

地表面の傾斜と新設RC池状構造物に隣接する 既設RC池状構造物への影響に関する 地震応答解析

猪子 敬之介¹・大嶽 公康²・成田 健太郎³・林川 俊郎⁴・有賀 義明⁵

¹正会員 札幌市水道局給水部 (〒060-0041 北海道札幌市中央区大通東11丁目23番地)

E-mail: keinosuke.inoko@city.sapporo.jp

²正会員 日本上下水道設計株式会社 (〒141-0031 東京都品川区西五反田7丁目20番9号)

E-mail: kimiyasu_ohtake@njs.co.jp

³非会員 日本上下水道設計株式会社 (〒141-0031 東京都品川区西五反田7丁目20番9号)

E-mail: kentaro_h_narita@njs.co.jp

⁴フェロー会員 北海道大学大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: toshiroh@eng.hokudai.ac.jp

⁵フェロー会員 弘前大学大学院理工学研究科 (〒036-8561 青森県弘前市文京町3)

E-mail: y-a-arig@cc.hirosaki-u.ac.jp

ポンプ場のような水道施設では、複数の地表面の傾斜や新設RC池状構造物と隣接して既設RC池状構造物が立地していることがある。これらの地表面の傾斜の影響や新設RC池状構造物が既設RC池状構造物に与える影響に関して不明な点が多くある。そこで、本論文では2次元動的有限要素解析によりRC池状構造物の建設過程に応じたケーススタディを行い、地表面の傾斜や新設RC池状構造物に隣接する既設RC池状構造物への影響を検討した。その結果、地震時において地表面の傾斜や新設構造物が、既設構造物に対して与える影響よりも、高剛性、短周期のRC池状構造物が、軟弱土の非線形化の生じる周辺地盤に及ぼす影響の方が大きいため、低地側に位置する既設RC池状構造物への影響は少ないという結論を得た。

Key Words : ground surface inclination, RC tanks, 2-D dynamic analysis, earthquake behavior

1. はじめに

地表面の傾斜を有する原地盤上にポンプ場、配水場などの水道施設を立地する際、景観や土地利用への配慮から切・盛土を伴う敷地造成を行い、地表面の傾斜(段差)に隣接あるいは接してRC池状構造物を建設することがある。その後年月を経て、水需要の変化への対応、機能のバックアップや応急給水の充実、施設の老朽化による更新などを目的に、既設構造物に隣接して新設RC池状構造物が建設されることもある。地表面の傾斜の影響は、その高低差が10mよりも低く、RC池状構造物が低地側に配置されている場合には少ないと考えられる¹⁾が、階段状の複数の地表面傾斜と隣接するようなRC池状構造物への影響については十分に体系付けられていない。また、これらのRC池状構造物の耐震設計は、隣接する構造物相互の地震時の影響を考慮せずに個別に設計されているのが実情である。このため、現状ではこのような

条件下にある水道施設の地震時の動的相互作用を考慮した解析事例や、基準・指針等における設計事例などはなく、地表面の傾斜や新設構造物の建設などが既設RC池状構造物に及ぼす影響に関して不明な点が多くある。しかしながら、地震後の水道施設のライフラインとしての重要性、水道施設の合理的な地震対策の推進などを踏まえると、地震時に地表面の傾斜や新設RC池状構造物が既設RC池状構造物に対してどのような影響を与えるかを定量的に把握した上で、既設RC池状構造物の耐震化の必要性の有無を判断することが重要と考えられる。

以上の背景より、本論文では耐震設計実務における有用情報の提供を目的として、2次元動的有限要素解析を用いてRC池状構造物の建設過程に応じたケーススタディを行い、地表面の傾斜や新設RC池状構造物に隣接する既設RC池状構造物への影響を検討する。

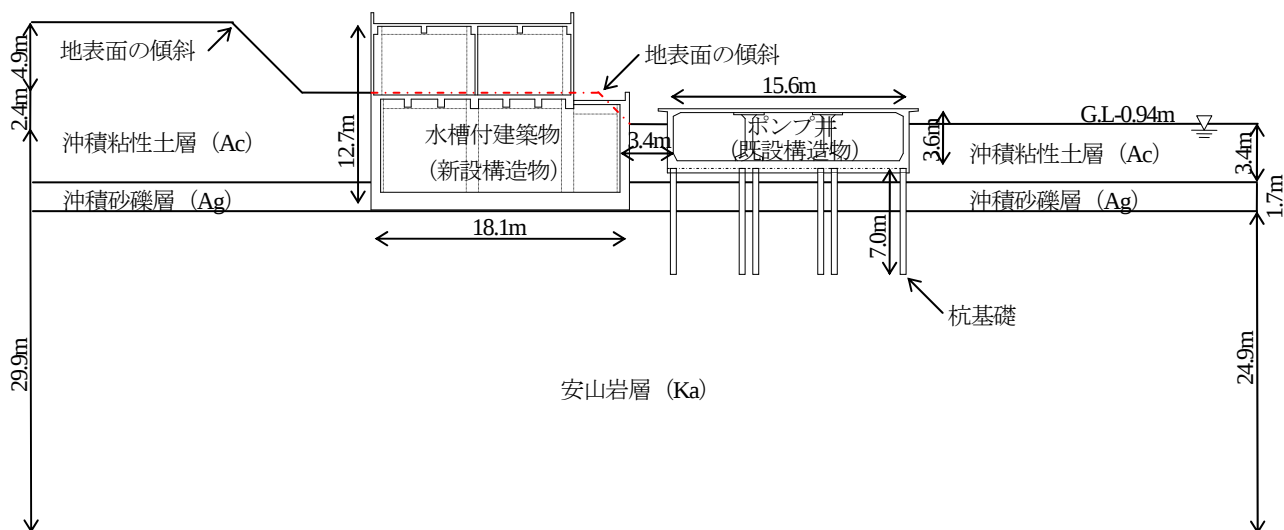


図-1 RC池状構造物と地盤

表-1 地盤の物理定数

土質性状	層厚※ $H(m)$	単位体積重量 $\gamma(kN/m^3)$	ポアソン比 ν	せん断波速度 $V_s(m/s)$	初期せん断弾性係数 $G_{max}(kN/m^2)$	せん断強度 $\tau_f(kN/m^2)$	規準ひずみ γ_r
沖積粘性土(Ac)	0.00～3.38	17	0.442	110	20,990	24.443	0.001164
沖積砂礫(Ag)	3.38～5.04	18	0.434	280	144,000	17.824	0.000124
安山岩(Ka)	16.53～30.00	25	0.378	1,150	3,373,724	-	-

※ 地盤各層の層厚は、解析領域右端部の値である。

表-2 RC池状構造物の物理定数

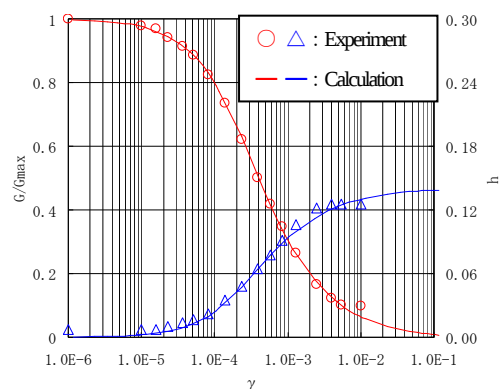
単位体積重量 $\gamma(kN/m^3)$	ポアソン比 ν	ヤング係数 $E(kN/m^2)$
245	0.1667	2.35×10^7

