

ISSN 1346-7328

国総研資料 第977号

平成29年7月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.977

July 2017

海岸堤防（盛土を含む構造）の耐震性能照査に関する技術資料

国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室

Technical note on seismic performance evaluation of coastal dikes mainly made of soils

Coast Division, River Department, NILIM

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

海岸堤防（盛土を含む構造）の耐震性能照査に関する技術資料

竹下 哲也

*

加藤 史訓

**

Technical note on seismic performance evaluation of coastal dikes
mainly made of soils

Tetsuya TAKESHITA

*

Fuminori KATO

**

概要

本資料は、2015 年改定の海岸保全施設の技術上の基準を踏まえ、海岸堤防（盛土を含む構造）の耐震性能照査についてまとめた技術資料である。本資料は、2015 ～ 2016 年度の研究成果であり、レベル 1 地震動、レベル 2 地震動に加え、設計津波を生じさせる地震の地震動に対する所要性能や、照査方法の適用性、入力地震動の与え方等を示している。

キーワード : 耐震性能照査、地震動、海岸堤防、津波

Synopsis

This is the technical note on seismic performance evaluation of coastal dikes mainly made of soils in line with the technical standard of coastal facilities revised in 2015. This note is a result of the reseach from fiscal 2015 to fiscal 2016 and shows details of required seismic performance for the earthquake motion that causes the design tsunami in addition to level 1 and 2 earthquake motions, applicability of analysis methods, method to decide input earthquake motions and so on.

Key Words :

seismic performance evaluation, earthquake motion,
coastal dike, tsunami

* 海岸研究室主任研究官

Senior Reseacher of Coast Division

** 海岸研究室長

Head of Coast Division

目 次

1. 総説	1
1. 1 本資料の位置づけ	1
1. 2 盛土を含む構造の海岸堤防における耐震性能照査の考え方	3
1. 3 盛土を含む構造の海岸堤防における耐震性能照査の流れ	8
2. レベル1地震動に対する耐震性能照査	9
2. 1 照査の方針	9
2. 2 照査方法	9
2. 3 設計震度	10
3. 設計津波を生じさせる地震の地震動に対する耐震性能照査	12
3. 1 照査の方針	12
3. 2 照査方法	15
3. 3 照査に用いる設計震度、設計入力地震動	17
4. レベル2地震動に対する耐震性能照査	18
4. 1 照査の方針	18
4. 2 照査方法	21
4. 3 照査に用いる設計震度、設計入力地震動	21
5. 資料編	23
（資料1）海岸堤防で耐震上注意すべき微地形について	24
（資料2）地盤調査を行う際の留意点	27
（資料3）海岸堤防等の地震被災事例	29
（資料4）海岸堤防の耐震性能照査事例	36
（資料5）耐震対策工法の概要	40
6. 参考文献	43

海岸堤防（盛土を含む構造）の耐震性能照査に関する技術資料

1. 総説

1. 1 本資料の位置づけ

本資料は、海岸保全施設の技術上の基準に沿って、海岸保全施設のうち盛土を含む構造の海岸堤防について耐震性能照査を実施する際の方法等についてまとめた技術資料である。

解説

平成 27(2015)年 2 月 2 日付海岸省庁通知「「海岸保全施設の技術上の基準について」の一部改正について」¹⁾では、レベル 1 地震動、レベル 2 地震動に加え、新たに設計津波を生じさせる地震の地震動に対する耐震性能が追加された。

また、平成 27(2015)年 8 月 31 日海岸省庁事務連絡「海岸堤防の設計に当たって準用する技術書の基本的な考え方について」²⁾では、

- ・コンクリートを主要材料とする構造：漁港施設、港湾施設に用いる技術書の準用を基本
- ・盛土を含む構造：河川堤防の設計に用いる技術書の準用を基本
- ・「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」（平成 16(2004)年 6 月）については、上記の基準の一部改正及び事務連絡の内容を含めて、最近の知見等を適切に反映して用いる

等が示されている。本資料は、上記の経緯を踏まえ、盛土を含む構造の海岸堤防について、海岸管理者が耐震性能照査を実施する際の方法等についてまとめたものである。

「海岸保全施設の技術上の基準」のうち、「施設が所要の耐震性能を満足することを適切に照査すること」が地方自治法第 245 条の 9 第 1 項に規定する法定受託事務の処理基準となっているが、耐震性能や照査基準、設計震度、設計入力地震動等の内容については、地方自治法第 245 条の 4 第 1 項に規定する技術的な助言となっている。本資料は、盛土を含む構造の海岸堤防の耐震性能照査を実施する海岸管理者の支援を目的として、技術的な助言の内容についての解説（考え方、一般的な方法等）をまとめたものである。

本資料は、枠囲みと解説から構成されている。枠囲みは、主に「海岸保全施設の技術上の基準」のうち技術的な助言の内容であるが、分かりやすさの観点から内容の一部を図表で整理し、処理基準の文章、河川堤防の設計で用いる技術書から準用した設計震度も記載している。解説は、枠囲みについての考え方や一般的な方法等を記載している。

なお、地形・地盤等の基礎調査や概略の耐震点検については、「海岸保全施設耐震点検マ

マニュアル【堤防・護岸・胸壁編】（平成7(1995)年4月 農林水産省・水産庁・運輸省・建設省）」³⁾が既にあるが、本資料は同マニュアルで対象外となっている詳細調査のうち、盛土を含む構造の海岸堤防に関する事項にあたるものである。

また、「海岸保全施設の技術上の基準」の基本は「性能規定」であり、対象海岸における地域特性や最新の技術的知見を踏まえ、本技術資料で記載された内容以外の手法で耐震性能照査を行うことが適切な場合には、これにより耐震性能照査を行うことができる。

本資料のとりまとめにあたっては、下記の委員による勉強会を設置し、ご助言を頂いた。ここに深甚なる謝意を表する。

（学識経験者）

井合 進	京都大学防災研究所教授
一井 康二	広島大学大学院工学研究院 社会環境空間部門准教授
安田 進	東京電機大学 副学長、理工学部教授

（関係機関）

片岡 正次郎	国土技術政策総合研究所 道路地震防災研究室長
佐々木 哲也	国立研究開発法人土木研究所 土質・振動チーム上席研究員

※敬称略、五十音順

（2017 年 3 月時点）

1. 2 盛土を含む構造の海岸堤防における耐震性能照査の考え方

地震の作用を考慮する必要がある盛土を含む構造の海岸堤防については、堤防の機能及び構造、堤防背後地の重要度、地盤高等を考慮して、当該堤防が下記の所要の耐震性能を満足することを適切に照査するものとする。

表-1.2.1 地震動毎に満たすべき耐震性能

地震動	耐震性能
レベル1地震動 (堤防の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動)	所要の構造の安全を確保し、かつ、海岸保全施設の機能を損なわない
設計津波を生じさせる地震の地震動	設計津波を生じさせる地震がレベル1地震動を超える強度の場合においても、これに対して生じる被害が軽微であり、かつ、地震後に来襲する津波に対して所要の構造の安全を確保するとともに海岸保全施設の機能を損なわない
レベル2地震動 (現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動)	生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やかな機能の回復が可能 (より高い耐震性能が必要と判断されるもののみ)

解説

上記は、「「海岸保全施設の技術上の基準について」の一部改正について（平成 27(2015)年 2 月 2 日）」¹⁾（以下、「技術上の基準」という）の「2. 1 0. 2 海岸保全施設の耐震性能」における地震に関する規定である。本規定に関連して、堤防に関する設置目的、機能、作用、性能（目的達成性能、安全性能）について、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説（平成 16(2004)年）6 月」⁴⁾で既に解説されているものを表-1.2.2 に示す。

表-1.2.2 堤防に関する設置目的、機能、作用、性能⁴⁾

項目	基準・同解説の内容（抜粋）
設置目的	・海岸背後にある人命・資産を高潮、津波及び波浪から防護する ・陸域の侵食を防護する
機能	・高潮若しくは津波による海水の侵入を防止する機能 ・波浪による越波を減少させる機能 ・海水による侵食を防止する機能 (これらの機能に加え、堤防の損傷等を軽減する機能) いずれか又は全ての機能
作用	(海岸保全施設全般) 高潮、波浪、地震、津波等 ※水圧、土圧、風圧等も含まれる
目的達成性能	所定の機能が発揮されるよう適切な性能を有する [照査]堤防の設置目的を達成するための性能は、原則として天端高、表法勾配、天端幅、裏法勾配等の組合せにより評価。
安全性能	設計高潮位以下の潮位の海水、設計波、設計津波、設計の対象とする地震及びその他の作用に対して安全な構造とする [照査]波力、地震力、土圧等の作用に対して安全な構造とするとともに透水をできるだけ抑制し得るものとする

また、「土木・建築にかかる設計の基本（平成14(2002)年10月 国土交通省）」⁵⁾における「基本的要求性能」と「限界状態」を以下に示す。

（「土木・建築にかかる設計の基本」⁵⁾における「基本的要求性能」）

設計においては、設計対象とする構造物の設計供用期間を定め、設定した期間において以下の(1)～(3)の基本的要求性能を確保することを基本とする。

- (1) 想定した作用に対して構造物内外の人命の安全性等を確保する（安全性）。
- (2) 想定した作用に対して構造物の機能を適切に確保する（使用性）。
- (3) 必要な場合には、想定した作用に対して適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行うことで継続的な使用を可能とする（修復性）。

安全性の概念は「人の安全」を基本とし、ここでは、人為的に建設され、通常は無人の構造物の崩壊を防止することも安全性の概念に含め、「構造物内外の人命の安全性等」としている。

（「土木・建築にかかる設計の基本」⁵⁾における「限界状態」）

表-1.2.3 限界状態

終局限界状態（安全性）	想定される作用により生ずることが予測される破壊や大変形等に対して、構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等を確保しうる限界の状態
使用限界状態（使用性）	想定される作用により生ずることが予測される応答に対して、構造物の設置目的を達成するための機能が確保される限界の状態
修復限界状態（修復性）	想定される作用により生ずることが予測される損傷に対して、適用可能な技術でかつ妥当な経費及び期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用を可能とすることができる限界の状態

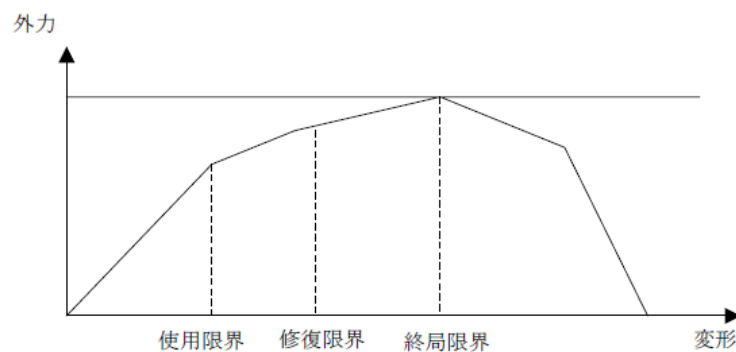


図-1.2.1 各限界状態のイメージ（出典：「土木・建築にかかる設計の基本」⁵⁾）

また、海岸堤防における限界状態の設定の参考として、井合ら（2003）⁶⁾、「道路土工 盛土工指針（平成 22(2010)年 日本道路協会）」⁷⁾における要求性能（許容被害程度）と限界状態の考え方を示す。

表-1.2.4 要求性能（許容被害程度）と限界状態の整理例

土構造物の許容被害程度（注1）			道路土工 盛土工指針	
許容被害程度	構造被害(直接被害)	機能被害（間接被害）	要求性能	盛土の限界状態
被害程度Ⅰ： 使用可能	無被害ないし 軽微な被害	機能維持ないし 軽微な機能低下	性能 1	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が盛土の機能を確保でき得る限界の状態
被害程度Ⅱ： 補修可能	限定被害 (限定された塑性応答ないし残留変位)	短時間の機能停止（短期間の応急復旧完了までの機能喪失）	性能 2	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が修復を容易に行い得る限界の状態
被害程度Ⅲ： 非崩壊限界	著しい被害 (崩壊はしない)	長期間の機能停止ないし機能喪失	性能 3	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が隣接する施設等への甚大な影響を防止し得る限界の状態
被害程度Ⅳ 崩壊	機能喪失		—	—

注1) 井合 進, 菅野高弘, 一井康二: 耐震性能設計に向けて, 土と基礎 51-2 (541), 2003 ⁶⁾

なお、「土木構造物の耐震性能と耐震設計法等に関する第3次提言（平成 12(2000)年 土木学会）」⁸⁾では、「レベル1 地震動に対して、基本的にはいずれの新設構造物においても「無被害レベル」の耐震性能を要請することは、現時点での技術的及び社会経済的条件を前提としたシビルミニマムの要求と見なされる」とあることから、表-1.2.4のうち、「無被害」とあるのは、レベル1 地震動が対象となるものと考えられる。

表-1.2.1～表-1.2.4、図-1.2.1 を踏まえ、盛土を含む構造の海岸堤防における耐震性能を表-1.2.5、限界状態を表-1.2.6、図-1.2.2 に示す。

表-1.2.5 地震動毎の耐震性能の整理

地震動と 性能ランク	安全性能	目的達成性能
レベル1 地震動 (性能1)	所要の構造の安全を確保 →地震力の作用に対して 無被害(災害復旧を要しない範囲の 変位含む)	海岸堤防の機能を損なわない ・海水侵入防止機能(高潮・津波) ・越波減少機能(波浪) ・侵食防止機能
設計津波を 生じさせる 地震の地震 動 (性能1')	地震後に来襲する津波(設計津波)に 対して所要の構造の安全を確保 →被害が軽微 (津波の作用に対する海岸堤防の安 定性や右記の機能を損なわない範 囲の変位:使用限界)	地震後に来襲する津波(設計津波)に 対して海岸堤防の機能を損なわない →海水侵入防止機能(津波に限定)
レベル2 地震動 (性能2)	(より高い耐震性能が必要と判断されるも ののみ) 被害が軽微 (右記の速やかな機能の回復が可能 な範囲の変位:修復限界)	(より高い耐震性能が必要と判断されるも ののみ) 地震後の速やかな機能の回復が可能
※参考 レベル2 地震動 (性能3)	(より高い耐震性能を必要としないもの) 基準の範疇外 ※地震動によっては、変位が終局限界 を超える場合(隣接する施設等への 甚大な影響を及ぼす崩壊)あり。	(より高い耐震性能を必要としないもの) 基準の範疇外

