

実規模解析に関する 照査例・技術資料の概要

小委員会
幹事 渡部龍正（東電設計）
常時参加者 島端嗣浩（東電設計）

概要

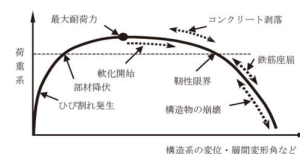
密な液化化地盤中に埋設された条件にて三次元構造物である円形立坑を対象として、地盤一構造物連成系の二次元部材非線形の地震応答解析を行い、構造物の断面力に着目した照査例を作成した。

二次元部材非線形解析を用いた断面力照査となっており、照査例Ⅱ、Ⅲに示される三次元非線形解析を用いた方法に比べて、保守的な評価となると考える。

照査方法

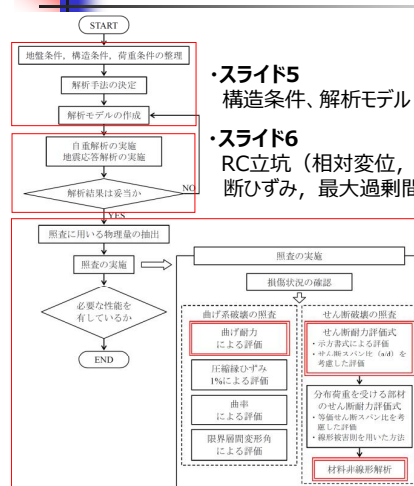
➤ 照査例 I の限界値

- ✓ 曲げ: **曲げ耐力**
 - ✓ せん断: **せん断耐力**
- ⇒ 照査例Ⅰは、**耐力(縦軸)**で照査。
照査例Ⅲは、**ひずみ・変位(横軸)**で照査。



【目次】

1. はじめに
2. 構造物の耐震性能
3. 照査条件
4. 解析方法
 4. 1 自重解析
 4. 2 地震応答解析
5. 解析結果
6. 照査
 6. 1 鉛直方向の照査
 6. 2 水平方向の照査



- ・スライド7～10
RC円形立坑の耐震性能照査を実施

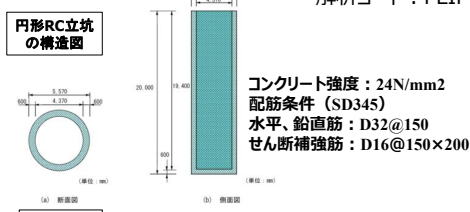
主要内容

鉛直方向の照査 (スライド7)
照査項目: 曲げ耐力, セン断耐力
評価式による評価

水平方向の照査 (スライド8~10)
照査項目: 曲げ耐力, セン断耐力
評価式および材料非線形解析による評価

円形RC立坑を対象とした二次元照査例を作成した。耐震性評価は、はり要素の断面力を作用力として、耐力照査を実施した。

解析コード：FLIP



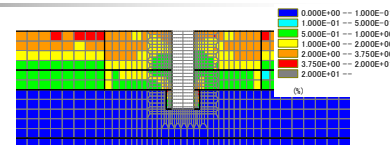
検討用地震動：安全裕度確認波
(水平:450qal、鉛直300qal)

境界条件
底面：粘性境界
側面：粘性境界

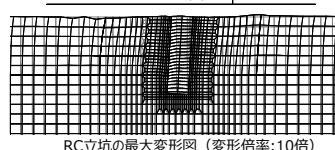
はり要素のモデル化の適用性は別途、技術資料 V 2 章を参照。

2次元解析の応答結果

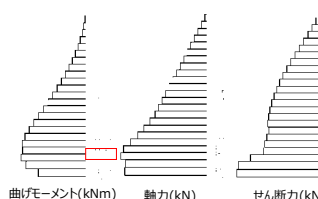
項目	最大応答値
頂部位置の最大水平応答加速度(Gal)	484
頂部位置の最大鉛直応答加速度(Gal)	311
底版位置の最大水平応答加速度(Gal)	409
底版位置の最大鉛直応答加速度(Gal)	357
頂部一底版間の水平相関変位(cm)	7.12
頂部一底版間の鉛直相関変位(cm)	0.01



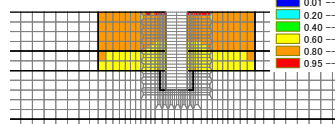
最大せん断ひずみ分布



RC立坑の最大変形図 (変形倍率:10倍)



