

検討方法について

平成24年12月4日
中国地方整備局港湾空港部

■既往の検討の課題

- 平成24年3月 内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」にて、南海トラフの巨大地震である東海・東南海・南海地震について、想定すべき最大クラスの対象地震が想定された。想定された地震に基づき、津波シミュレーションが公表されたが、主に以下のような課題がある。
 - ・護岸・岸壁等のデータ(護岸高など)が、現状と一致していない部分がある。
 - ・護岸・岸壁等の地震による地殻変動(地盤の沈下)は、考慮されているが、地震動による液状化の影響を考慮していない。
 - ・震源モデルはSMGAモデルで設定されており、構造物に与える影響を評価する上で必ずしも適切ではない(後述)。

■今回の検討内容

- 複数のコンビナートを有する瀬戸内海の臨海部において、最大規模の津波による被害想定を把握し、港湾の機能維持や背後地域に与える被害を最小限にするための対応方針等を得るため、水島港と徳山下松港をモデルケースとして検討を行う。
 - ・現状データ(護岸高、岸壁高、地盤データなど)を確認し、津波シミュレーションに反映。
 - ・地震による地殻変動に加え、液状化による施設の沈下を考慮。
 - ・液状化による構造物の影響を評価するため、適切な地震動を設定する。
 - ・上記検討を踏まえ検討マニュアル(案)を作成。

■全体検討フロー

東北地方太平洋沖地震・津波による巨大な地震・津波の発生の可能性

【内閣府】東北地方太平洋沖地震・津波を踏まえたあらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波の検討
【南海トラフの巨大地震モデル検討会】強震断層域、津波断層域の検討

耐震検討を行うための地震動モデル(港空研)
強震断層域条件による地震波形等の推定

非線形長波理論による津波シミュレーションモデル
津波高等の推定

1.護岸・岸壁等の耐震性に関する検討

- 護岸高・岸壁高の再確認(内閣府データの再確認)
- 新たな地震動の設定(精度の高い地震動の設定)
- 耐震性に関する検討(チャート式耐震診断、FLIP)
- 護岸・岸壁等の変位量・沈下量の把握

今回検討手法を説明

2.臨海部の津波による浸水域の再検討

- 計算地形データの作成(水深・地盤高・施設天端高)
- 津波シミュレーションによる再検討
- 浸水域・浸水深の把握

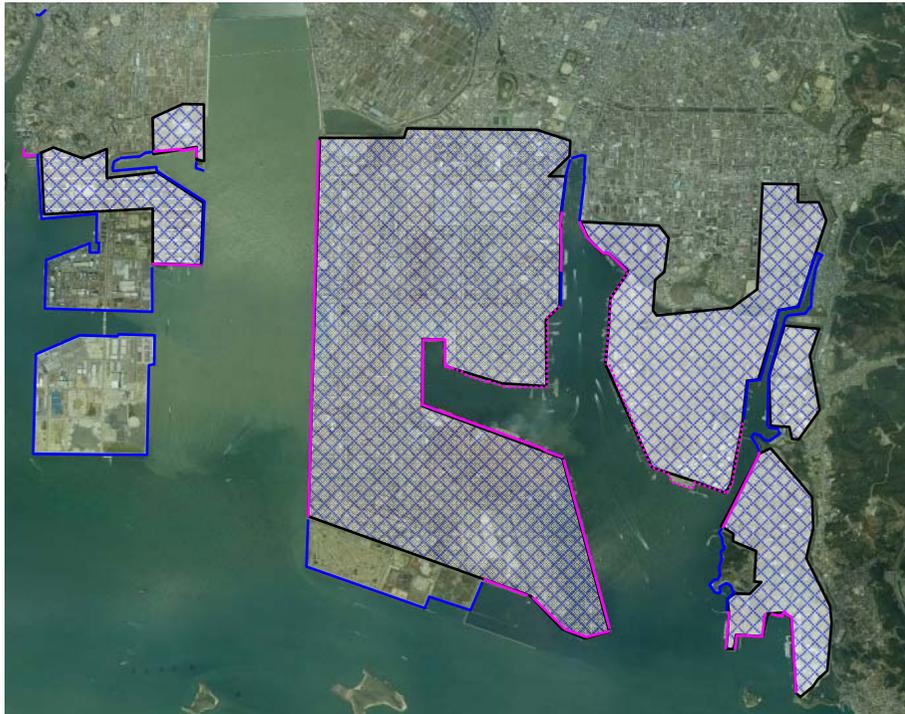
護岸・岸壁等の地震による被害を踏まえた津波による浸水域・浸水深の把握

1. 検討対象範囲

■ 検討対象

国際バルク戦略港湾に位置づけられ、多様な産業が集積しコンビナートを形成する港湾として、「水島港」「徳山下松港」を選定し、各港の港湾区域内を検討対象範囲とし、民有護岸を中心に検討する。

■ 水島港



■ 徳山下松港



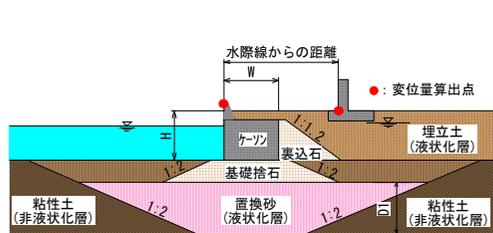
■ 検討範囲

- 護岸、岸壁等(石油タンク、高圧ガスタンクは対象外)の耐震性に関する検討を実施し、浸水域、浸水深を再検討、確認する。
- 但し、浸水域の拡大状況により、河川堤防背後等に影響を及ぼすなどの場合は、必要に応じて他機関との調整を図る。

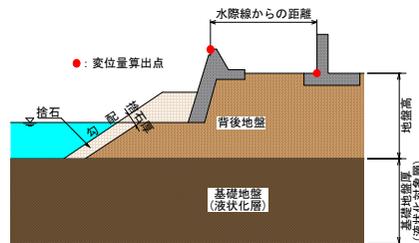
2. 護岸の構造解析方法について

2-1. チャート式耐震診断システムの特徴

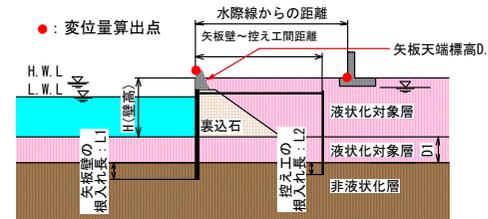
	概要・特徴
<p>チャート式耐震診断システム</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・施設形状、地盤条件、設定した地震動条件を用いて、地震発生時の海岸保全施設の変形量を簡易に算定する簡易的な算定システムである。 ・数百ケース以上にも及ぶFLIPの解析結果を用いて整備したデータベースを用いている。 ・施設条件や地震動の条件の入力のみで、短時間に沈下量の推定が可能。 ・検討費用が安価であり、予算面により検討断面数が限定されないが、推定値は既往のFLIP解析結果を内包するよう、安全側(変位大)の結果が算出される。



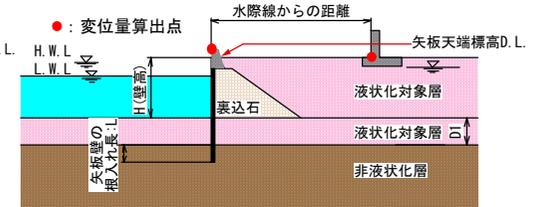
(1) 直立型(重力式)



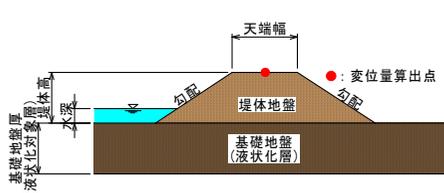
(2) 傾斜型護岸タイプ



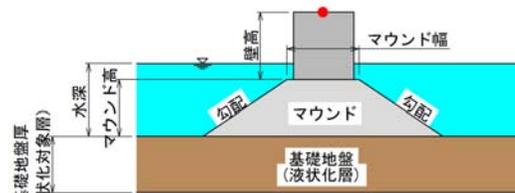
(5) 控え直杭式矢板



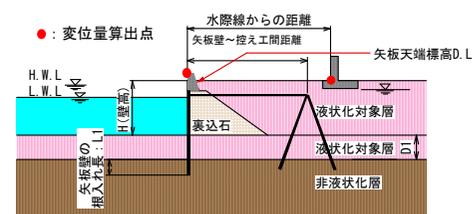
(7) 自立式矢板



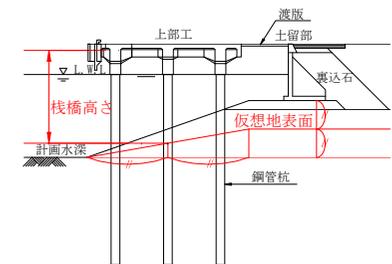
(3) 傾斜型堤防タイプ



(4) 重力式防波堤



(6) 控え組杭式矢板



(8) 直杭式栈橋

チャート式耐震診断システムで適応可能な構造形式

2-2. FLIPの特徴

	特 徴
FLIP	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2次元の地震応答解析であり、精緻な沈下量等を評価することが可能。 ・ 地盤と構造物を一体的にモデル化して解析するため、構造物の損傷度合や地盤の変形等を直接的に評価することが可能である。 ・ 港湾施設を中心に多数の使用実績。 ・ 検討費用が高価であり、予算面により検討断面数が限られる。

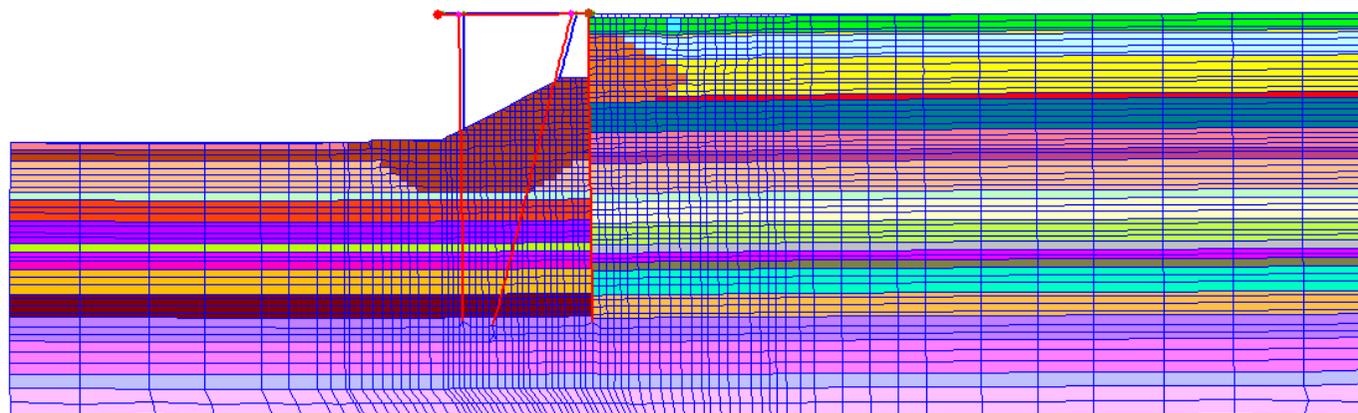
FLIPの変形照査の一例

位置	変位(m)	水平	鉛直
棧橋海側天端	残留	-0.25	-0.09
	最大	-0.27	-0.09
土留矢板天端	残留	-0.25	-0.02
	最大	-0.27	0.03

