

# 港湾における護岸等の耐震性調査・ 耐震改良のためのガイドライン

平成 30 年 6 月

国土交通省 港湾局

## はじめに

石油コンビナートや工場が立地する臨海部における埋立地等の地盤は、護岸や岸壁などに支えられている。高度経済成長期に整備された多くの民有護岸等は、整備後40年以上経過して老朽化が進む一方、南海トラフ地震や首都直下地震等の地震が切迫しており、損壊のリスクが高まっている。

護岸等が損壊した場合、背後地盤を支える機能や波浪等から背後地を守る機能を失うだけでなく、背後地盤等の流動に伴う背後の生産・貯蔵施設への影響や工場全体の生産活動が停止するおそれがある。また、航路に近接した護岸等が倒壊した場合、船舶航行に支障を及ぼすなど港湾活動に大きな影響を及ぼすおそれもある。

このため、損壊時の影響を考慮して護岸等の耐震性を適切に認識・評価した上で、耐震性が不足するものについては耐震改良を進める必要があるが、その技術的な難しさや費用負担等から耐震性調査や耐震改良は進んでいない。

本ガイドラインは、民間事業者が所有する護岸等の耐震改良に際しての技術的な支援のため、耐震性調査や耐震改良の手法について解説する。耐震性調査については、優先的に耐震改良を行う箇所を把握することを目的として、チャート式耐震診断システム等を利用し簡易かつ安価に護岸等の耐震性を把握する手法を提示する。耐震改良については、費用等の負担を軽減するための耐震改良の考え方や耐震改良工法を提示する。また、民有護岸等を耐震改良する際の支援制度について紹介する。

本ガイドラインは、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）レジリエントな防災・減災機能の強化（課題名：大規模実証実験に基づく耐震性の強化）及びインフラ維持管理・更新・マネジメント技術（課題名：アセットマネジメント技術の研究開発）と、平成29年度港湾施設の護岸等における簡易・簡便な耐震調査手法及び耐震改修工法に関する検討業務における検討の成果を活用し、国土交通省港湾局が策定したものである。取りまとめに際しては、港湾施設の護岸等における簡易・簡便な耐震調査手法及び耐震改修工法に関する検討委員会による、技術的な検討結果を踏まえて策定した。

港湾施設の護岸等における簡易・簡便な耐震調査手法及び  
耐震改修工法に関する検討委員会 名簿

区 分	氏 名	所 属 先
委員長	末政 直晃	東京都市大学 工学部都市工学科 教授
委 員	菅野 高弘	(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 上級専任研究員 (SIP 研究責任者)
委 員	小濱 英司	(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 耐震構造研究グループ長 (SIP 研究担当者)
委 員	西 晴樹	総務省 消防庁 消防研究センター 火災災害調査部長 (SIP 研究責任者)
委 員	加藤 雅啓	国土交通省 港湾局 海岸・防災課長
委 員	西尾 保之	国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室長

## 目 次

第1章 総則	1
1.1. ガイドラインの趣旨	1
1.2. 民有護岸等の現状と耐震性確保に係る課題	3
1.3. ガイドラインの対象範囲	12
第2章 耐震性調査手法	13
2.1. 簡易・簡便な耐震性調査の調査手順	14
第3章 護岸等の耐震改良工法	21
3.1. 耐震改良の必要性	21
3.2. 事前の耐震改良のメリット	21
3.3. 耐震改良を行う事業者の考え	24
3.4. 一般的な護岸等の耐震改良工法の考え方	24
3.5. 耐震改良に係る負担軽減の着眼点	25
3.6. 負担軽減を可能とする耐震改良工法の事例	27
第4章 民有護岸等の耐震改良のための支援制度	37
解説	解-1
A. チャート式耐震診断システムの貸与申請等の窓口	解-2
B. 港湾の施設の技術上の基準とその変遷	解-3
C. 護岸等の重要度の設定の考え方	解-8
D. 基本情報による耐震診断の判断基準	解-10
E. チャート式耐震診断	解-12
F. 共有地盤情報の入手と留意点	解-33
G. PDC・表面波探査法による地盤情報の入手	解-34
H. 耐震性の判断基準と耐震対策の必要性の判断	解-40
I. 耐震性に係る点検診断	解-58
J. 総合判定の一例	解-65
K. 栈橋の耐震診断	解-66
L. 技術基準・同解説に基づいた耐震照査	解-68
M. 護岸等の耐震改良に係る許認可等について	解-73

## 第1章 総則

### 1.1. ガイドラインの趣旨

1960年代からの高度成長期に石油コンビナートや各種工場群が臨海部の港湾に建設され、日本の経済発展に大きく貢献してきた。これら臨海部のコンビナート地域は、一般に河口部や沿岸部に造成された埋立地等に立地している。これらの埋立地等の地盤は、周囲の護岸や岸壁等により土留めされ、潮汐や波浪、津波による浸食等から防護されることにより、種々の構造物や施設が立地することが可能となっている。

南海トラフを震源域とする巨大地震は、これまで100年～150年程度ごとに繰り返し発生しており、近い将来の発生が懸念されている。東北地方太平洋沖地震の震源域を含む日本海溝や関東大震災の震源域を含む首都圏に近い相模トラフでも、過去に繰り返し巨大地震が発生していることが知られている。さらに、こういった巨大地震の前後に陸域の活断層を震源とする地震活動が活発になるとも言われており、地震に対する備えの重要性が高まっている。一方、臨海部の埋立地は、一般に地盤が軟らかいため地震動が大きく、埋立て材として使用されている砂や砂質土は、地震による液状化が発生する可能性が高い。また、臨海部において護岸等の多くが整備された1960年代から1970年代ころは、設計や施工における地震力や地盤の液状化に関する知見が十分でなく、護岸等の維持管理体制も整備されていなかった。このような背景から、十分な地震への耐力を有しない老朽化した施設が、急増すると考えられる。

1995年に発生した兵庫県南部地震の被災事例からは、地震と液状化によって護岸等が倒壊するばかりでなく、液状化による側方流動が数十mから数百mの陸側区域に及び、埋立地盤の水平変位や沈下の影響が発生する可能性があることが示唆された。護岸の背後には構内道路や配管類等のみならず、重要な生産施設や貯蔵施設もあり、岸壁や栈橋等の係留施設は荷さばき施設とともに原材料や生産品類の入出荷に関係しているため、護岸等が損壊すると事業継続にとって大きな打撃が生じることも想定される。さらには、航路に面した護岸等が地震により倒壊した場合には、背後地盤の液状化による流動、潮汐による潮位の干満や津波等により護岸背後の土砂等が前面海域に流出する恐れがある。流出した土砂により航路が埋没すれば、船舶の航行に支障を及ぼし、緊急物資輸送やサプライチェーンに影響を及ぼす事態も想定される。

既設護岸等の民間業者が保有する施設の耐震性を確認するための一般的な方法は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下「技術基準・同解説」という。）の性能照査手法によるものである。ただし、技術基準・同解説の方法により耐震性を確認するには多くの費用や時間が必要になるなど、事業者の負担は小さくない。特に、施設延長が長く、多様な構造形式の護岸等の全長に、この方法を適用して耐震性の診断を行うことは、相当な困難を伴うことも想定される。

また、既存施設の改良に当たっては、現行の港湾の施設の技術上の基準（以下「技術基準」という。）に適合する必要があるため、施設が少なくともレベル1地震動に対する耐震性を確保しなければならない。また、護岸等の位置づけにより、レベル2地震動に対す

る耐震性の確保が必要な場合もある。

一般的には、**図 1-1** に示すように、護岸等は陸側から航路側への恒常的な土圧を支えているが、地震により（液状化発生を含む）護岸等の背後地盤からの土圧が増大し、護岸等の支える力を上回った際に護岸等が損壊する。このため一般的な耐震改良工法は、支える力を増大させるか、土圧や液状化による作用を低減させる必要がある。特に液状化対策は背後地利用への支障や対策費用の増大など大きな経済的負担が生じる傾向がある。

そこで、本ガイドラインでは、チャート式耐震診断システム等を利用した簡易かつ安価に護岸等の全延長の耐震性を把握する手法を提示することにより、耐震性を考慮する上での目安を示す。また、費用等の耐震改良に係る負担を軽減するための耐震改良の考え方や耐震改良工法を示す。

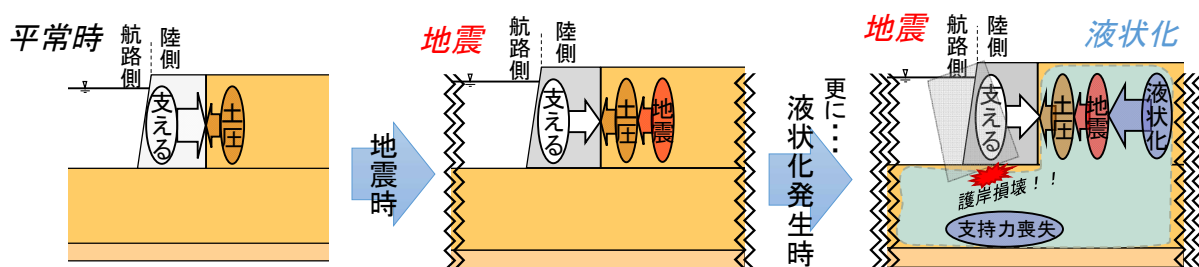


図 1-1 地震による護岸等の損壊のメカニズム

## 1.2. 民有護岸等の現状と耐震性確保に係る課題

本ガイドラインでは、臨海部にある工場等の地盤を支える構造物である護岸、岸壁及び物揚場を総称して「護岸等」とする。護岸等は、技術基準上ではその機能により、護岸が外郭施設、岸壁及び物揚場が係留施設と分類されているが、いずれの施設も背後地盤を土圧、地震動、波浪等の作用に対して安定的に土留めし、越波や高潮から背後地を防護するとともに、埋立土の流出を防ぐ<sup>1)</sup>重要な機能を担っている抗土圧構造物であることに着目し、本ガイドラインでは「護岸等」として扱う。

護岸等は、**図 1-2** や**図 1-3** に示すように、護岸等の背後に構内道路、パイプライン、荷役機械に加えて、生産施設や貯蔵施設等が立地している他、護岸の直前面に原料や製品の入出荷用棧橋が立地している場合もある。このため、護岸等が損壊するとこれらの施設にも影響を及ぼすことが想定される。

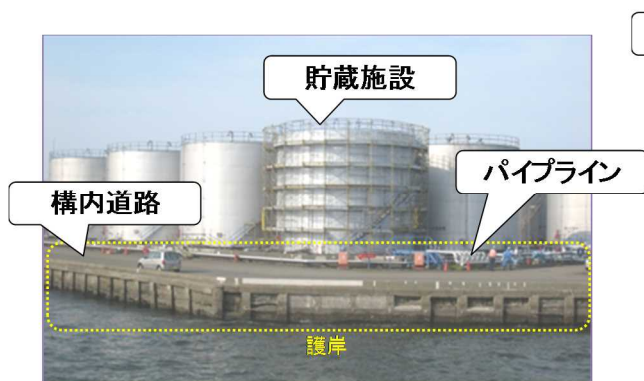


図 1-2 護岸の例

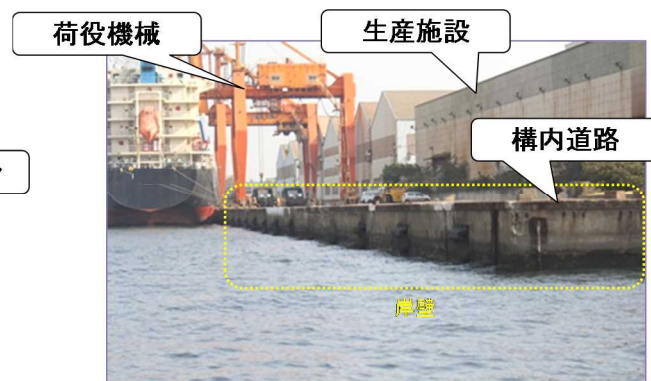


図 1-3 岸壁の例

護岸等に求められる耐震性の検討には、「耐震性に影響を与える要因」と「耐震性不足が与える影響」を把握する必要がある。

まず、護岸等の耐震性に影響を与える要因には、「地震力等の作用」と「護岸等が保有する耐力」がある。両者を比較して耐力が作用を上回っていれば護岸等の耐震性が確保されており、下回っていれば護岸等の耐震性が不足していることになる。耐震性を確保した上で整備された護岸等が耐震性不足となりうる理由は、劣化による耐力の減少、そして、新たな地震学の知見を踏まえた想定地震力増加である。このため、既存の施設が耐震性を有するか否かの判断には、「劣化」及び「現行の地震力と設計時耐力の比較」を考慮する必要がある。

次に、耐震性不足が与える影響としては、直接的な護岸等の機能に係る影響や、それに伴う事業活動への影響、航路への影響が挙げられる。例えば、護岸等の機能に係る影響として、背後地盤を支えられないことや地震により護岸沈下が生じ、天端高不足によって越

1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 p.900

波量が増大すること等の機能の低下が想定される。

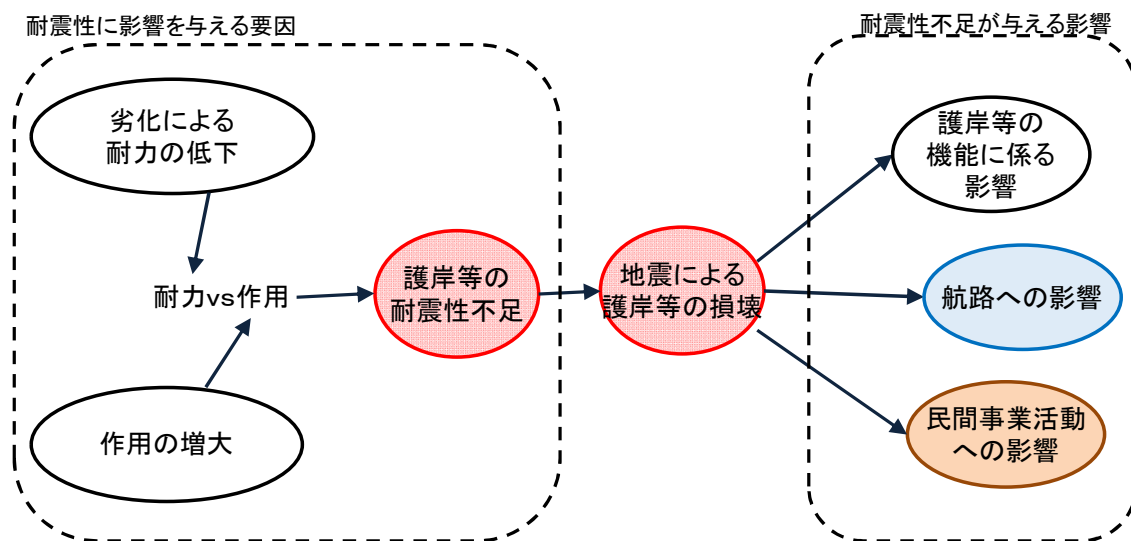


図 1-4 護岸の耐震性の検討に必要な事項

### 1.2.1. 民有護岸等の構造形式と築造年

護岸等の主な構造形式としては以下のようなものがある。

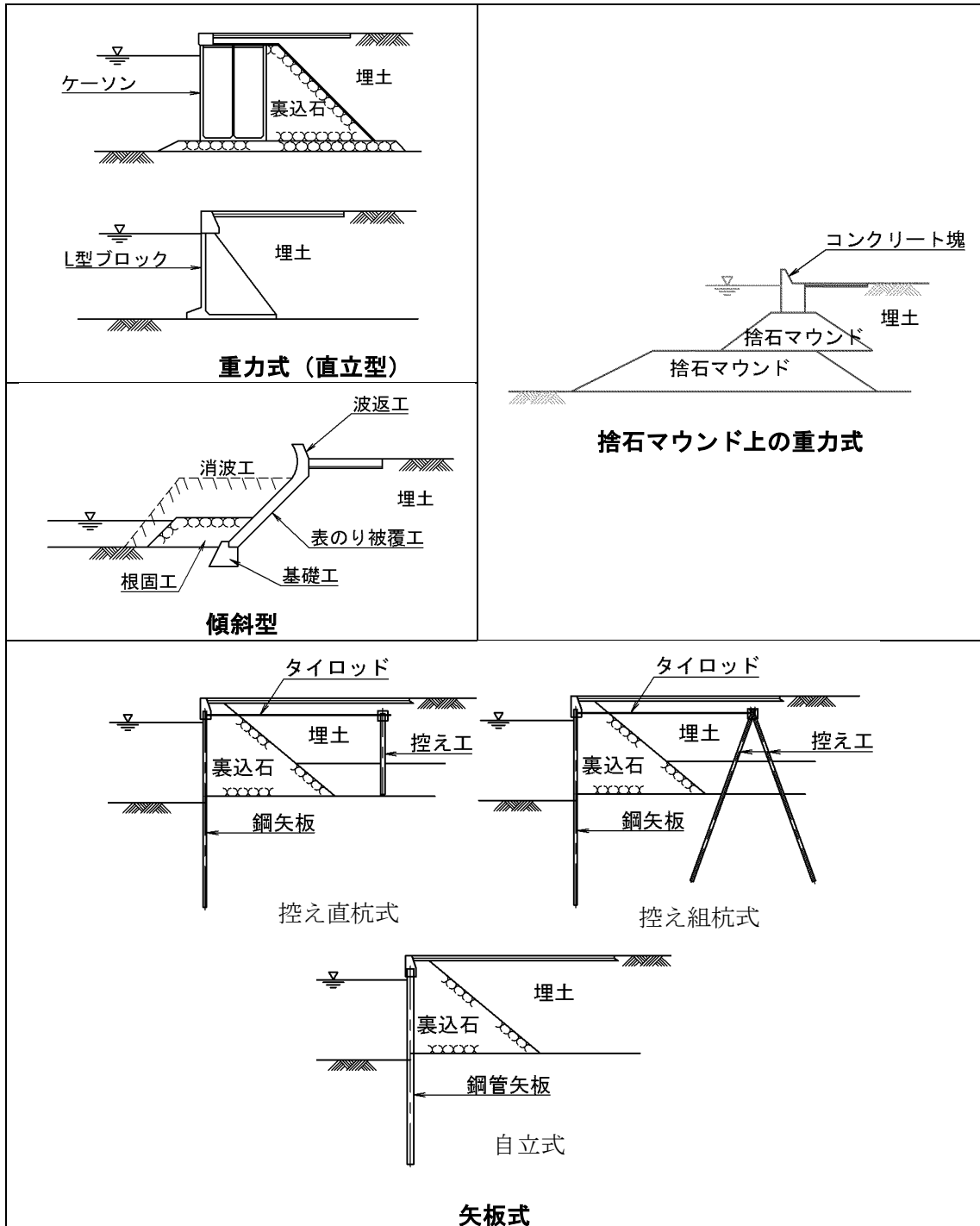


図 1-5 護岸等の構造形式概略図

民間事業者が所有する護岸等（護岸、岸壁、物揚場）の施設延長は、全国の重要港湾以上の港湾において750km程度あり、表1-1に示すように、施設別では護岸が74%、岸壁と物揚場で26%となっている。また、構造形式では護岸において重力式（直立型）が延長の74%を占め、これに傾斜型を加えると約90%となり、重力式護岸（直立型・傾斜型）が最も多い構造形式である。一方、岸壁（水深-4.5m以上）では矢板式が最も多い構造形式であり、延長の58%を占める。民有護岸等の施設全体に対しては、重力式（傾斜型を含む）は約70%、矢板式は約17%となっている。

表 1-1 民有護岸等の施設状況<sup>2)</sup>

施設種類	構造形式	延長(km)	割合
護岸 (74%)	重力式(直立型)	406	
	傾斜型	85	
	矢板式	21	
	その他	14	
	不明、未記入	25	
	小計	551	
岸壁 (22%)	重力式	27	
	矢板式	94	
	その他	17	
	不明、未記入	24	
	小計	162	
物揚場 (4%)	重力式	7	
	矢板式	12	
	その他	2	
	不明、未記入	9	
	小計	30	

2) 国土交通省港湾局調べ（延長を確認できた施設に限る。）

表 1-2 に示すように、民有護岸等の大多数が整備後 40 年以上経過しており、2018 年時点でみると整備後 50 年以上経過している施設（1968 年以前に整備された施設）が約 3 割となっている。更に、今後 10 年間で整備後 50 年以上経過する施設は 5 割超まで増えることが予想される。港湾施設の一般的な設計上の耐用年数が 50 年と設定されている実態に照らすと、耐用年数を超過した施設が現在も一定量存在しているが、今後 10 年間で急増することが予想される。

表 1-2 構造形式毎の整備後からの経過年数<sup>3)</sup>

施設種類	経過年数	延長(km)				計	割合
		重力式	傾斜式	矢板式	その他		
護岸	10年以内	1	1	0	0	2	
	10～40年	51	10	3	2	66	
	40～50年	98	26	11	2	138	
	50年以上	111	23	5	2	142	
岸壁	10年以内	1		1	0	2	
	10～40年	7		15	2	24	
	40～50年	6		48	8	62	
	50年以上	10		23	9	43	
物揚場	10年以内	0		1	0	1	
	10～40年	0		2	0	2	
	40～50年	0		2	0	2	
	50年以上	3		5	0	8	

(表 1-1 の「不明、未記入」及び「整備期間未記入」は除く。) ■ 10年以内 ■ 10～40年 ■ 40～50年 ■ 50年以上

### 1.2.2. 港湾の施設の技術上の基準の変遷

多くの護岸等の整備が始まった 1960 年代以降における技術基準の主な改訂年度は、1967 年（昭和 42 年）、1979 年（昭和 54 年）、1989 年（平成元年）、1999 年（平成 11 年）、2007 年（平成 19 年）である。港湾の施設の技術上の基準の変遷については、**解説 B** に詳細を示す。1973 年（昭和 48 年）より前に制定・改訂された技術基準は、主に国有施設の整備に用いられた。地震観測記録等の蓄積と分析等により地震力や地震時の構造物や地盤の挙動に関する知見が蓄えられ、技術基準に順次反映されてきた。

液状化に関しては、1964 年の新潟地震までは構造物への影響について明確に認識されていなかったため、1979 年（昭和 54 年）に改訂された基準から液状化を考慮した設計が反映された。同基準から、地盤の液状化が生じると土圧の増大や支持力の低下、構造物の沈下等により重大な被害につながる現象が起こるため、設計供用期間中に発生する可能性の高い地震に対しては、基本的には液状化を許容せず、液状化が生じるおそれのある地盤に

