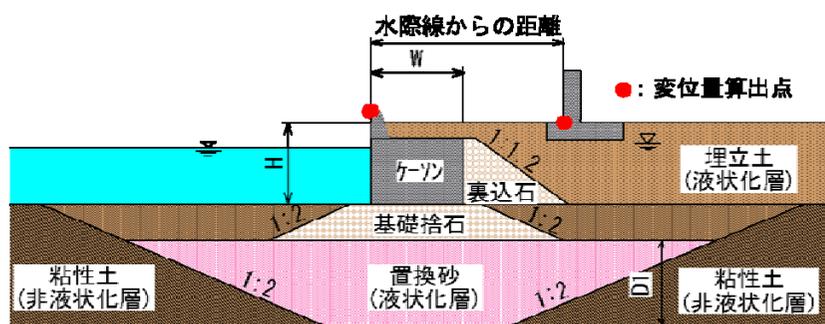
システムの概要① ～適用可能な構造形式～

- ・直立型 ・傾斜型護岸 ・傾斜型堤防 ・自立式矢板 ・控え直杭式矢板
- ・控え組杭式矢板 ・直杭式棧橋 合計7構造形式



システムの概要② ～診断に必要な情報～

- 情報① ■施設形状 : 施設台帳等に記載の標準断面図
- 情報② ■地盤条件 : 地盤調査(N値)
- 情報③ ■地震動条件 : 予測地震動 or 想定地震の断層、マグニチュード



