

発災時における港の迅速な 応急対策を目指して

高松港湾空港技術調査事務所	調査課	久保 慎太郎
高松港湾空港技術調査事務所	調査課	政岡 和宏
高松港湾空港技術調査事務所	技術開発課	西森 忍

2011年に発生した東日本大震災では地震及び津波により、建築物や構造物、ライフライン等に甚大な被害が発生した。港湾施設においても岸壁の被災に伴い、船舶が着岸できず、物資や人の輸送に大きな影響を及ぼした。現在、四国においては南海トラフを震源とするマグニチュード8～9クラスの地震が今後30年以内に70～80%の確率で発生するとされており、甚大な被害が想定されている。本稿では過去の大規模地震災害における岸壁の使用事例や応急復旧事例を基に検討した南海トラフ地震発生後における岸壁の使用可否判断や暫定使用の考え方について報告する。

キーワード 南海トラフ地震, 岸壁の使用可否判断, 応急復旧

1. はじめに

四国は海に囲まれており、南海トラフ地震発生により本州四国連絡橋が被害を受けた場合、本州からの陸上輸送ができず、災害復旧が長期化する可能性が考えられる。そのため、四国管内の岸壁は発災時の船舶を利用した物資や人の緊急輸送の観点から重要な役割を担っている。

また、南海トラフ地震に対応した「四国の広域的な海上輸送の継続計画」では、南海トラフ地震発生から3日後には緊急物資輸送を開始することを目標としており、岸壁の点検後、速やかに岸壁の使用可否判断を行う必要があるが、被災を受けた岸壁の使用可否を判断する基準がないため、過去の大規模地震における対応事例を基に検討を行ったものである。

じるものの安定性が急激に失われることは少なく、地震後の暫定使用には有利な面がある。

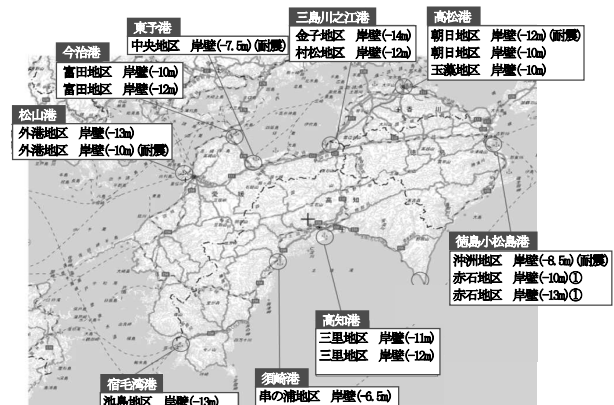


図-1 対象岸壁一覧

2. 南海トラフ地震発生時の四国管内主要岸壁への影響

(1) 検討対象岸壁

四国管内の主要港とそこに位置する岸壁を図-1に示す。一般的な岸壁の形式としては、重力式、矢板式、栈橋式等があるが、四国管内の主要な岸壁のほとんどは重力式である。参考に岸壁の形式別の断面例を図-2に示す。

なお、重力式岸壁は土圧、水圧等の水平作用に対して本体重量によって抵抗するため、地震に対して変形は生

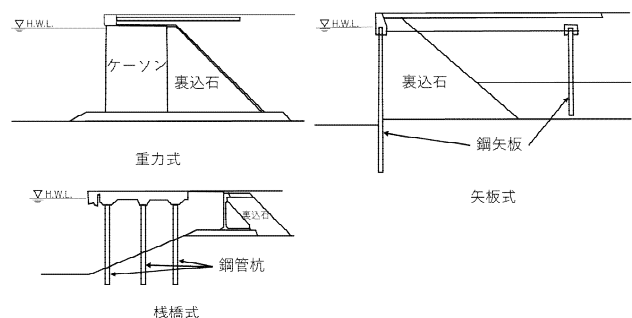


図-2 岸壁の形式別の断面例

(2) 南海トラフ地震による岸壁への影響

地震発生後の岸壁の変位量は二次元地震応答解析による岸壁の耐震性能照査により予測可能であり、過年度業務において、四国管内主要岸壁の耐震性能照査を実施し、東南海・南海地震（発生頻度の高い地震）、南海トラフ巨大地震（最大クラスの地震）の2つの南海トラフを震源とする地震が発生した際の岸壁の水平変位量等を予測している。

