

---

# 下水道施設における 静的非線形解析を用いた 耐震診断事例

(株)極東技エコンサルタント 北村利夫

---



# 目 次

1. 業務概要、施設概要
2. 検討背景・目的
3. 耐震計算法
4. 第 1 ポンプ場
  - 4-1. 解析モデル
  - 4-2. 線形解析による診断結果
  - 4-3. 構造物特性係数の算出
  - 4-4. 非線形解析結果
5. 第 2 ポンプ場
  - 5-1. 解析モデル
  - 5-2. 線形解析による診断結果
  - 5-3. 非線形解析結果
6. 非線形解析について

# 1. 業務概要、施設概要

本業務はA市の同じ敷地内にある合流式ポンプ場（第1ポンプ場）と汚水ポンプ場（第2ポンプ場）の2施設を対象とした地下土木部の静的非線形解析業務である。

表1. 施設概要

	第 1 ポンプ場	第 2 ポンプ場
下水排除方式	合流式	分流式
ポンプ場種類	合流式ポンプ場	汚水ポンプ場
能力	9.63 m <sup>3</sup> /秒 (雨天時計画下水量)	1.36 m <sup>3</sup> /秒 (計画時間最大汚水量)
供用開始年度	汚水 昭和41年 雨水 昭和38年	昭和 48年
設計対象施設 (工種：土木)	・ ポンプ棟地下構造物 (ポンプ棟基礎・ポンプ井)	・ ポンプ棟地下構造物 (B1F機械室・ポンプ室) (B2F冷却水槽・ポンプ井)

# 1. 業務概要、施設概要

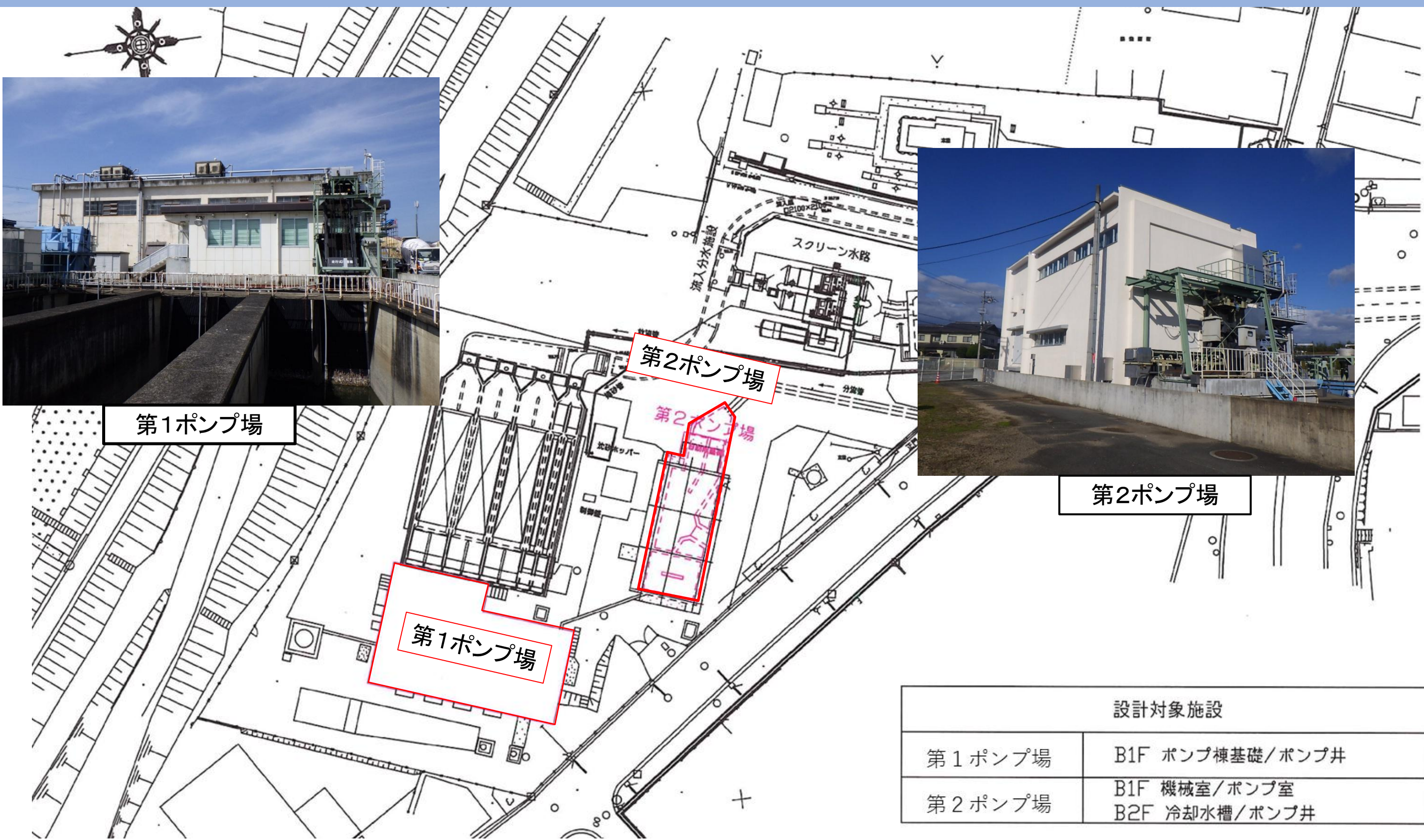


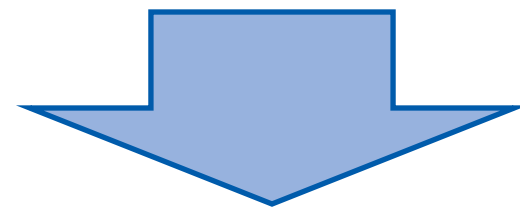
図1. 対象施設の施設平面図

## 2. 検討背景・目的

本業務に先立ち、静的線形解析を実施していた結果、地下水槽部で耐震性能を不足する部材があった。

### ＜静的線形解析の課題点＞

- 稼働中の施設では、運転を止めることができないことから補強を行うには仮設による代替え施設が必要
- 解析方法の特性上、地震発生時に近い応力での解析が困難であり、耐震性能不足となる部材が多く発生する可能性がある