2. 解析モデル

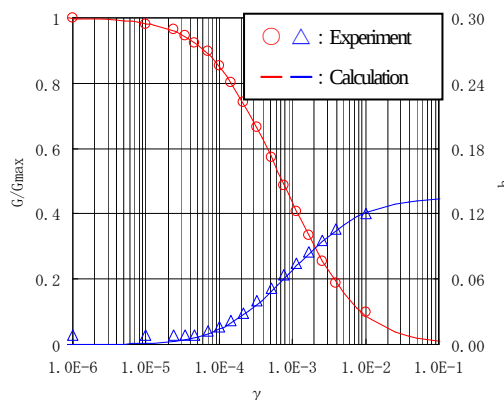
(1) 解析モデル

解析対象としたRC池状構造物と地盤の断面を図-1に示す。本論文では水道施設のうち札幌市南区南沢にあるポンプ場を検討対象とした。図-1右の傾斜最下段に半地下式の既存ポンプ井を配置し、その左の傾斜中段に地上・地下1階の新設水槽付建築物が建設された事例を取り扱った（これより以降、前者を既存構造物、後者を新設構造物と呼ぶ）。地盤条件から基礎形式は新設構造物が直接基礎、既存構造物が杭基礎（PC杭φ350mm、 $L=7.0m$ ）としている。

地盤は地表面から順に沖積粘性土層（Ac）、沖積砂礫層（Ag）、安山岩層（Ka）の3層によって構成されるモデルとした。地表面の高低差は、図-1左の傾斜が4.9m、右の傾斜が2.4mの全高7.3mとしている。地下水位面はG.L.-0.94mに設定している。これらの地盤条件は、札幌市南区南沢の地盤調査結果²⁾、札幌市域の浅部地下構造モデル³⁾を元に設定したものである。



(a) 沖積粘性土 (Ac)



(b) 沖積砂礫 (Ag)

図-2 土の応力～ひずみ関係

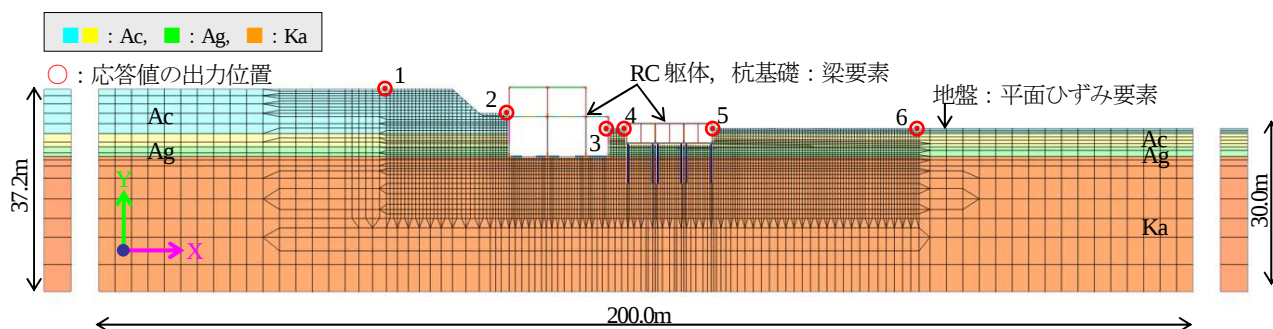


図-3 有限要素モデルの例（ケース3）と応答値の出力点

表-3 解析ケース

解析ケース（モデルの内容）	節点数	要素数
ケース1（地盤のみのモデル）	8,367	8,372
ケース2（既設構造物を設定したモデル）	8,282	8,290
ケース3（既設構造物と新設構造物を設定したモデル）	7,674	7,664

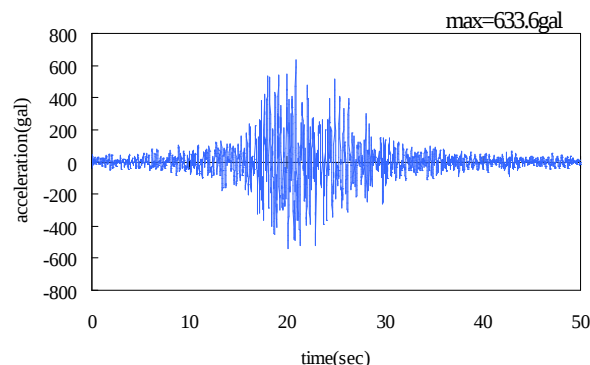


図-4 時刻歴加速度波形

(2) 地盤と構造物のモデル化

地盤各層の物理定数を表-1に示す。土の非線形特性のモデル化は、室内要素試験から土の強度特性、動的変形特性が得られているため、微小ひずみからピーク強度に至るまで幅広いひずみ領域においてフィッティングが可能な修正GHEモデル⁴⁾により設定した。安山岩層は線形弾性体と仮定している。本解析に用いた地盤各層の応力～ひずみ関係を図-2に示す。また、多方向のせん断挙動を表現するためにマルクスプリングモデル⁵⁾を用いた。

RC池状構造物の物理定数を表-2に示す。部材の復元力特性は剛性低下型の復元力モデルとして、骨格曲線はトリリニアモデル、履歴特性は武田モデルを用いた。新設構造物の地下部と既設構造物の等価せん断弾性係数 G_{eq} は、それぞれ $1.18 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ 、 $5.80 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ である。なお、この等価せん断弾性係数は、モデル化したRC池状構造物の諸元からそれぞれ算出したものであり、表-1の地盤の初期せん断弾性係数 G_{max} との比較のために参考に示した値である。

地盤には平面ひずみ要素、構造物には梁要素を用いた。

地盤・構造物全体系の粘性減衰をReyleigh減衰とし、振動数0.1～10Hzの範囲で2%以下となるように仮定した。ここでは、Reyleigh減衰の2つのパラメータ α 、 β をそれぞれ $6.3031 \times 10^{-4} \text{ kN/m}^2$ 、 $2.48839 \times 10^{-3} \text{ kN/m}^2$ に設定している。