3. 過去の大規模地震における暫定使用の事例

(1) 災害時に必要となる岸壁の延長

過去に発生した兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震等では物資輸送船舶が暫定使用した岸壁の利用状況が整理されている。

兵庫県南部地震において整理されている物資輸送船舶の種類別、規模別の隻数を表-1に示す。¹⁾ これによると物資輸送船舶は5,000総トン未満が主流であったことが分かる。（1総トンは船舶の容積を表す指標で7m³≒1総トンで表される。）

なお、艦船等とは自衛隊・海上保安庁が所有している船舶である。

表-1 物資輸送船舶の内訳

トン階級	貨物船	貨客船	カゴボート	艦船等	合 計	割 合
100総トン未満	3	0	1	38	42	7.5%
300総トン未満	3	0	1	59	63	11.3%
500総トン未満	4	0	0	74	78	14.0%
1,000総トン未満	5	0	0	60	65	11.6%
2,000総トン未満	0	1	0	56	57	10.2%
5,000総トン未満	0	0	0	132	132	23.7%
5,000総トン以上	0	0	0	121	121	21.7%
合 計	15	1	2	540	558	100.0%

また、東北地方太平洋沖地震及び熊本地震において自衛隊・海上保安庁の艦船や貨物船等の係留に必要な岸壁延長が図-3及び図-4のとおり整理されている。²⁾ これによると、岸壁延長が130mあれば、官公庁船は95%程度、艦艇・船艇は80%程度、貨物船及びタンカー船は100%係留可能であり、一部の大規模な艦船や官公庁船を除き、ほとんどの船舶が接岸可能であったことが分かる。このため、物資輸送船舶が係留するために必要な岸壁延長としては、少なくとも130mが使用可能な状態で確保できることを目安として考えることとした。

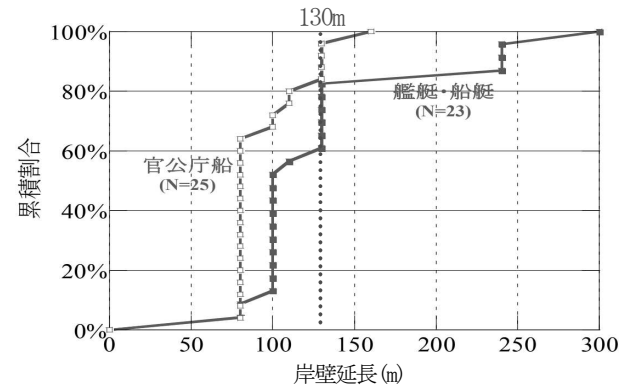


図-3 各船舶係留における必要な岸壁延長
(艦艇・船艇, 官公庁船)

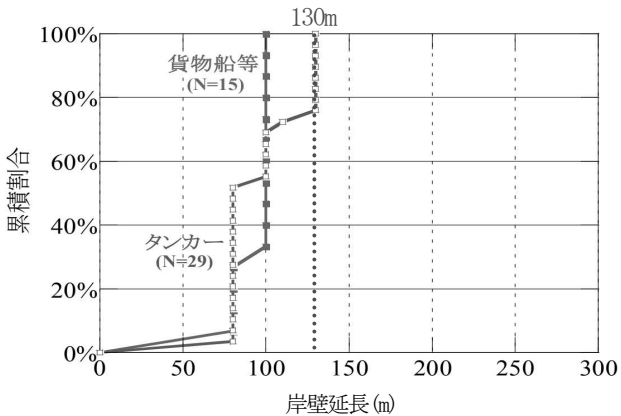


図-4 各船舶係留における必要な岸壁延長
(貨物船, タンカー)

(2) 岸壁の変位状況と岸壁使用事例

過去に発生した地震における岸壁の使用事例としては、兵庫県南部地震では神戸港、東北地方太平洋沖地震では小名浜港で整理された資料がある。神戸港及び小名浜港における岸壁の変位状況について残留水平変位と傾斜角を表-2に示す。^{3) 4)}

