

仙台市南蒲生浄化センター新水処理施設検討委員会

報 告 書
— 概 要 版 —

平成28年10月

目 次

1	浄化センター概要	1
2	工事工程	4
3	構造物の沈下状況	5
4	設計時の考え方	6
5	施工時の考え方	8
6	地質調査	13
7	沈下量予測	17
8	沈下要因について	22
9	沈下による影響と対策案の検討	25
10	再発防止に向けて	34

【委員会の趣旨】

仙台市南蒲生浄化センターは、仙台市中心部を含む計画処理人口約 70 万人の国内有数の大規模な下水処理場であるが、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本太平洋沖地震と大津波により、一瞬にして壊滅的な被害を受け、処理機能の大半を失った。

このような緊急事態を受け、仙台市では速やかに水処理施設の応急復旧工事に着手しつつ、同年 5 月には本復旧工事に向けて、復旧方針及び施設プランを立案するための基本設計業務に着手している。

なお、基本設計では、複数の施設プランを掲げ、仙台市が設置した「南蒲生浄化センター復旧方針検討委員会」（全 4 回）を通じ、有識者の意見を聴くとともに、専門的事項について検討を加え、同年 9 月の最終委員会において、被災した水処理施設を一度に作り替えるという現在の施設プランが採用されている。この内容は、「南蒲生浄化センター復旧方針に係る提言書」として公表されている。

このような国内有数の大規模な下水処理施設の災害復旧事業は、前例のない極めて特殊なものであったが、提言書に示された施設プランに基づき、工事発注のための詳細設計を進め、同年 12 月に実施された国の災害査定を受け、翌年の平成 24 年 7 月末には工事着手に至っている。

この後、平成 27 年 11 月に一部供用開始（2 系のみ）が予定されていたことから、急ピッチで施工を進めてきたが、同年 9 月に実施した 2 系水処理施設への水張り試験直後より、構造物が急激に沈下し、施設ごとに沈下傾向が異なる不同沈下現象が確認された。

このような事態を受け、沈下現象の要因・原因を究明し、対策案等の専門的事項について検討することを目的として、有識者で構成される「仙台市南蒲生浄化センター新水処理施設検討委員会」の起ち上げに至っている。

【審議内容】

本委員会での主な審議内容は下記のとおり。

- (1) 施設設計時における地盤評価、基礎選定方式等に関する事項
- (2) 施設施工時における施工管理上の品質項目等に関する事項
- (3) 事前調査、追加調査等から類推される沈下の要因等に関する事項
- (4) 沈下対策案等に関する事項
- (5) その他必要な事項

【委員会実施内容】

回	実施時期/場所	内 容
第 1 回	平成 28 年 4 月 20 日 南蒲生浄化センター	・ 目的、規約、委員紹介等 ・ 現場視察 ・ 現在の沈下状況、地質状況の報告 ・ 設計・施工の考え方の報告
第 2 回	平成 28 年 7 月 22 日 日本下水道事業団	・ 前回委員会での検討事項報告 ・ 今回の地質調査結果の報告 ・ 沈下量の予測結果の報告 ・ 沈下による影響検討の結果報告
第 3 回	平成 28 年 10 月 20 日 日本下水道事業団	・ 前回委員会での検討事項報告 ・ 沈下要因及び対策案について ・ 報告書のまとめ ・ その他

【委員名簿】

	組 織	役 職	氏 名	備 考
委員長	早稲田大学	理工学術院 教授	赤木 寛一	土質力学・環境 地盤工学
委員	東北大学	大学院工学研究科 土木工学専攻 教授	風間 基樹	地盤工学・地震 工学
委員	国土技術政策総合研究所	下水道研究部長	榊原 隆	下水道
委員	日本下水道事業団	理事(技術戦略及び東日本担当)	松浦 将行	

1 浄化センター概要

1.1 計画概要

仙台市南蒲生浄化センターは、仙台市中心部を含む計画処理人口約 70 万人であり、100 万都市仙台の約 7 割の人口を対象とした国内有数の大規模な下水処理場である。残りの約 3 割の人口に対しては、広瀬川浄化センター、秋保温泉浄化センター、上谷刈浄化センター及び定義浄化センターの 4 箇所の単独公共下水道と、仙塩流域下水道及び阿武隈川下流流域下水道で処理されている。

南蒲生浄化センターは、昭和 39 年 10 月に沈殿方式による簡易処理を、昭和 54 年 4 月から高級処理を開始している。概要は以下のとおり。

- ・ 計画処理面積：10,700ha
- ・ 計画処理人口：715,192 人
- ・ 排除方式：分流式（一部合流式）
- ・ 処理能力：398,900m³/晴天時日最大
- ・ 処理方式：標準活性汚泥法
- ・ 計画放流水質：BOD15mg/ℓ SS30 mg/ℓ



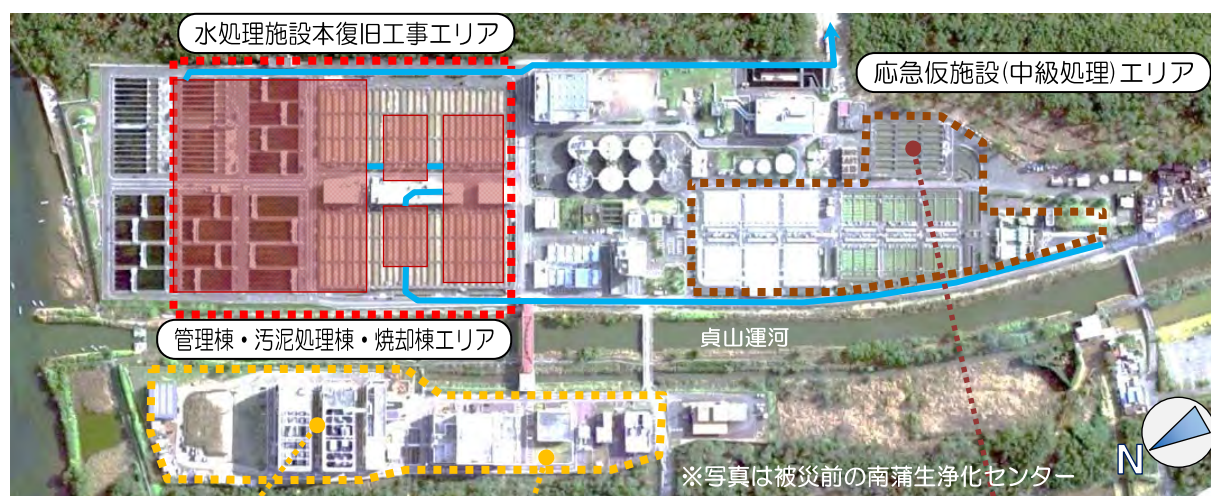
図 1.1 計画平面図

1.2 施設概要

下表に示すとおり、被災後は既存の前曝気槽及び最初沈殿池を「応急仮施設（中級処理施設）」（現在は運転停止）として改造し、日々流下してくる汚水処理を行いながら、既存反応タンク及び最終沈殿池部分を「水処理施設本復旧エリア」として、既存施設解体から新施設築造を行ってきた。

表 1.1 施設新旧比較表

	震災前(旧施設)	震災後(新施設)
1) 流入渠	流入渠	流入渠
2) 前曝気槽		中級処理:反応タンク(接触酸化法)
3) 沈砂池		
4) 最初沈殿池		中級処理:最終沈殿池
5) ポンプ施設		
6) 反応タンク		高級処理:新水処理施設 (初沈、反応タンク、終沈、沈砂池棟、ポンプ棟)
7) 最終沈殿池		
8) 消毒施設		消毒施設



焼却棟



用水棟・管理棟



中級処理施設
(現在は運転停止)