内容水は、ウェスターガードの補正式⁶⁾により動水圧の分布を付加質量としてモデル化した。

(3) 解析手法

地盤調査結果²⁾から、対象地盤は図-1の奥行き方向に対して地層の傾斜・変化などはなく、同図の断面方向に

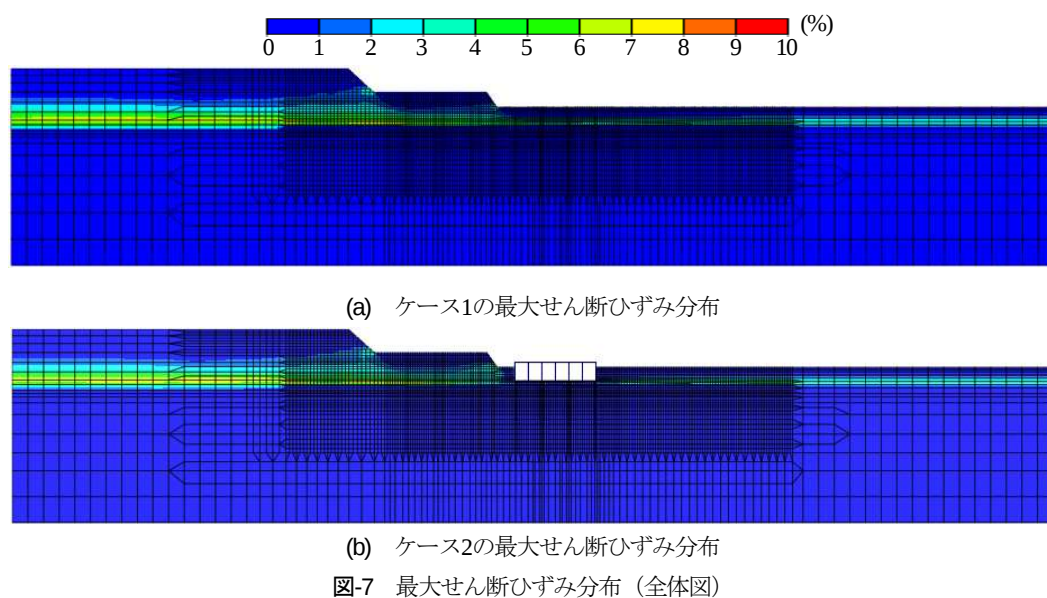
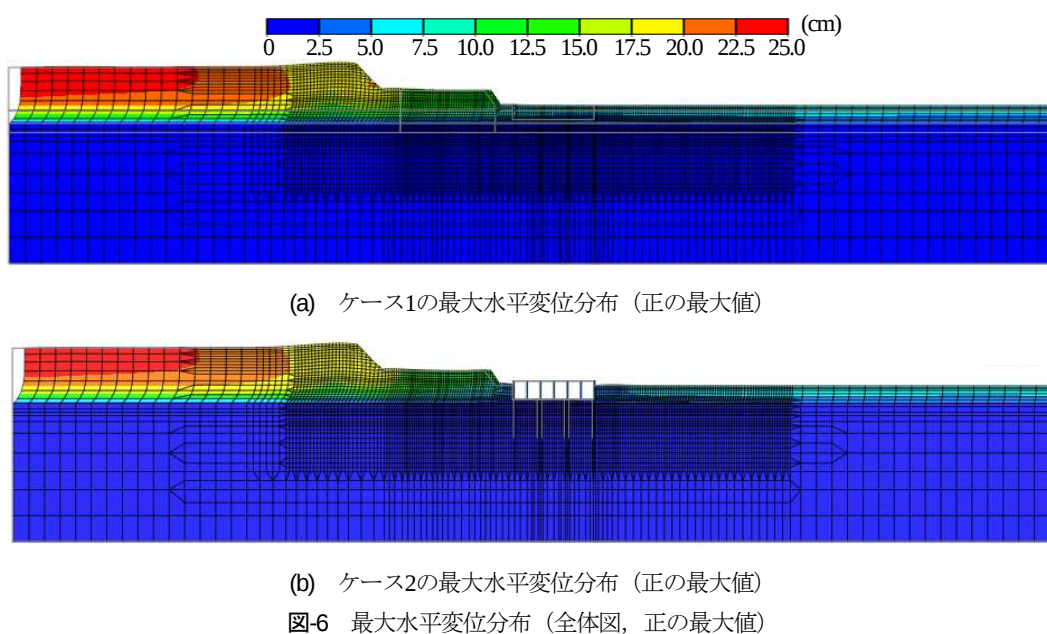
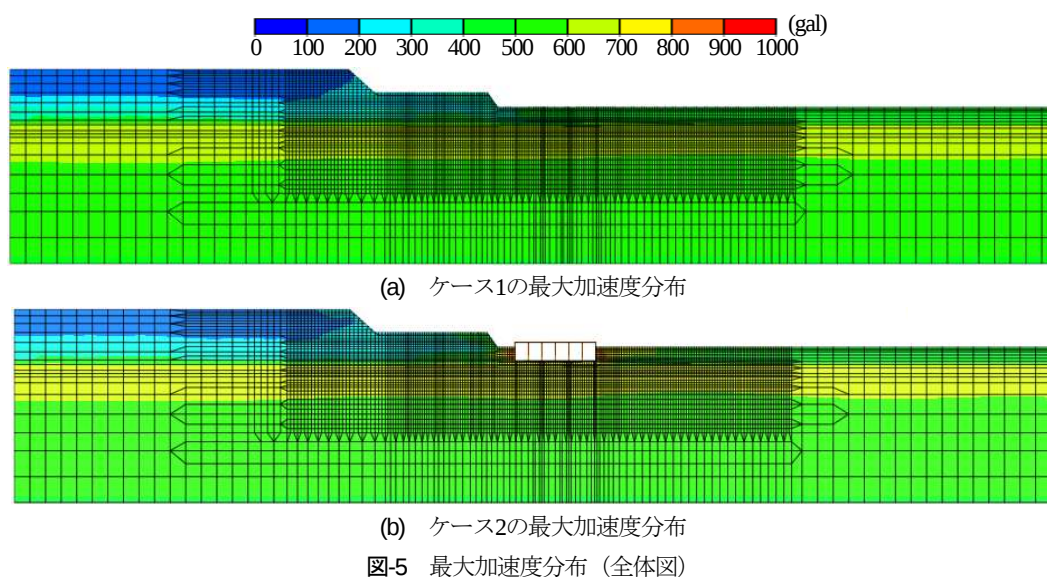
連続している。RC池状構造物の地震時挙動は図-1の断面方向で卓越すると考えられるため、本解析においてはこの断面の水平方向の応答特性、変位挙動特性に焦点を絞り、平面ひずみ状態を仮定し、解析次元を2次元として扱った。2次元動的有限要素解析には解析プログラムSoil Plus Dynamicを使用した。1次元地盤応答解析による予備解析結果から、土のひずみレベルが 10^3 を超えたため、全応力非線形解析とした⁷⁾。

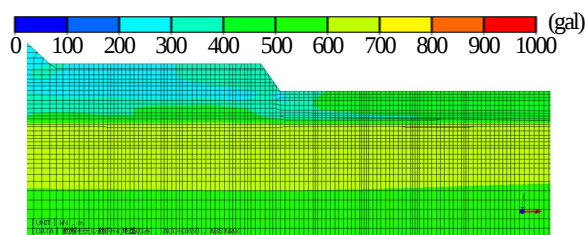
モデル化領域は、地表面の傾斜の影響を考慮するとともに、新設・既設構造物を設定した場合に構造物と地盤の動的相互作用の影響が十分に小さくなる遠方地盤となるよう⁷⁾、幅200.0m、左右端部の深さをそれぞれ37.2m、30.0mに設定した。側方境界には粘性境界、底面境界には鉛直変位の合成の影響により水平変位が過小評価されないように水平粘性境界、鉛直固定境界を設定した。

初期応力状態は、2次元動的有限要素解析を行う前に構造物の施工過程を考慮した静的解析を行い、その結果を動的解析の初期応力として与え、初期ひずみと初期変位を全てゼロクリアした。

