

河川構造物の耐震性能照査指針・解説  
— V. 揚排水機場編 —

平成24年2月

国土交通省水管理・国土保全局治水課



## 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                  | 3  |
| 2.2 地震の影響                 | 3  |
| 3. 耐震性能の照査                | 5  |
| 3.1 一 般                   | 5  |
| 3.2 耐震性能の照査方法             | 5  |
| 3.3 耐震性能 1 に対する揚排水機場の限界状態 | 5  |
| 3.4 耐震性能 2 に対する揚排水機場の限界状態 | 6  |
| 3.5 耐震性能 3 に対する揚排水機場の限界状態 | 6  |
| 4. 静的照査法による耐震性能の照査方法      | 7  |
| 4.1 一 般                   | 7  |
| 4.2 荷重の算定方法               | 8  |
| 4.3 液状化の影響                | 10 |
| 4.4 レベル 1 地震動に対する耐震性能の照査  | 10 |
| 4.5 レベル 2 地震動に対する耐震性能の照査  | 11 |



# 1. 総 則

## 1.1 適用の範囲

本編は、揚排水機場の機場本体及び基礎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。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、次の資料を参考にしてよい。

国土交通省河川砂防技術基準 同解説・計画編（平成17年11月）

建設省河川砂防技術基準(案)同解説・調査編（平成10年3月）

建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編（平成9年10月）

国土交通省河川砂防技術基準 維持管理編（河川編）（平成23年5月）

下水道施設の耐震対策指針と解説-2006年版-（平成18年9月）

下水道施設耐震設計例-処理場・ポンプ場編- 2002年版（平成14年8月）

共同溝設計指針（昭和61年3月）

駐車場設計・施工指針 同解説（平成4年11月）

道路橋示方書（Ⅲコンクリート橋編）・同解説（平成14年3月）

道路橋示方書（Ⅳ下部構造編）・同解説（平成14年3月）

道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（平成14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) 揚排水機場  
ポンプによって河川又は水路の流水を河岸又は堤防を横断して取水又は排水するために、河岸又は堤防の付近に設けられる施設であって、ポンプ場とその付属施設（吸水槽又は吐出水槽、樋門等）の総称
- (2) 機場本体  
揚排水機場のうち、吸水槽、ポンプ室、地下ポンプ室、冷却水槽等からなる部分
- (3) レベル1地震動  
河川構造物の供用期間中に発生する確率が高い地震動
- (4) 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
- (5) 耐震性能  
地震の影響を受けた河川構造物の性能
- (6) 限界状態  
耐震性能を満足し得る河川構造物及び各部材の限界の状態
- (7) 液状化  
地震動による間げき水圧の急激な上昇により、飽和した砂質土層がせん断強度を失うこと
- (8) 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
- (9) 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
- (10) 地震時保有水平耐力度  
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
- (11) 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
- (12) 応答変位法  
地震時に地盤に生じる変位を主に考慮し、構造物に作用させることにより静的に耐震性能の照査を行う方法
- (13) 応答震度法  
地震時に地盤から構造物に作用する慣性力を主に考慮し、静的に耐震性能の照査を行う方法

(3)に規定したレベル1地震動の定義中の河川構造物の供用期間とは、耐震性能の照査において想定する供用期間であり、特に、土構造物である盛土による堤防に対しても他の河川構造物と同等とする。

## 2. 基本方針

### 2.1 耐震性能

- (1) 揚排水機場の耐震性能は、次のとおりとする。
- 1) 耐震性能 1  
地震によって揚排水機場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、揚排水機場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、揚排水機場としての機能の回復が速やかに行い得る性能
- (2) レベル 1 地震動に対しては、すべての揚排水機場について耐震性能 1 を確保するものとする。また、レベル 2 地震動に対しては、常用の揚排水機場については耐震性能 2 を、また、それ以外の揚排水機場については耐震性能 3 を確保するものとする。

