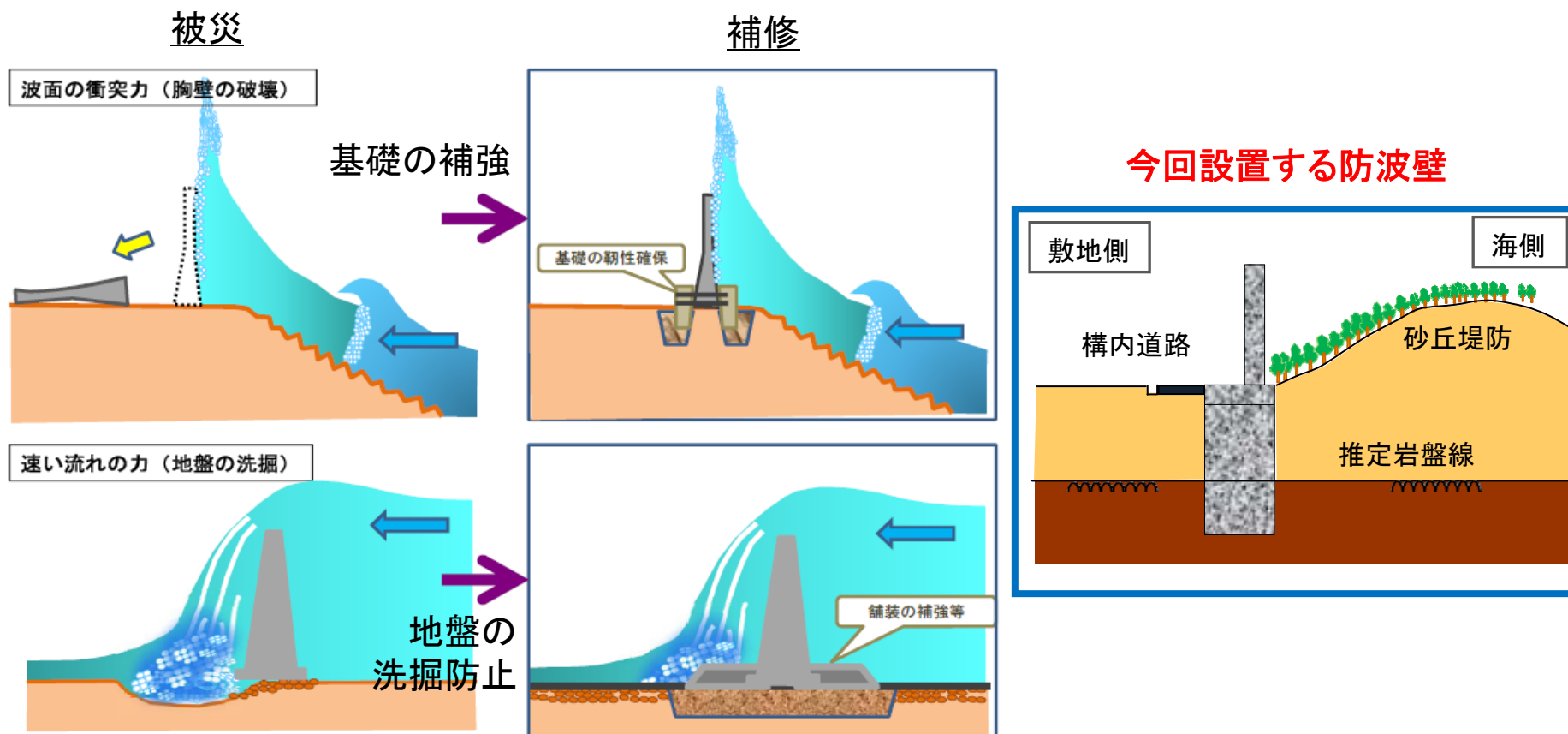


防波壁に関する津波波力実験

防波壁の構造(東北地方での震災事例との違い)

- 東北地方太平洋沖地震での、海岸構造物の被災事例の補修方法として、基礎の補強や地盤の洗掘防止が中央防災会議の専門調査会で示されている。
- 今回設置する防波壁は、鉄筋コンクリート造の地中壁を岩盤部に十分根入れする基礎構造であるとともに、L型壁の床版は鉄骨・鉄筋コンクリート構造であり洗掘されにくく、津波に対し十分強い構造となっている。

