

遠別漁港のL1地震動の設定と 矢板式護岸の変形特性について

留萌開発建設部 留萌港湾事務所事務所 第2工務課 ○要害 紳吾
西村 裕毅
北日本港湾コンサルタント(株) 奈良 俊介

漁港施設の設計に用いるレベル1地震動の設定では、各漁港でサイト増幅特性を評価し、工学的基盤における地震波形を求めているが、地盤モデルの影響に関する検討事例は多くない。そこで、本報告では遠別漁港のレベル1地震動の設定を事例として、PS検層とN値による地盤モデルの地震動への影響について検討した。さらに、レベル1地震動を用い照査した鋼矢板式護岸について二次元有限要素解析を行い、鋼矢板式構造の変形特性について考察した。

キーワード：レベル1地震動、照査用震度、性能照査、FLIP、鋼矢板式

1. はじめに

漁港構造物の地震時の性能照査は、震度法が一般的な手法であるが、H27年7月に公表された「漁港・漁場の施設の設計参考図書」¹⁾において、係留施設の変形量に対応した耐震性能照査が可能となる照査用震度を求める手法が追加された。この照査用震度の算定には、各々の漁港のサイト特性を考慮した工学的基盤におけるレベル1地震動の設定が必要であり、近隣港湾で設定されている地震波形を補正する手法が用いられている²⁾。この地震波形を補正する際に、各漁港でサイト増幅特性を評価し、工学的基盤における地震波形を求めている(例えば川上ら³⁾)³⁾が、地盤モデルの影響に関する検討事例がない。そこで、本検討では、PS検層を元に設定した地盤モデルとN値から推定した地盤モデルとのレベル1地震動作成における地盤モデルの影響について検討した結果を報告する。

また、図-1に示す遠別漁港は遠別川河口右岸側に位置し、ゆるい砂地盤が厚く堆積しているため、矢板式構造



図-1 遠別漁港におけるレベル1地震動検討および照査用震度算定位置図

の採用が多い。漁港施設における矢板式構造の照査用震度は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書」に記載がないため、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」²⁾に準じて求めることとしたが、港湾岸壁よりも壁高が小さい構造への適用について検討した事例はない。そこで、本検討では、レベル1地震動を用い、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の照査用震度算定法を用い照査した漁港の鋼矢板式構造の変形特性について、FLIPによる二次元有限要素解析を行い考察した。

2. レベル1地震動作成における地盤モデルの影響

(1) レベル1地震動の算定手順

遠別漁港の地震動を算定にあたり、図-1に示すレベル1地震動検討位置においてボーリング調査および常時微動観測を行った。そして、近隣の強震観測地点である羽幌港のレベル1地震動波形を補正元として使用し、以下の手順により、遠別漁港のレベル1地震動を作成した。

- ① 羽幌港の工学的基盤上のレベル1地震動波形をフーリエ変換して加速度フーリエスペクトルを算出し、羽幌港のサイト増幅特性(地震基盤～工学的基盤)で除して地震基盤上の加速度フーリエスペクトルに戻す。
- ② ①で算出した加速度フーリエスペクトルに遠別漁港のサイト特性と位相特性を乗じて地表における加速度フーリエスペクトルを求める。ここで、フーリエ逆変換をすることで、遠別漁港における地表面のレベル1地震動波形が得られる。
- ③ ②で求めた地表面のレベル1地震動波形を1次元線形解析により工学的基盤まで引き戻し計算を行い、工学的基盤のレベル1地震動波形を求める。

