

管路で連結された構造物の地震時挙動に関する三次元動的解析

有賀義明¹・石川嵩²・猪子敬之介³・大嶽公康⁴・成田健太郎⁵・竹原和夫⁶

¹フェロー会員 弘前大学教授 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

²非会員 北海道大学大学院修士課程 (〒060-0810 札幌市北区北 10 条西 5 丁目)
E-mail: i-taka705@ees.hokudai.ac.jp

³正会員 札幌市水道局 (〒060-0041 札幌市中央区大通東 11 丁目 23 番地)
E-mail: keinosuke.inoko@city.sapporo.jp

⁴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 7-20-9)
E-mail: kimiyasu_ohtake@njs.co.jp

⁵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 7-20-9)
E-mail: kentaro_narita@njs.co.jp

⁶正会員 JIP テクノサイエンス株式会社 (〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 1-2-5)
E-mail: kazu_ohtake@cm.jip-ts.co.jp

複数の構造物が管路で連結された施設では、個々の構造物の地震時挙動が異なる場合、それらの連結部で地震時応力や相対変位が増大し、損傷・破壊が発生しやすくなることが想定される。本研究では、地震時挙動が異なる構造物によって構成される複合構造物の耐震性能照査の精度・信頼性の向上を目的として、形状が異なる新・旧のポンプ場が管路で連結されている場合を設定し、三次元動的解析により構造物の地震時挙動について検討した。その結果、構造物は互いに逆位相で挙動することがあること、その場合、地震時の構造物間の相対変位量が増大すること、構造物の基礎地盤が軟質になると相対変位量が増大すること等の結果を得た。

Key Words : seismic behavior, 3-D dynamic analysis, relative displacement, water supply facility, ductile iron pipe

1. はじめに

水道施設は、生活に必須なライフラインのひとつであり、大都市部、内陸部を問わず地震時の機能保持が強く求められる施設である。1995 年兵庫県南部地震以降、わが国では被害地震が頻発しており、2011 年東北地方太平洋沖地震でも、本震および余震の際に東北地方から関東地方に及ぶ広範囲な地域で水道施設の地震被害が発生した。

水道の耐震化計画等策定指針¹⁾では、地震に強い水道づくりを目指す方策として、個々の施設の耐震性を高めるだけでなく水源から水道の利用者に至るまでの水道システム全体としての機能維持を果すための、耐震化対策の重要性が述べられている。しかし、水道施設の耐震性の評価に関しては、構造物・設備については、設計震度、構造形式、基礎形式、地盤条件、老朽化の進行状況等を勘案した簡易な耐震診断が主体であり、また、管路については、

管種・口径、地質・地形、地盤の変位、地震動の大きさ等を指標にした統計的・経験的な被害想定が通例であると考えられる。

これまで、一般に、構造物・施設の耐震設計は、個々の構造物ごとに実施され、隣接する複数の構造物や連結された構造物群の地震時挙動や相互影響を考慮した耐震設計は行われていないのが実情である。しかし、精度・信頼性の高い耐震性能照査を実行するためには、強震動に対する地盤・構造物系の相互影響を考慮した定量的な解析評価が必要である。

様々な地盤・構造物系の複合体として構成される、水道システムの地震時安全性を向上させるためには、個々の構造物・設備だけに着目した個別的な耐震性能照査ではなく、管路等で連結された構造物群の相互影響を考慮した統合的な耐震性能照査が必要であると考えられる。このような基本的考え方から、本研究では、強震動に対する複数の構造物・施設群の相互影響を考慮した統合的な耐震性能照査法の実用

化研究の一環として、管路で連結されたポンプ場を事例研究の対象として、三次元動的解析に基づいて構造物群の地震時の相互影響について基礎的な検討を行った。

2. 研究の必要性と目的

水道は日常生活に必要不可欠な施設であり、地震時の水道供給機能の確認と確保は、非常に重要な課題である。1995年兵庫県南部地震以降、2004年新潟県中越地震⁴⁾、2005年福岡県西方沖地震、2007年能登半島地震⁵⁾、2007年新潟県中越沖地震⁶⁾、2008年岩手・宮城内陸地震⁷⁾等で都市部や内陸部での水道施設の地震被害が多く報告されている。

2011年東北地方太平洋沖地震では、震源域に近い岩手県、宮城県、福島県の沿岸域で導水管や送水管、配水管の破損事例が多数生じ、震源域から離れた茨城県や千葉県でも浄水場の破損、ポンプ場での管路の引き抜け被害等が発生した^{8),9)}。

今後に関しては、首都圏直下地震、東海・東南海・南海地震等の発生が想定されており、これらの地震に関しては、東京、名古屋、大阪等をはじめとして、軟弱な沖積地盤に位置している、既設水道施設の耐震性能照査と合理的な地震対策の推進が喫緊の課題であると考えられる。

一方、水道施設の耐震化に関しては、平成23年3月の時点で、基幹的水道施設である浄水施設の耐震化率は約18.7%、配水池の耐震化率は約38.0%、基幹管路である水道管の耐震適合率は約31.0%にとどまっている。こうした状況に加えて、我が国の水道施設の多くは、1960年代から1970年代にかけての高度成長時代に集中して建設されたことから、既設施設の多くが高経年化しており更新時期を迎えている状況にある。