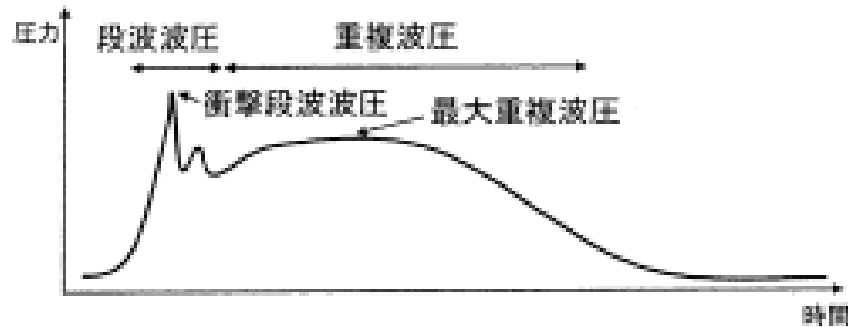


出典:中央防災会議 東北地方太平洋沖地震を教訓とした
地震・津波対策に関する専門調査会(第4回) 資料2-2

津波流体力の特徴

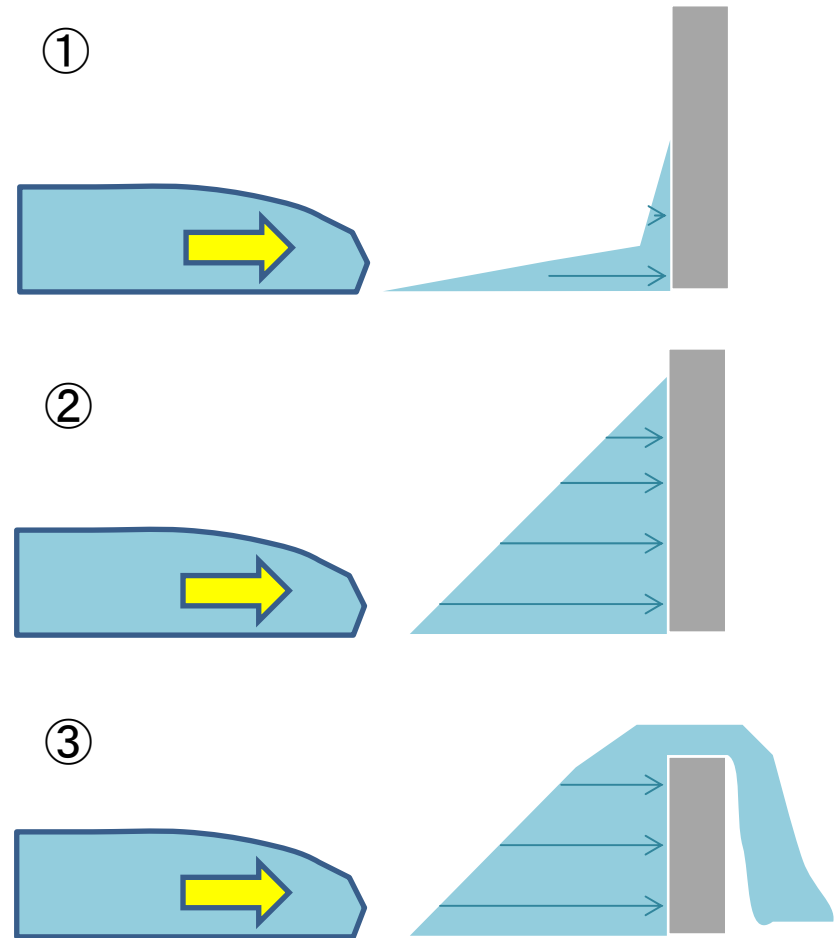
津波流体力としては、
その特徴から以下を考慮する必要がある。

- ①津波の先端が到達する直後に発生する瞬間的な**衝撃段波波圧**
- ②津波がせき上がりを起こして生じる**重複波圧**



矩形構造物に作用する津波流体力荷重(有川ら,2005)

- ③上記の段階を経た後に越流する場合生じる**越流時の波圧**



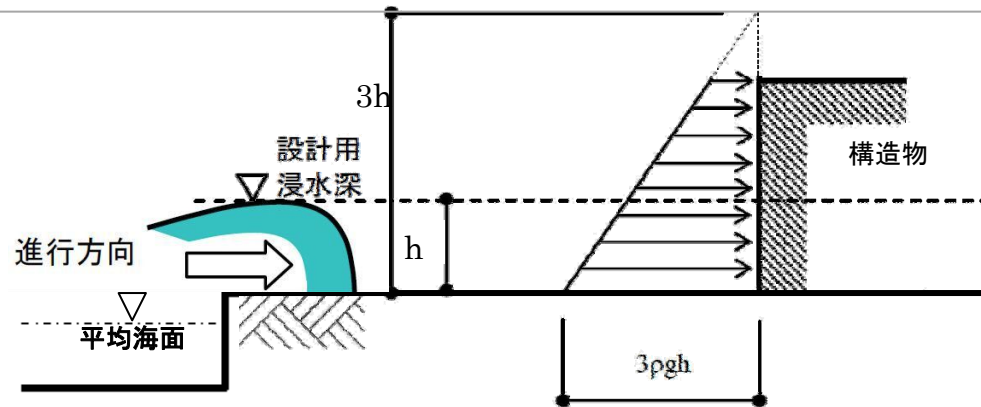
設計用の津波波力の設定の考え方

中部電力からの
主な説明内容

防波壁は、その前面でせき上がり天端にまで達するような津波に、十分余裕を持って耐えるよう設計するものとし、その波力は、内閣府の「津波避難ビル等に係るガイドライン」およびここで参考とされている朝倉ほか(2000)を参照し設定している。

「津波避難ビル等に係るガイドライン」に示されている波力の考え方

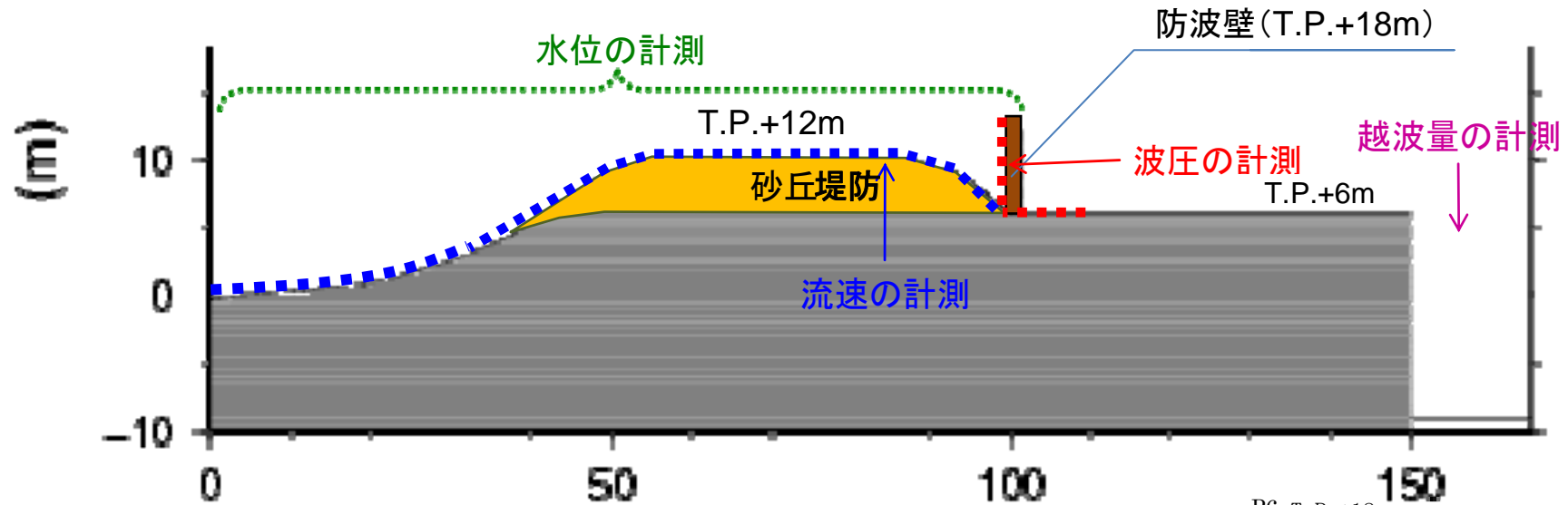
- ◆ 津波波圧は、設計用浸水深 (h) の3倍の深さの静水圧(図の矢印"→"の長さ)で表わされる。
- ◆ 構造物に作用する単位幅当たりの津波波力は、津波波圧を地盤レベルから建築物高さまで積分した図の台形の面積で表わされる。
- ◆ なお、静水圧とは、水が静止した状態の水圧で、水深に水の単位体積重量 ρ と重力加速度 g を掛け合わせて得られる。



朝倉ほか(2000)では、構造物にはたらく波力について、構造物がない状態での津波の進行波の水深に対して、その3倍の静水圧分布で評価できるものとしている。

防波壁にはたらく波力については、地上から天端高さ(T.P.+18m)までの高さの半分に相当する水深の進行波が防波壁でせき上がり、この進行波の水深の3倍に相当する水深の静水圧分布がはたらくものとして設定している。

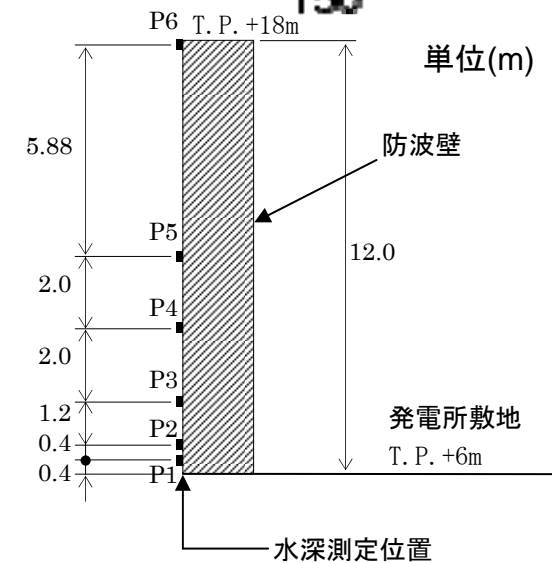
津波波力に関する水理実験 装置概要



防波壁の特徴:

水路幅全体に構造物があり**流れを堰き止める**構造物

物理量	縮尺
波高・長さ(m)	1/40
周期・時間(s)	1/6.32
流速 (m/s)	1/6.32
圧力 (t/m ²)	1/40
流量 (m ³ /s)	1/10100



壁部に作用する波圧を計測し、その波圧分布や波力の時刻歴変化を把握する。

津波波力に関する水理実験状況



上流から撮影



下流上部から撮影



防波壁

砂丘堤防

津波波力に関する水理実験 実施ケース

Case① 津波遡上高さ・波形の違いによる影響

津波の高さ・波形による、防波壁に作用する波力などを把握する。

Case② 防波壁がない場合との比較

現状の状態(防波壁がない)と防波壁がある場合を比較する。

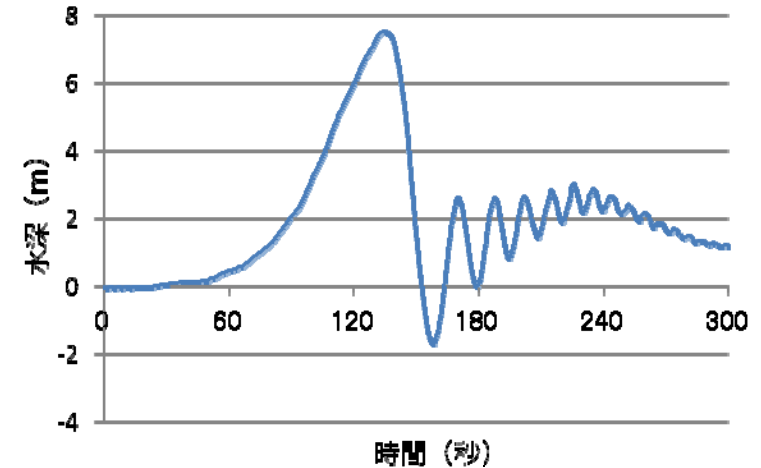
Case③ 砂丘堤防の影響

砂丘堤防の影響や既存研究に近い状況とを比較する。

Case④ (参考)テトラポッドの影響

テトラポッドの移動状況や防波壁に与える影響を把握する。

Case	砂丘堤防	防波壁
Case①	T.P.+12m	T.P.+18m
Case②	T.P.+12m	なし
Case③	なし	T.P.+18m
【参考】Case④	T.P.+12m	T.P.+18m



入力波形の例【実スケール】
(実スケール 約5km沖合相当での実験値)

防波壁を越えない津波、防波壁天端程度に達する津波に加えて天端の上を最大5m程度の水深で越流する津波など、津波高さを変えて実験を実施した。

※防波壁天端上を5m程度の水深で越流する津波では、砂丘堤防の勾配をT.P.+25m以上遡上している。

津波波力の実験状況の動画

防波壁を越流する津波

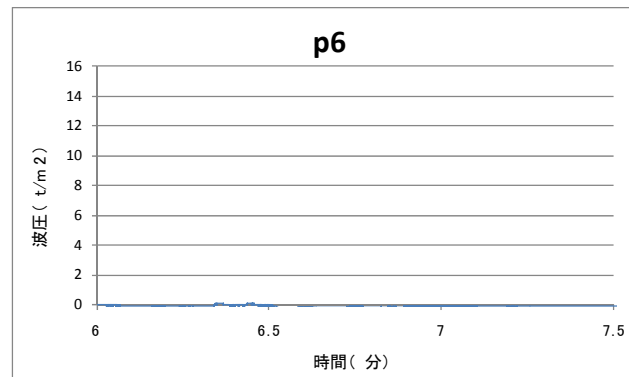
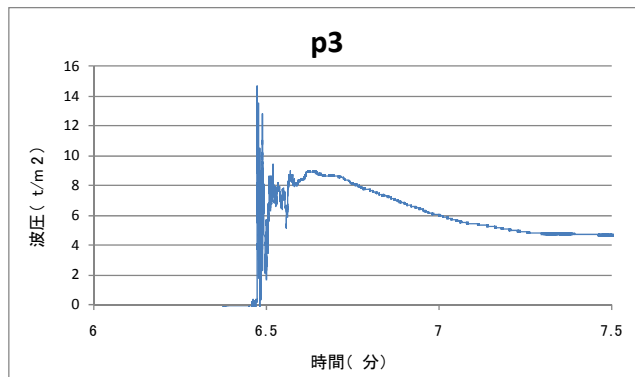
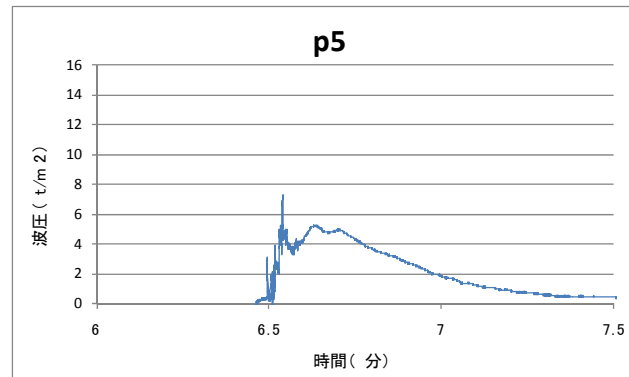
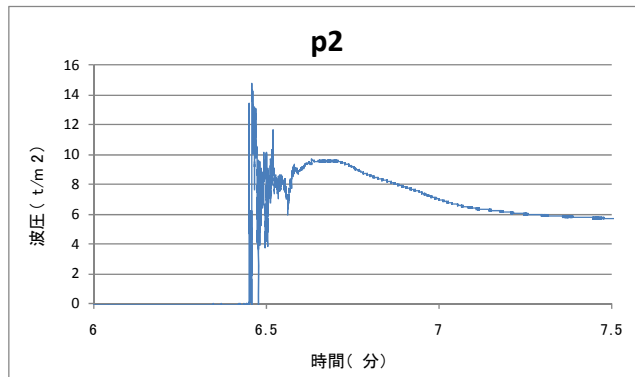
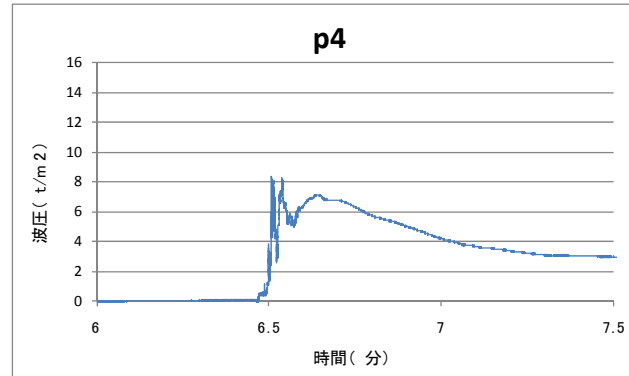
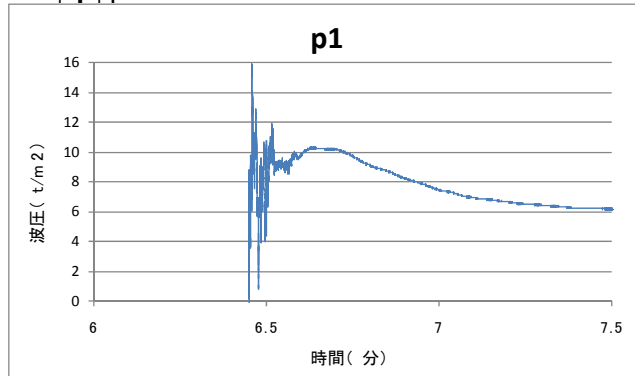
(時間を約6倍遅く再生し、実時間に近いものとしている)