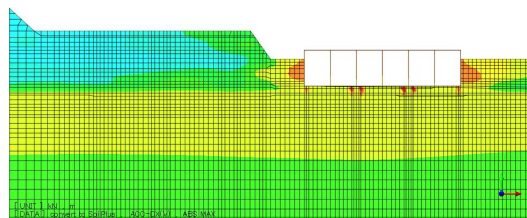
(4) 解析ケース

解析ケースを表-3に示す。解析ケースは、RC池状構造物の建設過程を考慮し、2つの地表面傾斜を有する地盤のみのモデル（ケース1）、2つの地表面傾斜に隣接する図-1右の既設構造物を設定したモデル（ケース2）、



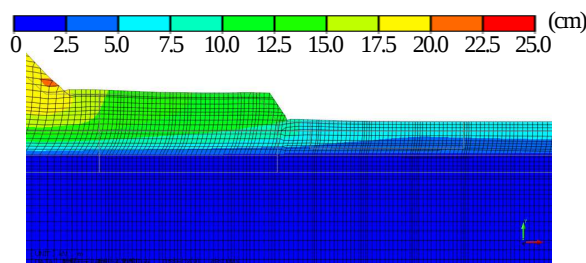


(a) ケース1の最大加速度分布

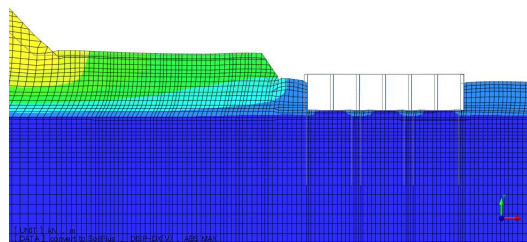


(b) ケース2の最大加速度分布

図-8 最大加速度分布 (拡大図)

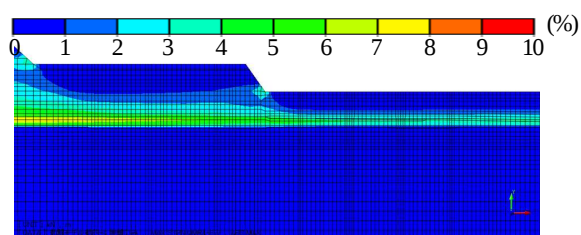


(a) ケース1の最大水平変位分布 (正の最大値)

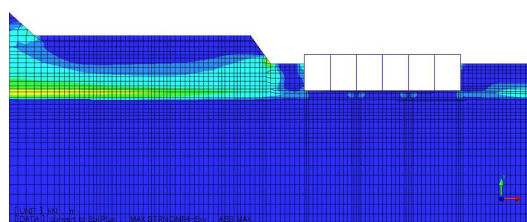


(b) ケース2の最大水平変位分布 (正の最大値)

図-9 最大水平変位分布 (拡大図, 正の最大値)



(a) ケース1の最大せん断ひずみ分布



(b) ケース2の最大せん断ひずみ分布

図-10 最大せん断ひずみ分布 (拡大図)

新設構造物の建設によりモデル中央の地表面の傾斜が取り除かれた場合の既設構造物と新設構造物を設定したモデル（ケース3）とした（これより以降、それぞれケース1、ケース2、ケース3と呼ぶ）。これらの解析ケースの選定は、各ケースの相違を相互比較することで、1)地表面の傾斜の影響、RC池状構造物と周辺地盤との間の挙動（相互作用）を検討すること、2)地表面の傾斜と新設構造物が既設構造物に与える影響を検討することをそれぞれ意図したものである。

本解析に用いた有限要素モデルならびに応答値の代表出力点を図-3に示す。

3. 検討用地震動

検討用地震動は、水道施設耐震工法指針・解説^①におけるレベル2地震動の設定方法のうち、方法2による地域防災計画^③の想定地震動を使用し、解析領域下方から入力した。解析に用いた札幌市地域防災計画の工学的基盤面における時刻歴加速度波形を図-4に示す。検討用地震動の最大加速度振幅は633.6galである。

4. 解析結果と考察

(1) 地表面の傾斜の影響およびRC池状構造物と周辺地盤との地震時挙動

この節では、地表面の傾斜に隣接して既設構造物、新設構造物を順に設定した解析を行い、地表面の傾斜がRC池状構造物に及ぼす影響、RC池状構造物と周辺地盤との間でどのような挙動が生じるかを検討する。

まず、ケース1（地盤のみのモデル）とケース2（既設構造物を設定したモデル）の最大応答分布の全体図、拡大図を図-5～10に、各出力点における地表面の加速度、水平変位の比較を表-4、5に示す。また、ケース1、2の出力点4・5における主要動部（17～22s）の加速度応答、水平変位応答の比較を図-11、12に示す。図中、赤線はケース1、青線はケース2を表している。応答値の出力点は図-3に示すとおりである。

図-5～7の応答分布（全体図）について見る。ケース1、2ともに、基盤面の安山岩層（Ka）から沖積砂礫層（Ag）に至るまで加速度が増幅しているが、沖積砂礫層と沖積粘性土層（Ac）との境界付近でせん断ひずみが蓄積して沖積粘性土層の水平変位が増幅し、加速度が減衰しているのが分かる。表-1、図-2に示すとおり沖積砂礫に比べると沖積粘性土のインピーダンスが小さく、沖積粘性土は軟弱土の非線形特性を示している。この影響により、沖積粘性土層と沖積砂礫層との境界付近でせ

表-4 最大加速度 (gal)

出力点	ケース1	ケース2
1	176.3	177.3
2	270.8	253.1
3	299.7	441.3
4	370.8	838.2
5	470.0	833.1
6	472.0	508.6

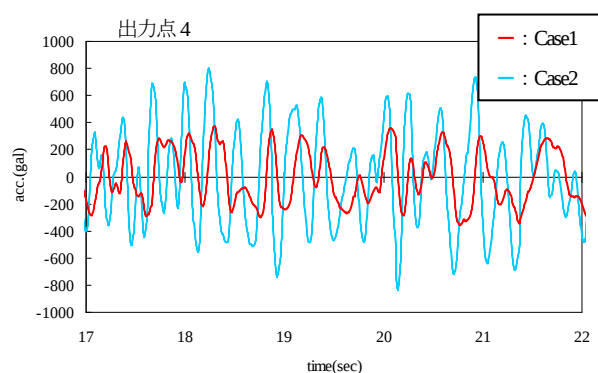
表-5 最大水平変位 (cm)

出力点	ケース1		ケース2	
	正	負	正	負
1	17.41	-19.23	17.20	-19.07
2	14.75	-9.39	14.29	-9.07
3	10.06	-5.27	7.94	-4.72
4	6.74	-4.77	1.85	-3.12
5	5.29	-5.20	1.84	-3.13
6	5.61	-5.71	5.85	-5.73

