

池状構造物の3次元効果を考慮した 耐震設計事例

第35回 技術研究発表会



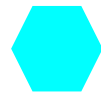
株式
会社

三水コンサルタント

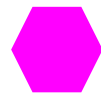
東日本事業本部 東日本水道事業部

時田 大

アジェンダ



概要



解析フロー



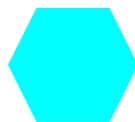
検討フロー



耐震診断詳細



検討結果



概要

対象施設諸元

配水池名		X配水池
池数		1池
竣工年月		1964年 (昭和39年)
構造形式		RCフラットスラブ 半地下式
基礎形式		直接基礎
有効容量		$36.0\text{m} \times 32.0\text{m} \times 4.0\text{m} = 4,608\text{m}^3$
既往解析モデル (H25,H27)	L1	静的2次元線形解析
	L2	静的2次元非線形解析
今回解析モデル	L1	静的2次元非線形解析 (3次元効果を考慮)
	L2	静的2次元非線形解析 (3次元効果を考慮)

※当該配水地は1池構成であるため、運用の停止は不可

設計の背景・目的

背景

当該配水地は過去に3度(平成23年,平成25年,平成27年)、耐震診断および補強検討を実施済

➡ いずれの結果においても、補強対策の必要あり

「水道施設耐震工法指針・解説 2022年版」発刊
2022年(令和4年)