3) 国土交通省港湾局調べ

は液状化対策を行うという設計思想へと大きく変わった。

また、兵庫県南部地震（1995）により、最大加速度 500～800gal（ $\text{cm/s}^2$ ）レベルの地震動が発生し、港湾施設が壊滅的被害を受けた。この地震は、それまで耐震設計において想定していた供用期間中に1～2回起こり得る地震動の強さを大きく上回るものであり、発生確率は低いものの海洋型地震や直下型地震で起こり得るものであった。このため、施設の重要度に応じて、こうした地震動も含めそれぞれの地震動に対して確保すべき性能（耐震性能）を設定することの必要性が認識された。この結果、供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）と、再現期間数百年のプレート内地震動や陸地近傍のプレート境界型地震動のように供用期間中に発生する確率が低いが大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）の二段階の地震動レベルに対して、施設の重要度に応じた耐震性能を定め、それに基づいた耐震設計を行う設計思想へと大きく変化することとなった。

また、2007年（平成19年）に改訂された基準では、設計手法や構造物の形状・材質といった手段を直接規定する仕様規定から、求められる性能のみを規定する性能規定へと移行した。また、レベル1地震動の考え方も、それまでの地域別震度×地盤種別係数×重要度係数＝設計震度を求めるという考え方から、工学的基盤面での地震動を地表面地震動へと変換した後、構造形式や大きさ、許容変形量を考慮して照査用震度を算出するという考え方に大きく変わった。このため耐震設計においては、震源特性・伝播経路特性・サイト特性等を考慮した、構造物ごとのより精確な地震動を用いることとなった。

以上より、既存の護岸等の多くは、以下の点を十分に考慮する必要がある。

- ・技術基準の改訂のたびに耐震技術が高度化しているため、従前の技術基準で整備された護岸等は、現行の技術基準に照らして十分な耐震性を確保できていない<sup>4)</sup>可能性がある。
- ・地盤の液状化は護岸等の安定性を大きく損なうが、1979年の基準以前に整備された護岸等は設計時に液状化が考慮されておらず、護岸等の支持地盤や背後地盤で液状化が発生する場合、耐震性が確保できていない可能性がある。
- ・2007年以降の技術基準への適合性の確認には、構造物ごとのより精確な地震動を求める方法に大きく変わったため技術的な困難さがある。

---

4) 既存の護岸等は、港湾法第56条の2の2の規定に基づき、法令上整備時の技術基準に適合している義務があるものの、港湾の施設の技術上の基準を定める省令（平成19年国土交通省令第15号）附則により、改良工事に着手する場合を除き、経過措置により現在の技術基準の規定は適用しないこととされている。但し、現在の技術基準に適合していないということは、現在生じうるレベル1地震動により損壊する蓋然性が高いということには留意する必要がある。

### 1.2.3. 護岸等の損壊によって想定される事態

護岸等の整備が急速に進んだ 1960 年代以降、現在までの約 60 年間に、全国各地で大規模な地震が発生し、多くの護岸等が被災した。ここでは主な被災事例を示す。

まず、護岸等の損壊により、直接的な要求性能に影響が生じた例である。この事例では、1995 年の兵庫県南部地震時に、地震力と背後地盤の液状化のため、重力式の護岸が 3.5m 程度海側に変位し、天端が 2m 程度沈下した。また、一部区間では完全に倒壊し背後の埋土が流出するとともに、背後地を波浪や越波から防護する機能も消失している。

この事例のような重力式の場合、ブロック毎に水平変位が異なる事によって護岸法線が凹凸状になるため、ブロック目地部の相対変位が大きくなると目地部から背面土砂の吸出しや流出が起こる被害が発生する。

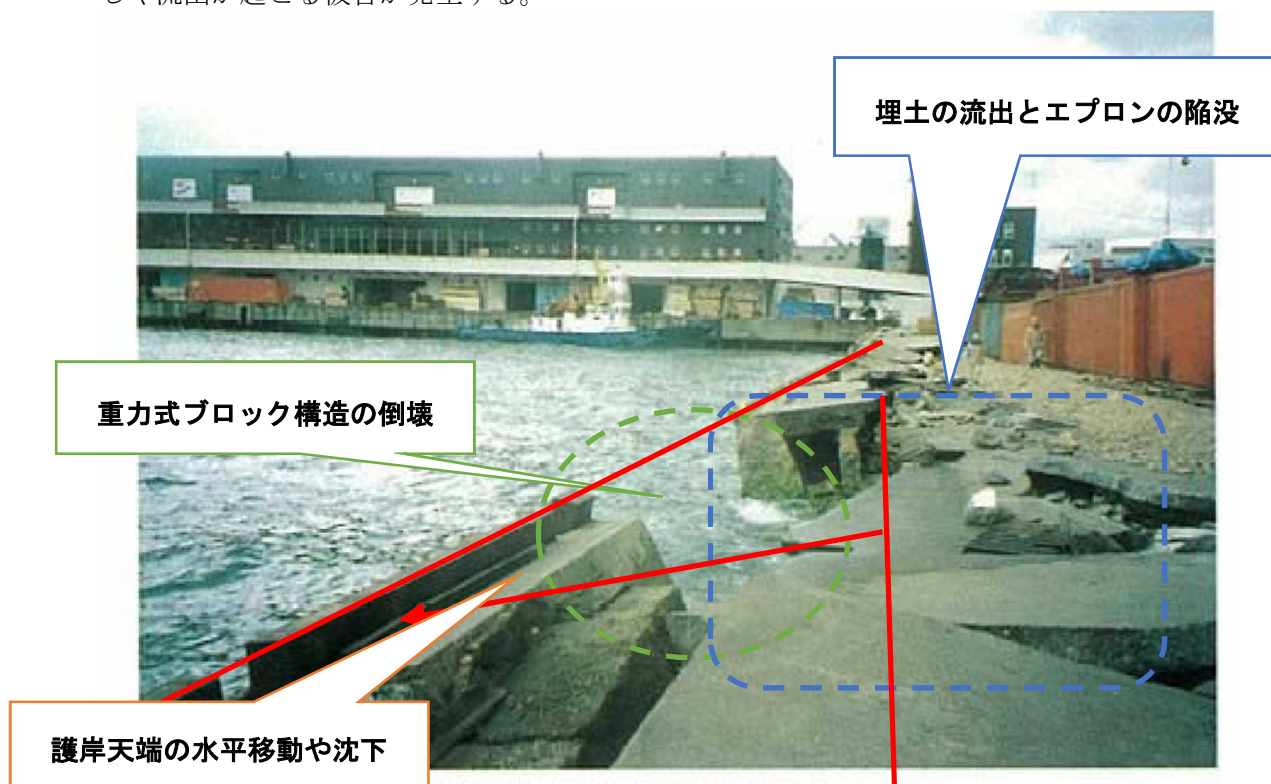


図 1-6 被災事例（護岸の要求性能に係る影響の例）<sup>5)</sup>

5) 稲富隆昌, 善功企, 外山進一, 上部達生, 井合進, 菅野高弘, 寺内潔, 横田弘, 藤本健幸, 田中祐人, 山崎浩之, 小泉哲也, 長尾毅, 野津厚, 宮田正史, 一井康二, 森田年一, 南兼一郎, 及川研, 松永康男, 石井正樹, 杉本盛行, 高崎伸彦, 小林延行, 岡下勝彦: 1995 年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告, 港湾技研資料 No. 857, 1997. 3

次に、護岸等の損壊により、航路へ影響が生じた例である。2005年福岡県西方沖地震では、重力式の埋立護岸が倒壊・決壊したことにより、護岸背後の埋立地の土砂が護岸から最大1km離れた航路・泊地まで流出し、航路・泊地内においては約38万m<sup>2</sup>の範囲に堆積し、航路及び航路～護岸間に堆積した土量は約60万m<sup>3</sup>と算定された。この際、護岸から概ね600mの範囲については土砂が2m以上の厚さで堆積し、約1年間にわたって船舶航行にも大きく影響を与えることとなった。

また、2011年東日本大震災でも、鹿島港において護岸等が損壊したこと等により背後の土砂が流出し、その後長期にわたって船舶航行が制限された。このように、護岸等の損壊により土砂が流出し、船舶航行に長期間に亘って影響が生じる可能性がある。

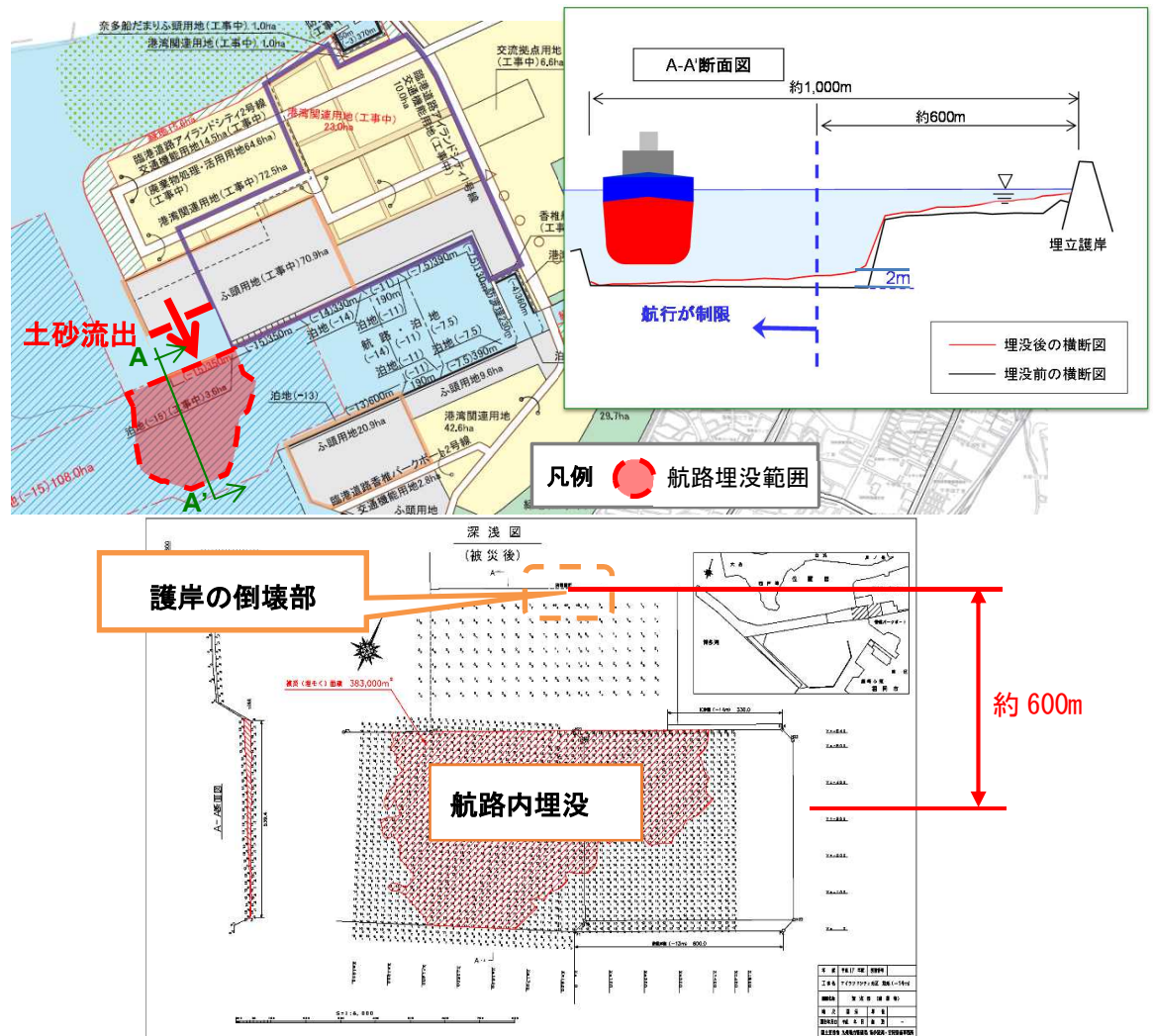


図 1-7 航路への影響の例



### 1.3. ガイドラインの対象範囲

本ガイドラインは、護岸、岸壁及び物揚場を総称した「護岸等」を対象とする。

その理由は、護岸等の倒壊は、護岸等の背後地盤を支持できなくなることにより、背後地盤が変状し、これが背後に立地する各種施設に影響を及ぼす可能性があること、また、施設前面（海側）に関しても、護岸等の倒壊は護岸等の背後地盤の流出を引き起こし、航路への土砂堆積等により船舶航行に影響がある可能性があるためである。なお、水域にある栈橋も、倒壊により航路や事業活動に大きな影響を及ぼす可能性があるが、これについては解説Kを参照されたい。

作用として想定する地震動は、設計供用期間中に発生する可能性の高い地震動であるレベル1地震動、その地点における最大規模の強さを有する地震動（太平洋側は南海トラフを震源域とする地震動等も含む）であるレベル2地震動とする。なお、太平洋に面する地域など津波が支配的な作用となる可能性のある地域は、津波に対する検討も別途必要であるが、本ガイドラインでは、護岸等の耐震性が確保され構造的に安定であれば、後続する津波や潮汐によってさらなる被害は生じないものとして考える。

図 1-9 に耐震改良までの流れとガイドラインの対象範囲を示す。なお、本ガイドラインで用いる耐震性調査手法は、技術基準・同解説に基づいた方法と比較して厳密性には劣るが、簡易・簡便な方法により短期間かつ安価に実施できるため、延長が長く様々な構造形式が連続する護岸の弱部を把握するための手法としての利用を想定する。

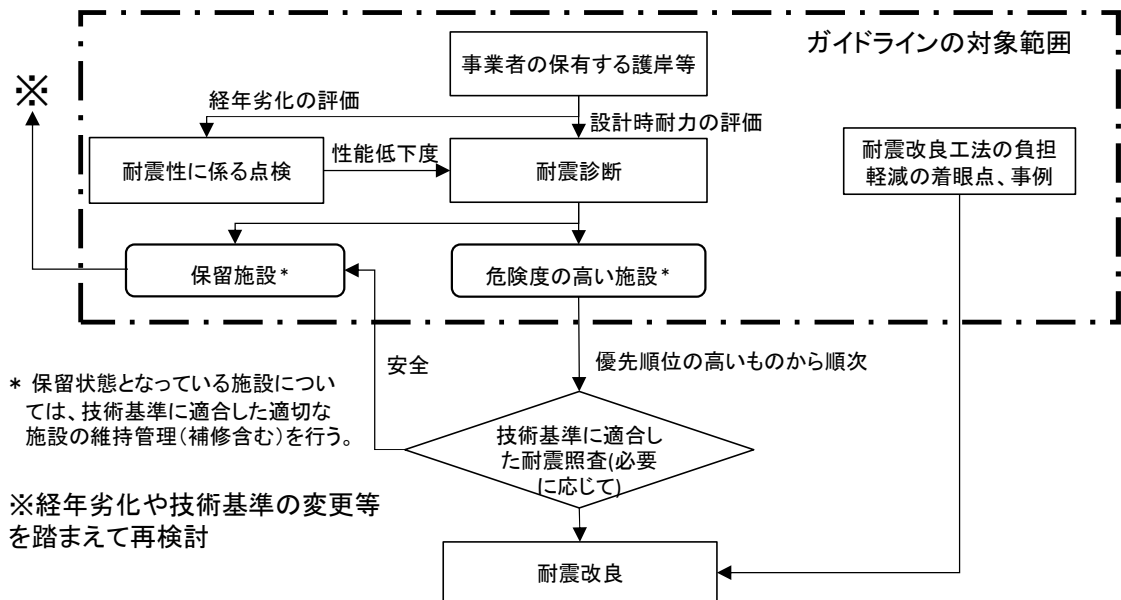


図 1-9 耐震改良までの流れとガイドラインの対象範囲

## 第2章 耐震性調査手法

本章では、しばしば延長が長く、多様な構造形式が存在する既設護岸等の所有・管理する全延長に対して、耐震改良に優先的に取り組む箇所を把握することを目的として、与えられた地震動に対する護岸等の変位、その際の背後陸域や前面水域への影響範囲の算出方法や判断基準等を提示することに主眼を置く。

本手法では、護岸等の基本的な情報（構造形式や水深等）と地盤情報（N 値等）から、地震による変位量（推定値）を簡単に Excel 上で出力できる「チャート式耐震診断システム」<sup>7)</sup>（無料ソフト）<sup>7)</sup> を活用することを中心としている。この結果と背後陸域の施設や護岸等の重要度、構造物の劣化状況等を踏まえて危険度の高い護岸等、耐震改良の優先度が高い護岸等を抽出する。

耐震診断結果のイメージ図を図 2-1 に示す。

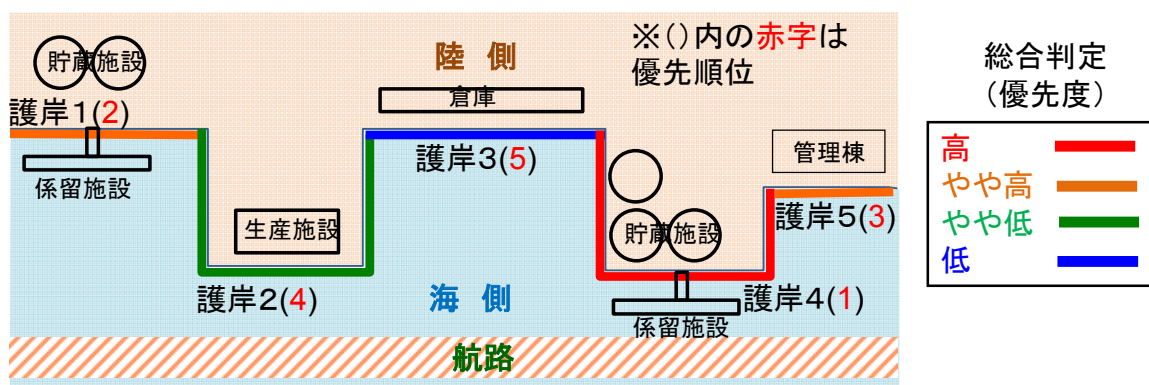


図 2-1 耐震診断結果の図化のイメージ

7) チャート式耐震診断システムは、各地方整備局等に設けられた「港湾における液状化相談窓口」（解説A参照）に貸与申請を行うことで、無料にて利用可能。

## 2.1. 簡易・簡便な耐震性調査の調査手順

図 2-2 に耐震性調査のフローを示す。

1.2 で述べたように、既設護岸等の耐震性を把握するに当たっては、劣化により設計時耐力から減少した施設の耐力と現行の地震作用を比較することが望ましいが、劣化が設計時耐力に与える影響を定量的に評価することが現状では技術的に難しい。本ガイドラインでは、設計時耐力と現行の地震作用の比較（図 2-2 中の②～④）と劣化（図 2-2 中の⑤）を独立して評価し、最終的に「施設の重要度」、「設計時耐力と現行の地震作用の比較」及び「劣化」の状況を総合して評価するフローとしている。

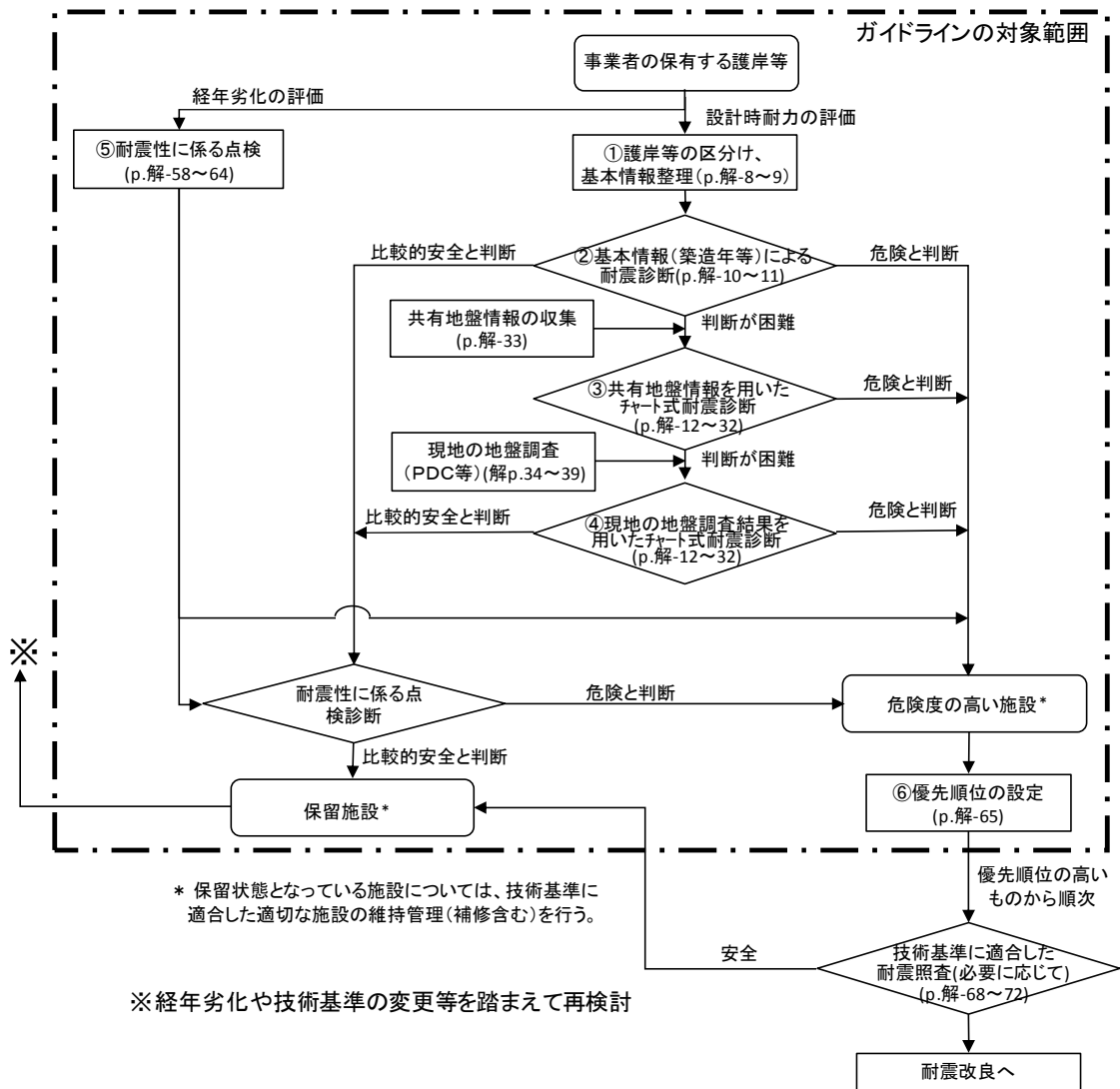


図 2-2 耐震性調査のフロー

以下では、図 2-2 中の①～⑥について手順を示す。

### ①護岸等の区分け、基本情報整理

施設台帳や設計図書、工事完成図書といった護岸等の基本的な情報を収集整理して、構造形式や重要度を考慮した区間分けを行う。（表形式への入力例：表 2-1）

表 2-1 基本情報の入力のイメージ

基本情報									
番号	護岸名	重要度 高：S級→低： C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明
	...								