図 1.2 施設平面図

1.3 施設詳細

1) 沈砂池棟

鉄筋コンクリート造 地上 2 階 地下 2 階 塔屋 1 階

建築面積 1,411.71 m² 延べ床面積 3,514.71 m²

2) 最初沈殿池

幅 52.0m×長 76.0m×深 13.2m（上屋部H=11.2m）×2 系列

25,000m³/日最大汚水量×8 槽×2 系列

3) ポンプ送風棟

鉄筋コンクリート造 地上 2 階 地下 3 階 塔屋 1 階

建築面積 2,270.14 m² 延べ床面積 5,984.41 m²

4) 反応タンク

幅 92.2m×長 82.2m×深 13.3m×2 系列

25,000m³/日最大汚水量×8 槽×2 系列

5) 最終沈殿池

幅 92.2m×長 83.9m×深 14.5m×2 系列

12,500m³/日最大汚水量×16 槽×2 系列

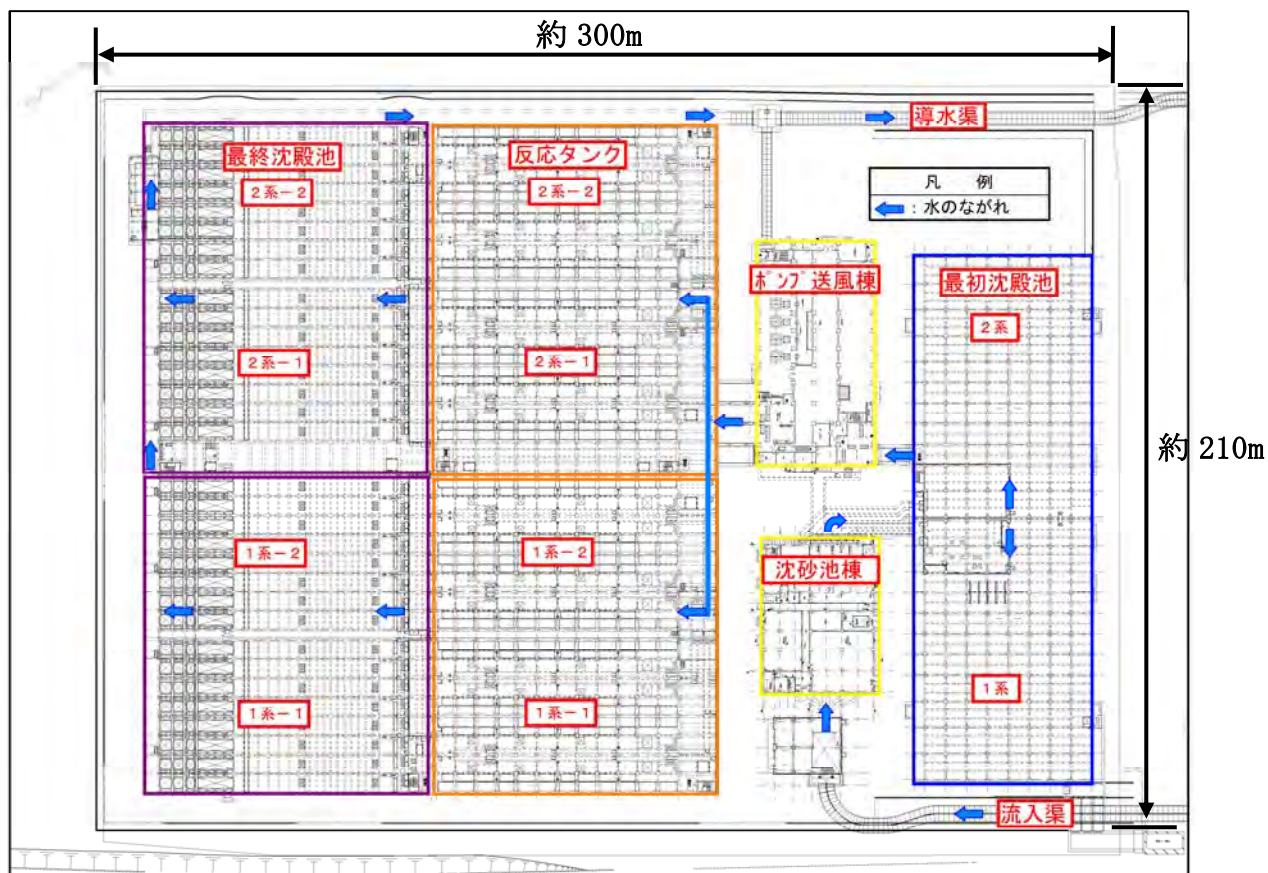


図 1.3 新水処理施設一般平面図

2 工事工程

工事工程は下表のとおり。

被災した既存施設の解体工事を平成 24 年 9 月頃完了し、新水処理施設の建設に本格着手した。着手後約半年で土留めやディープウェル等の仮設工事や地盤改良工事を実施し、以降約 2 年で躯体工事、約半年でプラント工事（工程重複あり）を実施し、日最大 40 万 m³ の処理施設を築造してきた。約 2 年間で打設した生コンクリート量は 20 万 m³ にも及び、ダム工事現場にも匹敵する規模であった。

表 2.1 工事工程表

施工時期概略表

		2012年 (平成24年)			2013年 (平成25年)												2014年 (平成26年)												2015年 (平成27年)												2016年 (平成28年)			備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
施設・工程		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
鋼矢板打設		(既存施設解体)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

3 構造物の沈下状況

平成 26 年 4 月 23 日より継続的な沈下測定（計測位置：8 箇所）を行っており、平成 28 年 1 月からは測定位置を 166 箇所を増やし、2 週間ごとに測定を行っている。

今回の沈下測定結果は第 7 章の沈下予測との整合を図り、平成 28 年 8 月 5 日を最新測定結果として整理した。

なお、計測開始した時点で沈下が進行しているため、正確な沈下量は不明である。

また、以降で報告する沈下量については、構造物の設計値と計測値の差であることに留意する必要がある。このように沈下量を設定しているため、「沈下量」には構造物の出来形の誤差も含まれている。

① 全体の沈下傾向

各構造物における 2 週間ごとの沈下量の平均値を以下に示す。

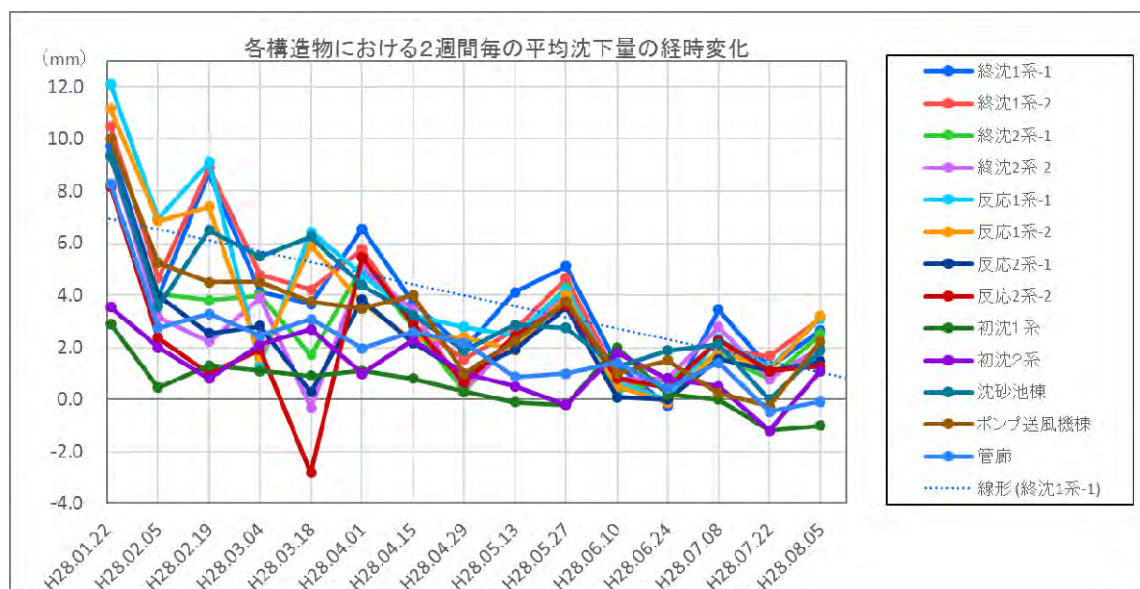


図 3.1 各構造物における 2 週間ごとの沈下量の平均値

図 3.1は詳細計測を開始した平成 28 年 1 月から各構造物の構造物コンクリート天端で計測した平均沈下量を 2 週間ごとに示したものである。

図 3.1のとおり各構造物は概ね右下がりの傾向を示しており、全体的には沈下が終息している傾向を示している。

② 全測定箇所の沈下量

2 系最終沈殿池の北側の測定位置において、平成 28 年 5 月 27 日の測定で沈下量（設計差）が 200mm を超え、最新値でも終息傾向ではあるが沈下は継続している状況である。

期間①及び期間②（※注 1 参照）の変化量を比べると、期間②は計測期間が長い

にもかかわらず沈下量が小さくなっていることが分かる。躯体の沈下量を単純平均すると、期間①の平均沈下量は 27.0mm (-4.7mm/2 週間)、期間②の平均沈下量は 14.9mm (-1.7mm/2 週間) となる。

※注 1

期間①：[平成 28 年 1 月 11 日 ～ 4 月 1 日 (81 日間)]・・・図 3.4 参照

期間②：[平成 28 年 4 月 1 日 ～ 8 月 5 日 (126 日間)]・・・図 3.5 参照

(第 2 回委員会時は、期間②：平成 28 年 4 月 1 日 ～ 6 月 24 日 (84 日間))

4 設計時の考え方

4.1 準拠指針

新水処理施設は、平成 23 年度の設計であるため、各構造物の設計検討に当たっては、「構造物設計指針 平成 19 年 4 月」(日本下水道事業団)(以下、「H19JS 指針」)に準拠していた。

4.2 設計段階における支持地盤の評価

4.2.1 支持層の設定根拠

1) 支持層及び基礎形式の選定結果

新水処理施設の支持層及び基礎形式は下記のとおり。

- ・ 基礎形式・・・直接基礎 (+地盤改良)
- ・ 支持層・・・As2 層 (N 値 30 程度が 5m 以上あること)

2) 支持層及び基礎形式の選定理由

震災後に実施した平成 23 年度の地質調査結果(水処理ゾーンの No. 1～9)を踏まえ、「H19JS 指針」による基礎設計フローに基づき、下記理由により選定していた。

【支持層の設定】

水処理施設の各施設の底盤位置は As2 層にあり、N 値は 20～30 程度を示し、かつ層厚 5m 以上を確保可能であることを確認し、これを直接基礎の支持層(*良質な地盤として評価)としていた。

【既存施設の支持層】

水処理施設側にある既存施設の支持地盤は As2・As3 層を支持層とした実績が多数あり、当該土層を支持層とする判断材料の一つとしていた。

【液状化判定】

液状化検討(L1)において、支持層及びその下層の土質低減係数 D_{E1} が 1.0 以上確保されていることを確認していた。

【許容支持力・滑動・転倒】

地盤の許容支持力は、構造物重量に対して十分に余裕があり、かつ転倒・滑動に対しても十分に安全であることを確認していた。

【許容沈下量】

各施設の即時沈下量は許容値 10cm 以内であることを確認していた。

なお、粘性土層「Dc1 層」は、既往の地質調査での定義に加え、強度特性から、「洪積層」と評価し、「H19JS 指針」に準じ、圧密沈下は「一般に、無視し得るもの」と判断していた。

【結論】

以上より、「H19JS 指針」の「直接基礎」の採用条件を満たしていることを確認し、また既存の構造物の基礎条件等を踏まえて、今回の水処理施設の基礎形式は「直接基礎」を採用していた。

ただし、N 値 30 程度の土層に躯体底盤が到達していない部分は「地盤改良」を行うこととしていた。

4.2.2 粘性土層の評価

設計では、As 層（砂層）下部にある粘性土層「Dc1 層」について、既往資料・出現深度・強度特性から、総合的に勘案して、「洪積粘性土層」として判断し、洪積粘性土層の圧密沈下は一般に無視しうるとの記載がある「H19JS 指針」が適用可能であるものとしていた。

