

# 長軸方向に加振した場合の 大規模地下浄水池の地震時応答について

有賀義明<sup>1</sup>・三浦千穂<sup>2</sup>・猪子敬之介<sup>3</sup>・竹原和夫<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>学生会員 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: h14ms405@stu.hirosaki-u.ac.jp

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>正会員 JIPテクノサイエンス (〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町1丁目2-5)  
E-mail: kazuo\_takehara@cm.jip-ts.co.jp

水道施設は、生活に必須のライフラインであり、大地震に遭遇した場合でも水道供給機能の安定的な維持が求められる施設である。2011年東北地方太平洋沖地震では水道施設に多くの被害が生じ断水が長期間に及んだ。既設水道施設の多くは高経年化しており、既設施設の耐震性能の確認と耐震化が重要な課題になっている。このような必要性を踏まえ、ここでは、水道施設の耐震性能評価の精度・信頼性の向上、地震対策の合理化を目的として、地下浄水池を評価対象とし、地震動を構造物の長軸方向に作用させた場合の地震時応答について三次元動的解析により検討した。その結果、浄水池の形状の変化部、動的剛性の変化部、そして、浄水池内部の柱で地震時応力が大きくなることを確認した。

**Key Words :** water supply facility, underground purification reservoir, seismic performance, 3D dynamic analysis

## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、強震動、液状化、津波等の地震作用により水道施設に被害が発生し、長期間に亘る断水が生じた。水道施設は、日常生活に必須のライフラインであり、大地震に遭遇した場合でも水道供給機能の安定的な維持が強く求められる施設である。一方、水道施設の多くは高度成長時代に建設されているため、高経年化した数多くの既設水道施設が更新時期を迎えている。また、我が国では、今後、首都圏直下地震、東海・東南海・南海地震等の大地震の発生が想定されており、これらの地震が発生した場合には、東京、名古屋、大阪等といった人口稠密地域におけるライフライン機能の麻痺が想定され、ライフラインの耐震性能の確認と耐震化が重要な課題となっている。このような現況を踏まえ、本研究では、耐震性能評価技術の精度・信頼性の向上および地震対策技術の合理化を目標として、RC池状構造物である、大規模地下浄

水池の地震時応答について三次元動的解析により検討した。解析モデルは、既設施設の今後の更新計画を参考にして、地下浄水池と周辺地盤の連成モデルを作成し、入力地震動を地下浄水池の長軸方向に入力した場合の地下浄水池の地震時応答について検討した。

## 2. 研究の必要性と目的

1995年兵庫県南部地震以降、2004年新潟県中越地震<sup>1)</sup>、2005年福岡県西方沖地震、2007年能登半島地震<sup>2)</sup>、2007年新潟県中越沖地震<sup>3)</sup>、2008年岩手・宮城内陸地震<sup>4)</sup>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<sup>5), 6)</sup>。

水道の耐震化計画等策定指針<sup>7)</sup>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たすための、耐震化の重要性が記述されている。しかし、構造物・設備の耐震性の評価に関しては、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に基づいた簡易な耐震診断が主体となっているため、地震被害を受けた際に社会的影響度の大きい、重要な構造物・施設に関しては、実現象を反映し得る、精度・信頼性の高い耐震性能照査が必要であると考えられる。

水道施設の耐震化率は、平成 25 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 21.4%，配水池の耐震化率は約 44.5%，基幹的な管路の耐震適合率は約 33.5%にとどまっている<sup>8)</sup>。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つつある。

本研究では、水道施設の内、浄水池を研究対象としており、浄水池は、河川などから取り入れた水をろ過・消毒し、飲料に適した安全な水を供給するための施設である。地震によって浄水池にクラックが入った場合は、外部から施設内に地下水等が浸透、流入することにより、安全な水質を保つことができなくなり、その結果として、水道供給機能を維持することができなくなる。したがって、水道施設の地震被害を抑制し、水道供給機能を安定的に維持するためには、構造物の地震時応答を明らかにし、地震時の損傷・破壊の危険性について定量的に評価することが必要になる。このような必要性から、本研究では、RC 池状構造物である、大規模な地下浄水池を研究対象として、三次元動的解析により地震時応答について検討した。

### 3. 三次元動的解析

#### (1) 概要

本研究では、既設施設の今後の更新計画を参考に、長さ 73m、幅 51m、高さ最大 18m の地下浄水池を解析モデルとして設定した。図-1<sup>10)</sup>は、地下浄水池の内部の状況の例であるが、浄水池内部の柱群は、浄水池の地震時応答を評価する上で、また、浄水池の耐震性能を評価する上で重要な影響を及ぼすと考えられることから、ここでは、地下浄水池の実状を反

