

# 港湾護岸等の耐震性検討結果について

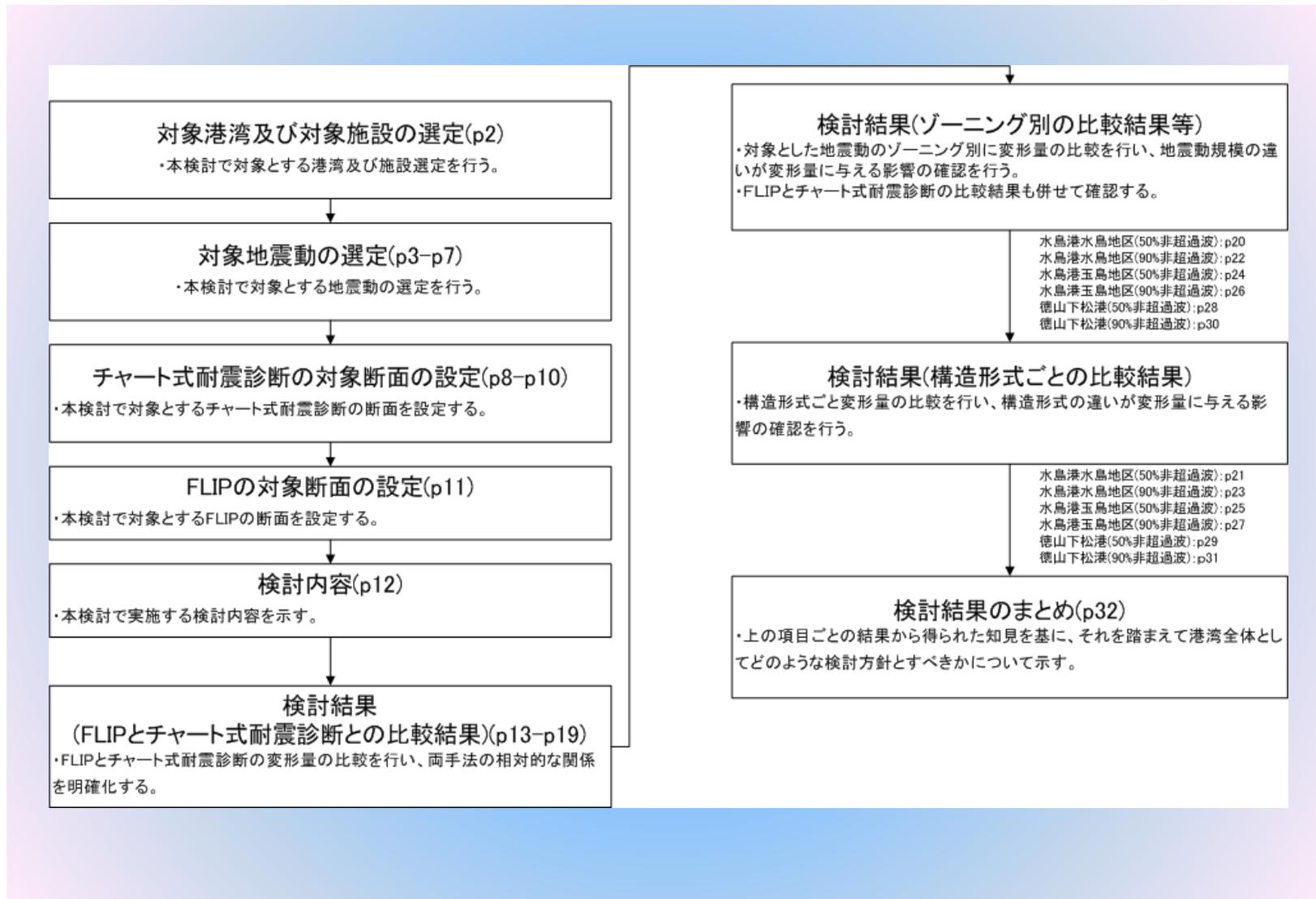
---

平成25年3月7日

中国地方整備局港湾空港部



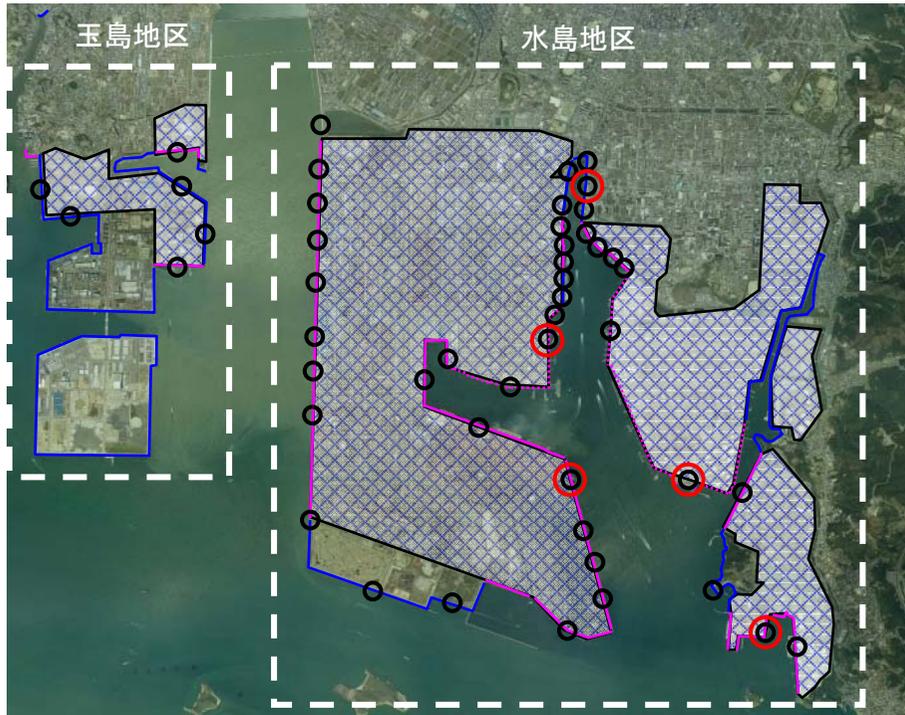
港湾護岸等の各施設についての検討及びそれを踏まえた港全体の検討については、下記検討フローにより実施した。



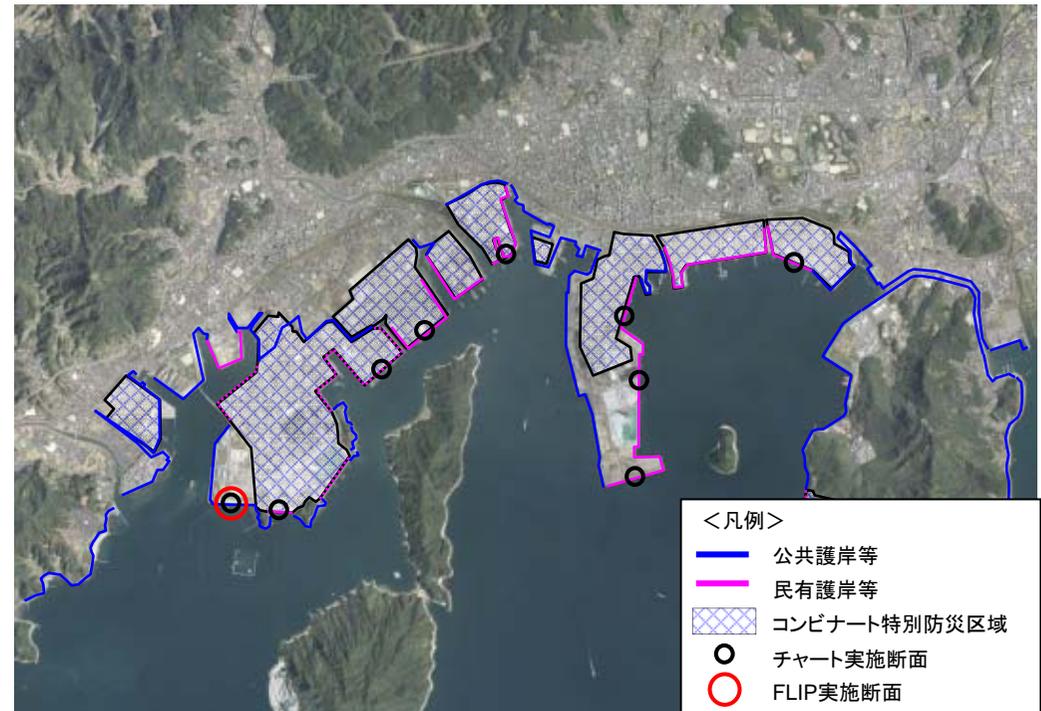
## ○対象港湾及び対象施設

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、民有護岸を中心に耐震性検討を実施。

### ■水島港



### ■徳山下松港



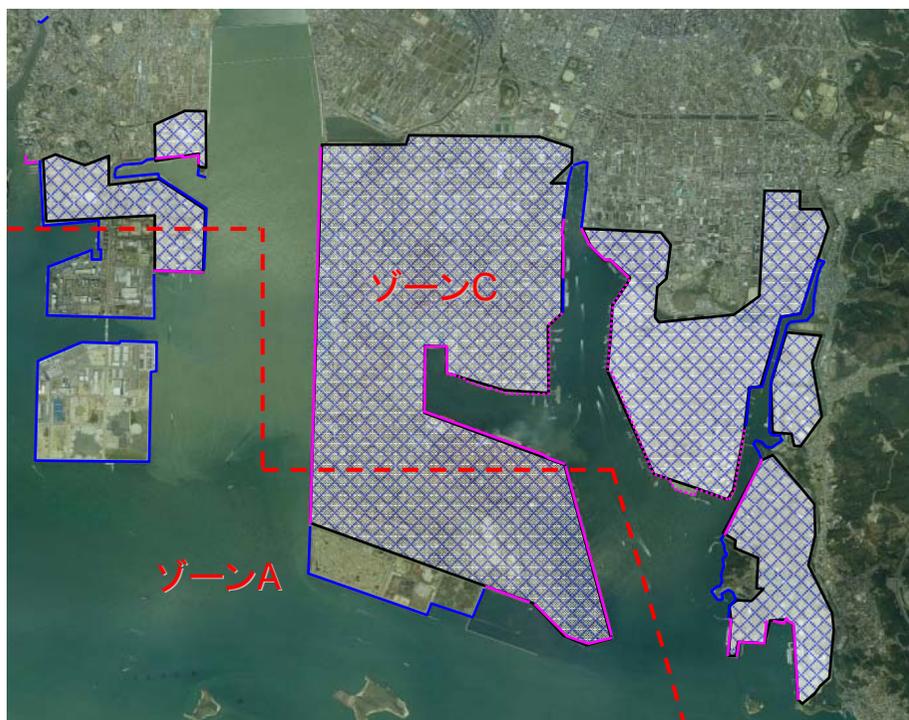
- <凡例>
- 公共護岸等
  - 民有護岸等
  - コンビナート特別防災区域
  - チャート実施断面
  - FLIP実施断面

水島港水島地区：チャート式耐震診断(42断面)、FLIP(5断面)  
 水島港玉島地区：チャート式耐震診断(6断面)  
 徳山下松港：チャート式耐震診断(9断面)、FLIP(1断面)

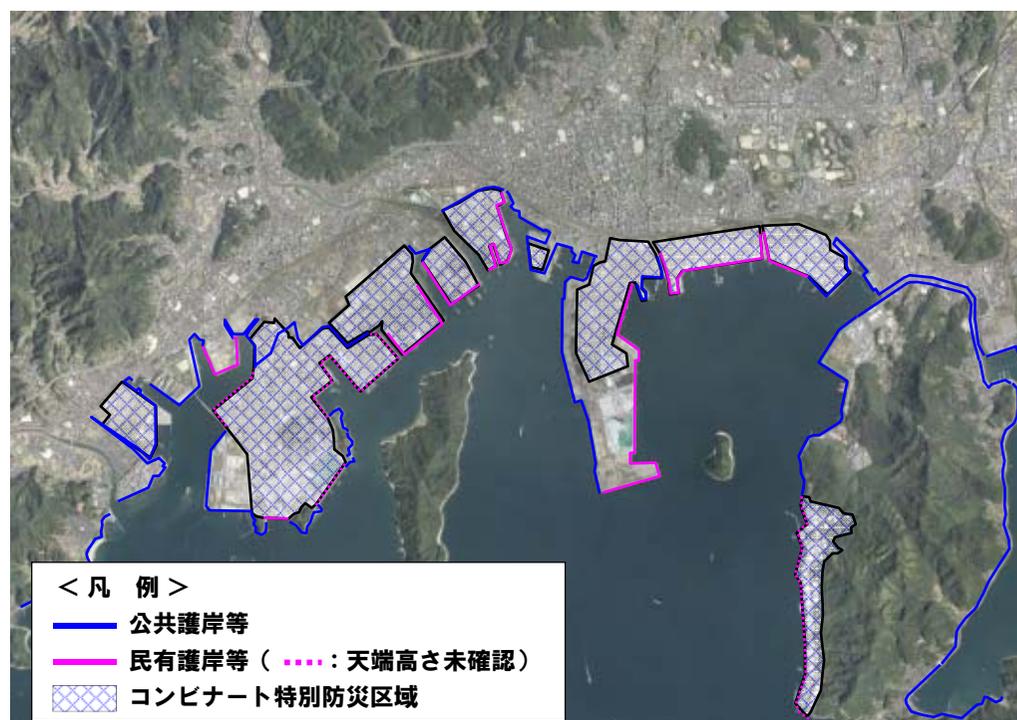
## 概要

水島港はサイト増幅特性(ゾーンA・ゾーンC)を用いたSPGAモデル50%非超過波、90%非超過波を入力地震動として採用。  
徳山下松港はK-net徳山(YMG014)のSPGAモデルに対して広島Gのサイト増幅特性を適用した50%非超過波、90%非超過波を入力地震動として採用。