(着目すべきセルには着色してもよい。)

#### a) 番号

整理しやすくするために通し番号をつける。港湾施設台帳の番号を使ってもよい。

#### b) 護岸名

各事業者で護岸等に名称がつけられている場合、記入する。港湾施設台帳の名称を使ってもよい。

#### c) 重要度

護岸等に重要度の区分をつけることができる場合は記入する。以下に目安を示す。具体的設定基準やその考え方については、解説 C に示す。特に重要度が明確でない場合は同じ(例えば全て A 級)としてもよい。

S 級： 損壊すると人命や公衆保安に重大な影響を及ぼすおそれのある護岸等

A 級： 損壊すると事業活動に重大な影響を及ぼすおそれのある護岸等

B 級： 損壊すると事業活動に影響を及ぼすおそれのある護岸等

C 級： 損壊しても事業活動に直ちに影響を及ぼさない護岸等

なお、S 級等の施設については、人命等への影響もあるため、レベル 2 地震動に対する耐震性調査も合わせて行うことが望ましい。

#### d) 構造形式

施設台帳、設計図書、工事完成図書、現地での目視調査等により、重力式（ケーソン、コンクリート塊、傾斜型等）か矢板式（自立矢板式、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板等）に分類する。

#### e) 築造年

通し番号ごとに、護岸等が完成した年度を記入する。不明の場合は「不明」とする。

#### f) 延長

通し番号ごとに、施設の延長を記入する。

g) 壁高

施設台帳、設計図書、工事完成図書等により、壁高＝背後地盤の標高－護岸等の前面水深として、壁高を記入する（例えば、背後地盤の標高が+3.0m、前面水深が-2.5m であれば、壁高=3.0- (-2.5) =5.5m）。

h) 背後の重要施設との距離

平面図、yahoo 地図、google マップ、現地での計測結果等により、背後の重要施設との距離を記載する。背後に重要な施設が存在しない場合は、非常に大きい値（例えば 10,000）を記入する。

i) 航路との距離

平面図、yahoo 地図、google マップ等により、航路との概算距離を記入する。前面に航路が存在しない場合は、非常に大きい値（例えば 10,000）を記入する。

j) 設計震度

施設台帳、設計図書、工事完成図書等より、護岸等の設計震度を記入する。設計震度が不明の場合は、「不明」とする。

h) その他

過去に改良工事が実施された施設等もあると想定される。こういった過去の改良履歴等について別途記載しておくといよい。

②基本情報（築造年・構造形式、地震履歴等）による耐震診断

基本情報に基づいて耐震診断を行う（表形式への入力例：表 2-2）。

①で整理した築造年や構造形式等のみから、概ね危険と判断すべき場合や比較的安全と判断して良い場合がある。具体的な判断基準は、解説Dに示すが、例えば、平成 19 年度以降の基準で設計された護岸等は、現行の技術基準に基づいて構築されていることから、以降の耐震診断を省略することができる。そのような施設については危険／安全の判断をした上で「⑤耐震性に係る点検」結果とともに「⑥優先順位の設定」に進む。

ここで判断できない場合や具体的な被害想定を検討したい場合は、「③簡易な地盤情報入手方法を用いたチャート式耐震診断」に進む。

表 2-2 基本情報による耐震診断結果のイメージ

基本情報				チャート式の入出力										被害想定		定陥点検診断結果		耐震性		優先順位の判断		
番号	護岸名	重要度 高:S級->低:C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh	背後地盤 の平均等 価N値	想定地 震動	水平変位 d <sub>h</sub> (m)	鉛直変位 d <sub>v</sub> (m)	法線変形 率 d <sub>v</sub> /H (%)	被災程度 I:良->V: 悪	背後地盤の想 定流動範囲 L <sub>s</sub> (m)	前面への想 定流出長 L <sub>r</sub> (m)	実施日	性能低下度 D:良->A:悪	地震時の被災 程度と性能低 下度の組み合わせ	総合判定 高:優先度高-> 低:優先度低	優先順位
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15									2016/8/12	C		やや高	
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1									2016/8/12	B		やや高	
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15									2016/8/12	D		低	
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1									2016/8/12	B		高	
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明									2016/8/12	B		やや高	
...																						

(耐震改良の総合判定（優先度：高～低）を仮で検討しておいてもよい。その場合は、以降の耐震診断の精度向上に応じて更新していくこととする。)

### ③共有地盤情報を用いたチャート式耐震診断

護岸等の近隣の公開・共有されている地盤情報データベース（以下「DB」とする。）から地盤情報を入手し、チャート式耐震診断システムを用いて耐震診断を実施する（表形式への入力例：表 2-3）。チャート式耐震診断の具体的な計算方法は、解説Eで示す。なお、前面に栈橋を有する護岸等を対象とする場合は、栈橋がないものとして護岸等のみをモデル化すればよい。

表 2-3 共有地盤情報を用いた耐震診断結果のイメージ

基本情報										チャート式の入出力					被害想定		定額点検診断結果		耐震性		優先順位の判断	
番号	護岸名	重要度 高・S級→低・ C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh	背後地盤 の平均等 価N値	想定地 震動	水平変位 d <sub>h</sub> (m)	鉛直変位 d <sub>v</sub> (m)	法線変形 率 d <sub>v</sub> /H (%)	被災程度 I:良→V: 悪	背後地盤の想 定流動範囲 L <sub>b</sub> (m)	前面への想 定流出長 L <sub>f</sub> (m)	実施日	性能低下度 D:良→A:悪	地震時の被災 程度と性能低 下度の組み合わせ	総合判定 高・優先度高→ 低・優先度低	優先順位
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15	5	Lv1	0.8	0.1	14.5	IV	110	0	2016/8/12	C	IV-C	やや高	
									5	Lv2	2	0.1	38.4	-	200	0	2016/8/12	C	V-C	(高)		
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1	5	Lv1	0.3	0	7.5	III	40	0	2016/8/12	B	III-B	やや低	
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15	5	Lv1	1.2	0	34.3	IV	50	0	2016/8/12	D	IV-D	低	
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1	5	Lv1	1.2	0.1	30.0	V	200	50	2016/8/12	B	V-B	高	
									5	Lv2	2	0.1	50.0	-	250	50	2016/8/12	B	V-B	(高)		
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明	5	Lv1	1.1	0	22.0	IV	220	60	2016/8/12	B	IV-B	やや高	
...																						

このとき地盤情報として入力する N 値は、対象とする護岸等の近傍で得られることが望ましいが、対象とする護岸等の近傍では地盤調査が行われていない場合が想定される。その場合でも、公開された地盤情報 DB から、対象施設に近いボーリング或いは地盤構造が似ていると想定されるボーリングを抽出して耐震診断を行うことが望ましい。代表的な地盤情報 DB 及び共有地盤情報を流用する際の留意点については、解説Fで示す。

なお、ここでは護岸そのものの地盤情報ではなく、護岸近くで公開された地盤情報を流用する場合にはその地盤情報を「共有地盤情報」とした。すでに護岸等そのものの地盤調査が行われている施設については、このチャート式耐震診断の結果を「④現地の地盤調査結果を用いたチャート式耐震診断」として扱うことができる。

一覧表（表 2-3）において、チャート式耐震診断に入力する背後地盤の N 値とチャート式耐震診断結果として得られる護岸の水平変位・鉛直変位を入力し、護岸等の被害想定として、法線変形率、変形率による被災程度、背後地盤の想定流動範囲及び前面への想定流出長を算定する。具体的な被害想定算定の考え方や算定式及び判断基準は、解説H（3）に示す。これらは、一覧表の中で自動計算できるようにしておくことで作業がスムーズである。

ここで、被害想定から概ね危険と判断すべき場合があるため、そうした施設については危険<sup>8)</sup>の判断をした上で「⑤耐震性に係る点検」結果とともに「⑥優先順位の設定」に進む。但し、ここにおいて、ある程度危険と判断された施設であっても、共有地盤情報を

8) 共有地盤情報は、護岸等背後の地盤情報と同様であると判断できる場合を除き、「安全」と判断できる結果が出ても、「安全」と判断することは危険である。

利用したことにより、地盤条件の設定が現地状況を反映していない可能性がある。例えば、実は現地地盤は良好であり、きちんと地盤調査すれば必要な耐震性を有している可能性などが考えられる。そこで、重要度が高い施設を中心に、共有地盤情報のボーリング位置が施設から大きく離れていたり、明らかに地盤情報の活用が困難であると考えられる場合には、現地の地盤調査の必要性を判断し、「④現地の地盤調査結果を用いたチャート式耐震診断」へ進む。耐震改良に比べて地盤調査の費用は非常に安価なことから、ここで不明確な地盤情報に基づいて耐震改良の検討を行うよりも、十分な地盤調査を行うことは合理的であると考えられる。なお、耐震改良の設計を行うためには、最終的に詳細な地盤調査が必要となる。

#### ④現地の地盤調査結果を用いたチャート式耐震診断

施設近傍で地盤調査を行う。ここで、通常の地盤調査よりも短期間・安価・簡便に地盤情報を得る方法として、間隙水圧が計測可能な動的コーン貫入試験等の簡易な地盤調査を行う方法がある。当該調査結果（地盤の  $N$  値）を用いて、チャート式耐震診断を行い、より詳細な耐震診断結果を得る（表形式への入力例：表 2-4）。簡易な地盤調査の具体的な実施方法は、解説 G に示す。

一覧表において、チャート式耐震診断に入力する背後地盤の  $N$  値とチャート式耐震診断結果として得られる護岸の水平変位・鉛直変位を④の結果により更新し、護岸等の被害想定として、法線変形率、変形率による被災程度、背後地盤の想定流動範囲及び前面への想定流出長を算定することで、一覧表の精度を高める。

ここで、被害想定から概ね危険と判断するべき場合と比較的安全と判断できる場合があるため、そうした施設については危険/安全の判断をした上で「⑤施設の維持管理に係る点検診断」結果とともに「⑥優先順位の設定」に進む。具体的な被害想定算定の考え方や算定式並びに判断基準は③と同様、解説 H (3) に示す。

表 2-4 詳細な地盤情報を用いた耐震診断結果のイメージ

基本情報										チャート式の入出力				被害想定		定期点検診断結果		耐震性		優先順位の判断		
番号	護岸名	重要度 高: S級→低: C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh	背後地盤 の平均等 価N値	想定地 震動	水平変位 $d_h$ (m)	鉛直変位 $d_v$ (m)	法線変形 率 $d_v/H$ (%)	被災程度 I:良→V: 悪	背後地盤の想 定流動範囲 $L_b$ (m)	前面への想 定流出長 $L_f$ (m)	実施日	性能低下 D:良→A:悪	地震時の被災 程度と性能低 下度の組み合わせ	総合判定 高:優先度高→ 低:優先度低	優先順位
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15	5	Lv1	0.8	0.1	14.5	IV	110	0	2016/8/12	C	IV-C	やや高	
										5	Lv2	2	0.1	38.4	V	110	0	2016/8/12	C	V-C	(高)	
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1	5	Lv1	0.3	0	7.5	III	40	0	2016/8/12	B	III-B	やや低	
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15	15	Lv1	0.1	0	2.9	II	20	0	2016/8/12	D	II-D	低	
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1	5	Lv1	1.2	0.1	30.0	V	200	50	2016/8/12	B	V-B	高	
										5	Lv2	2	0.1	50.0	V	200	50	2016/8/12	B	V-B	(高)	
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明	10	Lv1	0.8	0	12.0	IV	180	0	2016/8/12	B	IV-B	やや高	
...																						

(注：表 2-3 と比べると、3 と 5 の施設について詳細な地盤調査を行った結果、変位量が小さくなっている。)

⑤耐震性に係る点検

①～④の耐震診断は、②のうち解説Dに示す地震履歴による判断を除き、「現行の地震作用と設計時耐力の比較」に該当するものであり、これには構造物の「劣化」が考慮されていない。このため、点検診断ガイドラインに基づく構造物の地震に対する安全性に係る点検を実施する。当該点検の具体的実施内容と判断基準については、解説Iに示す。

例えば、②③④で実施する耐震診断では「比較的安全」という結果であっても、著しく劣化が進行している施設については、優先的に補修又は改良を実施すべきである。また、②③④で実施する耐震診断で算出された被害想定は性能低下度を考慮していないため、著しく劣化が進行している施設では、算出された被害想定よりも大きい被害が生じるうる可能性があることを考慮すべきである。

点検診断結果を一覧表に入力して、「⑥優先順位の設定」に進む。

⑥優先順位の設定

耐震性は、②～④の診断結果と⑤の点検診断結果の組合せであり、これと施設の重要度等を勘案して、総合判定（表の右から2列目）を行い、耐震改良等を実施すべき優先度や優先順位を決める（表形式への入力例：表2-5）。耐震診断結果の図示イメージを図2-3に示す。

表 2-5 優先順位付けのイメージ

基本情報				チャート式の入出力										被害想定		定期点検診断結果		耐震性	優先順位の設定			
番号	護岸名	重要度 高-S級->低-C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh	背後地盤 の平均等 価N値	想定地 震動	水平変位 d <sub>h</sub> (m)	鉛直変位 d <sub>v</sub> (m)	法線変形 率 d <sub>v</sub> /H (%)	被災程度 I:良->V: 悪	背後地盤の 想定流動範囲 L <sub>s</sub> (m)	前面への 想定流出長 L <sub>f</sub> (m)	実施日	性能低下度 D:良->A:悪	地震時の被災 程度と性能低 下度の組み合 わせ	総合判定 高-優先度高-> 低-優先度低	優先順位
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15	5	Lv1	0.8	0.1	14.5	IV	110	0	2016/8/12	C	IV-C	やや高	2
											Lv2	2	0.1	36.4	V	110	0	2016/8/12	C	V-C	(高)	
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1	5	Lv1	0.3	0	7.5	III	40	0	2016/8/12	B	III-B	やや低	4
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15	15	Lv1	0.1	0	2.9	II	20	0	2016/8/12	D	I-D	低	5
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1	5	Lv1	1.2	0.1	30.0	V	200	50	2016/8/12	B	V-B	高	1
											Lv2	2	0.1	50.0	V	250	50	2016/8/12	B	V-B	(高)	
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明	10	Lv1	0.6	0	12.0	IV	180	0	2016/8/12	B	IV-B	やや高	3
...																						

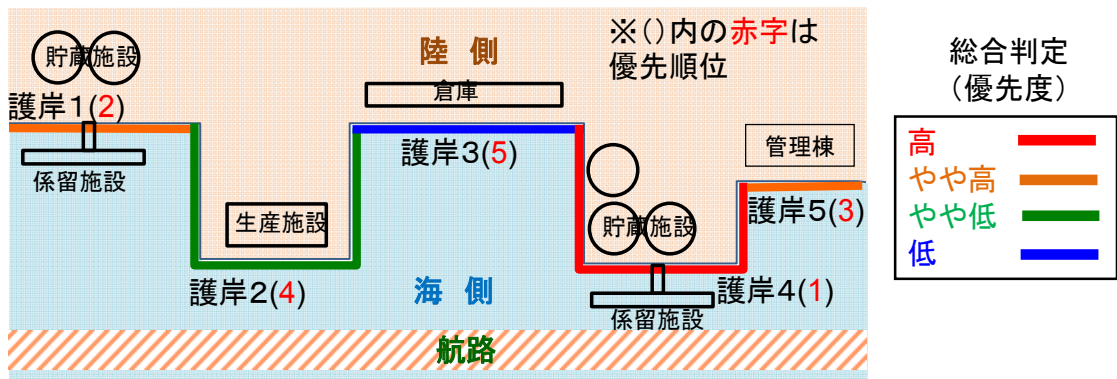


図 2-3 耐震診断結果の図示のイメージ

総合判定は、例えば優先度を「高」、「やや高」、「やや低」、「低」に分類する。総合判定の決め方は事業者によって何を重視するかで異なり得る。総合判定の方法として、重要度、被災程度及び性能低下度のそれぞれに点数付けして行う方法があるので、一例を**解説 J**に示す。これに前面水域への想定流出範囲、背後地盤の想定流動範囲等も考慮することが望ましい。

基本的には、総合判定によって決定された優先度から、次のステップとしてより詳細な耐震診断や耐震改良に進む順番を決める。ただし、すでに耐震改良の予定がある施設がある場合には、それを考慮した順位付けを行う。

「危険度の高い施設」に分類された施設のうち、優先順位の高い順に、次のステップに進める。他の施設は順番待ちとなるが、その期間中、点検診断や補修等をはじめとした適切な維持管理を行うことが必要である。順番待ちの施設の中には、経年劣化により優先順位が上がる施設が存在する可能性もある。

また、②～④の耐震診断で「比較的安全」と判断され、保留施設となったものについても、点検診断や補修等をはじめとした適切な維持管理を行うことが必要である。現時点で「比較的安全」となっている施設であっても、経年劣化や技術基準の変更等を踏まえて、再度耐震性調査のフローに従って耐震性を判断していくことにより、「危険度の高い施設」と分類され、優先度が高くなる可能性もあるため、随時見直しを行うことが必要である。

次のステップとしては、④までの耐震診断は、あくまでも簡易な手法であることから、耐震改良の設計を行う前に、現行の技術基準・同解説に基づく耐震性照査を行ってもよい。ここでは、地震応答解析などの専門的な知識が必要であるため、本ガイドラインの対象外とするが、概要を**解説 L**に示す。なお、この耐震性照査により「耐震性がある」、と確認された場合には、安全と判断して保留施設として取り扱ってもよい。

優先順位の高い施設が、耐震改良等により耐震性が確保されたら、優先順位を更新する。

## 第3章 護岸等の耐震改良工法

### 3.1. 耐震改良の必要性

地震時に護岸等周辺で発生する被災状況で見られるように、護岸等の損壊による背後地盤の変状や護岸等の天端沈下による浸水などにより、船舶の接岸支障、護岸等背後の荷役施設、配管、防油堤、背後道路や背後施設の損傷が発生し民間事業者の事業活動へ大きな影響を及ぼすことが考えられる。さらに、護岸等の損壊に加えて背後地盤が液状化した場合の地盤の側方流動や潮汐、波浪、高潮及び津波による背後土砂の流出により、近くの航路を埋塞させ、船舶が航行できなくなる危険性もある。

そのため、今後発生が想定される地震災害に対して、臨海部に立地する重要な産業施設の強靱化を進めるためには、護岸等の耐震改良を事前に行うことが重要となる。

### 3.2. 事前の耐震改良のメリット

#### (1) 事後対策と事前対策の負担の比較

災害時の事業継続（BCP）の観点を鑑みると、耐震改良を行わず地震時に被災を受けて護岸等の撤去・復旧を行うよりも、事前に耐震改良を行うことにより地震時に被災を受けずに事業を継続する方が、より望ましい。

また、期間や費用の面からも、事前に対策を行う場合の方がメリットがあると言える。例えば、延長 100m の鋼矢板式護岸（図 3-1 参照）において、未対策のまま地震により被災しその後撤去・復旧を行った場合と、事前に耐震改良を行った場合に必要となる護岸等にかかる工事費用及び期間を試算<sup>9)</sup>すると、前者は、650 万円/m、600 日に対して、後者は、130 万円/m、190 日となる。加えて、事前の耐震改良の場合は、事業活動との調整が可能であり、背後施設等への影響が抑制されることを踏まえると、事前に耐震改良を行った場合のメリットは大きいと考えられる。

このように、事業の継続性及び護岸等の整備に必要な工事費・工事期間を考慮すると、事前に耐震改良を行う方が、結果的に事業者の負担は軽減される可能性がある。

---

9) 具体的な試算結果は、参考資料-6 に示す。

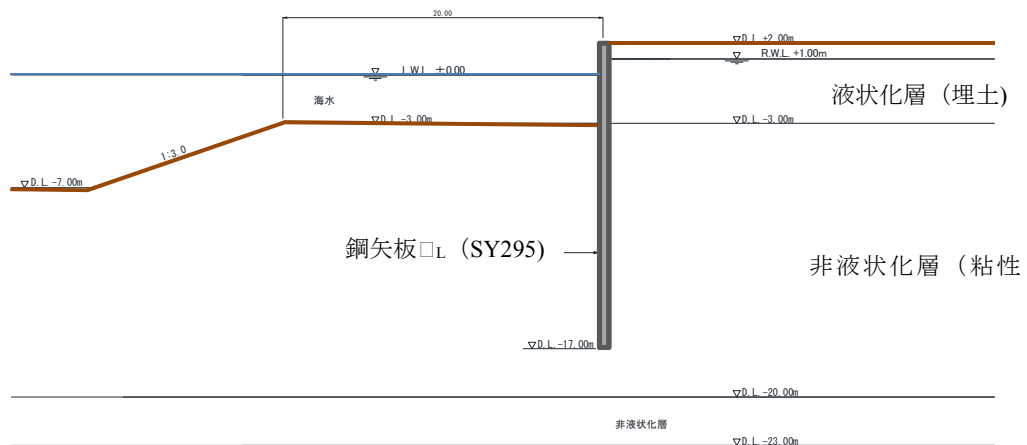


図 3-1 鋼矢板式護岸のモデル

## (2) 事業再開に要する期間の短縮のメリット

東日本大震災では、実際に事前の耐震改良を行っていたことによる効果が認められた事例が多くあった。

例えば、平成 20 年に栈橋の補強、平成 21 年に岸壁の耐震改良を実施していた民有護岸では、震災時には事前に対策済みの護岸背面のエプロンが平坦で無傷であったため、震災後半月程度で工場が再開できた。一方、耐震改良していない隣接する護岸では、エプロンに段差や亀裂が生じた。

