

静的非線形解析手法を用いた 下水道施設の耐震設計事例

日本水工設計 株式会社

名古屋支社

伊藤 なつ音

目次

1. はじめに

2. 検討背景・目的

3. 設計事例①

～L1地震動に対する補強が多い施設の非線形解析導入検討～

4. 設計事例②

～耐震補強済箇所を含んだ施設の非線形解析導入検討～

5. まとめ

目次

1. はじめに

2. 検討背景・目的

3. 設計事例①

～L1地震動に対する補強が多い施設の非線形解析導入検討～

4. 設計事例②

～耐震補強済箇所を含んだ施設の非線形解析導入検討～

5. まとめ

1. はじめに

静的非線形解析の有効性提案についての効果

経済的な耐震化事業を推進するため
静的非線形解析を用いた診断を行う有効性を提案



対象構造物の変形などを視覚的にとらえ、
構造物特性を理解し、構造モデル変更等の合理的な
構造性能向上の検討も付加することで、
幅広い提案に結び付けることが出来た



非線形診断の提案に加え、構造モデル変更によって
効果が得られた2事例について報告を行う

目次

1. はじめに

2. 検討背景・目的

3. 設計事例①

～L1地震動に対する補強が多い施設の非線形解析導入検討～

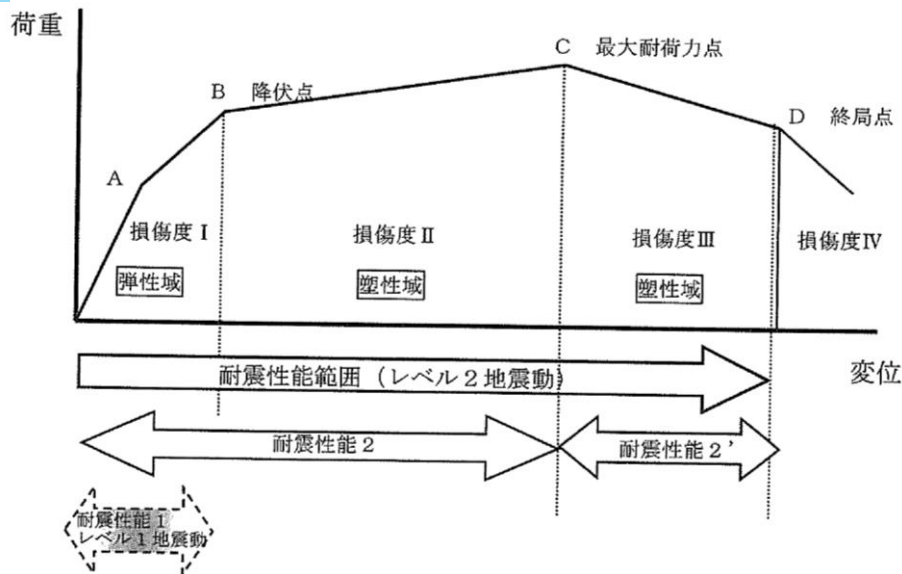
4. 設計事例②

～耐震補強済箇所を含んだ施設の非線形解析導入検討～

5. まとめ

2.検討背景・目的

下水道施設(土木)の耐震基準について



出典: 下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年版)

L1地震動(震度5弱～震度5強程度)の耐震性能照査

耐震性能1(修復せずに本来の機能を確保できる状態)が必要
⇒許容応力度法(線形解析)

L2地震動(震度7相当)の耐震性能照査

耐震性能2(損傷を許容するが、速やかに機能回復を可能とする性能)が必要
⇒限界状態設計法
(線形解析or非線形解析)

