

港湾護岸等の地震・津波による被害検証マニュアル(案)

平成 25 年 3 月

国土交通省 中国地方整備局

目次

序章	はじめに	1
第1章	港湾護岸等の被害想定の一必要性と本マニュアルの位置づけ	2
1. 1	東日本大震災における地震、津波等に対する港湾護岸等の防災対策の課題	2
1. 1. 1	津波による被害	2
1. 1. 2	地震動、液状化による広域的な被害	2
1. 1. 3	地震動、液状化と津波による複合破壊	2
1. 2	港湾護岸等の被害想定を行う必要性について	3
1. 2. 1	液状化による港湾護岸等の変形、沈下への懸念	3
1. 2. 2	施設管理者が複数存在する臨海部での防災対策の必要性	3
1. 3	本マニュアルの概要	3
1. 3. 1	目的	3
1. 3. 2	検討対象施設・範囲	3
1. 3. 3	外力条件	4
1. 3. 4	検討項目	4
1. 3. 5	対象者	4
第2章	検討対象施設・範囲の選定	6
2. 1	検討対象施設・範囲の選定	6
第3章	港湾護岸等の耐震性に関する検討	7
3. 1	検討条件の設定	9
3. 1. 1	対象地震動の設定	9
3. 1. 2	代表断面の設定（ゾーニングの設定）	9
3. 2	地震による変形量予測	9
3. 2. 1	変形量予測手法の選定	9
3. 2. 2	簡易手法（チャート式耐震診断）による変形量予測	9
3. 2. 3	詳細手法（FLIP）による変形量予測	9
3. 3	検討対象施設の地震変形による被害の想定	9
第4章	施設背後の津波による浸水に関する検討	10
4. 1	検討条件の設定	12
4. 1. 1	既往の浸水予測結果の把握	12
4. 1. 2	対象津波波源の設定	12
4. 1. 3	地形条件の設定	12
4. 2	津波による浸水予測	13
4. 2. 1	浸水計算手法の選定	13
4. 2. 2	簡易手法（レベル湛水法）による浸水予測	13
4. 2. 3	詳細手法（津波シミュレーション）による浸水予測	13
4. 3	検討対象施設背後の津波による浸水・漂流被害の想定	13

第5章	想定される地震・津波被害に応じた緊急対応対策に関する事項	14
5. 1	事前対策	16
5. 2	事後対策	16
解説 A	対象地震動の設定方法	17
解説 B	代表断面の設定（ゾーニングの設定）	22
解説 C	変形量予測手法の設定	24
解説 D	簡易手法（チャート式耐震診断）による変形量予測	26
解説 E	詳細手法（FLIP）による変形量予測	30
解説 F	地震変形による被害の想定	34
解説 G	津波波源の設定方法	35
解説 H	地形条件の設定方法	37
解説 I	浸水計算手法の選定方法	38
解説 J	簡易手法（レベル湛水法）による浸水予測	40
解説 K	詳細手法（津波シミュレーション）による浸水予測	41
解説 L	浸水・漂流被害の目安	42
解説 M	事前対策におけるソフト対策・ハード対策の例	50
解説 N	事後対応方針の例	54
参考 1	サイト増幅特性について	58
参考 2	最大クラス津波に先行する地震動のモデルの紹介	60
参考 3	ゾーニングの設定事例	62
参考 4	主な被害予測手法の概要（耐震性に関する検討）	65
参考 5	チャート式耐震診断システムの精度向上の一例	66
参考 6	老朽化の点検・調査方法	71
用語集		75
1.	港湾護岸等の耐震性に関する検討編	75
2.	施設背後の津波による浸水に関する検討編	86

序章 はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震及びこれに伴う津波は、東日本の太平洋側に暮らす人々の生活や企業の経済活動に深刻な影響を及ぼした。特に津波は、すさまじい破壊力をもって沿岸に押し寄せ、多くの尊い命を奪う未曾有の災害となり、多くの教訓を残した。

これを踏まえ、2012年6月に国土交通省交通政策審議会は、「四面を海に囲まれたわが国にとって、国民生活や産業活動の多くが臨海部に展開されており、このための物資の補給路となる港湾は、島国日本の生命線であり、港湾背後の人口や産業・物流機能を防護しつつ、こういった生命線を災害時においても維持していくことがわが国の命題である」ことから、港湾BCPに基づく港湾の災害対応力の強化による物流機能の早期回復や港湾施設の耐震性・耐津波性の確保等による「港湾における地震・津波対策のあり方～島国日本の生命線の維持に向けて～」(以下、「交通政策審議会答申」という)を国土交通大臣に答申したところである。

一方、国内有数の産業集積地として発展してきた中国地方には太平洋側の地域が甚大な被害を受けた際のバックアップ機能が期待されているものの、臨海部に展開する埋立地の港湾護岸等の倒壊や沈下、埋立地盤の液状化等の被災が懸念されている現状を鑑み、国土交通省中国地方整備局は、「中国地方の港湾における地震・津波・高潮・液状化対策に係る検討会議」(座長：三浦房紀山口大学大学院教授)を2011年10月に設置し、モデル港湾における現状把握を行うとともに、内閣府発表(2012年8月公表)の南海トラフで想定される巨大地震による最大クラスの津波の津波断層モデルの設定や検討手法を考慮しつつ、同地震が発生した場合における港湾護岸等の安全性の検討や想定される被害やその対応策について検討を進めてきた。

本マニュアルは、沿岸部の産業活動や港湾物流機能が、災害発生時においても維持できるよう、必要な対策を効果的に推進されることを目指すものであり、そのために必要となる構造物の現状把握や構造解析、津波浸水想定を進める上での複数の解析手法についての特徴等の解説を加えることにより、精度や時間ならびにコスト等を勘案しつつ進められ、施設の安全性や対応策を検討する実務担当者が効率よく業務を進める際の技術的な支援になるよう包括的に取りまとめたものである。

また、想定される被害と対応策については、事前及び事後の主要な対策例をも示すことで、港湾BCP並びに企業BCPの策定が促進されることを期待するものである。

※当マニュアル内で「港湾護岸等」とは？

公共、民間所有を含めた「護岸」「岸壁」「防潮堤」などの波浪等による陸岸の浸食及び水圧による陸岸の崩壊を防止するための構造物のことをいう。

第1章 港湾護岸等の被害想定の一貫性と本マニュアルの位置づけ

1. 1 東日本大震災における地震、津波等に対する港湾護岸等の防災対策の課題

1. 1. 1 津波による被害

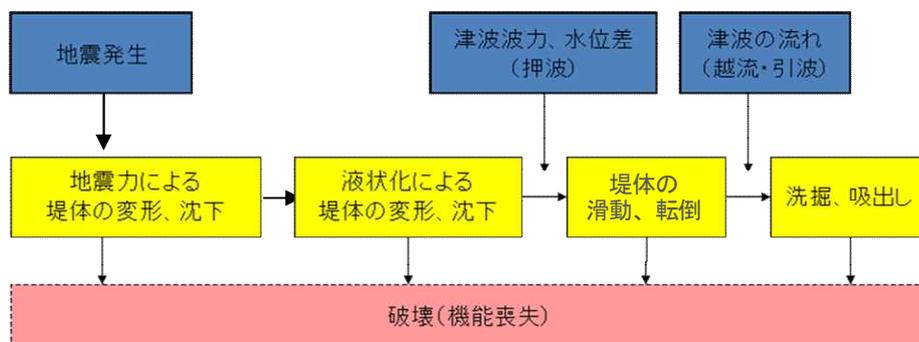
津波が港湾護岸等を越流し、押波によって港湾内で保管されていた木材、コンテナや、係留中の船舶等が市街地に流れ込むとともに、引波によって多くのガレキや車両、コンテナ等が航路・泊地に沈没し、船舶の航行に支障を与える例も多くみられた。さらに、ハザードマップで示された浸水域を超えて浸水した例も多くみられ、水門・陸閘等の閉鎖や避難誘導を行っていた方々が津波の犠牲となったほか、港湾で働く方々のなかにも津波到達時間までに避難場所に避難できなかった事例が確認された。

1. 1. 2 地震動、液状化による広域的な被害

青森県、岩手県内の港湾における被害の多くが津波を主因とするものであるのに対し、仙台湾より南に位置する港湾では、津波による被害に加え、地震動による護岸等の変位・破壊等の被害が顕著であった。また、地震動の継続時間が3分以上と非常に長かったことなどから、地盤の液状化による被害が拡大した。相馬港、小名浜港等では、施設背後が液状化や地殻変動により沈下し、岩手、宮城及び福島等の3県の港湾における沈下量は、平均で0.7m、最大で1.7mに及んだ。これにより、護岸の変位・破壊や背後の用地が陥没して段差が発生するとともに、満潮時等に護岸背後への浸水が発生した。また、震源から遠く離れた千葉港でも地震動により液化石油ガス（LPG）タンクが倒壊するなどの被害が発生するとともに、東京湾の臨海部の埋立地で液状化による地盤沈下が発生した。

1. 1. 3 地震動、液状化と津波による複合破壊

東日本沿岸域における港湾・海岸構造物は、以下に示すような先行する地震とその後襲してきた津波によって、複合的に破壊され機能を喪失した。



東日本大震災では、単独の要因(作用)または、幾つかの要因(作用)が複合的に関連したことにより破壊に至るケースが見られた。

図-1-1 地震動、液状化と津波による港湾・海岸構造物の複合破壊

1. 2 港湾護岸等の被害想定を行う必要性について

1. 2. 1 液状化による港湾護岸等の変形、沈下への懸念

内閣府公表の被害想定における瀬戸内海沿岸の津波高さは、約3～5mとなっている。一方、同地域は、干満の差が大きいこともあり高潮被害の発生地域でもある。このため高潮対策のために必要な護岸高さにより計画並びに整備が進められていることもあり、今般検討の津波高さと計画・現況の護岸高さに大きな差がない地域が多い。しかしながら、同地域の臨海部は、高度経済成長期において瀬戸内工業地域として埋め立てられた地区が多く、地震に伴う液状化現象による沈下等が懸念される。つまり、産業機能が集積する臨海部（港湾）での地震動による護岸機能の低下（倒壊や液状化による沈下）が、背後の浸水被害等を拡大させ、それによる生産活動や物流機能の停止等により経済活動に大きな影響を及ぼす可能性がある。

1. 2. 2 施設管理者が複数存在する臨海部での防災対策の必要性

臨海部には、港湾管理者が管理する公共護岸等と民間事業者が管理する民有護岸等が一連の海岸防護施設として機能している場合も多い。しかしながら、地方自治体等で立案する地域防災計画等においては、民有護岸等も含めた個々の構造物の安全性検討までは考慮されていない。地震動に対する港湾護岸等の安全性検討は、個々の施設の管理者により検討がなされるべきものである。

また、複数の施設管理者間での、想定される被害への認識の共有ならびに対応への連携が重要である。

1. 3 本マニュアルの概要

1. 3. 1 目的

本マニュアルは、港湾護岸等の施設管理者（実務者レベル）が、大規模地震等により津波が発生した場合に現施設にどのような被害が発生するのか想定し、対応策の検討を行えるよう取りまとめたものである。

具体的には、以下のとおり想定しているが、検討手法には精度の高い結果が得られるものから簡易的なものまでであることから、検討にかかる期間や費用、得られる結果の特徴や留意事項を記載している。

さらに、想定される被害防止の対応策等については、緊急対応レベル（被害の拡大を防ぐレベル）まで過去の対応事例も踏まえ、取りまとめている。

1. 3. 2 検討対象施設・範囲

護岸・岸壁・防潮堤等（民間所有を含む）及び背後地

1. 3. 3 外力条件

海溝型地震による地震動並びに発生する津波を想定

表-1-1 外力条件

要因	考慮すべき事項
地震動	・地殻変動（地盤沈下）による原地盤高さの変化 ・地震動および液状化による護岸・岸壁等及びその背後地盤の破壊・変状
津波	・海面上昇 ・波力

1. 3. 4 検討項目

- ① 港湾護岸等の耐震性に関する検討
想定した地震動に対する護岸・岸壁・防潮堤の鉛直変位量、水平変位量、液状化のリスクの把握
- ② 臨海部の津波による浸水域の検討
港湾護岸等が地震により変状した場合の、想定した津波に対する背後域の浸水（浸水域・浸水深）リスクの把握
- ③ 被害想定
津波による浸水域・浸水深に基づく背後域の立地施設等の被害の抽出
- ④ 想定される被害状況別の主な対応策
発災から緊急対応レベル（被害の拡大を防ぐレベル）を対象とした被災状況別のハード・ソフト策について事前・事後の対策を踏まえ把握

1. 3. 5 対象者

対象施設の施設管理者とし、専門分野に係わらず、全ての土木技術者を対象としている。

本マニュアルによる港湾護岸等の地震、津波による被害想定の見直しフローを次ページに示す。

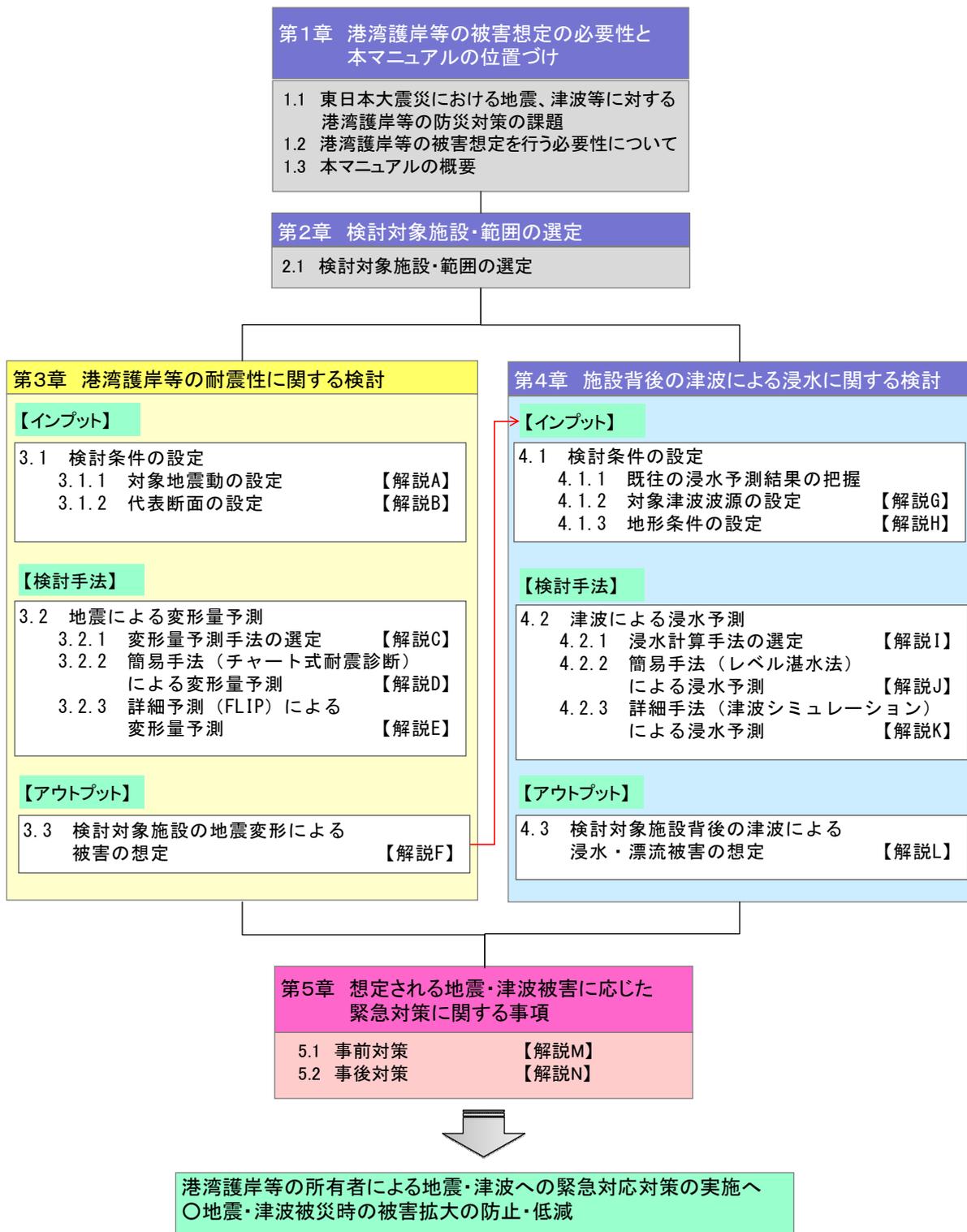


図-1-2 港湾護岸等の地震、津波による被害想定 検討フロー

第2章 検討対象施設・範囲の選定

2.1 検討対象施設・範囲の選定

港湾護岸等の管理者は、施設およびその背後地の重要度に応じて検討対象施設・範囲を選定する。

第3章 港湾護岸等の耐震性に関する検討

津波による背後地域の浸水被害想定を実施する上では、津波に先行する地震動により生じる施設の地震時沈下や地盤の液状化に伴う排水沈下、地殻変動量による岸壁・護岸等の施設天端の沈下、側方流動による水平変位を算定した上で適切に検討を行う必要がある。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では東北地方広域に亘り、背後地域は地震による変位や津波による浸水の複合災害により甚大な被害を受けた。また、兵庫県南部地震では、津波被害は無いものの、地震により岸壁等が沈下するなどの甚大な被害を受けている。このように、複合災害を想定する場合には、港湾護岸等は地震の作用により施設が沈下等の被害を受けるため、津波による浸水被害を想定する上では、津波に先行する地震動により生じる施設の変形量を十分に考慮する必要がある。上記に鑑み、津波による背後地域の浸水被害想定の実施に先立ち、港湾護岸等の耐震性の検討を実施し、津波来襲前に発生する施設の沈下量を把握することが重要である。本章では地震時沈下量、及び排水沈下量を評価する。なお、側方流動による水平変位は背後地盤の土砂流出等の検討を行う場合に必要となる。

本マニュアルでは、津波による背後地域の浸水被害想定の実施のため、施設の変状把握に用いる地震動は、津波に先行する地震動を対象としている。しかしながら、検討対象とする地域や津波によっては、津波に先行する地震動が必ずしも当該地の施設に対して最も被害を及ぼすとは限らないことが考えられる。そのため、検討の主目的が施設の健全度評価のみである場合には、施設に対して最も被害を及ぼすと考えられる従来のL2地震動(例えば活断層型地震動)を用いて検討するなど、留意する必要がある。なお、津波と連動しない活断層型地震動による耐震性に関する検討については本マニュアルに拠らない。

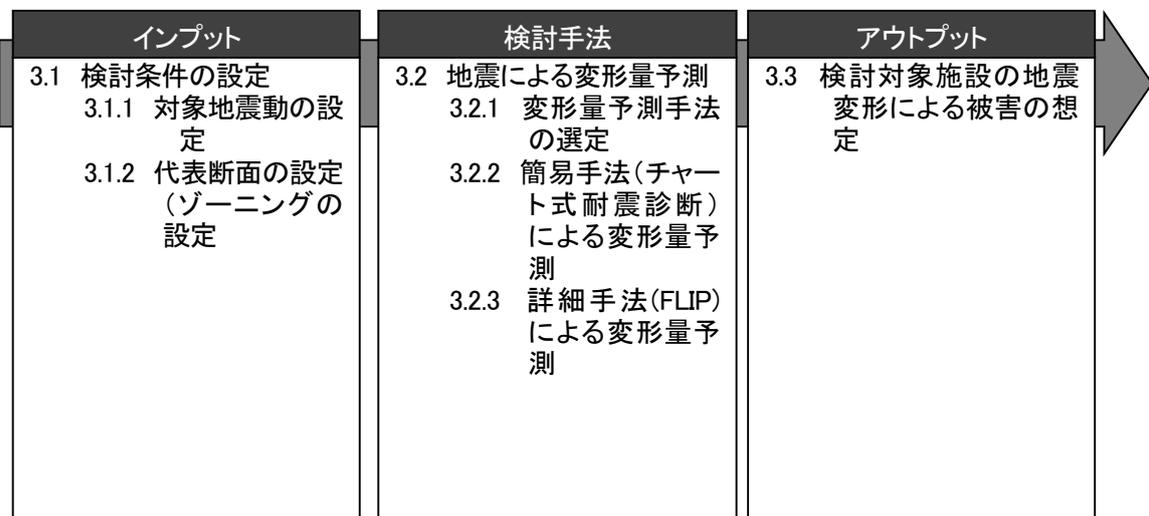


図-3-1 港湾護岸等の耐震性に関する検討：インプット、検討手法、アウトプット

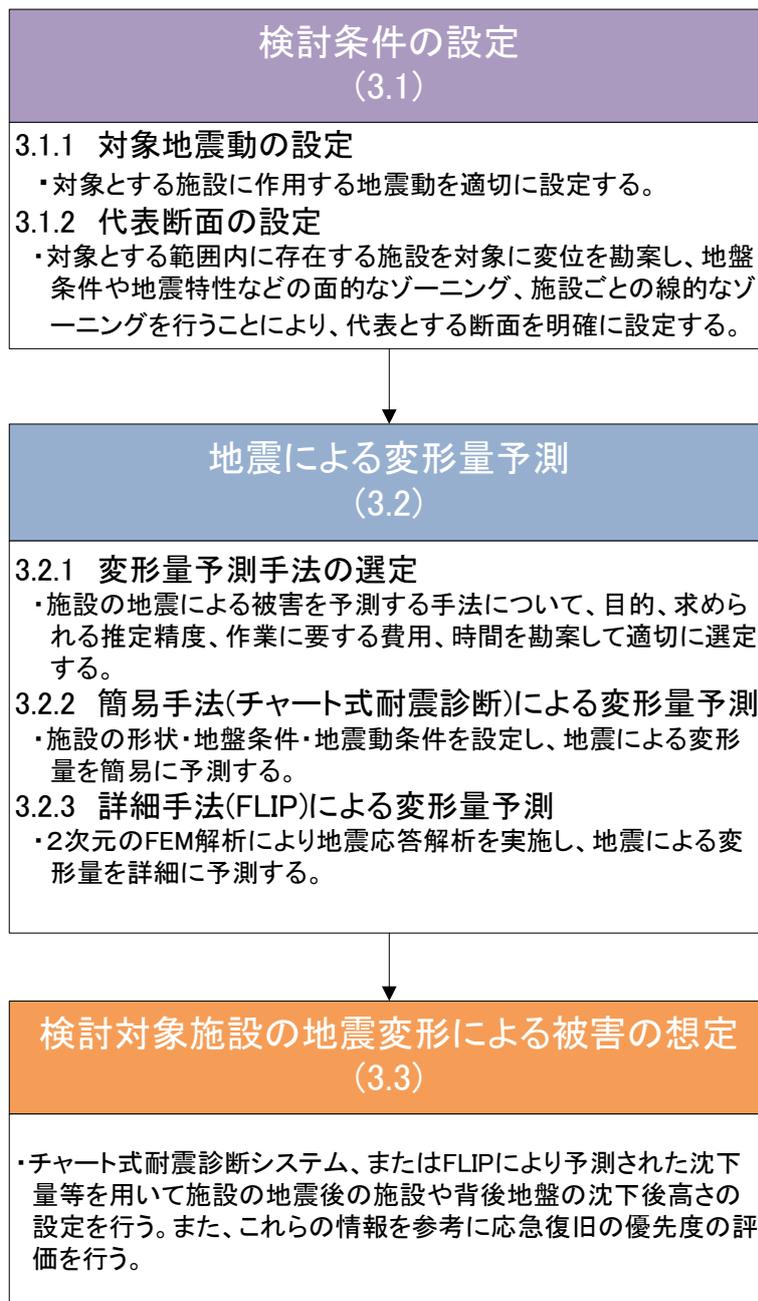


図-3-2 港湾護岸等の耐震性に関する検討：フロー図

3. 1 検討条件の設定

3. 1. 1 対象地震動の設定

耐震性を評価する場合、施設に作用する地震動を適切に設定する。設定方法の詳細は、**解説A**にある。

3. 1. 2 代表断面の設定（ゾーニングの設定）

検討範囲が広域である場合や複数施設の検討を行う場合、地盤条件や地震特性などの面的なゾーニング、施設ごとの線的なゾーニングを行うことで、費用の削減や検討時間の短縮を図ることができる。代表断面の設定（ゾーニングの設定）方法の詳細は、**解説B**にある。

3. 2 地震による変形量予測

3. 2. 1 変形量予測手法の選定

施設の地震による被害を予測する手法について、目的、求められる推定精度、作業に要する費用、時間を勘案して適切に選定する。変形量予測手法は、**解説C**にある。

3. 2. 2 簡易手法（チャート式耐震診断）による変形量予測

チャート式耐震診断システムは、地震に対して危険性の高い施設を「簡易」に「早く」抽出するシステムである。

対象施設に対してチャート式耐震診断システムを実施し、地震による港湾護岸等の変形量を算定する。

本システムを実施する上では、その特徴と必要な設定条件等を理解し、適切な耐震性の評価を実施する必要がある。

簡易手法（チャート式耐震診断）による変形量予測手法の詳細は、**解説D**にある。

3. 2. 3 詳細手法（FLIP）による変形量予測

チャート式診断システムで得られる変形量予測は、過去のFLIPのデータを概ね内包する安全側（変位：大）の評価を行うように構築されているため、予測された変形量には誤差が多く含まれている可能性がある。そのため、チャート式耐震診断システムによる結果を勘案し、詳細な検討が必要と判断される施設に対しては、詳細手法（FLIP）による詳細な検討を行うことが望ましい。