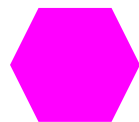
目的

改訂された指針に準拠

最新の設計地震動を使用

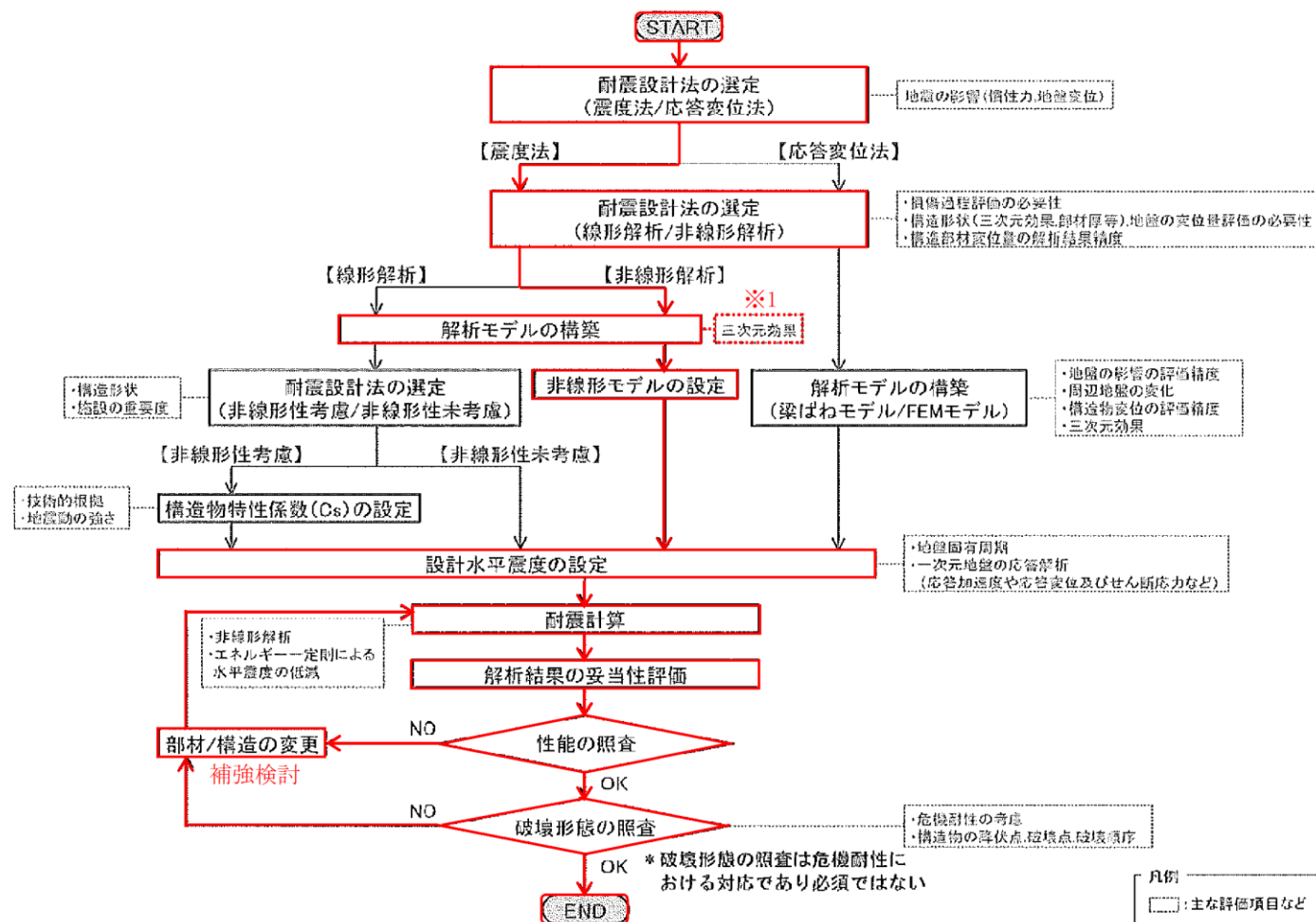
3次元効果を考慮

より経済的な補強対策を目指す

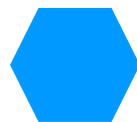


解析フロー

配水池は半地下構造のため、震度法を採用



「水道施設耐震工法指針・解説 2022年版 I 本編 P119」より



検討フロー

過年度業務の経緯

①平成25年度実施の業務委託

現況状態(覆土有り)の診断結果



L1: NG L2: NG



覆土を撤去しての診断

覆土撤去＋躯体の
補強対策にて対応



L1: OK L2: NG

②平成27年度実施の業務委託

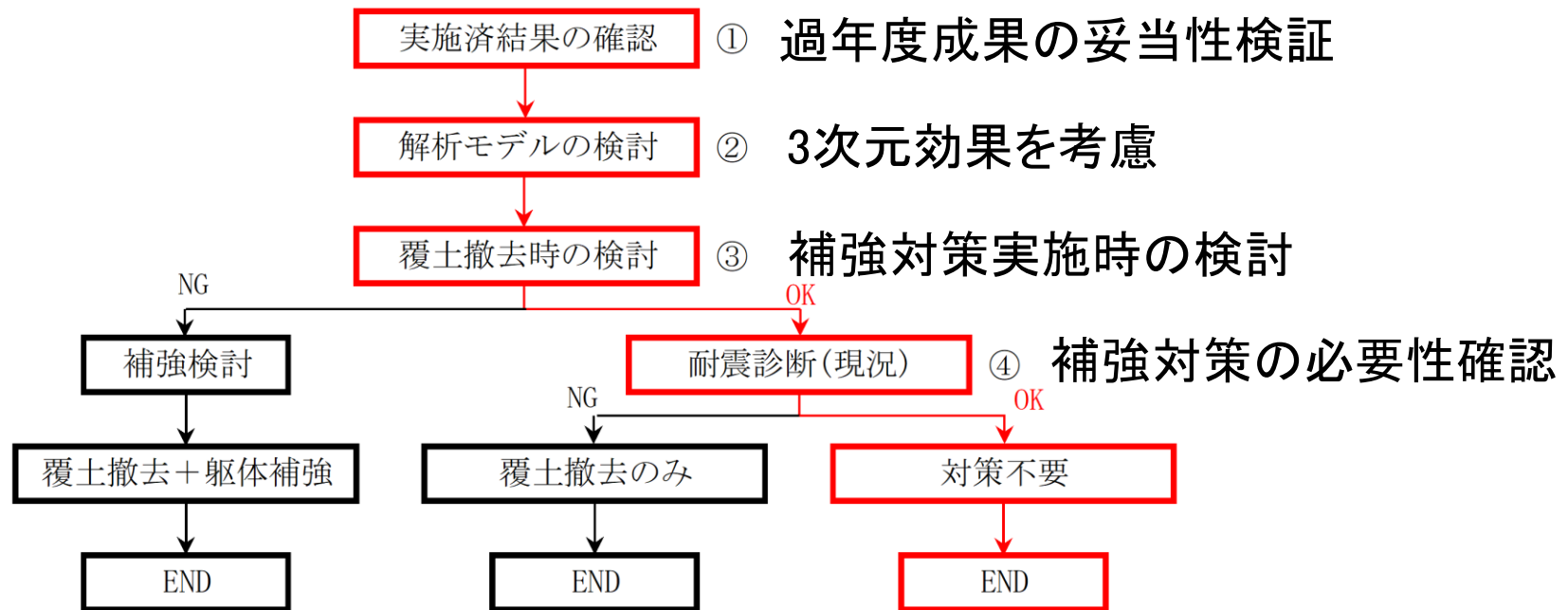
平成25年度の補強対策案
(覆土撤去＋躯体の補強対策)
のみの再診断



L1: OK L2: OK

設計地震動(L1,L2)を変更

検討フローおよび検討結果



効率的・効果的な照査結果

検討内容比較表

実施年度		平成25年度	平成27年度	令和4年度(本事例)
目標耐震性能	レベル1地震動	1	1	1
	レベル2地震動	2	2	2
設計地震動	レベル1地震動	固有周期を考慮した設計水平震度	地盤種別により算定される地表面の設計水平震度	地盤種別により算定される地表面の設計水平震度
	Kh1	0.20	0.16	0.16
	レベル2地震動	南関東地震	大正型関東地震	発注者より提供の設計水平震度
	地表面加速度	925(gal)	1356.1(gal)	877.98(gal)