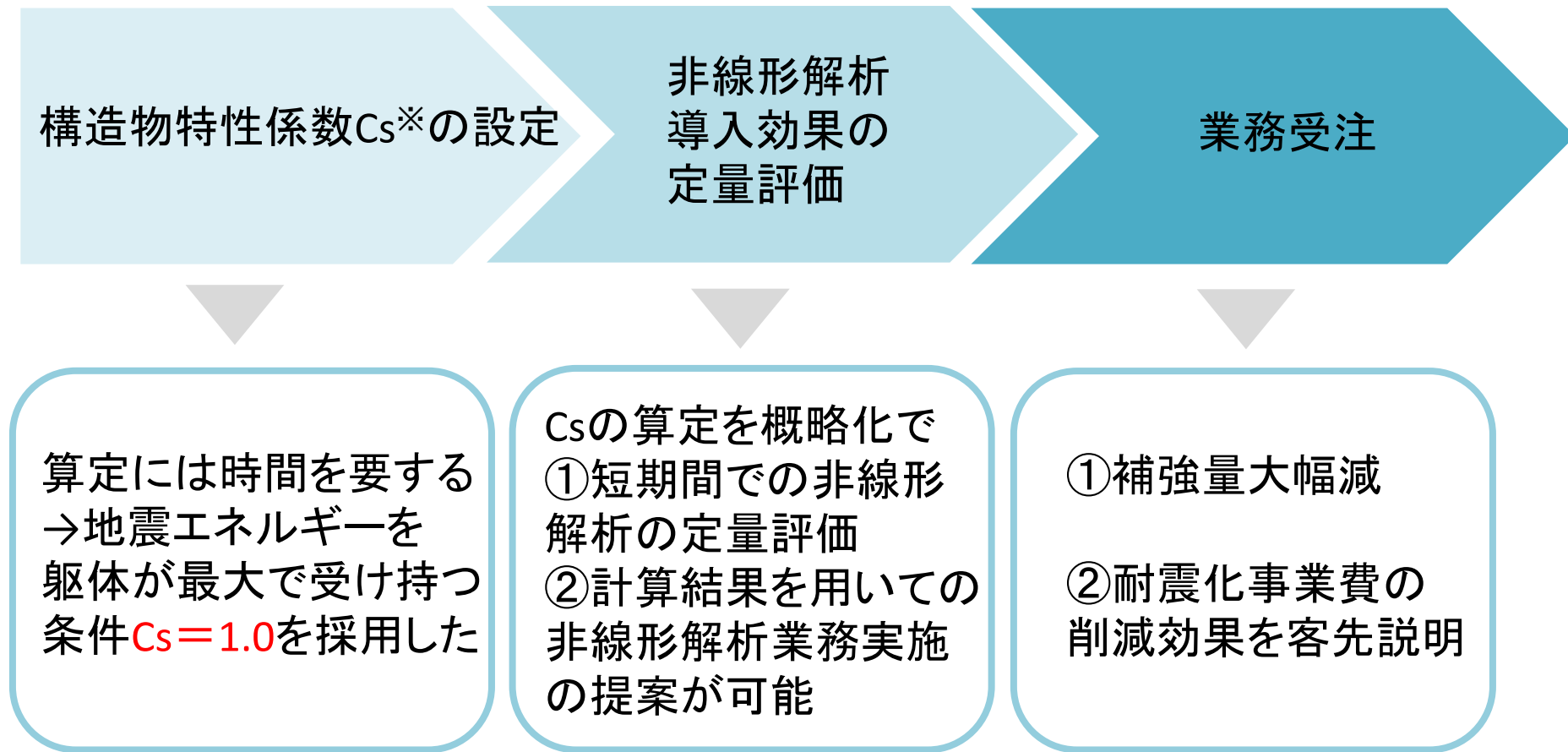
L2地震動に対する線形解析

- ・部材の損傷を前提として各部材のじん性を構造物特性係数 C_s を用いて疑似的に設定
- ・すべての部材で塑性ヒンジが発生することが前提とする耐力照査方法で補強量が多く耐震補強工事の実施が困難

⇒非線形解析の導入で補強量の縮減の提案

2.検討背景・目的

$C_s=1.0$ を用いた非線形解析導入効果の検討の流れ



本報告の目的

非線形解析の導入検討のみでは、課題解決に至らず
モデル変更の提案を行い、効果が得られた事例の紹介

目次

1. はじめに

2. 検討背景・目的

3. 設計事例①

～L1地震動に対する補強が多い施設の非線形解析導入検討～

4. 設計事例②

～耐震補強済箇所を含んだ施設の非線形解析導入検討～

5. まとめ

3. 設計事例①

Cs=1.0による静的非線形解析導入効果の検討と L1NG解消のためのモデル変更の提案

3.1 事例の概要

(1) 検討対象施設

① 対象施設

- ・最初沈殿池(躯体:8池, 供用中:4池)
- ・反応タンク, 最終沈殿池(躯体・供用中:8池)
- ・独立管廊(3)

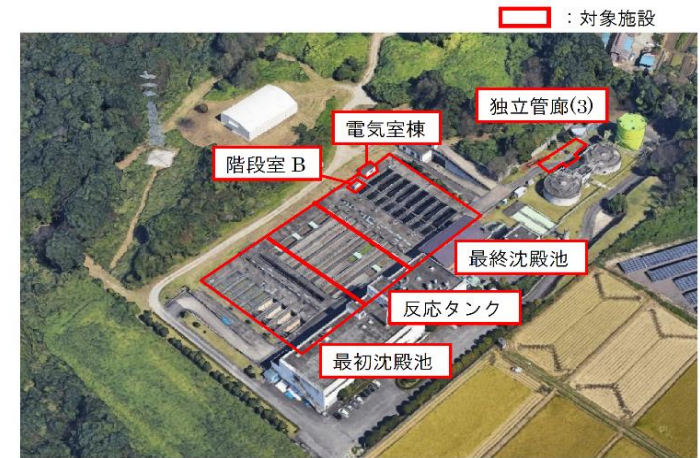
② 対象水量

計画1日最大汚水量 17,500m³/日

広域化・共同化事業開始時の水量予測値: 14,300m³/日

③ 構造分類

- ・最初沈殿池, 反応タンク, 最終沈殿池・・・RC造 直接基礎形式 I -1
- ・独立管廊(3)・・・RC造 直接基礎形式 II 類



A市K水処理センター外観図

類

3. 設計事例①

$C_s=1.0$ による静的非線形解析導入効果の検討と L1NG解消のためのモデル変更の提案

3. 2 提案内容

線形解析を行った結果、L1地震時、L2地震時ともに多くの補強が発生し支障物やL1地震時の補強により、最初沈殿池の水槽容量不足が課題



非線形解析を導入することで補強量を削減させることが出来そう



しかし...

2014年版の指針においては、非線形はL2のみの適用となっており、
L1の補強対策量縮減に非線形解析手法は適用出来ない

L1,L2地震時両方に
効果のある補強案

3. 設計事例①

$C_s = 1.0$ による静的非線形解析導入効果の検討と
L1NG解消のためのモデル変更の提案

①L1地震動時の補強量削減提案

＜水槽上部にRCスラブを設置したモデルへの変更＞
線形解析結果から、既存の水槽の形状が開水路であり底版と隔壁が片持ち梁と同様の構造特性が原因で隔壁下端・底版にL1地震時のNGが多く発生
対象施設の両側に管廊および水路があり水平拘束効果が期待できる
スラブを設置することでNG解消効果を期待

