

平成24年11月21日

特定防災施設等の地震による影響評価方法の検討

東電設計株式会社

・ 特定防災施設等の地震による影響評価方法の検討全体フロー	1
・ 流出油等防止堤	5
・ 消火用屋外給水施設	25
・ 液状化判定モデルの作成	38

特定防災施設等の地震による影響評価方法の検討

全体フロー

現地調査(H24.8)

- ・被害状況の把握
- ・想定される被害の要因
- ・被災した施設の使用性

施設		
大項目	中項目	小項目
1.流出油等防止堤	(1)鉄筋コンクリート構造	①目地部 ②コーナー部
	(2)盛土構造	—
2.消火用屋外給水施設	(1)配管類	①地上配管 ②埋設配管
		—
	(2)貯水槽	①鉄筋コンクリート構造(半地下) ②鋼製タンク(地上)
		—
	(3)加圧送水設備	—
3.非常用通報設備	(1)電線	①電柱上 ②埋設
		—

地震により受ける影響の評価方法の検討

(1)地震観測記録(3.11)と実被害との関係付け

- ①慣性力による被害
 - ・構造物のモデル化(躯体, 地盤, 荷重, 境界条件)
 - ・応答解析
 - ・実被害との比較・評価
- ②液状化による被害
 - ・液状化判定モデルの作成(FL値, PL値)
 - ・実被害との比較・評価

(2)地震により受ける影響の評価方法の検討

- ①評価項目の設定
 - ・形状, 地震力(震度, 地震タイプ, 地盤種別)
 - ・地盤条件(N値など)
- ②評価方法の設定
 - ・応答値の算出(躯体変位, 応力(コンクリート, 鋼材))
 - ・液状化指数の算出

地震による影響評価マニュアルの作成

(1)震度、施設の種類・特徴から影響評価(STEP1)

(2)地震動特性、施設の簡易なモデル化から影響評価(STEP2)

現地調査(H24.8)に基づく被害状況の把握

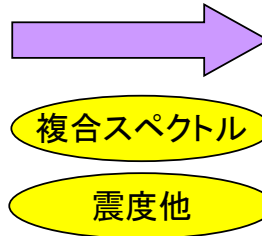
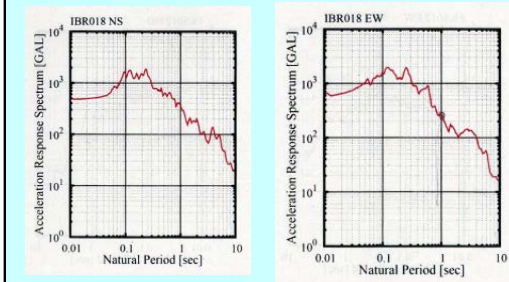
凡例: ■ 主に慣性力による被害

■ 主に液状化による被害

施設			被害状況
大項目	中項目	小項目	
1.流出油等防止堤	(1)鉄筋コンクリート構造	①目地部	・ひび割れ ・コンクリート破損/剥落
		②コーナ一部	・ひび割れ
	(2)盛土構造		・沈下/段差
2.消火用屋外給水施設	(1)配管類	①地上配管	・基礎沈下(液状化)に伴う傾斜
		②埋設配管	・漏水
	(2)貯水槽	①鉄筋コンクリート構造(半地下)	・ひび割れ ・水漏れ
		②鋼製タンク(地上)	・座屈, ボルト破損, フレキシブル継ぎ手漏水, 基礎傾斜
	(3)加圧送水設備	-	・基礎沈下(液状化)に伴う傾斜
3.非常用通報設備	(1)電線	①電柱上	・電柱傾斜(液状化)に伴う断線(敷地外)
		②埋設	・断線(場所特定不能)

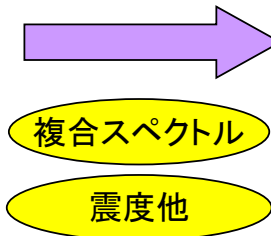
慣性力による影響評価フロー

観測地震動(3.11)



地震動特性の設定	
項目	パラメータ
震度	5強, 6弱, 6強, 7
地震タイプ	I : プレート境界型の地震 II : 内陸直下型地震
地盤種別※	I 種, II 種, III 種

※ I 種: 良好な洪積地盤および岩盤
II 種: I 種, III 種に属さない
洪積地盤および沖積地盤
III 種: 沖積地盤のうち軟弱地盤



構造物のモデル化

- ・構造仕様(形状・寸法, 材料特性)
- ・境界条件(支持地盤, その他)
- ・荷重条件(常時荷重)

応答解析／結果の整理

- ・応答スペクトル法(流出油等防止堤)
- ・3次元応力解析
 - ・流出油等防止堤コーナー部
 - ・貯水槽(鉄筋コンクリート構造, 鋼製タンク)

実被害との比較・評価

- ・被害箇所／被害現象

モデル化・解析手法が妥当?

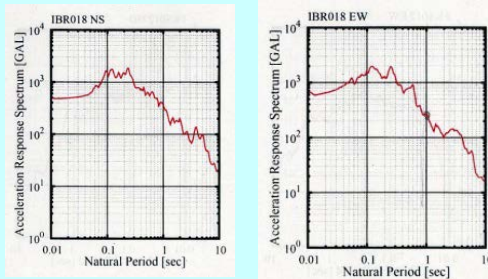
応答解析(パラメータ解析)／結果の整理

地震による影響(被害)の評価

- ・コンクリートひび割れ, 破損
- ・鋼材の降伏, 破断, 座屈

液状化による影響評価フロー

観測地震動(3.11)



震度他

地震動特性の設定

項目	パラメータ
震度	5強, 6弱, 6強, 7
地震タイプ	I : プレート境界型の地震 II : 内陸直下型地震
地盤種別※	I 種, II 種, III 種

※ I 種: 良好な洪積地盤および岩盤
II 種: I 種, III 種に属さない
洪積地盤および沖積地盤
III 種: 沖積地盤のうち軟弱地盤

震度他

液状化判定のモデル化

- ・地盤条件(N値, 水位)
- ・仮定条件(細粒分含有率 F_c など)
- ・簡易式(中央防災会議資料2012年)

液状化程度の算出

- ・FL値: 液状化に対する抵抗率
- ・PL値: 地層全体の液状化可能性指数
 - $PL > 15$: 液状化の可能性が大
 - $5 < PL \leq 15$: 液状化の可能性が中
 - $0 < PL \leq 5$: 液状化の可能性が小
 - $PL = 0$: 液状化の可能性なし

実被害状況との比較・評価

- ・被害現象

液状化判定モデルが妥当?

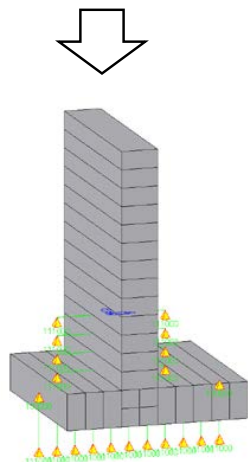
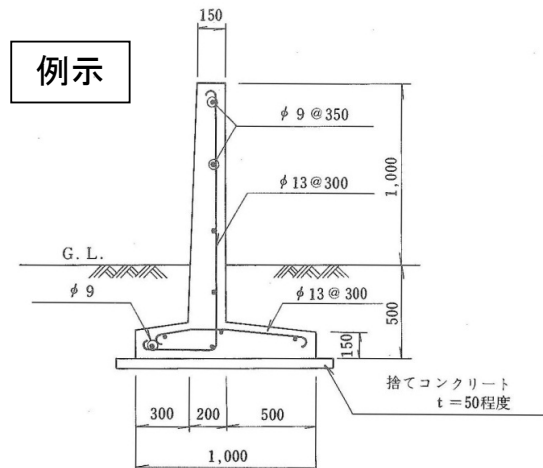
液状化判定モデルを用いた影響(被害)評価

- ・沈下・陥没
- ・傾斜

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 構造物のモデル化

① 躯体モデル

高さ1.0mの例示に示すものを参考に作成

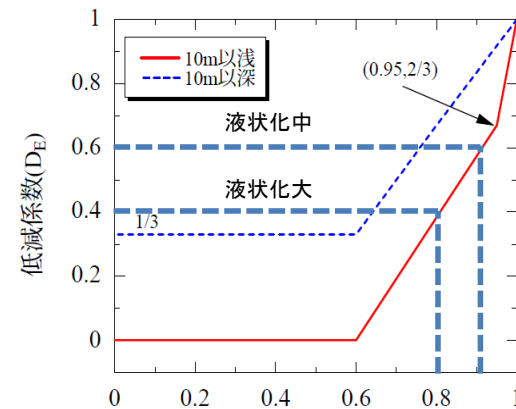


地上H=1000
両土圧モデル
底盤厚=200mm
壁厚=200mm

② 境界条件

地盤の支持条件を設定

- ・道路橋示方書による表層N値による地盤バネ(水平KH、鉛直KV)を考慮(圧縮時のみ)。
- ・液状化の程度により、下図による地盤バネの剛性低減をモデル化
- ・液状化程度は、(大)DE=0.4、(中)DE=0.6を用意。
- ・液状化の程度判定は、液状化判定モデルの当該地の表層FL値より判定。



液状化抵抗率(F_L) 道路橋示方書より

③ 外力条件

考慮するのは、

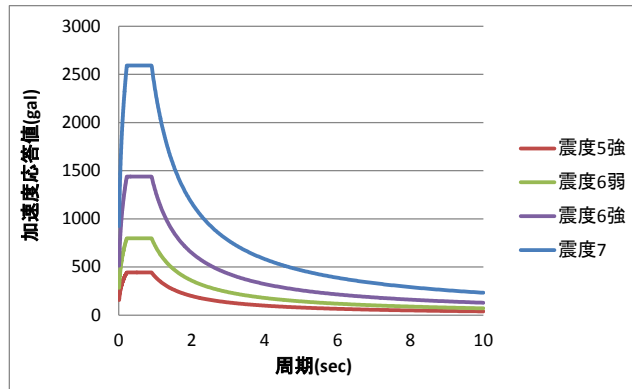
- ・RC躯体の自重、基礎スラブ上の上載土
- ・地震時慣性力: 応答スペクトル法により算定

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震動特性の設定【共通】

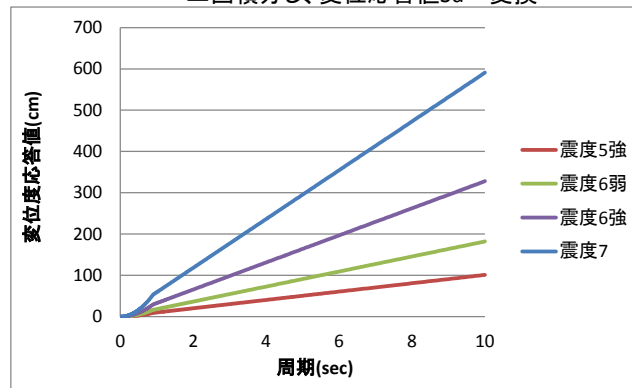
地震動 応答スペクトルの設定

震度別(5強、6弱、6強、7)、地盤種別(Ⅰ種～Ⅲ種)、地震タイプ別(海溝型、直下型)による応答スペクトルを作成

①加速度応答スペクトルの作成



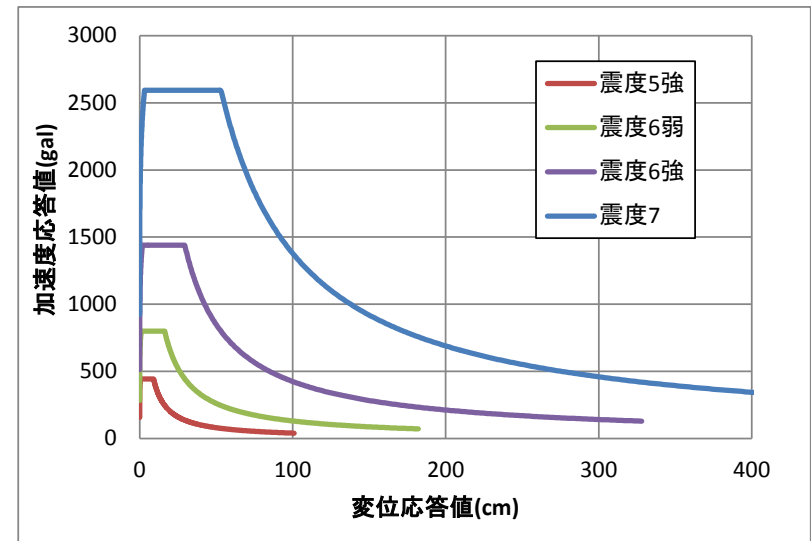
②変位応答スペクトルの作成
加速度応答値 S_a を $\omega=T/2\pi$ で
二回積分し、変位応答値 S_d へ変換



