

# 高砂西港における盛立地対策追加検証 技術専門委員会報告書



平成 23 年 12 月

高砂西港における盛立地対策追加検証技術専門委員会

高砂みなとづくりを進めるため、港湾整備や盛立地対策などの取り組み方針が「高砂西港再整備推協議会」報告書(「未来に向けた高砂西港みなとづくり」)として平成21年4月に取りまとめられています。

この報告書の内容に基づき、高砂西港再整備を計画的に推進し、将来にわたる住民の安全・安心の確保と周辺環境への影響低減を図るため、平成21年6月に「高砂西港再整備技術専門委員会」を設置し、恒久対策としての盛立地対策の工法検討、港湾整備等の環境影響低減策、環境監視方法の検討など、さまざまな課題に対して、環境工学、土木工学および海洋生物学の観点から技術的な検討を行い、平成23年3月に成果を取りまとめたところです。

しかしながら、平成23年3月11日に発生した東日本大震災を踏まえ、地震および津波に対する盛立地対策の安全性について追加検証を求める要望が高砂市や高砂市議会からあり、平成23年11月に、「高砂西港における盛立地対策追加検証技術専門委員会」を設置し、南海トラフなどの活動による海溝型地震の規模を東北地方太平洋沖地震規模のマグニチュード9.0と想定した場合の地震および津波に対する盛立地対策の安全性について、追加検証を行いました。

この報告書は、恒久対策としての盛立地対策の安全性について、地震および津波に対する追加検証の成果をとりまとめたものであり、盛立地対策が後戻りなく進むことができるようこの成果を生かしていただきたい。

高砂西港における盛立地対策追加検証技術専門委員会  
委員長 藤田正憲

## 目 次

1. 委員会の概要	1
1.1 設置趣旨	1
1.2 設置経緯	1
1.3 役割と位置づけ等	2
1.4 検討経緯と協議事項	2
2. 盛立地対策	3
2.1 遮水性地下土留め壁と擁壁補強	3
2.2 上部被覆	6
3. 検証結果	7
3.1 地震に対する盛立地対策の安全性の検証	7
(1) 現計画の整理	7
(2) 盛立地への影響が最も大きな基盤波形の検討	7
(3) 海溝型地震（マグニチュード9.0）の強さの検討	8
(4) 検証結果	9
3.2 津波に対する盛立地対策の安全性の検証	10
(1) 現計画の整理	10
(2) 津波予測シミュレーション	10
(3) 検証結果	15
4. まとめ	16

## 1. 委員会の概要

### 1.1 設置趣旨

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災を受け、内閣府中央防災会議（東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会）において、同年 9 月に、東北地方太平洋沖地震規模のマグニチュード 9.0 の地震による巨大な津波は、「海溝型地震の連動」と「津波地震」が同時に起きたことにより発生したものであり、このような地震は南海トラフなどの領域でも発生する可能性があるなどと報告されるなど、今後の想定津波の考え方が示されたところである。

また、兵庫県では、国から津波高さの検討結果が出されるまでの間は暫定的な津波高さ（現計画における予想最高津波高さを 2 倍）を設定し、対策を進めることにしている。

高砂西港における盛立地対策については、平成 23 年 3 月に「高砂西港再整備にかかる技術専門委員会報告書」においてとりまとめられているところであるが、上記の国・県の動向を踏まえ、「高砂西港における盛立地対策追加検証技術専門委員会」（以下「委員会」という）を設置し、南海トラフなどの活動による海溝型地震の規模を、東北地方太平洋沖地震規模のマグニチュード 9.0 と想定し、地震および津波に対する盛立地対策の安全性について追加検証を行った。

### 1.2 設置経緯

委員会の設置経緯を以下に示す。

#### 【平成 17 年 7 月】 高砂みなとまちづくり構想

高砂みなとまちづくり構想策定懇話会を設置(平成 16 年 10 月)し、市民の参画と協働のもと、将来の高砂市の臨海部のあり方を検討し、高砂ウォーターフロントミュージアムづくり、高砂産業ミュージアムづくり、高砂歴史ミュージアムづくりを柱とする構想を策定した。

#### 【平成 19 年 7 月】 高砂みなとづくり行動計画

高砂みなとづくり推進協議会を設置(平成 17 年 10 月)し、市民、企業、行政の協力のもと、高砂みなとづくり構想を具体化するための行動計画をとりまとめた。

#### 【平成 19 年 9 月】 高砂西港盛立地の P C B 汚染土に係る報告書

高砂みなとまちづくり構想を契機に、盛立地の安全性に対する議論が高まってきたため、高砂市の要請により、兵庫県が高砂西港盛立地の P C B 汚染土に係る技術専門委員会を設置(平成 18 年 6 月)し、盛立地の安全性についての検証を行い、報告書をとりまとめた。

#### 【平成 21 年 4 月】 高砂西港再整備推進協議会報告書「未来に向けた高砂西港みなとづくり」

高砂西港及びその周辺が抱える課題について一体的に検討を行い、住民の安全・安心と地域の活性化を図ることを目的に、専門家、市民、企業、行政で構成する高砂西港再整備推進協議会を設置(平成 20 年 3 月)し、高砂西港周辺の将来像についての検討を行い、報告書をとりまとめた。

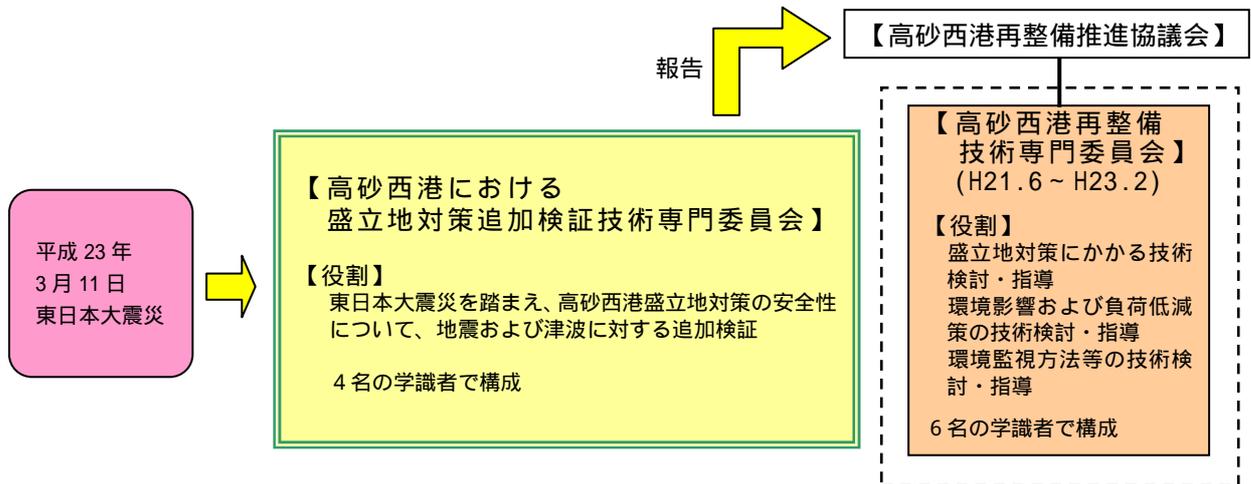
#### 【平成 23 年 3 月】 高砂西港再整備にかかる技術専門委員会報告書