より現状に近い応力での解析が可能な  
非線形解析による耐震性能2'の照査を提案した。

### 3. 耐震計算法

#### <静的線形解析>

全ての部材の隅角部に塑性ヒンジが発生するものとして照査を行う必要がある。

せん断破壊先行モードでの耐震性能不足となる部材が発生する可能性が高い。

#### <静的非線形解析>

塑性ヒンジの発生箇所を特定することができ破壊モードの検討箇所は限定的となる。

損傷度の確認ができるため、弾性域部材は許容応力度での照査が行える。

### 3. 耐震計算法

#### 【慣性力が支配的な耐震計算法】

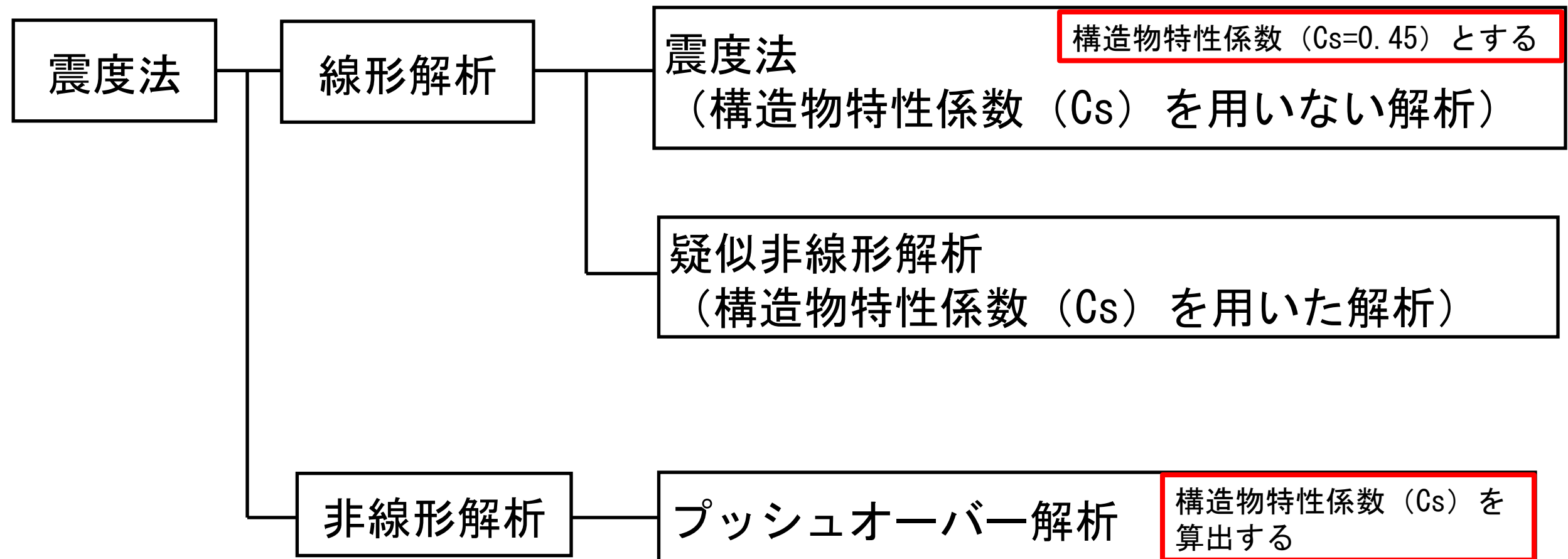


図2. 静的解析の耐震計算法の体系

## 4. 第1ポンプ場

### 4-1. 解析モデル

- ・ポンプ棟及びポンプ棟基礎の構造分類は、建築物のⅤ類とした。
- ・ポンプ井の構造分類は、水槽構造物のⅠ類とした。

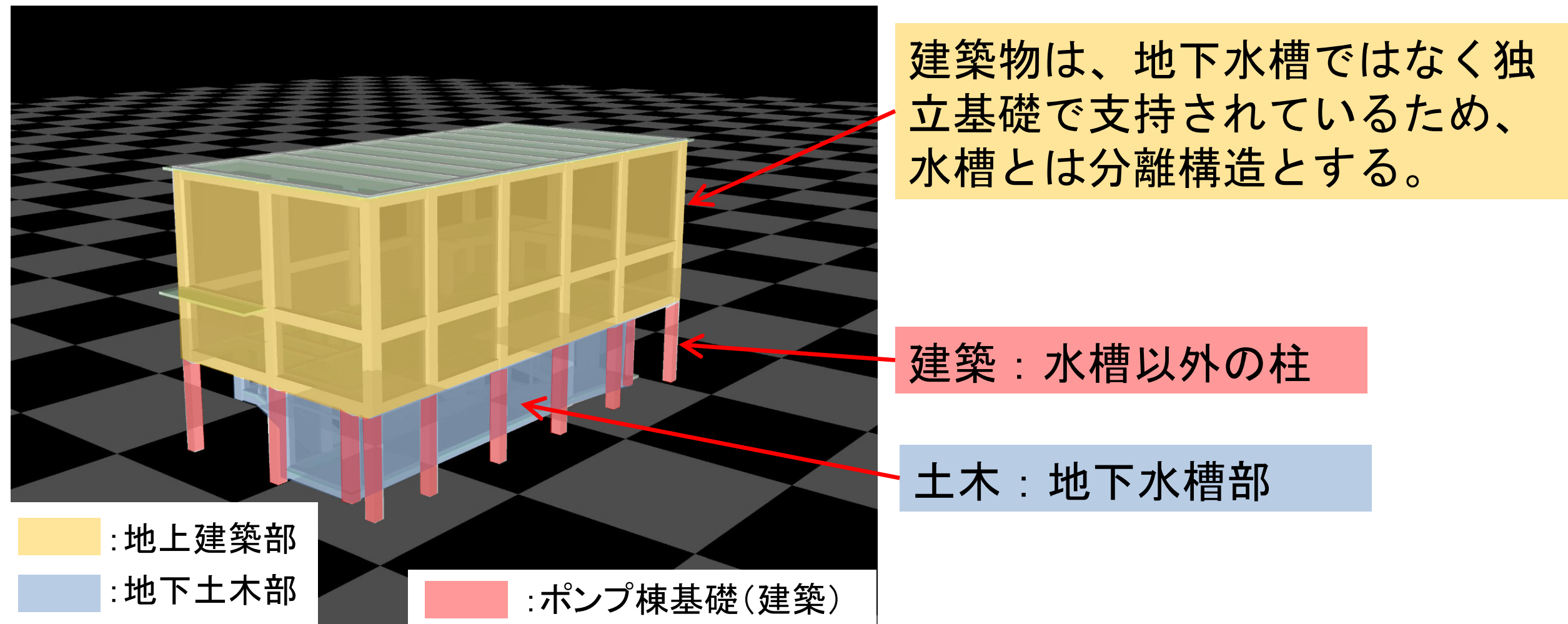
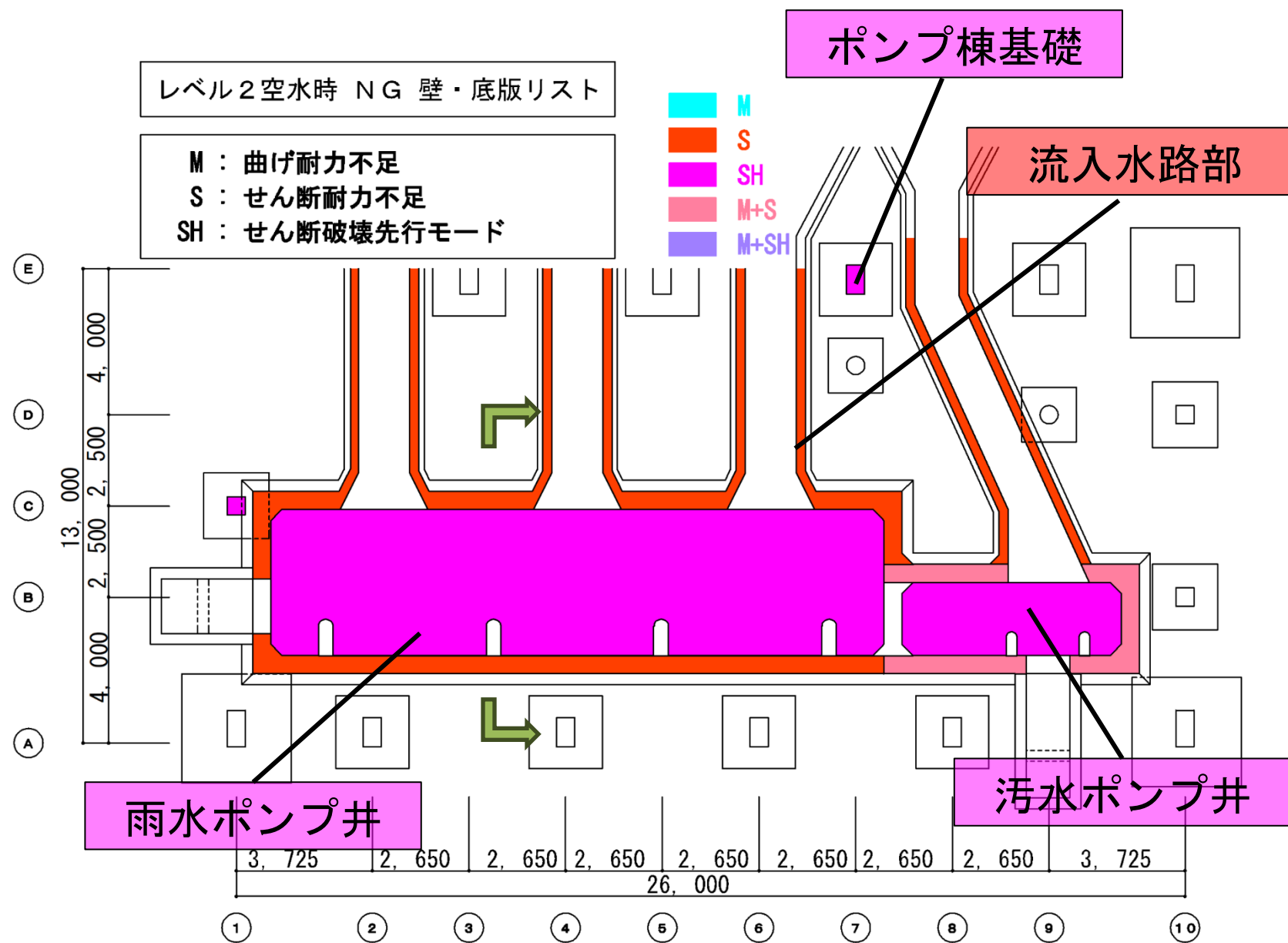