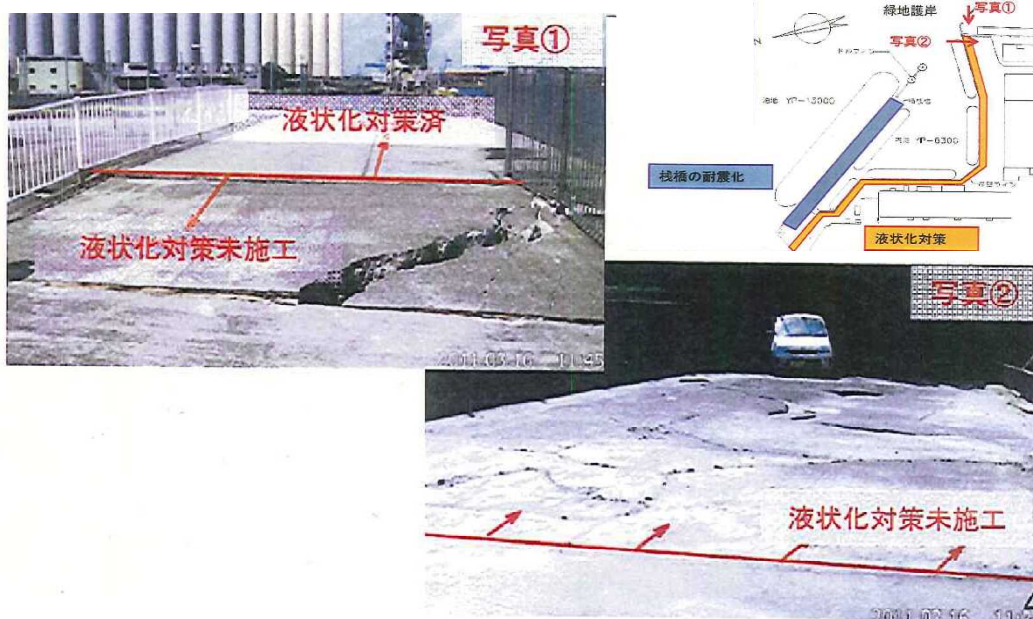


図 3-2 民有護岸の耐震化による効果

また、仙台塩釜港仙台港区高松埠頭岸壁では、平成 19 年に耐震改良（L=240m）を実施していたため、震災後も早急に RORO 船が接岸し、荷役作業を行うことができた。一方、隣接する未対策の岸壁は海側に大きく突出しており、岸壁としての使用性に問題が生じた。



図 3-3 仙台塩釜港仙台港区高松埠頭岸壁

港湾以外の事例としても、仙台空港では、平成 20 年度から滑走路および誘導路の地盤改良が順次実施され、事前対策を行っていた重要な箇所では被害が生じず、例えば、B 滑走路 3,000m は発災後 5 日で供用再開でき、震災時に非常に重要な役割を果たした。しかし、対策未施工部では被害（陥没）が見られ、大きく沈下したことにより、復旧に時間を要した。このように、対策の有無により、被害とその後の事業再開に大きな違いが生じた。

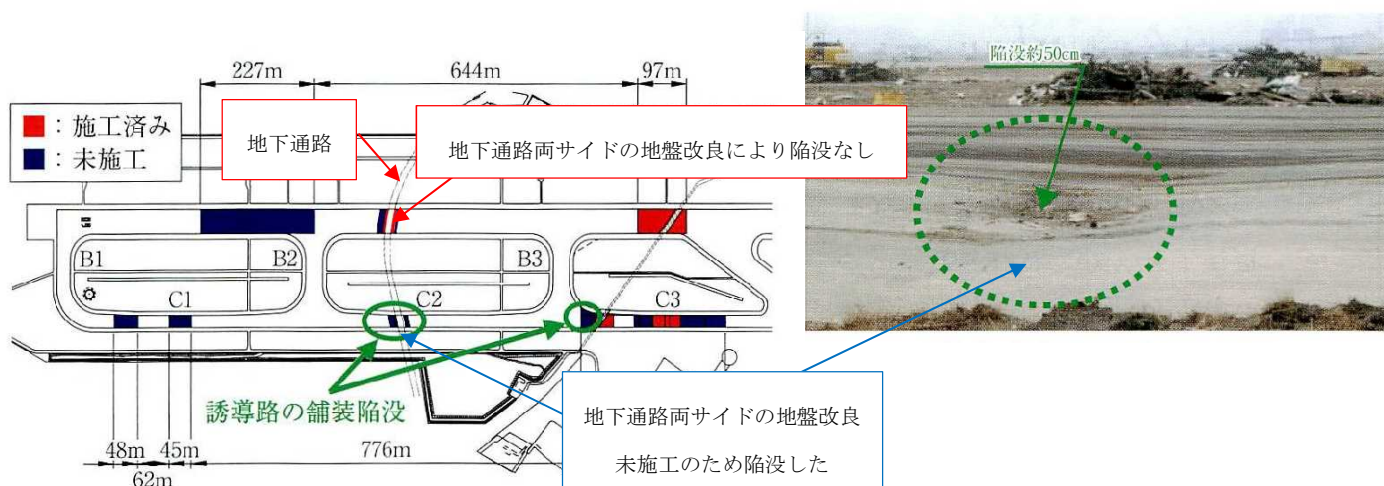


図 3-4 仙台空港における耐震化整備事業の状況と被災箇所の関係<sup>10)</sup>

このように、大震災に備えた事前の耐震化の検討を行い、地盤の液状化対策や構造物の補強などの耐震改良を行うことによって、発災後の事業再開の期間短縮や復旧工費の縮減効果などが期待できる。

10) 基礎工 Vol. 43, No. 07, 2015.

### 3.3. 耐震改良を行う事業者の考え

3.2 の事例以外にも、実際に護岸等の改良を実施した、あるいは実施しようとしている事業者がある。これらの事業者の問題意識として、以下のようなものがある。

- ・ 背後に生産上重要な施設が存在する護岸等の改良
- ・ 損傷すると生産全体が停まるような入出荷岸壁・栈橋の改良
- ・ 背後に損壊すると危険な施設をかかえ、公衆保安・人命にかかわる護岸等の改良
- ・ 災害時における事業所への緊急物資輸送等や災害復旧を担う岸壁の改良
- ・ 老朽化に伴う更新（改良）
- ・ 護岸から岸壁への用途変更や岸壁を増深する等の機能向上に伴う改良

また、これらの事業者は護岸等の改良を行うに当たって、まず、災害時に必要な機能や避けるべき事象を決めた上で、耐震性を調査し、年間又は数年間の予算枠の中で、継続的かつ優先順位をつけて計画的に実施している。

### 3.4. 一般的な護岸等の耐震改良工法の考え方

護岸等の耐震改良には、護岸等の補強、地盤補強、構造物基礎補強等がある（図 3-5）。

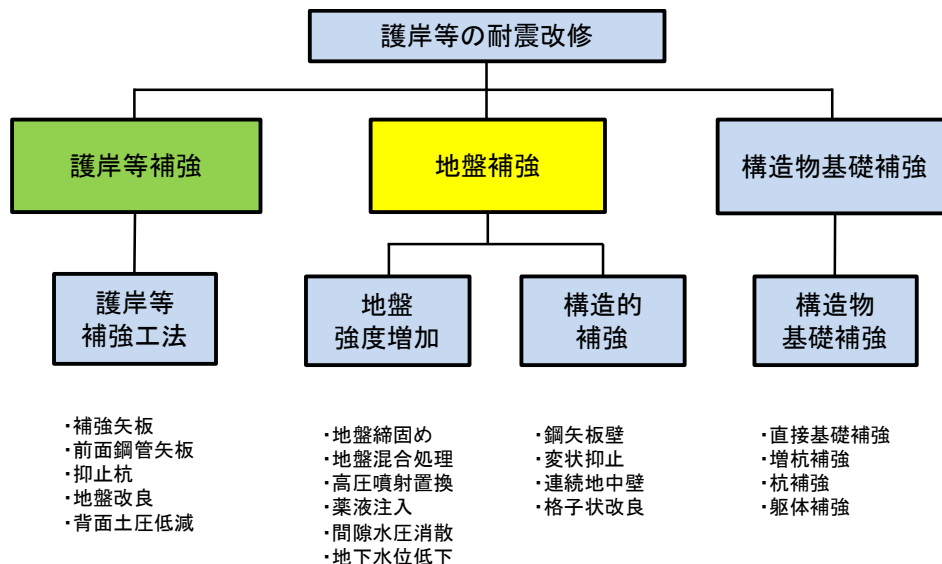


図 3-5 護岸・岸壁等の耐震改良工法の分類

護岸等の耐震改良においては、支える力を増大させるか、土圧や液状化の作用を低減させる必要がある。このため、陸側において主に液状化を発生させない対策を行う、護岸背面の地盤を改良して土圧を低減する、構造物を補強する等の方法がある。

### 3.5. 耐震改良に係る負担軽減の着眼点

護岸等の「耐震改良」を実施する上での事業者の課題として、以下のようなことがある。

- ①護岸等の延長が長く、多額の費用を要する。
- ②耐震改良工事が事業活動に影響を及ぼす。
- ③許認可等の申請手続きが複雑である。

上記の課題①～③に対する負担軽減の着眼点として、以下のようなアプローチが考えられる。

- ①護岸等の延長が長く、多額の費用を要することに対して
    - (a) 耐震改良の優先順位付けや必要範囲の整理
    - (b) 耐震改良に関する継続的かつ段階的な取り組み
    - (c) 対象施設に対する適切な性能照査方法の設定
    - (d) 費用及び期間の縮減可能な対策工法の選択
  - ②耐震改良工事が事業活動に影響を及ぼすことに対して
    - (e) 施工スペース（資機材の配置）や施工期間の軽減
  - ③許認可等の申請手続きが複雑であることに対して
    - (f) 耐震改良工法等や耐震改良工事一般について、手続きの複雑さが耐震改良実施の支障とならない様に、当該手続きを整理し、手続きの円滑化を図る。
- 各項目(a)～(f)について、以下に説明する。

#### (a) 耐震改良の優先順位付けや必要範囲の整理

護岸の延長が長く、構造形式等が多様な場合には、2. に示すように施設の重要度等の基本情報や耐震性調査の結果を一覧表にとりまとめた上で、耐震改良の順位付けを行うことが有効である。

#### (b) 耐震改良に関する継続的かつ段階的な取り組み

通常、耐震改良工事には多額の費用を要するため、一度に全延長の耐震改良を実施するのは困難である。そこで、2. で整理した優先順位付けの一覧表を用いて、アセットマネジメントの考え方で長期的な視点で継続的に耐震改良を実行するのがよい。

また、継続的な実施の中でも、まず公衆保安・人命に関わるもの、次に生産に大きな影響のあるもの等、それぞれ段階を設けて実施するのが良い。

#### (c) 対象施設の適切な性能照査方法の設定

護岸等の地震時等において保持しておくべき要求性能や性能規定は、省令及び告示によって規定されているものの、護岸等の天端の高さがどの程度必要か、地震時にどの程度の変位まで許容するかなど具体的かつ一義的に決まる数値は規定されていない。このため、

性能照査に当たっては、事業者において、護岸等の重要度や損壊による背後地や航路などへの影響を踏まえて、適切な数値を設定することが必要である。特に、護岸の使用性については、船舶の係留を前提としている岸壁に用いる考え方をそのまま利用すると過度な設計となり、費用が過大となる可能性もある。

なお、性能照査に当たっては、公共施設の設計で一般的に用いられている性能照査方法を参考にすることができる。

#### (d) 費用及び期間を縮減可能な対策工法の選択

性能規定における具体的な数値が定まると、技術基準に従って耐震改良の設計計算を行うことになる。設計計算を行う前に、耐震改良の方針を定める必要があるが、要求性能、費用、期間、施工条件等を総合的に勘案して最適な耐震改良方法を選ぶ必要がある。

例えば、護岸等に求める性能を精査することにより、当該性能を満たすための幅広い工法が適用可能となる場合もある。また、一般的に事業者の敷地内である護岸等の背後を対象範囲とした液状化対策のための地盤改良等の対策が必要になることが多いが、護岸前面の水域においての施工等が可能であれば、護岸背後への地盤改良に加えて、護岸前面から護岸等の変位を抑制する工法を実施することで、安価になる場合がある（3.6(1)参照）。

このように、既存の方法によらない柔軟な発想が費用等を大きく低減させる可能性があり、要求性能及び性能規定を精査した上で、現場条件に適した最適な工法を選択することが重要である。こうした工法の事例を3.6に示す。

#### (e) 事業活動への影響の軽減

護岸等の耐震改良工事はしばしば事業活動に影響を及ぼす。例えば、施工範囲の近傍に生産施設がある場合は、生産活動へ影響が出る可能性がある。また、岸壁そのものの改良や航路近傍での施工の場合は、船舶の係留スケジュールと調整する必要があるが、生産や船舶の係留等は24時間継続的に行われていることも多い。このため、こうした事業活動への影響を軽減させるためには、下記のような工法が適している。該当する工法は別冊の**参考資料-8**で紹介する。

- ① 施工時の占用範囲が小さい工法
- ② 施工スピードが速く施工期間が短い工法
- ③ 供用しながら施工可能な工法

#### (f) 許認可等の申請手続きの円滑化

耐震改良工法等や耐震改良工事一般について、手続きが複雑であることが耐震改良実施の支障とならない様に、以下の手続き等の例を**解説M**に示し、手続きの円滑化を図る。

- ・ 港湾法に基づく護岸等改良工事に係る港湾管理者の許可
- ・ 公有水面埋立法に基づく護岸法線前出しの際の許可

- ・ 港則法に基づく海上工事に係る港長の許可
- ・ 水路業務法に基づく護岸等改良工事に係る海上保安庁への通報
- ・ 港湾法に基づく港湾区域の占用に係る港湾管理者の許可

### 3.6. 負担軽減を可能とする耐震改良工法の事例

#### (1) 護岸等の前面への対策

##### 1) 護岸等の前面への対策工法の概要

一般的に、護岸等の耐震改良においては、事業者の敷地内である護岸等背後において液状化対策のための地盤改良等が必要になることが多い。そこで、前面对策工法では、陸側において液状化対策等を行うとともに、陸側のみで対策するのではなく航路側にて地震時土圧を支える力を強化するための対策工を実施することで、陸側の液状化対策の範囲を縮小するものである。

図 3-6 に対策工の考え方を示す。また、図 3-7 に海側の対策工と陸側の対策工の組み合わせのイメージを示す。

この工法には以下のような特徴がある。

(メリット)

##### ○安価：

- ・ 液状化対策が高額であるのに対し、航路側での支持力強化において、安価な工法を選択することができれば、全体として工費を抑制することができる。

(航路側での安価な支持力強化の方法：捨石設置等)

##### ○事業活動への影響が少ない：

- ・ 液状化対策を行う範囲が小さいので、事業活動への影響を縮減できる。

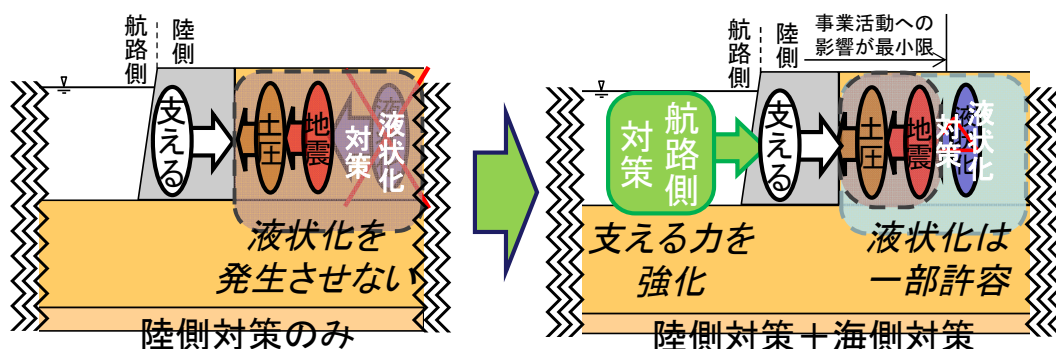


図 3-6 対策工法の考え方

(適用上の留意事項)

- 捨石設置により護岸等前面の水深が浅くなる。
- 航路側における施工が近傍の船舶航行等に影響を及ぼす可能性がある。
- 捨石マウンドは、高波浪時の被災等に対するメンテナンスが必要となる可能性がある。
- 護岸前面への捨石マウンドや構造物の設置による対策は、その後の護岸から岸壁への用途変更が困難となる可能性がある。
- 埋立法線を変更する場合、埋立免許が必要になる（ただし、捨石設置やH. W. L以下の高さの構造物の設置は埋立法線の変更にはならない。）。

(利用適地)

- 護岸前面の対策工法の影響がない程度に航路・泊地等までの距離が十分にある護岸等
- 捨石等の設置が前面水域の利用に支障とならない護岸等
- 栈橋直背後の護岸等
- 将来的に岸壁への転用が予定されていない護岸等

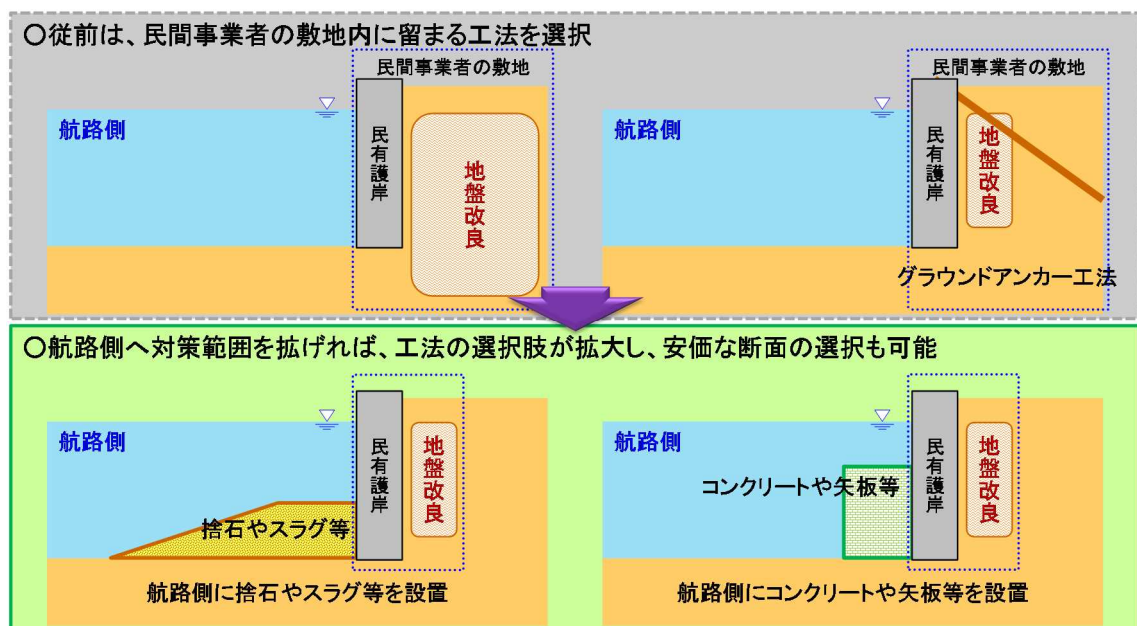


図 3-7 海側の対策工と陸側の対策工の組み合わせのイメージ

(手続き上の留意事項)

- 前面への捨石や構造物の設置は水域占用となる。また、占用料が発生する可能性もある。
- 航路側での捨石や構造物の設置及び施工に当たっては、船舶航行の安全確保のため、海上保安庁の許可が必要となり、別途管理方法等に係る指示が行われる可能性がある。

## 2) 護岸等前面へのカウンターウェイトの設置

前面对策工法のひとつとして、護岸前面に捨石等によりカウンターウェイトを置く工法（前面カウンター工法）がある。ここでは、本工法の検討事例を示す。

### ①石油製品受入れ栈橋を有する事業所における検討事例

要求性能を精査し、前面カウンター工法を用いることで、工費や事業活動への影響を縮減を目指した検討事例として、ある事業所において石油製品の受入れ栈橋及び当該栈橋背後の護岸等において、前面カウンター工法を活用した耐震改良の検討を行った事例を示す。

当該事業所では、レベル2地震動を想定した事業継続のため、当該栈橋及び関連する護岸等の一連施設がレベル2地震動が起きても使用できること又は軽微な修復により仕様できるようにすることが求められた。

具体的に求められた性能は、以下の通りである。

- ・ 栈橋自体の耐震性
- ・ 渡橋および道路の通行
- ・ パイプライン余長の範囲内の相対変位
- ・ 護岸変位の抑制
- ・ 航路・栈橋の必要水深の確保

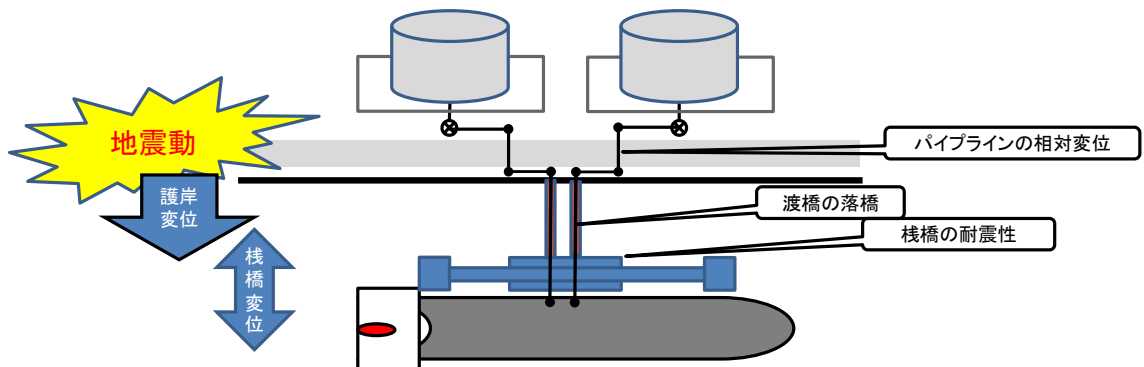


図 3-8 地震時の被害のイメージ

上記性能を満たすため、以下の対策が想定された。

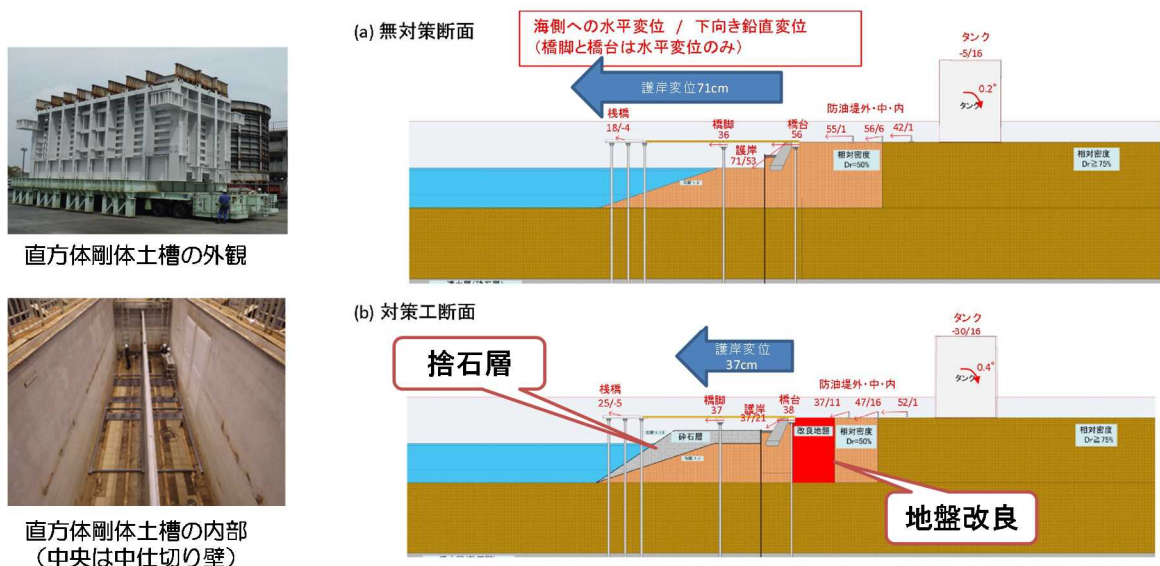
- a) 海・陸の土圧のアンバランスの緩和  
→ 航路側捨石によるアンバランス解消（副次的に、上載荷重の増加による液状化程度を緩和する効果もあり。）
- b) 構造物自体の補強  
→ 栈橋杭の補強、渡橋の落橋防止、道路改良等
- c) 液状化による側方流動力の緩和、地盤沈下の抑制  
→ 護岸背後の地盤改良

一般的には、地盤改良は単価が高く、地盤改良範囲が増えるとコストが大きくなる。このため、本事例では、総工事費縮減、施工期間の短縮（供用制限の最小化）が可能となるよう、護岸前面に捨石を設置することで護岸背後の地盤改良範囲を縮小する断面の設定を行い、1/8 スケールでの模型振動実験及びコスト比較を実施した<sup>11)</sup>。

この結果、護岸の変位は水平変位で 71cm→37cm、鉛直変位で 53cm→21cm まで低減されており、本断面の効果が確認された。模型実験の結果は図 3-9 の通りである。

また、本断面と地盤改良範囲を変化させた他の対策断面との工費比較を行った（表 3-1）ところ、本断面の工費は、渡橋基礎やパイプラインの補強まで行った場合の約 1/3 程度、渡橋基礎やパイプラインに加えて栈橋基礎まで補強を行った場合の約 1/8 程度に抑えられることがわかった。本断面と比較断面は同じ効果を発現するものではないが、本断面を含むいずれの断面も必要な性能を満たす断面であり、その中で本断面が経済的であることが示された。

本事例のように、要求性能を精査することで、工法の選択肢が広がり、その中で負担の少ない工法を選択するという検討の姿勢が重要であり、これは一様に決まるものではなく、各事業者、各護岸等ごとに異なってくるものである。



※土槽は、長さ16m×幅4m×深さ4.5m（いずれも内寸）である。

図 3-9 模型実験における構造物の変位の状況

11) 寺田竜土, 小濱英司, 菅野高弘, 西晴樹, 河又洋介, 中澤博志, 鶴ヶ崎和博, 宮本順司: 周辺施設への影響を考慮した護岸構造物の大規模振動実験, 土木学会第 72 回年次学術講演会 (平成 29 年 9 月), III-233, pp. 465-466, 2017.

