

# 下水道処理施設における津波対策検討の事例報告

(株)三水コンサルタント

東日本事業本部

東京施設事業部

中村 宣裕

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波により、下水道施設も甚大な被害を受けたことを踏まえ、下水道施設の耐震対策指針と解説などの指針やマニュアルが改定され、耐津波対策についても併せて求められるようになった。下水道処理施設の必要な機能とは、人命の確保を第一に考え、揚水及び消毒機能を被災時において「必ず確保」し、その他の機能については、「迅速に復旧」・「早期に復旧」の防護レベルを設定し、耐津波対策を行うことが位置づけられた。本稿では、地震時に襲来する津波に対して、下水道施設の機能が持続可能となる耐津波対策（案）の検討について、H組合I浄化センターの事例をもとに報告するものである。

**Key Words** : 耐津波対策、東日本大震災、下水道施設

## 1. 耐津波対策の概要

### (1) 耐津波対策の基本的な考え方

処理場・ポンプ場施設の耐津波対策を行うためには、「最大クラスの津波」に対する「津波浸水想定」を設定する必要がある。この「津波浸水想定」は都道府県ごとに知事が公表する値を採用することが原則である。この津波対策の基本的な考え方は、表1に示す様に「最大クラスの津波」に対し「人命を守る（避難機能の確保）」及び「下水道機能の確保」を目的とし、対策を講じることである。

「人命を守る」ためには、避難場所の確保や建造物の倒壊を防ぐ対策を行う必要があり、「下水道機能の確保」については、施設内への浸水を防ぐための防水対策や、設備の耐水対策を行う必要がある。

表1 耐津波対策の基本的な考え方

| 要求機能                           |                                   | 対策                                                                                                 |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 人命を守る（避難機能の確保）                 |                                   | 建造物の崩壊を防ぐための対策                                                                                     |
|                                | 甚大な被害 <sup>注2</sup> が想定される津波高への対応 | 津波浸水想定より高い建造物の設置、高台等への避難<br>(自然地形の高台、津波避難タワー等)                                                     |
| 下水道機能の確保<br>(揚水機能・消毒機能・水処理機能等) | ハード対策                             | 重点化範囲内の対策 <sup>注1</sup><br>「耐水化」：開口部の閉塞、耐津波壁化、建造物及び設備の高所への移設、防波盛土、防護壁 等<br>「防水化」：防水扉の設置、設備機器の防水化 等 |
|                                | ソフト対策                             | 重点化範囲外の対策<br>バックアップ機能の活用、重層的補完機能の活用 等                                                              |

注1：「耐水化」と「防水化」による対応を組合せることにより、重点化範囲（区画）内のハード対策の実行性を高め、下水道機能（要求機能）を確保する。

注2：津波浸水想定（せき上げを考慮）が下水道施設内の建物よりも高く、避難が困難な場合

下水道施設の耐震対策指針と解説—2014年度一抜粋

## (2) 下水道に要求される耐津波性能

下水道地震・津波対策技術検討委員会の第4次提言によると、下水道施設に要求される耐津波性能は以下のとおり定められている。

表2 下水道施設に要求される耐津波性能

| 施設種別  | 管路施設                | ポンプ場 | 処理場          |                                      |                                      |
|-------|---------------------|------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 機能区分  | 全体機能                | 全体機能 | 全体機能         |                                      |                                      |
|       | 基本機能                | 基本機能 | 基本機能         | その他の機能                               |                                      |
|       | 逆流防止機能              | 揚水機能 | 揚水機能<br>消毒機能 | 沈殿機能<br>脱水機能                         | 左記以外                                 |
| 耐津波性能 | 被災時においても「必ず確保」<br>○ |      |              | 一時的な機能停止<br>は許容するものの<br>「迅速に復旧」<br>● | 一時的な機能停止<br>は許容するものの<br>「早期に復旧」<br>△ |