表-1.2.6 盛土を含む構造の海岸堤防における地震力の作用に対する限界状態

要求性能	限界状態	
	安全性（安全性能）の観点	使用性、修復性（目的達成性能）の観点
性能 1	・地震力の作用に対して無被害（災害復旧を要しない範囲の変位含む）である状態	・地震力の作用に対して海岸堤防の機能（海水侵入防止機能、越波減少機能、侵食防止機能）を損なわない状態
性能 1'	・地震力の作用に対して被害が軽微な状態	・地震後に来襲する津波（設計津波）に対して海岸堤防の機能（海水侵入防止機能）を損なわない状態
性能 2	・地震力の作用に対して被害が軽微な状態	・地震後の速やかな機能の回復が可能な状態（常時の潮位変化による越流が生じない）
性能 3	・地震力の作用によって生じる海岸堤防の変形・損傷が隣接する施設等への甚大な影響を防止し得る限界の状態	・復旧は可能だが、長期の機能停止、機能喪失となる状態（常時の潮位変化による越流が生じない）

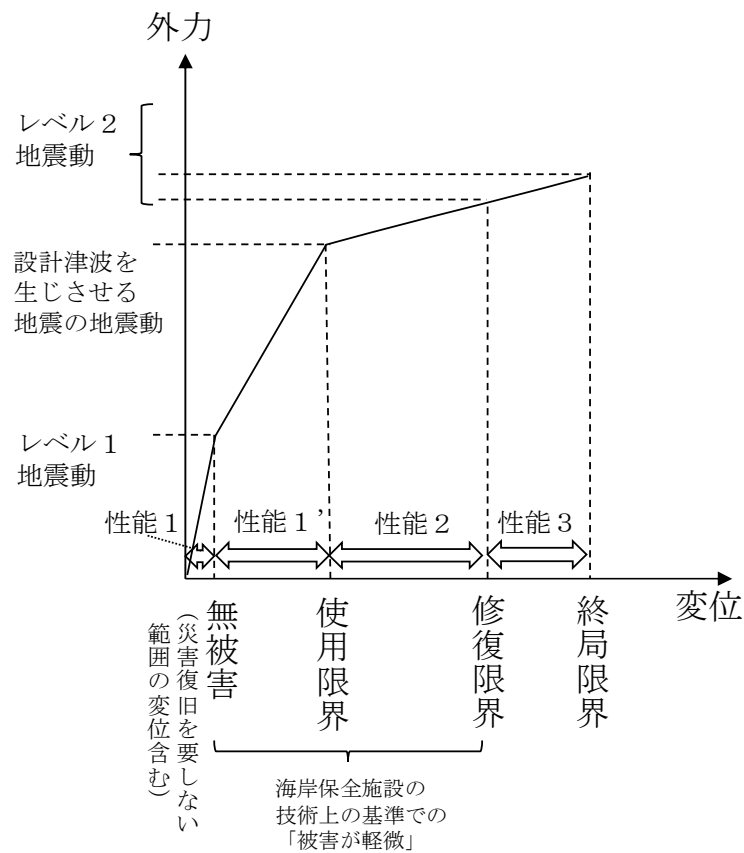


図-1.2.2 盛土を含む構造の海岸堤防における限界状態のイメージ

1. 3 盛土を含む構造の海岸堤防における耐震性能照査の流れ

盛土を含む構造の海岸堤防における耐震性能照査は、下図の流れで行うこととする。

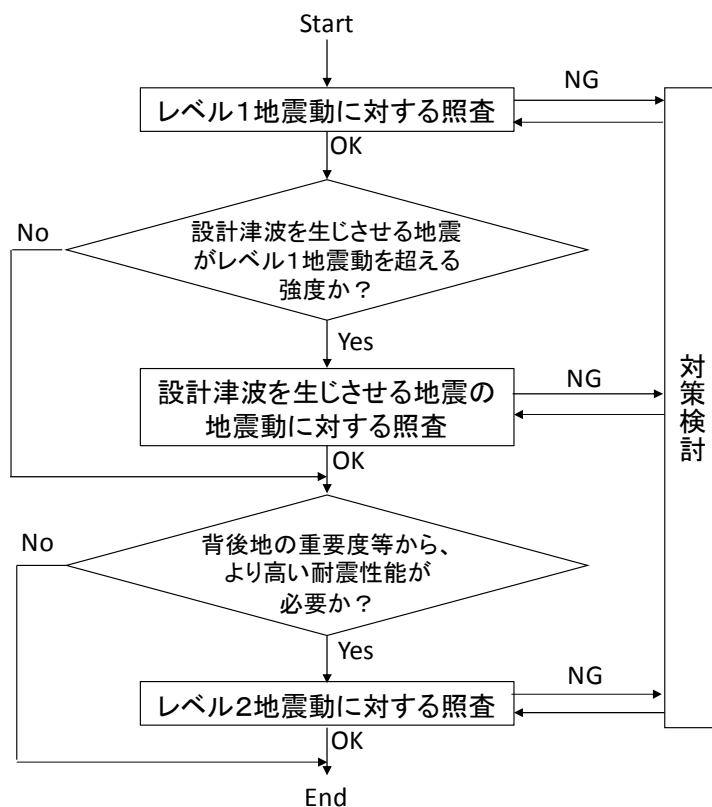


図-1. 3. 1 盛土を含む構造の海岸堤防における耐震性能照査の流れ

解説

上図は、「技術上の基準」の「2. 10. 2 海岸保全施設の耐震性能」に基づき記載している。レベル1地震動、設計津波を生じさせる地震の地震動については耐震性能照査が必須であるが、レベル2地震動については背後地の重要度等からより高い耐震性能が必要な場合に限定されるため、上図の流れとなっている。

また、照査対象となる海岸堤防によって、考慮すべき地震動のレベルは異なるため、図-1. 3. 1 のフロー図のように各地震動レベルに応じて対策を検討し、再度照査を行う必要がある。検討過程で当初想定していた対策が変更となれば、再度レベル1地震動の段階に戻って図-1. 3. 1 のフロー図に従い再度照査が必要である。

なお、「河川堤防の液状化対策の手引き（平成 28(2016)年 3 月 土木研究所資料第 4332 号）」⁹⁾では、レベル1地震動で設計した河川堤防が東日本大震災ではほとんど被災しなかったことを踏まえ、レベル1地震動に対して対策工の諸元を決め、当該対策工でレベル2地震動による照査を行うという2段階設計法を採用しており、図-1. 3. 1 の検討の流れは河川堤防における対策工での手法とも基本的に整合している。

2. レベル1地震動に対する耐震性能照査

2. 1 照査の方針

盛土を含む構造の海岸堤防におけるレベル1地震動に対する耐震性能照査は、堤防の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動（レベル1地震動）に対して所要の構造の安全を確保し、かつ、当該堤防の機能を損なわないか確認するものとする。

解説

レベル1地震動に対する耐震性能の照査方針及び留意点を表-2.1.1に示す。

安全性能の観点では、地震力の作用に対して無被害あるいは災害復旧を要しない範囲の変位となっているかの確認が必要であるが、盛土を含む構造の海岸堤防の場合、災害復旧を要しない範囲でのわずかな変位を精度よく予測することは困難であることから、2.2の照査方法にもあるとおり、円弧すべりを仮定した安定計算から算出した地震時安全率を照査基準とみなすことができる。

目的達成性能の観点では、海岸堤防の構造の細目が、高潮、津波、波浪、侵食に係る機能を満足するように設定されているため、無被害であることをもって、当該性能は確保されるため、同様に震度法に係る安全率を照査基準とみなすことができる。

表-2.1.1 レベル1地震動に対する耐震性能の照査方針等

項目	安全性能の観点	目的達成性能の観点
照査方針 (レベル1 地震動)	所要の構造の安全を確保 →地震力の作用に対して 無被害（災害復旧を要しない範 囲の変位含む）	海岸堤防の機能を損なわない ・海水侵入防止機能（高潮・津波） ・越波減少機能（波浪） ・侵食防止機能
照査基準	震度法に係る安全率	
照査方法	震度法（慣性力、液状化）	

2. 2 照査方法

盛土を含む構造の海岸堤防におけるレベル1地震動に対する耐震性能は、震度法による耐震設計により安全性が確保されていることで満足しているものとみなせる。ただし、液状化が発生すると判定される場合には、適切に照査するものとする。

解説

上記のみなし規定は、「技術上の基準」の「2.10.4 耐震解析法」に記載されているものである。震度法とは、地震の影響によって構造物および地盤に生じる作用を、設計震度を用いた静的な荷重に置き換えて耐震性能の照査を行う方法である。盛土を含む構造の海岸堤防については、「海岸保全施設耐震点検マニュアル【堤防・護岸・胸壁編】（平成7(1995)年4月）」³⁾に示されている方法（設計震度と図表から、円弧すべりを仮定した地震

時安全率を算出する方法) を用いることができる。

なお、「3. 設計津波を生じさせる地震の地震動に対する耐震性能照査」や「4. レベル2地震動に対する耐震性能照査」の段階で動的照査法による検討を行った結果、耐震対策の変更があった場合には、レベル1地震動に対する耐震性能の確認として、港湾や道路で用いられているレベル1地震動の加速度の時刻歴波形データを用いて動的照査法による変形解析を行ってもよい。その際、対象となる海岸堤防の地盤特性を十分考慮して入力波形を選択するとともに、照査基準として、図-1.2.2 に示す「無被害」と判断する変位量を個別に設定する必要がある。

(参考) 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室：

レベル1地震動(工学的基盤面)¹⁰⁾

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

公益社団法人 日本道路協会：道路橋の耐震設計における動的解析に用いる加速度波形 レベル1地震動(地盤面)¹¹⁾

<https://www.road.or.jp/dl/tech.html>

2. 3 設計震度

盛土を含む構造の海岸堤防における耐震性能照査上の地盤面におけるレベル1地震動の設計震度は、式(2.1)により算出することを基本とする。

$$k_h = C_z k_{G0} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、

k_h ：レベル1地震動の設計震度

k_{G0} ：レベル1地震動の標準水平震度(表-2.3.1)

C_z ：地域別補正係数

表-2.3.1 レベル1地震動の標準水平震度(慣性力用、液状化判定用共通)

	地盤種別		
	I種地盤	II種地盤	III種地盤
標準水平震度	0.12	0.15	0.18

注) 地域別補正係数及び地盤種別については、河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編(平成28(2016)年3月)¹²⁾による。

解説

「海岸堤防の設計に当たって準用する技術書の基本的な考え方について(平成27(2015)年8月31日海岸省庁事務連絡)」²⁾では、海岸堤防の設計に用いる係数等の決定に当たって、盛土を含む構造については、河川堤防の設計に用いる技術書を準用することを基本としている。

このため、上記のレベル1地震動の設計震度は、「河川堤防の液状化対策の手引き(平成28(2016)年3月 土木研究所資料第4332号)」⁹⁾の対策工諸元設定用震度(レベル1地震動)

及び「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編(平成 28(2016)年 3 月)」¹²⁾をもとに記載している。地域別補正係数及び地盤種別についても同技術書の準用を基本とするが、最新のものを確認し、適切に設定する必要がある。

上記の設計震度は、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」(平成 16(2004)年 6 月)⁴⁾の「2. 10. 4 耐震解析法」の解説に参考文献として示されている「河川堤防の液状化対策工設計施工マニュアル(平成 9(1997)年 10 月 土木研究所資料第 3513 号)」¹³⁾(以下、「旧液状化対策マニュアル」という)と同じ震度である。設計震度には、慣性力による影響を考慮して構造物の安定性を判定するための慣性力用の水平震度と液状化判定用の水平震度があるが、表-2.3.1 は共通の値を示している。東日本大震災では、この旧液状化対策マニュアルで設計された堤防での被災がほとんどなかったことから、同マニュアルの改定版である「河川堤防の液状化対策の手引き(平成 28(2016)年 3 月 土木研究所資料第 4332 号)」⁹⁾でも、対策工諸元設定用震度として踏襲されている。このため、同設計震度で海岸堤防の地震時の安定性の照査を行うことで、2. 1 に示すレベル 1 地震動における耐震性能である「所要の構造の安全を確保」し「堤防の機能を損なわない」ことを確認できる。

表-2.3.1 に示す設計震度は「耐震性能照査上の地盤面」の位置における水平震度である。「耐震性能照査上の地盤面」とは、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編(平成 28(2016)年 3 月)」¹²⁾に示すとおり、長期にわたり安定して存在する地盤の上面であり、図-2.3.1 に示すように、低い方の法尻の高さとされている。耐震性能照査上の地盤面と、耐震性能照査上の工学的基盤面(せん断弾性波速度 300 m/s 程度以上の値を有している剛性の高い土層の上面)とは異なるため、震度設定において注意が必要である。

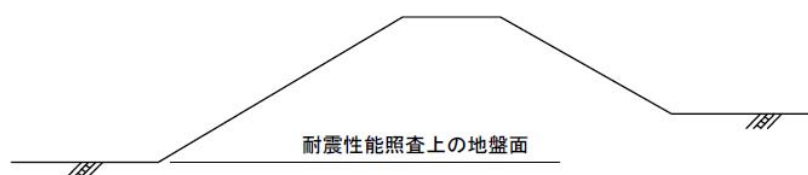


図-2.3.1 法尻の高さが異なる場合の耐震性能照査上の地盤面
(出典：「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編」¹²⁾)

なお、「河川堤防の液状化対策の手引き(平成 28(2016)年 3 月 土木研究所資料第 4332 号)」⁹⁾を踏まえ、堤防形状の特性に合わせて、慣性力用水平震度について、式(2.1)により算出される水平震度に、表-2.3.2 の堤防規模別補正係数 C_B を乗じた値を慣性力用水平震度として用いることができる。

表-2.3.2 堤防規模補正係数 C_B

$B/H \leq 10$	$10 < B/H \leq 20$	$20 < B/H$
1.0	0.9	0.8

B:堤防の敷き幅、H:堤防高さ

3. 設計津波を生じさせる地震の地震動に対する耐震性能照査

3. 1 照査の方針

盛土を含む構造の海岸堤防における設計津波を生じさせる地震の地震動に対する照査は、その地震がレベル1地震動を超える強度の場合においても、これに対して生じる被害が軽微であり、かつ、地震後に来襲する津波に対して所要の構造の安全を確保するとともに当該堤防の機能を損なわないものであることを確認するものとする。