FLIPを実施し、対象施設や背後地盤の残留変形量などを予測する。FLIPを実施する上では、その特徴と必要な設定条件等を理解し、適切な耐震性の評価を実施する必要がある。

詳細手法（FLIP）による変形量予測手法の詳細は、**解説E**にある。

3. 3 検討対象施設の地震変形による被害の想定

検討対象施設の直接的な被害、およびこれらの被害による航路閉塞や産業機能への影響など、目的に応じて地震後の施設や背後地盤の変形量等の把握を行い、津波来襲時の施設周辺の沈下状況や背後地盤の土砂流出の危険性を評価する。

地震変形による被害の想定は、**解説F**にある。

第4章 施設背後の津波による浸水に関する検討

港湾護岸等が地震により沈下した場合や、最大クラスの津波が来襲した際には、港湾護岸等の背後地で津波による浸水被害や、浸水に伴う漂流物被害が発生する恐れがある。

港湾護岸等の管理者や背後施設管理者は、津波による被害や津波漂流物による被害想定とその対策のため、必要に応じて津波浸水計算を実施する。

本章では、港湾護岸等の管理者が、背後地の施設の重要度や蔵置貨物が漂流した場合の危険性を勘案し、津波浸水被害の検討が必要と判断した場合に必要な、浸水被害の予測を実施する際の計算方法と条件の設定方法について示す。

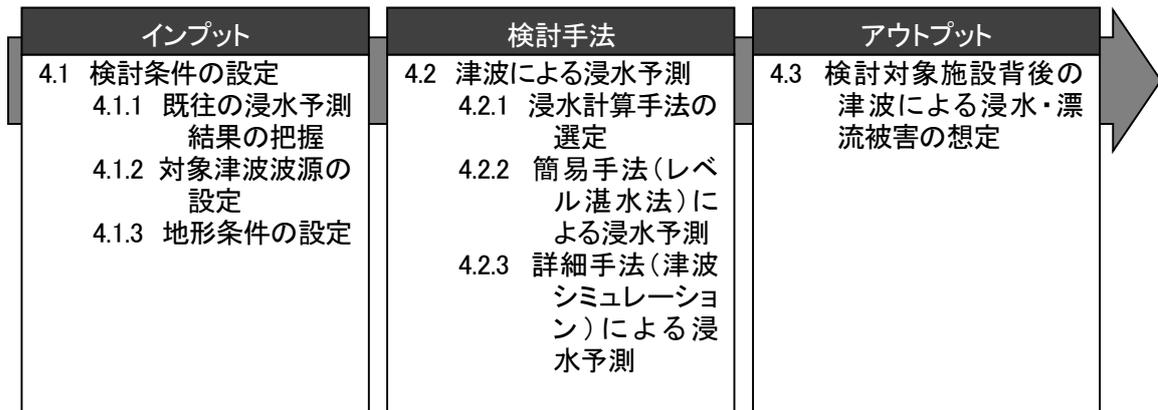


図-4-1 施設背後の津波による浸水に関する検討：インプット、検討手法、アウトプット

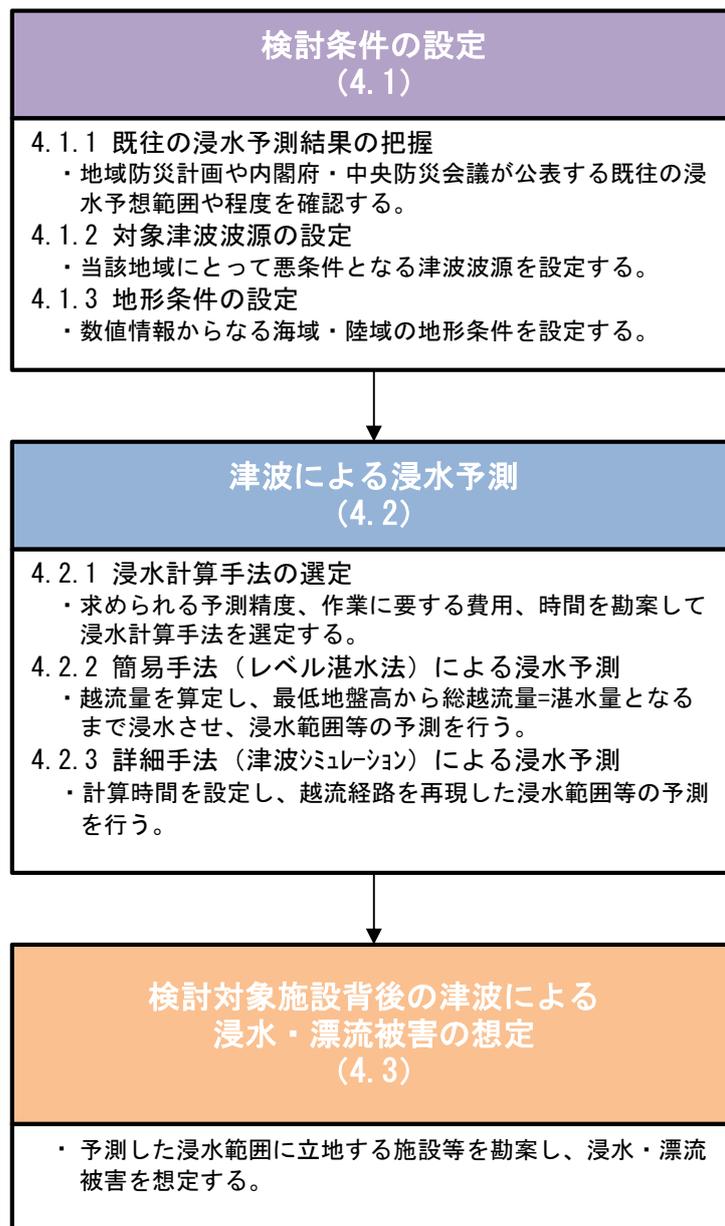


図-4-2 施設背後の津波による浸水に関する検討：フロー図

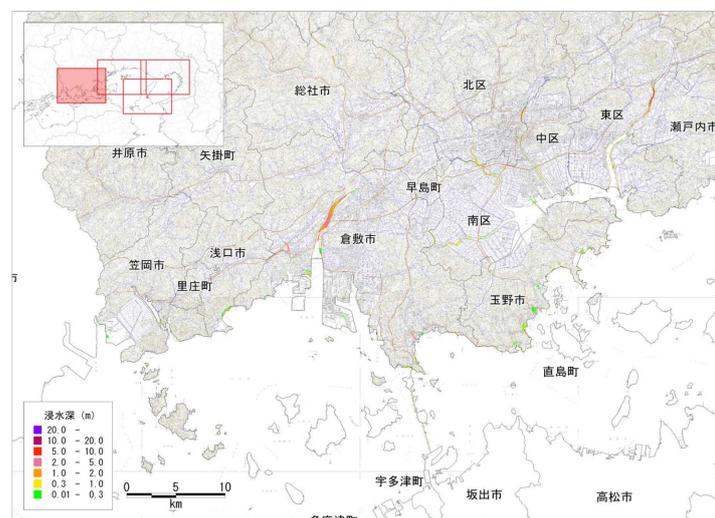
4. 1 検討条件の設定

4. 1. 1 既往の浸水予測結果の把握

津波による浸水被害予測の条件設定にあたり、地域防災計画や内閣府 中央防災会議が公表する浸水図等を参考に浸水被害の範囲や程度を確認し、必要となる条件を設定するものとする。

大規模地震対策特別措置法に基づき指定される防災対策強化地域等においては、内閣府 中央防災会議や自治体の地域防災計画による津波の浸水想定が行われており、浸水図や到達津波高等の資料が公表されている。これらの公表資料は、様々な仮定条件をもとに検討された結果であることに留意する必要がある。

このため、内閣府や自治体が公表している浸水図等を参考に、検討対象地区の浸水状況をもとに津波浸水計算の必要性の有無を判断する。津波浸水計算が必要な場合は、各公表資料の前提条件等を確認するとともに、検討に必要な対象波源の条件や浸水予測範囲の設定を行う。



【ケース①「駿河湾～紀伊半島沖」に「大すべり域+超大すべり域」を設定、堤防条件:津波が堤防等を越流すると破壊する】
図 津波の浸水分布

図-4-3 内閣府による浸水図の公表例

4. 1. 2 対象津波波源の設定

浸水予測に用いる津波波源は、当該地域に悪条件となるものを設定する必要がある。設定にあたっては、地域防災計画における条件や内閣府 中央防災会議、地震調査研究推進本部等の公的な機関が妥当性を検証したものを設定する。

津波波源の設定方法の詳細は、**解説G**にある。

4. 1. 3 地形条件の設定

海域や陸域の地形は津波の伝播や遡上に大きく影響を与えるため、浸水予測に用いる地形データは数値情報からなる地形データを用いる。

地形条件の設定方法の詳細は、**解説H**にある。

4. 2 津波による浸水予測

4. 2. 1 浸水計算手法の選定

浸水予測においては、以下の計算手法を参考に、検討目的に応じた予測精度を確保できる手法を選択する。

津波による浸水被害を予測する手法について、目的、求められる推定精度、作業に要する費用、時間を勘案して適切に選定する。

浸水計算手法の詳細は、**解説I**にある。

4. 2. 2 簡易手法（レベル湛水法）による浸水予測

作業に要する費用、時間の確保が難しく、シミュレーションを実施することが困難な場合の想定浸水地域の設定にあたっては、津波による越流量を算出し、その越流量が護岸背後地にそのまま湛水すると仮定する「レベル湛水法」により予測することができる。

簡易手法（レベル湛水法）による浸水予測手法の詳細は、**解説J**にある。

4. 2. 3 詳細手法（津波シミュレーション）による浸水予測

津波シミュレーションによる浸水想定は、シミュレーション手法、条件の設定方法、留意点をふまえた上で実施するものとする。

詳細手法（津波シミュレーション）による浸水予測手法の詳細は、**解説K**にある。

4. 3 検討対象施設背後の津波による浸水・漂流被害の想定

地震発生時の港湾護岸等の変状や地盤沈下の影響を考慮した想定浸水域において、浸水域内に立地する施設等の資産価値や、浸水深に応じた施設等の被災内容を踏まえ、想定浸水域内で被害が発生する場所・内容・被災度合い等について検討する。

本マニュアルでは、施設の浸水及び漂流による被害を対象に、被害の目安を記載する。

浸水・漂流被害の想定における被害の目安の詳細は、**解説L**にある。

第5章 想定される地震・津波被害に応じた緊急対応対策に関する事項

港湾護岸等の地震による沈下や、津波による浸水・漂流被害が発生した際には、まず施設点検や応急復旧、緊急物資受け入れ等の緊急対応を行う必要がある。発災後に速やかな緊急対応を実施可能とするためには、事前に、想定される地震・津波被害に応じた緊急対応策について検討し、発災時のオペレーションを周知・訓練しておくことが重要である。

本章では、想定される地震・津波被害に応じた緊急対応策について、主な対策例や代表的な過去の対応事例を紹介し、港湾護岸等管理者の緊急対応策検討に資することを目的とする。

(緊急対応策に関する事項の整理)

発災時の限られた人的・物的資源のなかで効率的かつ迅速な緊急対応を行うために、想定される被害やシナリオを考慮した緊急対応策を整理しておく必要がある。

想定浸水域内の被害を事前に防止するもしくは軽減するハード対策やソフト対策や事後の対策としての応急復旧を検討するための被災状況別の対策例を整理する。

本マニュアルで対象とする対応策は、被害の拡大を防ぐための緊急対応レベルまでとし、物流機能に係わる応急復旧やその後の復旧・復興については対象としない。

また、対策を検討する港湾護岸等の管理者属性（公共・民間）によっても対策の内容が異なってくる。

【管理者属性に応じた対策例】

表-5-1 対策例一覧表

	事前対策		事後対策
	ハード対策	ソフト対策	
公 共	<ul style="list-style-type: none"> ● 公共護岸・岸壁の耐震化（鋼材補強、地盤改良等） ● 防潮堤の設置 ● 老朽化した建造物の補修等 ● 漂流物対策（津波バリアの設置等） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 緊急対応に係る行動指針の作成・周知 ● 防災訓練、防災教育等による意識啓発（情報伝達訓練、退避訓練等） ● 船舶や港湾就労者、来訪者等への避難に係る情報提供システムの強化・多重化（GPS 波浪計やJ-ALERTとの連動等） ● 避難施設の整備・確保（避難タワー、避難施設指定等） ● 避難ルート指定・強化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 公共荷役機械、護岸・岸壁・エプロン・上屋の応急復旧 ● 水域の応急復旧（航路・泊地啓開） ● 港湾道路の応急復旧 ● 電気設備の応急復旧
民 間	<ul style="list-style-type: none"> ● 民有護岸・岸壁の耐震化（鋼材補強、地盤改良等） ● 老朽化した建造物の補修等 ● 漂流物対策 	<ul style="list-style-type: none"> ● 緊急対応に係る行動指針の作成・周知 ● 防災訓練、防災教育等による意識啓発（情報伝達訓練、退避訓練等） ● 避難施設の整備・確保（避難タワー、避難施設指定等） ● 避難ルート指定・強化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 民有荷役機械、岸壁・エプロン・上屋の応急復旧 ● 電気設備の応急復旧

5. 1 事前対策

地震・津波による直接的な施設被害を防止・軽減するために、事前に実施すべき防護施設整備や既存施設の耐震化等のハード対策に関する事項を整理する。

また地震・津波による被害がハード対策のみでは防護できない場合を想定して、事前に実施すべき避難や情報伝達等の緊急対応に係る防災訓練等のソフト対策に関する事項を整理する。

事前対策におけるソフト対策・ハード対策の例は、**解説M**にある。

5. 2 事後対策

地震・津波による被害がハード対策のみでは防護できない場合を想定して、発災直後に実施すべきハードの点検・応急復旧の緊急対応に係るハード対策に関する事項を整理する。

また、発災直後に実施すべき点検・応急復旧に係る体制づくりを含むソフト対策に関する事項を整理する。

事後対策の例は、**解説N**にある。

解説A 対象地震動の設定方法

①設定方法

地震動は下図に示す④震源特性、⑤伝播経路特性、⑥サイト増幅特性の3つの特性を掛け合わせるにより算出できる。

- ④震源特性は、地震を引き起こす震源域を評価したものである。
- ⑤伝播経路特性は、せん断波速度が3,000(m/s)以上の非常に堅固な地盤(地震基盤)を地震動が伝わる際の減衰などの特性を評価したものである。例えば、地震動の長周期成分は減衰が小さいため長距離間伝播したり、短周期成分はすぐに減衰するため比較的近距离までしか伝播しなかったりするといった性質を評価したものである。
- ⑥サイト増幅特性は、せん断波速度が地震基盤より上の地盤を地震動が伝わる際の地震動の増幅の大きさを評価したものである。軟らかい地盤では地震動が大きく増幅するが、硬い地盤では地震動の増幅が大きくなるといった性質を評価したものである(参考1参照)。

このうち、震源特性は津波を引き起こす海溝型の地震であれば、内閣府中央防災会議で設定されている地震を引き起こすと想定される断層位置を参考に設定される。伝播経路特性は、上記で設定した断層と検討対象となる施設の位置から設定される。サイト増幅特性は、検討対象となる施設直下の地震基盤より上の地盤の増幅特性を評価することにより設定される。特にサイト増幅特性は地震動の強さを決定づける大きな要因であるため、施設ごと、或いはサイト増幅特性が同等と見做せる範囲において適切に評価しなければならない。サイト増幅特性の推定方法やサイト増幅特性が同等と見做せる範囲の設定については後述に詳しく述べる。

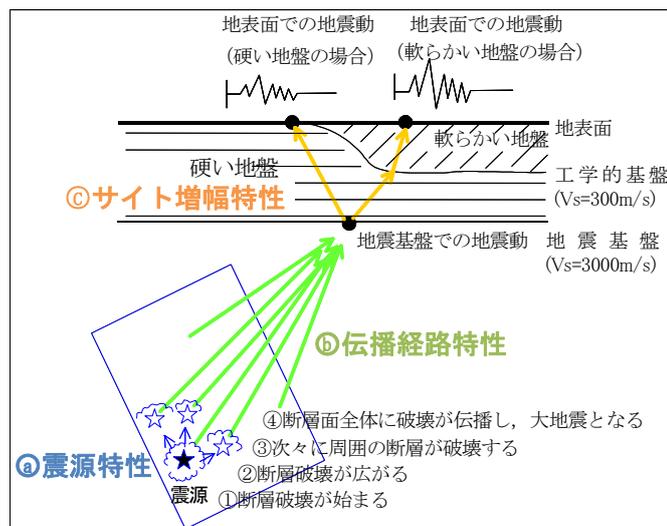
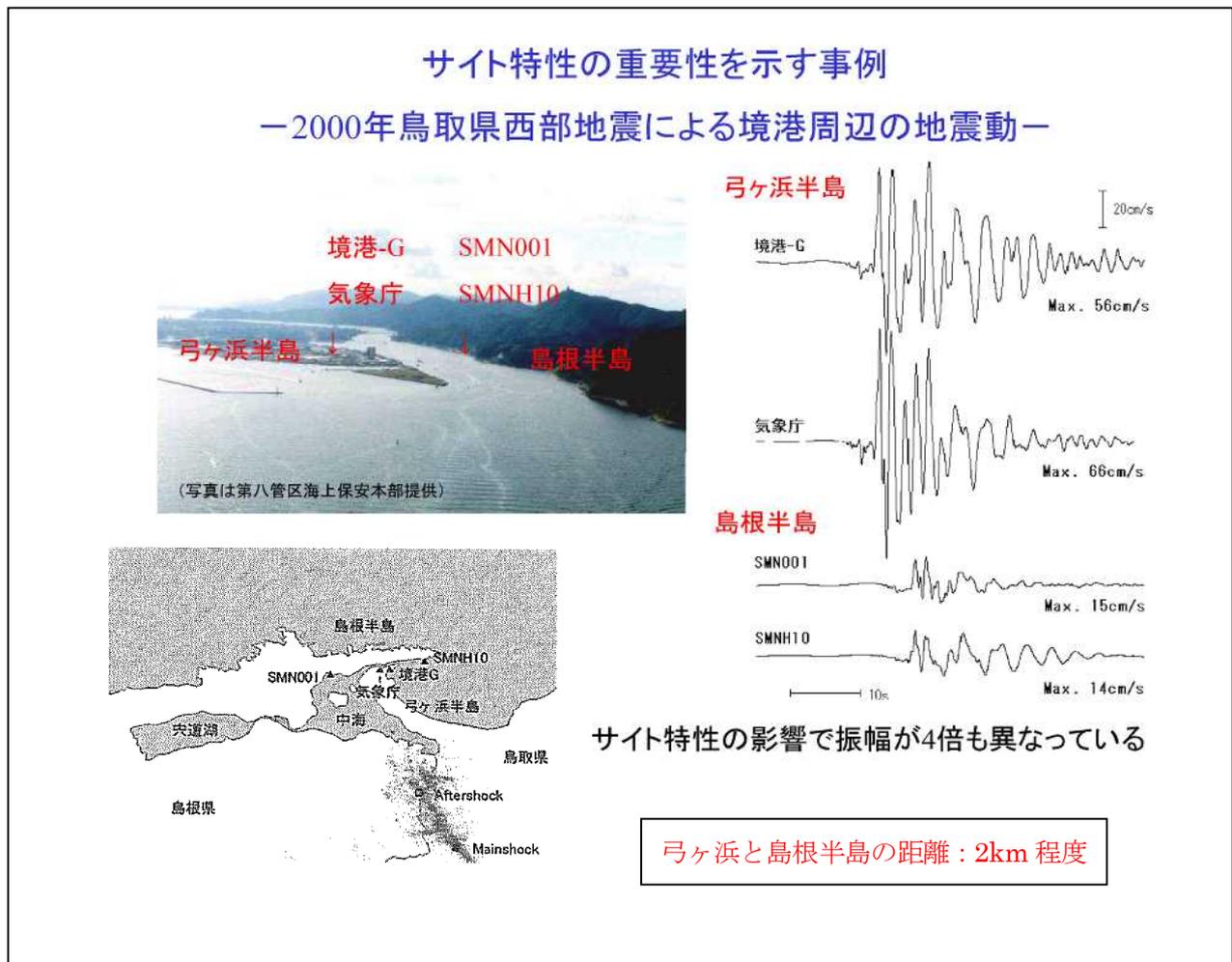


図-A-1 地震動の概念図

②留意点

地震動の波形は、施設周辺の地盤条件が大きく影響する。そのため、耐震性を評価する際に用いる地震動は周辺の地盤特性を十分に考慮した波形を選定する必要がある。例えば、2000年に発生した鳥取県西部地震による境港周辺の地震記録では、数キロも離れていない地点で地表面の地震速度の最大値が4倍も異なっていることが確認されている。これは、島根半島の地層構造が地表面まで岩盤であったのに対して、弓ヶ浜半島の地層構造は比較的深い位置から軟弱な沖積土が堆積していたためである。

また、2012年3月11日に発生した東日本大震災以降、最大クラス津波に先行する地震動として中央防災会議（内閣府のSMGAモデル）、（独）港湾空港技術研究所（SPGAモデル）が新たに地震動の提案をしており、これらの新しい知見を視野に入れた地震動選定を行う必要がある（参考2参照）。SMGAモデルは気象庁の計測震度を評価することを目的とし、SPGAモデルは施設の耐震性を評価することを目的としているなど、使用目的が異なるため、検討を実施する内容に応じて提案モデルを選定する必要があることに留意する。



(出典) 港湾空港技術研究所 HP に一部加筆

<サイト増幅特性の推定方法>

港湾の施設の技術上の基準・同解説（H19年7月）p336以降にサイト増幅特性の推定方法が記載されている。ここでは、上記基準に示されている方法について、実際にサイト増幅特性を推定する際の具体的手法について紹介する。

サイト増幅特性の推定方法は大きく以下に示す3つの方法がある。これらの方法の特徴は下表に示すとおりである。

- ・対象施設近傍で地震観測を実施する方法（松補正）
- ・常時微動観測の結果を用いて推定する方法（竹補正・新竹補正）
- ・港湾と周辺の強震観測地点のサイト増幅特性の経験的關係を利用する方法（梅補正）

表-A-1 サイト増幅特性の推定方法

方法	概要	特徴
地震観測 (松補正)	対象施設近傍（またはその周辺で地震動特性が大きくは異なる範囲）における地震観測記録に基づいて設定する方法	【メリット】 振幅・周期とも信頼性が高く、推定方法の中で最も信頼性が高い。 【デメリット】 地震動特性を把握するためには、ある程度の規模（M4以上）の地震動を観測する必要があり、地震観測期間が不明確で長期間に渡る可能性がある。
常時微動観測 (竹補正・新竹補正) [※]	対象施設位置からやや離れた既存の地震観測地点でのサイト増幅特性を既存の地震観測地点、及び対象施設位置の常時微動観測結果（H/Vスペクトル比のピーク値）に基づいて補正する方法	【メリット】 地震観測を実施する方法のように、長期間の観測が必要でない。 【デメリット】 周期に関しては信頼性が高いが、振幅は地震観測に比べて信頼性が下がる。
経験的關係 (梅補正)	港湾と周辺の強震観測地点のサイト増幅特性の關係を用いて、全国の港湾及びその周辺のK-NETの観測点におけるサイト増幅特性の一般的な傾向から算出された経験的關係式により補正する方法	【メリット】 常時微動観測結果を用いる方法のように新たに何らかの観測を行うことなく港湾のサイト増幅特性を推定することが可能である。 【デメリット】 精度は地震観測に基づく場合と比較して大きく低下する。

