

河川構造物の耐震性能照査指針・解説  
—Ⅳ. 水門・樋門及び堰編—

令和2年2月

(令和2年6月一部追記)

国土交通省水管理・国土保全局治水課



## まえがき

平成24年2月（前回）の改定以降、水門・樋門及び堰の耐震に係る様々な課題について検討を行ってきた結果、その一部について一定の結論が得られたことから、耐震性能照査の合理化に資するため、河川構造物の耐震性能照査指針・解説（以下、指針・同解説）のうち、水門・樋門及び堰に係る部分を改定することとしたものである。

前回の改定は、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、東北地方から関東地方の広範囲にわたって河川堤防に甚大な被災が生じたことを受け、様々な課題がある中でその当時の知見を結集して行ったものであった。これらの課題を含め、今回、水門・樋門及び堰について、一定の知見が得られたため、指針・同解説のI. 共通編とIV. 水門・樋門及び堰編から、水門・樋門及び堰に係る部分を集約し、新たな水門・樋門及び堰編として改定することとした。既に同様の改定を行った堤防については平成28年3月改定の指針・同解説を適用し、水門・樋門及び堰以外の構造物については平成24年2月改定の指針・同解説を適用することとなる。

主な改定項目は、堤防編との整合を図る観点も含め、堤体の液状化の照査方法、液状化判定における細粒分含有率による補正方法、レベル2-1地震動の見直し、繰返し载荷における繰返し回数の影響の見直し、照査方法を選定する際の静的照査法と動的照査法の判断手順の明確化の5つである。

堤体の液状化の照査方法は、基礎地盤の液状化と堤体の液状化を異なる方法で照査することとしていたものを、基礎地盤と堤体の液状化を同じ方法で一体的に照査することとした。

液状化判定における細粒分含有率による補正方法は、東北地方太平洋沖地震で被災した河川堤防において数多くの不攪乱試料を採取し、繰返し三軸試験を実施した結果から得られた、細粒分含有率と繰返し三軸強度比、N値の関係を踏まえたものである。これにより、細粒分が比較的少ない範囲では改定前の式で求めた繰返し三軸強度比とほとんど変わらないが、粘性土に分類されるような細粒分を多く含む土では改定前に比べ大きな繰返し三軸強度比が得られることとなる。

レベル2-1地震動については、関東地震の東京周辺の地震動の加速度応答スペクトルをより高度に推定し、政府機関から公表されている東海地震等の地震動予測結果等、あるいは、東北地方太平洋沖地震や東海地震、東南海地震、南海地震、日向灘地震が連動する場合等も考慮し改定を行った。

曲げ破壊型と判定された門柱・堰柱の許容塑性率を算出する際の安全係数については、最新の知見からレベル2-1地震動とレベル2-2地震動のタイプによる塑性応答変形の繰返し回数の影響は認められないことから見直しを行った。

また、照査法の決定に先立ち、固有値解析により固有振動モードの確認を行うこととし、その結果、動的照査法を適用する際の条件を記載した。

今回の改定は、様々な課題のうちの一部に対応するものであり、全ての課題が解消された訳ではないことから、引き続き、今後の研究・技術開発の進展に応じて適切に対応していくことが必要とされるのは言うまでもない。

本指針の趣旨が正しく理解され、河川構造物の質の高い整備が一層推進されることを期待するものである。



# 目 次

1. 総 則 .....	1
1.1 適用の範囲 .....	1
1.2 用語の定義 .....	2
2. 基本方針 .....	3
2.1 耐震性能の照査の基本 .....	3
2.2 照査に用いる地震動及び耐震性能 .....	4
3. 地震の影響 .....	5
4. 耐震性能の照査に用いる地震動 .....	6
4.1 一 般 .....	6
4.2 レベル1地震動 .....	7
4.3 レベル2地震動 .....	9
4.4 地域別補正係数 .....	12
4.5 耐震性能照査上の地盤種別 .....	15
4.6 耐震性能照査上の地盤面 .....	16
4.7 耐震性能照査上の基盤面 .....	16
5. 耐震性能の照査 .....	17
5.1 一 般 .....	17
5.2 耐震性能の照査方法 .....	17
5.3 耐震性能1に対する水門・樋門及び堰の限界状態 .....	18
5.4 耐震性能2に対する水門・樋門及び堰の限界状態 .....	18
5.5 耐震性能3に対する水門・樋門及び堰の限界状態 .....	19

6. 静的照査法による耐震性能の照査 .....	20
6.1 一般 .....	20
6.2 静的照査法を適用する場合の荷重の算定方法 .....	21
6.2.1 一般 .....	21
6.2.2 慣性力 .....	21
6.2.3 地震時土圧 .....	22
6.2.4 地震時動水圧 .....	23
6.2.5 レベル1地震動の水平震度 .....	24
6.2.6 レベル2地震動の水平震度 .....	26
6.2.7 構造物特性補正係数 .....	29
6.3 液状化の影響 .....	30
6.3.1 一般 .....	30
6.3.2 液状化の判定 .....	31
6.3.3 液状化が生じる土層の取扱い .....	34
6.4 レベル1地震動に対する耐震性能の照査 .....	35
6.4.1 門柱・堰柱の照査 .....	35
6.4.2 基礎の照査 .....	35
6.4.3 ゲートの照査 .....	35
6.4.4 函渠の照査 .....	35
6.5 レベル2地震動に対する耐震性能の照査 .....	36
6.5.1 門柱・堰柱の照査 .....	36
6.5.2 基礎の照査 .....	38
6.5.3 ゲートの照査 .....	39
6.5.4 函渠の照査 .....	39
6.6 堰柱床版の照査 .....	40
参考文献 .....	40



# 1. 総 則

## 1.1 適用の範囲

本編は、水門・樋門及び堰の耐震性能の照査に適用する。

本編の適用の範囲を明らかにしたものである。水門・樋門及び堰以外の、盛土による堤防（高規格堤防は適用対象外）は、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説（平成28年3月）II. 堤防編」を、自立式構造の特殊堤、揚排水機場は、耐震性能の照査に用いる地震動を含め、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説（平成24年2月）I. 共通編、III. 自立式構造の特殊堤編、V. 揚排水機場編」を、それぞれ適用する。

また、図-解1.1.1に示すように、施設としての排水機場を構成する樋門等のように、部材として本編を適用することが相応しい場合があることに留意しなければならない。

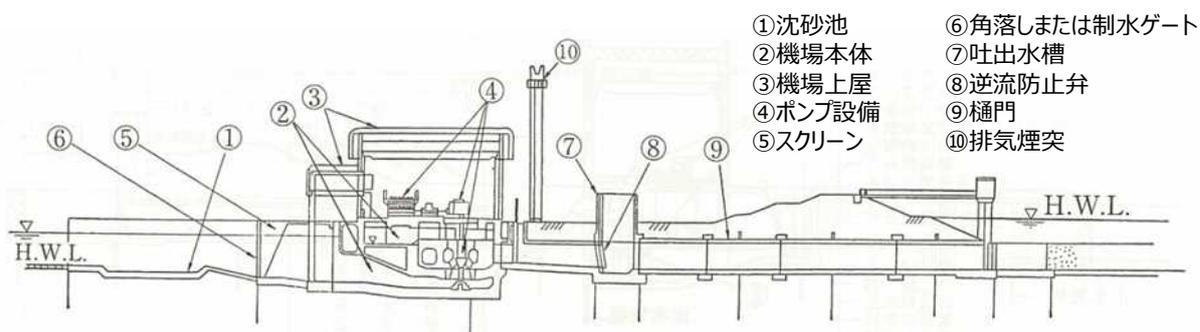


図-解1.1.1 排水機場を構成する部材例（側面図）

なお、本編に規定していない計画、調査、設計、施工、維持管理の事項については、以下に示す「河川砂防技術基準」に依る他、次の資料を参考にしてよい（道路橋示方書の現行版は平成29年11月に出版されたものであるが、本指針においては平成24年3月に出版されたものを適用することが望ましい）。

- 国土交通省河川砂防技術基準・計画編（平成31年3月）
- 国土交通省河川砂防技術基準・調査編（平成26年4月）
- 国土交通省河川砂防技術基準・設計編（令和元年7月部分改定）
- 国土交通省河川砂防技術基準 維持管理編（河川編）（平成27年3月）

- 柔構造樋門設計の手引き（平成10年11月）
- ダム・堰施設技術基準(案)（基準解説編・マニュアル編）（平成28年3月）
- 鋼製起伏ゲート設計要領(案)（平成11年10月）
- ゴム引布製起伏堰技術基準(案)（平成12年10月）
- 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説（平成17年3月）
- 道路橋示方書（Ⅲコンクリート橋編）・同解説（平成24年3月）
- 道路橋示方書（Ⅳ下部構造編）・同解説（平成24年3月）
- 道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（平成24年3月）
- 道路橋示方書・同解説 Ⅴ耐震設計編に関する参考資料（平成27年3月）

## 1.2 用語の定義

本編に用いる用語の定義は、次のとおりとする。

### (1) 水門

堤防を分断することにより河川又は水路を横断して設けられる制水施設であって、堤防の機能を有するもの

### (2) 樋門

堤体内に函渠を挿入することにより河川又は水路を横断して設けられる制水施設であって、堤防の機能を有するもの。なお、本編では、通常樋管と称しているものも樋門に含めて取り扱う。

### (3) 堰

河川の流水を制御するために、河川を横断して設けられるダム以外の施設であって、堤防の機能を有しないもの

### (4) 上部構造

門柱の上に設けられるゲート操作室、ゲート操作台等の構造物

### (5) 函渠

通水のために埋設される函状又は管状の構造物。函渠は、一般に、函体と継手から構成される。

### (6) レベル1 地震動

水門・樋門及び堰の供用期間中に発生する確率が高い地震動

### (7) レベル2 地震動

対象地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動

### (8) 耐震性能

地震の影響を受けた水門・樋門及び堰の性能

### (9) 限界状態

耐震性能を満足し得る水門・樋門及び堰並びに各部材の限界の状態

### (10) 液状化

地震動による間げき水圧の急激な上昇により、飽和した土層がせん断強度を失うこと

### (11) 耐震性能照査上の地盤種別

地震時における地盤の振動特性に応じて、工学的に分類する地盤の種別

### (12) 耐震性能照査上の地盤面

耐震性能の照査において地表面と仮定する地盤面

### (13) 耐震性能照査上の基盤面

対象地点に共通する広がりを持ち、耐震性能の照査上、振動するとみなす地盤の下に存在する十分堅固な土層の上面

### (14) 静的照査法

静的解析を用いて耐震性能の照査を行う方法

### (15) 震度法

構造物の弾性域の振動特性を考慮して、地震の影響を静的な荷重に置き換えて耐震性能の照査を行う方法

### (16) 地震時保有水平耐力法

構造物の塑性域の地震時保有水平耐力や変形性能、エネルギー吸収を考慮して静的に耐震性能の照査を行う方法

### (17) 地震時保有水平耐力

塑性域において地震力を繰返し受けた場合に構造部材が発揮し得る水平耐力

## 2. 基本方針

### 2.1 耐震性能の照査の基本

河川構造物の耐震性能の照査においては、河川構造物の耐震性能及び耐震性能の照査に用いる地震動を適切に設定するとともに、適切な耐震性能の照査方法を用いるものとする。

河川構造物の耐震性能の照査の基本を規定したものである。耐震性能の照査を構成する要素としては、耐震性能、耐震性能の照査に用いる地震動及び耐震性能の照査方法の三者があるが、河川構造物の耐震性能の照査においては、これら三者のいずれについても、適切に設定又は選定する必要がある。

河川構造物に求められる耐震性能は、同種の構造物であっても治水上又は利水上の重要性等により異なる場合もある。また、1つの構造物の中でも、耐震性能の照査の対象となる部分と対象とはならない部分がある場合があるとともに、代替措置の有無に応じて耐震性能の照査を行う場合の限界状態が部材により異なる場合（表-解2.1.1参照）もある。

表-解2.1.1 代替措置の有無に応じた部材の限界状態

求められる耐震性能 (本編2.2参照)	代替措置の有無	部材の限界状態 (本編5.4及び5.5参照)	担保すべき性能
地震後においても、水門・樋門又は堰としての機能を保持する性能 (耐震性能2)	無し	塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形がゲートの開閉を妨げないとともに、函渠の水密性を保持できる範囲内	供用性 (ゲート開閉) 安全性 修復性 水密性 (ゲート全閉時、 函渠)
	有り	塑性化を考慮する部材(※)にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形が当該部材の修復を容易に行い得る範囲内	
地震による損傷が限定的なものにとどまり、水門・樋門又は堰としての機能の回復が速やかに行い得る性能 (耐震性能3)	有り 又は 無し	※：確実にエネルギー吸収を図ることができ、かつ、速やかに修復を行うことが可能な部材	安全性 修復性

耐震性能の照査方法は、構造物の地震時挙動を動学的に解析する動的照査法と地震の影響を静学的に解析する静的照査法に大別される。動的照査法では地震動の時刻歴波形から構造物の地震時挙動を算定したり、加速度応答スペクトルを用いて構造物に生じる最大応答を算定するのに対して、静的照査法では地震の影響を震度として構造物に作用する種々の力を算定したり、構造物の変形を算定することが行われる。動的照査法は、一般に、地震時の現象を精緻にモデル化し、詳細な入力データ及び高度な技術的判断を必要とする。一方、静的照査法は、現象を簡略化して、比較的簡易に実施することが可能である。

耐震性能の照査にあたっては、構造物の地震時挙動、必要とされる精度等を考慮して、適切な照査方法を選定する必要があるが、本編では主として静的照査法について規定している。また、本編6.2では静的照査法を適用する場合の荷重の算定方法を規定している。

また、本編では可能な限り最新の知見を取り入れているが、一方、現時点では指針として規定するためには、十分に解明されていない事項があることも事実である。したがって、過去に地震を経験した河川構造物については、その際の被災状況や被災の程度などを照査や対策に活かすことが重要である。