### ■水島港

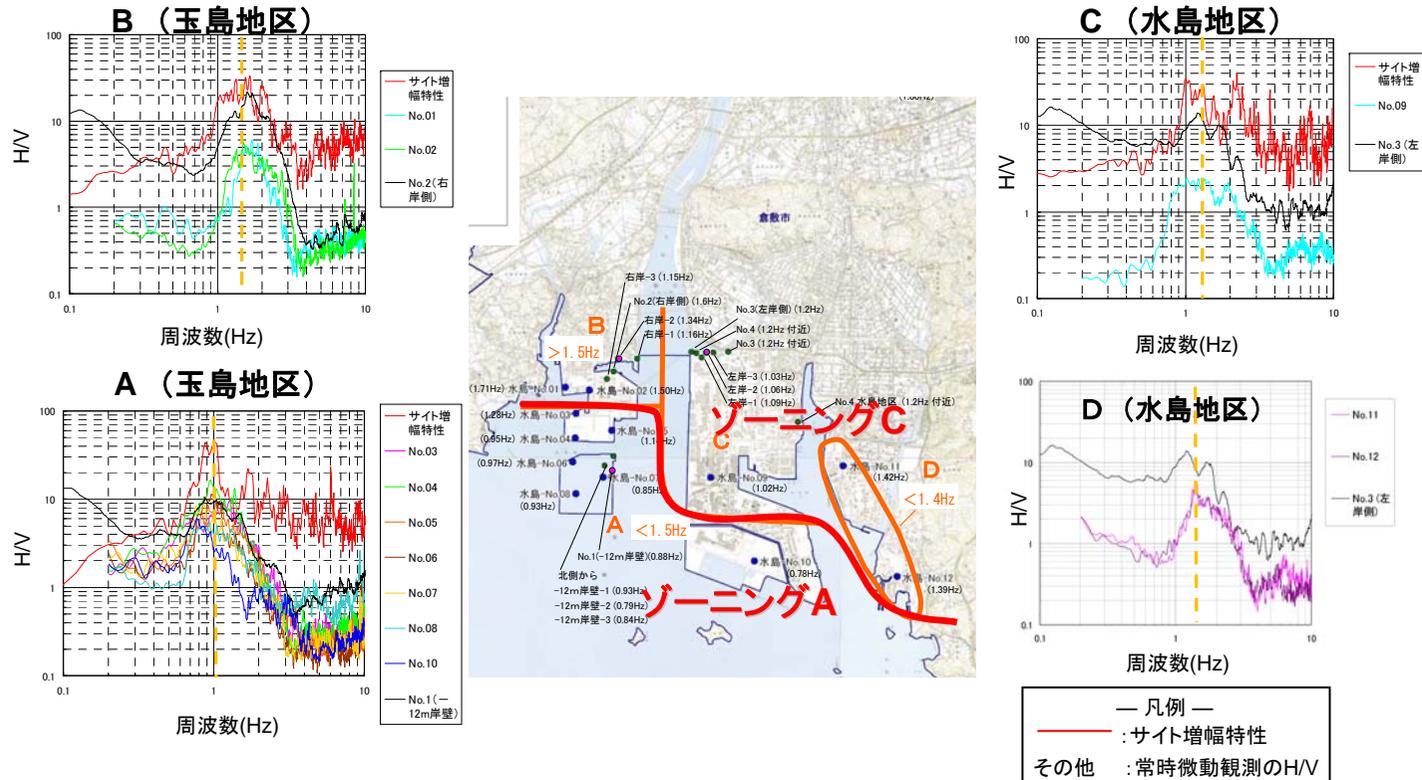


### ■徳山下松港



## S P G A地震動作成における考え方(水島港)

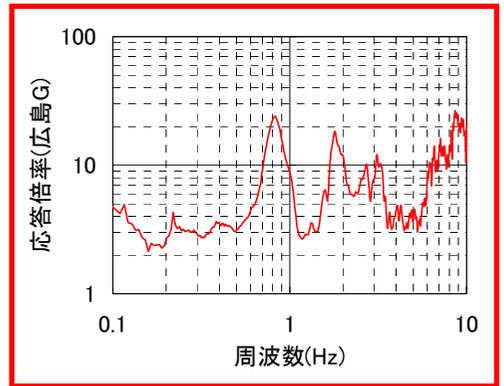
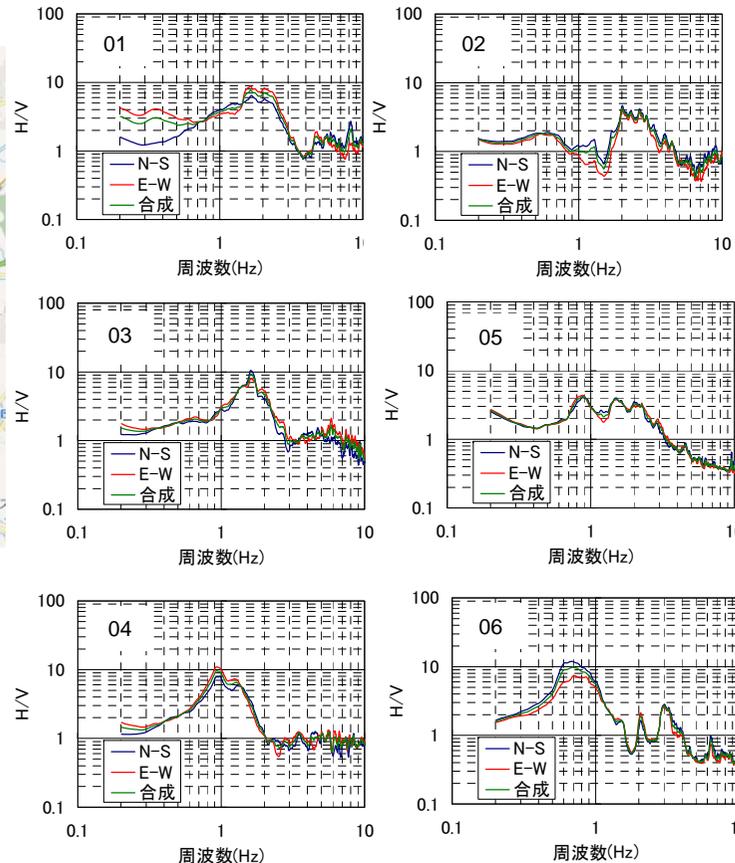
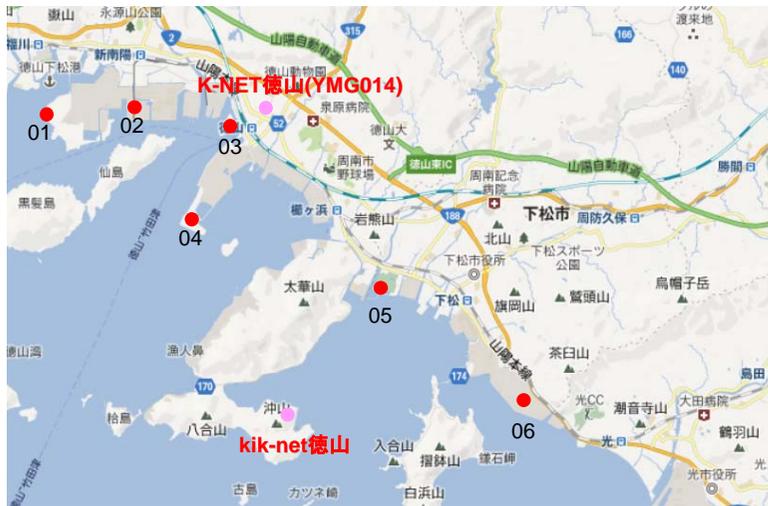
- ・水島港は、各地点におけるH/Vスペクトル比から、4つのゾーニング（A、B、C、D）に分けられる。
- ・ゾーニングDのH/Vスペクトル比は、ゾーニングCと概ねピーク周波数が同じであるが、若干高周波側（概ね1.5Hz程度）となっている。また、場所が比較的近いことに鑑み、護岸に対する安全側の評価を考慮し、ゾーニングDはゾーニングCの地震波形を用いる。
- ・ゾーニングBのH/Vスペクトル比のピーク周波数は、ゾーニングCと概ねピーク周波数が同じであるが、若干高周波側（概ね1.5Hz程度）となっている。また、場所が比較的近いことに鑑み、護岸に対する安全側の評価を考慮し、ゾーニングBはゾーニングCの地震波形を用いる。



※H/Vスペクトル比とは、常時微動観測で得られる地震動の水平動と上下動のフーリエスペクトルの比のことを指す。サイト増幅特性のピーク周波数とH/Vのピーク周波数が同じであれば、同一の地盤構成と見做すことができる。

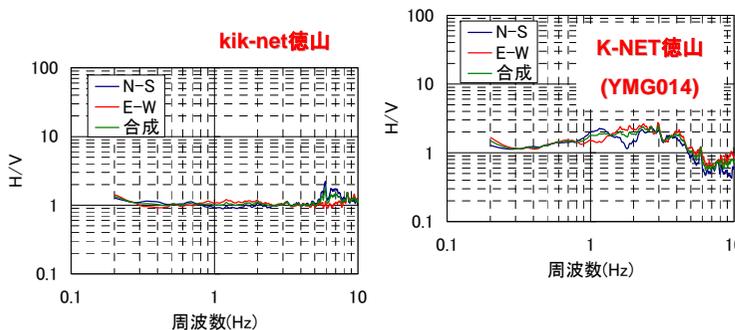
## S P G A地震動作成における考え方(徳山下松港)

- ・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増幅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増幅特性を施設周辺の地震動作成時のサイト増幅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(K-NET)徳山YMG014を基に広島Gのサイト増幅特性を採用した地震波形を作成して検討を行う。



### 広島Gのサイト増幅特性

(※)距離が離れるものの広島Gのサイト増幅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のサイト増幅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。



## SPGA50%非超過波・90%非超過波

耐震照査は、下記地震動波形を用いて求められた対象施設の法線直角方向成分を用いる。

水島港は90%非超過波の速度のPSI値は50%非超過波の速度のPSI値の2倍程度、徳山下松港は3倍程度大きい。

### ■水島港

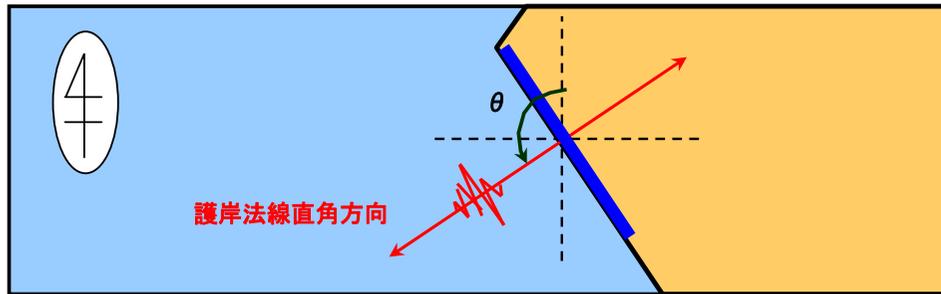
ゾーンA(50%非超過波)		ゾーンC(50%非超過波)	
N-S成分		N-S成分	
波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )	波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )
	86.32		60.24
E-W成分		E-W成分	
波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )	波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )
	86.93		63.41
ゾーンA(90%非超過波)		ゾーンC(90%非超過波)	
N-S成分		N-S成分	
波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )	波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )
	210.80		113.18
E-W成分		E-W成分	
波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )	波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )
	207.70		117.31

### ■徳山下松港

ゾーンA(50%非超過波)	
N-S成分	
波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )
	39.53
E-W成分	
波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )
	40.00
ゾーンA(90%非超過波)	
N-S成分	
波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )
	145.02
E-W成分	
波形時刻歴	速度のPSI値(cm/s <sup>1/2</sup> )
	141.66

## 護岸法線直角方向の地震動

検討に用いる地震波形のデータは、南北成分(NS成分: $A_{NS}$ )と東西成分(EW成分: $A_{EW}$ )に分けられたデータとなっているため、検討対象施設の護岸法線に対して直角方向となる地震波形( $A_{Mod}$ )に補正した地震動を算出して用いる。



地震波形の岸壁法線直角方向への補正概念図

$$A_{Mod} = -A_{NS} \cos \theta + A_{EW} \sin \theta$$

ここに、 $A_{Mod}$ : 補正後地震波形

$A_{NS}$  : N-S成分地震波形

$A_{EW}$  : E-W成分地震波形

$\theta$  : N-S方向からの回転角度

### ■水島港(水島地区)

No.	ゾーニング	北からの方向角 (法線直角方向)	速度のPSI値 (50%非超過) (cm/sec <sup>1/2</sup> )	速度のPSI値 (90%非超過) (cm/sec <sup>1/2</sup> )
チャート1	C	94.68°	63.10	117.30
チャート2	1	84.45°	63.90	117.40
	2	176.12°	60.00	113.20
	3	84.17°	63.90	117.40
	4	85.39°	63.80	117.40
チャート3	C	124.80°	60.20	115.70
チャート4	C	65.37°	64.70	117.00
チャート5	①	110.02°	61.60	116.60
	②-1	110.02°	61.60	116.60
	②-2	160.95°	59.10	113.40
	②-3	80.71°	64.10	117.40
チャート6	1	86.37°	63.70	117.40
	2	55.24°	64.60	116.40
チャート7	C	133.23°	59.60	115.00
チャート8	C	33.53°	63.40	114.90
チャート9	C	132.09°	59.70	115.10
チャート10	C	132.09°	59.70	115.10
チャート11	1	86.06°	63.80	117.40
	2	86.06°	63.80	117.40
チャート12	C	86.06°	63.80	117.40
チャート13	1	25.38°	62.70	114.30
	2	83.94°	63.90	117.40
チャート14	C	83.94°	63.90	117.40
チャート15	C	91.00°	63.40	117.30
チャート16	C	91.00°	63.40	117.30
チャート17	C	91.00°	63.40	117.30
チャート18	C	91.00°	63.40	117.30
チャート19	C	91.00°	63.40	117.30
チャート20	C	91.00°	63.40	117.30
チャート21	C	44.81°	64.20	115.70
チャート22	①	90.00°	63.50	117.40
	②	1.53°	60.40	113.30
チャート23	1	160.05°	59.10	113.50
	2	90.00°	63.50	117.40
チャート24	1	2.03°	60.50	113.30
	2	89.80°	63.50	117.40
	3	159.67°	59.10	113.50
チャート25	①	159.67°	59.10	113.50
	②	159.67°	59.10	113.50
チャート26	A	102.43°	83.00	199.20
チャート27	A	102.43°	83.00	199.20
チャート28	A	102.43°	83.00	199.20
チャート29	A	102.43°	83.00	199.20
チャート30	A	158.87°	81.40	189.20
チャート31	1	70.06°	91.40	226.90
	2	159.42°	81.60	189.60
チャート32	1	159.90°	81.70	190.00
	2	88.12°	86.90	212.60
チャート33	A	88.12°	86.90	212.60
チャート34	C	88.12°	63.60	117.40
チャート35	C	88.12°	63.60	117.40
チャート36	C	88.12°	63.60	117.40
チャート37	C	88.12°	63.60	117.40
チャート38	C	88.12°	63.60	117.40
チャート39	C	88.12°	63.60	117.40
チャート40	C	88.12°	63.60	117.40
チャート41	C	94.20°	63.10	117.30

### ■水島港(玉島地区)

No.	ゾーニング	北からの方向角 (法線直角方向)	速度のPSI値 (50%非超過) (cm/sec <sup>1/2</sup> )	速度のPSI値 (90%非超過) (cm/sec <sup>1/2</sup> )
チャート1	C	145.16°	64.60	116.40
チャート2	1	88.26°	63.60	113.20
	2	88.26°	86.90	212.50
チャート3	A	179.62°	86.90	207.40
チャート4	C	6.01°	62.90	117.20
チャート5	C	95.55°	60.80	113.30
チャート6	C	175.49°	59.90	113.20

### ■徳山下松港

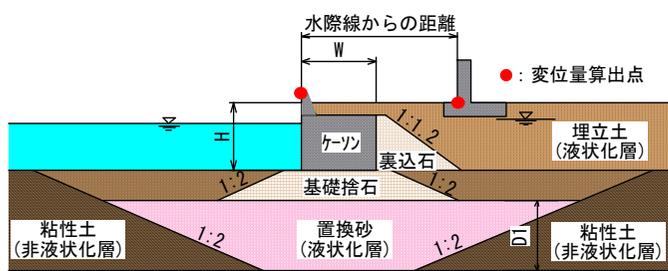
No.	ゾーニング	北からの方向角 (法線直角方向)	速度のPSI値 (50%非超過) (cm/sec <sup>1/2</sup> )	速度のPSI値 (90%非超過) (cm/sec <sup>1/2</sup> )
チャート1	—	136.77°	37.40	122.20
チャート2	—	135.14°	37.40	121.90
チャート3	—	180.00°	39.60	145.10
チャート4	—	180.00°	39.60	145.10
チャート5	—	160.62°	38.10	131.80
チャート6	—	153.18°	37.70	127.50
チャート7	—	48.20°	42.10	161.80
チャート8	—	34.64°	41.90	161.50
チャート9	—	6.58°	40.10	149.40

### 速度のPSI値とは・・・

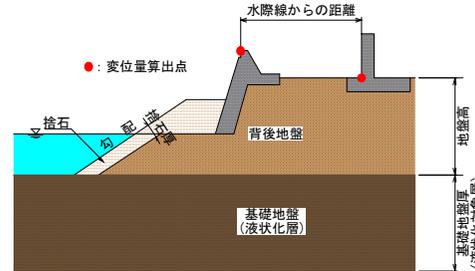
下式に示すように、各時刻の速度の2乗を全継続時間で足し合わせたものの平方根であり、港湾構造物の変形量の推定に用いる評価指標として用いられている。速度のPSI値は変形量に対して非常に良い相関(線形関係)にあることが分かっている。速度のPSI値はその大きさを確認することで、構造物の変形量の大小を感覚的にイメージすることができる。また、チャート式耐震診断システムによる変形量推定時にも必要となるパラメータである。