構造スケール → 5 m

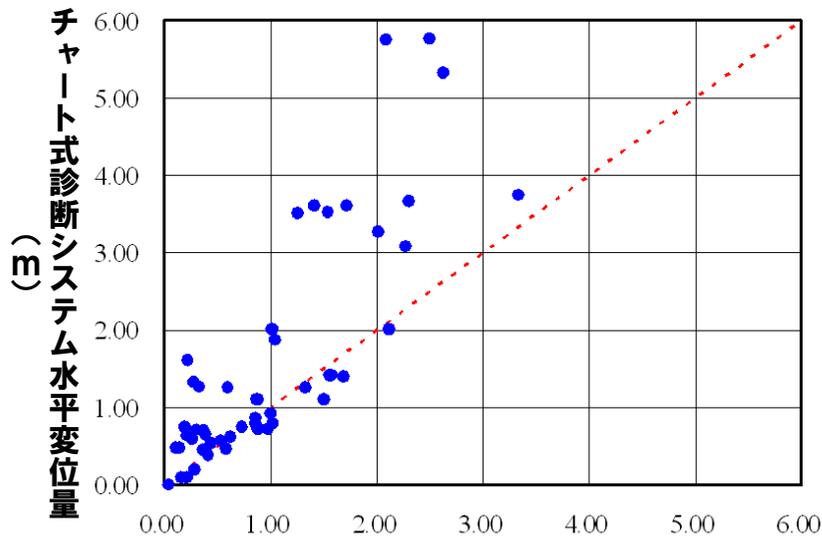
変形スケール → 5 m (構造スケール×3)

*) 水平 正:海側、負:陸側
*) 鉛直 正:上向き、負:下向き

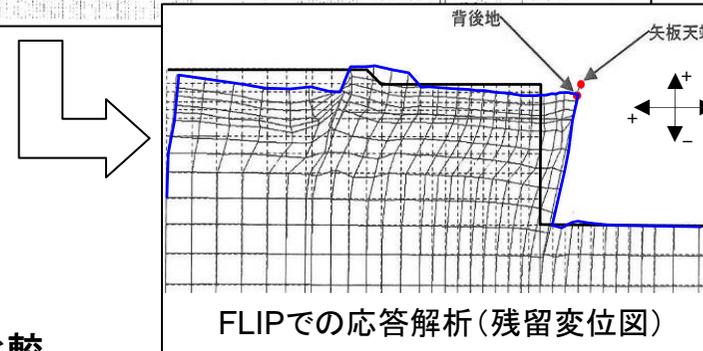
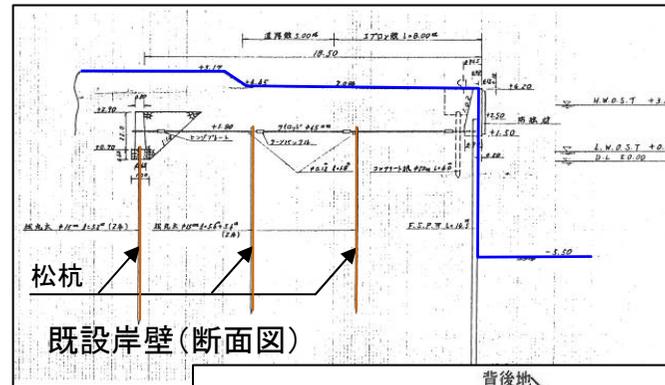


2. 護岸の構造解析方法について

2-3. チャート式とFLIPの比較



FLIP解析による水平変位量 (m)
出典：(独) 港湾空港技術研究所資料



【チャート式、FLIPの計算例】

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とFLIPの水平変位量比較

FLIPによる変形照査結果

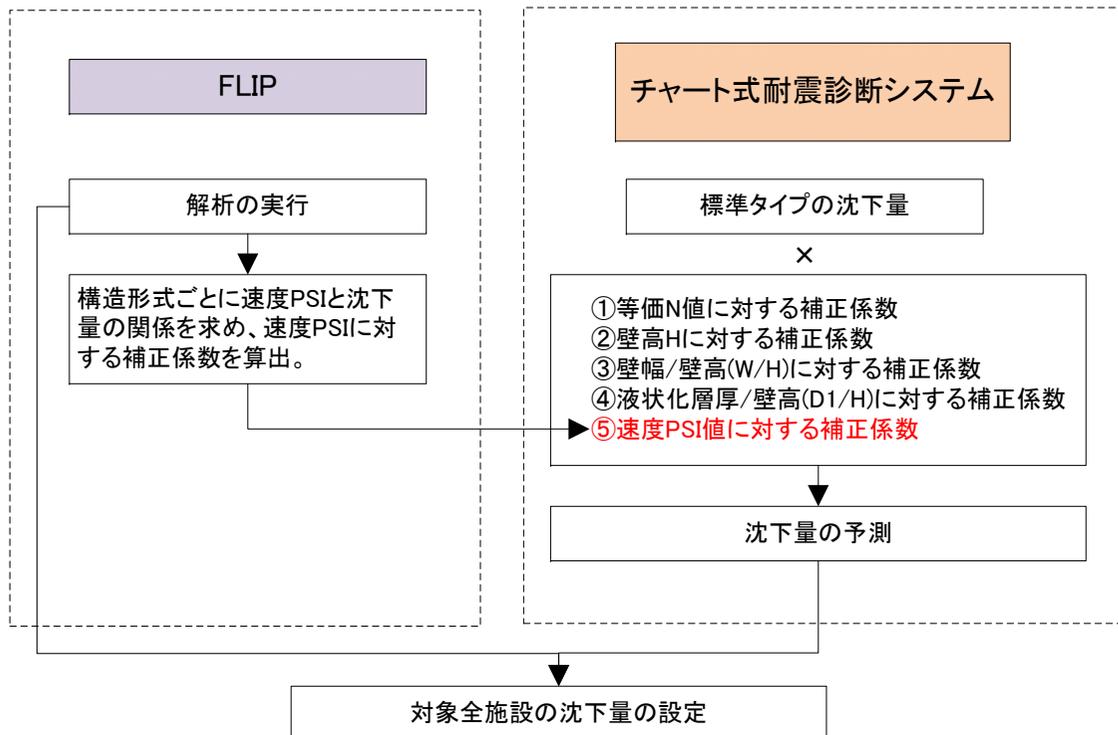
- ①チャート式耐震診断システムの結果は、安全サイドの値を示す。
- ②変形量が大きくなったり、誤差が大きい場合があるが、スクリーニング手法としては十分な精度を有している。
- ③時間とコストが無い状況で耐震性に脆弱な施設を的確に抽出するが、定量的な結果は、目安であるものの、定性的な傾向は得られるシステムである。
- ④精度の高い結果は、FLIP解析が必要となる。

2-4. チャート式耐震診断システムの精度向上手法について

★チャート式耐震診断システムはFLIPに比べて推定精度が劣る可能性

⇒チャート式耐震診断システムの補正係数のうち、地震動に関する補正係数に着目

⇒地震動に関する補正係数は、FLIPの結果から再設定



速度PSI値とは・・・

下式に示すように、各時刻の速度の2乗を全継続時間で足し合わせたものの平方根であり、港湾構造物の変形量の推定に用いる評価指標として用いられている。速度PSI値は変形量に対して非常に良い相関(線形関係)にあることが分かっている。速度PSI値はその大きさを確認することで、構造物の変形量の大小を感覚的にイメージすることができる。また、チャート式耐震診断システムによる変形量推定時にも必要となるパラメータである。

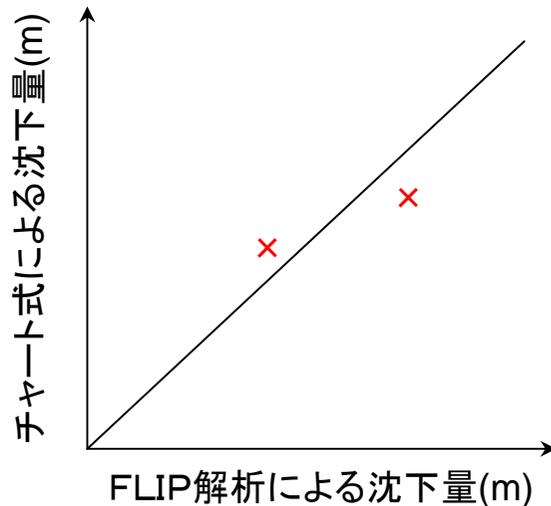
$$\text{速度PSI値} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} v^2(t) dt}$$

2. 護岸の構造解析方法について

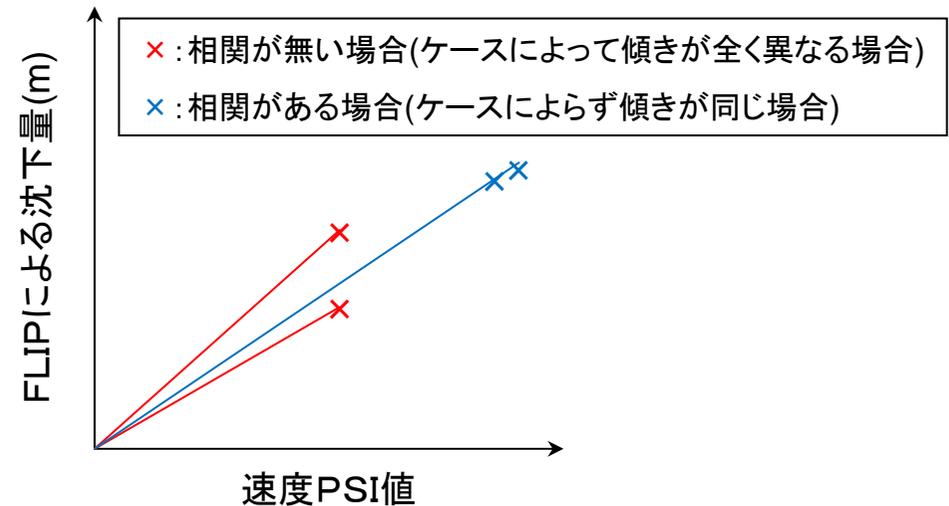
2-4. チャート式耐震診断システムの精度向上手法について

本検討で実施するFLIPとチャート式耐震診断システムとの比較を行うことにより、相関性の確認を行う。相関性の比較を行うことにより、チャート式耐震診断システムの有用性の確認を行うとともに、特にチャート式耐震診断システムの精度向上において速度PSI値に対する補正係数の見直しに対して、FLIPとチャート式耐震診断システムの間に関連がみられる場合には、速度PSI値に対する補正係数の見直しを行う。