	Kh2	0.94	1.38	0.90
耐震計算法	解析モデル	2次元梁モデル	2次元梁モデル	2次元梁モデル
	3次元効果	未考慮	未考慮	考慮
	レベル1地震動	震度法(静的線形解析)	震度法(静的線形解析)	震度法(静的非線形解析)
	レベル2地震動	震度法(静的非線形解析)	震度法(静的非線形解析)	震度法(静的非線形解析)
照査方法	レベル1地震動	許容応力度法	限界状態設計法	限界状態設計法
	曲げ	$\sigma_c \leq \sigma_{ca}$ 、 $\sigma_s \leq \sigma_{sa}$	曲率 \leq 降伏曲率	曲率 \leq 降伏曲率
	せん断	$\tau \leq \tau_a$	せん断力 \leq せん断耐力	せん断力 \leq せん断耐力
	レベル2地震動	限界状態設計法	限界状態設計法	限界状態設計法
	曲げ	曲率 \leq 降伏曲率	曲率 \leq 降伏曲率	曲率 \leq 降伏曲率
	せん断	せん断力 \leq せん断耐力	せん断力 \leq せん断耐力	せん断力 \leq せん断耐力
検討結果 (現状)	レベル1地震動	NG(曲げ)	-	OK
	レベル2地震動	NG(曲げ)	-	OK
	構造物特性係数	0.257	-	0.913
検討結果 (盛土撤去)	レベル1地震動	NG(曲げ)	-	OK
	レベル2地震動	OK	-	OK
	構造物特性係数	0.386	-	0.931
検討結果 (盛土撤去+補強)	レベル1地震動	OK	OK	-
	レベル2地震動	OK	OK	-
	構造物特性係数	0.370	0.315	-



耐震診断詳細

3次元効果を積極的に考慮したい



2次元モデル(3次元効果)

3次元モデルの採用

理想

高度な知識や計算機負荷 (大)