②L2地震動時の補強量削減提案

＜非線形解析の導入＞

現況のモデルと、スラブを設置したモデルの両方で非線形解析の導入効果を
 $C_s = 1.0$ を用いた非線形解析による定量評価を行い、比較する

3. 設計事例①

Cs=1.0による静的非線形解析導入効果の検討と
L1NG解消のためのモデル変更の提案

①L1地震動時の補強量削減提案

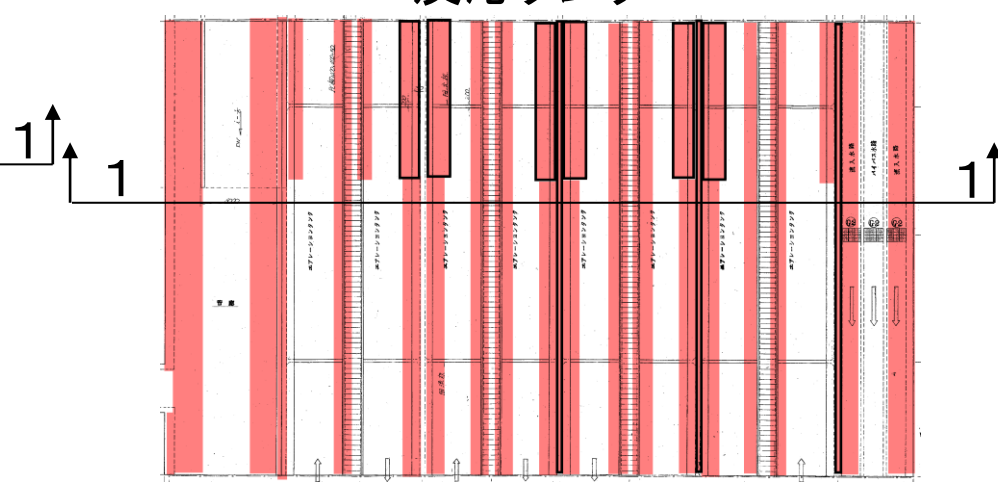
(1) 検討対象施設

最初沈殿池



最初沈殿池 補強範囲平面図

反応タンク



反応タンク 補強範囲平面図

■ 補強箇所(L1・L2地震時混在)
□ 水槽内増打補強箇所(L1地震時)

(2) 施設選定理由

- ①水槽内でのL1地震時補強が多い
- ②環境対策として補助事業でスラブを設置できる

(3) 解析断面モデルの選定

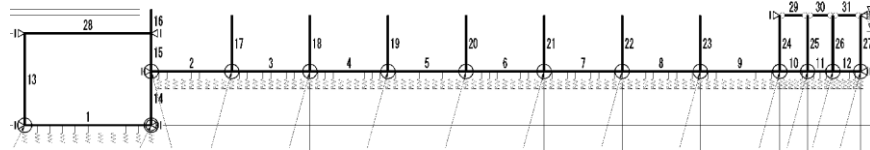
鉄筋コンクリート増打補強が必要な水路内の効果を確認するために断面を選定

3. 設計事例①

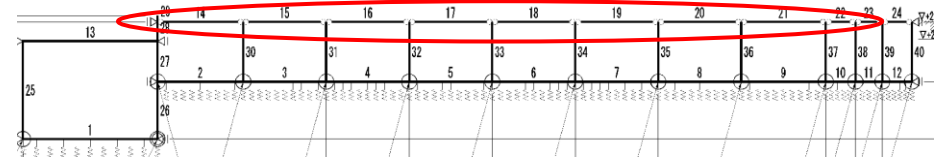
Cs=1.0による静的非線形解析導入効果の検討と
L1NG解消のためのモデル変更の提案

最初沈殿池 L1地震時耐震性能評価の比較

現況モデル

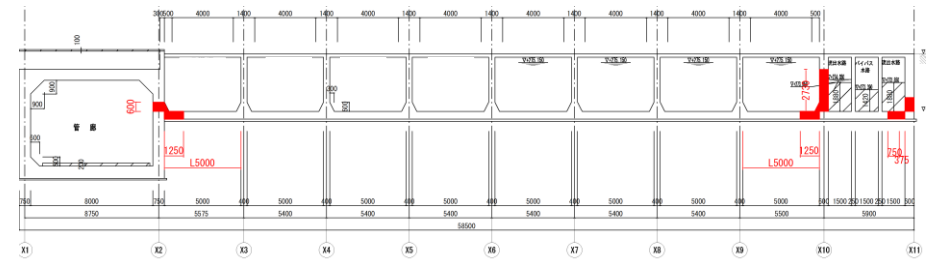
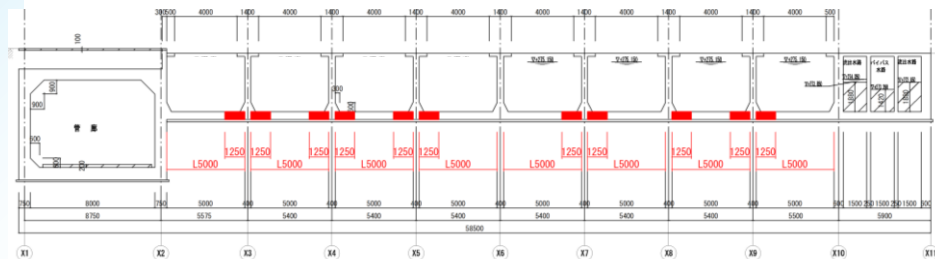


スラブ設置後



レベル1地震動時

補強必要箇所



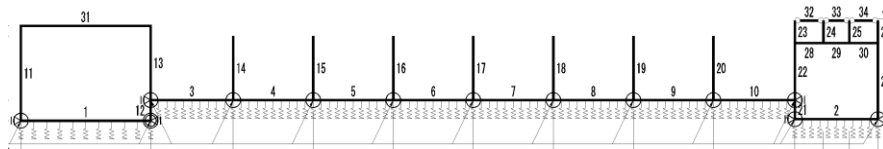
水槽内のL1補強量を減少させることが出来た

3. 設計事例①

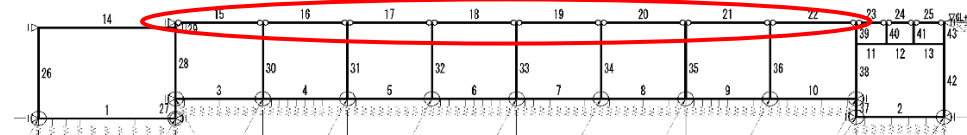
Cs=1.0による静的非線形解析導入効果の検討と
L1NG解消のためのモデル変更の提案