解説

設計津波を生じさせる地震の地震動に対する耐震性能の照査方針及び留意点を表-3.1.1に示す。

表-3.1.1 設計津波を生じさせる地震の地震動に対する耐震性能の照査方針等

項目	安全性能	目的達成性能
照査方針 (設計津波を生じさせる地震の地震動)	地震後に来襲する津波（設計津波）に対して所要の構造の安全を確保 →被害が軽微 (津波の作用に対する海岸堤防の安定性や右記の機能を損なわない範囲の変位：使用限界)	地震後に来襲する津波（設計津波）に対して海岸堤防の機能を損なわない →海水侵入防止機能（津波に限定）
照査基準	・右記の天端高が設計津波の水位以上の高さであることの確認をもって、津波に対する海岸堤防の安定性を確認したとみなす。 ・波返工を有する構造の場合は、波返工や連続する表法被覆工、基礎工、根固工が地震後にも津波の作用に対抗できる構造であることを確認する。	・天端高は、海水の侵入を防ぐように設定されることから、地震による沈下後にも設計津波の水位以上の高さに天端高があることを確認する。 ・波返工を有する構造の場合は、地震後の波返工の被災による海水侵入を防ぐため、地震後の波返工の変位が、当該波返工の厚さ等から設定される許容値以内に収まることを確認する。
照査方法	・簡易照査法（スクリーニング用） ・静的照査法、動的照査法	
留意点	・広域地盤沈下（設計津波を生じさせる地震の地震動時）を考慮すること。	

（１）設計津波について

技術上の基準では、「設計津波は、過去の浸水の記録等に基づく最大の津波又は数値計算等により算定した最大の津波を考慮して、原則として、数十年から百数十年に一度程度発生する比較的発生頻度の高い津波を定めるものとする」と規定されている。

また、堤防位置における設計津波の水位の設定手順については「設計津波の水位の設定方法等について（平成 23(2011)年 7 月 海岸省庁課長通知）」¹⁴⁾に示されている。

（２）安全性能の照査の留意点

①照査基準（盛土）

設計津波を生じさせる地震の場合、地震後の海岸堤防が津波の作用に対して安定であるかを確認することが求められるが、地震後に変形した堤防が津波に対してどの程度の耐力があるかを定量的に算出することは困難である。

「津波防災地域づくりに係る技術検討報告書（平成 24(2012)年 1 月 津波防災地域づくりに係る技術検討会）」¹⁵⁾では、盛土構造物について「水圧、波力、漂流物の衝突その他の事由による振動及び衝撃：考慮不要（圧縮力に盛土は強い）」とされており、東日本大震災では津波越流しない場合には決壊する事例が確認されていないことから、以下の（３）に示す目的達成性能の照査基準である「地震による沈下後の天端高が設計津波の水位以上」であることをもって、安全性能も確認したもののみなすことができる。

②照査基準（波返工）

波返工は、表法被覆工の延長として堤防の天端上に突出した構造物である。このため、波返工だけでなく、表法被覆工、表法被覆工を支える基礎工、根固工が地震後の津波の作用に対抗できることの確認が必要である。

波返工から根固工に至る一連の構造について力学的に設計がなされている場合については、当該設計資料をもとに設計津波の波圧に対して耐力を有しているかを確認することができる。過去の風浪・津波から経験的に設定された構造の場合には、設計津波の波圧と過去の風浪・津波で受けた波圧と比較する方法も考えられるが、風浪・津波の観測記録が限られていることや、設計津波の波圧が観測記録のある風浪・津波での波圧より大きい場合等、判断が難しい。

過去の被災事例では、波返工の水平変位が波返工の厚さ以内に収まる場合、当該波返工や表法被覆工は機能するものとして存置した上でコンクリート巻き立てで復旧している。このため、波返工の構造の安全を確認する指標として、以下の（３）の目的達成性能の照査基準と同様に地震後の波返工の水平変位が波返工の厚さ等から設定される許容値以内であることを目安としてもよい。

堤体のすべり防止を目的にカウンターウェイトとして設置された根固工（波浪による洗掘防止を目的とした根固工は除く）については、当該根固工の被災によって、堤体、表法

被覆工及び基礎工が不安定となり、津波の作用に対する波返工自体の抵抗力が弱まる可能性がある。このため、例えば、根固工が碎石であり変形を確認できる照査方法がある場合は、地震後の碎石の勾配が安息角より緩くなっていることを確認する等、根固工の変形の状況を確認することが望ましい。

なお、波返工を含め海岸保全施設は経年的な劣化や変状が懸念されるため、「海岸保全施設維持管理マニュアル～堤防・護岸・胸壁の点検・評価及び長寿命化計画の立案～（平成 26(2014)年 3 月 海岸省庁）」¹⁶⁾に基づき適切に維持管理がなされていることをあらかじめ確認する必要がある。

（３）目的達成性能の照査の留意点

①照査基準（天端高）

「海岸保全施設の技術上の基準・同解説（平成 16(2004)年 6 月）」⁴⁾の「3. 2. 2 設計の方針」の解説にあるとおり、「堤防の天端高は、最も重要な構造諸元である。すなわち、高潮や津波による海水の侵入を防ぐ」とされていることから、津波による海水侵入防止機能を確認する指標は「天端高」とし、沈下後の天端高が設計津波の水位以上であることを確認の目安とすることができる。

なお、海水侵入防止機能の確認では上記の天端高に加えて海岸堤防の安定性も重要であることや、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編（平成 28(2016)年 3 月）」¹²⁾に示すとおり、変形解析手法では地震による堤防の損傷状況は完全に模擬することはできないことから、解析結果において沈下後の盛土の天端形状に凹凸がある場合には、設計津波の水位の高さにおける盛土幅が極端に小さくなっていないかを確認する必要がある。また、波返工が設置されている場合、上記（２）に示したとおり、当該波返工が設計津波の波圧に対して安定性を有していることが確認できれば、地震後の当該波返工の天端高を照査基準としてもよい。

②照査基準（波返工）

波返工は、堤体と一体となって海水が堤内側に侵入することを防ぐ目的で設置されている。波返工は表法被覆工と一体に取り付ける必要性から、波返工と表法被覆工の伸縮目地の位置は一致する。このため、波返工が地震により変位し目地が開きが生じると、海水が侵入する恐れがある。伸縮目地の間隔は 6 ～ 10 m 程度であるが、地盤調査の箇所数の制限から伸縮目地間隔の精度で波返工同士の相対変位を推定することは困難である。このため、波返工の目的達成性能を確認する指標としては、照査断面での地震後の波返工の水平変位が波返工の厚さ等から設定される許容値以内であることを目安とすることができる。

③広域地盤沈下について

技術上の基準では「広域にわたって地殻変動に伴う地盤沈下が予測される場合には、そ

の影響を考慮するものとする」とされている。海岸堤防の地震時の変形解析では、広域地盤沈下は考慮されないため、耐震性能照査上の地盤面の高さについて、あらかじめ設計津波を生じさせる地震の地震動の津波浸水計算の過程で算出¹⁷⁾される広域地盤沈下量を加味して設定する必要がある。

なお、広域の地盤変動で陸側の隆起が想定される場合は、「津波浸水想定の設定の手引き Ver. 2.00（平成 24(2012)年 10 月）」¹⁷⁾と同様に、万が一、隆起しなかった際の危険性を踏まえて隆起は考慮しないことが必要である。

（４）設計津波の水位より天端高が低い海岸堤防について

「設計津波の水位の設定方法等について（平成 23(2011)年 7 月 海岸省庁課長通知）」¹⁴⁾では、海岸堤防の天端高について「設計津波の水位を前提として（中略）海岸の機能の多様性への配慮、環境保全、周辺環境との調和、経済性、維持管理の容易性、施工性、公衆の利用等を総合的に考慮しつつ、海岸管理者が適切に定めるものである」とされている。

上記の総合的な考慮から設計津波の水位に対して天端高を低く設定した海岸堤防については、地震後に来襲する津波（設計津波）に対して表-3.1.1 に示す安全性能や目的達成性能を有していないため、３．の耐震性能照査の対象外である。

なお、海岸堤防を設計津波の水位より天端高を低く設定した場合、設計津波が来襲した際の背後地への影響を考慮する必要があることから、海岸管理者は浸水解析の与条件として３．２や３．３を用いて地震で沈下した後の堤防高（広域地盤沈下含む）を把握しておく必要がある。

３．２ 照査方法

設計津波を生じさせる地震がレベル 1 地震動を超える強度の場合の当該地震に対する盛土を含む構造の海岸堤防における耐震性能は、変形、応力、ひずみ量等を精度よく評価できる手法により照査するものとする。
--

解説

照査方法の選択にあたっては、各照査法に関する文献や適用事例を参考に、照査対象の海岸堤防の構造に適した照査方法であることをあらかじめ確認する必要がある。

（１）簡易照査法

簡易照査法の代表例としては、レベル 1 地震動に対する耐震性能照査で用いられる震度法（２．２参照）があるが、最近では動的照査法や静的照査法の知見を活かして簡易的に沈下量を算出できる「チャート式耐震診断システム」¹⁸⁾や「液状化による堤防の沈下量簡易推定法」¹⁹⁾がある。

このため、これら簡易照査法を活用して概略の沈下量や液状化可能性を確認することによって、静的照査法又は動的照査法を優先的に行うべき海岸堤防をスクリーニングするこ

とが考えられる。

なお、簡易照査法は一般的に安全側に沈下量が算出されるため、簡易照査法が想定している堤防・地盤条件と照査対象の海岸堤防が同等の条件であれば、簡易照査法の結果で照査基準を満足した場合には、簡易照査法の結果をもって照査したとみなしてもよい。ただし、堤防・地盤条件が複雑あるいは不明確である場合や、照査基準に近い沈下量の結果が算出された場合には、簡易照査法だけでなく静的照査法や動的照査法による確認が必要である。

○チャート式耐震診断システム（近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所）¹⁸⁾

<http://www.pa.kkr.mlit.go.jp/kobegicyo/gijyutsu/chart103.pdf>

○液状化による堤防の沈下量簡易推定法（国立研究開発法人 土木研究所）¹⁹⁾

http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/wf_environment/structure/pdf/ref06.pdf

（２）静的照査法

静的照査法は、地震の影響を静力学的に解析する手法であり、液状化の発生による土層の剛性低下を仮定し、土構造物としての自重を作用させ、その変形を算定するものである。

静的照査法の一つであるA L I D (Analysis for Liquefaction-Induced Deformation)は、河川堤防の耐震性能の照査に広く活用されている。

なお、解析の性質上、慣性力による破壊は考慮されない。このため、レベル1地震動に対する耐震性能（慣性力、液状化）を満足する構造であり、かつ、河川堤防のように盛土による傾斜堤の構造について、静的照査法は適用できる。

（３）動的照査法

動的照査法は、構造物の地震時挙動を動力学的に解析するもので、地震動の時刻歴波形から構造物の地震時挙動を算定するものである。動的照査法には、F L I P、L I Q C A、G E O A S I A等様々な手法があるが、その一つであるF L I P (Finite element analysis program of Liquefaction Process)は港湾構造物の耐震性能の照査に広く活用されている。

動的照査法は、慣性力、液状化による変形を解析できる手法であるため、直立壁との複合型の盛土といった複雑な構造でも適用できる。

3. 3 照査に用いる設計震度、設計入力地震動

設計津波を生じさせる地震の地震動に対する照査に用いる設計震度、設計入力地震動を適切に設定するものとする。

解説

(1) 簡易照査法における震度、入力地震動

3. 2 (1) において、「チャート式耐震診断システム」¹⁸⁾及び「液状化による堤防の沈下量簡易推定法」¹⁹⁾について述べた。これらは、静的照査法又は動的照査法を優先的に実施する箇所のスクリーニングに用いるため、照査に用いる震度、入力地震動については、対象となる海岸堤防地点の設計津波を生じさせる地震の地震動と同等又はそれ以上の震度、入力地震動で沈下量を簡易推定してもよい。

例えば、中央防災会議の東海・東南海・南海の想定地震に係る強震断層モデルによる工学的基盤面の地震動データや、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編（平成 28(2016)年 3 月）4. 耐震性能の照査に用いる地震動」¹²⁾や「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（平成 24(2012)年 3 月）4.3 レベル 2 地震動、7.2 動的解析に用いる地震動」²⁰⁾に示す標準的なレベル 2 地震動（海岸堤防の地盤面）を用いることが考えられる。

(2) 設計津波を生じさせる地震の設計入力地震動の設定手順

設計津波の水位については、「設計津波の水位の設定方法等について（平成 23(2011)年 7 月 8 日海岸省庁課長通知）」¹⁴⁾に基づき、過去に発生した実績や想定地震津波から設定されており、その設定段階において津波断層モデルが選定されている。このため、設計津波を生じさせる地震の地震動の設定にあたっては、当該断層モデルを参考にする事となる。

ここで、注意すべきは津波を推定するための津波断層モデルと強震動を推定するための強震断層モデルは断層パラメータが同じではないということである。理由としては、津波断層モデルが津波痕跡等を、強震断層モデルが震度分布等をそれぞれ再現するために設定されることから、両モデルは一致しない場合があるためである。

実績の地震や中央防災会議等の想定地震では、津波断層モデルと強震断層モデルの双方が公表されていることが多いため、当該資料を参考に以下の①～③の手順で設計入力地震動を設定することができる。

なお、強震断層モデルによる工学的基盤面の加速度の時系列波形データが既に公表されている場合については、①～③の手順によらず公表されたデータを用いてもよい。

- ①設計津波の水位の設定段階において対象の地域海岸における対象津波の地震を選定
- ②設計津波を生じさせる地震に係る断層パラメータを調査
(津波断層モデルと強震動断層モデルは同じではない)
- ③②から、地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）（平成 28(2016)年 6 月）」²¹⁾を参考に、対象地震について、照査対象の海岸堤防における工学的基盤面の加速度の時系列波形を設定

(3) 静的照査法における設計入力地震動、設計震度

静的照査法を用いた耐震性能の照査では、(2) で算出した設計津波を生じさせる地震に係る工学的基盤面の加速度の時系列波形を設計入力地震動として、一次元地震応答解析により地盤面～工学的基盤面までの地震時せん断応力比を算出し、これをもとに F_L (液状化に対する抵抗率) の値を設定することができる。

なお、設計津波を生じさせる地震の地震動が、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編 (平成 28(2016) 年 3 月)」¹²⁾や「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 (平成 24(2012) 年 3 月)」²⁰⁾に示す標準的なレベル 2 地震動と同等以下の場合には、上記の方法によらず、標準的なレベル 2 地震動の設計震度 (海岸堤防の地盤面) を用いて静的照査を行ってもよい。設計津波を生じさせる地震の地震動が、標準的なレベル 2 地震動と同等以下であることを確認する方法としては、例えば、加速度応答スペクトル (地盤面) や、速度の PSI (Power Spectral Intensity) 値²²⁾ (工学的基盤面) を用いた比較がある。