Sa-Sd複合スペクトルの作成

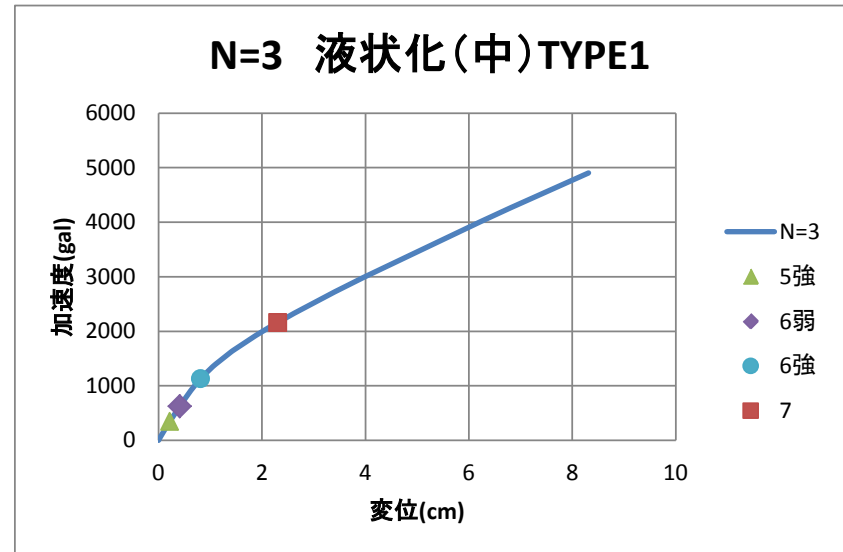
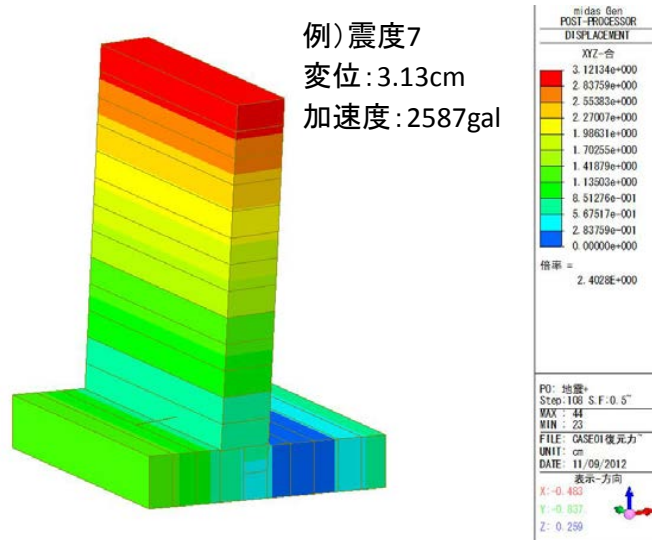
- ・加速度応答スペクトル S_a (周期-加速度関係)
- ・変位応答スペクトル S_d (周期-変位関係)

について、周期を介して S_a - S_d 関係を図化したものが、 S_a - S_d の複合スペクトルとなる。



例) 震度別(5強、6弱、6強、7)、地盤種別(Ⅱ種)、地震タイプ別(海溝型)

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 応答値(応答加速度, 応答変位)の算出



例) 震度別(5強、6弱、6強、7)、地盤種別(Ⅱ種)、地震タイプ別(海溝型)、表層N値=3、液状化(中)

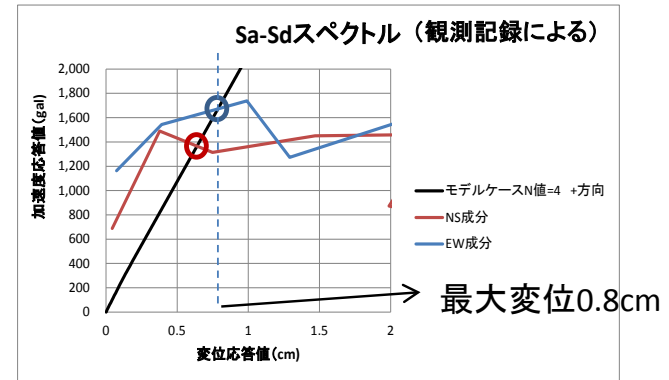
地震タイプ	地盤種別	応答値(gal)	震度	表層地盤							
				N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
タイプⅠ (海溝型)	Ⅱ種地盤	加速度	5強	466	405	380	343	306	294	282	270
			6弱	809	735	674	613	539	515	490	490
			6強	1,446	1,336	1,226	1,091	981	919	895	858
			7	2,599	2,587	2,354	2,084	1,839	1,716	1,643	1,581
地震タイプ	地盤種別	応答値(cm)	震度	表層地盤							
				N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
タイプⅠ (海溝型)	Ⅱ種地盤	変位	5強	0.89	0.26	0.15	0.07	0.03	0.02	0.02	0.01
			6弱	1.62	0.49	0.27	0.13	0.06	0.04	0.03	0.03
			6強	3.48	1.03	0.55	0.24	0.11	0.07	0.06	0.05
			7	9.43	3.13	1.61	0.66	0.28	0.17	0.13	0.10

例) 震度別(5強、6弱、6強、7)、地盤種別(Ⅱ種)、地震タイプ別(海溝型)、表層N値=1~50、液状化(中)

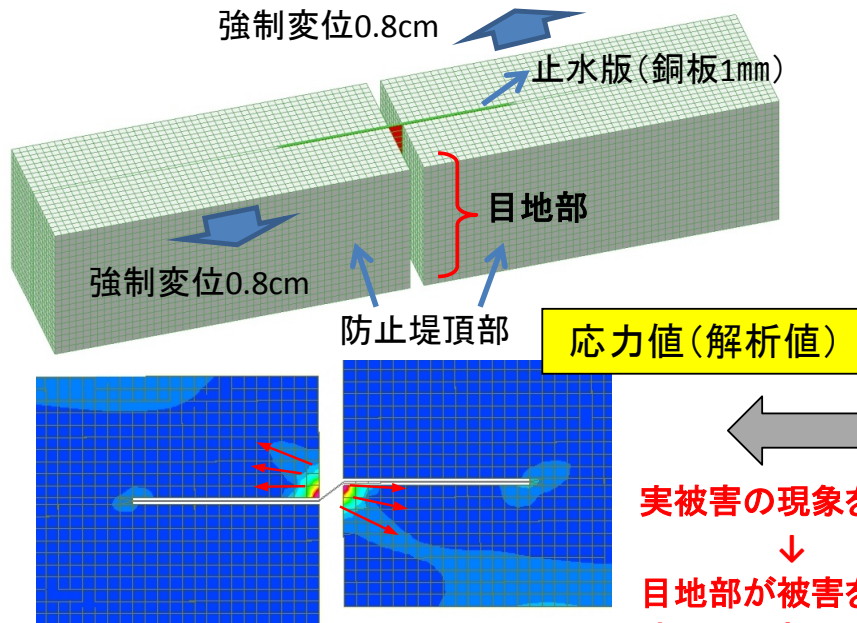
流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 実被害との比較・評価

＜①東日本大震災での被害防止堤の再現応答解析＞
3.11地震動で被災した防止堤の条件、地震動を再現
⇒防止堤の頂部に0.8cm程度の変位が発生(解析結果)

＜②防止堤目地部の再現応力解析＞
防止堤目地部のコンクリート、止水版をモデル化
地震時応答変位0.8cmを強制変位として与えた場合の応力解析



応答スペクトル法による頂部変位再現解析



防止堤上部間 0.8cm強制変位時応力図

最大圧縮応力度はコンクリートの圧縮強度 21N/mm^2 以上。

「圧縮破壊は、脆性的な破壊性状を示し、角部より放射状に連続的なコンクリート破壊が発生すると思われる。」

実被害の現象を評価できる

↓
目地部が被害を受ける

防止堤頂部の応答閾値⇒0.8cm

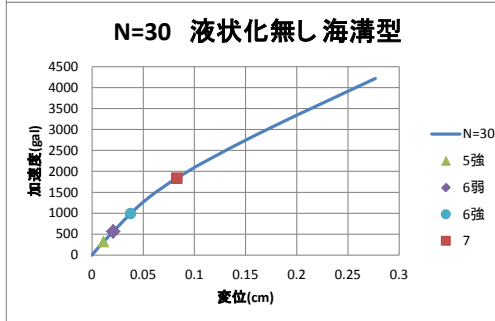
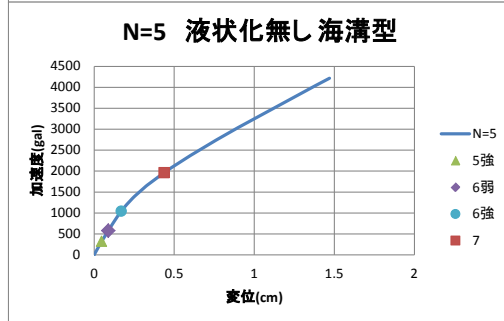
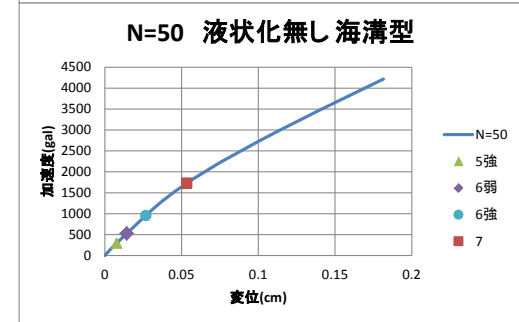
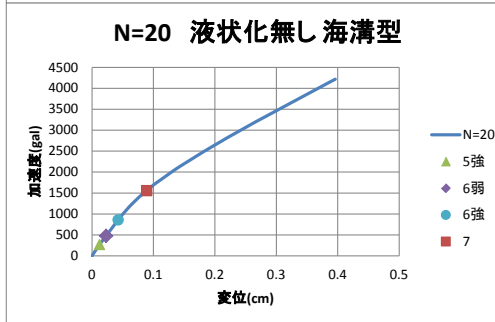
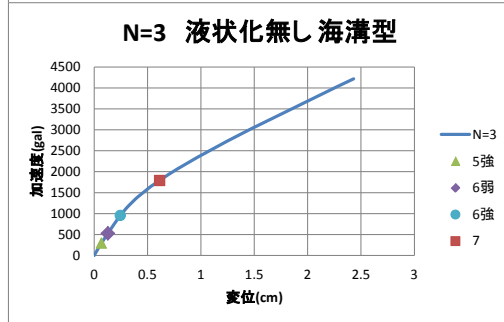
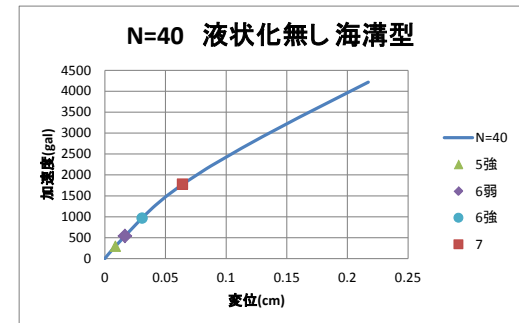
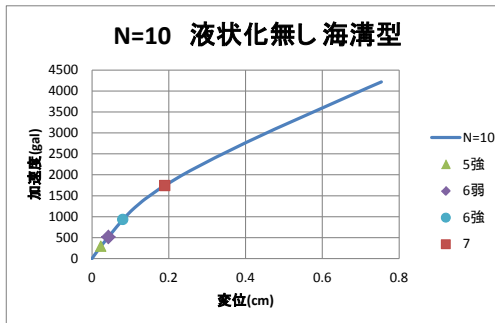
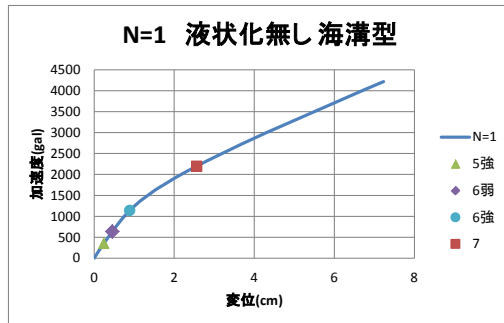


実被害写真

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

＜パラメータ＞

- 震度: 5強、6弱、6強、7 ●地盤種別: I種、II種、III種 ●地震タイプ: 海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化: なし、(中)、(大)



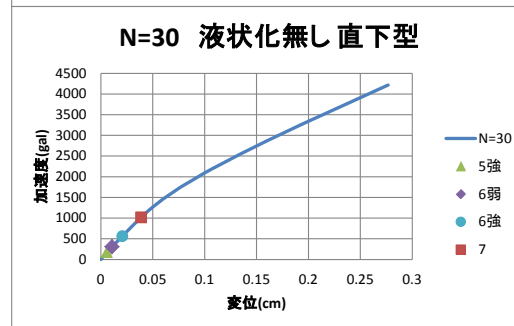
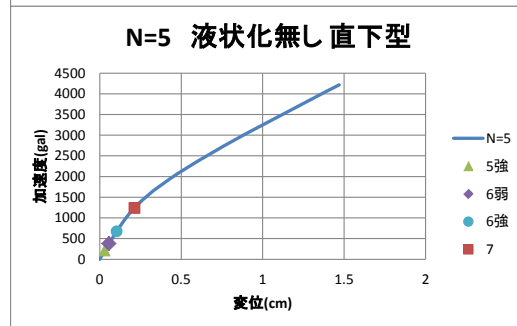
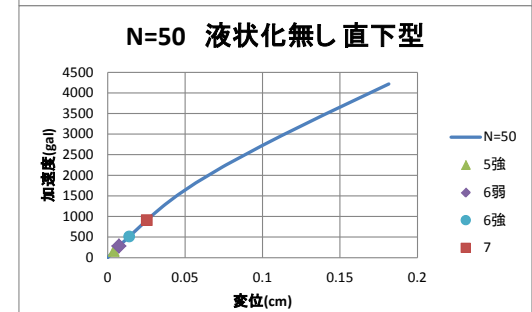
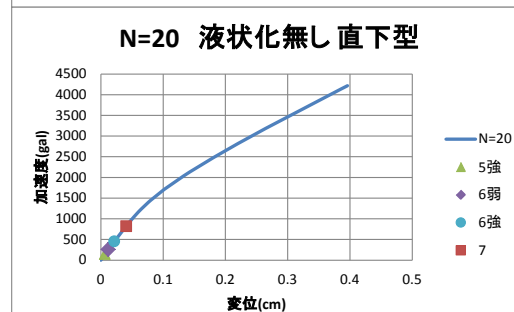
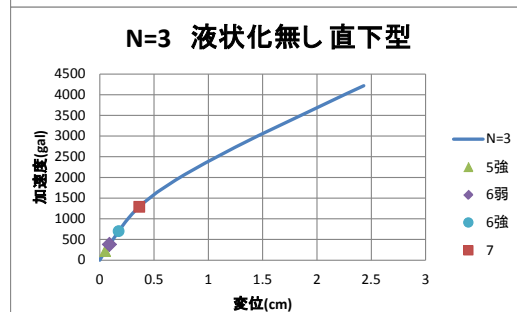
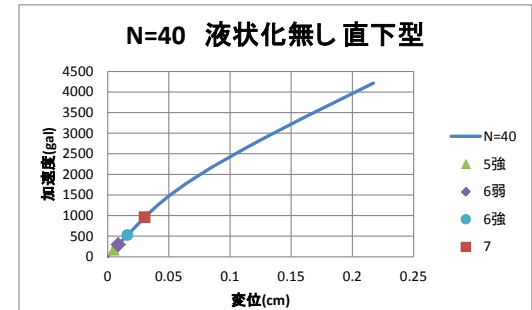
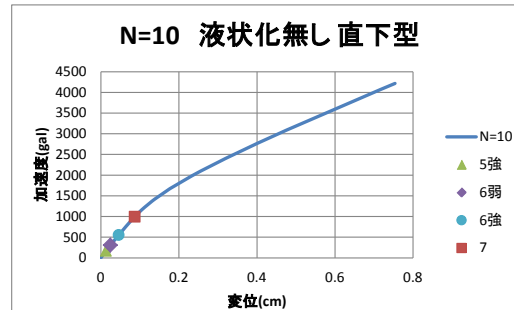
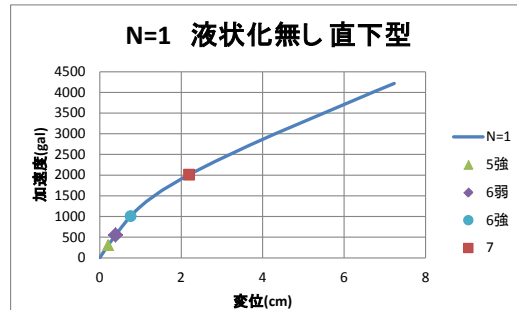
- ※ I種: 良好な洪積地盤および岩盤
II種: I種, III種に属さない
洪積地盤および沖積地盤
III種: 沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型