将来にわたる住民の安全・安心の確保と高砂西港再整備に伴う周辺環境への影響低減を図るため、高砂西港再整備技術専門委員会を設置(平成 21 年 6 月)し、技術的な観点から検討を行い、報告書をとりまとめた。

### 1.3 役割と位置づけ等

#### (1) 役割と位置づけ

高砂西港における盛立地対策については平成 23 年 3 月に「高砂西港再整備にかかる技術専門委員会報告書」として取りまとめられているが、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災を踏まえ、土木工学の観点から、盛立地対策の安全性についての追加検証を行う。なお、この結果は高砂西港再整備推進協議会に報告し、ホームページや市の広報を利用して住民への周知を図る。



#### (2) 委員会の構成

委員は、「高砂西港再整備技術専門委員会」委員のうち、委員長および土木工学系の学識経験者 4 名で構成している。

- 委員長 : 藤田正憲 大阪大学名誉教授  
委員 : 出口一郎 大阪大学大学院工学研究科教授  
" : 常田賢一 大阪大学大学院工学研究科教授  
" : 道奥康治 神戸大学大学院工学研究科教授

### 1.4 検討経緯と協議事項

委員会の検討経緯および主たる協議事項を以下に示す。

開催日：平成 23 年 11 月 15 日（火）

場所：東播磨県民局

協議事項： 地震に対する盛立地対策の安全性の検証について  
津波に対する盛立地対策の安全性の検証について

内容

- ・南海トラフなどの活動による海溝型地震（マグニチュード 9.0 を想定）に対する盛立地対策の安全性について、海溝型地震と山崎断層帯地震の強さを比較することにより検証
- ・南海トラフなどの活動による海溝型地震津波に対する盛立地対策の安全性について、初期地盤変動量を変化させた津波予測シミュレーションにより検証

## 2. 盛立地対策

地震および津波に対する盛立地対策の検証に先立ち、「高砂西港再整備にかかる技術専門委員会報告書 平成 23 年 3 月」から、盛立地対策の概要を以下に示す。

### 2.1 遮水性地下土留め壁と擁壁補強

#### (1) 考え方

遮水性地下土留め壁の設置位置の検討において、地震時に液状化する沖積砂質土層(As)から試料を採取し、動的せん断強度比(液状化強度)を詳細に調査した結果、前回の概略検討時(平成 19 年 9 月報告書)と比べ、動的せん断強度比が大きいことが判明した。その結果、盛立土のすべりに対しては、遮水性地下土留め壁によらなくても、押え盛土の重量により盛立土のすべり抑止が技術的に可能となったことから、盛立地を含む敷地全体の安全性を確保するため、遮水性地下土留め壁を敷地境界部に設置する。

しかし、北側については、市道が隣接していることや、住宅地に近接した施工となるため、騒音・振動などの環境への配慮から、敷地内の盛立地小段部に遮水性地下土留め壁を設置し、東側、西側および南側については盛立地を含む敷地境界部に設置する。

なお、東側は遮水性地下土留め壁を敷地境界部に設置し、遮水性地下土留め壁と擁壁を一体化する構造とすることで、より強固な擁壁補強になる。

遮水性地下土留め壁と擁壁補強の平面配置等を図 2.1-1～図 2.1-5 に示す

#### (2) 平面配置等

##### 1) 平面配置

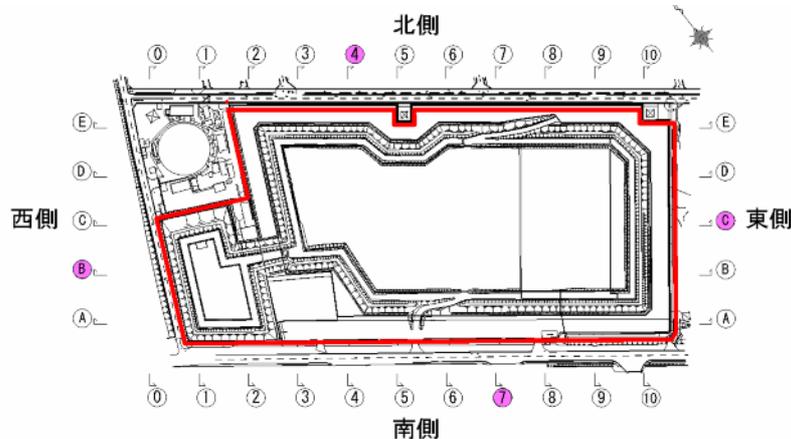


図 2.1-1 遮水性地下土留め壁の平面配置



写真 2.1-1 盛立地全体の航空写真(南から北を望む)[H21.3 現在]

2) 断面図

北側断面

- ・遮水性地下土留め壁を盛立地小段部（敷地内）に設置する。
- ・小段部には押え盛土を設置する。
- ・擁壁補強は、底版コンクリートの増打ちによる補強等を行う。