図3. 第1ポンプ場梁柱解析モデル

## 4-2. 線形解析による診断結果



- ・ポンプ棟基礎でせん断破壊先行モードがあった。
- ・地下水槽部でせん断主体の耐震性能を満足しない結果であった。

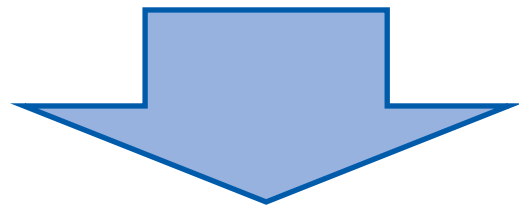


1 F 部分 (補強箇所は地下)

図4. 地下1階 (ポンプ井) 伏せ図／診断結果

## 4-3. 構造物特性係数の算出

構造物特性係数は、  
 $C_s = K_{h0} / K_{he}$   
 $= 0.564 / 0.60$   
 $= 0.940$



線形解析時に用いた  
 $C_s = 0.45$ よりも  
高くなった。

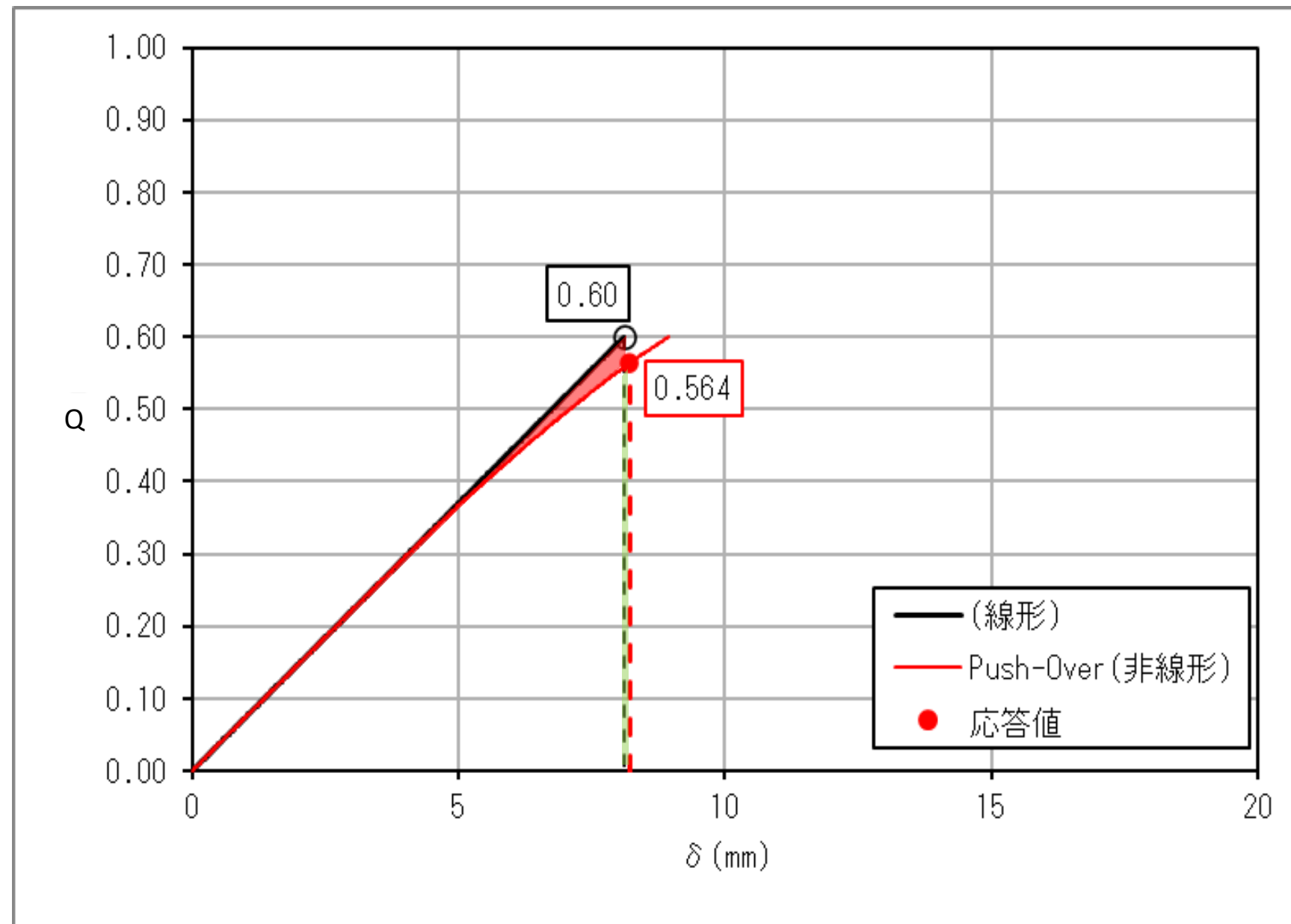


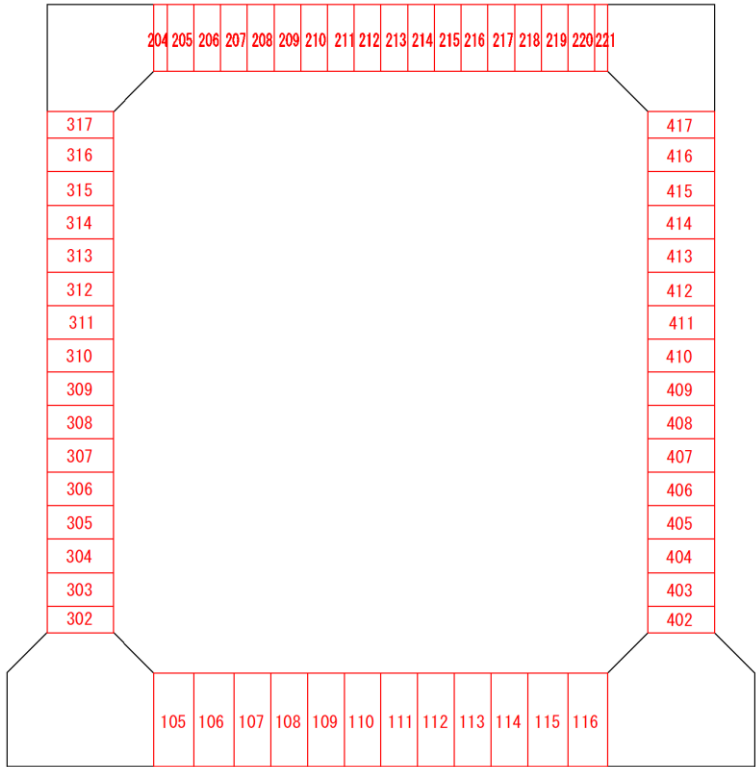
図5. エネルギー一定則による荷重変位曲線

## 4-4. 非線形解析結果（主架構）

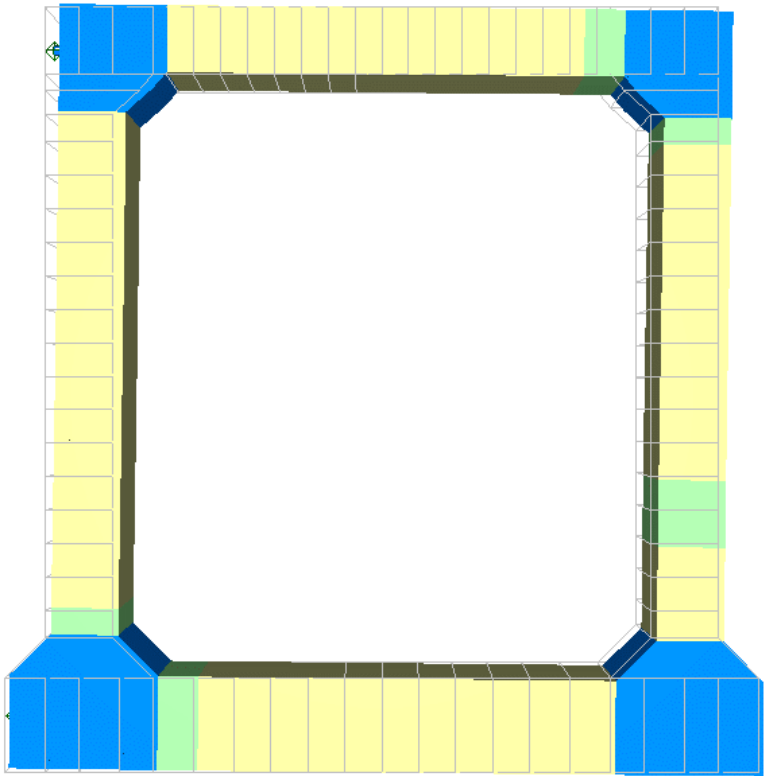
- 線形解析の結果でせん断破壊先行モードとなるポンプ棟基礎の柱部材があった。
- 耐震性能を満足しない柱に対しては、建築基準で照査を行い耐震性能を満足する結果となった。

# 4-4. 非線形解析結果（主要断面）

- 曲げに対しては、塑性ヒンジの発生箇所がないため、耐震性能2を有する結果となった。



要素番号図