FLIPとチャート式耐震診断システムの間に関連がみられない場合には、速度PSI値の補正を行わない。



FLIPとチャート式耐震診断システムの相関性確認



補正係数の見直しに関する有意性確認

(※)ケースによらず傾きが同じ場合は、速度PSI値と変形量の関係に一定の関係があると言える。そのため、ケースによらず傾きが同じと判断されれば、有意な相関性があると判断し、補正係数の見直しを行う。

2. 護岸の構造解析方法について

2-5. 対象施設の選定について(水島港)：チャート式耐震診断システム

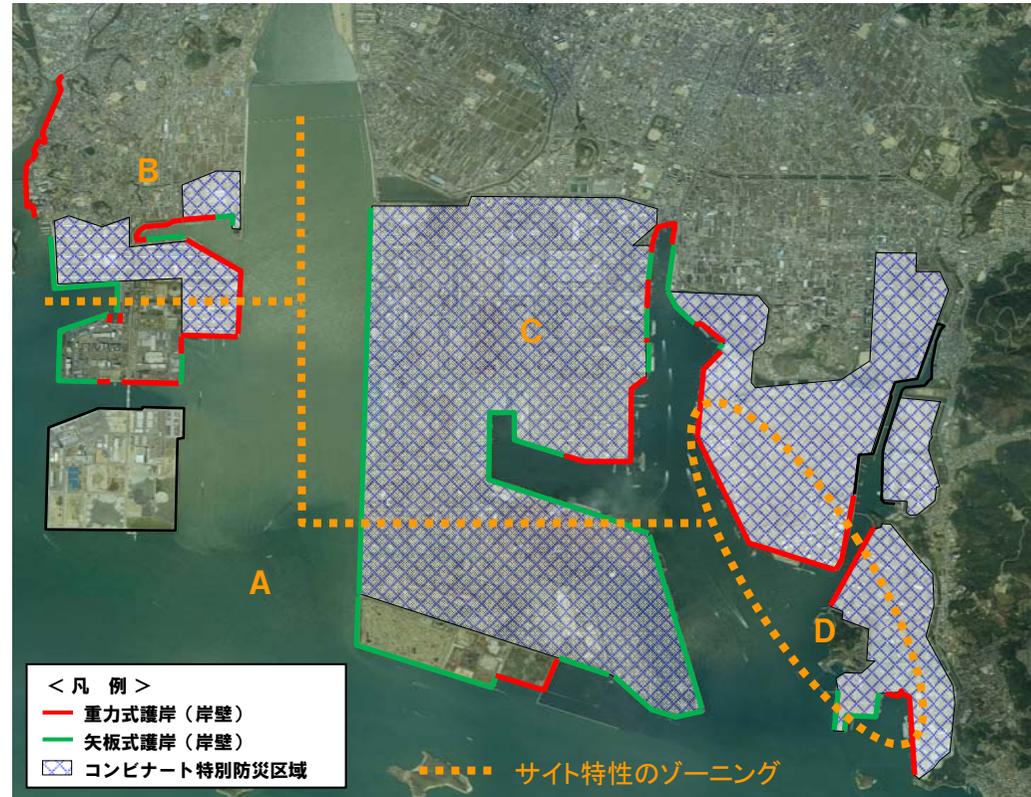
○チャート式耐震診断システムの実施断面の選定の留意点

- ①構造形式の種類を踏まえ選定(水島地区を網羅させる)
- ②重要な施設を優先的に選定

下図の範囲から断面を選定

全断面数：46断面
重力式：19断面
矢板式：27断面

(※)企業等のヒアリングにより提供頂いた資料、及び施設台帳の中から、把握できる施設を全て勘案した上で、港湾全体のバランス等を考慮して断面数を設定している。



構造解析実施対象範囲(水島港)

2. 護岸の構造解析方法について

2-5. 対象施設の選定について(水島港) : FLIP

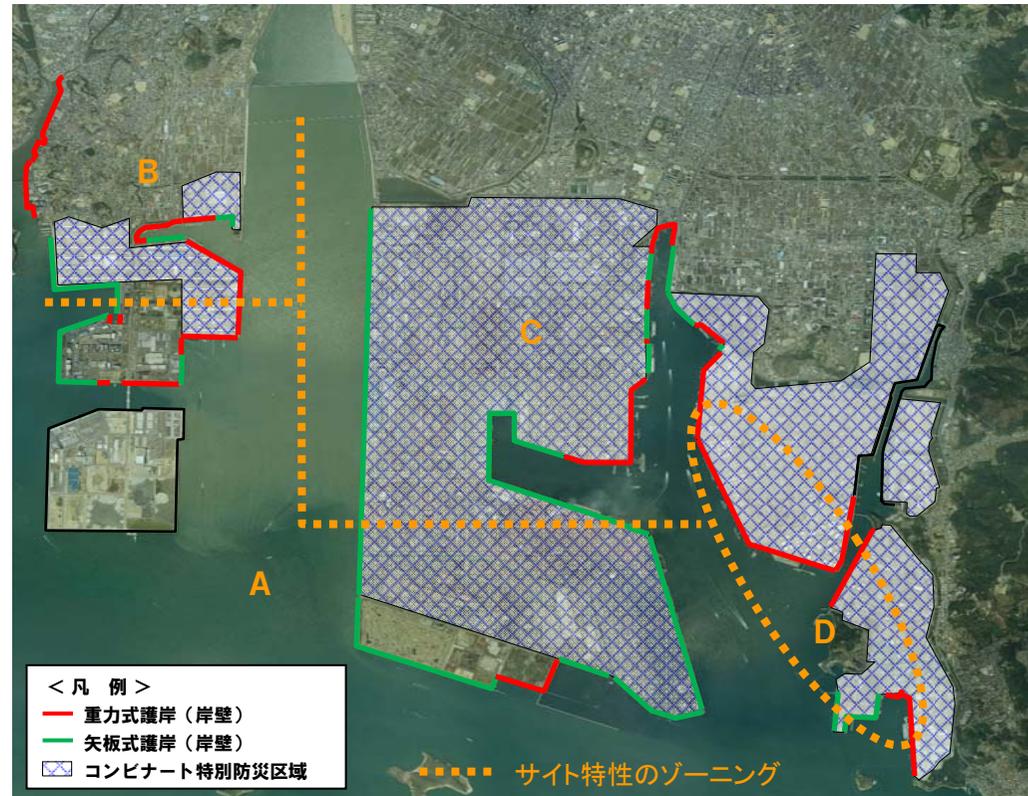
OFLIP解析の実施断面の選定の留意点

- ① サイト特性を考慮し 選定
- ② 構造形式(重力式、矢板式)により 選定

→
下図の範囲から
断面を選定

全断面数 : 5 断面
重力式 : 2 断面
矢板式 : 3 断面

(※)背後施設の重要度や前面に航路が位置するなどの周辺状況を勘案し、5断面を選定



構造解析実施対象範囲(水島港)

2. 護岸の構造解析方法について

2-5. 対象施設の選定について(徳山下松港)：チャート式耐震診断システム

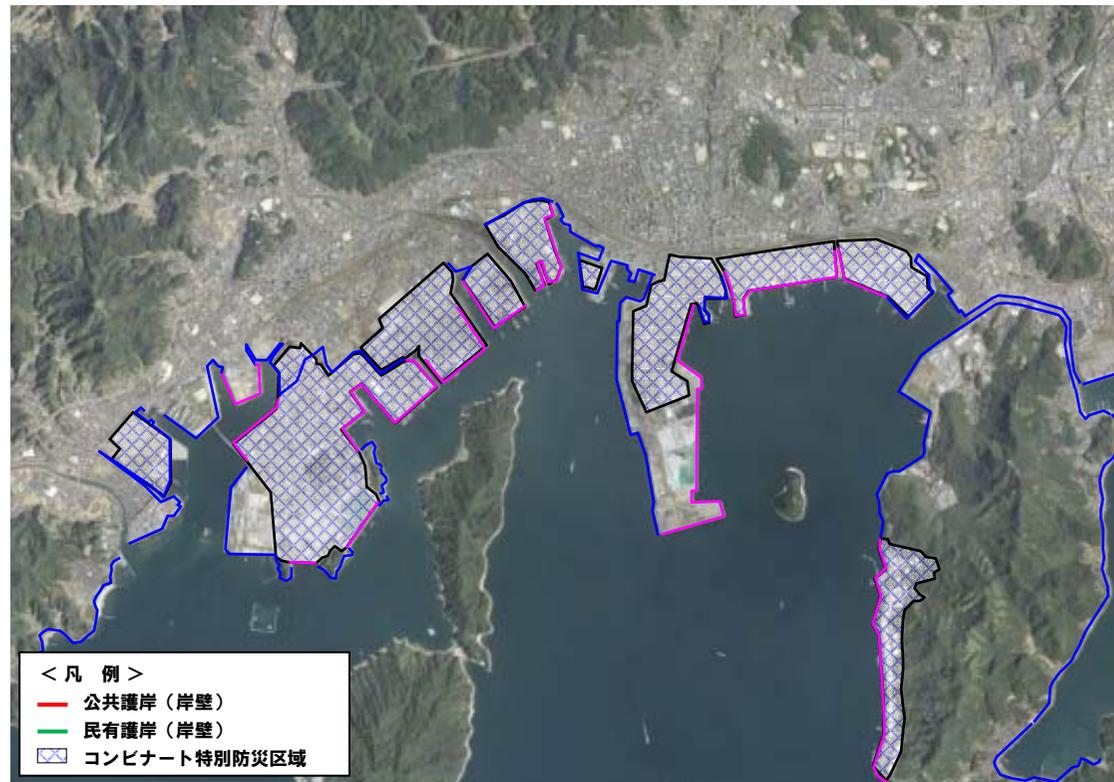
○チャート式耐震診断システムの実施断面の選定の留意点

- ①構造形式の連続性を確認しつつ選定
- ②重要な施設を優先的に選定

→
下図の範囲から
断面を選定

全断面数：11断面
重力式：9断面
矢板式：2断面

(※)企業等のヒアリングにより提供頂いた資料、及び施設台帳に限りがあるが、把握できる施設を全て勘案した上で、港湾全体のバランス等を考慮して断面数を設定している。



構造解析実施対象範囲(徳山下松港)

