

## 耐震診断結果に基づく耐震補強と処理場再構築の経済性比較事例 (日光市耐震診断業務から)

(株) 日水コン ○東川 義弘 高橋 堅 味澤 洋太

下水道施設における既存施設への耐震対策は遅々として進んでいない。このため、標準耐用年数を超過した施設を有する処理場への耐震診断業務が今後増えると予想される。この際の耐震化対策案として、既存施設への耐震補強計画だけでなく、処理場特性を考慮した処理場全体の建て替え（以下「再構築」）による耐震性能確保の検討も行うことで、処理場全体への効率的な耐震化対策の実施に寄与するものと考えられる。

本稿では、供用開始から60年近く経過した施設を有する中宮祠水処理センター（栃木県日光市）を対象に、耐震補強及び再構築による耐震化の経済比較の実施事例を報告する。

**Key Words** : 耐震診断、再構築、線形診断

### 1. はじめに

栃木県日光市公共下水道中宮祠処理区は昭和 34 (1959) 年度に事業着手し、昭和 39 (1964) 年度に分流式下水道として供用開始した。本処理区は中禅寺湖の北東部を区域に含み、華厳滝や中禅寺温泉街などの観光地を有している。このため、日最大計画汚水量に占める観光汚水・温泉排水の割合が 8 割強と高い傾向にある。

供用開始当初の水処理方式は散水ろ床法を採用していたが、環境対策の観点から標準活性汚泥法に変更され、現在に至っている。汚泥処理は、インホッフタンクを用いた濃縮・消化の後に脱水処理を行い、下水道資源化工場へと搬出している。また、計画汚水量は供用開始当時より減少していることから、施設能力に対して余裕のある運用を行っている。

本処理場の一般平面図 (図-1)、処理フロー (図-2) 及び計画諸元 (表-1) を示す。

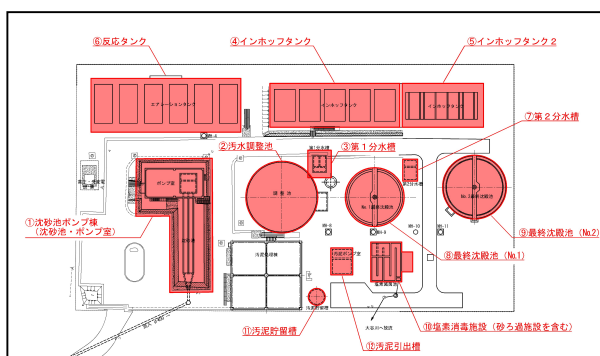


図-1： 処理場一般平面図  
※赤色着色施設は耐震診断対象施設

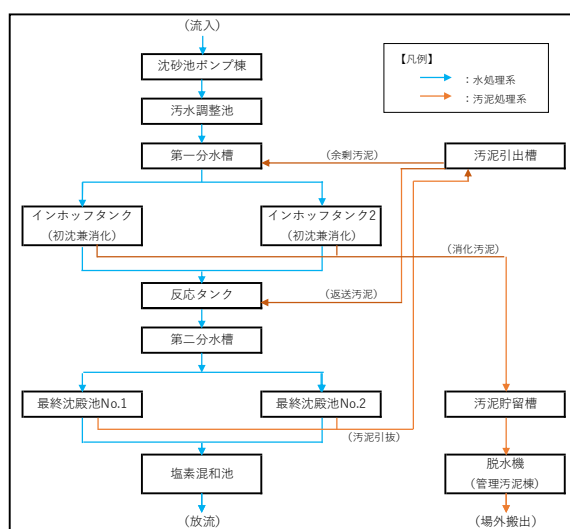


図-2： 処理フロー (現状)

## 2. 業務概要

本業務では、耐震診断が実施されていない中宮 祠水処理センターの計 13 施設（診断済みの管理汚泥棟と沈砂池ポンプ棟（建築部）を除く）に対して、線形解析による診断を実施した。本業務のフローを図-3 に示す。