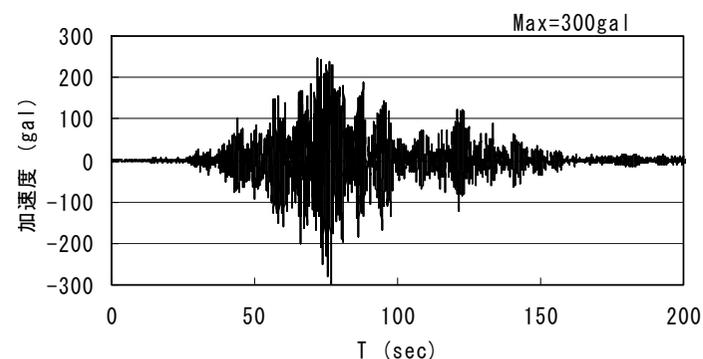
ケーソン幅: W

ケーソン高: H

直下の液状化層厚: D1

埋立土・置換砂の等価N値

*) 簡単な入力条件で等価N値が算定可能な補助システムも完備



継続時間、周期特性を考慮できるように速度のPSI値で評価

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

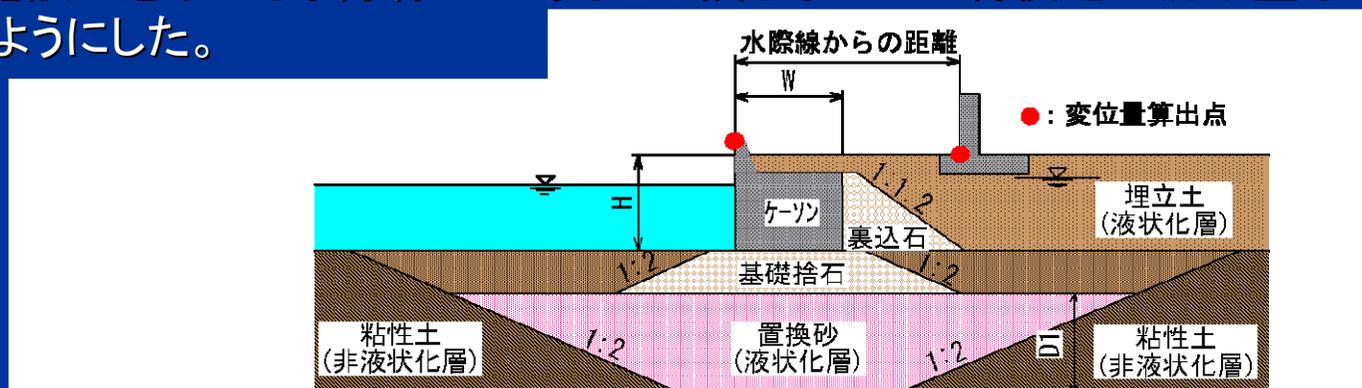
*) 簡単な入力条件で速度のPSI値が算定可能な補助システムも完備

* PSI値: 港湾・海岸構造物に関して、過去の地震被災調査結果で被災程度とPSI値の相関性が確認されている。

システムの概要③ ～アウトプット項目～

構造形式	チャート式によるアウトプット項目			
	残留鉛直変位	残留水平変位	鋼材の健全性	背後地の沈下量
直立型	○	○	—	○
傾斜型護岸	○	△	—	○
傾斜型堤防	○	—	—	—
自立矢板式	○	○	○	○
控え式矢板	○	○	○	○
栈橋式	—	○	○	○

- ・津波越流の可能性の診断を第1目的としたため、**残留鉛直変位**に関して精度を求めた(栈橋式については鉛直変位はほとんど発生しない場合が多い)
- ・**傾斜型護岸の残留水平変位**は他の項目と比べ精度が劣る(後述)
- ・矢板式、栈橋式は**鋼材の健全性**についても診断可能
- ・海岸保全施設は必ずしも水際線上にあるとは限らないので**背後地の沈下量**も算定できるようにした。



残留変位等算定方法の概要①

(耐震診断結果:残留変位等)

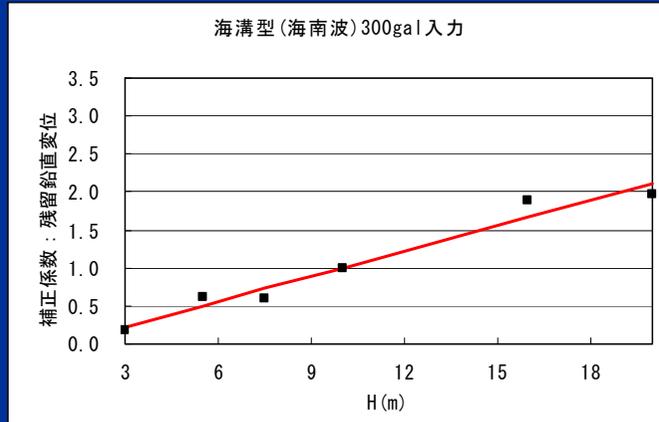
= (施設形状の影響) × (地盤条件の影響) × (地震動条件の影響)

施設形状の影響等は、数百ケースに及ぶFEM解析結果を整理しそれをもとに設定

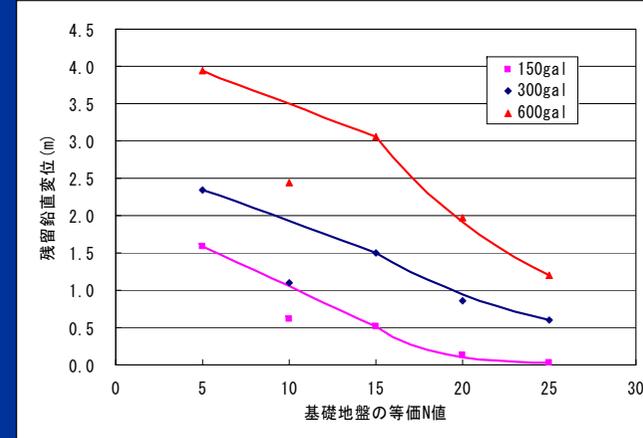
- 直立型・・・・・・・・・・約120ケース
- 傾斜型護岸・・・・・・・・約120ケース
- 傾斜型堤防・・・・・・・・約120ケース
- 自立矢板式・・・・・・・・約200ケース
- 控え直杭式矢板護岸・・・・約500ケース
- 控え組杭式矢板護岸・・・・約500ケース
- 栈橋式・・・・・・・・・・約100ケース