## 2.2 照査に用いる地震動及び耐震性能

- (1) 水門・樋門及び堰の耐震性能の照査にあたっては、水門・樋門及び堰の供用期間中に発生する確率が高いレベル1地震動と対象地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つレベル2地震動を考慮するものとする。  
ここで、レベル2地震動としては、プレート境界型の大規模な地震を想定したレベル2-1地震動及び内陸直下型地震を想定したレベル2-2地震動の2種類を考慮するものとする。
- (2) 水門・樋門及び堰の耐震性能は、次のとおりとする。
- 1) 耐震性能1  
地震によって水門・樋門又は堰としての健全性を損なわない性能
  - 2) 耐震性能2  
地震後においても、水門・樋門又は堰としての機能を保持する性能
  - 3) 耐震性能3  
地震による損傷が限定的なものにとどまり、水門・樋門又は堰としての機能の回復が速やかに行い得る性能
- (3) レベル1地震動に対しては、すべての水門・樋門及び堰について耐震性能1を確保するものとする。
- (4) レベル2地震動に対しては、治水上又は利水上重要な水門・樋門及び堰については耐震性能2を、また、それ以外の水門・樋門及び堰については耐震性能3を確保するものとする。

(1) レベル1地震動は、河川構造物の供用期間中に発生する確率が高い地震動であり、震度法による従来の耐震設計で考慮されていた地震動のレベルを踏襲するように定めたものである。(社)土木学会「土木構造物の耐震設計ガイドライン(案)」(平成13年9月)でも述べられているように、レベル1地震動の規定に関しては今後の検討が必要とされているところであり、本指針では従来の耐震設計との連続性を確保することに配慮してレベル1地震動を規定した。

レベル2地震動は、(社)土木学会「土木構造物の耐震設計ガイドライン(案)」(平成13年9月)、国土交通省「土木・建築にかかる設計の基本」(平成14年10月)等を参考にして規定したものである。

レベル2-1地震動は大きな振幅が長時間繰返して作用する地震動であるのに対し、レベル2-2地震動は継続時間は短いが構造物の地震応答に対して支配的な影響を及ぼす周期帯域において極めて大きな振幅を有する地震動である。構造物の地震時挙動は、地震動の振幅特性のみならず、周期特性、継続時間、繰返し特性等の影響を受けるため、耐震性能の照査においては、地震動特性が異なる2種類の地震動を考慮することとした。

(2) 水門・樋門は、排水、取水等の機能に加えて、河川の流水が河川外に流出することを防止するという堤防と同等の機能を有する。ただし、水門・樋門は、土構造物である堤防(土堤)とは異なり、損傷の程度によっては速やかな修復が困難になる。また、堰は潮止めや分流といった治水上の機能に加えて、都市用水やかんがい用水等を取水する利水上の機能を有する。堰についても、水門・樋門と同様に、損傷の程度によっては速やかな修復が困難になる。このような水門・樋門及び堰の特性を踏まえて、耐震性能を規定したものである。

(3) レベル1地震動に対しては、従来の耐震設計と同様に、地震後においても機能回復のための修復をすることなく、地震前と同じ機能を保持することができるように、地震によって水門・樋門又は堰としての健全性を損なわない性能を確保することとした。

(4) レベル2地震動に対しては、治水上又は利水上重要な水門・樋門については、地震後においてもゲートの開閉性、ゲート全閉時の水密性、函渠の水密性等の確保が求められることから、地震によりある程度の損傷が生じた場合においても、水門・樋門としての機能を保持できることを必要な耐震性能として規定した。同様に、治水上又は利水上重要な堰については、地震後もゲートの開閉性等の確保が求められることから、地震後においても堰としての機能を保持できることを必要な耐震性能として規定した。一方、前記以外の水門・樋門及び堰については、地震後に水門・樋門又は堰としての機能が応急復旧等により速やかに回復できることを必要な耐震性能として規定した。

### 3. 地震の影響

水門・樋門及び堰の耐震性能の照査においては、地震の影響として、次のものを考慮するものとする。

- (1) 構造物の重量に起因する慣性力
- (2) 地震時土圧
- (3) 地震時動水圧
- (4) 液状化の影響

水門・樋門及び堰の耐震性能の照査において考慮すべき地震の影響の種類を規定したものである。水門・樋門及び堰の門柱・堰柱及びゲートには地震時に慣性力及び地震時動水圧が作用するとともに、周辺土が存在する場合には地震時土圧が作用する。さらに、基礎地盤が液状化した場合には、その影響を受けるため、耐震性能の照査においては、これらの影響を考慮する必要がある。

また、樋門の函渠の地震時挙動は、地形、地盤条件等の種々の要因の影響を受けるが、中でも、堤体及び基礎地盤の影響を強く受ける。特に、基礎地盤が液状化した場合には、液状化に伴う堤体及び基礎地盤の変形が函渠の縦断方向の地震時挙動に大きな影響を及ぼすため、液状化の影響を考慮する必要がある。

なお、設計時に死荷重として積雪荷重を考慮している場合には、構造物の重量として積雪荷重を考慮してよい。

津波荷重については、図-解3.1に示すように、耐震性能に対する限界状態に相当する水平変位の範囲内では、終局水平耐力を超えないことから、来襲が想定される津波波力と終局水平耐力を比較すればよい。

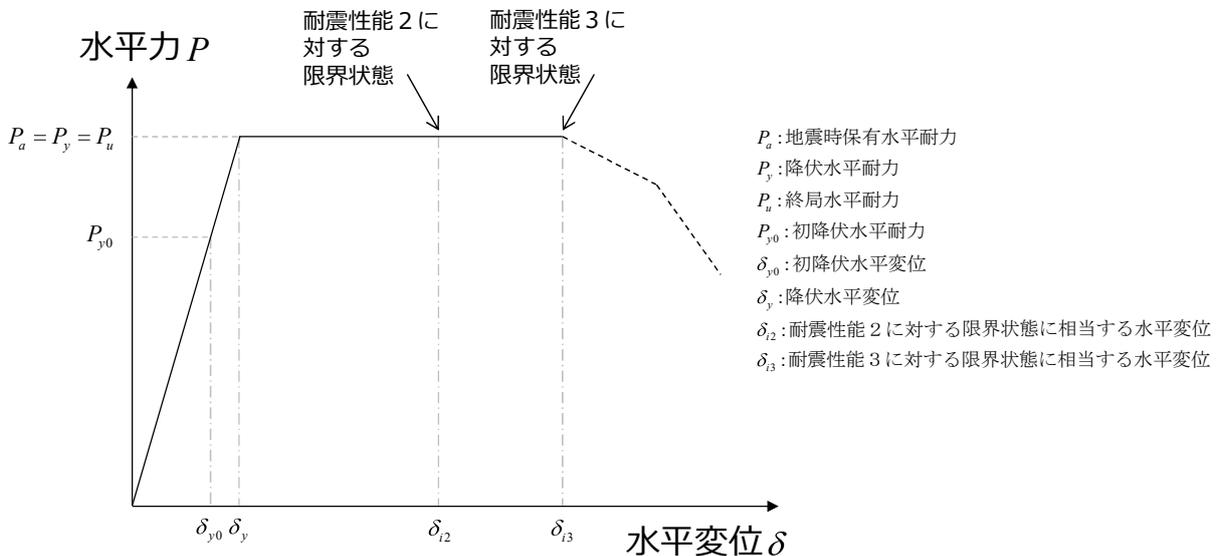


図-解3.1 水平力－水平変位関係と限界状態（曲げ破壊型）

## 4. 耐震性能の照査に用いる地震動

### 4.1 一般

レベル1地震動及びレベル2地震動は、それぞれ、4.2及び4.3の規定により設定するものとする。ただし、レベル2地震動については、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。

レベル1地震動及びレベル2地震動は、それぞれ、4.2及び4.3に規定する加速度応答スペクトルに基づいて設定することとした。レベル1地震動は、従来の耐震設計で考慮されていた地震動のレベルを踏襲するようにしたものであり、4.2に規定するように、標準的な加速度応答スペクトルに各種の補正係数を乗じて算出すればよい。

また、本指針では、レベル2地震動を対象地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動と定義しているが、将来、発生が予想される地震動を適切に推定することは一般的に容易ではない。そこで、4.3では耐震性能の照査に用いる標準的な地震動を規定した。

一方、これを上回る地震動が生じる可能性もあるため、中央防災会議、地震調査研究推進本部、地方自治体等による活断層の調査、断層を特定した上での地震動の評価等を参考に、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レベル2地震動を設定してもよいこととした。

#### 4.2 レベル1地震動

- (1) レベル1地震動は、(2)に規定する加速度応答スペクトルに基づいて設定するものとする。  
 (2) レベル1地震動の加速度応答スペクトルは、原則として、耐震性能照査上の地盤面において与えるものとし、式(4.2.1)により算出するものとする。

$$S=c_z c_D S_0 \dots\dots\dots (4.2.1)$$

ここに、

$S$  : レベル1地震動の加速度応答スペクトル (1cm/s<sup>2</sup>単位に丸める)

$c_z$  : 4.4に規定するレベル1地震動の地域別補正係数

$c_D$  : 減衰定数別補正係数であり、減衰定数 $h$ に応じて、式(4.2.2)により算出するものとする。

$$c_D=1.5/(40h+1)+0.5 \dots\dots\dots (4.2.2)$$

$S_0$  : レベル1地震動の標準加速度応答スペクトル (cm/s<sup>2</sup>) であり、4.5に規定する地盤種別及び固有周期 $T$ に応じて表-4.2.1の値とする。

表-4.2.1 レベル1地震動の標準加速度応答スペクトル $S_0$

地盤種別	固有周期 $T$ (s)に対する $S_0$ (cm/s <sup>2</sup> )		
I種	$T < 0.10$ $S_0 = 431T^{1/3}$ ただし、 $S_0 \geq 160$	$0.10 \leq T \leq 1.10$ $S_0 = 200$	$1.10 < T$ $S_0 = 220/T$
II種	$T < 0.20$ $S_0 = 427T^{1/3}$ ただし、 $S_0 \geq 200$	$0.20 \leq T \leq 1.30$ $S_0 = 250$	$1.30 < T$ $S_0 = 325/T$
III種	$T < 0.34$ $S_0 = 430T^{1/3}$ ただし、 $S_0 \geq 240$	$0.34 \leq T \leq 1.50$ $S_0 = 300$	$1.50 < T$ $S_0 = 450/T$

(1) 耐震性能の照査に用いる地震動の表し方としては、時刻歴波形や加速度応答スペクトル等がある。加速度応答スペクトルは、特定の地震動に対して任意の固有周期及び減衰定数を持つ1自由度系の最大応答加速度として定義され、耐震設計基準類における地震動の表し方として広く用いられている。また、耐震性能の照査において加速度時刻歴波形を用いる場合でも、加速度応答スペクトルを設定した上で、当該加速度応答スペクトルに近い特性を有するように加速度波形を調整する、あるいは、地震動の振幅及び周期特性は加速度応答スペクトルに基づき設定し、経時特性は別途モデル化することにより加速度波形を合成することが行われている。このように、加速度応答スペクトルは地震動の表し方として汎用性を有するものであり、本指針では、耐震性能の照査に用いる地震動を加速度応答スペクトルに基づいて設定することとした。

(2) レベル1地震動の加速度応答スペクトル $S$ は、表-4.2.1に規定する標準加速度応答スペクトル $S_0$ を、地域別補正係数 $c_z$ 及び減衰定数別補正係数 $c_D$ により補正して算出することとした。ここで、 $S$ は水平方向の加速度応答スペクトルである。地震動には水平成分に加えて鉛直成分が含まれるが、鉛直方向の地震動が河川構造物の耐震性に及ぼす影響は一般に小さいため、耐震性能の照査に用いる地震動としては水平成分のみを考慮すればよい。

レベル1地震動は、震度法による従来の耐震設計で考慮されていた地震動のレベルを踏襲したものであり、発生する確率が高い中規模程度の地震による地震動に相当するものである。表-4.2.1を図示すると、図-解4.2.1のようになる。

また、減衰定数別補正係数 $c_D$ は、減衰定数0.05の加速度応答スペクトルを任意の減衰定数 $h$ の加速度応答スペクトルに補正するための係数である。

条文では、耐震性能の照査に用いる地震動の入力位置を4.6に規定する耐震性能照査上の地盤

面とする場合の加速度応答スペクトルを規定した。耐震性能の照査に用いる地震動の入力位置を耐震性能照査上の基盤面とする場合等には、地盤の影響を適切に考慮する必要がある。

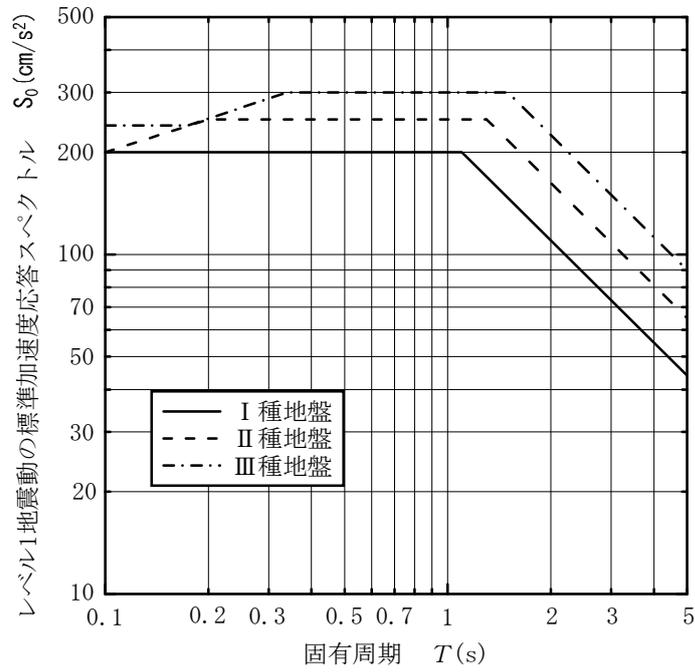


図-解4.2.1 レベル1地震動の標準加速度応答スペクトル $S_0$

### 4.3 レベル2地震動

- (1) レベル2地震動は、(2)に規定する加速度応答スペクトルに基づいて設定するものとする。  
 (2) レベル2地震動の加速度応答スペクトルは、原則として、耐震性能照査上の地盤面において与えるものとし、地震動の種別に応じて、それぞれ、式(4.3.1)及び(4.3.2)により算出するものとする。

$$S_1 = c_{1Z} c_D S_{10} \dots\dots\dots (4.3.1)$$

$$S_2 = c_{2Z} c_D S_{20} \dots\dots\dots (4.3.2)$$

ここに、

$S_1$  : レベル2-1地震動の加速度応答スペクトル (1cm/s<sup>2</sup>単位に丸める)