表 3-1 耐震対策の工費比較

	①捨石 (地盤改良極小) 護岸変位の抑制	②地盤改良 護岸変位の抑制、渡橋基礎・パイプライン補強	③地盤改良(範囲大) 護岸変位の抑制、棧橋杭補強、渡橋基礎・パイプライン補強
断面・平面	<p>地盤改良</p> <p>捨石投入</p>	<p>地盤改良</p> <p>地盤改良</p>	<p>地盤改良</p> <p>地盤改良</p>
工費	約 0.9 億円	約 3.0 億円	約 7.6 億円
比率	1.0	3.3	8.4

← 小さい 耐震改良の施工規模 大きい →

① 一般的な矢板護岸における適用検討事例

捨石による前面カウンター工法の適用性を確認するため、一般的な矢板式護岸（前面水深-3m（約 30m 沖合の水深-7m）、壁高 5m の自立式矢板護岸）を想定して効果と工費を検討した。

背後地盤改良（薬液注入工法）と前面カウンター工法を併用する断面（想定断面は図 3-10。なお、標高 D.L.-3.0m 以深は非液状化層とした。）について、レベル 1 地震動<sup>12)</sup> に対する効果及び工費を検討したところ、照査基準（法線変形率 5%未満）を満たし、その際、工費は背後の地盤改良のみを実施する場合と比べて概ね 1/2 に抑制できる結果（試検討結果は表 3-2 の通り）となった。なお、レベル 1 地震動に対しては、矢板の降伏と残留変形量について照査する必要があるが、本検討では簡単のため残留変形量のみを照査することとし、被災程度Ⅱ以下に相当する法線変形率<sup>13)</sup> ( $d_H/H$ ) 5%未満を残留変位の許容値の目標として効果を確認した。

12) 解析に用いた地震波形は、国土技術政策総合研究所が公開している千葉港のレベル 1 地震動波形である。

13) p. 解-43 に記載

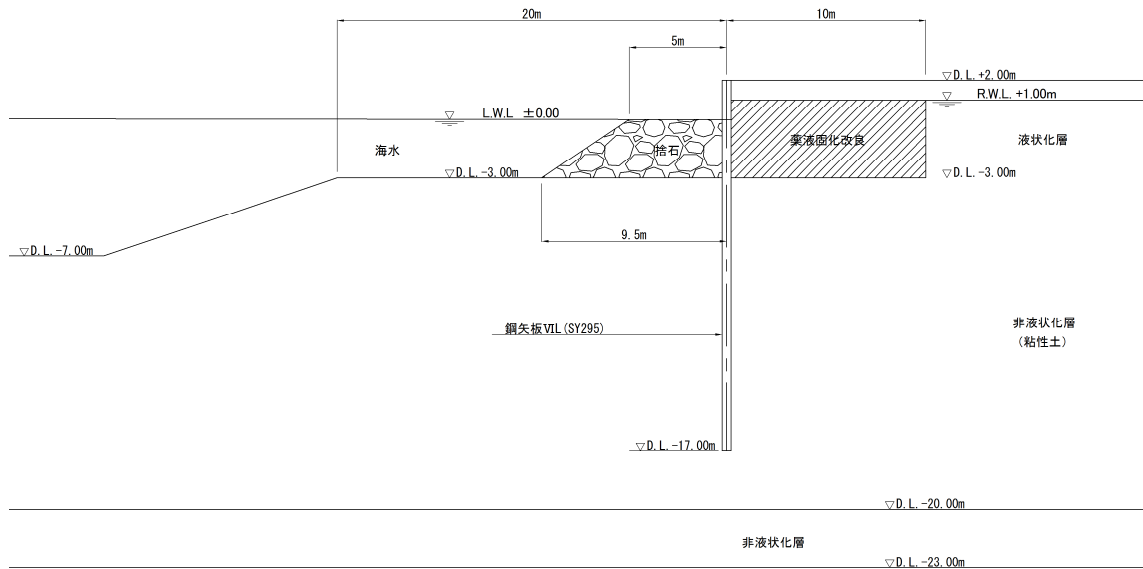


図 3-10 想定断面 (L1 地震動)

表 3-2 試験検討結果

	①無対策	②地盤改良のみ(L=20m)	③捨石(5m)+地盤改良(L=10m)
最大残留変形率 最大過剰間隙水圧比			
残留水平変位	1.44m > 0.25m* NG	0.43m > 0.25m* NG	0.29m > 0.25m* NG
変形率( $d_r/H$ )	1.44/5.0=28.8%	0.43/5.0=8.6%	0.29/5.0=5.80%
最大曲率比	1.31 > 1.0 NG	0.25 < 1.0 OK	0.14 < 1.0 OK
工費	—	約2,400千円/m	約1,300千円/m

※残留水平変位の限界値は被災程度Ⅱの上限として壁高  $H$  (5.0m) の5%で設定

※最大曲率比の限界値は降伏時の曲率との比として1で設定

また、同様の断面(想定断面は図 3-11。なお、標高 D.L.-3.0m 以深は液状化層とした。)について、レベル2地震動<sup>14)</sup>に対する効果及び工費を検討したところ、照査基準(法線変形率 75%未満)を満たし、その際、背後の地盤改良のみを実施する対策断面に比べて地盤改良範囲を縮小することで、工費を概ね 1/2 に抑制できる結果(試験検討結果は表 3-3 の通り)となった。なお、レベル2地震動に対しては、矢板の降伏と残留変形量について照査

14) 解析に用いた地震波形は、1995年兵庫県南部地震において神戸ポートアイランドの G.L.-83m の地震計で観測された地震動を 2E 成分に補正した加速度波形である。

することとし、本検討では簡単のため被災程度IV以下に相当する法線変形率<sup>15)</sup> ( $d_H/H$ ) 75%未満を残留変位の許容値とし、道路橋示方書においてレベル 2 地震動を考慮する設計状況における限界状態 2 に相当する最大曲率比 4 未満を曲率の許容値として効果を確認したが、許容値の設定には護岸機能、重要度等を踏まえた検討が必要であることに留意する必要がある。

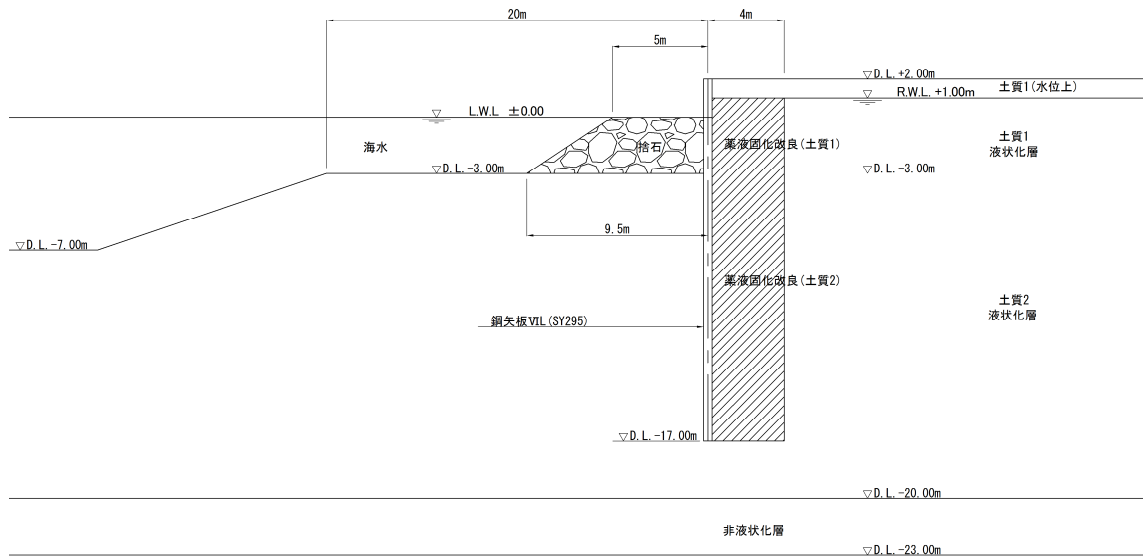


図 3-11 想定断面 (L2 地震動)

表 3-3 試験検討結果

	①無対策	②地盤改良のみ(L=8m)	③捨石+地盤改良(L=4m)
残留変形+最大過剰間隙水圧比			
残留水平変位	4.45m > 3.75m※ NG	3.24m < 3.75m OK	3.68m < 3.75m OK
変形率( $d_H/H$ )	4.45/5.0=89.0%	3.24/5.0=64.8%	3.68/5.0=73.6%
最大曲率比	9.05 > 4.0 NG	0.74 < 4.0 OK	1.79 < 4.0 OK
工費	—	約5,040千円/m	約2,290千円/m

※残留水平変位の限界値は「高圧ガス設備等耐震設計指針 (2012) レベル 2 耐震性能評価解説編」より壁高 H (5.0m) の 75% で設定

※最大曲率比の限界値は「道路橋示方書・同解説 (平成 29 年 11 月)」より 4 で設定

15) p. 解-43 に記載

### 3) 護岸等前面への地盤改良

護岸等前面への対策工法のひとつとして、護岸等前面を地盤改良する工法がある。ここでは、本工法の適用を検討した事例として、前面に栈橋を有する護岸の耐震改良の検討事例を示す。(表 3-4)

本事例では、レベル2地震動を想定した事業継続のため、当該栈橋及び護岸はレベル2地震動後、構造的な安定性が保たれ、一定期間の後に荷役を行うことができることが求められた。

この時、栈橋の基礎杭については、技術基準における耐震強化施設(標準)を参考に“曲げ変形が限界値に達する箇所が2か所未満である杭が存在すること”、また、栈橋背後の護岸については、地震後の“残留変位が許容値を満たすこと”が必要である。

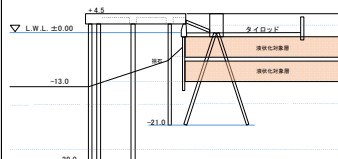
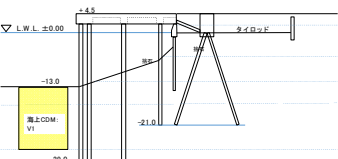
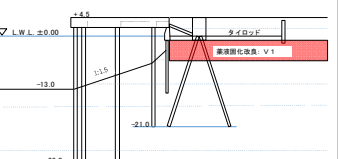
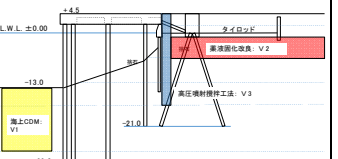
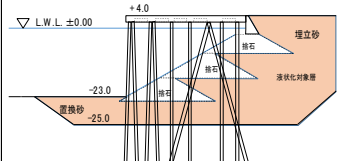
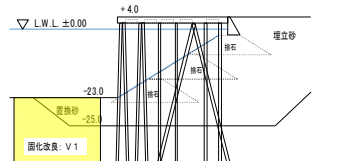
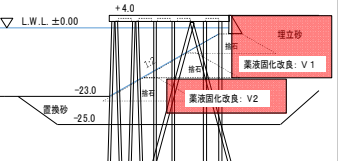
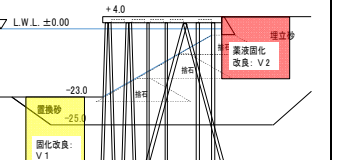
栈橋を耐震改良する場合、一般的には土留め護岸背面の地盤改良を行って背後の土圧を抑制するとともに、栈橋直下において地盤改良を実施するのが効果的である。しかしながら、栈橋直下の地盤改良等の施工は、上部工から海面までの空間が狭く、斜面部が捨石で被覆されているためきわめて困難である。このため、栈橋直下の地盤改良に代えて、栈橋前面の海底地盤において地盤改良を実施し、護岸背後から栈橋下部にかけての地盤の円弧すべりを抑制することで、栈橋の変形を抑制する方法が考えられる。

本事例では、「水深13m程度の栈橋・護岸」と「水深23m程度の栈橋・護岸」の2断面において、栈橋前面の地盤改良と護岸背後の地盤改良を併用する対策工法の効果を検討した。

検討結果として、栈橋前面の地盤改良と護岸背後の地盤改良を併用する対策工法では、護岸および栈橋の耐震性能が満足されることが確認された。また、本工法は、従来の栈橋直下と護岸背後の地盤改良を行う場合と比べて、費用が抑えられており、特に、水深が23mと深い場合の検討断面においては、費用が半分程度に抑えられた。栈橋前面と護岸背後の地盤改良を併用することにより、耐震改良の費用が縮減できる可能性が示唆されている。

なお、栈橋前面の地盤改良を行う場合においても、護岸等背後の地盤改良が必要であり、工事期間中は敷地を占有することになるため、企業活動に影響を及ぼすおそれがある。

表 3-4 棧橋・護岸への地盤改良の検討事例（レベル2地震動）

ケース (対策)	ケース1 (無対策)		ケース2 (棧橋前面の対策)		ケース3 (護岸背後の対策)		ケース4 (棧橋前面の対策+護岸背後の対策)		
検討断面 【-13m棧橋+矢板護岸】 (水深が浅い場合)									
対策	なし		・海上部：CDM V1=150m³(15m×10m)/m		・陸上部：薬液固化改良 V1=343m³(70m×4.9m)/m		・海上部：CDM V1=150m³(15m×10m)/m ・陸上部：薬液固化改良、高圧噴射攪拌 V2=333m³(68m×4.9m)/m V3=32.1m³(2.1m×15.3m)/m		
棧橋	残留水平変位 (m)	5.33		4.79		1.45		1.02	
	杭の応力状態	曲げ変形が限界値に達する箇所がすべての杭で2箇所以上発生		OUT		曲げ変形が限界値に達する箇所がすべての杭で2箇所以上発生		OUT	
矢板式護岸	残留水平変位 (m)	5.27 > 1.0		OUT		1.44 > 1.0		OUT	
	変形率 (%) (H=16.25m)	32.43 < 75		OK		29.17 < 75		OK	
	鋼矢板最大曲率比	30.18 > 4		OUT		37.76 > 4		OUT	
タイロッド	応力状態	発生引張力は破断強度以下		OK		発生引張力は破断強度以下		OK	
費用比較	-		0.3		0.7		1.0		
耐震性	×		×		×		○		
検討断面 【-23m棧橋+重立式護岸】 (水深が深い場合)									
対策	なし		・海上部：固化改良 V1=600m³(30m×20m)/m		・陸上部：薬液固化改良 V1=1110m³(74m×15m)/m		・海上部：改良固化 V1=300m³(15m×20m)/m ・陸上部：薬液固化改良 V2=500m³(20m×25m)/m		
棧橋	残留水平変位 (m)	0.44		0.57		0.32		0.48	
	杭の応力状態	曲げ変形が限界値に達する箇所がすべての杭で2箇所以上発生		OUT		曲げ変形が限界値に達する箇所が2か所未満である杭が存在する		OK	
重立式護岸	残留水平変位 (m)	0.73 ≤ 1.0		OK		1.40 > 1.0		OUT	
	変形率 (%) (H=16.7m)	4.37 < 30		OK		8.38 < 30		OK	
費用比較	-		0.5		1.9		1.0		
耐震性	×		×		×		○		

## (2) 楕型鋼矢板工法による耐震改良

護岸等の要求性能を精査することにより、従来にないアプローチで護岸等の改良を行うことができる事例として「楕型鋼矢板工法」を参考として示す。

### 1) 楕型鋼矢板工法

「楕型鋼矢板工法」は、コスト縮減・期間短縮のため、従来工法のような大規模な液状化対策を行わず、液状化による変形を許容した津波・高潮被害軽減工法である。

防潮壁を形成する短尺矢板と非液状化層まで根入れした長尺矢板からなり、地震時において長尺と短尺の間から液状化に伴う土圧を逃がしつつ横方向にはあまり抵抗せず、長尺矢板の支持により防潮壁の必要高を確保するものである。地震後においても壁高を確保することで、高潮・高波・津波から背後地を防護することを目的としている。

ただし、地震時の護岸水平変位や背後地盤の沈下抑制効果は小さいため、側方流動の大きさを正確に予測した上で、護岸背後に近接して重要施設が配置されていない区間に適用を限定するなど十分な留意が必要である。

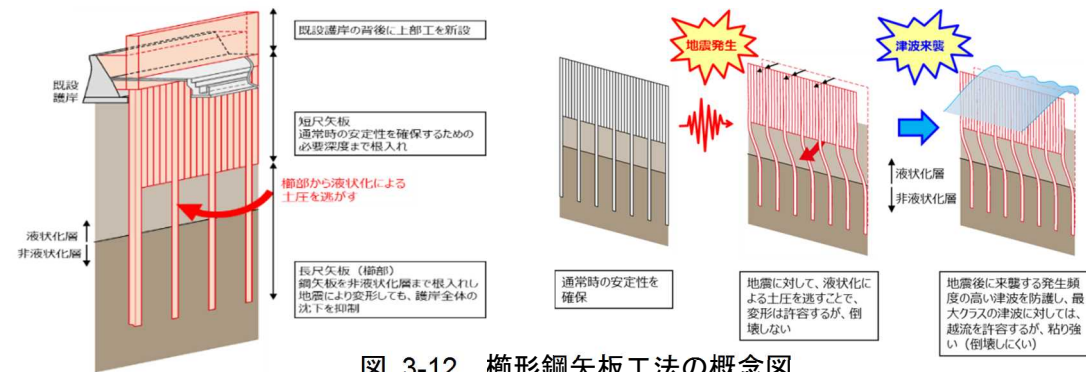


図 3-12 楕型鋼矢板工法の概念図

### 2) 従来工法との比較

楕型鋼矢板工法では、液状化対象層の地盤改良を行う必要がないため、以下に示す既設護岸改良における比較断面では、大きなコスト縮減・工期短縮の効果が期待される。

	部分的な地盤改良	楕型鋼矢板工法
断面図		
目的	波浪・高潮、L1地震、設計津波に対する護岸高と連続性を確保による越波・浸水防護	長尺鋼矢板の支持力で所要壁高確保
対策工	地盤改良（SCP）と上部工で波圧に抵抗	長尺鋼矢板の支持力で所要壁高確保
経済性	1.80	1.00


## 第4章 民有護岸等の耐震改良のための支援制度（平成30年6月時点）


### (1) 支援制度の対象・概要

本章では、民有護岸等の耐震改良にあたり費用負担を軽減するための、法人税の特例措置、無利子貸付制度、固定資産税の特例措置を紹介する。図4-1に示すとおり、支援制度の種類により対象施設や要件が異なることに注意が必要である。なお、これらは平成30年6月時点の情報であるため、特例措置の適用期間終了後は、最新の情報を確認する必要がある。

表4-1 民有護岸等の耐震改良のための支援制度の概要

	法人税の特例措置	無利子貸付制度	固定資産税の特例措置
対象港湾	○全国の港湾	・南海トラフ防災対策推進地域 ・首都直下地震緊急対策区域 ・日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進地域にある重要港湾以上の港湾	
対象施設	○港湾隣接地域における護岸、岸壁及び棧橋	○特別特定技術基準対象施設 (港湾計画に位置づけられた大規模地震対策施設に至る航路・泊地沿いの護岸、岸壁及び物揚場)	○左記の無利子貸付制度により耐震改修された施設
要件	○施設の耐震性に係る点検結果を平成32年3月までに港湾管理者へ報告 ○報告後3年以内に耐震改修工事が完了 ○港湾法第52条の2の21に基づく勧告を受けていないこと	○国からの事業認定が必要	○平成33年3月までに耐震改修工事が完了
内容	○改良資産の取得価額の18%の特別償却 ○緊急確保航路に接続する港湾においては、改良資産の取得価額の22%の特別償却	○耐震改修の資金の一部(最大6割)を港湾管理者(国からの貸付金を含む)から無利子で借入れ可能	○改良資産に係る固定資産税が改良後5年間5/6に軽減 ○緊急確保航路に接続する港湾においては、改良資産に係る固定資産税が5年間1/2に軽減