施設形状等の影響評価例

*)プロット:FEM解析結果、ライン:影響評価線

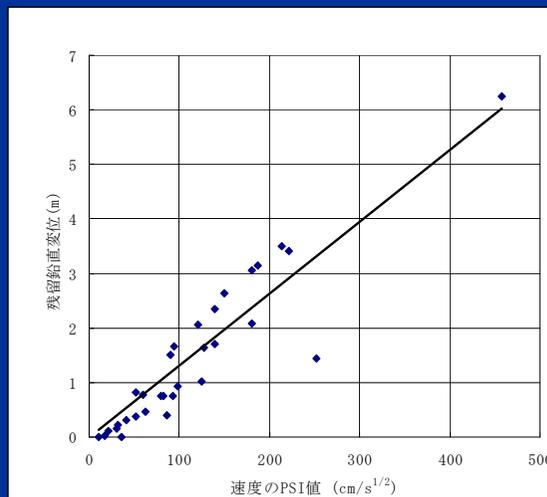


壁高大→鉛直変位大



等価N値大→変形量小

■地震動の大きさにより液状化の度合いが異なるため、3種類の地震動レベルで検討する等工夫した。



速度のPSI値大→鉛直変位大

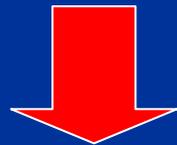
全国各地の港湾を対象に作成された地震動(地震動継続時間・周期特性等を変化させる。)を用いてFEM解析を実施し、精度を確認。

FEM解析(コンピュータシミュレーション)の精度確認①

FEM解析コード : 港湾・海岸施設での実績が多いFLIPを使用

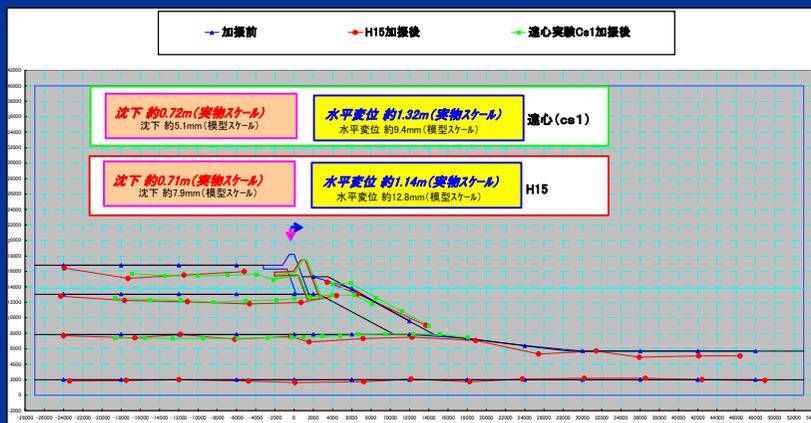
直立型、傾斜型堤防、控え式矢板、棧橋式については兵庫県南部地震、日本海中部沖地震、釧路沖地震等の被災事例解析によりFLIPの解析精度が確認されている。

しかし、傾斜型護岸、自立式矢板に対しては適用性が確認されていない。

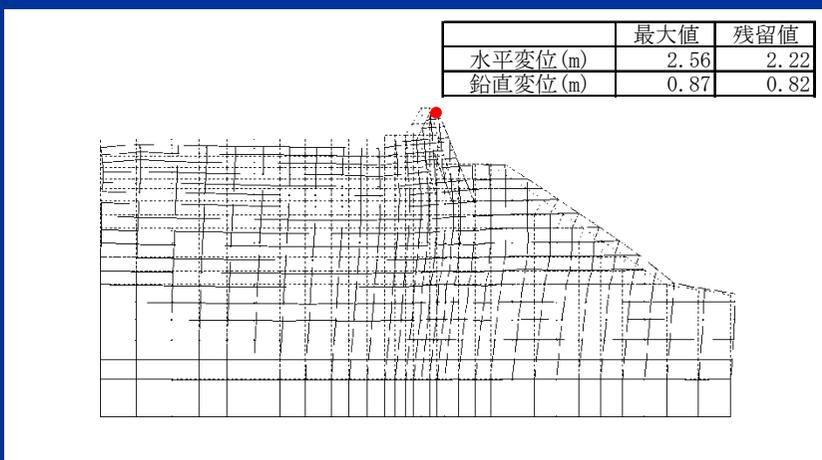


傾斜型護岸、自立式矢板について遠心模型実験を実施し、FLIPの解析精度を確認した。

FEM解析の精度確認②



実験結果 (水平: 1.32m、鉛直: 0.72m)