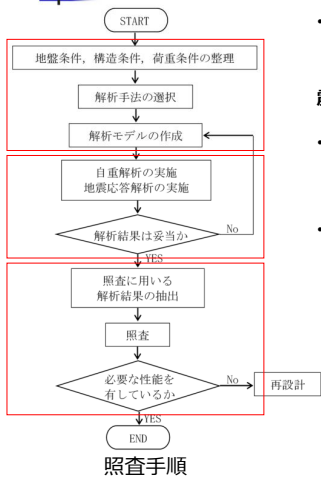
RC立坑の最大断面力図



最大過剩間隙水压比分布

赤枠の最大断面力を用いて、曲げとせん断の断面力照査を実施した。

<照査例> Ⅲ 三次元非線形の地震応答解析を用いた照査例



- ・スライド12
構造条件、解析モデル
※解析方法は、2021年版 照査例Ⅴの動的地震応答解析とほぼ同様
 - ・スライド16
RC立坑（相対変位、最大主ひずみなど）や地盤の応答（最大せん断ひずみなど）を確認
 - ・スライド17～
RC円形立坑の耐震性能照査を実施
- 主な内容**
曲げ圧縮破壊に対する照査
 照査項目：主圧縮ひずみ（圧縮縁変位差）
せん断破壊に対する照査
 照査項目：せん断耐力照査を基本
 部材厚増分による照査も例示

13

<照査例> Ⅲ 三次元非線形の地震応答解析を用いた照査例

面外曲げ・面内せん断破壊に対する照査 2021年版マニュアル 3.3.3 (3) a.

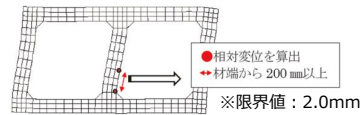


図 3.3-12 照査に用いる圧縮縁変位差の算出方法

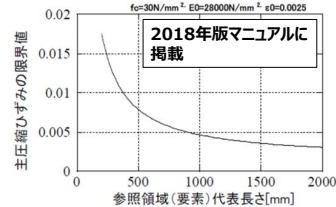


図 3.3-12 参照領域（要素）代表長さとの関係

圧縮縁変位差による照査が2021年版マニュアルより示されており、
主圧縮ひずみによる照査の詳細は、2018年版マニュアルに示されている。

14

<照査例> Ⅲ 三次元非線形の地震応答解析を用いた照査例

面外せん断破壊に対する照査(部材厚増分による照査)

2021年版マニュアル 3.3.3 (3) b.

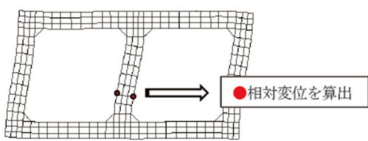


図 3.3-15 照査に用いる部材厚増分の算出方法

$$\Delta D_{lim} = \max \{5, 2.5 p_w D\}$$

ここで、 ΔD_{lim} ：部材厚増分の限界値[mm]

p_w ：せん断補強筋比

D ：部材厚[mm]

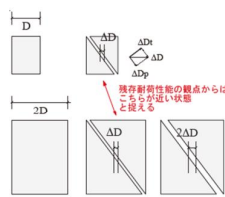


図 3.3-16 斜めひび割れと壁厚の関係

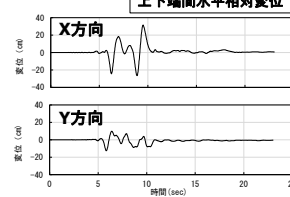


写真 3.3-1 厚さ方向の断面 5mm の状態の例 (壁厚 250mm)

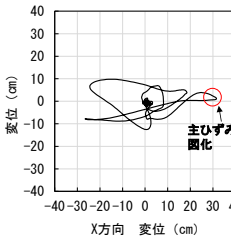
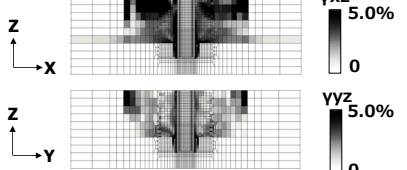
15

<照査例> Ⅲ 三次元非線形の地震応答解析を用いた照査例

解析結果



最大せん断ひずみ分布図



X方向 相対変位最大時(9.51秒)

最大主ひずみ分布図

最大値分布図

最小主ひずみ分布図

変形倍率:5倍
引張:正 圧縮:負

16

<照査例> Ⅲ 三次元非線形の地震応答解析を用いた照査例

損傷状況の確認(最大値分布図)

引張:正 圧縮:負

最大主ひずみ

最小主ひずみ

せん断ひずみ

鉄筋降伏に至っておらず、構造物全体系の崩壊に至るようなひずみの分布は認められないことを確認した。

17

<照査例> Ⅲ 三次元非線形の地震応答解析を用いた照査例

面外曲げ・面内せん断破壊に対する照査

中空円筒体としての曲げ変形

水平断面の変形

側壁は中空円筒体としての曲げ変形と、水平断面としての変形に伴う圧縮に対して評価を行う必要がある。

⇒ 主圧縮ひずみによる照査を示した。
(本編では圧縮縁変位差による照査例も示した。)