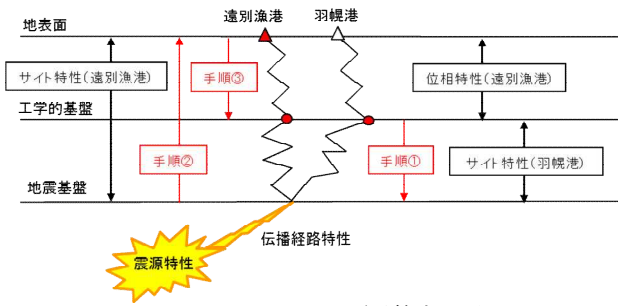


図-2 レベル1地震動算定手順

表-1 地盤モデルとせん断剛性の算定結果

層高	土質	層厚 (m)	単位体積重量		N値		せん断剛性 G_0 (kN/m^2)	S波速度 V_s (m/s)	せん断剛性 G_{01} (kN/m^2)	入力地震波形状
			γ (kN/m^3)	γ' (kN/m^3)	試験値	平均値				
22.06	礫混じり砂	0.90	18.0	18.0	-	3	29762	210	79380	水位
21.26		0.60	18.0	18.0	3	3	29762	100	18060	
20.69		1.60	18.0	10.0	9	9	62821	100	10090	
19.94	シルト質砂	3.00	18.0	10.0	8	8	57986	170	28900	
19.81					3					
19.78					13					
19.75					25					
19.72					22					
19.69					21					
19.66					24					
19.63	19									
19.60	礫混じり砂	9.00	18.0	10.0	24	24	122395	260	67600	
19.57					22					
19.54					27					
19.51					26					
19.48					27					
19.45					8					
19.42					10					
19.39	シルト	7.00	18.0	8.0	9	9	62821	190	28880	
19.36					8					
19.33					8					
19.30					9					
19.27					8					
19.24	シルト質砂	2.00	18.0	10.0	9	9	62821	250	62500	
19.21					9					
19.18	砂礫	工学的基礎	18.0	10.0	9	50	201613	380	144400	

(2) 地盤モデルの設定

表-1にN値を元に設定した地盤モデルとPS検層を元に設定した地盤モデルを示す。各土層のせん断剛性は、標準貫入試験で得られるN値から式1により算定し、PS検層で得られるVsから式2により算定した。

$$G_0 = 14,100 \times N^{0.68} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \dots \text{式1}$$

ここに、 G_0 ：初期せん断剛性 (kN/m^2)
 N ：標準貫入試験値 (N値)

$$G_0 = \rho \times V_s^2 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \dots \text{式2}$$

ここに、 G_0 ：初期せん断剛性 (kN/m^2)
 ρ ：各土層における地盤飽和密度 (kN/m^3)
 V_s ：せん断波速度 (m/s)

(3) レベル1地震動の算定結果と地盤モデルの影響

N値地盤モデルを用いた場合とVs地盤モデルを用いた場合のレベル1地震動の加速度波形を図-3、図-4にそれぞれ示す。図中の右上に記載した基盤最大加速度は、N値地盤モデルの方が約15%大きな値となっており、いずれの波形でも70sから80sの間で発生している。また、振幅に違いはあるものの、波形自体に大きな差異が見受けられない。これは、レベル1地震動の加速度フーリエスペクトル(図-5)でも同様であった。

(4) 照査用震度への地盤モデルの影響

両地盤モデルのレベル1地震動を用い、図-6の手順により算定した矢板式構造の照査用震度を表-2に示す。基盤最大加速度はN値地盤モデルNSが最大であるが、地表面加速度はN値地盤モデルEWが最大となった。さらに、

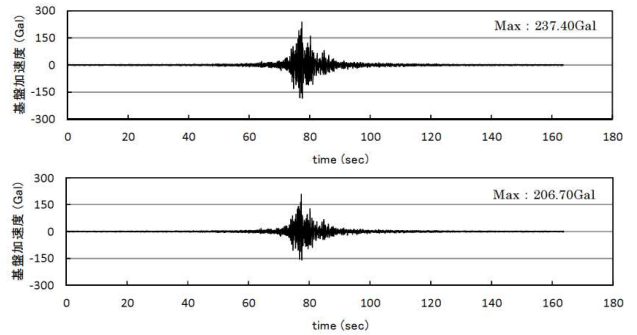


図-3 NS方向のレベル1地震動波形の比較 (上段：N値地盤モデル、下段：Vs地盤モデル)

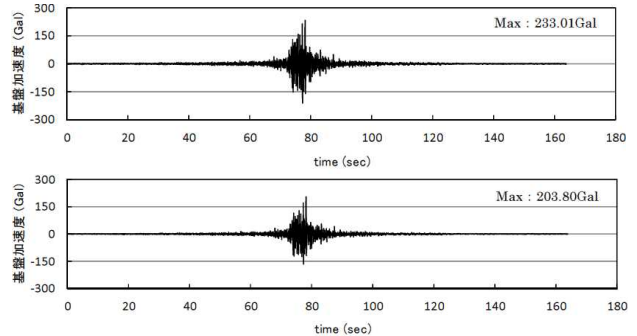


図-4 EW方向のレベル1地震動波形の比較 (上段：N値地盤モデル、下段：Vs地盤モデル)