水道施設は、ダム、貯水池、配水池、導水管、送水管、配水管、ポンプ場等、様々な構造物・設備等によって構成されている。そのため、水道施設は、形状、材料、動的特性等が異なる構造物・設備によって構成された、複合的な構造体になっており、こうした特質を持つ水道施設の耐震性能を的確に評価するためには、水道施設を構成する主要な構造物や設備の地震時挙動や相互影響を定量的に評価することが必要であると考えられる。

以上のような背景と必要性から、本研究では、複数の構造物の強震時の相互影響を考慮した耐震性能照査技術および地震対策技術の合理化を目的として、形状が異なる新設ポンプ場と既設ポンプ場がダクタ

イル管で連結されている場合を検討対象として、三次元動的解析に基づき構造物の強震時挙動、地盤の動的特性が構造物の強震時挙動に及ぼす影響、構造物の強震時挙動が管路の地震時安全性に及ぼす影響について基礎的な検討を行った。

3. 三次元動的解析

(1) 評価対象

既設ポンプ場に隣接して新設ポンプ場が建設され、両者がダクタイル管で連結される場合を評価対象とした。既設ポンプ場は地下1階の地下構造物、新設ポンプ場は地下1階・地上1階の半地下構造物としており、既設および新設ポンプ場の形状と寸法はそれぞれ図-1と表-1に示すとおりである。また、管路の寸法は、表-2に示したとおりである。

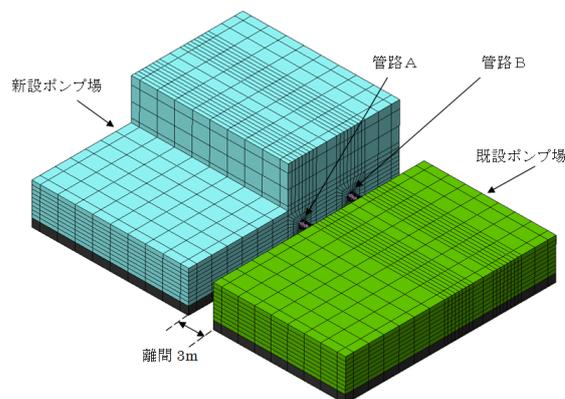


図-1 解析対象とした構造物と管路

表-1 新設および既設ポンプ場の寸法

ポンプ場	幅		高さ		奥行	
	地上	地下	地上	地下	地上	地下
新設	19m	19m	5m	5m	13m	26m
既設	16m		5m		26m	

表-2 管路の寸法

管路	長さ	直径
A	5m	800mm
B	5m	800mm

(2) 解析モデル

三次元動的解析に用いた有限要素モデルを図-2に示す。図-2では、新設ポンプ場については地上部分が示されているが、既設ポンプ場は地下構造物であるため地表には示されていない。地盤の動的特

性に関しては、既設ポンプ場の基礎地盤の条件を硬質な場合と軟質な場合の2ケースを設定した。一つは、新設ポンプ場と既設ポンプ場の基礎地盤の硬さを同じにした場合（以下、均質地盤モデル）である。もう一つは、基礎地盤の硬軟の影響を検討するため

に、既設ポンプ場の基礎地盤の硬さを軟質にした場合（以下、不均質地盤モデル）である。表層地盤 Soil-1 を非表示にして出力した、均質地盤モデルを図-3 に、不均質地盤モデルを図-4 に示す。また、不均質地盤モデルの断面を図-5 に示す。

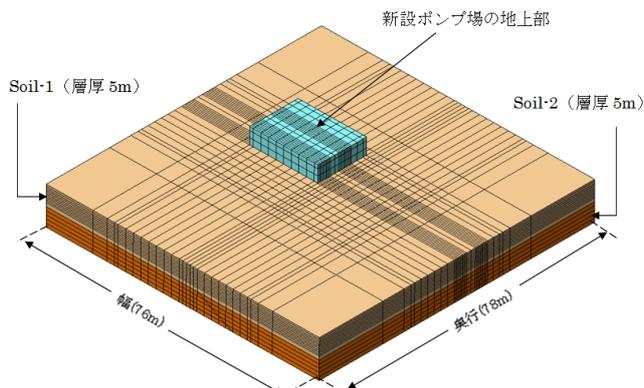


図-2 三次元解析モデル（全体）

a) 均質地盤モデル

既設ポンプ場は、土被り 0.5m の位置に設置されている。新設ポンプ場は、水平距離で既設ポンプ場から 3m 離れた位置に設定している。新設ポンプ場は、地下 1 階・地上 1 階部であり、地下部で 2 本の管路で既設ポンプ場と連結されている。連結している 2 本の管路は解析モデルを正面からみて、手前側を管路 A、向こう側を管路 B とした。ポンプ場の構造は、新旧ポンプ場の地震時の相互影響をより単純化して検討することに主眼をおき、基礎と壁とスラブによって構成した。地盤については、表層地盤 Soil-1 と基礎地盤 Soil-2 からなる、2 層の水平成層地盤を仮定して、幅 76m、奥行 78m、深さ 10m の範囲をモデル化した。

b) 不均質地盤モデル

均質地盤モデルを用いた解析では、形状の異なるポンプ場が連結されている場合の構造物条件に主眼を置いて地震時挙動を評価した。不均質地盤モデルを用いた解析では、構造物条件に加えて、地盤条件を考慮して、ポンプ場の地震時挙動を評価した。現実のポンプ場の地盤構造について、既設ポンプ場側では、新設側と比較して軟弱な地盤が相当程度傾斜して堆積している。したがって、不均質地盤モデル