2. 護岸の構造解析方法について

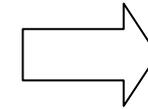
2-5. 対象施設の選定について(徳山下松港) : FLIP

OFLIP解析の実施断面の選定の留意点

昨年度のFLIP解析実施箇所(港湾局暫定モデル※)について、南海トラフの巨大地震(Mw9.0)の地震動(SPGAモデル)により再検討

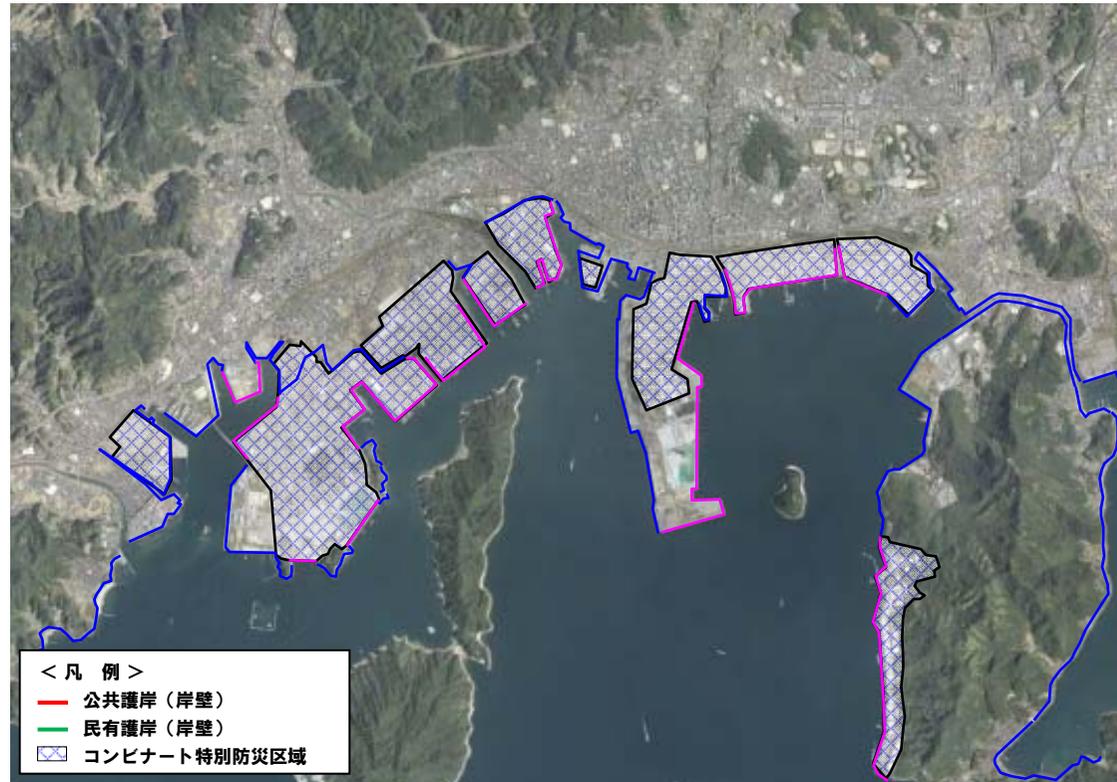
※平成15年に中央防災会議で想定した東海・東南海・南海地震について、昨年度の中央防災会議の議論を踏まえ、国土交通省港湾局において強めに想定した暫定モデル

(※)企業等のヒアリングにより提供頂いた資料、及び施設台帳に限りがあるため、過年度に実施されたFLIP断面を対象に、新たに設定された地震動に対する再検証とする。



下図の範囲から断面を選定

全断面数 : 1 断面
矢板式 : 1 断面



構造解析実施対象範囲(徳山下松港)

3. 検討地震動の設定について

3-1. SPGAとSMGAの特徴と比較

- ・南海トラフの巨大地震（Mw9.0）の地震動の元となる震源モデルについては、**内閣府によりSMGAモデル、港空研によりSPGAモデル**の2モデルが公表。
- ・内閣府のSMGAモデルは、地震動の作用により、各地点における震度を精度よく算出することを主目的としている。また、**モデルの妥当性検証方法は、東北地方太平洋沖地震の観測記録を基に、震度が適切に評価できていることを確認**することにより行っており、必ずしも、構造物の安定性に大きく影響する地震動波形、スペクトル、PSI値が適切に評価できていることを検証していない。
- ・港空研のSPGAモデルは、耐震検討用の地震動の評価を主目的としている。また、**モデルの妥当性検証方法は、耐震検討を視野に入れ、地震波形、スペクトル、及びPSI値が適切に評価できていることを確認**することにより行っている。

モデル名称	特徴
SMGAモデル（内閣府で採用）	地震動の作用により、各地点における震度を精度よく算出。
SPGAモデル（港空研で作成）	耐震検討用の地震動の評価を主目的。

※SMGAとは、「Strong Motion Generation Areas」の略称

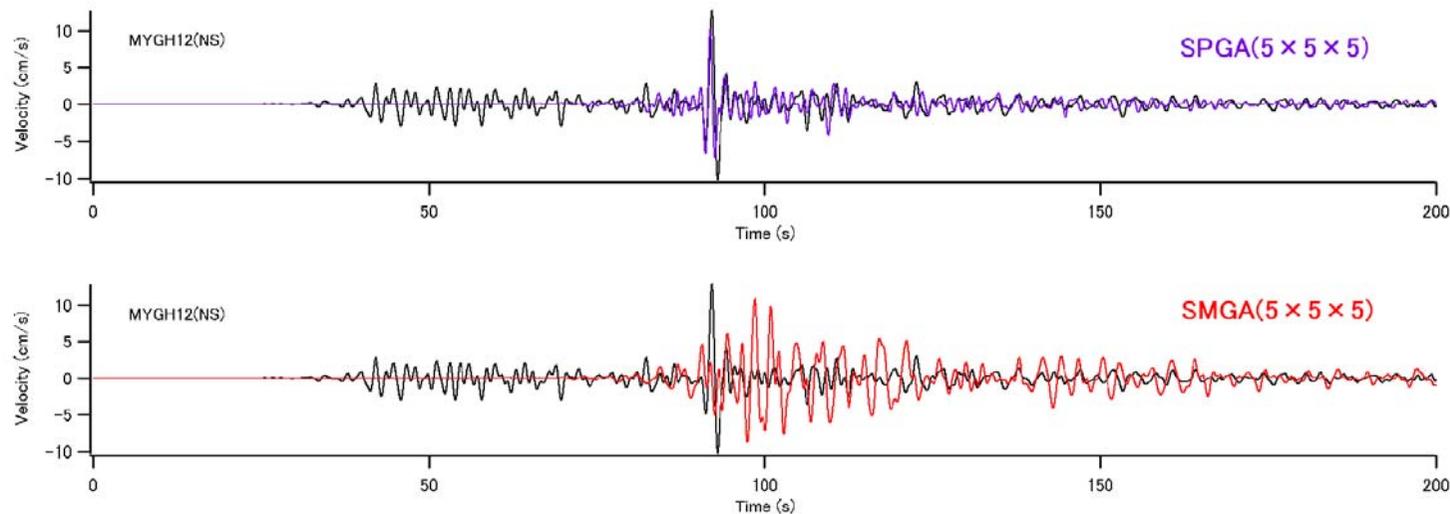
※SPGAとは、「Strong - motion Pulse Generation Areas」の略称

3. 検討地震動の設定について

3-1. SPGAとSMGAの特徴と比較

- ・2011年東北沖太平洋地震の宮城県で観測された地震動についてのSMGAモデルとSPGAモデルの推定された地震動時刻歴の比較からもSPGAモデルの推定地震動の方が観測された地震動を精度よく評価できている。

**⇒本検討では、護岸の変形量を検討するため、構造物に係る耐震性の検討を主目的としている。
従って、SPGAモデルを用いて検討を実施したいと考えている。**



2011年東北地方太平洋沖地震の宮城県で観測された地震動の再現性比較 (SMGAモデル・SPGAモデル)

(出典) (独) 港湾空港技術研究所 地震動研究チーム

http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bst/taisin/research_jpn/research_jpn_2012/jr_42.pdf

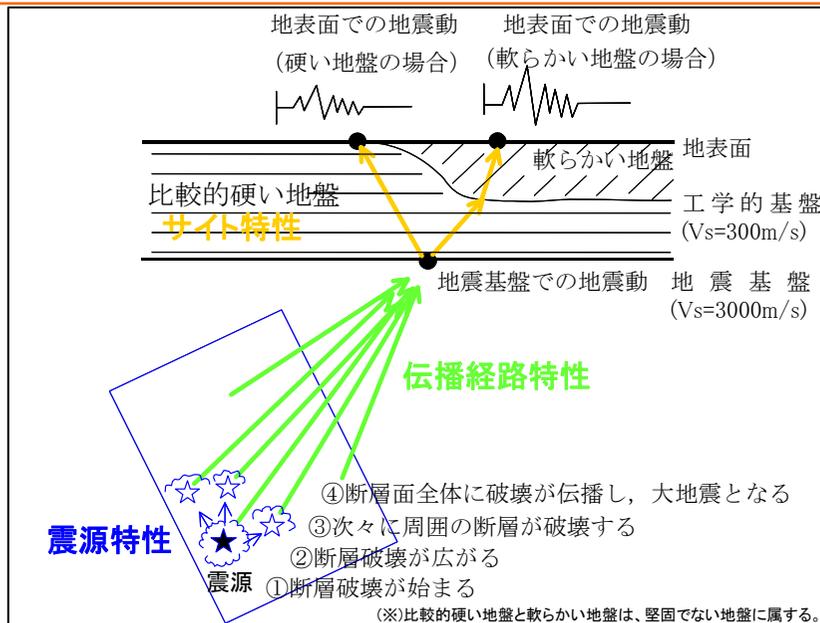
3. 検討地震動の設定について

3-2. 地震動とは(サイト特性とは)

我々が感じたり構造物を振動させたりする地震動は、

- ・断層においてどのような破壊が起こったか(震源特性)
- ・生じた地震波動がどのように伝わって来たか(伝播経路特性)
- ・対象地点近傍の地盤構造によって地震波動がどのような影響を受けたか(サイト特性)

の組み合わせで表現される。震源特性は、どの程度の大きさの断層がどのように破壊したかといった時間的・空間的な特徴が要因となって、放射される地震動に大きな影響を与える。断層から放射された地震波は、硬い地殻の中をいろいろな経路を辿って観測点の近傍に到来する。辿った経路の固有の特性が伝播経路特性として地震動に反映される。観測点近傍で地震波が堅固でない地盤に入射すると、一般には増幅されて大きな地震動となる。このサイト特性は地盤の構成や構造によって異なり、観測される地震波はこの特性によっても複雑な影響を受ける。地震動はこのような要因の複雑な組み合わせで構成されているが、震源特性・伝播経路特性・地盤増幅特性はそれぞれ個別に評価することが可能である。