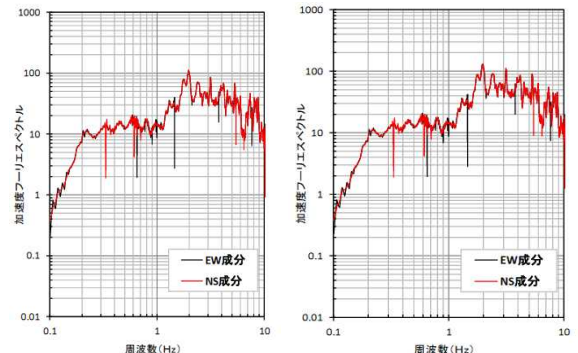


図-5 レベル1地震動加速度フーリエスペクトル (左：Vs地盤モデル、右：N値地盤モデル)

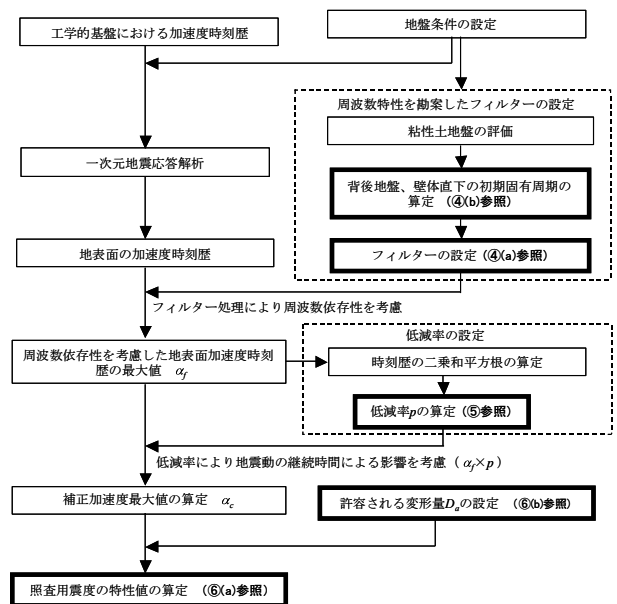


図-6 矢板式の照査用震度の算定手順³⁾

表-2 照査用震度の算定結果 (矢板式構造)

L1地震動モデル		N値-NS	N値-EW	Vs-NS	Vs-EW
設計水深	m	-4.1	-4.1	-4.1	-4.1
壁 高	m	6.6	6.6	6.6	6.6
背後地盤の固有周期 (Tb)	sec	0.505	0.505	0.505	0.505
基礎地盤の固有周期 (Tu)	sec	0.362	0.362	0.362	0.362
フィルターb値	-	0.410	0.410	0.410	0.410
基礎最大加速度 (acc)	Gal	237.40	233.01	206.70	203.80
地表面加速度 (α)	Gal	184.06	202.01	153.18	183.52
周波数補正加速度 (α_f)	Gal	17.32	25.48	15.71	22.79
継続時間補正加速度 (α_c)	Gal	11.91	13.98	10.76	12.59
許容変形量	cm	15.0	15.0	15.0	15.0
照査用震度特性値	-	0.048	0.051	0.046	0.049
照査用震度	-	0.05	0.05	0.05	0.05