映するように、柱の一つひとつをモデル化した。解析モデルは、地下浄水池と周辺地盤の連成モデルとし、入力地震動の加振方向は地下浄水場の長軸方向として三次元動的解析を行った。



図-1 地下浄水池内部の状況

#### (2) 三次元動的解析モデル

解析対象とした地下浄水場は、地表から土被り 0.5m の位置にあり、地下 2 階・地上 1 階建である。地下 1 階と地下 2 階は吹き抜けとなっており、浄水池の内部は、柱、耐震壁、整流壁によって構成されている。整流壁は、耐震構造としての機能を有していないので、解析モデルではモデル化を省略した。浄水池内部の柱と耐震壁は、実態を反映できるように更新計画図に忠実にモデル化した。図-2 は、地下浄水場と周辺地盤の連成モデルであり、図-3 は、地盤を非表示として地下浄水場のみを示した図である。図-4 と図-5 は、地下浄水場の内部のモデル化の状況である。周辺地盤については、更新計画地点の現地状況を参考に 5 層の水平成層地盤とし、長さ 226m、幅 171m、深さ 31m の領域をモデル化した。地盤、地下浄水池、内部の柱と耐震壁は、いずれもソリッド要素を用いてモデル化し、境界条件は側方境界を粘性境界、下方境界を剛基盤とした。解析モデルの節点数は 27,388、要素数は 26,285 である。解析には、プレポストプロセッサとして midas FX for DIANA を、解析プログラムとして DIANA を使用した。

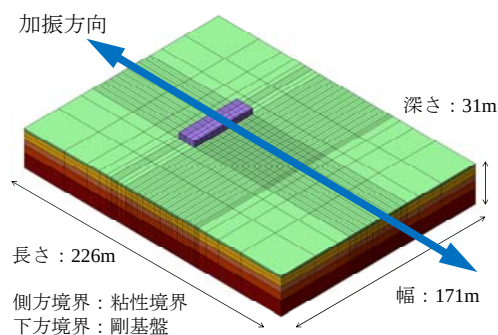


図-2 解析モデル全景（地盤との連成モデル）

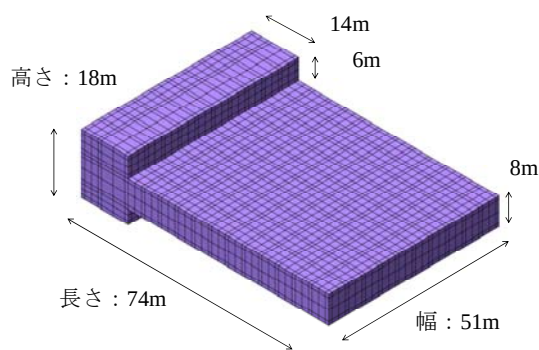


図-3 解析モデル（地下浄水池のみ表示）

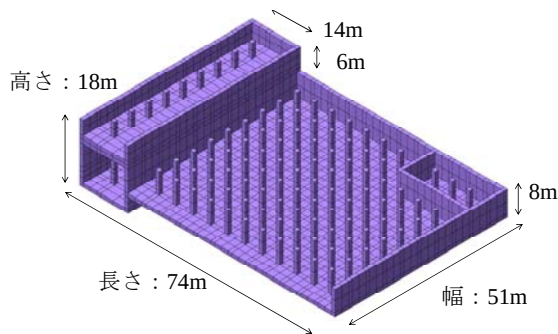


図-4 浄水場内部のモデル化の状況

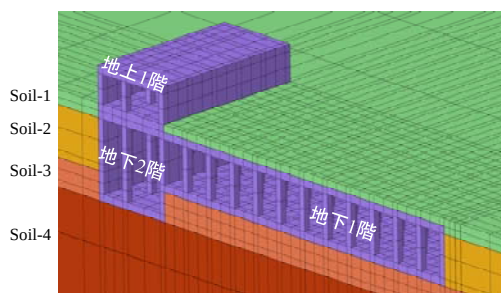


図-5 浄水池内部のモデル化の状況（縦断面）

### (3) 入力地震動

入力地震動には、札幌市が作成したレベル2地震波<sup>11)</sup>を用い、解析には、図-6に示した10秒間を使用した。入力地震動の最大加速度は633.64 galであり、図-2に示したように地下浄水池の長軸方向に加振した。