非線形解析結果

凡例	状態	
	剛域	—
	損傷なし	—
	ひび割れ	$\phi_c$ 超過
	降伏	$\phi_y$ 超過
	終局	$\phi_u$ 超過
	終局	$2 \times \phi_u$ 超過

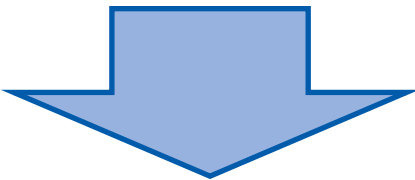
図6. 曲げの照査結果

# 4-4. 非線形解析結果（主要断面）

表 2. せん断照査結果（壁・底版）

部材番号	着目位置	構造解析結果						総合判定	検討ケース	
		$\gamma_i \cdot V_d$ Vyd	判定	$\gamma_i \cdot V_{mu}$ Vyd	破壊 モード	$\gamma_i \cdot V_d$ Vyd	余裕度 判定			
105	左端	0.66	OK	1.01	S	0.55	OK	OK	底版	
114	右端	0.08	OK	1.13	S	0.06	OK	OK	底版	Mmax
116	右端	0.19	OK	2.16	S	0.16	OK	OK	底版	
204	左端	0.04	OK	0.14	M	—	—	OK	頂版	
205	左端	0.02	OK	0.07	M	—	—	OK	頂版	Mmax
221	右端	0.63	OK	0.84	M	—	—	OK	頂版	
302	下端	1.20	NG	1.99	S	1.00	NG	NG	側壁左	
312	上端	0.01	OK	0.01	M	—	—	OK	側壁左	Mmax
317	上端	0.30	OK	0.71	M	—	—	OK	側壁左	