反応タンク L1地震時耐震性能評価の比較

現況モデル

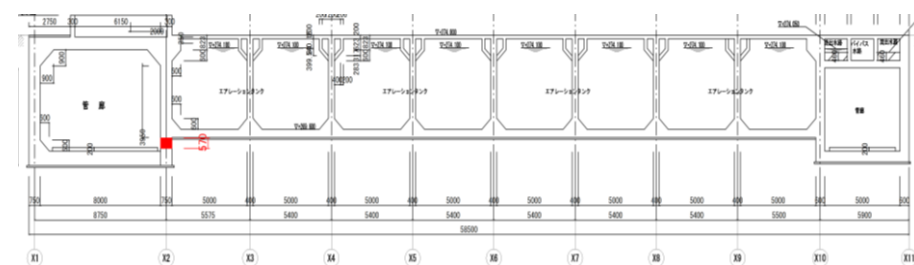
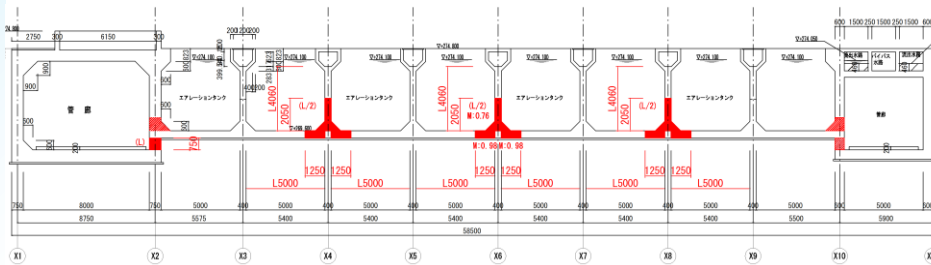