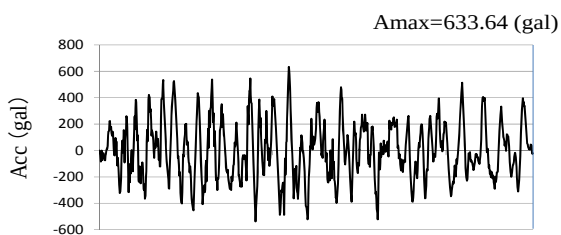


図-6 入力地震動

### (4) 解析用物性値

浄水池に関しては、鉄筋コンクリート造とし表-1に示した動的物性値を設定した。地盤に関しては、図-7のような5層の水平地盤を設定し、表-2に示した動的物性値（以下、硬質地盤モデル）を設定した。また、浄水池の地震時応答に対する動的せん断剛性の影響を比較検討するために、表-3に示したような動的物性値（以下、軟質地盤モデル）を設定した。表-3の動的せん断剛性の値は表-2の1/2倍に設定した。なお、地盤の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な値よりも大きな値を仮定した。

表-1 建造物の動的物性値

| 項目  | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | ポア<br>ソン比 | せん断剛性<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 減衰<br>定数 |
|-----|----------------------------|-----------|-------------------------------|----------|
| 浄水池 | 2.35                       | 0.2       | 9400                          | 0.04     |

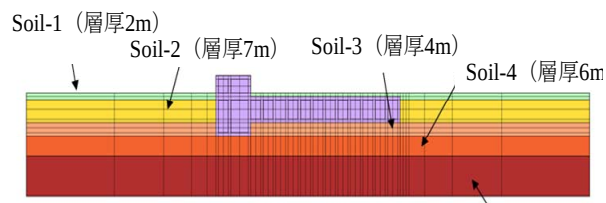


図-7 地盤の動的物性値

表-2 硬質地盤モデルの動的物性値

| 地盤<br>構成 | 層厚<br>(m) | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | ポア<br>ソン比 | せん断<br>剛性<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 減衰<br>定数 |
|----------|-----------|----------------------------|-----------|-----------------------------------|----------|
| Soil-1   | 2         | 1.98                       | 0.4       | 38                                | 0.08     |
| Soil-2   | 7         | 1.98                       | 0.4       | 88                                | 0.08     |
| Soil-3   | 4         | 2.06                       | 0.4       | 90                                | 0.08     |
| Soil-4   | 6         | 2.00                       | 0.4       | 460                               | 0.08     |
| Soil-5   | 12        | 2.00                       | 0.4       | 506                               | 0.08     |

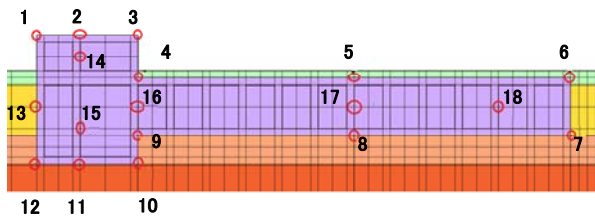
表-3 軟質地盤モデルの動的物性値

| 地盤<br>構成 | 層厚<br>(m) | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | ポア<br>ソン比 | せん断<br>剛性<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 減衰<br>定数 |
|----------|-----------|----------------------------|-----------|-----------------------------------|----------|
| Soil-1   | 2         | 1.98                       | 0.4       | 19                                | 0.08     |
| Soil-2   | 7         | 1.98                       | 0.4       | 44                                | 0.08     |
| Soil-3   | 4         | 2.06                       | 0.4       | 45                                | 0.08     |
| Soil-4   | 6         | 2.00                       | 0.4       | 230                               | 0.08     |
| Soil-5   | 12        | 2.00                       | 0.4       | 253                               | 0.08     |