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

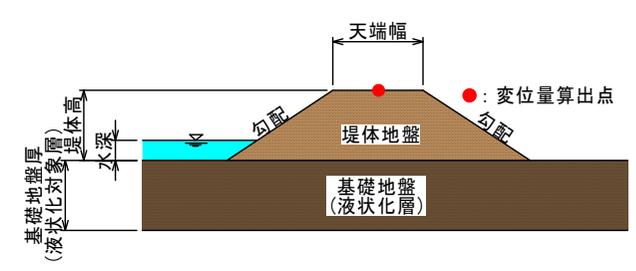
チャート式耐震診断で適応可能な構造形式は、下記に示す通りである。



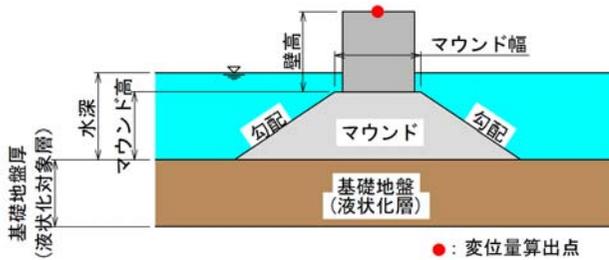
(1) 直立型(重力式)



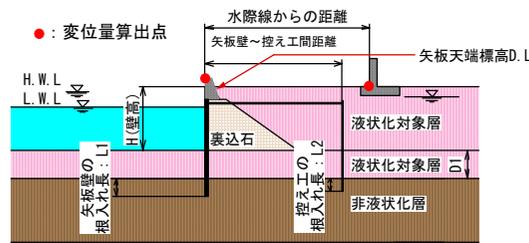
(2) 傾斜型護岸タイプ



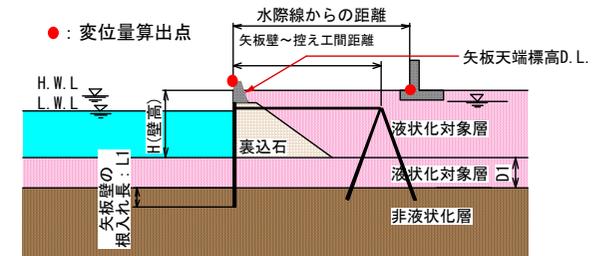
(3) 傾斜型堤防タイプ



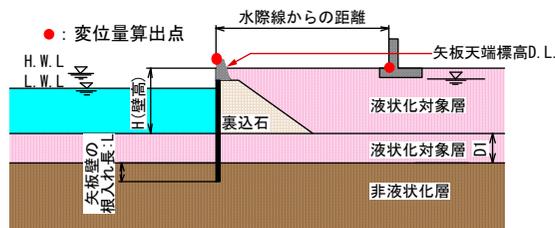
(4) 重力式防波堤



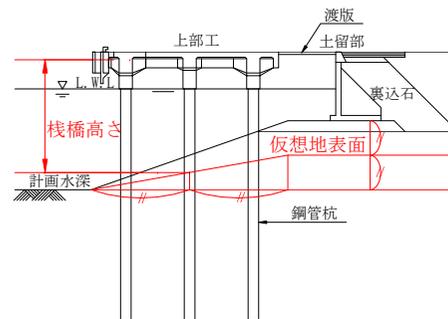
(5) 控え直杭式矢板



(6) 控え組杭式矢板



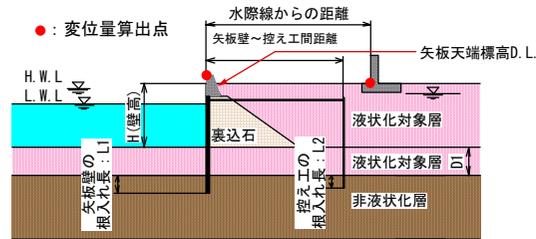
(7) 自立式矢板



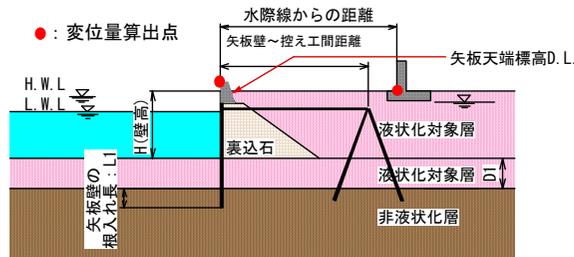
(8) 直杭式栈橋



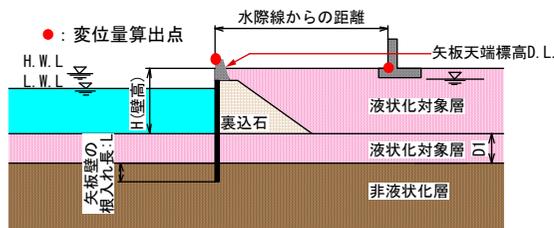
## ○チャート式耐震診断の適用例



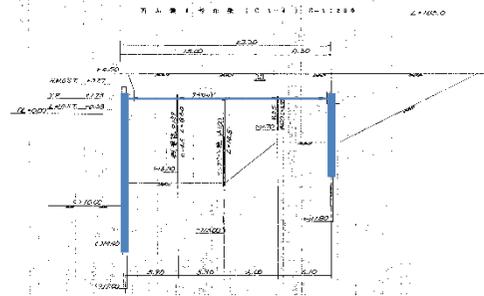
(5) 控え直杭式矢板



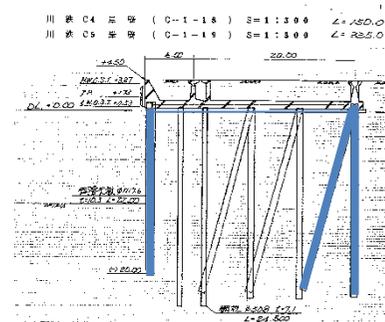
(6) 控え組杭式矢板



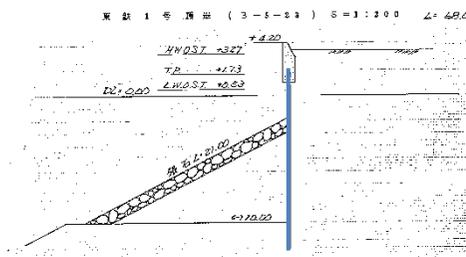
(7) 自立式矢板



(例)チャート19

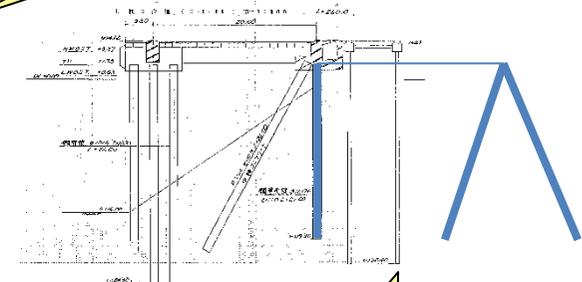


(例)チャート24



(例)チャート8

(※)適用範囲外の構造形式については、チャート式で対応可能な構造形式に置き換えて検討する。



(例)チャート26

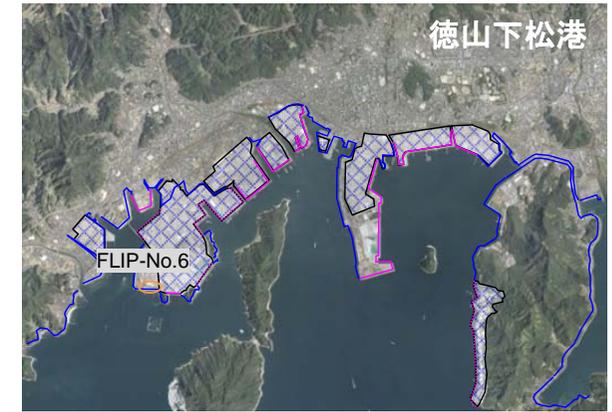
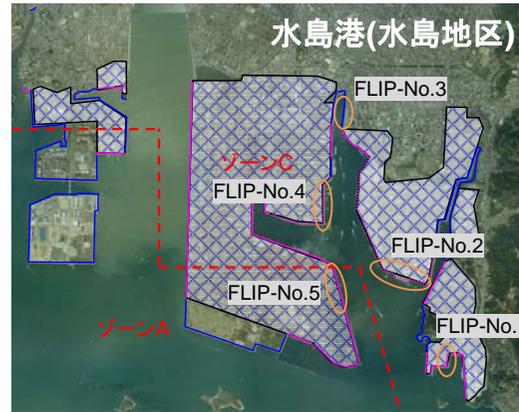
(※)適用範囲外の構造形式については、チャート式で対応可能な構造形式に置き換えて検討する。

(※)適用範囲外の構造形式をチャート式で対応可能な構造形式に置換えた断面は参考資料2に示す。

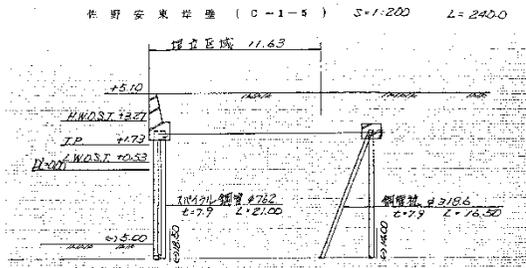
## FLIP解析実施断面の選定における留意点

- ① サイト増幅特性を考慮し選定
- ② 構造形式（直立型(重力式)、矢板式）により選定

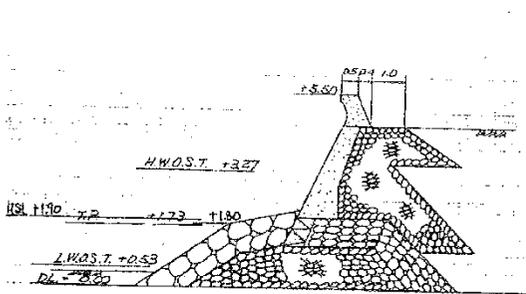
(※)背後施設の重要度や前面に航路・泊地が位置するなどの周辺状況を勘案し、水島港(水島地区)5断面、徳山下松港1断面を選定



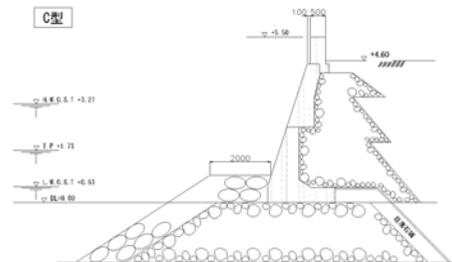
FLIP解析実施断面位置



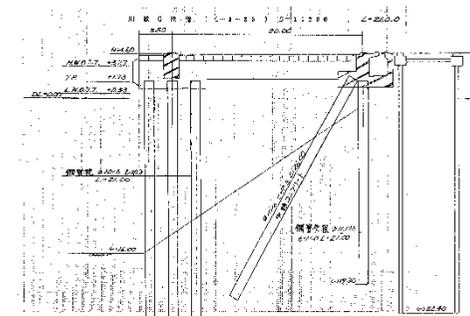
FLIP-No.1 (チャート2-1)  
構造形式: 控え組杭式矢板



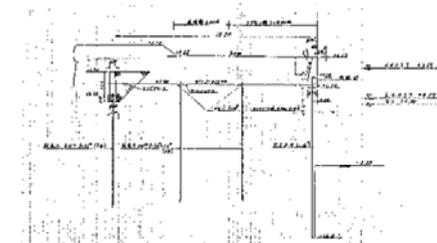
FLIP-No.4 (チャート22-1)  
構造形式: 護岸タイプ



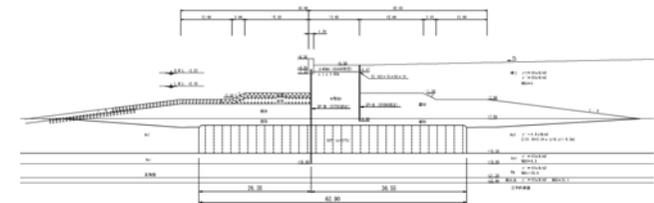
FLIP-No.2 (チャート5-②-2)  
構造形式: 護岸タイプ



FLIP-No.5 (チャート26)  
構造形式: 控え組杭式矢板



FLIP-No.3 (チャート11-1)  
構造形式: 控え直杭式矢板



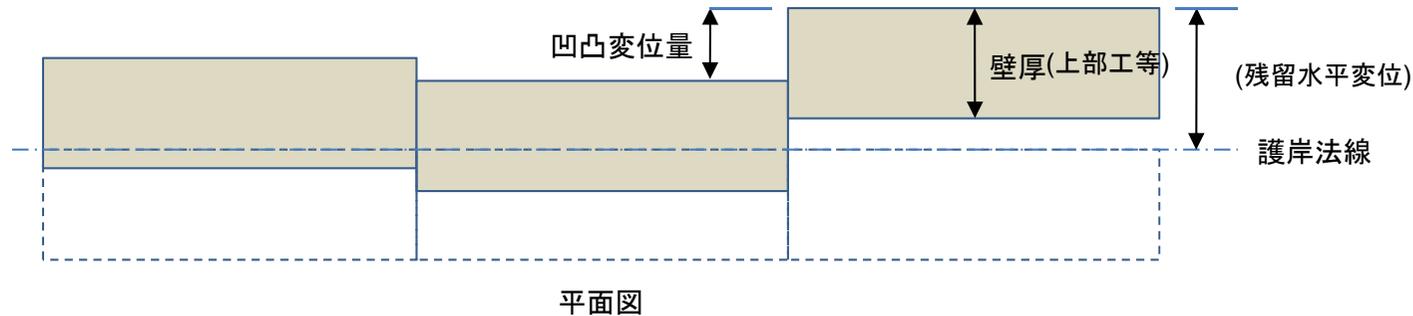
FLIP-No.6 (チャート1)  
構造形式: 控え直杭式矢板

・FLIP及びチャート式耐震診断から求められる施設・及び背後地盤の沈下量・水平変位を算出する。

⇒沈下量は浸水シミュレーション検討に反映する。

⇒水平変位は施設背後の土砂流出の危険性検討に使用する。

(※)なお、施設背後の土砂流出の危険性検討は、以下の方法により確認を行う。



兵庫県南部地震の事例調査結果(一井ら)より、連続するケーソンや上部工の凹凸変位量は残留水平変位の1/2倍となる。

したがって、護岸・岸壁の残留水平量の性能規定を行うに当たり、残留水平変位は凹凸変位の2倍以下に抑えなければならないといえる。隣り合うケーソンや上部工の目地が開く限界は凹凸変位量が壁厚(上部工等)以上となった場合であることから、次の式が成立する。

$$\text{凹凸変位量} = \text{残留水平変位量} / 2$$



『残留水平変位 × 1/2 ≥ 壁厚』

となる施設については、背後土砂流出の危険性があると判断する。

## 【水島港(水島地区)チャート2-1:FLIP-No.1】

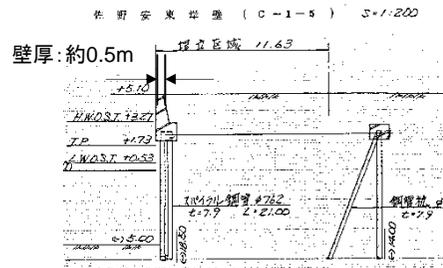
- ・チャート式耐震診断による変形量は、いずれの位置においても残留時の鉛直変位がFLIPに比べて大きく、また水平変位についてもFLIPに比べて大きく安全側の値を示している。
- ・チャート式耐震診断及びFLIPによる水平変形量から、施設背後の土砂流出の危険性があると考えられる。

### ■50%非超過波【速度のPSI値:63.9cm/s<sup>1/2</sup>】

### ■90%非超過波【速度のPSI値:117.4cm/s<sup>1/2</sup>】

#### 【チャート式による変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-214	-22
施設背後5m地点	—	-175



水平変形量 × 1/2 = 107cm > 壁厚50cm

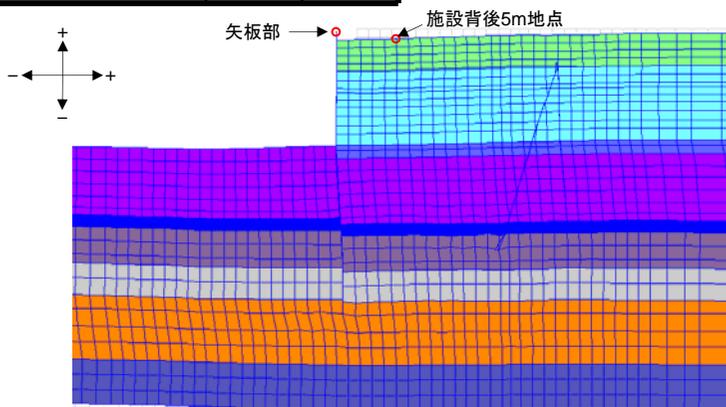
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-158	-21
施設背後5m地点	—	-137