スラブ設置後



レベル1地震動時

補強必要箇所



水槽内のL1補強量を減少させることが出来た

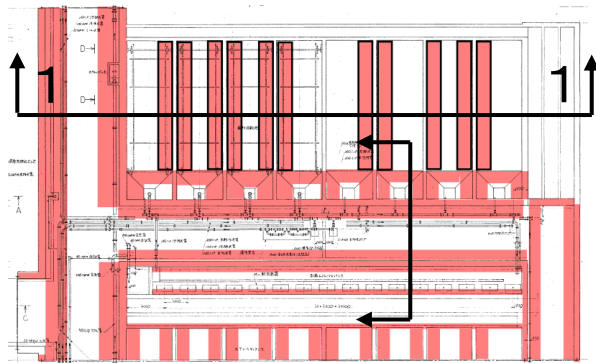
3. 設計事例①

$C_s=1.0$ による静的非線形解析導入効果の検討と
L1NG解消のためのモデル変更の提案

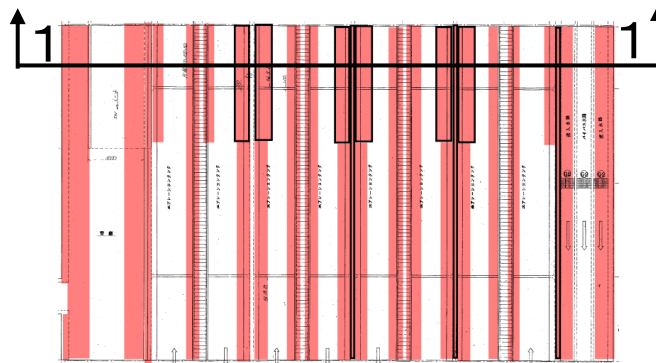
②L2地震動時の補強量削減提案

(1) 現況モデルの非線形解析導入効果検討対象施設

最初沈殿池



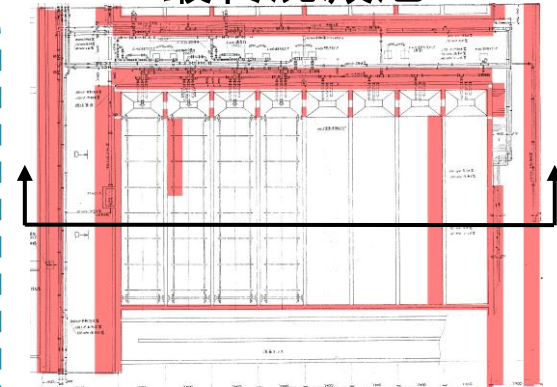
反応タンク



最初沈殿池補強範囲平面図 反応タンク補強範囲平面図

■ 補強範囲

最終沈殿池



最終沈殿池
補強範囲平面図

1-1断面についてスラブ設置有・無モデルで
非線形解析導入効果の比較

現況モデルで非線形解析
導入効果の検討

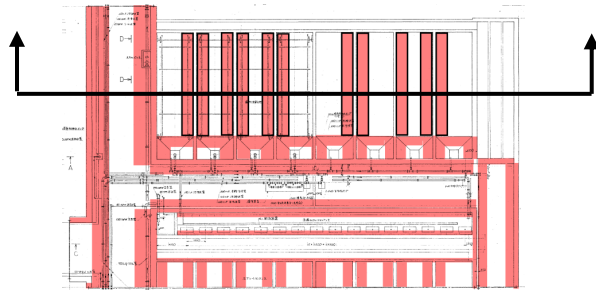
3. 設計事例①

$C_s=1.0$ による静的非線形解析導入効果の検討と
L1NG解消のためのモデル変更の提案

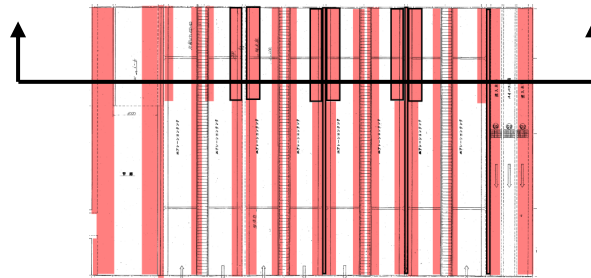
②L2地震動時の補強量削減提案

(1) 現況モデルの非線形解析導入効果検討対象施設

最初沈殿池



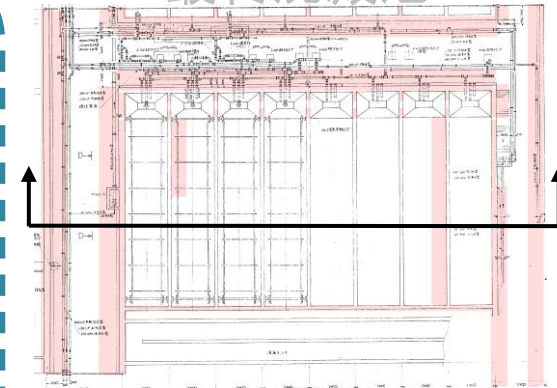
反応タンク



最初沈殿池補強範囲平面図 反応タンク補強範囲平面図

■ 補強範囲

最終沈殿池



最終沈殿池
補強範囲平面図

1-1断面についてスラブ設置有・無モデルで
非線形解析導入効果の比較

現況モデルで非線形解析
導入効果の検討

3. 設計事例①

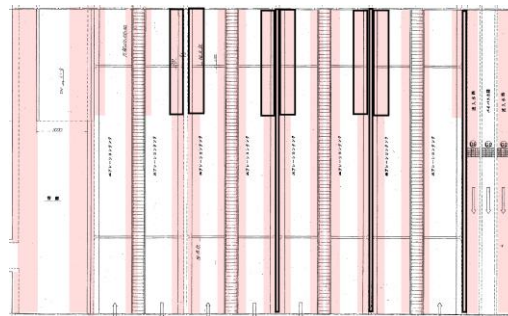
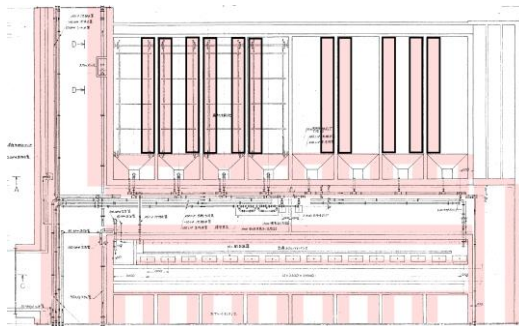
Cs=1.0による静的非線形解析導入効果の検討と
L1NG解消のためのモデル変更の提案