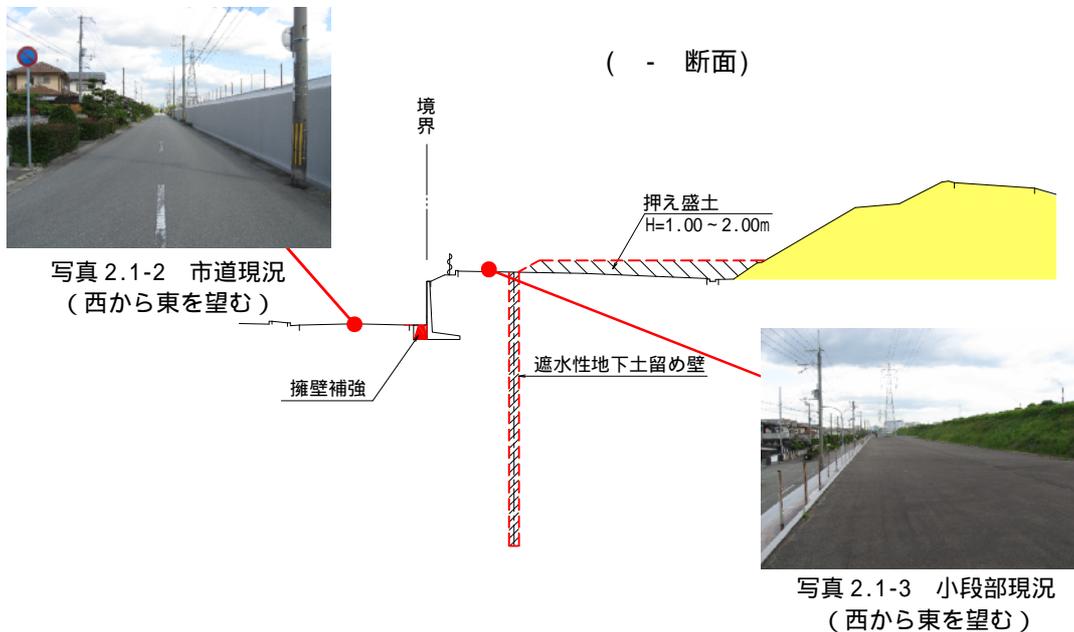


図 2.1-2 北側断面

西側断面

- ・遮水性地下土留め壁は、盛立土の法尻部が市道に隣接していること、既設排水函渠等の埋設物があることから、敷地境界部（市道内地下）に設置する。

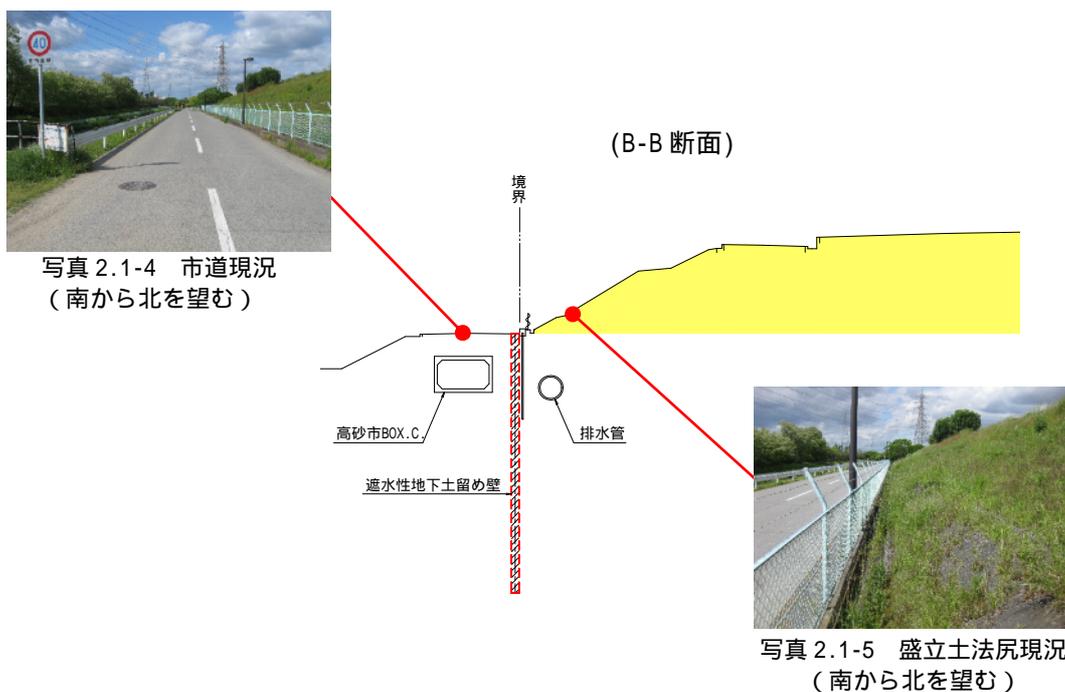


図 2.1-3 西側断面

### 南側断面

- ・遮水性地下土留め壁は、敷地境界部（敷地内）に設置する。
- ・小段部には押え盛土を設置する。

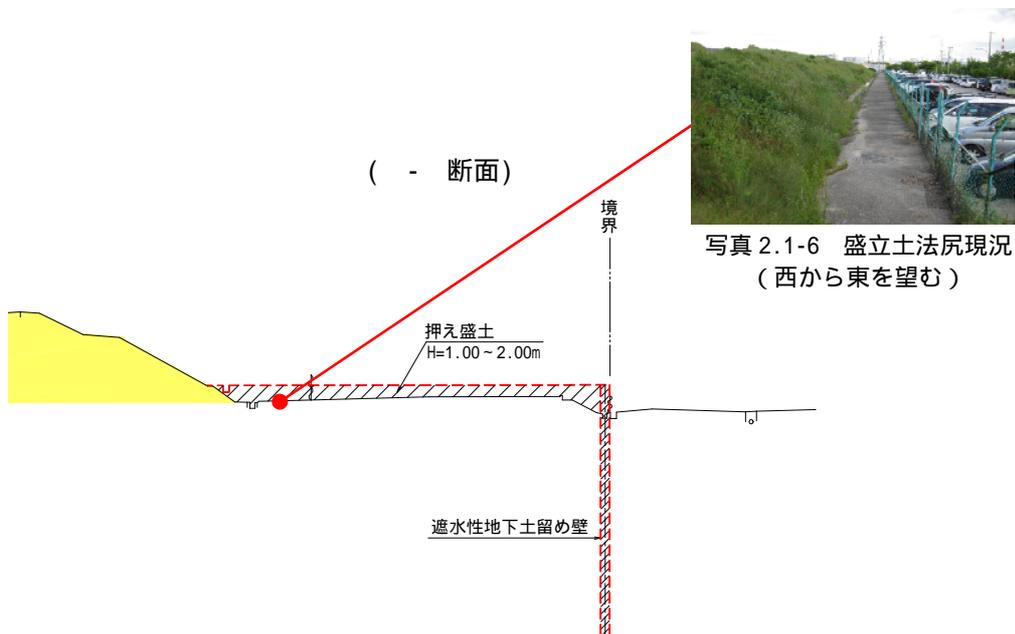


図 2.1-4 南側断面

### 東側断面

- ・遮水性地下土留め壁は、既設排水路外（敷地内）に設置する。
- ・小段部には押え盛土を設置する。
- ・擁壁補強は、遮水性地下土留め壁の頭部とコンクリート等で連結し、一体構造とする。