(4) 動的照査法における設計入力地震動

動的照査法を用いた耐震性能の照査では、(2) に示す設計津波を生じさせる地震に係る工学的基盤面の加速度の時系列波形を設計入力地震動として設定する必要がある。

なお、設計津波を生じさせる地震の地震動が、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編 (平成 28(2016) 年 3 月)」¹²⁾や「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 (平成 24(2012) 年 3 月)」²⁰⁾に示す標準的なレベル 2 地震動と同等以下の場合には、上記の方法によらず、標準的なレベル 2 地震動の加速度の時系列波形 (ただし海岸堤防の地盤面の波形であることに注意) を用いて動的照査を行ってもよい。設計津波を生じさせる地震の地震動が、標準的なレベル 2 地震動と同等以下であることを確認する方法としては、例えば、加速度応答スペクトル (地盤面) や、速度の PSI (Power Spectral Intensity) 値²²⁾ (工学的基盤面) を用いた比較がある。

4. レベル 2 地震動に対する耐震性能照査

4. 1 照査の方針

盛土を含む構造の海岸堤防のうち、堤防の機能及び構造、堤防背後地の重要度、地盤高、当該地域の地震活動度等に基づいてより高い耐震性能が必要と判断されるものについてのレベル 2 地震動に対する照査は、レベル 2 地震動に対して生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やかな機能の回復が可能なものであることを確認するものとする。

解説

レベル 2 地震動に対する耐震性能の照査方針及び留意点を表-4.1.1 に示す。

表-4. 1. 1 レベル 2 地震動に対する耐震性能の照査方針等

項目	安全性能	目的達成性能
照査方針 (レベル 2 地震動)	(より高い耐震性能が必要と判断されるもののみ) ・被害が軽微(右記の速やかな機能の回復が可能な範囲の変位:修復限界)	(より高い耐震性能が必要と判断されるもののみ) ・地震後の速やかな機能の回復が可能
照査基準 (例)	同右	(直下型の場合の照査基準の例) ・天端高:朔望平均満潮位+1/10 確率波(波浪うちあげ高又は越波量を考慮した高さ)以上であることを確認 ・その他、速やかな機能の回復を図るために照査基準を個別に設定
照査方法	・簡易照査法、静的照査法、動的照査法	
留意点	・レベル 2 地震動によって隣接する施設等への甚大な影響を及ぼす崩壊が発生しないことの確認を行う。	・広域地盤沈下量を考慮

(1) より高い耐震性能が必要と判断されるもの

レベル 2 地震動に対する耐震性能については、海岸管理者によってより高い耐震性能が必要と判断される海岸堤防について照査を行うとされている。

より高い耐震性能が必要な海岸堤防の判断要素の例としては、表-4. 1. 2 が挙げられるが、対象海岸の地域特性や、地域防災計画等の防災関連計画との整合性を踏まえ、判断要素を検討し、レベル 2 地震動に対する耐震性能が必要な海岸堤防を判断する必要がある。

(2) 安全性能・目的達成性能の照査の留意点

①照査基準の例

直下型のレベル 2 地震動の場合、地震後の機能の回復を目的とした災害復旧活動に支障が生じないようにするため、復旧活動期間に起こりうる潮位変化や波浪、海水の侵入に伴う侵食に対して、最低限の天端高が必要となる。このため、照査基準の例としては、朔望平均満潮位+1/10 確率波(波浪うちあげ高又は越波量を考慮した高さ)等が考えられる。

また、緊急輸送路(道路・橋梁)、水門・陸閘、管渠等(レベル 2 地震動に対する耐震性能を有する施設)との取り付け部については、これら施設の耐震性能を確認し、必要に応じて照査基準の整合を図ることが考えられる。

表-4.1.2 より高い耐震性能が必要な海岸堤防の判断要素の例^{※)}

項目	判断要素
施設の機能	・海水侵入防止機能、越波減少機能、侵食防止機能 (地震後の災害復旧期間中に発生する潮位変化、波浪、侵食に対して機能確保を行う必要がある施設)
施設の構造	・復旧に時間を要する構造(直立壁との混合型、堤防断面が大きい等) ・緊急輸送路(道路・橋梁)、水門・陸閘、管渠等(レベル2地震動に対する耐震性能を有する施設)との取り付け部を有する構造 ・堤防が崩壊することで隣接の施設等に重大な影響を与える場合
施設背後地の重要度	・人口が集中、資産が集積、重要施設がある地区で、地震により多大な人命・財産の喪失及び震災復興に重要な役割を果たす地域
地盤高	・施設背後地の地盤高が朔望平均満潮位以下
当該地域の地震活動度	・地震調査研究推進本部地震調査委員会の全国地震動予測地図 ・微地形区分

※注) 上表は例示であり、各海岸管理者の検討の結果、上表以外の判断要素となる場合がある。

海溝型のレベル2地震動の場合、津波高が天端高よりも高い箇所では、仮に耐震対策を行った場合でも津波越流によって堤防が決壊する可能性が高いことから、「被害が軽微であり、かつ地震後の速やかな機能の回復が可能」であることを確認する照査基準の設定は、現時点の技術的知見では困難である。なお、耐震設計ではなく減災の観点から堤防の損傷を軽減する構造上の工夫の一環として、照査によって得られた地震後の変位量をもとに堤防背後盛土の配置を検討することは考えられる。

②隣接する施設等への甚大な影響を及ぼす崩壊が発生する場合

「被害が軽微」には、修復性ととともに人命に対する安全性も含まれているものとする。

盛土を含む構造の海岸堤防の場合、コンクリート構造の堤防に比べて復旧が比較的容易であり、仮に大規模な崩壊が発生した場合でも堤防断面がそれほど大きくなければ短期間で復旧できる可能性がある。このため、1. 2の図-1.2.2で示すような修復限界と終局限界は堤防によってはその差がほとんどなかったり、位置が逆転したりすることが考えられる。

このため、レベル2地震動に係る照査にあたっては、隣接する施設等への甚大な影響を及ぼす崩壊が発生しないことの確認を行う必要がある。

③広域地盤沈下について

3. 1 (3) ③と同様、レベル2地震動による広域地盤沈下を考慮する必要がある。その際、設計津波を生じさせる地震の地震動と、レベル2地震動とで、広域地盤沈下量が異

なる場合があることに留意する必要がある。また、広域の地盤変動で陸側の隆起が想定される場合は、万が一、隆起しなかった際の危険性を踏まえて隆起は考慮しないことが必要である。

4. 2 照査方法

レベル2地震動に対する耐震性能は、変形、応力、ひずみ量等が精度よく評価できる手法により照査するものとする。

解説

3. 2の照査方法と基本的に同じであるが、照査に用いる設計震度、設計入力地震動については、4. 3とする。

なお、3. 2に示す簡易照査法（チャート式耐震診断システム、液状化による堤防の沈下量簡易推定法）を用いて、4. 3の設計震度、設計入力地震動により照査した結果が、4. 1のレベル2地震動における照査の方針（照査基準）を満足した場合には、簡易照査法の結果をもって照査したこととみなしてもよい。

4. 3 照査に用いる設計震度、設計入力地震動

レベル2地震動に対する照査に用いる設計震度、設計入力地震動を適切に設定するものとする。

解説

（1）レベル2地震動の設定手順

「海岸保全施設の技術上の基準・同解説（平成16(2004)年6月）」⁴⁾では、レベル2地震動について、地域防災計画を策定している自治体等の動向を勘案し、以下((a)～(f)を考慮して対象地点に最大級の強さの地震動をもたらしうる地震をレベル2対象地震として選定し、設計入力地震動を設定することとされている。

- (a)過去に大きな被害をもたらした地震の再来
- (b)活断層の活動による地震
- (c)地震学的あるいは地質学的観点から発生が懸念されるその他の地震
- (d)中央防災会議や地震調査研究推進本部など国の機関の想定地震
- (e)地域防災計画の想定地震
- (f)M6.5の直下地震

また、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編（平成28(2016)年3月）」¹²⁾では、レベル2地震動について「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成24(2012)年3月）」²⁰⁾と同じ標準的なレベル2地震動（液状化判定用）の水平震度が設定されている。

また、

- ・対象地点周辺における過去の地震情報
- ・活断層情報、プレート境界で発生する地震の情報
- ・地下構造に関する情報
- ・対象地点の地盤条件に関する情報、既往の強震記録等

を考慮して対象地点における地震動を適切に推定できる場合には、その結果に基づいて設定してもよいこととされている。

以上のことから、対象となる海岸堤防について、上記(a)～(f)を考慮し、レベル2地震動における設計入力地震動又は設計震度を設定することが必要である。

なお、上記(a)～(f)を考慮し、隣接する施設がレベル2地震動における設計震度、設計入力地震動を設定している場合は、これを参考としてもよい。

(2) レベル2地震動における設計震度、設計入力地震動

3. 3 (3)、(4)の「設計津波を生じさせる地震」を「レベル2対象地震」に読み替えることで静的・動的照査法に用いる設計震度、設計入力地震動を設定できる。

5. 資料編

前述の耐震性能照査を適切に実施するためには、対象となる海岸堤防の地盤特性の把握が重要である。

「(資料1) 海岸堤防で耐震上注意すべき微地形について」では、海岸堤防が立地する微地形のうち、地震時に堤防の沈下の可能性のあるものを既存資料から整理した。

(微地形については、表-4.1.2 の「より高い耐震性能が必要な海岸堤防の判断要素の例」の一つとして、また、次に示す「(資料2) 地盤調査を行う際の留意点」のうち「地盤調査のための海岸の調査区間の細分化」の判断要素として参考となる。)

「(資料2) 地盤調査を行う際の留意点」では、地盤調査位置の選定や、静的照査法、動的照査法に必要な地盤調査項目について整理した。

また、参考事例として、「(資料3) 海岸堤防等の地震被災事例」、「(資料4) 海岸堤防の耐震性能照査事例」、「(資料5) 耐震対策工法の概要」も既存資料から整理した。

資料 1

海岸堤防で耐震上注意すべき微地形について

海岸堤防の場合、以下のとおり、埋立地、盛土地、干拓地、人工海浜、砂丘間低地、旧河道、湿地、砂州、三角州等が耐震上注意すべき地形である。なお、これら微地形区分は地震の影響を考慮して細かく分類されたものではないことや、微地形区分を表示した図面の作成時期と現在とで地形状況が異なる場合があることに留意する必要がある。

表-5.1.1 治水地形分類による地形区分と堤防の地震被害の可能性

地形区分による危険度ランク（括弧内は地震による堤防の沈下の可能性を表す）	治水地形分類による地形区分
A（極大）	旧河道、落掘、旧落堀、 高い盛土地、干拓地、砂丘
B（大）	自然堤防、旧川微高地、 氾濫平野、湿地、旧湿地
C（小）	扇状地、浅い谷
D（なし）	山地・丘陵地、台地、崖

※□は海岸堤防に関する地形区分

※上表中の「砂丘」は、砂丘末端部や砂丘間低地を指す。

出典：「河川堤防の耐震点検マニュアル 平成 28(2016)年 3 月」²³⁾の表に加筆

表-5.1.2 微地形区分による液状化可能性の判定基準

地盤表層の液状化可能性の程度					微地形区分
グレード 1	グレード 2				
	レベル 1 地震動		レベル 2 地震動		
液状化の検討を要する地域	大	液状化の可能性は大きい	大	液状化の可能性は非常に大きい	埋立地、盛土地、旧河道、旧池沼、蛇行州、砂泥質の河原、人工海浜、砂丘間低地、堤間低地、湧水地点
	小	液状化の可能性は小さい	小	液状化の可能性は大きい	自然堤防、湿地、砂州、後背低地、三角州、干拓地、緩扇状地、デルタ型谷底平野
	極小	液状化の可能性は極めて小さい	極小	液状化の可能性は小さい	扇状地、砂礫質の河原、砂礫州、砂丘、海浜、扇状地型谷底平野
要しない地域	無	可能性なし	無	可能性なし	台地、丘陵地、山地

※□は海岸堤防に関する地形区分

出典：「液状化地域ゾーニングマニュアル（平成 10（1998）年度版）」²⁴⁾の表に加筆

(2) 微地形区分

(表-5.1.3 は、「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説(案)(平成 25(2013)年 2 月)」²⁵⁾の P.9 より引用)

表-5.1.3 微地形分類指針

微地形区分		判読の際の分類基準		
分類	細分類	地形的位置、特徴	形 態	主な土地利用
谷底平野	扇状地型谷底平野	古期岩盤の山地、砂礫層の丘陵地	縦断勾配のやや急な谷底	畑、水田
	デルタ型谷底平野	未固結岩石の丘陵地、台地	縦断勾配の緩やかな谷底	水田
扇状地	扇状地(沖積錘を含む)	河川の谷底、山麓部	扇状～円錐状、平均縦断勾配 1/100(0.57°)程度以上	果樹園、桑畑、畑
	緩扇状地	同上、または扇状地の末端部	扇状～円錐状、平均縦断勾配 1/100(0.57°)程度以下	畑、水田
自然堤防	自然堤防	現・旧河川の流路沿い	帯状またはパッチ状の微高地	畑、桑畑、集落
	自然堤防堰堤部	低地一般面と自然堤防の境界部	同上。微高地のうち比高 1m 以下の部分。	畑
	比高の小さい自然堤防			
	蛇行州(ポイントバー)	蛇行河道の凸岸側にできる堆積地形	河道に沿って湾曲した帯状または半円状の微高地	水田
後背低地		自然堤防・砂州・砂丘の背後	沼沢性起源の低地	水田
旧河道	新しい(明瞭な)旧河道	低地域全般、過去の河川流路の跡	帯状凹地。一般面よりの比高 0.5～1.0m	水田、荒地
	古い(不明瞭な)旧河道	同 上	帯状凹地。比高 0.5m 以内で不明瞭	水田
旧池沼		過去の池沼の跡	凹地または平坦地	水田、荒地
湿 地		低地域のうち排水不良地、湧水地点付近、旧河道	同 上	同上
河原	砂礫質の河原	扇状地型平野・扇状地における現河道の流動沿い	平坦。流水に覆われることのある複地中流部	荒地、果樹園
	砂泥質の河原	デルタ型谷底平野・低地一般面における現河川の流動沿い	同上。下流部	荒地、畑、水田
三角洲(デルタ)		河川の河口部	起伏に乏しい	水田
砂州(浜堤砂礫含む)	砂州	海岸、湖岸沿い	汀線に平行な微高地	針葉樹林、畑、荒地、集落
	砂礫州	同上	同上	同上
砂丘	砂丘	海岸、河岸	小丘の集合体、一般面との比高 3m～4m 以上	針葉樹林
	砂丘末端緩斜面	同上、砂丘の縁辺部	比高 3m～4m 以下	畑、集落
海浜	海浜	海岸地域の提外地	海岸の波打ち際の砂地	海浜
	人工海浜	同上	同上。人工的なもの	同上
砂丘間低地・提間低地		砂丘間、砂州間	比較的平坦	畑、水田
干拓地		沿岸地域、湖水地形や水面を干して陸地化した土地	平坦地、規則正しい地割り	水田
埋立地		海城などの水面を一般面と同じ高さまで埋め立てたもの	平坦地	工場地、宅地
湧水地点(帯)		扇状地末端部、砂丘縁辺部、断崖部、旧河道、湿地、天井川に沿った提内地	――	湿地、水田
盛土地		――	低地において 1m 以上の盛土	宅地