●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)



※ Ⅰ種:良好な洪積地盤および岩盤
Ⅱ種:Ⅰ種、Ⅲ種に属さない
洪積地盤および沖積地盤
Ⅲ種:沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震による影響(被害)の評価結果(結果の整理)

<パラメータ>

- 震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

【独立部の応答変位(cm)】											
ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
1	海溝型	Ⅰ種地盤	5強	0.34	0.10	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
2			6弱	0.65	0.19	0.11	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
3			6強	1.47	0.41	0.22	0.10	0.05	0.04	0.03	0.03
4			7	4.01	1.22	0.64	0.27	0.12	0.08	0.06	0.05
5		Ⅱ種地盤	5強	0.29	0.08	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
6			6弱	0.53	0.15	0.09	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
7			6強	1.15	0.30	0.17	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02
8			7	3.41	0.84	0.44	0.19	0.09	0.06	0.05	0.04
9		Ⅲ種地盤	5強	0.24	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
10			6弱	0.46	0.13	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
11			6強	0.89	0.25	0.14	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02
12			7	2.56	0.61	0.32	0.14	0.07	0.05	0.04	0.03
13	内陸型	Ⅰ種地盤	5強	0.32	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
14			6弱	0.62	0.14	0.08	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
15			6強	1.54	0.29	0.14	0.06	0.03	0.02	0.02	0.01
16			7	5.43	0.86	0.37	0.13	0.06	0.04	0.03	0.03
17		Ⅱ種地盤	5強	0.23	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
18			6弱	0.45	0.10	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
19			6強	0.90	0.20	0.10	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01
20			7	2.94	0.46	0.21	0.09	0.04	0.03	0.02	0.02
21		Ⅲ種地盤	5強	0.21	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
22			6弱	0.39	0.09	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
23			6強	0.76	0.17	0.09	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
24			7	2.20	0.36	0.18	0.07	0.04	0.02	0.02	0.02

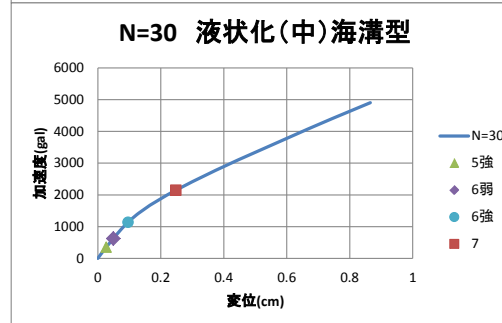
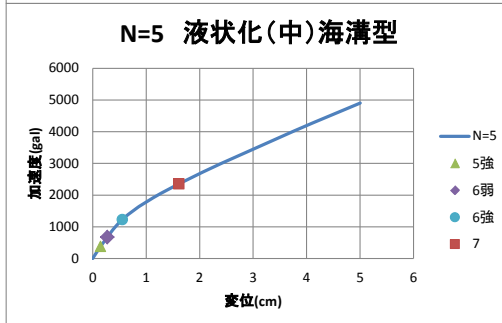
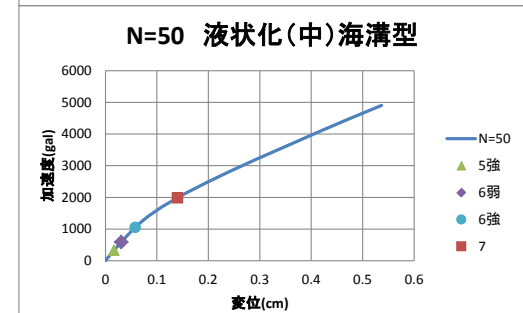
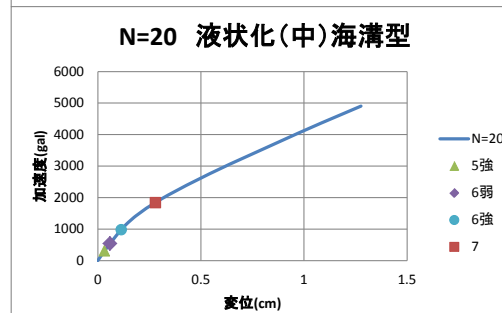
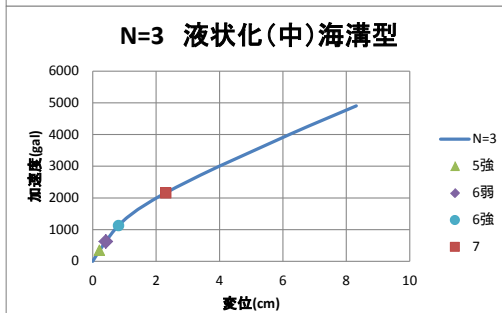
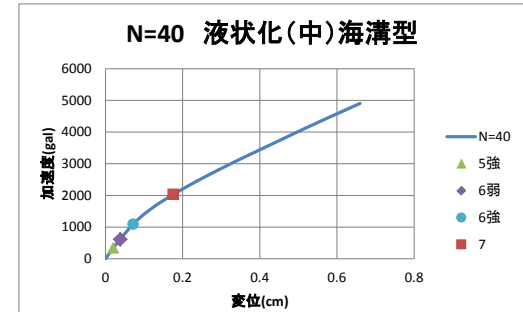
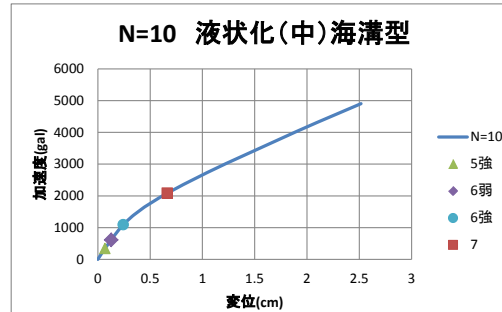
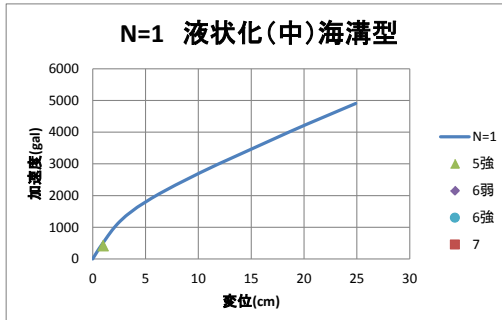
赤枠: 目地部の被害発生(変位0.8cm以上)

※ Ⅰ種: 良好な洪積地盤および岩盤, Ⅱ種: Ⅰ種, Ⅲ種に属さない洪積地盤および沖積地盤, Ⅲ種: 沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

- 震度: 5強、6弱、6強、7 ●地盤種別: I種、II種、III種 ●地震タイプ: 海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化: なし、(中)、(大)



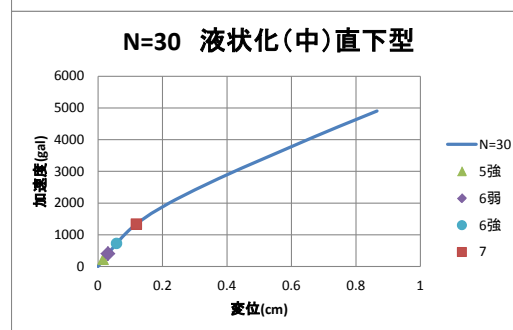
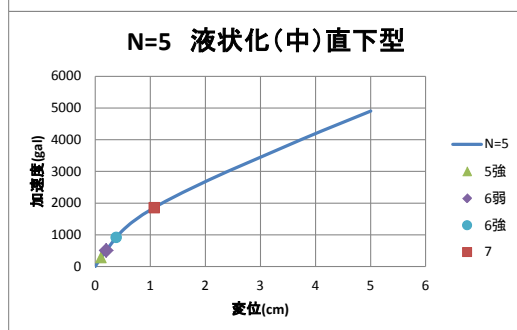
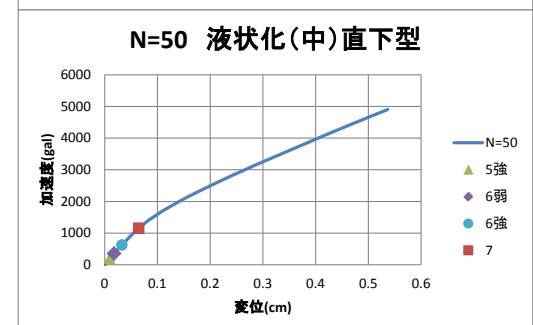
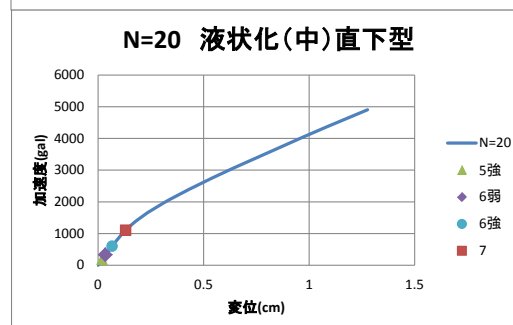
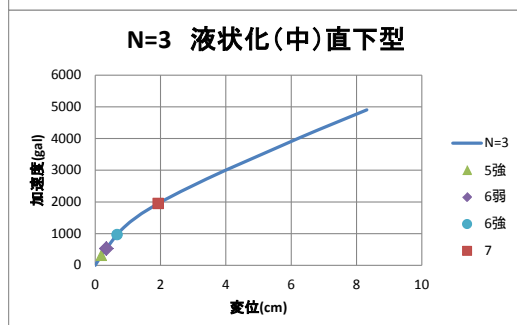
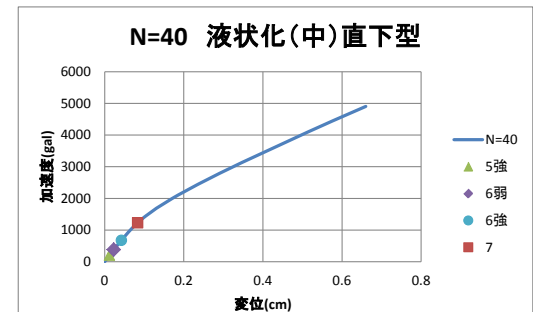
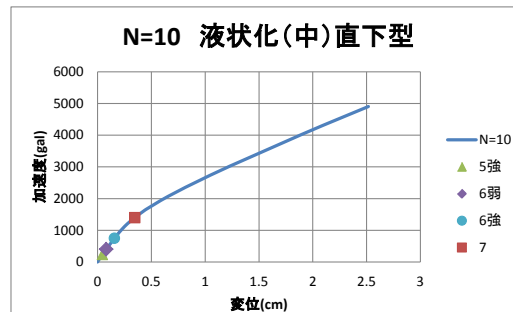
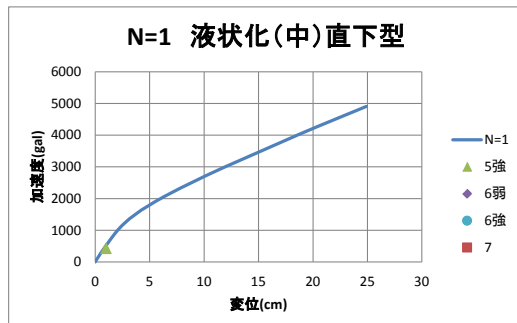
- ※ I種: 良好な洪積地盤および岩盤
II種: I種, III種に属さない
洪積地盤および沖積地盤
III種: 沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

●震度: 5強、6弱、6強、7 ●地盤種別: I種、II種、III種 ●地震タイプ: 海溝型、直下型

●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化: なし、(中)、(大)



※ I種: 良好な洪積地盤および岩盤
II種: I種, III種に属さない
洪積地盤および沖積地盤
III種: 沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震による影響(被害)の評価結果(結果の整理)