表-2 暫定使用岸壁事例

地震	港名	岸壁名	岸壁延長 (m)	残留水平変位 (m)			傾斜角 (°)		
				最大	最小	差	最大	最小	平均
兵庫県南部 地震	神戸港	PC2	300	2.645	2.254	0.391	2.1	1.4	1.8
		PC4	300	2.771	2.122	0.649	2.9	1.2	2.1
		PC7	300	3.634	0.502	3.132	2.2	-0.2	0.7
		RC2	350	1.857	1.431	0.426	0.3	-0.7	-0.2
		RC4	350	4.215	3.386	0.829	3.1	2.5	2.8
		RC7	350	5.208	3.419	1.789	2.2	1.1	1.7
		新港第1突堤西	364	3.650	2.000	1.650	8.0	-	-
		新港第1突堤東	364	3.800	2.000	1.800	-3.0	-	-
		新港第2突堤西	364	1.810	0.360	1.450	0.0	-	-
		新港第2突堤東	364	1.960	0.410	1.550	2.0	-	-
		新港第3突堤西	365	2.120	1.120	1.000	2.0	-	-
		摩耶埠頭第1突堤第1	197	1.530	1.180	0.350	4.0	-	-
		摩耶埠頭第1突堤第2	185	1.340	1.070	0.270	1.0	-	-
		藤原ふ頭岸壁	240	0.300	0.000	0.300	0.8	-	-
東北地方 太平洋沖 地震	小名浜港	藤原ふ頭岸壁	220	0.910	0.000	0.910	2.1	-	-
		大刺ふ頭岸壁	130	0.500	0.000	0.500	1.2	-	-
		5・6号ふ頭岸壁	280	0.600	0.300	0.300	0.6	-	-
		5・6号ふ頭岸壁	240	0.800	0.200	0.600	2.2	-	-
		7号ふ頭岸壁	540	0.900	0.100	0.800	2.0	-	-
		7号ふ頭岸壁	370	0.700	0.300	0.400	2.9	-	-
		7号ふ頭岸壁	130	0.800	0.300	0.500	2.0	-	-

(3) 岸壁の暫定使用可否判断基準

耐震岸壁に求められる基準は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に記載があるものの、岸壁を暫定使用するための基準が示された文献は存在しない。このため、過去の地震発生時における岸壁の暫定使用事例を参考として岸壁の暫定使用可否の判断基準を検討する。

前述のとおり、物資輸送船舶が係留するために必要な岸壁延長は130mとして、兵庫県南部地震における神戸港の岸壁において変位が小さい130m区間を暫定使用するものとして表-3のとおり整理した。

なお、表-2に小名浜港（福島県）で暫定使用された岸壁の事例も整理されているが、神戸港と比べ地震に伴う岸壁法線の残留水平変位が比較的小さいため検討対象から除外することとした。

表-3 兵庫県南部地震における神戸港の岸壁変位状況

岸壁名	岸壁延長 (m)	船舶係留延長 (m)	船舶係留延長での岸壁法線の 水平変位量 (m)			岸壁法線の傾斜角 (°)		
			最大	最小	差	最大	最小	平均
PC2	300	130	2.385	2.254	0.131	2.1	1.4	1.8
PC4	300	130	2.332	2.122	0.210	2.9	1.2	2.1
PC7	300	130	2.372	2.299	0.073	2.2	-0.2	0.7
RC2	350	130	-	-	-	0.3	-0.7	-0.2
RC4	350	130	-	-	-	3.1	2.5	2.8
RC7	350	130	4.000	3.760	0.240	2.2	1.1	1.7
新港第1突堤西	364	130	2.200	2.000	0.200	8.0	-	-
新港第1突堤東	364	130	2.700	2.250	0.450	-3.0	-	-
新港第2突堤西	364	130	1.810	1.670	0.140	0.0	-	-
新港第2突堤東	364	130	1.950	1.650	0.300	2.0	-	-
新港第3突堤西	365	130	1.970	1.680	0.290	2.0	-	-
摩耶埠頭第1突堤第1	197	130	1.500	1.180	0.320	4.0	-	-
摩耶埠頭第1突堤第2	185	130	1.220	1.070	0.150	1.0	-	-