(1) 揚排水機場は、取水や排水といった治水・利水上の機能を有し、常時稼働している施設と必要時のみに稼働する施設に大別できる。また、揚排水機場は、損傷の程度によっては速やかな修復が困難になる。このような揚排水機場の特性を踏まえて、耐震性能を規定したものである。

(2) 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。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、地震によって揚排水機場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。

レベル 2 地震動に対しては、常用の揚排水機場については、地震後においても稼働していることが求められるため、地震によりある程度の損傷が生じた場合においても、揚排水機場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。また、その他の揚排水機場については、地震後に揚排水機場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。

### 2.2 地震の影響

- 揚排水機場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) 地震時地盤変位
  - (3) 地震時土圧
  - (4) 地震時動水圧
  - (5) 液状化の影響

揚排水機場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。揚排水機場の機場本体の設置位置が地表面付近である場合には、一般に、地震時地盤変位に比較して慣性力の影響が支配的になるため、地震時地盤変位の影響を考慮する必要

はない。ただし、機場本体の寸法に比較して設置深度が大きい場合等には地震時地盤変位の影響が大きくなるため、その影響を考慮する必要がある。ここで、地震時土圧を地盤変位と地盤バネから算出する場合には、それに加えて土圧理論に基づく地震時土圧を考慮する必要はない。また、水槽内の水の影響により地震時動水圧が作用する。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。

## 3. 耐震性能の照査

### 3.1 一般

- |  |
|--|
| <p>(1) 揚排水機場の耐震性能の照査にあたっては、3.3から3.5までに規定する揚排水機場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。</p> <p>(2) 揚排水機場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。</p> |
|--|

(1) 揚排水機場の耐震性能の照査では、揚排水機場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) 揚排水機場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、揚排水機場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。

### 3.2 耐震性能の照査方法

|   |
|---|
| <p>揚排水機場の耐震性能の照査は、耐震性能の照査に用いる地震動及び揚排水機場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、4. 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。</p> |
|---|

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。揚排水機場を構成する機場本体及び基礎は箱状の機場本体が基礎に支持された比較的単純な形状の構造物であり、機場本体の地震時挙動には、一般には、慣性力が支配的な影響を及ぼす。ただし、機場本体の寸法に比較して設置深度が大きい場合等には地震時地盤変位の影響が大きくなることもある。ここで、前者の場合には、機場本体の地震時挙動は、水門や堰と同様に、基礎に支持された構造物として静的解析法により算定可能である。一方、後者の場合には、機場本体は地盤と一体的に挙動し、その地震応答特性は地盤－構造物系の静的解析法により算定できる。したがって、いずれの場合も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。

### 3.3 耐震性能1に対する揚排水機場の限界状態

|   |
|---|
| <p>耐震性能1に対する揚排水機場の限界状態は、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。</p> |
|---|

耐震性能1に対する揚排水機場の限界状態は、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、地震前と同じ揚排水機場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に対する揚排水機場の限界状態は、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。

### 3.4 耐震性能 2 に対する揚排水機場の限界状態

耐震性能 2 に対する揚排水機場の限界状態は、塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形が揚排水を妨げない範囲内になるよう適切に定めるものとする。

耐震性能 2 に対する揚排水機場の限界状態は、地震後においても揚排水機場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、生じる損傷がポンプの運転が可能な程度までに抑えられるように定めたものである。塑性化を考慮する部材としては、一般には、機場本体の内部部材が該当する。

また、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。

### 3.5 耐震性能 3 に対する揚排水機場の限界状態

- (1) 耐震性能 3 に対する揚排水機場の限界状態は、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 に対する揚排水機場の限界状態は、揚排水機場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) 機場本体の塑性化を考慮する場合、機場本体の限界状態は機場本体の水平耐力が低下し始める限界の状態とする。これは機場本体の水平耐力が低下し始める前の状態であれば、一般に、その機場本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、基礎の限界状態は、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。