<パラメータ>

- 震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

【独立部の応答変位(cm)】											
ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
1	海溝型	Ⅰ種地盤	5強	0.94	0.32	0.18	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02
2			6弱	1.78	0.60	0.34	0.15	0.07	0.05	0.04	0.03
3			6強	4.06	1.37	0.77	0.33	0.15	0.10	0.07	0.06
4			7	11.09	3.71	2.24	0.96	0.40	0.25	0.18	0.14
5		Ⅱ種地盤	5強	0.89	0.26	0.15	0.07	0.03	0.02	0.02	0.01
6			6弱	1.62	0.49	0.27	0.13	0.06	0.04	0.03	0.03
7			6強	3.48	1.03	0.55	0.24	0.11	0.07	0.06	0.05
8			7	9.43	3.13	1.61	0.66	0.28	0.17	0.13	0.10
9		Ⅲ種地盤	5強	0.79	0.22	0.12	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01
10			6弱	1.48	0.41	0.23	0.11	0.05	0.03	0.03	0.02
11			6強	3.21	0.82	0.45	0.20	0.09	0.06	0.05	0.04
12			7	9.14	2.30	1.18	0.49	0.21	0.13	0.10	0.08
13	内陸型	Ⅰ種地盤	5強	1.28	0.29	0.15	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01
14			6弱	2.64	0.56	0.28	0.11	0.05	0.03	0.02	0.02
15			6強	7.00	1.36	0.60	0.22	0.09	0.06	0.04	0.03
16			7	18.21	4.78	2.04	0.62	0.21	0.12	0.08	0.06
17		Ⅱ種地盤	5強	0.92	0.21	0.11	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01
18			6弱	1.76	0.40	0.20	0.08	0.03	0.02	0.02	0.01
19			6強	4.58	0.79	0.38	0.16	0.07	0.04	0.03	0.02
20			7	15.45	2.58	1.07	0.35	0.13	0.08	0.06	0.05
21		Ⅲ種地盤	5強	0.82	0.19	0.10	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
22			6弱	1.54	0.34	0.18	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01
23			6強	3.59	0.67	0.34	0.14	0.06	0.04	0.03	0.02
24			7	12.76	1.93	0.81	0.28	0.11	0.07	0.05	0.04

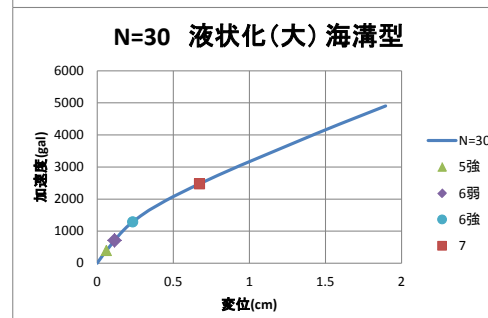
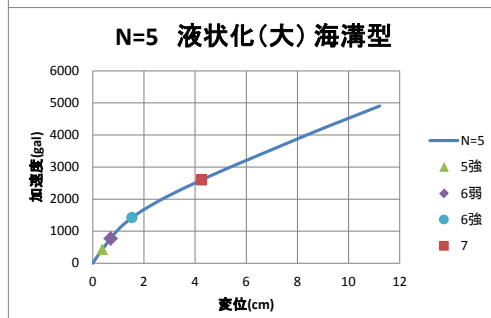
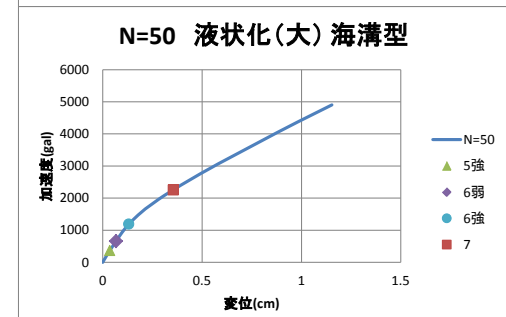
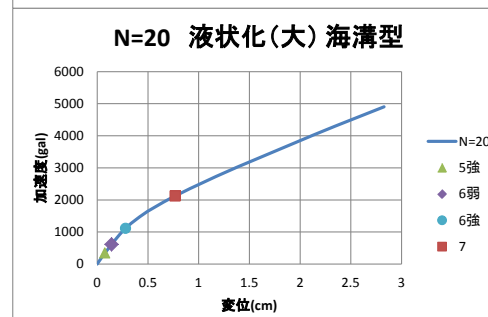
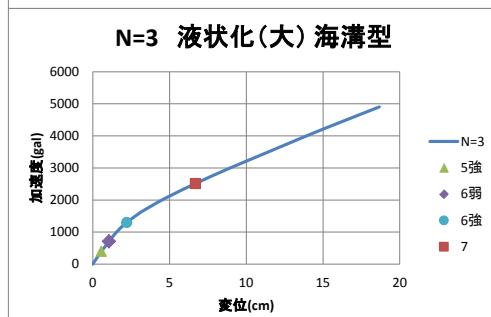
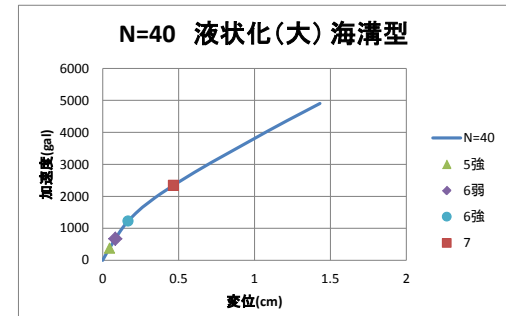
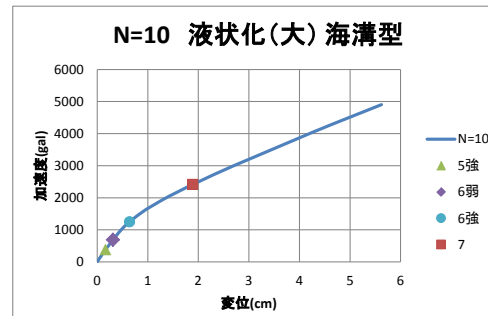
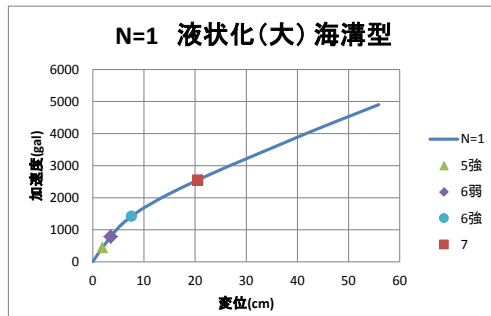
赤枠:目地部の被害発生(変位0.8cm以上)

※ Ⅰ種:良好な洪積地盤および岩盤,Ⅱ種:Ⅰ種,Ⅲ種に属さない洪積地盤および沖積地盤,Ⅲ種:沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

- 震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

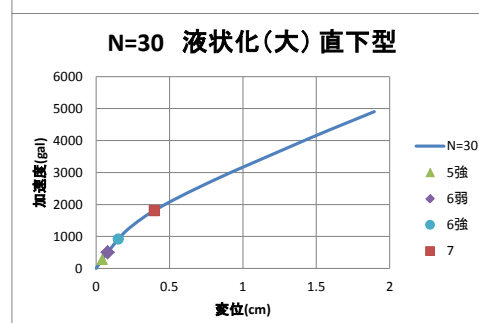
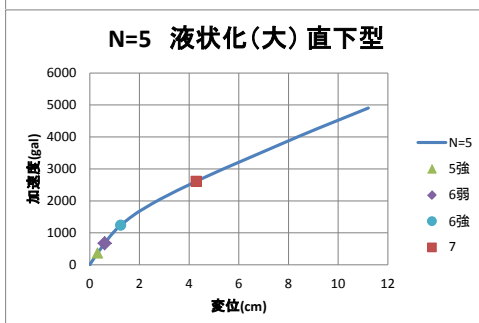
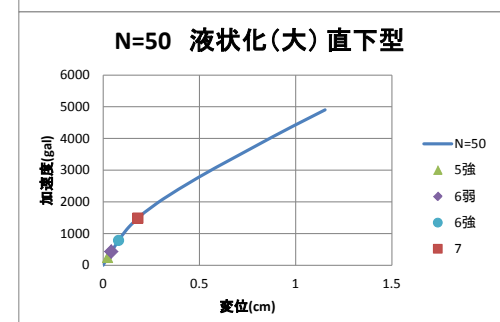
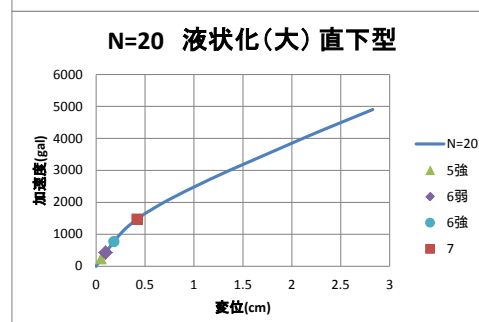
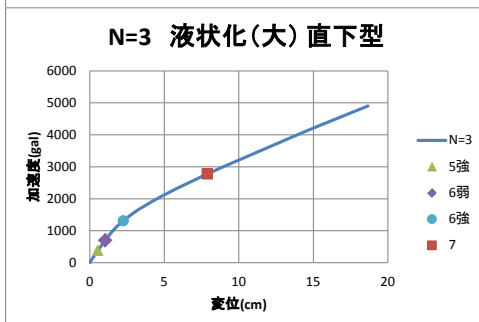
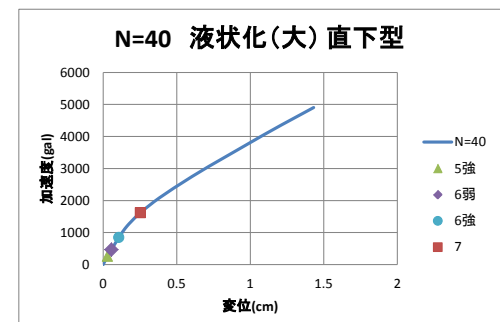
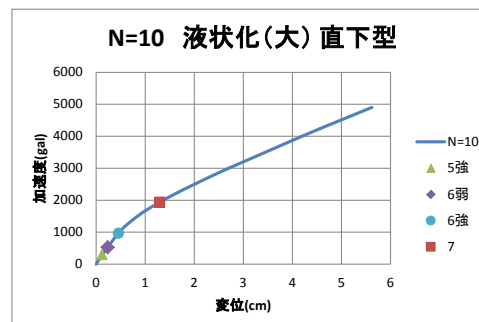
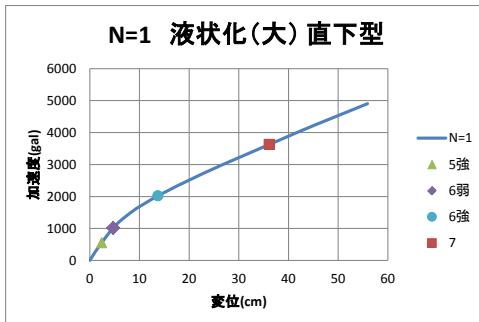


- ※ Ⅰ種: 良好な洪積地盤および岩盤
Ⅱ種: Ⅰ種, Ⅲ種に属さない
洪積地盤および沖積地盤
Ⅲ種: 沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

- 震度: 5強、6弱、6強、7 ●地盤種別: I種、II種、III種 ●地震タイプ: 海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化: なし、(中)、(大)



- ※ I種: 良好な洪積地盤および岩盤
II種: I種, III種に属さない
洪積地盤および沖積地盤
III種: 沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造) 地震による影響(被害)の評価結果(結果の整理)

<パラメータ>

- 震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

【独立部の応答変位(cm)】											
ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
1	海溝型	Ⅰ種地盤	5強	2.11	0.71	0.43	0.21	0.09	0.06	0.04	0.04
2			6弱	3.98	1.34	0.81	0.38	0.18	0.11	0.08	0.07
3			6強	9.11	3.05	1.84	0.90	0.38	0.23	0.17	0.13
4			7	24.91	8.32	5.00	2.51	1.12	0.67	0.47	0.36
5		Ⅱ種地盤	5強	1.99	0.67	0.37	0.16	0.08	0.05	0.04	0.03
6			6弱	3.62	1.21	0.70	0.31	0.14	0.09	0.07	0.05
7			6強	7.79	2.61	1.53	0.64	0.28	0.18	0.13	0.10
8			7	21.17	7.08	4.26	1.89	0.77	0.46	0.32	0.25
9		Ⅲ種地盤	5強	1.88	0.55	0.31	0.14	0.06	0.04	0.03	0.02
10			6弱	3.50	1.05	0.58	0.26	0.12	0.08	0.06	0.04
11			6強	7.58	2.22	1.17	0.51	0.23	0.14	0.11	0.08
12			7	20.52	6.69	3.41	1.38	0.56	0.34	0.24	0.18
13	内陸型	Ⅰ種地盤	5強	3.03	0.88	0.44	0.18	0.07	0.04	0.03	0.02
14			6弱	6.06	1.71	0.82	0.33	0.13	0.08	0.06	0.04
15			6強	15.70	5.20	2.26	0.71	0.26	0.15	0.11	0.08
16			7	40.90	13.66	7.73	2.50	0.78	0.40	0.25	0.18
17		Ⅱ種地盤	5強	2.68	0.61	0.31	0.12	0.05	0.03	0.02	0.02
18			6弱	5.23	1.20	0.60	0.23	0.10	0.06	0.04	0.03
19			6強	13.02	2.84	1.25	0.46	0.18	0.11	0.08	0.06
20			7	34.69	10.12	4.29	1.30	0.42	0.23	0.15	0.11
21		Ⅲ種地盤	5強	2.39	0.54	0.28	0.11	0.05	0.03	0.02	0.02
22			6弱	4.73	1.03	0.52	0.21	0.08	0.05	0.04	0.03
23			6強	13.74	2.25	1.03	0.39	0.16	0.10	0.07	0.05
24			7	36.15	7.88	3.29	1.00	0.33	0.19	0.13	0.10