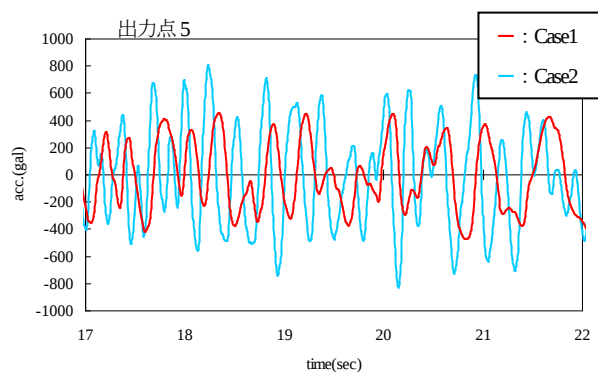
※ 正はモデル右側，負はモデル左側それぞれの最大値である。

ん断ひずみが大きくなり（図-7），沖積粘性土がせん断強度に達したため，沖積粘性土層の水平変位が増幅して（図-6）加速度が上限に至った（図-5）と推察される⁹⁾。地表面の傾斜の影響は，沖積粘性土層と沖積砂礫層との境界付近におけるせん断ひずみ領域の増加（図-7，10），沖積粘性土層の水平変位の増幅（図-6，9），加速度の減衰（図-5，8）として現れており，解析領域の右側から左側に向かってその影響が次第に大きくなっている。このことは，表-4，5より，地表面の傾斜の影響が小さいと考えられるケース1の出力点6を基準にしたとき，解析領域左側に向ってケース1の出力点5～1の加速度が減少し（42～62.6%），水平変位が増加する傾向を示している（正の最大値-5.7%～210.0%，負の最大値-16.5～236.8%）ことから読み取れる。着目するRC池状構造物周辺（出力点2～5）のケース1における地表面の傾斜の影響は，出力点6と比べ相対的に傾斜下段の既設構造物周辺で小さく，傾斜中段の新設構造物周辺で大きくなっている。

一方，既設構造物を設定した場合，図-8に示すとおり既設構造物側方の地盤で加速度が卓越し，図-9のように沖積粘性土に比べてせん断剛性の大きい既設構造物が剛体的に水平移動していることが分かる。また，図-10のとおり既設構造物側方における沖積粘性土層と沖積砂礫層との境界付近のせん断ひずみが減少し，構造物からやや左に離れた位置の法面直下でせん断ひずみの分布領域が拡大している。表-4，5を見ると，地表面の傾斜の影響で解析領域の右側から左側に向かい加速度の減少，水平変位の増加を示していたケース1の応答値と比較して，ケース2で既設構造物を設定したことにより，出力点3～5の地表面の加速度は141.6～467.4gal増加し，水平変位は

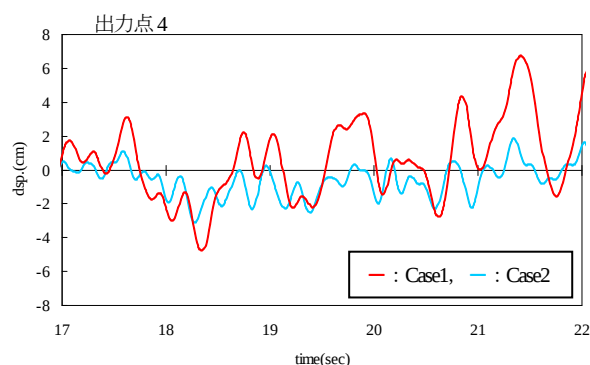


(a) ケース1とケース2の加速度応答の比較（出力点4）

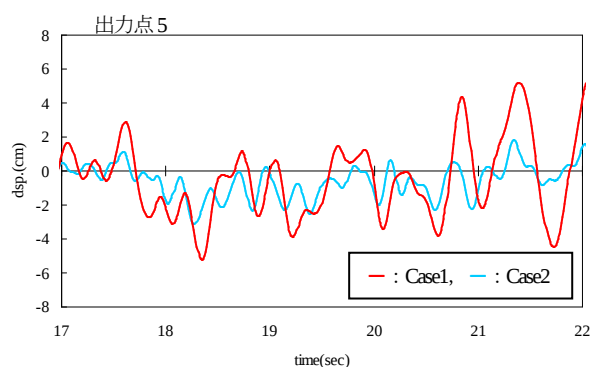


(b) ケース1とケース2の加速度応答の比較（出力点5）

図-11 加速度応答の比較（出力点4・5）



(a) ケース1とケース2の水平変位応答の比較（出力点4）



(b) ケース1とケース2の水平変位応答の比較（出力点5）

図-12 水平変位応答の比較（出力点4・5）

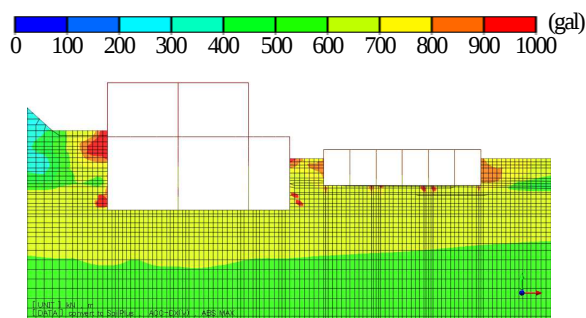


図-13 ケース3の最大加速度分布 (拡大図)

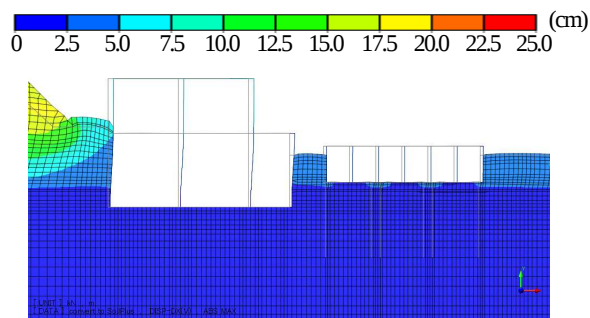


図-14 ケース3の最大水平変位分布 (拡大図, 正の最大値)

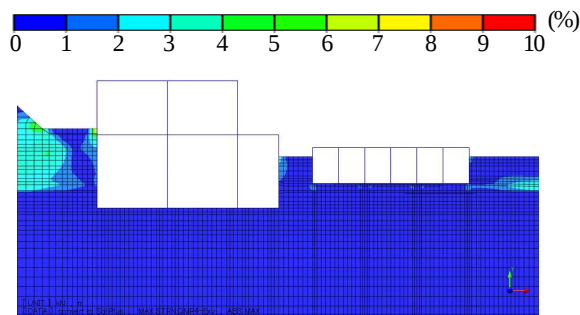


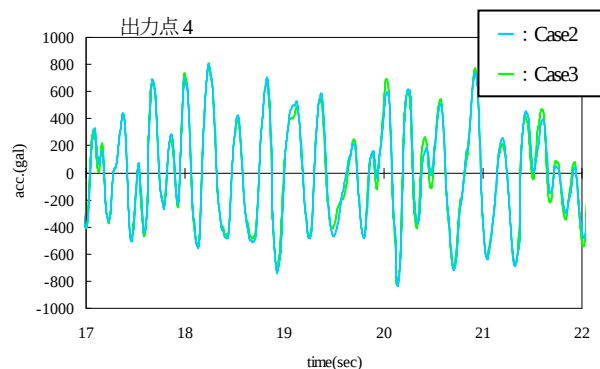
図-15 ケース3の最大せん断ひずみ分布 (拡大図)

表-5 最大加速度 (gal)