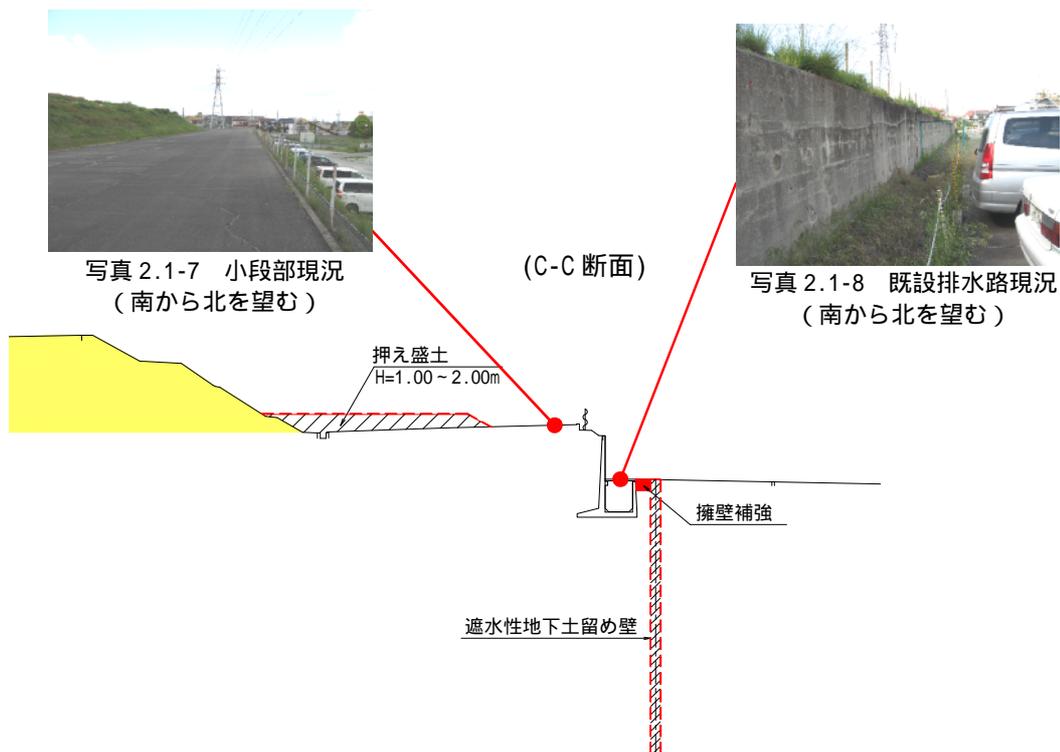


図 2.1-5 東側断面

## 2.2 上部被覆

### (1) 考え方

盛立土の上面および法面をアスファルト系シート等で被覆して、更に遮水効果を向上させる。

### (2) 盛立土の被覆構造

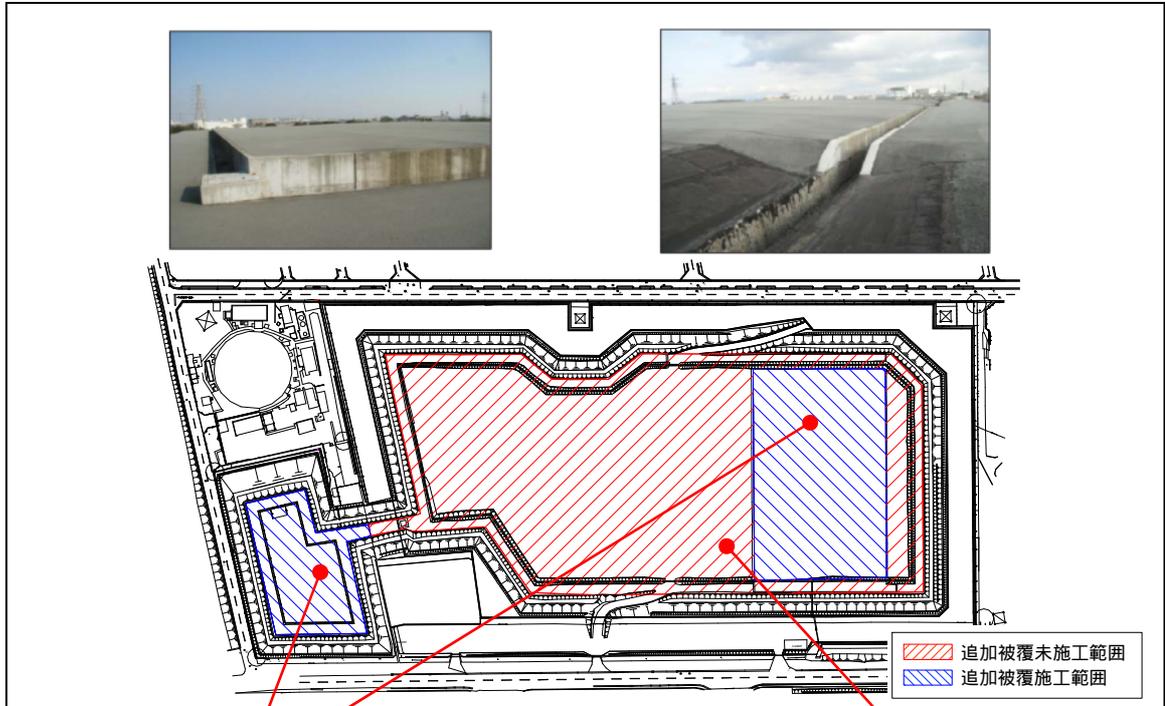


図 2.2-1 盛立土の被覆状況 (平面図)

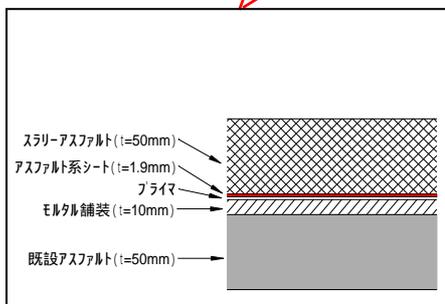


図 2.2-2 追加被覆 (断面図)

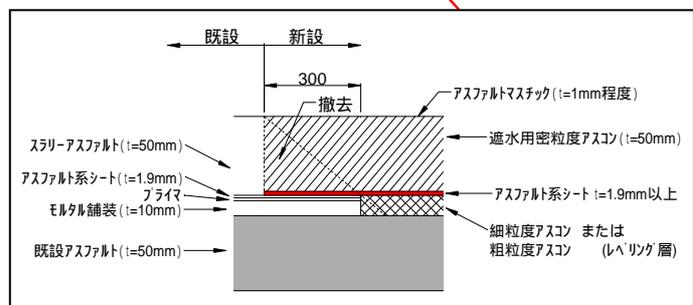


図 2.2-3 追加被覆未施工接合部 (断面図)

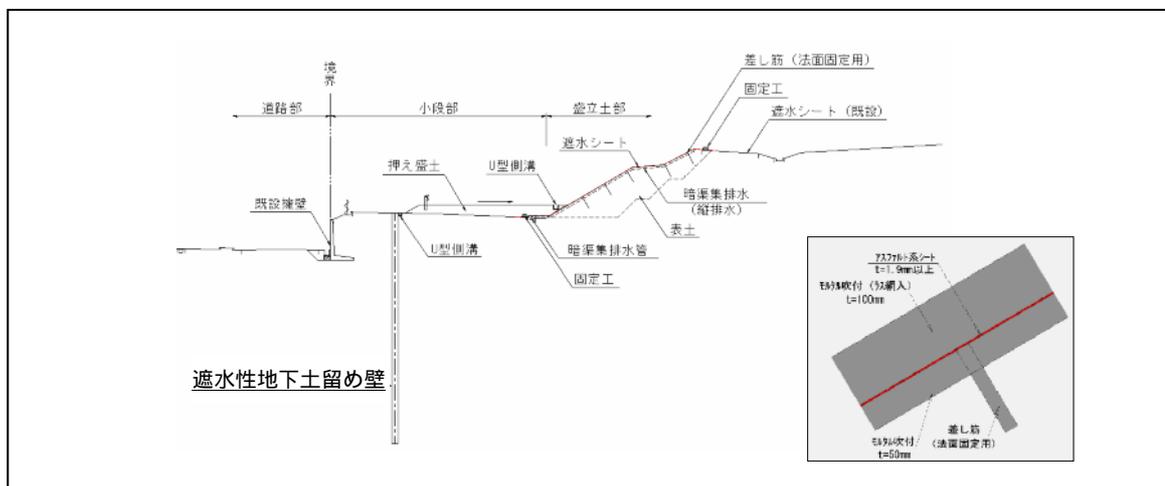


図 2.2-4 盛立土法面 (断面図)

### 3. 検証結果

#### 3.1 地震に対する盛立地対策の安全性の検証

東日本大震災後の海溝型地震と津波に関する国の動向を踏まえ、南海トラフなどの活動による海溝型地震（マグニチュード9.0を想定）に対する盛立地対策の安全性について、海溝型地震と山崎断層帯地震の強さの比較を行い検証する。なお、地震の強さの比較は地表面における最大加速度を比較することにより行った。

##### (1) 現計画の整理

兵庫県地域防災計画（平成19年）では、兵庫県内に大きな影響が予想される地震として、地震発生の可能性を考慮し、「有馬 高槻断層帯～六甲・淡路島断層帯地震」、「山崎断層帯地震」、「中央構造線断層帯地震」、「日本海沿岸地震」、「南海地震」を想定しており、現在の盛立地対策では、これらの想定地震のうち、盛立地への影響が最も大きい地震である山崎断層帯地震（マグニチュード8.0）を抽出し、この地震を盛立地対策で使用している。また、現地調査のPS検層より得られたせん断波速度から盛立地エリアでの地表面における最大加速度を450galと設定している。