水理実験結果概要

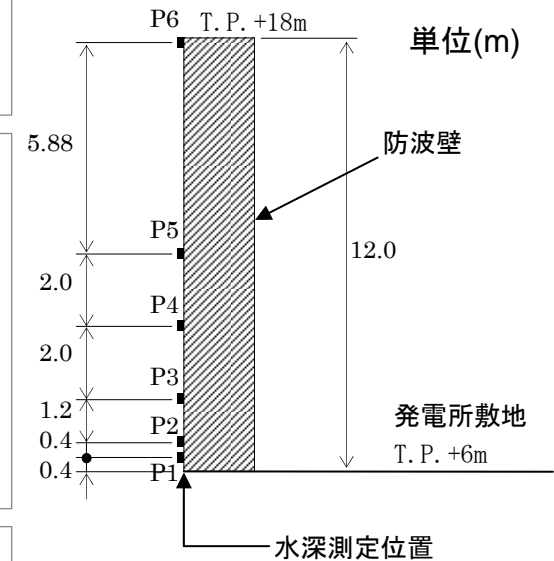
波圧分布の把握

■ 防波壁の天端(T.P.+18m)程度に達する津波における各測定点の波圧の時刻歴変動 (Case

①)



1回目



防波壁に設置した圧力計位置 (P1~P6)

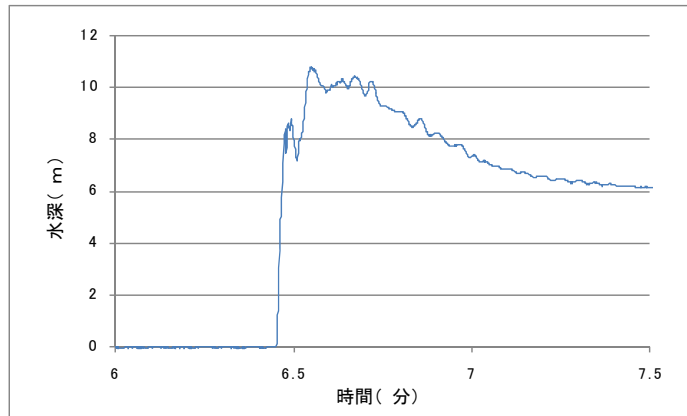
水理実験結果概要

波力と水深を比較

■ 防波壁の天端(T.P.+18m)程度に達する津波における防波壁前面での水深と波力の時刻歴変動

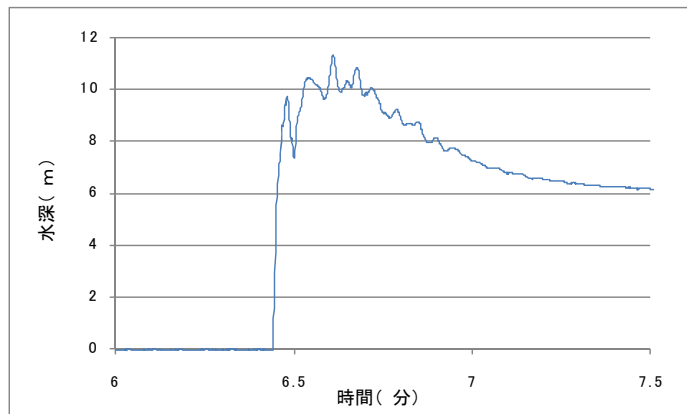
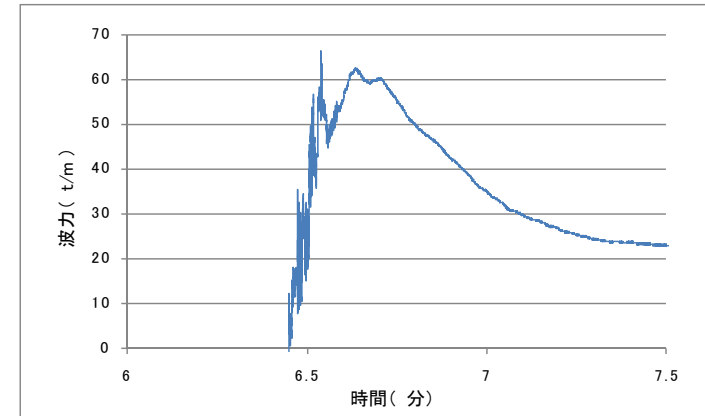
(Case①)