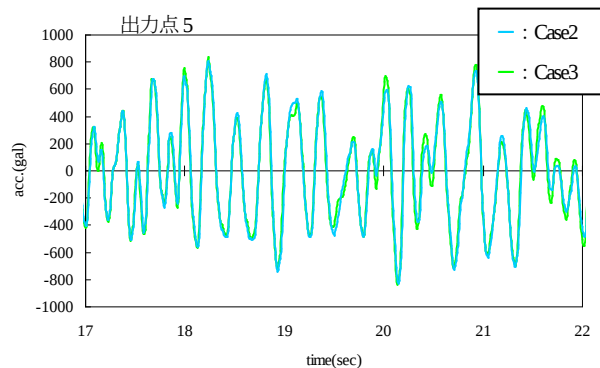
出力点	ケース2	ケース3
1	177.3	208.5
2	253.1	1058.5
3	441.3	946.8
4	838.2	829.5
5	833.1	838.4
6	508.6	509.2

表-8 最大水平変位 (cm)

出力点	ケース2		ケース3	
	正	負	正	負
1	17.20	-19.07	15.86	-17.77
2	14.29	-9.07	3.93	-5.08
3	7.94	-4.72	2.94	-4.16
4	1.85	-3.12	1.51	-3.01
5	1.84	-3.13	1.53	-3.01
6	5.85	-5.73	5.81	-5.75

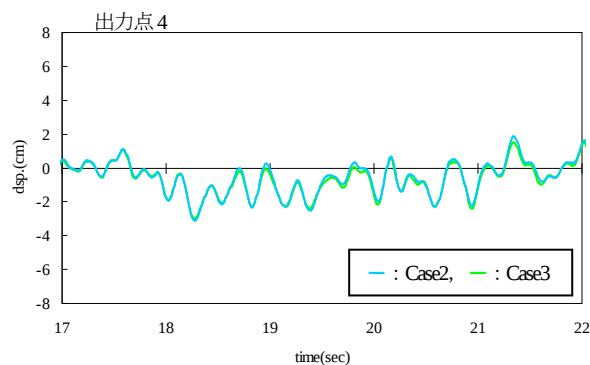


(a) ケース2とケース3の加速度応答の比較 (出力点4)

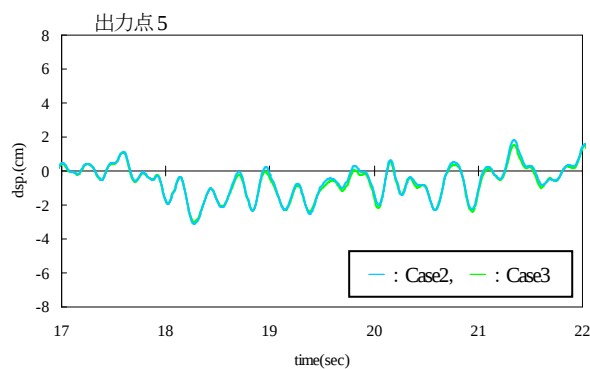


(b) ケース2とケース3の加速度応答の比較 (出力点5)

図-16 加速度応答の比較 (出力点4・5)



(a) ケース2とケース3の水平変位応答の比較 (出力点4)



(b) ケース2とケース3の水平変位応答の比較 (出力点5)

図-17 水平変位応答の比較 (出力点4・5)

正の最大値で2.12～4.89cm, 負の最大値で0.55～2.07cm減少しており, 特に既設構造物側方(出力点4・5)では地表面の傾斜の影響が見られず, ほぼ同じ応答値を示している。

一般にRC池状構造物はアスペクト比(構造物幅に対する鉛直高さ)が小さく, 水平力に対するせん断剛性が大きい⁹⁾。図-11, 12によると, ケース1に比べケース2の応答は, 波形の位相が0軸を早く横切り, 加速度振幅が大きく(変位振幅が小さく), 短周期成分が多くなっている。これらのことから, 高剛性, 短周期の既設構造物の動的応答特性が周辺地盤に剛性, 周期特性の変化をもたらしている。構造物の動的応答特性の影響が大きい領域では, 地表面の傾斜や軟弱土の非線形化の影響で加速度の減衰, 水平変位の増幅, せん断ひずみの増加が生じる地盤上にあっても, 構造物周辺では見掛けのせん断剛性が大きくなるとともに短周期化するため, 周辺地盤の加速度が卓越し(図-8), 水平変位, せん断ひずみが抑制され(図-9, 10), 地表面の傾斜の影響が少なくなったと推察される。

次に, ケース3(既設構造物と新設構造物を設定したモデル)の最大応答分布の拡大図を図-13～15に, 各出力点における地表面の加速度, 水平変位の比較を表-5, 6に示す。また, ケース2, 3の出力点4・5における主要動部(17～22s)の加速度応答, 水平変位応答の比較を図-16, 17に示す。図中, 青線はケース2, 緑線はケース3を表している。

図-13～15と図-8～10のケース2, 3の応答分布を比較する。ケース3では建物を設定したことにより, ケース2に比べ, 新設構造物側方の周辺地盤の加速度, 新設構造物左側の地盤変形が卓越し(図-13, 14), 新設構造物側方における沖積粘性土と沖積砂礫層との境界付近のせん断ひずみが減少するとともに, 構造物からやや左に離れた位置でせん断ひずみの分布領域が拡大している(図-15)。また, 新設構造物の地下部底板から地上部頂版までの相対変位($\delta_{max}=3.66\text{cm}$)が生じている(図-14)。表-5, 6より, ケース2の応答値に比べて, ケース3の出力点2, 3における地表面の加速度は805.4gal, 505.3gal増加し, 水平変位は正の最大値で10.36cm, 5.00cm, 負の最大値で3.99, 0.56cm減少している。一方, 既設構造物左右の出力点4, 5では, 地表面の加速度-8.7gal, 5.3gal, 水平変位の正の最大値-0.34cm, -0.31cm, 負の最大値-0.11cm, -0.12cmのわずかな増減しか見られず, 図-16, 17のとおり, ケース2, 3の既設構造物左右の地表面の応答にも大きな変化は見られない。

ケース1, 2に比べケース3の新設構造物側方の加速度が増加し, 水平変位が減少したのは, ケース1, 2の比較と同様に, 構造物と地盤との剛性, 周期特性の差に起因するものである。また, 新設構造物に相対変位(せん断

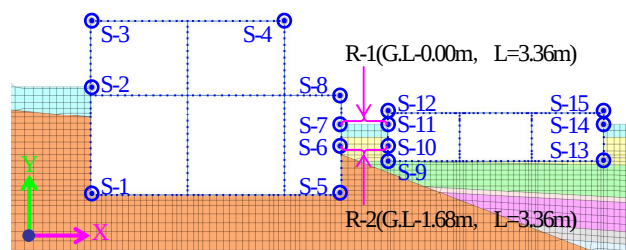


図-18 構造物の応答値の出力点

表-7 最大加速度 (gal)

出力点	ケース2	ケース3
S-1	-	603.1
S-2	-	1058.5
S-3	-	1388.7
S-4	-	1382.6
S-5	-	613.3
S-6	-	667.5
S-7	-	946.8
S-8	-	1028.1
S-9	784.6	771.8
S-10	821.5	787.1
S-11	838.2	829.5
S-12	827.1	823.5
S-13	778.9	794.2
S-14	833.1	838.4
S-15	831.7	830.2

表-8 最大水平変位 (cm)