水平変形量 × 1/2 = 79cm > 壁厚50cm

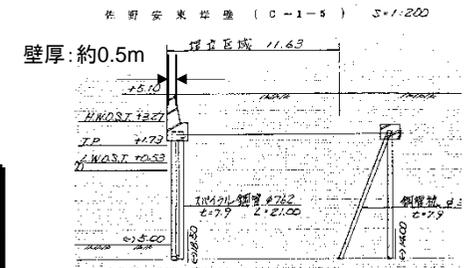
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有



FLIPによる変形量照査結果(50%非超過波)

#### 【チャート式による変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-294	-24
施設背後5m地点	—	-210



水平変形量 × 1/2 = 147cm > 壁厚50cm

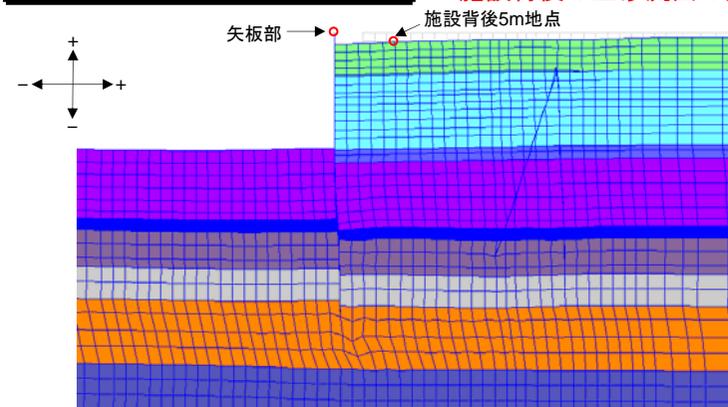
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-226	+3
施設背後5m地点	—	-132

水平変形量 × 1/2 = 113cm > 壁厚50cm

⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有



FLIPによる変形量照査結果(90%非超過波)

## 【水島港(水島地区)チャート5-②-2: FLIP-No.2】

- ・チャート式耐震診断による変形量は、いずれの位置においても残留時の鉛直変位がFLIPに比べて大きく、安全側の値を示している。なおチャート式耐震診断では護岸タイプの水平変位は算出されないため'-'としている。
- ・FLIPによる水平変形量から、施設背後の土砂流出の危険性はないと考えられる。

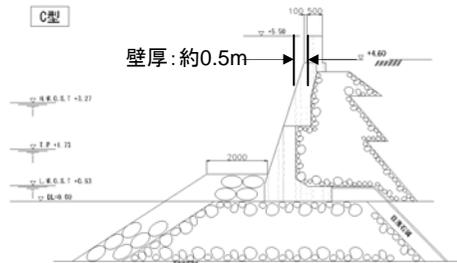
### ■50%非超過波【速度のPSI値: 59.1cm/s<sup>1/2</sup>】

#### 【チャート式による変形量】

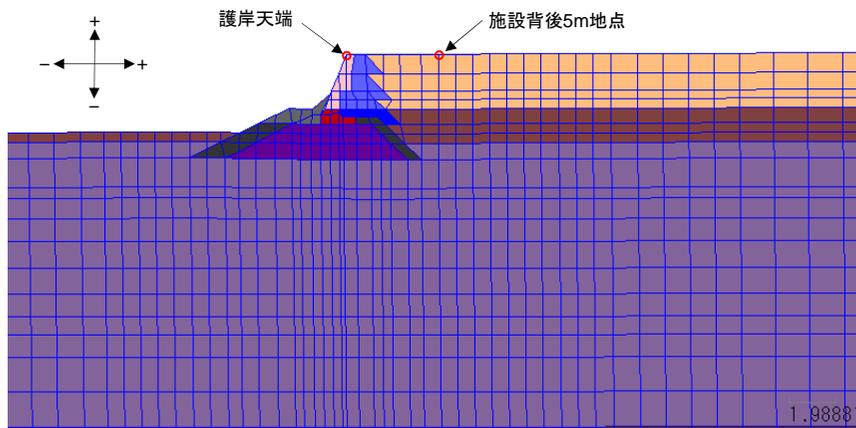
位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
護岸天端	-	-54
施設背後5m地点	-	-131

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
護岸天端	-15	-9
施設背後5m地点	-	-6



水平変形量 × 1/2 = 7.5cm < 壁厚50cm  
⇒施設背後の土砂流出の危険性無



FLIPによる変形量照査結果(50%非超過波)

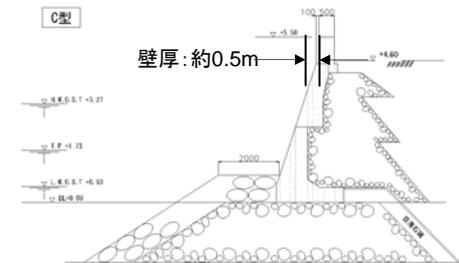
### ■90%非超過波【速度のPSI値: 113.4cm/s<sup>1/2</sup>】

#### 【チャート式による変形量】

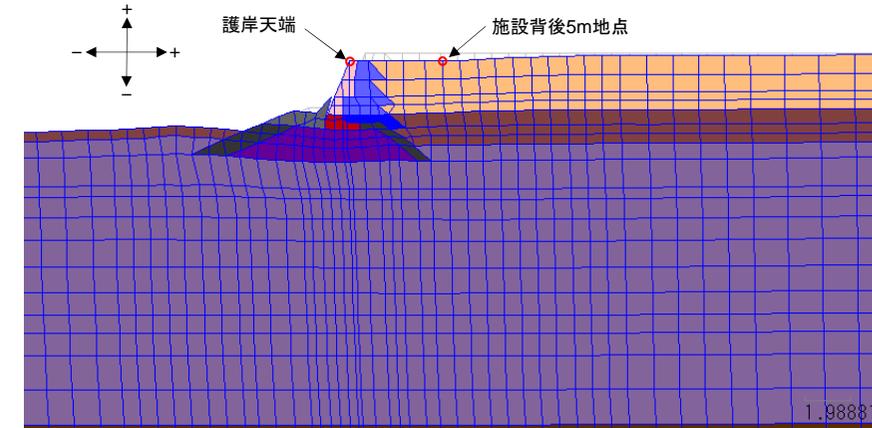
位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
護岸天端	-	-120
施設背後5m地点	-	-272

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
護岸天端	-81	-37
施設背後5m地点	-	-41



水平変形量 × 1/2 = 40.5cm < 壁厚50cm  
⇒施設背後の土砂流出の危険性無

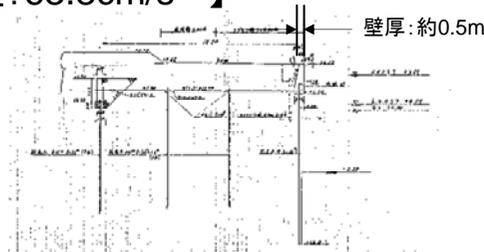


FLIPによる変形量照査結果(90%非超過波)

## 【水島港(水島地区)チャート11-1: FLIP-No.3】

- ・チャート式耐震診断による変形量は、90%非超過波の施設背後5m地点を除き、残留時鉛直変位がFLIPに比べて大きく、安全側の値を示している。しかしながら水平変位は50%非超過波、90%非超過波ともチャート式耐震診断が過小評価する結果となった。
- ・チャート式耐震診断およびFLIPによる水平変形量から、施設背後の土砂流出の危険性があると考えられる。

### ■50%非超過波【速度のPSI値: 63.8cm/s<sup>1/2</sup>】



#### 【チャート式による変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	+215	-17
施設背後5m地点	—	-79

水平変形量 × 1/2 = 107.5cm > 壁厚50cm

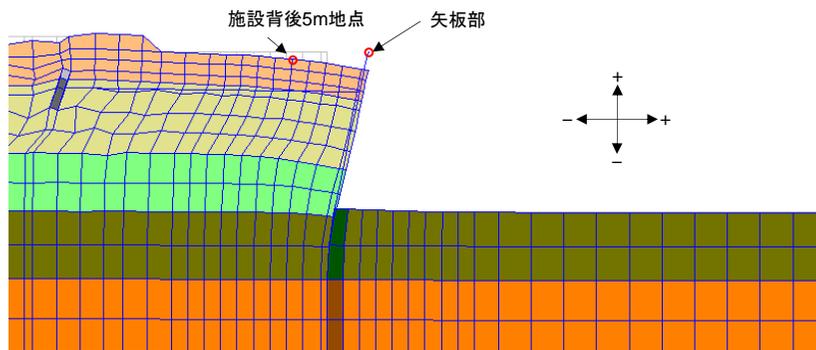
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	+247	-4
施設背後5m地点	—	-69

水平変形量 × 1/2 = 123.5cm > 壁厚50cm

⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有



FLIPによる変形量照査結果(50%非超過波)

### ■90%非超過波【速度のPSI値: 117.4cm/s<sup>1/2</sup>】



#### 【チャート式による変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	+286	-25
施設背後5m地点	—	-95

水平変形量 × 1/2 = 143cm > 壁厚50cm

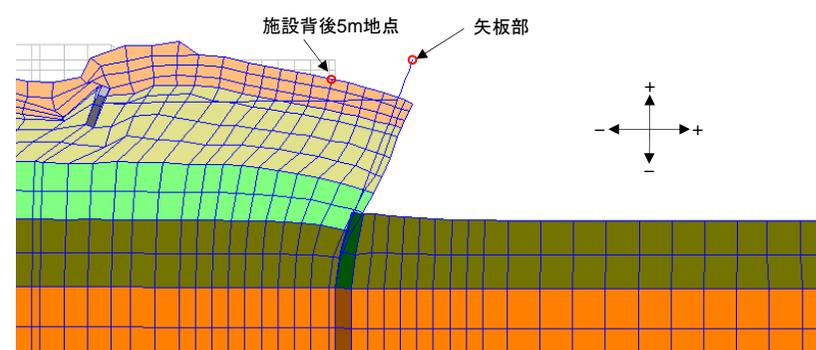
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	+459	-6
施設背後5m地点	—	-118

水平変形量 × 1/2 = 229.5cm > 壁厚50cm

⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有



FLIPによる変形量照査結果(90%非超過波)

## 【水島港(水島地区)チャート22-①: FLIP-No.4】

- ・チャート式耐震診断による変形量は、いずれの位置においても残留時の鉛直変位がFLIPに比べて大きく、安全側の値を示している。なおチャート式耐震診断では護岸タイプの水平変位は算出されないため'—'としている。
- ・90%非超過波を想定した場合、施設背後の土砂流出の危険性があると考えられる。

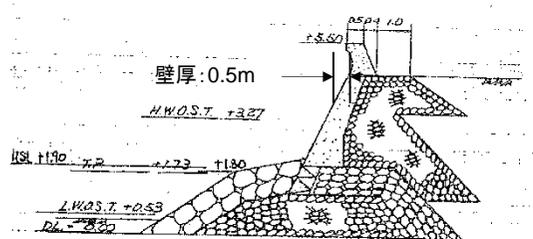
### ■50%非超過波【速度のPSI値: 63.5cm/s<sup>1/2</sup>】

【チャート式による変形量】

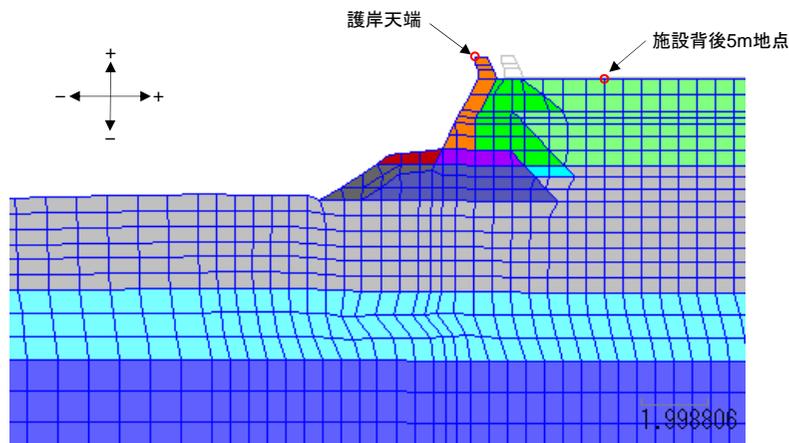
位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
護岸天端	—	-24
施設背後5m地点	—	-43

【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
護岸天端	-99	-10
施設背後5m地点	—	-18



水平変形量 × 1/2 = 49.5cm < 壁厚50cm  
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性無



FLIPによる変形量照査結果(50%非超過波)

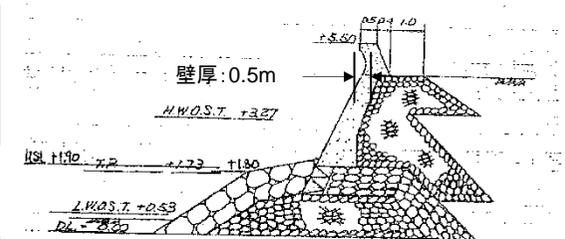
### ■90%非超過波【速度のPSI値: 117.4cm/s<sup>1/2</sup>】

【チャート式による変形量】

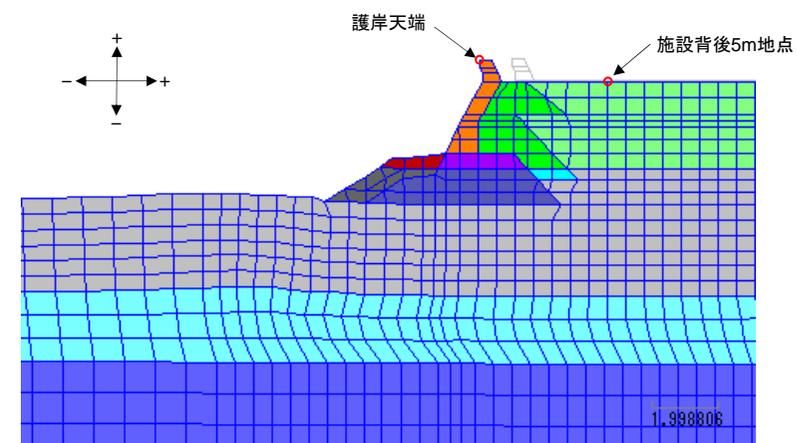
位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
護岸天端	—	-63
施設背後5m地点	—	-158

【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
護岸天端	-126	-18
施設背後5m地点	—	-17



水平変形量 × 1/2 = 63cm > 壁厚50cm  
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有

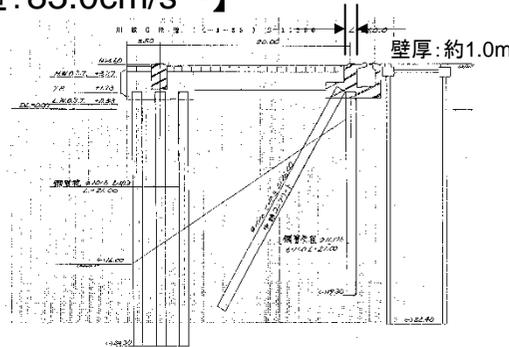


FLIPによる変形量照査結果(90%非超過波)

## 【水島港(水島地区)チャート26:FLIP-No.5】

- ・チャート式耐震診断による変形量は、いずれの位置においても残留時の鉛直変位がFLIPに比べて大きく、また水平変位についてもFLIPに比べて大きく安全側の値を示している。
- ・チャート式耐震診断では、施設背後の土砂流出の危険性が有ると判断される。一方でFLIPでは施設背後の土砂流出の危険性が無いと判断される。

### ■50%非超過波【速度のPSI値:83.0cm/s<sup>1/2</sup>】



#### 【チャート式による変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-280	-15
施設背後5m地点	—	-161

水平変形量 × 1/2 = 140cm > 壁厚100cm

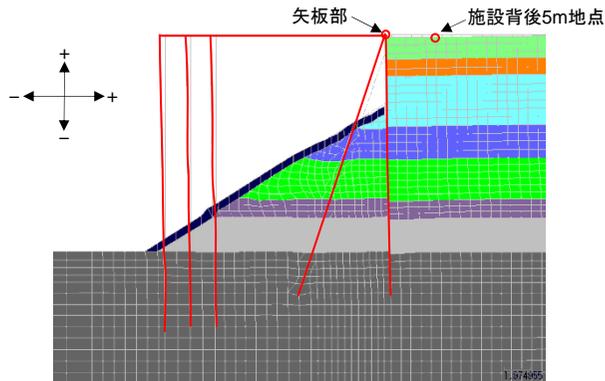
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-51	-5
施設背後5m地点	—	-35