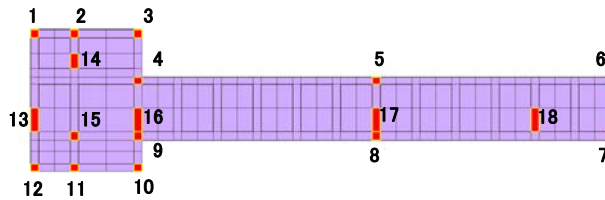
### (5) 代表出力位置

地震時応答の代表出力位置は、図-8に示すように設定した。加速度応答と変位応答は、図-8(1)に

示した節点，地震時応力は図-8(2)に示した要素の値を出力した。



(1) 加速度と変位の代表出力位置



(2) 地震時応力の代表出力位置

図-8 代表出力位置

表-4 代表出力位置の最大加速度

| 位 置 |        |    | 硬質地盤<br>モデル<br>(gal) | 軟質地盤<br>モデル<br>(gal) |
|-----|--------|----|----------------------|----------------------|
| 1   | 地上 1 階 | 左端 | 2152.0               | 2108.8               |
| 2   | 天井     | 中央 | 2137.7               | 2093.5               |
| 3   |        | 右端 | 2163.5               | 2118.0               |
| 4   | 地下 1 階 | 左端 | 1861.7               | 1763.7               |
| 5   | 天井     | 中央 | 1786.5               | 1669.2               |
| 6   |        | 右端 | 1837.2               | 1717.4               |
| 7   | 地下 1 階 | 右端 | 1306.3               | 1254.4               |
| 8   | 底部     | 中央 | 1272.3               | 1223.2               |
| 9   |        | 左端 | 1162.7               | 1095.7               |
| 10  | 地下 2 階 | 右端 | 929.0                | 904.5                |
| 11  | 底部     | 中央 | 930.7                | 913.0                |
| 12  |        | 左端 | 938.3                | 910.6                |
| 13  | 地下 2 階 | 中段 | 1719.4               | 1518.7               |
| 14  | 地上 1 階 | 中央 | 2014.5               | 1940.7               |
| 15  | 地下 2 階 | 中央 | 1160.6               | 976.6                |
| 16  | 地下 1 階 | 左端 | 1599.2               | 1522.8               |
| 17  | 中段     | 中央 | 1516.0               | 1440.7               |
| 18  |        | 右端 | 1555.3               | 1469.9               |

(備考：出力位置については図-8 参照)

#### 4. 三次元動的解析結果

##### (1) 加速度応答について

地震動を浄水池の長軸方向に作用させた場合の代表出力位置の最大加速度について，硬質地盤モデルと軟質地盤モデルの比較結果を表-4 に示す。硬質地盤モデルでの最大加速度分布を図-9 に，位置 5 と位置 8 の加速度時刻歴を図-10 に示す。また，軟質地盤モデルでの最大加速度分布を図-11 に示す。表-4 より，今回の解析では，いずれの代表出力位置においても最大加速度応答は軟質地盤モデルよりも硬質地盤モデルの方が大きい結果となった。加速度応答は，地震動，地盤および構造物の振動特性の相互影響に依存するが，今回の解析では，短周期型の地震動を用いたため，軟質地盤モデルよりも硬質地盤モデルで加速度応答が大きくなったものと考えられる。硬質地盤モデルと軟質地盤モデルの加速度応答の差に関しては，位置 4～位置 6（地下 1 階の天井部），位置 13～位置 15（地下 2 階の中段部），位置 15～位置 18（地下 1 階の中央部）において差が比較的大きくなった。図-9 と図-11 の対比から，硬質地盤モデルでは，浄水池の周辺の加速度応答がシンプルなのに対して，軟質地盤モデルでは，周辺部の加速度応答が比較的複雑になっていることが分かる。地盤の動的せん断剛性を小さく設定した，軟質地盤モデルでは，地盤が変形しやすくなり，それに伴い，加速度応答に変化が生じたものと考えられる。

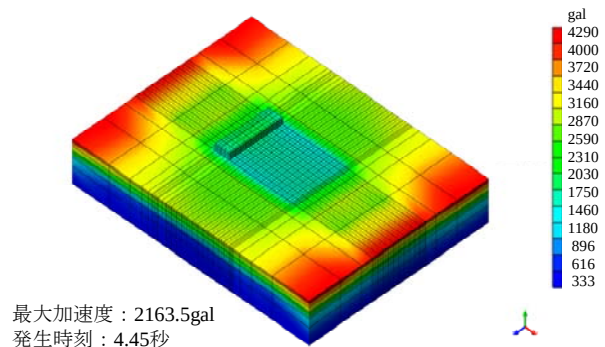
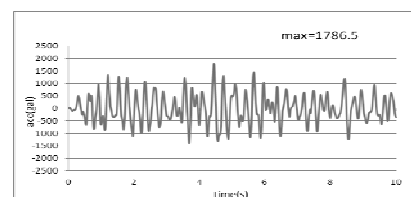
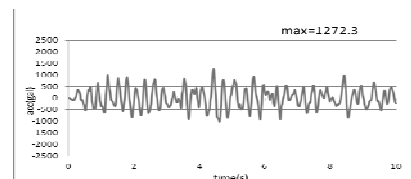


