

## 第4章 プッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査

小委員会幹事

島端 嗣浩（電力中央研究所）

## 第4章 全体目次

### 第4章 プッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査

#### 4.1 基本的な考え方

#### 4.2 静的地震力の設定と応答値の算出

##### 4.2.1 静的地震力の作用方法

##### 4.2.2 応答値算出時における留意点

#### 4.3 耐震性能照査

##### 4.3.1 プッシュオーバー解析

##### 4.3.2 照査

#### 照査例・技術資料 関連箇所

照査例Ⅱ 三次元材料非線形地震応答解析を用いた照査例

照査例Ⅲ 三次元材料非線形のプッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査例

技術資料Ⅴ 地盤-構造物連成系の三次元非線形地震応答解析

### 第4章 プッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査

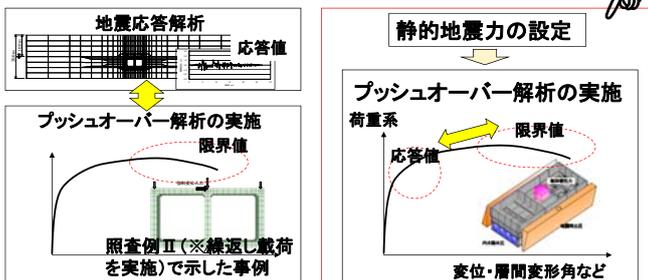
#### 4.1 基本的な考え方

#### 改訂の基本的な考え方

構造物全体系の挙動に基づく耐震性能照査方法を示した。

#### 改訂の主なポイント

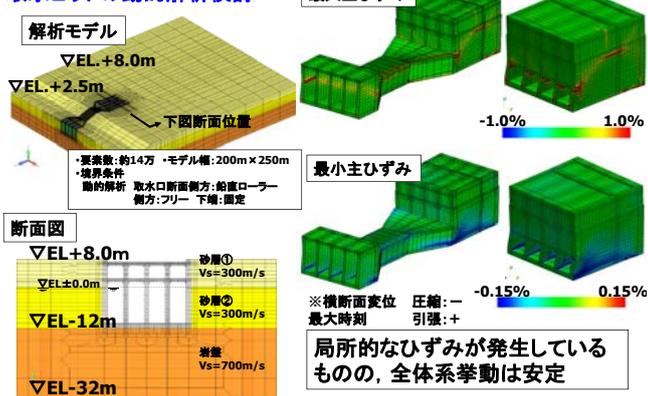
静的耐震解析手法を基本としたプッシュオーバー解析を用いて、応答値・限界値を一貫して評価する照査手法を示した。