ここで、岸壁の水平変位量に着目すると、RC7岸壁のようにもともとの岸壁法線から最大4.0mの変位が発生しているものもあるが、全体的に水平変位量の最大値と最小値の差を見ると0.3m程度の範囲で出入りしており、各岸壁とも船舶係留延長130m区間については、一定の直線性が保たれた状態になっていることが分かる。

このように、岸壁の暫定使用の可否は最大水平変位量で決まるものではなく、岸壁法線の水平変位量の差の大小で判断されていることが分かる。以上を踏まえ、神戸港の岸壁における延長130m間の岸壁法線の水平変位量と傾斜角を基に暫定使用した岸壁の水平変位量と傾斜角の平均値、標準偏差、許容値について表-4のとおり設定した。

なお、許容値は平均値に対し標準偏差の範囲を有効な値として平均値+標準偏差の値を有効数字1桁で切り上げて設定した。

以上より、岸壁法線の水平変位量3m、傾斜角5°、岸壁法線の水平変位差0.4mを岸壁の暫定使用可否判断基準とした。

これにより、岸壁の使用可否を判断する際には図-5及び図-6に示す箇所を施設点検し、岸壁の変位が許容値に

収まっているかどうかを迅速に確認することが可能である。

表-4 暫定使用延長130mに係る岸壁変位量の許容値

	平均値	標準偏差	平均値+標準偏差	許容値
岸壁法線の水平変位量 (m)	2.22	0.69	2.91	3
岸壁法線の傾斜角 (°)	2.48	1.98	4.46	5
岸壁法線の水平変位差 (m)	0.228	0.102	0.330	0.4

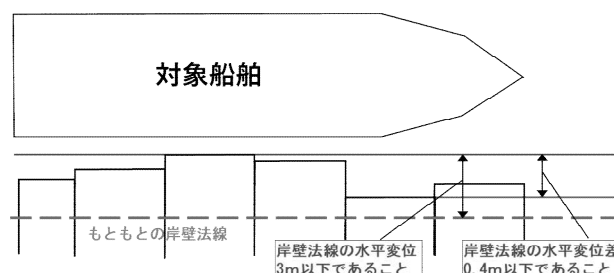


図-5 岸壁の使用可否判断の点検箇所（平面図）

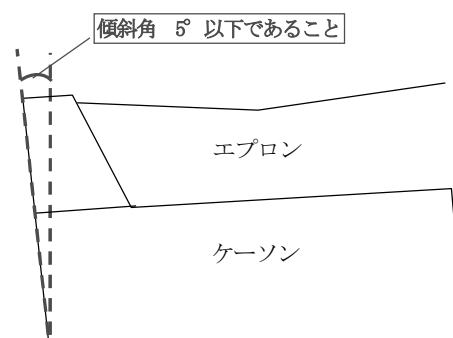


図-6 岸壁の使用可否判断の点検箇所（断面図）

(4) 岸壁の暫定使用における使用制限

岸壁延長130mが確保されていなければ、岸壁の暫定使用ができないのかについて、さらに検討を行った。その結果、船舶を係留するために必要な係船柱が確保できること、岸壁と船舶が接する長さ（本稿では便宜上「パラレルサイド長」と呼ぶ）において必要な防舷材が確保できることといった使用制限を設けることで、岸壁の暫定使用が可能であることが有識者へのヒアリングで明らかとなった。使用制限による岸壁の暫定使用のイメージを図-7に示す。

パラレルサイド長は「港湾の施設の技術上の基準・同解説⁵⁾」に、一般的に船舶の延長の1/3～1/2を目安として良いとの記載がある。例えば、5,000総トンの船舶であれば長さは120m程度であり、その1/2と考えるとパラレルサイド長は60m程度と考えてよい。このパラレルサイド長に対して必要となる防舷材、係船柱の数量を表-5に示す。