出力点	ケース2		ケース3	
	正	負	正	負
S-1	-	-	0.74	-2.06
S-2	-	-	3.93	-5.08
S-3	-	-	4.15	-5.35
S-4	-	-	4.15	-5.34
S-5	-	-	0.74	-2.06
S-6	-	-	1.98	-3.27
S-7	-	-	2.94	-4.16
S-8	-	-	3.84	-4.98
S-9	1.76	-3.05	1.46	-2.94
S-10	1.84	-3.11	1.50	-3.00
S-11	1.85	-3.12	1.51	-3.01
S-12	1.82	-3.11	1.51	-3.00
S-13	1.75	-3.06	1.46	-2.95
S-14	1.84	-3.13	1.53	-3.01
S-15	1.82	-3.11	1.51	-3.00

変形)が生じているのは, 解析領域左側で卓越する地表面の傾斜の影響や, 構造物左右の地盤の高低差の影響が及んでいると考えられる。しかしながら, 既設構造物に着目すると, ケース3ではモデル中央の地表面の傾斜を取り除き, 新たに新設構造物を設定したにも関わらず, ケース2の応答と大きな違いは見られない。

以上の結果から, ここで示した問題では, 地震時にお

表-9 既設構造物の断面力

出力点	ケース2			ケース3		
	M (kN・m)	N (kN)	S (kN)	M (kN・m)	N (kN)	S (kN)
S-9	131	297	513	126	267	384
S-12	96	117	351	76	113	222
S-13	129	321	423	135	301	450
S-15	85	94	308	85	81	305

※ 側壁隅角部付近の耐震性能照査位置における値である。

いて地表面の傾斜や新設構造物が低地側に位置する既設構造物に対して与える影響よりも、高剛性、短周期のRC池状構造物が非線形化の生じる周辺地盤に及ぼす影響の方が大きいために、構造物周辺で加速度の増加、水平変位の減少が著しくなり、ケース2、3で既設構造物と周辺地盤との間の応答が定常状態に至ったと考えられる。

(2) 新設RC池状構造物が既設RC池状構造物に与える影響

この節では、ケース2、3のRC池状構造物間の応答、相対変位を相互比較することにより、地震時に新設構造物が既設構造物に与える影響について検討する。

まず、構造物の応答値、相対変位の代表出力点を図-18に示す。また、ケース2、3の各出力点における加速度、水平変位の比較、既設構造物の断面力の比較を表-7～9に示す。

表-7、8より、ケース2、3の既設構造物の加速度、水平変位（S-9～15）を比較すると、出力点S-13、14の加速度を除き、ケース2に比べケース3の応答値が小さくなっているが、その差はかなり小さい。これは、ケース3ではモデル中央の地表面の傾斜がなくなったこと、2つのRC池状構造物の動的応答特性がその周辺地盤に影響を及ぼし合っていることが主な原因と考えられる。また、ケース3において出力点S-13、14の加速度の値が大きくなったのは、新設構造物を設定したことにより、ケース2に比べて相対的に既設構造物左側の側方地盤の質量が減り、右側の側方地盤の質量が増えたため、慣性力の作用の影響で既設構造物左右の加速度の増減がわずかに生じたものと考えられる。一方、新設構造物は、地表面の傾斜、構造物左右の地盤の高低差の影響が及んでいると考えられ、構造物の形状、地下埋設条件、基礎地盤条件などが既設構造物と異なるため、既設構造物との応答値に違いが見られる（S-1～8）。

表-9は、ケース2、3において数値に変化の見られた既設構造物側壁の隅角部付近（S-9、12、13、15）の耐震性能照査位置における断面力を抽出したものである。出力点S-13の曲げモーメントM、せん断力Sを除き、ケース2に比べケース3の断面力が小さくなっており、特にS-9、12（左側壁）のせん断力Sの減少（25.1%、36.6%）が

表-10 最大相対変位量（cm）

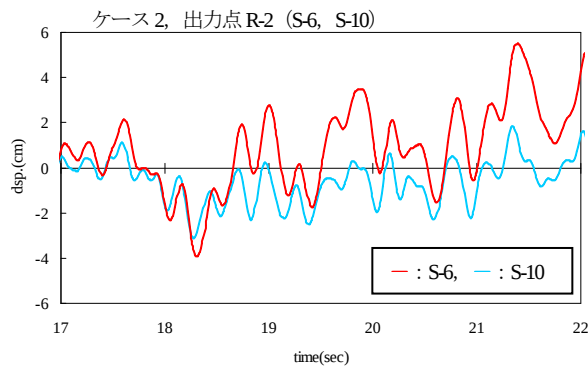
出力点	ケース2		ケース3	
	最大	最小	最大	最小
R-1(G.L.+0.00m)	7.58	2.62	2.24	1.62
R-2(G.L.-1.68m)	4.74	1.41	1.37	0.82

※ 最大は構造物が近づく変形モード、最小は構造物が離れる変形モードである。

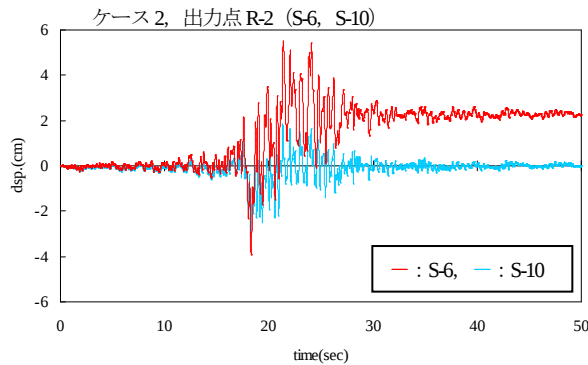
顕著になっている。これは、前述のとおり、モデル中央の地表面の傾斜がなくなったこと、2つのRC池状構造物の動的応答特性がその周辺地盤に影響を及ぼし合っていること、既設構造物左右の地盤の質量の相対的な増減で慣性力の作用の影響が生じたことによるものと考えられる。この結果から、新設構造物の影響は既設構造物の右側壁下端における曲げモーメントM、せん断力Sのわずかな増加（4.7%、6.4%）に留まっており、本検討では、既設構造物の地震対策を講じる上で、新設構造物の建設が地表面の傾斜を有する地盤上の既設構造物に対して大きな影響を及ぼさないと判断される。

次に、ケース2、3のRC池状構造物間の最大相対変位量の比較を表-10に、出力点R-2における地盤と構造物の間、RC池状構造物間（S-6、S-10）の水平変位応答を図-19に示す。図中、赤線はS-6（新設構造物右側）、青線はS-10（既設構造物左側）を表している。ここでは、RC池状構造物間を連絡する水道管路の埋設深さを想定し、地表面G.L.+0.00m（S-7、S-11）、沖積粘性土層の中央深度G.L.-1.68m（S-6、S-10）の2点（R-1、2）について相対変位を出力した。ケース2はS-6、7と同じ出力点の地盤との相対変位を表している。また、これより以降、新設構造物と既設構造物が近づく場合を“構造物が近づく変形モード”、新設構造物と既設構造物が離れる場合を“構造物が離れる変形モード”と呼ぶ。