(法人税の特例措置対象施設のイメージ:  が背面にある護岸・岸壁・棧橋)

(無利子貸付(固定資産税の特例措置)対象施設のイメージ:  が前面にある護岸・岸壁・物揚場)

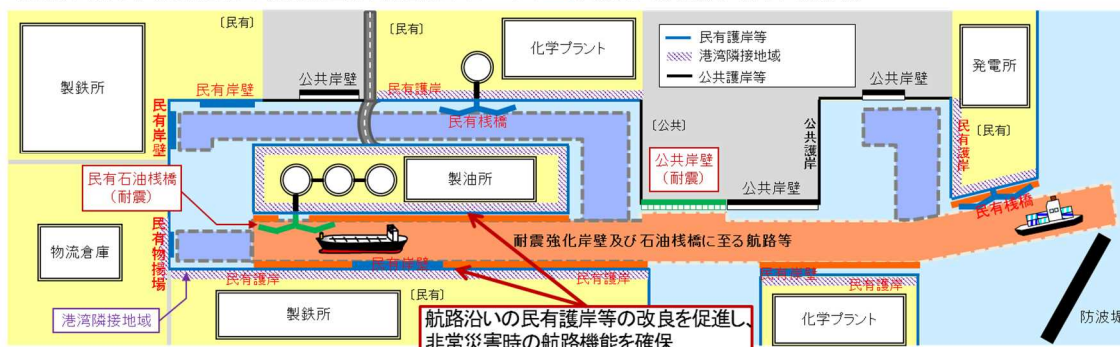


図4-1 支援制度の対象

## (2) 法人税の特例措置

### ①法人税の特例の要件

- 港湾法第37条に基づく港湾隣接地域に存在（当該地域内又は当該地域直前面に位置）する護岸、岸壁及び栈橋が対象となる。港湾隣接地域の指定状況については、港湾管理者に確認する必要がある。
- 平成32年3月31日までに、施設の耐震性に係る報告を港湾管理者へ行う必要がある。報告内容は、①維持管理に係る点検の実施状況、②建設当時の技術基準への適合状況、③現行の技術基準の耐震性の確保状況である。なお、本特例は耐震改修に係るものであるため、①維持管理に係る点検が実施され、②建設当時の技術基準に適合し、③現行の技術基準の耐震性（レベル1地震動又はレベル2地震動）が確保されていない施設が対象となる。
- 工事は、施設の耐震性に係る報告後3年以内に完了し、現行の技術基準に係る耐震性が確保される必要がある。このため、改良後の施設が、港湾法第56条の2の2第3項の方法により設計されること等が必要となる。
- 港湾法第56条の2の21に基づき、技術基準に適合しておらず非常災害時に船舶の交通に支障を及ぼすおそれのある民有護岸等について港湾管理者は施設所有者に対して必要な措置をとることを勧告することができる。この勧告を受けた場合、本特例の適用対象外となる。

### ②法人税の特例措置の内容

- 改良工事費のうち、改良による資産計上分が対象となる。
- 通常、当該資産を耐用年数に亘って償却させていくところ、特別に当該資産の取得年度に、普通償却分に加えて取得価額の18%を償却することができる。なお、緊急確保航路に接続する港湾においては、22%を償却することができる。
- 償却額は損金に計上できるため、改良資産の取得年度における利益が圧縮され、法人税の支払いが軽減される効果等がある。

### ③法人税の特例に係る手続き

- 施設が適用要件を満たすことを証明する「点検結果等受理書」及び「耐震改修証明書」を受け取るためには、民間事業者側から港湾管理者に対して報告や申請を行う必要がある。
- 法人税の特例措置の適用を受けるためには、確定申告の申請書類とともに「減価償却資産の償却限度額の計算に関する明細書」、「特別償却の償却限度額の計算に関する付表」、「適用額明細書」を添付する必要がある。その際、前述の点検結果等受理書及び耐震改修証明書を提出する必要はないが、事後に税務署より確認等される可能性があることから、保存しておく必要がある。

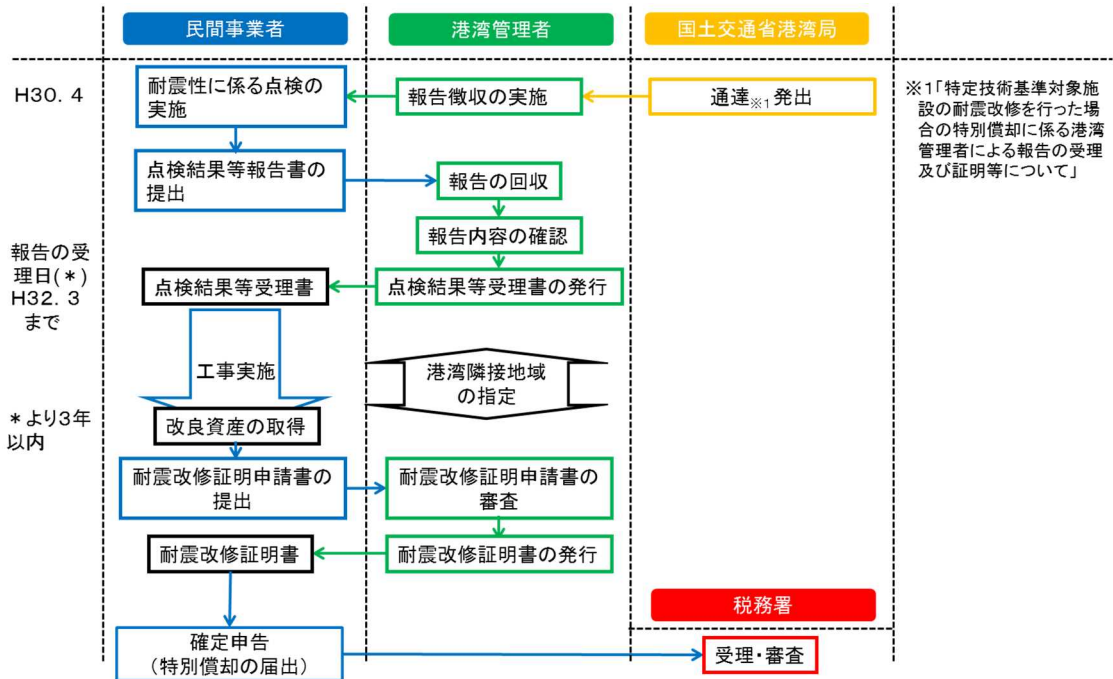


図 4-2 法人税の特例措置の手続きの流れ

### (3) 無利子貸付制度及び固定資産税の特例

#### ①無利子貸付制度の要件

- 南海トラフ防災対策推進地域、首都直下地震緊急対策区域及び日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進地域における、重要港湾以上の港湾に存在する特別特定技術基準対象施設が、対象となる。
- 特別特定技術基準対象施設は、大規模地震対策施設（耐震強化岸壁及び石油栈橋等）に至る航路に土砂等を流入させることにより船舶航行に影響を及ぼすおそれのある施設であり、施設の存在する地区及び施設種類が改良を進めるべきものとして、港湾計画に位置づけられているものを指す。当該施設の港湾計画における位置づけについては、港湾管理者に確認する必要がある。なお、大規模地震対策施設の機能を確保するために必要な航路・泊地から約 600m 以内に存在する施設は、本制度の対象として差し支えない。また、個別に影響範囲を算出できるものについては、上記によらず対象として差し支えない。
- 耐震改修工事の開始前に、無利子貸付を受けるための認定を国から受ける必要がある。認定の要件としては、施設が港湾計画において特別特定技術基準対象施設として位置づけられていること、改良工事が現行の技術基準で求める耐震性を有するよう設計されたものであること、改良後に適切な維持・管理がなされることが確認できること等が必要である。現行の技術基準に係る耐震性の確保については、改良後の施設が、港湾法第 5

6条の2の2第3項の方法（部分係数法）により設計されるか、登録確認機関による適合性確認を受けていること等が必要となる。

#### ②無利子貸付の内容

- 施設の耐震改良工事費（調査、設計含む）が対象となる。
- 耐震改良工事費のうち、最大6割までを港湾管理者より無利子資金を借りることができる。なお、当該資金のうち半分を、国は港湾管理者に対して無利子で貸付けることとなる。（国の港湾管理者に対する無利子貸付金の償還条件は、償還期間20年間、うち据置き期間5年間とされている。）

#### ③固定資産税の特例の要件

- 平成33年3月31日までに、前述の特別特定技術基準対象施設の無利子貸付を利用して、耐震改修工事を完了している必要がある。無利子貸付に係る認定を有していることは、国から発行される認定書により証明される。

#### ④固定資産税の特例措置

- 改良工事費のうち、改良による資産計上分が対象となる。
- 改良資産の取得後5年間に亘って、当該資産に係る固定資産税が5/6に軽減される。なお、緊急確保航路に接続する港湾の施設においては、固定資産税が1/2に軽減される。

#### ⑤無利子貸付及び固定資産税の特例に係る手続き

- 固定資産税の特例措置の適用を受けるに当たり、施設の所在する市町村に対して、特例対象の償却資産であることを届け出る必要があるため、具体的に提出が必要な書類について当該市町村に確認する必要がある。

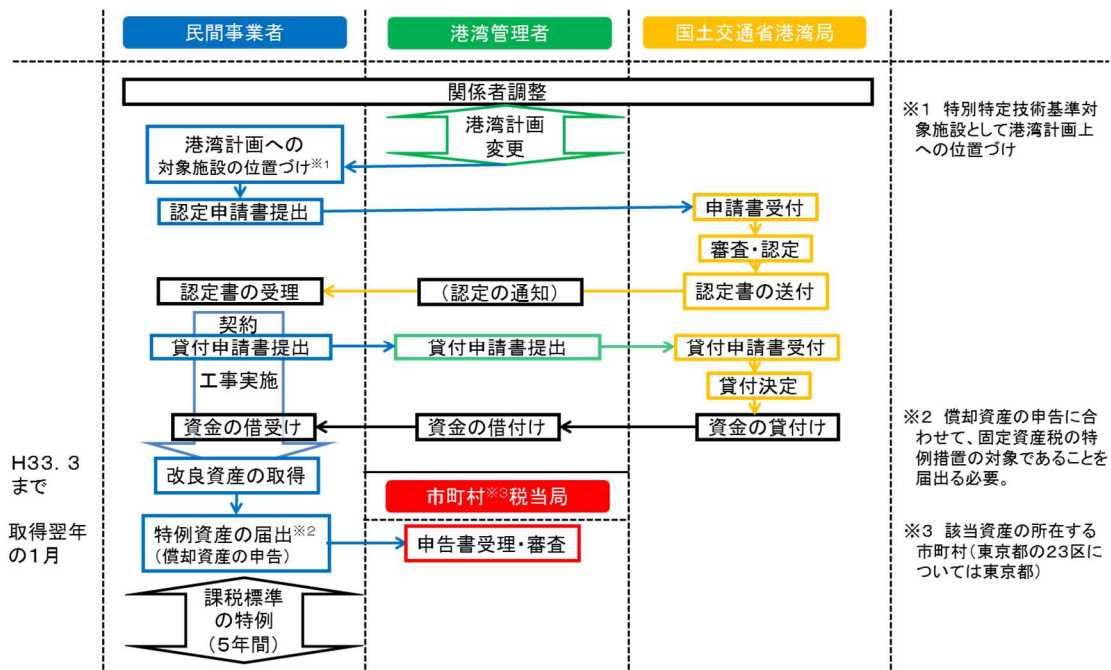


図 4-3 無利子貸付制度及び固定資産税の特例措置の手続きの流れ

#### (4) 支援制度及びガイドラインに関する相談窓口

本章で紹介した支援制度や本ガイドライン全般に関する相談窓口を、下記の通り設定している。

##### ◆ 地方整備局等担当部課

北海道開発局	港湾空港部	港湾計画課	011-709-2137
東北地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	022-716-0006
関東地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	045-211-7415
北陸地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	025-370-6604
中部地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	052-209-6321
近畿地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	078-391-8361
中国地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	082-511-3905
四国地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	087-811-8330
九州地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	092-418-3358
沖縄総合事務局	開発建設部	港湾計画課	098-866-1906

##### ◆ 本省担当部課

国土交通省 港湾局 海岸・防災課 危機管理室 03-5253-8070

〔 港湾における護岸等の耐震性調査・耐震改良のためのガイドライン  
平成 30 年 6 月 〕

## 解 説

## A. チャート式耐震診断システムの貸与申請等の窓口

チャート式耐震診断システムの貸与申請及び本ガイドラインに基づく同システムを利用した耐震診断等に係る技術的な相談については、下記の各地域に設けられた「港湾における液状化相談窓口」を活用することができる。

### 港湾における液状化相談窓口

国土交通省港湾局では、各地方整備局等に港湾施設の液状化相談窓口を開設し、港湾施設を保有する民間企業や港湾管理者等に対して港湾施設の液状化対策に関する相談サービスを提供しています。

- ◆対象者：
  - ・港湾施設を保有する民間企業
  - ・港湾管理者等
- ◆相談内容：
  - ・港湾における液状化予測・判定法に関すること
  - ・チャート式耐震診断システムの貸出及び使用に関すること
  - ・液状化対策に関すること 等

### ◆各地域の相談窓口

地域	所属	連絡先
北海道	北海道開発局 港湾空港部 港湾建設課	電話：011-709-2311
		FAX：011-709-2147
東北	東北地方整備局 仙台港湾空港技術調査事務所	電話：022-791-2116
		FAX：022-292-5366
関東	関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所	電話：045-461-3897
		FAX：045-461-3899
北陸	北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所	電話：025-222-6115
		FAX：025-227-3225
中部	中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所	電話：052-612-9984
		FAX：052-612-9477
近畿	近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所	電話：078-331-0409
		FAX：078-391-5680
中国 (山口県下関市除く)	中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所	電話：082-545-7017
		FAX：082-545-7019
四国	四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所	電話：087-811-5661
		FAX：087-811-5670
九州 (山口県下関市含む)	九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所	電話：083-224-4130
		FAX：083-224-4141
沖縄	沖縄総合事務局 開発建設部 港湾計画課	電話：098-866-1906
		FAX：098-861-9916

- ◆受付時間：9:30～12:00 と13:00～17:00（土・日・祝祭日を除く）

## B. 港湾の施設の技術上の基準とその変遷

日本では、図解 B-1 に示すように、概ね 5 年に 1 度の頻度で大地震が発生し、地震被害の経験を受けてきた。そのうち、マグニチュード 7.5 以上の大地震はプレート境界で発生しており、太平洋沿岸での大地震はよく知られている。海洋プレート境界型の大震災に加えて、規模は小さいが、内陸で発生した地震もある。兵庫県南部地震（1995）がこれに相当し、その著しい破壊力はよく知られており、設計基準等の改訂に大きな影響を与えた。

新潟地震（1964）以降の地震を、港湾・空港分野での主な耐震研究の成果とともに、表解 B-1 に整理した。

表解 B-1 港湾における耐震設計の流れ（1999 年まで）

わが国での大地震の発生状況		耐震設計の流れ（1999 年まで）	
		地震	技術成果／設計実務への反映
	1964	新潟地震	1964 港湾地域強震観測の開始
	1968	十勝沖地震	1970 液状化判定法(強震記録・液状化事例:土田)
	1973	根室半島沖地震	1975 震度法の確立(強震記録・被害事例:野田・上部)
	1978	宮城南沖地震	1979 技術基準策定
	1983	日本海中部地震	1984 液状化対策技術マニュアル(強震記録・事例・実験) 大規模地震対策施設整備構想(耐震強化岸壁)
	1989	釧路沖地震 北海道南西沖地震	1989 液状化対策の基準化(技術基準改訂)
	1993	釧路沖地震 北海道南西沖地震	1993 液状化対策の効果検証(強震記録・事例) 大地震における空港高盛土の耐震性実証(強震記録・事例) 埋立地の液状化対策ハンドブック(強震記録・事例)
	1994	北海道東方沖地震 三陸はるか沖地震	1994 液状化対策(過圧密工法)の効果実証(強震記録・事例)
	1995	兵庫県南部地震	1995 数値解析・水中振動台による被災変形予測の実証(強震記録・事例・実験・解析)
	1997		1997 レベル1/レベル2地震動の設定(強震記録) 液状化対策における耐震性能照査型設計法の導入(埋立地の液状化対策ハンドブック改訂) 地盤・構造物(液状化含む)系複合数値解析技術の実用化(FILIP公開)
	1998		1998 全国空港強震観測の本格的開始
	1999		1999 耐震性能照査型設計法の導入(技術基準改訂)

図解 B-1 日本での大地震の発生状況

港湾の近代的な土木構造物が施工され始めた明治以降において、工学的耐震設計の必要性が認知されたのは 1891 年濃尾地震であったと言われている。地震による構造物の被災は、地震動により地盤や構造部材に劣化が生じることや構造物へ作用する慣性力などによって発生する複雑な現象である。しかし、複雑な動的挙動を、構造物に作用する水平方向の慣性力に着目し、地震の影響を自重（質量×重力加速度）に震度（地震時の最大応答加速度と重力加速度の比）を乗じて設計に考慮するという「震度法」の概念が 1915 年に佐野によって提案され現在まで用いられてきている。

港湾施設の設計では、1950 年に発行された港湾工事設計示方要覧においては、水平設計震度として 0.05～0.3 を与えることとしており、1959 年の港湾工事設計要覧において、日

本全国を地震活動度に応じ三区分に分類し、各々0.25～0.15, 0.20～0.05, 0.10～0.00 の設計震度の範囲を提示している。その後、1967年の港湾構造物設計基準以降は、設計震度を地域別震度、地盤種別係数、重要度係数の積として設定する方法となり、これは1999年に発行された設計基準まで続いた。

多くの護岸等の整備が始まった1960年代以降における技術基準の主な改訂年度は、1967年（昭和42年）、1979年（昭和54年）、1989年（平成元年）、1999年（平成11年）、2007年（平成19年）、2018年（平成30年）である。1973年（昭和48年）より前に制定・改訂された技術基準は、主に国有施設の整備に用いられた。地震観測記録等の蓄積と分析等により作用としての地震力や地震時の構造物や地盤の挙動に関する知見が蓄えられ、技術基準に順次反映されてきた。各設計基準での設計震度の値（地域別震度×地盤種別係数×重要度係数）を表解B-2に示す。表から明らかなように、設計震度算出のもととなる地域別震度は、基準改訂のたびに引き上げられる傾向にある。

地震時の港湾構造物の被害を大きくする主要因である地盤の液状化に関しては、1964年の新潟地震までは構造物への影響について明確に認識されておらず、新潟地震において地盤の液状化により著しい被害が発生したことから、液状化現象に対する工学的な研究の必要性が広く認識されることとなった。1967年（昭和42年）の基準において地盤の液状化について言及され、1979年（昭和54年）に改訂された基準から液状化が設計に反映されるようになった。地盤の液状化が生じると土圧の増大や沈下等重大な被害につながる現象が起こるため、供用期間内に起こりうる程度の強さの地震に対しては、基本的には液状化を許容しない（液状化が生じる恐れのある地盤には液状化対策を行う）という設計思想である。日本海中部地震（1983）では、液状化により多数の矢板式岸壁が被害を受けたが、液状化が発生しなかった同形式の矢板式岸壁の被害は軽微であったことから、液状化対策の実施に関する研究開発が緊急課題となり、1984年に液状化対策技術マニュアルが策定され、実務設計に反映されることとなるとともに、同年から耐震強化岸壁が整備されることとなった。こうして実施してきた液状化対策は、釧路沖地震（1993）において釧路港では400gal（ $\text{cm/s}^2$ ）を越える地表面での地震動が記録されたにも関わらず、液状化対策を実施した岸壁は、無被害または軽微な被害に留まり、その効果が実証された。技術基準における液状化対策にかかる考え方の変遷は表解B-3の通りである。

更に、兵庫県南部地震（1995）では、最大加速度500～800gal（ $\text{cm/s}^2$ ）レベルの地震動が発生し、港湾構造物も壊滅的被害を受けることとなった。この地震は、それまで耐震設計において想定していた供用期間内に起こり得る程度の地震動の強さを大きく上回るものであったが、発生確率は低いものの海洋型地震や直下型地震において起こり得るものではあった。このため、施設の重要度に応じて、こうした地震動に対する耐震性も確保すること、また、施設の重要度に応じてそれぞれの地震動に対して確保すべき性能（耐震性能）を設定することの必要性が認識された。この結果、供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）と再現期間数百年のプレート内地震動や陸地近傍のプレート境界型

地震動のように供用期間中に発生する確率が低いが大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）の二段階の地震動レベルに対して、施設の重要度に応じた耐震性能を定め、それに基づいた耐震設計を行うことと大きく変化することとなった。このレベル2地震動に関する設計概念は、兵庫県南部地震（1995）後の1989年（平成11年）に改訂された基準から取り入れられた。技術基準におけるレベル2地震動にかかる考え方の変遷は表の通りである。

こうして順次新たな知見が反映されてきた耐震設計に関する技術基準上の考え方は、2007年（平成19年）に改訂された基準において大きく変わった。同基準において、設計手法や構造物の形状・材質といった手段を直接規定する仕様規定から、求められる性能のみを規定する性能規定へと移行したとともに、レベル1地震動の考え方も、それまでの地域別震度×地盤種別係数×重要度係数＝設計震度を求めるという考え方から、工学的基盤面での地震動を地表面地震動へと変換した後、構造形式や大きさ、許容変形量を考慮して照査用震度を算出するという考え方に大きく変わり、震源特性・伝播経路特性・サイト特性等を考慮した構造物ごとのより精確な地震動を耐震設計において用いることとなった。

現行基準における設計状態・主たる作用・性能照査の方法を表解B-5に示す。また、現行基準の照査方法と平成19年以前の基準の照査方法の違いを表解B-6に示す。

表 解 B-2 技術基準の改訂と地域別震度の変遷（レベル1地震動の耐震設計にかかる考え方）

作用力

vs耐力

基準

- ① S25(参) 1950
- ② S42(参) 1967
- ③ S54 1979
- ④ H元 1989
- ⑤ H11 1999
- ⑥ H19 2007
- ⑦ H30 2018