部材（302）はせん断に対してNG判定



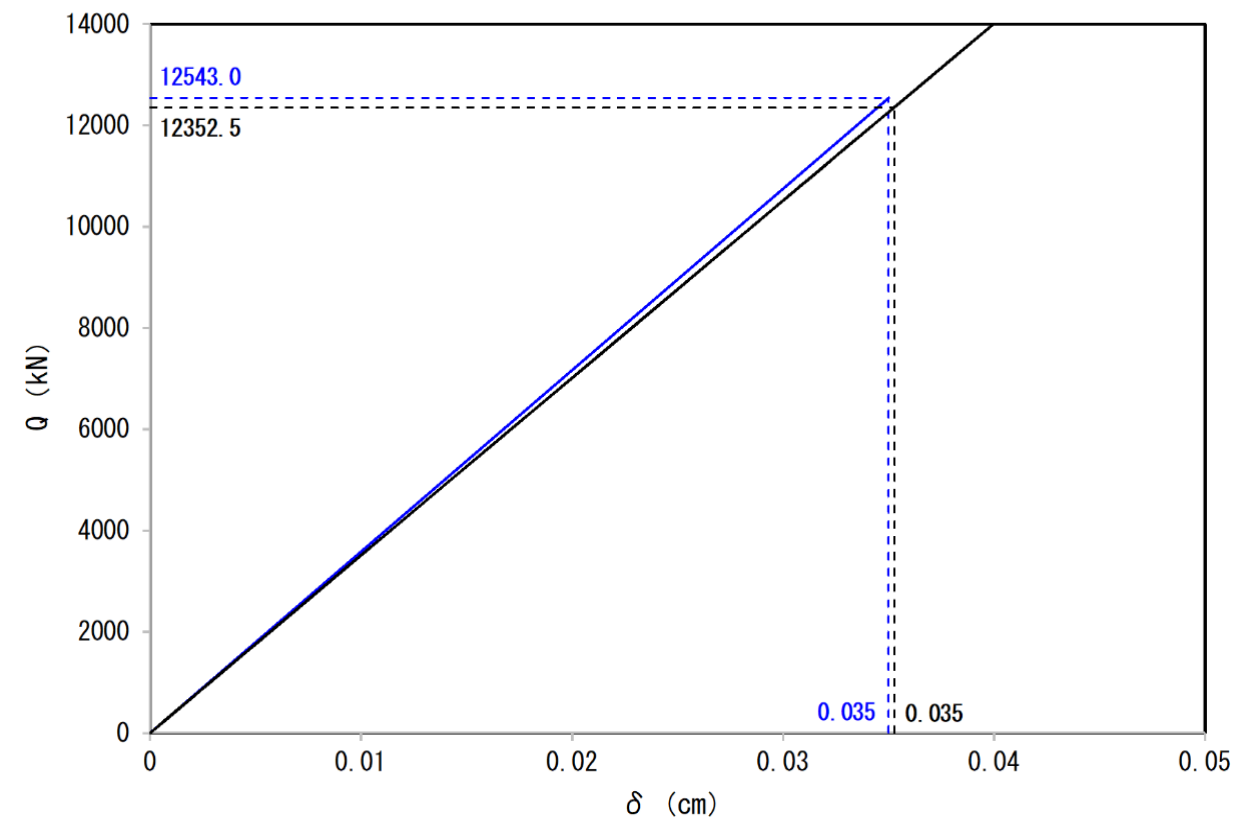
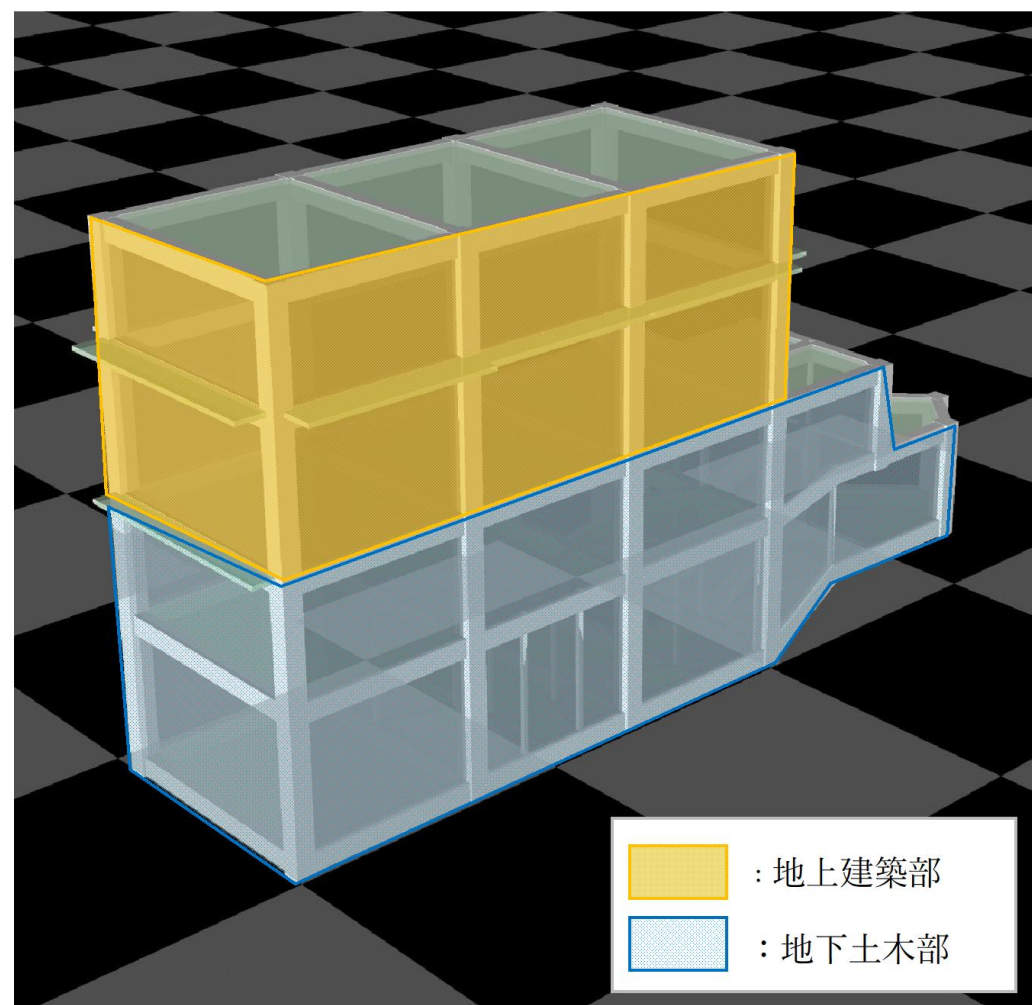
せん断圧縮破壊耐力式で再照査  
部材（302）はOK判定