図-9 硬質地盤モデルでの最大加速度分布



(1) 位置5の加速度時刻歴



(2) 位置8の加速度時刻歴

図-10 硬質地盤モデルの代表位置の加速度時刻歴



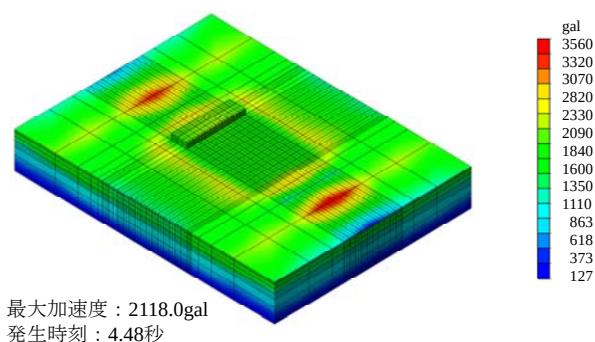


図-11 軟質地盤モデルでの最大加速度分布

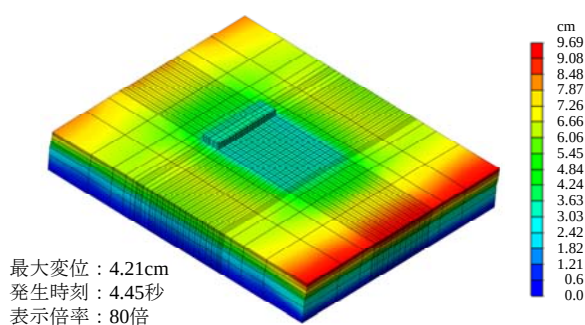


図-12 硬質地盤モデルでの最大変位分布

## (2) 変位応答について

代表出力点の最大変位の比較を表-5 に示す。硬質地盤モデルおよび軟質地盤モデルでの最大加速度分布をそれぞれ図-12 と図-13 に示す。また、浄水池の縦断面内の変位状況を図-14（硬質地盤モデル）と図-15（軟質地盤モデル）に示す。表-5 より、変位応答については、ほとんどの代表出力位置で硬質地盤モデルよりも軟質地盤モデルの方が大きいことが分かる。浄水池は、水道システムの一部であり、水道供給機能を発揮するためには、送水管や配水管等、管路による連結が必要になる。したがって、構造物と管路の相対変位量が地震時の損傷・破壊に大きな影響を及ぼすことになり、浄水池の周辺地盤が軟質な場合には、地震時の変位挙動や相対変位量を精度良く定量的に評価することが一層重要になる。

表-5 代表出力位置の最大変位

| 位 置 |      |    | 硬質地盤<br>モデル<br>(cm) | 軟質地盤<br>モデル<br>(cm) |
|-----|------|----|---------------------|---------------------|
| 1   | 地上1階 | 左端 | 4.19                | 6.46                |
| 2   | 天井   | 中央 | 4.17                | 6.43                |
| 3   |      | 右端 | 4.21                | 6.48                |
| 4   | 地下1階 | 左端 | 3.77                | 5.86                |
| 5   | 天井   | 中央 | 3.61                | 5.69                |
| 6   |      | 右端 | 3.70                | 5.81                |
| 7   | 地下1階 | 右端 | 2.82                | 4.82                |
| 8   | 底部   | 中央 | 2.69                | 4.69                |
| 9   |      | 左端 | 2.45                | 4.29                |
| 10  | 地下2階 | 右端 | 3.57                | 2.68                |
| 11  | 底部   | 中央 | 3.63                | 2.79                |
| 12  |      | 左端 | 1.57                | 2.72                |
| 13  | 地下2階 | 中段 | 3.53                | 5.45                |
| 14  | 地上1階 | 中央 | 3.99                | 6.18                |
| 15  | 地下2階 | 中央 | 2.44                | 3.90                |
| 16  | 地下1階 | 左端 | 3.71                | 5.39                |
| 17  | 中段   | 中央 | 3.15                | 5.19                |
| 18  |      | 右端 | 3.67                | 5.28                |

(備考：出力位置については図-8 参照)