水深

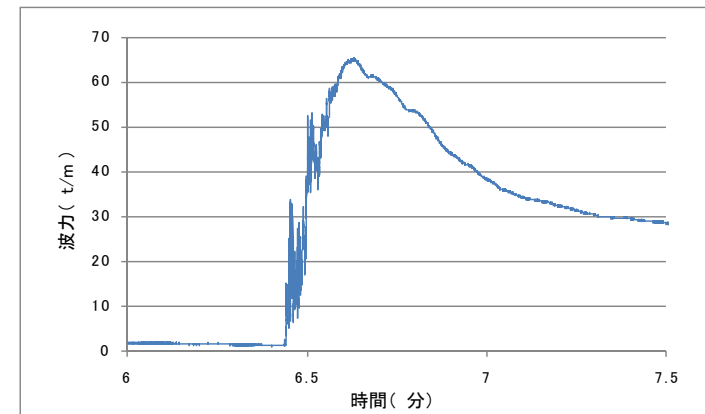


1回目

波力



2回目



※水深は、壁前面における地盤高さT.P.+6mからの水位

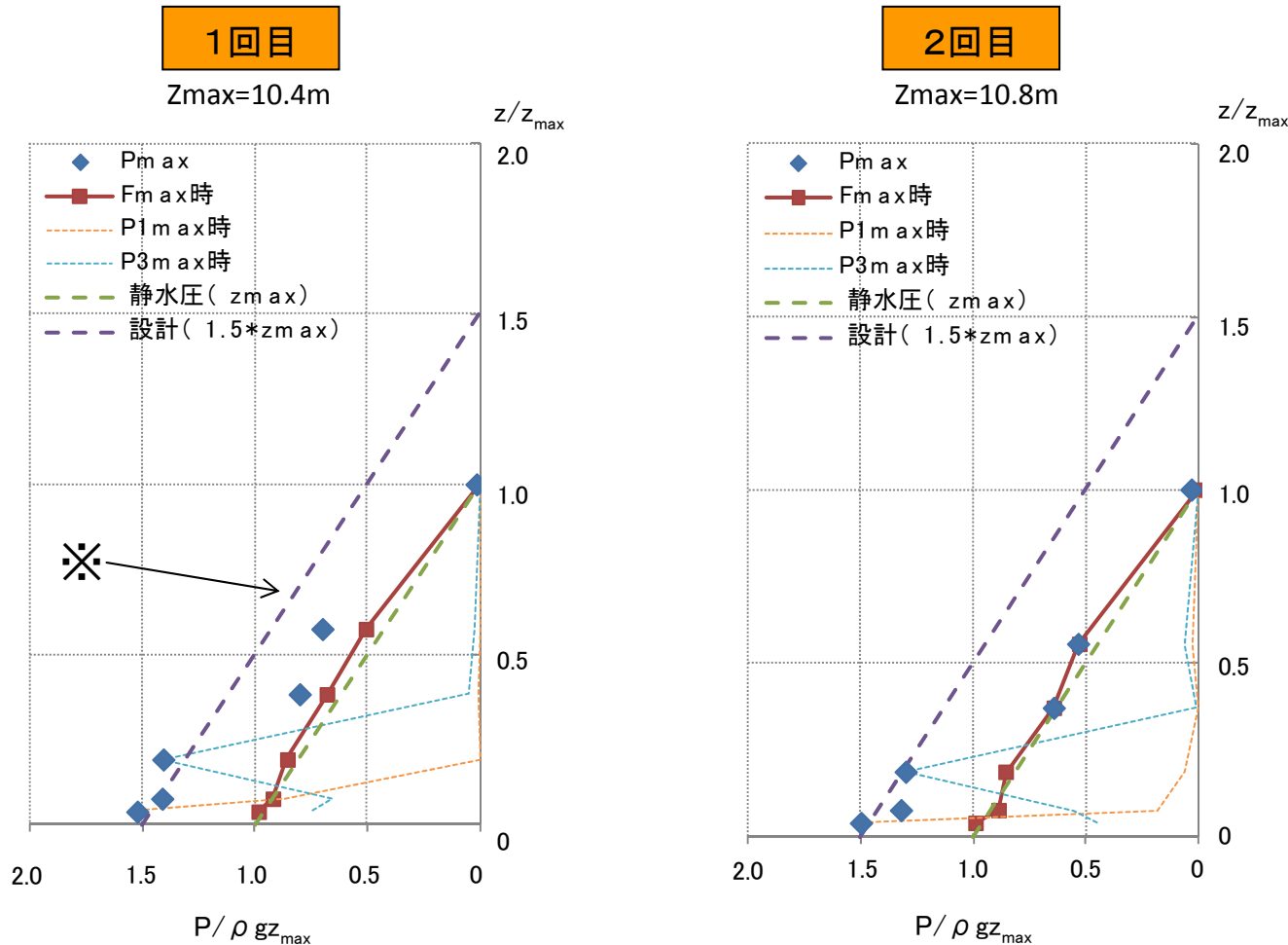
※波力は、P1~P6で計測された波圧を線形補完し算定

- ・水深は壁があることによりせき上がり、最大波力が作用する時間は、最大水深となる時間に概ね等しい。
- ・初期において瞬間的に大きな波力が作用しているが、その後の最大波力と同程度か下回る。

水理実験結果概要

最大水深(重複波)で正規化 ー砂丘堤防のある場合ー

■防波壁の天端(T.P.+18m)程度に達する津波における波圧分布 (Case①)



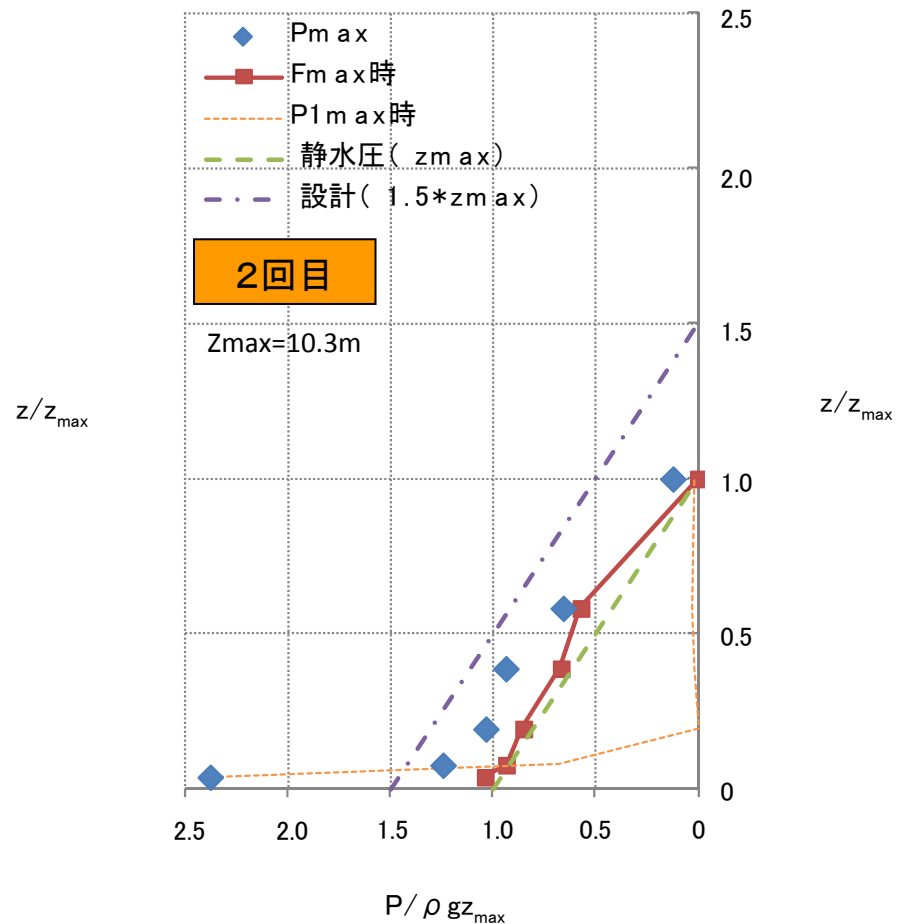
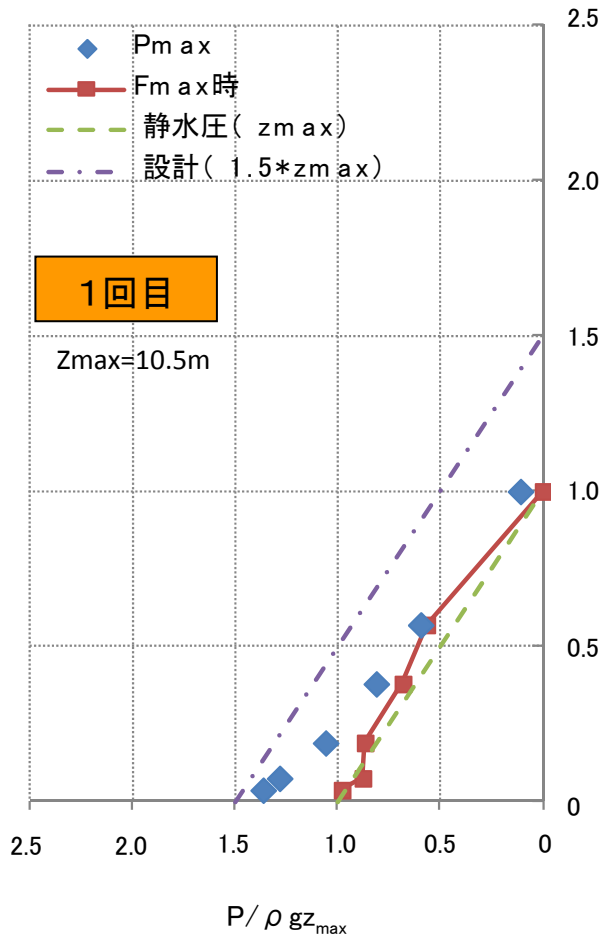
Zmax: 重複波における最大水深
 Pmax: 各圧力計で計測された瞬間最大波圧
 Fmax時: 重複波における波力が最大となる瞬間最大波圧
 P_omax時: P_o圧力計の計測値が最大となる瞬間の各圧力計の計測波圧
 静水圧(Zmax): 水深Zmaxの場合の静水圧分布
 設計(1.5 × Zmax):
 防波壁にはたらく波力を地上から天端までの防波壁の高さ(T.P.+18m-T.P.+6m=12m)の半分(6m)に相当する水深の進行波が防波壁でせき上がり、この進行波の3倍の水深(18m)の静水圧分布をはたらくものとして設定しており、防波壁の高さの1.5倍の静水圧分布に相当する。