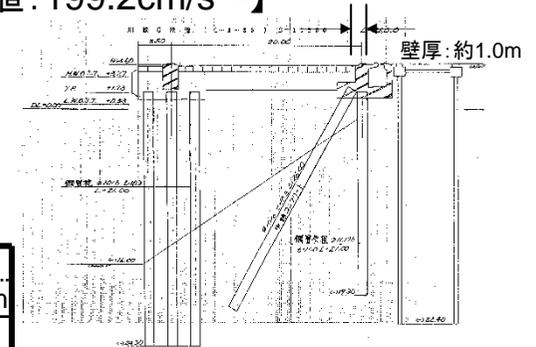
水平変形量 × 1/2 = 25.5cm < 壁厚100cm

⇒ 施設背後の土砂流出の危険性無



FLIPによる変形量照査結果(50%非超過波)

### ■90%非超過波【速度のPSI値:199.2cm/s<sup>1/2</sup>】



#### 【チャート式による変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-481	-67
施設背後5m地点	—	-241

水平変形量 × 1/2 = 240.5cm > 壁厚100cm

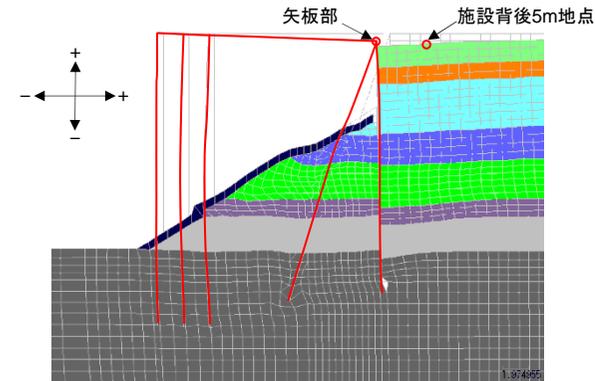
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-120	-67
施設背後5m地点	—	-120

水平変形量 × 1/2 = 60cm < 壁厚100cm

⇒ 施設背後の土砂流出の危険性無

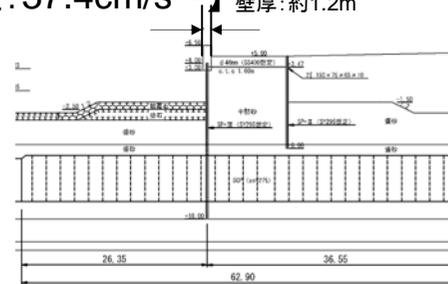


FLIPによる変形量照査結果(90%非超過波)

## 【徳山下松港FLIP-No.6】

- ・チャート式耐震診断による変形量は50%非超過波を対象とした場合、90%非超過波の施設背後5m地点を除き、残留時鉛直変位がFLIPに比べて大きく、安全側の値を示している。また、水平変位についてもFLIPに比べて大きく安全側の値を示している。しかしながら、変形量が大きくなる90%非超過波を対象とした場合は水平変位及び施設背後5m地点の鉛直変位を過小評価する結果となった。
- ・当該施設の変形による施設背後の土砂流出の危険性は高いと思われる。

### ■50%非超過波【速度のPSI値: 37.4cm/s<sup>1/2</sup>】 壁厚: 約1.2m



#### 【チャート式による変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-254	-21
施設背後5m地点	—	-103

水平変形量 × 1/2 = 127cm > 壁厚120cm

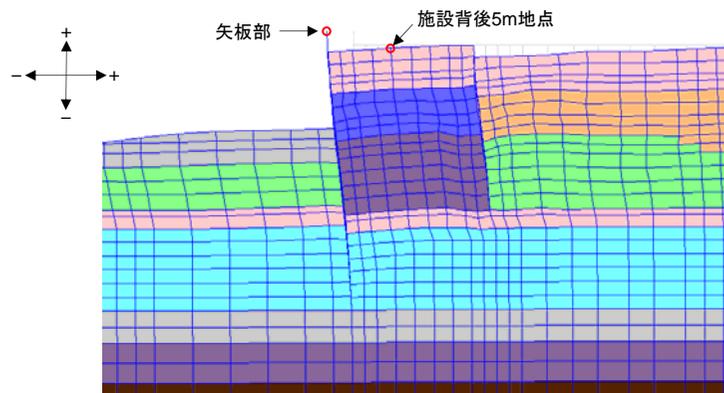
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-203	-2
施設背後5m地点	—	-35

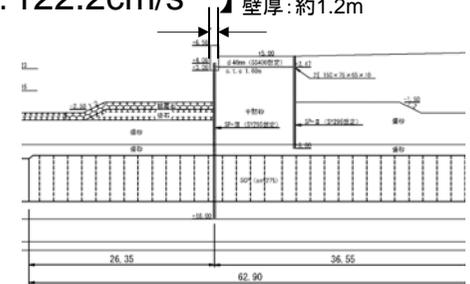
水平変形量 × 1/2 = 101.5cm < 壁厚120cm

⇒ 施設背後の土砂流出の危険性無



FLIPによる変形量照査結果(50%非超過波) 1.98881

### ■90%非超過波【速度のPSI値: 122.2cm/s<sup>1/2</sup>】 壁厚: 約1.2m



#### 【チャート式による変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-379	-39
施設背後5m地点	—	-130

水平変形量 × 1/2 = 189.5cm > 壁厚120cm

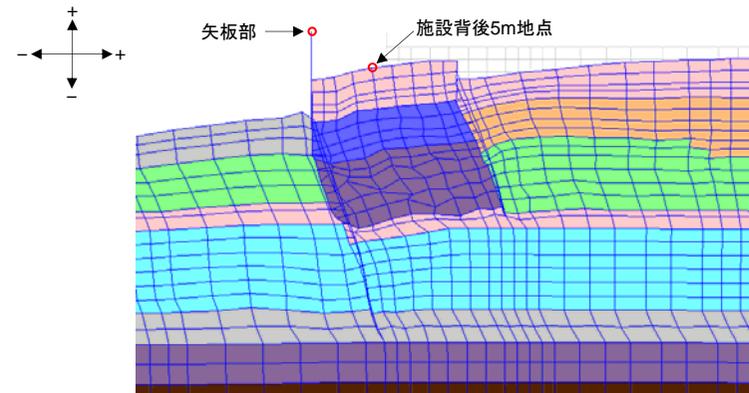
⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有

#### 【FLIPによる変形量】

位置	残留変位	
	水平cm	鉛直cm
矢板部	-576	+9
施設背後5m地点	—	-178

水平変形量 × 1/2 = 288cm > 壁厚120cm

⇒ 施設背後の土砂流出の危険性有



FLIPによる変形量照査結果(90%非超過波) 1.98881

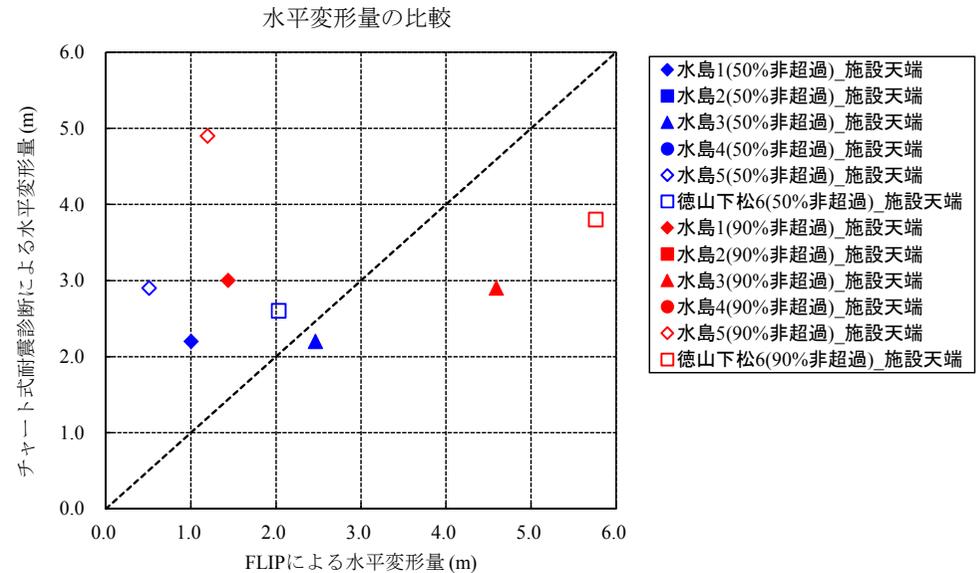
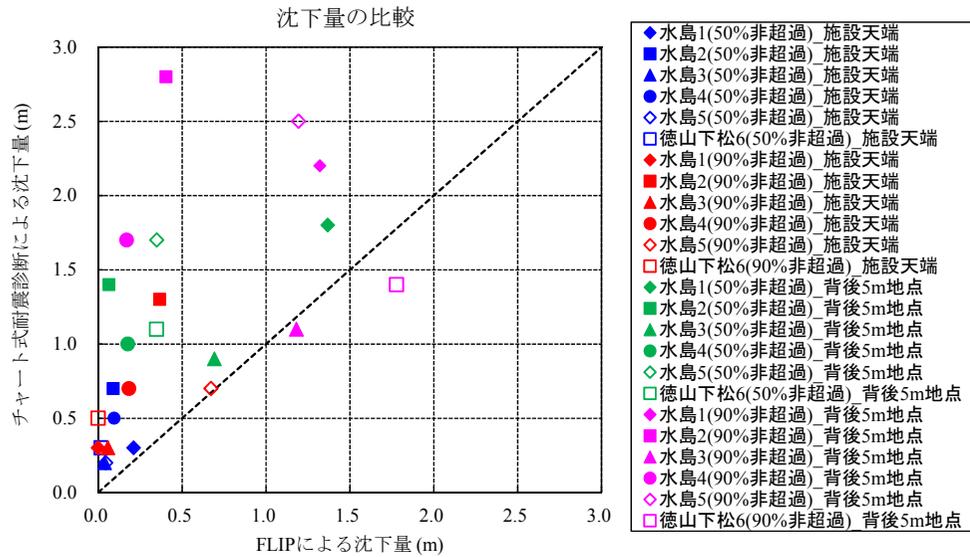
## FLIPとチャート式耐震診断の比較のまとめ

### 【水際線の沈下量の比較】

チャート式耐震診断による沈下量は、変形量が大きいケースで若干FLIPによる沈下量を過小評価する場合もあるが、概ねFLIPと同等か安全側に算出されている。

### 【水際線の水平変形量の比較】

チャート式耐震診断の算定結果より、変形量が大きいケースではFLIPによる水平変形量に比べて小さく評価する場合がある。



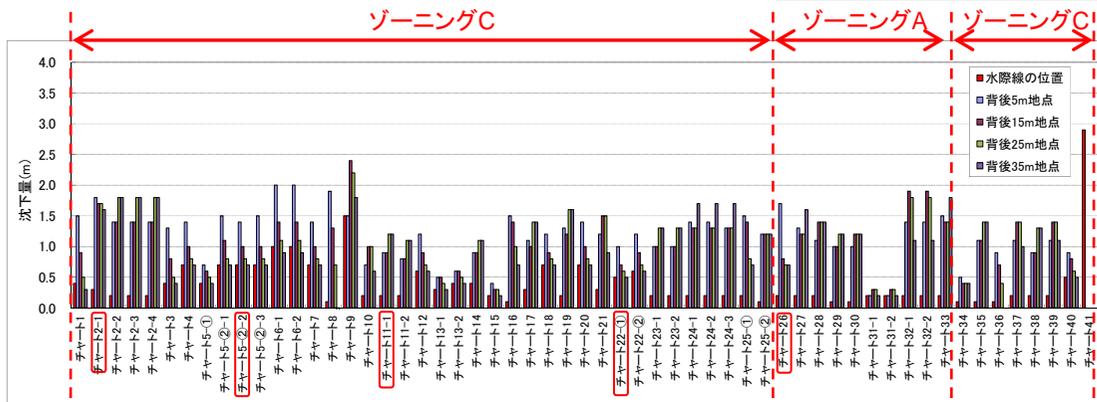
# 検討結果 (ゾーニング別の比較結果等)

## 水島港水島地区(50%非超過波)

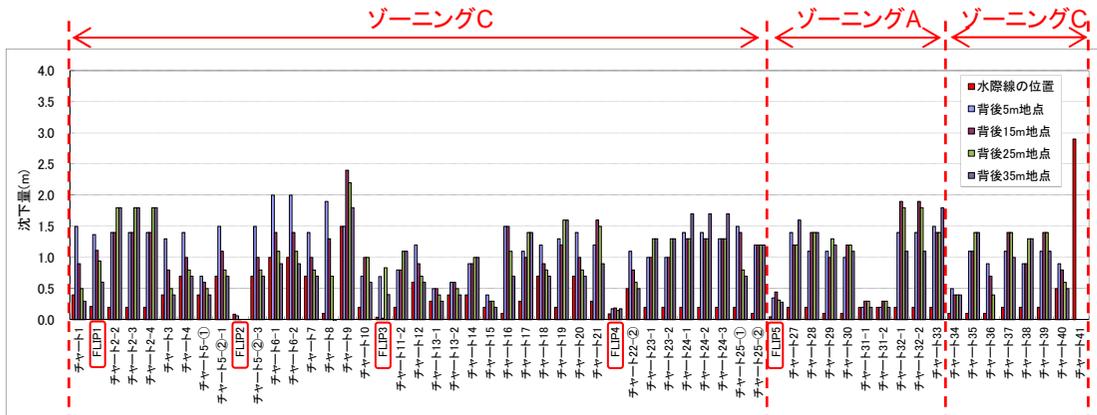
- ・水島地区については、護岸全域を網羅するように護岸の沈下量の把握を実施した。
- ・FLIPを実施した断面については、チャート式耐震診断による沈下量よりもFLIPによる沈下量が小さくなる。
- ・ゾーニングAは速度のPSI値が概ね90(cm/s<sup>1/2</sup>)程度であるのに対し、ゾーニングCは速度のPSI値が概ね60(cm/s<sup>1/2</sup>)程度であるが、ゾーニングA及びCとも変形量に大きな違いは見られない。これは、水島地区の対象範囲が広い為、地盤条件が地点によって異なることや、施設形状が多様であるなど、速度のPSI値以外の要因によって概ね同じ変形量になったものと考えられる。