## 4. 静的照査法による耐震性能の照査方法

### 4.1 一般

- (1) レベル1地震動に対する静的照査法による揚排水機場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。ただし、地震時地盤変位の影響が大きい場合には、レベル1地震動及びレベル2地震動に対する静的照査法による耐震性能の照査は、応答変位法や応答震度法に基づいて行うのがよい。
- (2) レベル1地震動に対する静的照査法による揚排水機場の耐震性能の照査にあたっては、まず、4.2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、4.3の規定によりその影響を考慮するものとする。次に、機場本体については4.4.1、基礎については4.4.2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揚排水機場の耐震性能の照査にあたっては、まず、4.2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、4.3の規定によりその影響を考慮するものとする。次に、機場本体については4.5.1、基礎については4.5.2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。

(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。ただし、機場本体の寸法に比較して設置深度が大きいなど機場本体の地震時挙動に地盤変位が大きく影響する場合には、地盤変位の影響を考慮することができる応答変位法や応答震度法を用いるのがよい。

(2)、(3) レベル1地震動に対して、静的照査法により揚排水機場の耐震性能の照査を行う場合には、まず、4.2の規定により慣性力、地震時地盤変位、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、4.3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、4.4.1又は4.4.2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、静的照査法により揚排水機場の耐震性能の照査を行う場合には、まず、4.2の規定により荷重を算定し、液状化の影響については4.3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、4.5.1又は4.5.2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。

## 4.2 荷重の算定方法

- (1) 慣性力は、構造物の重量に共通編5.6又は5.7に規定する水平震度を乗じた水平力として作用させるものとする。
- (2) 地震時地盤変位は、共通編5.3の規定により、地震時の地盤の応答及び変位の分布を考慮して算定するものとする。
- (3) 地震時土圧は、共通編5.4の規定により算定するものとする。
- (4) 地震時動水圧は、共通編5.5の規定により算定し、慣性力と同じ方向に作用させるものとする。

(1) 静的照査法による揚排水機場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。機場本体が地表面付近に設置されている場合には、水平震度として地盤面における水平震度を考慮すればよい。

(2) 応答変位法に用いるレベル1地震動、レベル2-1地震動及びレベル2-2地震動の地盤変位は、それぞれ、式(解4.2.1)～(解4.2.3)により算出することができる。なお、地盤変位による影響は、自然地盤の地震応答解析を行い、構造物位置における地盤のせん断ひずみが最大となる深さ方向の応答値を求めて、得られた変位分布から地盤変位を構造物に作用させてもよい。また、応答震度法による場合は、慣性力及び地盤変位による影響として、地震応答解析より得られた加速度分布を構造物及び地盤に作用させるのがよい。

$$u = \frac{2}{\pi^2} S_V T_S \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right) \dots\dots\dots \text{(解4.2.1)}$$

$$u_1 = \frac{2}{\pi^2} S_{V1} T_S \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right) \dots\dots\dots \text{(解4.2.2)}$$

$$u_2 = \frac{2}{\pi^2} S_{V2} T_S \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right) \dots\dots\dots \text{(解4.2.3)}$$

$$S_V = c_Z S_{V0} \dots\dots\dots \text{(解4.2.4)}$$

$$S_{V1} = c_Z S_{V10} \dots\dots\dots \text{(解4.2.5)}$$

$$S_{V2} = c_Z S_{V20} \dots\dots\dots \text{(解4.2.6)}$$

$$T_S = 1.25 T_G \dots\dots\dots \text{(解4.2.7)}$$

ここに、

- $u$  : 地表面から深さ $x$ (m)におけるレベル1地震動の地盤変位(cm)
- $u_1$  : 地表面から深さ $x$ (m)におけるレベル2-1地震動の地盤変位(cm)
- $u_2$  : 地表面から深さ $x$ (m)におけるレベル2-2地震動の地盤変位(cm)
- $S_V$  : レベル1地震動の応答速度(cm/s)
- $S_{V1}$  : レベル2-1地震動の応答速度(cm/s)
- $S_{V2}$  : レベル2-2地震動の応答速度(cm/s)
- $c_Z$  : 共通編4.3に規定する地域別補正係数
- $S_{V0}$  : レベル1地震動の標準応答速度(cm/s)で、表-解4.2.1による。
- $S_{V10}$  : レベル2-1地震動の標準応答速度(cm/s)で、表-解4.2.2による。
- $S_{V20}$  : レベル2-2地震動の標準応答速度(cm/s)で、表-解4.2.3による。
- $T_S$  : 表層地盤の固有周期(s)であり、式(解4.2.7)による。
- $x$  : 地表面から深さ(m)
- $H$  : 表層地盤の厚さ(m)