① 3次元効果とは？

検討断面の奥行方向にある3次元要素(導流壁や耐震壁)による変形の拘束効果を考慮する手法

② 3次元効果を考慮するメリット

2次元モデルのみでの照査と比較して、より経済的な照査結果となることがある

③ 留意点

3次元効果を過剰に見込むことにより、危険側な照査結果となる場合があるため、採用にあたっては設計者の慎重かつ適切な判断が重要となる

設計条件

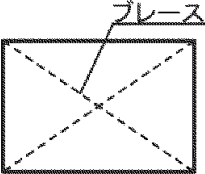
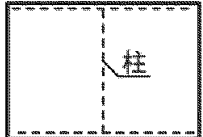
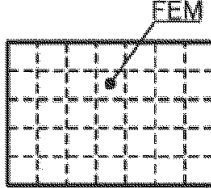
検討断面名称		長辺(A-A') 短辺(B-B')
構造物の区分		池状コンクリート構造物
重要度区分		A1
目標耐震性能	レベル1地震動	1
	レベル2地震動	2
耐震計算法	解析モデル	2次元梁モデル 3次元特性を考慮
	レベル1地震動	震度法(静的非線形解析)
	レベル2地震動	震度法(静的非線形解析)
耐震設計上の地盤種別		I 種地盤
設計地震動	レベル1地震動	地盤種別により算定される地表面の設計水平震度
	Kh1	0.16
	レベル2地震動	安全防災局の想定地震動に基づく設計水平震度
	Kh2	877.98(gal) 0.896→0.90
形状寸法【外形】(m)		幅 : 37.00
		長さ : 33.00
		高さ : 5.30
構造形態	種別	RCフラットスラブ
	部材構成	側壁・頂版・底版・柱
	基礎形式	直接基礎
設計地盤高		+79.00
設計土被り厚(m)		覆土撤去有 : 0.00m 覆土撤去無 : 0.50m
内水位	レベル1地震動	H. W. L +80.00
		L. W. L +60.00
	レベル2地震動	H. W. L +80.00
		確保水量 +78.25
形状寸法【水量】(m)	H. W. L	幅 : 36.00 長さ : 32.00 高さ : 4.25
	確保水位	幅 : 36.00 長さ : 32.00 高さ : 2.50
	L. W. L	幅 : 36.00 長さ : 32.00 高さ : 0.25
荷重条件	動水圧	ウェスターガーダの補正式による
	水深	H. W. L H=4.25m
		確保水量 H=2.50m
		L. W. L H=0.25m
	地震時主働土圧	L1地震動・L2地震動ともに修正物部・岡部式による
	地震時受働土圧	L1地震動・L2地震動ともに地盤剛性Edによるバネ値の算定と物部・岡部式に基づく土圧係数KEPを考慮した上限値の算定
材料条件	コンクリート	$F_c=21$
	鉄筋	SR235
仕様ソフト		T-DAPⅢ

検討方針

- ①対象施設は半地下構造であるため、震度法を適用
- ②応力解析は静的非線形解析、L2地震動においては、プッシュオーバー解析により、構造物特性係数(C_s)を算出
- ③L1地震動における設計地震動は地表面加速度とする
- ④L2地震動における設計地震動は安全防災局の想定地震動(方法2)より設定(基盤面の加速度)