②L2地震動時の補強量削減提案

(1) 現況モデルの非線形解析導入効果検討対象施設

最初沈殿池

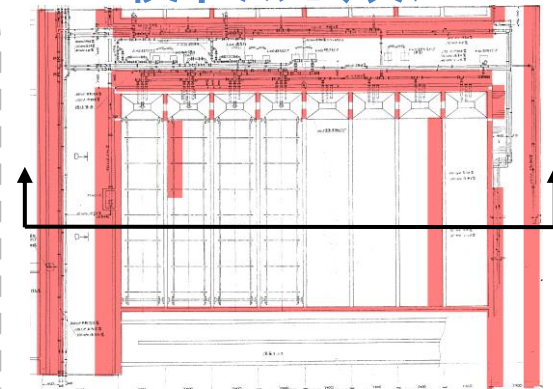
反応タンク



最初沈殿池補強範囲平面図 反応タンク補強範囲平面図

■ 補強範囲

最終沈殿池



最終沈殿池
補強範囲平面図

1-1断面についてスラブ設置有・無モデルで
非線形解析導入効果の比較

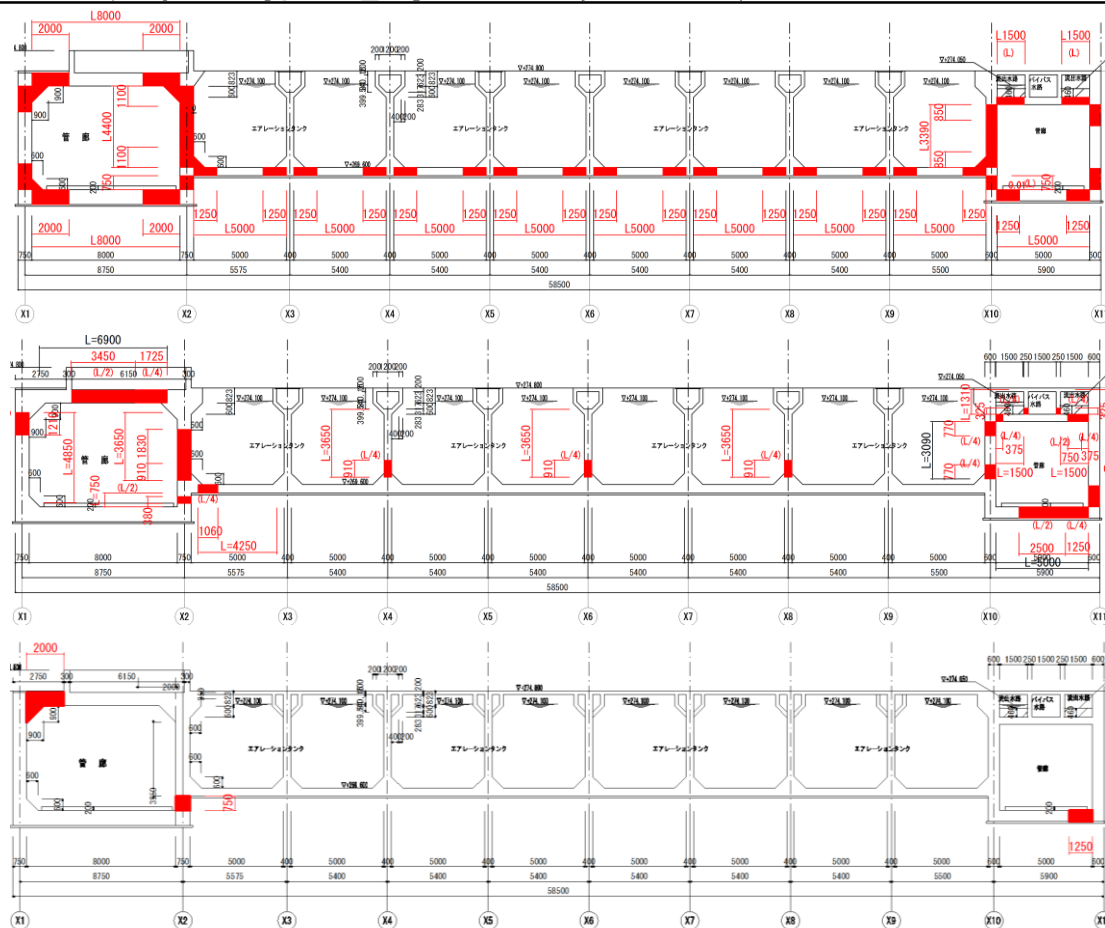
現況モデルで
非線形解析
導入効果の検討

Cs=1.0による静的非線形解析導入効果の検討と L1NG解消のためのモデル変更の提案

＜ケース1＞ 線形解析

＜ケース2＞ 非線形解析 現況モデル

＜ケース3＞ 非線形解析 スラブ設置モデル



レベル2地震動時

補強必要箇所

スラブを設置しても、非線形解析導入効果が見込める結果となった

3. 設計事例①

Cs=1.0による静的非線形解析導入効果の検討と L1NG解消のためのモデル変更の提案

3. 3 提案の結論

ケース1:「線形解析結果を用いて、耐震化事業を進める」

ケース2:「線形解析で使用したモデルを用いて非線形解析を行い耐震化」

◎ケース3:「RCスラブを設置したモデルで非線形解析を導入し耐震化」

単位：千円

項目		ケース 1	ケース 2	ケース 3	備考
設計費	①非線形解析		73,000	87,000	L1補強対策のモデル変更設計費 分14,000千円上乗せされてい る。
	②実施設計	74,000	93,000	108,000	
工事費	耐震補強費（直接）	1,371,200	444,800	331,900	
	耐震補強費（スラブ設置）	0	0	60,000	
	伸縮継手設置	96,000	96,000	96,000	
	設備撤去復旧費	1,220,000	306,000	96,000	
	簡易覆蓋設置	311,000	311,000	0	合成木材製
	脱臭設備新設	102,000	102,000	102,000	
	防食塗装	30,000	30,000	60,000	ケース1,2はケース3の費用から 覆蓋設置面積の分を減額してい る。(50%を想定)
合計		3,204,200	1,455,800	940,900	
割合表記	各ケース/ケース1×100	100%	45.4%	29.4%	
経済効果	ケース1との差		-1,748,400	-2,263,300	

開水路で、剛床仮定が成立しない不安定構造が原因で
L1地震時でのNGが多い施設のモデル変更は有効な補強案

目次

1. はじめに

2. 検討背景・目的

3. 設計事例①

～L1地震動に対する補強が多い施設の非線形解析導入検討～

4. 設計事例②

～耐震補強済箇所を含んだ施設の非線形解析導入検討～

5. まとめ

4. 設計事例②

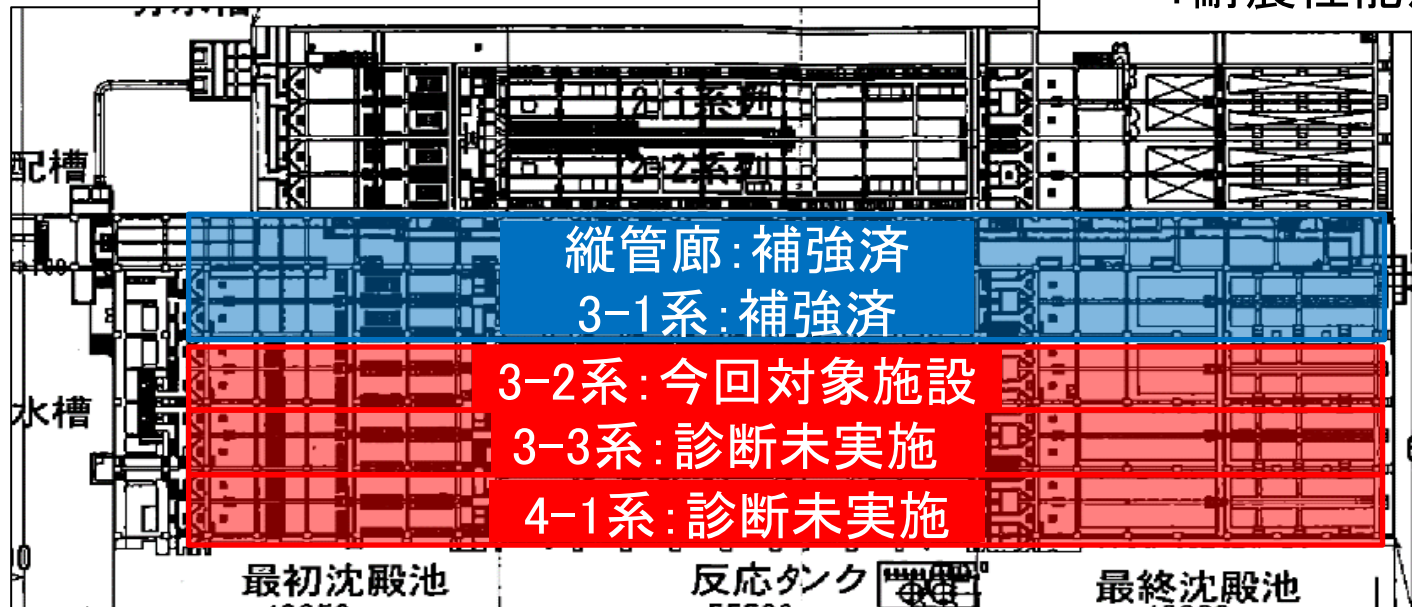
既耐震補強施設を含んだモデルを用いた
 $C_s=1.0$ による静的非線形解析導入効果の検討