$T_G$  : 共通編4.5に規定する地盤の特性値(s)

表-解4.2.1 レベル1地震動の標準応答速度 $S_{V0}$ (cm/s)

| 表層地盤の固有周期 $T_S$ (s)に対する $S_{V0}$ の値     |   |                            |
|---|---|----------------------------|
| $T_S < 0.2$<br>$S_{V0} = 42.8T_S^{4/3}$ | $0.2 \leq T_S \leq 1.0$<br>$S_{V0} = 25T_S$ | $1.0 < T$<br>$S_{V0} = 25$ |

表-解4.2.2 レベル2-1地震動の標準応答速度 $S_{V10}$ (cm/s)

| 表層地盤の固有周期 $T_S$ (s)に対する $S_{V10}$ の値      |   |                             |
|---|---|-----------------------------|
| $T_S < 0.18$<br>$S_{V10} = 94.0T_S^{4/3}$ | $0.18 \leq T_S \leq 1.6$<br>$S_{V10} = 53.1T_S$ | $1.6 < T$<br>$S_{V10} = 85$ |

表-解4.2.3 レベル2-2地震動の標準応答速度 $S_{V20}$ (cm/s)

| 表層地盤の固有周期 $T_S$ (s)に対する $S_{V20}$ の値    |   |                              |
|---|---|------------------------------|
| $T_S < 0.4$<br>$S_{V20} = 237T_S^{3/2}$ | $0.4 \leq T_S \leq 0.8$<br>$S_{V20} = 150T_S$ | $0.8 < T$<br>$S_{V20} = 120$ |

レベル1地震動の標準応答速度 $S_{V0}$ は駐車場設計・施工指針 同解説(平成4年11月)によるものであり、レベル2-1地震動の標準応答速度 $S_{V10}$ は大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン(案)(平成4年3月)によるものである。また、レベル2-2地震動の標準応答速度 $S_{V20}$ は、平成7年兵庫県南部地震による加速度強震記録を耐震性能照査上の基盤面に引き戻した記録から速度応答スペクトルを算出した結果に基づくものである。ここで、 $S_{V0}$ 及び $S_{V10}$ の設定に当たっては、レベル1地震動及びレベル2-1地震動が生じた際の表層地盤の減衰定数を、いずれも、0.1と見込んでいる。また、 $S_{V20}$ の設定に当たっては、レベル2-2地震動が生じた際の表層地盤の減衰定数を0.15と見込んでいる。表-解4.2.1～表-解4.2.3を図示すると、図-解4.2.1のようになる。