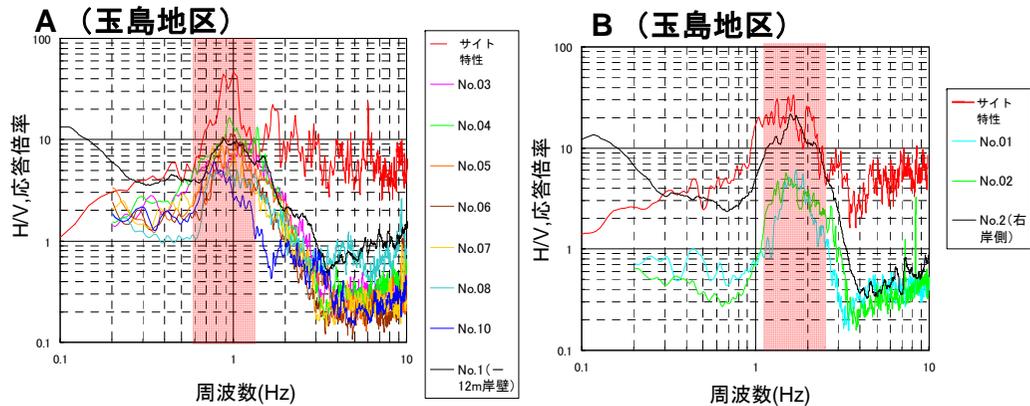
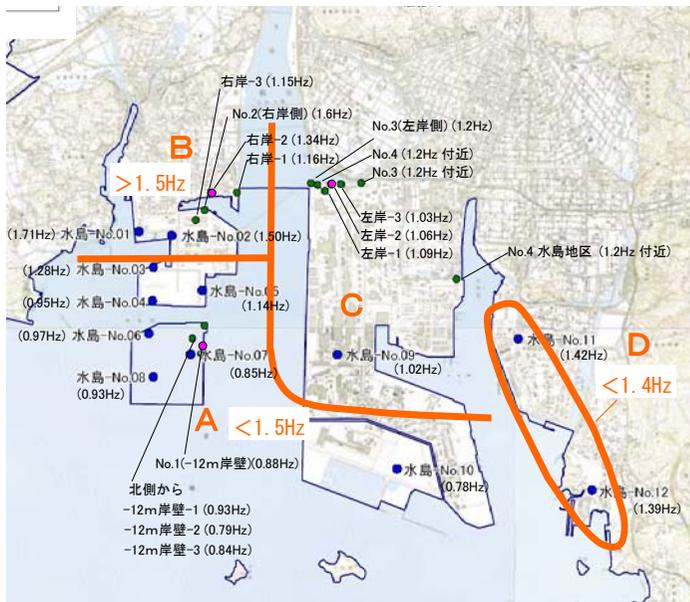
サイト特性は、堅固でない地盤で地震動が増幅されることを表現する特性である。したがって、対象地域直下の地盤構成などの影響により決まる特性である。

3-3. サイト特性のゾーニングとは

サイト特性のゾーニングとは、各強震観測点で求められたサイト特性をどの範囲まで適用できるかをゾーニングすることを言う。具体的には、強震観測点のサイト特性のピーク周波数を確認し、概ね同じピーク周波数を有する地域を同一ゾーンとして設定する。サイト特性のピーク周波数は常時微動観測により得られるH/Vスペクトル比と言う指標を用いることにより評価できる。

H/Vスペクトル比とは・・・

常時微動観測により得られる水平動と鉛直動のフーリエスペクトルの比であり、ピーク周波数は、サイト特性のピーク周波数と一致する特性がある。



A地区、B地区はそれぞれH/Vスペクトル比のピーク周波数が同じである地域を同一地域としてゾーニングしている。その他C地区、D地区も同様である。

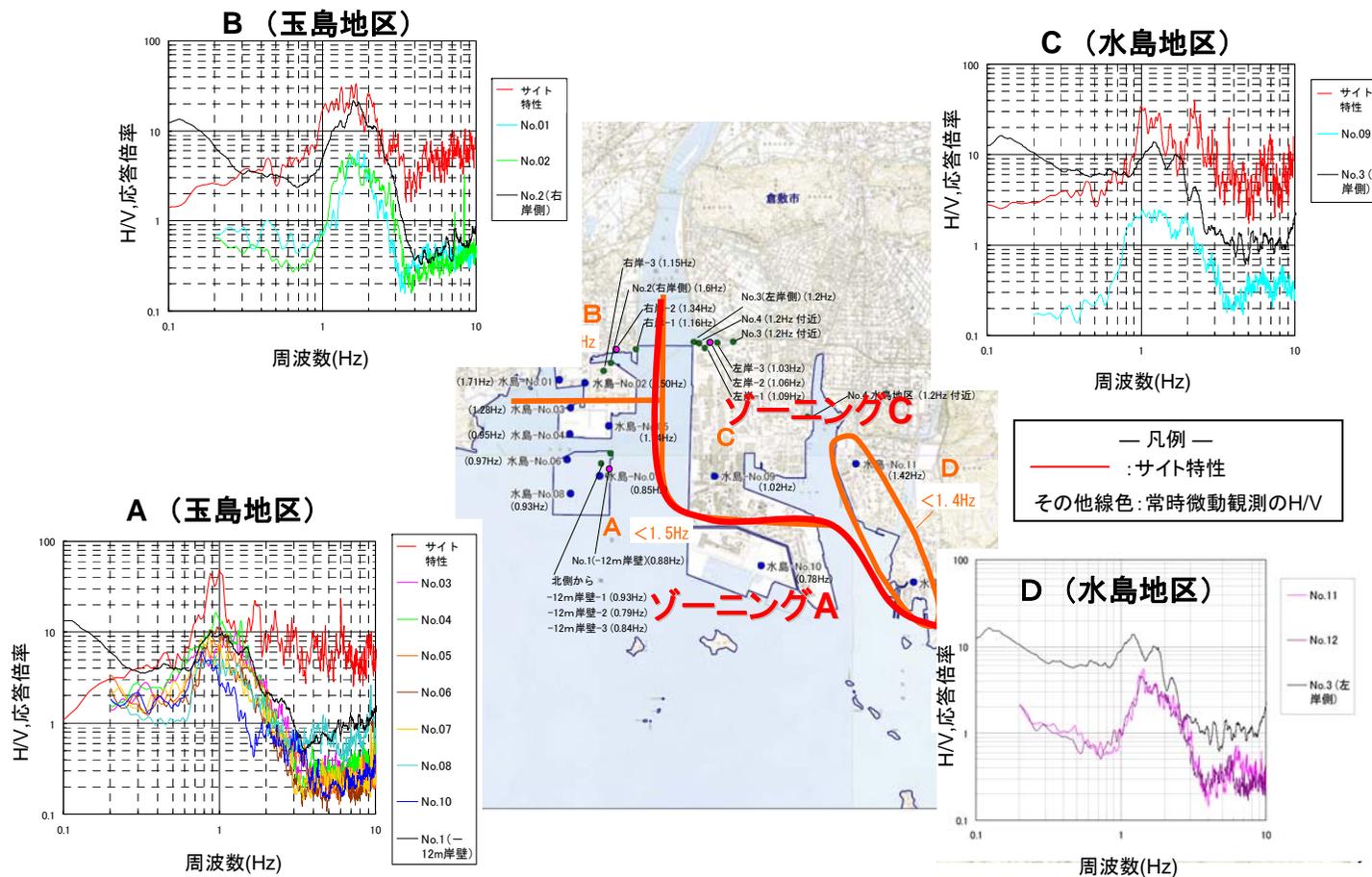
ゾーニングの一例(水島港を例として)

3. 検討地震動の設定について

3-4. SPGA地震動作成における考え方(水島港)

- ・水島港は、各地点におけるH/Vスペクトル比から、4つのゾーニング(A、B、C、D)に分けられる。
- ・ゾーニングDのH/Vスペクトル比は、ゾーニングCに比べて低周波領域(1Hz前後)においてH/Vスペクトル比が小さくなっている。

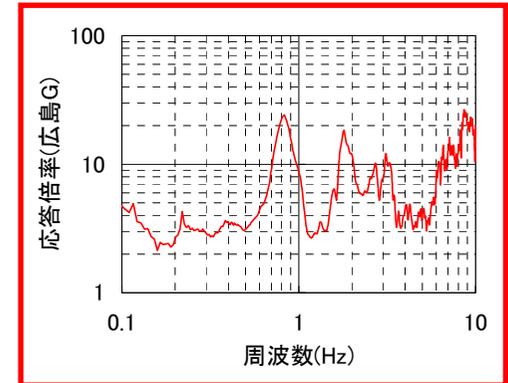
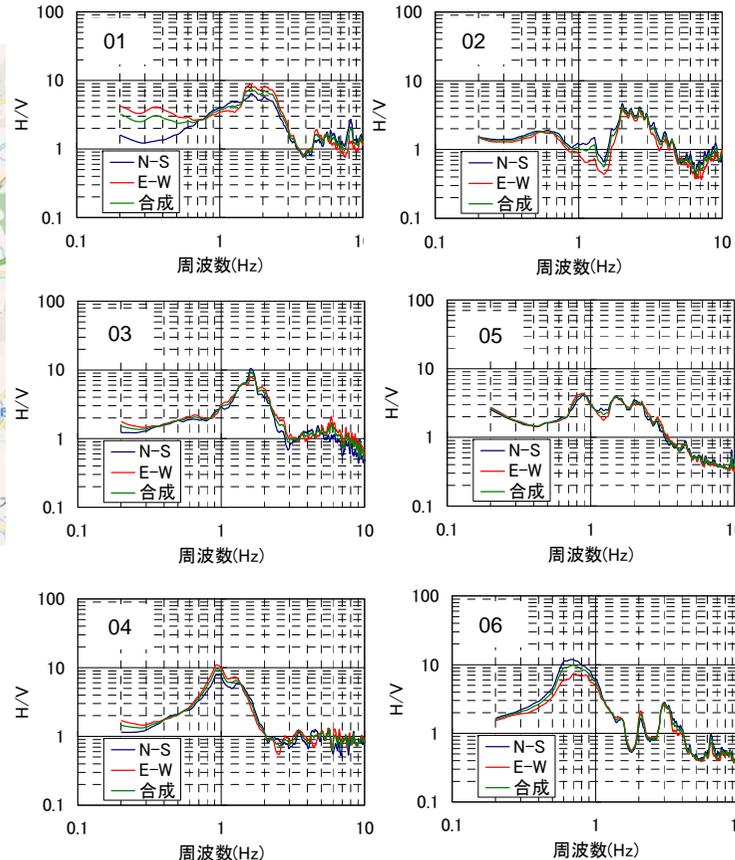
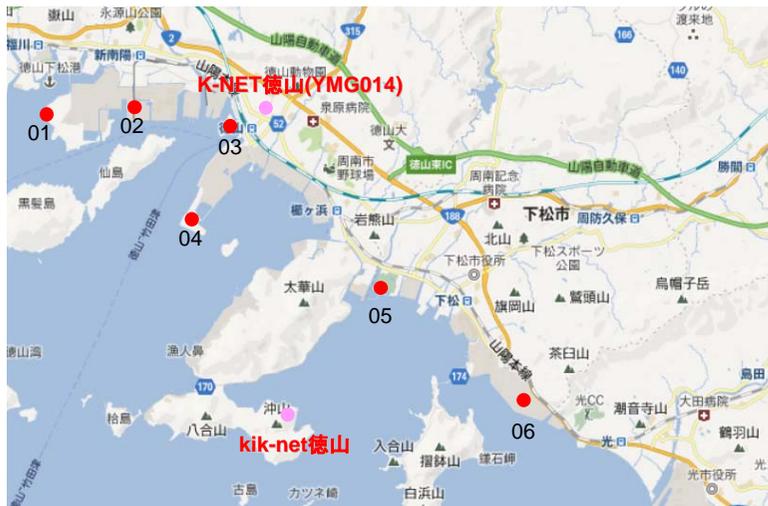
また、場所が比較的近いことに鑑み、安全側を想定し、ゾーニングDはゾーニングCの地震波形を用いる



