

最大クラスの津波に対する防波堤の津波減災効果について

金正富雄*・笹井 剛**・宮田正史***・青木伸之****・佐藤広章*****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 調査役
 ** (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員
 *** 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾研究室長
 **** 前 国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室 技術基準第二係長
 ***** (株)ニュージェック 港湾・海岸グループ 沿岸防災チーム 主任

高波に耐えて港内の静穏度を保つ防波堤は、津波に対しても減災効果があると考えられる。そこで、最大クラスの津波来襲時に防波堤の有無によって、主に防波堤背後への津波による浸水量がどう変化するかを、10 港をモデル港として抽出して検討した。

キーワード：最大クラスの津波、防波堤、津波減災効果、浸水量

1. はじめに

防波堤は静穏度の確保を目的として平面配置が決定されているため、津波の港内流入を効果的に抑止できるかについては確認が必要である。そこで、本検討では主に南海トラフ沿い（関東～九州の太平洋岸）に位置する 10 港をモデル港として抽出し、最大クラスの津波が来襲した場合を想定し、主に防波堤背後への津波による浸入水量等を指標として防波堤による津波減災効果を評価した。評価にあたっては、防波堤の全延長が損傷したケースから無損傷のケースまで段階的に防波堤の被災延長を変化させた感度分析を行った。

2. 津波シミュレーションの概要

2.1 沖合の津波シミュレーション

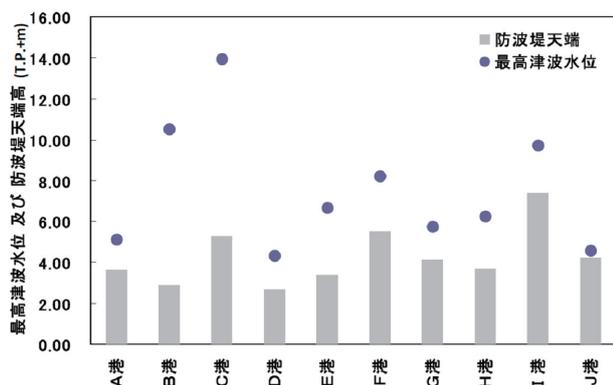


図-1 最高津波水位と防波堤天端高 (T.P. 表示)

南海トラフ近傍等で予想されている最大クラスの津波について、最小計算格子間隔 450m での津波シミュレーションを実施し、関東～九州の太平洋沿岸沖合での津波高さ等を求めた。モデル港湾としては津波以外の要素（港湾の重要度、港湾の形状等）も考慮して、10

港（A～J）を選定した。図-1に 10 港の防波堤天端高と次節で求めた各港の防波堤位置での最高津波水位を示すが、最高水位は 10 港とも防波堤天端高より高い。

2.2 港湾域の津波シミュレーション

選定したモデル港湾を対象に、最小計算格子間隔 12.5m での津波シミュレーションを実施した。その際、海陸の境界や陸地に設置されている護岸、防潮堤の天端高や、防潮堤より海側の堤外地、陸側の堤内地の標高値を入力して津波の遡上浸水計算を実施し、防波堤がある場合と、（津波で被災して）防波堤がない場合、一部ない場合の各ケースに対する浸水状況を把握した。

表-1 堤外地、堤内地への浸水量 (H. W. L. 時)

港湾	開口幅(m)		浸水量(百万m3)		開口幅比	
	①現況	②防波堤なし	③現況	④防波堤なし	①/②	③/④
A	395	2030	2.26	6.12	0.195	0.369
B	769	1364	13.03	15.59	0.563	0.836
C	583	1580	13.70	20.50	0.369	0.668
D	484	912	2.39	2.67	0.531	0.895
E	613	1658	18.79	25.05	0.370	0.750
F	402	1159	12.42	13.57	0.347	0.915
G	902	4852	4.69	5.31	0.186	0.883
H	1204	5318	11.54	12.94	0.226	0.893
I	1824	4600	6.84	14.12	0.397	0.484
J	973	2220	3.63	5.53	0.438	0.655