$S_2$  : レベル2-2地震動の加速度応答スペクトル (1cm/s<sup>2</sup>単位に丸める)

$c_{1Z}$  : 4.4に規定するレベル2-1地震動の地域別補正係数

$c_{2Z}$  : 4.4に規定するレベル2-2地震動の地域別補正係数

$c_D$  : 減衰定数別補正係数であり、減衰定数 $h$ に応じて、式(4.2.2)により算出するものとする

$S_{10}$  : レベル2-1地震動の標準加速度応答スペクトル (cm/s<sup>2</sup>) であり、4.5に規定する地盤種別及び固有周期 $T$ に応じて表-4.3.1の値とする。

$S_{20}$  : レベル2-2地震動の標準加速度応答スペクトル (cm/s<sup>2</sup>) であり、4.5に規定する地盤種別及び固有周期 $T$ に応じて表-4.3.2の値とする。

表-4.3.1 レベル2-1地震動の標準加速度応答スペクトル $S_{10}$

地盤種別	固有周期 $T$ (s)に対する $S_{10}$ (cm/s <sup>2</sup> )		
I種	$T \leq 0.16$ $S_{10} = 2,579T^{1/3}$	$0.16 \leq T \leq 0.60$ $S_{10} = 1,400$	$0.60 < T$ $S_{10} = 840/T$
II種	$T < 0.22$ $S_{10} = 2,153T^{1/3}$	$0.22 \leq T \leq 0.90$ $S_{10} = 1,300$	$0.90 < T$ $S_{10} = 1,170/T$
III種	$T < 0.34$ $S_{10} = 1,719T^{1/3}$	$0.34 \leq T \leq 1.40$ $S_{10} = 1,200$	$1.40 < T$ $S_{10} = 1,680/T$

表-4.3.2 レベル2-2地震動の標準加速度応答スペクトル $S_{20}$

地盤種別	固有周期 $T$ (s)に対する $S_{20}$ (cm/s <sup>2</sup> )		
I種	$T < 0.30$ $S_{20} = 4,463T^{2/3}$	$0.30 \leq T \leq 0.70$ $S_{20} = 2,000$	$0.70 < T$ $S_{20} = 1,104/T^{5/3}$
II種	$T < 0.40$ $S_{20} = 3,224T^{2/3}$	$0.40 \leq T \leq 1.20$ $S_{20} = 1,750$	$1.20 < T$ $S_{20} = 2,371/T^{5/3}$
III種	$T < 0.50$ $S_{20} = 2,381T^{2/3}$	$0.50 \leq T \leq 1.50$ $S_{20} = 1,500$	$1.50 < T$ $S_{20} = 2,948/T^{5/3}$

(1) 耐震性能の照査に用いる地震動の表し方としては、時刻歴波形や加速度応答スペクトル等があるが、レベル1地震動と同様の理由により、レベル2地震動についても耐震性能の照査に用いる地震動を加速度応答スペクトルに基づいて設定することとした。

(2) レベル 2-1 地震動及びレベル 2-2 地震動の加速度応答スペクトル  $S_1$  及び  $S_2$  は、それぞれ、表-4.3.1 及び表-4.3.2 に規定する標準加速度応答スペクトル  $S_{10}$  及び  $S_{20}$  を、地域別補正係数  $c_{1Z}$ 、 $c_{2Z}$  及び減衰定数別補正係数  $c_D$  により補正して算出することとした。ここで、 $S_1$  及び  $S_2$  は、レベル 1 地震動の加速度応答スペクトル  $S_0$  と同様に、いずれも、水平方向の加速度応答スペクトルである。

レベル 2-1 地震動は、発生頻度が低いプレート境界で発生する大規模な地震を想定した地震動を与えるものである。従来、標準加速度応答スペクトルの最大値は、地盤種別に応じて  $700\text{cm/s}^2$ 、 $850\text{cm/s}^2$ 、 $1000\text{cm/s}^2$  だったものを、今回の改定では  $1400\text{cm/s}^2$ 、 $1300\text{cm/s}^2$ 、 $1200\text{cm/s}^2$  としている。関東地震の東京周辺の地震動の加速度応答スペクトルをより高度に推定し、政府機関から公表されている東海地震等の地震動予測結果等も踏まえ、規定された<sup>1)</sup>ものである。

一方、レベル 2-2 地震動は、発生頻度が極めて低いマグニチュード 7 級の内陸直下型地震を想定した地震動を与えるものである。レベル 2-2 地震動についても、これまでに最大規模の被害を引き起こした地震として平成 7 年兵庫県南部地震を考慮し、同地震により地盤上で実測された加速度強震記録に基づき、レベル 2-2 地震動の標準加速度応答スペクトル  $S_{20}$  を定めることとした。兵庫県南部地震では、神戸海洋気象台（Ⅰ種地盤）、JR 西日本鷹取駅（Ⅱ種地盤）、東神戸大橋周辺地盤上（Ⅲ種地盤）等において加速度が大きく構造物に破壊的な影響を与えた地震動が観測されており、これらの加速度応答スペクトルを計算し、特別に大きなピークは平滑化して求めた加速度応答スペクトルがレベル 2-2 地震動の標準加速度応答スペクトル  $S_{20}$  である。

表-4.3.1 及び表-4.3.2 を図示すると、それぞれ、図-解 4.3.1 及び図-解 4.3.2 のようになる。

条文に規定するレベル 2 地震動の加速度応答スペクトルの入力位置は、4.6 に規定する耐震性能照査上の地盤面とした。したがって、耐震性能の照査に用いる地震動の入力位置を耐震性能照査上の基盤面とする場合等には、地盤の影響を適切に考慮する必要がある。

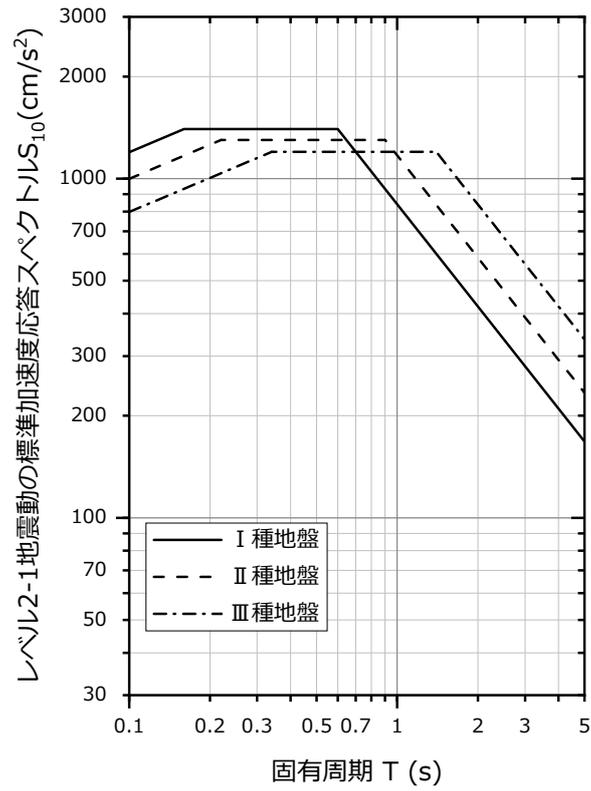


図-解4.3.1 レベル2-1地震動の標準加速度応答スペクトル $S_{10}$

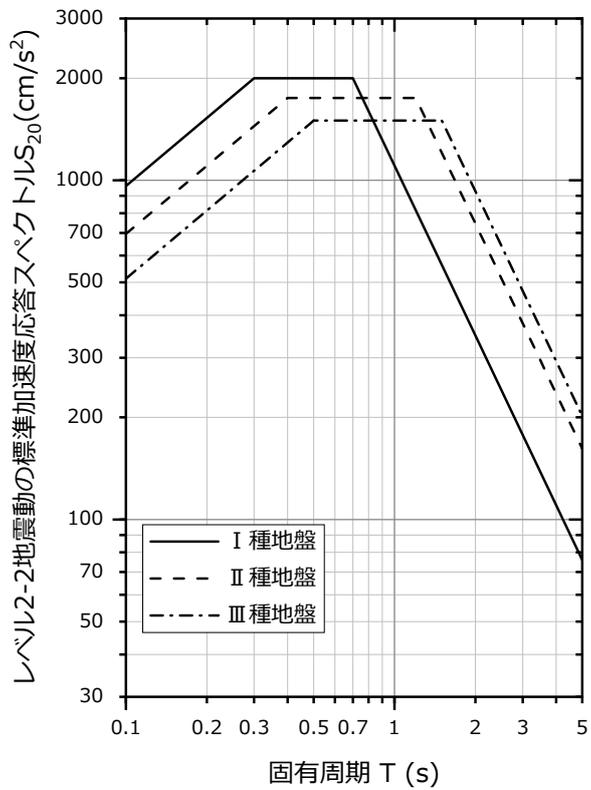


図-解4.3.2 レベル2-2地震動の標準加速度応答スペクトル $S_{20}$

#### 4.4 地域別補正係数

地域別補正係数 $c_Z$ 、 $c_{1Z}$ 、 $c_{2Z}$ は、地域区分に応じて表-4.4.1の値とする。ただし、対象地点が地域区分の境界線上にある場合は、係数の大きい方をとらなければならない。

また、地域区分の対象地域は表-4.4.2とする。

表-4.4.1 地域別補正係数

地域区分	$c_Z$	$c_{1Z}$	$c_{2Z}$
A1	1.0	1.2	1.0
A2	1.0	1.0	1.0
B1	0.85	1.2	0.85
B2	0.85	1.0	0.85
C	0.7	0.8	0.7

表-4.4.2 地域区分と対象地域

地域 区分	地域別補正係数			対象地域
	c <sub>z</sub>	c <sub>1z</sub>	c <sub>2z</sub>	
A1	1.0	1.2	1.0	<p>千葉県のうち館山市、木更津市、勝浦市、鴨川市、君津市、富津市、南房総市、夷隅郡、安房郡                      神奈川県                      山梨県のうち富士吉田市、都留市、大月市、上野原市、西八代郡、南巨摩郡、南都留郡                      静岡県                      愛知県のうち名古屋市のうち豊橋市、半田市、豊川市、津島市、刈谷市、西尾市、蒲郡市、常滑市、                      稲沢市、新城市、東海市、大府市、知多市、豊明市、田原市、愛西市、清須市、弥富市、あま                      市、海部郡、知多郡、額田郡、北設楽郡のうち東栄町                      三重県（津市、松阪市、名張市、亀山市、いなべ市、伊賀市、三重郡菰野町を除く。）                      和歌山県のうち新宮市、西牟婁郡、東牟婁郡                      徳島県のうち那賀郡、海部郡</p>
A2	1.0	1.0	1.0	A1, B1, B2, C 地域以外の地域
B1	0.85	1.2	0.85	<p>愛媛県のうち宇和島市、北宇和郡、南宇和郡                      高知県（B2 地域に掲げる地域を除く。）                      宮崎県のうち延岡市、日向市、児湯郡（西米良村及び木城町を除く。）、東臼杵郡のうち門川                      町</p>
B2	0.85	1.0	0.85	<p>北海道のうち札幌市、函館市、小樽市、室蘭市、北見市、夕張市、岩見沢市、網走市、苫小牧                      市、美唄市、芦別市、江別市、赤平市、三笠市、千歳市、滝川市、砂川市、歌志内市、深川市、                      富良野市、登別市、恵庭市、伊達市、北広島市、石狩市、北斗市、石狩郡、松前郡、上磯郡、亀                      田郡、茅部郡、二世郡、山越郡、檜山郡、爾志郡、奥尻郡、瀬棚郡、久遠郡、島牧郡、寿都郡、                      磯谷郡、虻田郡、岩内郡、古宇郡、積丹郡、古平郡、余市郡、空知郡、夕張郡、樺戸郡、雨竜                      郡、上川郡（上川総合振興局）のうち東神楽町、上川町、東川町及び美瑛町、勇払郡、網走郡、                      斜里郡、常呂郡、有珠郡、白老郡                      青森県のうち青森市、弘前市、黒石市、五所川原市、むつ市、つがる市、平川市、東津軽郡、西                      津軽郡、中津軽郡、南津軽郡、北津軽郡、下北郡                      秋田県、山形県                      福島県のうち会津若松市、郡山市、白河市、須賀川市、喜多方市、岩瀬郡、南会津郡、耶麻郡、                      河沼郡、大沼郡、西白河郡                      新潟県                      富山県のうち魚津市、滑川市、黒部市、下新川郡                      石川県のうち輪島市、珠洲市、鳳珠郡                      鳥取県のうち米子市、倉吉市、境港市、東伯郡、西伯郡、日野郡                      島根県、岡山県、広島県                      徳島県のうち美馬市、三好市、美馬郡、三好郡                      香川県のうち高松市、丸亀市、坂出市、善通寺市、観音寺市、三豊市、小豆郡、香川郡、綾歌                      郡、仲多度郡                      愛媛県（B1 地域に掲げる地域を除く。）                      高知県のうち長岡郡、土佐郡、吾川郡（いの町のうち旧伊野町の地区を除く。）                      熊本県（C 地域に掲げる地域を除く。）                      大分県（C 地域に掲げる地域を除く。）                      宮崎県（B1 地域に掲げる地域を除く。）</p>
C	0.7	0.8	0.7	<p>北海道のうち旭川市、留萌市、稚内市、紋別市、士別市、名寄市、上川郡（上川総合振興局）の                      うち鷹栖町、当麻町、比布町、愛別町、和寒町、剣淵町及び下川町、中川郡（上川総合振興                      局）、増毛郡、留萌郡、苫前郡、天塩郡、宗谷郡、枝幸郡、礼文郡、利尻郡、紋別郡                      山口県、福岡県、佐賀県、長崎県                      熊本県のうち荒尾市、水俣市、玉名市、山鹿市、宇土市、上天草市、天草市、玉名郡、葦北郡、                      天草郡                      大分県のうち中津市、豊後高田市、杵築市、宇佐市、国東市、東国東郡、速見郡                      鹿児島県（奄美市及び大島郡を除く。）                      沖縄県</p>