砂州、砂礫州：空中写真だけでは判定困難。

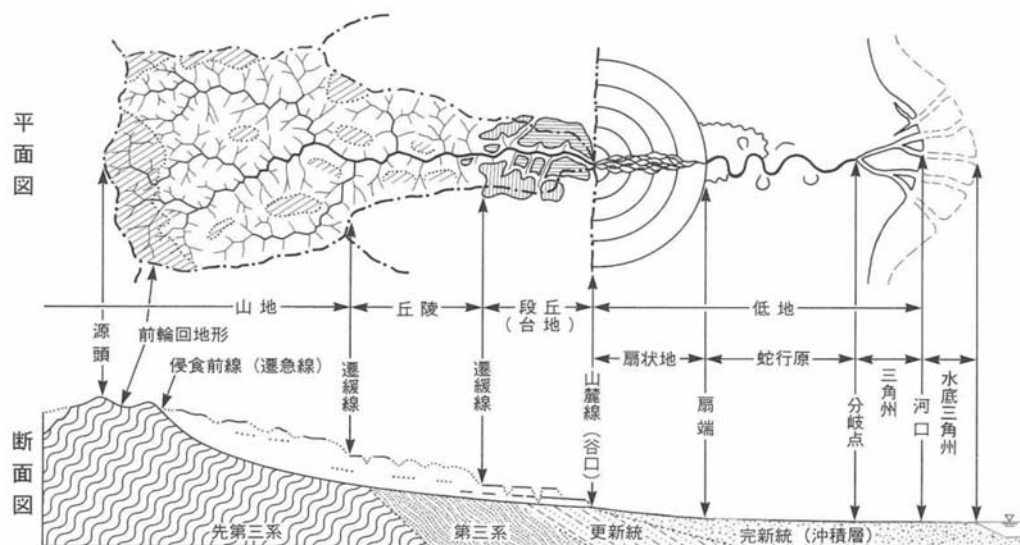
盛土地：ここでの盛土地とは、崖・斜面に隣接した盛土地、低湿地・干拓地・谷底平野上の盛土地を指す(すなわち、地下水位が高いと推定されるもの)。これ以上の盛土地は、盛土前の地形の区分と同等に扱う。

段丘：本表は沖積地の微地形分類のため、段丘層は記載していないが、斜面に隣接し地下水位が高いと想定される段丘については液状化の可能性があるため、段丘も分類するものとする。

出典：「液状化地域ゾーニングマニュアル 平成 10 年度版」(国土庁防災局震災対策課：平成 11 年 1 月)

(3) 一般的な地形の配置及び特徴

(下の図-5.1 は、国土地理院「治水地形分類図 解説書 平成 27(2015)年 8 月」²⁶⁾ より引用)



地形場	山地・丘陵・(段丘)			低地			海底
	侵食前線	山麓線	谷口	扇端	流路分岐点	河口	
表層地質	風化岩	岩盤		礫	砂		泥
複式地形種	前輪回地形	谷壁斜面	谷底低地	扇状地	蛇行原	三角洲	水底三角洲
単式地形種	河川数						
	自然堤防						
	後背低地						
	浜提・砂丘						
その他	従順山陵 浅谷	ガリー 崩壊地 地すべり地	崖錐 土石流堆 沖積錐 河岸段丘	扇頂溝 旧流路跡	旧流路跡 河跡湖 河畔砂丘 後背湿地	旧流路跡 潟湖 0m地帯 後背湿地	干潟 渚
河川	河川密度	大	極大	中	小	中	極小
	流路形態	直線、蛇行	直線	直線、網状	網状	蛇行	蛇行、直線
	屈曲率	2 1					
特異河川		間欠川		水無川 天井川	湧泉川 天井川	感潮河川 天井川	
主要な地形過程 (堆積を省略)	匍行	匍行 崩落 地すべり 土石流	土石流 氾濫 下刻 側刻	氾濫 洗掘 側刻	氾濫 湛水 (内水) 側刻	氾濫 高潮 湛水 (内水) 地盤沈下	

図-5.1.1 流域を構成する地形の一般的配置と各地区の諸特徴

(出典：鈴木隆介「建設技術者のための地形図読図入門 第1巻 読図の基礎 (1997)」²⁷⁾ P131)

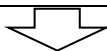
地盤調査を行う際の留意点

(1) 地盤調査の位置等に関する留意点

①以下を考慮し、地盤調査のための海岸の調査区間を細分化する。

- a) 被災履歴
- b) 微地形区分
- c) 基礎地盤の土層構成及び堤体の土質（既存資料がある場合）
- d) 比高（堤防天端と背後地地盤高との差）
- e) 耐震対策工の有無

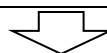
※注）国土交通省「河川堤防の耐震点検マニュアル（平成 28 年 3 月）」²³⁾を参考に記載



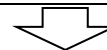
②地盤調査の細分区間の中で、地盤調査位置を選定する。

細分区間内であっても、地盤特性は場所によって異なる可能性があるため、調査位置の選定にあたっては、以下に留意して複数箇所を選定する。

- ・ 周辺地形（丘陵部の谷や尾根、砂丘や砂州などの形状）
- ・ 過去の地震被害の記録（被害延長等を参考）



③地盤調査位置では、堤防法先、堤防天端、裏法尻の合計 3 箇所でボーリングを実施する。また、用いる解析法の特徴を踏まえ、必要に応じ工学的基盤面までボーリングを実施する。



④盛土及び盛土内の地下水位、液状化懸念層などの特性が耐震性能に大きく影響することから、ボーリング箇所では 1m 間隔で標準貫入試験、粒度試験、液性・塑性限界試験を実施する。

また、ボーリングを実施する場合には、地下水位までは無水掘りにより掘削を行い、初期水位を適切に設定する。

※注）日本道路協会「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（平成 24(2012)年 3 月）」²⁰⁾、国土交通省「河川堤防の耐震点検マニュアル（平成 28 年 3 月）」²³⁾を参考に記載

図-5.2.1 地盤調査の位置等に関する留意点

(2) 地盤調査項目に関する留意点

1) 必須項目（静的・動的照査法共通）

表-5.2.1 地盤調査における必須項目

試験名	備考
標準貫入試験	・土層分割の設定、N値の設定、工学的基盤面の設定、地下水位の設定に必要
粒度試験	・細粒分含有率の設定に必要

2) 静的照査法（例：ALID）²⁸⁾で重要な項目

表-5.2.2 静的照査法（例：ALID）における地盤調査項目

試験名	重要度（※注）		備考
	①	②	
密度試験	△	△	・単位体積重量の設定に必要 ・土質名から一般値の設定可
PS検層	△	◎	・せん断弾性係数の設定に必要 ・N値で一般値の設定可
三軸圧縮試験	△	○	・せん断強度特性の設定に必要 ・砂質土・不飽和土はCD（圧密排水）試験、粘性土はC _U bar（圧密非排水）試験 ・N値で一般値の設定可
繰り返し三軸試験	△	○	・液状化強度比の設定に必要 ・N値、粒度試験から設定可
繰り返しねじりせん断試験	△	○	・動的変形特性、液状化流動解析段階のパラメータの設定に必要 ・既往の提案式で設定可
繰り返し三軸試験後の排水測定	△	○	・過剰間隙水圧消散に伴う体積圧縮特性の設定に必要 ・既往の提案式で設定可

※注) ①：地盤面の設計震度を用いる場合

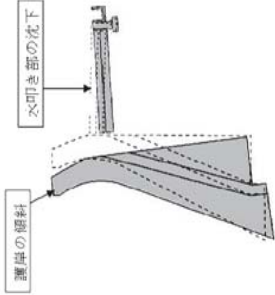
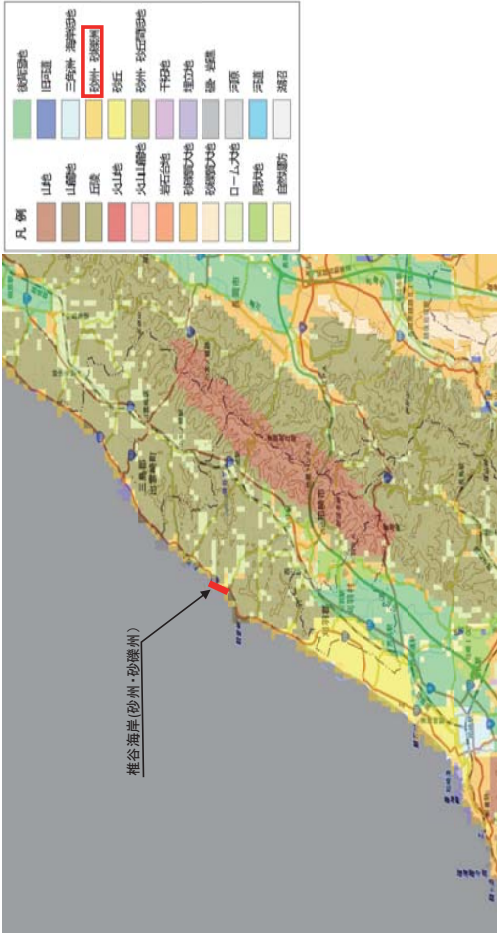
②：工学的基盤面の加速度波形から一次元応答解析により、 F_L （液状化抵抗率）を算出する場合

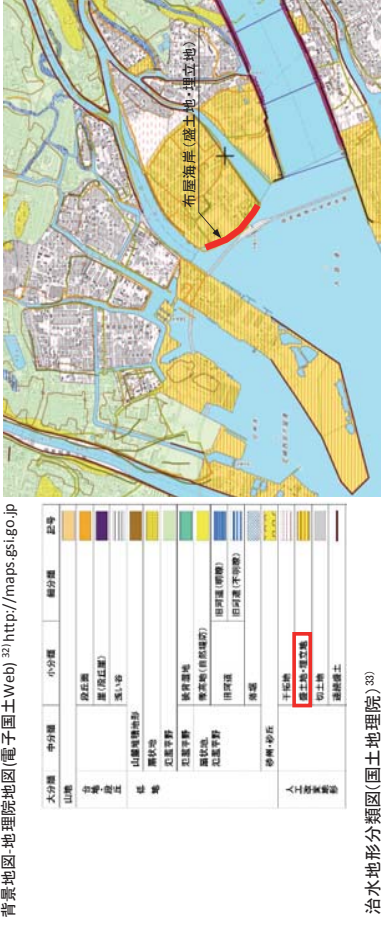
3) 動的照査法（例：FLIP）²⁹⁾で重要な項目

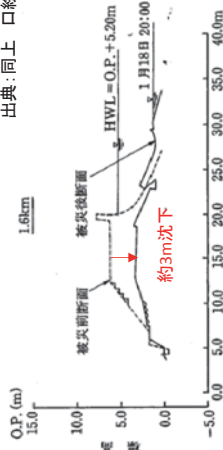
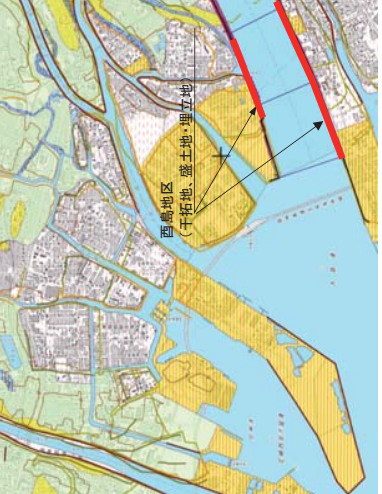
表-5.2.3 動的照査法（例：FLIP）における地盤調査項目

試験名	重要度	備考
密度試験	△	・単位体積重量の設定に必要 ・土質名から一般値の設定可
PS検層	◎	・せん断弾性係数、体積弾性係数の設定に必要
三軸圧縮試験	○	・せん断強度特性の設定に必要 ・砂質土・不飽和土はCD（圧密排水）試験、粘性土はC _U bar（圧密非排水）試験 ・N値で一般値の設定可
一軸圧縮試験	○	・粘性土の粘着力の設定に必要 ・N値で一般値の設定可
繰り返し三軸試験	◎	・液状化強度曲線、過剰間隙水圧の上昇プロセス、ひずみの発生・増加プロセスを踏まえた液状化パラメータの設定に必要
繰り返しねじりせん断試験	○	・最大減衰定数の設定に必要
繰り返し三軸試験後の排水測定	○	・過剰間隙水圧消散に伴う体積圧縮特性の設定に必要（カテルグラスモデルの場合）

（重要度）
 ◎：解析において重要なパラメータを算定する。
 ○：パラメータの算定に必要なが、一般的な値でも問題は少ない。
 △：他の試験結果等より、一般的な条件下であれば代替が可能。

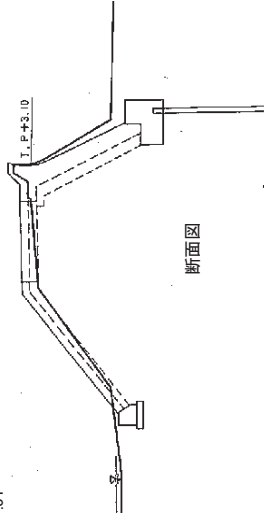
地震名	海岸名	破壊モード	被災状況	地形区分図
2007年 新潟県 中越沖地震	椎谷海岸 (しいや) 新潟県 (新潟県)	護岸の変状	 出典:新潟県提供資料  出典:新潟県提供資料   出典:新潟県提供資料  出典:新潟県提供資料	 表層地盤-微地形区分(独)防災科学研究所³¹⁾ http://www.j-shis.bosai.go.jp/download 背景地図-地理院地図(電子国土Web)³²⁾ http://maps.gsi.go.jp
				対象範囲周辺の治水地形分類図 無し
				対象範囲周辺の数値地図25000 無し