また、改めて今回の地質調査結果等を踏まえて再評価を行った結果、強度特性としては慎重な判断が求められるものの、近傍での地層評価や洪積粘性土との性状比較を踏まえると、当該粘性土層を「洪積粘性土層」とした設計時の判断が完全に否定されるものではないと考えられる。

4.3 地盤支持力

各施設の底盤位置の土質条件より、地盤の許容支持力を算定し、接地圧以上の強度が期待できることを確認していた。

4.4 沈下量

設計では「H19JS 指針」に準じ、粘性土層「Dc1 層」は洪積層であるという判断から、即時沈下のみを対象に検討を行っており、各施設の即時沈下量は許容値 10cm 以内であることを確認していた。

4.5 地盤改良の選定

良好な地盤と判断できる N 値 30 程度が連続する地盤に支持できない部分について、地盤改良を採用していた。改良方法は、浅層混合（バックホウ混合）とし、セメント混合量は 100kg/m^3 とし、既設躯体下部にある既設杭は残置としていた。これは、既設杭撤去によって土質が乱れ、原地盤の支持力低下が懸念されたためである。

5 施工時の考え方

5.1 設計照査

施工着手前、施工途中における設計照査は、土木工事一般仕様書 土木工事必携（平成 24 年度版）及び工事請負契約書に準拠し、設計図書の誤謬や現場条件との不一致等の他、設計条件、施工上の基本条件、基本設計検討書の精査、設計計算書のインプット条件、アウトプット及びこれらの計算結果が設計図書へ的確に反映されているかを主に確認していた。

c) 各施設における支持地盤と許容支持力の確認

砂質土層 As2、As3 を支持地盤としており、いずれの施設においても許容支持力 q_a が十分大きいことを確認していた。

d) 地質調査報告書と設計条件について

1) 地質調査報告書と設計条件の整合性

構造計算に関する地盤の設計条件は、地質調査報告書の内容が反映されており適切であることを確認していた。

2) 支持層の選定

本構造物が支持層としている砂質土層 As2、As3 は概ね 30 程度の N 値を有しており、かつレベル 1 地震動における液状化判定による土質低減係数 D_{el} が 1 以上であるため、設計が準拠している「H19JS 指針」の直接基礎の支持層としての条件を満足していると判断していた。

3) 地層の評価

新設の水処理施設は、周囲を止水用の土留め鋼矢板にて締め切るため、不透水層である粘性土層「Dc1 層」への確実な根入れが肝要であるため、「Dc1 層」の出現位置に着目していた。今回の新設水処理施設のために新規に調査されたボーリング数は 10 本で、調査間隔は約 100m となっている。このうち「Dc1 層」まで調査されているボーリング数は 3 本のみと少ない。

しかしながら、既往の調査ボーリングが多数存在していること、海岸沿い平野

部の立地であることも加味し、局所的な地盤変化はないと経験から判断し、地層構成、地質を評価するには適切であると判断していた。

また、支持層である砂質土層は新規ボーリングの値を用いており、地震後の地盤を適切に評価されていると考え、追加のボーリングは不要と判断していた。

なお、「Dc1 層」については、基本設計検討書及び「H19JS 指針」を確認し、「一般に、洪積層の沈下は無視し得るものと考えられている」とあるため、洪積層の粘性土層は圧密沈下しないと判断していた。

4) 沈下の検討

支持地盤の砂層は N 値 30 程度としており、N 値が若干小さい層において地盤改良を施すことは妥当な判断であることを確認し、また支持地盤である砂質層の弾性変形による即時沈下量の検討を確認し、構造物の出来形管理上、留意することとしていた。このとき、洪積層の粘性土層は圧密沈下しないと判断し、圧密沈下の検討には至らなかった。

e) 現時点での評価

施工者としての設計照査において、沈下については問題ないと判断していたが、周辺他工事の情報収集・分析や追加ボーリング調査、設計への詳細ヒアリング実施等、地盤特性について慎重かつ詳細な照査を行っていれば沈下対策の検討も可能であったと思われる。

5.2 水替え工

5.2.1 施工方法の変更

設計では釜場排水工を計画しており、仮設鋼矢板内の各所に水中ポンプを設置し地下水を排水するものであったが、現場状況を踏まえ、ウルトラディープ工法に変更している。

5.2.2 工法変更による沈下への影響

a) 工法変更時の考え

設計照査の段階では、粘性土層「Dc1 層」は洪積層であるため圧密沈下は発生しないと判断し、「Dc1 層」に掛かる荷重や圧密降伏応力に対する検討は行っていなかった。浄化センターで使用している井戸への影響等を考慮し、外周に観測井を設置して周辺地下水への配慮を行っていた。

b) 現時点での評価

ディープウェル工法は、仮設鋼矢板内の地下水を全体的に低下させるが、結果的には釜場排水工と比較しても大きな水位差はなかったと考えられる。ただし、この

時点で「Dc1 層」の圧密沈下の可能性が想定できていた場合、仮設止水鋼矢板内への観測井の設置により、水位と揚水量を詳細に管理すること、水位と沈下の挙動から完成時に必要と考えられる対策を予め検討することが可能になったと思われる。

5.3 平板載荷試験

平板載荷試験は、支持地盤(砂質土)の地耐力を確認するため、EXP.J で区分された構造物ごとに 1 箇所を選定し、計 12 箇所を実施した。試験の結果、すべての実施箇所において、設計地耐力が確保されていることを確認した。

5.4 地盤改良工

5.4.1 施工方法の変更

設計では、地盤改良の施工方法は、バックホウ混合改良を計画し、既存施設の基礎杭が新設構造物の支障となる箇所は切断撤去することとし、それ以外は地中に残置することとしていた。現場では、施工性を踏まえ、基礎杭を全撤去し、更に基礎杭の撤去範囲はすべて地盤改良を行うこととしている。これにより、改良深度が深くなり、設計で採用したバックホウ混合は適用できず、現地の施工条件に適した浅層・中層混合改良工法である「パワーブレンダー工法」を採用した。

5.4.2 工法変更による沈下への影響

a) 工法変更時の考え

設計照査の段階では、粘性土層「Dc1 層」は洪積層であり圧密沈下は発生しないと判断し、地盤改良工法の変更による「Dc1 層」への影響を検討していなかった。

また、地盤改良深度が深くなったが、支持層としている砂層が一様に連続しており、N 値に大きな変化が見られないことから、問題ないと判断していた。

b) 現時点での評価

工法変更により、室内配合試験に基づく固化材の添加量が設計よりも $10\text{kg}/\text{m}^3$ 増加し、改良部の単位体積重量が約 2.4%増加した。全体への影響は僅かであるものの、重量増加の影響を事前に検討する必要があると考えられる。

また、最終沈殿池では平板載荷試験において、設計深度で支持力が確認できなかったが、地震による影響を受けた地盤であることに配慮すれば、追加ボーリングを行う必要があると考えられる。

5.5 仮設斜路設置工

5.5.1 施工方法の変更

設計では、構造物の構築を行うため、仮設栈橋が計画されていた。仮設栈橋は、

鋼製部材を用いて組立て覆工板を設置する形式であり、躯体の構築と栈橋の解体を繰り返しながら施工を進める計画であった。栈橋解体後は、躯体外周の盛土が完了するまで TP+10.4m への進入はできないため、先行して構築が完了した反応タンク・最終沈殿池の 2 系側から進入するための盛土による仮設斜路を造成した。

5.5.2 工法変更による沈下への影響

a) 工法変更時の考え

設計照査の段階では、粘性土層「Dc1 層」は洪積層であるため圧密沈下は発生しないと判断し、仮設斜路の追加造成による Dc1 層への影響を検討していなかった。

斜路による盛土荷重は、最終的な擁壁盛土高さと同程度であることから、問題ないと判断していた。

b) 現時点での評価

地下水の回復を確認していない状態で盛土荷重を加えたことは、現時点の局所的な不同沈下の一つの要因となった可能性はあるが、三次元 FEM による解析を行った結果、斜路の影響で最終的な沈下量を増加させるものではないことは確認済である。ただし、斜路による影響検討は、工法変更時に事前検討しておく必要があったと考えられる。

5.6 施工時の対応

5.6.1 急激な沈下が認められるまで

本工事は平成 25 年 5 月に最初の底盤を打設して本格的に躯体の構築が開始され、平成 27 年 5 月までの約 2 年間で 20 万 m^3 に及ぶコンクリート打設を行ってきた。

その後、平成 26 年 3 月の既済検査(累計コンクリート打設量は約 10 万 m^3)において出来形を確認したところ、総じて構造物の高さが低く、10mm 程度沈下している傾向がみられた。

本構造物の支持層は、東日本大震災の影響を受けている地盤であり、地震以降、地盤（プレート）の変動が起こっている地域であること、また構造物の築造に伴う荷重増加に起因する即時沈下の可能性が想定されること等から、継続的な沈下計測を行うこととし、平成 26 年 4 月 23 日より 8 箇所の計測を開始していた。

平成 27 年 9 月に第 2 系列水槽への水張りを開始する前の時点では、施工直後の出来形測定値から、30mm 程度の沈下が確認されていたが、この段階では想定された即時沈下量程度であったため、支持層である砂層の弾性変形であると判断していた。

また反応タンク 1 系及び最終沈殿池 1 系は、水槽への注水開始時期が 2 系側より約 4 ヶ月遅い、平成 28 年 1 月と予定されていたが、平成 27 年 5 月末にはすべての上床版コンクリート打設が完了しており、平成 27 年 9 月の 2 系側水張り前の時点では、著しい沈下は確認されていなかった。

5.6.2 急激な沈下が認められた後

平成 27 年 9 月に 2 系水処理施設への水張りを開始した直後から急激な沈下（2 週間で 1mm 未満→同 5mm 以上）が計測され、平成 27 年 11 月の運転開始後に最終沈殿池への均等流入ができないとの報告が浄化センターよりあった。