の地盤構造は、連結部から既存ポンプ場側に、基礎地盤 Soil-2 と比較して軟弱な地盤 Soil-3 が傾斜して堆積していることを想定した。このほかの解析条件は均質地盤モデルと同様に設定した。

解析モデルの節点数は 20503、要素数は 21466 である。境界条件は、側方境界は粘性境界、下方境界

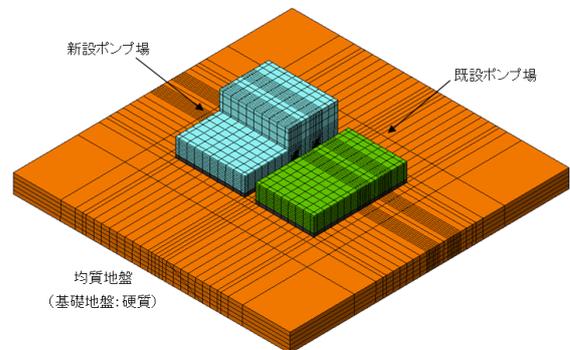


図-3 均質地盤モデル（表層地盤を除いて表示）

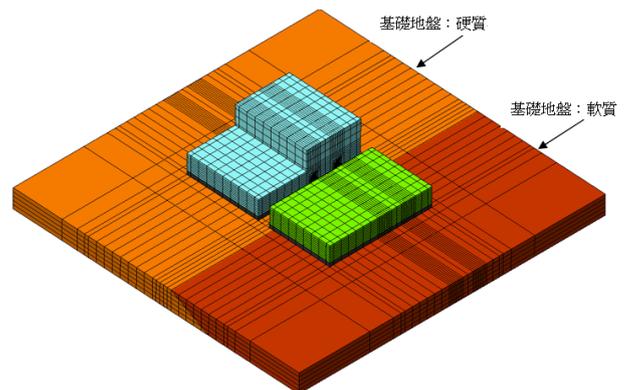


図-4 不均質地盤モデル（表層地盤を除いて表示）

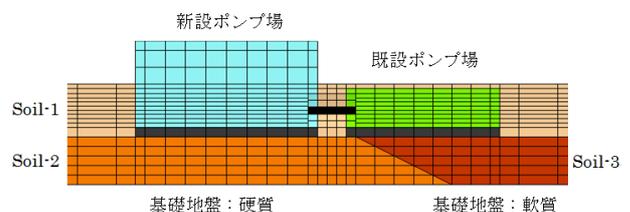


図-5 不均質地盤モデルの地盤構成（断面）

は剛基盤とした。地盤の動的物性値を除いて、解析モデルの寸法、構造物の動的物性値、入力地震動は両解析モデルとも同じ解析条件とした。

(3) 動的物性値

a) ポンプ場と管路の動的物性値

ポンプ場と管路の動的物性値は、両解析モデル共通の値として表-3 に示すように設定した。新設ポ

ンブ場と既存ポンプ場は鉄筋コンクリート造とし、管路はダクタイル鋳鉄管として設定した。ダクタイル鋳鉄管は、可撓性があり、強震時には所定量の伸縮が可能である。こうしたダクタイル鋳鉄管の伸縮性を考慮する方法としては、ジョイント要素を用いて非連続的な挙動を評価する方法が考えられる。しかし、ここでは、連続体解析によりダクタイル鋳鉄管の伸縮を疑似的に模擬することを意図し、管路は地盤と同様の地震時挙動を示すと仮定して、ダクタイル鋳鉄管の動的せん断剛性は管路が埋設されている Soil-1 と同等の値を仮定した。本解析では、管路に発生する地震時応力の評価は主眼としておらず、管路の両側に位置する構造物間の相対変量の評価を主眼としていることから、このような仮定条件を設定した。

減衰定数については、強震時のひずみ依存性を念頭に置いて、一般的に想定される値よりもやや大きな値として 4% を仮定した。

表-3 構造物と管路の動的物性値

項目	新設ポンプ場	既設ポンプ場	管路	
			A	B
せん断剛性 (N/mm ²)	9400	9400	12	12
密度 (g/cm ³)	2.35	2.35	7	7
ポアソン比	0.2	0.2	0.28	0.28
減衰定数	0.04	0.04	0.04	0.04

b) 地盤の動的物性値

地盤の動的物性値は、基礎地盤の硬軟の影響を比較検討するために、均質地盤モデルと不均質地盤モデルの 2 種類を設定し、表-4 と表-5 に示したような値を設定した。表層の地盤である Soil-1 は、新設ポンプ場を建設する際の埋戻土を想定し、S 波速度を 180m/s とした。新設ポンプ場の基礎地盤である Soil-2 は、硬質な地盤を想定し S 波速度を 330m/s とした。不均質地盤モデルにおいて、既設ポンプ場の基礎地盤である Soil-3 は、軟質な地盤を仮定し、表層地盤 Soil-1 と同様に S 波速度を 180m/s とした。設定した。なお、動的せん断剛性に関しては、強震時のひずみ依存性を考慮して、初期剛性の 1/5 の値を解析に用いた。同様に、減衰定数は、一般的に考えられる値よりも大きく 8% を仮定した。