山崎断層帯地震の断層モデルは図3.1-1に示すように、北西部と南東部およびこれを結ぶ安富断層帯が連動して活動した場合の断層モデルである。



図 3.1-1 山崎断層帯地震の断層モデル

出典：「高砂西港再整備にかかる技術専門委員会報告書【資料編】平成23年3月」

##### (2) 盛立地への影響が最も大きな基盤波形の検討

###### 1) 対象とする海溝型地震

盛立地への影響が最も大きな海溝型地震の検討対象は、図3.1-2に示した南海トラフなどの活動による海溝型地震とし、南海地震、東南海・南海地震、東海・東南海・南海地震の3つの海溝型地震とした。



図 3.1-2 対象とした海溝型地震

全国地震動予測地図 解説編 地震調査研究推進本部地震調査委員会 平成21年7月に一部加筆

## 2) 基盤面における最大加速度の抽出

盛立地への影響が最も大きな海溝型地震における基盤波形は、東南海・南海地震（M8.6：EW）と東海・東南海・南海地震（M8.7：EW）であり、基盤面における最大加速度は両地震とも約 107gal である。なお、南海地震（M8.6：EW）では基盤面における最大加速度は約 96 gal である。

東南海・南海地震（EW）および東海・東南海・南海地震（EW）の基盤波形を図 3.1-3 に示す。

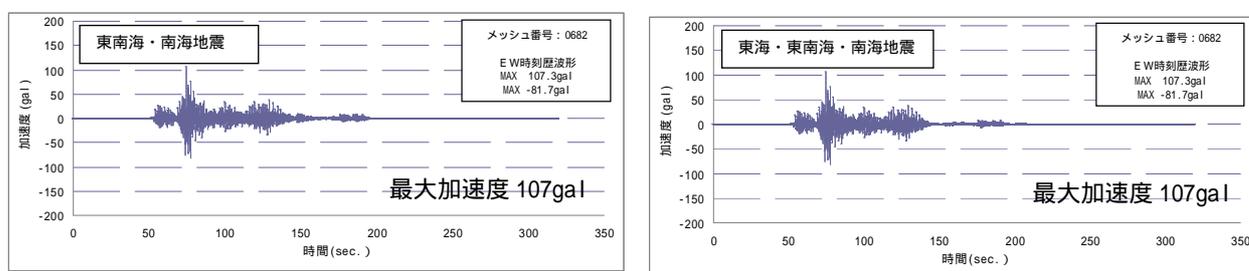


図 3.1-3 盛立地への影響が最も大きい基盤波形

## (3) 海溝型地震（マグニチュード 9.0）の強さの検討

### 1) 検討手法の概要

早期に地震動の検証を行う必要があるため、基盤面における最大加速度を求める方法は、式(1)に示した加速度距離減衰式により、内閣府が公表している基盤面における最大加速度を用いて、マグニチュード 9.0 に対応した基盤面における最大加速度を求め、盛立地の地表面における最大加速度を検討した。

$$\text{Log}_{10} A_{\text{SMAC}} = 0.53M - \text{Log}_{10}(X + 0.0062 \times 10^{0.53M}) - 0.00169X + 0.524 \quad \text{---- (1)}$$

ここに  $A_{\text{SMAC}}$ ：基盤面における最大加速度 (gal)  $X$ :断層面距離 (km)  $M$ :マグニチュード

出典：港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成 11 年 4 月 (社団法人)日本港湾協会

### 2) 盛立地の地表面における最大加速度の検討

#### 断層面距離

- ・盛立地と地震震源域との断層面距離は、内閣府が公表している震源断層モデルを用いて盛立地との最短距離を求め、これを断層面距離とする。
- ・東南海・南海地震と東海・東南海・南海地震の断層面最短距離は図 3.1-4 に示すように、約 105 km である。

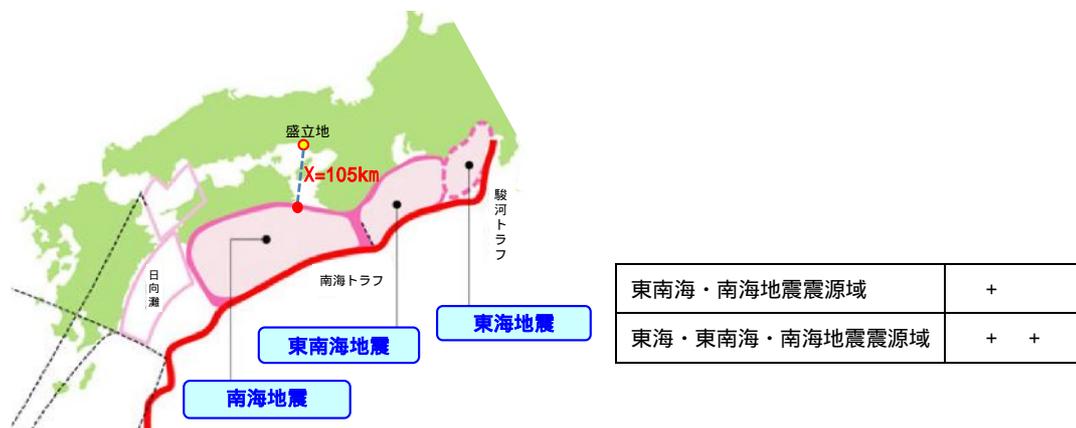


図 3.1-4 地震震源域と盛立地との最短距離

全国地震動予測地図 解説編 地震調査研究推進本部地震調査委員会 平成 21 年 7 月に一部加筆

地表面における最大加速度の算出

- ・マグニチュード 9.0 に対応した基盤面における最大加速度を式(1)より求め、現在の盛立地対策における基盤面から地表面までの最大加速度の増幅率を用いて、地表面における最大加速度を計算した結果を表 3.1-1 に示す。
- ・盛立地への影響が最も大きい海溝型地震は東南海・南海地震であり、地表面での最大加速度は 162gal である。

表 3.1-1 海溝型地震による盛立地の地表面における最大加速度

海溝型地震	地表面における最大加速度(gal)
東南海・南海地震	162
東海・東南海・南海地震	156

#### (4) 検証結果

- ・盛立地への影響が最も大きい海溝型地震に対し、東北地方太平洋沖地震規模のマグニチュード 9.0 を想定した場合でも、地表面における最大加速度は山崎断層帯の地震による地表面における最大加速度(450gal)の方が大きいことが確認された。
- ・この結果より、海溝型地震を東北地方太平洋沖地震規模のマグニチュード 9.0 と想定した場合でも、地震に対する盛立地対策について変更の必要性はないことが確認された。

### 3.2 津波に対する盛立地対策の安全性の検証

東日本大震災後の海溝型地震と津波に関する国の動向を踏まえ、南海トラフなどの活動による海溝型地震津波に対する盛立地対策の安全性について、初期地盤変動量を変化させた津波予測シミュレーションを実施して検証を行った。