地震動強度の地域特性については、建設省総合技術開発プロジェクト「新耐震設計法の開発」(昭和47～51年度)において詳細な検討が行われ、その結果は新耐震設計法(案)における地域区分図としてまとめられている。その後の多くの耐震設計基準類では、地震動強度の地域特性として新耐震設計法(案)による地域区分を基礎としている。今回の改定でも、レベル2-2地震動で用いる地域別補正係数 $c_{22}$ は、従来の強震帯地域(A1,A2)、中震帯地域(B1,B2)、弱震帯地域(C)と同じ地域で同じ係数を規定した。一方、レベル2-1地震動に関しては、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震、北海道の太平洋沖の地震動が連動する場合や、東海地震、東南海地震、南海地震及び『日向灘地震』が連動する場合などの大規模な地震の震源域が連動する影響も考慮し、レベル2-1地震動で用いる地域別補正係数 $c_{12}$ を規定した<sup>1)</sup>。

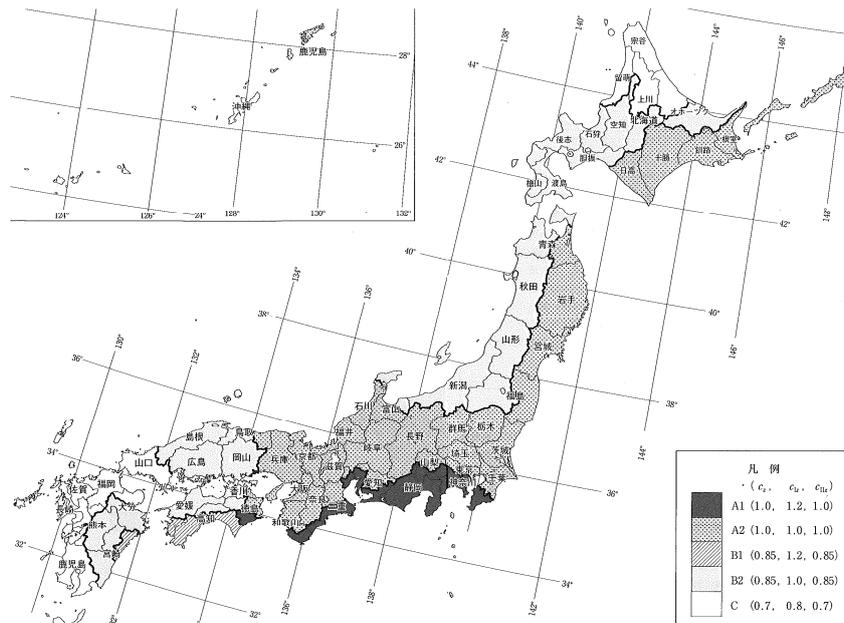


図-解4.4.1 表-4.4.1及び表-4.4.2に示す地域別補正係数

#### 4.5 耐震性能照査上の地盤種別

耐震性能照査上の地盤種別は、原則として、式(4.5.1)により算出する地盤の特性値 $T_G$ をもとに、表-4.5.1により区分するものとする。ただし、地表面が耐震性能照査上の基盤面と一致する場合はⅠ種地盤とするものとする。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \dots\dots\dots (4.5.1)$$

ここに、

$T_G$ ：地盤の特性値(s)

$H_i$ ：i番目の土層の厚さ(m)

$V_{si}$ ：i番目の土層の平均せん断弾性波速度(m/s)

i：当該地盤が地表面から耐震性能照査上の基盤面までn層に区分されるときに地表面からi番目の土層の番号

表-4.5.1 耐震性能照査上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値 $T_G$ (s)
Ⅰ種	$T_G < 0.2$
Ⅱ種	$0.2 \leq T_G < 0.6$
Ⅲ種	$0.6 \leq T_G$

地表面における地震動特性は地盤条件の影響を受けることが知られており、耐震性能照査上の地盤種別はそれを考慮するために規定したものである。概略の目安としては、Ⅰ種地盤は良好な洪積地盤及び岩盤、Ⅲ種地盤は沖積地盤のうち軟弱地盤、Ⅱ種地盤はⅠ種地盤及びⅢ種地盤のいずれにも属さない洪積地盤及び沖積地盤と考えてよい。洪積地盤及び沖積地盤は、それぞれ、主として洪積層及び沖積層から構成される地盤であるが、ここでいう沖積層には、がけ崩れ等による新しい堆積層、表土、埋立土及び軟弱層を含み、沖積層のうち締まった砂層、砂れき層、玉石層等については洪積層として取り扱ってよい。

地盤種別は、建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編(平成9年10月)と同様に、地盤の特性値 $T_G$ により区分するものとした。地盤の特性値 $T_G$ は、微小ひずみ振幅領域における地盤の基本固有周期に相当するものであるが、レベル2地震動といった強震動の特性も地盤の周期特性に強く影響を受け、また、工学的に簡便に算出することができるため、本指針ではレベル2地震動についても地盤条件を区分するために $T_G$ を用いることとした。

平均せん断弾性波速度 $V_{si}$ は、弾性波探査やP S検層によって測定するのが望ましいが、実測値がない場合は式(解4.5.1)によってN値から推定してもよい。この場合のN値は各層の平均的なN値で代表し、むやみに計算を繁雑にする必要はない。

粘性土層の場合

$$V_{si} = 100N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25)$$

砂質土層の場合

$$V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{si} = 100N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25) \\ V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (解4.5.1)$$

ここに、

$N_i$ ：標準貫入試験によるi番目の土層の平均N値

式(解4.5.1)は、粘性土層については $N=1 \sim 25$ の範囲、砂質土層については $N=1 \sim 50$ の範囲での実験値から導いた推定式である。なお、N値が0の場合は $V_{si}=50\text{m/s}$ としてよい。

#### 4.6 耐震性能照査上の地盤面

耐震性能照査上の地盤面は、長期にわたり安定して存在し、地盤抵抗が期待できる地盤の上面とするものとする。ただし、地震時に地盤抵抗が期待できない土層がある場合には、その影響を考慮して耐震性能照査上の地盤面を適切に設定するものとする。

耐震性能照査上の地盤面とは、4.2および4.3に規定するレベル1地震動及びレベル2地震動の加速度応答スペクトルの設定位置であり、その面より上方の部分には地震力を作用させるが、その面よりも下方の部分には地震力を作用させないという耐震性能照査上仮定する地盤面のことである。また、耐震性能照査上の地盤面より下方の地盤については地盤抵抗を期待することができる。ただし、地表面から3m以内の深さにある粘土層及びシルト層で、一軸圧縮試験又は原位置試験により推定される一軸圧縮強度が $20\text{kN/m}^2$ 以下の土層であるごく軟弱な土層、又は6.3.2の規定により液状化が生じると判定された土層で地盤抵抗が期待できない土層がある場合には、耐震性能照査上の地盤面はその土層の下面に設定するものとする。

#### 4.7 耐震性能照査上の基盤面

耐震性能照査上の基盤面は、対象地点周辺に広がりを持ち、工学的に十分堅固な土層の上面とするものとする。

耐震性能照査上の基盤面としては、対象地点周辺に広がりを持ち、耐震性能の照査上、振動するとみなす地盤の下に存在する十分堅固な土層の上面を想定することとした。ここで、十分堅固な土層とは、せん断弾性波速度 $300\text{m/s}$ 程度（式(解4.5.1)より、粘性土層ではN値25、砂質土層ではN値50）以上の値を有している剛性の高い土層と考えてよい。なお、大深度地下構造物の耐震設計、また、断層モデルを用いた地震動の推定等においては、基盤面として前記よりも堅硬な地層の上面を想定する場合もあるが、一般に、河川構造物の地震時挙動には比較的浅部の表層地盤が大きな影響を及ぼすため、前記のように規定した。

## 5. 耐震性能の照査

### 5.1 一般

- (1) 水門・樋門及び堰の耐震性能の照査にあたっては、5.3から5.5までに規定する水門・樋門及び堰の限界状態に基づき、各部材の限界状態を適切に設定するものとする。
- (2) 水門・樋門及び堰の耐震性能の照査は、耐震性能の照査に用いる地震動によって生じる各部材の状態が、(1)の規定により設定した当該部材の限界状態を超えないことを照査することにより行うものとする。

(1) 水門・樋門及び堰の耐震性能の照査では、水門・樋門及び堰の限界状態に基づき、塑性化を考慮する部材や部位を選定するとともに、個々の部材の限界状態を適切に設定する必要があることを規定したものである。

(2) 水門・樋門及び堰の耐震性能の照査は、耐震性能の照査に用いる地震動が作用したときに、水門・樋門及び堰を構成する各部材に生じる状態が当該部材の限界状態を超えないことを照査することにより行うものとした。

### 5.2 耐震性能の照査方法

水門・樋門及び堰の耐震性能の照査は、耐震性能の照査に用いる地震動並びに水門・樋門及び堰の限界状態に応じて、適切な方法に基づいて行うものとする。ただし、一般には、6. に規定する静的照査法により耐震性能の照査を行えば、本規定を満足するとみなしてよい。

耐震性能の照査方法は、構造物の地震時挙動を動学的に解析する動的照査法と地震の影響を静学的に解析する静的照査法に大別される。水門・樋門及び堰の門柱・堰柱は、一般に、橋脚に類似した比較的単純な構造物であり、地震時には1次振動モードが卓越し、また、主たる塑性化の生じる部位が明確である。樋門の函渠の地震時挙動は、主として、堤体及び基礎地盤の地震時変形に支配されるが、堤体及び基礎地盤の地震時変形は、静的解析法により算定することが可能である。したがって、水門・樋門及び堰については、一般に、静的照査法により耐震性能の照査を行うことが可能なため、条文のように規定した。

ただし、剛性や質量が極端に異なる部材で構成された複雑な施設の場合や施設形状が左右非対称である場合、振動単位内で地盤条件が著しく異なる場合等の理由により、必ずしも1次振動モードが卓越せずに高次振動モードが卓越する場合や2次以上の次数の固有周期が比較的大きい場合、または、2次以降のモードの有効質量比が比較的大きい場合や主たる塑性化の生じる部位が明確ではない場合等には、構造物全体を1自由度系と置き換えることが困難となるため、動的照査法を用いて耐震性能の照査を行う必要がある。そのために、照査法の決定に先立ち、1次固有周期に加え、2次以降の固有周期や各モードのモードベクトルが得られる固有値解析を実施し、固有振動モード（固有周期）の確認を行うものとする。

### 5.3 耐震性能1に対する水門・樋門及び堰の限界状態

耐震性能1に対する水門・樋門及び堰の限界状態は、原則として、各部材の力学特性が弾性域を超えない範囲内で適切に定めるものとする。

耐震性能1に対する水門・樋門及び堰の限界状態は、地震後においても機能回復のための修復をすることなく、地震前と同じ水門・樋門又は堰としての機能を保持することができるように定めたものである。耐震性能1に対する水門・樋門及び堰の限界状態は、原則として、各部材の力学特性が弾性域を超えない限界の状態とすればよい。ここで、部材の力学特性が弾性域を超えない限界の状態とは、一般に、部材のコンクリート又は鋼材に生じる応力度が許容応力度となる状態としてよい。

なお、許容応力度の値は、国土交通省河川砂防技術基準・設計編（令和元年7月部分改定）に従うものとする。

### 5.4 耐震性能2に対する水門・樋門及び堰の限界状態

耐震性能2に対する水門・樋門及び堰の限界状態は、塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形がゲートの開閉を妨げないとともに、ゲート全閉時の水密性や函渠の水密性を保持できる範囲内になるよう適切に定めるものとする。

耐震性能2に対する水門・樋門及び堰の限界状態は、地震後においても水門・樋門又は堰としての機能を保持できるよう、塑性化を考慮する部材と塑性化を考慮しない部材を明確に区別し、地震時においては、塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じるようにした上で、生じる損傷がゲートの開閉を妨げないとともに、ゲート全閉時の水密性や函渠の水密性を保持できる程度までに抑えられるように定めたものである。門柱・堰柱について塑性化を考慮する部材としては、一般には、門柱が該当する。また、ゲートの開閉を妨げない程度の損傷とは、一般に、門柱の水平耐力が低下し始める前の状態及び早期の修復が可能な残留変位が生じた状態よりも余裕を持った状態となる。

門柱・堰柱の基礎の限界状態は副次的な塑性化にとどまる限界の状態とする。これは、基礎全体として修復が困難となる損傷が生じないように必要な耐力及び剛性を確保することとするが、基礎を構成する一部の部材に塑性化を考慮するためである。なお、堰柱床版は、堰柱に作用する地震力を基礎に確実に伝達させる部材であるため、その限界状態は力学的特性が弾性域を超えない限界の状態とする。

また、ゲートの限界状態は、ゲートに損傷が生じた場合でもゲート開閉が可能な限界の状態とする。これは、門柱の場合と同様に、地震後においても水門・樋門又は堰としての機能を保持できるようにするためである。ただし、角落し等により、地震後においても水門・樋門又は堰としての機能を確実に保持することができる場合には、ゲートの限界状態は5.5に規定する耐震性能3に対する限界状態とすることができる。

樋門の函渠の限界状態は水密性を保持できる範囲内で適切に定めることとしたが、函体の限界状態は函体の耐力が低下し始める限界の状態とする。これは函体の耐力が低下し始める限界よりも前の状態であれば、一般に、その函体が保有する塑性変形性能を超えない状態となるためである。また、継手の限界状態は、継手に過大な変形や損傷が生じない限界の状態とする。なお、函渠の限界状態は、函渠の縦断方向（堤防の地震時変形卓越している堤防横断方向）を対象とするものである。

### 5.5 耐震性能3に対する水門・樋門及び堰の限界状態

- (1) 耐震性能3に対する水門・樋門及び堰の限界状態は、塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形が当該部材の修復を容易に行い得る範囲内になるよう適切に定めるものとする。
- (2) 塑性化を考慮する部材としては、確実にエネルギー吸収を図ることができ、かつ、速やかに修復を行うことが可能な部材を選定するものとする。