### 第4章 プッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査

#### 本章作成のための解析検討（技術資料Ⅴ）

#### ・取水ピットの動的解析検討

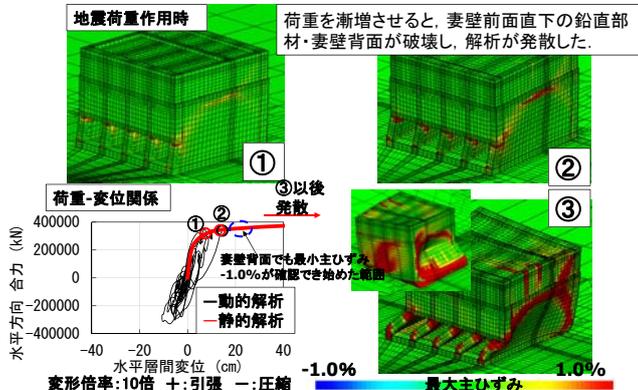


### 第4章 プッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査

#### 本章作成のための解析検討（技術資料Ⅴ）

#### ・取水ピットの静的解析検討

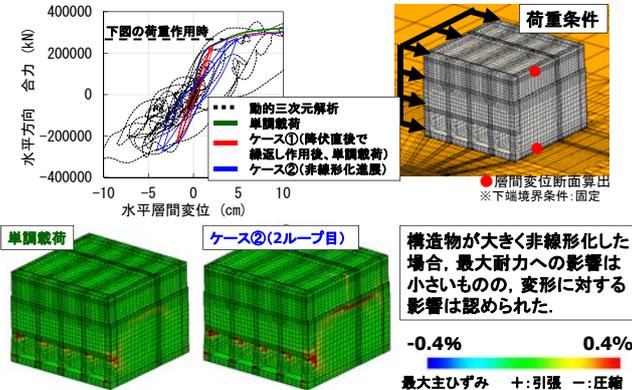
#### 動的解析での挙動と概ね対応



### 第4章 プッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査

#### 本章作成のための解析検討（技術資料Ⅴ）

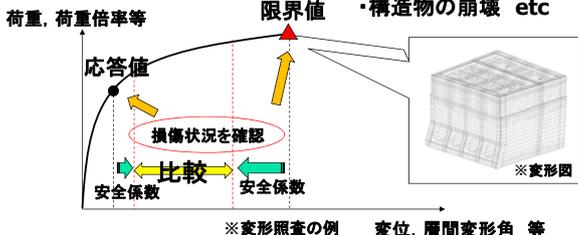
#### ・取水ピットの静的解析検討（繰返し作用の影響検討）



## 7 構造物全体系の挙動に対する照査イメージ

適切な荷重条件のもと、  
構造物全体系での変形  
または耐力照査を行う

限界値の判断  
・最大耐力(図の例)  
・局所・部材の損傷  
・構造物の崩壊 etc



・照査値を示す場合, 地震荷重作用時と限界状態判定時での構造物の変形(損傷)モードが, 概ね対応していることが基本.  
・応答が複雑な場合, 地盤-構造物連成系地震応答解析によるのが基本