4. 1 事例の概要

(1) 検討対象施設概要

- ①対象施設: 水処理棟(全6系列の内の4系列)
- ②構造形式: RC造 杭基礎形式 構造分類: IV-1類
- ③耐震化状況: 1系列が過年度耐震化済

■ : 耐震性能有り
■ : 耐震性能無し



対象施設平面図

4. 設計事例②

既耐震補強施設を含んだモデルを用いた
 $C_s=1.0$ による静的非線形解析導入効果の検討

4. 2 提案内容

B市N浄化センターでは段階的に耐震補強を進めており、
水処理施設3-2系の設備更新工事の時期に併せた耐震補強工事を実施予定



耐震補強済施設は線形解析結果で行っており
指針改定により非線形解析が導入されたため3-2系工事実施前に
導入を行うか否かの判断が必要



非線形解析の導入が望ましいが、
非線形解析導入で補強済施設に再度補強が発生しないかどうかを知りたい

耐震補強済施設の補強を考慮したモデルを用いて
非線形解析導入の定量評価を行う

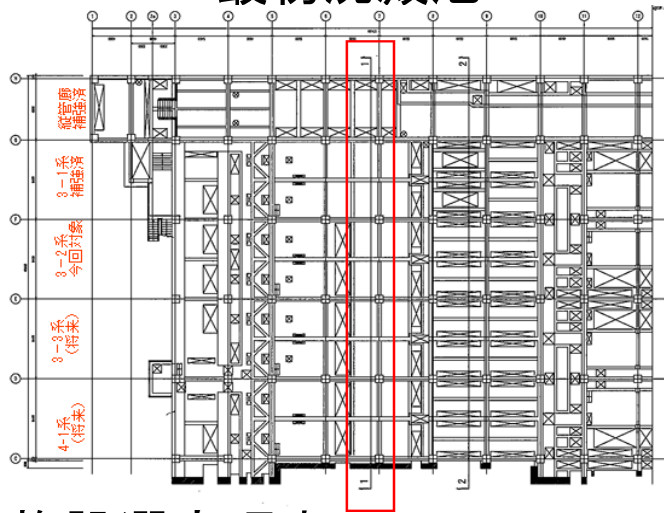
4. 設計事例②

既耐震補強施設を含んだモデルを用いた
 $C_s=1.0$ による静的非線形解析導入効果の検討

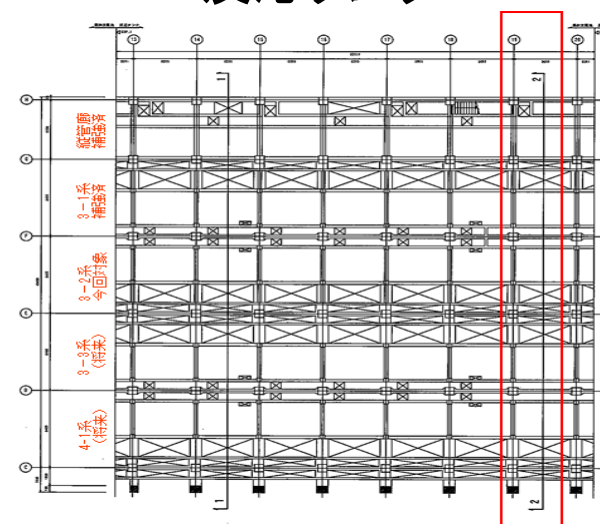
補強済施設の補強考慮したモデルを用いた非線形解析導入の定量評価

(1) 検討対象施設

最初沈殿池



反応タンク



(2) 施設選定理由

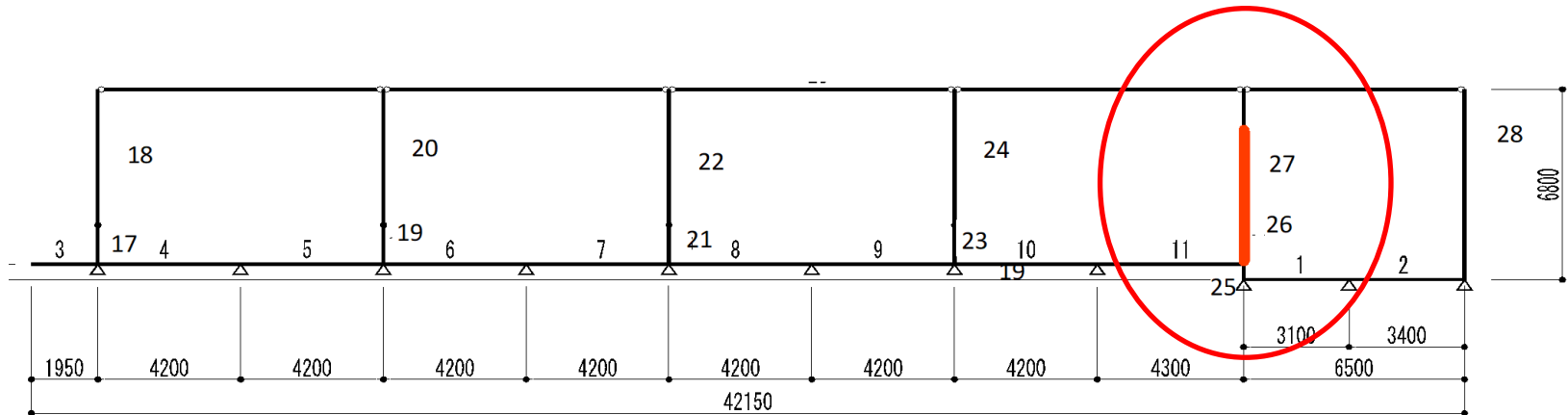
線形解析結果で鉄筋コンクリートを増打し壁・底版の厚みが変わった箇所を含む施設

(3) 解析断面モデルの選定

補強済施設の非線形解析導入による影響を確認するため、補強量が多い断面を選定

4. 設計事例②

既耐震補強施設を含んだモデルを用いた
 $C_s=1.0$ による静的非線形解析導入効果の検討



線形診断結果で鉄筋コンクリート増打が行われている箇所は
モデル上の部材厚を変更して解析を行う

4. 設計事例②

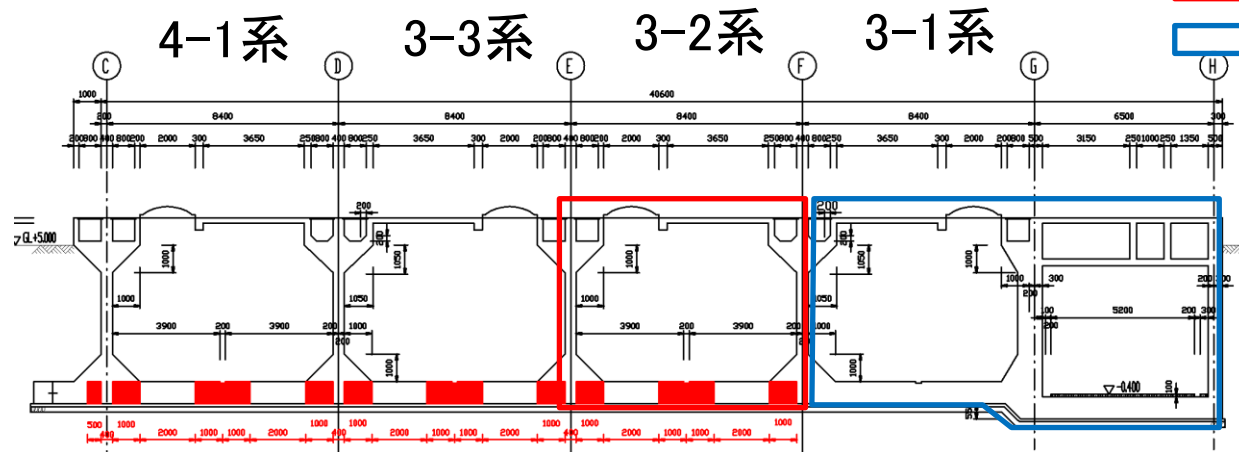
既耐震補強施設を含んだモデルを用いた
 $C_s=1.0$ による静的非線形解析導入効果の検討

反応タンク L2地震時耐震性能評価の比較

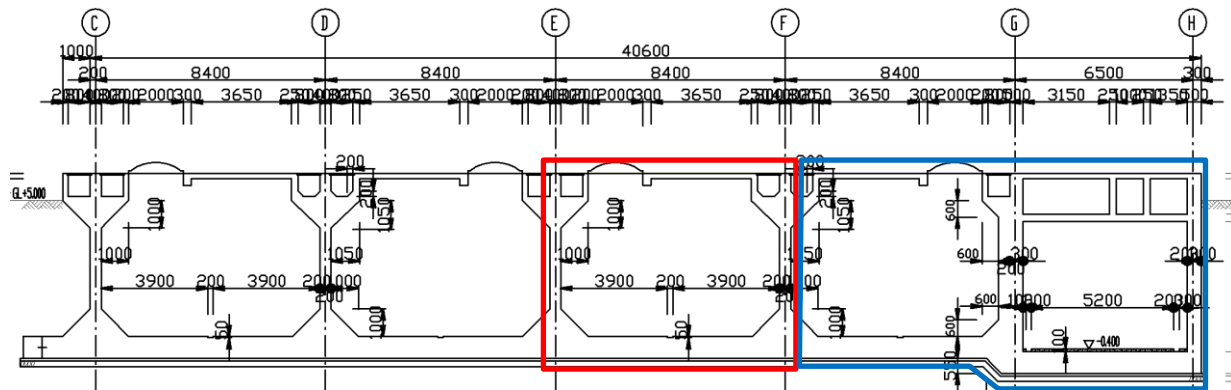