(※)具体的にはp22に示すが、竹補正はピーク周波数を補正する手法であるのに対し、新竹補正はピーク周波数、ピーク値の2つを補正する手法である。

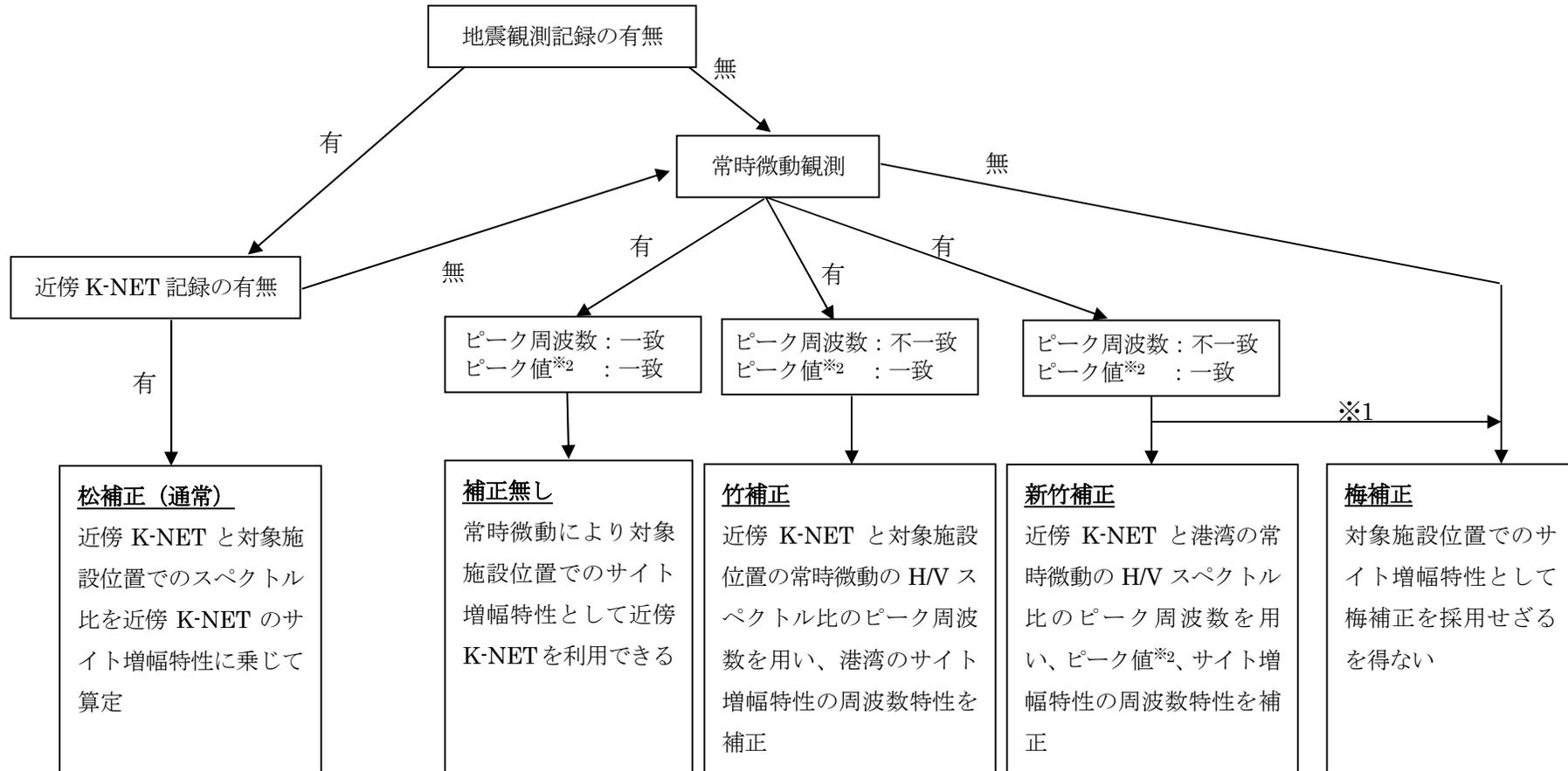
サイト増幅特性の算定において、松補正・竹補正・新竹補正・梅補正のいずれの補正が可能かは地震観測記録の有無や常時微動観測の記録の有無等に依存する。サイト増幅特性の算定フローを次頁に示す。

松補正を実施する場合には、地震観測記録が存在し(あるいは松補正を実施するために観測を実施し)、かつ近傍の K-NET 記録が存在する場合にのみ可能である。

竹補正・新竹補正は、地震観測記録は存在しないが、常時微動観測を実施することにより、近傍の K-NET と対象施設位置の H/V スペクトルを比較することにより可能である。ただし、H/V スペクトルに明瞭なピークが見られない場合は梅補正となる。

梅補正は、地震観測記録、常時微動観測記録とも存在しない場合に適用される。

サイト増幅特性の算定フロー



※1 常時微動 H/V に明瞭なピークが見られなかったり、H/V の形状が著しく異なっていたりすると、新竹補正を適用することが困難なことがある。

※2 ピーク値とは、常時微動 H/V のピーク周波数における H/V の値を示す。

解説 B 代表断面の設定（ゾーニングの設定）

「解説 A 対象地震動の設定方法」にも示した通り、港湾護岸等の設置位置が近隣でも、地盤条件によっては観測される地震動が大きく異なることが考えられる。また、港湾護岸等の構造形式によっても地震作用による変形量が異なるため、港湾護岸等の変形量（ここでは沈下量に着目）を適切に把握するためには、想定する地震動、および施設の構造形式を十分に把握する必要がある。

具体的には、現地の K-NET 等の地震観測記録、もしくは常時微動観測記録等を用いて評価されたサイト特性から工学的基盤面において同一地震動が作用すると見做せる範囲をゾーニング分けし、地震動が作成されている場合が多いため、検討対象となる施設位置のゾーンの地震動を用いることが望ましい。次頁にゾーニング方法の詳細を示した概念図を示す。

また、港湾護岸等の施設には様々な構造形式（重力式、矢板式、控え矢板式、栈橋式等）があるため、構造形式ごとにゾーニングすることにより、構造形式の違いによる変形特性を反映した変形量の把握を行うことが可能となる。さらに、同じ構造形式が並ぶ施設延長であっても施設の断面形状や地盤条件が異なることが想定されるが、時間的・費用的に全ての断面に対して検討を実施することは困難な場合が多いため、その場合には、同一の構造形式と見做せる範囲から沈下量を大きく評価する断面を代表断面とするなど、安全側の検討を行うことも考えられる。

① 設定方法

検討対象範囲でのサイト特性の把握を行う。次頁に示すように、地震観測地点のサイト特性（応答倍率）、および検討対象範囲周辺の常時微動観測結果（微動 H/V スペクトル）を確認し、両者のピーク周波数の整合性から、サイト増幅特性による大区分のゾーニング（面的なゾーニング）を行う。

次に、検討対象範囲の施設の構造形式の把握を行う。次頁に示すように、港湾全体の施設の構造形式を面的に把握し、構造形式ごとに小区分のゾーニング（線的なゾーニング）を行う。また、小区分により設定されたゾーニングの中で施設数が複数存在する場合は、地盤条件や構造物の規模を勘案し、安全側の設定になるように代表断面を選定する。

ゾーニングの設定事例は参考 3 を参照すると良い。

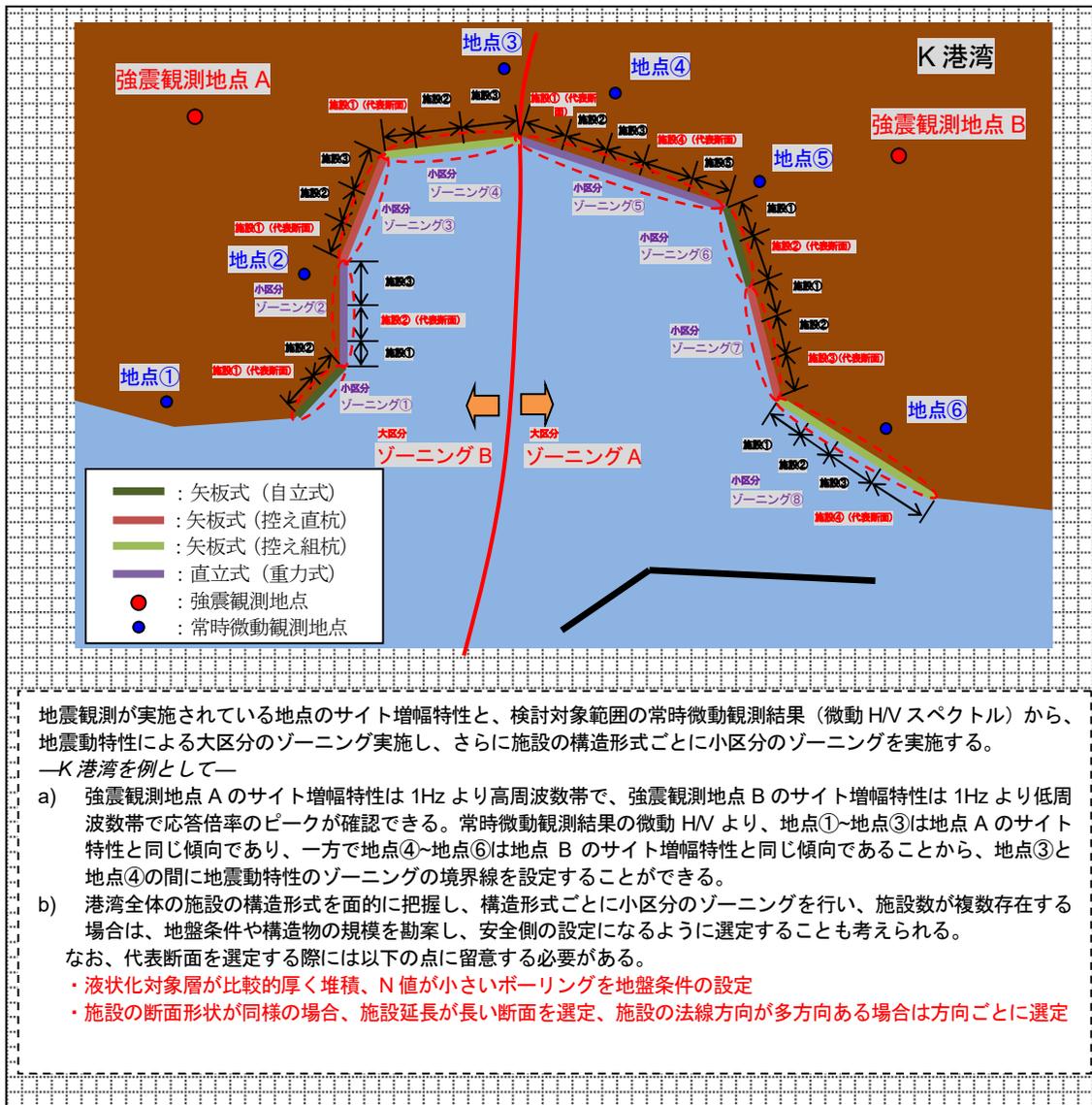
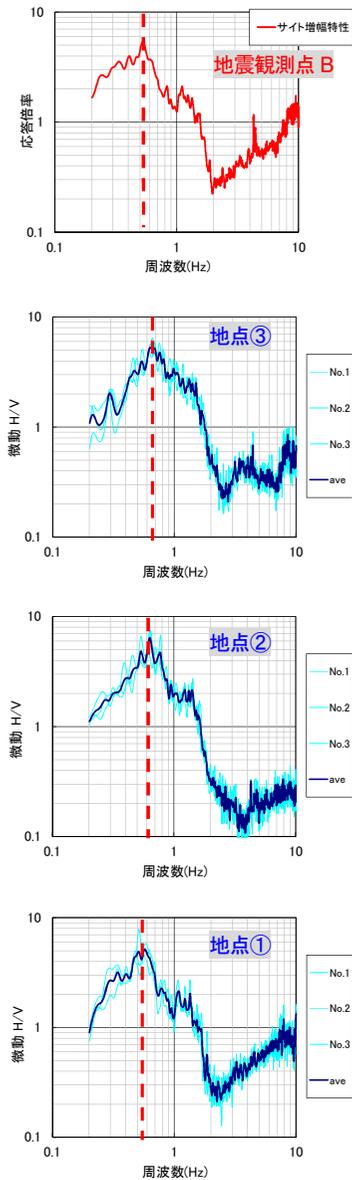


図-B-1 ゾーニング方法の概念図

解説 C 変形量予測手法の設定

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(参考 4 参照)。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沈下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間接的に簡易に沈下量等を把握する手法である。

本マニュアルでは、詳細手法は港湾・海岸施設に対して多くの実績を有し、施設の変形量を予測することが可能な「FLIP」(Finite Element Analysis of Liquefaction Program)を、簡易手法は膨大な FLIP の解析結果を基に構築されたシステムである、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」を選定することを推奨する。

チャート式耐震診断システムはあくまでも簡易に変形量を照査する手法であるため、概算的に変形量を予測したい場合に用いると良い。FLIP は変形量を精緻に予測したい場合に用いると良い。

①チャート式耐震診断システムの概要

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、地震発生時の海岸保全施設等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、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である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、~~数百~~数千ケース以上にも及ぶ FLIP の解析結果を用いて整備したデータを用いているため、施設の地盤条件、施設形状、地震動条件を入力するのみで、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対応する構造形式は、解説 D に示す直立式(重力式)、傾斜型護岸タイプ、傾斜型堤防タイプ、重力式防波堤、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板、自立式矢板、及び直杭式栈橋の計 8 構造形式である。

②FLIP の概要

FLIP は、1988 年に運輸省港湾技術研究所において、「液状化による構造物被害予測プログラム」として開発された地震応答解析プログラムである。この解析プログラムは、港湾施設を中心に多数の使用実績があり、既設構造物の耐震性能照査、最適な耐震対策工法の検討、新設構造物の耐震対策検討などに非常に有効な手法である。現在、FLIP コンソーシアムにおいて更なる改良が進められている。

本解析コードは、有限要素法に基づく解析プログラムであり港湾構造物と地盤とを一体的にモデル化することにより、地盤-構造物間の動的な相互作用を考慮した変形解析が可能である。また、非線形有効応力解析法を採用しており、港湾施設等に甚大な被害を及ぼす一因である、液状化現象を考慮した被災想定が可能である。

なお、兵庫県南部地震等の過去に発生した大規模な地震による港湾施設の被災状況を、精度高く再現解析できていることが確認されており、施設の詳細な耐震照査を実施する上で、非常に有効的な手法であると考えられる解析コードである。

表-C-1 チャート式耐震診断システム・FLIPに必要な費用等

(1断面当り)

	被害予測手法	作業時間	データ作成から評価までに必要な費用	推定精度
簡易手法	チャート式耐震診断システム	数時間	10万円～20万円程度	概算
詳細手法	FLIP	数日	270万円～400万円程度	精緻

表-C-2 チャート式耐震診断システム・FLIPの特徴

手法	概要	特徴
チャート式耐震診断システム	過去の解析結果のデータを基に、施設の変形量を簡易に算定するシステム。	<p>【メリット】</p> <ul style="list-style-type: none"> Excel ベースのプログラムであり、費用が安価。 限られた施設条件や地震動の条件の入力のみで、短時間に沈下量の推定が可能。 <p>【デメリット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 既往のFLIP解析結果を内包するように、概ね安全側の評価を行うようシステムが構築されているため、変位を大きく評価する。 概算的な変形量予測としての位置づけであり、沈下量を精緻に把握するためには、FLIPによる解析が必要。 適用可能な構造形式が限定される。
FLIP	有限要素法に基づく二次元地震応答解析プログラム	<p>【メリット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 沈下量を精緻に評価することが可能。 構造物の損傷度合や地盤の変形等を直接的に評価可能。 港湾施設を中心に多数の使用実績。 <p>【デメリット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 費用が高価であり、予算面で検討断面数が限られる可能性。

解説 D 簡易手法（チャート式耐震診断）による変形量予測

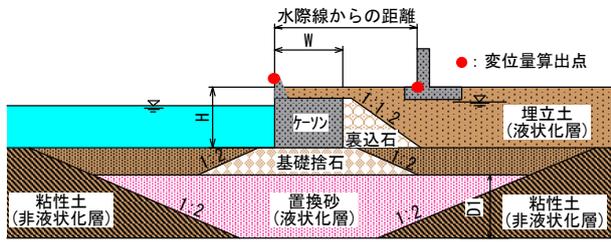
①検討方法

チャート式耐震診断システムは国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所や、国土交通省港湾局及び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」に貸与申請を行うことにより、本システムが利用可能となる。

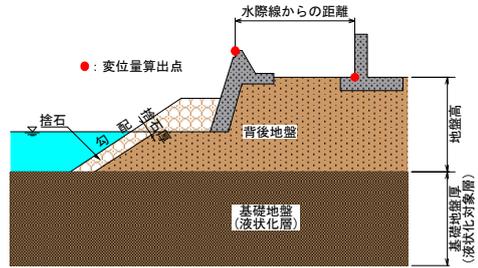
チャート式耐震診断システムによる変形量照査を実施する際には、対象とする施設の構造形式に応じて、後述する必要設定条件の一覧表に対応した構造物の形状寸法、地盤の硬さを評価する等価 N 値、地震動の大きさを評価する速度 PSI を適切に設定する。

②留意点

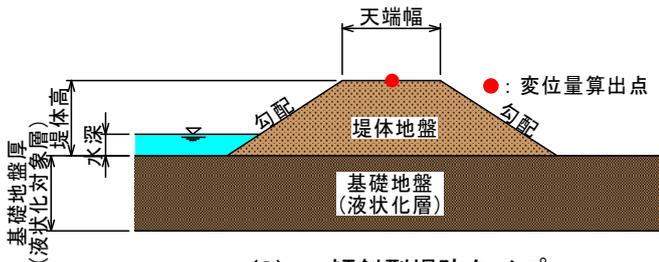
チャート式耐震診断システムは、以下の「③チャート式耐震診断システムの概要」に示す通り、直立式（重力式）、傾斜型護岸タイプ、傾斜型堤防タイプ、重力式防波堤、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板、自立式矢板、及び直杭式栈橋の計 8 構造形式が対応しているが、実際にはその他構造形式も存在する。チャート式耐震診断システムに対応していない施設を本システムにより評価する場合は、工学的判断により、地震により生じる構造物の変形モードがほぼ同じであると判断される構造形式に置き換えて検討を実施する必要がある。



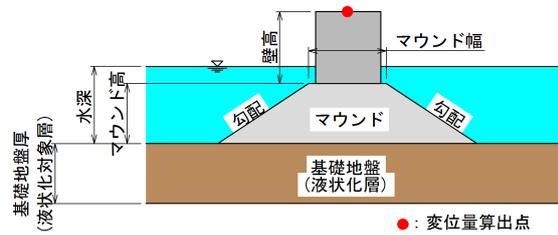
(1) 直立型 (重力式)



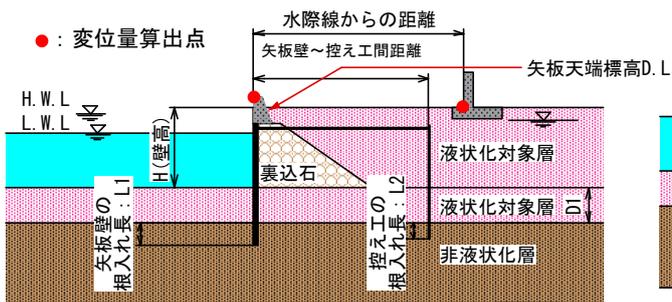
(2) 傾斜型護岸タイプ



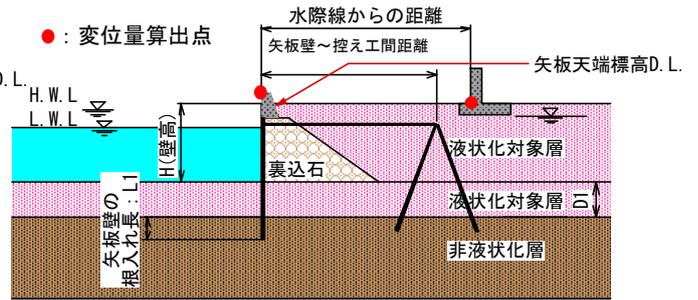
(3) 傾斜型堤防タイプ



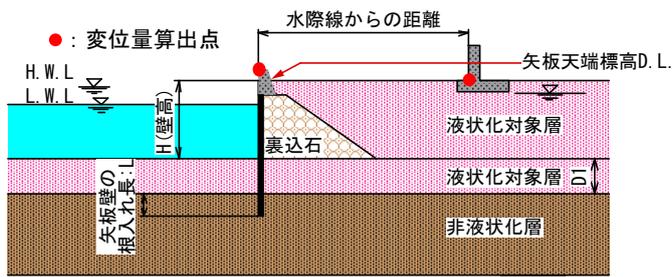
(4) 重力式防波堤



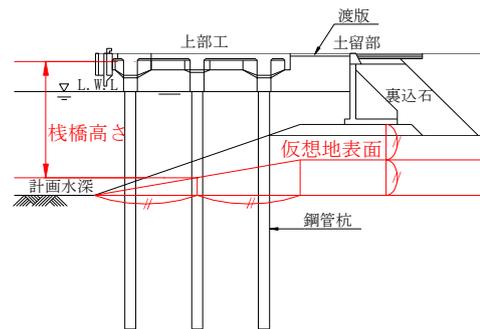
(5) 控え直杭式矢板



(6) 控え組杭式矢板



(7) 自立式矢板



(8) 直杭式栈橋

図-D-1 チャート式耐震診断システムで対応可能な構造形式

②必要設定条件

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下表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。

- ・沿岸構造物のチャート式耐震診断システム Ver. 1.02 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 24 年 3 月
- (※) 近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所への貸与申請が必要。
- ・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

表-D-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 PSI 値	各項目については①チャート式耐震診断システムの概要に示す「 図 チャート式耐震診断システムで対応可能な構造形式 」を参照のこと。
地盤条件	等価 N 値	
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)	
傾斜型 護岸タイプ	地盤高	
	捨石厚	
	捨石勾配	
	基礎地盤厚	
傾斜型 堤防タイプ	天端幅	
	堤体高	
	勾配	
	基礎地盤厚	
	水深	
重力式 防波堤	マウンド天端幅	
	マウンド高	
	勾配	
	基礎地盤厚	
	水深	
矢板式 (控え直杭)	防波堤重量	
	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)	
矢板式 (控え組杭)	D1/H(液状化層厚/壁高)	
	H(壁高)	
	L1/H (矢板壁の非液状化層への根入長/壁高)	
	L2/H (押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)	
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)	

解説 E 詳細手法 (FLIP) による変形量予測

①詳細手法 (FLIP) による変形量予測の必要性

チャート式耐震診断システムは、膨大な FLIP の変形量予測を基に作成されたシステムである。本システムを構築するに当たっては、施設の変形量を過小に評価することを避けるため、FLIP の変形量を内包するように、概ね安全側の評価を行うようシステムが構築されている。そのため、下図に FLIP 解析結果とチャート式診断システムにより推定された沈下量の比較を示す通り、FLIP の解析結果に比べて変形量を平均的に大きく評価する傾向にある。したがって、詳細に検討を必要とする場合など、より精緻な変形量予測を実施する際には詳細手法 (FLIP) による検討を行うことが望ましい。

ただし、チャート式耐震診断システムは、砂質土系の地盤を対象として構築されているため、原地盤が砂質土と粘性土の互層、または粘性土地盤の場合など、FLIP の変形量がチャート式耐震診断システムにより推定される変形量に比べて大きくなる場合もある。

また、同一断面を対象としたチャート式耐震診断システムの推定変形量と FLIP により求められる変形量に大きな差異が認められる場合は、FLIP の解析結果を反映して、チャート式耐震診断システムに内蔵されている補正係数を再設定することにより、推定精度の向上を図ることも考えられる(参考 5 参照)。再設定された補正係数は、地震動が同じと判断されるゾーンで同一構造形式であれば適用することが可能であるため、ある程度広域で複数施設のチャート式耐震診断システムの推定結果の精度を一度に向上させることが出来ると言ったメリットがある。

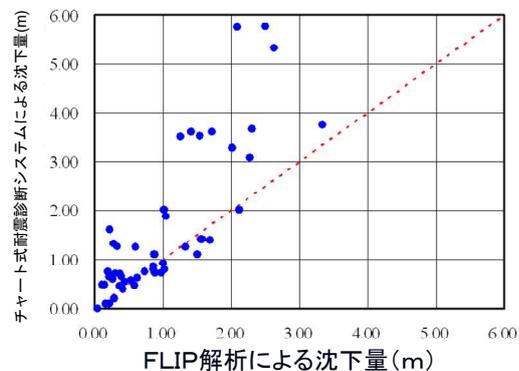


図-E-1 チャート式耐震診断システムと FLIP の変形量推定値の比較

②検討の概要

FLIP の解析モデル(メッシュ図)の一例を以下に示す。

解析を実施する上では、まず、検討対象施設周辺のボーリング調査結果、土質試験結果から土層構成を想定し、2次元のFEMメッシュを作成する。

次に、各種土質試験結果から得られた試験値等から地盤条件を、設計図書等から構造物諸元を適切に設定する。具体的に必要な設定条件は後述するFLIPに必要な設定条件の一覧表に示すとおりである。これら作業により作成された解析モデルに対して、解析モデル最下端より適切に設定された地震動の時刻歴を入力し、地震応答解析を実行することにより地盤・構造物の変形量等の検証が可能となる。