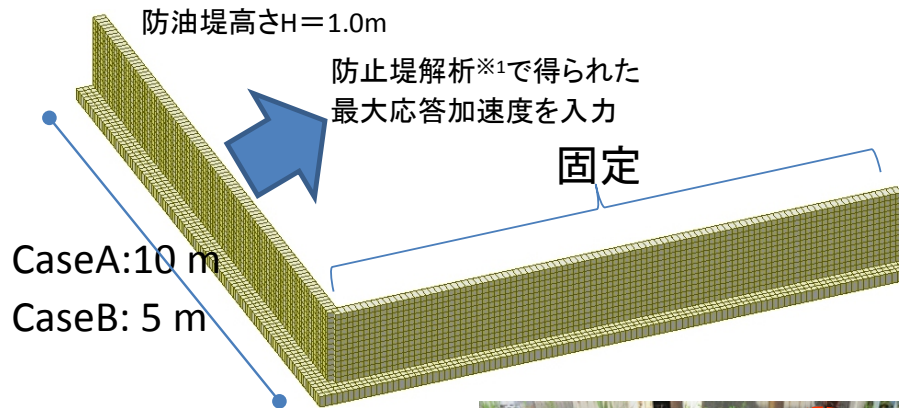
赤枠: 目地部の被害発生(変位0.8cm以上)

※ Ⅰ種:良好な洪積地盤および岩盤, Ⅱ種:Ⅰ種, Ⅲ種に属さない洪積地盤および沖積地盤, Ⅲ種:沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造:コーナ一部) 実被害との比較・評価

解析モデル

直交に交わるコーナ一部を再現
独立防止堤の応答値(加速度)を用いて、
コーナ一部に発生する応力により判定。



※1 パラメータ

- 震度: 5強、6弱、6強、7
- 地盤種別: I 種、II 種、III 種
- 地震タイプ: 海溝型、直下型
- 表層N値=1、3、5、10、20、30、50
- 液状化: なし、(中)、(大)



実被害写真

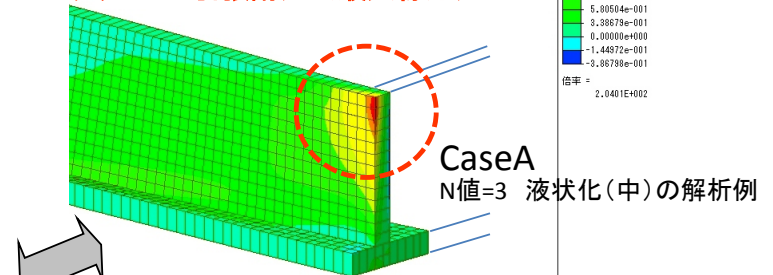
モデル化・解析手法は、実被害
の現象を評価できる

被害状況の判定

●コンクリートのひび割れ
コンクリートの引張耐力<最大縁応力
 $FC21 \times 0.1 = 2.1 \text{ N/mm}^2$

応力解析結果

1100gal作用時に
コンクリートの引張耐力<最大縁応力



1100gal以上の応答値となる
地震タイプ、地盤種別、震度を判定

ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=3
3	海溝型	I 種地盤	6強	1,594
4			7	2,868
7		II 種地盤	6強	1,336
8			7	2,587
11		III 種地盤	6強	1,128
12			7	2,157
15	内陸型	I 種地盤	6強	1,581
16			7	3,359
19		II 種地盤	6強	1,103
20			7	2,305
24		III 種地盤	7	1,949

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造:コーナ一部) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

CaseA:10 m

CaseB:5m

【コーナー部のひび割れの発生】											
ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
1	海溝型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
2			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
3			6強	×	×	-	-	-	-	-	-
4			7	×	×	×	×	-	-	-	-
5		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
6			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
7			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
8			7	×	×	×	-	-	-	-	-
9		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
10			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
11			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
12			7	×	×	×	-	-	-	-	-
13	内陸型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
14			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
15			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
16			7	×	×	×	-	-	-	-	-
17		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
18			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
19			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
20			7	×	×	-	-	-	-	-	-
21		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
22			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
23			6強	-	-	-	-	-	-	-	-
24			7	×	-	-	-	-	-	-	-

赤枠:コーナー部の被害発生(コンクリートの引張耐力以上)

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造:コーナ一部) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

CaseA:10 m

CaseB:5m

【コーナ一部のひび割れの発生】											
ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
1	海溝型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
2			6弱	×	-	-	-	-	-	-	-
3			6強	×	×	×	-	-	-	-	-
4			7	×	×	×	×	×	×	-	-
5		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
6			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
7			6強	×	×	×	-	-	-	-	-
8			7	×	×	×	×	×	-	-	-
9		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
10			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
11			6強	×	×	-	-	-	-	-	-
12			7	×	×	×	×	-	-	-	-
13	内陸型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
14			6弱	×	-	-	-	-	-	-	-
15			6強	×	×	×	-	-	-	-	-
16			7	×	×	×	×	-	-	-	-
17		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
18			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
19			6強	×	×	-	-	-	-	-	-
20			7	×	×	×	-	-	-	-	-
21		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
22			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
23			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
24			7	×	×	×	-	-	-	-	-

赤枠:コーナ一部の被害発生(コンクリートの引張耐力以上)

20

※ Ⅰ種:良好な洪積地盤および岩盤, Ⅱ種:Ⅰ種, Ⅲ種に属さない洪積地盤および沖積地盤, Ⅲ種:沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造:コーナ一部) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型

●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

CaseA:10 m

CaseB:5m

【コーナ一部のひび割れの発生】											
ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
1	海溝型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
2			6弱	×	×	-	-	-	-	-	-
3			6強	×	×	×	×	-	-	-	-
4			7	×	×	×	×	×	×	×	×
5		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
6			6弱	×	-	-	-	-	-	-	-
7			6強	×	×	×	×	-	-	-	-
8			7	×	×	×	×	×	×	×	-
9		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
10			6弱	×	-	-	-	-	-	-	-
11			6強	×	×	×	-	-	-	-	-
12			7	×	×	×	×	×	×	-	-
13	内陸型	Ⅰ種地盤	5強	×	-	-	-	-	-	-	-
14			6弱	×	×	-	-	-	-	-	-
15			6強	×	×	×	×	-	-	-	-
16			7	×	×	×	×	×	×	-	-
17		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
18			6弱	×	-	-	-	-	-	-	-
19			6強	×	×	×	-	-	-	-	-
20			7	×	×	×	×	×	-	-	-
21		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
22			6弱	×	-	-	-	-	-	-	-
23			6強	×	×	×	-	-	-	-	-
24			7	×	×	×	×	-	-	-	-

赤枠:コーナ一部の被害発生(コンクリートの引張耐力以上)

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造:コーナ一部) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

CaseA:10 m

CaseB:5m

【コーナ一部のひび割れの発生】											
ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
1	海溝型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
2			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
3			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
4			7	×	×	×	×	-	-	-	-
5		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
6			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
7			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
8			7	×	×	×	-	-	-	-	-
9		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
10			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
11			6強	-	-	-	-	-	-	-	-
12			7	×	×	-	-	-	-	-	-
13	内陸型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
14			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
15			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
16			7	×	×	×	-	-	-	-	-
17		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
18			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
19			6強	-	-	-	-	-	-	-	-
20			7	×	-	-	-	-	-	-	-
21		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
22			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
23			6強	-	-	-	-	-	-	-	-
24			7	×	-	-	-	-	-	-	-

赤枠:コーナ一部の被害発生(コンクリートの引張耐力以上)

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造:コーナ一部) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型

●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

CaseA:10 m

CaseB:5m

【コーナー部のひび割れの発生】											
ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
1	海溝型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
2			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
3			6強	×	×	×	-	-	-	-	-
4			7	×	×	×	×	×	×	-	-
5		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
6			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
7			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
8			7	×	×	×	×	-	-	-	-
9		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
10			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
11			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
12			7	×	×	×	×	-	-	-	-
13	内陸型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
14			6弱	×	-	-	-	-	-	-	-
15			6強	×	×	-	-	-	-	-	-
16			7	×	×	×	×	-	-	-	-
17		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
18			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
19			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
20			7	×	×	×	-	-	-	-	-
21		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
22			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
23			6強	×	-	-	-	-	-	-	-
24			7	×	×	×	-	-	-	-	-

赤枠:コーナー部の被害発生(コンクリートの引張耐力以上)

23

※ Ⅰ種:良好な洪積地盤および岩盤, Ⅱ種:Ⅰ種, Ⅲ種に属さない洪積地盤および沖積地盤, Ⅲ種:沖積地盤のうち軟弱地盤

流出油等防止堤(鉄筋コンクリート構造:コーナ一部) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型
●表層N値=1、3、5、10、20、30、50 ●液状化:なし、(中)、(大)

CaseA:10 m

CaseB:5m

【コーナ一部のひび割れの発生】											
ID	地震タイプ	地盤種別	震度	N=1	N=3	N=5	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
1	海溝型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
2			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
3			6強	×	×	×	×	-	-	-	-
4			7	×	×	×	×	×	×	×	×
5		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
6			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
7			6強	×	×	×	-	-	-	-	-
8			7	×	×	×	×	×	×	×	-
9		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
10			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
11			6強	×	×	-	-	-	-	-	-
12			7	×	×	×	×	×	-	-	-
13	内陸型	Ⅰ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
14			6弱	×	-	-	-	-	-	-	-
15			6強	×	×	×	-	-	-	-	-
16			7	×	×	×	×	×	×	-	-
17		Ⅱ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
18			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
19			6強	×	×	-	-	-	-	-	-
20			7	×	×	×	×	-	-	-	-
21		Ⅲ種地盤	5強	-	-	-	-	-	-	-	-
22			6弱	-	-	-	-	-	-	-	-
23			6強	×	×	-	-	-	-	-	-
24			7	×	×	×	×	-	-	-	-

赤枠:コーナ一部の被害発生(コンクリートの引張耐力以上)

24

※ Ⅰ種:良好な洪積地盤および岩盤, Ⅱ種:Ⅰ種, Ⅲ種に属さない洪積地盤および沖積地盤, Ⅲ種:沖積地盤のうち軟弱地盤

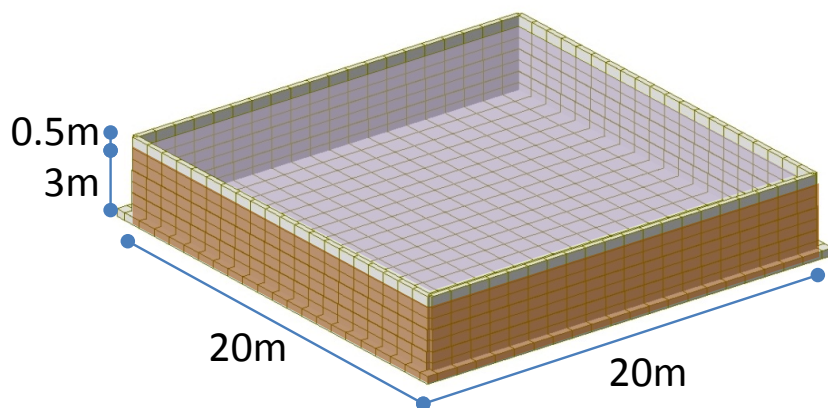
貯水槽(鉄筋コンクリート構造 半地下) 構造物のモデル化

①躯体モデル

実構図面を参考に貯水槽をモデル化

平面20m×20m、深さ3m

側壁: 下部0.35～上部0.25m, 底版0.35m



②境界条件

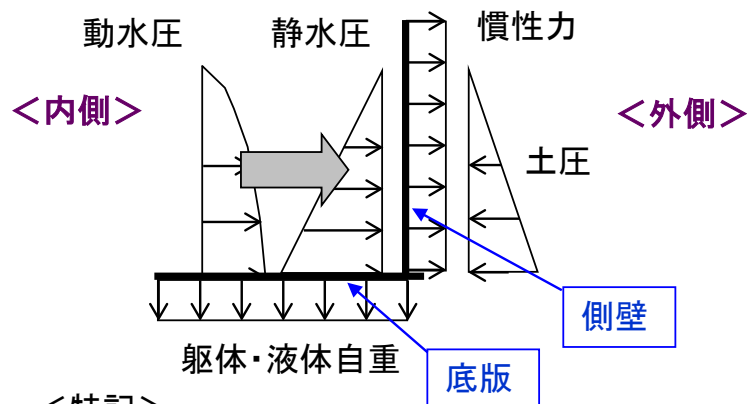
地盤の支持条件を設定

・底版下を鉛直、水平固定

注: 本モデル化は、貯水槽本体の影響評価のために設定したものであり、貯水槽に接続される配管などの付属品については対象としていない。

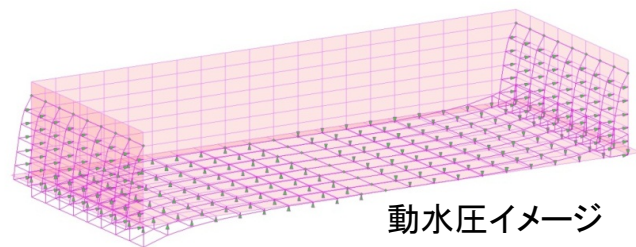
③外力条件

地震時に作用するとして以下を考慮



<特記>

- ・土圧: 土圧係数0.5とした静止土圧を考慮
- ・慣性力: 地下構造物で剛体、0.01秒応答加速度値
- ・動水圧: 液体スロッシング周期と応答スペクトルの関係より決定。分布は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」による