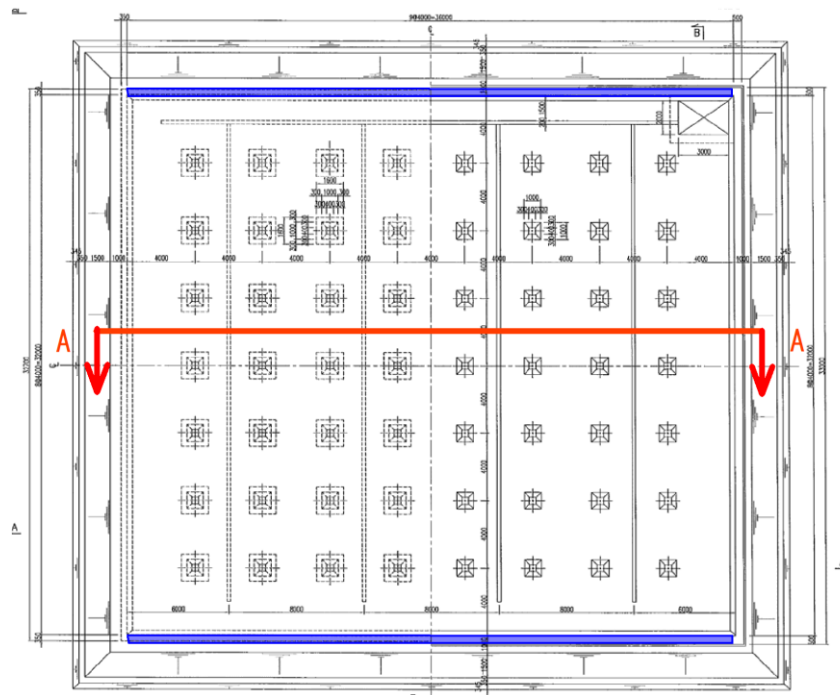
3次元効果のモデル化方法

最も精度が良いと考えられる、平面ひずみ置換を採用

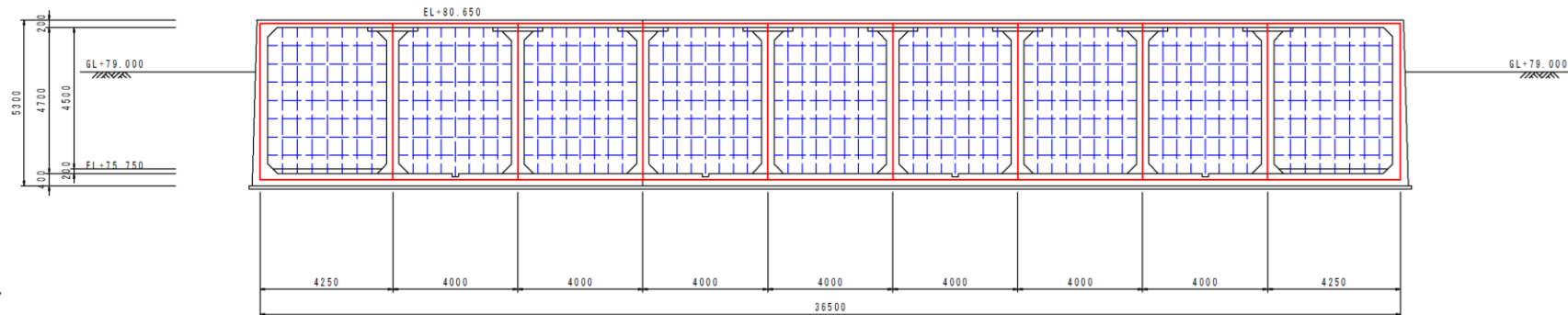
項 目	ブレース置換	壁エレメント置換	平面ひずみ置換
モデル化			
特徴	壁をせん断剛性が等価なブレースに置換してモデル化する。	壁をせん断剛性と曲げ剛性が等価な柱に置換しモデル化する。	壁を板要素に分割し、柱とはりを線材としてモデル化する。
剛性の評価手法	既往の理論式が適用可能	既往の理論式が適用可能	三次元モデルとの変位量の比較計算等が必要