(1) 耐震性能3に対する水門・樋門及び堰の限界状態は、水門・樋門又は堰としての機能の回復が速やかに行えるようにするために、塑性化を考慮する部材と塑性化を考慮しない部材を明確に区別し、地震時においては、塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じるようにした上で、生じる損傷が修復を容易に行い得る程度までに抑えられるように定めたものである。

(2) 塑性化により確実にエネルギー吸収ができ、損傷の発見が容易であり、かつ、その修復が容易に行い得る部材としては、一般には、門柱が該当する。門柱に塑性化を考慮する場合、門柱の限界状態は損傷の修復を容易に行い得る限界の状態とする。これは、水門・樋門又は堰としての機能の回復を速やかに行うために、一般に水平耐力が低下し始める前の状態よりも余裕を持った状態にあり、かつ、修復が困難な残留変位が生じない状態であることを意味している。

門柱・堰柱の基礎及び堰柱床版の限界状態は、耐震性能2に対する限界状態と同様とする。これは、基礎及び堰柱床版の損傷は、一般に、発見が困難であるとともに、修復も大規模なものとなるためである。

また、ゲートの限界状態は、修復困難な残留変位が生じない限界の状態とする。ただし、小規模なゲート等で、ゲートの交換が容易な場合については、この限りでない。

函渠の限界状態は、継手の有無にかかわらず、函体の耐力が低下し始める限界の状態とする。すなわち、耐震性能3に対する函渠の限界状態は、継手を対象とするものではなく、函体を対象とするものである。これは、継手については損傷が生じたとしても、修復又は交換が比較的容易なためである。一方、函体の限界状態は、耐震性能2に対する函体の限界状態と同様とした。これは、塑性域における函体の地震時挙動には未解明の部分も多いため、安全側の規定としたものであり、実験、解析等により塑性域における函体の挙動を精度よく検証した場合には、修復を容易に行い得る範囲内で、函体の限界状態を定めることができる。

## 6. 静的照査法による耐震性能の照査方法

### 6.1 一般

- (1) レベル1地震動に対する静的照査法による水門・樋門及び堰の耐震性能の照査は、原則として、震度法に基づいて行うものとする。また、レベル2地震動に対する静的照査法による耐震性能の照査は、原則として、地震時保有水平耐力法に基づいて行うものとする。
- (2) レベル1地震動に対する静的照査法による水門・樋門及び堰の耐震性能の照査にあたっては、まず、6.2の規定により荷重を算定し、液状化の可能性がある場合には、6.3の規定によりその影響を考慮するものとする。次に、門柱・堰柱、基礎、ゲート及び函渠について、それぞれ、6.4.1から6.4.4の規定により耐震性能1の照査を行うものとする。
- (3) レベル2地震動に対する静的照査法による水門・樋門及び堰の耐震性能の照査にあたっては、まず、6.2の規定により荷重を算定し、液状化の可能性がある場合には、6.3の規定によりその影響を考慮するものとする。次に、門柱・堰柱、基礎、ゲート及び函渠について、それぞれ、6.5.1から6.5.4の規定により耐震性能2又は耐震性能3の照査を行うものとする。
- (4) 堰柱床版の照査は、6.6の規定に基づいて行うものとする。

(1) 静的照査法による耐震性能の照査の基本を規定したものである。構造物が弾性域に留まることを前提とするレベル1地震動に対する静的照査法による耐震性能の照査では、原則として、震度法を用いることとした。一方、構造物が塑性化することを考慮するレベル2地震動に対する静的照査法による耐震性能の照査では、原則として、地震時保有水平耐力法を用いることとした。

(2)、(3) レベル1地震動に対して、静的照査法により水門・樋門及び堰の耐震性能の照査を行う場合には、まず、6.2の規定により慣性力、地震時土圧及び地震時動水圧を算定する。また、液状化の可能性がある場合には、6.3の規定によりその影響を考慮することとした。次に、算定した荷重を用いて、6.4.1から6.4.4の規定により耐震性能1の照査を行うこととした。

同様に、レベル2地震動に対して、静的照査法により水門・樋門及び堰の耐震性能の照査を行う場合には、まず、6.2の規定により荷重を算定し、液状化の影響については6.3の規定により考慮することとした。次に、算定した荷重を用いて、6.5.1から6.5.4の規定により耐震性能2又は耐震性能3の照査を行うこととした。

(4) 堰柱床版は橋のフーチングに類似した部材であり、道路橋示方書（IV下部構造編）・同解説（平成24年3月）を参照して照査を行うこととした。

## 6.2 静的照査法を適用する場合の荷重の算定方法

### 6.2.1 一般

- (1) 静的照査法により耐震性能の照査を行う場合には、3. に規定する地震の影響として、慣性力、地震時土圧、地震時動水圧及び液状化の影響を、それぞれ、適切に考慮するものとする。
- (2) 慣性力、地震時土圧及び地震時動水圧は、それぞれ、6.2.2、6.2.3及び6.2.4の規定により算出するものとする。

(1) 静的照査法を適用する場合において考慮すべき地震の影響を規定したものである。また、これらの地震の影響を静的照査法の中で考慮するためには、適切な手法に基づいて静的荷重として評価しなければならない。

(2) 慣性力、地震時土圧及び地震時動水圧は、それぞれ、6.2.2、6.2.3. 及び6.2.4 に算出式を規定した。

また、水門・堰のゲート等については、地震時動水圧の影響を考慮する必要がある。

### 6.2.2 慣性力

慣性力は、構造物の重量に6.2.5又は6.2.6に規定する水平震度を乗じた水平力とし、これを水流方向及び水流直角方向に作用させるものとする。

静的照査法による水門・樋門及び堰の耐震性能の照査に用いる慣性力の算定方法及び作用方法を規定したものである。

慣性力の算定にあたっては、構造物の重量には添架物等の重量も考慮するものとする。構造物と一体に振動し、構造物に大きな影響を与える土塊部分に対して慣性力を考慮する場合には、土塊の重量に水平震度を乗じて慣性力を求める必要がある。

### 6.2.3 地震時土圧

地震時土圧は、6.2.5又は6.2.6に規定する水平震度を用いて、構造物の形状、土質条件、地盤の動的挙動等を考慮して、適切に設定するものとする。

地震時土圧は分布荷重として、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）を参照して、式(解6.2.1)により算出するのがよい。ここで、式(解6.2.2)は、物部・岡部による土圧の算定式をレベル2地震動まで適用できるように拡張した修正物部・岡部法による地震時主働土圧係数を簡易な近似式として与えたものである。

$$p_{EA} = \gamma K_{EA} + q' K_{EA} \dots \dots \dots \text{(解6.2.1)}$$

ここに、

$p_{EA}$  : 深さ $x$ (m)における地震時主働土圧強度(kN/m<sup>2</sup>)

$K_{EA}$  : 地震時主働土圧係数で、式(解6.2.2)により算出してよい。

1) 背面が土とコンクリートの場合

砂及び砂礫  $K_{EA} = 0.21 + 0.90k_{hg}$

砂質土  $K_{EA} = 0.24 + 1.08k_{hg}$

2) 背面が土と土の場合

砂及び砂礫  $K_{EA} = 0.22 + 0.81k_{hg}$

砂質土  $K_{EA} = 0.26 + 0.97k_{hg}$

..... (解6.2.2)

$k_{hg}$  : 6.2.5に規定するレベル1地震動の地盤面における水平震度 $k_{hg}$ 又は6.2.6に規定するレベル2地震動の地盤面における水平震度 $k_{h1g}$ 若しくは $k_{h2g}$

$\gamma$  : 土の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$q'$  : 地震時の地表載荷荷重(kN/m<sup>2</sup>)

ただし、 $q'$ は地震時に確実に作用するもののみとし、活荷重は含まないものとする。

また、式(解6.2.2)は地下水位以浅の土を対象としたものであり、地下水位以深の土による地震時土圧は、建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編（平成9年10月）に準拠して、式(解6.2.3)により水中の見かけの水平震度を算出した上で、式(解6.2.1)及び式(解6.2.2)を用いて算出するのがよい。なお、式(解6.2.5)を用いる際には、地下水位以深の土の単位体積重量に水中単位体積重量を用いるものとする。また、静水圧は地震時土圧と別に考慮しなければならない。

$$k_{hg}' = \frac{\gamma \cdot h_1 + \gamma' \cdot h_2 + \gamma_w \cdot h_2 + q'}{\gamma \cdot h_1 + \gamma' \cdot h_2 + q'} \times k_{hg} \dots \dots \dots \text{(解6.2.3)}$$

ここに、

$k_{hg}'$  : 水中の見かけの水平震度

$\gamma$  : 地下水位以浅の土の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma'$  : 地下水位以深の土の水中の見かけの単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  : 水の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$h_1$  : 地下水位以浅の土層厚(m)

$h_2$  : 地下水位以深の土層厚(m)

$q'$  : 地震時の地表載荷荷重(kN/m<sup>2</sup>)

$k_{hg}$  : 6.2.5に規定するレベル1地震動の地盤面における水平震度 $k_{hg}$ 又は6.2.6に規定するレベル2地震動の地盤面における水平震度 $k_{h1g}$ 若しくは $k_{h2g}$

#### 6.2.4 地震時動水圧

地震時動水圧は、水位、構造物の形状及び地震時の応答等を考慮して、適切に設定するものとする。

地震時動水圧は、Westergaardの式を基本として、式(解6.2.4)により算出し、慣性力の作用方向と同一の方向に作用させるのがよい。ここで、Westergaardの式は、ダムのような片側にのみ水が存在する壁状構造物に作用する地震時動水圧を与えるものであるが、解析上の簡便さを考慮して、水門及び堰の堰柱の水流直角方向に対する耐震性能の照査のように、両側に水が存在する場合にも用いてよい。また、震度法による従来の耐震設計のように構造物が弾性域に留まることを前提とする場合は、構造物の地震応答は水平震度に相当する揺れになるが、構造物の塑性化を考慮する場合は、一般に、予め構造物の応答を特定することはできない。本指針では構造物が塑性化する場合も考慮しているため、地震時動水圧の算出においては、構造物の応答に相当する水平震度を適切に算定する必要がある。

なお、地震時動水圧の算定においては、通常想定される水位を用いればよい。

$$p_d = \frac{7}{8} \gamma_w k_{hS} \sqrt{H \cdot h} \dots\dots\dots \text{(解6.2.4)}$$

ここに、

- $p_d$  : 地震時動水圧 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\gamma_w$  : 水の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)
- $k_{hS}$  : 地震時に構造物に生じる応答に相当する水平震度
- $H$  : 水深 (m)
- $h$  : 水面から地震時動水圧が作用する点までの水深 (m)

離散型の骨組構造にモデル化する場合、ある節点に水面から深さ  $h_1 \sim h_2$  (m) における地震時動水圧を負担させる場合、その節点には次式により算出される付加質量  $m_d$  (t) を与えればよい。

$$m_d = \int_{h_1}^{h_2} \frac{7}{8} \frac{\gamma_w}{g} b \sqrt{H \cdot h} dh = \frac{7}{12} \frac{\gamma_w}{g} b \left( \sqrt{H \cdot h_2^3} - \sqrt{H \cdot h_1^3} \right) \dots\dots\dots \text{(解6.2.5)}$$

6.2.5 レベル1地震動の水平震度

レベル1地震動の水平震度は、式(6.2.1)により算出するものとする。ただし、式(6.2.1)による値が0.1を下回る場合には0.1とする。

$$k_h = c_z k_{h0} \dots\dots\dots (6.2.1)$$

ここに、

$k_h$  : レベル1地震動の水平震度 (四捨五入により小数点以下2けたに丸める)

$k_{h0}$  : レベル1地震動の水平震度の標準値で、表-6.2.1による。

$c_z$  : 4.4に規定するレベル1地震動の地域別補正係数

なお、土の重量に起因する慣性力及び地震時土圧の算出においては、式(6.2.2)により算出する地盤面における水平震度 $k_{hg}$ を用いるものとする。

$$k_{hg} = c_z k_{hg0} \dots\dots\dots (6.2.2)$$

ここに、

$k_{hg}$  : レベル1地震動の地盤面における水平震度 (四捨五入により小数点以下2けたに丸める)

$k_{hg0}$  : レベル1地震動の地盤面における水平震度の標準値で、地盤種別がⅠ種、Ⅱ種、Ⅲ種に対して、それぞれ、0.16、0.20、0.24とする。

表-6.2.1 レベル1地震動の水平震度の標準値 $k_{h0}$

地盤種別	固有周期 $T$ (s)に対する $k_{h0}$ の値		
Ⅰ種	$T < 0.10$ $k_{h0} = 0.431T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.16$	$0.10 \leq T \leq 1.10$ $k_{h0} = 0.20$	$1.10 < T$ $k_{h0} = 0.213/T^{2/3}$
Ⅱ種	$T < 0.20$ $k_{h0} = 0.427T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.20$	$0.20 \leq T \leq 1.30$ $k_{h0} = 0.25$	$1.30 < T$ $k_{h0} = 0.298/T^{2/3}$
Ⅲ種	$T < 0.34$ $k_{h0} = 0.430T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.24$	$0.34 \leq T \leq 1.50$ $k_{h0} = 0.30$	$1.50 < T$ $k_{h0} = 0.393/T^{2/3}$

国土交通省河川砂防技術基準・設計編（令和元年7月部分改定）では、構造物の重量に起因する慣性力を算出するための水平震度と土の重量に起因する慣性力及び地震時土圧を算出するための地盤面における水平震度が明確に区分されていないが、本指針では両者を区分することとした。これは、一般に、地震時の地盤面の振動と構造物の応答は異なるためである。

レベル1地震動の水平震度 $k_h$ は、表-6.2.1に規定する水平震度の標準値 $k_{h0}$ を4.4に規定する地域別補正係数 $c_z$ により補正して算出することとした。表-6.2.1に規定する固有周期ごとの設計水平震度の標準値は、4.2に規定するレベル1地震動の加速度応答スペクトルに固有周期ごとの減衰定数の補正を加えて定めたものである。また、レベル1地震動の水平震度の設定に当たっては、震度法による従来の耐震設計で考慮されていた設計水平震度のレベルを考慮した。表-6.2.1を図示すれば、図-解6.2.1のようになる。