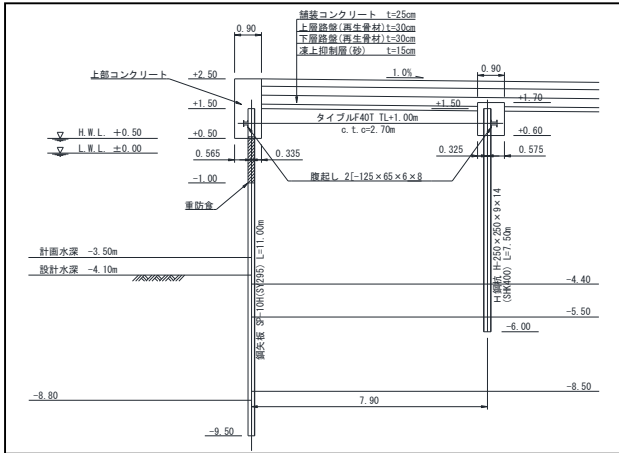


図-7 控え杭矢板式護岸の当初断面

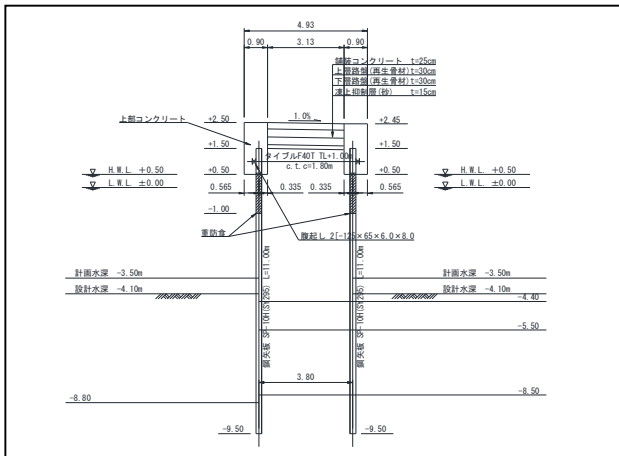


図-8 二重矢板式護岸の当初断面

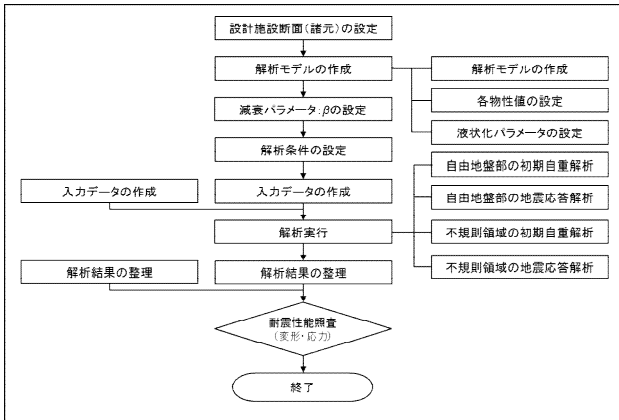


図-9 FLIP解析の手順

耐震性から選んだ施設分類	照査に用いる地震動	係船岸の構造形式	水深		
			-2.5mより深い	-2.5m~-7.0m	-7.0mより深い
① 耐震強化岸壁	レベル2地震動	重力式	はらみだし量25cm以内、本体傾斜角3°以内	はらみだし量50cm以内、本体傾斜角3°以内	はらみだし量100cm以内、本体傾斜角3°以内
		矢板式	はらみだし量25cm以内	はらみだし量30cm以内	はらみだし量50cm以内
② あらゆる種類	レベル1地震動	重力式・矢板式	はらみだし量10cm以内		

図-10 係船岸の耐震性能の照査における許容変形量の参考¹⁾

各地盤モデルによる照査用震度は同じ値になっているが、照査用震度特性値を見るとVs地盤モデルよりもN値地盤モデルの方が大きな値になっている。すなわち、照査用震度に大きな違いは生じないものの、Vs地盤モデルよりもN値地盤モデルの方が安全側の結果を与えることがわかる。このことにより、N値による簡便な地盤モデル設定方法でも実務的に大きな差の生じない性能照査が可能であると考えられる。

3. 矢板式構造の変形特性

前述のVs地盤モデルで設定したレベル1地震動を用いた性能照査した鋼矢板式構造(図-7、図-8)をモデルとして、変形特性を検討する。図-7は、控え杭矢板式護岸であり、構造諸元は本体鋼矢板がハット型10H、控え杭がH形鋼250×250×9×14、タイ材がタイプルF40T@2.7m、鋼矢板と控え杭の距離は7.9mである。図-8は、二重矢板式護岸であり、構造諸元は鋼矢板がハット型10H、鋼矢板間の距離は3.8mである。

(1) 解析条件

本検討では港湾構造物で変形性能照査の解析実績が多いFLIP Ver.6.17を用い、図-9の手順によって行うこととし、解析条件は次のとおり設定した。

- 要素積分法：SRI法
- 時間積分法：Wilsonθ法(θ=1.4)
- 寄与評価法：tmp7法
- 非線形反復計算法：改良型非線形反復計算法
- 初期応力状態の評価法：多段階解析
- 時間ステップ：0.01sec
- 解析実行時間：0.0~163.84sec
- レーレー減衰剛性比例係数：β=0.002

また、変形量の許容値は、図-10に示す係留施設の許容変形量を参考として、10cm以内に設定した。

図-11は、控え杭矢板式のFLIP解析モデル図である。解析領域は護岸法線から100mの範囲とし、最大格子間隔dmaxは液化化前のG₀の1/50未満となるように3.0mとした。なお、護岸法線付近は護岸の挙動を把握するために水平方向の格子間隔を0.6mとした。矢板と地盤の接触面にはジョイント要素、杭には地盤バネを採用した。