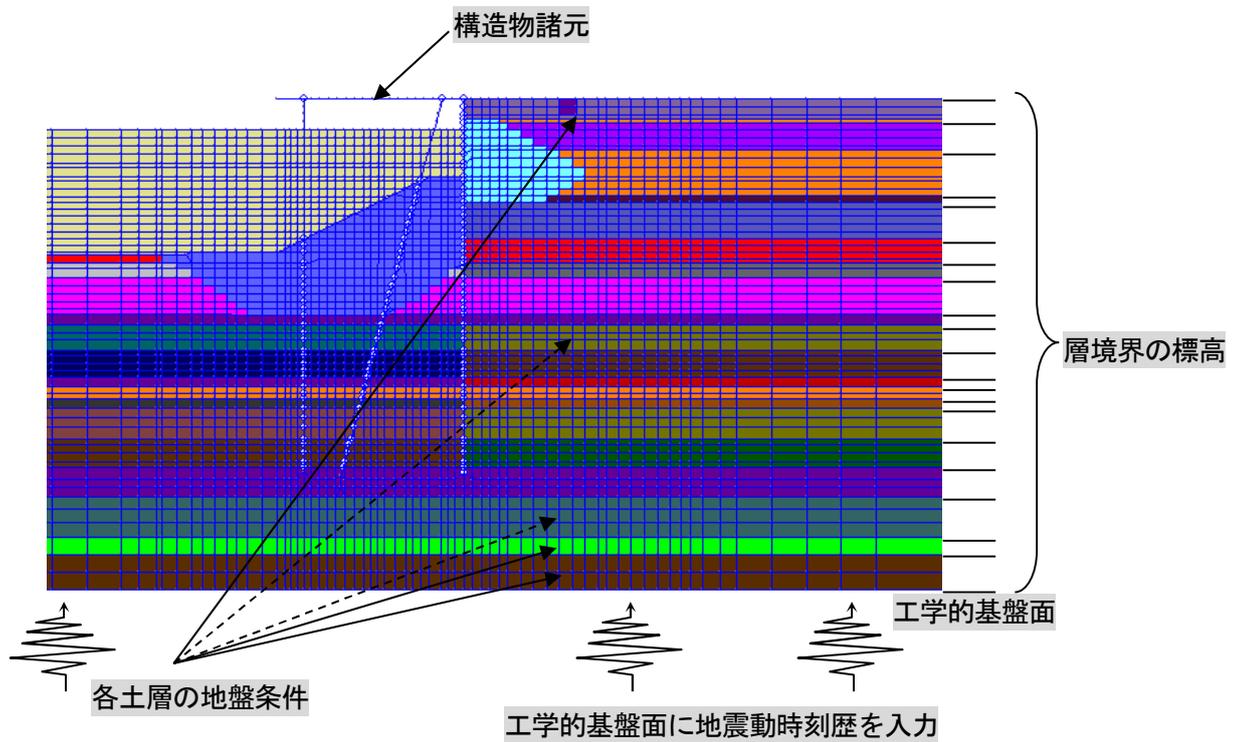


図-E-2 FLIP の解析モデル(メッシュ図)の一例

③留意点

地震動が非常に大きい場合は、構造物の加速度応答値に異常が現われるなど、解析結果に不具合が生じるため、地震動の時刻歴のタイムステップ(積分時間)を細かくする必要がある。また、FLIP は評価する項目により使用する構成式(応力ひずみ関係を定義する式)等が異なるため、目的に応じて採用する構成式を変えるなどの留意が必要である。具体的には、水平変形量が卓越する施設の検討(岸壁、護岸等)を実施する場合は、「temp7 法」と呼ばれる構成式、「改良型」と呼ばれる非反復計算法を使用し、鉛直変形量が卓越施設の検討(防波堤、堤防等)を実施する場合は、「従来法」と呼ばれる構成式、「従来法」と呼ばれる非反復計算法を使用する必要がある。なお、構成式や非反復計算法については、次頁にも紹介する「沿岸技術ライブラリーNo. 24 港湾構造物設計事例集(平成 19 年改訂版):財団法人 沿岸技術研究センター,平成 19 年 3 月」に詳しい。

ただし、これらの構成式や非反復計算法については、FLIP コンソーシアムにより研究が進められているところであり、研究成果は地盤工学会や土木学会にも投稿されているため、これらの情報を参考にするとよい。

② 必要設定条件

FLIP の検討を行う上で必要となる設定条件は下表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。

<ul style="list-style-type: none"> ・ 液化化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法: 港湾技研資料 No. 869, 1997. 6 ・ 1次元 FLIP 入力データ作成プログラム 1D-MAKER (20090130) Ver. 1. 2: 国土技術政策総合研究所—横須賀庁舎—港湾空港部港湾施設研究室 HP <http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html> ・ 沿岸技術ライブラリー No. 24 港湾構造物設計事例集 (平成 19 年改訂版): 財団法人 沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月 ・ FLIP コンソーシアム FLIP 研究会の各種成果 (※) FLIP コンソーシアムの会員となる必要がある。 <http://www.flip.or.jp/> 	等
--	---

表-E-1 FLIP 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地震動時刻歴
土層条件	層境界の標高
地盤条件	工学的基盤面の V_s 、 V_p
	細粒分含有率 F_c
	塑性指数 I_p
	初期せん断剛性 G
	初期体積弾性係数 K
	ポアソン比 ν (一般的に 0.33)
	間隙率 n (一般的に砂質土系 0.45、粘性土系 0.55)
	粘性土の粘着力 C
	砂質土の N 値 (等価 N 値)
	砂質土の内部摩擦角 ϕ
構造物諸元	液状化が懸念される土層の液状化強度曲線 杭諸元、矢板諸元、上部工諸元、ケーソン諸元等

(※) 地盤のせん断剛性は等価 N 値、粘性土の粘着力、PS 検層のいずれによっても推定可能であるが、PS 検層による方法が最も推定精度が高いとされている。また、初期体積弾性係数 K は、せん断剛性 G とポアソン比 ν により算出される。

解説 F 地震変形による被害の想定

地震変形による被害は、背後土砂流出による航路や泊地の埋没や津波来襲時における施設の沈下による浸水被害などの2次的な被害を引き起こす要因となる。したがって、変形量予測手法により求められた変形量を基に対象施設の地震後の天端高の設定を行い、津波来襲時の施設周辺の沈下状況や背後地盤の土砂流出の危険性を評価する。また、発災後の産業機能への影響などを把握することを目的として、求められた地震後の施設や背後地盤の変形量を参考に応急復旧の優先度を明確にする。発災後の産業機能への影響を評価する上で必要となる項目の一例を以下に示す。

【岸壁】

- 棧橋杭の損傷度や矢板の損傷度など、対象施設の直接的な被害の検証
 - ・ 施設損傷度の情報を基に被災後の船舶接岸の可否判断などを実施する。
 - ・ 施設損傷に起因する背後土砂流出による航路埋没の可能性を評価する。
- 重力式の水平変形量の検証
 - ・ 水平変形量の情報を基に被災後の船舶接岸の可否判断などを実施する。
 - ・ 目地開きに起因する背後土砂流出による航路埋没の可能性を評価する。
- 背後エプロン等の段差の検証
 - ・ 陸地からの資材搬入出の可否判断などを実施する。

等

【護岸】【防潮堤】

- 護岸・防潮堤の防護機能に関する検証
 - ・ 鉛直変形量の情報を基に台風等が復旧前に発生した場合など2次災害の影響を評価する上で必要となる越波流量の算定により背後地への影響検討を実施する。
- 重力式の水平変形量の検証
 - ・ 目地開きに起因する背後土砂流出による背後地盤の陥没の可能性を評価する。
- 矢板の損傷度など、対象施設の直接的な被害の検証
 - ・ 施設損傷に起因する背後土砂流出による背後地盤の陥没の可能性を評価する。

等

なお、地震による施設の沈下と併せて被害を拡大させる可能性のある要因として、港湾護岸等の老朽化が挙げられる。施設の老朽化による機能低下の恐れがある場合は、老朽化に対する検討を行う必要がある(参考6参照)。

解説 G 津波波源の設定方法

① 想定津波の規模

これまでの津波防災は、各地域で想定しうる最大の津波条件をもとに津波被害の予測が行われてきた。しかし、2011年3月の東北地方太平洋沖地震以降は、内閣府及び国土交通省は防護レベルに応じた規模の津波の条件を想定することとしている（表 想定津波の区分と考え方参照）。

発生頻度の高い津波では、施設による津波防護を基本とし、海岸保全施設等の防護ラインで護られる地域の浸水は発生させないため、浸水予測は防護ラインより海側の埋め立て地等が対象となる。一方、最大クラスの津波では、発生頻度の高い津波を対象とする防護ラインの内外での浸水被害を許容し、避難を優先させる。このため、浸水予測においては、津波防災の目的に応じた規模の津波条件を設定する必要があり、被害想定及びその対策立案においては注意が必要である。

表-G-1 想定津波の区分と考え方

	内閣府 「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」	国土交通省 交通政策審議会港湾分科会防災部会
発生頻度の高い津波	<ul style="list-style-type: none"> 最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波 住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で想定する津波 	<ul style="list-style-type: none"> 概ね数十年から百数十年に一回程度の頻度（到達頻度の高い津波） 人命、経済活動等を守る「防災」 防潮堤から背後地への浸水を防止
最大クラスの津波	<ul style="list-style-type: none"> 発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波 防波堤など構造物によって津波の内陸への進入を防ぐ海岸保全施設等の建設を行う上で想定する津波 	<ul style="list-style-type: none"> 発生頻度は極めて低い、影響が甚大な津波 人命を守る「減災」 防潮堤からの浸水は許容するものの、土地利用や避難対策と一体となった総合的な対策を講じる

② 津波波源の条件

浸水予測に用いる津波波源は、検討対象地域に影響する条件を対象とする必要があり、地域によっては、対象地域から遠く離れた波源（例えば、チリ地震）から来襲する津波を想定する場合がある。内閣府が検討を進めている東海地方から九州に大きな津波被害を及ぼす可能性のある南海トラフの巨大地震においても、沿岸に大きな津波被害を及ぼす津波断層モデルとして検討されており、津波波源から遠くなる地域では地震動の影響は徐々に小さくなることから、地震動の影響が大きい地震と津波波源となる地震は異なる場合があることに留意する必要がある。

解説 H 地形条件の設定方法

①地盤高及び水深の設定方法

地盤高は、国土地理院が公開する基盤地図情報（5m メッシュ標高）等を活用し設定することができる。また、水深については、海上保安庁海洋情報部海洋情報課／日本海洋データセンター（JODC）や日本水路協会が公表しているデータ等を活用し設定することができる。

「津波浸水想定の設定の手引き（平成 24 年 4 月、国土交通省水管理・国土保全海岸室、国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室）」によれば、地形データの作成は、最も解像度が高い国土交通大臣等による航空レーザ測量の結果等を活用することを基本とすることとなっている。

浸水予測に用いる地形データは、上記手引き等を参考に、浸水予測方法に応じたメッシュデータとして作成する。

なお、公表資料における地盤高や水深の基準が整合しない場合があるので、データ作成においては、基準を一致させる点に留意する必要がある。

②護岸・岸壁等の取扱いについて

護岸・岸壁は、地盤高として設定する方法と施設位置の境界条件として高さのみ与える方法がある。設定方法については「津波浸水想定の設定の手引き」等を参考とする。

③地震による地殻変動及び液状化による施設の沈下量

地震により地殻変動（沈下）が生じる場合は、浸水被害を拡大させることから、断層パラメータ（用語集参照）をもとに算定される各位置での地殻変動量を地盤高や施設の高さから減じるものとする（地殻変動のうち隆起については安全側の検討とするため考慮しない）。

地殻変動量は、内閣府のように公表されたデータがある場合は、そのデータをシミュレーションデータに反映させることができるが、公表データがない場合は、断層パラメータをもとに算定する必要がある。

また、地震に伴う液状化等の影響がある場合も、沈下量等を考慮した施設の高さ（地盤高）とするものとする。

解説Ⅰ 浸水計算手法の選定方法

津波による陸上の浸水域は、大別して「津波シミュレーション」と「レベル湛水法」による方法（表-I-2 各種検討手法の概要（津波浸水域の検討）参照）を用いた予測が可能である。「海岸事業の費用便益分析指針（案）、平成16年6月」においては、津波シミュレーションを実施するのが困難な場合の浸水域の予測手法として「レベル湛水法」が紹介されている。「レベル湛水法」は、浸水域を簡易的に推定する方法として利便性が高いが、詳細な浸水範囲や施設に作用する津波高の予測においては、越流箇所から時系列的な浸水範囲を予測できない等、津波シミュレーションより予測精度が悪いなどの課題を有する。

本マニュアルでは、詳細手法と簡易手法として、上記の2手法を紹介するが、浸水計算においては、津波シミュレーションによる精緻な検討が望ましい。

ただし、作業に要する費用、時間の確保が難しく、シミュレーションを実施することが困難な場合の想定浸水地域の設定にあたっては、「レベル湛水法」を選択することができるものとする。

表-I-1 レベル湛水法と津波シミュレーションの特徴の整理

(1 港湾・1 ケース当り)

	浸水予測手法	作業時間	データ作成から評価までに必要な費用	推定精度
簡易手法	レベル湛水法	数日	50万円程度	概算
詳細手法	津波シミュレーション	2～3週間	150万円～200万円程度	精緻

表-I-2 各種検討手法の概要（津波浸水域の検討）

手法の区分	名称	概要
簡易手法	レベル湛水法	地盤高、施設天端高及び津波波形をもとに陸上の浸水域を簡易的に予測するモデルである。海岸線における越流量は、海岸線における津波波形をもとに施設天端高を越える水位と継続時間から算定する。浸水域は、算定した越流量をもとに検討範囲内の地盤が低い場所から順次、総越流量になるまで湛水させることで予測する。津波シミュレーションに比べ計算時間が短く、作業量も少ないが、海岸における津波高の空間的な変化、陸上の津波高、時系列的な浸水過程等を精度良く計算できないことに留意する必要がある。
詳細手法	津波シミュレーション（線形・非線形長波理論による平面 2 次元モデル）	津波予測に多く用いられているモデルであり、内閣府や気象庁も本モデルを用いている。津波の波源域から浸水域までを時空間的に連続した計算を行う。深海域では、津波の非線形性は無視できるため、線形長波理論の適用が可能である。浅海域では非線形性を考慮できるため、津波の変形が精度良く再現できる。また、越流に伴う陸上浸水域の予測も可能である。

【参 考】

簡易な手法（レベル湛水法）よりもさらに簡便に浸水域、浸水深を設定する手法として、最大津波高と地盤高の比較を行う方法がある。最高水位以下の地盤高においては浸水の可能性が高いものとして、海岸保全施設背後における浸水危険度について、地盤高と最大津波高を考慮した最高潮位をもとに仮想の浸水深を設定する。専門的な技術を必要としないが、越流量や越流経路が考慮されないため、精度が低い。

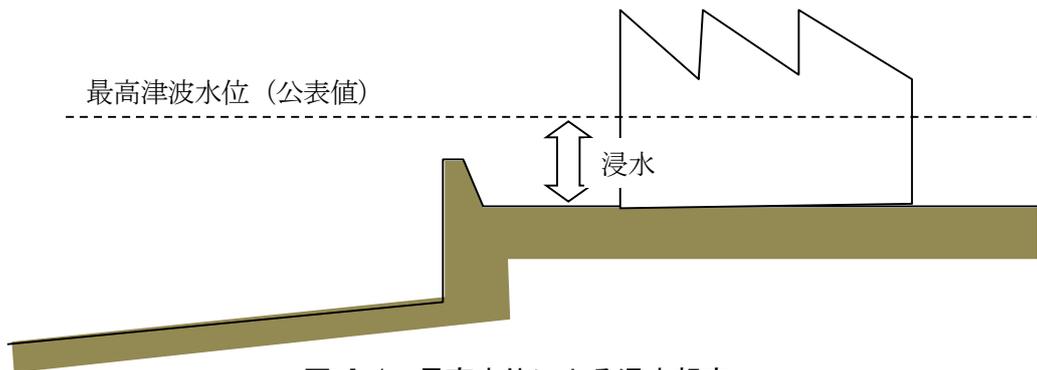


図-I-1 最高水位による浸水想定

解説J 簡易手法（レベル湛水法）による浸水予測

簡易手法（レベル湛水法）による浸水予測の概要を以下に整理する。

①計算モデル

地盤高のメッシュデータを用い、メッシュデータの最低地盤高から、任意の刻み幅で水位を上昇させた時の各水位 H (H_1 , H_2 , H_3 ・・・) に対する全メッシュの湛水量 V を算定し、湛水量 V が総越流量 Q と等しくなるまで H を上昇させる。

浸水深は、湛水量 V と総越流量 Q が等しくなる水位 H から各メッシュの地盤高を差し引くことで求めることができる。

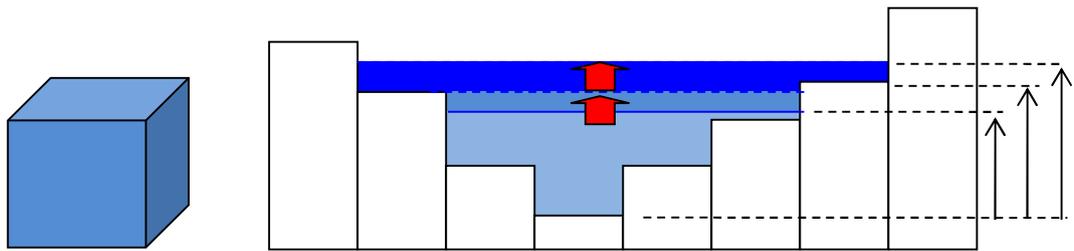
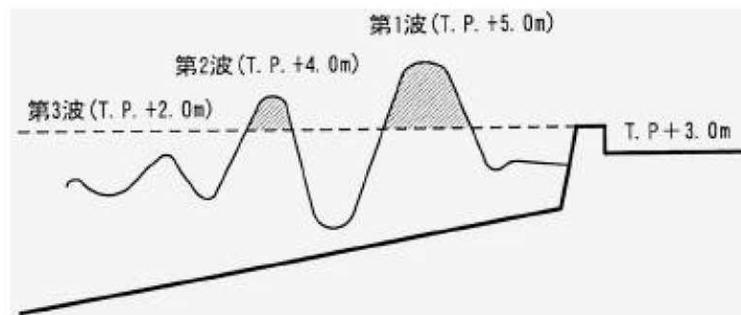


図-J-1 レベル湛水法のイメージ

②越流量の算定方法

越流量は、別途実施された津波シミュレーション結果による海域の水位の時系列情報から、施設の天端高を越える高さで継続時間、越流する施設延長をもとに算定する。



出典：海岸事業の費用便益分析指針（案）、平成16年6月

図-J-2 レベル湛水法における越流量の算定イメージ

③浸水想定結果に関する留意点

レベル湛水法による浸水想定は、海岸における既往の津波の水位時系列をもとに簡便な方法で総越流量を算定し、低い地盤から徐々に湛水させて浸水域を推定することから、越流箇所から順次浸水していく状況を再現できない。また、津波シミュレーション再現できる他の場所から越流した海水が回り込んでくる場合等の再現ができない場合がある。

また、上記の理由により浸水範囲が実際と異なる場合があることから、被害想定においては浸水深の取扱いに注意する必要がある。

解説 K 詳細手法（津波シミュレーション）による浸水予測

津波シミュレーションによる浸水想定の詳細は「津波浸水想定の設定の手引き、H24.10、(国土交通省水管理・国土保全局海岸室)」に記載されている内容を参考とすることができる。

① 計算時間

繰り返し来襲する津波の影響をふまえ、適切な計算時間を設定し、浸水計算を実施する。内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」による浸水計算における再現時間は、地震発生から最低 6 時間の計算を実施し、浸水域の拡大が 2 時間で 1 パーセント未満となった場合に計算を終了することとなっている。

また、海岸地形によっては、反射波の影響が長く続く場合もあることから、閉鎖海域や湾域においては、水位の時系列を確認しながら計算時間を設定する必要がある。

② 浸水想定結果に関する留意点

津波シミュレーションによる浸水域は、地下への浸透や排水施設の効果等を考慮した予測結果ではないことから、長時間の浸水範囲にはこれらの誤差が含まれることに留意する必要がある。

解説 L 浸水・漂流被害の目安

①想定される被害項目

浸水及び漂流物被害の検討手順、想定される被害項目を整理する。

a) 浸水被害

【想定される浸水被害項目】

表-L-1 想定される浸水被害項目例

施設		浸水による直接被害	間接被害
港湾管理施設 港湾関連企業 産業施設	事業所 非常用電源施設	事業所の浸水／トラック等輸送車両・従業員用車両の浸水／発電施設の浸水	荷役・集荷・運送等の業務の停止／港湾の生産活動の停止
	車両		
在来ふ頭 コンテナターミナル	クレーン・フォークリフト ヤードの蔵置コンテナ 荷役施設	クレーン・フォークリフトの浸水・稼働停止／ヤードの蔵置コンテナの浸水・濡損／荷役施設の配電盤等の電気系統の損傷	荷役活動の停止／水濡れした港湾貨物の移動・処理
水産ふ頭	漁業事務所 漁業市場 水産加工工場	漁協事務所・市場の浸水／水産加工工場の浸水	水産物取引機能の停止／水産加工業務の停止
マリーナ	クラブハウス	クラブハウスの浸水	マリーナ管理業務の停止
	修理工場	修理工場の浸水	
フェリー・RORO・ 旅客船ふ頭	ターミナルビル	ターミナルビル（発券所、待合室）の浸水／ 航送車両の浸水	車両・旅客の輸送停止
	航送車両		
平面の臨港道路		臨港道路の浸水	港内での移動の困難
各種処理施設	下水処理施設	下水処理・排水ポンプ・ゴミ焼却施設等の管理室（コントロールルーム）の浸水	処理系施設の管理業務の停止
	排水処理施設		
	ゴミ焼却施設		
レクリエーション施設 緑地等 防風林・防潮林		緑地・賑わい・交流施設等の浸水	緑地等の利用停止
ライフライン施設	電力施設	各施設の管理室（コントロールルーム）の浸水	港湾の生産活動の停止
	ガス施設		
水域施設	航路・泊地・船溜まり	流出した船舶・コンテナ・自動車・瓦礫等の沈没や土砂流入による埋没	荷役・集荷・運送等の業務の停止／港湾の生産活動の停止
		大規模な洗掘	静穏度の悪化による物流効率化の悪化
岸壁		船舶や消波ブロックの打上げ／コンテナ・瓦礫等の漂流物の散乱／岸壁の倒壊・法線の出入り（主原因は地震動である可能性が高いが、引き波時の土砂の吸出しやマウンドの洗掘も影響）	荷役・集荷・運送等の業務の停止／港湾の生産活動の停止

b) 漂流物被害

【想定される漂流物被害項目】

表-L-2 想定される漂流物被害項目例

漂流物	漂流による直接被害	漂流物による間接被害	
原木・チップ	荷捌地・野積上からの原木・チップ・砂・鉱物等の流出／車両・船舶の流出	海側への流出	船舶の入出港規制・流出物回収による港湾活動の停止／荷役・保管・荷捌・運送等の港湾活動の停止／火災による荷役・生産の停止
砂・鉱物		泊地等での流出物の漂流・水没危険物の港湾周辺海域への漂着→船舶との衝突事故／海域汚染	
車両		陸側への流出	
船舶			
コンテナ	空コンテナの流出 実入りコンテナの流出		
漁具	漁具の漂流・流出・沈没		
栈橋	栈橋の漂流・流出・沈没		
タンク	原油・重油・ナフサ・薬品等の流出		

②被害想定 of 判断基準

被害想定 of 判断基準（浸水及び漂流被害が発生する浸水深）は、以下の方法により設定する。

a) 現地における施設の確認による設定

想定浸水域に立地する施設について、被災するきっかけとなる高さ（電源施設の位置、コントロールルームの階層、蔵置貨物の保管場所の高さ等）を現地確認して設定する。

b) 既往文献等による設定

既往文献等に示される浸水及び漂流被害が発生する浸水深により設定する。

本マニュアルでは港湾護岸等の管理者である港湾管理者や民間事業者を対象としていることから、港湾護岸背後の施設や蔵置貨物の浸水及び漂流被害が発生する浸水深の目安として、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（案）」（国土交通省港湾局）における「参考資料 I 津波による被害評価に関する情報」を紹介する。