主圧縮ひずみによる照査位置

主圧縮ひずみによる照査結果

	底壁	側壁
照査用応答値		
最大圧縮ひずみ ϵ	5.88×10^{-4}	6.25×10^{-4}
応答係数 γ_a	1.20	1.20
照査用の圧縮ひずみ $\epsilon_g (= \gamma_a \cdot \epsilon)$	7.06×10^{-4}	6.30×10^{-4}
限界ひずみ ϵ_r	8.63×10^{-3}	7.63×10^{-3}
構造物係数 γ_l	1.00	1.00
照査値 $\gamma_l \cdot \epsilon_g / \epsilon_r$	0.082	0.084
安全性の判定	OK	OK

18

＜照査例＞ Ⅲ 三次元非線形の地震応答解析を用いた照査例

面外せん断破壊に対する照査

せん断耐力による照査

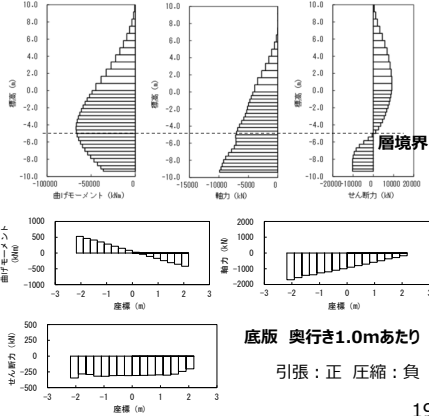
[illegible]

照查
位置



より安全側の評価と考えるせん断耐力による照査を基本として示し、部材厚増分を用いた照査を例示した。

海水管立坑1基あたり



19

＜照査例＞ Ⅲ 三次元非線形の地震応答解析を用いた照査例

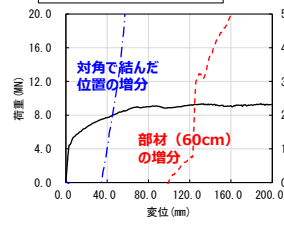
面外せん断破壊に対する照査

部材厚増分による照査

		海水管立坑	水平断面
照査用応答値	部材厚増分 ΔD	1.73 mm	0.045 mm
	応答値係数 γ_D	1.20	1.54
照査用限界値	照査用の部材厚増分 $\Delta D_{lim} (= \gamma_D \cdot \Delta D)$	2.08 mm	0.054 mm
	限界値 ΔD_{lim}	5.0 mm	9.93 mm
照査	構造物係数 γ_1	1.00	1.00
	照査値 $\gamma_1 \cdot \Delta D_{lim}$	0.42	0.054
	安全性の判定	OK	OK

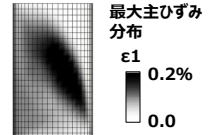
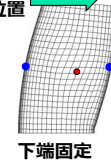
部材厚増分
照査位置

技術資料VI 4.2.4



円周筋を考慮せず、a-dを1.0～2.0程度とした静的解析を実施することで、部材厚増分の適用性を検討した。

強制変位
作用位置



引張：正 20

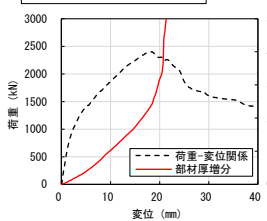
＜照査例＞ Ⅲ 三次元非線形の地震応答解析を用いた照査例

面外せん断破壊に対する照査

部材厚増分による照査

		海水管立坑	水平断面
照査用管径	部材厚増分 ΔD	1.73 mm	0.045 mm
	正管径係数 y_{in}	1.20	1.20
照査用限界値	照査用の部材厚増分 $\Delta D_{\lim} (= y_{in} \cdot \Delta D)$	2.08 mm	0.054 mm
照査	限界値 ΔD_{lim}	5.0 mm	9.93 mm
	構造物係数 y_1	1.00	1.00
	照査値 $y_1 \cdot \Delta D_s / \Delta D_{lim}$	0.42	0.054
	安全性の判定	OK	OK

技術資料VI 4.2.4



せん断補強筋を考慮しない条件で、軸力比をパラメータとした検討を行い、本指標の適用性を確認した。

強制変位
作用位置



最大主ひずみ
分布

ε_1

0.2%

0.0

引張：正

引張：正

21

・海水管立坑(円形RC立坑)を対象とし、密な地盤の液状化が生じる条件下、二次元部材非線形および三次元材料非線形地震応答解析を用いた照査例を示した。

関連技術資料の目次

V 地盤の液状化を考慮した三次元実規模構造物の二次元有効応力解析

1. はじめに
2. 解析方法の検討
3. 解析概要
 - 3.1 解析ケース
 - 3.2 解析モデル
 - 3.3 解析用物性値
 - 3.4 入力地震動
4. 解析結果
5. 適用性検討のまとめ

VI 地盤の液状化を考慮した三次元 実規模構造物の材料非線形解析

【目次】

1. はじめに
2. 検討条件
3. 解析モデル
4. 解析結果
 4. 1 地盤
 4. 2 RC立坑
5. まとめ