解析結果 (水平: 2.22m、鉛直: 0.82m)

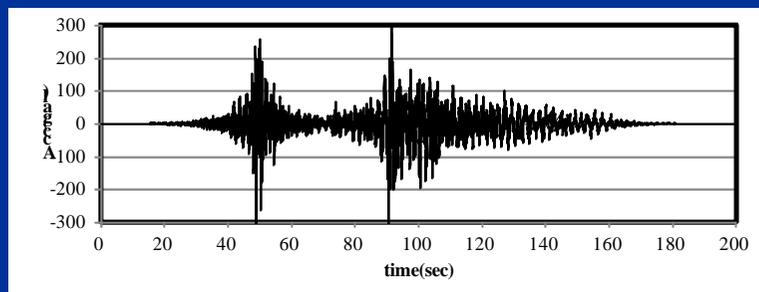
傾斜型護岸では、FEM解析により鉛直変位は実験を概ね再現できた。しかし、水平変位は実験に比べ大きな値となった



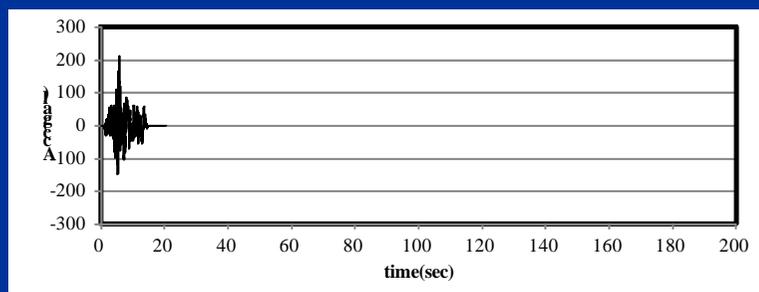
チャート式により傾斜型護岸の水平変位についても診断可能であるが、他の診断結果と比べて精度は劣る

*) 通常版のチャート式では傾斜型護岸の水平変位に関する診断結果は非表示としているが、システム内部では計算しているため、算定は可能

速度のPSI値による地震動レベルの評価



2011年東北地方太平洋沖地震 石巻港
(速度のPSI値) = $100.0 \text{ cm/sec}^{1/2}$



1968年十勝沖地震 八戸港
(速度のPSI値) = $30.3 \text{ cm/sec}^{1/2}$

従来、地震動レベルの評価として用いられた指標は最大加速度である。上記2波形を最大加速度で比較すると2倍程度である。しかし、上記波形をみてもわかるように両者の継続時間の違いは明らかであり最大加速度だけで比較することは難しい。速度のPSI値は、継続時間、周波数特性を考慮して地震動レベルを評価できる指標であり、速度のPSI値で比較すると3倍程度の違いとなる。

チャート式では速度のPSI値で地震動レベルを評価しており、地震動の継続時間、周波数特性を考慮した耐震診断が可能である。

122	出力項目	標準タイプ	速度のPSI値	30.30	($\text{cm/s}^{1/2}$)
123		補正係数 (鉛直変位)	残留鉛直変位	0.14	(m)
124			(1H)=地盤高	0.89	
125			(2H)=捨石厚	1.42	
126			(3H)=勾配	1.17	
127			(4H)=基礎地盤厚	1.51	
128			(5H)=背後・基礎地盤の等価M値	1.04	
129			(6H)=地震動レベル(速度のPSI)	0.34	
130		(1H)・(2H)・(3H)・(4H)・(5H)・(6H)	0.78		
131		対象施設	残留鉛直変位		0.2
132				0.2	(m) 水際からの距離を考慮したもの