3. 検討地震動の設定について

3-4. SPGA地震動作成における考え方(徳山下松港)

- ・徳山下松港は(K-NET)徳山(YMG014)、(Kik-NET)徳山の2つの強震観測点のサイト特性が利用可能である。
- ・いずれの強震観測点のH/Vスペクトル比とも徳山下松港の施設周辺のH/Vスペクトル比と大きく異なる。したがって、強震観測点におけるサイト特性を施設周辺の地震動作成時のサイト特性として適用することは不可と判断される。
- ・本検討では安全側を考慮し、構造物に影響を与えるであろう周波数帯にピーク値を有する広島Gのサイト特性を採用した地震波形を作成して検討を行う。



広島Gのサイト特性

(※)距離が離れるものの広島Gのサイト特性が構造物に影響を与えるであろう周波数帯(0.2Hz~1Hz)にピーク値を持っているため、安全側を考慮して広島Gのサイト特性を採用した地震波形を作成して検討を行うものとする。

3. 検討地震動の設定について

3-5. 対象とする地震動

対象港	震源モデル	サイト増幅特性	非超過波	備考
水島港	SPGA	ゾーンA、ゾーンC	50%、90%	(-12m岸壁)のサイト特性を採用
				高梁川左岸側の臨時強震観測点のサイト特性を採用
徳山下松港	SPGA	広島G	50%、90%	YMG014のSPGAモデルに対し、サイト特性は広島Gのものを採用

50%非超過波、90%非超過波とは・・・

SPGAモデルは、同じ港に対して約19億通りの異なる地震動を検討している。これは、震源位置が予測できないためである。

★50%非超過波

全ての組み合わせに対し、対象港湾の地震基盤におけるPSI値を計算し、厳しいものから順位付けする。そして、全ての波形の内、50%非超過(中位)の工学的基盤での地震動を計算したものを指す(東日本大震災の地震動を精度良く再現、従来のL2相当の地震動とされている)。

★90%非超過波

50%非超過波と同様、全ての組み合わせに対し、対象港湾の地震基盤におけるPSI値を計算し、厳しいものから順位付けする。そして、全ての波形の内、90%非超過の工学的基盤での地震動(厳しいものから順に10%の上位に位置する地震動)を計算したものを指す(構造物にとって非常に厳しい地震動となる)。

4. 津波シミュレーションによる再計算について

津波シミュレーションの考え方

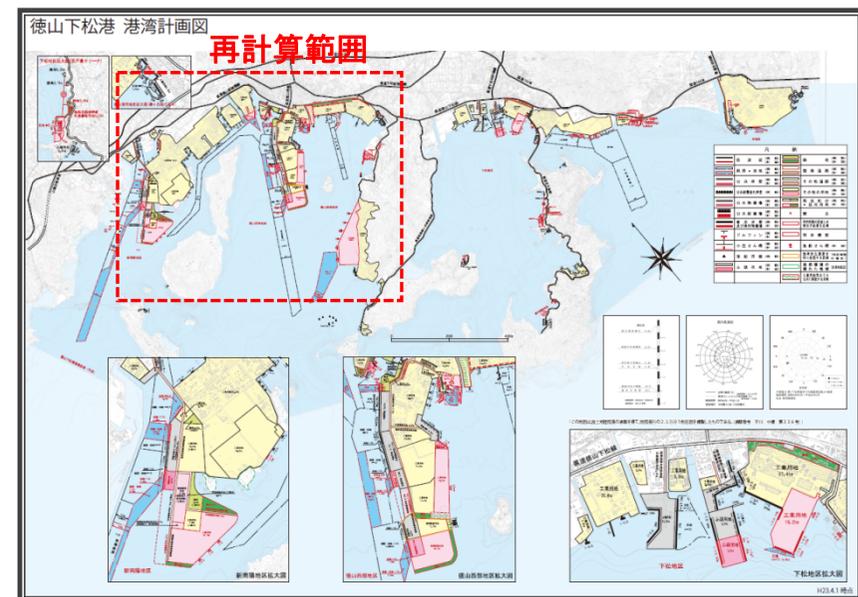
■ 検討概要

- 内閣府では、南海トラフで想定すべき最大クラスの対象地震の設定方針を検討し、震度分布・津波高等を公表。
- 本検討会では、水島港・徳山下松港を対象に、護岸・岸壁の変位を考慮して津波シミュレーションを再計算。
- 計算範囲は、「南海トラフの巨大地震」（内閣府）と同様に2,430m~10mで作成。
- 地震による地殻変動量と施設沈下量を考慮。
- 想定地震は、内閣府で検討した11ケースの中から、水島港・徳山下松港でそれぞれ津波高が最も高いケースを選定。

水島港と徳山下松港における検討範囲・検討ケースの考え方

■ 浸水計算の範囲

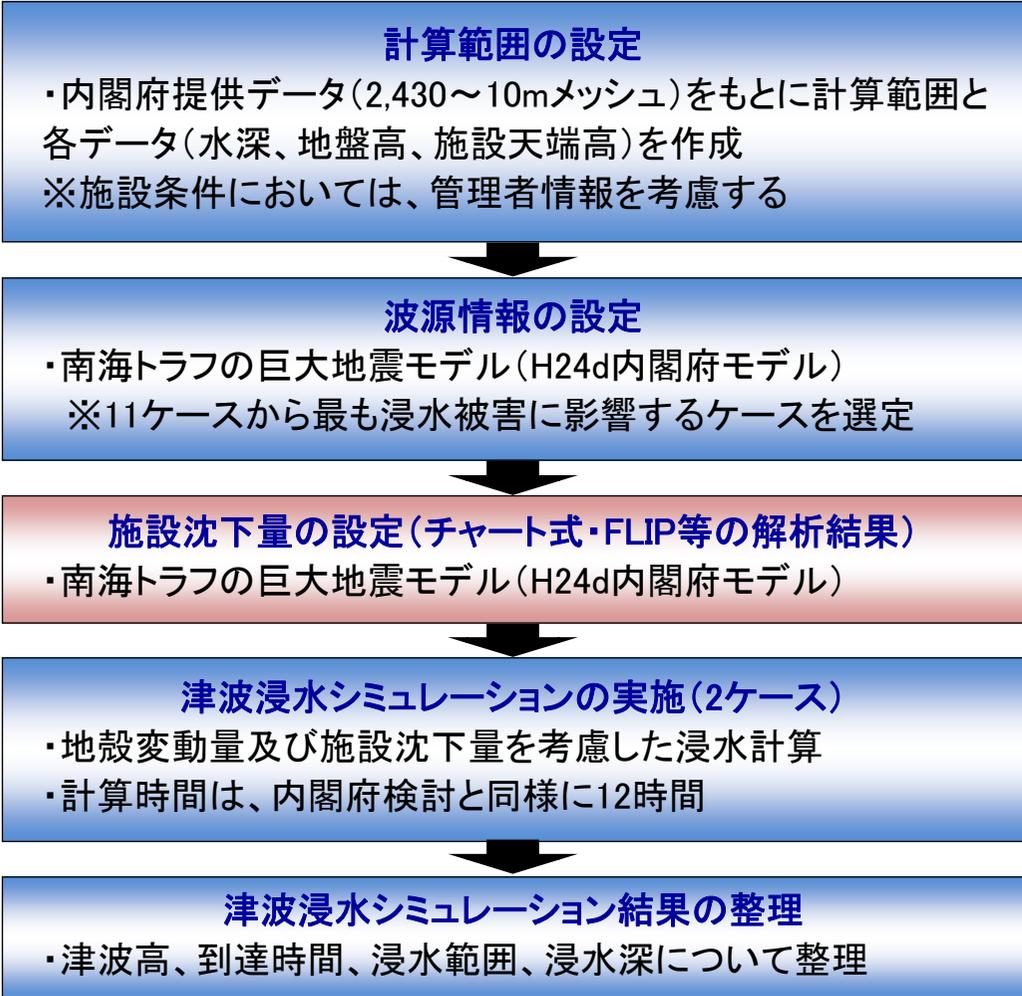
- 水島港・徳山下松港の港湾区域及びその背後地を浸水計算の範囲として設定。



4. 津波シミュレーションによる再計算について

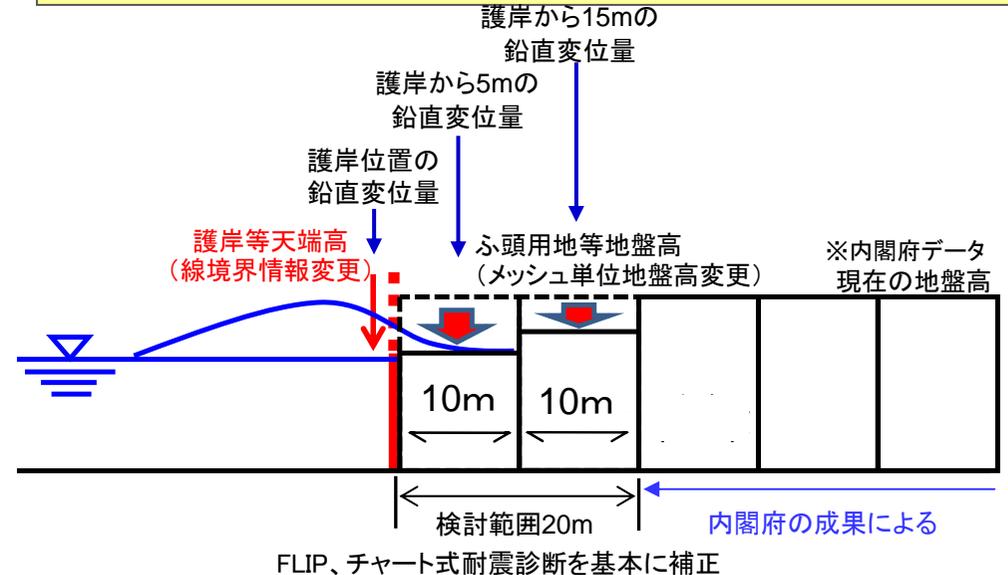
津波浸水の再計算について

■計算フロー



■SPGA地震動による護岸変位結果を踏まえた結果の想定について

- 護岸・岸壁等の天端高は線境界情報の修正により変位に反映。
- 護岸・岸壁等背後の地盤高は、メッシュ単位の情報を変更し、背後地盤高に反映。



■主な計算条件

計算メッシュ幅	2430m→810m→270m→90m→30m→10m
護岸・岸壁	線境界として設定 (河川堤防等は、地殻変動のみ考慮)
建築物等の影響	土地利用区分により粗度として考慮
計算時間	12時間