## (3) 耐津波性能に応じた防護レベルと対応策

前項の提言によると、下水道施設に要求される耐津波性能に応じた防護レベルと対応策は以下のとおり定められている。

表3 耐津波性能に応じた防護レベルと対策案

| 耐津波性能 | 必ず確保                                                              | 迅速に復旧                          | 早期に復旧 |
|-------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|
| 防護レベル | 高 ←                                                               | 中                              | → 低   |
|       | リスク回避<br>※やむを得ない場合は「リスク低減」                                        | リスク低減                          | リスク保有 |
| 対応策   | 浸水しない構造<br>(浸水高さ以上に設置又は<br>浸水高以上の防護壁により防護)<br>※やむを得ない場合は「強固な防水構造」 | 強固な防水構造<br>(防水扉 又は<br>設備等の防水化) | 浸水を許容 |

## 2. 対象施設概要と津波想定

今回対象となったH組合I浄化センターの施設概要を表4に示す。

本浄化センター建設位置は、海岸線より直線距離で約250m程離れており、津波の勢いが軽減されるような建物等も建設されていない。堤防については、海岸線に建設されているが、最大津波高(約TP+8.5m)より堤防高が低い(TP+6.4m)ため、十分な軽減効果は見込めない。

また、津波想定に関しては、平成24年度に沿岸津波浸水想定区域調査が行われており、本浄化センターについては、浸水深5.0mと想定されている。

以上の諸条件を踏まえて、耐津波対策(案)を策定する。

表4 対象施設概要

|       | I浄化センター                |
|-------|------------------------|
| 処理方式  | 標準活性汚泥法                |
| 排除方式  | 分流式                    |
| 計画汚水量 | 33766m <sup>3</sup> /日 |
| 計画地盤高 | TP+3.5m                |
| 最大津波高 | 約TP+8.5m               |
| 浸水深   | 5m                     |

### 3. 防護レベルの設定

平成24年度に行われた沿岸津波浸水想定区域調査結果によると、当該施設における津波浸水深は5.0mと想定されている。現状の施設に対し、現地及び図面の調査により浸水高レベル以下となる施設及び建屋を特定した。1階の建屋（沈砂池ポンプ棟・水処理棟）は概ね浸水し、管理棟・汚泥処理棟などの2階建以上の施設においても、1階は全浸水すると考えられる。そこで、浸水する施設について、前述記載の「耐津波性能に応じた防護レベル及び対策案」に則り、各施設の要求耐津波性能と防護レベル・対応策が把握出来る様にするため、本浄化センターの防護レベルを設定した。

表5に各施設に対する防護レベルの設定結果を示す。

表5 防護レベルの設定結果

| 項目<br>施設    | 耐津波確保 | 機能確保                                                                      | 迅速に復旧                                | 早期に復旧                                | 中期に復旧                          | 備考         |
|-------------|-------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------|
|             |       | A: 基本機能の確保                                                                | B-1: 一時的な機能停止は許容<br>(概ね1週間程度の復旧)     | B-1: 一時的な機能停止は許容<br>(概ね1ヶ月以内の復旧)     | C: 一時的な機能停止は許容<br>(概ね6ヶ月以内の復旧) |            |
|             | 防護レベル | 高                                                                         | ← 中 →                                | 低                                    | 低                              |            |
|             |       | リスク回避<br>やむを得ない場合は「リスク低減」<br>浸水しない構造<br>(浸水高さ以上に設置又は、<br>浸水高さ以上の防護壁により防護) | リスク低減-1<br>強固な防水構造<br>(防水扉又は設備等の防水化) | リスク低減-2<br>強固な防水構造<br>(防水扉又は設備等の防水化) | リスク保有<br>浸水を許容                 |            |
| 管理棟         | 土木・建築 | 人命の確保                                                                     | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | 受変電システムの確保                                                                | —                                    | —                                    | —                              |            |
| 沈砂池ブローヤ棟    | 土木・建築 | 排水機能の確保                                                                   | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
| 1系水処理施設     | 土木・建築 | —                                                                         | 電気室内流入防止                             | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | 処理機能の確保                              | —                              | 復旧が困難であるため |
| 2系水処理施設     | 土木・建築 | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
| 3系水処理施設     | 土木・建築 | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              | L2対応施設     |
| 消毒施設        | 土木・建築 | 消毒機能の確保                                                                   | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
| 汚泥処理棟       | 土木・建築 | 人命の確保・発電電気室内流入防止                                                          | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | 非常用電源の確保                                                                  | —                                    | —                                    | —                              | 復旧が困難であるため |
| 汚泥濃縮棟       | 土木・建築 | —                                                                         | 施設内流入防止                              | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
| 消化槽機械棟      | 土木・建築 | —                                                                         | 施設内流入防止                              | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
| No.1消化槽     | 土木・建築 | —                                                                         | 施設内流入防止                              | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
| No.2消化槽     | 土木・建築 | —                                                                         | 施設内流入防止                              | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
| No.1ガス貯留タンク | 土木・建築 | —                                                                         | —                                    | 浮上防止のため                              | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
| No.2ガス貯留タンク | 土木・建築 | —                                                                         | —                                    | 浮上防止のため                              | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
| 屋外燃料貯留タンク   | 土木・建築 | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 機械    | —                                                                         | —                                    | —                                    | —                              |            |
|             | 電気    | —                                                                         | 非常用電源の確保                             | —                                    | —                              | 防水対策済み     |