#### (1) 現計画の整理

兵庫県地域防災計画(平成 19 年)では、津波の規模を既往最大級の安政南海地震( M8.4, 1854 年 )、波源位置を最も危険な宝永地震( M8.4, 1707 年 )とし、盛立地周辺での予想最高津波高さを T.P.+1.80m と想定している。

表 3.2-1 盛立地周辺での予想最高津波高さ

対象地点	高砂市域
予想最高津波高さ	T.P.+1.80m

出典：「高砂西港盛立地の PCB 汚染土に係る報告書 平成 19 年 9 月」



図 3.2-1 波源位置のイメージ

全国地震動予測地図 解説編 地震調査研究推進本部地震調査委員会 平成 21 年 7 月に一部加筆

#### (2) 津波予測シミュレーション

##### 1) 検討手法の概要

津波予測シミュレーションは、初期地盤変動量を変化させた地盤変動により発生する津波が、外洋から沿岸へ伝播する状況を計算する。

現計画における予想最高津波高さとの比較検証に使用した安政南海地震の初期地盤変動量分布を図 3.2-2 に示す。

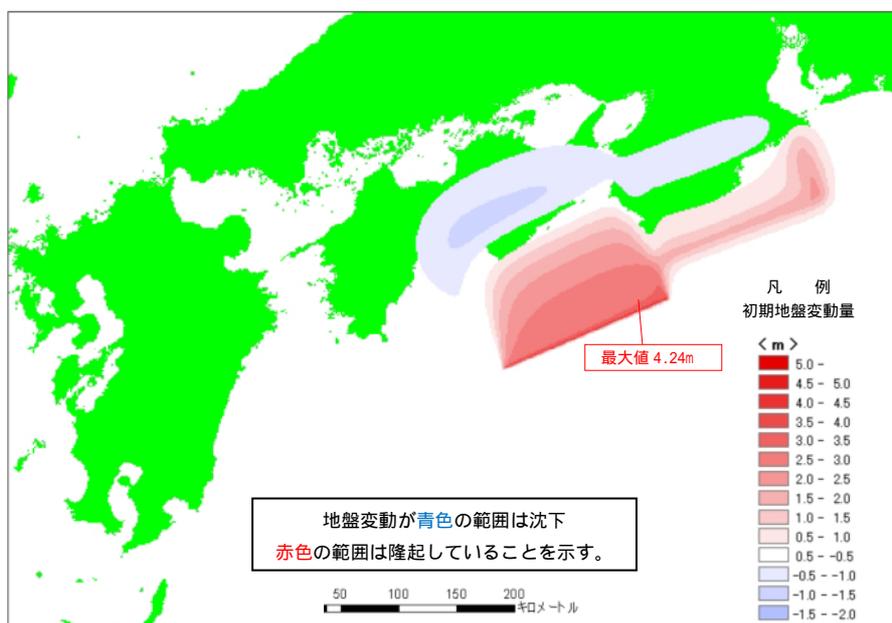


図 3.2-2 初期地盤変動量分布図

## 2) 計算条件

津波予測シミュレーションにおける計算条件を表 3.2-2 に示す。

表 3.2-2 計算条件の一覧

項目	設定内容
基本となる津波	<ul style="list-style-type: none"> <li>規模：安政南海地震（M8.4, 1854 年）</li> <li>位置：宝永地震の波源位置</li> </ul>
計算範囲および格子間隔	<ul style="list-style-type: none"> <li>内閣府中央防災会議が公開している計画地地形資料を用いて、初期波源域（格子間隔 1350m）から対象港湾海域（格子間隔 10m）まで全域を同時に計算するように設定</li> <li>津波伝播の計算格子間隔は 1350m, 450m, 150m, 50m とし、浸水計算を行う範囲の計算格子間隔は、今回は 10m に設定</li> </ul>
計算手法	非線形長波理論式（浅水理論）を基本方程式とした 2 次元津波遡上モデル
初期条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>安政南海地震津波モデル（相田モデル 1981, Model 20'）に基づく地盤変動分布を設定</li> <li>地殻変動による地盤変動を瞬時に初期水位として与える</li> </ul>
境界条件	<p>【沖側境界条件】：沖合海洋では自由透過境界とし、接続領域の境界は外側の領域の水位・流量を引き継ぐ境界条件を設定</p> <p>【陸側境界条件】：海岸部では完全反射境界を設定</p>
設定潮位	朔望平均満潮位（H.W.L:T.P.+0.70m）に基準潮位を設定
防波堤および河川堤防	内閣府中央防災会議の公表データを参考に設定
粗度係数	海底： $n=0.025(s/m^{1/3})$ 陸域：土地利用データ（国土地理院）よりマンニングの粗度係数より設定

計算条件・手法等は、内閣府中央防災会議と同じ。

## 3) 現計画における予想最高津波高さとの比較検証

津波予測シミュレーションによる現計画における予想最高津波高さとの比較検証位置を図 3.2-3 に、比較検証結果を図 3.2-4 に示す。

津波予測シミュレーションの結果は、高砂西港沿岸域における予想最高津波高さ（T.P.+1.80m）に対し、比較検証した津波高さは（T.P.+1.81m）となり、現計画における予想最高津波高さと同様であることを確認した。



図 3.2-3 比較検証位置図

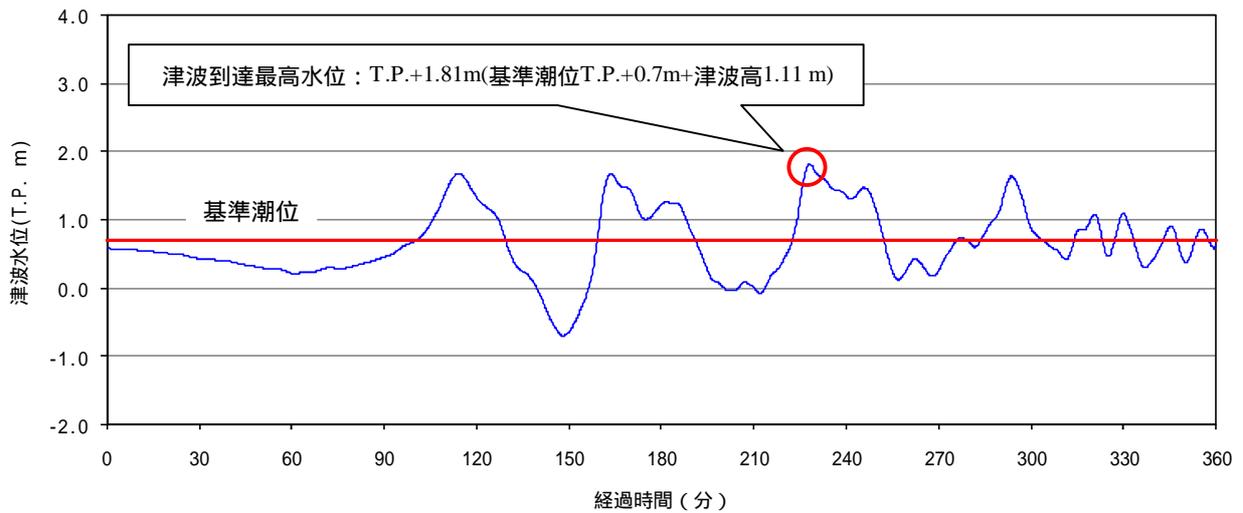


図 3.2-4 現計画における予想最高津波高さとの比較検証結果

#### 4) 初期地盤変動量を増加させた津波予測シミュレーション

津波予測シミュレーションでは、初期地盤変動量を 2 倍、3 倍、4 倍に増加させ、これを津波発生時の初期水位(静止状態の海面水位+水位上昇量)と設定し、計算を行った。(図 3.2-5 参照)