(2) 解析結果

① 控え杭矢板式護岸の場合

控え杭矢板式護岸の変形性能照査結果を図-12および図-13に示す。図-12は鋼矢板天端の変位時刻歴波形と残

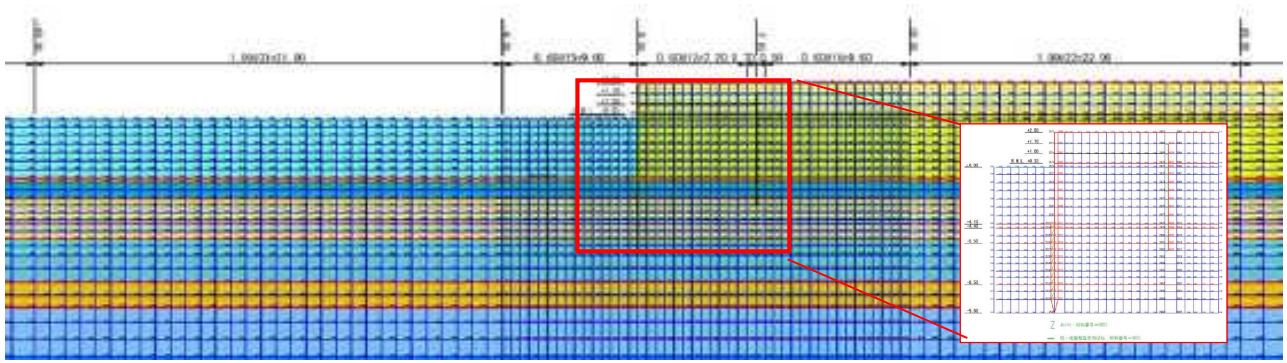


図-11 FEM解析モデル図

留変形図である。残留変位は10.14cmと許容値を満足することができなかつたため、照査断面を変更して変位を抑制することとした。変更断面の設定にあたり、鋼矢板は主動崩壊範囲内に設定されており、単純に剛性を高めても変位抑制の効果が得られにくい。そこで、タイ材の設置間隔を2.7mから1.8mに狭めて抵抗力を高める方法を採用した。その結果、図-13に示すとおり、残留変位は許容値以下となる9.3cmに抑制することができた。

②二重矢板式護岸の場合

二重矢板式護岸の変形性能照査結果を図-14～図-15に示す。図-14は鋼矢板天端の変位時刻歴波形と残留変形図である。矢板護岸の残留変位は15.51cmと許容値を満足することができなかつたため、照査断面を変更して変位を抑制することとした。当初断面の矢板間隔3.8mはセルとして検討した際のせん断変形により設定していたが、動的解析の結果では主動崩壊範囲内の背後矢板が大きく変位しており、背後矢板を主動崩壊範囲外に移動させる必要があると考えた。次に、控え矢板の設置位置となる矢板間隔5.5mで再解析を実施し、二重矢板式護岸の残留変位を10.90cmに減少させることはできたものの、許容値を満足できなかった。そこで、前面水深4.1mに天端高2.5mを加えた壁体高6.6mを矢板間隔とした変更断面で再解析を実施した。その結果、残留変位は許容値以下となる8.55cmに抑制することができた(図-15)。

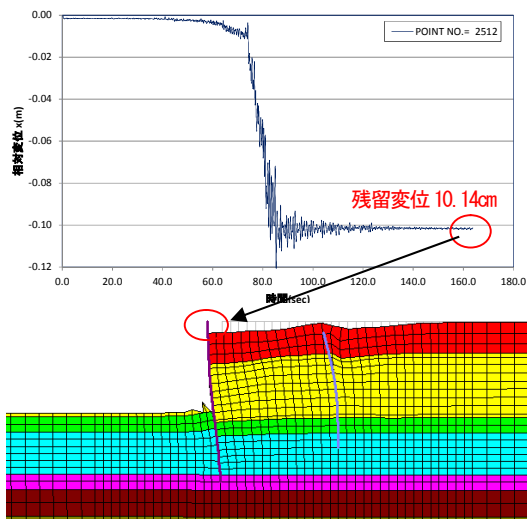


図-12 当初断面の鋼矢板天端の変位時刻歴と残留変形図

4. まとめ

本報告における主要な結論は以下のとおり。

- ①地盤モデルの影響により、最大基盤加速度はN値地盤モデルの方が大きくなった。しかしながら、波形に大きな差異は見受けられず、照査用震度の地盤モデルによる差は0.01とわずかであったため、性能照査における地盤モデルの影響はあまり大きいとは言えない。
- ②漁港の矢板式護岸について、港湾の照査方法を準用した照査用断面の変形特性を把握するとともに、漁港施設の許容変形量を満足する控え杭矢板式および二重矢板式の構造諸元の設定手法について一例を示した。漁港の鋼構造形式で港湾の技術基準を準用する場合には、変形量を許容値以内に納められる構造諸元の設定手法について検討が必要である。