- ・最大波力は最大水深の静水圧分布と概ね等しい。
- ・進行波高さ(最大水深の半分と仮定)の3倍に相当する波力(※)は安全側の設定となっている。
- ・局所的に大きな波圧がはたらくが、壁面に作用する波力としては大きなものではない。

水理実験結果概要

最大水深(重複波)で正規化 ー砂丘堤防のない場合ー

■防波壁(砂丘堤防なし)の天端(T.P.+18m)程度に達する津波における波圧分布 (Case③)



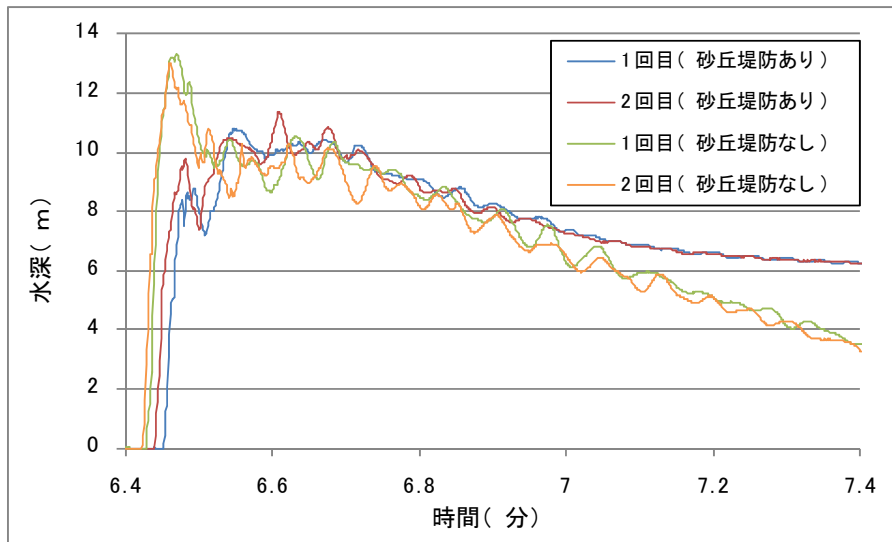
・砂丘堤防がない場合には、地上面付近で大きな波圧が作用する可能性があるが、局所的なものであり、壁面に作用する波力としては大きなものではない。

水理実験結果概要

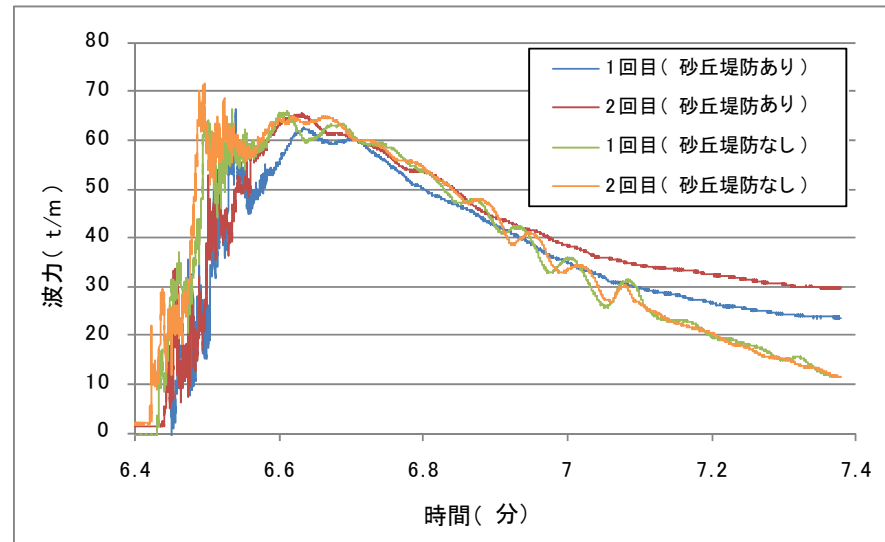
砂丘堤防の有無による比較

■ 防波壁の天端(T.P.+18m)程度に達する津波における防波壁前面での水深と波力の時刻歴変動
(Case①とCase③の比較)