(※)具体的な数値は【参考1】に示す。

チャート2-1	FLIP1
チャート5-②-2	FLIP2
チャート11-1	FLIP3
チャート22-①	FLIP4
チャート26	FLIP5

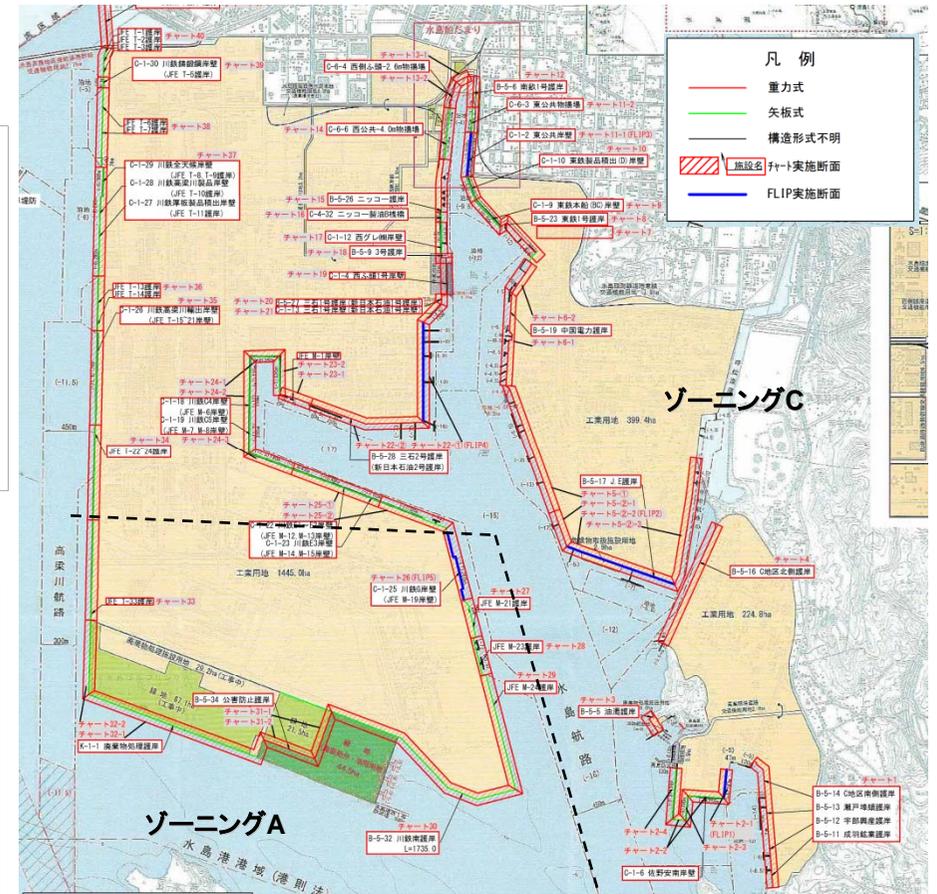


検討結果(50%非超過波)



検討結果(50%非超過波) チャート式→FLIP

【対象断面数:42断面】

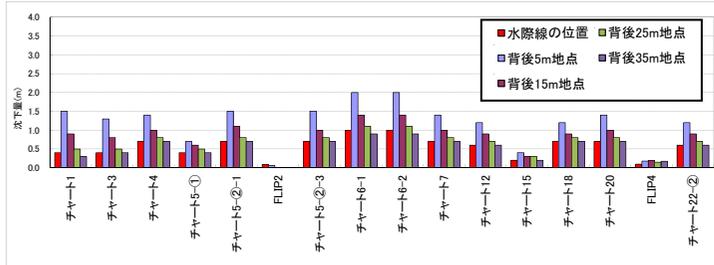


検討位置図(水島港水島地区)

## ○水島港水島地区(50%非超過波)

・傾斜護岸・重力式・自立矢板は水際線から背後5m付近にかけて沈下量が大きく生じ、それより後方では小さくなる傾向にあるが、矢板式(直杭・組杭)は背後5mより後方においても沈下量が大きく生じる傾向にある。

【対象断面数:16断面】

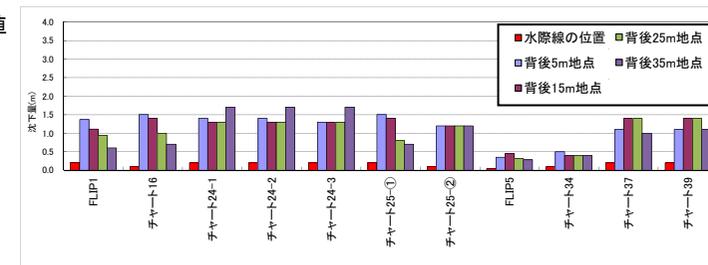


(1)傾斜護岸

対象16断面の平均値

水際線の位置	0.6m
背後5m地点	1.2m
背後15m地点	0.8m
背後25m地点	0.6m
背後35m地点	0.5m

【対象断面数:11断面】

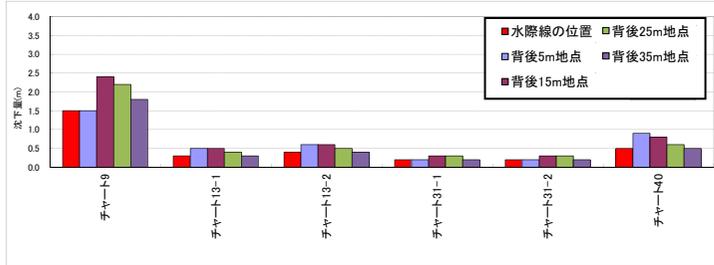


(4)控え組杭式矢板

対象11断面の平均値

水際線の位置	0.2m
背後5m地点	1.2m
背後15m地点	1.2m
背後25m地点	1.0m
背後35m地点	1.0m

【対象断面数:6断面】

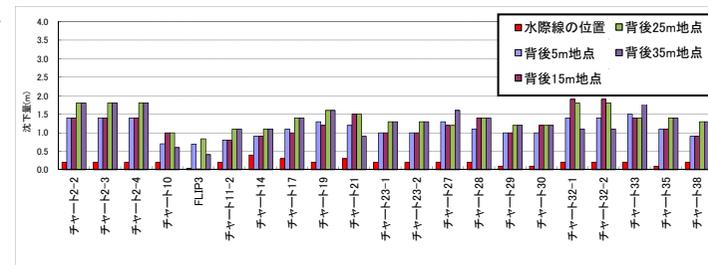


(2)重力式

対象6断面の平均値

水際線の位置	0.5m
背後5m地点	0.7m
背後15m地点	0.8m
背後25m地点	0.7m
背後35m地点	0.6m

【対象断面数:21断面】

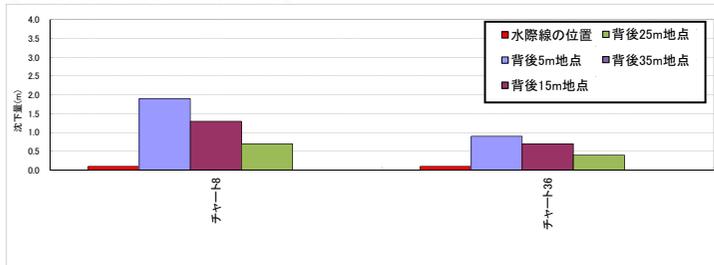


(5)控え直杭式矢板

対象21断面の平均値

水際線の位置	0.2m
背後5m地点	1.1m
背後15m地点	1.2m
背後25m地点	1.4m
背後35m地点	1.3m

【対象断面数:2断面】



(3)自立矢板

対象2断面の平均値

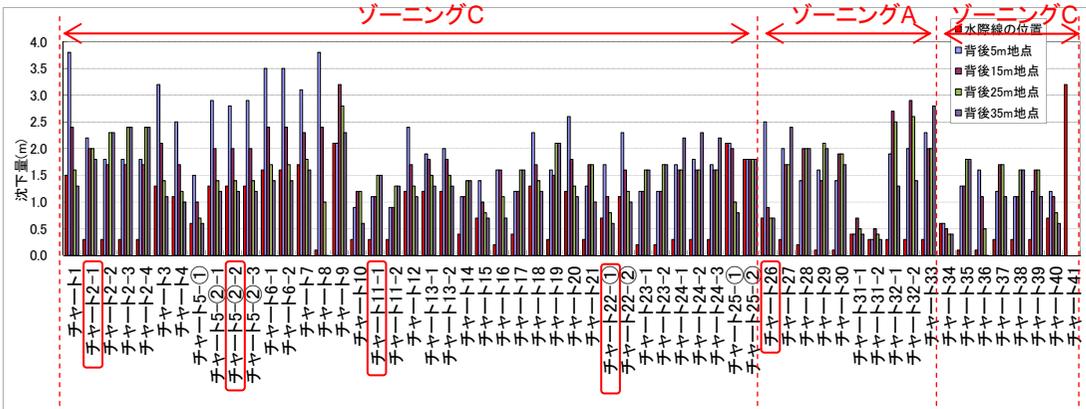
水際線の位置	0.1m
背後5m地点	1.4m
背後15m地点	1.0m
背後25m地点	0.6m
背後35m地点	-0.1m

## ○水島港水島地区(90%非超過波)

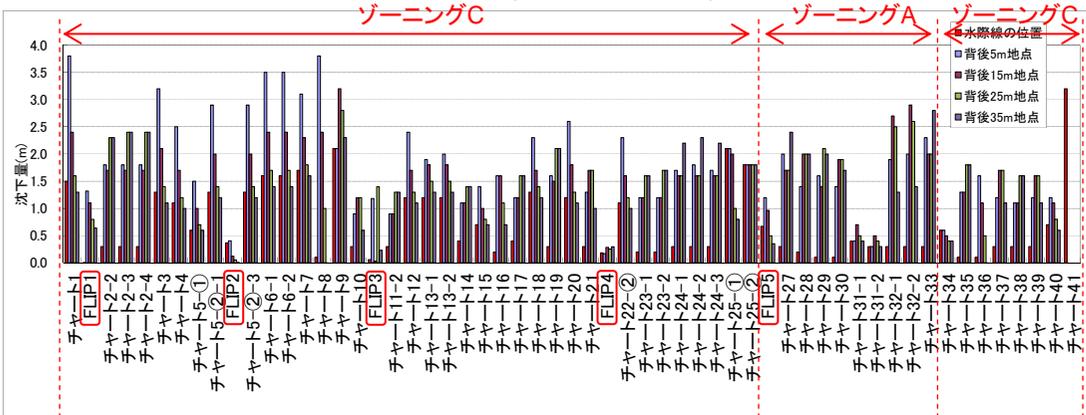
- ・水島地区については、護岸全域を網羅するように護岸の変状(沈下量)把握を実施した。
- ・FLIPを実施した断面については、チャート式耐震診断による沈下量よりもFLIPによる沈下量が小さくなる。
- ・ゾーニングAは速度のPSI値が概ね200(cm/s<sup>1/2</sup>)程度であるのに対し、ゾーニングCは速度のPSI値が概ね120(cm/s<sup>1/2</sup>)程度であるが、ゾーニングA及びCとも変形量に大きな違いは見られない。これは、水島地区の対象範囲が広い為、地盤条件が地点によって異なることや、施設形状が多様であるなど、速度のPSI値以外の要因によって概ね同じ変形量になったものと考えられる。

(※)具体的な数値は【参考1】に示す。

チャート2-1	FLIP1
チャート5-②-2	FLIP2
チャート11-1	FLIP3
チャート22-①	FLIP4
チャート26	FLIP5

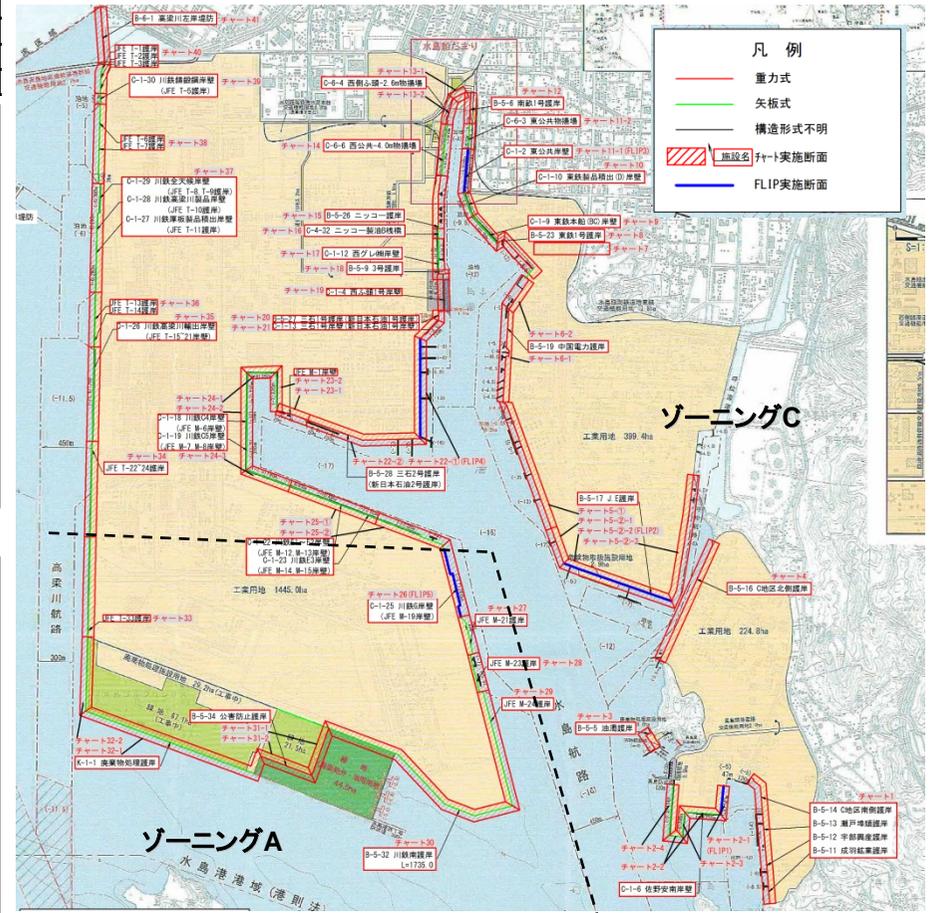


検討結果(90%非超過波)



検討結果(90%非超過波) チャート式→FLIP

【対象断面数:42断面】



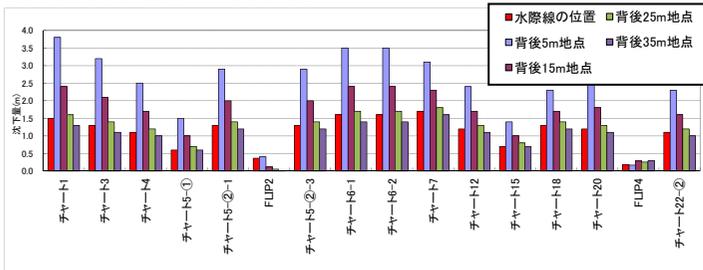
検討位置図(水島港水島地区)

## ○水島港水島地区(90%非超過波)

・傾斜護岸・重力式・自立矢板は水際線から背後5m付近にかけて沈下量が大きく生じ、それより後方では小さくなる傾向にあるが、矢板式(直杭・組杭)は背後5mより後方においても沈下量が大きく生じる傾向にある。

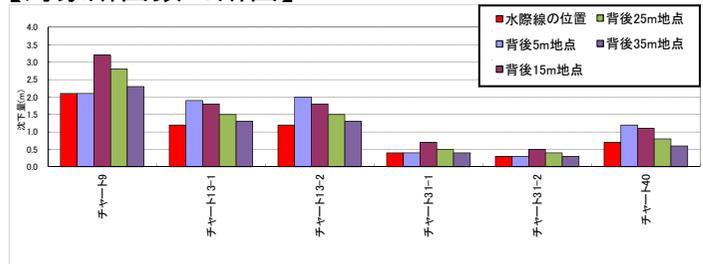
・対象とする地震動の速度のPSI値が概ね120~200(cm/s<sup>1/2</sup>)程度と50%非超過波に比べて2倍程度大きくなるため、施設ごとの平均値は沈下量は50%非超過波を対象とした場合と比べて2倍以上大きくなる結果となった。