貯水槽(鉄筋コンクリート構造 半地下) 地震荷重(慣性力、動水圧)一覧

躯体は剛体とし、内液はスロッシング周期から(=7.16秒)を用いて、各応答スペクトルより応答加速度、水平震度を設定

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:I種、II種、III種 ●地震タイプ:海溝型、直下型

ID	地震タイプ	地盤種別	震度	躯体		内液(スロッシング)		
				応答加速度 (gal)	水平震度 (-)	固有周期 (sec)	応答加速度 (gal)	水平震度 (-)
1	海溝型	I種地盤	震度5強	193	0.20	7.16	41	0.04
2			震度6弱	348	0.36		74	0.08
3			震度6強	627	0.64		133	0.14
4			震度7	1,130	1.15		240	0.24
5		II種地盤	震度5強	158	0.16		56	0.06
6			震度6弱	285	0.29		101	0.10
7			震度6強	513	0.52		182	0.19
8			震度7	925	0.94		327	0.33
9		III種地盤	震度5強	134	0.14		86	0.09
10			震度6弱	242	0.25		154	0.16
11			震度6強	436	0.45		278	0.28
12			震度7	786	0.80		500	0.51
13	直下型	I種地盤	震度5強	69	0.07		14	0.01
14			震度6弱	125	0.13		25	0.03
15			震度6強	226	0.23		46	0.05
16			震度7	406	0.41		82	0.08
17		II種地盤	震度5強	52	0.05		31	0.03
18			震度6弱	93	0.09		56	0.06
19			震度6強	168	0.17		101	0.10
20			震度7	302	0.31		181	0.18
21		III種地盤	震度5強	46	0.05		46	0.05
22			震度6弱	82	0.08		83	0.08
23			震度6強	148	0.15		150	0.15
24			震度7	267	0.27		270	0.28

<スロッシング固有周期>
直方体のスロッシング周期算定式

長方形タンク(2次元の場合):

液深さ: H
 タンクの幅: L
 重力加速度: g

一次モード周波数: $f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi}{L} g \tanh\left(\frac{\pi H}{L}\right)}$

逆対称モード:
 $\lambda_i = \frac{(2i-1)\pi}{L} ; i=1,2,3...$

周波数: $f_i = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\lambda_i g \tanh(\lambda_i H)}$

周期: $T_i = \frac{1}{f_i}$

L	20.0	m
H	3.5	m
g	9.80665	m/sec ²
係数	0.157	
Ts1	7.16	sec

剛体として応答加速度/水平震度を設定

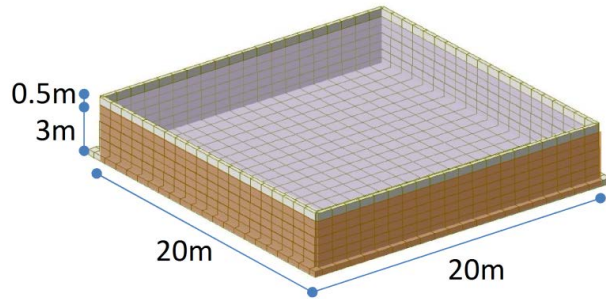
スロッシング周期から応答加速度/水平震度を算定

貯水槽(鉄筋コンクリート構造 半地下) 応力値(コンクリート縁応力, 曲げ応力)の算出と 実被害との比較・評価

応力値の算出

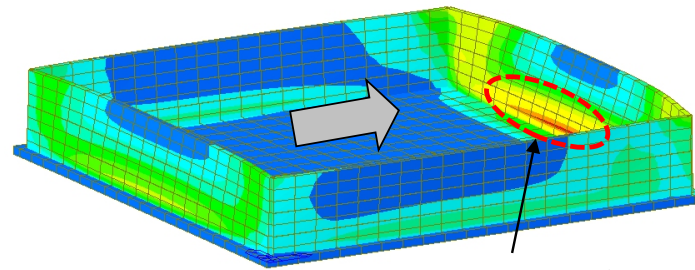
平面20m×20m、深さ3m

側壁: 下部0.35~上部0.25m, 底版0.35m

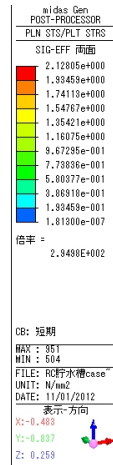


例) 震度別(6強)、地盤種別(Ⅱ種)、地震タイプ別(海溝型)

躯体			内液			合計	
固有周期	応答加速度	水平震度	固有周期	応答加速度	水平震度	水平力	水平変位
(sec)	(gal)	(-)	(sec)	(gal)	(-)	(kN)	(mm)
0.01	513	0.52	7.16	182	0.19	6131	3.6



最大縁応力度、最大曲げ応力
(2.12N/mm², 71.2KN・m)



実被害との比較・評価

応力値(解析値)

●コンクリートのひび割れ
コンクリートの引張耐力<最大縁応力

$$FC21 \times 0.1 = 2.1 \text{ N/mm}^2 < 2.12 \text{ N/mm}^2$$

●配筋の引張降伏

降伏曲げ耐力<最大曲げ応力

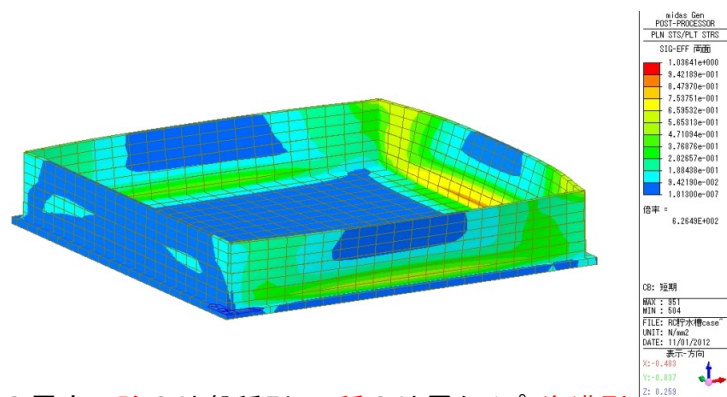
$$\begin{aligned} \text{縦筋の降伏曲げ耐力: } M &= at \cdot \sigma_y \cdot d \\ \text{鉄筋SD295、かぶり50mmと仮定} \\ D=350 \quad D13@200 \text{ ダブル配筋の場合: } M &= 5 \times 127 \times 295 \times (350-50) \\ &= 56.2 \text{ kN} \cdot \text{m} < 71.2 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

実被害

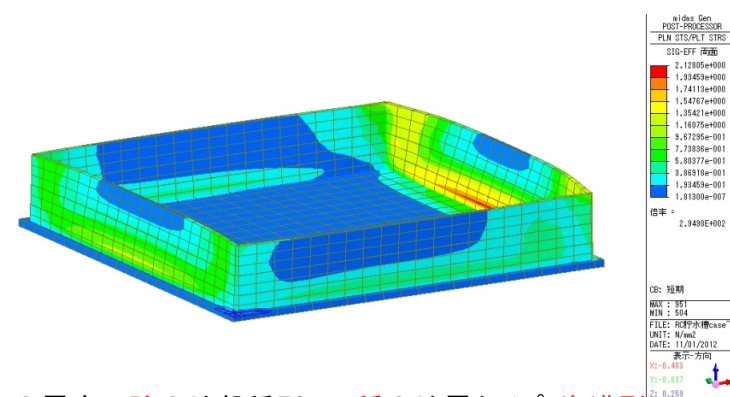
- コンクリートひび割れ
- 漏水

モデル化・解析手法は、
実被害の現象を評価できる

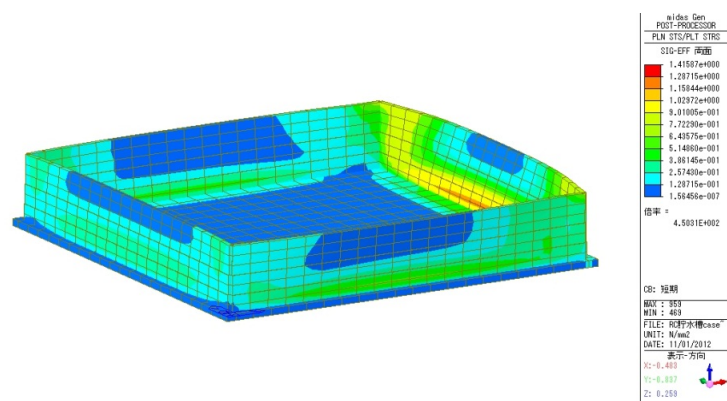
貯水槽(鉄筋コンクリート構造 半地下) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)



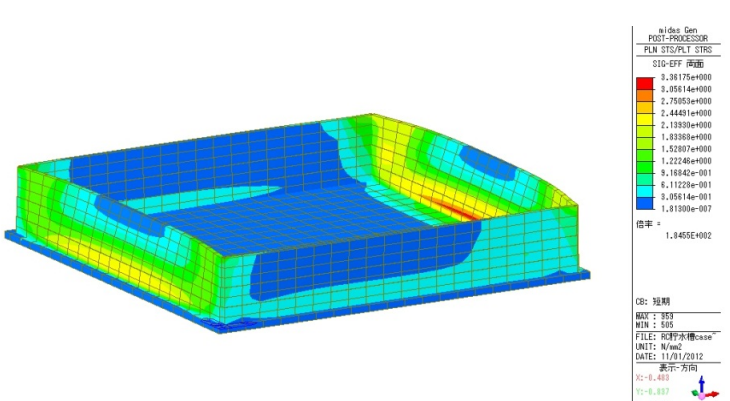
●震度:5強●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:海溝型
最大縁応力度:1.0N/m²
最大曲げ応力:39.1kN



●震度:6強●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:海溝型
最大縁応力度:2.1N/m²
最大曲げ応力:71.2kN

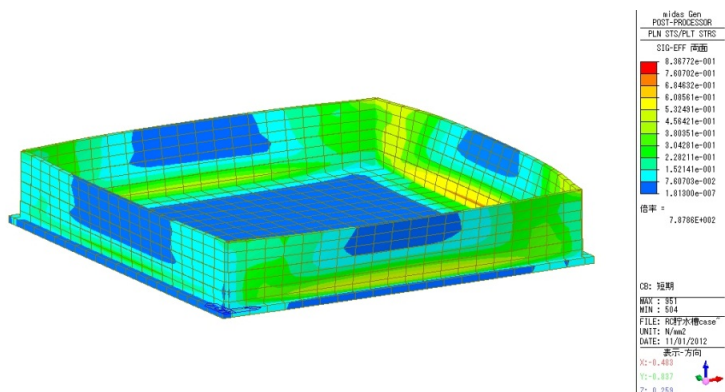


●震度:6弱●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:海溝型
最大縁応力度:1.4N/m²
最大曲げ応力:48.3kN

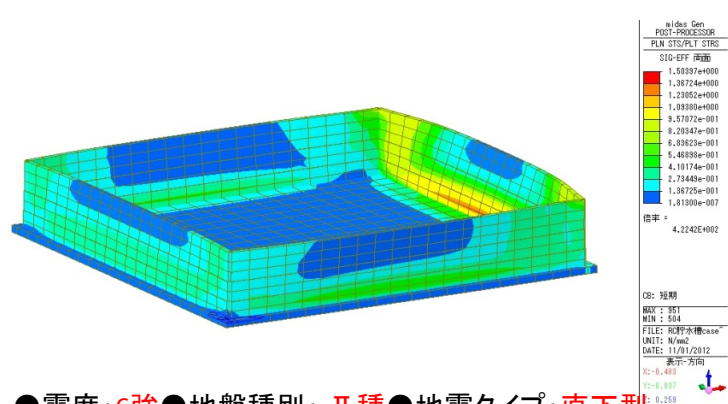


●震度:7●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:海溝型
最大縁応力度:3.4N/m²
最大曲げ応力:110.8kN

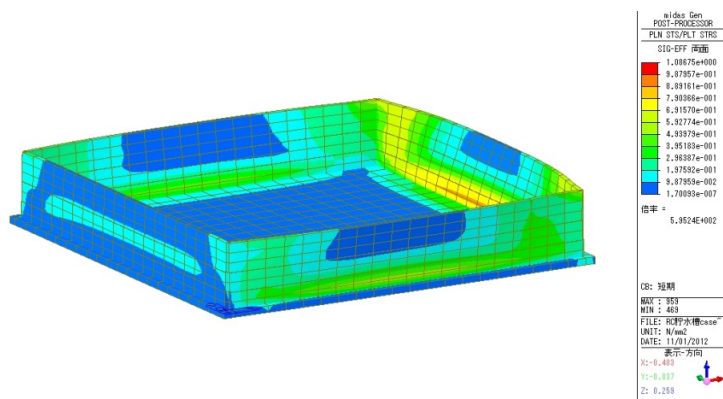
貯水槽(鉄筋コンクリート構造 半地下) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)



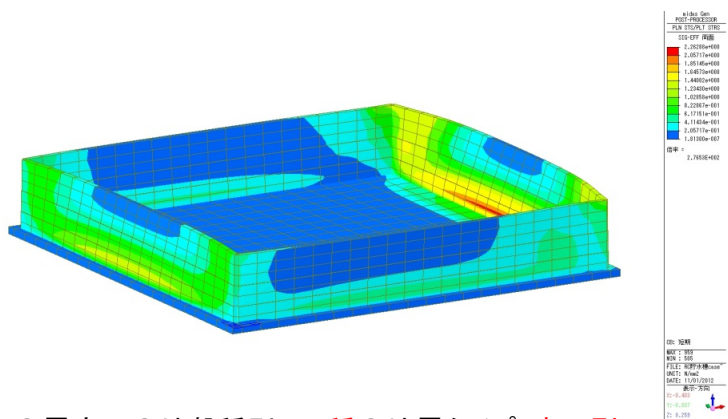
●震度:5強●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:直下型
最大縁応力度:0.8N/m²
最大曲げ応力:29.7kN



●震度:6強●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:直下型
最大縁応力度:1.5N/m²
最大曲げ応力:51.1kN



●震度:6弱●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:直下型
最大縁応力度:1.1N/m²
最大曲げ応力:37.8kN



●震度:7●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:直下型
最大縁応力度:2.3N/m²
最大曲げ応力:75.4kN

貯水槽(鉄筋コンクリート構造 半地下) 地震による影響(被害)の評価結果(結果の整理)