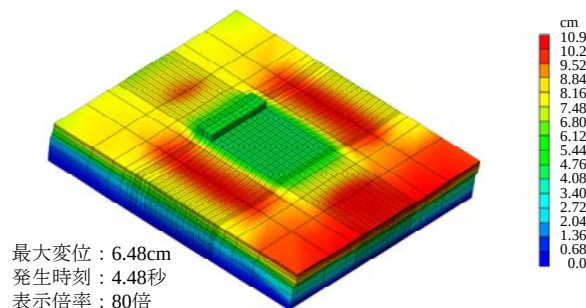


図-13 軟質地盤モデルでの最大変位分布

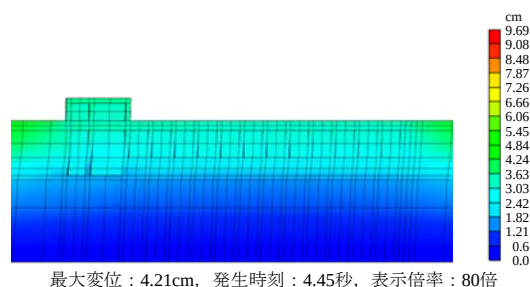


図-14 浄水池の変位状況（硬質地盤モデル）

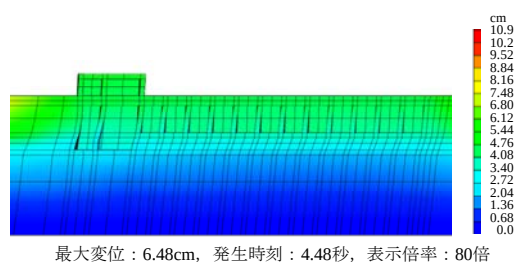


図-15 浄水池の変位状況（軟質地盤モデル）

図-12 と図-13 より、変位応答に関しても、硬質地盤モデルでは浄水池の周辺地盤での応答が単純であるのに対して、軟質地盤モデルの周辺地盤では複雑であることが理解できる。また、図-14 と図-15 より、浄水池の左端に位置している地下2階部分において変位が変化していることが分かる。

### (3) 地震時応力について

コンクリートは圧縮には強いが引張に弱いことから、ここでは、地震時の引張応力に着目して解析結果を表-6 にまとめた。浄水池の外側表面の最大引張応力分布は図-16（硬質地盤モデル）と図-17（軟質地盤モデル）に示すとおりである。図-16 と図-17 から、浄水池の形状の変化部、耐震壁の存在による動的剛性の変化部で地震時引張応力が增大していることが分かる。表-6 より、特に、位置-7、位置-9、位置-10、位置-12、位置-16 では軟質地盤モデルでは硬質地盤モデルに比して地震時引張応力が1～6 N/mm<sup>2</sup> 程度低下していることが分かる。その反面、位置 11（地下 2 階底部の中央）では軟質地盤モデルよりも硬質地盤モデルのほうが地震時応力が約 2.5 N/mm<sup>2</sup> 大きくなった。これに関連して、全時刻を通しての浄水池内部の最大引張応力分を図-18（硬質地盤モデル）と図-19（軟質地盤モデル）に示す。図-19 より、軟質地盤モデルでは浄水池の左端に位置する地下 2 階部の内部の柱で地震時応力が増大したことが分かる。浄水池が長軸（縦断）方向に揺すられたことによって、形状の変化部に相当する、地下 2 階部で地震時応力が増大し、特に浄水池内部の柱で地震時応力が増大する結果となったと考えられる。

図-18 と図-19 より、地震動を長軸方向に作用させた場合、地震による損傷が発生しやすい場所としては、浄水池の外壁表面よりも浄水池内部の柱であると考えられる。このことから、浄水池の耐震性能

表-6 代表出力位置の地震時応答

| 位 置 |        |    | 硬質地盤<br>モデル<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 軟質地盤<br>モデル<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|--------|----|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | 地上 1 階 | 左端 | 3.97                                | 4.57                                |
| 2   | 天井     | 中央 | 1.15                                | 1.51                                |
| 3   |        | 右端 | 1.07                                | 1.10                                |
| 4   | 地下 1 階 | 左端 | 2.34                                | 2.27                                |
| 5   | 天井     | 中央 | 1.24                                | 1.31                                |
| 6   |        | 右端 | 1.10                                | 1.14                                |
| 7   | 地下 1 階 | 右端 | 1.51                                | 2.58                                |
| 8   | 底部     | 中央 | 1.14                                | 1.11                                |
| 9   |        | 左端 | 3.00                                | 8.92                                |
| 10  | 地下 2 階 | 右端 | 2.92                                | 4.48                                |
| 11  |        | 中央 | 3.80                                | 1.28                                |
| 12  |        | 左端 | 6.42                                | 7.44                                |
| 13  | 地下 2 階 | 中段 | 4.33                                | 5.54                                |
| 14  | 地上 1 階 | 中央 | 5.58                                | 5.85                                |
| 15  | 地下 2 階 | 中央 | 3.26                                | 4.94                                |
| 16  | 地下 1 階 | 左端 | 0.83                                | 4.14                                |
| 17  |        | 中央 | 7.26                                | 7.09                                |
| 18  |        | 右端 | 6.91                                | 6.68                                |