注) 浸水量 = Σ 堤内地・堤外地各メッシュの面積 × 各メッシュの最大浸水深

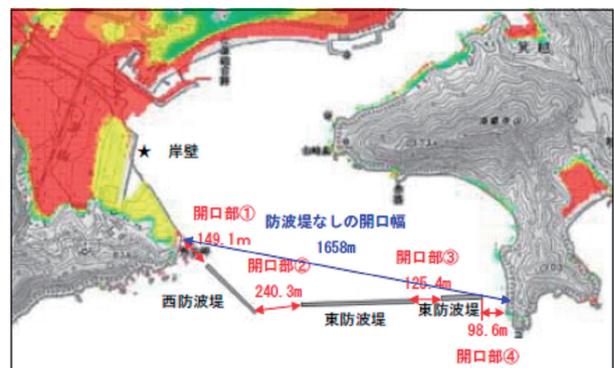


図-2 モデル港湾Eの防波堤配置

例えば図-2の港湾Eの場合、一部防波堤なしのケースは、i) 西防波堤がないケース、ii) 東防波堤がないケースを検討した。

3. 津波シミュレーション結果と考察

3.1 防波堤の津波減災効果とは

計算によって出力したデータは、防波堤前面及び背面の水位・流速の時刻歴波形、港内側任意点（岸壁や物揚場前面等）での水位・流速の時刻歴波形、浸水図などである（表-2 参照）。

表-2 津波シミュレーション出力情報

第一線防波堤	港内側防波堤	出力情報
防波堤あり	あり	・水位波形 →防波堤前面・背面・港内任意点 →最高津波水位、第一波到達時間
防波堤なし(被災)	なし(被災)	・流速波形 →防波堤前面・背面・港内任意点 →最大流速、流況
一部防波堤なし(一部被災)	なし(被災)	・浸水図 →堤内地・堤外地 →浸水状況

水位波形からは、最高津波水位を把握できるほか、防波堤の有無による港内への津波到達の遅延効果を比較することができる。流速波形からは、最大流速のほか、時々刻々の流況変化を推定することができる。また、浸水図からは、浸水深と浸水面積の関係等を港湾ごとに比較することができる。本検討では、防波堤が被災をまぬがれることによって得られる防波堤背後への津波流入抑止効果のことを総称し、津波減災効果と称することとする。

3.2 津波減災効果の可視化例

(1) 浸水深分布

浸水シミュレーション結果から陸域の浸水深分布を等深線図や、浸水深を色分けして示すと、視覚的に理解が容易となる（図-2）。

(2) 津波水位、流速の時刻歴変化

任意点での津波水位及び津波流速の時刻歴変化を出力することで、津波の来襲特性、遡上特性を把握することができる。また、防波堤の整備状況の違いを反映した津波シミュレーションを実施することで、最大津波高や最大流速の低減量や、津波到達時間の遅延効果を定量的に把握することができるようになる。したがって、第一線防波堤のうちのどの区間がもっとも津波低減効果（津波遅延効果）が高いかを判断し、津波補強対策の重要度を判定することが可能となる。

図-3 は、図-2 中に示す岸壁前面海域（★印）における津波水位と流速の時刻歴変化を示す。防波堤の有無により、押波～引波変化時の水位変動量が変わることで、流速は大きく変化していることが分かる。このような情報に基づき、接岸船舶の漂流する危険性を検討する

などの評価が可能となる。

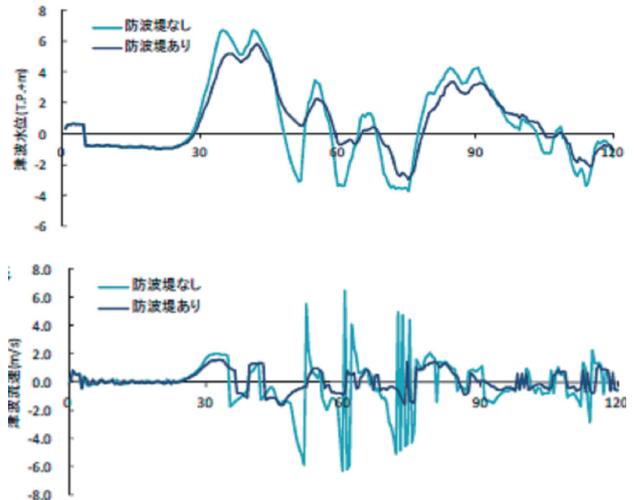


図-3 津波水位（上）、流速（下）時刻歴変化の例

(3) 浸水深と浸水面積の関係

港内全体、あるいは堤内地、堤外地における浸水深と浸水面積（あるいは浸水量）を図化することで、防波堤の整備状況に合わせた津波低減効果を可視的に把握することが可能となる。例えば図-4 の場合、防波堤が整備されていない状況に対して、防波堤を整備することで、浸水深が大きい箇所の面積（例えば、1m 以上）が大幅に減少し、浸水深の浅い側に移動している様子が見て取れる。本図は、堤外地と堤内地の両者を一緒にプロットしたものであるが、港湾機能が集中する堤外地のみを対象として評価するなど、区域を細分化して評価することにより、防波堤の津波減災効果を地域別に詳細に検討することも可能である。