「水道施設耐震工法指針・解説 2022年版 Ⅲ設計事例編 P3)-366」より

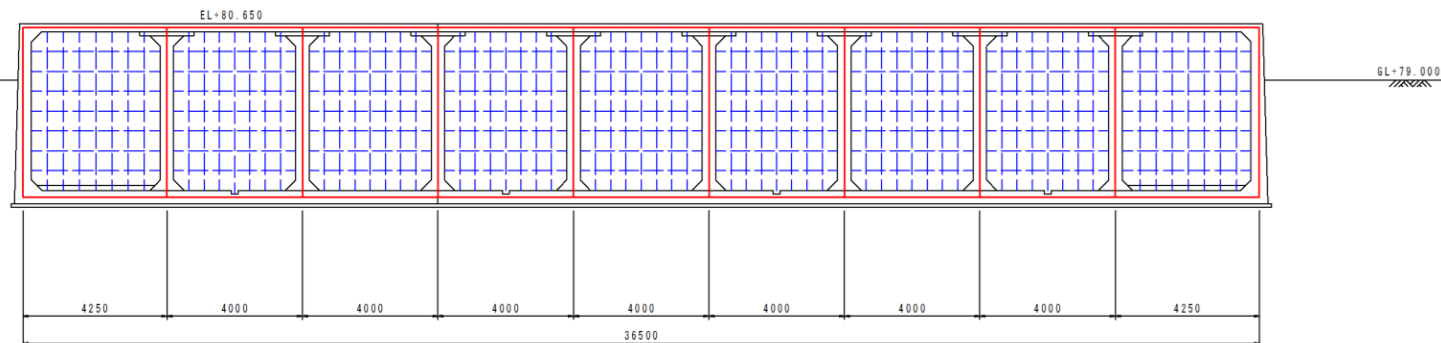
解析モデル



■ : 3次元効果



--- : 平板要素(3次元効果)

[illegible]