ここで、式(6.2.1)による水平震度の算出に際しては、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）を参照して、水平震度を極端に小さくすることがないように、下限値を0.1とすることとした。

また、土の重量に起因する慣性力及び地震時土圧の算出に用いる水平震度としては、地盤面における水平震度を用いることとし、レベル1地震動の地盤面における水平震度の標準値 $k_{hg0}$ は、

地盤種別に応じて、0.16～0.24とした。ここで、 $k_{hg0}$ は国土交通省河川砂防技術基準・設計編（令和元年7月部分改定）、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）等を参考にして設定したものである。

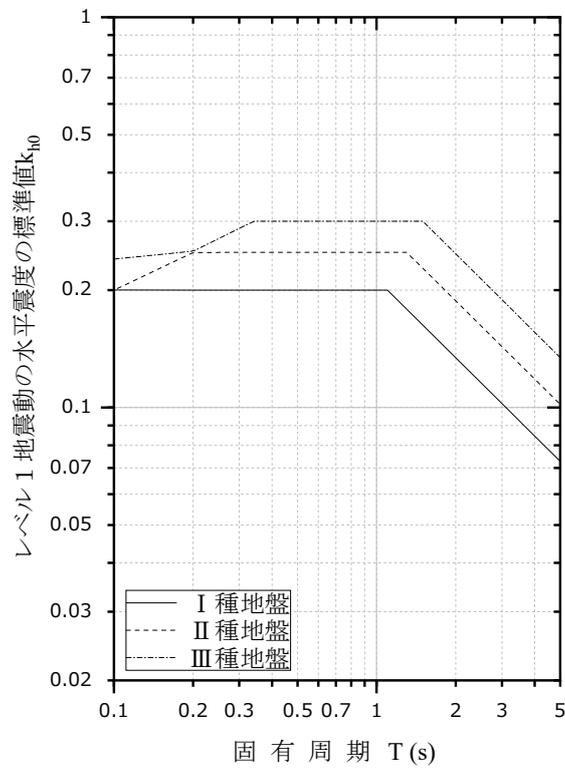


図-解6.2.1 レベル1地震動の水平震度の標準値 $k_{h0}$

6.2.6 レベル2地震動の水平震度

レベル2地震動の水平震度は、(1)及び(2)の規定により算出するものとする。

(1) レベル2-1地震動の水平震度

レベル2-1地震動の水平震度は、式(6.2.3)により算出するものとする。ただし、レベル2-1地震動の水平震度の標準値 $k_{h10}$ に地域別補正係数 $c_{1Z}$ を乗じた値が0.40を下回る場合には、水平震度は0.40に構造物特性補正係数 $c_S$ を乗じた値とする。また、水平震度が0.40に地域別補正係数 $c_{1Z}$ を乗じた値を下回る場合には、水平震度は0.40に地域別補正係数 $c_{1Z}$ を乗じた値とする。

$$k_{h1} = c_S c_{1Z} k_{h10} \dots\dots\dots (6.2.3)$$

ここに、

$k_{h1}$  : レベル2-1地震動の水平震度 (四捨五入により小数点以下2けたに丸める)

$k_{h10}$  : レベル2-1地震動の水平震度の標準値で、表-6.2.2による。

$c_S$  : 6.2.7に規定する構造物特性補正係数

$c_{1Z}$  : 4.4に規定するレベル2-1地震動の地域別補正係数

なお、土の重量に起因する慣性力及び地震時土圧の算出、また、砂質土層の液状化の判定においては、式(6.2.4)により算出する地盤面における水平震度 $k_{h1g}$ を用いるものとする。

$$k_{h1g} = c_{1Z} k_{h1g0} \dots\dots\dots (6.2.4)$$

ここに、

$k_{h1g}$  : レベル2-1地震動の地盤面における水平震度 (四捨五入により小数点以下2けたに丸める)

$k_{h1g0}$  : レベル2-1地震動の地盤面における水平震度の標準値で、地盤種別がⅠ種、Ⅱ種、Ⅲ種に対して、それぞれ、0.50、0.45、0.40とする。

表-6.2.2 レベル2-1地震動の水平震度の標準値 $k_{h10}$

地盤種別	固有周期 $T(s)$ に対する $k_{h10}$ の値		
Ⅰ種	$T < 0.16$ $k_{h10} = 2.58T^{1/3}$	$0.16 \leq T \leq 0.6$ $k_{h10} = 1.40$	$0.6 < T$ $k_{h10} = 0.996/T^{2/3}$
Ⅱ種	$T < 0.22$ $k_{h10} = 2.15T^{1/3}$	$0.22 \leq T \leq 0.9$ $k_{h10} = 1.30$	$0.9 < T$ $k_{h10} = 1.21/T^{2/3}$
Ⅲ種	$T < 0.34$ $k_{h10} = 1.72T^{1/3}$	$0.34 \leq T \leq 1.4$ $k_{h10} = 1.20$	$1.4 < T$ $k_{h10} = 1.50/T^{2/3}$

(2) レベル2-2地震動の水平震度

レベル2-2地震動の水平震度は、式(6.2.5)により算出するものとする。ただし、レベル2-2地震動の水平震度の標準値 $k_{h20}$ に地域別補正係数 $c_{2Z}$ を乗じた値が0.60を下回る場合には、水平震度は0.60に構造物特性補正係数 $c_S$ を乗じた値とする。また、水平震度が0.4に地域別補正係数 $c_{2Z}$ を乗じた値を下回る場合には、水平震度は0.4に地域別補正係数 $c_{2Z}$ を乗じた値とする。

$$k_{h2} = c_S c_{2Z} k_{h20} \dots\dots\dots (6.2.5)$$

ここに、

$k_{h2}$  : レベル2-2地震動の水平震度 (四捨五入により小数点以下2けたに丸める)

$k_{h20}$  : レベル2-2地震動の水平震度の標準値で、表-6.2.3による。

$c_S$  : 6. 2. 7に規定する構造物特性補正係数  
 $c_{2Z}$  : 4. 4に規定するレベル2-2地震動の地域別補正係数  
 なお、土の重量に起因する慣性力及び地震時土圧の算出、また、砂質土層の液状化の判定においては、式(6. 2. 6)により算出する地盤面における水平震度 $k_{h2g}$ を用いるものとする。

$$k_{h2g} = c_{2Z} k_{h2g0} \dots \dots \dots (6. 2. 6)$$

ここに、  
 $k_{h2g}$  : レベル2-2地震動の地盤面における水平震度（四捨五入により小数点以下2けたに丸める）  
 $k_{h2g0}$  : レベル2-2地震動の地盤面における水平震度の標準値で、地盤種別がⅠ種、Ⅱ種、Ⅲ種に対して、それぞれ、0. 80、0. 70、0. 60とする。

表-6. 2. 3 レベル2-2地震動の水平震度の標準値 $k_{h20}$

地盤種別	固有周期 $T(s)$ に対する $k_{h20}$ の値		
Ⅰ種	$T < 0.30$ $k_{h20} = 4.46T^{2/3}$	$0.30 \leq T \leq 0.70$ $k_{h20} = 2.00$	$0.70 < T$ $k_{h20} = 1.24/T^{4/3}$
Ⅱ種	$T < 0.40$ $k_{h20} = 3.22T^{2/3}$	$0.40 \leq T \leq 1.20$ $k_{h20} = 1.75$	$1.20 < T$ $k_{h20} = 2.23/T^{4/3}$
Ⅲ種	$T < 0.50$ $k_{h20} = 2.38T^{2/3}$	$0.50 \leq T \leq 1.50$ $k_{h20} = 1.50$	$1.50 < T$ $k_{h20} = 2.57/T^{4/3}$

レベル2地震動に対する水平震度としては、4. 1の規定に基づいて、レベル2-1地震動の水平震度とレベル2-2地震動の水平震度の2種類を規定した。

レベル2-1地震動及びレベル2-2地震動の水平震度 $k_{h1}$ 及び $k_{h2}$ は、それぞれ、表-6. 2. 2及び表-6. 2. 3に規定した水平震度の標準値 $k_{h10}$ 及び $k_{h20}$ を6. 2. 7に規定する構造物特性補正係数 $c_S$ と4. 4に規定する地域別補正係数 $c_{1Z}$ または $c_{2Z}$ により補正して算出することとした。表-6. 2. 2及び表-6. 2. 3に規定する固有周期ごとの水平震度の標準値は、4. 3に規定するレベル2-1地震動及びレベル2-2地震動の標準加速度応答スペクトルに固有周期ごとの減衰定数の補正を加えて定めたものである。表-6. 2. 2及び表-6. 2. 3を図示すると、それぞれ、図-解6. 2. 2及び図-解6. 2. 3のようになる。

レベル2-1地震動の水平震度の標準値に地域別補正係数を乗じた値の下限値を0. 40、レベル2-2地震動の水平震度の標準値に地域別補正係数を乗じた値の下限値を0. 60としたのは、水平震度は長周期領域においても地盤面における水平震度を下回らないこと、また、地震動に含まれる長周期成分の影響を考慮し、長周期領域においても中間周期領域における水平震度を大きく下回らないようにするという判断によるものである。

また、構造物特性補正係数を考慮した水平震度の下限値を0. 4 $c_{1Z}$ （あるいは0. 40 $c_{2Z}$ ）としたのは、周期が長い構造物等では水平震度が極端に小さくなる場合も生じるが、このような場合でも構造物に一定以上の耐力を付与するように配慮したためである。

地盤面における水平震度の標準値は、地盤種別に応じて、レベル2-1地震動に対しては0. 40～0. 50、レベル2-2地震動に対しては0. 60～0. 80とした。これらは、レベル2-1地震動については、大正12年（1923年）関東地震において東京周辺で生じた地盤上の加速度は、関東地震の際の被害状況の記録等に関する近年の分析を踏まえると、0. 4～0. 5G程度と考えられていること、また、レベル2-2地震動については、平成7年（1995年）兵庫県南部地震において地盤上で実測された加速度記録が0. 6～0. 8G程度であったことを考慮して設定したものである。

静的照査法でも地震動の継続時間が必要となる場合には、既往の強震記録、地震動の継続時間に関する距離減衰式等から継続時間を算定するのがよい。

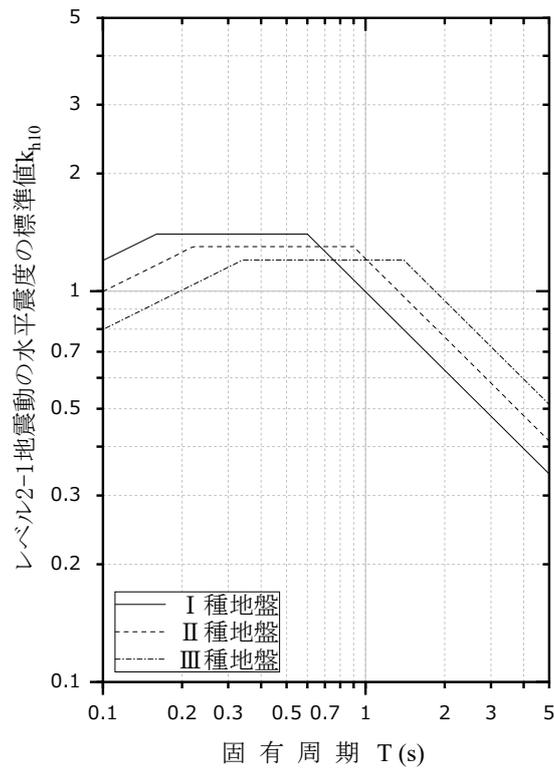


図-解6. 2. 2 レベル2-1地震動の水平震度の標準値 $k_{h10}$

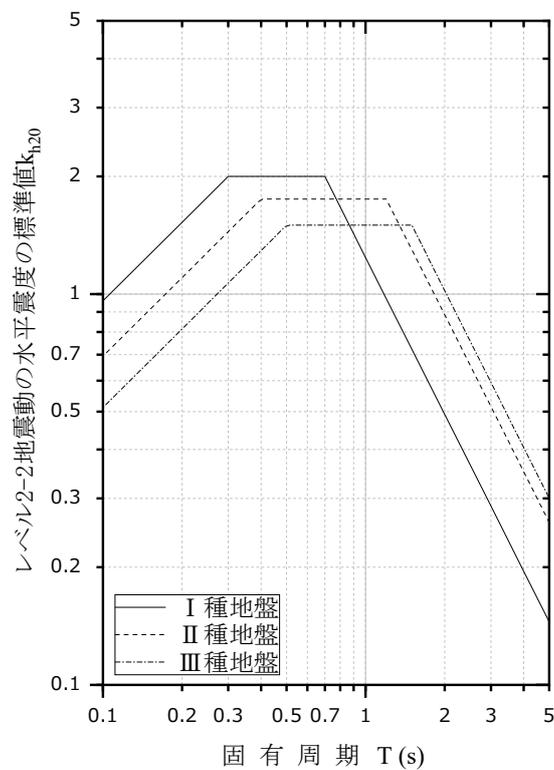


図-解6. 2. 3 レベル2-2地震動の水平震度の標準値 $k_{h20}$

### 6.2.7 構造物特性補正係数

構造物特性補正係数 $c_S$ は、構造部材の塑性化の程度等の力学的特性を考慮して適切に設定するものとする。

レベル2地震動の水平震度は、構造部材に許容できる塑性化の程度等によって変化するため、当該構造部材の力学特性を踏まえて構造物特性補正係数 $c_S$ を適切に設定する必要がある。構造物特性補正係数 $c_S$ は、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）を参照して算出するのがよい。なお、構造物特性補正係数は、本来、河川構造物に必要とされる耐震性能、河川構造物の構造部材の特徴等に応じて定めるべきものであるが、現状では十分な知見の蓄積もないため、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）を参照して算出するのがよいとしたものである。したがって、今後の調査研究の進展に応じて適切に対応していく必要がある。

## 6.3 液状化の影響

### 6.3.1 一般

静的照査法による水門・樋門及び堰の耐震性能の照査においては、土層の液状化の判定は、6.3.2の規定により基礎地盤と堤体の液状化の影響を考慮した上で、液状化層については6.3.3の規定により、液状化による土層の物性の変化を適切に考慮するものとする。