基準	設計震度	地域別震度																														地盤種別係数			重要度係数			安全率	部分係数	設計耐力									
		宗谷	根室	網走	釧路	十勝	日高	上川	留萌	胆振	渡島	檜山	石狩	後志	北海道	茨城	千葉	東京	神奈川	新潟	富山	福井	京都	近畿	鳥取	岡山	広島	山口	高知	徳島	香川	愛媛	福岡	大分	宮崎	熊本	佐賀				長崎	鹿児島	沖縄	一種	二種	三種	特定	A級	B級
	設計震度	地盤の良否、構造物の重要性、地理的状况で0.05~0.3を採る。																																				×											
① S25(参) 1950	設計震度																																		0.5~1.5			×	1.2	—	設計耐力								
② S42(参) 1967	設計震度	0.05	0.05	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.10	0.10	0.15	0.15	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	—	—	0.8	1.0	1.2	0.5~1.5			×	1.2	—	設計耐力		
③ S54 1979	設計震度	0.05	0.05	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	—	—	0.8	1.0	1.2	1.5	1.2	1.0	0.5	×	1.2	—	設計耐力
④ H元 1989	設計震度	0.05	0.05	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.10	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10	0.05	0.10	0.15	0.10	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.8	1.0	1.2	1.5	1.2	1.0	0.5	×	1.2	—	設計耐力
⑤ H11 1999	設計震度	0.08	0.13	0.15	0.15	0.11	0.12	0.13	0.12	0.13	0.15	0.12	0.15	0.13	0.15	0.12	0.11	0.11	0.08	0.13	0.13	0.11	0.12	0.08	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.8	1.0	1.2	1.5	1.2	1.0	0.8	×	1.2	—	設計耐力		
⑥ H19 2007	照査用震度	震度(加速度最大値, 周波数フィルター, 低減率(許容変形量))																																				×	部分係数(1.0~)	部分係数(~1.0)	設計耐力								
	照査用震度	震源特性・伝播経路特性・サイト特性を考慮して算出される加速度時刻歴の最大値(工学的地盤面地震動 → 地表面地震動)、許容変形量																																				×	調整係数(1.0~)	部分係数(~1.0)	設計耐力								
⑦ H30 2018	照査用震度	震度(加速度最大値, 周波数フィルター, 低減率(許容変形量))																																				×	調整係数(1.0~)	部分係数(~1.0)	設計耐力								
	照査用震度	震源特性・伝播経路特性・サイト特性を考慮して算出される加速度時刻歴の最大値(工学的地盤面地震動 → 地表面地震動)、許容変形量																																				×	調整係数(1.0~)	部分係数(~1.0)	設計耐力								

表 解 B-3 技術基準の変遷（液状化対策にかかる考え方）

基準

- ① S25(参) 1950
- ② S42(参) 1967
- ③ S54 1979
- ④ H元 1989
- ⑤ H11 1999
- ⑥ H19 2007
- ⑦ H30 2018

① S25(参) 1950	考慮なし
② S42(参) 1967	考慮なし
③ S54 1979	対策を前提 (粒度分布(A,B区分)、 限界N値vs最大加速度(A区分→相対密度80%以上を考慮))
④ H元 1989	対策を前提 (粒度分布(A,B区分)、 等価N値vs等価加速度(A区分→細粒含有率による補正))
⑤ H11 1999	対策を前提 (粒度分布、 等価N値vs等価加速度(細粒含有率、塑性指数による補正))
⑥ H19 2007	同上
⑦ H30 2018	同上

表 解 B-4 技術基準の変遷（レベル2地震動にかかる考え方）

基準

- ① S25(参) 1950
- ② S42(参) 1967
- ③ S54 1979
- ④ H元 1989
- ⑤ H11 1999
- ⑥ H19 2007
- ⑦ H30 2018

① S25(参) 1950	考慮なし
② S42(参) 1967	考慮なし
③ S54 1979	考慮なし
④ H元 1989	考慮なし
⑤ H11 1999	震度法 (重要度係数1.5 又は L2地震動(再現期間数百年の期待地震動、プレート内・境界地震動 相当)に対する動的解析結果を用いて水平震度を算定)
⑥ H19 2007	L2地震動(想定地震動のうち最大級の強さの地震動)に対する 地震応答解析、振動実験等
⑦ H30 2018	同上

表 解 B-5 現行基準における設計状態、主たる作用、性能照査の方法

設計状態	主たる作用	性能照査の方法
永続状態 変動状態	自重、土圧、風、波浪、水圧、船舶の接岸及び牽引による作用、載荷重	信頼性設計法(部分係数法等)
		模型実験、又は現地試験に基づく方法
	レベル1地震動	信頼性設計法(部分係数法等)
		数値解析法(地盤-構造物の動的相互作用を考慮した非線形地震応答解析手法)
偶発状態	船舶の衝突、津波、レベル2地震動、偶発津波、火災	数値解析法(変形量や損傷の程度を具体的に評価できる方法)
		模型実験、又は現地試験に基づく方法

\* 朱書きは耐震設計に係る部分を示す

表 解 B-6 レベル1地震動に関する変動状態に対する照査方法の違い

	H19以前の技術基準 (括弧内の数値はH11基準)	H30技術基準
地震の活動度	地域別震度 (0.08~0.15)	港湾ごとに工学的基盤のレベル1地震動を設定(確率論的地震ハザード解析及び工学的基盤以深の増幅特性を考慮)
表層地盤の影響	地盤種別係数 (0.8~1.2)	照査用震度算定時に、表層地盤の地震応答解析や地盤の固有周期で考慮
構造物の重要性	重要度係数 (0.8~1.5)	照査用震度算定時に、壁高で考慮。
設計に用いる震度	設計震度=地域別震度×地盤種別係数×重要度係数	構造形式ごとに、地表面における応答加速度波形、壁高、地盤の固有周期に応じた照査用震度を算出
作用力と耐力の比較 滑動に関する安定性の検討の例	$F_s \leq fW/P$ ( $F_s$ : 安全率、 $W$ : 全鉛直力、 $P$ : 全水平力、 $f$ : 摩擦係数)	$m \cdot S_d / R_d \leq 1.0$ $R_d = \gamma_R R_k$ $S_d = \gamma_S S_k$ $R_k = f_k (W_k + P_{V_k} - P_{B_k})$ $S_k = P_{H_k} + P_{W_k} + P_{d_wk} + P_{F_k}$ $f$ : 壁体底面と基礎との摩擦係数 $W$ : 壁体を構成する材料の重量 $P_V$ : 壁体に作用する鉛直土圧合力 $P_B$ : 壁体に作用する浮力 $P_H$ : 壁体に作用する水平土圧合力 $P_w$ : 壁体に作用する残留水圧合力 $P_{d_w}$ : 壁体に作用する動水圧合力 $P_F$ : 壁体に作用する慣性力 $R$ : 抵抗項 $S$ : 荷重項 $\gamma_R$ : 抵抗項に乗じる部分係数 $\gamma_S$ : 荷重項に乗じる部分係数 $m$ : 調整係数

## C. 護岸等の重要度の設定の考え方

護岸等の重要度の考え方と設定基準を以下に示す。

### S 級：損壊すると人命や公衆保安に重大な影響を及ぼすおそれのある護岸等

－損壊した際に、当該事業所外に影響を及ぼしうるものや災害時の当該事業所内の人命に大きく影響を与える護岸等

(設定の考え方)

- ・公共航路等の重要な航路が近接する護岸等

例) 港湾計画において大規模地震対策施設として定められている岸壁・栈橋(耐震強化岸壁)、製油所・油槽所の石油栈橋、ライフライン関係重要事業所(電力、LNG等)の係留施設等に至る航路から概ね100m以内に存在する護岸等

注) 上記各係留施設に「至る航路」とは、各係留施設を利用するために船舶が航行等するために必要な航路及び泊地のことである。

- ・背後に危険物を取り扱う施設(製造施設、貯蔵施設、パイプライン)が存在し、護岸等の損壊に伴う背後施設の損壊により、公衆保安上重大な危機を生じる可能性がある護岸等

例) 港湾計画上の「危険物取扱施設」である護岸等。また、「危険物取扱用地」前面の護岸等及び「工業用地」前面の一部の護岸等。そのほか、護岸等から概ね100m以内に危険物を取り扱う施設が存在する護岸等

危険物の例) 火薬類、高圧ガス、引火性液体類、毒物等

- ・事業所の緊急物資輸送に利用される岸壁等
- ・当該護岸等の直近傍に大きな生産施設や倒壊危険性のある施設がある護岸等

※ S 級の施設については、公共への影響の観点からも設定することから、港湾の事業継続計画(港湾BCP)やその他の防災計画(石油コンビナート防災アセスメント等)を踏まえ、港湾管理者等にも相談して設定することが望ましい。

### A 級：損壊すると事業活動に重大な影響を及ぼすおそれのある護岸等

－損壊した際に、当該事業所の生産活動が停止するような重大な影響を与える護岸等

(設定の考え方)

- ・入出荷用岸壁や栈橋の護岸であって、当該係留施設が利用できなくなると事業所の生産活動が停止する護岸等
- ・重要な生産・貯蔵施設が近接する護岸等

**B級：損壊すると事業活動に影響を及ぼすおそれのある護岸等**

－損壊した際に、当該事業所の生産活動に影響を与える護岸等

(設定の考え方)

- ・背後に場周道路や生産・貯蔵施設を有する等の護岸等

**C級：損壊しても事業活動に直ちに影響を及ぼさない護岸等**

－損壊した際に、当該事業所の生産活動に直ちに影響を与えるわけではないものの、護岸等の機能が失われていることにより、浸食等が進むことにより、いずれは生産活動や周辺環境に影響を及ぼす可能性のある護岸等

#### D. 基本情報による耐震診断の判断基準

護岸等の基本情報により安全と判断して良い場合と危険と判断すべき場合は以下のような場合がある。

##### 安全と判断して良い場合

以下のいずれかの項目に該当する場合は、安全と判断してよいものとみなす。

(築造年)

- ・平成 19 年基準以降の基準により設計され、整備された施設（工学的基盤面の地震動に変更があった場合を除く。）

(設計震度等)

- ・施設の設計震度が現行の技術基準に基づく照査用震度<sup>1)</sup> 以上の場合（レベル 1 地震動の場合）
- ・過去に受けた地震動に対して耐震性能を発揮した施設であって、工学的基盤面における当該地震動が照査用地震動と同等であると判断できる場合（その時点からの劣化を考慮しなければ、照査用地震動に対する耐震性を有すると言える。）

例： 千葉港千葉中央地区、千葉港葛南地区及び東京港の施設（想定地震動：レベル 1 地震動、既往地震動：平成 23 年東北地方太平洋沖地震）<sup>2)</sup>  
大阪港の施設（想定地震動：レベル 1 地震動、既往地震動：平成 7 年兵庫県南部地震）<sup>2)</sup>  
宮城県～茨城県の施設（想定地震動：レベル 2 地震動、既往地震動：平成 23 年東北地方太平洋沖地震）

注：上記に記載のない項目については、護岸等の基本情報（構造形式等）のみから「安全」と判断することはできないため、より詳細な調査を実施の上、判断する必要がある。

---

1) 照査用震度については、港湾内のゾーン別に構造形式・水深等を考慮して共通の照査用震度を作成し、一定の整理のもとで利用することが考えられる。

2) 上記を含め、既往の大地震による地震動と照査用地震動とを比較した資料は、以下の HP を参照されたい。

[https://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/research\\_jpn/research\\_jpn\\_2018/jr\\_52.html](https://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/research_jpn/research_jpn_2018/jr_52.html)

### 危険と判断すべき場合

以下のいずれかの項目に該当する場合は、危険と判断すべきものとみなす。

(築造年)

- ・昭和 54 年基準以前に整備された施設であって、施設背後や直下の地盤が想定地震動において液状化するおそれがある場合
- ・構造物の一般的な設計供用期間である 50 年を上回る場合（鋼構造物の場合は 40 年）

(構造形式)

- ・ブロック式護岸
- ・腐食代を考慮した矢板式護岸で築 40 年以上の場合

(設計震度等)

- ・設計震度が現行の技術基準に基づく照査用震度<sup>1)</sup>を下回る場合（レベル 1 地震動の場合）

(その他)

- ・設計図書がなく、構造形式が不明な場合

## E. チャート式耐震診断

施設の地震による変形量を予測する手法は、詳細手法から簡易手法まで多くの手法が確立されている。一般的に詳細手法は有限要素法を用いて直接的に詳細に変形量等を把握する手法であり、簡易手法は施設の形状等を入力することにより簡易に変形量等を把握する手法である。

簡易手法の一つとして、「チャート式耐震診断システム」がある。

### (1) 概要

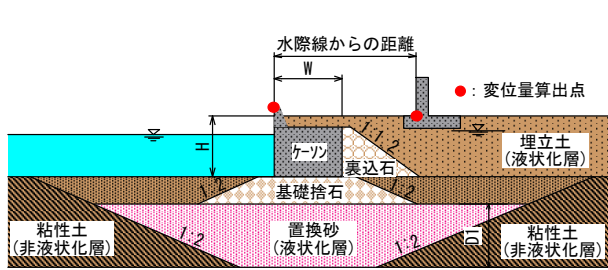
チャート式耐震診断システムとは、施設形状、地盤条件、設定した地震動条件を用いて、地震発生時の施設の変形量を簡易に予測する耐震診断システムである。

従来の地震時の変形量の予測を行う耐震診断は、地震時の液状化等を考慮できる FLIP 等の二次元地震応答解析を用いて行う必要があった。しかし、二次元地震応答解析を実施するには、高度な技術力と多大な時間と費用を要するため、簡易に施設の変形量を予測することが可能なチャート式耐震診断システムが開発された。

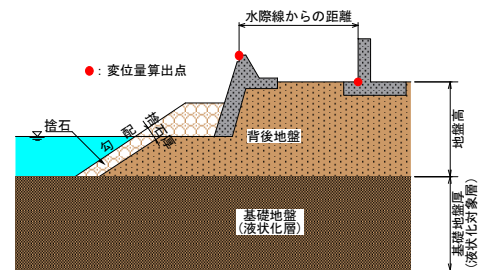
チャート式耐震診断システムは、数千ケース以上にも及ぶ FLIP の解析結果を用いて、施設の変形量と地震動の特性値、施設形状及び地盤条件の関係を整理することにより、施設背後の地盤条件、施設形状、地震動条件の代表値又は特性値を入力のみで、施設の変形量を一定の精度で予測することが可能なシステムである。

現在開発されているチャート式耐震診断システムで護岸等に対応する構造形式は、**図解 E-1** に示す直立式（重力式）、傾斜型護岸タイプ、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板、及び自立式矢板、栈橋式の計 6 構造形式であり、変位量算出点は、水際線（護岸法線）に加えて水際線背後の任意の位置（ユーザが指定出来る）となっている。

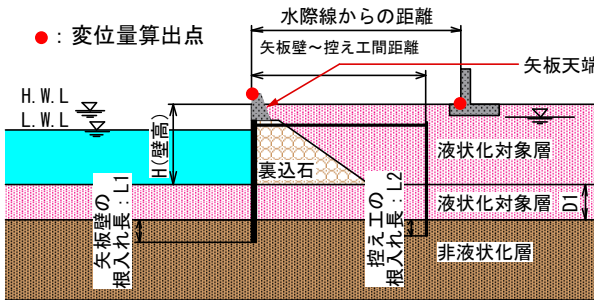
劣化した施設はチャート式耐震診断システムのみでは評価することができないため、構造物の劣化に係る点検診断結果と合わせて耐震性を評価する必要がある。



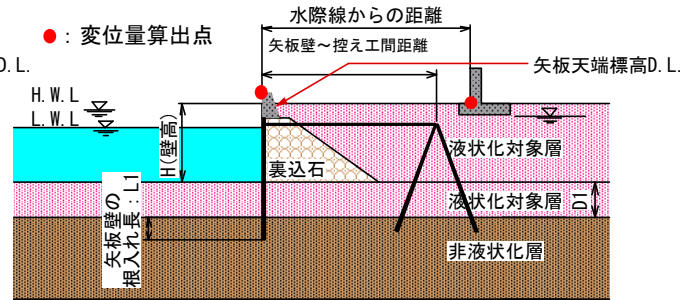
(1) 直立型（重力式）



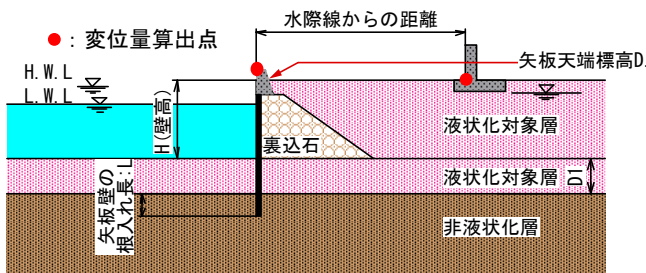
(2) 傾斜型護岸タイプ



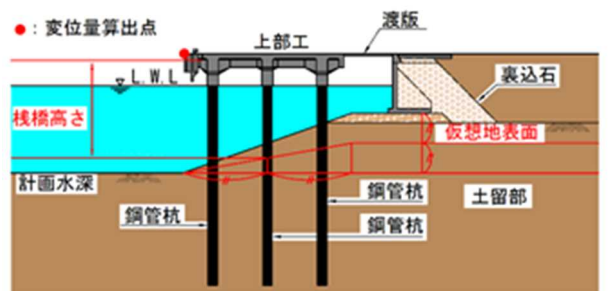
(3) 控え直杭式矢板



(4) 控え組杭式矢板



(5) 自立式矢板



(6) 栈橋式

図解 E-1 チャート式耐震診断システムで診断できる構造形式

## (2) 検討手順

チャート式耐震診断システムによる変形量照査を実施する際には、**図 解 E-2** に示すように対象とする施設の構造形式に応じて、構造物の形状寸法、地盤の硬さを評価する等価  $N$  値の平均値、地震動の大きさを評価する値（速度の  $PSI$  値）を適切に設定する。アウトプットとして、護岸等の水平変形量  $d_H$ 、鉛直変形量  $d_V$  が得られる。また、必要に応じて背後地盤の水平及び鉛直の変位量も得ることができる。

なお、チャート式耐震診断システムには、ボーリング柱状図から等価  $N$  値の平均を算定できるサブシステム、地震動データから地震動の大きさを表す指標（速度の  $PSI$  値）を算定できるサブシステムが用意されている。

具体的な手順を次頁以降に示し、チャート式耐震診断システムを用いた診断事例及び検討結果の一例は、**参考資料-2** に示す。

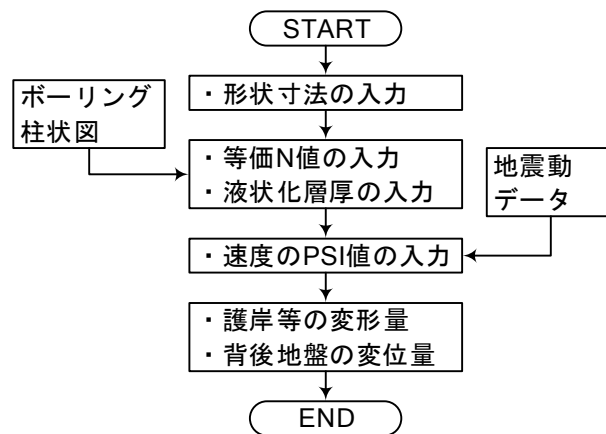


図 解 E-2 チャート式の検討手順

### 1) 地震動情報の入手

#### ① レベル1地震動

レベル1地震動は、各港湾ごとに国土技術政策総合研究所から時刻歴のデジタルデータが下記 HP に公開されている。

<http://www.y.sk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html>

#### ② レベル2地震動

対象とする地震動は港湾空港技術研究所より地震動時刻歴のデータを入手する必要がある。地震動の入力過程の例として、**図 解 E-3** に地震動の入手に至るまでの流れを示す。まず、検討の対象とする施設の設定をし、検討対象位置を明確にした上で、各地方整備局等

に設けられた「港湾における液状化相談窓口」<sup>3)</sup>に相談する。「港湾における液状化相談窓口」から港湾空港技術研究所に申請を行い、地震動の提供を受けることで、検討に必要な地震動時刻歴データ（加速度）を入手することができる。

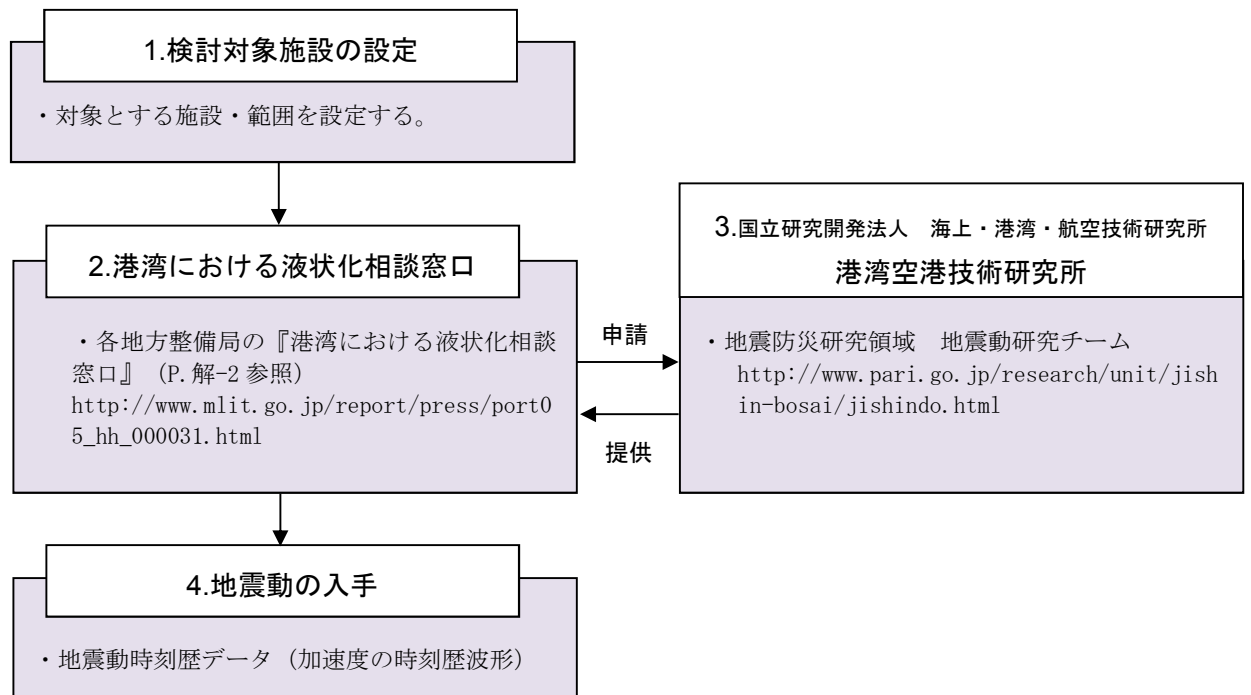


図 解 E-3 地震動の入手過程の例

また、内閣府が算定した南海トラフ巨大地震については、下記内閣府の HP より入手可能である。

[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/data\\_teikyou.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/data_teikyou.html)