なお、岸壁の暫定使用の可否判断にあたって、地震発生後の施設点検においては防舷材、係船柱の位置関係の確認も重要となる。

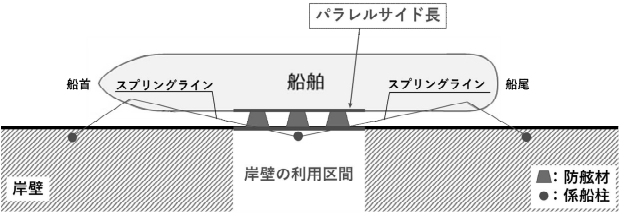


図-7 使用制限を設けての岸壁の使用イメージ

表-5 防舷材及び係船柱の必要最低限基数

項目	必要最低限基数
防舷材	船舶のパラレルサイド長において20mに1基以上
係船柱	船首及び船尾に各1基、スプリングラインに1基の計3基以上

4. 応急復旧の検討

岸壁の暫定使用が可能である場合、最低でも船舶を着岸させ、物資等の荷役を行うことはできる。

しかし、地震により岸壁法線が出入りしていることを考えると、岸壁背後のエプロンは沈下や段差が生じていることが想定される。そのため、地震発生時に迅速に応急復旧が行えるよう、兵庫県南部地震等の過去の地震発生後の岸壁等施設復旧の実績（表-6参照⁶⁾）を参考にして四国管内主要岸壁における各岸壁の応急復旧の検討を行った。

表-6 応急復旧の内容

工事種別	目的	工事内容
緊急復旧仮工事	地震直後の救援物資などの受け入れのため、緊急使用が可能とみられる岸壁について、必要最小限の機能の確保を目的として実施する工事。	沈下箇所への土砂・碎石等による埋め戻し、不陸整正、仮設防舷材設置等必要最小限かつ比較的簡単な復旧工事。
緊急復旧工事	本格復旧前に供用を開始しなければ民生安定上及び産業活動上重大な支障を及ぼすと判断される施設について暫定使用を目的として実施する工事。	上部工：上部コンクリート嵩上げ、架設防舷材の設置、係船柱の補強 エプロン、裏埋土：覆工板オーバーレイ 碎石、土砂による埋戻し 舗装復旧 目地部：袋詰め碎石投入、コンクリート打設 基礎捨石：浚渫
本格復旧工事	岸壁の所期の機能を回復することを目的として、実施する工事。	被災後の変状に応じて法線の変更を含めた対策断面の復旧工事。

重力式岸壁の応急復旧としては、背後エプロンの沈下部分の埋戻しが想定される。背後エプロンの沈下部分を埋戻しする復旧イメージを図-8に示す。

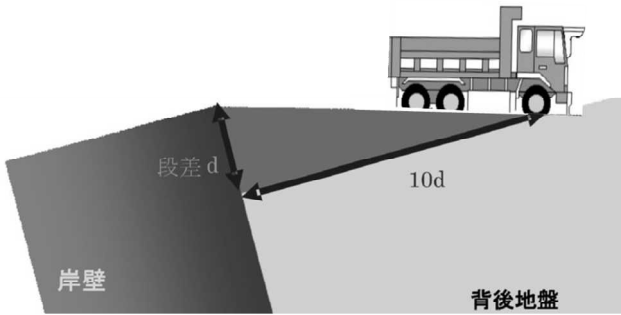


図-8 埋め戻しによる復旧イメージ

5. まとめ

本検討により、地震発生後の施設点検及び岸壁の暫定使用の可否判断の迅速化が期待できる。

また、船舶を係留するために必要な係船柱及びパラレルサイド長において必要な防舷材が確保できれば、岸壁延長が130mなくても暫定使用ができる。

本検討をによる知見が南海トラフ地震による被災地の早期復旧の助力になれば幸いである。

参考文献

- 1) 運輸省 港湾技術研究所：港湾技研資料No.861 兵庫県南部地震時の震災直後における海上輸送モードの対応状況に関する分析
- 2) 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所：国土技術政策総合研究所資料No.942 大規模災害時の緊急支援船の船型・対応係留施設の分析―東北地方太平洋沖地震及び平成28年熊本地震の例―
- 3) 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所：港湾技研資料No.1291 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による港湾施設等被害報告
- 4) 運輸省 港湾技術研究所：港湾技研資料No.857 1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告
- 5) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説
- 6) (財)沿岸開発技術研究センター：「岸壁の耐震補強工法の考え方」と「ケーソン式岸壁の地震災害復旧マニュアル」