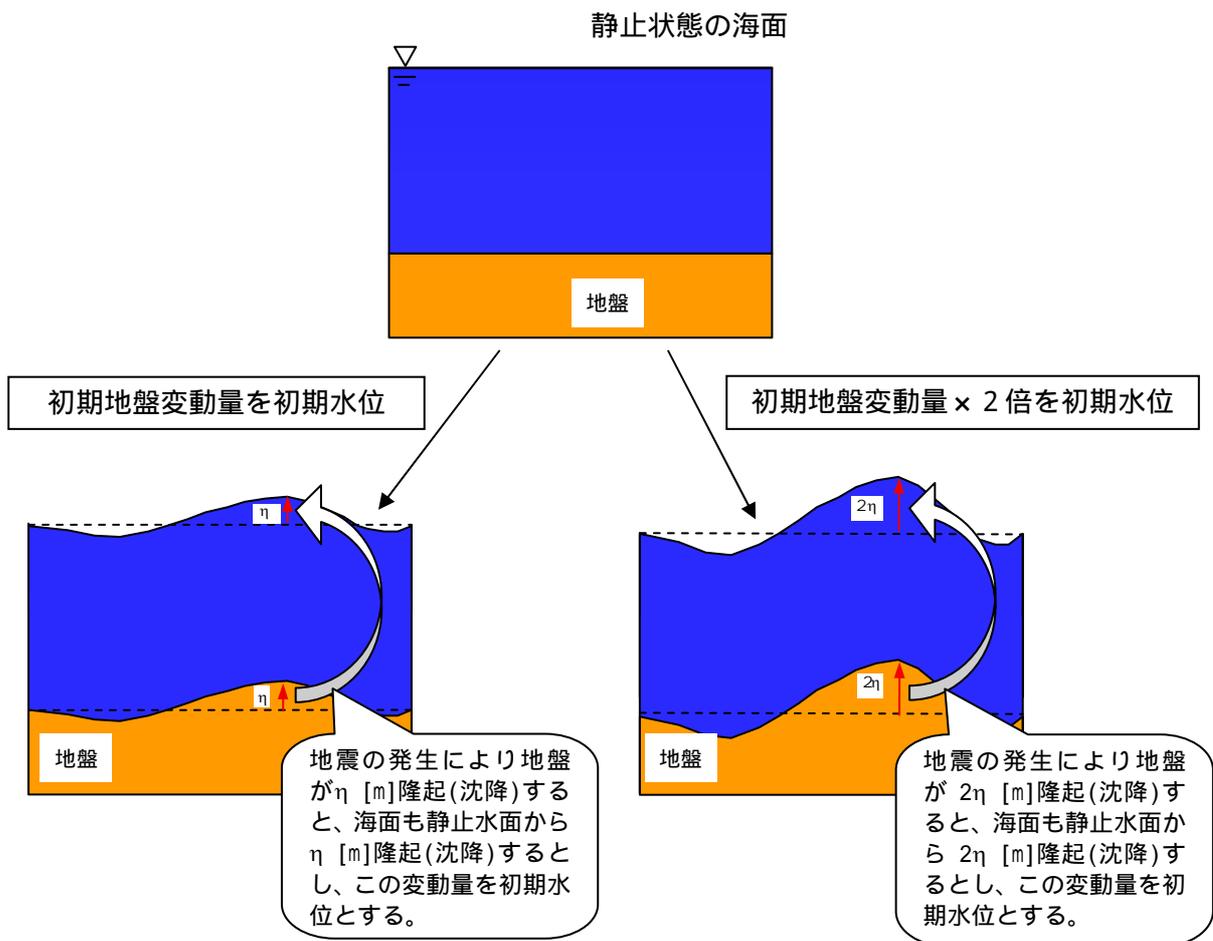


図 3.2-5 地盤変動量に対する初期水位のイメージ

### 5) 津波予測シミュレーションの結果

津波予測シミュレーションから得られた高砂西港沿岸域から陸域への津波到達最高水位を表 3.2-3 に示す。なお、参考として現計画における高砂西港沿岸域での予想最高津波高さを 2 倍にした暫定津波高さ、高砂西港沿岸域での高潮の最大推定潮位も示した。

表 3.2-3 津波予測シミュレーション結果

地盤変動量	津波到達最高水位 <sup>注1)</sup>
初期地盤変動量を 2 倍	T.P.+2.83m
初期地盤変動量を 3 倍	T.P.+3.37m
初期地盤変動量を 4 倍	T.P.+3.51m

注 1) 津波到達最高水位は海域から陸域へ津波がかけ上がる高さ「遡上高」の最大値を示す。

#### 【参考】

暫定津波高さ (現計画における高砂西港沿岸域での予想最高津波高さを 2 倍)	T.P.+2.9m
高潮の最大推定潮位 「高砂西港盛立地の PCB 汚染土に係る報告書 平成 19 年 9 月」より	T.P.+4.2m

盛立地の南側において、津波の影響を最も受けやすい断面位置(A - A')を図 3.2-6 に示し、この断面図に津波到達最高水位を入れたものを図 3.2-7 に示す。