レベル2地震動時

- 補強必要箇所
- 対象施設
- 補強済施設

線形解析



非線形解析



補強済施設に新たなNGが発生することなく、非線形解析導入で補強量減少効果がみられた

4. 設計事例②

Cs=1.0による静的非線形解析導入効果の検討と L1NG解消のためのモデル変更の提案

4. 3 提案の結論

補強済である3-1系で新たな補強が発生せずに3-2系に非線形導入効果が認められ
事業費の54.5%削減できる結果となった。

本提案にて、自治体の非線形解析導入への不安を取り除くことが出来た。

単位：千円

No.	項目	①線形解析	②非線形解析	導入効果
1	非線形診断費	—	40,000	40,000
2	土木躯体耐震補強費	650,000	302,000	-348,000
3	事業全体合計	650,000	342,000	-308,000
4	3-2系事業費全体 No. 3 ②/3	217,000	101,000	-116,000
5	No. 4 割合表記 $(1.0 - ②/①) \times 100$	—	—	-54.5%

非線形解析を導入する時に剛接合で一体化した構造物は、
構造物全体を同一手法で解析を行うことが必要

線形解析の結果で補強を行った箇所についても再照査が必要となることに留意

目次

1. はじめに

2. 検討背景・目的

3. 設計事例①

～L1地震動に対する補強が多い施設の非線形解析導入検討～

4. 設計事例②

～耐震補強済箇所を含んだ施設の非線形解析導入検討～

5. まとめ

5. まとめ

各事例の提案内容まとめ

	課題	提案内容	結果
事例①	L1地震時に補強が多い施設で L1,L2両方に効果的な補強案の検討	変形を抑制出来るよう モデル変更を行い 静的非線形解析を導入	L1,L2地震時補強量減少 事業費の大幅な削減
事例②	耐震補強工事済施設に 非線形解析を導入しても 補強済箇所への 影響が生じないか確認	耐震補強済施設の 補強を考慮したモデルを用いて 静的非線形解析の定量評価	L2地震時の補強量減少 補強済施設に 影響がないという提示

各自治体が抱える課題を解決し、効果的な補強方法の知見を得た

本発表での提案実績を、類似施設への補強方針に適用出来るような知見として、
非線形解析導入の提案を行う為の一助として活かしてほしい

ご清聴ありがとうございました