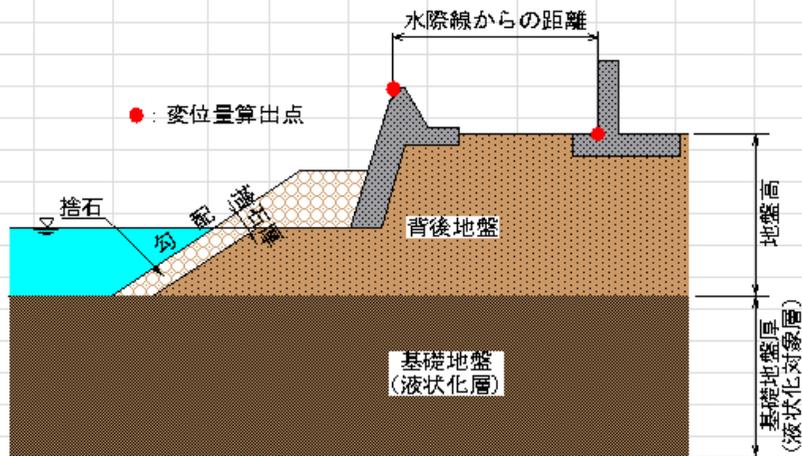
120	出力項目	標準タイプ	速度のPSI値	100.00	($\text{cm/s}^{1/2}$)
121		補正係数 (鉛直変位)	基礎地盤の等価M値	12.20	5≦等価M値≦25 (ただし、背後地盤の等価Mより大きい値を入力)
122			残留鉛直変位	0.14	(m)
123			(1H)=地盤高	0.89	
124			(2H)=捨石厚	1.42	
125			(3H)=勾配	1.17	
126			(4H)=基礎地盤厚	1.51	
127			(5H)=背後・基礎地盤の等価M値	1.57	
128		(6H)=地震動レベル(速度のPSI)	1.11		
129		(1H)・(2H)・(3H)・(4H)・(5H)・(6H)	3.91		
130	対象施設	残留鉛直変位		0.6	(m) (参考) 54cm
131					

十勝沖地震 PSI= 30.3
地震後の余裕高1.93m

東北地方太平洋沖地震 PSI=100
地震後の余裕高1.53m

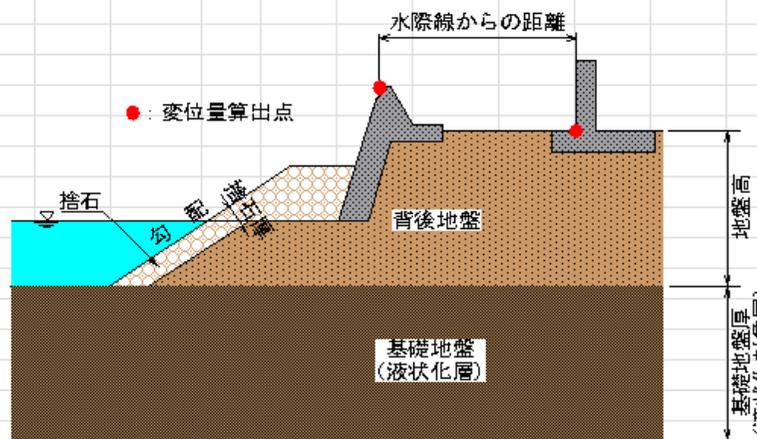
137	(3) 余裕高さによる耐震性評価	
138	①: 天端標高	4.58 (m) (値は、D.L表示)
139	②: 沈下量(残留変位)	0.20 (m) (正の値=沈下) 水際からの距離を考慮したもの
140	③: 津波高さ	2.23 (m) (値は、D.L表示)
141	④: 排水沈下量	0.00 (m) (正の値=沈下)
142	⑤: 地盤沈降量	0.22 (m) (正の値=沈下) 過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量
143	⑥: 護岸形状による津波高さの補正係数	1.00 当面の間は、1.0
144	⑦: 余裕高さ	1.93 (m) ⑦=①-②-③×⑥-④-⑤ 水際からの距離を考慮したもの