基礎調査として、完成図書等による当初設計条件の整理及び目視・コンクリートコア物理試験による現状把握を行い、耐震診断入力条件を設定した。これに基づき耐震詳細診断を実施し、躯体及び基礎の耐震性能評価を行った。土木構造部はレベル 1 地震動時及びレベル 2 地震動時に対する線形解析を行い、建築構造部は大地震時に対する保有水平耐力について耐震性能を照査した。杭基礎に対しては支持力及び杭耐力の照査を、直接基礎に対しては支持力、滑動及び転倒の照査を行った。

これらの診断結果を基に、所定の耐震性能を満足していない構造物に対して補強案を策定し、耐震化実施スケジュールの検討を行った。その際、ストックマネジメント計画（以下「SM 計画」）における設備更新計画と整合を図り、効率的な実施スケジュールを立案した。また、スケジュール実施に向けた考察として、耐震補強工事による躯体の耐震化だけでなく、再構築による処理場全体の耐震性能確保の検討を行い、事業方針を提案した。

なお、再構築の検討は、概算工事費算出のみならず、稼働しながらの計画実現可能性を確認することを目的として、流入状況等を考慮した再構築順序を含んだ配置検討を行った。

## 3. 耐震性能評価と概算補強工事費

耐震性能評価を行った結果、対象施設の内 12 施設において躯体あるいは基礎の耐震性能不足が確認された。表-2 に診断結果一覧を示す。円形水槽構造物は、当初設計時と現行基準で解析手法が大きく異なり、当初設計時の方が安全側に設計されている傾向がある。最終沈殿池（No. 1）は流出ピット部の一部を除き円形水槽部では耐震性能を満足していた。なお、汚水調整池は、当初設計時は円形の散水ろ床池であったが、現状ではポンプ室増設や荷重条件の変更により耐震性能を満足しなかったと考えられる。

表-1： 計画諸元

項目	全体計画	事業計画(現有)	
計画区域	66.9 ha	同左	
排除方式	分流式		
計（ 画日 汚最 水大 量）	家庭	162m <sup>3</sup> /日	同左
	観光	478m <sup>3</sup> /日	同左
	温泉	1090m <sup>3</sup> /日	同左
	地下水	96m <sup>3</sup> /日	同左
	計	1826m <sup>3</sup> /日	同左
処理能力	4430m <sup>3</sup> /日	同左	
水処理方式	標準活性汚泥法		
汚泥処理方式	消化→脱水→搬出（下水道資源化工場）		

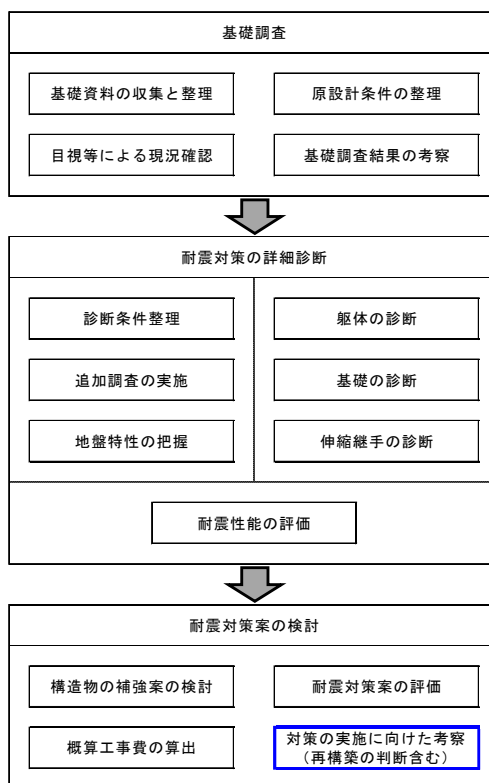


図-3： 業務フロー

反応タンクは当初設計時に杭基礎の曲げ戻しを考慮していないと考えられ、曲げ戻しを考慮した現行基準を適用した照査では、底版部で耐震性能不足箇所が多く確認された。また、壁・下端部は、底版部の影響を受けることで耐震性能不足箇所が確認された。