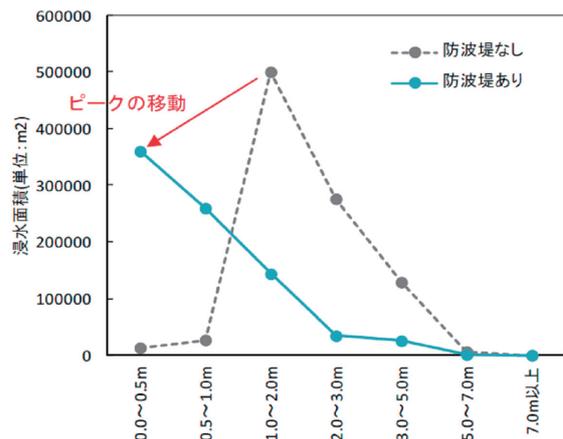


図-4 浸水深レンジと浸水面積の関係の活用イメージ

(4) 最大津波高、前背面水位差、最大流速

東日本大震災による港湾施設の被災を受け、「粘り強い構造」をキーワードとした津波対策が検討されている。中でも、特に重要とされる項目に、最大津波高、防波堤前面と背面の水位差、最大流速が挙げられる。最大津波高と水位差は、主に防波堤ケーソン等の堤体

の安定性照査に用いられ、最大流速は被覆工の安定性照査に使用される。とりわけ津波流速は局所的に非常に大きくなる箇所とそうでない箇所とに分類されるため注意が必要である。具体的には、①防波堤堤頭部、②防波堤開口部等の狭隘な箇所において、極めて流速が速くなる傾向が、本検討の津波シミュレーションにおいても確認されていることから注意が必要である。

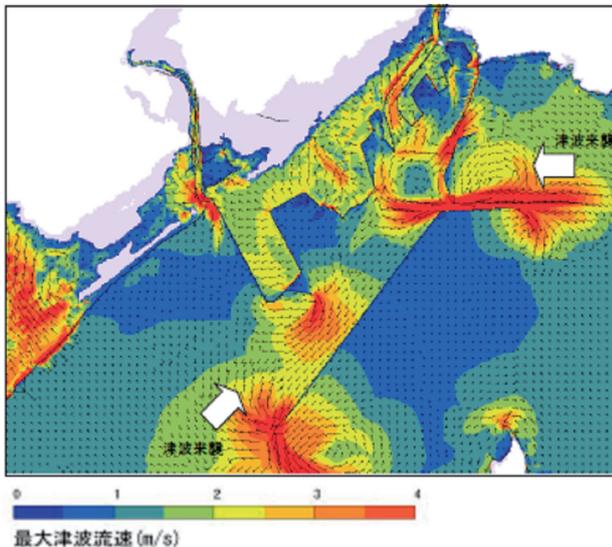


図-5 港湾Gの最大津波流速分布図

3.3 浸水シミュレーション結果に対する考察

モデル港湾10港に対する津波浸水シミュレーション結果から、堤外地+堤内地の浸水量を求め、表-1に示すように、開口幅比と浸水量比を指標として、防波堤がある場合とない場合で比較した。

開口幅比が小さいほど浸水量比は小さくなる傾向にあるが、開口幅比が小さくても浸水量比が1.0に近い港湾(港湾F, G, H)もある。そこで、開口幅比が0.5以下で浸水量比が0.8を上回る港湾を遮蔽効果の低い港湾とし、それ以外は遮蔽効果の高い港湾として、一部の防波堤がない場合も含めて開口幅比と浸水量比の関係を図示した(図-6)。遮蔽効果の高い港湾は港別にも表示した。

浸水シミュレーション結果の考察を以下に要約する。

①防波堤配置と津波の港内流入抑止効果

津波の来襲方向に対して、これを遮蔽する向きに防波堤が配置されている場合には、ある程度の津波の流入の抑止を期待することができる。一方で、海岸線に平行に津波が来襲するような場合は、この向きに有効な防波堤は通常配置されていないため遮蔽効果が乏しい。また、港内に進入した津波が港内で多重反射(場合によっては共振)する場合もあり、防波堤がない場合よりも津波浸水被害が大きくなる場合もありうる。