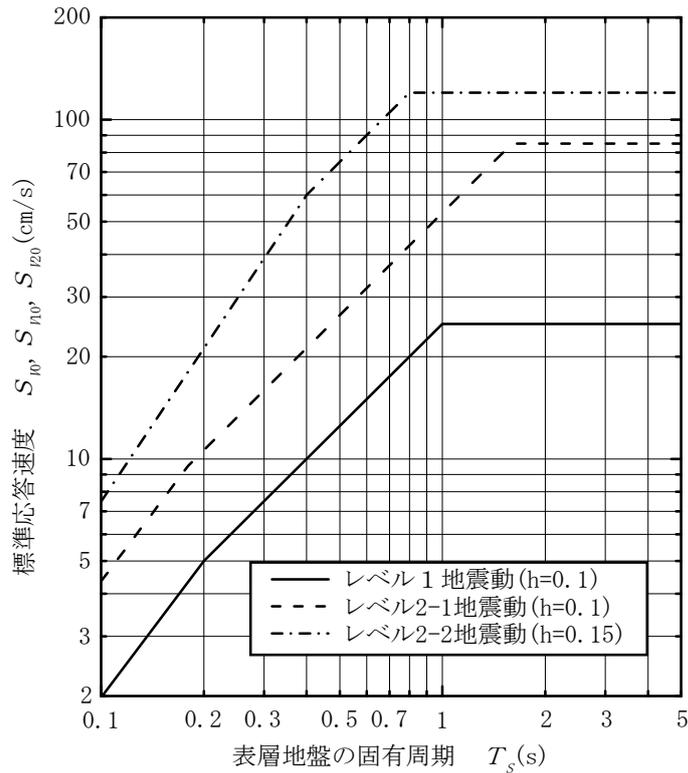


図-解4.2.1 レベル1地震動、レベル2-1地震動及びレベル2-2地震動の標準応答速度

(3)、(4)地震時土圧は共通編5.4の規定により、また、地震時動水圧は水槽内の平常時の水位を用いて、共通編5.5の規定により算定するものとする。ただし、地震時土圧を地震時地盤変位と地盤バネから算出する場合には、それに加えて共通編5.4に規定する地震時土圧を考慮する必要はない。

### 4.3 液状化の影響

砂質土層の液状化の判定及び液状化が生じると判定された砂質土層の土質定数の低減は、それぞれ、共通編6.2及び6.3の規定により行うものとする。

砂質土層の液状化の判定は、共通編6.2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、機場本体の基礎の耐震性能の照査においては、共通編6.3の規定により土質定数を低減させるものとする。

### 4.4 レベル1地震動に対する耐震性能の照査

#### 4.4.1 機場本体の照査

機場本体については、機場本体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。

機場本体の耐震性能の照査は、一般には、震度法を用いて行うことができる。ただし、機場本体の地震時挙動に地盤変位が大きな影響を及ぼす場合には、構造物に作用する慣性力及び地盤変位の影響を考慮することができる応答変位法や応答震度法を用いるのがよい。

機場本体については、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。

#### 4.4.2 基礎の照査

機場本体の基礎については、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。

機場本体の基礎については、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、基礎の照査には、水門・樋門及び堰編4.4.2に規定する基礎の照査法、又は、機場本体と基礎を一体として解析する応答変位法や応答震度法を用いることができる。

#### 4.5 レベル2地震動に対する耐震性能の照査

##### 4.5.1 機場本体の照査

###### (1) 耐震性能2の照査

機場本体については、機場本体の終局耐力が地震時に発生する断面力を下回らないとともに、機場本体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。

###### (2) 耐震性能3の照査

機場本体については、機場本体の終局耐力が地震時に発生する断面力を下回らないことを照査するものとする。

(1) レベル2地震動に対する耐震性能の照査は、一般には、地震時保有水平耐力法を用いて行うことができる。また、地盤変位の影響が大きい場合には応答変位法や応答震度法を用いるのがよい。

耐震性能2は、地震後においても揚排水機場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、機場本体の許容残留変位はポンプの運転を妨げない変位として施設ごとに設定する必要がある。ただし、ポンプの運転を妨げない残留変位が小さく、同変位に比較して機場本体の残留変位の算出精度を確保できない場合等には、残留変位が発生しないように機場本体に生じる応力度が降伏応力度以下であることを照査するのがよい。

(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、揚排水機場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、機場本体の終局耐力が地震時に発生する断面力を下回らないことを照査することとした。

##### 4.5.2 基礎の照査

機場本体の基礎については、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。

機場本体の基礎は、原則として、降伏に達しないことを照査するものとする。ただし、機場本体が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。ここで、

基礎の照査には、水門・樋門及び堰編4.5.2に規定する基礎の照査法、又は、機場本体と基礎を一体として解析する応答変位法や応答震度法を用いることができる。