3) 解説 A 参照

## 2) 地盤情報の入手

チャート式診断システムに必要な地盤情報は、システムのモデルにおいて液状化すると想定する各層における平均等価 $N$ 値と液状化層厚であることから、共有地盤情報（解説F）や簡易な地盤調査手法（解説G）を用いて、必要な定数を得る。液状化すると想定する層は、本来液状化判定を行うべきであるが、液状化判定を行わない場合は、地下水位以下で平均 $N$ 値が30程度以下の砂質土層を液状化対象層とする。

## 3) 必要設定条件

### ①施設形状に係る設定

チャート式耐震診断システムで護岸等に対応する構造形式は、直立式（重力式）、傾斜型護岸タイプ、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板、自立式矢板、栈橋式の計6である。チャート式耐震診断システムに対応していない施設を本システムにより評価する場合は、工学的判断により、地震により生じる構造物の変形モードがほぼ同じであると判断される構造形式に置き換えて検討を実施する必要がある。

チャート式耐震診断システムの検討を行う上で必要となる設定条件は、表解E-1に示すとおりである。なお、詳細な条件の設定方法は、以下に示す文献が参考となる。この文献は、チャート式耐震診断システムを入手すると添付されている。

- ・沿岸構造物のチャート式耐震診断システム Ver.1.05 利用者マニュアル:近畿地方整備局  
神戸港湾空港技術調査事務所,平成29年3月
- ・港湾における液状化相談窓口（国土交通省）  
[http://www.mlit.go.jp/report/press/port05\\_hh\\_000031.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000031.html)

表 解 E-1 チャート式耐震診断システムに必要な設定条件

項目		備考	
地震動条件	工学的基盤面における速度の PSI 値	「(3)適用範囲等」を参照のこと。	
地盤条件	平均等価 N 値		
構造物の形状寸法等	(1) 直立型 (重力式)		H (壁高)
			W/H (堤体幅/壁高)
			D1/H (液状化層厚/壁高)
	(2) 傾斜型護岸タイプ		地盤高
			捨石厚
			捨石勾配
			基礎地盤厚
	(3) 矢板式 (控え直杭)		H (壁高)
			L1/H (矢板壁の非液状化層への根入長/壁高)
			L2/H (控え杭の非液状化層への根入長/壁高)
			D1/H (海底面からの液状化層厚/壁高)
	(4) 矢板式 (控え組杭)		H (壁高)
			L1/H (矢板壁の非液状化層への根入長/壁高)
			L2/H (押し込み杭の非液状化層への根入長/壁高)
			L3/H (引抜き杭の非液状化層への根入長/壁高)
			D1/H (海底面からの液状化層厚/壁高)
	(5) 矢板式 (自立式)		H (壁高)
			L/H (矢板壁の非液状化層への根入長/壁高)
		D1/H (海底面からの液状化層厚/壁高)	
	(6) 直杭式 棧橋	D 土留め部の水平変位	
H 棧橋高さ			
置換砂、裏込石の有無			

②地盤条件に係る設定

耐震診断に必要な地盤条件を設定するには、図 解 E-1 に示す各構造形式中に示された土層区分（層厚）と液状化対象層の平均等価 N 値が必要となる。これらの情報は、ボーリング調査及び PDC から入手できる。

等価 N 値は、有効上載圧 65kN/m<sup>2</sup> 下での値に補正した N 値であり、式 (1) で算定できる。

$$N_{65} = \frac{N - 0.019(\sigma_v' - 65)}{0.0041(\sigma_v' - 65) + 1} \quad (1)$$

- ここに、  
 $N_{65}$  : 等価 N 値  
 $N$  : 標準貫入試験値  
 $\sigma_v'$  : 有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

### ③地震動に係る設定

チャート式耐震診断では、速度の  $PSI$  値を地震動として耐震診断を行う。速度の  $PSI$  値を算定するまでの過程は、入手できるデータにより多様な手段がある。

耐震診断の精度が高い地震動条件は次の順序になる。

- i サイト増幅特性を考慮した地震動の時系列デジタルデータ
- ii サイト増幅特性を考慮した地震動の最大加速度
- iii 対象地震のマグニチュード・断層面距離

ここで、最も精度の高いサイト増幅特性を考慮した地震動の時系列デジタルデータをチャート式耐震診断に用いる場合の手順について述べる。{ ii ~ iii については、沿岸構造物のチャート式耐震診断システム Ver. 1.05 利用者マニュアル (p. 90~) を参照できる }

地震動データは、0.01 秒毎の南北成分 (NS 成分 :  $A_{NS}$ ) と東西成分 (EW 成分 :  $A_{EW}$ ) に分けられたデータとなっているため、検討対象施設の護岸法線に対して直角となる地震波形 ( $A_{Mod}$ ) に補正した地震動を算出して用いる { 式 (2) 参照 }。算出した地震動は、チャート式診断システムに付属している「速度の  $PSI$  算定シート」により、速度の  $PSI$  値を求めることができる。

$$A_{Mod} = -A_{NS} \cos \theta + A_{EW} \sin \theta \quad (2)$$

ここに、 $A_{Mod}$  : 補正後地震波形

$A_{NS}$  : NS 成分地震波形

$A_{EW}$  : EW 成分地震波形

$\theta$  : NS 方向からの回転角度

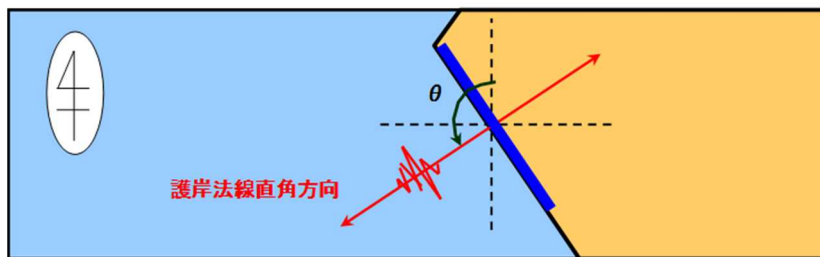
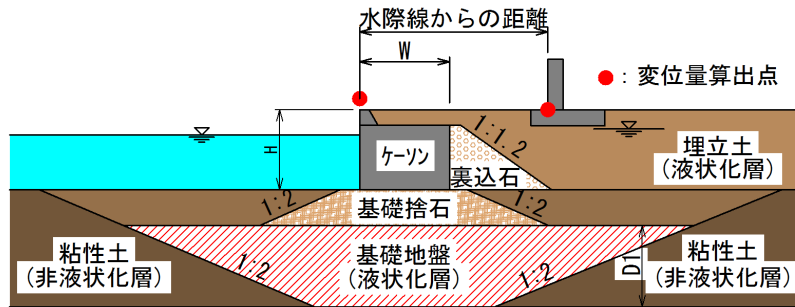


図 解 E-4 護岸法線直角方向成分

(3) 適用範囲等

1) 施設形状の範囲

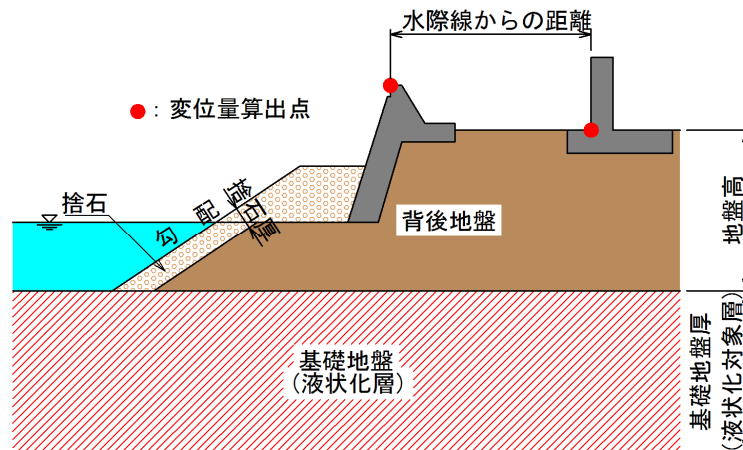
① 直立型（重力式）形式



直立型 (重力式)	H	3.0m~20.0m <sup>*1)</sup>
	W/H	0.35~1.05
	D1/H	0.00~1.95

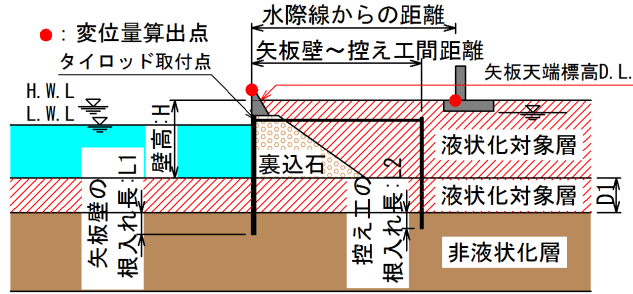
\*1) H（壁高）20m 程度の大型施設については、概略的な変形量の把握は可能であるが、別途詳細検討（FLIP 解析等）を実施するのが望ましい。

② 傾斜型護岸形式



傾斜型 護岸タイプ	地盤高	2.0m~10.0m
	捨石厚	0.0m~3.0m
	捨石勾配	1:1.0~1:3.0
	基礎地盤厚	0.0m~25.0m

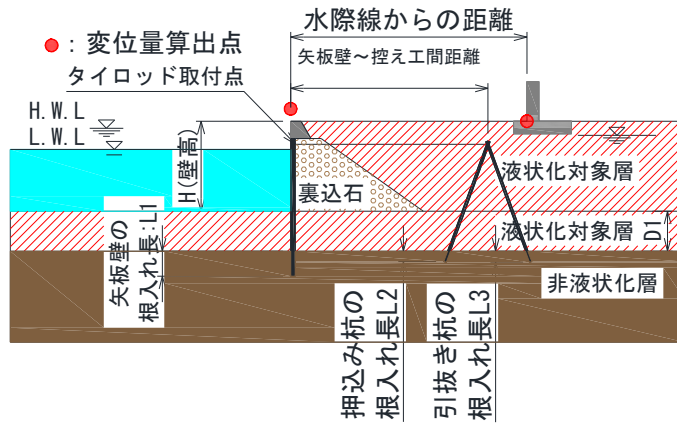
③ 控え直杭式矢板形式



控え直杭式 矢板形式	H	3.0m～15.0m
	$L1/H^{*2)}$	-0.5～0.5
	$L2/H^{*2)}$	-0.9～0.5
	$D1/H$	0.3～2.0

\*2) L, L1, L2, L3 は、非液化化層への根入れがある場合が正

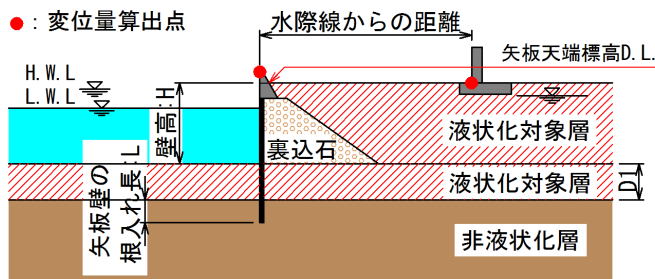
④ 控え組杭式矢板形式



矢板式 (控え組 杭)	H	3.0m～15.0m
	$L1/H^{*2)}$	-0.5～0.5
	$L2/H^{*2)}$	-0.15～0.15
	$L3/H^{*2)}$	-0.15～0.5
	$D1/H$	0.3～2.0

\*2) L, L1, L2, L3 は、非液化化層への根入れがある場合が正

⑤ 自立式矢板形式

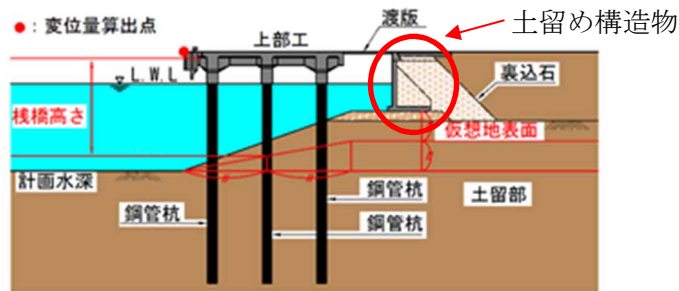


矢板式 (自立式)	H	3.0m～7.5m
	$L/H^{*2)}$	-0.4～2.0
	$D1/H$	0.0～3.0

\*2) L, L1, L2, L3 は、非液化化層への根入れがある場合が正

## ⑥ 栈橋式

栈橋式は、土留め構造物の変位をもとに、栈橋の耐震性を評価するものとなっている。このため、栈橋式の適用範囲は、土留め構造物の構造形式（直立型（重力式）、控え直杭式矢板等）の条件による。



### 2) 地盤条件の範囲

地盤条件における平均等価  $N$  値の適用範囲は、5～25 である。直立型（重力式）及び傾斜型護岸タイプは、背後地盤と基礎地盤の 2 種類の平均等価  $N$  値を入力できるが、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板、及び自立式矢板は、1 種類の平均等価  $N$  値しか入力できない。また、計算に用いる等価  $N$  値は、細粒分含有率による補正は行わない値とする。

### 3) 鋼材の曲率比（矢板式）

鋼部材の曲率比については、地盤のコントラストに影響をうけるところが大きい。チャート式耐震診断システムは、一様な地盤で検討しており、必ずしも安全側の結果が得られるとは限らない。従って、鋼部材の曲率比に関しては参考値扱いとする。

### 4) 栈橋式

沿岸構造物のチャート式耐震診断システムでは、栈橋式の鋼管杭の応力照査を実施することができる。出力結果は、最大曲率比（“発生曲率/全塑性モーメント発生時の曲率”の最大値）と応力状態（表 解 E-2 参照）である。

栈橋の応力照査には、変形率を必要とする。栈橋部の変形率とは、栈橋部の水平変位を仮想地表面の平均値～上部工までの高さ（以降、栈橋高）で除したものである。栈橋部の水平変位は土留部の水平変位とほぼ等しいことが解析的に確認されている。そのため、栈橋部の水平変位を算定する際は、土留部の水平変位をチャート式耐震診断システム等を用いて推定する。なお、土留部の前面水深は仮想地表面位置として壁高等の値を設定する必要がある。

表 解 E-2 チャート式耐震診断システムで出力される栈橋の応力状態

応力状態 1	すべての杭が降伏以下（最大曲率比 1.0 以下）
応力状態 2	すべての杭が全塑性以下（最大曲率比 1.0 以下）
応力状態 3	ダブルヒンジが発生しない（最大曲率比 2.0 以下）
応力状態 4	ダブルヒンジが発生しない杭が存在する（最大曲率比 10.0 以下）
応力状態 5	全ての杭でダブルヒンジが発生する（最大曲率比 10.0 以上）

#### (4) 形状パラメータの入力における留意事項

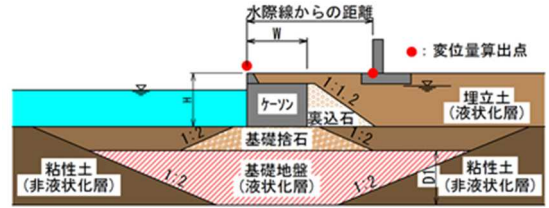
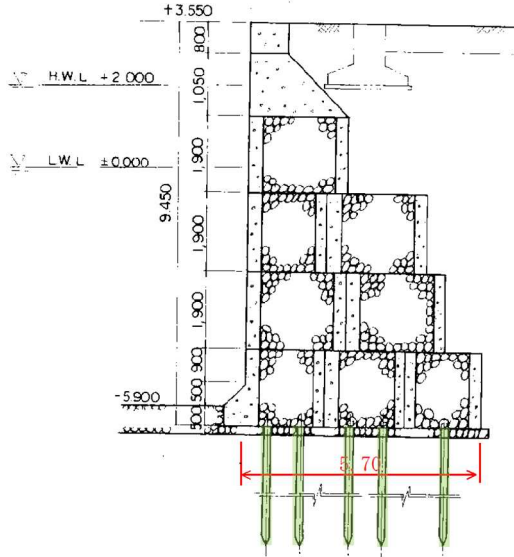
チャート式耐震診断システムで護岸等に対応する構造形式は、図 解 E-1 に示す直立式（重力式）、傾斜型護岸タイプ、控え直杭式矢板、控え組み杭式矢板、自立式矢板、及び栈橋式の計 6 構造形式であり、検討対象施設をどの構造形式で耐震診断するかによって、結果（変形量）が異なる。構造形式の選定は、下記の方針を基本とする。また、古い施設は改良が施され、図 解 E-1 に示すような単純な形状ではない施設がある。参考として次頁以降に、古い施設をチャート式耐震診断システムで検討する際の形状パラメータの設定事例を示す。

- ・ 構造形式の選定に迷う場合は、両方の診断を行い、安全側（変形量が大きくなる）の結果を採用する（直立型と傾斜型護岸タイプの例参照）。
- ・ 構造上機能を発揮していないと考えられる部材は、ないものとして扱う（自立式矢板の例参照）。
- ・ 施設前面がマウンド等の法面となっている場合の壁高は、背後地盤の標高と法尻の標高差とする。

1) 直立型（重力式）の例

①ブロック積みの護岸

松丸太杭は無視し、幅=5.7m、壁高=9.45mの直立型（重力式）として診断する。



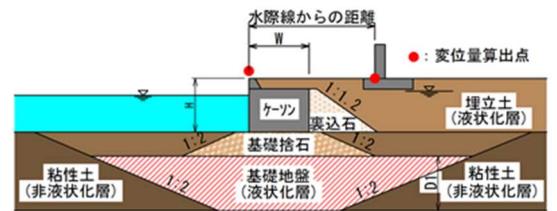
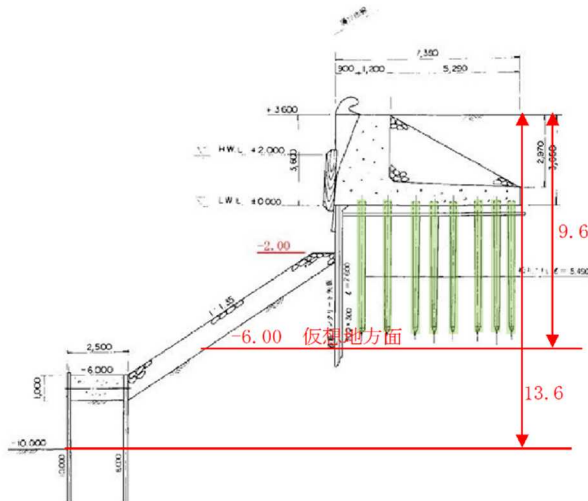
直立型 (重力式)	H	9.45m
	W	5.7m

：松丸太杭

図解 E-5 (1) 直立型（重力式）の例その 1

②マウンド上の重力式

栈橋式の仮想地表面を適用し、幅=7.35m、壁高=9.6mの直立型（重力式）として診断した場合と傾斜式護岸として診断した場合の比較を行う。



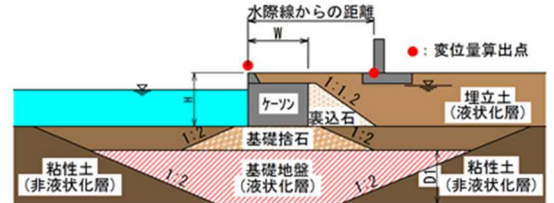
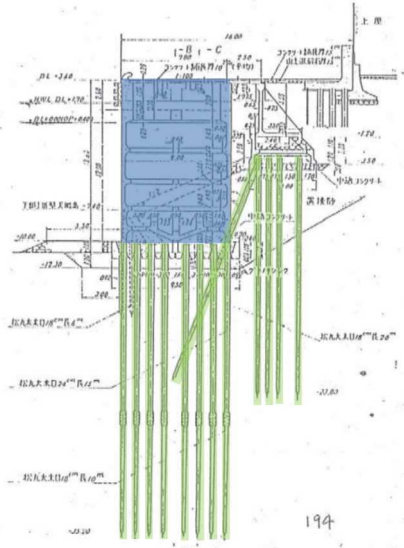
直立型 (重力式)	H	9.6m
	W	7.35m

：松丸太杭

図解 E-5 (2) 直立型（重力式）の例その 2

### ③松丸太杭が多量にある断面

松丸太杭は、無視し着色部の堤体諸元で診断する。



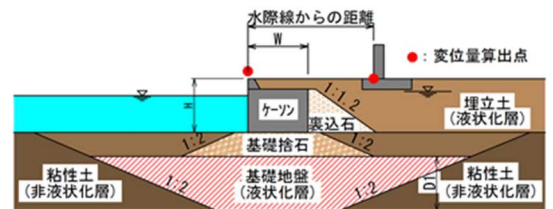
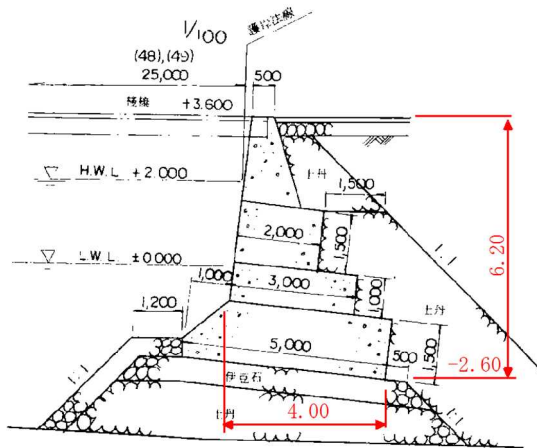
直立型 (重力式)	H	7.8m
	W	14.6m

松丸太杭

図解 E-5 (3) 直立型 (重力式) の例その 3

### ④傾斜したブロック式

傾斜を考慮した堤体幅を設定し診断する。



直立型 (重力式)	H	6.2m
	W	4.0m

図解 E-5 (4) 直立型 (重力式) の例その 4

## 2) 傾斜型護岸タイプの例

### ①マウンド上の重力式

地盤高 13.6m、捨石厚 1.0m、捨石勾配 1:1.35 の傾斜型護岸として診断した場合と栈橋式の仮想地表面を考慮した直立型（重力式）として診断した場合の比較を行う。

傾斜型 護岸タイプ	地盤高	13.6m
	捨石厚	1.0m
	捨石勾配	1:1.35

:松丸太杭

図 解 E-6 (1) 傾斜型護岸タイプの例その 1

### ②煩雑な断面

松丸太杭は無視し、傾斜型護岸タイプして診断する。

傾斜型 護岸タイプ	地盤高	12.87m
	捨石厚	1.0m
	捨石勾配	1:2

:松丸太杭

図 解 E-6 (2) 傾斜型護岸タイプの例その 2









































































