図-5に示す港湾Gは、正方形に近い湾の隅角部に位置するが、湾口からの津波が海岸線に沿って図示のよ

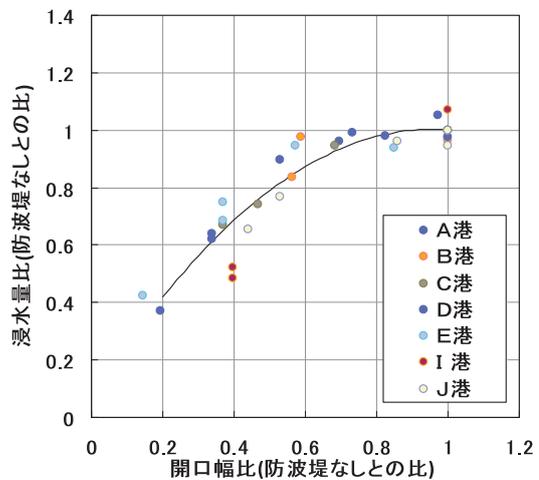
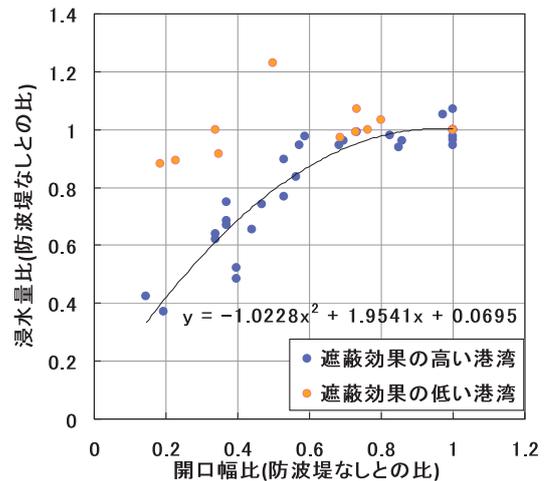


図-6 開口幅比と浸水量比の関係

うに両方から港湾に来襲する。図の右側からの津波に対しては防護効果が高いが、左下からの津波を遮る防波堤は波浪に対しては必要ないため設置されていない。このため、津波の遮蔽効果が低い港湾となる。3本の防波堤で最も長い防波堤が残り、他の2本が壊れた場合は、両方からの津波が防波堤背後でぶつかり合って陸域に向かうためか、防波堤が全く無い場合より浸水量が多くなる(浸水量比≒1.2) 特異な例となった。

②防波堤開口幅と津波の港内流入抑止効果

防波堤の開口幅が小さい港湾ほど、ある程度の津波の流入の抑止を期待することができる。一方で、防波堤の開口幅比が0.6程度以上の開口幅が広いケースでは、津波の進入を食い止めることがほとんどできない。

③防波堤天端高と津波の港内流入抑止効果

防波堤天端高と津波水位の差が小さい(越流水深が小さい)ほど、津波の流入の抑止を期待することができる。ただし、天端を嵩上げて、越流を防いだ場合、防波堤開口部から湾内に進入する津波の流速が速くなることから、天端高(越流水深)と港内への浸水量が単純な相関関係を取るとは限らない(次項で詳述)。

3.4 津波流入抑止対策実施ケースの検討

10 港湾の防波堤天端高とシミュレーションで求めた防波堤前面での最高津波水位を比較すると(図-1), 全ての防波堤で越流が問題となることがわかる。

積極的な津波流入抑止対策として, 防波堤を嵩上げて越流を防ぐことが考えられる。また, 開口部を一部閉鎖したり開口幅を狭めたりすることも効果的と考えられる。その効果を確認するため, 港湾E(図-2参照)については表-3に示すようにケース3, 4として, これらのケースを増やし, 合計6ケースの津波シミュレーションを実施した。

その結果を表-3及び図-7に示す。図-8は開口部通過流量と防波堤越流量を分けて図示したものであるが, 防波堤越流量は相対的に小さいので, 開口部を狭くして流入を防ぐ方が効果的であることが分かる。ちなみにケース0(現況)において, 防波堤からの越流(全流量の約17%)を完全に抑止しても浸水量は9%程度減るだけであった(ケース4)。これは, 越流を完全に抑止しても開口部の通過流量が逆に増加するためである。

一方, 一部の開口部を閉鎖すると効果は高いことが分かる(ケース3)。ただ, 残された開口部の通過流量が増えるため(図-9参照), その効果は若干弱められることが分かった。