（備考：出力位置については図-8 参照）

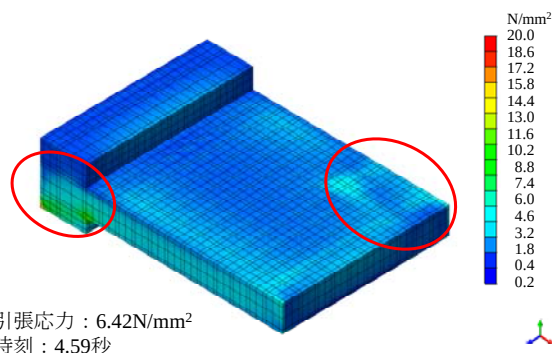


図-16 浄水池表面の最大引張応力分布（硬質地盤モデル）

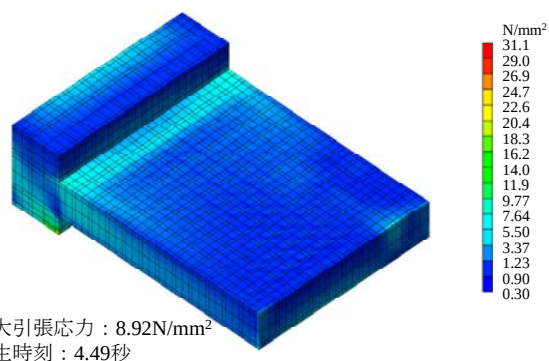


図-17 浄水池表面の最大引張応力分布（軟質地盤モデル）

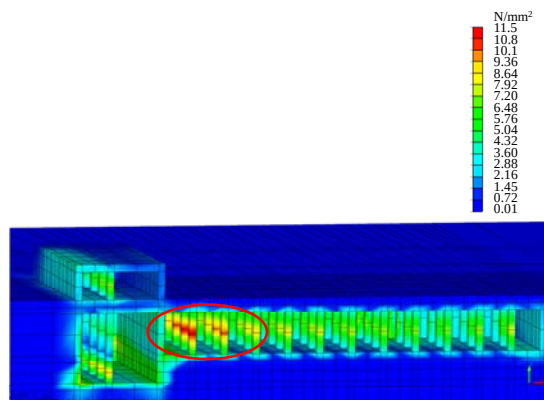


図-18 全時刻を通しての浄水池内部の最大引張応力分布（硬質地盤モデル）

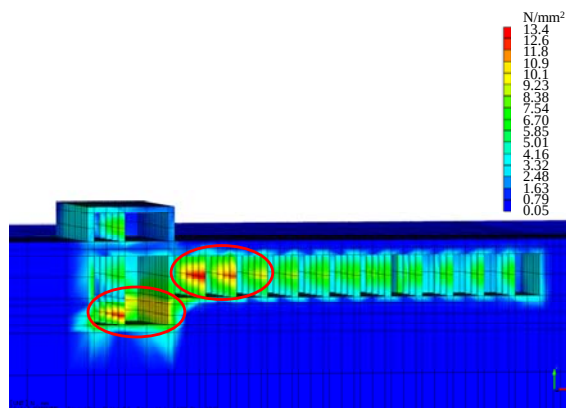


図-19 全時刻を通しての浄水池内部の最大引張応力分布（軟質地盤モデル）

を精度よく評価するためには、浄水池内の柱を現実  
に即した形で適確にモデル化することが必要である  
と考えられる。

## 5. まとめ

RC 池状構造物である、地下浄水池の長軸方向に  
地震動を作用させた場合の地震時応答について、三  
次元動的解析により地盤の動的せん断剛性の変化の  
影響を考慮しながら検討した。構造物の地震時応答  
は、地震動のスペクトルと地盤および構造物の振動  
特性との相互の影響によって変化するが、本検討で  
用いた地震動に対して、加速度応答は、浄水池の周  
辺地盤が硬質の場合は大きく、軟質の場合は小さく  
なった。変位応答に関しては、周辺地盤が硬質な場  
合は小さく、軟質な場合は大きくなった。また、地  
震時応力に関しては、全体的には、周辺地盤が硬質  
な場合は小さく、軟質な場合は大きくなったが、浄  
水池内の一部の柱において地盤が軟質の場合よりも  
硬質な場合のほうが大きくなった。