地震名	海岸名	破壊モード	被災状況
1995年 兵庫県南部 地震	(仮称) 布屋海岸 (大阪府)	堤防の沈下	 出典：大阪府提供資料  出典：大阪府提供資料  地形区分図 布屋海岸(干拓地) 表層地盤-微地形区分((独)防災科学技術研究所⁽³¹⁾) 背景地図-地理院地図(電子国土Web)⁽³²⁾ http://maps.gsi.go.jp  治水地形分類図(国土地理院)⁽³³⁾ http://maps.gsi.go.jp/#6/38.419166/137.548828/&base=std&ls=std%7Ccmf2&disp=11&vs=cj00u0r0  数値地図25000(土地条件図)(国土地理院)⁽³⁴⁾ http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&base=std&ls=std%7Ccm25k_2012&disp=11&lod=cm25k_2012&vs=cj00u0r0d=d=vl
			 工事延長  出典：大阪府提供資料に加筆  出典：大阪府提供資料に加筆

地震名	地名	破壊モード	被災状況	地形区分図
1995年 兵庫県南部 地震	【参考】 ※海岸で はない 淀川 (淀川市) 西島地区 (大阪府)	堤防の沈下	出典：阪神・淡路大震災調査報告 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会³⁵⁾  淀川左岸1.2km付近より上流の写真 出典：同上 口絵写真  断面図(左岸) 出典：同上 p.410 に加算  被害延長：左岸2,300m、右岸 位置図	 西島地区(干拓地)  西島地区(干拓地、盛土地・埋立地)  西島地区(盛土地・埋立地) 表層地盤・微地形区分((独)防災科学技術研究所)³¹⁾ 背景地図-地理院地図(電子国土Web)³²⁾ http://maps.gsi.go.jp http://www.j-shis.bosai.go.jp/download 治水地形分類図(国土地理院)³³⁾ http://maps.gsi.go.jp/#6/38.419166/137.548828/&base=std&ls=std%70cmfc2&disp=11&vs=c1j00u0f0 数値地図25000(土地条件図)(国土地理院)³⁴⁾ http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&base=std&ls=std%70cm25k.2012&disp=11&icd=cm25k.2012&vs=c1j00u0f0&d=vi



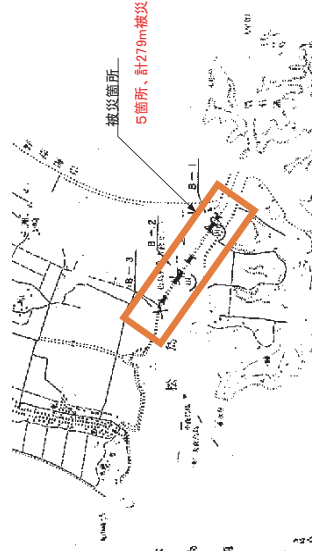
出典:「1978年宮城県沖地震 公共土木施設等被災写真集 宮城県土木部」³⁶⁾ P.51



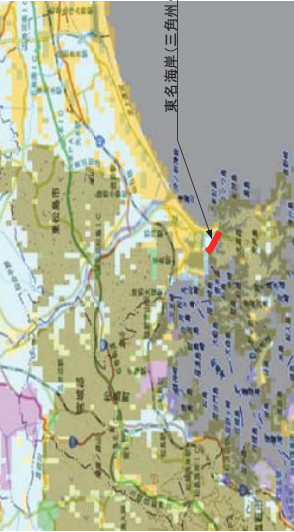
堤防の沈下
天端工、被覆工の
亀裂・破損

1978年
宮城県沖地震
(1978)
東名海岸
(宮城県)

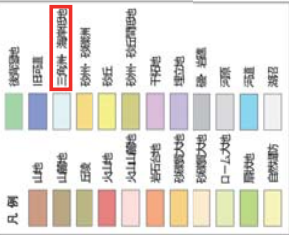
出典:「1978年宮城県沖地震調査報告書 1980年4月
土木学会東北支部1978年宮城県沖地震調査委員会」³⁷⁾ P.97



出典:「1978年宮城県沖地震調査報告書 1980年4月
土木学会東北支部1978年宮城県沖地震調査委員会」³⁷⁾ P.98 (に加筆)



東名海岸(三陸州・海岸低地)

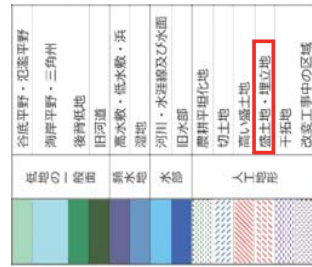


表層地盤-微地形区分((独)防災科学技術研究所)³¹⁾ <http://www.j-shis.bosai.go.jp/download>
背景地図-地理院地図(電子国土Web)³²⁾ <http://maps.gsi.go.jp>

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地				
丘陵	段丘頂			
丘陵	崖(段丘壁)			
丘陵	深い谷			
低地	山地微地形			
低地	扇状地			
低地	河川平野			
低地	扇状地			
低地	河川平野			
低地	扇状地(明瞭)			
低地	旧河床			
低地	旧河床(不明瞭)			
低地	落着			
砂州・砂丘				
人工造成地				
人工造成地	干拓地			
人工造成地	盛土地・埋立地			
人工造成地	切土地			
人工造成地	埋立盛土			

治水地形分類図(国土地理院)³³⁾

<http://maps.gsi.go.jp/#6/38.419166/137.548828/&base=std&ls=std%7Ccmfc2&disp=11&vs=cj00u0f0>



東名海岸(盛土地・埋立地)

数値地図25000(土地条件図)(国土地理院)³⁴⁾ <http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&base=std&ls=std%7Ccm25k.2012&disp=11&lcd=lc25k.2012&vs=cj00u0f0&d=vl>

地震名	地名	破壊モード	被災状況	地形区分図
1964年 青森県 西方沖地震 (同年の新潟 地震の1か月 前の地震)	【参考】 ※海岸で はない (はちろうがた) 八郎潟 干拓地 (秋田県)	堤防の沈下	出典:「昭和39年 新潟地震震害調査報告 1966年6月 土木学会新潟震災調査委員会編」¹³⁾、P.783 被災箇所(西部浄水路堤) 被災延長は 3区間で約7.7km 沈下が著しい ところの沈下量は 1.7m 出典:同上、P.781 に加筆	八郎潟干拓地(干拓地) 表層地盤-微地形区分((独)防災科学技術研究所³¹⁾ http://www.j-shis.bosai.go.jp/download 背景地図-地理院地図(電子国土Web)³²⁾ http://maps.gsi.go.jp ※対象範囲周辺の治水地形分類図 無し ※対象範囲周辺の数値地図25000 無し

海岸堤防の耐震性能照査事例

(1) 高知海岸の事例（設計津波を生じさせる地震動に係る照査の事例）

広域地盤沈下も含めた沈下後天端高と設計津波の水位を比較し、堤防天端の水平変位量、堤防天端と法尻の変位差で構造の安全性を確認した事例である。

高知海岸における堤防照査の考え方

- ① 地震後の堤防高が、設計津波の水位を上回っているかどうか(越流しない)
- ② 地震後に堤防としての機能が保たれているかどうか(堤防法線が連続している)

①、②のどちらかが満足しない場合、地震津波対策が必要

①地震後の堤防高と設計津波の水位との確認方法

沈下後堤防高＝現況堤防高－(液状化沈下量＋地盤変動量)
＞設計津波の水位

- 液状化沈下量($\delta d + \delta u$)
- ・液状化による変形量(δd)= $(\delta Y_A + \delta Y_B + \delta Y_C)/3$
- ・間隙水圧消散に伴う沈下量(δu)

②堤防機能保持の確認方法

②-1 水平変位による確認 (堤体の連続的な健全性確保)

δX_1 または δX_2 の最大値

(護岸の水平変位(護岸における最大値)) $\leq 0.50m$

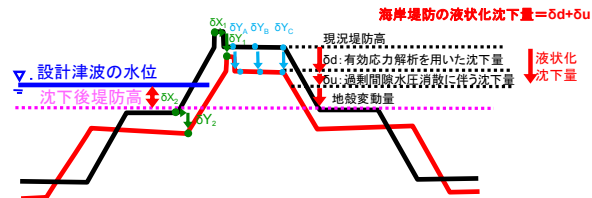
②-2 相対変位による確認 (堤防天端と法尻との変位差による護岸の転倒)

δX 又は δY (護岸の相対変位(堤防天端と法尻の変位差)) $\leq 0.50m$

$$\Delta X = |\delta X_1 - \delta X_2| \leq 0.50$$

$$\Delta Y = |\delta Y_1 - \delta Y_2| \leq 0.50$$

※照査箇所として、確保すべき堤防機能等を各工区毎に確認



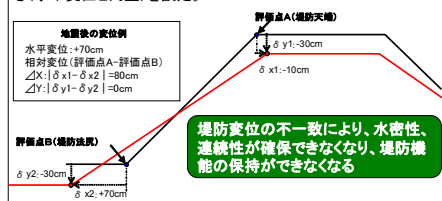
堤防機能保持のための許容変位量の設定根拠

②-1 水平変位の許容変位量 $\leq 0.50m$

○堤防天端又は堤防法尻の水平変位が海岸堤防の護岸厚である50cmを超えると、護岸目地部で護岸厚以上の目違いが発生し、一連堤防としての堤防機能が保持できなくなる

②-2 相対変位の許容変位量(堤防天端と法尻の変位差) $\leq 0.50m$

○地震による堤防変位の挙動は一律でなく、スパン毎の連続性が堤防機能保持としては重要である。堤防天端と法尻との水平および鉛直方向の相対変位により、護岸の滑動状況が把握でき、堤体の安全性を評価できることから、許容値の目安として護岸厚さ(水平変位と同量)を設定。



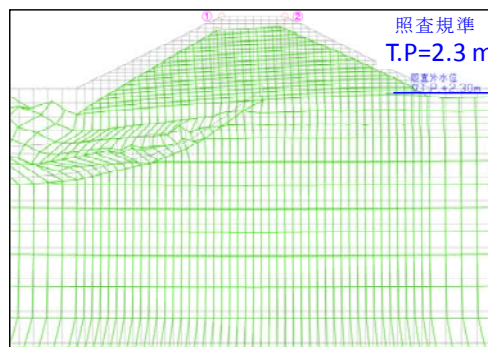
(モデルは剛体変形として扱う)

出典：四国地整提供資料

図-5.4.1 高知海岸の事例

(2) 仙台湾南部海岸の事例

レベル2地震動（直下型）の照査について、照査規準として朔望平均満潮位＋波浪を設定して照査を行った事例である。



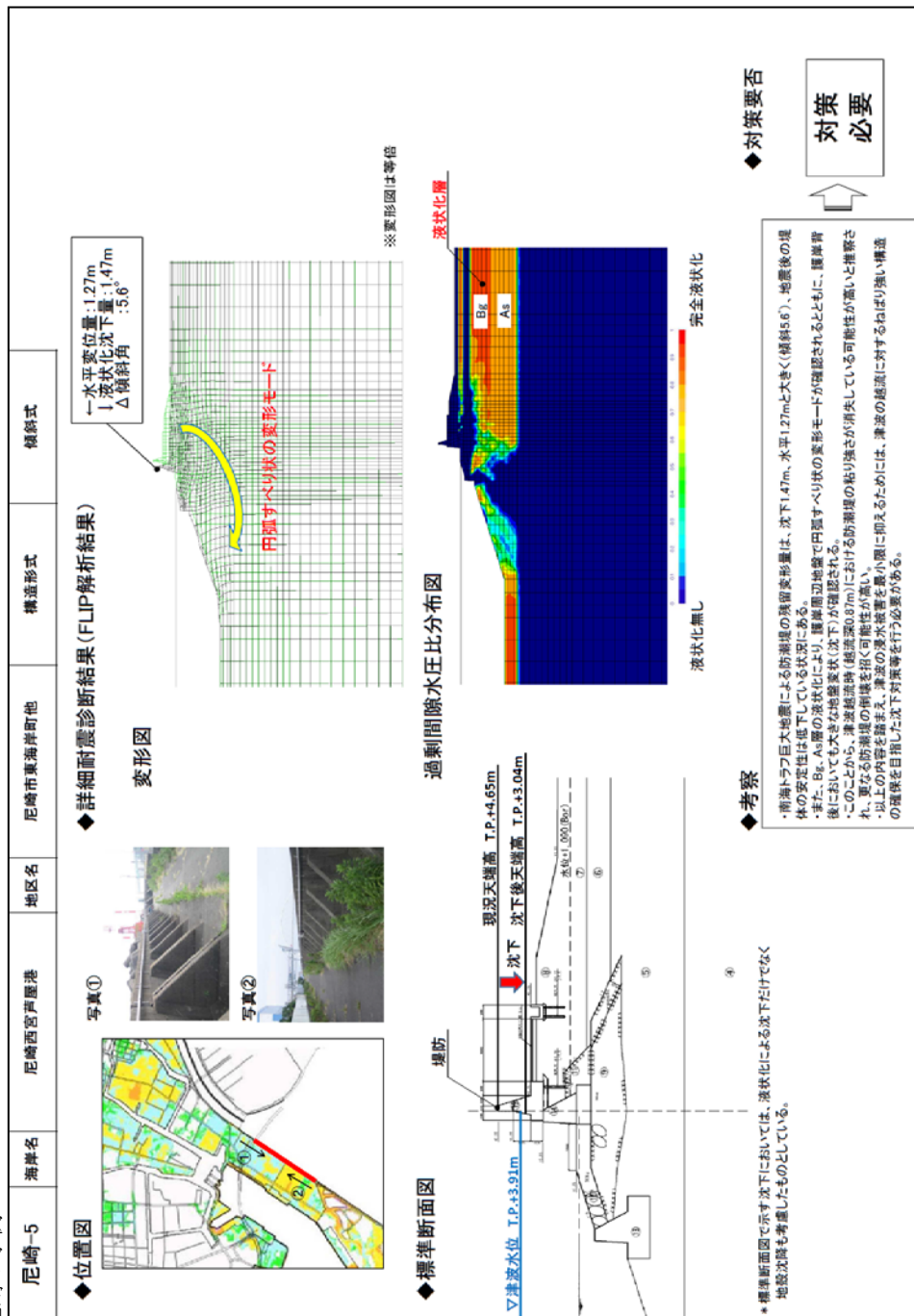
出典：東北地整提供資料

図-5.4.2 仙台湾南部海岸の事例

(3) その他の海岸での F L I P 解析事例

F L I P による解析から、以下の変形図、過剰間隙水圧分布図のほか、せん断ひずみの分布図が出力できる。これらの図は変形メカニズムの把握や対策範囲の検討に必要である。