平成 27 年 12 月 9 日に 2 系最終沈殿池における越流堰を測量したところ、水張り前の測定値に比べて 40mm～70mm 程度沈下していることを確認していた。

このような大きな沈下現象を受けて、平成 27 年 12 月に現状の把握と原因の推定、今後の調査方法に関する検討等を開始し、平成 28 年 1 月には施工者内に沈下検討委員会を発足させ、本格的な原因分析と対応策の検討に入った。

a) 現場実施事項

- ① 追加ボーリングの計画と実施：5 箇所
 - ・ 機械ボーリング、標準貫入試験、試料採取
- ② 室内土質試験の計画と実施
 - 【試験項目】
 - ・ 土粒子の密度試験 ・ 含水比試験 ・ 粒度試験
 - ・ 液性限界・塑性限界試験 ・ 湿潤密度試験 ・ 三軸圧縮(UU)試験
 - ・ 圧密試験 ・ 長期圧密試験 ・ 繰返し圧密試験
 - ・ 定ひずみ速度載荷による圧密試験
- ③ 調査観測点の大幅な追加（平成 28 年 1 月から 2 週間ごとに計測を実施）
 - ・ 沈下計測点：当初の 8 箇所から 166 箇所に測点を増加
 - ・ EXP. J の開き・縮みと段差測定：84 箇所
 - ・ 層別沈下計の設置と計測：2 箇所
 - ・ 沈下板の設置と計測
 - ： 流入渠 3 箇所、放流渠 5 箇所、緊急放流渠 2 箇所、外周盛土部 2 箇所
- ④ 既施工の地盤改良の品質検証(改良地盤直下の緩みを試験施工にて調査)
- ⑤ 1 系側反応タンク、最終沈殿池の水張り順序検討と実施
- ⑥ 仮設鋼矢板内の地下水回復状況の調査
- ⑦ 躯体の傾きを抑制するため、周辺盛土の盤下げ(1m 程度)
- ⑧ 運転管理による調整(ゲート開閉調節、流入水路の水量調整等)

上記については、関係者と情報共有し、調査、検討、協議を継続してきた。

6.1.1 地質柱狀圖・断面図

次頁に、実施設計時の地質断面図（③-③）を示す。

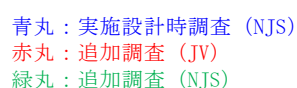


図 6.1 地質調査箇所図

6.1.2 地質の評価

a) 砂層について

- ① 平成 23 年度の設計時に「As3 層」と「Dc1 層」の境界付近に一部 N 値の小さな細粒分を混入する地層を確認し、この地層を「Dc1-s 層」に区分していたが、今回調査ではその地層が確認されていない。よって、これは「As3 層」から「Dc1 層」に漸移する粘性土分を混入する砂質土と判断し、今回の調査により本層を「As3 層」に区分した。
- ② 平成 23 年度の設計時には確認されていなかったが、今回の調査では「As3 層」の下位に明らかに N 値の大きな砂質土が部分的に確認されたため、本層を新たに「As4 層」に区分した。
- ③ 「Dc1 層」に狭在したかたちで明瞭な砂質土が確認されたため、本層を「Dc1-s」に区分した。

b) 粘性土層「Dc1 層」について

平成 23 年度の設計時の 3 箇所のみで確認された Dc1 層は、今回の 9 か所の調査によって、地質特性に違いが見られたことから、上部層、中部層、下部層の 3 層に大別した。

6.2 Dc1 層の分布

沈下が顕在化した後の地質調査では、洪積粘性土層「Dc1 層」の分布状況を整理し、以下のような考察が得られた。

- ・ Dc1 層の出現深度は、上端標高は TP-18.96～-17.29m(差 1.67m)、下端標高は TP -30.12～-27.59m(差 2.53m)であり、調査面積から考えると多少の凹凸はあるもののほぼ水平に堆積していると判断される。
- ・ 構造物の影響の有無による分布変化については顕著な違いはみられない。
- ・ 「Dc1 層」の層厚（中間の Dc1-s 層は含めない）は、TP +7.60～+11.90m(差 4.30m)であり、層厚にはばらつきがあることが判明した。

6.3 室内土質試験（沈下が顕在化した後の地質調査）

沈下が顕在化した後の地質調査にて実施した「段階載荷による圧密試験（JIS A 1217）」によると、圧密降伏応力 P_c は同じ地層でもばらつきが見られるものの、現況地盤に対する有効土被り圧よりも大きい状況（正規圧密～やや過圧密）にあったと考えられる。

ただし、盛土等による上載荷重の増加によっては圧密降伏応力を上回ることが予想され、圧密沈下が発生する可能性があることが分かった。

さらに、今回の地質調査によって、新設構造物下部に分布する粘性土層「Dc1 層」

は、「Dc1-s 層」の砂質土層が不規則かつ不連続で狭在し、かつ粘性土層「Dc1 層」の層厚変化が著しいことが特徴的であることが明らかとなった。これが各調査地点での圧密状況のばらつきに影響しているものと推察される。

6.4 層別沈下計による計測結果と考察

躯体の沈下に関しては、各施設に測点を設け継続的に計測を行っている。沈下の要因を詳細に調べることを目的として層別沈下計による計測を実施している。

場内の平面図及び層別沈下計の設置位置を以下に示す。

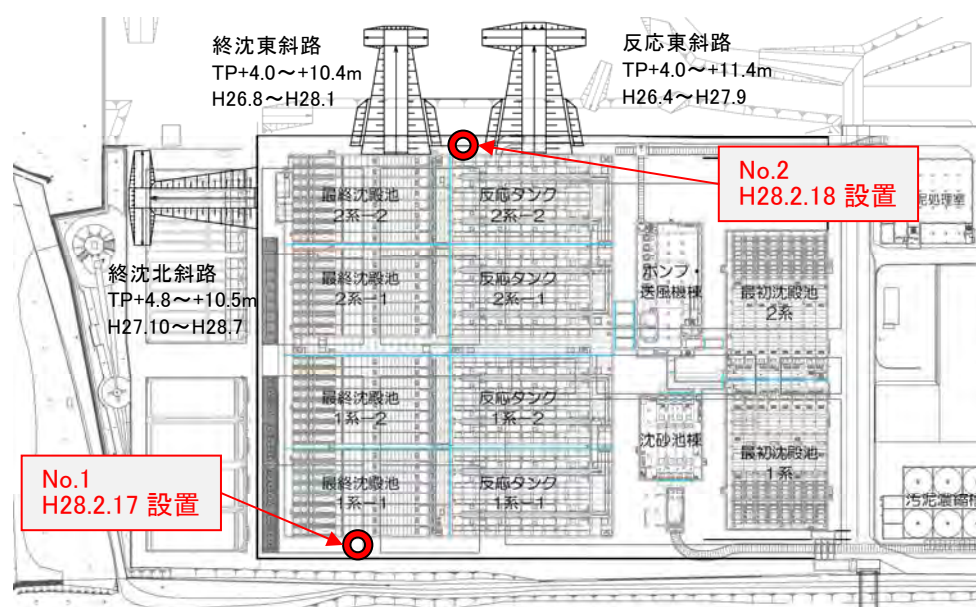


図 6.3 層別沈下計 設置位置平面図

測定結果（詳細は本編参照のこと）によると、粘性土層「Dc1 層」の層厚が変化しており、粘性土層の沈下が顕著であることが確認された。

No.2の方が変化は小さく、事前に圧密が進行していたものと考えられる。また、同じ期間に周辺の構造物で計測した沈下量と比較すると、層別沈下計による計測値の総変化量はやや小さい傾向であった。

7 沈下量予測

これまでの検討より、今回発生している沈下問題は、その要因の一つとして粘性土層「Dc1 層」の圧密沈下が考えられる。このため、本章では、圧密沈下解析を下記 3 手法にて行い、将来の沈下傾向の予測を行う。

- 1) 室内試験結果 e-logP 曲線による沈下量予測(地質データによる一次元解析)
- 2) FEM 弾塑性解析による沈下量予測(地質・躯体・施工手順を踏まえた二次元解析)
- 3) 双曲線法による沈下量予測(実測データによる一次元解析)

7.1 室内試験結果からの沈下量予測

7.1.1 計算条件

① 対象施設 : 新設された以下の 6 棟が対象

- ・ 最初沈殿池 ・ 最終沈殿池 ・ 沈砂池棟
- ・ 反応タンク ・ 主流入ゲート棟 ・ ポンプ送風機棟

② 沈下計算に用いる荷重条件

現在の沈下状況を再現するために、粘性土層「Dc1 層」に作用する荷重（有効応力）を施工ステップごとに整理し、かつ圧密期間を考慮した沈下量を想定した。

③ 使用する地盤データ

e-logP 曲線、圧密係数 C_v については、沈下が顕在化した後の地質調査結果を用いた（詳細は本編を参照のこと）。また、ウルトラディープウェルによる地下水位の低下レベルは、フジタ JV より報告された水位である TP-9.5m と設定した。

④ 沈下量計算手法

e-logP 法により沈下量を算定した。

7.1.2 計算結果

各施設ともに、沈下傾向については概ね再現できているが、最終沈下量、沈下終息時期ともに、実際の沈下計測結果と乖離している部分がみられた。

施設名称	最終沈下量	沈下終息時期予測
主流入ゲート棟	22.6cm	2016 年 11 月
沈砂池棟	18.0cm	2016 年 12 月
ポンプ送風機棟	14.6cm	2016 年 11 月
最初沈殿池	4.3cm	2015 年 10 月
反応タンク	7.8cm	2015 年 12 月
最終沈殿池	11.4cm	2016 年 02 月

7.2 FEM 弾塑性解析による沈下量予測

7.2.1 検討位置

各施設の沈下特性を再現するため、下図に示す A-A～F-F 断面を対象に FEM 弾塑性解析を実施したが、A-A～D-D 断面については、奥行き方向の連続性がないこと等から解析値と実測値が乖離するため、一次元沈下検討において最大沈下量となる F-F 断面と、二次元解析の結果が近似しやすい E-E 断面を示す。