18

3次元効果の考慮方法

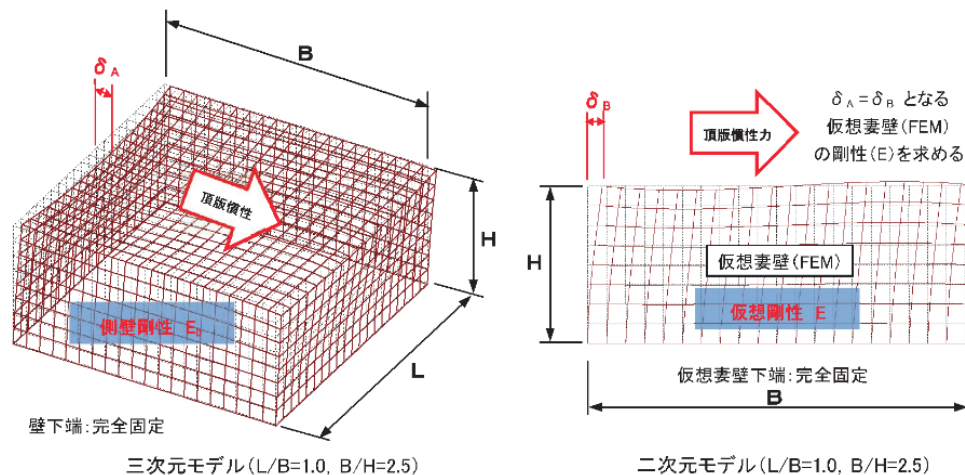
①2次元モデルと3次元モデルとの比較解析



②2次元モデル(σ_B)と3次元モデル(σ_A)それぞれの変位差が0%となる剛性をトライアル計算

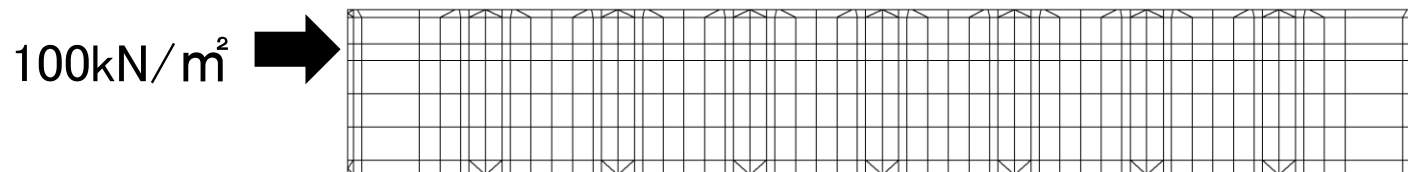


③平板要素の剛性は変位差が0%となる値を設定

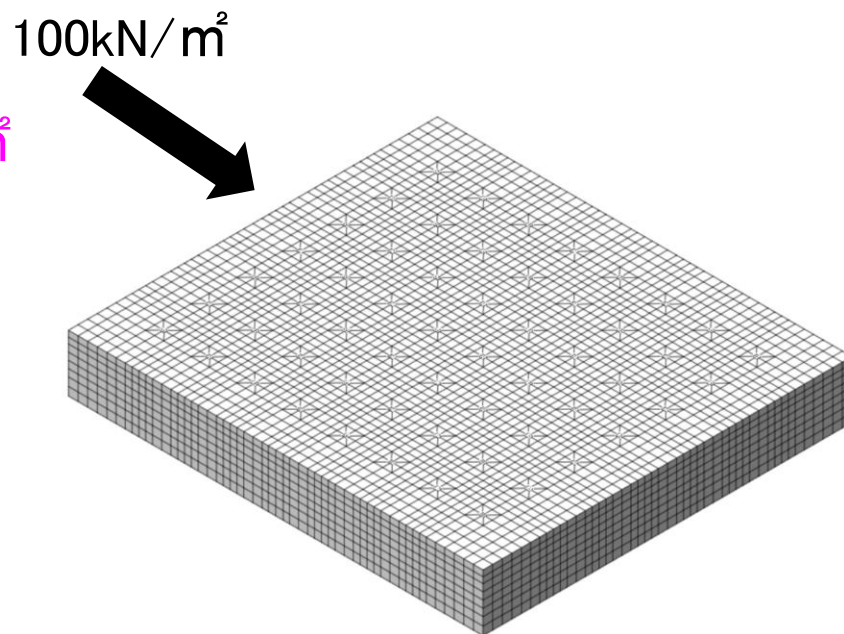


3次元効果の算出

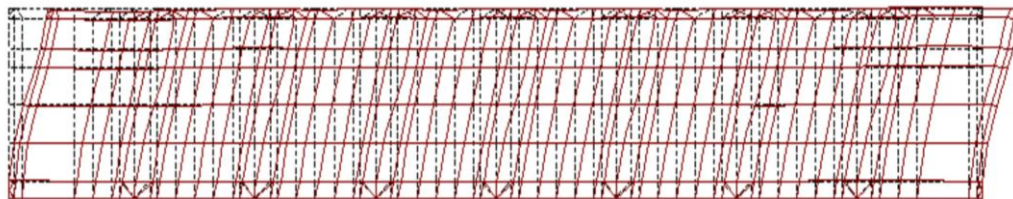
	2次元	3次元	2次元	3次元	2次元	3次元	2次元	3次元	2次元	3次元	2次元	3次元	2次元	3次元
変位(m)	1.898E-03	9.469E-03	6.887E-03	9.469E-03	8.402E-03	9.469E-03	8.999E-03	9.469E-03	9.255E-03	9.469E-03	9.370E-03	9.469E-03	9.424E-03	9.469E-03
剛性(kN/m ²)	2.350E+07		4.711E+06		3.427E+06		3.040E+06		2.889E+06		2.824E+06		2.794E+06	
変位差(%)	80%		27%		11%		5%		2%		1%		0%	