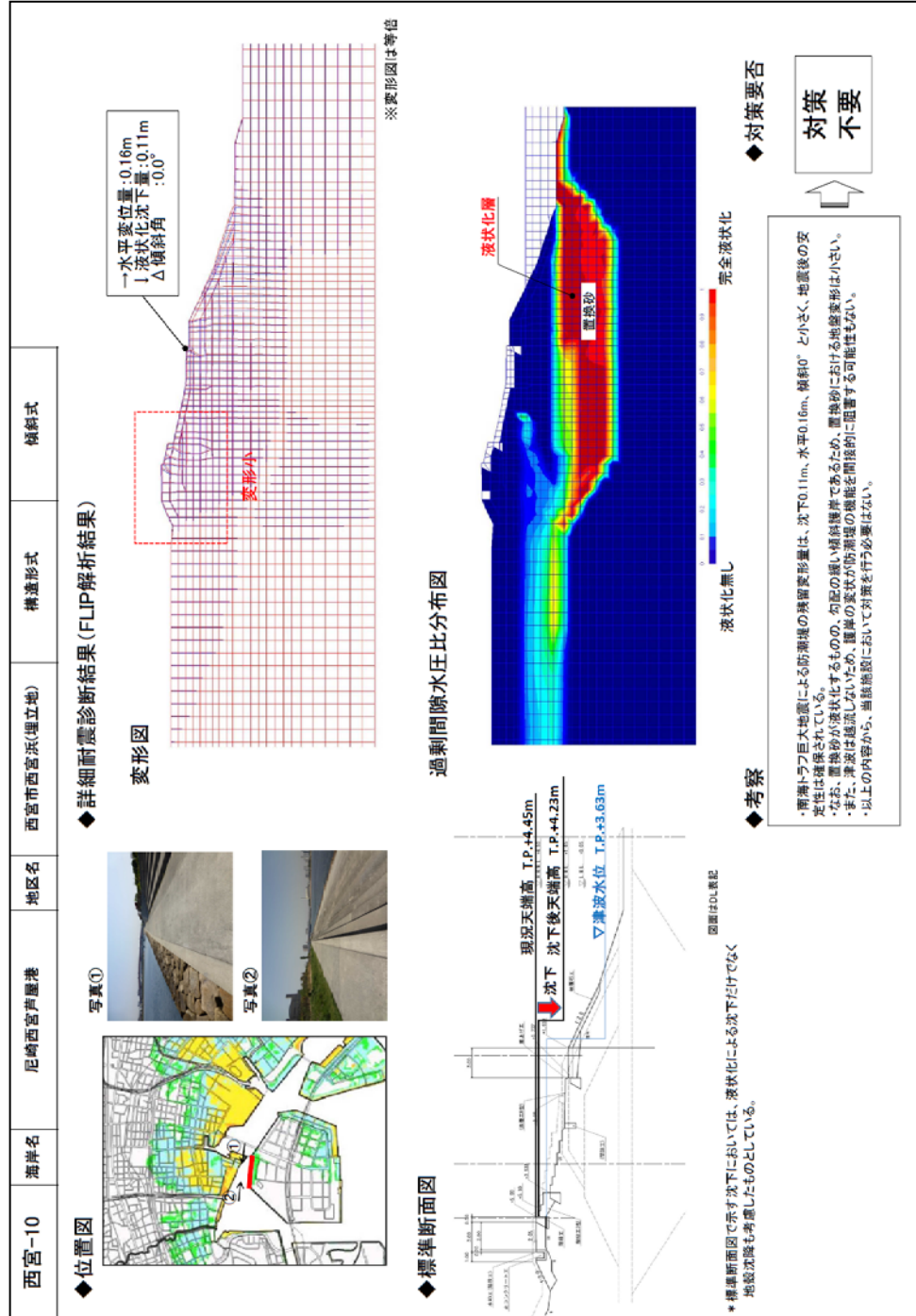
1) 尼崎の事例



出典：兵庫県 防潮堤等の沈下対策に係る詳細検討結果³⁹⁾

図-5.4.3 F L I P 解析事例 (尼崎の事例)

2) 西宮の事例

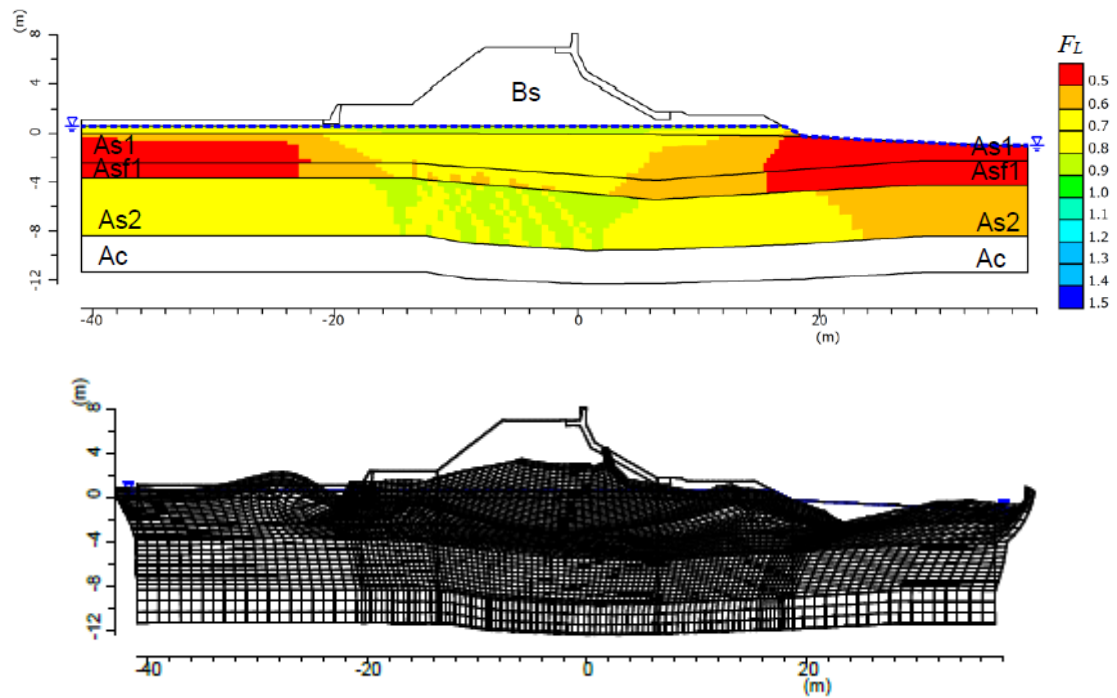


出典：兵庫県 防潮堤等の沈下対策に係る詳細検討結果³⁹⁾

図-5.4.4 F L I P 解析事例 (西宮の事例)

(4) 海岸堤防以外のALID解析事例

ALIDによる解析から、下図のような変形図、FL値分布図のほか、せん断ひずみ分布図を出力することができる。これらの図は変形メカニズムの把握や対策範囲の検討に必要である。



出典：安田ら：液状化に伴う残留変形の静的評価法 (2016)⁴⁰⁾

図-5.4.5 海岸堤防以外のALID解析事例

耐震対策工法の概要

図-5.5.1 に液状化対策の原理と方法、図-5.5.2 に改良工法の概要及び特徴を示す。

このほか、以下の資料も参考となる。

- ・ 国立研究開発法人 土木研究所： 河川堤防の液状化対策の手引き(平成 28(2016)年 3 月 土木研究所資料第 4332 号) ⁹⁾
- ・ (財)沿岸開発技術研究センター 埋立地の液状化対策ハンドブック(1997) ⁴¹⁾

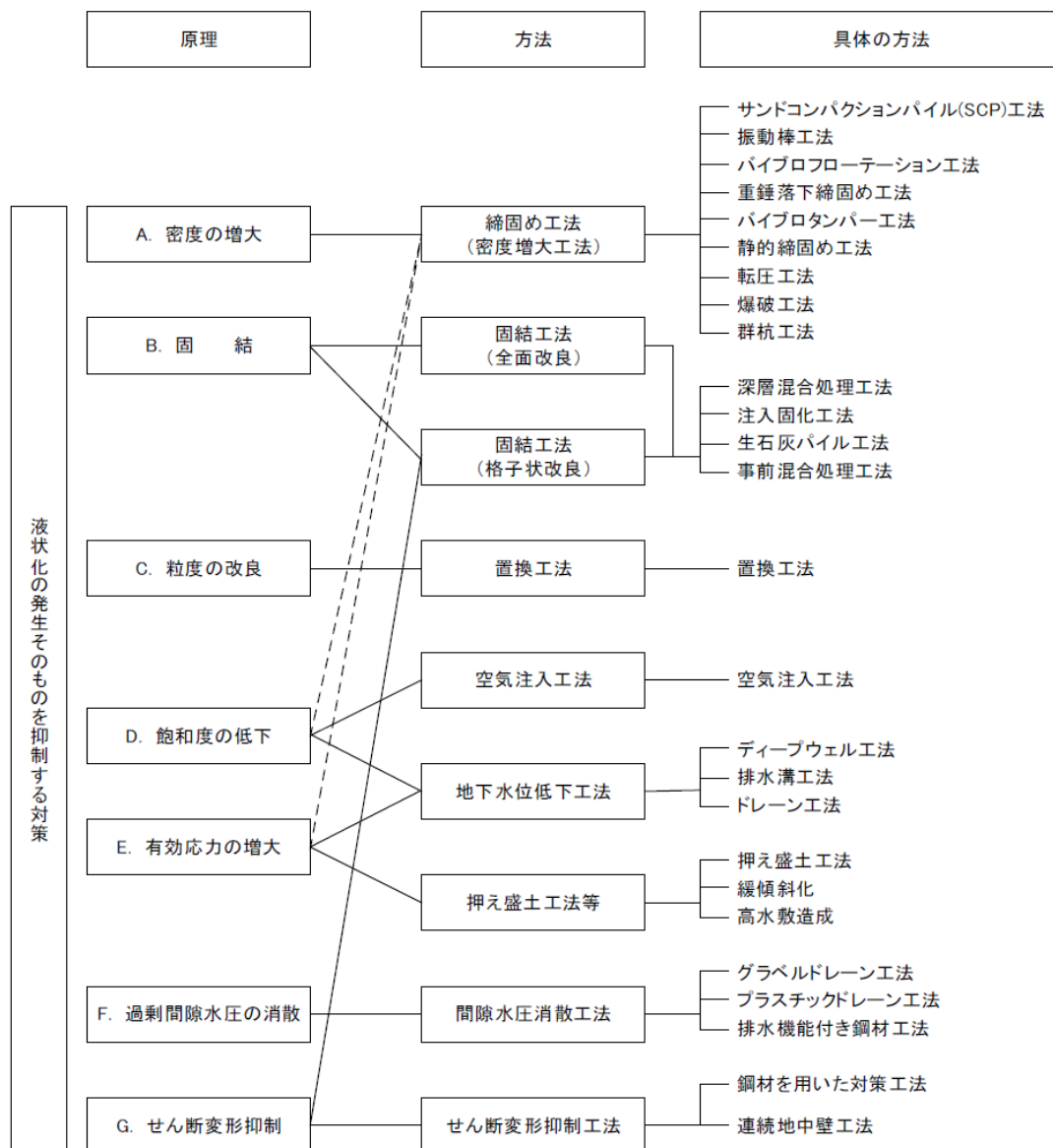


図-5.5.1 液状化対策の原理と方法

(出典：地盤工学実務シリーズ 18 液状化対策工法(地盤工学会) ⁴²⁾)