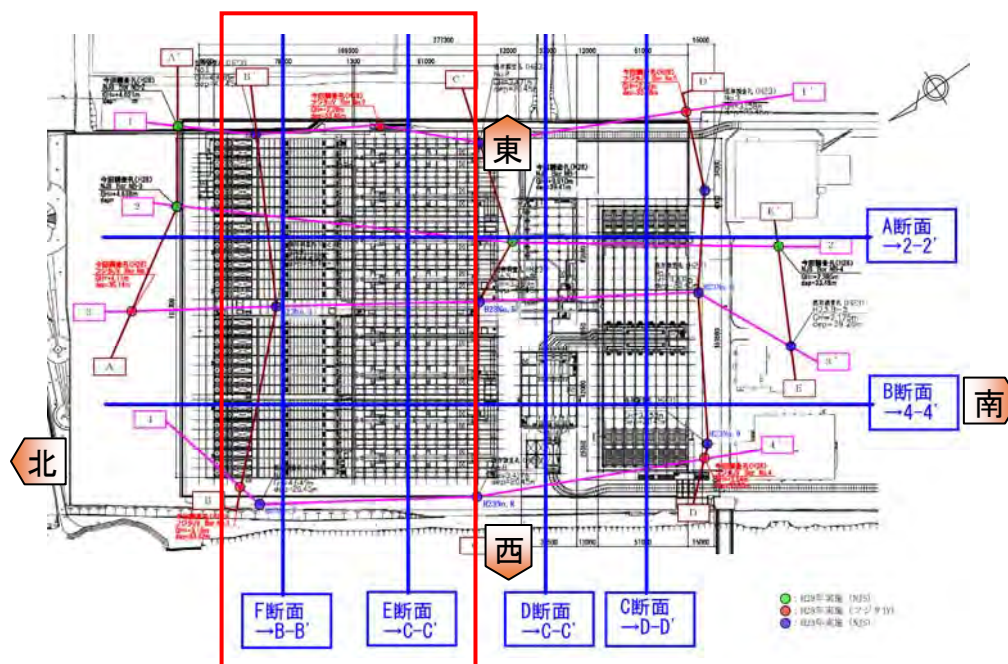


図 7.1 FEM 弾塑性解析位置図

7.2.2 解析結果と考察

FEM 弾塑性解析の結果、沈下傾向は概ね実測値と近似した結果を得ることができたが、最終的な沈下状態は現状と乖離する結果となった。これは、FEM 弾塑性解析は 2 次元の解析であるため奥行き方向の影響が反映されず、解析値が実績値と整合しないことが考えられる。このため、最終的な沈下量については、「双曲線法」による実測値の評価をもとに想定する方針とする。

7.3 実測値に基づく沈下量予測

【予測結果】

双曲線法による予測結果によると、いずれの施設においても、近似曲線の相関係数が 0.9 以上となっており、双曲線の近似性は高い。

なお、双曲線法による沈下予測については、通常は粘性土地盤の沈下に対する評価に用いるが、今回は躯体上部の計測値に基づいた予測となっている。

【沈下終息時期】

双曲線法において、圧密度 100%の最終沈下量に達するまでの時間 t は、理論上 $t = \infty$ となってしまうことから、具体的な終息時期を特定できない。

したがって、土質工学会発行の「軟弱地盤の調査・設計・施工法 P178」では、圧密度 90%に到達する時間を求め、そこではほぼ圧密が完了したものと判断することとしている。

また、日本道路協会発行の「軟弱地盤対策工指針 H24 年度版 P249」では、圧密対策検討を実施する際の目標とする圧密度として、80～90%を設定することが多いとしている。

以上のことから、おおよその沈下終息時期の特定にあたっては、圧密度 90%に到達する時期を採用する。

本現場の沈下量計測実績より双曲線法により圧密度 90%に達する時期を予測したところ、概ね 2016 年以内（一部 2017 年）に到達するとの結果が得られた。

このことから、おおよその沈下終息時期は、2016 年以内（一部 2017 年）と判断できる。

双曲線法による沈下量予測検討結果

計測点No.	使用計測データ： 2016/8/5 更新							
	初-2	初-14	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
計測箇所	初沈1系	初沈2系	沈砂池	ポンプ棟	反応1系-1	反応2系-2	終沈1系-1	終沈2系-2
計測開始日	2014/04/23	2014/04/23	2014/04/23	2014/04/26	2014/04/23	2014/04/23	2014/04/23	2014/04/23
検討の起算日	2016/01/11	2016/02/19	2016/01/11	2016/03/18	2016/01/11	2016/01/11	2016/03/18	2016/01/11
検討に用いた計測値の最終日	2016/08/05	2016/08/05	2016/08/05	2016/08/05	2016/08/05	2016/08/05	2016/08/05	2016/08/05
計測最終日の沈下量 (cm)	6.70	13.80	15.60	15.90	8.30	9.90	9.80	16.00
近似曲線の相関係数	0.984	0.991	0.991	0.980	0.993	0.931	0.968	0.972
最終沈下量 S_f (cm)	7.75	15.61	19.05	17.06	11.15	11.07	13.03	18.39
計測最終日の圧密度 U (%)	86.48	88.42	81.88	93.18	74.44	89.41	75.24	87.00
計測最終日から今後さらに予測される沈下量 S_L (cm)	1.05	1.81	3.45	1.16	2.85	1.17	3.23	2.39
2017/03/31の沈下量 (cm)	7.28	14.71	17.12	16.49	9.52	10.36	11.30	16.93
2017/03/31の圧密度 (%)	94	94	90	97	85	94	87	92
2017/03/31の時点から今後さらに予測される沈下量 (cm)	0.47	0.90	1.93	0.58	1.63	0.72	1.72	1.46
圧密度が90%に達する日付	2016/09/09	2016/09/01	2017/04/07	2016/06/03	2017/12/05	2016/09/20	2017/09/04	2016/12/06
圧密度が90%の時点から今後さらに予測される沈下量 (cm)	0.77	1.56	1.91	1.71	1.11	1.11	1.30	1.84

7.4 沈下終息状況の予測

沈下終息状況の予測は、下記方法に基づくものとする。

・ 沈下終息時の沈下量

実測値に、双曲線法により求められた「今後さらに予想される沈下量」を施設単位で一律加算して推定する。

表 7.1 「今後さらに予想される沈下量」(双曲線法)

施設名		今後さらに予想される 沈下量 (mm)	備考
主流入ゲート棟		34.5	沈砂池に準じた
沈砂池棟		34.5	
最初沈殿池	1 系	10.5	
	2 系	18.1	
P 送風機棟		11.6	
反応タンク	1-1 系	28.5	
	1-2 系	28.5	1-1 系に準じた
	2-1 系	11.7	2-2 系に準じた
	2-2 系	11.7	
最終沈殿池	1-1 系	32.3	
	1-2 系	32.3	1-1 系に準じた
	2-1 系	23.9	2-2 系に準じた
	2-2 系	23.9	

※現時点とは 16/8/5 を指す

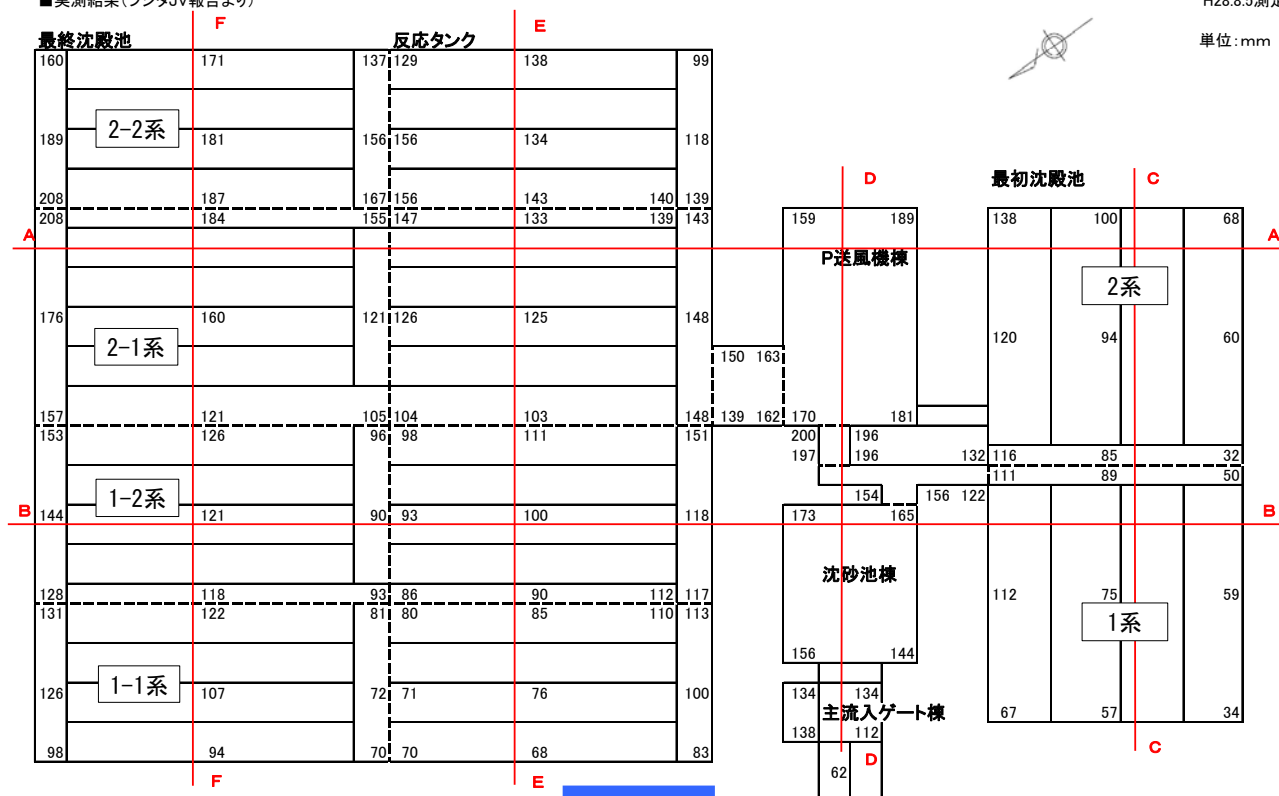
a) 沈下終息状況の予測

① 実測値 (16/8/5) : 平面図

■実測結果(フジタJV報告より)