(4) 入力地震動

入力地震動には、図-6 に示したような、レベル 2 地震動を想定して策定¹⁰⁾された模擬地震動を用いた。解析では、主要動の部分である、16.5 秒から 29.5 秒までの 13 秒間 (図-7 参照) を用いた。

表-4 地盤の動的物性値 (均質地盤モデル)

地盤構成	層厚 (m)	S 波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	ポアソン比	せん断剛性 (N/mm ²)	減衰定数
Soil-1	5	180	1.98	0.4	12	0.08
Soil-2	5	330	1.96	0.4	40	0.08

表-5 地盤の動的物性値 (不均質地盤モデル)

地盤構成	層厚 (m)	S 波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	ポアソン比	せん断剛性 (N/mm ²)	減衰定数
Soil-1	5	180	1.98	0.4	12	0.08
Soil-2	5	330	1.96	0.4	40	0.08
Soil-3	5	180	1.98	0.4	12	0.08

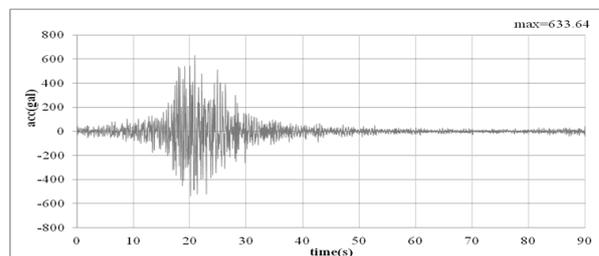


図-6 レベル 2 地震動 (札幌市想定地震動)

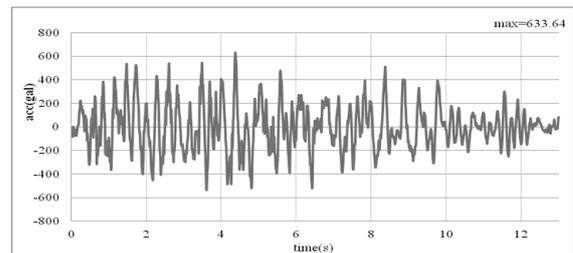


図-7 解析に使用した入力地震動

入力地震動の最大加速度は、633.64 gal であり、新・旧ポンプ場の横断方向 (管路の軸方向) に入力した。

(5) 解析結果

a) 均質地盤モデルの解析結果

・加速度応答

入力地震動を新・旧ポンプ場の横断方向に入力した場合の最大加速度の分布を図-8 (管路 A の縦断面) と図-9 (連結部拡大) に示す。また、加速度応答の代表出力点を図-10 に示すとともに、代表出力点での最大加速度を表-6 (新設ポンプ場側) と表-7 (既設ポンプ場側) にまとめて示す。均質地盤モデルでの地点 8 (新設ポンプ場側の管路 B 上端) と地点 13 (既設ポンプ場側の管路 B 上端) の加速度時刻歴を図-11 と図-12 に示す。

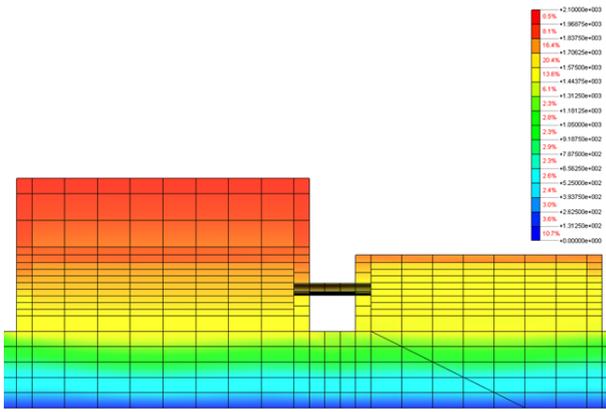


図-8 均質地盤モデルでの最大加速度の分布
(管路 A の縦断面)

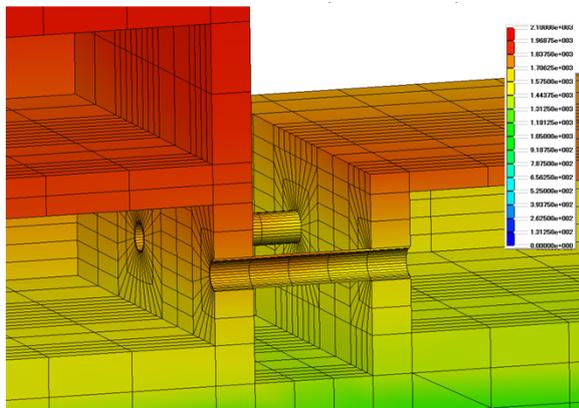
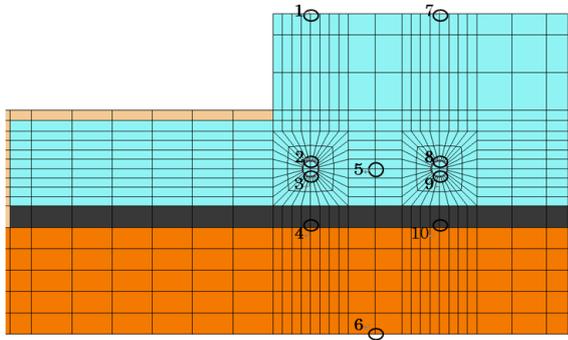
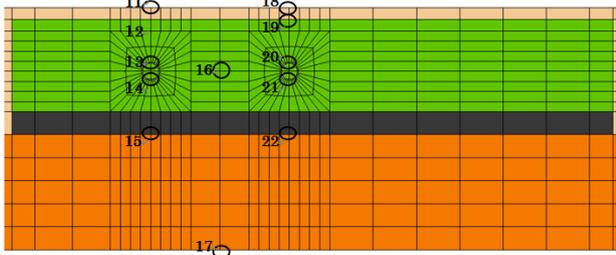