#### 4. 耐津波対策案

##### (1) 耐津波対策案の検討ケース

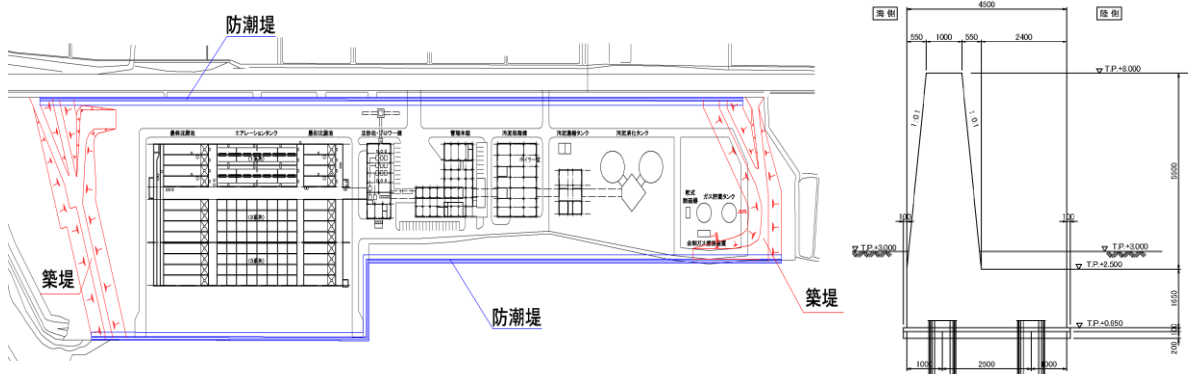
本浄化センターは、1階以下の施設が浸水すると想定される。そのため、施設内の1階以下に設置されている機械設備及び電気設備は、浸水による影響で故障となる可能性が大きいため「処理場全体を保護する案」、「大規模な移設を行う案」、もしくは「建屋ごとに対策を行う案」が必要であると考えられる。