H28.8.5測定分

単位:mm



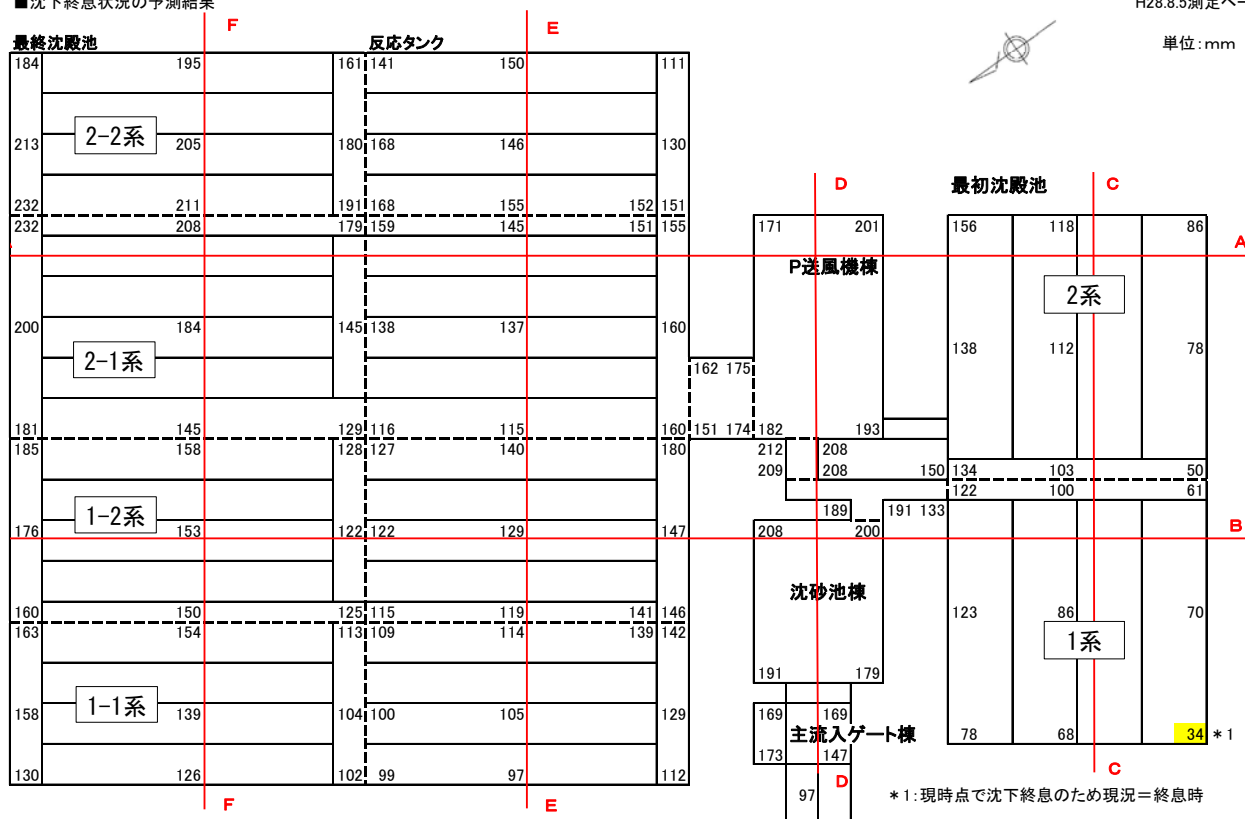
実測値に、双曲線方による「今後さらに予想される沈下量」を加算する。

② 沈下終息状況の予測 : 平面図 (実測値+「今後さらに予想される沈下量」)

■沈下終息状況の予測結果

H28.8.5測定ベース

単位:mm



* 1: 現時点で沈下終息のため現況＝終息時

8 沈下要因について

本事業は、日最大汚水量 40 万 m³/日（処理人口約 70 万人）という下水道施設で全国屈指の規模を、約 4 年半という短い期間のなかで全面復旧を達成している。特に、多数の大規模な構造物を近接するかたちで同時に建設される等、下水道事業としても国内でも前例のない非常に特殊な事業であった。

ここでは、沈下要因として考えられる事項について整理する。

8.1 沈下要因の区分

本現場で発生している沈下現象の主たる要因は、これまでの検証結果から、粘性土層「Dc1 層」の圧密沈下であると言えるが、実際には場所によって沈下量が異なり、沈下傾向に規則性がない不同沈下現象として確認されていることから、要因の分析に当たっては、「圧密沈下」、「不同沈下」に分けて考察を行うものとする。

8.2 圧密沈下の要因のまとめ

圧密沈下要因に関する考察結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 大規模施設を一体的かつ短期間に設計・施工するに当たっては、単純に構造物、盛土、各々の荷重に対する影響検討だけでなく、相互の重ね合わせによる沈下影響や地盤変状について、FEM 弾塑性解析等を用いた検討も必要であることが新たな知見として判明した。
- (2) 設計時において粘性土層「Dc1 層」は、地質年代、周辺地盤との連続性、既往調査に基づく強度特性から洪積層と評価していたが、必ずしも圧密沈下を無視してもよい粘性土層とは断定できない地盤であった。
- (3) 沈下が顕在化した後の室内土質試験結果では、十分な圧密降伏応力を有しておらず、層別沈下計による測定結果からも「Dc1 層」の沈下が支配的であった。
- (4) 施工段階における設計照査は、設計検討書を追認しており、現場での工法変更においても、粘性土層の沈下リスクに対する配慮が不足していた。
- (5) 施工初期段階においては、沈下現象は砂質層の即時沈下と特定していた。また、水張り試験の実施に伴う急激な沈下発生後においても要因の検討に至らなかった。

今回の検証を通じて、粘性土層「Dc1 層」は「H19JS 指針」に記載のある「一般に圧密沈下を無視し得る洪積地盤」には該当せず、地盤特性を把握し慎重に沈下検討を行うべき土層であったと言える。

また、新水処理施設は、敷地制約として同一敷地内で暫定処理施設を稼働させな

がら作り替えるため、施設のコンパクト化を図る必要があった。このため、最初沈殿池及び最終沈殿池は2階層沈殿池、反応タンクは深槽の施設計画となり、旧施設に比べ単位面積当たりの重量が大きくなる傾向にあったことから、圧密沈下に対する配慮が必要であったと思われる。

さらに、今回の施設のように、構造物としても大規模かつ複数のEXP.Jで分断された施設においては、施設同士の重ね合わせ荷重も発生することから、設計時には、「H19JS指針」には検討要否が明記されていないものの、慎重な判断が必要であったと思われる。

施工段階においては、不測の事態が発生した際の設計・施工が一体的となった検討を行う体制作りも必要と思われる。

8.3 不同沈下要因のまとめ

不同沈下要因に関する考察をまとめると、以下のとおりである。

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">(1) 構造物が大規模であり、かつ、外周部に盛土がある状態に対し、中央部は盛土の影響がなく、管廊部分の荷重が水槽部に比べて小さいことから、地中応力に不均衡が生じた。(2) 2系側の水槽に水荷重を先行載荷したことにより、最大荷重の載荷時期に不均衡が生じた(3) 施工上、盛土形式の仮設進入路を追加変更したが、地下水の回復を確認していない状態で局所的な盛土荷重を加えたため、粘性土層「Dc1層」の沈下を助長させた可能性がある。(局所的な積載荷重の増加)(4) 沈下が顕在化した後の地質調査結果では、「Dc1層」の層厚・出現深度にはばらつきが見られ、砂層の狭在も確認された。また、圧密降伏応力についても、ばらつきがみられた。これらのことから、不同沈下の一因とは考えられるが、解析の結果から主たる要因ではないと判断した。 |
|---|

本現場で発生している「不同沈下」現象の主たる要因として、圧密層に対して、大規模かつ広範にわたる構造物を一度に施工するにあたり、地中応力の不均衡の発生や施工時における局所的な載荷（水張り順序による荷重の不均衡）等、複数の事象が重なり、結果として設計・施工で想定していなかった「不同沈下」現象が発生したと言える。

8.4 沈下要因のまとめ

新水処理施設は東日本大震災の災害復旧として、市域の約7割の人口を対象とした晴天時処理能力 400,000m³/日の施設を短期間に一体的に築造するという、国内でも例を見ない大規模な施設であるとともに、重要なインフラ施設として早期完成が求められていた。

今回の検討結果を踏まえると単純に構造物・盛土、各々の荷重の評価だけではなく、EXP. J で区分された各施設や、盛土状況を踏まえた重ね合わせ荷重に対しても FEM 弾塑性解析等を用いた沈下影響や地盤変状検討が必要であることが新たな知見として得られた。

また、現段階での評価としては、設計・施工段階における調査・検討において圧密沈下に対する検討をより慎重に行うべきであった。設計期間として基本設計5ヶ月、詳細設計5ヶ月の計約10ヶ月間、施工期間としては、第一期通水を見据えた土木躯体築造期間約2年4ヶ月と、本事業の背景を踏まえると適正な工期ではあるものの、タイトなスケジュールの中、設計・施工を行って来ており、各段階において立ち止まっての検討・フィードバックが十分行えない状況であった。