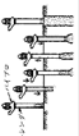
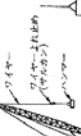
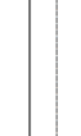
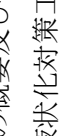
改良原理	工 法 名		工 法 の 概 要		工 法 の 特 徴	周 辺 に 及 ぼ す 影 響	備 考
密 度 の 増 大	工 法	動的締固め	振動ケーシングを半埋置状態の状態で地中に置き、所要の深さに達したところでケーシング内へ砂を入れ、砂を地中に圧入しながらケーシングを引抜き、締め固められたい砂を形成する。このとき、周辺地盤を側方に圧縮するとともに、振動締固めを行う。 (補給材：砂、碎石、再生砕石などのリサイクル材)		・大深さ、高効率化が期待可能。 ・対象地盤に細粒分が多いと、改良後のN値が上昇しにくい。 ・粘性土地盤にも適用可能。	・振動により締め固めるため、周辺地盤連動との間には、一定の距離が必要。 ・近接施工の際には地盤の変位に注意する必要がある。	・細粒分含有率を考慮した設計法もある。 ・ドレーン効果も期待して補給材を砕石にする場合もある。
			強制厚層振動と回転振動装置などを用いて、振動ケーシングを半埋置状態の状態で地中に置き、所要の深さに達した後に材料を繰り出しながら引き抜き、打ち戻しを細かく繰り返して地中によく締った砂層を造成し、周辺地盤を締め固める。 (補給材：砂、碎石、再生砕石などのリサイクル材)		・対象地盤に細粒分が多いと、改良後のN値が上昇しにくい。 ・粘性土地盤にも適用可能。	・周辺への振動・騒音の影響は少ない。 ・近接施工の際には地盤の変位に注意する必要がある。	同上
		振動棒工法	各種の特種圧入ロッドを振動圧入することにより、強い砂質地盤を締め固める工法。その先端および側面の突起には各種のものがある。ケーシングには鋼管あるいはH鋼を使用する。 (補給材：砂、碎石)		・特殊締固め効果を大きくするためロッドに特殊加工が施してある。 ・対象地盤に細粒分が多いと、改良後のN値が上昇しにくい。 ・補給材として現地土砂の使用も可能	・振動・騒音は、サンドコンパクション工法よりやや少ない。 ・近接施工の際には地盤の変位に注意する必要がある。	同上
	大 工 法	重錘落下締固め工法	50～300kNの重り(ハンマー)を自由落下させることにより発生する衝撃力で地盤を締め固める工法。		・細粒分が多いと改良効果が低下する。 ・振動・衝撃が大きいので、影響を受ける構造物が周辺にない場合に使用される。 ・通常は10m以上の改良に用いられることが多い。 ・10m以上の改良には、大重量(250kN以上の)ハンマーによるタンピングが必要	・周辺地盤連動との間には、かなりの距離が必要。	・試験施工にて改良仕様決定。 ・築方方向への改良効果が減少する。
			強力な振動棒とタンパーとの組み合わせにより、表面地盤を締め固める工法。		・表面地盤(3～5m)の締め固めに適する。 埋工量の振動性が高い。	・振動・騒音は比較的小さい。	・施工仕様は締固め試験を参考に、して現場での次下～転圧回数関係より決める。 ・ほかの工法との併用が多い。
		コンパクショングラウチング	流動性の極めて小さいバインドモルタルを地盤中に圧入し、球根状の固結体を連続的に圧入して形成する工法で、この固結体による締固め効果で周辺地盤を圧密強化する工法である。 (補給材：セメントモルタル)		・振動・騒音が主体。 ・騒音は、比較的小さい。	・施工仕様は締固め試験を参考に、して現場での次下～転圧回数関係より決める。 ・ほかの工法との併用が多い。	・施工仕様は締固め試験を参考に、して現場での次下～転圧回数関係より決める。 ・ほかの工法との併用が多い。
	小 工 法	パイプフロプローション工法	パイプフロプロットと呼ばれるパイプローターを内蔵した鋼管を現場/ズリから水を湧き出させるから地中に設置し、所定の深さに達したらパイプローターごと、等を振動させながら徐々に引き上げる。振動によって地盤が締め固められたい地盤、パイプフロプロットの周囲にできたと同時に砂利、氈さい、砂などの粗粒材を流し込む。 (補給材：砂利、氈さい、砂)		・水締め効果も期待できる。 ・対象地盤に細粒分が多いと、改良後のN値が上昇しにくい。	・振動・騒音が主体。 ・騒音は、比較的小さい。	・試験施工にて改良仕様を決定することが多い。 ・比較的深層部を対象とする施工事例が多い。
		転圧工法	棒を打ち込むことにより地盤の締固め効果と相対により相対密度を上昇させる。		・比較的小さな埋工で、強い場所での施工が可能である。	・振動・騒音が小さい。 ・周辺地盤を安定させるため、近接施工においては注意する必要がある。	・施工仕様は、試験施工によって決定する。
		群杭工法	杭を打ち込むことによる地盤の締固め効果と相対によりせん断変形抑制効果を併せもつ。		・状況に応じた設計が可能。	・パイプハンマーの振動・騒音と同じ。	・打込み杭を用いる。
		生石吹込工法	生石灰と水砕スラグ、石こうなどを混合した材料を地盤中にパイプ状に圧入し、パイプ打設時の圧入力と生石灰の影響によりパイプ状の地盤の密度を増大し側方拘束圧を増大する工法。 (補給材：生石灰、水砕スラグ、石こうの混合材)		・粘性土の強度増加についても効果がある。	・振動・騒音は、比較的小さい。 ・相対的に上昇する。	・効果発現まで時間が必要。
密 度 の 増 大	工 法	プレロード工法	盛土などの荷重をあらかじめ載荷し、地盤を通じた状態とすることによって、液状化強度を増加させる工法。		・十分に放置期間が必要。 ・粘性土の強度増加についても効果がある。	・振動・騒音は一般の土工工事と同じ。	・効果発現まで時間が必要。

図-5.5.2 改良工法の概要及び特徴
(出典：地盤工学実務シリーズ 18 液状化対策工法 (地盤工学会) 42))

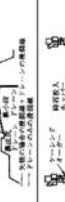
改良原理	工 法 名	工 法 の 概 要	工 法 の 特 徴	周 辺 に 及 ぼ す 影 響	備 考
固 結	固 結 工 法	深層混合処理工法	 固化材と新増土を固結混合し、地盤を固結させる。	・粘土の骨格が結合するため改良部分は流動性が高い。	・粘土状に改良して、せん断変形時の間隙効果を期待する設計法もある。
		薬液注入工法	 弱い砂地盤に薬液を低圧で浸透注入させ、砂地盤の間隙水を薬液に置換して粘着力とせん断強度の増加を図る工法。	・比較的小さな施工機で、狭い場所での施工が可能である。既設構造物直下などの施工ができる。	・振動・騒音は少ない。
		律動混合処理工法	 埋立て土にセメントなどの改良材をあらかじめ混合した改良土をそのまま振動機で振入る。	・埋立てで造成後の地盤改良が不確実。	・今後の設計法の確立が必要。 ・材料の分離防止剤を添加することにより地盤改良が可能。 ・振動機直下の適用。
有 効 効 率 の 増 大	地下水位低下工法	置換工法	 液状化の発生しにくい材料(例えば砕石)で置換する。	・身置けで置換。 ・改良すべき地層が浅くはくはくし、広範囲にわたる場合に用いられる。	・圧入の費用が必要。 ・施工時止水の必要あり。
		ディープウェル工法	 構造物の側面を止水壁で囲い、その内部の地下水位をディープウェルなどにより低下させる。	・構造物直下に対策工が不可能な場合に適用。	・対象構造物の低下を考慮する必要。 ・排水ポンプの維持管理が必要。 ・排水ポンプの維持管理が必要。
		排水工法	 トレンチ構造体を利用し、自然流下により地下水位を低下させる。	・構造物としての排水ポンプを用いなければ、維持管理に要する労力が比較的少ない。	・透水性の大きな地盤では排水工が容易。 ・排水工法としてポンプ排水が必要な場合がある。
間 隙 水 圧 の 抑 制 ・ 消 散	間 隙 水 圧 消 散 工 法	柱状ドレーン	 ケーシングオーガーを所定の位置に回転掘入させた後、砕石を地中に排出させながらケーシングを引き上げ、途中に砕石パイルを造成する。掘削時に発生する過剰間隙水圧の上昇を抑制する。	・低振動・低騒音の施工可能。 ・周辺地盤の地盤変状を発生させないことのできる。既設構造物直下の施工が可能。	・地表面に排水層(グラベルメント)を形成する。 ・アングロワイヤレシステンチウムを考慮した設計法も提案されている。 ・掘削後の残存水圧下の問題がある。 ・施工時に周辺地盤を掘削、締め付けと排水効果を期待する方法もある。
		人工材料のドレーン	 ケーシングを圧入あるいは回転掘入させ人工材料のドレーン材を地中に設置し、地盤中に発生する過剰間隙水圧の上昇を抑制する。	・人工材料を使用するため品質が一定している。 ・低振動・低騒音の施工が可能。 ・施工機械は比較的小型である。	・地表面に排水層(グラベルメント)を形成する。 ・アングロワイヤレシステンチウムを考慮した設計法も提案されている。 ・掘削後の残存水圧下の問題がある。 ・施工時に周辺地盤を掘削、締め付けと排水効果を期待する方法もある。
		周辺掘立てドレーン	 地中構造物の周辺掘削しに砕石・砕石材料を用いて、構造物直下の地盤時の過剰間隙水圧の上昇を抑制し、浮き上がり防止する。	・比較的容易に施工可能。 ・液状化時に浮き上がる可能性のある軽量地下構造物に適用される。	・地中構造物建設時に対策を施す。 ・地盤時の残存水圧下の問題がある。
抑 制 工 法	せん断変形時の間隙水圧の抑制・消散	締固め工・圧密工などの適用	 締固め工もしくは圧密工などを用いて間隙水圧消散工を施工する。	・作用するので周辺に及ぼす影響は比較的小さい。	・作用した場合は効果に関する検討が必要。
		排水量配付き構材	 粘土もしくは土の周辺に排水材を取り付け、地盤時に発生する間隙水圧の上昇を抑制する。	・排水材が、周辺地盤の間隙水圧の上昇を抑制、地盤の過剰水圧を排水する。また、排水材のものは地盤の変形を防ぐことができる。	・水大規模の浸透で効果を確認。 ・地盤時の多い地盤などに適用が限られる。
		連続地中壁	 構造物の外周に剛性の大きい連続地中壁を設置し、せん断変形時の間隙水圧の抑制を図る。	・周辺からの間隙水圧の伝播を遮断する。 ・地盤の変形を抑えることが可能。	・地盤の変形が大きい。 ・地盤時の多い地盤などに適用が限られる。 ・地下水位低下工との併用も考えられる。

図-5.5.2 改良工法の概要及び特徴(つづき)
(出典：地盤工学実務シリーズ 18 液状化対策工法 (地盤工学会) 42)

6. 参考文献

- 1) 農林水産省 農村振興局, 水産庁長官, 国土交通省 水管理・国土保全局長, 港湾局長 : 「海岸保全施設の技術上の基準について」の一部改正について, 平成 27(2015)年 2 月
- 2) 農林水産省農村振興局防災課, 水産庁防災漁村課, 国土交通省水管理・国土保全局海岸室, 港湾局海岸・防災課 事務連絡: 海岸堤防の設計に当たって準用する技術書の基本的な考え方について, 平成 27(2015)年 8 月
- 3) 農林水産省・水産庁・運輸省・建設省: 海岸保全施設耐震点検マニュアル【堤防・護岸・胸壁編】, 平成 7(1995)年 4 月
- 4) 海岸保全施設技術研究会: 海岸保全施設の技術上の基準・同解説, 平成 16(2004)年 6 月
- 5) 国土交通省: 土木・建築にかかる設計の基本, 平成 14(2002)年 10 月
- 6) 井合 進, 菅野高弘, 一井康二: 耐震性能設計に向けて, 土と基礎 51-2 (541), 2003.
- 7) 社団法人 日本道路協会: 道路土工 盛土工指針, 平成 22(2010)年 4 月
- 8) 土木学会: 土木構造物の耐震性能と耐震設計法等に関する第 3 次提言, 平成 12(2000)年 6 月
- 9) 国立研究開発法人 土木研究所: 河川堤防の液状化対策の手引き, 土木研究所資料第 4332 号, 平成 28(2016)年 3 月
- 10) 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室: レベル 1 地震動 (工学的基盤面), <http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html>
- 11) 日本道路協会: 道路橋の耐震設計における動的解析に用いる加速度波形 レベル 1 地震動 (地盤面), <https://www.road.or.jp/dl/tech.html>
- 12) 国土交通省 水管理・国土保全局 治水課: 河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編, 平成 28(2016)年 3 月
- 13) 建設省土木研究所: 河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案), 土木研究所資料第 3513 号, 平成 9(1997)年 10 月
- 14) 農林水産省農村振興局防災課長, 水産庁防災漁村課長, 国土交通省水管理・国土保全局海岸室長, 港湾局海岸・防災課長通知: 設計津波の水位の設定方法等について, 平成 23(2011)年 7 月
- 15) 津波防災地域づくりに係る技術検討会: 津波防災地域づくりに係る技術検討報告書, 平成 24(2012)年 1 月
- 16) 農林水産省農村振興局防災課, 水産庁防災漁村課, 国土交通省水管理・国土保全局海岸室, 港湾局海岸・防災課: 海岸保全施設維持管理マニュアル～堤防・護岸・胸壁の点検・評価及び長寿命化計画の立案～, 平成 26(2014)年 3 月
- 17) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室, 国土技術政策総合研究所海岸研究室: 津波浸水想定の設定の手引き Ver. 2.00, 平成 24(2012)年 10 月
- 18) 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: チャート式耐震診断システム, <http://www.pa.kkr.mlit.go.jp/kobegicyo/gijyutsu/chart103.pdf>
- 19) 国立研究開発法人 土木研究所: 液状化による堤防の沈下量簡易推定法, http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/wf_environment/structure/pdf/ref06.pdf
- 20) 公益社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 平成 24(2012)年 3 月
- 21) 地震調査推進本部: 震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」), 平成 28

(2016)年 6 月

- 22) 野津厚、井合進：岸壁の即時被害推定に用いる地震動指標に関する一考察、第 28 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、pp. 18-19, 2001.
- 23) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川堤防の耐震点検マニュアル，平成 28(2016)年 3 月
- 24) 国土庁防災局震災対策課：液状化地域ゾーニングマニュアル，平成 11(1999)年 1 月
- 25) 国土交通省都市局都市安全課：宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説(案)，平成 25(2013)年 2 月
- 26) 国土地理院防災地理課：治水地形分類図解説書，平成 27(2015)年 8 月
- 27) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第 1 巻，読図の基礎，古今書院，1997.
- 28) ALID 研究会：2 次元液状化流動解析プログラム ALID/Win 第三版，平成 19(2007)年 8 月
- 29) 沿岸技術研究センター：液状化解析プログラム FLIP による動的解析の実務～マルチスプリング要素の実務への適用における検討成果～FLIP 研究会の 14 年間の研究成果【事例編，理論編】，平成 23(2011)年 8 月，
【事例編】<http://flip.or.jp/file/jirei.pdf>，
【理論編】<http://flip.or.jp/file/riron.pdf>
- 30) 千葉県葛南土木事務所：平成 23 年度県単災害関連委託（海岸護岸設計）報告書，2011.
- 31) 防災科学技術研究所：表層地盤-微地形区分，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/download>，
- 32) 国土地理院：地理院地図（電子国土 web），<http://maps.gsi.go.jp>
- 33) 国土地理院防災地理課：治水地形分類図，
http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html
- 34) 国土地理院：数値地図 25000（土地条件図）
http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/lc_index.html
- 35) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会（地盤工学会，土木学会，日本機械学会，日本建築学会，日本地震学会）：阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害 港湾・海岸構造物 河川・砂防関係施設，1997.
- 36) 宮城県土木部：' 78 宮城県沖地震公共土木施設等被災写真集，1979.
- 37) 土木学会東北支部：1978 年宮城県沖地震調査報告書，1980.
- 38) 土木学会新潟震災調査委員会編：昭和 39 年 新潟地震震害調査報告，1966.
- 39) 兵庫県：防潮堤等の沈下対策に係る詳細検討結果，平成 28(2016)年 1 月
<https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks04/chinkataisaku.html?edit=1&mode=preview>
- 40) 安田進，吉田望，安達健司，規矩大儀，石川敬祐：液状化に伴う残留変形の静的評価法，日本地震工学会論文集，第 16 巻，第 10 号，2016.
- 41) 沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック，平成 9(1997)年 8 月
- 42) 地盤工学会：地盤工学実務シリーズ 18 液状化対策工法，平成 23(2011)年 2 月

.....

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 977 July 2017

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

.....

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675