以下に本浄化センターに考えられる3ケースについて検討し、総合的に比較を行い最適対策案を選定する。

##### ア) Case 1：処理場全体を保護する案

敷地外周に防潮機能をもつ境界壁を設置する対策案

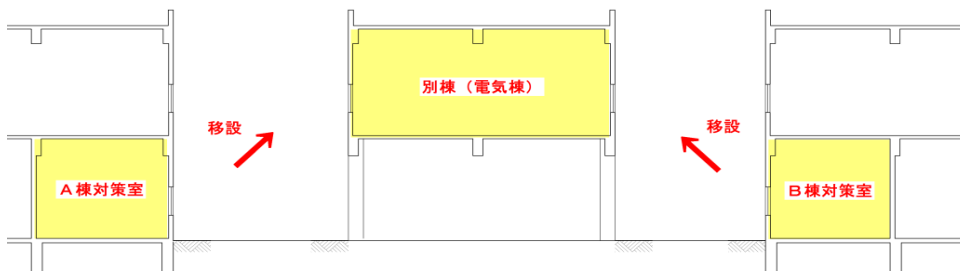
<概略図>



##### イ) Case 2：大規模な移設を行う案

別棟を新設し、各棟の対策室をそこへ移設する対策案

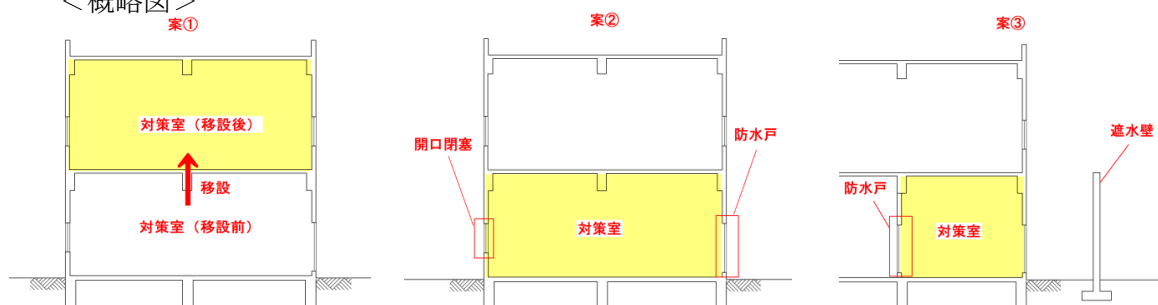
<概略図>



##### ウ) Case 3：建屋ごとに対策を行う案

各建屋ごとに浸水対策を行う対策案

<概略図>



## (2) 津波対策室の抽出 (Case 2、3のみ対象)

前述「防護レベルの設定」より対策が必要な施設について、浸水深5.0mにおける各建屋の浸水状況及び浸水対策が必要となる室(津波対策室)を以下に示す。なお、「人命の確保」については、下水道BCP計画に設定されているため、避難場所に避難することを前提とし、事務室等の居室に関しては、対策を行う室に含めないものとした。

表6に津波対策室の判定結果を示す。

表6 津波対策室の判定結果

| 施設名称                            |           | 構造                | 浸水対策が必要な室・代表FL |                  | 浸水深との高低差(m)     | 浸水対策 | 備考 |
|---------------------------------|-----------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|------|----|
|                                 |           |                   | 室名称            | FL(m)            | (浸水深レベル)        |      |    |
| I<br>浄<br>化<br>セ<br>ン<br>タ<br>ー | 管理棟       | 地下1階 地上2階<br>塔屋1階 | 1F 電気室         | GL+0.45          | 2FLより+0.2       | 要    |    |
|                                 |           |                   | 2F 中央監視室       | GL+4.8           |                 |      |    |
|                                 |           |                   | 電算機室           |                  |                 |      |    |
|                                 | 汚泥処理棟     | 地下1階 地上2階<br>塔屋1階 | 1F 電気室         | GL+0.3           | 2FLより-0.25      | 要    |    |
|                                 |           |                   | 発電機室           |                  |                 |      |    |
|                                 |           |                   |                |                  |                 |      |    |
|                                 | 沈砂池ブローワー棟 | 地下3階 地上1階<br>塔屋1階 | 1F 電気室         | GL+0.3           | 屋上パラペット天端より+0.2 | 要    |    |
|                                 | 汚泥濃縮棟     | 地下1階 地上1階         | -              | GL+0.6 (1FL)     | 屋上パラペット天端より-2.7 | 不要   |    |
|                                 | 消化槽機械棟    | 地下1階 地上5階         | -              | GL+0.8 (1FL)     | 2FLより-0.6       | 不要   |    |
|                                 | 水処理施設     | 地下1階 地上1階         | 1F 次亜塩注入機室     | GL+1.85          | 屋上パラペット天端より-2.0 | 要    |    |
| 地下1階 地上1階                       |           | 電気室               | GL+2.0         | 屋上パラペット天端より-0.75 |                 |      |    |
| 管廊                              | 地下1階      | B1F 管廊            | GL-4.7         | -                | 不要              |      |    |