参照 URL : http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk5_000018.html

【追記事項】

環境省や内閣府の公表資料に関する事項

表-L-3 国土交通省による津波による浸水施設被害評価に関する情報（防波堤の耐津波設計ガイドライン（案） 参考資料 I より）

施設		浸水による直接被害	間接被害	被災目安（浸水）
港湾管理施設 港湾関連企業 産業施設	事業所 非常用電源施設	事業所の浸水／トラック等輸送車両・従業員用車両の浸水／発電施設の浸水	荷役・集荷・運送等の業務の停止／港湾の生産活動の停止	<p>○鉄筋コンクリートビルは浸水深 5m まで持ちこたえ、17m で全面破壊</p> <p>○鉄筋コンクリートビルは津波高 5m までは持ちこたえる</p> <p>○鉄筋コンクリート造の大破：浸水深（m）7.0 以上、流速（m/s）9.1 以上、抗力（Kn/m）332-603 以上</p> <p>○コンクリート・ブロック造の大破：浸水深（m）7.0、流速（m/s）9.1、抗力（Kn/m）332-603</p> <p>○木造の大破：浸水深（m）2.0、流速（m/s）4.9、抗力（Kn/m）27.4-49.0</p> <p>○鉄筋コンクリート造建物は津波高 4.24m で損傷限界、1 階外壁は 1.07m で安全を失う</p> <p>○鉄骨造建物は津波高 1.11m で損傷限界</p> <p>○浸水深 2m 前後で建物被災状況に大きな差があり、津波高 2m 以下の場合には建物が全壊となる場合には大幅に低下する。</p> <p>○鉄筋コンクリート造及び鉄骨造の建物は、その建物が再使用困難な破損が生じる割合が低い</p>
	車両			○普通車・トラック：過去の被災例や実験等では、水没初期に自動車が浮く状況や水没の進行に伴い車内への浸水が生じることが報告されている。
在来ふ頭 コンテナミナル	クレーン・フォークリフト ヤードの蔵置コンテナ 荷役施設	クレーン・フォークリフトの浸水・稼働停止／ヤードの蔵置コンテナの浸水・濡損／荷役施設の配電盤等の電気系統の損傷	荷役活動の停止／水濡れした港湾貨物の移動・処理	<p>○浸水高 2m 未満で浸水被害率 0.5（半壊）、浸水高 2m 以上で浸水被害率 1.0（全壊）</p> <p>コンテナクレーン</p> <p>○[走行部]：走行モーター、減速機、レールランプ への浸水により、洗浄、分解点検、破損部品の交換等が必要となる。</p> <p>○[構造体]：コンテナの漂流により、脚・シルベーム・給電ケーブル等が破損</p> <p>○[電気設備]：エンジン部への海水の侵入により、オーバーホールが必要となる。</p> <p>アンローダー</p> <p>○[走行部]：走行モーター、減速機、レールランプ への浸水により、洗浄、分解点検、破損部品の交換等が必要となる。</p> <p>○[構造体]：船舶の衝突により海中へ落下または破損（水位上昇 3m 以上で 500～1 万 t、水位上昇 4m で 1 万 t 以上の船舶が流出）する。</p> <p>○[電気設備]：エンジン部への海水の侵入により、オーバーホールが必要となる。</p> <p>○例：相馬港のアンローダーは、稼働中に地震発生し、それに続く津波警報によって稼働状態のまま、アンローダーのオペレータが避難。続いて、同じく津波から退避するために船が離岸、移動開始。アンローダーの先端部分が船倉に入られた状態で、船に引かれることになったため、アーム先端に曲げ力（モーメント）が発生。この力でアームが折れる（座屈）。さらに船が移動し、アンローダー先端（大部分）が切断する（引きちぎられる）。アンローダー先端部を喪失したことによって、カウンタウェイトとの平衡が崩れる。アンローダーの揺脚が折れ曲がり後方（カウンタウェイト側）へ転倒。その際にコンパヤも巻き込み損傷。</p> <p>○仙台塩釜港の例、浸水は 3m 弱。ただし、走行部が 0.6m 程度の浸水でオーバーホール等が必要</p>

施設		浸水による直接被害	間接被害	被災目安（浸水）
水産ふ頭	漁業事務所	漁協事務所・市場の浸水／水産加工場の浸水	水産物取引機能の停止／水産加工業務の停止	○鉄筋コンクリートビルは津波高5mまでは持ちこたえる
	漁業市場			○鉄筋コンクリート造の大破：浸水深（m）7.0以上、流速（m/s）9.1以上、抗力（Kn/m）332-603以上
	水産加工場			○コンクリート・ブロック造の大破：浸水深（m）7.0、流速（m/s）9.1、抗力（Kn/m）332-603 ○木造の大破：浸水深（m）2.0、流速（m/s）4.9、抗力（Kn/m）27.4-49.0 ○鉄筋コンクリート造建物は津波高4.24mで損傷限界、1階外壁は1.07mで安全を失う ○鉄骨造建物は津波高1.11mで損傷限界 ○浸水深2m前後で建物被災状況に大きな差があり、津波高2m以下の場合には建物が全壊となる場合には大幅に低下する。 ○鉄筋コンクリート造及び鉄骨造の建物は、その建物が再使用困難な破損が生じる割合が低い
マリーナ	クラブハウス	クラブハウスの浸水	マリーナ管理業務の停止	○鉄筋コンクリートビルは津波高5mまでは持ちこたえる
	修理工場	修理工場の浸水		○鉄筋コンクリート造の大破：浸水深（m）7.0以上、流速（m/s）9.1以上、抗力（Kn/m）332-603以上 ○コンクリート・ブロック造の大破：浸水深（m）7.0、流速（m/s）9.1、抗力（Kn/m）332-603 ○木造の大破：浸水深（m）2.0、流速（m/s）4.9、抗力（Kn/m）27.4-49.0 ○鉄筋コンクリート造建物は津波高4.24mで損傷限界、1階外壁は1.07mで安全を失う ○鉄骨造建物は津波高1.11mで損傷限界 ○浸水深2m前後で建物被災状況に大きな差があり、津波高2m以下の場合には建物が全壊となる場合には大幅に低下する。 ○鉄筋コンクリート造及び鉄骨造の建物は、その建物が再使用困難な破損が生じる割合が低い
フェリー・RORO・旅客船ふ頭	ターミナルビル	ターミナルビル（発券所、待合室）の浸水／航送車両の浸水	車両・旅客の輸送停止	○鉄筋コンクリートビルは津波高5mまでは持ちこたえる
	航送車両			○鉄筋コンクリート造の大破：浸水深（m）7.0以上、流速（m/s）9.1以上、抗力（Kn/m）332-603以上 ○コンクリート・ブロック造の大破：浸水深（m）7.0、流速（m/s）9.1、抗力（Kn/m）332-603 ○木造の大破：浸水深（m）2.0、流速（m/s）4.9、抗力（Kn/m）27.4-49.0 ○鉄筋コンクリート造建物は津波高4.24mで損傷限界、1階外壁は1.07mで安全を失う ○鉄骨造建物は津波高1.11mで損傷限界 ○浸水深2m前後で建物被災状況に大きな差があり、津波高2m以下の場合には建物が全壊となる場合には大幅に低下する。 ○鉄筋コンクリート造及び鉄骨造の建物は、その建物が再使用困難な破損が生じる割合が低い ○普通車・トラック：過去の被災例や実験等では、水没初期に自動車が浮く状況や水没の進行に伴い車内への浸水が生じることが報告されている。
平面の臨港道路		臨港道路の浸水	港内での移動の困難	○津波漂流物が堆積、照明塔の倒壊 ○例：仙台塩釜港仙台港区は災害廃棄物による臨港道路の閉塞

施設		浸水による直接被害	間接被害	被災目安（浸水）
各種処理施設	下水処理施設	下水処理・排水ポンプ・ゴミ焼却施設等の管理室（コントロールルーム）の浸水	処理系施設の管理業務の停止	○例：南蒲生浄化センターはGL+4.0mの浸水被害が発生し、コンクリート構造物等の破損・屋外設備等の流出、機械電気設備の浸水被害・処理機能の停止（長期稼働停止）、瓦礫や土砂の堆積・船舶等が流出し構造物を破壊
	排水処理施設			○下水道施設は、建物の破壊や冠水など極めて甚大な被害を受け、場内の地下部分には塩水が滞留し、電気設備などの水没した状態が長期間続いた。
	ゴミ焼却施設			○排水路が瓦礫により閉塞 ○堤防の流出により、河川水や海水が逆流・侵入 ○例：石巻広域クリーンセンターは津波による浸水で、装置、電気設備の損傷。非常用発電機室が防塵室で浸水を免れた
レクリエーション施設 緑地等 防風林・防潮林	緑地・賑わい・交流施設等の浸水	緑地等の利用停止	○樹木の直径が10cm以下では津波浸水深4.65m以上で折損 ○直径10cm以下では浸水深4m以上では倒伏。折損 ○直径30～40cmあっても浸水深が8m以上になると折損 ○津波高4mでは部分的被害が発生するものの漂流被害を阻止するが、津波高8mでは全面的被害が発生する上に漂流物として被害を拡大させる	
ライフライン施設	電力施設	各施設の管理室（コントロールルーム）の浸水	港湾の生産活動の停止	○浸水高3m以上で塔の倒壊・転倒が発生 ○浸水高1m未満でもリスクが大きい事象の発生 ○浸水高3m以上の事業所は高圧ガス設備（定置式）の流出が発生 ○浸水高1m以上の事業所で高圧ガス容器の流出が発生
	ガス施設			
水域施設	航路・泊地・船溜まり	流出した船舶・コンテナ・自動車・瓦礫等の沈没や土砂流入による埋没 大規模な洗掘	荷役・集荷・運送等の業務の停止／港湾の生産活動の停止 静穏度の悪化による物流効率化の悪化	
岸壁		船舶や消波ブロックの打上げ／コンテナ・瓦礫等の漂流物の散乱／岸壁の倒壊・法線の出入り（主原因は地震動である可能性が高いが、引き波時の土砂の吸出しやマウンドの洗掘も影響）	荷役・集荷・運送等の業務の停止／港湾の生産活動の停止	

漂流物	漂流による直接被害	漂流物による間接被害		被災目安（流出）
原木・チップ	荷捌地・野積上からの原木・チップ・砂・鉱物等の流出／車両・船舶の流出	海側への流出 泊地等での流出物の漂流・水没危険物の港湾周辺海域への漂着→船舶との衝突事故／海域汚染	船舶の入出港規制・流出物回収による港湾活動の停止／荷役・保管・荷捌・運送等の港湾活動の停止／火災による荷役・生産の停止	○流出開始：h≥木材の高さ
砂・鉱物				○浸水高0m超で流出被害率1.0
車両				○浸水高0m超で流出被害率1.0
船舶				○普通車・トラック：流出開始h≥浸水深0.5m以上
	○トレーラー・シャーシ：流出開始≥浸水深1.43m以上 ^{補1)}			
	○タンクローリー：浸水高2m以上で流出			
船舶	○漁船は津波高2mで被害発生，津波高4mで被害率50%，津波高8mで被害率100%			
	○500GT未満：水位上昇2m以上あるいは流速4.0m/s以上			
	○500～1万GT未満：水位上昇3m以上あるいは流速3.5m/s以上			
船舶	○1万GT以上：水位上昇4m以上あるいは流速3.0m/s以上			
	○4m/secを超える場合に船舶の係留索破断が始まるものとして、総トン数に応じて流速が4～8m/secで船舶が流出するものとする			
	船舶	○空コンテナ：流出開始h≥0.20m		
○実入りコンテナ（国内）：流出開始≥0.50m				
○実入りコンテナ（国際）：流出開始≥1.50m				
船舶	○空コンテナ：流出開始h≥0.43m			
	○実入りコンテナ（国内）：流出開始≥0.62m			
	○実入りコンテナ（国際）：流出開始≥1.20m			
船舶	空コンテナの流出 実入りコンテナの流出	陸側への流出 岸壁・エプロン・荷捌地・野積場への打ち上げ・漂着・散乱→荷役・輸送の阻害／火災の発生	○空コンテナ：浸水高0.8m超で流出被害率1.0（全損）	
漁具	漁具の漂流・流出・沈没		○養殖棚：流速が1.0m/s以上で被害が発生	
漁具	漁具の漂流・流出・沈没		○養殖筏：津波高1.0m/s以上で被害発生	
栈橋	栈橋の漂流・流出・沈没		○浮栈橋は水位と同調するため、杭から抜けなければ、溪流艇・栈橋ともに損傷は小さい。	
栈橋	栈橋の漂流・流出・沈没		○水位と同調しない係留方式（係留環・アンカー等）は、津波の高さ・流れに負ける可能性がある。	
タンク	原油・重油・ナフサ・薬品等の流出		○浸水深3m未満の津波の場合、タンク本体及び付属配管への被害は発生していない	

【コラム】 その他考慮すべき災害発生

①高潮と津波の同時発生

高潮は、台風や低気圧の影響により発生する現象で、年に数回発生し、陸上に浸水被害を及ぼす規模の高潮は数十年に 1 回規模の発生確率である。一方、南海トラフ等の海溝型地震に伴う M8 を超える規模の地震に伴う津波は約 100 年に 1 回の発生確率である。

一般的な津波浸水を対象とするハザードマップは、高潮と津波の同時発生の確率が低いことから、2つの事象が同時に発生することを想定していない。

高潮と津波が同時に発生した場合、通常の潮汐における満潮位よりもさらに高い潮位の状態で津波が押し寄せることから、陸上の浸水被害が拡大することが懸念される。

このため、津波による浸水予測結果については、検討対象地域で他の要因による浸水被害が発生する可能性がある場合は、津波と高潮が同時に発生した場合には、被害が拡大する可能性があることに留意する必要がある。

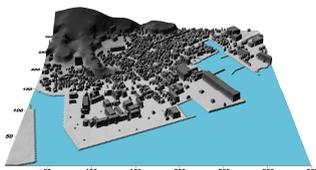
②津波の河川遡上と洪水の流下を合わせた挙動

高潮と津波の同時発生と同様に、大雨時の洪水と津波の同時発生も確率的には低いが発生する可能性がある。洪水については、津波シミュレーションにおいて河川流量として洪水時の流量を考慮することで、洪水時の河川水位の影響による津波来襲時の最大水位を評価することができる。しかし、一般的には、便宜的に設定潮位（通常は、朔望平均満潮位を用いることが多い）を河口または河川で設定する機会が多いため、河口から上流においてはこの点が考慮されていないことに留意する必要がある。

③陸上構造物による津波遡上の阻害

一般的な津波シミュレーションにおいては、地盤高の高低差のみを考慮し、建物や森林等による津波遡上への影響は、マニングの粗度係数として土地利用区分ごとに設定した値をもとに津波エネルギーを減衰させることで評価している。

このため、鉄筋コンクリート構造物等の建物が密集する場所においては、背後への津波遡上が阻害される可能性があるが、津波シミュレーションではこの点が考慮されていないことに留意する必要がある。



実際の陸上建物の再現



土地利用区分に応じた粗度係数の設定例

土地利用区分		粗度係数
	細分類	
住宅地	建物用地	0.040~0.080
工場地等	建物用地	0.040
農地	田、その他農用地	0.020
林地	森林、荒地	0.030
水域	河川、海浜、海域	0.025
その他(空き地、緑地)	公園・緑地、道路用地	0.025

解説 M 事前対策におけるソフト対策・ハード対策の例

1. ハード対策

①護岸・岸壁の耐震化（鋼材補強、地盤改良等）

護岸・岸壁の耐震化は、改良方法、費用、整備期間、制約条件等を勘案して工法を選定する必要がある。

【護岸・岸壁の耐震化工法（例）】

工法	特徴	断面イメージ
地盤改良による工法	<ul style="list-style-type: none"> 裏込土等の撤去 水砕スラグ等の設置による処置（右図イメージ） 裏込土への固化処理による対策 基礎地盤の地盤改良 	
構造物重量増大工法	<ul style="list-style-type: none"> 中詰砂の置換（右図イメージ） 裏込土の置換による処置 	
構造物の新設・補強等による工法	<ul style="list-style-type: none"> 構造部材の新設工法 既設部材補強、既設部材断面力の低減工法（右図イメージ） 岸壁前面構造物新設工法 	

②防潮堤の設置

防潮堤の設置は、改良方法、費用、整備期間、制約条件等を勘案して、以下の手順で検討する必要がある。

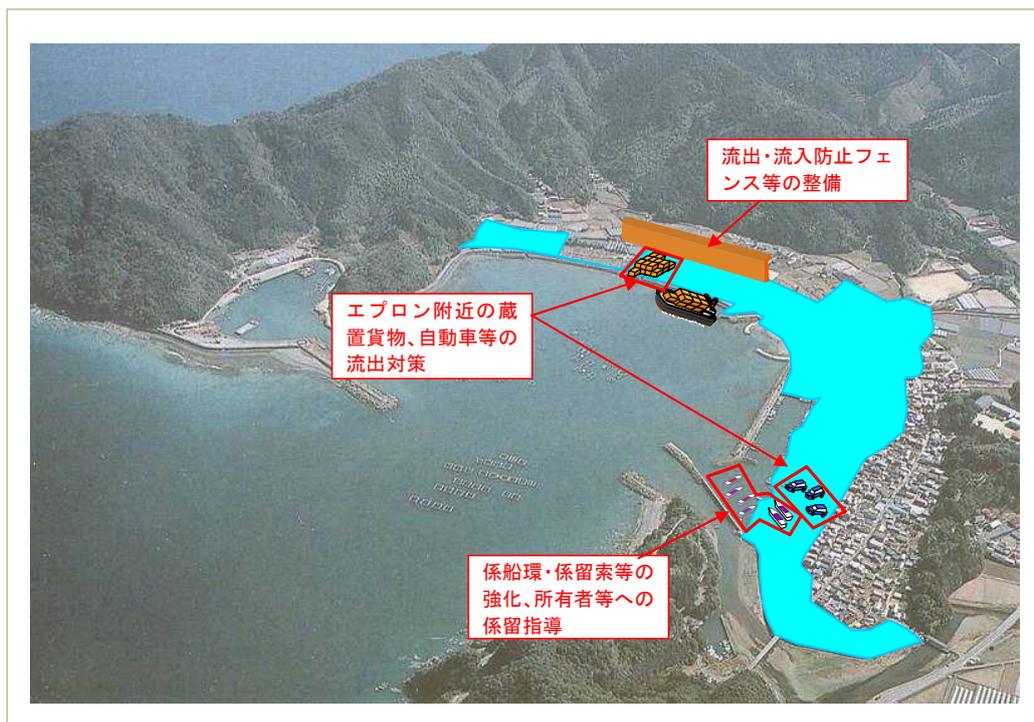
【防潮堤の設置に係わる検討手順】

- ・防護すべき施設を考慮した防護ラインの配置検討
- ・平常時利用を考慮した水門・陸閘設置箇所および遠隔操作化の検討
- ・地震・津波外力を考慮した防潮堤構造の検討
- ・防潮堤の整備

③漂流物対策

漂流防止柵設置などの漂流物対策は、漂流を防止する捕捉対象物、費用、整備期間、制約条件等を勘案して、対策方法及び工法を検討する必要がある。

【漂流物対策の対策方法（例）】



【蔵置貨物等の流出対策（例）】

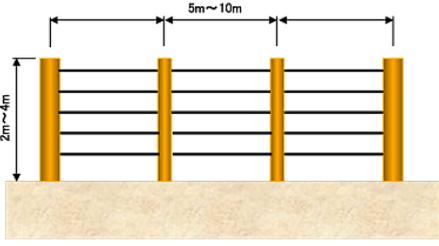
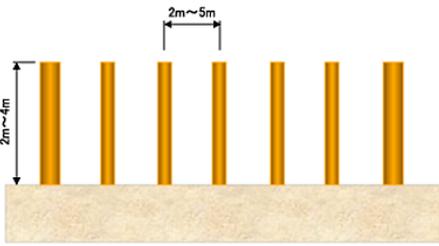
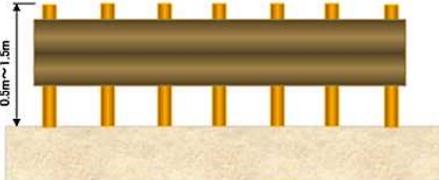


ブーメラン式金具で
上下段を拘束



- コンテナ同士を結束
- 空コンテナの再配置（内陸側への移動、実入りコンテナで囲む、地面への固定等）
- コンテナの多段積みの回避
- 完成自動車の浸水防止（移動、地盤の嵩上げ）
- 木材の結束、漂流対策工の整備 等

【津波バリアの工法（例）】

タイプ	設置箇所または防護対象施設	標準構造
ガードケープルタイプ	<p>捕捉対象：押し波時における漁船、コンテナや木材等。引き波時における車両等。</p> <p>設置箇所：港内と陸との境となる岸壁。</p>	
単柱タイプ	<p>捕捉対象：漁船、コンテナ、車両等の大きめの漂流物</p> <p>設置箇所：港内と陸との境となる岸壁。</p>	
ガードレールタイプ	<p>捕捉対象：車両等。</p> <p>設置箇所：駐車場等の周囲等。</p>	

【倉庫・上屋等の嵩上げによる対策（例）】



2. ソフト対策

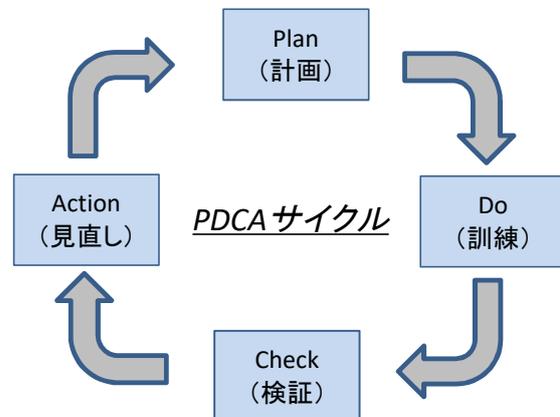
事前に実施すべきソフト対策の例を以下に示す。

【事前に実施すべきソフト対策（例）】

- 緊急対応に係る行動指針の作成・周知
- 防災訓練、防災教育等による意識啓発
(情報伝達訓練、退避訓練等)
- 船舶や港湾就労者、来訪者等への避難に係る情報提供システムの強化・多重化
(GPS 波浪計や J-ALERT との連動等)
- 避難施設の整備・確保 (避難タワー、避難施設指定等)
- 避難ルート指定・強化
- 水門・陸閘操作の遠隔化 (避難時間の確保)

【コラム】 PDCAサイクルによるソフト対策の見直し・改善

ソフト対策については、「行動指針作成などの計画 (Plan)」、それに基づいた「訓練の実施 (Do)」、訓練結果を踏まえた「ソフト対策の検証 (Check)」、検証結果を踏まえた「ソフト対策の見直し (Action)」のPDCAサイクルを繰り返し、ソフト対策の中身を徐々にレベルアップしていくことが重要である。



解説 N 事後対応方針の例

1. ハード対策

①施設点検

陸域施設：岸壁・ヤード・エプロン、臨港道路等の液状化、陥没、沈下等の被災状況を目し、または尺度、沈下板により点検する。

水域施設：作業船等により、港内に落水したコンテナ等、船舶航行を阻害する障害物を調査する。

②緊急復旧

応急復旧資機材等の調達・運搬	応急復旧資機材等を調達し、台船又は車両にて耐震強化岸壁へ運搬する。
がれきの除去	上屋等の建物の倒壊により発生したがれきを、ブルドーザー等の重機にて除去する。
敷鉄板の設置	砕石を撒布、押し固めた箇所に、上から敷鉄板を設置する。
アスファルト舗装	岸壁等の陥没箇所にアスファルト舗装する。
防舷材の嵩上げ	岸壁法線の段差が発生した箇所に、台座により防舷材を嵩上げする。
コンクリートの仮スロープの設置	岸壁の段差発生箇所に仮スロープを設置し、岸壁とヤードの動線を確保する。
土のう設置	岸壁等が沈下した箇所に、越波による被害拡大を防ぐために土のうを設置する。
水域啓開	作業船等により、港内に落水したコンテナ等、船舶航行を阻害する障害物の除去、木材等の浮遊物の封じ込め等を実施する。



③施設の応急復旧

- 荷役機械、岸壁・エプロン・上屋の応急復旧
- 水域の応急復旧（航路・泊地啓開）
- 港湾道路の応急復旧
- 電気設備の応急復旧

2. ソフト対策

地震・津波による被害がハード対策のみでは防護できない場合を想定して、発災直後に実施すべき点検・応急復旧に係る体制づくりを含むソフト対策に関する事項を整理する。

<解説>

発災直後に実施すべきソフト対策の例を以下に示す。

①緊急対応（参集～点検～応急復旧～緊急輸送開始のオペレーション）

第1段階：体制の点検等

- ↓
- ・参集・体制設置・安否確認

第2段階：調査点検、情報収集・共有等

- ↓
- ・港湾施設の点検
(TEC-FORCE・リエゾンで支援)
 - ・関係者間の情報共有化

第3段階：応急復旧

- ↓
- ・補修資機材の確保
 - ・応急復旧

第4段階：緊急輸送開始

②関係機関への情報共有・役割分担

調整事項	関係機関との調整	情報共有・役割分担
○主体毎の業務体制の確保	○連絡網・手段の申し合わせ ○主体毎の発災直後の体制確保 ○人員確保、ライフライン復旧、機器類調達、復旧工事協定等	○情報伝達体制の確立 ○情報通信手段の確保 ○共有化を図る情報 ○緊急物資受入に向けた関係者の役割分担と活動手順 ○緊急物資の受入体制の確保 等
○公共施設の調査・点検の役割分担 (荷役機械、岸壁、航路・泊地、港湾道路等)	○岸壁、航路等に関する協定等	○発災時における港湾施設点検体制の確保 ○施設点検に関する活動手順 等
○公共施設の復旧作業の役割分担 (荷役機械、岸壁、航路・泊地啓開、港湾道路等)	○事前申し合わせ、協定等	○岸壁被災時の復旧計画作成 ○施設の応急復旧のための資機材調達 ○航路啓開に向けた関係者の役割分担と活動手順（養殖筏・漁具の移動・撤去、漂流物の撤去） ○漂流物等により航路閉塞した場合の廃棄物の扱い ○工事関係者との調整（埋立浚渫協会等） 等
○使用可能施設の減少に伴う岸壁等の利用調整	○事前想定・調整 ○連絡調整体制・手段の確保等	○大規模災害時における協議会の発足 ○岸壁の利用調整 等
○早期復旧のための被害の軽減、復旧作業の短縮化	○機械・施設の耐震化、液状化対策、防水対策等 ○漁網撤去等漁協と申し合わせ	○災害時における相互応援態勢 ○災害時における情報交換 ○国土交通省の制度（TEC-FORCE、リエゾン）による支援