加速度は、構造物の損傷や破壊を評価する際の直  
接的な指標にはならないが、地震時応力は、浄水池  
の側壁や天井、柱等の損傷・破壊を評価する際には  
必須の評価量であり、また、地震時変位および地震  
時相対変位は、浄水池に連結された管路、浄水池と  
管路の連結部の損傷・破壊を評価する際には重要な  
評価量となる。これまでに実施した三次元動的解析  
の結果、地震時応力に関しては、浄水池の形状の変  
化部、動的剛性の変化部および浄水池内の柱部で大  
きくなることを確認することができた。地震時に側  
壁に貫通クラックが発生した場合や柱の損傷により  
天井スラブに損傷が波及した場合は、外部の地下水  
等が浄水池内に浸透・流入し、浄水が汚染されるこ  
とにより水道供給機能が停止することが想定される。  
水道施設のように、社会的重要性が非常に高いライ  
フライン施設については、大地震時の実現象を適確  
に反映し得る解析評価を行うことが必要である。今  
回の解析では、浄水池内の柱を現実には即した形でモ  
デル化し、その結果として、浄水池内の柱で大きな  
地震時応力が発生することを確認することができた。  
浄水池内の柱は、浄水池全体の地震時応答に大きな  
影響を及ぼすのみならず、浄水池の機能維持に対  
しても重大な影響を及ぼすと考えられるため、大規模  
地下浄水池の地震時応答および耐震性能を精度よく  
定量的に評価するためには、浄水池の天井、側壁、  
底盤のみならず、浄水池内の柱や耐震壁のモデル化  
が必要である。

なお、水道施設は、配水池・ポンプ場・送水管・  
水管橋等々、様々な構造物や設備によって構成され  
ているので、耐震性能照査に際しては、個々の構造  
物のみならず、構造物や管路など、連結された構造  
物間や隣接する構造物間の地震時の相互影響の定量的  
の評価が必要になると考えられる。今後の課題とし  
ては、地下浄水池と管路との地震時の相互影響等につ  
いての検討が重要であると考えている。

## 6. あとがき

近い将来に発生する可能性のある地震としては、  
首都圏直下地震、東海・東南海・南海地震等が想定  
されている。東海・東南海・南海地震が発生した場  
合には、東京、名古屋、大阪といった大都市が被災  
する可能性があり、これらの大都市は、いずれも軟  
弱な沖積地盤に位置していることから、水道施設を  
はじめとする多くのライフライン施設で複合的な地  
震災害が顕在化するものと想定される。既設の数多  
くのライフライン施設は、高経年化しており更新時  
期を迎えつつある。ライフライン施設の耐震化を進  
めるためには、安全・安心最優先にこだわりながら  
都市の防災化を進めて行くことが必要である。

## 謝 辞

プレポストプロセッサ midas FX for DIANAお  
よび解析プログラム DIANAの利用に際しては、JIP  
テクノサイエンス（株）の村上正明氏より多大なる  
ご協力とご配慮をいただきました。また、三次元動  
的解析の実施においては、（株）ユアテックの阿部  
広樹氏（研究当時、弘前大学学生）に多大なるご協  
力をいただきました。末尾ながら、記して深謝の意  
を表します。

## 参考文献

- 1) 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) 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
- 3) 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
- 4) 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

- 5) 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
- 6) 楢田泰子，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
- 7) 厚生労働省：水道の耐震化計画等策定指針，2008
- 8) 日本水道協会：水道施設耐震化の課題と方策，2008
- 9) 厚生労働省：平成 25 年度水道事業における耐震化の状況，2014
- 10) 札幌市水道局：平成 25 年度札幌の水道，2013
- 11) 札幌市：地震動及び被害の評価事業，2008
- 12) 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
- 13) 有賀義明，石川嵩，猪子敬之介，大嶽公康，成田健太郎，竹原和夫：新・旧ポンプ場間の地震時相対変位に関する三次元動的解析，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.69, No.4, I .491- I .500, 2013
- 14) 猪子敬之介，大嶽公康，成田健太郎，林川俊郎，有賀義明：地表面傾斜と新設構造物築造が既設構造物に及ぼす影響評価，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.70, No.4, I .9- I .20, 2014
- 15) 三浦千穂，有賀義明，阿部広樹，猪子敬之介：三次元動的解析による大規模地下浄水場の地震時応答の検討，土木学会第69回年次学術講演会梗概集，I -207, p.413-414, 2014

## SEISMIC RESPONSE OF LARGE UNDERGROUND PURIFICATION RESERVOIR INDUCED BY EARTHQUAKE MOTION IN THE LONG-AXIS DIRECTION

Yoshiaki ARIGA, Chiho MIURA, Keinosuke INOKO and Kazuo TAKEHARA

Water supply facility is one of the important lifelines essential to human life. So, stable maintenance of water supply function at the time of major earthquake is strongly required. Many damages occurred in regard to the water supply facilities by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, consequently, suspension of water supply lasted to a long term. And many of the existing water supply facilities were constructed in 1960s and 1970s. From such a background, we have studied on the seismic response of large underground purification reservoir by three-dimensional dynamic analysis in order to improve the accuracy and reliability of seismic performance evaluation. As a result, it has been cleared that the stresses induced by earthquake motion will concentrate around the portion of change of shape and dynamic rigidity of the structure, and the pillars within the purification reservoir.