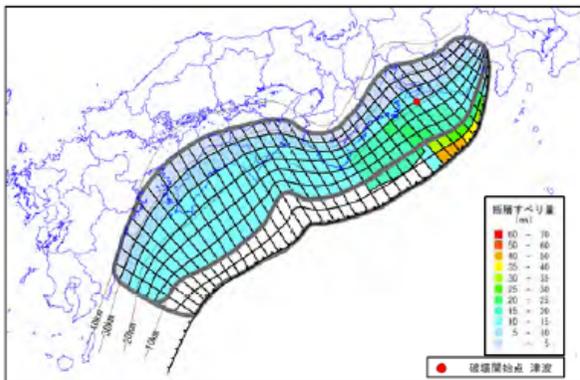
4. 津波シミュレーションによる再計算について

■検討ケース(水島港)

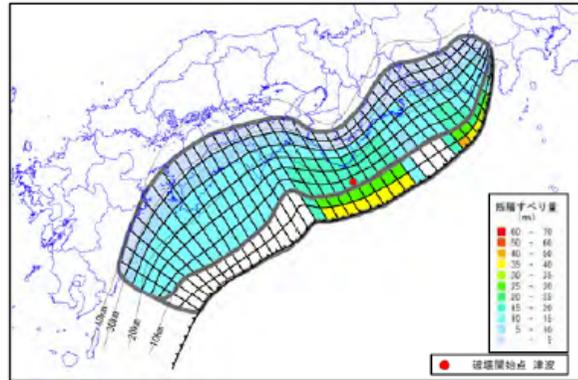
○出現個数が最も多く、かつ区間最大津波高であるケース6を最も影響の大きいケースと判断するが、本調査では水島地区における被害想定を主に取り扱うことから、ケース6及びケース8を対象にシミュレーションを実施する。

■水島港における区間最大出現回数及びケース別最大値

	ケース番号											区間内最大値
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
区間内最大値出現回数	418	155	0	149	0	2,768	0	1,910	0	0	0	-
区間内最大津波高(m)	2.83	2.82	2.74	2.77	2.76	2.83	2.82	2.82	2.81	2.77	2.73	2.83
区間内最大値との比	0.999	0.997	0.969	0.979	0.975	1.000	0.997	0.997	0.992	0.981	0.965	1.000

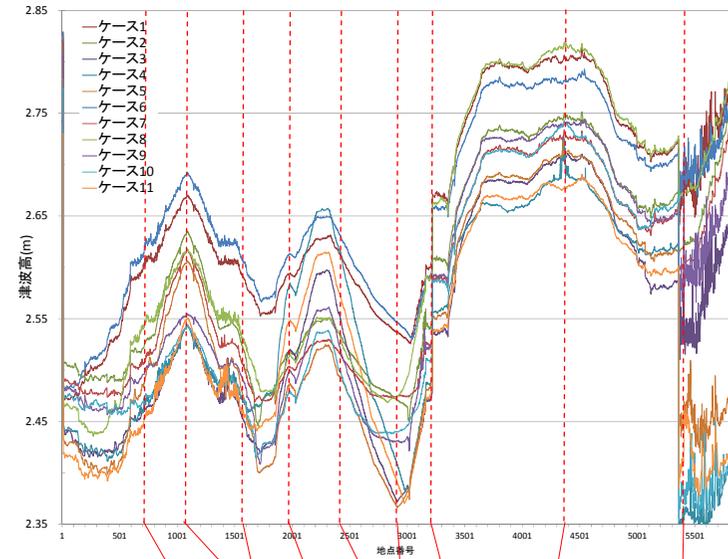


【ケース⑥「駿河湾～紀伊半島沖」に「大すべり域+（超大すべり域、分岐断層）」を設定】



【ケース⑧「駿河湾～愛知県東部沖」と「三重県南部沖～徳島県沖」に「大すべり域+超大すべり域」を2箇所設定】

■水島港におけるモデル別津波高の分布



4. 津波シミュレーションについて

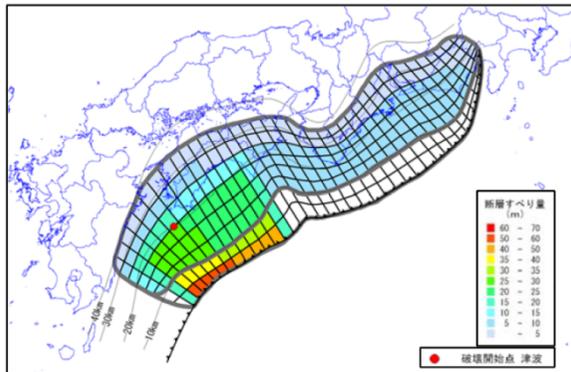
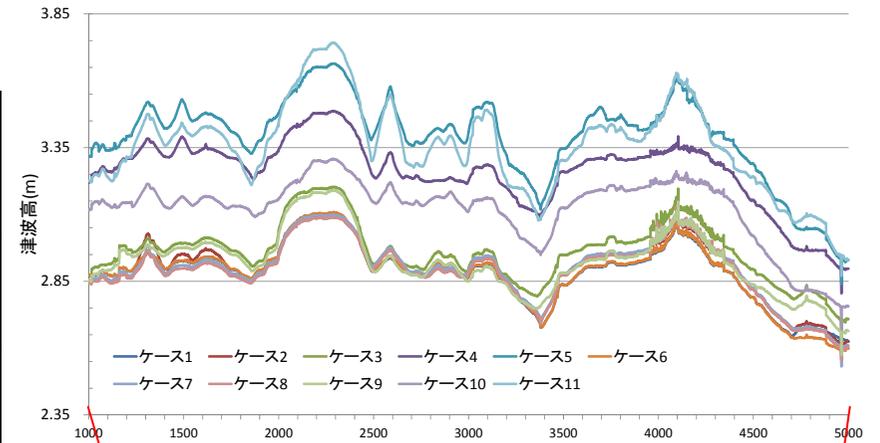
■検討ケース(徳山下松港)

○出現個数が多いケース5 と最大津波高となるケース11を対象にシミュレーションを実施する。

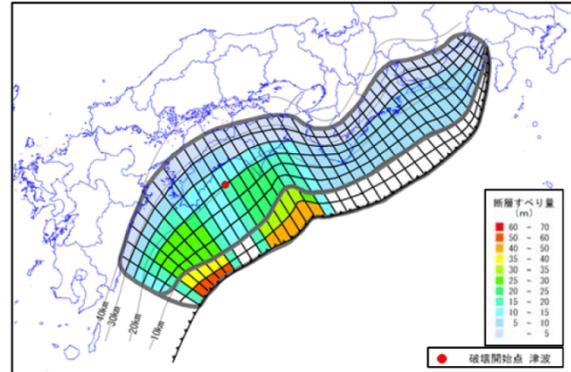
■徳山下松港における区間最大出現個数及びケース別最大値

	ケース番号											区間内 最大値
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
区間内 最大値出現個数	0	0	0	0	3,107	0	0	0	0	0	896	-
区間内 最大津波高(m)	3.10	3.11	3.20	3.49	3.66	3.11	3.11	3.15	3.19	3.31	3.74	3.74
区間内最大値との比	0.830	0.831	0.856	0.932	0.979	0.831	0.832	0.842	0.853	0.884	1.000	1.000