注: 余裕高さが負の場合は、天端高よりも津波高が高い。



137	(3) 余裕高さによる耐震性評価	
138	①: 天端標高	4.58 (m) (値は、D.L表示)
139	②: 沈下量(残留変位)	0.60 (m) (正の値=沈下) 水際からの距離を考慮したもの
140	③: 津波高さ	2.23 (m) (値は、D.L表示)
141	④: 排水沈下量	0.00 (m) (正の値=沈下)
142	⑤: 地盤沈降量	0.22 (m) (正の値=沈下) 過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量
143	⑥: 護岸形状による津波高さの補正係数	1.00 当面の間は、1.0
144	⑦: 余裕高さ	1.53 (m) ⑦=①-②-③×⑥-④-⑤ 水際からの距離を考慮したもの

注: 余裕高さが負の場合は、天端高よりも津波高が高い。



チャート式耐震診断システムの特徴

●チャート式耐震診断の特徴

- ①チャート式耐震診断システムの結果は、安全サイドの値を示す。
- ②変形量が大きくなったり、標準的な形状と異なると誤差が大きくなるが、スクリーニング手法としては十分な精度を有している。
- ③時間とコストが無い状況で耐震性に脆弱な施設を的確に抽出するが、結果は、あくまで目安である。(定性的な結果)
- ④精度の高い結果は、FLIP解析が必要。

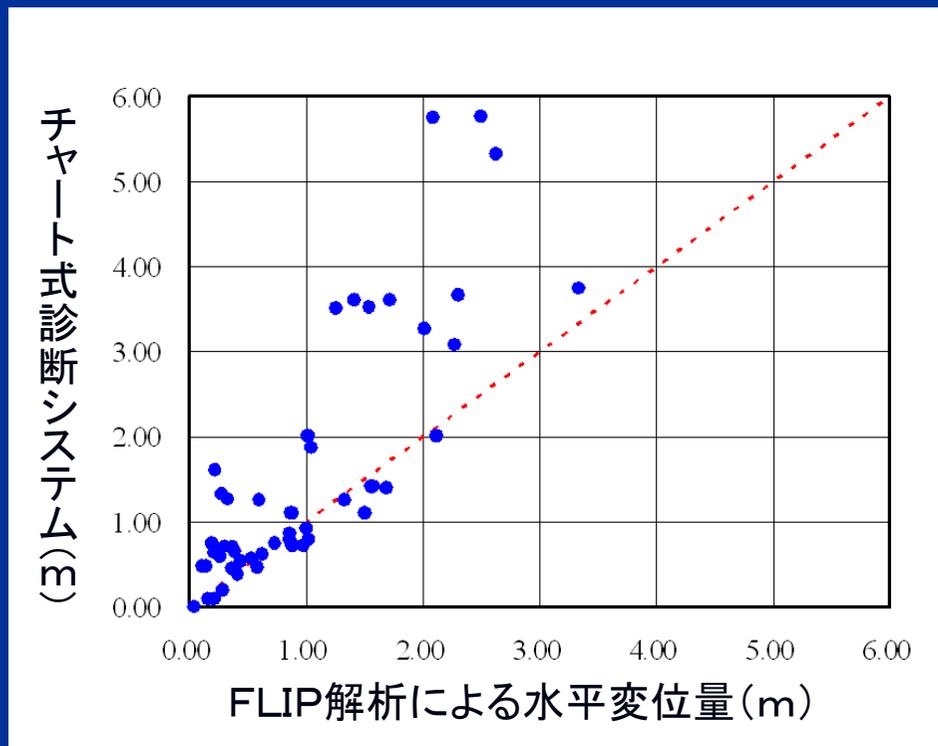


図-1 チャート式診断システムとFLIP解析の比較(水平変位量)