※上表にて記載のない室については、浸水しても処理機能に支障はないため、浸水対策は行わないものとする。

## (3) 躯体の耐津波補強について (Case 3のみ対象)

津波対策室においては、対策案として開口閉塞及び防水扉の設置などの対策を行うこととする。この対策案では躯体自身が津波により倒壊・崩落しないという条件で実施しなければならない。そこで津波の波力に対する構造体の耐力検討を行う。

## ア) 津波波圧の考え方

津波波圧の設定については、「下水道施設の耐震対策指針と解説—2014年版—」より、以下の式を用いることとする。

$$q_z = p g (ah - Z)$$

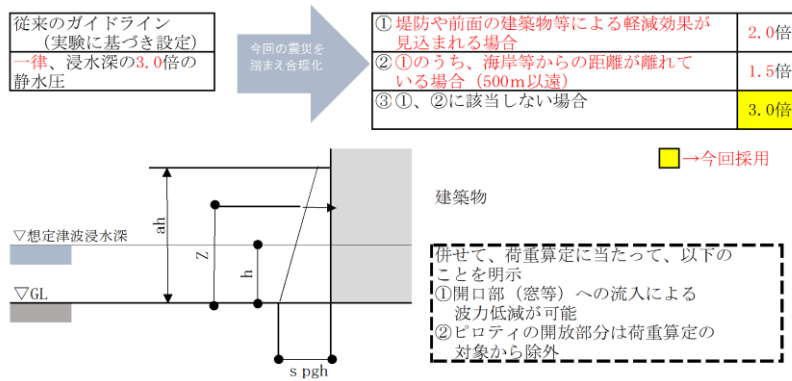
$q_z$  : 構造設計用の進行方向の津波波圧

$p$  : 水の体積単位重量

$h$  : 想定津波浸水深 (津波浸水想定原則)

$z$  : 当該部分の地盤面からの高さ ( $0 \leq z \leq 3h$ )

$a$  : 水深係数



## イ) 波力における検討

本浄化センターについては、周辺の状況により軽減効果が見込めない。そのため、検討においては津波の荷重を浸水深の3倍とする。計算結果は、対策対象である管理棟・汚泥処理棟・沈砂池ブローワー棟・水処理施設（次亜塩素室・電気室）の全ての施設で NG の結果となった。このことから、津波対策を実施する上で、躯体の補強が必要であることが判明した。

## (4) 耐津波対策案についての検討結果

### 1) 各 Case の検討結果

各 Case における検討結果を以下に示す。

#### < Case 1 >

- ・施設全体を囲むため、災害時 I 浄化センター内の施設は被災しない。しかし、施工規模が大きく工事費が 2,010 百万円と膨大となる。
- ・被災後の本復旧に時間がかからず、復旧費用も不要となる。
- ・施設全体を囲むため、景観上の課題はあるが、施設内対策を講じないため、日々の維持管理に影響を及ぼさない。

#### < Case 2 >

- ・設備の移設費が発生するため、工事費が 3,923 百万円と膨大となる。（設備の移設費については、長寿命化計画に合わせて移設を実施することにより、費用の軽減が見込まれるが、対策が完了するまで長期間を要する。）
- ・対策対象の室以外の施設に被害が出るため、本復旧に時間と費用を要する。
- ・維持管理性については、対策対象の室の移設のみであるため、大きな変更はない。

#### < Case 3 >

- ・施工規模が小さいため、工事費が 280 百万円となる。
- ・対策対象の室以外の施設に被害が出るため、本復旧に時間と費用を要する。
- ・防水扉の設置・開口閉塞などの対策を行うため、維持管理に影響を与える。
- ・構造体が津波の波力に対し十分な耐力を有していないため、補強が必要となる。