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型

ID	地震タイプ	地盤種別	震度	コンクリートひび割れ		鉄筋降伏	
				最大縁応力度 (N/mm ²)	ひび割れの発生	最大曲げ応力 (kNm)	降伏の発生
1	海溝型	Ⅰ種地盤	震度5強	1.1	—	37.8	—
2			震度6弱	1.5	—	51.9	—
3			震度6強	2.3	○	76.6	○
4			震度7	3.7	○	120.9	○
5		Ⅱ種地盤	震度5強	1.0	—	39.1	—
6			震度6弱	1.4	—	48.3	—
7			震度6強	2.1	○	71.2	○
8			震度7	3.4	○	110.8	○
9		Ⅲ種地盤	震度5強	1.0	—	36.0	—
10			震度6弱	1.4	—	48.3	—
11			震度6強	2.1	—	70.2	○
12			震度7	3.3	○	110.3	○
13	直下型	Ⅰ種地盤	震度5強	0.9	—	31.3	—
14			震度6弱	1.2	—	40.7	—
15			震度6強	1.7	—	56.4	○
16			震度7	2.6	○	84.5	○
17		Ⅱ種地盤	震度5強	0.8	—	29.7	—
18			震度6弱	1.1	—	37.8	—
19			震度6強	1.5	—	51.1	—
20			震度7	2.3	○	75.4	○
21		Ⅲ種地盤	震度5強	0.8	—	30.1	—
22			震度6弱	1.1	—	37.3	—
23			震度6強	1.5	—	50.8	—
24			震度7	2.2	○	75.7	○

赤枠:コンクリートひび割れの被害(縁応力度2.1N/mm²以上)

緑枠:鉄筋降伏の被害(最大曲げ応力56.2kNm以上)

※ Ⅰ種:良好な洪積地盤および岩盤, Ⅱ種:Ⅰ種, Ⅲ種に属さない洪積地盤および沖積地盤, Ⅲ種:沖積地盤のうち軟弱地盤

貯水槽(鋼製地上タンク) 構造物のモデル化

注: 本モデル化は、貯水槽本体の影響評価のために設定したものであり、貯水槽に接続される配管などの付属品については対象としていない。

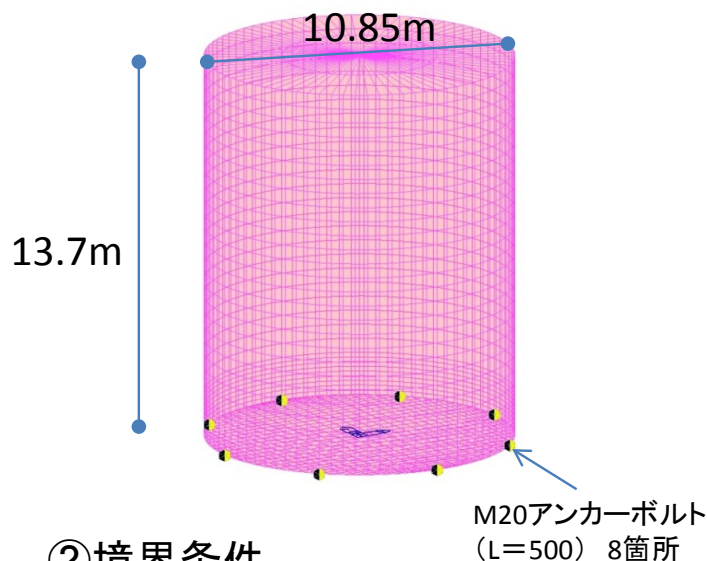
① 躯体モデル

実構図面を参考に

円筒径D10.85m、高さH13.7mの鋼製タンクをモデル化

(液体D=10.64m、H=12.41m、容量約1100m³)

鋼板厚: 底板=9mm、側板=下部12~上部6mm、屋根板=4.5mm



② 境界条件

地盤の支持条件を設定

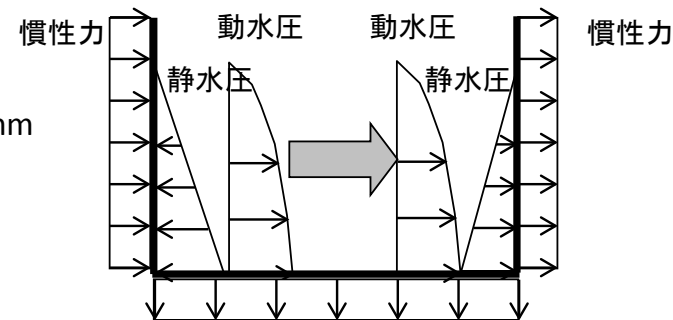
・底盤下: 鉛直方向圧縮のみ固定、水平固定

アンカーボルトの支持条件を設定

・アンカーボルトの引抜初期剛性、降伏後の剛性低下をモデル化

③ 外力条件

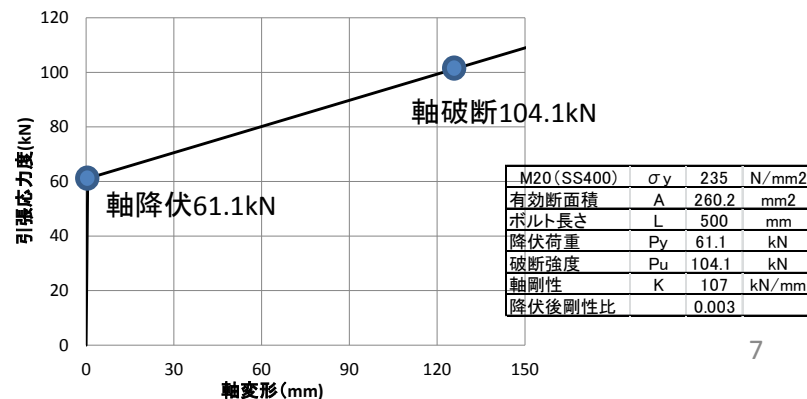
地震時に作用するとして以下を考慮



<特記>

- ・慣性力: 躯体の固有周期と応答スペクトルの関係より決定
- ・動水圧: 液体スロッシング周期と応答スペクトルの関係より決定。分布は、Housnerの近似式

アンカーボルトのモデル化



貯水槽(鋼製地上タンク) 地震荷重(慣性力、動水圧)一覧

躯体の固有周期(=0.036秒)と内液のスロッシング周期を用いて、各応答スペクトルより応答加速度、水平震度を設定

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型

ID	地震タイプ	地盤種別	震度	躯体			内液		
				固有周期 (sec)	応答加速度 (gal)	水平震度 (-)	固有周期 (sec)	応答加速度 (gal)	水平震度 (-)
1	海溝型	Ⅰ種地盤	震度5強	0.036	297	0.30	3.41	86	0.09
2			震度6弱		534	0.55		155	0.16
3			震度6強		963	0.98		279	0.28
4			震度7		1,735	1.77		502	0.51
5		Ⅱ種地盤	震度5強		243	0.25		117	0.12
6			震度6弱		437	0.45		211	0.22
7			震度6強		788	0.80		380	0.39
8			震度7		1,419	1.45		685	0.70
9		Ⅲ種地盤	震度5強		206	0.21		179	0.18
10			震度6弱		372	0.38		323	0.33
11			震度6強		669	0.68		581	0.59
12			震度7		1,206	1.23		1,047	1.07
13	直下型	Ⅰ種地盤	震度5強	0.036	164	0.17	3.41	48	0.05
14			震度6弱		295	0.30		87	0.09
15			震度6強		531	0.54		156	0.16
16			震度7		957	0.98		281	0.29
17		Ⅱ種地盤	震度5強		122	0.12		106	0.11
18			震度6弱		219	0.22		191	0.20
19			震度6強		395	0.40		345	0.35
20			震度7		711	0.73		621	0.63
21		Ⅲ種地盤	震度5強		108	0.11		158	0.16
22			震度6弱		194	0.20		285	0.29
23			震度6強		349	0.36		513	0.52
24			震度7		629	0.64		925	0.94

<スロッシング固有周期>

円筒体のスロッシング周期算定式

「危険物の規制に関する技術上の
基準の細目を定める告示」

$$T_{s1} = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.68g} \cdot \coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)}$$

D	10.64	m
H	12.4	m
g	9.80665	m/sec ²
係数	3.68	
Ts1	3.41	sec

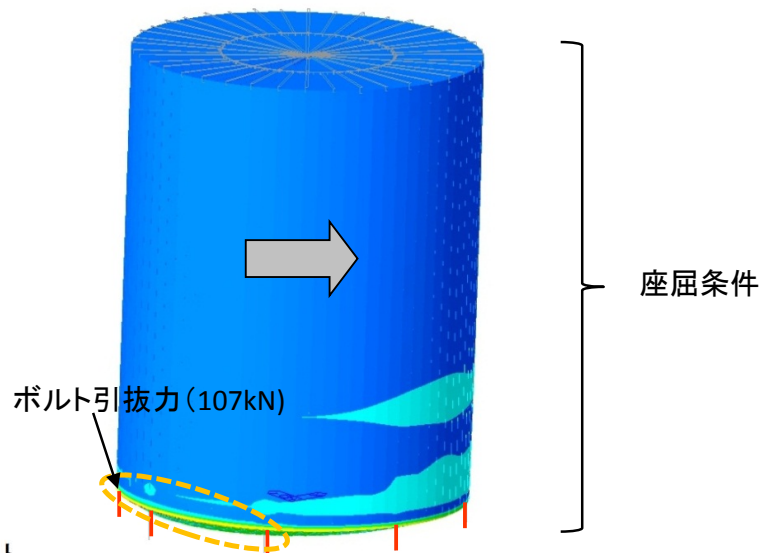
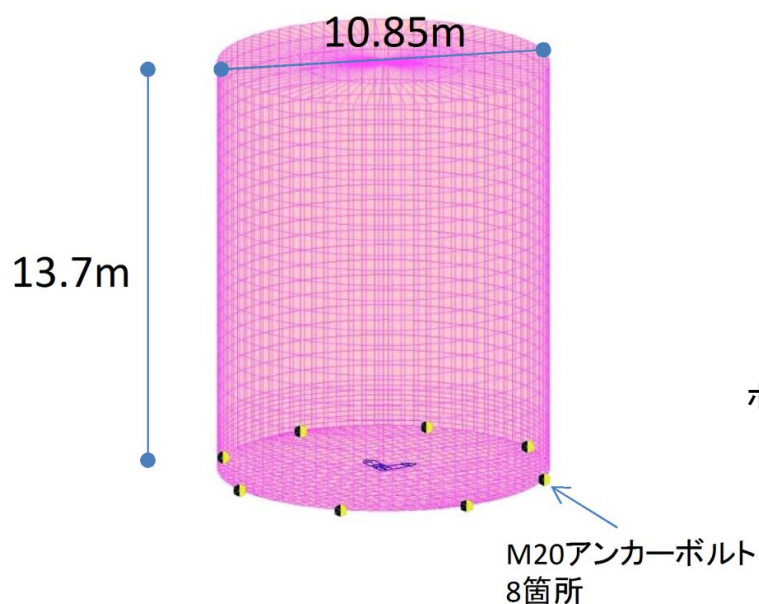
躯体の固有周期から応答加速度/水平震度を設定

スロッシング周期から応答加速度/水平震度を算定

貯水槽(鋼製地上タンク) 応力値(鋼材の応力, アンカーボルトの引抜き力、座屈応力)の算出

応力値の算出

躯体			内液			合計	
固有周期	応答加速度	水平震度	固有周期	応答加速度	水平震度	水平力	頂部水平変位
(sec)	(gal)	(-)	(sec)	(gal)	(-)	(kN)	(mm)
0.036	788	0.80	3.41	380	0.39	3979	192.2



例) 震度別(6強)、地盤種別(Ⅱ種)、地震タイプ別(海溝型)

貯水槽(鋼製地上タンク) 実被害との比較・評価

実被害との比較・評価

震度別(6強)、地盤種別(Ⅱ種)、地震タイプ別(海溝型)

<解析結果>

●鋼板(SS400)の引張降伏

鋼材降伏応力度(235N/mm^2): アンカーボルトが先行して破断

●アンカーボルトM20_SS400の降伏、破断

鋼棒降伏耐力(61kN) < 最大引抜力(107kN)

鋼棒破断耐力(104kN) < 最大引抜力(107kN)

●座屈破壊

座屈条件: 座屈安全率1.0以下⇒安全率>1.0 OK

<実被害>

●鋼板(SS400)の引張降伏: 不明

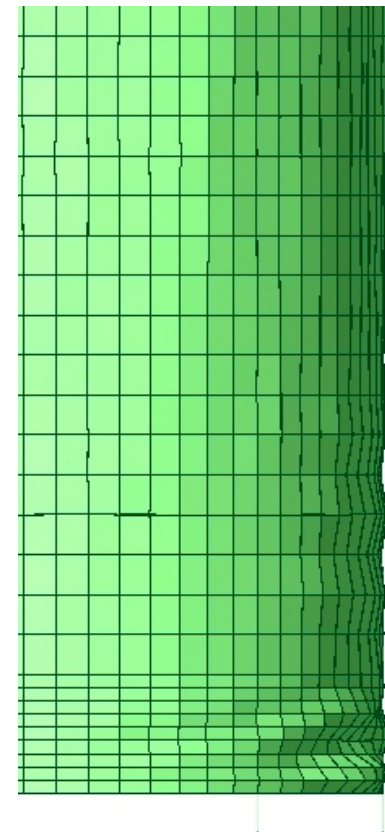
●アンカーボルトM20_SS400の破断

●座屈破壊なし

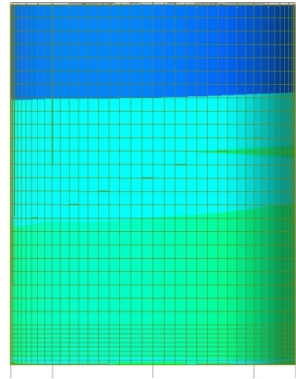
モデル化・解析手法は、実被害
の現象を評価できる



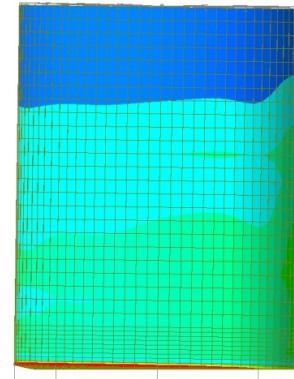
座屈モード解析



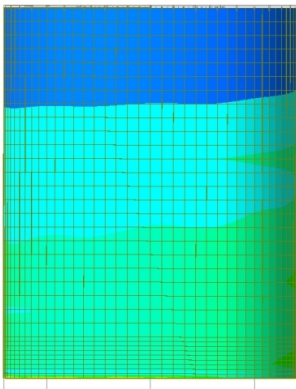
流出防止堤(鋼製地上タンク) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)