参考文献

- 1) 全国漁港漁場協会, 漁港・漁場の施設の設計参考図書, 2015版.
- 2) 国土交通省港湾局監修, 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007.
- 3) 川上徹也, 林誉命, 近藤直博: 漁港の岸壁設計における照査用震度の適用について—苫前漁港をケーススタディーとして—, 第59回北海道開発技術研究発表会, 2016.

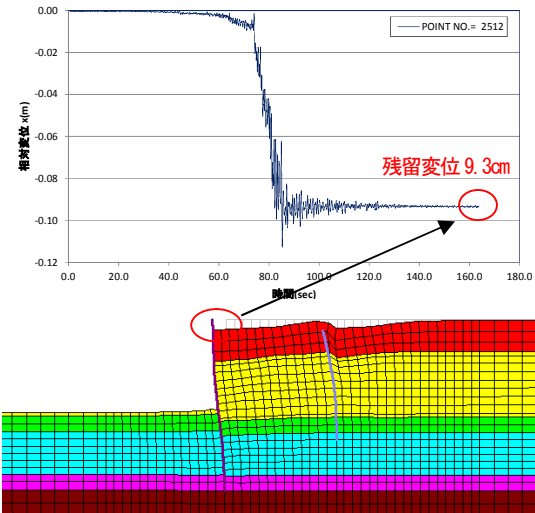


図-13 変更断面の鋼矢板天端の変位時刻歴と残留変形図

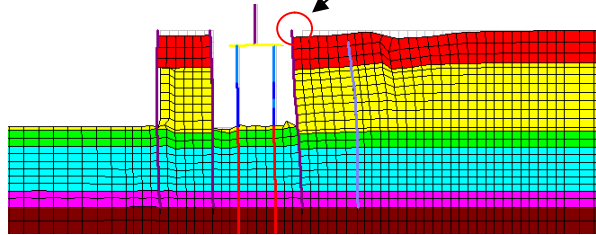
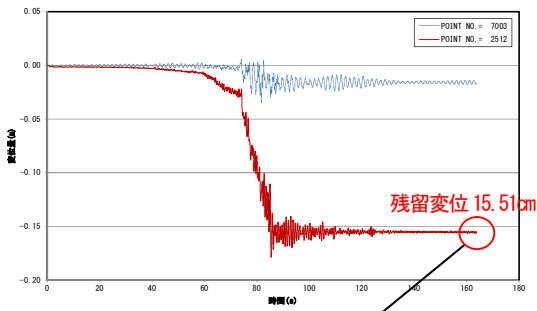


図-14 当初断面の鋼矢板天端の変位時刻歴と残留変形図
(二重矢板間隔3.8m)

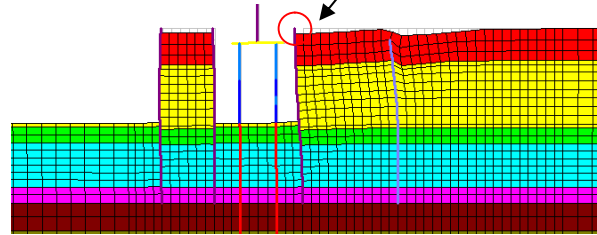
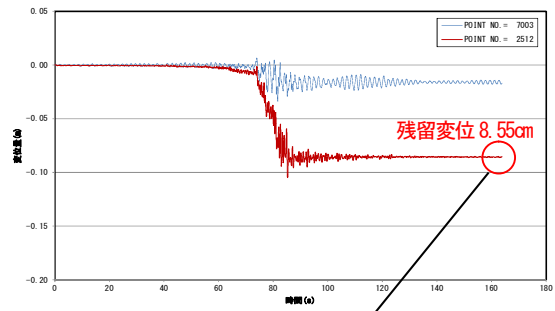


図-15 変更断面の鋼矢板天端の変位時刻歴と残留変形図
(二重矢板間隔6.6m)