※1)TECFORCE：国土交通大臣を会長とする「国土交通省防災会議」による緊急災害対策派遣隊

※2)リエゾン：東日本大震災時に的確かつ迅速な災害対応支援として国土交通省東北地方整備局と自治体が締結した「災害時における情報交換に関する協定（リエゾン協定）」

③緊急復旧活動における役割分担とスケジュール



参考1 サイト増幅特性について

我々が感じたり構造物を振動させたりする地震動は下図の通り、

- ・断層においてどのような破壊が起こったか（震源特性）
- ・生じた地震動がどのように伝わってきたか（伝播経路特性）
- ・対象地点近傍の地盤構造によって地震動がどのような影響を受けたか（サイト増幅特性）

の組合せで表現される。このうち、サイト増幅特性は地震動の特性を決定づける最も大きな要因である。ここでは参考として、サイト増幅特性の性質について紹介する。また、実際にサイト増幅特性を設定する際の一助として、推定方法を紹介する。

<サイト増幅特性の性質>

サイト増幅特性は観測点近傍で地震波が堅固でない地盤に入射すると、一般的には増幅されて大きな地震動となり、この増幅特性のことを指す。サイト増幅特性は地盤の構成や構造によって異なる。

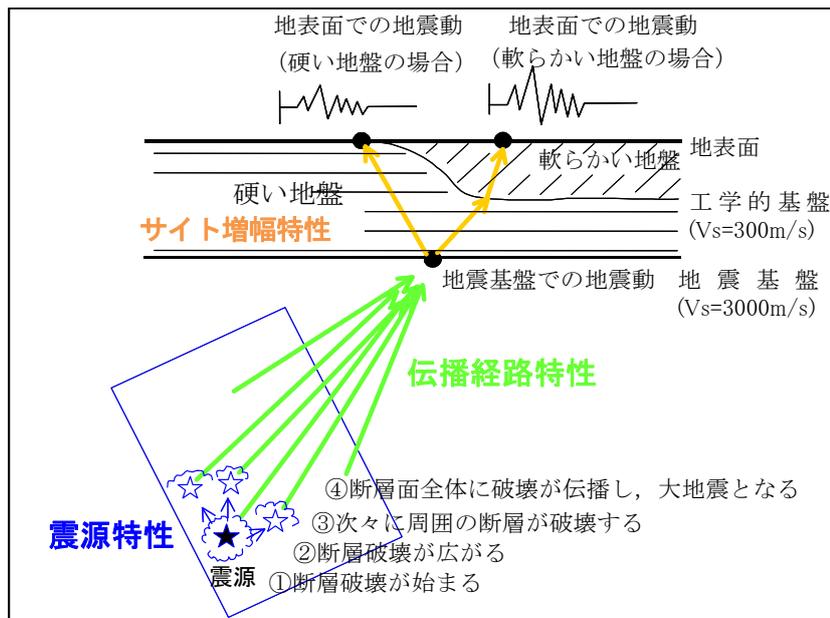


図-参 1-1 サイト増幅特性

身近な簡単な例で示すと、比較的固い地盤では（薄い木の板を揺らしたときのように）、それほど大きく「増幅」しないが、やわらかい地盤では（プラスチックの下敷きを揺らしたときのように）、大きく「増幅」するような増幅特性を表している。

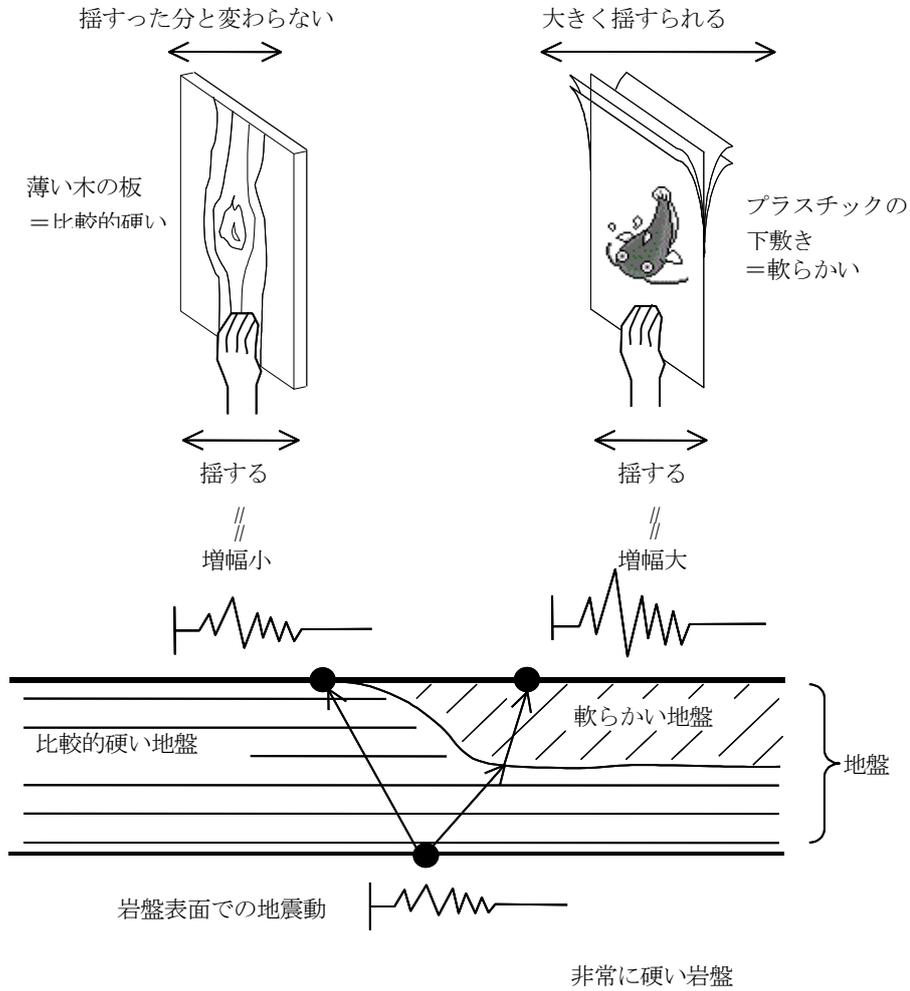


図-参 1-2 サイト増幅特性のイメージ

参考2 最大クラス津波に先行する地震動のモデルの紹介

最大クラス津波に先行する地震動は、内閣府（平成 24 年 8 月 29 日付）より公表されている気象庁の SMGA（Strong-Motion Generation Area）モデルの地震動、及び（独）港湾空港技術研究所により考案されている SPGA（Strong-motion Pulse Generation Area）モデルの大きく 2 つのモデルが存在する。各モデルの特徴は次に示すとおりである。

<内閣府の SMGA モデル>

強震断層域全体の概ね 10%の面積に相当する面積の強震動生成域を配置し、この強震動生成域（以下、SMGA と呼ぶ。）が滑ることにより地震が発生するとして地震動を推定するモデルである（下図参照）。本モデルの大きな特徴は、SMGA モデルの妥当性検証を、東北地方太平洋沖地震の観測記録を基に、震度が適切に評価できていることを確認することにより行っている点である。



※) 南海トラフの巨大地震モデルの検討（第二次報告）図-3.3 に一部加筆
図-参 2-1 強震断層域と強震動生成域

<SPGA モデル>

SMGA モデルと同様の強震断層域を用いて、東北地方太平洋沖地震を再現することに成功した SPGA（強震動パルス生成域）を内閣府が想定している基本ケース、東側ケース、西側ケース、及び陸側ケースのそれぞれの強震動生成域に 1 箇所ずつ配置し、この SPGA が滑ることにより地震が発生するとして地震動を推定するモデルである。ただし、SPGA の配置は一通りではなく、強震動生成域のそれぞれの位置に SPGA の組合せが異なるような配置を全通り検討して地震動を作成している。例として、高知港において最も厳しい場合の SPGA の配置を次頁に示す。次頁に示す図のうち○、○及び○が SPGA を配置した箇所となる。

上記により求められた全ての組合せの地震動に対して、対象港湾の工学的基盤における

PSI 値を計算して、厳しいものから順位付けを行い、港湾毎に 90%非超過の地震動、及び 50%非超過の地震動を求めている。

本モデルの大きな特徴は、耐震検討を視野に入れ、地震波形、スペクトル、及び速度の PSI 値が観測波形を適切に評価できていることを確認することにより行っている点である。

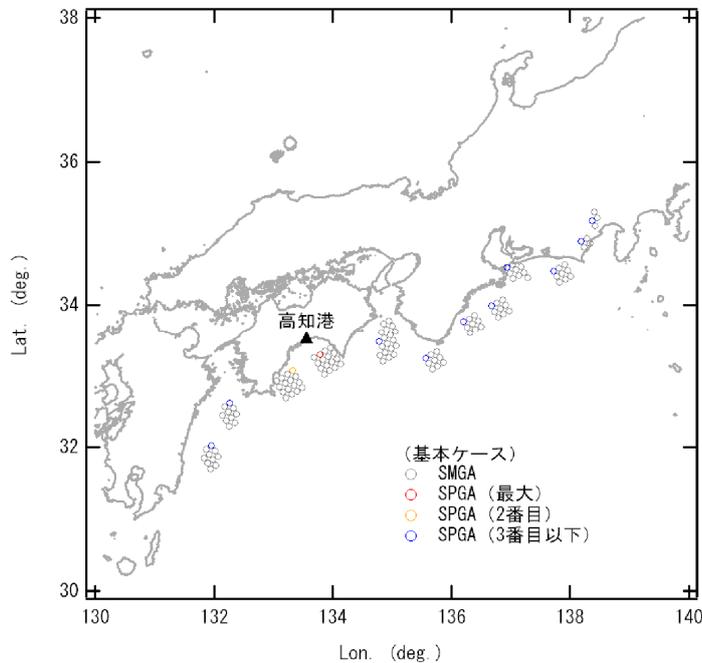


図-参 2-2 SPGA の配置の一例（高知港に対して厳しい場合）

なお、どちらも解析精度は良いが、SMGA は気象庁の計測震度を評価することを目的とし、SPGA は速度 PSI 値や応答スペクトルを合わせこみ、施設の耐震性を評価することを目的としたモデルであり、使用目的が異なることに留意が必要である。

また、両者のモデルを用いた地震波形作成に必要な技術レベルは、断層モデル化が異なるのみで、手法は同じであるため、大きく異ならない。ただし、SPGA は 50%或いは 90%非超過の波を算出するため、SMGA に比べて、検討費用・時間が多くかかることに留意する必要がある。

さらに、護岸等の耐震性に関する検討では、耐震性（沈下量等）を精度良く評価することを目的とするため、SPGA を用いることが望ましい。

参考3 ゾーニングの設定事例

広域かつ複数施設の検討を行った事例とし、水島港水島地区を対象にした地震動のサイト特性による大区分のゾーニング、施設の構造形式の違いによる小区分のゾーニングの例を示す。

水島港では、強震観測点の3箇所及び各地点において常時微動観測を実施し、サイト特性のゾーニングを行っている。具体的には下図に示すとおりであり、水島港（水島地区）はゾーニングのA, C, Dとなる。一方、ゾーニングDの常時微動観測を確認する限り、ゾーニングCに比べて低周波領域（1Hz前後）で微動H/Vスペクトルが小さくなっていること、また場所がゾーニングCに比較的近いことに鑑み、安全側を想定してゾーニングDはゾーニングCの地震波形を用いることにより検討を進める。また、ゾーニングBについては、常時微動観測結果を確認すると、微動H/Vスペクトルのピーク周波数は、比較的高周波側（概ね1.5Hz程度）にあることが分かるが、その他の地点のピーク周波数を確認すると、右岸-1：1.16Hz、右岸-2：1.34Hz、右岸-3：1.15Hzと、ゾーニングCと大きく変わらない地点を含んでいることが確認できる。このことから、ゾーニングBの地震波形は、護岸に対する安全側の評価を考慮し、ゾーニングCの地震波形を用いることにより検討を進める。したがって、水島港水島地区はゾーニングA及びゾーニングCに分割し、それぞれに応じた地震動を用いて検討を進めることとする。ただし、本設定事例はサイト特性が評価されていないゾーンが存在したため、工学的判断から安全側であることを考慮して近傍のサイト特性を設定している。従って、本来であればゾーニングごとにサイト特性が評価されている場合には、サイト特性ごとにゾーニングを行うことが望ましく、本手法の手順の限りでは無いことに留意が必要である。

水島地区の施設については、大きな分類として重力式（詳細には重力式および傾斜護岸）、および矢板式（詳細には自立矢板式、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板）の構造形式に分け、構造形式ごとにゾーニング（41区分）を行い、施設形状や地盤条件を勘案して安全側の設定となるよう代表断面を選定している。また、施設延長が長く、同じゾーニング内でも地盤条件が異なる場合や、施設の法線方向が異なる場合には、さらに細分化してゾーニングを実施している。

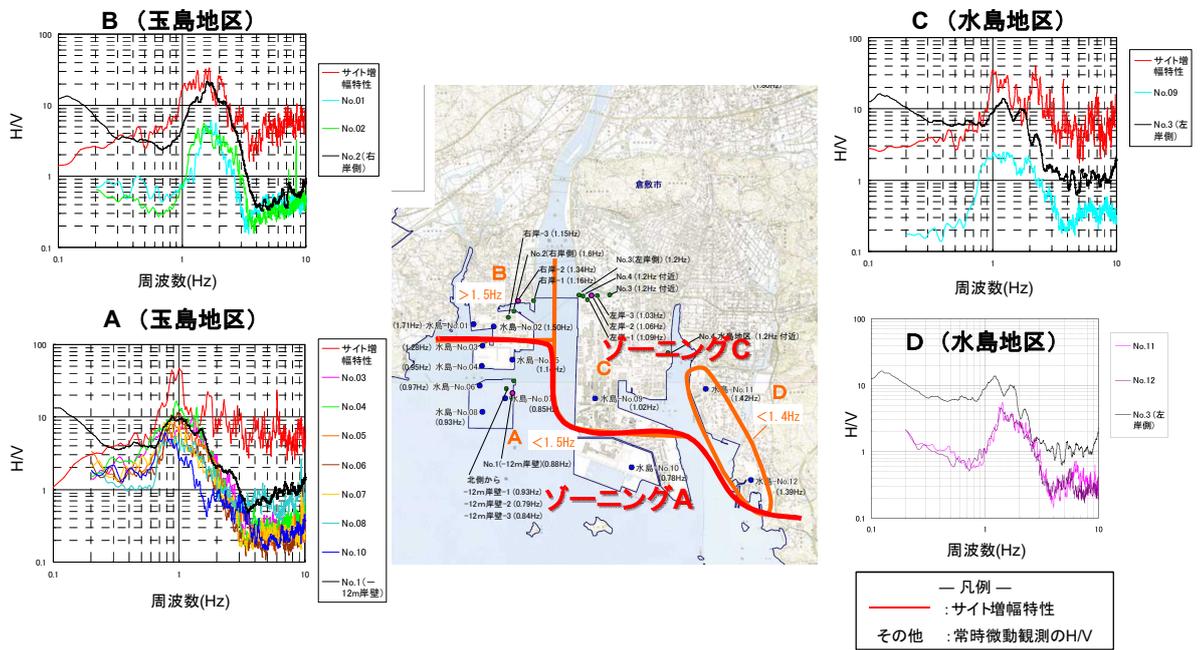


図-参 3-1 水島港のサイト特性と微動 H/V の比較とゾーニング

水島港位置図 水島地区

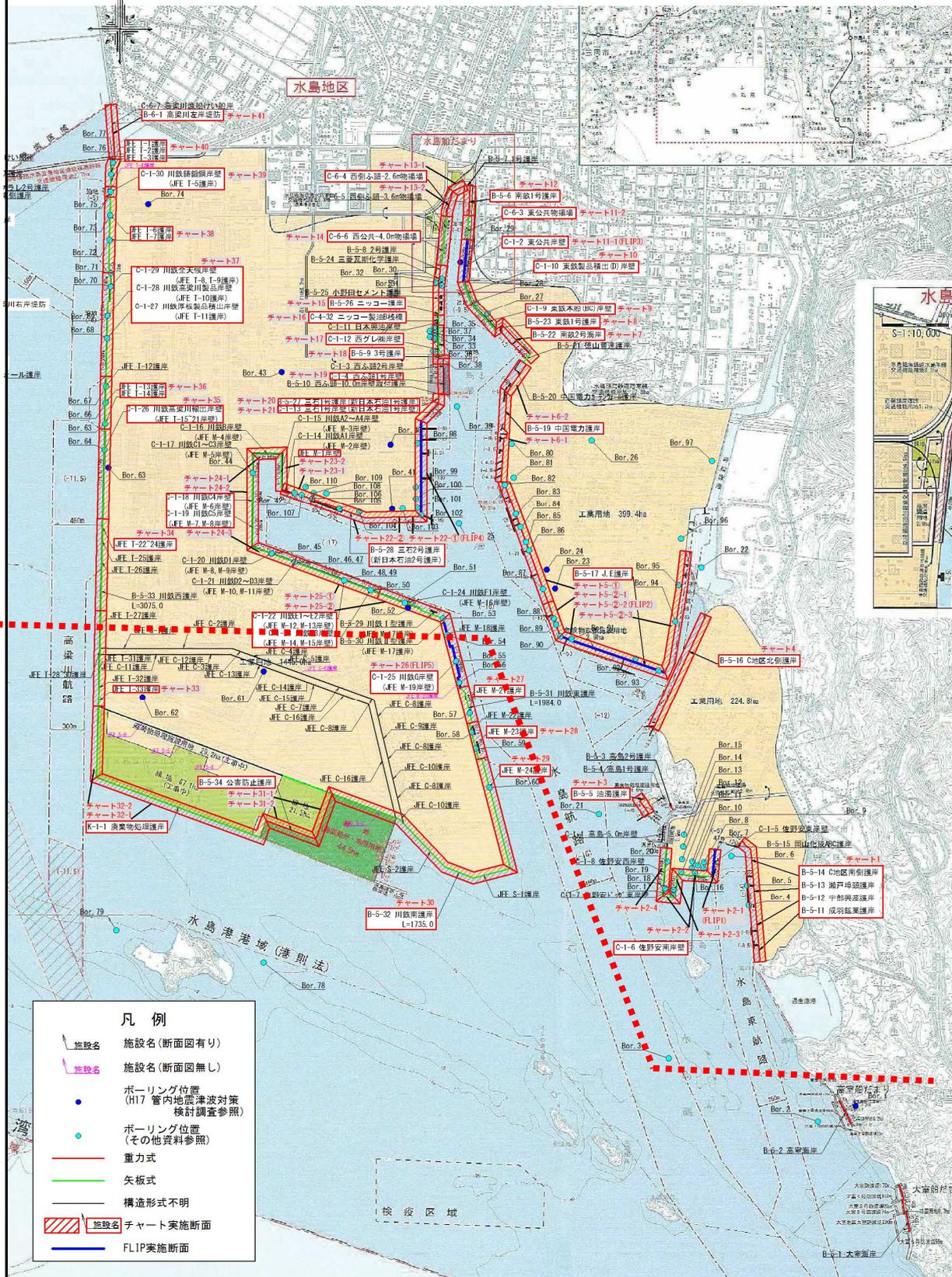


図-参 3-2 水島港水島地区の施設の構造形式のゾーニング

表-参 4-1 主な予測手法の概要

手法の区分	名称	解析手法	概要	得られるアウトプット
詳細手法	FLIP (Finite Element Analysis of Liquefaction Program)	有限要素法 静的変形解析	本手法は地盤の液化に伴って発生する流動現象を動的に評価する2次元の有限要素法を用いた手法である。地震動により作用する慣性力や地盤の液化化等を詳細に評価した手法であり、対象とする施設の変形量を把握することが可能である。港湾構造物など、地震時の偏土圧の影響が大きい港湾・海岸施設での実績が多くある。	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の最大・残留変形量 ・地盤の液化化の程度 ・構造物の最大・残留変形量 ・地盤・構造物の応答加速度等 ・鋼材等の発生応力等 (慣性力など、動的相互作用による影響が考慮されている)
	ALID (Analysis for Liquefaction-Induced Deformation)	有限要素法 静的変形解析	本手法は地盤の液化に伴って発生する流動現象を静的に評価する2次元の有限要素法を用いた手法であり、対象とする施設の変形量を把握することが可能である。静的に検討を行うため、施設に作用する慣性力までを適切に評価した手法ではない。河川堤防など、地震時の偏土圧の影響が大きい施設での実績が多くある。	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の残留変形量 ・構造物の残留変形量 (ただし、慣性力など動的相互作用による影響は考慮されていない)
	FLUSH	有限要素法 2次元等価線形解析	本手法は2次元の等価線形解析により地震時の地盤の剛性低下を考慮した上で、地盤内を伝達する加速度やせん断応力等を評価する手法である。本手法により施設の沈下量を把握することはできない。	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤・構造物の応答加速度等
	SHAKE	1次元等価線形解析	本手法は1次元の等価線形解析により地震時の地盤の剛性低下を考慮した上で、地盤内を伝達する加速度やせん断応力等を評価する手法である。本手法により施設の沈下量を把握することはできない。	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の応答加速度等
	LIQCA (Computer Program for Liquefaction Analysis)	有限要素法 動的変形解析	本手法は地盤の液化に伴って発生する流動現象を動的に評価する2次元の有限要素法を用いた手法である。地震動により作用する慣性力や地盤の液化化等を詳細に評価した手法であり、対象とする施設の変形量を把握することが可能である。FLIPと同等程度の精度で評価可能であるが、港湾構造物に対する耐震照査等の実績は殆ど無い。	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の最大・残留変形量 ・地盤の液化化の程度 ・構造物の最大・残留変形量 ・地盤・構造物の応答加速度等 ・鋼材等の発生応力等 (慣性力など、動的相互作用による影響が考慮されている)
簡易手法	チャート式耐震診断システム		本システムはFLIPの解析結果を基に変形量を簡易に評価するために構築された評価手法である。対象とする施設に作用する地震外力により施設自体の変形量を評価できるが、FLIPの解析結果から構築されたシステムに基づいているため、評価される変形量は慣性力の影響までを考慮されたものである。本システムにより施設の沈下量を把握することは可能である。	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤・構造物の残留変形量 (慣性力など、動的相互作用による影響が考慮されている)
	海岸保全施設耐震点検マニュアル【堤防・護岸・胸壁編】		本マニュアルは対象とする施設に作用する地震外力により施設自体の安定性を簡易に評価する手法である。本手法により施設の沈下量を把握することはできない。	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物の耐力作用比

参考 4 主な被害予測手法の概要 (耐震性に関する検討)

参考5 チャート式耐震診断システムの精度向上の一例

チャート式耐震診断システムにより推定される沈下量には誤差が含まれている可能性がある。そこで、チャート式耐震診断システムによる沈下量推定の精度向上として考えられる方策の一例を示す。

チャート式耐震診断システムは以下に示す方法により沈下量の予測を行っている。

このうち、構造物の形状に関する条件は対象とする施設形状を考慮することにより、個々の施設の特徴を踏まえた検討が可能である。また、地盤条件についても対象施設周辺地盤の地盤条件を考慮することにより施設周辺地盤の特徴を踏まえた検討を行うことが可能である。しかしながら、地震動条件については、全国津々浦々の地震動を対象として速度 PSI 値と沈下量の関係について検討を行いながら、最終的に海南波（標準波）に整合するように補正係数を設定している。

このような開発経緯から、チャート式耐震診断システムで採用される速度 PSI 値に対する補正係数は、必ずしも地域特性を適切に評価したものとなっていない可能性がある。

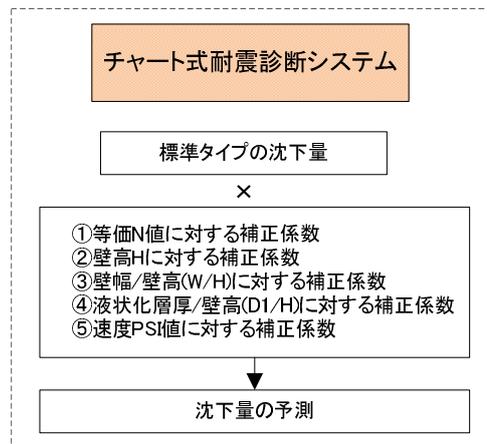


図-参 5-1 チャート式耐震診断システムの沈下予測方法

上記理由により、速度 PSI 値の補正係数に着目し、地域特性を評価した補正係数の再設定を行い、地震動の地域特性を考慮した沈下予測を行うことにより、沈下予測精度の向上を図る。具体的には、下図の通りであり、構造形式ごとに FLIP による 2 次元地震応答解析を実施し、速度 PSI 値と沈下量の関係を求め、速度 PSI に対する補正係数を直接的に算出する。FLIP により直接的に求められた速度 PSI 値に対する補正係数をチャート式耐震診断システムに適用して沈下量の予測を行う。