表-3 港湾Eの津波シミュレーション実施ケース

港湾	ケース	防波堤状態	開口幅(m)	浸水量(百万m ³)	開口幅比	浸水量比
港湾E	ケース99	防波堤なし	1658	25.05	1.000	1.000
	ケース0	防波堤あり(現況)	613	18.79	0.370	0.750
	ケース1	西防波堤のみ	1405	23.49	0.848	0.938
	ケース2	東防波堤のみ	950	23.72	0.573	0.947
	ケース3	中央開口部以外閉鎖	240	10.62	0.145	0.424
	ケース4	防波堤あり(現況)+嵩上げ	613	17.16	0.370	0.685

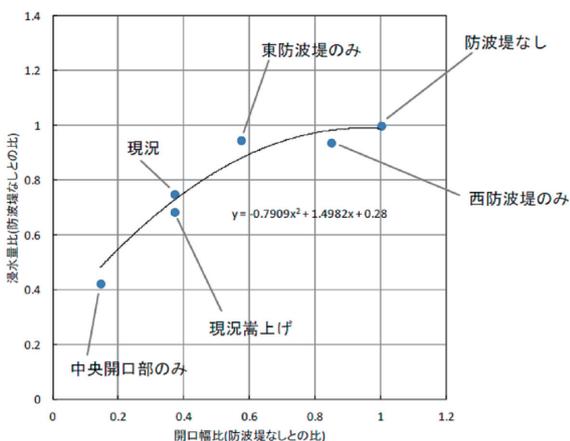


図-7 港湾Eの開口幅比と浸水量比

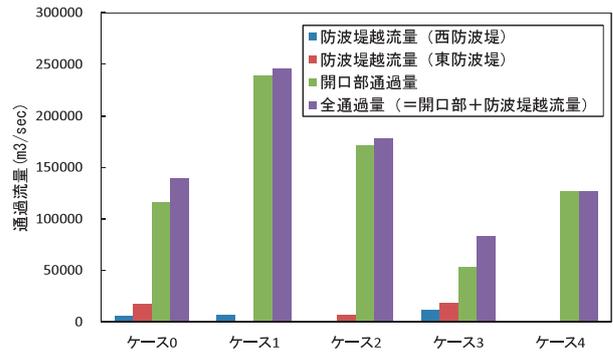


図-8 港湾Eの単位時間当たりの開口部通過流量, 防波堤天端越流量

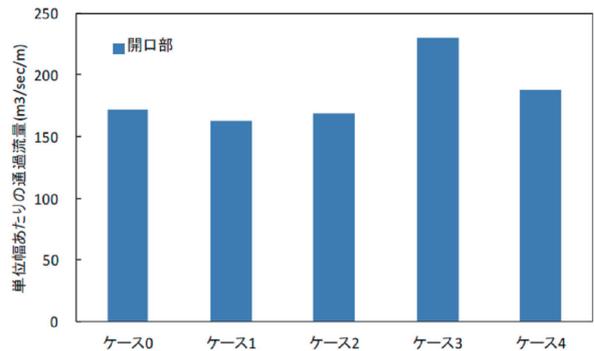


図-9 港湾E開口部の単位幅・単位時間当たりの通過流量

4. まとめ

10 港湾の検討では十分とはいえないが, 既存防波堤の津波減災効果について, 検討結果のまとめを示す。

- ① 津波を設計対象として考慮していない通常の防波堤であっても, 最大クラスの津波に対して防波堤が倒壊しなければ, 津波の流入を抑止する効果が期待できる港湾が多い(10 港中7 港)。
- ② 津波の来襲方向が防波堤法線と平行に近い場合は, 津波の流入を抑止する効果は小さい(3 港)。
- ③ 防波堤の開口幅が小さいほど津波の流入抑止効果は高い。抑止効果の高い7 港でもばらつくが, 防波堤が無い場合に比べ概ね以下になった。
 - ・ 開口幅比が0.4で浸水量が7割に低減する。
 - ・ 開口幅比が0.2で浸水量が4割に低減する。
- ④ 1 ケースのみの検討であるが, 防波堤を嵩上げて越流を抑止しても, 開口部からの流入がかえって増加するため効果は小さい。小さな船通しのような開口部でも遮蔽するなど, 開口幅比を小さくする方が効果的である。

防波堤の半分が崩壊すると抑止効果は殆どなくなるので, 出来れば全延長にわたり越流を許しても倒壊しないような粘り強い構造に補強することが望まれる。本検討が今後の津波検討等の参考になれば幸いである。