本施設は、「南蒲生浄化センター復旧方針委員会」での復旧方針検討及び、これを踏まえた提言書に基づき詳細設計を実施しており、基礎形式は直接基礎を採用していた。床付部では、N 値 30 が確認されない場合には地盤改良を行い、N 値 30 以上を確保するものとしており、基礎形式を直接基礎としたこと自体は問題なかったと思われる。

なお、地盤の評価は、既存施設が当該施設用地に築造されていたことと、設計時に実施した地質調査において、層構成の変状が認められなかったことから、地質年代や既存施設の支持地盤、既知の強度特性等のデータを用いて判断していた。

また、施工時の照査は、設計時の判断を追認するかたちで実施していたが、周辺他工事の情報収集・分析や設計への詳細ヒアリングの実施等、慎重かつ詳細な照査が必要であった。

沈下が顕在化した後の地質調査にて明らかとなった粘性土層（Dc1 層）の評価は、地質年代や既知の強度特性からは判断が難しい地盤であり、圧密沈下を無視しても良いとは断定できない地盤であった。

以上のことから、設計・施工の各段階において、粘性土層のより慎重な検討が必要であった。今後は、圧密沈下が懸念される粘性土層に対して、効率的・効果的な設計・施工を行うためにも、地質調査の確実な実施や JS の指針改定・施工時の照査ガイドライン等の充実も必要である。

9 沈下による影響と対策案の検討

9.1 水理的な影響と対策案

想定した沈下終息状況における水理的な影響について検証する。

9.1.1 検討対象水量

本検討で用いる検討対象水量は、設計時と同様に下記の条件で行うものとする。

今回検討対象水量	:	300,000m ³ /日（日平均）
		400,000m ³ /日（日最大）
		600,000m ³ /日（時間最大）
		992,300m ³ /日（雨天時最大）

9.1.2 検証結果

想定した沈下終息状況における水理計算の結果、下記に示す調整が伴うが、設計対象水量に対して水理的に問題なく処理可能であることが確認された。

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">・最初沈殿池：三角ノッチ高の調整・反応タンク：流入可動堰の調整・最終沈殿池：流入可動堰の調整、三角ノッチ高の調整 <p>※堰高等の調整は、定期モニタリングによる沈下傾向を踏まえた調整が必要である</p> |
|---|

なお、上記調整によって、各施設の各池単位で均等処理が可能となり、水面積負荷、越流負荷、沈殿時間、HRT 等の設計諸元への影響は生じない。

さらに、水理計算では最終沈殿池手前の流入水路を共通化することを前提条件としており、想定した沈下終息状況下では最終沈殿池を系列単位で運用することが可能であることが確認された。

9.2 構造的な影響と対策案

9.2.1 沈下・変形に対する安全性

今回、不同沈下が発生している施設に対する構造検証を行う場合の許容値は、土木基準及び建築基準を踏まえて以下のように設定した。

今回の構造検証は、構造強度の検証であるため、許容相対沈下量・許容変形角に対する検証を行うこととした。

（構造検証で用いる許容値）

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">・許容相対沈下量： 6cm（建築基準）・許容変形角： 2.0/1000 rad（1/500 rad）（土木・建築基準） |
|--|

なお、設定理由としては、土木基準「H19JS 指針」は、水・汚泥を取り扱う下水道施設として特有な機能面を重視し、各種基準値から小さい値を目安として定められている。

ただし、今回のように現実的に不同沈下が発生している状況においては、構造強度上の問題となる相対沈下に対する許容値が明示されている建築基準の考え方に準拠することとした。

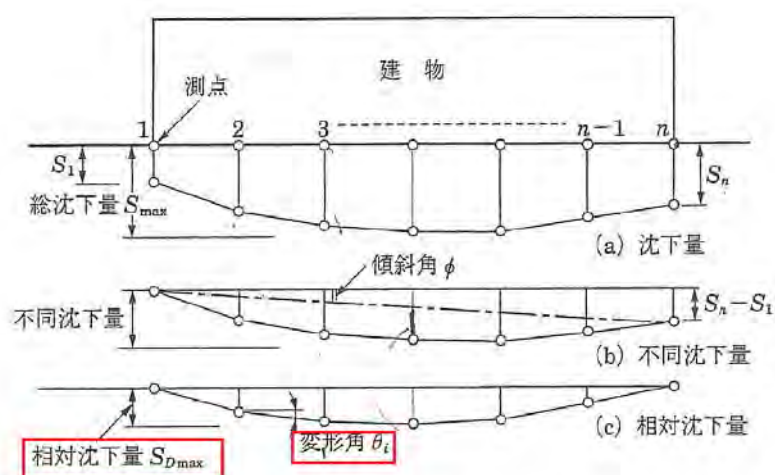


図 5.3.23 各種沈下量の説明^{b, s. 44)}

出典：建築基礎構造設計指針

検証の結果、想定した沈下終息時における各施設別の相対沈下量及び変形角は、許容値を超過する部位は発生していないため、構造強度上の問題は生じない。

【相対沈下量】許容値 60mm

相対沈下量は、最小値 0.47mm～最大値 45mm であり、許容値以内となっている。

【変形角】2.0/1000rad

変形角は、最小値 0.01/1000 rad～最大値 1.46/1000rad であり、許容値以内となっている。

9.2.2 FEM 解析による構造物の照査

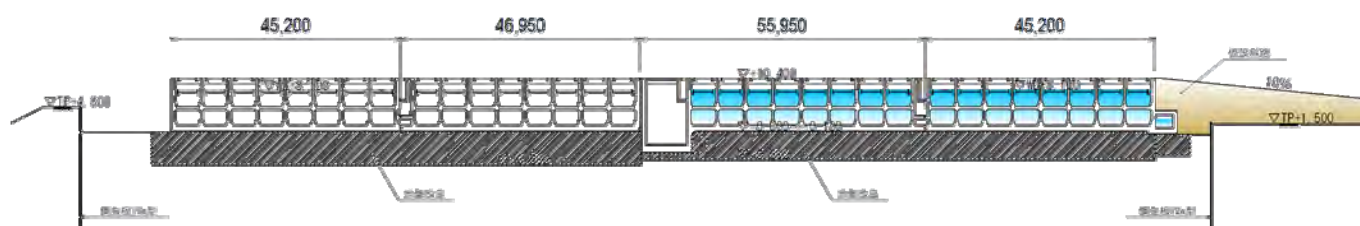
現在発生している構造物の沈下に対し、3次元FEM構造解析により変形状態を再現するシミュレーションを実施して構造物の健全性についての評価を行い、構造物の安全性に問題ないことを確認している。

a) 検討ケース

躯体が最も傾斜していた状態と、最終的な荷重状態を考慮する。

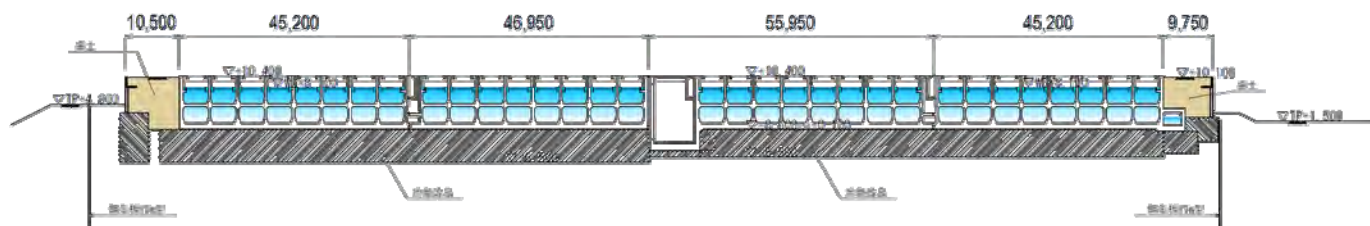
Case-1（最大傾斜時）

考慮荷重：躯体死荷重＋2系水槽部水压＋仮設斜路



Case-2（最終時）

考慮荷重：躯体死荷重＋2系水槽部水压＋1系水槽部水压＋盛土荷重



b) 解析結果

Case-1（最大傾斜時）

発生断面力は許容値内である。

部位	曲げモーメント(kN・m)		せん断力(kN)	
	最大値	許容値	最大値	許容値
底盤 上面引張	617	725.0	324	735.8
底盤 下面引張	389	1134.8		

Case-2（最終時）

発生断面力は許容値内である。

部位	曲げモーメント(kN・m)		せん断力(kN)		不同沈下が発生しない場合の最大断面力(参考)	
	最大値	許容値	最大値	許容値	曲げモーメント(kN・m)	せん断力(kN)
底盤 上面引張	386	483.4	201	490.5	335	147
底盤 下面引張	240	756.5			457	

9.2.3 流入渠の影響と対策

不同沈下により、流入渠ボックスと主流入ゲート棟の接続部(目地)に段差の発生や漏水のおそれがあるため、目地に TB コーキングの許容を超える段差の発生が懸念される箇所は、ボックス内部に後付型可とう継手を設置する。

9.2.4 放流渠の影響と対策

放流渠は、反応タンク、ポンプ送風機棟及び接続人孔間をボックスで接続しているが、ボックスと反応タンク、ポンプ送風機棟では構造規模や単位荷重が大きく異なり、接続箇所は不同沈下による段差及び漏水が懸念されるため、後付型可とう継手をボックス外周に設置する。

9.3 機能的な影響と対策案

9.3.1 EXP. J 部配管類

各施設内や管廊内、特に最初沈殿池と沈砂池・反応タンクを結ぶ管廊内において、EXP. J 部に約 30mm のズレが生じ、機械・建築機械の配管の可とう継ぎ手に同様のズレが生じている。ズレた部分における汚泥堆積、送水不良等が懸念されるため配管の補修を行う。