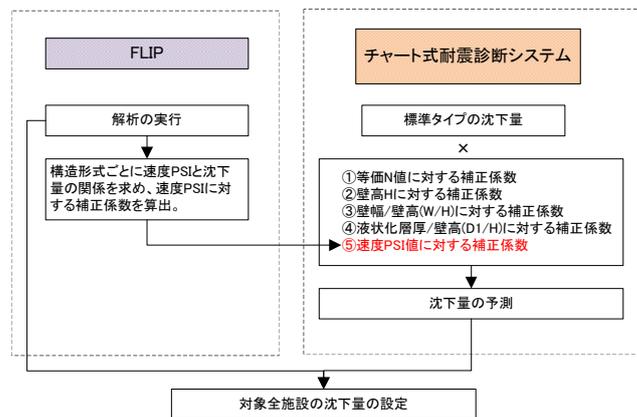


図-参 5-2 チャート式耐震診断システムの沈下予測精度向上方法のフロー

具体的に上記手法で実施した精度向上結果の一例を示す。

チャート式耐震診断システムによる変形量

=標準タイプの変形量×形状及び地盤に関する補正係数×速度PSI値に関する補正係数(ORI)・・・(1)

FLIPとチャート式耐震診断システム双方を実施した施設があれば、チャート式耐震診断システムで得られる変形量が精度が高いFLIPと等しくなる補正係数を算定。

着目する補正係数は、チャート式耐震診断システムを作成した際に標準波(海南波)のみから設定した補正係数である速度PSI値に関する補正係数である(地域特性が十分考慮できていない)。



FLIP解析による変形量

=標準タイプの変形量×形状及び地盤に関する補正係数×速度PSI値に関する補正係数(FLIP)・・・(2)



チャート式耐震診断システムに用いる速度PSI値に関する補正係数をチャート式耐震診断システムオリジナルの補正係数：速度PSI値に関する補正係数(ORI)から式(2)で算定させる速度PSI値に関する補正係数(FLIP)に見直して再検討する。なお、複数の施設で速度PSI値に関する補正係数(FLIP)を求めることにより、上記の見直しの的確性(速度PSI値に関する補正係数(FLIP)の平均値で見直しを実施するのか、速度PSI値に関する補正係数(FLIP)のパラツキが大きいため見直さないのか)を判断する。

速度PSI値の補正係数の見直しはサイト特性が同じエリアの施設のみで実施する。

	チャート式耐震診断システム			
	見直し前の変形量(m)	標準タイプの変形量(m)	補正係数	
			地盤・形状	速度PSI値(ORI)
施設A	1.00	1.62	0.361	1.710
施設B	0.98	1.62	0.354	1.710
施設C	1.33	1.62	0.480	1.710
施設D	1.50	1.62	0.542	1.710
施設E	2.30	1.62	0.830	1.710



施設Aは、FLIP解析を実施したため、施設Aから求まる速度PSI値の補正係数(FLIP)を全施設に適用

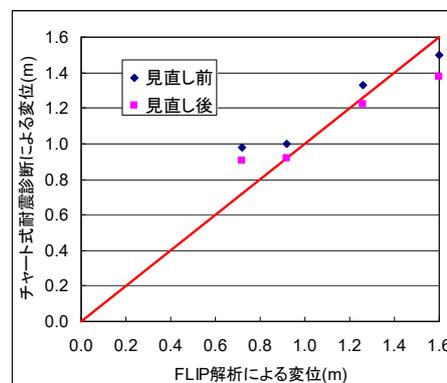
	FLIPによる変形量(m)	チャート式耐震診断システム			
		見直し前の変形量(m)	標準タイプの変形量(m)	補正係数	
				地盤・形状	速度PSI値(FLIP)
施設A	0.92	0.92	1.62	0.361	1.573
施設B		0.90	1.62	0.354	1.573
施設C		1.22	1.62	0.480	1.573
施設D		1.38	1.62	0.542	1.573
施設E		2.12	1.62	0.830	1.573

5施設はFLIPとチャート式耐震診断システム双方を実施しており、前述のように施設Aの結果のみから速度PSI値の補正係数の見直しを実施することにより、精度がどの程度向上したのかを下記に示す。

	FLIPによる 変形量(m)	チャート式耐震診断システム				変形量の比 (チャート式耐震診 断システム/FLIP)
		見直し前の 変形量(m)	標準タイプ の変形量(m)	補正係数		
				地盤・形状	速度PSI値(OR)	
施設A	0.92	1.00	1.62	0.361	1.710	1.087
施設B	0.72	0.98	1.62	0.354	1.710	1.361
施設C	1.26	1.33	1.62	0.480	1.710	1.056
施設D	1.60	1.50	1.62	0.542	1.710	0.938
施設E	2.40	2.30	1.62	0.830	1.710	0.958
平均						1.080
標準偏差						0.169



	FLIPによる 変形量(m)	チャート式耐震診断システム				変形量の比 (チャート式耐震診 断システム/FLIP)
		見直し後の 変形量(m)	標準タイプ の変形量(m)	補正係数		
				地盤・形状	速度PSI値(FLIP)	
施設A	0.92	0.92	1.62	0.361	1.573	1.000
施設B	0.72	0.90	1.62	0.354	1.573	1.252
施設C	1.26	1.22	1.62	0.480	1.573	0.971
施設D	1.60	1.38	1.62	0.542	1.573	0.863
施設E	2.40	2.12	1.62	0.830	1.573	0.882
平均						0.994
標準偏差						0.156



施設Aの結果のみから速度PSI値の補正係数の見直しを実施することにより、変形量の比(チャート式耐震診断システム/FLIP)の平均値は1.0に近づき、標準偏差も小さくなり、精度向上の可能性が示唆された。

参考6 老朽化の点検・調査方法

1 構造物の点検

(1) 目視調査

- ①目視調査は、客観性を確保し、かつ重要な変状を見落とすことのないよう適切に実施する。
- ②目視調査は、陸上および海面上の調査と海面下の調査に分けられる。
- ③目視調査の結果は、対象とする構造物の今後の点検診断計画を念頭におきながら、適切に記録し保存する。

(2) 変位測定

- ①構造物の変位測定にあたっては、対象とする構造物の変状や求められる測定精度などに応じ、適切な手法を選定する。
- ②変位測定の結果は、対象とする構造物の今後の点検診断計画を念頭におきながら、適切に記録し保存する。

(3) 測深

- ①水深の測定にあたっては、対象とする施設および求められる測定精度などに応じ、適切な方法を選定する。
- ②水深の測定結果は、対象とする施設の今後の点検診断計画を念頭におきながら、適切に記録し保存する。

(4) 空洞調査

- ①空洞の発生が確認される、あるいは空洞の発生が予測される部位に対しては、適切な手法を選定して、空洞調査を実施する。
- ②空洞調査の結果は、対象とする構造物の今後の点検診断計画を念頭におきながら、適切に記録し保存する。

2 鋼材および防食工の点検（杭式等）

(1) 電気防食工の点検・調査

- ①電気防食工の点検・調査は、防食効果を確認するために、適切に実施しなければならない。
- ②流電陽極方式の点検・調査は、一般に次の項目について行う。
 - ・電位
 - ・陽極の取付状況および陽極の消耗量など
- ③②に加えて、防食効果の経年変化の傾向を把握することを目的とした点検・調査を必要に応じて実施する。

(2) 被覆防食工の点検・調査

- ①被覆防食工の点検・調査は、防食効果を確認するために、適切に実施しなければならない。
- ②被覆防食工の点検・調査は、目視調査を主体とし、有害な変状が発見された場合には、その詳細を把握するための調査を実施しなければならない。
- ③被覆防食工の点検・調査は、被覆材の種類に応じて適切に実施されなければならない。

(3) 肉厚測定

- ①肉厚測定は、無防食あるいは防食工が十分な機能を有していない場合、あるいは防食工が施されていない場合に、鋼材自体が健全であるかどうかを確認するために実施する。
- ②肉厚測定には、超音波厚み計を用いることを標準とする。
- ③調査地点は、防食工の点検・調査の結果および鋼材に対する目視調査の結果に基づいて、未来圧の現象が著しいと推定される箇所を重点的に選定する。
- ④測定箇所は、防食工が保有している機能や鋼材の腐食状態とともに、部材の発生応力の分布状況などを考慮して選定する。
- ⑤肉厚測定点は、防食工の劣化状況および鋼材の形状を考慮して選定する。
- ⑥局部腐食が発見された場合、局部腐食測定を実施する。

3 コンクリート構造物の点検（重力式等）

(1) コンクリートの強度

- ①コンクリートの強度に対する点検・調査は、適切な方法により行わなければならない。

(2) ひび割れ・剥離・内部空隙

- ①コンクリートのひび割れ・剥離・内部空隙に対する点検・調査は、対象とする変状および必要とする情報とその精度に応じて適切な方法により行わなければならない。
- ②コンクリートのひび割れ・剥離・内部空隙に対する点検・調査の基本は、目視によるコンクリート表面の目視観察である。
- ③目視調査などの結果必要と判断された場合、把握すべき変状および必要とされる点検・調査精度に応じて、機器などを用いた点検・調査を行う。

(3) コンクリート中の塩化物イオン濃度および塩化物イオンの見かけの拡散係数

- ①コンクリート中の塩化物イオン濃度の点検・調査は、適切な方法により行わなければならない。
- ②コンクリート中の塩化物イオン濃度の点検・調査結果から、コンクリート中の塩化物イオン濃度の見かけの拡散係数を求める場合には、適切な方法によるものとする。

(4) 鉄筋腐食

①コンクリート中の鉄筋の腐食に対する点検・調査は、必要とする情報とその精度に応じて適切な方法により行わなければならない。

(5) 中性化

①コンクリートの中性化深さに対する点検・調査は、対象とする変状および必要とする情報とその精度に応じて適切な方法により行わなければならない。

(6) 凍害

①コンクリートの凍害に対する点検・調査は、対象とする変状および必要とされる情報とその精度に応じて適切な方法により行わなければならない。

(7) ASR（アルカリシリカ反応）

①ASRに対する点検・調査は、対象とする変状および必要とされる情報とその精度に応じて適切な方法により行わなければならない。

4 検討対象施設の老朽化の想定

係留施設に発生した変状が施設の性能に及ぼす影響の評価の分類は、以下のとおりである。

項目の類別 対象施設	I類	II類	III類
係留施設 (重力式)	○【岸壁法線】凹凸, 出入り ◎【エプロン】吸出し, 空洞化, 沈下, 陥没 ◎【本体工】コンクリートの劣化, 損傷, ケーソンの空洞化 ●【海底地盤】洗掘, 土砂の堆積	○【エプロン】コンクリート・アスファルト舗装などの劣化, 損傷 ○【上部工】コンクリートの劣化, 損傷	左記以外
係留施設 (矢板式)	○【岸壁法線】凹凸, 出入り ◎【エプロン】吸出し, 空洞化, 沈下, 陥没 ◎【鋼矢板等】鋼材の腐食, 亀裂, 損傷 ●【海底地盤】洗掘, 土砂の堆積	○【エプロン】コンクリート・アスファルト舗装などの劣化, 損傷 ○【上部工】コンクリートの劣化, 損傷 ◎【鋼矢板等】被覆防食工 ◎【鋼矢板等】電気防食工	左記以外
係留施設 (棧橋)	○【岸壁法線】凹凸, 出入り ◎【エプロン】吸出し, 空洞化, 沈下, 陥没 ○【上部工(下面)】コンクリートの劣化, 損傷(PC) ◎【鋼管杭等】鋼材の腐食, 亀裂, 損傷 ◎【土留部】	○【エプロン】コンクリート・アスファルト舗装などの劣化, 損傷 ○【上部工(上・側面)】コンクリートの劣化, 損傷 ○【上部工(下面)】コンクリートの劣化, 損傷(RC) ◎【鋼管杭等】被覆防食工 ◎【鋼管杭等】電気防食工 ○【流況】移動, 損傷	左記以外
係留施設 (浮桟橋)	○【ポンツーン(内部)】本体の亀裂, 損傷 ◎【ポンツーン(外部)】鋼材の腐食, 亀裂, 損傷, コンクリートの劣化, 損傷 ◎【保留杭等】磨耗, 弛張, 腐食 ○【連絡橋・渡版】安定性, 損傷, 腐食	○【エプロン】コンクリート及びアスファルトの劣化, 損傷 ◎【ポンツーン(外部)】被覆防食工 ◎【ポンツーン(外部)】電気防食工	左記以外

凡例：○ 一般定期点検診断における点検項目のうち、詳細定期点検診断において、目視調査による一般定期点検診断結果の定量的向上のために詳細調査を行い、その結果を踏まえて、必要に応じて一般定期点検診断結果を見直す点検項目。

● 詳細定期点検診断における点検項目で、潜水調査または詳細調査の結果より判定を行う点検項目。

◎ 一般定期点検診断および詳細定期点検診断の双方で点検を行う項目であり、評価の際には、厳しい判定となった方の結果を採用し、1回の点検診断結果として取り扱う。

5 施設補修等の検討

老朽化により施設の機能が低下している場合には、施設補修等を検討する。

用語集

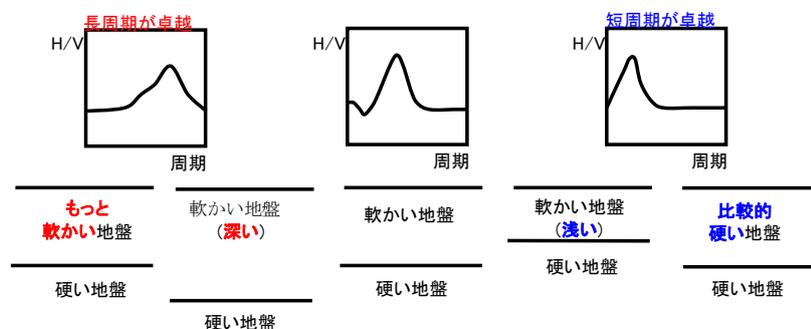
1. 港湾護岸等の耐震性に関する検討編

① H/V (エイチオーバーバイ)

常時微動観測で得られる H/V スペクトル比とは、地震動の水平動(H:horizontal)と上下動(V:vertical) のフーリエ・スペクトルの比のことを指す。

軟弱な地盤では水平動が増幅されるという特性を基に、上下動(V)で水平動(H)を基準化することで、地盤特性を評価するもの。

H/V スペクトル比の特徴は、下図に示す通り、硬い地盤の観測点では、地震動の H/V スペクトル比は短周期にピークがみられ、堆積層で覆われている比較的軟弱な地盤では、地震動の H/V スペクトル比は長周期にピークが見られる。



② 液状化強度曲線(エキジョウカキョウドキョクセン)

液状化抵抗曲線ともいう。液状化に対する土の強さを表す曲線であり、地盤が液状化に至る回数とせん断応力を拘束圧で正規化したものの関係を示したものである。液状化の発生目かに済みについては、非線形有効応力解析の説明に詳しく示す。

③ N 値と等価 N 値(エヌチ・トウカエヌチ)

N 値とは、ボーリング孔を利用し、質量 63.5±0.5 kg のドライブハンマー (もんけん) を一定の高さから自由落下させて、30 cm 打ち込むのに要する打撃回数を言う。また、等価 N 値は各地層の N 値を有効上載圧が 66 kN/m² の場合の同一の相対密度の地層の N 値に換算したものを言う。

④ 応答スペクトル(アウトウスペクトル)

構造物には、それ自身が揺れやすい周波数があり、固有振動数といわれている。高い建物は固有振動数が低く(ゆっくり揺らすとよく揺れる)、低い建物は固有振動数が高い(早く揺らした方がよく揺れる)。このような構造物の特性と、地震動の特性とを両方考え合わせるときに応答スペクトルは便利である。加速度応答スペクトルの説明図を下図に示す。原理は以下の通りである。堅い床の上に、いろいろな固有周期(固有振動数の逆数)を持つ振子を串刺しして並べ、性質を調べたい地震動を入力して床を揺らす。そうすると、床に固定された振り子はそれぞれ別々に揺れる。それぞれの振り子の最大加速度値を、その固有周期に応じてプロットしたのが加速度応答スペクトルである。

これにより、ある固有周期をもつ構造物に対して、どのくらい危険な地震動であるかを調べることができる。例えば、「固有周期が XX 秒の建物には、最大○○gal の強さの地震動が作用する」ということが分かる。

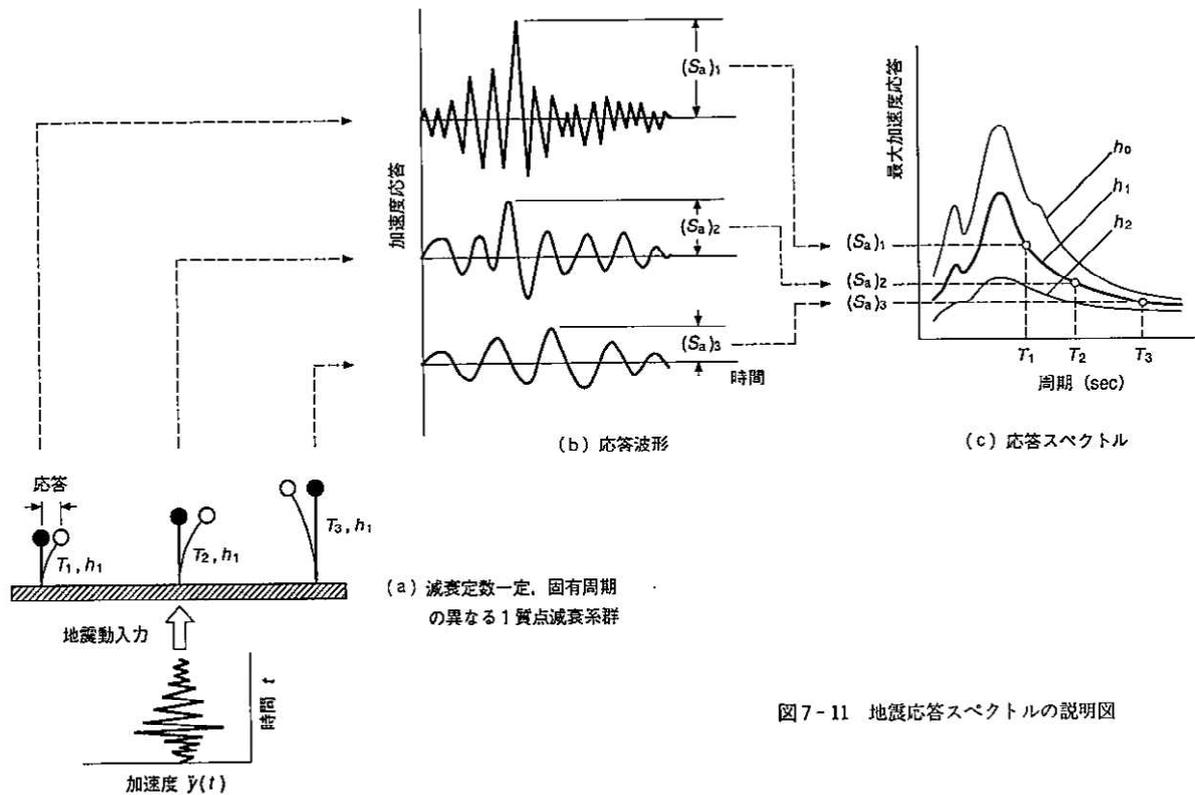


図7-11 地震応答スペクトルの説明図

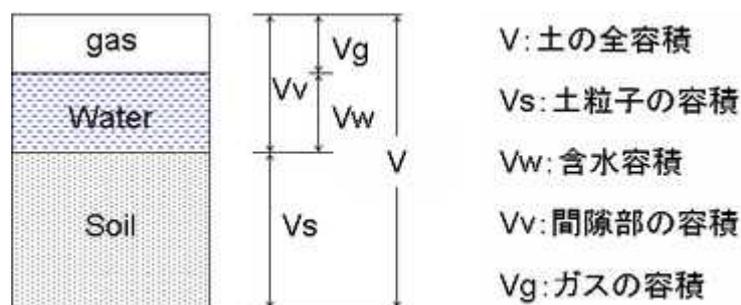
応答スペクトルの説明図

(出典：新・地震動のスペクトル解析入門 鹿島出版会)

⑤間隙率 n(カンゲキリツ)

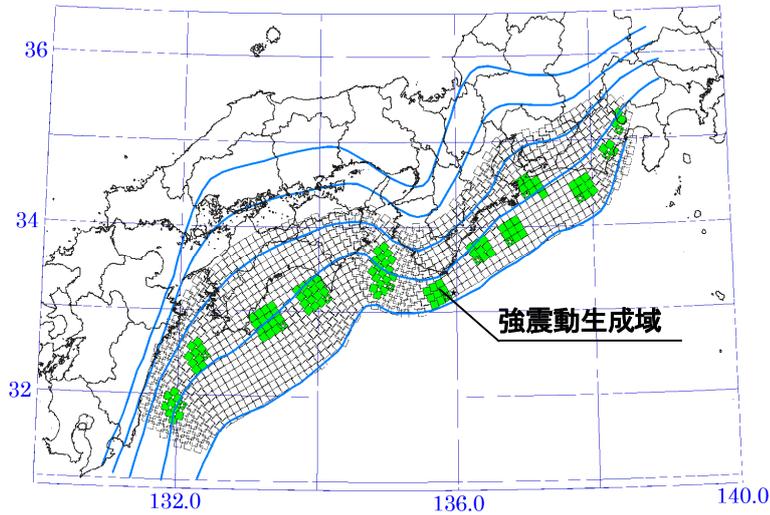
土を構成する各相の体積を、それぞれ V_s (固相)、 V_g (気相) および V_w (液相) とすると、間隙部分の体積は $V_v = V_g + V_w$ であり、土の前体積は $V = V_v + V_s$ で表わされる。

間隙率 n (%) は、土の間隙の状態を量的に表わすのに用いられ、土の全体積に対する間隙体積の比により表される ($n = V_v / V$)。



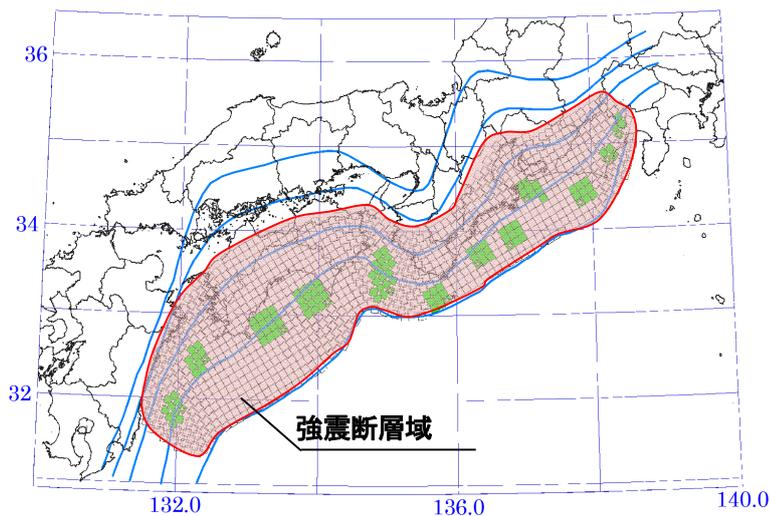
⑥強震動生成域(キョウシンドウセイセイイキ)

強震動断層域の中でも特に強い地震動を発生させる領域を言う。南海トラフの巨大地震モデル(内閣府及び港湾空港技術研究所)では、●で囲まれた範囲を強震動断層域と設定して、地震動を評価している。



⑦強震断層域(キョウシンダンソウイキ)

地震動を評価するための断層モデルを指す。南海トラフの巨大地震モデル(内閣府及び港湾空港技術研究所)では、■で囲まれた範囲を強震断層域と設定して、地震動を評価している。



⑧K-net(ケーネット)

K-net は 1995 年兵庫県南部地震後に科学技術庁防災科学技術研究所により全国 1000 地点(現在 1001 地点)に設置された強震計ネットワークであり、日本全国に約 25km 間隔で同一のスペックを持つ加速度型強震計を設置することにより、非常に均質な観測を行う事ができる。地震記録は収録後直ちに公開されるとともに、自治体等の要請に応じて観測点から直接データを提供することができるよう設計されている。多くの観測点は役場などの公共施設等の敷地内に設置されており、硬質岩盤上に設置される場合に比べ、より人間の生活圏に近い条件で観測が行われているといえる。

⑨工学的基盤(コウガクテキキバン)