既往の震災事例によれば、基礎地盤及び堤体の土層に生じる液状化は河川構造物に大きな影響を及ぼす。このため、水門・樋門及び堰の耐震性能の照査にあたって基礎地盤及び堤体に液状化が生じる可能性がある場合には液状化の判定を行う必要がある。

砂質土層の液状化の判定は、6.3.2の規定に従うものとし、液状化が生じると判定された場合、6.3.3の規定により土層の物性の変化を考慮するものとする。

平成24年2月の改定では、基礎地盤と堤体の液状化の影響をそれぞれ別の方法によって考慮し、照査を行っていた。この改定以降の研究の結果、静的照査法によって基礎地盤と堤体の液状化の影響を一体的に考慮することも可能となってきた。このような状況から、今回の改定では、基礎地盤と堤体を区分しないこととした。

土層が液状化した場合、剛性や強度、支持力が低下する。したがって、液状化が生じると判定された土層の土質定数は適切に低減させる必要がある。

また、液状化した土層の上部に液状化しない土層が存在する場合には、液状化しない土層の物性の設定によって液状化の影響が大きく変わる。一般には、液状化しない土層に引張応力が生じないよう弾塑性モデルを用いるか剛性を低下させる等の方法を用いるのがよい。

基礎地盤と堤体の液状化の影響を一体的に考慮し、より精度良く沈下量を算定するための留意点については、堤防編の6.4を参照するものとする。

### 6.3.2 液状化の判定

沖積層及び堤体の土層については、液状化が生じると判定される土層を特定するために、液状化の判定を行うものとする。

液状化の判定に用いる地盤面の水平震度は、地震動のタイプと地盤種別に応じて、表-6.3.1の標準値に地域別補正係数を乗じた値を用いるものとする。

表-6.3.1 液状化の判定に用いる地盤面の水平震度の標準値 $k_{hgL0}$

地盤種別	レベル1	レベル2-1地震動	レベル2-2地震動
I種	0.12	0.50	0.80
II種	0.15	0.45	0.70
III種	0.18	0.40	0.60

液状化の判定は、レベル1地震動及びレベル2地震動を対象として、次の(1)～(3)により行うものとした。なお、本指針では、液状化の判定を行う必要がある土層の地下水位の条件等については、一般に、照査地点の地盤条件と比較して、安全側の規定としている。また、特に必要がある場合には、対象地点における詳細な地盤調査、室内土質試験等を実施し、液状化の判定を行うのがよい。

#### (1) 液状化の判定を行う必要がある土層

沖積層及び堤体の土層で次の3条件すべてに該当する場合には、(2)によって液状化の判定を行わなければならない。

- 1) 地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ、現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- 2) 細粒分含有率 $FC$ が35%以下の土層、又は、 $FC$ が35%を超えても塑性指数 $IP$ が15以下の土層
- 3) 50%粒径 $D_{50}$ が10mm以下で、かつ、10%粒径 $D_{10}$ が1mm以下である土層

#### (2) 液状化の判定

(1)により液状化の判定を行う必要のある土層に対しては、液状化に対する抵抗率 $F_L$ を式(解6.3.1)により算出し、この値が1.0以下の土層については液状化するとみなすものとする。

$$F_L = R/L \dots\dots\dots (解6.3.1)$$

$$R = c_W R_L \dots\dots\dots (解6.3.2)$$

$$L = r_d k_{hgL} \sigma_v / \sigma'_v \dots\dots\dots (解6.3.3)$$

$$r_d = 1.0 - 0.015x \dots\dots\dots (解6.3.4)$$

$$k_{hgL} = c_z k_{hgL0} \dots\dots\dots (解6.3.5)$$

$$\sigma_v = \gamma_1 h_w + \gamma_2 (x - h_w) \dots\dots\dots (解6.3.6)$$

$$\sigma'_v = \gamma_1 h_w + \gamma'_2 (x - h_w) \dots\dots\dots (解6.3.7)$$

(レベル1地震動及びレベル2-1地震動の場合)

$$c_W = 1.0 \dots\dots\dots (解6.3.8)$$

(レベル2-2地震動の場合)

$$c_W = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases} \dots\dots\dots (解6.3.9)$$

ここに、

$F_L$  : 液状化に対する抵抗率

$R$  : 動的せん断強度比

$L$  : 地震時せん断応力比

$c_w$  : 地震動特性による補正係数  
 $R_L$  : 繰返し三軸強度比で、(3)の規定により求める。  
 $r_d$  : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数  
 $k_{hgL}$  : 液状化の判定に用いる地盤面の水平震度  
 $c_z$  : 地域別補正係数で、4.4に規定する $c_{1Z}$ 、または $c_{2Z}$ とする。  
 $k_{hgL0}$  : 液状化の判定に用いる地盤面の水平震度の標準値で、表-6.3.1に規定する値  
 $\sigma_v$  : 全上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\sigma'_v$  : 有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $x$  : 地表面からの深さ (m)  
 $\gamma_1$  : 地下水位以浅の土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_2$  : 地下水位以深の土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma'_{I2}$  : 地下水位以深の土の有効単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
 $h_w$  : 地下水位の深さ (m)

(3) 繰返し三軸強度比

繰返し三軸強度比 $R_L$ は式(解6.3.10)により算出するものとする。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{(0.85N_a + 2.1)/1.7} & (N_a < 14) \dots\dots\dots (解6.3.10) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7 + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5}} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

ここで、

【D50 < 2mmの場合】

$$N_a = c(N_1 + 2.47) - 2.47 \dots\dots\dots (解6.3.11)$$

$$N_1 = 170N / (\sigma'_v + 70) \dots\dots\dots (解6.3.12)$$

注：(解6.3.12)の $\sigma'_v$ には、“標準貫入試験を行ったときの有効上載圧(kN/m<sup>2</sup>)”<sup>1</sup>を代入する

$$c_{FC} = \begin{cases} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 20)/30 & (10\% \leq FC < 40\%) \dots\dots\dots (解6.3.13) \\ (FC - 16)/12 & (40\% \leq FC) \end{cases}$$

【D50 ≥ 2mmの場合】

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\} N_1 \dots\dots\dots (解6.3.14)$$

ここに、

$R_L$  : 繰返し三軸強度比  
 $N$  : 標準貫入試験から得られるN値  
 $N_1$  : 有効上載圧100kN/m<sup>2</sup>相当に換算したN値  
 $N_a$  : 粒度の影響を考慮した補正N値  
 $c_{FC}$  : 細粒分含有率によるN値の補正係数  
 $FC$  : 細粒分含有率(%) (粒径75 μ m以下の土粒子の通過質量百分率)  
 $D_{50}$  : 50%粒径(mm)

式(解6.3.10)によって繰返し三軸強度比を推定するにあたっては、N値と細粒分含有率の組合せが特に重要である。したがって、粒度分布試験は1m間隔程度ごとに行う必要があり、粒度分布試験の結果に応じて液性限界・塑性限界試験も同等の頻度で実施する必要がある。これらの試験結果は、地盤特性の総合的な評価を行う際にも役立つものである。

<sup>1</sup> 「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II. 堤防編」(解6.3.12)についても、同様の措置を講ずる

また、繰返し三軸強度比 $R_L$ の算出式(解6.3.10)、粒度の影響を考慮した補正 $N$ 値 $N_a$ の算出式(解6.3.11)、細粒分含有率による $N$ 値の補正係数 $c$ の算出式(解6.3.13)を最新の検討成果<sup>2)</sup>を踏まえ改定した。東北地方太平洋沖地震後に、被災した河川堤防において数多くの不攪乱試料を採取し、繰返し三軸試験を実施した。これらの試料の中には、従来ほとんど試験が実施されてこなかった細粒分を多く含むものも含まれており、ここで得られた細粒分含有率と繰返し三軸強度比 $R_L$ 、 $N$ 値の関係から、式(解6.3.10)、式(解6.3.11)、式(解6.3.13)を見直したものである。式(解6.3.10)で求めた繰返し三軸強度比 $R_L$ は、細粒分含有率が比較的少ない範囲では改定前の式で求めた繰返し三軸強度比とほとんど変わらないが、粘性土に分類されるような細粒分を多く含む土では改定前に比べ大きな繰返し三軸強度比が得られる。

### 6.3.3 液状化が生じる土層の取扱い

6.3.2の規定により液状化が生じると判定された土層については、土層の物性の変化を適切に考慮するものとする。ここで、土層の土質定数を低減させる場合には、液状化の程度に応じて土質定数を適切に低減させるものとする。

6.3.2の規定により、レベル1地震動及びレベル2地震動で液状化が生じると判定された土層は、算出した液状化に対する抵抗率 $F_L$ の値に応じて耐震性能照査上土質定数を低減させる。液状化が生じると判定された場合の土質定数は、その土層が液状化しないと仮定して求めた土質定数に表-解6.4.1の係数 $D_E$ を乗じて算出する。なお、 $D_E=0$ の場合の土層は耐震性能照査上土質定数を零とする土層とする。

表-解 6.4.1 土質定数の低減係数  $D_E$

$F_L$ の範囲	地表面からの 深度 $x$ (m)	動的せん断強度比 $R$	
		$R \leq 0.3$	$0.3 < R$
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	0	1/6
	$10 < x \leq 20$	1/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/3	2/3
	$10 < x \leq 20$	2/3	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1
	$10 < x \leq 20$	1	1

$F_L$  は、標準貫入試験が実施された深度において得られるが、 $D_E$  を求めるためには通常は 1m 程度間隔で  $F_L$  を計算し、土層ごとに平均的な  $F_L$  を求めて、これより表-解 6.4.1 により  $D_E$  を求めるのがよい。

土層のせん断剛性を低減させることにより堤防の変形を静的に算定する場合には、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説（平成28年3月）II. 堤防編」6.4の規定に従う。

## 6.4 レベル1地震動に対する耐震性能の照査

### 6.4.1 門柱・堰柱の照査

門柱・堰柱については、門柱・堰柱に生じる応力度が許容応力度以下であることを照査するものとする。

門柱・堰柱の耐震性能の照査は、震度法を用いて行うことができる。門柱・堰柱については、部材に生じる応力度が地震時の割増しを考慮した許容応力度以下であることを照査することとした。ここで、門柱・堰柱の部材に生じる応力度の算出は、道路橋示方書（IV下部構造編）・同解説（平成24年3月）を参照して行ってよい。また、照査は水流方向及び水流直角方向のそれぞれについて行う必要があり、非対称断面の場合は正負それぞれについても行う必要がある。

### 6.4.2 基礎の照査

門柱・堰柱の基礎については、基礎に生じる応力度が許容応力度以下であり、かつ、支持、転倒及び滑動に対して安定であるとともに、基礎の変位が許容変位以下であることを照査するものとする。

門柱・堰柱の基礎については、部材に生じる応力度が地震時の割増しを考慮した許容応力度以下であり、かつ、基礎として安定であることを照査することとした。ここで、基礎の部材に生じる応力度の算出及び基礎の安定性の照査は、道路橋示方書（IV下部構造編）・同解説（平成24年3月）を参照して行ってよい。

### 6.4.3 ゲートの照査

ゲートについては、部材に生じる応力度が許容応力度以下であることを照査するものとする。

ゲートについては、部材に生じる応力度が地震時の割増しを考慮した許容応力度以下であることを照査することとした。また、圧縮力を受ける部材については、座屈が生じないことを照査する必要がある。

### 6.4.4 函渠の照査

函渠については、門柱等に起因して函渠端部に作用する曲げモーメントを考慮し、函渠に生じる応力度が許容応力度以下であることを照査するものとする。

函渠の照査は、函渠縦断方向を対象とするものである。函渠縦断方向には、門柱等に起因して端部に曲げモーメントが作用する。函渠については、その影響を荷重として部材に生じる応力度を算出し、地震時の割増しを考慮した許容応力度以下であることを照査することとした。

なお、函渠の横断方向については、一般に、小断面であり、常時の荷重に対して適切に設計されていれば十分な耐震性を有しているとともに、既往の地震においても顕著な被害事例はなく、耐震性能の照査を省略することができる。

## 6.5 レベル2地震動に対する耐震性能の照査

### 6.5.1 門柱・堰柱の照査

(1)耐震性能2の照査  
 門柱・堰柱については、門柱・堰柱の地震時保有水平耐力が門柱・堰柱に作用する慣性力を下回らないとともに、門柱・堰柱の残留変位がゲートの開閉性から決定される許容残留変位以下であることを照査するものとする。

(2)耐震性能3の照査  
 門柱・堰柱については、門柱・堰柱の地震時保有水平耐力が門柱・堰柱に作用する慣性力を下回らないとともに、門柱・堰柱の残留変位が許容残留変位以下であることを照査するものとする。

門柱・堰柱の耐震性能の照査は、地震時保有水平耐力法を用いて行うことができる。門柱・堰柱の耐震性能の照査では、水流方向及び水流直角方向のそれぞれについて、地震時保有水平耐力及び地震後に生じる残留変位の照査を行う必要がある。

(1)耐震性能2は、地震後においても水門・樋門又は堰としての機能を保持することを目標としていることから、門柱・堰柱の許容残留変位はゲートの開閉を妨げない変形角を基に構造物ごとに設定する必要がある。ここで、ゲートの開閉を妨げない変形角は、扉体と戸当りとの関係、ローラ形式、サイドローラの有無、開閉装置の形式・構造等によって決定される。例えば、ローラゲートで扉体が戸当りの内側に配置されている場合には、図-解6.5.1に示すように、扉体が戸当りに接触して動かなくなる条件（扉体やローラの3点が戸当りに接触）から、ゲートの開閉を妨げない門柱の変形角を求めることができる。なお、図-解6.5.1ではゲートには残留変形が生じないことを想定している。