9.4 対策案のまとめ

本章では水理・構造・機能から、今後生じるおそれのある影響と対策案を立案した。対策案一覧を表 9.1 に示す。

表 9.1 対策案の一覧表

対象施設等	対象 職種	対象部位	対策案
共通	C	主な施設全般の沈下傾向	沈下量の定期モニタリング実施 今年度中：1 回/月（平成 28 年 10 月 1 日～平成 29 年 3 月 31 日） 来年度：1 回/3 ヶ月（平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日） 設備機能的観点から計測ポイントを追加した。
階段室	A	階段室入口等	想定津波高+10.4m以下にある階段室出入口の踊り場に階段を 1 段増し打ちし、浸水を防ぐ。 反応タンク、最終沈殿池上部の階段室 7 箇所への増設
EXP. J 部	C	耐震止水板	現在の EXP. J 変位量に地震時の変位量を加えて検討した結果、許容値の範囲内であり機能上の問題がないため対策不要。
	C	目地充填剤	防水が目的ではなく、仕上げ用として施されているため、目視可能な損傷箇所について補修する。
	AM/PM	配管類 （可とう継ぎ手修正）	可とう継ぎ手のズレは、許容偏心量以内であり、破断するおそれはないが、汚泥堆積、送水不良等が懸念されるため、段差が顕著な EXP. J 部の配管の布設替えを行う。
流入渠	C	流入渠	接続部に段差の発生や漏水の懸念があるため、後付型可とう継手で補修する。
P 送風機棟	PM	汚水ポンプ	対策不要 振動値による管理基準値を定め、定期的に計測しているが、今のところ問題なし。
	PM	送風機	対策不要 磁気軸受の電流値を監視しているが今のところ問題なし。
	PM	調圧水槽流出可動堰	堰の高さ調整については、調整の範囲で対応可能。 沈下により開度指示計の TP 表示にずれが生じているため、表示板の交換を行う。
	PM	調圧水槽バイパス可動堰	同上

C：土木、A：建築、AM：建築機械、PM：プラント機械、PE：プラント電気

対象施設等	対象 職種	対象部位	対策案
最初沈殿池	C	越流堰板	各池の水位を一定とするため、一部の改造と再製作を行い、堰板の高さを調整する。
	PM	スカムスキマ	越流堰板の高さ調整に伴い、スカム除去機能に影響の出るスカムスキマについては、延長セキを取り付ける改造を行う。
	PM	汚泥かき寄せ機	不同沈下による磨耗等が発生したとしても、ごく微量であると考えられ、対策は不要。 越流堰板の調整によりフライトが水没してしまい、スカムかき寄せ機能が確保できなくなった汚泥かき寄せ機については、フライトにゴム板を取付ける改造を行う。
反応タンク	PM	流入可動堰	堰の高さ調整については、調整の範囲で対応可能。 沈下により開度指示計の TP 表示にずれが生じているため、表示板の交換を行う。
	PM	ステップ流入可動堰	同上
	PM	分配槽流出可動堰	同上
最終沈殿池	C	越流堰板	各池の水位を一定とするため、一部の改造と再製作を行い、堰板の高さを調整する。
	PM	流入可動堰	堰の高さ調整については、調整の範囲で対応可能。（系統単位で運用可能） 沈下により開度指示計の TP 表示にずれが生じているため、表示板の交換を行う。
	PM	スカムスキマ	越流堰板の高さ調整に伴うスカム除去機能の影響はないため、対策不要。
	PM	汚泥かき寄せ機	不同沈下による磨耗等が発生したとしても、ごく微量であると考えられ、対策は不要。
放流渠	C	放流渠	接続部に段差の発生や漏水の懸念があるため、後付可とう継手で補修する。

C:土木、A:建築、AM:建築機械、PM:プラント機械、PE:プラント電気

対象施設等	対象 職種	対象部位	対策案
緊急 BP 渠	C	緊急 BP 渠	接続部に段差の発生や漏水の懸念があるため、後付型可とう継手で補修する。
電気設備	PE	中央監視装置、コントローラ、現場操作盤	沈下により TP 表示にずれが生じているため、現場操作盤指示計交換、スケール変更に伴う SQC、中央監視装置の改修を行う。

C:土木、A:建築、AM:建築機械、PM:プラント機械、PE:プラント電気

9.5 対策案の実施

9.5.1 実施時期の設定

対策案の工事実施時期は、下表に示すように、双曲線法による沈下予測に基づき、おおよその沈下終息時期と考えられる「圧密度が 90%に達する日付」を目安として、平成 29 年度末（2017 年度末）を目途に段階的に実施していくものとした。

また、対策工事の実施順序を整理したうえで、およその実施時期を設定した。

なお、定期モニタリングの調査により、今後の沈下傾向に大きな変化が生じた場合には、対策工事内容を再度検証する必要がある。

【実施順序の考え方】

- ・ 不同沈下対策を早期に実施するため、函渠類の対策を先行させる。
- ・ 最初・最終沈殿池の堰高調整等は、沈下傾向の影響を受けやすいことから、平成 29 年度下期（2017 年下期）を目途に実施する。
- ・ 上記と同時期に他施設の堰高調整に関する改造等を実施する。

9.5.2 対策実施スケジュール

施設名称	沈下量 (cm)			おおよその沈下終息時期 (90%圧密)	平成28年度 (2016年度)		平成29年度 (2017年度)	
	現在 (8月5日時点)	90%圧密時の沈下量	最終沈下量		上期	下期	上期	下期
主流入ゲート棟	15.60	17.15	19.05	2017/4/7				
沈砂池棟	15.60	17.15	19.05	2017/4/7				
P送風機棟	15.90	15.36	17.06	2016/6/3				
最初沈殿池1系	6.70	6.97	7.75	2016/9/9				
最初沈殿池2系	13.80	14.05	15.61	2016/9/1				
反応タンク1系	8.30	10.03	11.15	2017/12/5				
反応タンク2系	9.90	9.96	11.07	2016/9/20				
最終沈殿池1系	9.80	11.72	13.03	2017/9/4				
最終沈殿池2系	16.00	16.55	18.39	2016/12/6				
順序	対象施設等	対策 (案)			平成28年度 (2016年度)		平成29年度 (2017年度)	
					上期	下期	上期	下期
		定期モニタリング						
1	放流渠	後付可とう継手で補修						
2	緊急BP渠	後付可とう継手で補修						
3	流入渠	後付可とう継手で補修						
4	Exp. J部	目視可能な損傷箇所を補修						
		配管の布設替え等 (機械・建築設備)						
5	階段室	想定津波高+10.4m以下にある階段室出入口の踊り場に階段を増設し浸水を防ぐ						
6	最初沈殿池	汚泥かき寄せ機の一部改造						
		越流堰板の再調整、改造、再製作 設定水位は、沈下終息水位のTP+1.940とする。						
		スカムスキマの一部改造						
7	ポンプ棟	調圧水槽・バイパス可動堰の調整に伴う開度指示計等の交換・調整						
8	反応タンク	流入堰・ステップ流入堰・分配堰の調整に伴う開度指示計等の交換・調整						
9	最終沈殿池	流入可動堰の調整に伴う開度指示計等の交換・調整及び汚泥界面測定用点検口、安全帯固定金具の設置						
		越流堰板の再調整、改造、再製作 設定水位は、残留沈下量を考慮し、1系TP+7.960、2系TP+7.910とする。						
10	電気設備	現場操作盤指示計交換、スケール変更に伴うSOC、中央監視装置の改修						
参考：概算工事費		約 7.2 億円			実施時期については、今後のモニタリング調査の結果により検証を行う。			

9.6 モニタリング調査

9.6.1 構造物

沈下状況の経過観察により、沈下終息時期、推定した最終沈下量の見直しを行い、施設の安全性、健全性を把握することを目的とする。

計測箇所に関しては、従来と同じ測定箇所（166箇所）をすべて踏襲する。

将来の沈下量予測より、今後の計測頻度は以下のように定めた。

今年度中（平成28年10月1日～平成29年3月31日）は1回/月

来年度（平成29年4月1日～平成30年3月31日）は1回/3ヶ月

また、引き渡し後の2年間について沈下状況の確認を行う。

9.6.2 設備類

設備類に対するモニタリング調査は、施設の安全性、健全性を監視するため、実施頻度は「構造物」と同程度とした。

なお、浄化センター機能として最も重要である污水ポンプ設備と送風機設備に関しては、順調に稼働しているものの将来的な影響に対して状態監視を実施している。定期的に行う点検項目の一つであるが、測定頻度を増やして監視していく。その内容を以下に示す。

・ 污水ポンプ

高速回転する機器類に対し振動測定を行う。ポンプの振動の許容値はJIS規格で定められているものよりさらに厳しいISO規格「軸受振動基準」を準用した管理基準値を定め、監視している。

・ 送風機

ポンプ同様に高速回転機器であるが、設置されている形式が非接触の軸受けを有する磁気浮上型のため磁気軸受の電流値により監視している。

10 再発防止に向けて

沈下要因として、基礎地盤の下部に位置する粘性土層「Dc1 層」の圧密沈下と、大規模施設の建設及び盛土による地中応力の不均衡等を要因とする不同沈下が挙げられた。

本施設のように、**基礎地盤以深に粘性土層が存在する直接基礎を対象に**、今回の沈下要因を踏まえた調査・設計及び施工の各々において講ずべき再発防止策を以下に示す。

10.1 調査・設計

調査・設計段階における再発防止策として、下記の事項を挙げる。

- (1) 本事象を踏まえた JS 構造物設計指針の改定について検討する
- (2) 基礎設計においては、地質年代の定性的な判断に加え、定量的な評価に必要な地質調査計画について立案する
- (3) 基礎設計においては、基礎地盤以深の粘性土層に対して、圧密試験及び圧縮試験を実施し、圧密沈下量の検討を行うとともに、構造物の荷重偏在や不均衡等が懸念される場合は不同沈下についても検討する
- (4) 既存施設に対する変状等について管理者等へのヒアリングを実施する
- (5) 本事例及び再発防止策について水平展開を確実に行う

10.2 施工

施工段階における再発防止策として、下記の事項を挙げる。

- (1) 施工着手前の設計照査のガイドライン等の作成
- (2) 沈下状況確認時の慎重かつ迅速な対応
- (3) 工法変更等の設計変更におけるガイドライン等の作成