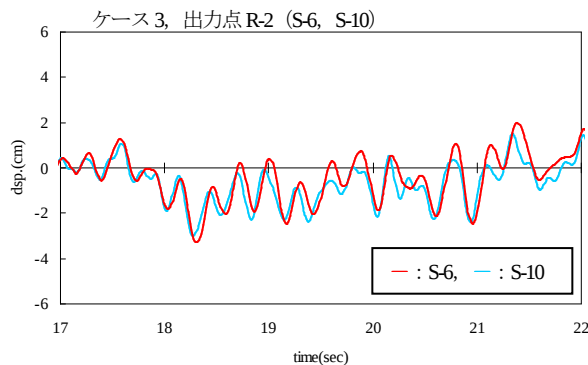
表-10より、ケース2、3の出力点R-1、2におけるRC池状構造物間の最大相対変位量は、それぞれ構造物が近づく変形モード7.58cm、4.74cm（ケース2）、2.24cm、1.37cm（ケース3）、構造物が離れる変形モード2.62cm、1.41cm（ケース2）、1.62cm、0.82cm（ケース3）であった。何れもケース2の地盤と構造物の間よりも、ケース3の構造物と構造物の間の相対変位量の方が小さい値を示している。図-19によると、ケース2の水平変位応答は、地盤（S-6）と既設構造物（S-10）との間の変位振幅に大きな差が見られ、水平変位挙動に大きな相違が生じている（図-19(a)）。これに対し、ケース3の水平変位応答は、ケース2に比べると新設構造物（S-6）と既設構造物（S-10）の変位振幅の差が小さくなり、構造物間の水平変位挙動が近づいている（図-19(c)）。これは、ケース3ではRC池状構造物間の離隔（L=3.36m）が小さく、2つの構造物の動的応答特性がその間に挟まれる地盤に支配的な



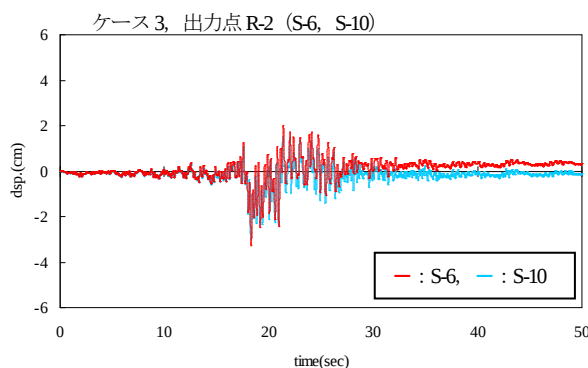
(a) 地盤と構造物間の水平変位応答の比較 (17~22s)



(b) 地盤と構造物間の水平変位応答の比較 (0~50s)



(c) RC池状構造物間の水平変位応答の比較 (17~22s)



(d) RC池状構造物間の水平変位応答の比較 (0~50s)

図-19 水平変位応答の比較 (出力点R-2)

影響を及ぼしており、地盤と構造物の間に比べ構造物と構造物の間の相対変位が生じ難かったためと考えられる。

また、ケース2, 3ともに構造物が近づく変形モードの相対変位量が大きくなったのは、地表面の傾斜の影響で解析領域の左側の地盤の方が水平変位を生じ易く、その右側に位置する構造物が地盤変形を抑止すること、地表面の傾斜の影響により地盤、新設構造物に解析モデル右側への塑性変位が生じているためである (図-18(b), (d))。解析結果から、地盤と構造物の間よりも構造物と構造物の間の方が水平方向の相対変位量が小さく、同じ長さ ($L=3.36\text{m}$)、深度 ($G.L.+0.00\text{m}\sim 1.68\text{m}$) の構造物に接続する水道管路の伸縮性に対する性能照査においては、新設構造物の建設は既設構造物にとって良い効果をもたらしているといえる。

5. まとめ

本論文では、2次元動的有限要素解析を用いた一つのケーススタディを通して、地表面の傾斜と新設RC池状構造物に隣接する、低地側に位置する既設RC池状構造物への影響に関して考察、評価した。本論文で検討を行った範囲において得られた結論は次のとおりである。

- ここで示した問題では、地震時において地表面の傾斜や新設RC池状構造物が、低地側に位置する既設RC池状構造物に対して与える影響よりも、高剛性、短周期のRC池状構造物が、軟弱土の非線形化の生じる周辺地盤に及ぼす影響の方が大きいために、構造物周辺で加速度の増加、水平変位の減少が著しくなり、既設RC池状構造物と周辺地盤との間の応答が定常状態に至ったと推察される。
- 新設RC池状構造物の影響は、既設RC池状構造物右側壁下端の断面力のわずかな増加に留まっており、本検討では、既設RC池状構造物の地震対策を講じる上で、新設RC池状構造物の建設が、地表面の傾斜を有する地盤上の既設RC池状構造物に対して影響は少ないと判断される。
- 地盤と構造物の間よりも、構造物と構造物の間の方が水平方向の相対変位量が小さく、同じ長さ、深度の構造物に接続する水道管路の伸縮性に対する性能照査においては、新設RC池状構造物の建設は既設RC池状構造物にとって良い効果をもたらしている。

6. おわりに

本検討の結果から、既設RC池状構造物の耐震設計上、地表面の傾斜や新設RC池状構造物の建設が既設RC池状構造物に与える影響は少ないという結論を得ることがで

きた。しかしながら、この結果は、対象地盤の特性と構造物の位置関係によるところが大きいと判断される。

今後の課題として、入力地震動、地表面の傾斜の高低差、地盤剛性、構造物の位置や形状など、実際の建設事例に応じた解析を多数行い、地表面の傾斜や新設RC池状構造物の建設が既設RC池状構造物に与える影響に関してさらに検討を進める予定である。

謝辞：本論文の数値解析において、伊藤忠テクノソリューションズ株式会社の久保典之氏、長井秀明氏より貴重な意見を賜った記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局：鉄道構造物等設計標準・同解説，pp.76-81，1999.
- 2) 札幌市水道局：南沢第 1 ポンプ場改修工事補足設計土質調査業務，2012.
- 3) 札幌市：地震動及び被害の評価事業，2008.
- 4) 室野剛隆：強震時の非線形動的相互作用を考慮した杭基礎の耐震設計法に関する研究，鉄道総研報告，特別第 32 冊，1990.
- 5) 社団法人地盤工学会：地盤の動的解析-基礎理論から応用まで，61p.，2007.
- 6) 社団法人日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 I 総論，pp.67，pp.36-40，pp.124，2009.
- 7) 公益社団法人土木学会：コンクリート標準示方書[設計編：標準]，pp.275，pp.272，2012.
- 8) 吉田望：地盤の応答解析，鹿島出版会，pp.5-14，2010.

SEISMIC RESPONSE ANALYSIS CONSIDERING THE INFLUENCE OF THE GROUND SURFACE INCLINATION AND THE NEWLY CONSTRUCTED RC TANKS ON EXISTING RC TANKS

Keinosuke INOKO, Kimiyasu OHTAKE, Kentaroh NARITA,
Toshiroh HAYASHIKAWA and Yoshiaki ARIGA

Water supply facilities, such as pumping stations are often located on the grounds which have different inclinations and new RC tanks are constructed close to existing RC tanks. The influence of these ground surface inclination and the construction of the new RC tanks on the existing RC tanks has not been fully explained. In this study, an influence of the ground surface inclination and the construction of the new RC tanks on existing RC tanks are analyzed through the case study considering construction process by using 2-D dynamic analysis methods. This study found that the influence of the high rigid and short cycled RC tanks on the surrounding soil which is soft and cause non-linearization is more than that of the ground surface inclination and the construction of the new RC tanks on the existing RC tanks which is located on the lower side.