水深



波力



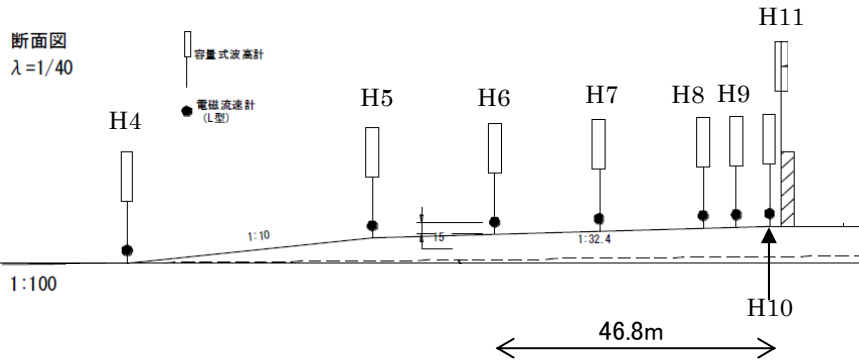
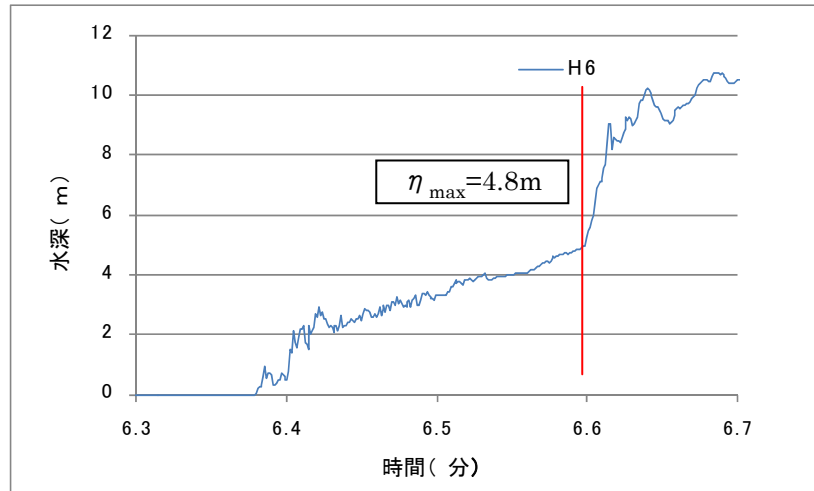
- ・砂丘堤防がない場合には、瞬間的な水位上昇があり多少の越流があるが、砂丘堤防がある場合には、水位上昇は比較的緩く越流はない。
- ・津波が到達する直後の大きな波力は、砂丘堤防がない場合にやや大きい場合があるが、砂丘堤防の有無に関係なく最大波力は概ね同程度である。

水理実験結果概要

朝倉ほか(2000)の知見との比較

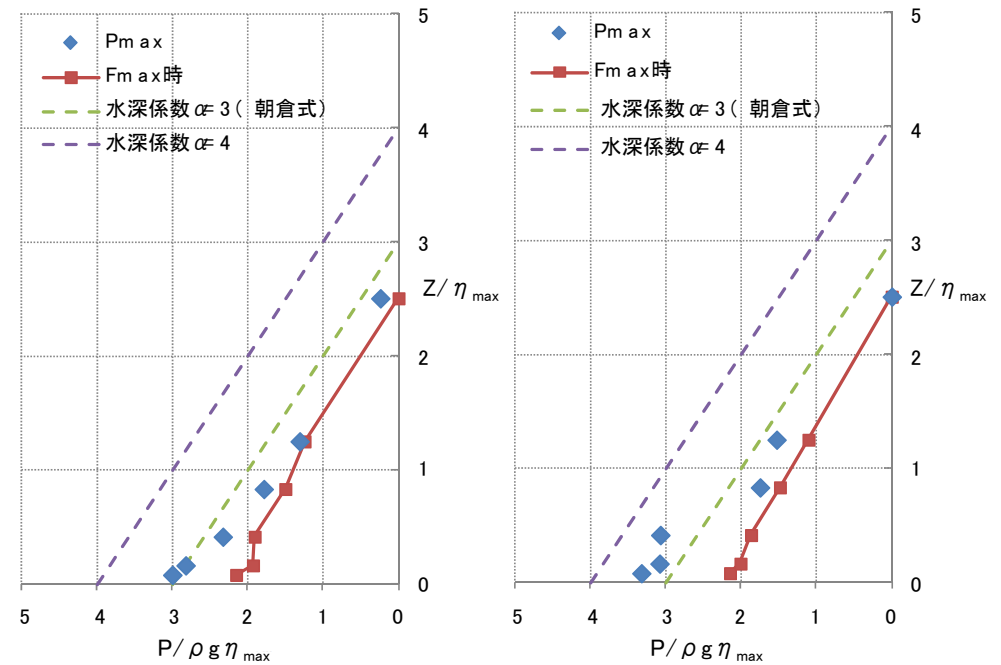
■防波壁の天端(T.P.+18m)程度に達する津波について、進行波を仮定した場合の検討
(Case①とCase③)

進行波水深をH6測定点の反射波が来る前の水深と仮定する。



波圧分布(正規化表示)

$\eta_{max} = 4.8m$ (H6測定点での推定)



砂丘堤防なしの場合

砂丘堤防ありの場合

・津波が砂丘堤防や防波壁に衝突する進行波水深を仮定した整理を行うと、津波波力は、進行波水深の概ね3倍の静水圧分布に収まる。

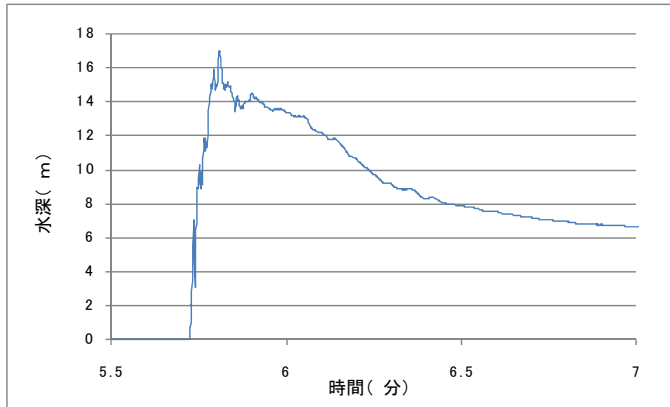
水理実験結果概要

波力と水深を比較

■ 防波壁を越流(最大5m程度)する津波における防波壁前面での水深と波力の時刻歴変動

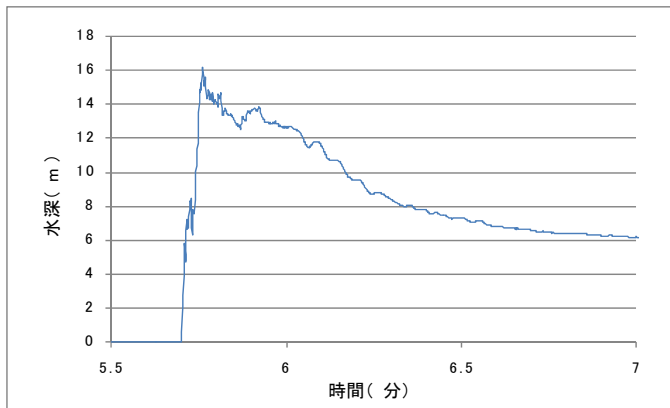
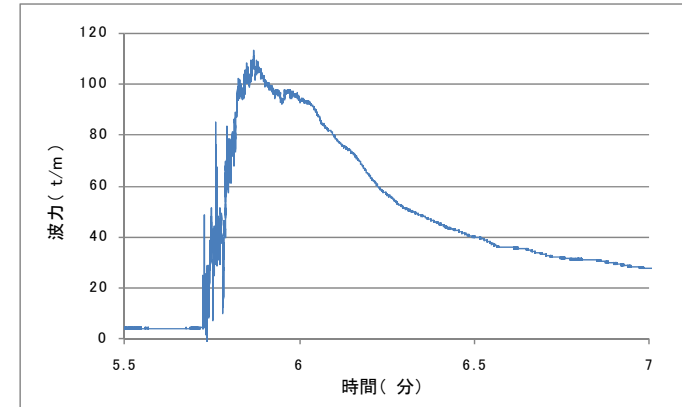
(Case①)