## 2) 経済比較結果

耐津波対策案 3 ケースにおける経済比較結果を表 7 に示す。

表 7 3 ケースの経済比較結果

|               |                          | Case 1                                      |           | Case 2              |           | Case 3                          |                     |        |        |
|---------------|--------------------------|---------------------------------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------------------|---------------------|--------|--------|
|               |                          | 評価                                          | 考察        | 評価                  | 考察        | 評価                              | 考察                  |        |        |
| 概要            |                          | 敷地外周に防潮機能をもつ境界壁(h=5m)を設置                    |           | 別棟を新設し、各棟の対策室をそこへ移設 |           | 各建屋ごとに浸水対策を行う<br>(開口閉塞・防水扉の設置等) |                     |        |        |
| 土木・建築工事       | 直接工事費<br>(千円)            | △                                           | 1,158,000 | △                   | 423,000   | ○                               | 棟名                  | 浸水対策費  | 耐津波補強費 |
|               | 工事費<br>(千円)<br>(経費・消費税込) | △                                           | 2,010,000 | ○                   | 643,000   |                                 | 管理棟                 | 6,000  | 32,000 |
|               |                          |                                             |           |                     |           |                                 | 汚泥処理                | 8,000  | 49,000 |
|               |                          |                                             |           |                     |           |                                 | 沈砂ブロー機              | 11,000 | 25,000 |
| 次亜塩素室         |                          |                                             |           |                     |           |                                 | 6,000               | 9,000  |        |
| 電気室           | 7,000                    | 12,000                                      |           |                     |           |                                 |                     |        |        |
| 合計            |                          | 38,000                                      | 127,000   |                     |           |                                 |                     |        |        |
|               | 防水扉更新費用<br>(千円)          | ○                                           | -         | ○                   | -         | △                               | (5,000千円×6台)＝30,000 |        |        |
| その他           | 機器移設費用<br>(千円)           | ○                                           | -         | △                   | 3,280,000 | ○                               | -                   |        |        |
| 工事費合計<br>(千円) |                          | △                                           | 2,010,000 | △                   | 3,923,000 | ○                               | 280,000             |        |        |
| 総合評価          |                          | ◎                                           |           | △                   |           | ○                               |                     |        |        |
|               |                          | 維持管理性に優れ、災害時の復旧に費用も時間もほとんどかからないCase 1を推奨する。 |           |                     |           |                                 |                     |        |        |

## 3) 考察

今回、5 mの浸水深に対する耐津波対策案を策定した。このような高い津波に対しての対策を現状の施設に実施する場合、大規模な改築が必要になる結果となった。本検討では、最終的な対策案として、以下の理由から Case 1 を推奨する結果となったが、今回提案した 3 ケースについては、一長一短であり、立地条件や津波条件などの各条件によって異なる結果が得られると感じた。

Case 1 は施設全体を囲むため、津波対策の工事費が膨大となるが、本復旧に費用・時間がかからない。

Case 2 は機器移設費が高価で全体の工事費が膨大となり、本復旧にも時間と費用を要する。また、長寿命化に併せて施工する場合は、工事期間が長期間となり、津波対策として十分な効果を得られない。

Case 3 は、他のケースに比べ経済的であるが、Case 2 と同様に本復旧に時間と費用を要する。また、現状の構造物では津波に対して十分な耐力がないため、躯体の補強が必要となる。

## 5. 今後の課題

今回の業務において、現在の指針や基準では、5 mの浸水深の津波に対して、下水道施設だけで速やかに必要十分な対策(Case 1、2)を行うことは費用面において大きな負担となること、また Case 3 のような開口閉塞や防水扉の設置等の対策は、日常の維持管理に少なからず支障を来すこと恐れがある。このことから、下水道施設の津波対策は下水道施設単独で対応するのではなく、防波堤の整備等の他事業と協調した総合的な対策検討が必要であると考える。