図-9 均質地盤モデルでの最大加速度の分布
(連結部拡大)



(1) 新設ポンプ場と管路の連結部



(2) 既設ポンプ場と管路の連結部

図-10 最大加速度応答の代表出力位置

表-6 均質地盤モデルの新設ポンプ場側の代表出力位置の最大加速度

位置	最大加速度(gal)	
1	屋上	1911.0
2	管路 A 上端	1694.2
3	管路 A 下端	1617.4
4	ポンプ場と地盤の境界	1408.9
5	ポンプ場地下の壁中央	1655.0
6	下方基盤	633.64
7	屋上	1912.8
8	管路 B 上端	1687.6
9	管路 B 下端	1630.3
10	ポンプ場と地盤の境界	1461.0

表-7 均質地盤モデルの既設ポンプ場側の代表出力位置の最大加速度

位置	最大加速度(gal)	
11	地表面	1759.0
12	ポンプ場と表層地盤の境界	1726.1
13	管路 B 上端	1585.7
14	管路 B 下端	1522.5
15	ポンプ場と基礎地盤の境界	1384.6
16	ポンプ場地下の壁中央	1550.7
17	下方基盤	633.64
18	地表面	1817.7
19	ポンプ場と表層地盤の境界	1766.9
20	管路 A 上端	1588.3
21	管路 A 下端	1510.0

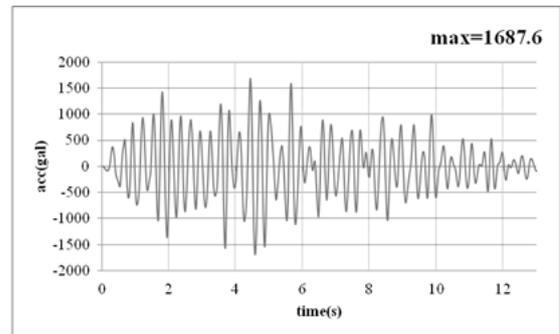


図-11 均質地盤モデルでの地点 8 の加速度時刻歴
(新設ポンプ場側の管路 B 上端)

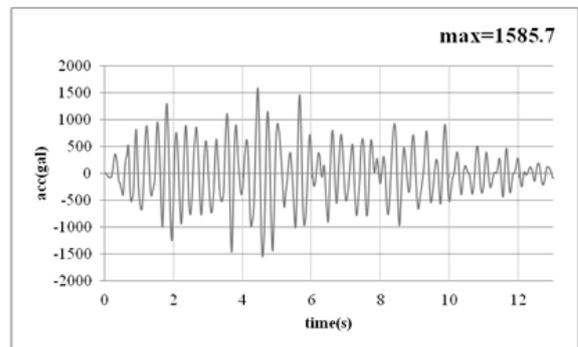


図-12 均質地盤モデルでの地点 13 の加速度時刻歴
(既設ポンプ場側の管路 B 上端)

新設ポンプ側の管路 A 上端および管路 B 上端の最大加速度は、それぞれ 1694.2gal と 1687.6 であるのに対して、既設ポンプ場側では、それぞれ 1588.3gal と 1585.7gal であり、新設ポンプ場側で約 100gal 程度、加速度応答が大きい結果となった。これは、既設ポンプ場が地下構造物であるのに対して、新設ポンプ場は地上 1 階・地下 1 階建てであり、新設ポンプ場の加速度応答の影響が出ていることが理解できる。

・連結部の相対変位量

新設ポンプ場と既存ポンプ場の連結部が最も遠ざかった時の変位図を図-13（管路 A の縦断面）と図-14（連結部拡大）に示す。また、図-15 に示した代表出力位置の相対変位量を表-8 に示す。相対変位量は、既存ポンプ場側の管路上端および管路下端の変位から、新設ポンプ場側の管路上端および管路下端の変位を差し引いて算出したものである。最大相対変位は、新・旧ポンプ場が互いに最も遠ざかったとき値であり、最小相対変位は互いに最も近づいたときの値である。均質地盤モデルを用いた解析での管路両端の相対変位量は、管路 A では最大約 2.7mm、管路 B では最大約 2.3mm となり、比較的小さな結果となった。

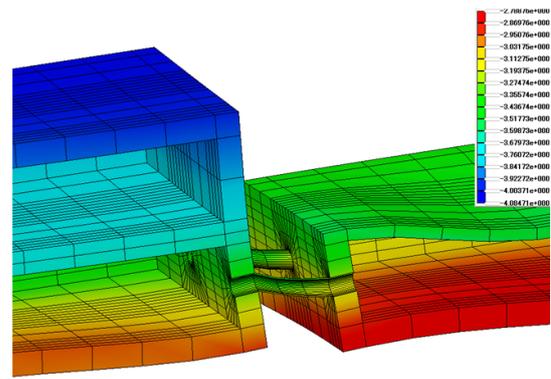


図-14 均質地盤モデルで新旧ポンプ場が最も離れた時の変位図
(連結部拡大, 変位倍率 80 倍)