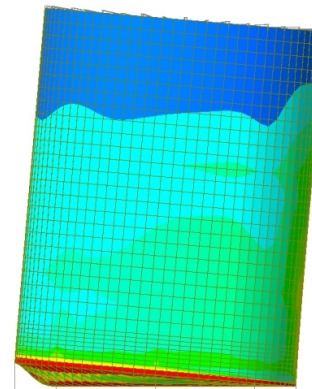
●震度:5強●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:海溝型
最大縁応力度:163N/m²
最大引抜力:51kN



●震度:6強●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:海溝型
最大縁応力度:1081N/m²
最大引抜力:107kN

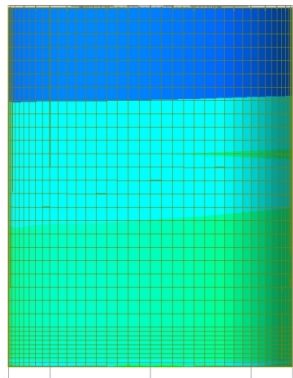


●震度:6弱●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:海溝型
最大縁応力度:309N/m²
最大引抜力:69kN

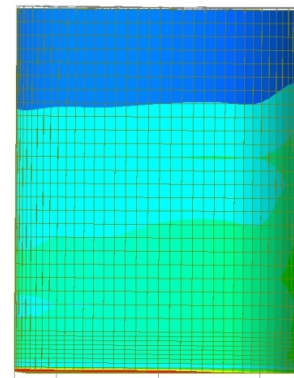


●震度:7●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:海溝型
最大縁応力度:2342N/m²
最大引抜力:358kN

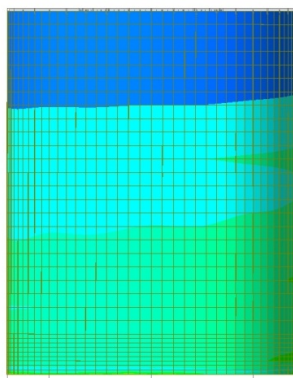
流出防止堤(鋼製地上タンク) 地震による影響(被害)の評価結果(パラメータ解析)



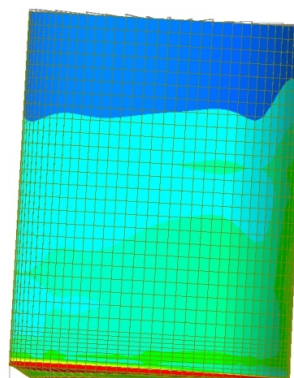
●震度:5強●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:直下型
最大縁応力度:160N/m²
最大引抜力:32kN



●震度:6強●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:直下型
最大縁応力度:764N/m²
最大引抜力:91kN



●震度:6弱●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:直下型
最大縁応力度:250N/m²
最大引抜力:68kN



●震度:7●地盤種別:Ⅱ種●地震タイプ:直下型
最大縁応力度:2036N/m²
最大引抜力:260kN

流出防止堤(鋼製地上タンク) 地震による影響(被害)の評価結果(結果の整理)

<パラメータ>

●震度:5強、6弱、6強、7 ●地盤種別:Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種 ●地震タイプ:海溝型、直下型

ID	地震タイプ	地盤種別	震度	最大縁応力度 (N/mm ²)	鋼材		支点最大 引抜き (kN)	アンカーボルト	
					降伏発生	座屈発生		降伏	破断
1	海溝型	Ⅰ種地盤	震度5強	155	—	—	25	—	—
2			震度6弱	223	—	—	68	○	—
3			震度6強	—	○	—	82	○	—
4			震度7	—	○	—	221	○	○
5		Ⅱ種地盤	震度5強	163	—	—	51	—	—
6			震度6弱	309	○	—	69	○	—
7			震度6強	—	○	—	107	○	○
8			震度7	—	○	—	358	○	○
9		Ⅲ種地盤	震度5強	220	—	—	68	○	—
10			震度6弱	—	○	—	85	○	—
11			震度6強	—	○	—	229	○	○
12			震度7	—	○	—	411	○	○
13	直下型	Ⅰ種地盤	震度5強	146	—	—	0	—	—
14			震度6弱	155	—	—	26	—	—
15			震度6強	222	—	—	68	○	—
16			震度7	—	○	—	85	○	—
17		Ⅱ種地盤	震度5強	160	—	—	32	—	—
18			震度6弱	250	○	—	68	○	—
19			震度6強	—	○	—	91	○	—
20			震度7	—	○	—	260	○	○
21		Ⅲ種地盤	震度5強	176	—	—	67	○	—
22			震度6弱	—	○	—	75	○	—
23			震度6強	—	○	—	166	○	○
24			震度7	—	○	—	411	○	○

赤枠:鋼材の降伏被害(縁応力度235N/mm²以上)

茶枠:ボルトの降伏被害(引抜き力61kN以上)

青枠:ボルトの破断被害(引抜き力104kN以上)

※ Ⅰ種:良好な洪積地盤および岩盤, Ⅱ種:Ⅰ種, Ⅲ種に属さない洪積地盤および沖積地盤, Ⅲ種:沖積地盤のうち軟弱地盤

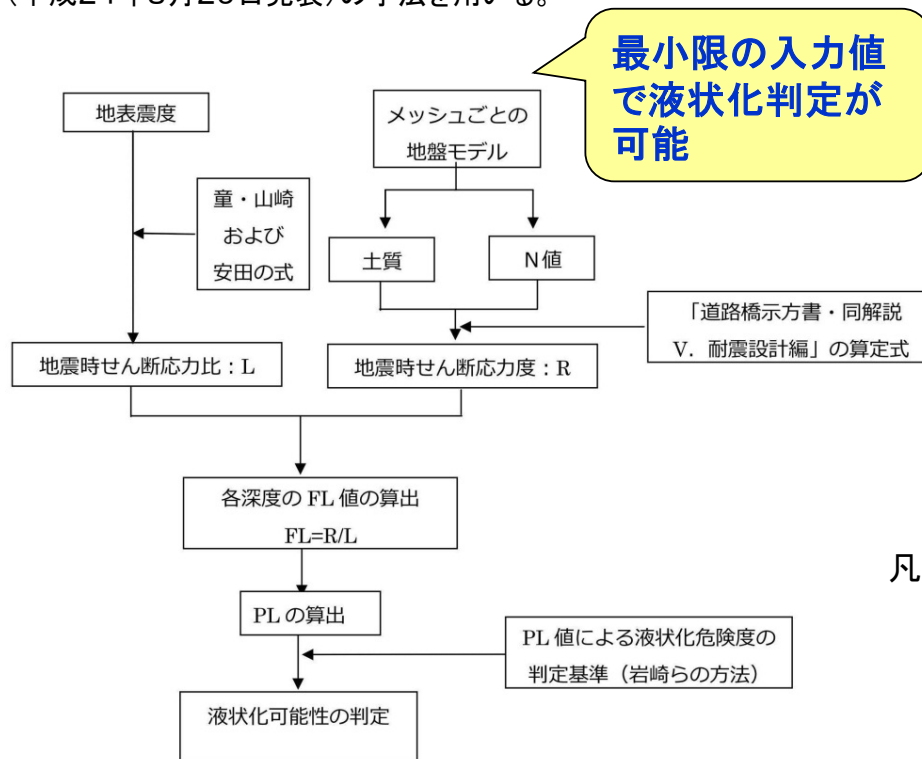
液状化判定モデルの作成

<液状化判定モデル>

内閣府 中央防災会議

南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(第一次報告)

(平成24年8月29日発表)の手法を用いる。



必要データ

当該地のボーリング柱状図より

● 1～20mまでのN値、● 地下水位

想定地震

● 想定震度

● 地震タイプ

(プレート境界, 内陸直下)

凡例: FL値: 液状化に対する抵抗率

PL値: 地層全体の液状化可能性指数

PL > 15 : 液状化の可能性が大

5 < PL ≤ 15 : 液状化の可能性が中

0 < PL ≤ 5 : 液状化の可能性が小

PL = 0 : 液状化の可能性なし

液状化判定のフロー

液状化判定 実被害との比較・評価

■ 入力項目

■ 出力項目

想定震度	6弱
地震タイプ	1
地下水位	0 m
PL値	19.4
地表2m平均FL値	0.36
地盤種別(簡易式)	第二種 地盤

観測地震
より

現地の地盤条件(ボーリング柱状図)より

FL値	計測震度	深さX	N値	地下水位以下
0.27	5.9	1	4	○
0.46	5.9	2	12	○
3.05	5.9	3	23	○
7.45	5.9	4	29	○
0.83	5.9	5	22	○
0.71	5.9	6	23	○
0.43	5.9	7	22	○
1.49	5.9	8	30	○
2.67	5.9	9	35	○
7.89	5.9	10	44	○
12.52	5.9	11	50	○
9.19	5.9	12	50	○
13.81	5.9	13	56	○
6.60	5.9	14	52	○
5.05	5.9	15	52	○
7.76	5.9	16	58	○
6.09	5.9	17	58	○
4.82	5.9	18	58	○
3.86	5.9	19	58	○
1.27	5.9	20	50	○



実被害写真

液状化により
基礎沈下



配管沈下(埋没)

<判定結果>

PL=19.4>15 : 液状化の可能性が大

液状化判定モデルは、実被害の現象を評価できる

地震により受ける影響の評価結果（液状化）

液状化判定モデルによるPL値の算出

PL値：地層全体の液状化可能性指数

PL > 15 : 液状化の可能性が大

5 < PL ≤ 15 : 液状化の可能性が中

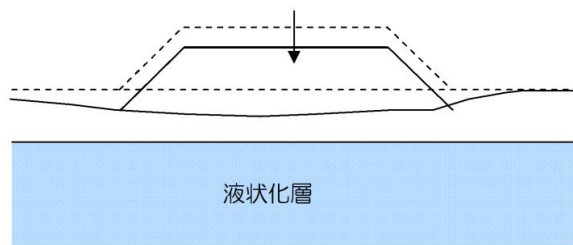
0 < PL ≤ 5 : 液状化の可能性が小

PL = 0 : 液状化の可能性なし

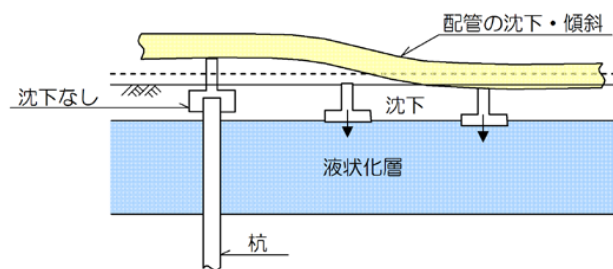
液状化の可能性が大 (PL > 15) と判定されると、

施設			想定される被害	施設管理のポイント
大項目	中項目	小項目		
1. 流出油等防止堤	(1) 盛土構造		・ 盛土の沈下/段差	・ 埋設物横断部
2. 消火用屋外 給水施設	(2) 配管類	① 地上配管	・ 基礎沈下に伴う傾斜	・ 異種基礎間の取合部 (杭基礎～直接基礎)
		② 埋設配管	・ 沈下/傾斜	・ 埋設物横断部
	(3) 加圧送水 設備		・ 基礎沈下に伴う傾斜	・ 異種基礎間の取合部
3. 非常用通報 設備	(1) 電線	① 電柱上	・ 電柱傾斜に伴う断線	—

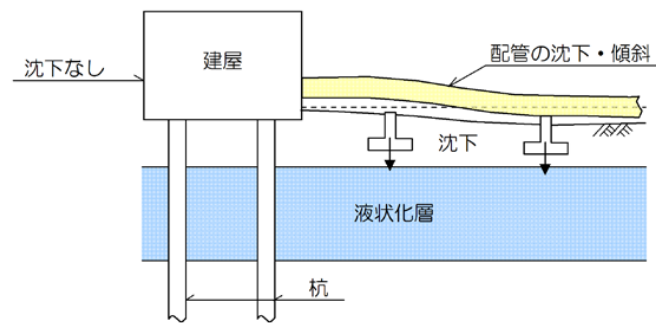
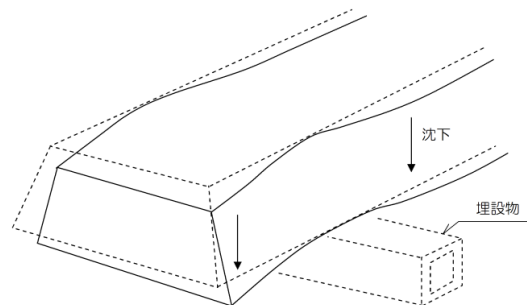
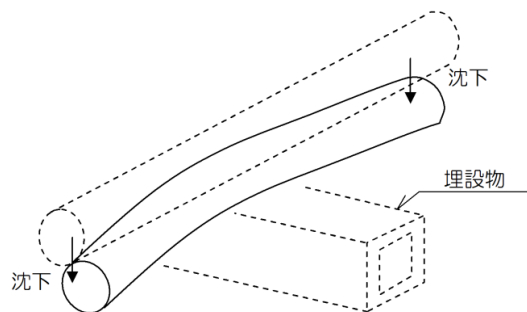
盛土構造



地上配管



埋設配管



加圧送水設備