直接基礎において確認された耐震性能不足箇所は、当初設計時と本検討における計算精度の違いが要因の一つであると考えられる。また、滑動は当初設計の建設年次から考慮されていないと推察される。杭基礎（反応タンクのみ）は、杭体及び支持力で耐震性能不足箇所が確認された。杭体は、設計年次からレベル 2 設計対応ではないことが性能不足の要因であると考えられる。支持力の耐震性能不足は、以下の点が要因であると考えられる。

- ・土質試験結果が確認できず、道路橋示方書に示された土質定数の一般値にて検討を行ったこと。
- ・当初設計時の支持力算出式が現行基準と異なること。

所定の耐震性能を満足していない最初沈殿池 No. 1 以外の施設構造物に対して補強案を策定した。補強案に対して、施工中や補強後の機能検討を行った結果、バイパスルート等の仮設対応は必要となるが、施工中・補強後の処理能力不足は確認されなかった。

以上を踏まえた概算補強工事費は表-3 のとおりであり、総工事費は約 895 百万円となった。

表-2：耐震診断結果一覧

土木構造物												
施設番号	施設名称	設計年度	施設形状	躯体					基礎			
				レベル1地震動時 曲げ耐力	せん断耐力	曲げ耐力	せん断耐力	モード	形式	支持力	滑動	転倒
1	沈砂池ポンプ棟	S37年	矩形	NG	OK	OK	OK	NG	直接	OK	OK	OK
2	汚水調整池	S37年 増設S56年	円形	NG	OK	NG	OK	NG	直接	NG	NG	OK
3	第1分水槽	S56年	矩形	NG	OK	NG	OK	NG	直接	NG	NG	NG
4	インホッフタンク	S37年	矩形	NG	NG	OK	OK	NG	直接	OK	OK	OK
5	インホッフタンク2	S56年	矩形	NG	OK	OK	OK	NG	直接	OK	OK	OK
6	反応タンク	S54年	矩形	NG	NG	NG	NG	NG	PC杭	杭体:L1,L2とも 支持力:常時:L1でNG		
7	第2分水槽	S55年	矩形	OK	OK	OK	OK	OK	直接	NG	OK	OK
9	最終沈殿池(No. 2)	S56年	円形	NG (ピット部)	OK	NG (ピット部)	NG (ピット部)	OK	直接	OK	OK	OK
10	塩素消毒施設	S37年	矩形	NG	OK	OK	OK	OK	直接	OK	OK	OK
11	汚泥貯留槽	S55年	円形	OK	OK	OK	NG	OK	直接	NG	NG	OK
12	汚泥引出槽	S55年	矩形	OK	OK	OK	OK	NG	直接	OK	OK	OK

建築構造物												
施設番号	施設名称	設計年度	形式	躯体		基礎				備考		
				総合評価	基礎形式	支持力	滑動	転倒				
10	塩素消毒施設【上層】	S37年	CB造	NG								
10	塩素消毒施設【増設部】	不明	鉄骨造	d	直接	NG	NG	NG				61s-I-10

表-3：概算補強工事費一覧

施設	工種	概算補強工事費（百万円）			
		躯体	杭基礎	直接基礎	計
沈砂池ポンプ棟	土木	34.1	-	-	34.1
汚水調整池	土木	62.2	-	99.0	161.2
第1分水槽	土木	6.0	-	29.0	35.0
インホッフタンク	土木	76.8	-	-	76.8
インホッフタンク2	土木	52.2	-	-	52.2
反応タンク	土木	269.3	182.0	-	451.3
第2分水槽	土木	0.0	-	13.0	13.0
最終沈殿池No.2	土木	4.0	-	-	4.0
塩素消毒施設	土木	5.2	-	-	5.2
	建築	10.0	-	-	10.0
塩素消毒施設【増設部】	建築	-	-	18.0	18.0
汚泥貯留槽	土木	3.0	-	22.0	25.0
汚泥引出槽	土木	8.5	-	-	8.5
計		531.3	182.0	181.0	894.3