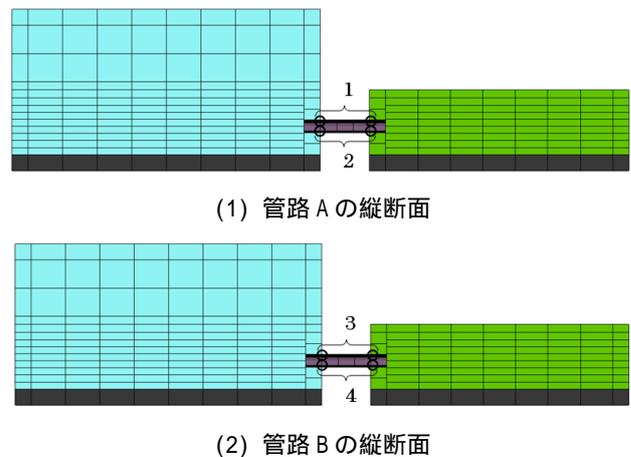


図-15 相対変位の代表出力位置

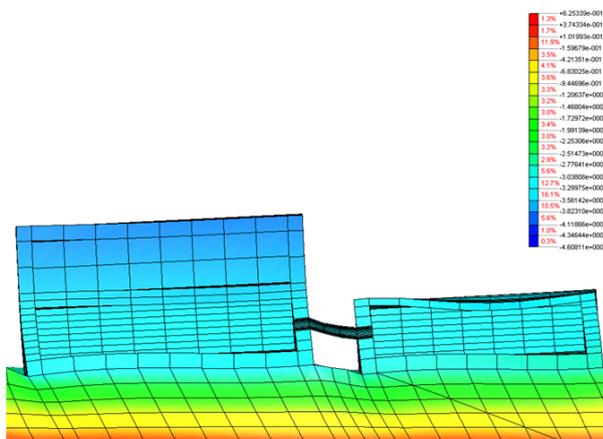


図-13 均質地盤モデルで新旧ポンプ場が最も離れた時の変位図
(管路 A の縦断面, 変位倍率 80 倍)

b) 不均質地盤モデルの解析結果

・加速度応答

不均質地盤モデルを用いて解析した場合の最大加速度応答の分布状況を図-16（管路 A の縦断面）と図-17（連結部拡大）に示す。また、前出の図-10 に示した代表出力点での加速度時刻歴を図-18（地点 8：新設ポンプ場側の管路 B 上端）と図-19（地点 13：既設ポンプ場側の管路 B 上端）に示す。また、代表出力点での最大加速度を表-9（新設ポンプ場

表-8 均質地盤モデルでの管路両端の相対変位量

位置	最大相対変位 (mm)	最小相対変位 (mm)
1 管路 A 上端	2.65	-2.71
2 管路 A 下端	2.73	-2.73
3 管路 B 上端	2.35	-2.26
4 管路 B 下端	2.33	-2.22

(備考) 正：離反時、負：接近時

側)と表-10（既設ポンプ場側）に示す。

均質地盤モデルを用いた解析の場合、新設ポンプ側の管路 A 上端および管路 B 上端の最大加速度は、それぞれ 1694.2gal と 1687.6gal、既設ポンプ場側ではそれぞれ 1588.3gal と 1585.7gal であったが、不均質地盤モデルを用いた解析では、新設ポンプ側の管路 A 上端および管路 B 上端の最大加速度は、それぞれ 1196.1gal と 1203.1gal、既設ポンプ場側ではそれぞれ 1394.6gal と 1394.8gal となり、既設ポンプ場の基礎地盤の動的せん断剛性を小さくしたことにより、加速度応答は相当量小さくなった。

・連結部の相対変位

不均質地盤モデルを用いて解析した場合の新設ポンプ場と既存ポンプ場の連結部が最も遠ざかった時の変位図を図-20（管路 A の縦断面）と図-21（連結部拡大）に示す。また、前出の図-15 に示した代表出力位置の相対変位量を表-11 に示す。不均質地盤モデルを用いた解析での管路両端の相対変位量は、管路 A では最大約 10.8mm，管路 B でも最大約 10.8mm となった。この結果は、均質地盤モデルを用いた解析では、それぞれ 2.7mm と 2.3mm であったので、大きく増加する結果となった。