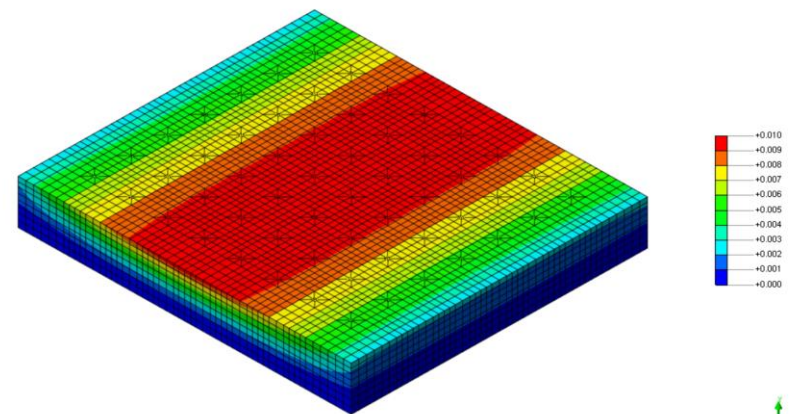
2次元モデル、3次元モデル
の頂版にそれぞれ100kN/m²
を載荷



3次元効果の算出



2次元モデルの変形図



[UNIT] kN, m
[DATA] 水平荷重100Z, DISP=DZ(V), STAGE:1 STEP:1

3次元モデルの変形図

平板要素の剛性は？

変位差が0%となる
 $E=2.794E+06(\text{kN}/\text{m}^2)$ を採用

検討ケース

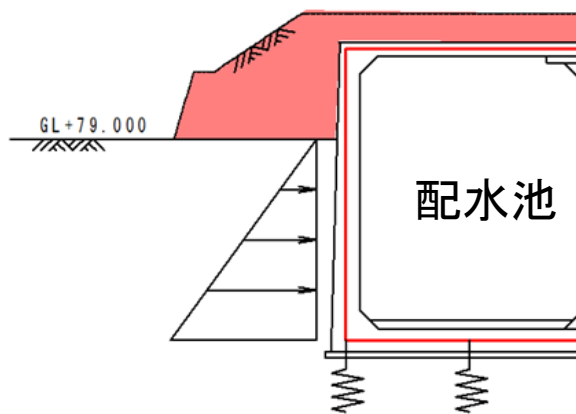
①覆土撤去時

Case-1:L1満水 覆土無し

Case-2:L1空水 覆土無し

Case-3:L2満水 覆土無し

Case-4:L2空水 覆土無し



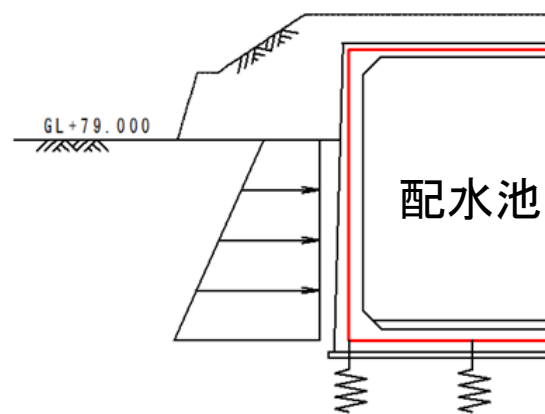
②現況状態(覆土有り)

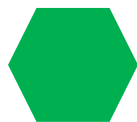
Case-1:L1満水 覆土有り

Case-2:L1空水 覆土有り

Case-3:L2満水 覆土有り

Case-4:L2空水 覆土有り





検討結果

診断結果および過年度成果との比較

H25年度結果では曲げNGとなる箇所あり(L1,L2)



本事例での解析結果ではL1,L2ともに耐震性を満足



補強対策の必要なし

効果的・経済的な照査結果

	H25年度診断結果(曲げ)		本事例での診断結果(曲げ)	
	レベル1地震動	レベル2地震動	レベル1地震動	レベル2地震動
左側壁上部	OK	OK	OK	OK
左側壁下部	NG	OK	OK	OK
右側壁上部	OK	OK	OK	OK
右側壁下部	OK	OK	OK	OK
床版左端	NG	OK	OK	OK
床版右端	NG	NG	OK	OK
床版柱列部	OK	OK	OK	OK
床版ハネ部	NG	OK	OK	OK
底版左端	NG	OK	OK	OK
底版右端	NG	OK	OK	OK
底版柱列部	OK	OK	OK	OK
柱上部	NG	NG	OK	OK
柱下部	NG	NG	OK	OK

総評

○3次元効果の採用により、実情に近く、本事例では結果として耐震性を満足し、経済的な照査結果を得られた

○3次元効果を考慮する場合は、逆に危険側の照査となることもあることから、設計者の適切かつ慎重な判断が必要である