※支障物の一時撤去・復旧、移設等の工事費は、主機は1点あたり百万円、補機は0.5百万円を見込んでいる。

なお、単価に配管等の切り直しに関わる費用は含まないため、別途費用が必要となる場合がある。

※諸経費込み（経費率：0.8）、税抜金額である。

※「-」は対策が不要、或いは対象外であることを示す。

※躯体の補強工法は、曲げNG：増打ち工法、せん断NG：鉄筋挿入工法を採用した。

※基礎の補強工法は、杭基礎：増杭、直接基礎：地盤改良を採用した。

#### 4. 再構築検討

前章では耐震補強した場合の検討結果を示したが、本章では補強を実施せずに処理場全体を順次再構築する場合の検討結果について述べる。

##### 4.1 検討条件

本検討では、再構築による処理場全体の耐震性能確保だけでなく、施設能力の適正化も考慮した検討を行った。再構築にあたっての条件を以下に示す。

- a) 本処理場の施設能力は余裕があるため（現有施設処理能力：4,430m<sup>3</sup>/日、日最大計画汚水量：1,830m<sup>3</sup>/日）、適切な池容量等を設定して検討を行う。
- b) 本処理場用地は借地であり、その周囲への拡張は見込めない。また、新たな用地確保も不可能である。このため、現状敷地内（敷地面積：4,350m<sup>2</sup>）で検討を行う。
- c) 処理場機能の停止は許容されないため、稼働しながらの再構築検討を行う。
- d) 池容量は、過去 5 か年（2017～2022 年度）の流入水量実績を踏まえて検討した。日最大計画汚水量（全体計画）の 1,830 m<sup>3</sup>/日に対して、晴天時最大流入水量の実績最大値は 3,375 m<sup>3</sup>/日（2017 年 10 月）と大きく上回っている（図-4）。したがって、再構築にあたっての設計水量は 1,830 m<sup>3</sup>/日とするが、実績値の晴天時最大流入量も処理可能となる処理方式や施設形状（池容量等）を検討した。