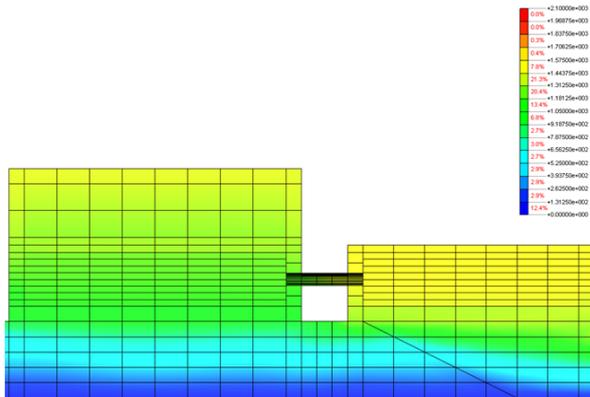


図-16 不均質地盤モデルでの最大加速度の分布（管路 A の縦断面）

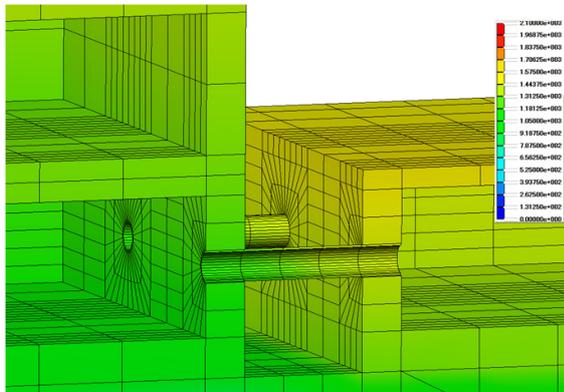


図-17 不均質地盤モデルでの最大加速度の分布（連結部拡大）

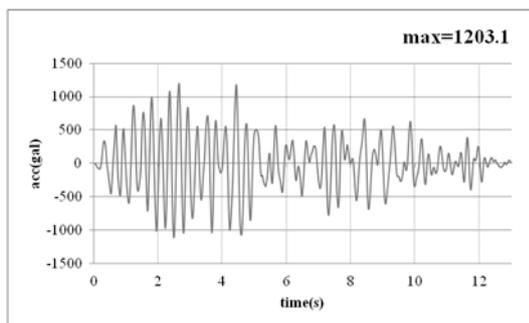


図-18 不均質地盤モデルでの地点 8 の加速度時刻歴（新設ポンプ場側の管路 B 上端）

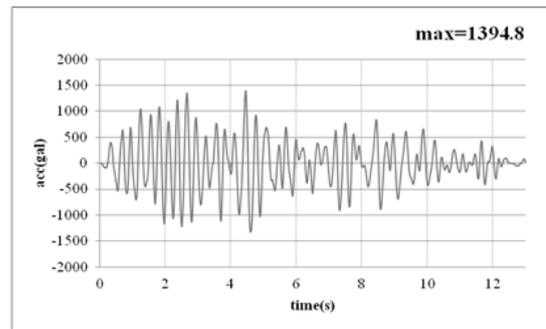


図-19 不均質地盤モデルでの地点 13 の加速度時刻歴（既設ポンプ場側の管路 B 上端）

表-9 不均質地盤モデルでの新設ポンプ場側の代表出力位置の最大加速度

位置	最大加速度(gal)	
1	屋上	1335.6
2	管路 A 上端	1196.1
3	管路 A 下端	1161.5
4	ポンプ場と地盤の境界	1071.2
5	ポンプ場地下の壁中央	1183.1
6	下方基盤	633.64
7	屋上	1331.7
8	管路 B 上端	1203.1
9	管路 B 下端	1176.4
10	ポンプ場と地盤の境界	1096.1

表-10 不均質地盤モデルでの既設ポンプ場側の代表出力位置の最大加速度

位置	最大加速度(gal)	
11	地表面	1423.7
12	ポンプ場と表層地盤の境界	1504.3
13	管路 B 上端	1394.8
14	管路 B 下端	1352.9
15	ポンプ場と基礎地盤の境界	1266.9
16	ポンプ場地下の壁中央	1371.8
17	下方基盤	633.64
18	地表面	1463.4
19	ポンプ場と表層地盤の境界	1523.7
20	管路 A 上端	1394.6
21	管路 A 下端	1345.1
22	ポンプ場と基礎地盤の境界	1247.8

表-11 不均質地盤モデルでの管路両端の相対変位量

位置	最大相対変位(mm)	最小相対変位(mm)	
1	管路 A 上端	10.8	-10.2
2	管路 A 下端	10.8	-9.97
3	管路 B 上端	10.8	-10.2
4	管路 B 下端	10.7	-10.0

4. まとめと考察

・管路で連結された新・旧ポンプ場を研究対象として、均質地盤モデルと不均質地盤モデルの2種類の地盤条件を設定し、各構造物の地震時挙動と管路両端の相対変位に着目して、三次元動的解析により基礎的な検討を行った。

・その結果、表-12 に示したように、均質地盤モデルに比して、基礎地盤の動的剛性が低い不均質地盤モデルでは最大相対変位が約4倍に増えた。動的剛性が比較的高い構造物の下に動的剛性が低い基礎地盤がある場合、構造物の加速度応答は小さくなる反面、構造物の変位挙動は大きくなり、管路両端の相対変位が増大することが確認できた。

・大河川の最下流域にある沖積平野では軟弱地盤が広く厚く分布しているため、こうした地域にある水道施設に関しては、地盤・構造物連成系の長周期化の影響によって加速度応答は小さくなる反面、強震時には構造物が互いに逆位相で挙動するようになり構造物間の相対変位は増大し、こうした相対変位によって管路や構造物が損傷・破壊を受ける可能性があるものと考察される。

表-12 均質地盤モデルと不均質地盤モデルの
管路両端の相対変位の比較

位置		最大相対変位(mm)	
		均質地盤モデル	不均質地盤モデル
1	管路A上端	2.65	10.8
2	管路A下端	2.73	10.8
3	管路B上端	2.35	10.8
4	管路B下端	2.33	10.7