【対象断面数:16断面】



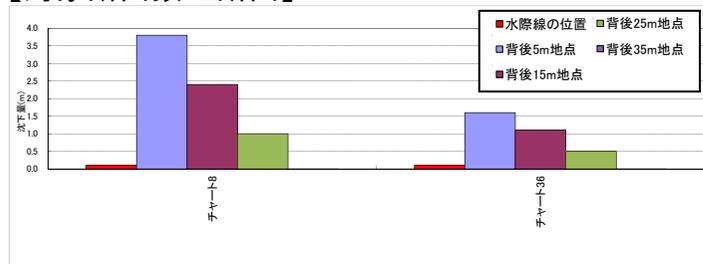
(1)傾斜護岸

【対象断面数:6断面】



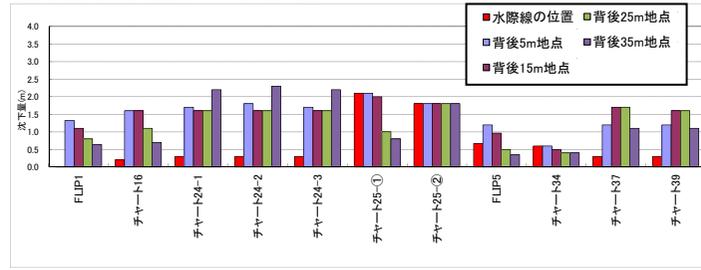
(2)重力式

【対象断面数:2断面】



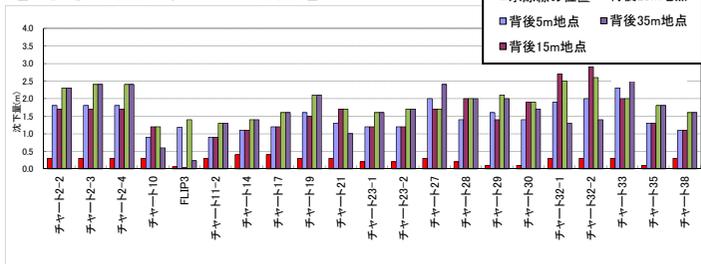
(3)自立矢板

【対象断面数:11断面】



(4)控え組杭式矢板

【対象断面数:21断面】

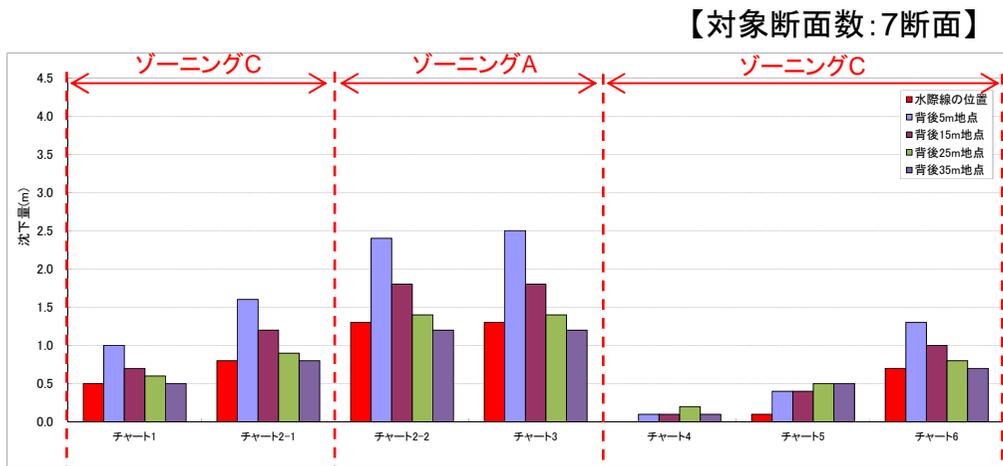


(5)控え直杭式矢板

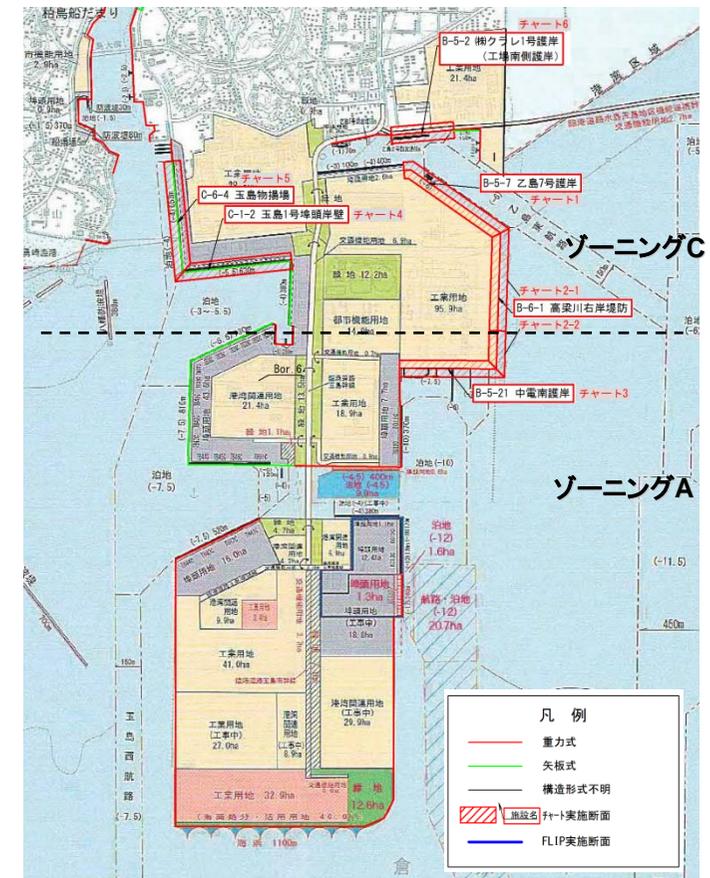
## ○水島港玉島地区(50%非超過波)

- ・玉島地区の代表護岸の変状(沈下量)把握を行った。
- ・ゾーニングAは速度のPSI値が概ね90(cm/s<sup>1/2</sup>)程度であるのに対し、ゾーニングCは速度のPSI値が概ね60(cm/s<sup>1/2</sup>)程度であるため、ゾーニングCに比べてゾーニングAの変形量が大きくなる傾向にある。この結果は、対象とする施設形状がほぼ同じ形状であること、範囲が狭く地盤条件が概ね同じであることから、速度のPSI値による影響が直接的に変形に影響したためと考えられる。

(※)具体的な数値は【参考1】に示す。



検討結果(50%非超過波)

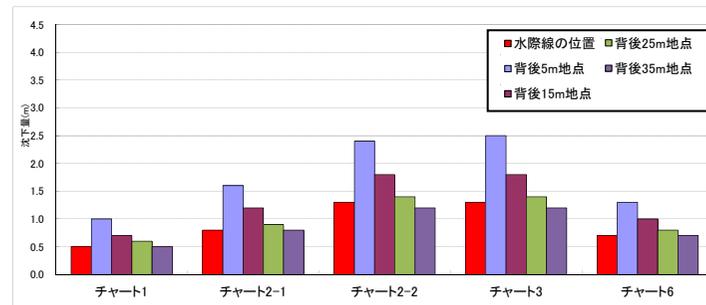


検討位置図(水島港玉島地区)

## ○水島港玉島地区(50%非超過波)

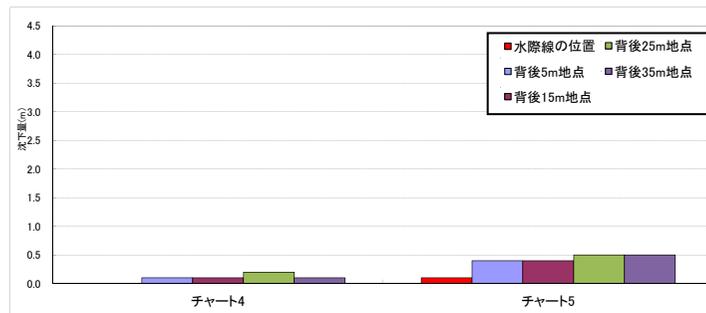
- ・控え直杭式矢板に比べて傾斜護岸の方が平均的に沈下量が大きく出る傾向にある。
- ・傾斜護岸は水際線から背後5m付近にかけて沈下量が大きく生じ、それより後方では小さくなる傾向にあるが、矢板式(直杭)は背後5mより後方においても沈下量が大きく生じる傾向にある。

【対象断面数:5断面】



(1)傾斜護岸

【対象断面数:2断面】

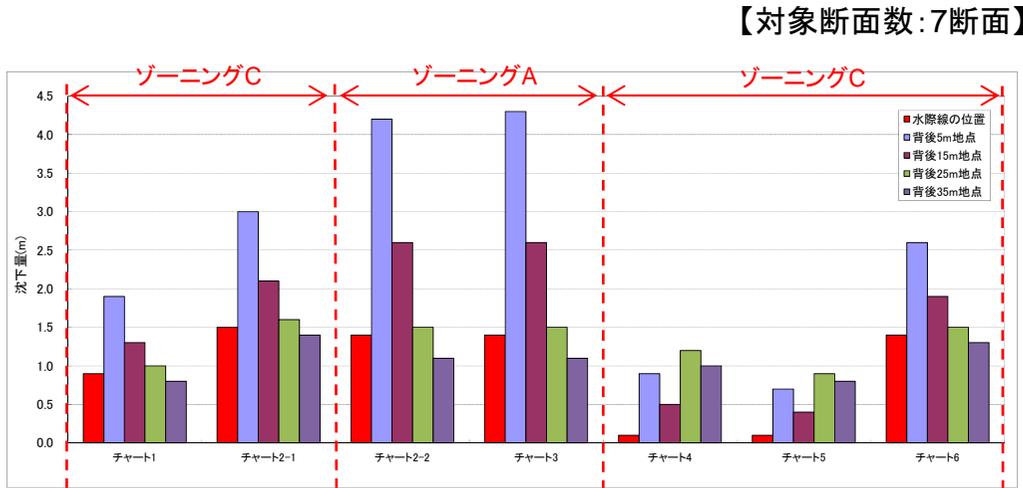


(2)控え直杭式矢板

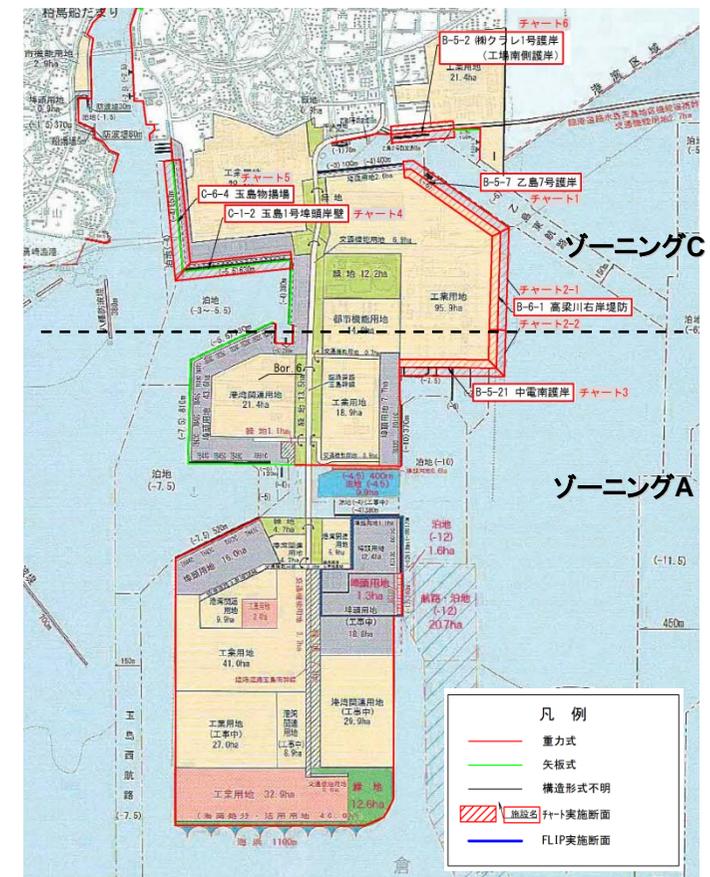
## ○水島港玉島地区(90%非超過波)

- ・玉島地区の代表護岸の沈下量の把握を行った。
- ・ゾーニングAは速度のPSI値が概ね200(cm/s<sup>1/2</sup>)程度であるのに対し、ゾーニングCは速度のPSIが概ね100(cm/s<sup>1/2</sup>)程度であるため、ゾーニングCに比べてゾーニングAの変形量が大きくなる傾向にある。この結果は、対象とする施設形状がほぼ同じ形状であること、範囲が狭く地盤条件が概ね同じであることから、速度のPSI値による影響が直接的に変形に影響したためと考えられる。

(※)具体的な数値は【参考1】に示す。



検討結果(90%非超過波)

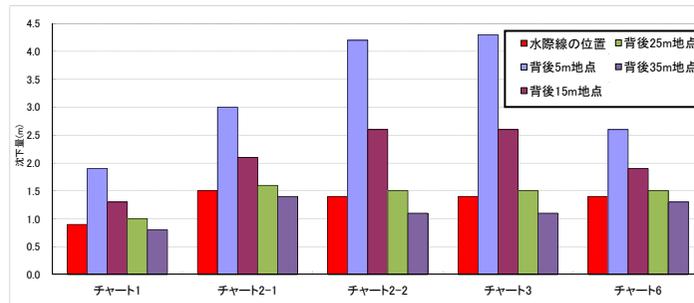


検討位置図(水島港玉島地区)

## ○水島港水島地区(90%非超過波)

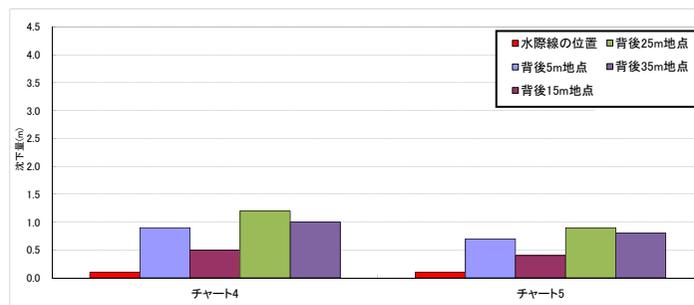
- ・控え直杭式矢板に比べて傾斜護岸の方が平均的に沈下量が大きく出る傾向にある。
- ・傾斜護岸は水際線から背後5m付近にかけて沈下量が大きく生じ、それより後方では小さくなる傾向にあるが、矢板式(直杭)は背後5mより後方においても沈下量が大きく生じる傾向にある。
- ・対象とする地震動の速度のPSI値が概ね120~200(cm/s<sup>1/2</sup>)程度と50%非超過波に比べて2倍程度大きくなるため、全体的には沈下量は50%非超過波を対象とした場合に比べて2倍以上大きくなる結果となった。

【対象断面数:5断面】



(1)傾斜護岸

【対象断面数:2断面】



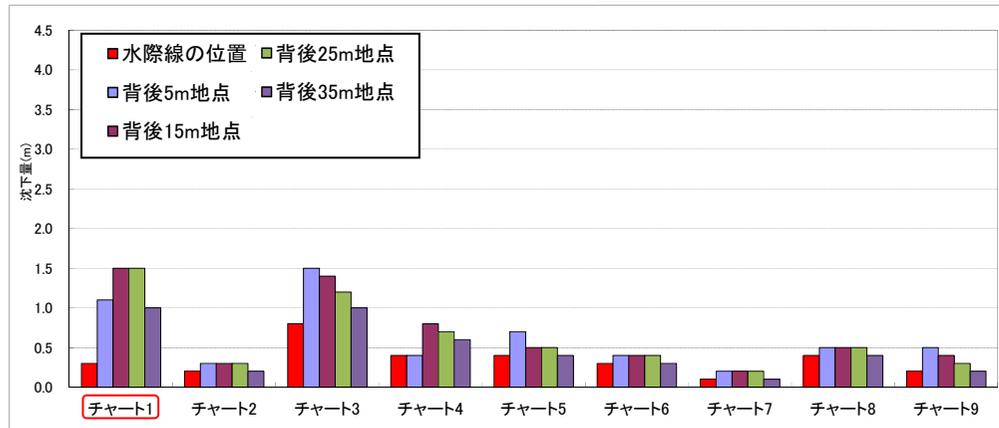
(2)控え直杭式矢板

## ○徳山下松港(50%非超過波)

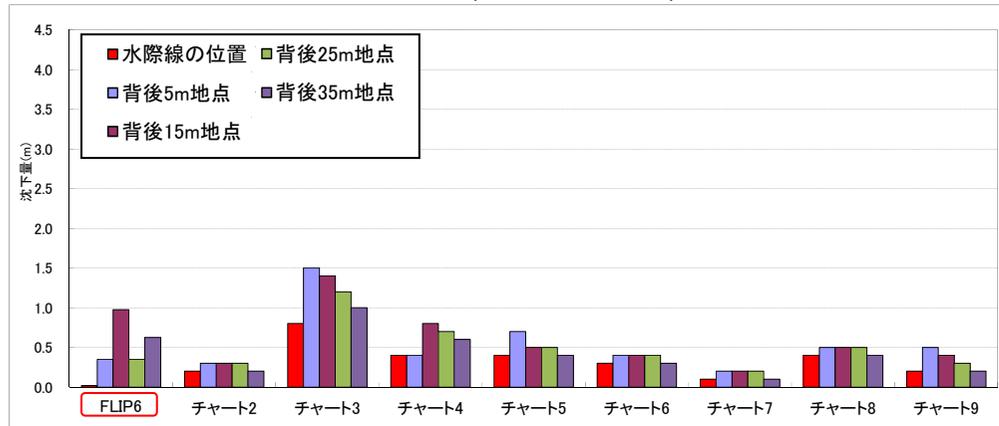
- ・チャート式耐震診断により、選定した代表護岸の沈下量の把握を行った。
- ・チャート3で沈下量が1mを超える値となっているが、対象とする地震動の速度のPSI値が概ね40(cm/s<sup>1/2</sup>)程度と小さい為、全体的には沈下量は0.5m前後であり、大きな沈下は生じない。
- ・FLIPを実施した断面については、チャート式耐震診断による沈下量よりもFLIPによる沈下量が小さくなる。