非線形解析の結果、第1ポンプ場の地下構造物は  
全ての部材で耐震性能を有している結果を得た。

## 5. 第2ポンプ場

### 5-1. 解析モデル

- ・構造分類は、建築と土木の複合構造物として、IV類として検討を行った。



- ・構造物特性係数 $C_s$ は、梁柱解析モデルの変位を用いて算出した結果 $C_s=0.98$ であった。
- ・主要断面計算についても $C_s=0.98$ とした。

## 5-2.線形解析による診断結果

- 線形解析の結果では、図9. に示すように沈砂池部の壁・底版およびポンプ井の梁・柱において、せん断破壊先行モードの耐震性能を満足しない結果であった。

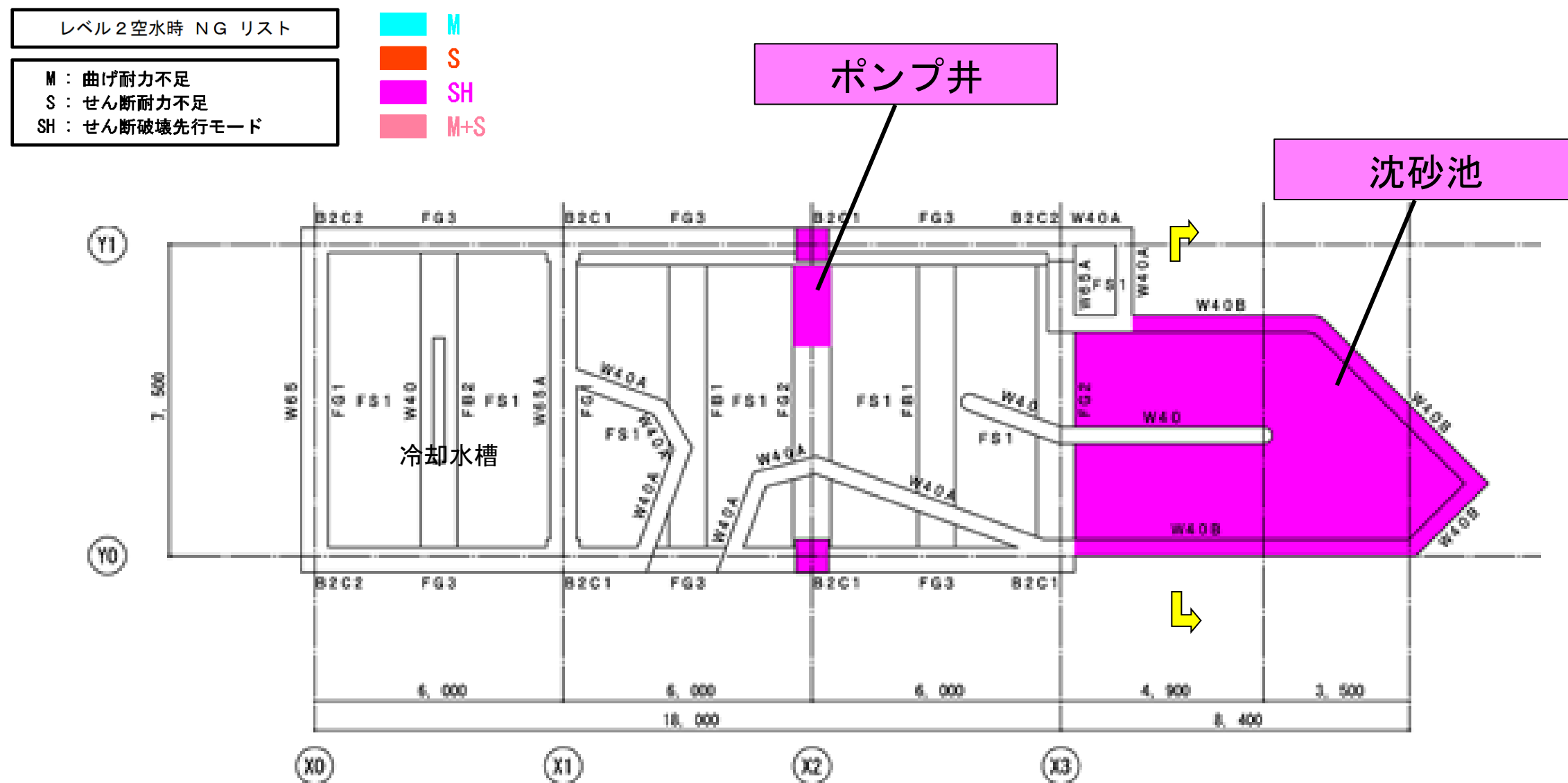


図8. 地下2階（ポンプ井）伏せ図

### 5-3. 非線形解析結果（主架構）

- 塑性ヒンジの発生が無かったため、せん断破壊先行モードの照査が不要となり、全体的に耐震性能を満足しない部材は減少した。
- 荷重（ $C_s=0.98$ ）は大きくなったため、破壊モードの判定が耐力不足になった部材があり、柱梁で耐震性能を満足しない結果となった。