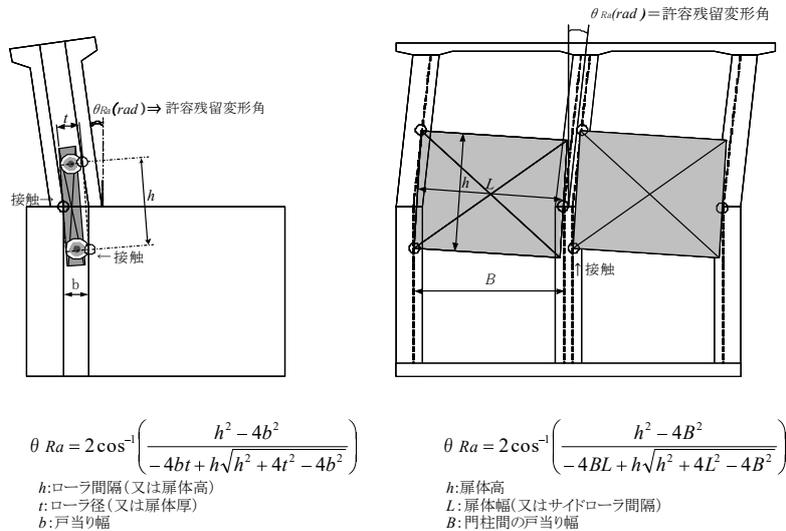


図-解6.5.1 ゲートの開閉を妨げない変形角（許容残留変形角）の算出方法の例

耐震性能2の照査は、式(解6.5.1)及び(解6.5.2)により行う。

$$k_h W \leq P_a \dots \dots \dots \text{(解6.5.1)}$$

$$\delta_R \leq \delta_{Ra1} \dots \dots \dots \text{(解6.5.2)}$$

ここに、

- $k_h$ : 6.2.6に規定する水平震度 $k_{h1}$ 又は $k_{h2}$
- $W$ : 地震時保有水平耐力法に用いる等価重量(N)で、門柱・堰柱の自重及びそれが支持している上部構造の重量から算出する。

- $P_a$  : 門柱・堰柱の地震時保有水平耐力(N)で、式(解6.5.3)により判定した破壊形態に応じて式(解6.5.4)により算出する。
- $\delta_R$  : 門柱・堰柱の残留変位(mm)
- $\delta_{Ra1}$  : 門柱・堰柱の許容残留変位(mm)で、原則として、扉体やローラ、戸当たり等との関係から定まるゲートの開閉を妨げない残留変位。ただし、(2)に規定する $\delta_{Ra2}$ 以下とする。

$$\left. \begin{array}{l} P_u \leq P_s : \text{曲げ破壊型} \\ P_s < P_u \leq P_{s0} : \text{曲げ損傷からせん断破壊移行型} \\ P_{s0} < P_u : \text{せん断破壊型} \end{array} \right\} \dots\dots\dots \text{(解6.5.3)}$$

ここに、

- $P_u$  : 門柱・堰柱の終局水平耐力(N)
- $P_s$  : 門柱・堰柱のせん断耐力(N)
- $P_{s0}$  : 正負交番繰返し作用の影響に関する補正係数を1.0とした場合に算出される門柱・堰柱のせん断耐力(N)

$$P_a = \begin{cases} P_u (\text{曲げ破壊型}) (\text{ただし, } P_c < P_u) \\ P_u (\text{曲げ損傷からせん断破壊移行型}) \dots\dots\dots \text{(解6.5.4)} \\ P_{s0} (\text{せん断破壊型}) \end{cases}$$

ここに、

- $P_c$  : 門柱・堰柱のひび割れ水平耐力(N)

門柱・堰柱の許容塑性率は、破壊形態に応じて以下により算出する。

- 1) 曲げ破壊型と判定された場合の許容塑性率は、式(解6.5.5)により算出する。

$$\mu_a = 1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha \delta_y} \dots\dots\dots \text{(解6.5.5)}$$

ここに、

- $\mu_a$  : 門柱・堰柱の許容塑性率
- $\delta_u$  : 門柱・堰柱の終局変位(mm)
- $\delta_y$  : 門柱・堰柱の降伏変位(mm)
- $\alpha$  : 安全係数で、レベル2-1地震動及びレベル2-2地震動のタイプによる塑性応答変形の繰返し回数の影響は認められないことから、1.5(ただし、(2)に規定する耐震性能3に対する照査時においては、1.2)。

- 2) 曲げ損傷からせん断破壊移行型と判定された場合及びせん断破壊型と判定された場合は、許容塑性率は1.0とする。

式(解6.5.5)における終局変位 $\delta_u$ の算出にあたっては、部材の終局曲率、降伏曲率及び塑性ヒンジ長を適切に設定することが必要となるが、これらについては道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説(平成14年3月)の方法に基づいて算出する。これは、道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説(平成14年3月)の計算方法により、一般的な構造諸元を有する樋門の門柱の終局変位が良好に再現されることが実験的に確認されたこと、その他の水門及び堰の門柱・堰柱についても類似した構造特性を有することからこの方法を準用することができるものとした。

また、門柱・堰柱のせん断耐力の算出は、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）を参照して行う。

なお、地震時保有水平耐力法に用いる等価重量の算出は、門柱・堰柱の構造形式を考慮して行う。

(2)耐震性能3に対する門柱・堰柱の地震時保有水平耐力の照査は、耐震性能2の照査の場合と同様である。ただし、耐震性能3は地震による損傷を限定的な範囲にとどめ、水門・樋門又は堰としての機能の回復を速やかに行うことを目標としていることから、門柱・堰柱の許容残留変位を設定した。

耐震性能3の照査は、式(解6.5.1)及び(解6.5.6)により行う。

$$\delta_R \leq \delta_{Ra2} \dots\dots\dots (解6.5.6)$$

ここに、

$\delta_{Ra2}$ ：門柱・堰柱の許容残留変位(mm)で、門柱・堰柱の構造に応じて、堰柱又は門柱の下端から上部構造の慣性力の作用位置までの高さの1/100とする。

#### 6.5.2 基礎の照査

門柱・堰柱の基礎については、原則として、地震時に降伏に達しないことを照査するものとする。ただし、液状化が生じる場合には基礎に塑性化が生じることを考慮してもよいものとする。

(1)門柱・堰柱の基礎の照査は、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）を参照して、基礎形式に応じて(2)に規定する荷重が作用したときの基礎の応答値を求めた上で、(3)の規定により行ってよい。また、基礎の降伏は、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）を参照して、基礎の部材若しくは地盤抵抗の塑性化、又は、基礎の浮上りにより、上部構造の慣性力の作用位置での水平変位が急増し始める時としてよい。

(2)門柱・堰柱の基礎の照査においては、門柱・堰柱に生じる応答が塑性域に達する場合には、死荷重及び式(解6.5.4)により算出する水平震度に相当する慣性力を荷重として考慮するものとする。また、門柱・堰柱に生じる応答が弾性域にとどまる場合には、門柱・堰柱基部に生じる断面力を荷重として考慮するものとする。

$$k_{hp} = c_{dF} P_u / W \dots\dots\dots (解6.5.4)$$

ここに、

$k_{hp}$ ：地震時保有水平耐力法による基礎の照査に用いる水平震度(小数点以下2けたに丸める)

$c_{dF}$ ：地震時保有水平耐力法による基礎の照査に用いる水平震度の算出のための補正係数で1.1とする。

$P_u$ ：基礎が支持する門柱・堰柱の終局水平耐力(N)。ただし、門柱・堰柱の破壊形態がせん断破壊型と判定される場合はせん断耐力を用いる。

$W$ ：地震時保有水平耐力法に用いる等価重量(N)

さらに、4.6に規定する耐震性能照査上の地盤面より上方にある地中の構造部分、また、耐震性能照査上の地盤面より下方であっても堰柱床版のように基礎の地震時挙動に及ぼす影響が大きい構造部分に対しては、6.2.6に規定するレベル2地震動の地盤面における水平震度に相当する慣性力を考慮するものとする。

(3)門柱・堰柱の基礎は、原則として、(2)に規定する荷重を作用させたときに降伏に達しないことを照査するものとする。

ただし、門柱・堰柱が水平震度に対して十分大きな地震時保有水平耐力を有している場合、又は、液状化の影響がある場合等のやむを得ない場合には、基礎に塑性化が生じることを考慮してもよい。この場合には、基礎の応答塑性率及び応答変位が、それぞれ、許容塑性率及び許容変位以下となることを照査するものとする。ここで、基礎の塑性化を考慮する場合の応答値は、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）を参照して算出してよい。また、基礎の応答変位の照査は、道路橋示方書（IV下部構造編）・同解説（平成24年3月）を参照して、過大な残留変位の発生を防止する観点から行うこととしたものである。

なお、液状化が生じると判定された場合には、液状化が生じないとした場合の耐震性能の照査も行い、いずれか厳しい方の結果を用いるものとする。これは、液状化時の地盤及び構造物の挙動は複雑であり、液状化が生じると判定された場合でも耐震性能の照査において想定しているとおりの状態とならない可能性もあるため、液状化が生じないとした場合も含めて照査を行うこととしたものである。

### 6.5.3 ゲートの照査

#### (1)耐震性能2の照査

ゲートについては、ゲートの残留変位がゲートの開閉性から決定される許容残留変位以下であることを照査するものとする。ただし、6.4.3の規定と同様に、原則として、ゲートの部材に生じる応力度が許容応力度以下であることを照査してもよい。

#### (2)耐震性能3の照査

ゲートについては、ゲートの残留変位が許容残留変位以下であることを照査するものとする。ただし、6.4.3の規定と同様に、原則として、ゲートの部材に生じる応力度が許容応力度以下であることを照査してもよい。

(1)耐震性能2は、地震後においても水門・樋門又は堰としての機能を保持することを目標としていることから、ゲートの残留変位がゲートの開閉を妨げない範囲内に留まるように照査を行うこととした。ここで、ゲートの許容残留変位は、ゲートの開閉を妨げない変形を基に構造物ごとに設定する必要がある。

ただし、安全側の配慮と解析上の簡便さから、耐震性能2の照査においてもゲートに残留変位が生じないように、原則として、ゲートの部材に生じる応力度が地震時の割増しを考慮した許容応力度以下であることを照査してもよいこととした。なお、照査においては、ゲートの残留変位に影響する主要な部材とそれ以外の部材を区別する必要がある。また、圧縮力を受ける部材については、座屈が生じないことを照査する必要がある。

(2)耐震性能3は、地震による損傷を限定的な範囲にとどめ、水門・樋門又は堰としての機能の回復を速やかに行うことを目標としていることから、ゲートの残留変位がゲートの修復を妨げない範囲内に留まるように照査を行うこととした。ここで、ゲートの許容残留変位は、ゲートの修復を妨げない変形を基に構造物ごとに設定する必要がある。

ただし、耐震性能2の照査と同様に、安全側の配慮と解析上の簡便さから、耐震性能3の照査においてもゲートに残留変位が生じないように、原則として、ゲートの部材に生じる応力度が地震時の割増しを考慮した許容応力度以下であることを照査してもよいこととした。なお、照査においては、ゲートの残留変位に影響する主要な部材とそれ以外の部材を区別する必要がある。また、圧縮力を受ける部材については、座屈が生じないことを照査する必要がある。

#### 6.5.4 函渠の照査

##### (1) 耐震性能2の照査

函渠については、函渠縦断方向の変形を静的に算定し、原則として、函体に生じる曲げモーメント及びせん断力が、それぞれ、終局曲げモーメント及びせん断耐力以下であるとともに、継手を有する場合には継手の変位が許容変位以下であることを照査するものとする。

##### (2) 耐震性能3の照査

函渠については、函渠縦断方向の変形を静的に算定し、原則として、函体に生じる曲げモーメント及びせん断力が、それぞれ、終局曲げモーメント及びせん断耐力以下であることを照査するものとする。

(1)、(2) 函渠の耐震性能の照査においては、函渠縦断方向を対象として、堤防の耐震性能の照査で用いられる静的な変形解析方法により堤体及び基礎地盤の変形を算定し、得られた変形を基に部材に発生する断面力を算出する方法、堤体及び基礎地盤の変形と部材の断面力を一体的に算出する方法等を用いることができる。

耐震性能2は地震後においても水門・樋門又は堰としての機能を保持することを目標としていることから、函渠については水密性を保持する必要があり、函体に過大な損傷が生じることがないとともに、継手の変位が許容変位以下であることを照査することとした。また、一般に、函渠の基礎に塑性化が生じたとしても、函体を支持することは可能であるため、函渠の基礎の照査は省略することができる。

耐震性能3に対する函渠の限界状態は函体を対象とするものであり、耐震性能の照査は、継手を有する場合でも函体について行えばよい。これは、一般に、函渠は比較的小規模の構造物であり、函体がある一定以上の耐力を有していれば、地震により著しい損傷を生じることとはないとともに、地震後に応急復旧等により機能回復が速やかに行えることを考慮したものである。ここで、耐震性能3に対する函体の限界状態は耐震性能2の場合と同様であるため、函体の耐震性能3の照査は耐震性能2の照査と同様に行えばよい。

なお、函渠の横断方向については、レベル1地震動に対する耐震性能の照査の場合と同様の理由により、耐震性能の照査を省略することができる。

#### 6.6 堰柱床版の照査

水門及び堰の堰柱床版については、曲げモーメント、せん断力及び押抜きせん断力に対して必要な強度を有することを照査するものとする。

水門及び堰の堰柱床版が曲げモーメント、せん断力及び押抜きせん断力に対して必要な部材厚を有していることの照査は、道路橋示方書（IV下部構造編）・同解説（平成24年3月）を参照して行ってよい。また、基礎の照査の前提として堰柱床版を剛体と仮定する場合には、道路橋示方書（IV下部構造編）・同解説（平成24年3月）を参照して、剛体とみなせる厚さを有していることの照査を行えばよい。ただし、箱形又はU形の水門・堰のように、床版が堰柱間で連続し、床版寸法が大きい場合には、剛体とみなせる床版厚さが著しく大きく不合理になる。そこで、そのような場合には、レベル1地震動に対する耐震性能の照査では床版に生じる応力度が許容応力度以下であることを、また、レベル2地震動に対する耐震性能の照査では床版に生じる応力度が降伏応力度以下であることを照査すればよい。

また、堰柱床版と中間床版内に水門又は堰の機能を維持するための配管類が設置されている場合には、堰柱床版と中間床版の相対変位に留意する必要がある。

#### 参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2012年3月
- 2) (国研) 土木研究所：細粒分を含む砂の液化強度の評価法に関する再検討，土木研究所資料第4352号，2016年3月