・S波速度が低い軟弱地盤では、こうした傾向がより顕著になるものと考えられることから、地震動の長周期化・長時間化、構造物の変位挙動の長周期化、相対変位量の増大、相対変位による構造物・施設の損傷・破壊等について定量的な解析評価を平素から実施しておくことが必要であると考察される。

5. おわりに

水道施設の地震被害は、構造物の耐震構造的な問題だけではなく、基礎地盤や周辺の地形条件にも大きく依存するものと考えられる。そのため、精度・信頼性の高い耐震性能照査を行うためには、構造物と地盤の相互影響、隣接構造物や連結構造物の相互影響、精緻な変位評価・相対変位評価等が重要であると考えられる。

今後の課題としては、ジョイント要素を活用した管路の可撓性の模擬、管路とポンプ場および管路の継手部の非連続的挙動の考慮、地震動の作用方向の影響(管路横断方向加振、縦断方向加振、三方向同時加振等)、動的物性値の非線形特性の影響等について検討を深める予定である。

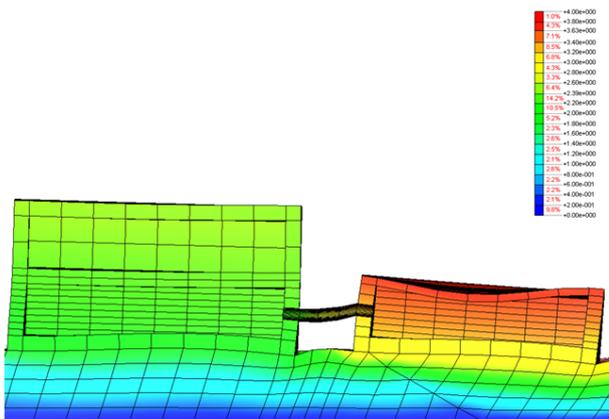


図-20 不均質地盤モデルで新・旧ポンプ場が最も離れた時の変位図
(管路Aの縦断面, 変位倍率80倍)

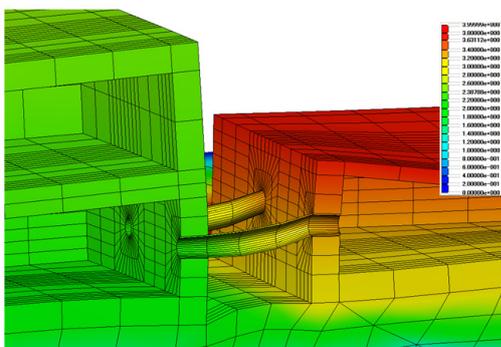


図-21 不均質地盤モデルで新・旧ポンプ場が最も離れた時の変位図
(連結部拡大図, 変位倍率80倍)

参考文献

- 1) 厚生労働省：水道の耐震化計画等策定指針，2008.3
- 2) 日本水道協会：水道施設耐震化の課題と方策，2008.12
- 3) 厚生労働省健康局水道課，水道施設の技術的基準を定める省令の一部改正と水道施設耐震化の推進について，水道協会雑誌，第77巻第10号(第889号)，p.43-46，2008.10
- 4) 新潟県中越地震水道現地調査団(厚生労働省健康局水道課)：新潟県中越地震水道被害調査報告書，2005.2
- 5) 平成19年(2007年)能登半島地震水道施設被害等調査団(厚生労働省健康局水道課)：平成19年(2007年)能登半島地震水道施設被害等調査報告書，2007.8
- 6) 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震水道施設被害等調査団(厚生労働省健康局水道課)：平成19年(2007年)新潟県中越沖地震水道施設被害等調査報告書、

- 2008.3
- 7) 厚生労働省健康局水道課，日本水道協会：平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震水道施設被害等調査報告書、2009.6
- 8) 厚生労働省健康局水道課，日本水道協会：平成 23 年（2011 年）東日本大震災水道施設被害等現地調査団報告書、2011.9
- 9) 鎌田泰子，片桐信：土木学会東日本大震災被害調査団（地震工学委員会）緊急地震被害報告会，2011.4
- 10) 札幌市地震防災検討委員会：地震防災対策に関する提言，2005
- 11) 有賀義明，平野悠輔，猪子敬之介，竹内幹雄，小黑明，浅賀裕之，村上正明：地下街の耐震性に対する高層ビルの地震時挙動の影響，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol66，No.1，pp.208-215，2010
- (2012.9.20受付)

THREE DIMENSIONAL DYNAMIC ANALYSIS FOR EARTHQUAKE BEHAVIOR OF WATER SUPPLY FACILITY CONNECTED BY DUCTILE PIPES

Yoshiaki ARIGA, Keinosuke INOKO, Kimiyasu OHTAKE,
Kentaroh NARITA and Kazuo TAKEHARA

In regard to the complex structure which are composed of plural structures and pipes, each structures will behave individually during large earthquakes. Consequently, it is considered that dynamic stresses and relative displacements induced by earthquake will become large at the connecting parts of structures with different dynamic characteristics. In this study, we made 3D dynamic analyses for earthquake behavior of pumping stations connected by ductile iron pipes in order to study the seismic safety of water supply facility. As a result, the relative displacement between both sides of pipe will increase according to the phase of earthquake behavior of structures and the dynamic stiffness of foundation ground.