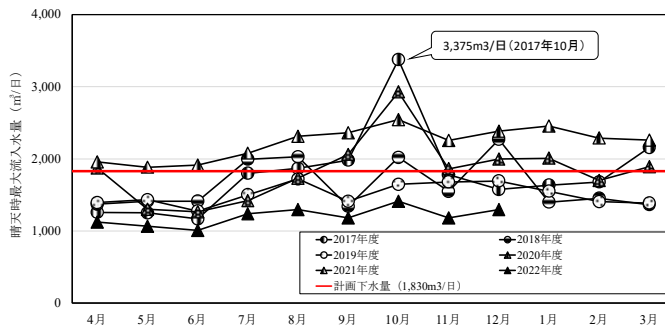


図-4： 月別晴天時最大流入水量の実績

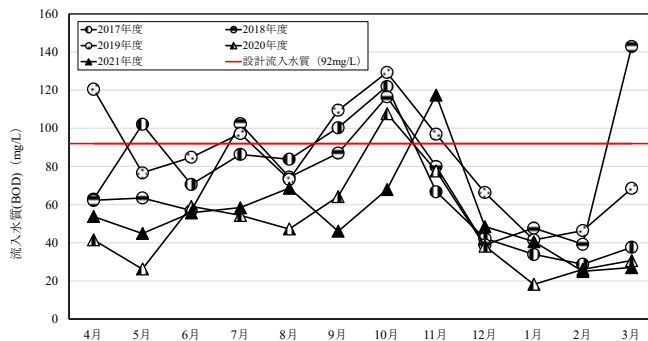


図-5： 月別流入水質 (BOD) 実績

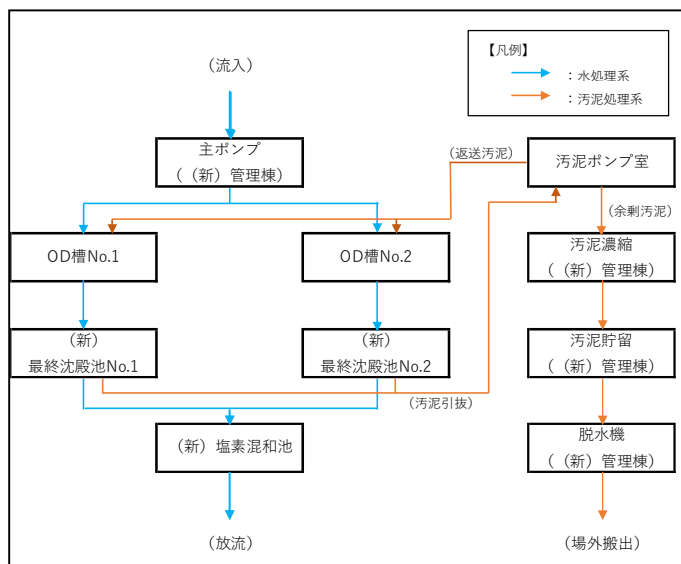


図-6： 再構築後の処理フロー

## 4.2 検討結果

再構築後の処理方式は、池容量と敷地条件を踏まえて、市内の他 3 終末処理場で稼働実績があり、かつ水量・水質の変動に対応可能であるオキシデーションディッチ法を選定した。再構築後の処理フローを図-6 に示す。施設形状は、汚泥処理施設と管理施設を合棟にしたことや汚水調整池を削除することで施設数の減少を図り、現況用地内での配置を可能とした。各施設形状の検討結果を以下に示す。

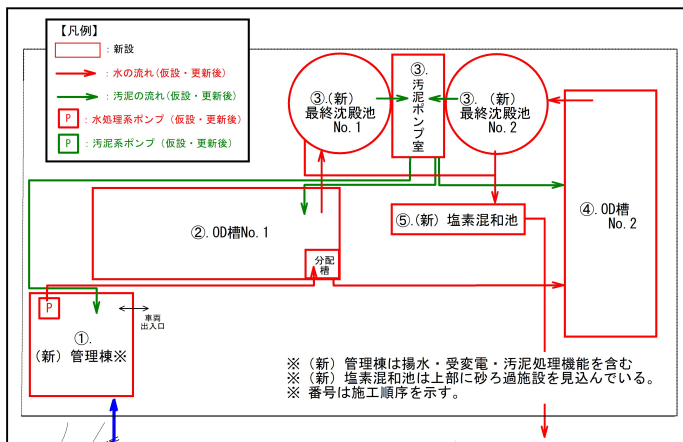


図-7： 施設配置（再構築後）

- 最終沈殿池と塩素混和池は標準的な施設形状とした。
- 新管理棟は現有の管理汚泥棟を参考とし、管理、受変電、揚水及び汚泥処理機能の合棟施設を想定した。
- オキシデーションディッチ槽は標準的な施設形状（深さ 2.5m）での現況敷地内配置が困難であったため、有効水深を「下水道施設計画・設計指針と解説-後編-（公社）日本下水道協会」における最大値（5.0m）とした。

上記を踏まえて供用しながらの再構築手順を検討した結果、現況敷地内での配置が可能であることを確認した。再構築後の施設配置と施工順序を図-7 に示す。

## 5. 耐震診断結果に基づく耐震補強と処理場再構築の経済性比較

本処理場における耐震化の手段として、①耐震補強による耐震化、②処理場全体の再構築による耐震化の 2 案を想定し、経済性比較を行った。

①「耐震補強による耐震化」は、耐震補強によって処理場全体の耐震化を実施し、目標耐用年数まで処理場を供用した後に再構築する案である。概算事業費は、耐震補強概算工事費と SM 計画に基づく設備