(※)具体的な数値は【参考1】に示す。

チャート1 → FLIP6

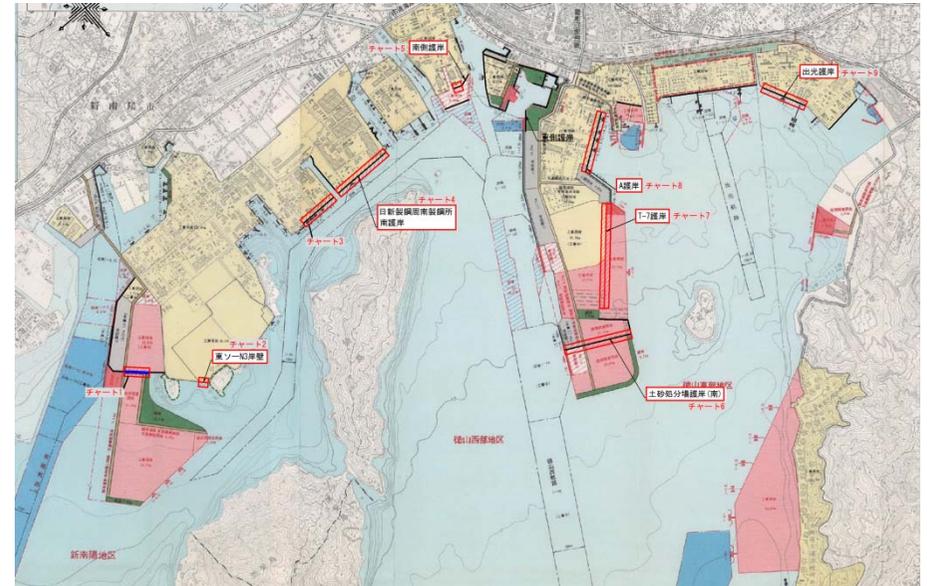


検討結果(50%非超過波)



検討結果(50%非超過波) チャート式→FLIP

【対象断面数:9断面】

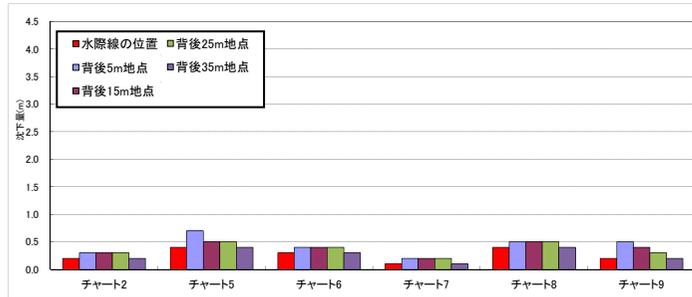


検討位置図(徳山下松港)

## ○徳山下松港(50%非超過波)

- ・控え直杭式矢板・傾斜護岸に比べて重力式の方が平均的に沈下量が大きく出る傾向にある。
- ・傾斜護岸は水際線から背後5m付近にかけて沈下量が大きく生じ、それより後方では小さくなる傾向にあるが、重力式・矢板式(直杭)は背後5mより後方においても沈下量が大きく生じる傾向にある。

【対象断面数:6断面】

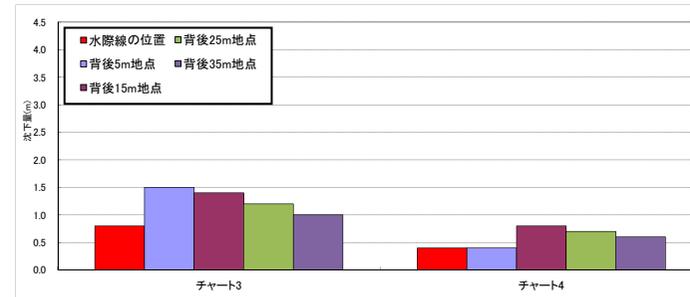


対象6断面の平均値

水際線の位置	0.3m
背後5m地点	0.4m
背後15m地点	0.4m
背後25m地点	0.4m
背後35m地点	0.3m

(1)傾斜護岸

【対象断面数:2断面】

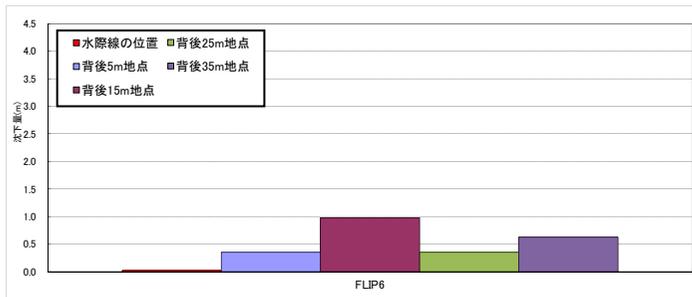


対象2断面の平均値

水際線の位置	0.6m
背後5m地点	1.0m
背後15m地点	1.1m
背後25m地点	1.0m
背後35m地点	0.8m

(3)重力式

【対象断面数:1断面】



対象1断面の値

水際線の位置	0.0m
背後5m地点	0.3m
背後15m地点	1.0m
背後25m地点	0.3m
背後35m地点	0.6m

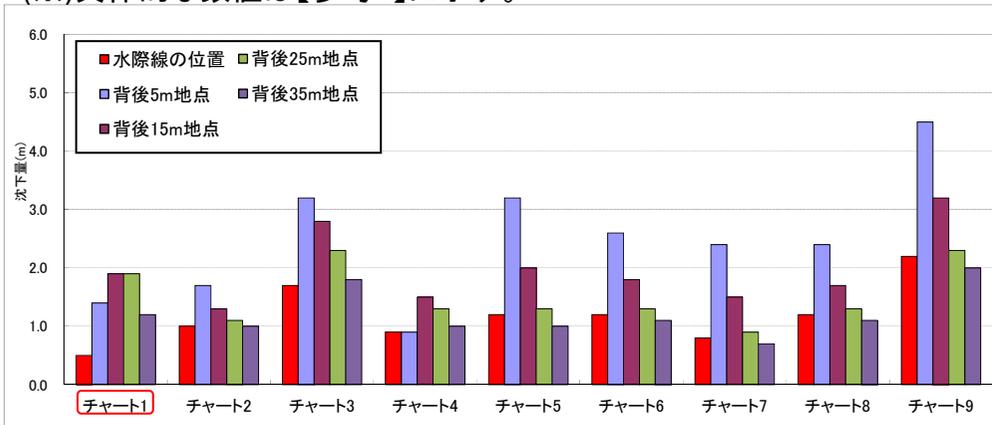
(2)控え直杭式矢板

## ○徳山下松港(90%非超過波)

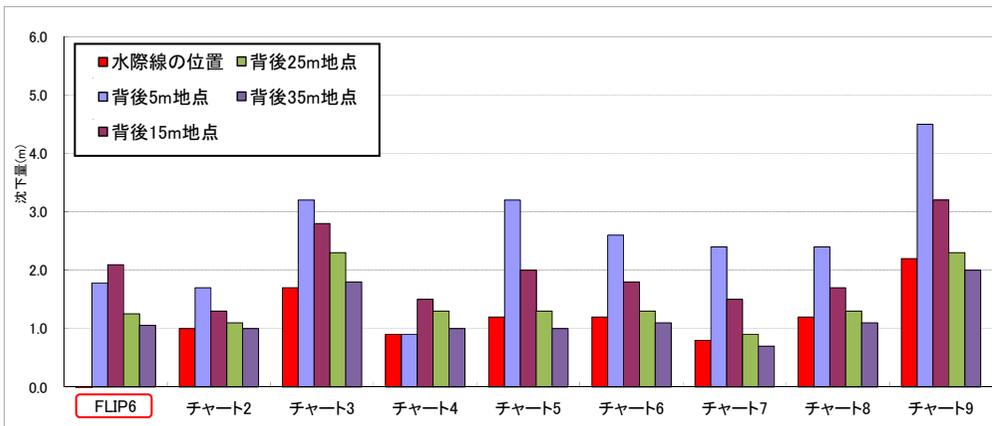
- ・チャート式耐震診断により、選定した代表護岸の沈下量の把握を行った。
- ・対象とする地震動の速度のPSI値が概ね120(cm/s<sup>1/2</sup>)程度と50%非超過波に比べて3倍程度大きくなるため、全体的は沈下量は50%非超過波を対象とした場合に比べて2倍以上大きくなる結果となった。
- ・チャート式耐震診断により求められる変形量に比べてFLIPの方が大きくなる。

(※)具体的な数値は【参考1】に示す。

チャート1 FLIP6

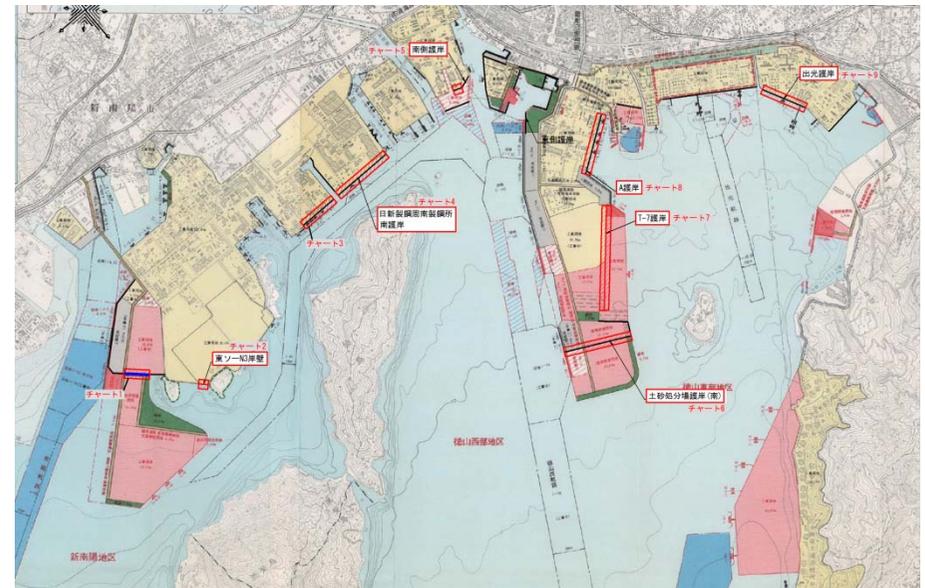


検討結果(90%非超過)



検討結果(90%非超過) チャート式→FLIP

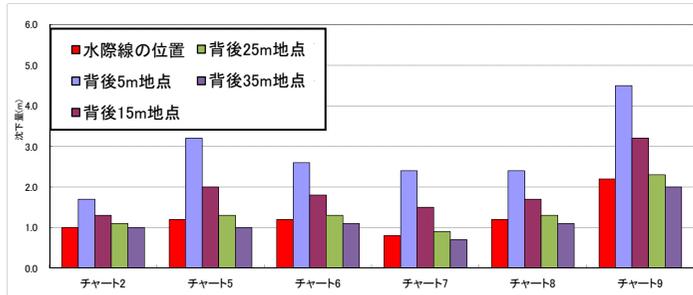
【対象断面数:9断面】



検討位置図(徳山下松港)

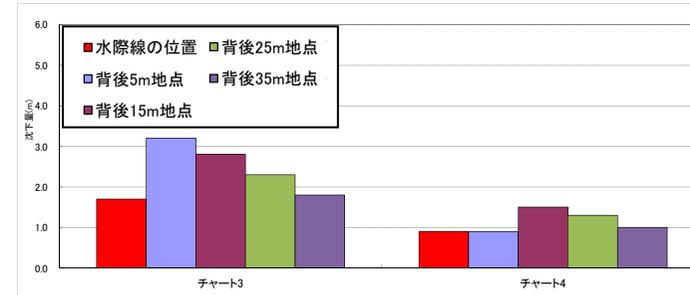
## ○徳山下松港(90%非超過波)

- ・控え直杭式矢板・傾斜護岸に比べて重力式の方が平均的に沈下量が大きく出る傾向にある。
- ・傾斜護岸は水際線から背後5m付近にかけて沈下量が大きく生じ、それより後方では小さくなる傾向にあるが、重力式・矢板式(直杭)は背後5mより後方においても沈下量が大きく生じる傾向にある。



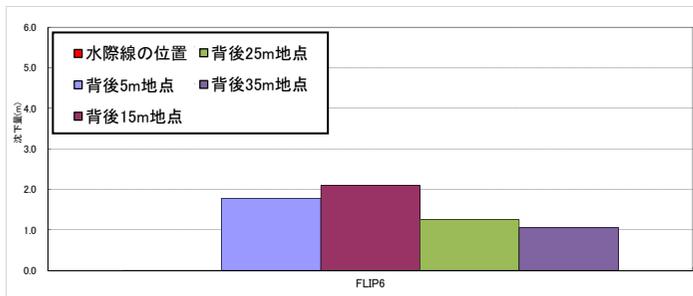
(1)傾斜護岸

平均値	
水際線の位置	1.3m
背後5m地点	2.8m
背後15m地点	1.9m
背後25m地点	1.4m
背後35m地点	1.2m



(3)重力式

平均値	
水際線の位置	1.3m
背後5m地点	2.1m
背後15m地点	2.2m
背後25m地点	1.8m
背後35m地点	1.4m



(2)控え直杭式矢板

平均値	
水際線の位置	0.0m
背後5m地点	1.8m
背後15m地点	2.1m
背後25m地点	1.3m
背後35m地点	1.1m

1. FLIPとチャート式耐震診断の比較においては、チャート式耐震診断がFLIPに比べて残留変位(鉛直)が概ね過大(安全側)に評価する傾向にある。
2. 残留変位(水平)が大きくなるケースでは、推定精度のばらつきが大きく、チャート式耐震診断がFLIPに比べて残留変位(水平)を過小に評価する場合もある。
3. 構造形式別にみると、重力式、傾斜護岸、自立矢板は水際線から背後5m付近にかけて沈下量が大きく生じ、それより後方では小さくなる傾向にあるが、矢板式(直杭・組杭)では背後5mより後方においても沈下量が大きく生じる傾向にある。
4. SPGA50%非超過とSPGA90%非超過を比較すると、全ての施設においてSPGA90%非超過のケースが残留変位(鉛直)が大きく、その量は2倍程度生じることが分かった。これは、SPGA90%非超過の速度のPSI値がSPGA50%非超過に比べて2~3倍程度大きいことに起因する。
5. 水島港を対象にゾーニング別に残留変位(鉛直)の比較を行った結果、水島地区においては、ゾーニングによる残留変位(鉛直)の差異は認められなかったが、玉島地区においては、速度のPSI値の大きいゾーンAの残留変位(鉛直)がゾーンCに比べて大きく生じる結果となった。

以上の結果や現在のSPGAモデルの検討状況を踏まえると今後は、50%非超過による検討が基本になると想定される。

6. 上記の結果を踏まえ、港全体を勘案するとチャート式耐震診断は、残留変位(鉛直)が概ねFLIPに比べ、過大(安全側)に評価されることから、検討費用や検討時間を省力化できる有効な手段と考えられる。しかしながら、SPGA90%非超過による地震動等、大きな地震動を対象とする場合は、残量変位量が大きく、ばらつきが生じる場合もあるので、その場合は、施設管理者等が施設の耐震性能の確保の観点を充分踏まえ、FLIPによる詳細な検討を勘案していく必要があると考える。また、港全体の施設配置・重要度及び背後の利用状況等を踏まえ、FLIPによる詳細検討を勘案していく必要もあると考える。(例えば、施設の変位により背後の土砂流出を生じ、それにより重要な航路や泊地を閉塞するなど、港全体の機能を麻痺させる場合など。)