## 5-3. 非線形解析結果（主要断面）

- 沈砂池部の壁底版で耐震性能を満足しない部材があったため、主要断面の非線形解析を行った。
- 解析モデルは、施設形状を考慮して、3次元効果を考慮した2次元モデルとした。  
（図9.）
- 損傷度Ⅰとなり施設評価は耐震性能Ⅱを有する結果となった。

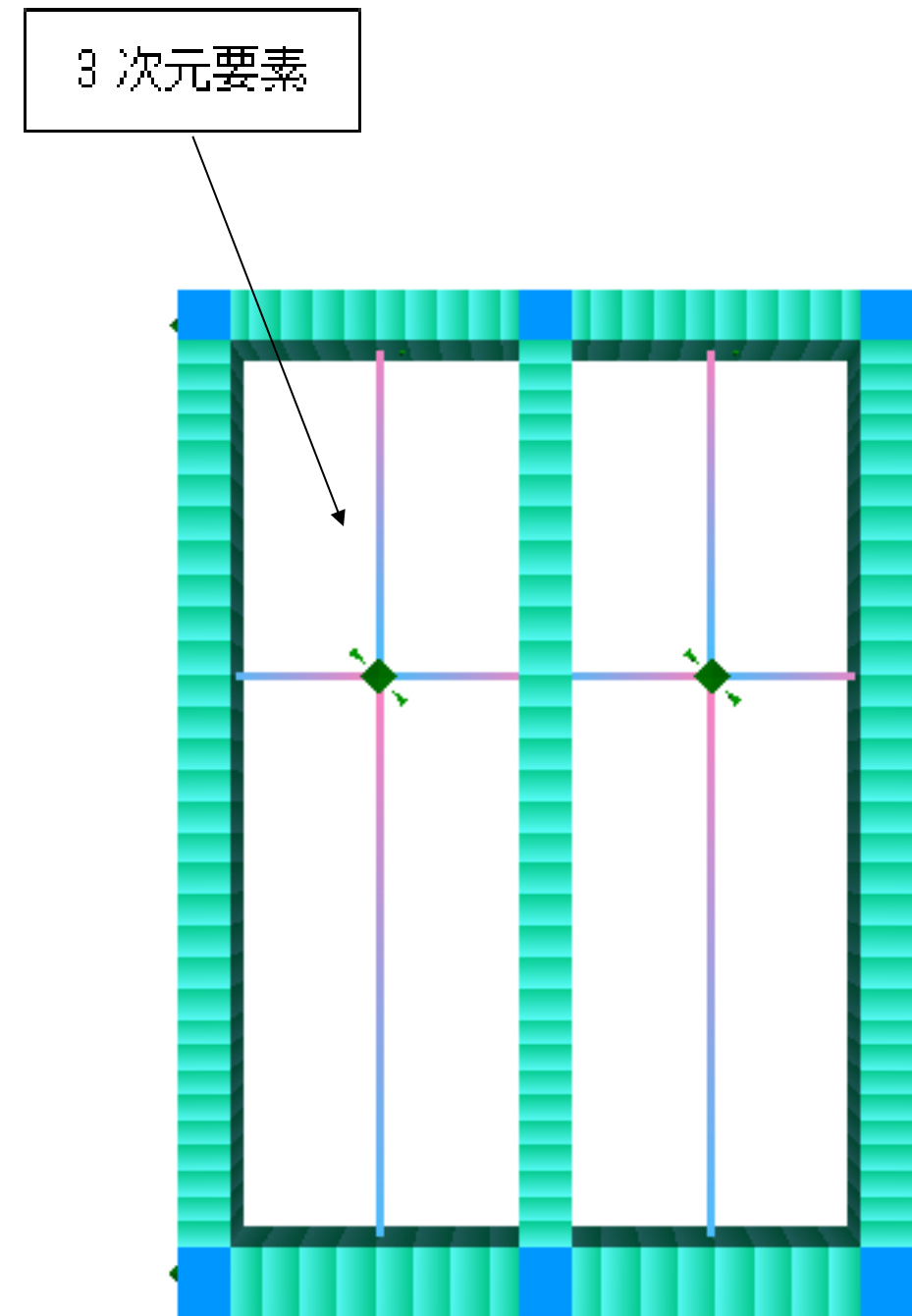


図9. 主要断面の解析モデル

# 6. 非線形解析について

表 3. 非線形解析結果

検討結果	第 1 ポンプ場	第 2 ポンプ場
曲げ照査結果	全ての部材でOK判定となった。	全ての部材でOK判定となった。
せん断照査結果	全ての部材でOK判定となった。	面部材の壁底版ではOK判定となった。 梁・柱ではNG判定があった。
補強箇所	耐震補強無し	柱・梁のせん断補強
線形解析時 補強費用	<div>補強費用 4700万円 仮設費用 9000万円</div> <div>計 13700万円</div>	<div>補強費用 4700万円 仮設費用 6000万円</div> <div>計 10700万円</div>
非線形解析時 補強費用	<div>補強費用 0万円 仮設費用 0万円</div> <div>計 0万円</div>	<div>補強費用 700万円 仮設費用 6000万円</div> <div>計 6700万円</div>
非線形解析効果	13700万円	4000万円

- 補強に際して仮設費用が必要なことから、補強がなくなっ  
った第 1 ポンプ場は、非線形解析効果が高くなった。