## 8 第4章 全体目次

### 第4章 プッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査

#### 4.1 基本的な考え方

#### 4.2 静的地震力の設定と応答値の算出

##### 4.2.1 静的地震力の作用方法

- (1)静的解析手法の種類と特徴
- (2)解析モデルの作成

##### 4.2.2 応答値算出時における留意点

#### 4.3 耐震性能照査

##### 4.3.1 プッシュオーバー解析

- (1)載荷方法
- (2)地盤の挙動
- (3)解析結果の評価

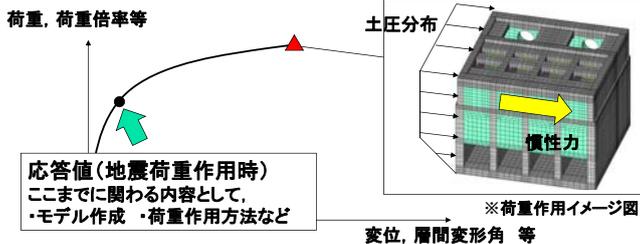
##### 4.3.2 照査

- (1)照査手順
- (2)損傷状況の確認
- (3)構造物全体系の挙動に対する照査
  - a.安全係数
  - b.照査用限界値の設定

以降, 必要に応じて,  
照査例Ⅲの内容を示しながら説明

## 9 4.2 静的地震力の設定と応答値の算出

### 4.2.1 静的地震力の作用方法

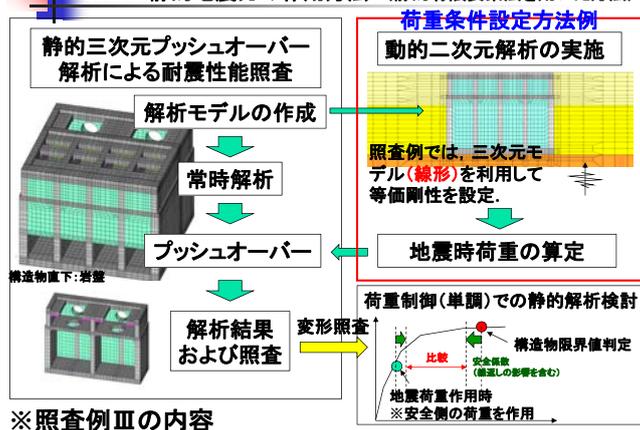


- 4.2.1(1)静的解析手法の種類と特徴 → 静的耐震解析手法の例示
- 4.2.1(2)解析モデルの作成 → 第2章や第3章を参照しながら作成

地震荷重は, 安全側の条件となるように設定することが基本

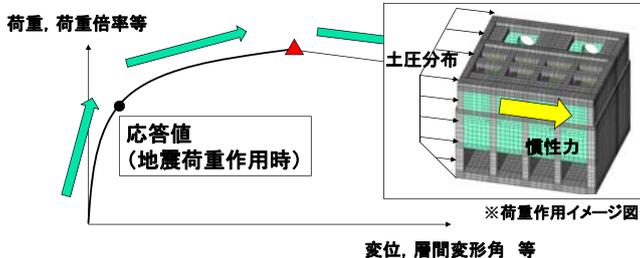
## 10 4.2 静的地震力の設定と応答値の算出

### 4.2.1 静的地震力の作用方法 (静的有限要素法を用いた方法)



## 11 4.2 静的地震力の設定と応答値の算出

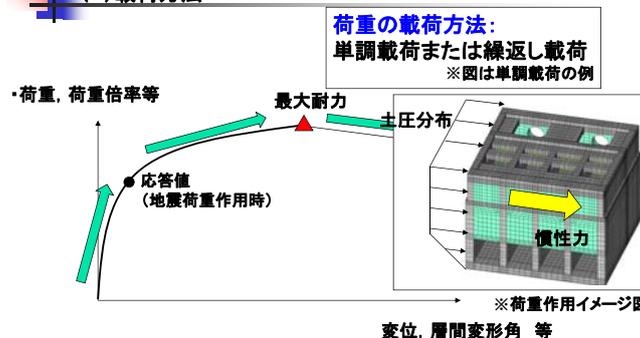
### 4.2.2 応答値算出時における留意点



・限界状態(最大耐力力・崩壊など)までの解析を実施するため, その載荷過程に於て応答値となる時点が存在する.  
→ 第2章, 第3章や, 4.3.1 プッシュオーバー解析を参照

## 12 4.3 耐震性能照査 4.3.1 プッシュオーバー解析

### (1)載荷方法



#### ●留意点

- ・繰返し作用の影響は適切に考慮
- ・構造形状が複雑ならば, 載荷方向の影響も適切に考慮

4.3 耐震性能照査 4.3.1 プッシュオーバー解析  
(2)地盤の挙動 (3)解析結果の評価

13

●(2)地盤の挙動

・応答変位法や、応答震度法の場合、また、静的有限要素解析手法の場合での留意点を記述。

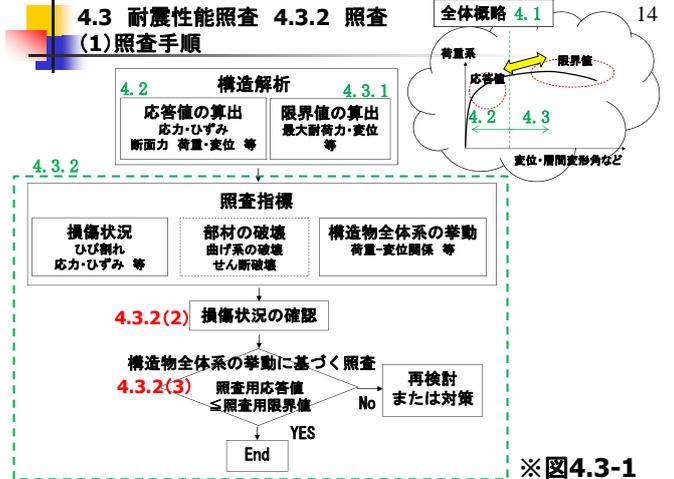
例えば、地盤の非線形性に関する内容

●(3)解析結果の評価

・第2章や第3章と概ね同様の内容。  
・静的耐震解析による場合については、漸増荷重ステップごとの変位増分や収束性、そして、応力・ひずみの状態などから総合的に構造物の状態を判断すること。

4.3 耐震性能照査 4.3.2 照査  
(1)照査手順

14



※図4.3-1

4.3 耐震性能照査  
4.3.2 照査 (2)損傷状況の確認

15

目的:

- ・地震荷重作用時において、過大な損傷が生じていないことの確認(性能次第)
- ・解析結果の妥当性確認 etc

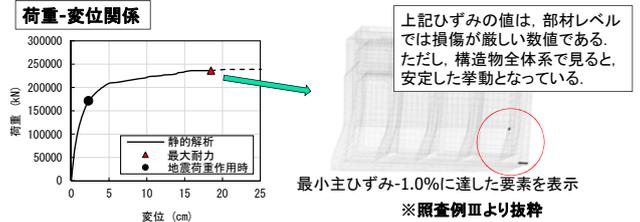


4.3 耐震性能照査  
4.3.2 照査 (2)損傷状況の確認

16

●局所・部材の損傷確認にひずみを適用した内容を記述

- ・終局ひずみ(引張3.0%, 圧縮-1.0%, せん断±2.0%)
- ・本マニュアルでは、汎用性や安全側となることを考え、主ひずみを用いてもよいこととした。(引用元は、ひび割れ座標系)



構造物全体系の挙動が安定していることが前提として、局所的な損傷は許容されるものとして確認してもよい。

4.3 耐震性能照査  
4.3.2 照査 (2)損傷状況の確認

17

●マニュアルで記述した終局ひずみによる損傷状況確認手順

①材料損傷の程度 部位・部材としての変形・破壊状況を把握  
例 曲げ破壊モード ⇒ かぶりコンクリートの引張・圧縮損傷  
せん断破壊モード ⇒ コアコンクリートのせん断損傷

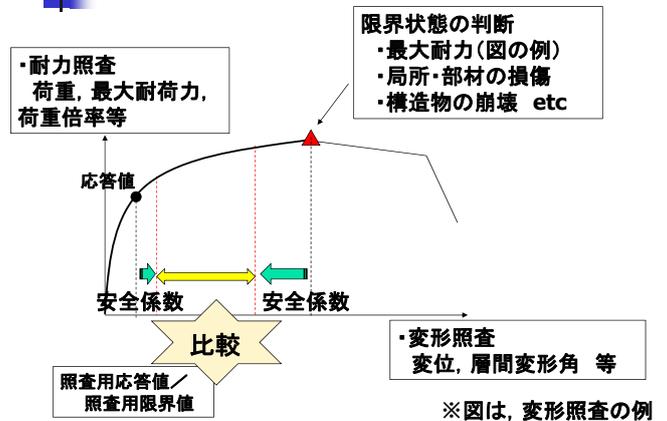
②終局ひずみを超える場合、そのひずみ発生領域が構造寸法(幅・高さ・奥行き)に対して限定的であること。  
(照査例では、部材厚程度以下であることを確認)

※プッシュオーバー解析で構造物全体系の挙動が安定していることが前提。  
(水平耐力力が保持されている、鉛直方向の大きな沈下が認められないこと等)

※部材全体にわたって終局ひずみが発生しているような場合は、数値解析の安定性などの観点から限界値を設定すること。

4.3 耐震性能照査 4.3.2 照査  
(3)構造物全体系の挙動に対する照査

18



4.3 耐震性能照査 4.3.2 照査  
(3) 構造物全体系の挙動に対する照査 a. 安全係数

曲げせん断を含む検討のため、2章で示した安全係数を包含するように設定  
表の値は、耐力照査の場合も踏まえつつ、変形照査での値を記述

安全係数		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.3※3
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
限界値係数	解析結果の精度など $\gamma_{b1}$	—	1.3※4
	繰返し作用の影響に 対する割増し $\gamma_{b2}$	—	1.2~※1※5
作用係数		1.0	—
応答値係数		1.2~※1※2	—
構造物係数		1.0	—

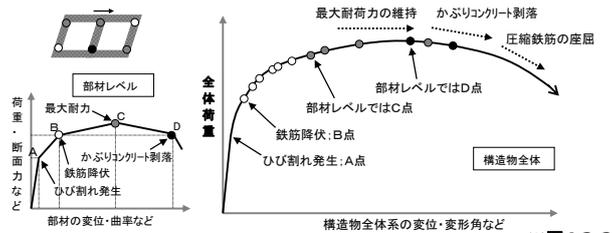
※表4.3-2

- ※1 断面力や耐力による照査では、静的地震力を安全側に設定することを前提として、1.0としてよい
- ※2 地盤・構造物連成地震応答解析を用い、断面力・耐力による照査では1.05~とする。
- ※3 限界値係数を割増すことで考慮してもよい。部材係数を割増す場合は1.1を標準
- ※4 標準的な数値として設定。解析精度がこの範囲に収まることを別途確認することが基本
- ※5 構造物全体系の変形角が大きい場合(本マニュアルでは1.0%とした)、直接繰返し載荷を行うこと