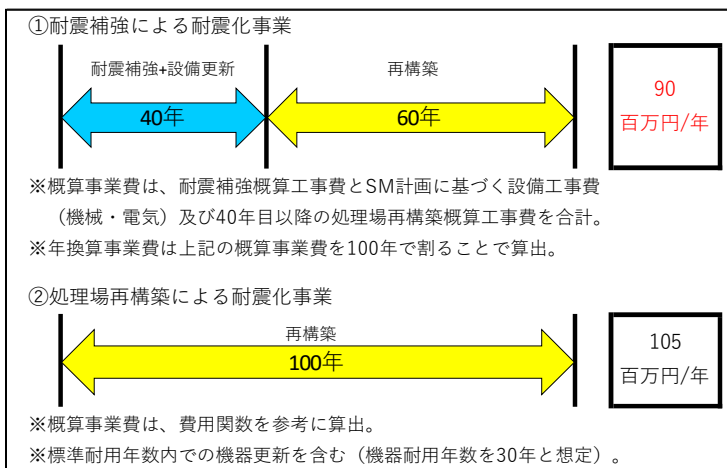


図-8： 費用比較概念図

工事費（機械・電気）及び 40 年目以降の処理場再構築概算工事費の合計により算出した。また、年換算概算事業費は、先の概算事業費を 100 年間で割ることで算出した。

②「処理場全体の再構築による耐震化」は、耐震補強せずに処理場全体を再構築することで耐震化を図る案である。「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説-参考資料-」に示されている費用関数を基に概算事業費（建設工事費（土木・建築）と概算設備工事費（機械・電気））を算出した。また、撤去費用は概算費用の 50%を見込んだ。なお、年換算概算事業費は先の概算事業費を目標耐用年数（100 年）で割って算出した。

なお、本検討における躯体の目標耐用年数は、別途行われた本市の SM 計画で設定された 100 年とした。また、処理場の目標耐用年数までの残存年数は、供用開始から 60 年近く経過している施設があることから、一律 40 年と設定した。費用比較の概念図を図-8 に示す。

その結果、年換算概算事業費は①：90 百万円/年、②：105 百万円/年と算出され、①の方が 15 百万円/年程度安価であることが確認された。

これを受け、本業務では「既存施設への補強による耐震化」を基本方針とした。

## 6. まとめ

本業務では、老朽化した処理場における耐震化対策案として、既存施設の耐震補強だけでなく、再構築による処理場全体の耐震性能確保の検討も行った。なお、両案においては、稼働しながらの施工が可能であることも概略的に確認した。

今後、標準耐用年数を超過した処理場への耐震診断業務が増えると予想される。この際の耐震化対策案として、本業務のような再構築による耐震性能確保の検討も行うことで、処理場全体へ経済的に効率の良い耐震化対策を提案することができると考える。検討に際して、以下に示すような項目に留意することが望ましい。

- ・現状の年間流入水量や水質変動傾向、将来計画等を確認し、以下の検討を行うこと。
  - 再構築案：適正な処理能力や処理方式の検討
  - 耐震化案：耐震補強工事施工時期の制約及び施工時期の施設運用体制等の検討
- ・耐震補強案の検討は、非線形解析の有無が大きく概算工事費に影響する可能性があることに留意すること。本業務では、非線形解析の実施による事業費削減効果を別途検討した。
- ・耐震化対策として再構築案を対象とする場合は、次の段階として詳細な施工手順や方法の検討を行い、最適な再構築手順を選定すること。
- ・耐震化事業を行うにあたって、処理場敷地内及びその周辺に関して制約となる条件を確認すること。
- ・最終的な耐震化方針は、自治体の財政状況（下水道事業予算）を勘案して検討すること。