水深

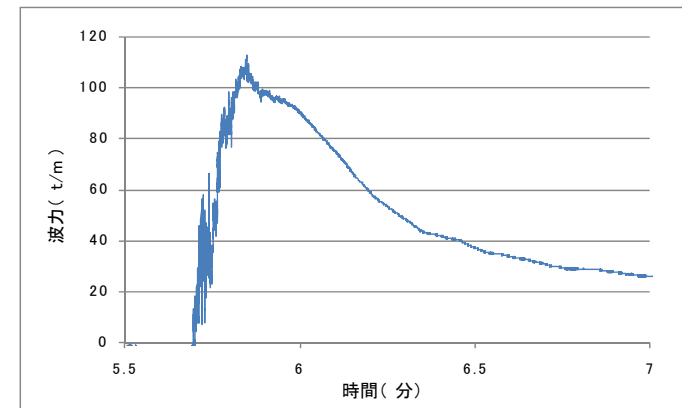


1回目

波力



2回目



※水深は、壁前面における地盤高さT.P.+6mからの水位

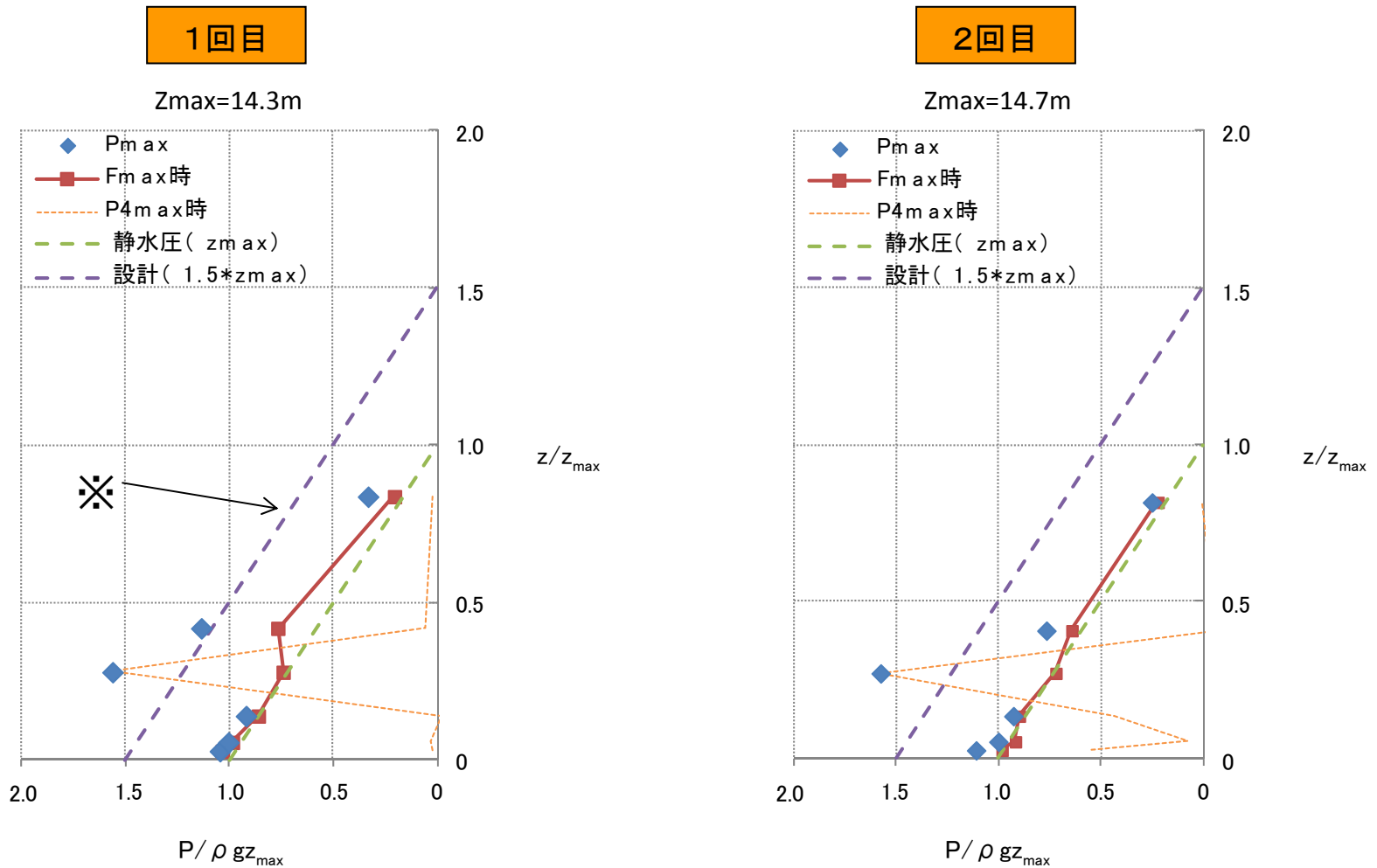
※波力は、P1~P6で計測された波圧を線形補完し算定

- ・水深は壁があることによりせき上がり、越流初期に一時的に水位が高くなるが、その時の波力は相対的に大きくない。
- ・その後の最大水深である時刻付近で最大波力が発生している。

水理実験結果概要

最大水深(重複波)で正規化

防波壁を越流(最大5m程度)する津波における波圧分布 (Case①)



- ・最大波力は最大水深の静水圧分布と概ね等しい。
- ・進行波高さ(最大水深の半分と仮定)の3倍に相当する波力(*)は安全側の設定となっている。

水理実験結果(参考:テトラポッドの移動)

■防波壁を越流する津波におけるテトラポッドの移動状況 (Case④)

※実験においては、底面は円滑で移動しやすい条件と考えられるため参考



テトラポッド 砂丘堤防



実験後のテトラポッドの状況

発電所前面の汀線にテトラポッド(6.3t)が積まれている状況を模擬

- ・テトラポッドに散乱が見られ、砂丘堤防の頂部に数個ほど移動したものの防波壁に達するものはない。



テトラポッドの模型(93g)

まとめ

1. 津波先端が防波壁に到達した直後に比較的大きな波力が発生する可能性があるが、その後の防波壁前面で水位最大となる時点の波力と概ね同程度かそれ以下である。その波圧分布は最大水位による静水圧に近い分布となる。
2. 上記の最大波力における波圧分布を、構造物の影響を受けていない位置での津波の進行波の水深と比較すると、その3倍の水深の静水圧分布に収まっており、既往の知見とも概ね整合している。
3. 防波壁のような面的に波圧を受け止める構造においては、局所的に大きな波圧が作用しても構造上問題となるものではない。実験における最大波圧は、津波先端が防波壁の到達直後に発生する可能性があるが、局所的な衝撃波圧であることから影響はないと考えられる。
4. 砂丘堤防がない場合には、初期の瞬間的な水位上昇が比較的大きいが、最大波力は砂丘堤防の有無に関係なく概ね同程度である。
5. これらの実験結果は、物理現象として理解でき信頼性はあるものと考えられ、設計波力の設定は安全側といえる。