4.3 耐震性能照査 4.3.2 照査  
(3)b. 照査用限界値の設定

構造物の要求性能に応じ、適切に設定する。

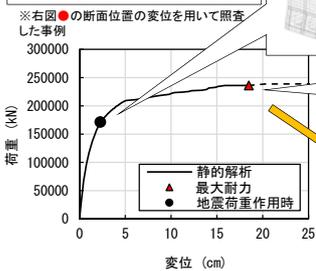
- (a) 構造物全体系の挙動が概ね弾性範囲
- (b) 構造物全体系が概ね最大耐力力を維持(図中D点)
- (c) 構造物全体系が崩壊しない。



※図4.3-3

4.3 耐震性能照査 4.3.2 照査  
照査例Ⅲの事例

- 単調載荷により実施
- 変形照査を行う
- 限界状態は最大耐力時とした



照査値を示すにあたり、変形モードが概ね対応していることを確認

※右図●の断面位置の変位を用いて照査した事例

※変形倍率50

※変形倍率10

損傷状況の確認

最大主ひずみ (3.0%以上)

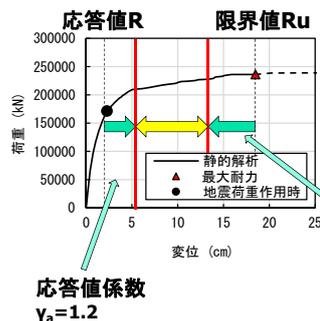
最小主ひずみ (-1.0%以下)

※照査例より抜粋

全体系の挙動が安定している中で、損傷状況も構造物寸法に対して限定的であり、解析結果の妥当性も確認

4.3 耐震性能照査 4.3.2 照査  
照査例Ⅲの事例

- 単調載荷により実施
- 変形照査を行う
- 限界状態は最大耐力時とした



照査用応答値  $R_d = 1.2 \times R$

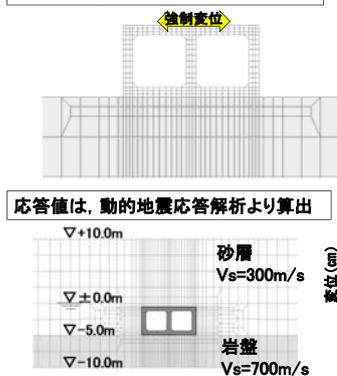
照査用限界値  $R_{ud} = R_u / (1.3 \times 1.1 \times 1.2)$

照査値 =  $R_d / R_{ud}$  ..OK

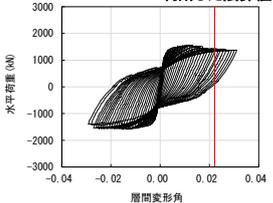
限界値係数  
解析精度  $\gamma_{b1} = 1.3$   
材料係数  $\gamma_m = 1.3$   
⇒ 限界値係数を割増す場合 1.1  
繰返し作用の影響  $\gamma_{b2} = 1.2$   
(単調載荷のため考慮)

4.3 耐震性能照査 4.3.2 照査  
照査例Ⅱの事例

強制変位による繰返し載荷を実施し、構造物の限界値を設定



荷重-変位関係 ※照査例Ⅱで判断した限界値



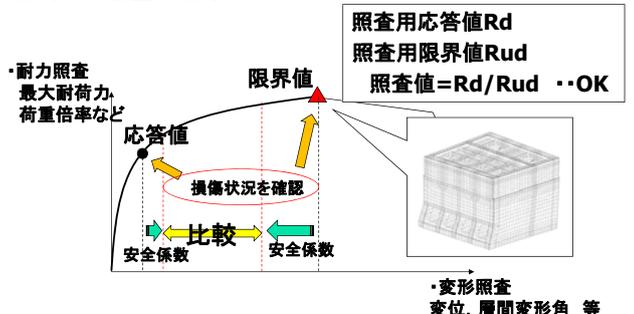
頂底版間水平層間変位



検討用震動: 兵庫県南部地震 神戸大学観測波 (※加速度調整実施)

まとめ

プッシュオーバー解析による、構造物全体系の性能に着目した照査法を示した。



※応答が複雑な場合、地盤-構造物連成系地震応答解析によるのが基本