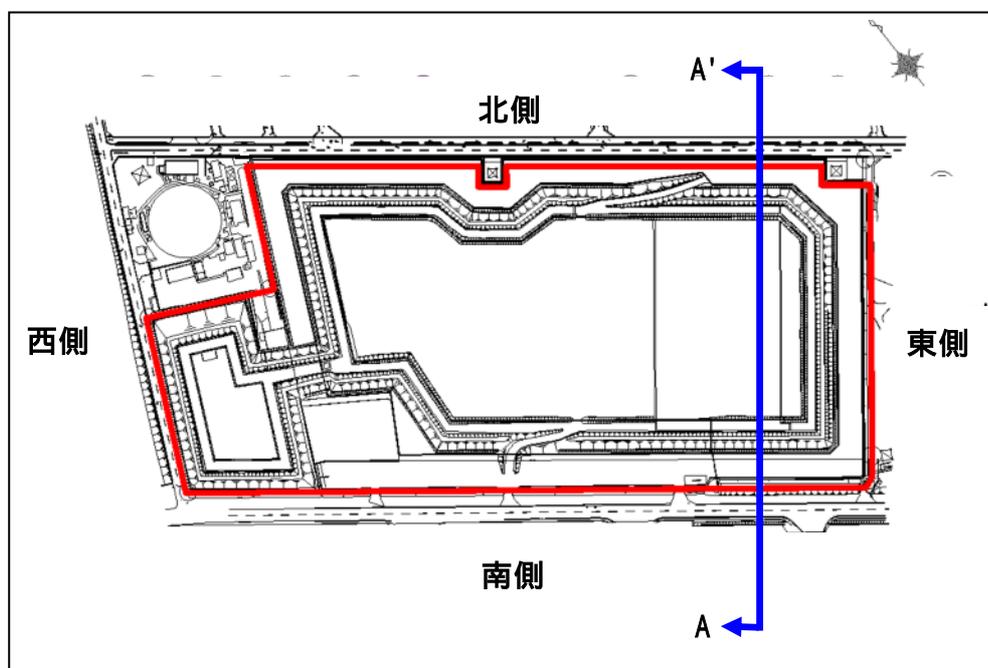


図 3.2-6 津波の影響を最も受けやすい断面位置

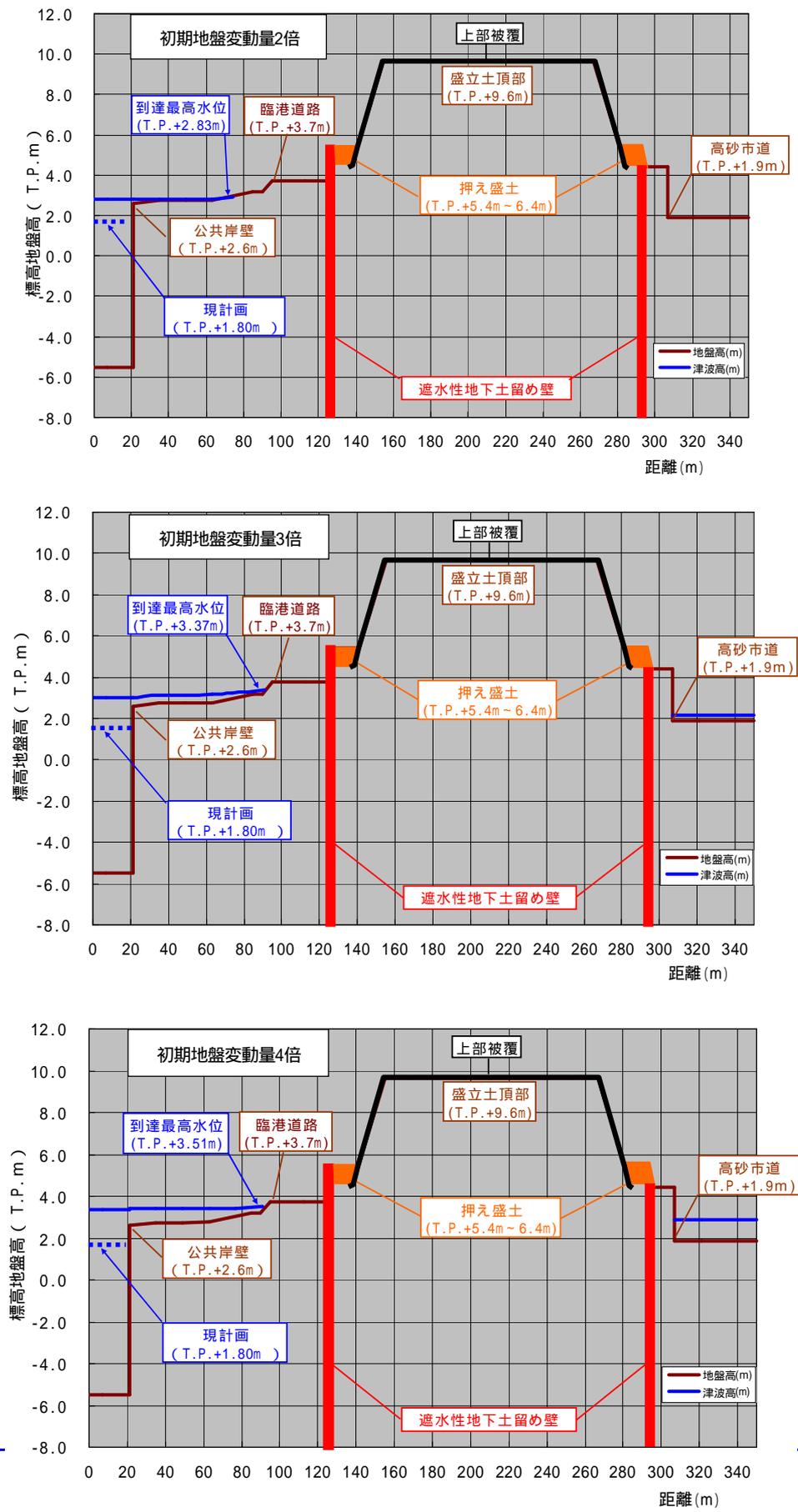


図 3.2-7 津波到達最高水位(A-A'断面)

### (3) 検証結果

- ・初期地盤変動量を4倍にした場合においても、盛立地への津波到達水位は最大で、T.P.+3.51mとなり、図3.2-7に示すように南側では臨港道路より下になることが確認され、盛立地への直接的な影響はないものと想定される。
- ・この結果より、海溝型地震による津波の規模を、東北地方太平洋沖地震を踏まえて想定した場合でも、津波に対する盛立地対策について変更の必要性はないことが確認された。

#### 【参考】

地盤変動量とマグニチュードの関係

- ・マグニチュードと地震を起こす断層運動のモーメント ( $M_0$ ) と関係は式(2)で与えられる。

$$M = (\log M_0 - 9.1) / 1.5 \text{ -----(2)}$$

ここに  $M_0 = \mu \times D \times S$

$\mu$  : 剛性率  
D : 平均変位量  
S : 震源断層面積

出典：内閣府中央防災会議(平成20年12月)

- ・初期地盤変動量を2倍、3倍、4倍にした場合の、地盤変動量とマグニチュードの関係を表3.2-4に示す。

表3.2-4 地盤変動量とマグニチュードの関係

地盤変動量	マグニチュード(M)
初期地盤変動量を2倍	8.8以上 <sup>注2)</sup>
初期地盤変動量を3倍	8.9以上 <sup>注2)</sup>
初期地盤変動量を4倍	9.0以上 <sup>注2)</sup>

- ・注2) この式(2)は、内閣府中央防災会議を初め多くの地震工学の分野で採用されているが、関係式を導く過程で使用した地震データはM8.0以下であり、M8.0以上の地震に対して関係式は外挿となっている。  
一方、東北地方太平洋沖地震(M9.0)での海底の鉛直変動量を5mと公表されており、初期地盤変動量を4倍にした場合の地震規模も式(2)を用いると計算上M9.0となる。しかしながら、初期地盤変動量を4倍した場合の地盤変動量は約17mであり、東北地方太平洋沖地震(M9.0)での地盤変動量を大きく上回っている。  
したがって、式(2)で求めたマグニチュードの値は実際の地震規模より小さく試算されていると考えられる。

#### 4. まとめ

委員会では平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災を踏まえ、高砂西港盛立地においては、南海トラフなどの活動による海溝型地震の規模を、東北地方太平洋沖地震規模のマグニチュード 9.0 と想定し、地震および津波に対する盛立地対策の安全性について技術的な検証を行った。

以下に委員会の検討結果のまとめを示す。

- ・地震および津波に対する盛立地対策の検証結果より、東北地方太平洋沖地震規模の地震が南海トラフなどの領域で発生した場合でも、地震および津波に対する盛立地対策の安全性が確認されたことから、現在の盛立地対策を見直す必要はないことが確認された。

今後、盛立地対策の実施にあたっては、委員会の検証結果を踏まえ、工事の安全性・透明性の確保と、住民の安全・安心を確保しつつ、早期に工事が計画的に行われることが必要である。