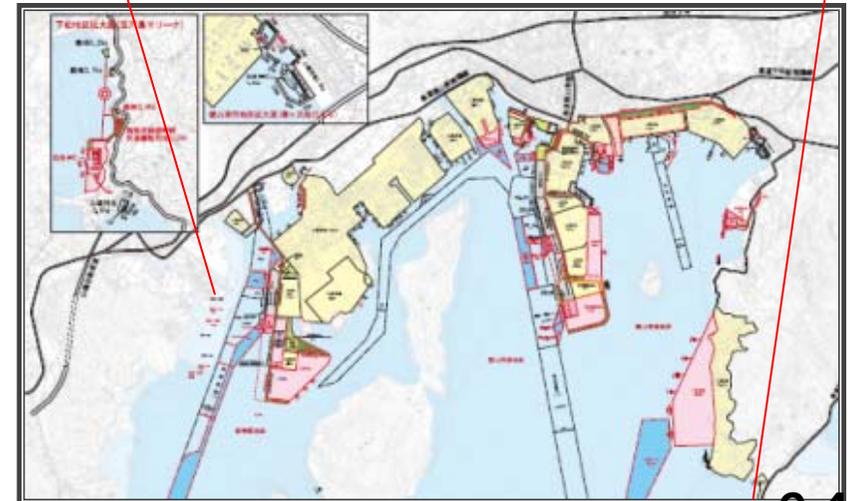
■徳山下松港におけるモデル別津波高の分布



【ケース⑤「四国沖～九州沖」に「大すべり域+超大すべり域」を設定】



【ケース⑪「室戸岬沖」と「日向灘」に「大すべり域+超大すべり域」を2箇所設定】

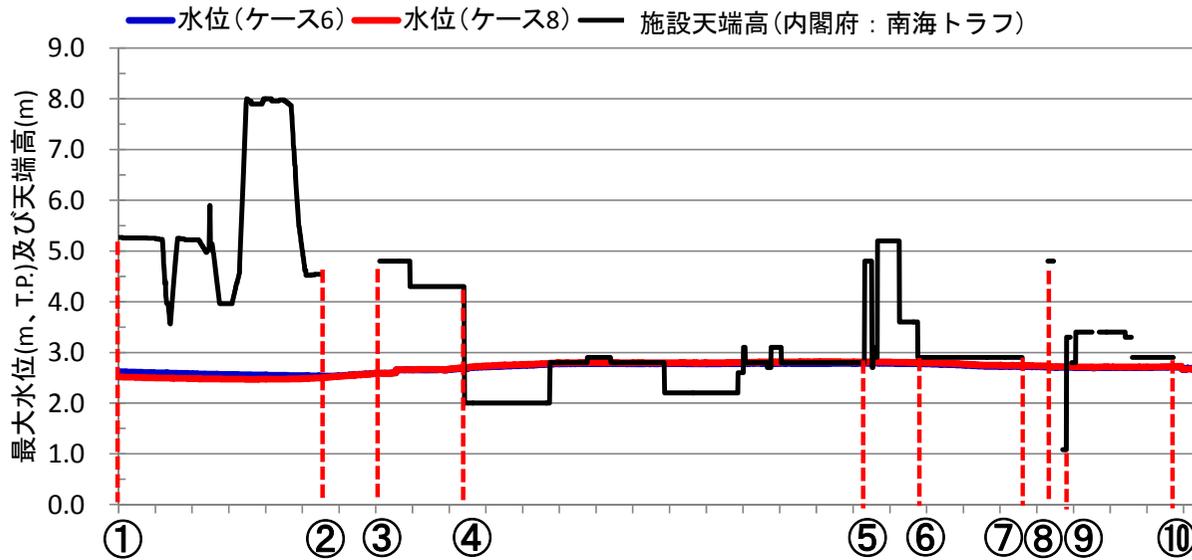


4. 津波シミュレーションによる再計算について

津波浸水の見込みについて（内閣府検討結果の分析）

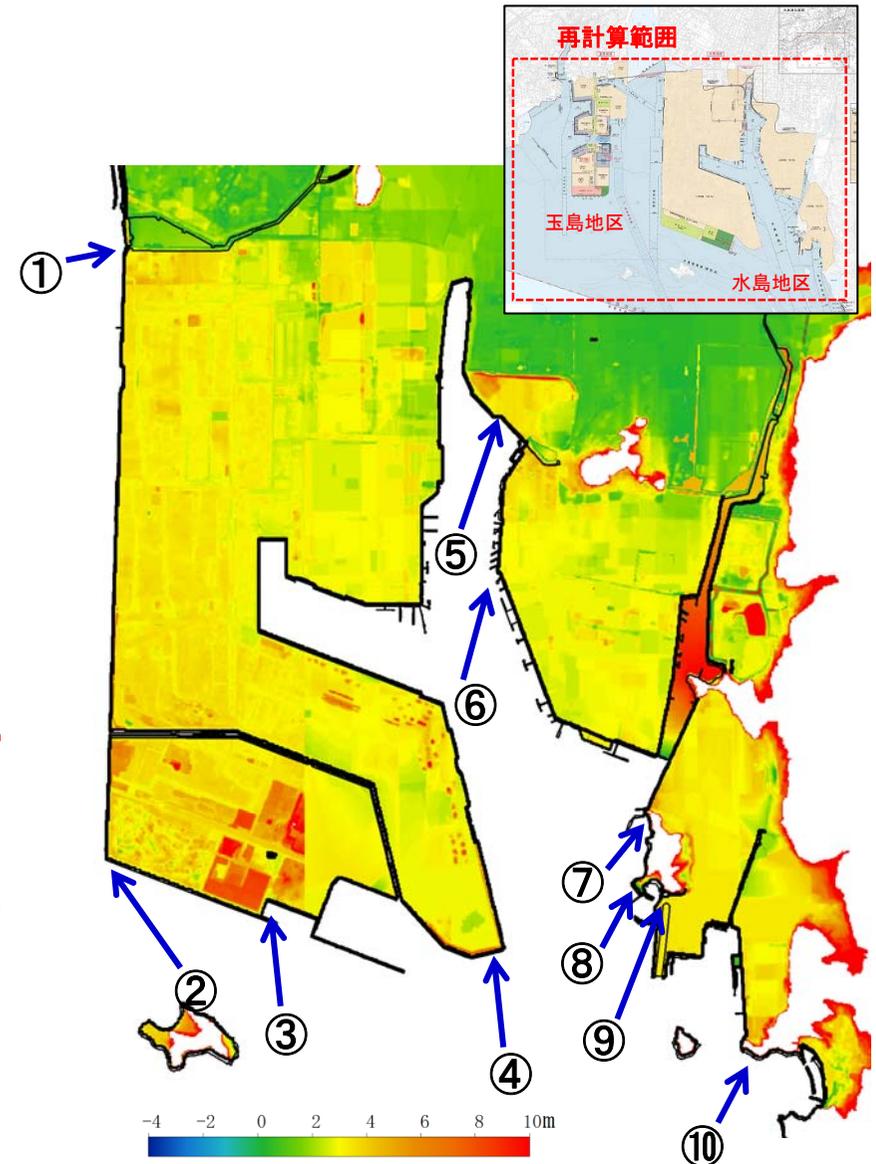
■検討ケース(水島港)

施設天端高がT.P.+2~3m程度の区間（④~⑤、⑥~⑦、⑨~⑩）は、施設の沈下量によっては、浸水域が拡大する可能性がある。



内閣府公表の南海トラフ巨大地震の最大水位(T.P.基準)及び施設天端高(内閣府データ)

(※最大水位は、陸から30m沖側の地点の水位を公表)

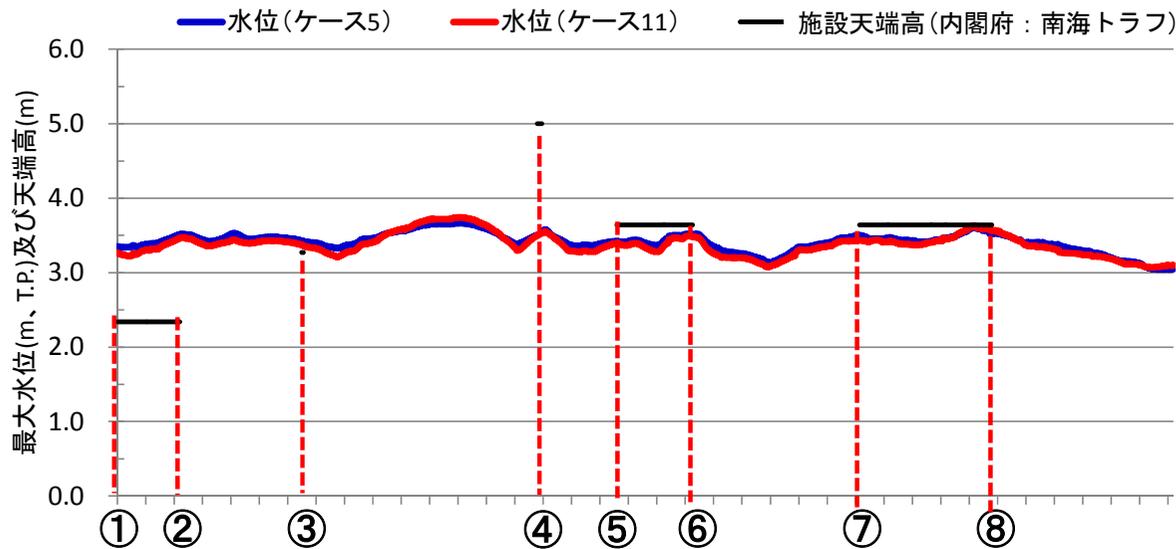


地盤高分布図(T.P.基準)

4. 津波シミュレーションによる再計算について

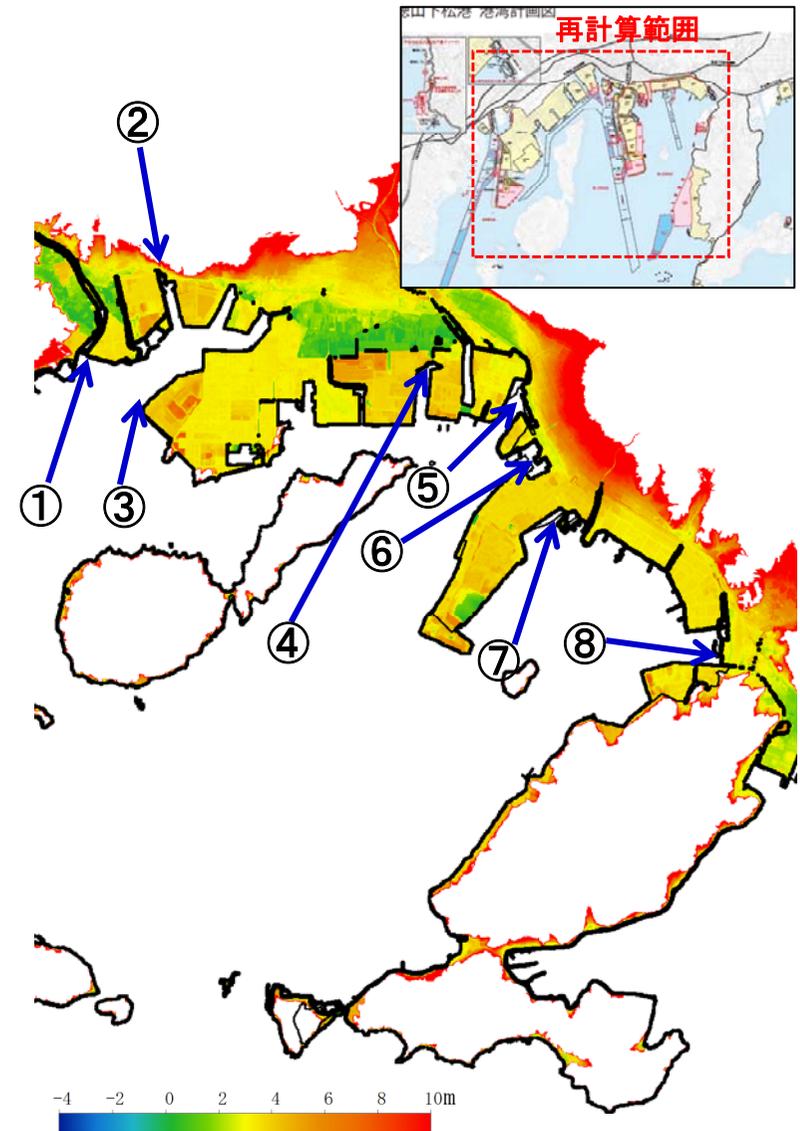
■ 検討ケース(徳山下松港)

施設天端高がT.P.+3.6m程度である区間(⑤~⑥、⑦~⑧)は、施設の沈下量によっては、浸水域が拡大する可能性がある。



内閣府公表の南海トラフ巨大地震の最大水位(T.P.基準)及び施設天端高(内閣府データ)

(※最大水位は、陸から30m沖側の地点の水位を公表)



地盤高分布図(T.P.基準)