以下に示す条件を満足する基盤面を指す。

- ・岩盤
- ・標準貫入試験値 (N 値) が 50 以上の砂質土層
- ・一軸圧縮強度が 650[kN/m²]以上の粘性土層
- ・せん断波 (S 波) 速度が 300[m/s]以上の土層

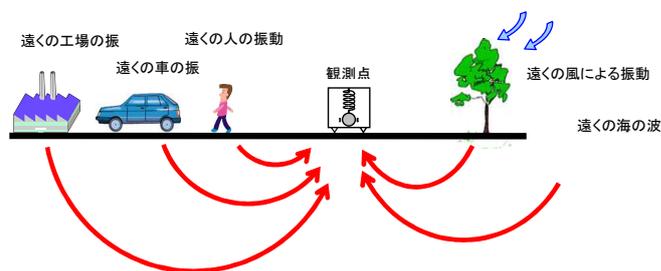
⑩細粒分含有率 F_c(サイリュウブンガンユウリツ)

土の乾燥質量に対して金属製網ふるい 75 μ m 通過分の乾燥質量が占める割合を百分率で表したものを言う。一般的に粘性土、シルト等は細粒分含有率が高く、砂質土は細粒分含有率が小さい。

⑪常時微動観測(ジョウジビドウカンソク)

地盤の常時微動は、下図に示す通り、地盤中を伝播する人工的または自然現象による種々の振動のうち、特定の振動源から直接的に影響を受けない状態で、さまざまな振動によって誘起される微小な地盤振動を指す。

常時微動観測は、この微小な地盤振動を測定して地盤の振動特性の推定や地盤種別の判定などに利用するために行うものである。



常時微動観測は、一箇所当たり 2 人一組で概ね 15 分程度の観測時間を要し、一日当たり 10 箇所程度の観測が可能である。

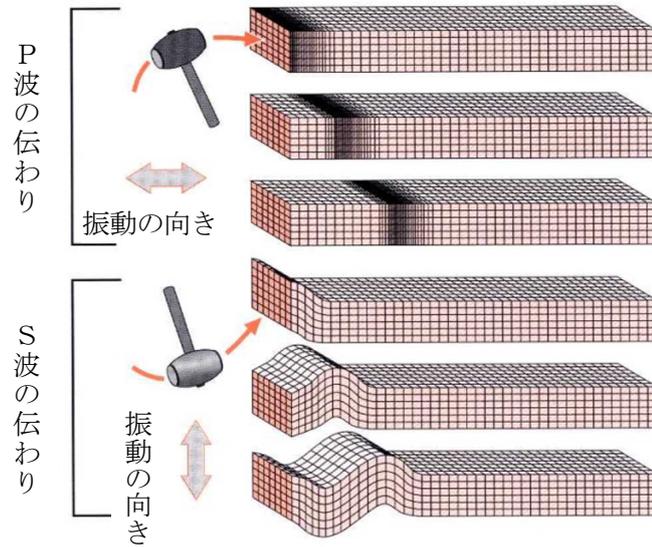
費用は地点数、計測点の位置関係による。

⑫地震基盤(ジシンキバン)

せん断波速度 3km/s 以上の岩盤を指す。

⑬せん断波速度 V_s 、粗密波速度 V_p (センダンハソクド・ソミツハソクド)

地震波には、進行方向と同じ方向に振動する粗密波(P波)と進行方向と直交方向に振動するせん断波(S波)がある。これらの波が伝わる速度をそれぞれせん断波速度 V_s 、粗密波速度 V_p と呼ぶ。



⑭せん断剛性 G (センダンゴウセイ)

下図に示すせん断応力 τ と、せん断ひずみ γ の関係から得られる傾きを指し、 $\tau = G\gamma$ の関係がある。

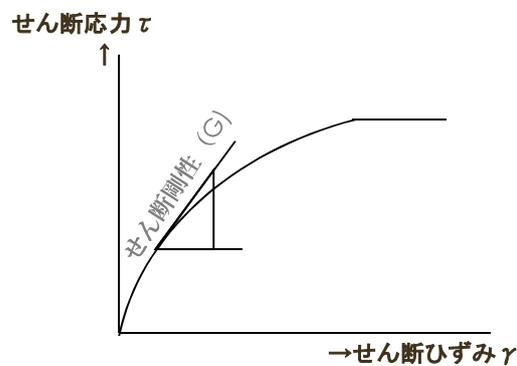


図 せん断応力 τ -せん断ひずみ γ の関係

⑮速度 PSI 値(ソクドピーエスアイチ)

港湾空港技術研究所野津チームリーダーにより定義され、港湾構造物の変形量の推定に用いる評価指標として用いられている。速度 PSI 値は変形量に対して非常に良い相関(線形関係)にあることが分かっている。速度 PSI 値はその大きさを確認することで、構造物の変形量の大小を感覚的にイメージすることができる。

具体的には、地震動に対して、式(1)、式(2)に示す時刻歴波形の振幅値の2乗の積分値を評価指標として用いることとする。これは、 $f(t)$ のフーリエ変換を $F(\omega)$ としたとき、式(3)が成り立つことから、周波数に対する積分値で表され、フーリエスペクトルから容易に計算することが可能である。したがって、加速度や速度の最大値よりも、スペクトル全体を対象に比較することができる(下図参照)。

$$\text{加速度：} \quad \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} a^2(t)dt} \quad (1)$$

$$\text{速度：} \quad \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} v^2(t)dt} \quad (2)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(t)dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F^2(\omega)d\omega \quad (3)$$

($f(t)$ は $a(t)$ または $v(t)$ 、 $F(\omega)$ は $A(\omega)$ または $V(\omega)$ を表す)

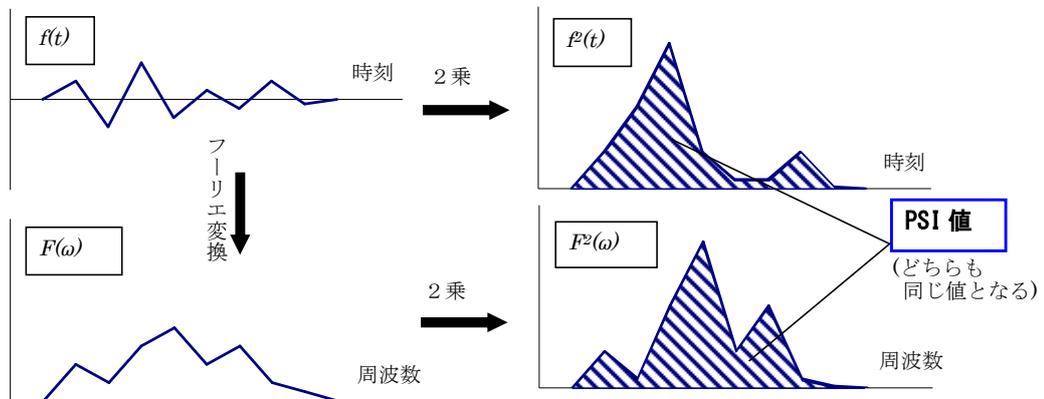
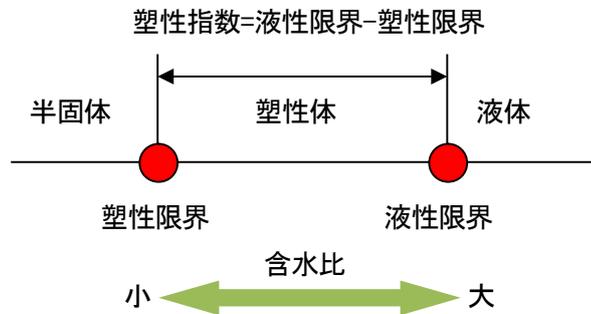


図 PSI 値の算定方法

⑩塑性指数(ソセイシスウ)

土に含まれる細粒分等が塑性状態にある含水量の大きさを言い、液性限界と塑性限界の含水比の差で表される。この指数は土の分類に使われる。液性限界とは、土が塑性体から液体に移るときの境界の含水比を指し、塑性限界は半固体から塑性体に移るときの境界の含水比を指す。

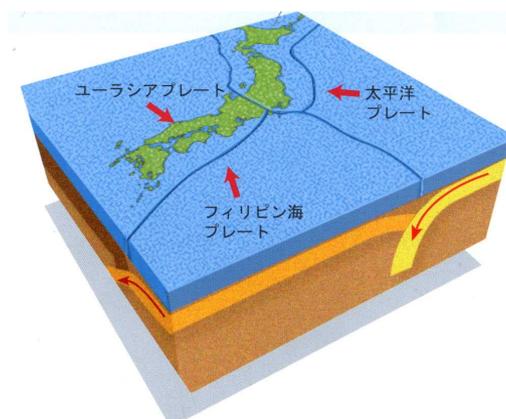


⑪体積弾性係数 K(タイセキダンセイケイスウ)

体積弾性係数とは、軸方向荷重による材料の体積変化に対する応力の比率を指す。弾性係数(E)とポアソン比(ν)によって決まり、 $K=E/(1-2\nu)$ の関係がある。

⑫地殻変動(チカクヘンドウ)

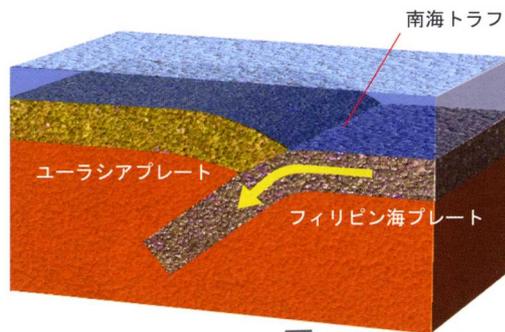
津波を引き起こす海溝型地震(プレート境界付近で起こる地震)は、海洋プレートが陸の下にもぐりこみ、陸のプレートを引きずり込み、プレートのひずみが限界に達すると、プレート境界で陸のプレート先端部が跳ね上がるにより生じる地震である。その際、プレートが跳ね上がるにより、それまで海側のプレートの押込みにより盛り上がっていた陸側のプレートが、応力解放されて押し込まれる前の高さまで戻れることを地殻変動と言う。



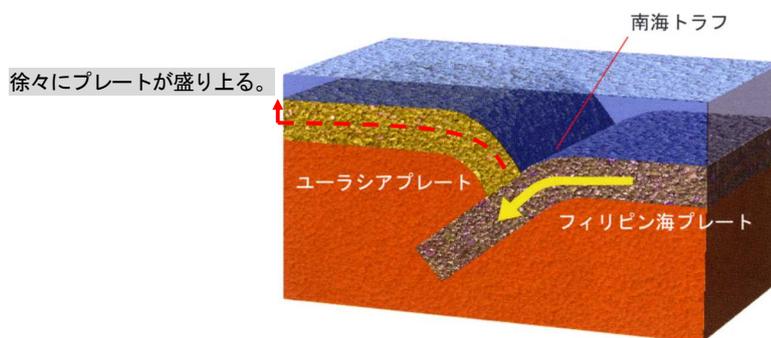
日本列島沿岸のプレート

南海トラフを例に、地殻変動及び津波の発生機構について1例を示す。

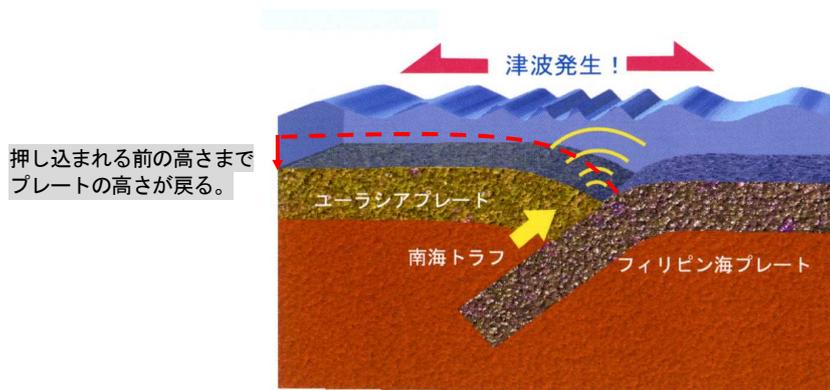
(1) ゆっくりとフィリピン海プレートがユーラシアプレートを押し込む。



(2) 押し込まれ続けることにより、徐々にユーラシアプレートが盛り上がる。



(3) プレートのひずみが限界に達した時にプレートが跳ね上がり、津波が発生するとともに、プレートが押し込まれる前の高さまで戻る(地殻変動)。



⑱非線形有効応力解析(ヒセンケイユウコウオウリョクカイセキ)

通常、地盤はせん断応力とひずみの間には下図に示すようにひずみが大きくなるとせん断剛性が小さくなるといった関係があり、線形弾性体とは異なる挙動を示す。このようにひずみレベルに応じてせん断剛性が変化する地盤を、非線形の地盤モデルとして評価する手法を非線形解析と呼ぶ。

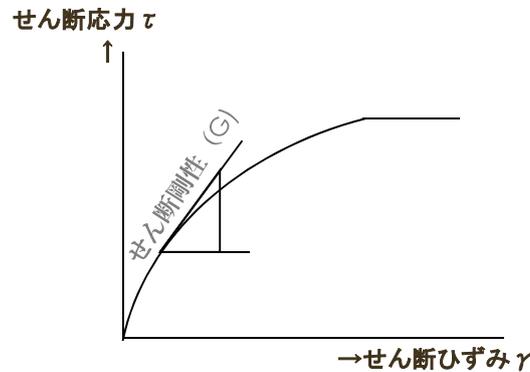
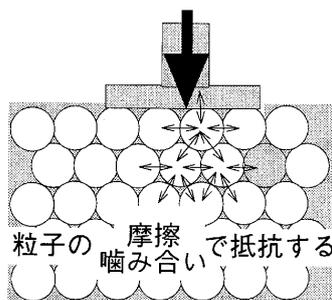
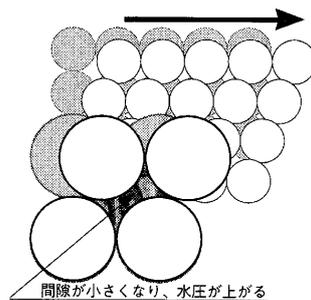


図 地盤のせん断応力とせん断ひずみの関係

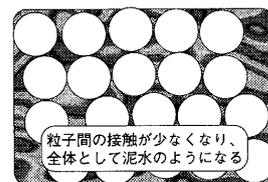
一方、水位面下の地盤では土粒子と水が介在した状態となっており、地震動によって繰返しせん断力を受けた場合、地盤が液状化することが確認されている。液状化は下図に示す通り、常時は土粒子のかみ合い(粒子間接点で力を伝達)により外力に対して抵抗しているが、地震時には、土粒子が揺すられることにより、土粒子間の間隙が小さくなり間隙水圧が上昇し、土粒子間のかみ合いが弱まることにより(粒子間の接点が少なくなる)、荷重に対して抵抗できる反力が徐々に小さくなり、最終的には泥水のような現象のことを指す。この現象を表現するため、水要素と土要素をモデル化し、地震時に水圧が上昇することまでを考慮した手法を有効応力解析と呼ぶ。



図一 地盤内の砂粒子配列の概念図



図一 地震時の粒子配列の変形



図一 液状化状態の概念図

図 液状化の発生メカニズム

前述した、地盤の非線形性をモデル化した地盤を適用し、地盤中の水圧上昇を合わせて考慮できる解析モデルを非線形有効応力解析と呼ぶ。

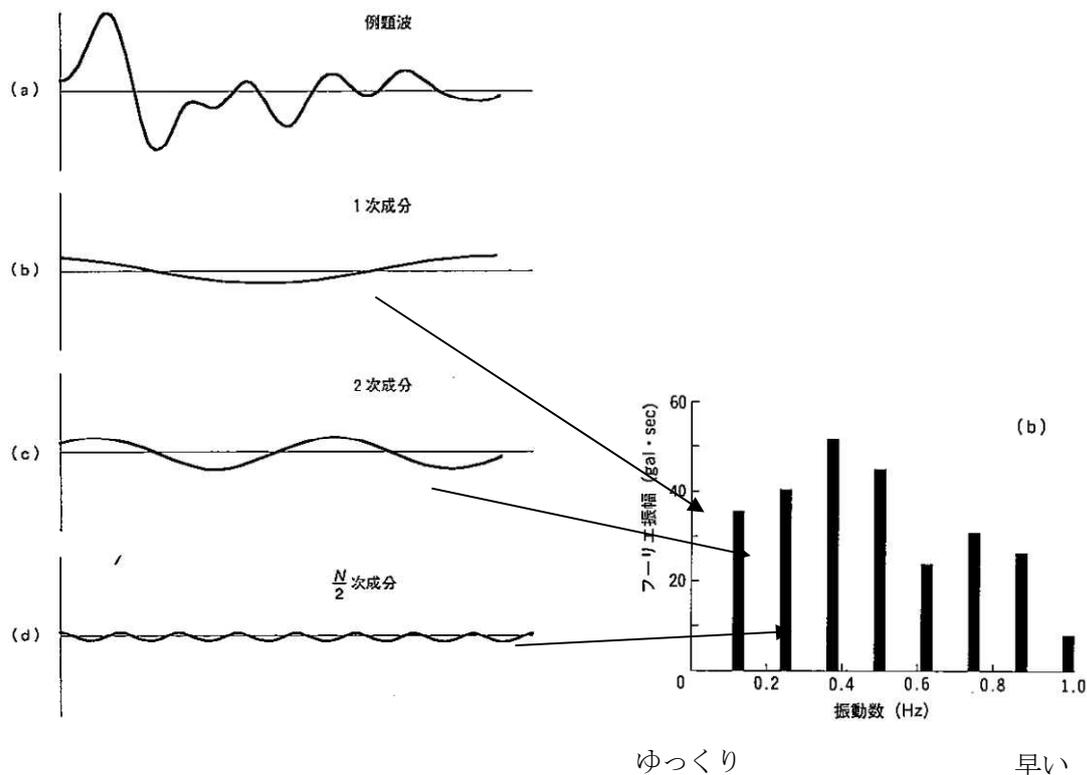
⑩PS 検層(ピーエスケソウ)

弾性波速度検層とも呼び、ボーリング孔を利用して地盤内を伝播する弾性波(P波・S波)の深さ方向の速度分布を測定するものである。地盤中を伝播する弾性波動には、波動の振動方向と進行方向が一致するP波(縦波)と、深度方向が進行方向に対して直角になるS波(横波)の2種類がある。

測定方法は、ダウンホール方式と孔内起振受振方式の2種類があり、孔内の状況によって適宜選択する。ダウンホール方式は、地表に起振点を設置するため厚い舗装や既設構造物がある場合は不向きである。孔内起振受振方式は、地表起振点が不要なためあらゆる現場に適用可能であるが、孔内水を必要とするため、地下水面以浅の土層には適さない。

⑪フーリエスペクトル(フーリエスペクトル)

フランスの数学・物理学者フーリエ(1768～1830)は、あらゆる不規則な波形が、いろいろな周波数(揺れの早さ)を持つ単調な正弦波の足し合わせで成り立っていることを発見した。イメージを下図に示す。(b)と(c)と(d)と(もっと早く揺れる波も)全部単純に足し合わせると(a)の不規則な波となる。ただし、(b)～(d)のそれぞれの波の大きさ(振幅)とスタートする位置(0から始まるわけではない)を適切に設定する必要がある。横軸に(b)や(c)や(d)やその他の周波数を、縦軸にその振幅をプロットしたものが、フーリエ振幅スペクトルであり、波形を眺めていても評価するのが困難だが非常に重要な情報である、「どのくらいの早さで揺れる波がどのくらい含まれているのか」を明確に知ることができる。



フーリエスペクトルの説明図

(イメージなので、振幅の大きさは合っていない)

(出典：新・地震動のスペクトル解析入門 鹿島出版会)

②ポアソン比 ν (ポアソンヒ)

弾性限界内で、例えば引張りを加えた時に荷重方向の伸び(ひずみ%)、と荷重に直角方向の寸法の縮み(ひずみ%)の比をいう。

2. 施設背後の津波による浸水に関する検討編

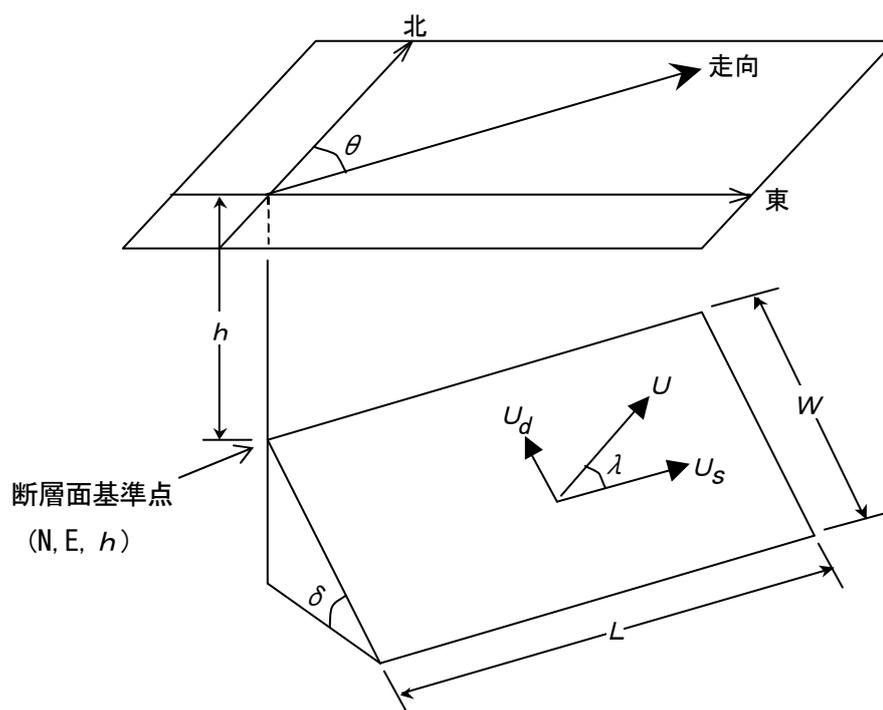
①断層パラメータ

断層の大きさは断層面積、食違い量で表され、断層面を長方形で近似する場合は、断層面積を断層面の長さ (L) と幅 (W) で表すことができる。このように断層の位置や大きさ等を表す量を断層パラメータといい、断層の静的な状態を表す量を静的断層パラメータという。

津波シミュレーションにおいては、静的断層パラメータを設定することで Mansinha and Smylie (1971) の方法や Okada (1985)、Okada (1992) の方法等により地殻変動量を算定することができる。また、その鉛直変化量が津波の初期海面水位変動量と等しいものとして初期水位の空間分布を設定することができる。静的断層パラメータから算出される地殻変動量は、断層運動の時間的な変化を考慮しないため、地震発生時に最大の地殻変動量が算定される。

一方、断層の立ち上がり時間 (ライズタイム) や破壊の伝播速度を表すパラメータは、動的断層パラメータといわれ、断層運動を時系列的に変化させる場合に用いられる (例えば、南海トラフの巨大地震モデル)。

過去の地震の断層パラメータは、「日本の地震断層パラメーター・ハンドブック (鹿島出版会, 1989.) 等に整理されている。

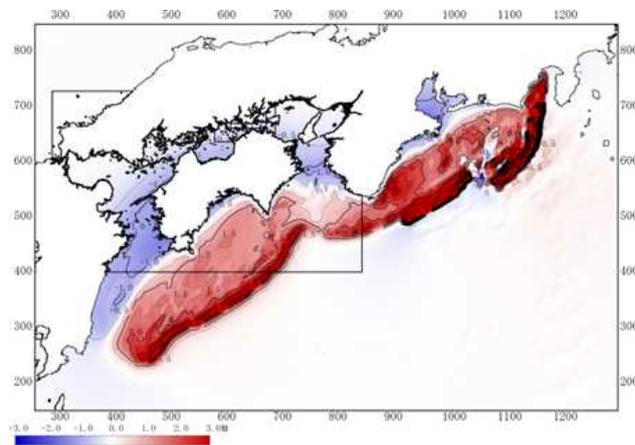


N, E : 断層面基準点の緯度・経度、 θ : 断層面の走行角、 δ : 断層面の傾斜角、 λ : 食い違い方向角、 L : 断層面の長さ、 W : 断層面の幅、 h : 断層面の深さ、 U : 食い違い量、 U_d : 面上の縦ずれ成分、 U_s : 面上の横ずれ成分

【出典】日本の地震断層パラメーター・ハンドブック，鹿島出版会，1989.

図 断層パラメータの定義

断層パラメータをもとに算定される地殻変動量は、1つの波源モデルにつき1つの変動量の分布である。



出典：内閣府「南海トラフの巨大地震」公表資料

図 初期水位分布の例

②線形・非線形長波理論

津波の波長は水深よりも長いことから、長波として取り扱うことができる。津波を取り扱う理論としては、線形長波理論と非線形長波理論、分散波理論などに分けられる。線形長波理論は、波高と水深の比が小さい場合に適用され、非線形長波理論は波高と水深の比が小さくない場合に適用される。すなわち、浅い海域で波の峰と谷の水面形が上下非対称となる場合や前傾化する場合など水深の影響を大きく受ける場合に適用される。