よくある質問①

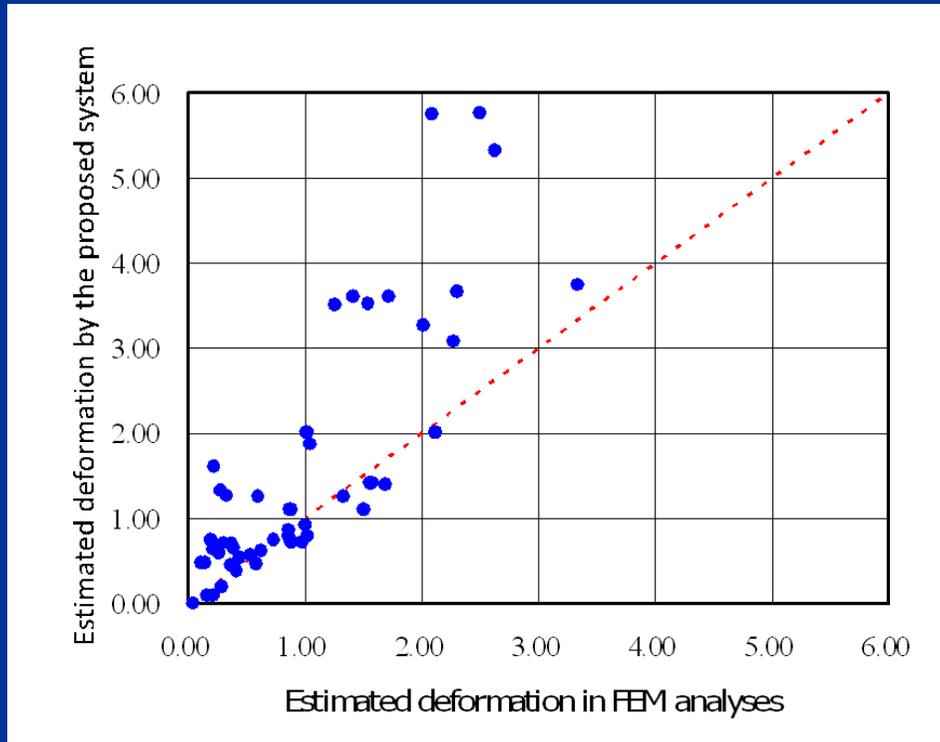
Q:構造形式がいくつかあるが、各構造形式によって結果の信頼性に差異があるのか?? また、対象施設の構造型式とチャートの構造型式が合わない場合は??

→ 構造形式の差異で精度の差ができるだけ発生しないようにデータベースを作るための解析ケースを設定している。控え式矢板については、構造が複雑であるため、それだけ多くのFEM解析を実施しデータベースを作成している。

→ 複合的な構造型式や新形式には適用不可能な場合もあるが、対象構造物の安定機構や地震時挙動が似ている構造型式のチャートを援用することで、大まかな診断は可能。

よくある質問②

Q:チャート式の診断結果の信頼性は??



チャート式の診断結果とFEM解析結果の比較

KOJI ICHII, TSUNAMI DAMAGE: WHAT IS UNEXPECTED?, Recent Advances in Geotechnical Predictions and Practices in Dealing with Geohazard Chu, Wardani & Iizuka (eds)

- ・変形量が大きくなると誤差が大きくなる。
- ・構造形状が標準的な形状と大きく異なると誤差が大きくなる。
- ・FEM解析に対し概ね安全側の診断であり、第1次スクリーニングとしては十分な精度であると考えられる。

よくある質問②

Q:チャート式により耐震診断が実施された事例は??

■ 海岸保全施設

大阪府、兵庫県、徳島県、高知県、和歌山県……管理する海岸保全施設についてチャート式を用いた耐震診断を実施。特に、大阪府、兵庫県については全域について実施。

■ 港湾施設

中部地方整備局……チャート式を用いて港湾施設の地震後変形量を評価し港湾BCP検討の際の基礎検討を実施。