

「小山水処理センター施設整備事業における環境配慮工事」 ～低炭素型コンクリート、工事騒音・振動監視、騒音低減の取り組み～

栃木県の南部に位置する小山市では、下水汚泥をエネルギー資源へ転換を図る「小山水処理センター汚泥処理・有効利用施設整備（設計・建設期間：2021年11月～2024年3月）および運営事業（維持管理・運営期間：2024年4月～2044年3月（20年間）」が実施されており、東洋建設株式会社・株式会社板橋組・株式会社斉藤組は、受注事業者の小山エナジーサイクル株式会社より、施設整備の一貫として各種設備基礎等の建設を請け負いました。

本運営事業では、固形燃料化設備で下水汚泥由来の燃料化物を製造し、石炭等代替燃料としてセメント工場等で利用するとともに、汚泥消化タンクから発生する消化ガス全量を活用して発電が行われるため、資源循環性および低炭素性を兼ね備えた環境に配慮した運営事業といえます。

当社では本建設工事にあたり環境に配慮した工事を進めることを目指し、近年環境負荷低減の観点から着目されている、セメントの60%を製鉄産業の副産物である高炉スラグ微粉末（以下、BF）に置き換えてCO₂の発生量を抑えた「低炭素型の環境配慮コンクリート」と、周辺建物への工事騒音・振動環境の配慮のため「TOSMO-SV」による騒音監視のほか、工事車両による発生音の低減策として「ANC技術」を採用しました。

その結果、「環境配慮型コンクリート」の採用により129tonのCO₂削減に寄与するとともに、周辺建物へ有害な工事騒音・振動を発生させることがなくなりました。また、工事車両の騒音低減対策の効果も実証しました。

当社は、今後とも環境配慮に留意し、建設工事に取り組んでまいります。

小山水処理センター施設整備事業

下水汚泥をエネルギー資源へ転換

資源の有効利用
これまで廃棄物として扱われていた下水汚泥を消化ガスおよび固形燃料化物に転換し、長期・安定的な下水汚泥のリサイクルを実現します。

地球温暖化防止
固形燃料化物の石炭代替燃料と消化ガス発電により、温室効果ガス排出量を削減します。

循環型社会の構築
本事業で発電した電力を地域社会へ供給することで、長期安定的なエネルギー循環型社会を構築します。

小山水処理センター 汚泥処理・有効利用施設整備 及び運営事業

小山市 下水道事業

小山市 小山水処理センター

汚水事業の整備概要
令和5年3月31日時点

- 行政人口 167,089人 (A)
- 供用開始区域内人口 107,609人 (B)
- 水質人口 97,754人 (C)
- 普及率 64.4% (B/A)
- 水洗化率 90.8% (C/B)
- 事業計画区域面積 2,918.7㎡ (D)
- 供用開始区域面積 2,460.5㎡ (E)
- 整備率 84.3% (E/D)

【お問合せ先】
小山市 下水道事業
〒323-8686 栃木県小山市中央町1-1-1 4階
TEL: 0285 (24) 7813
FAX: 0285 (23) 0342
Email: d-ijyogiseta@city.oyama.tochigi.jp

事業概要

本事業は、下水汚泥の有効利用施設を設計・建設し、既存の汚泥濃縮・脱水施設と一緒に維持管理運営を行うものです。本事業で整備する濃縮・消化・燃料化プロセスにより以下の2つの有効利用を長期・安定的に、温室効果ガス排出量の削減および下水道の持続可能な事業運営に寄与します。

- 固形燃料化設備で下水汚泥由来の燃料化物を製造し、石炭代替燃料としてセメント工場等で利用します。
- 汚泥消化タンクから発生する消化ガス全量を活用して発電を行い、固定価格買取制度に基づいて売電します。

プロセスフロー

施設概要

【事業名称】 小山水処理センター汚泥処理・有効利用施設整備及び運営事業
 【施設能力】 初次汚泥と余剰汚泥の合計：9,950㎥/日
 【計画量】 燃料化物製造量：約3,600㎥/日、発電量：約4,300kWh/日
 【事業期間】 設計・建設期間：2021年11月～2024年3月 (20年間)
 維持管理・運営期間：2024年4月～2044年3月 (20年間)
 【事業方式】 PF1-BTO方式※1
 ※1 PF: 設備の資本価値を無償し、設計・建設費を民間事業者が自費で負担する方式。BTO: 施設が所有権を保有期間中に売却する方式。
 【運営事業者】 小山エナジーサイクル株式会社

消化ガス発電設備について

形式	マイクロガスエンジン
設備容量	200kW (ガスエンジン25kW×8台)
年間発電量	約157万kWh※1 (一般家庭約370世帯※2相当)

※1 2025年下水汚泥発生量予測値における発電量
 ※2 令和2年度の1世帯あたりの電力使用量4,258kWh/年より算出(出典:環境省HP)

固形燃料化物について

固形燃料化物	石炭(参考)
含水率	20%以下 / 10%程度
総発熱量	13.7MJ/kg / 27~31MJ/kg-wet程度
製造量	約900ton-wet/年 / -

下水汚泥固形燃料化設備 (PF2-T12)における原料の基準*を満たす燃料を製造
 *総発熱量8MJ/kg以上、含水率20%以下

- 機械濃縮機** 進行する車の上に汚泥を供給して連続的に濃縮するベルト濃縮機です。本機で汚泥濃度を5%まで高めて汚泥消化タンクへ投入します。
- 汚泥消化タンク** 日本下水道事業団の技術評価を受けた信頼製タンクです。汚泥中に含まれる有機物を分解して汚泥を減量化し、タンク内の生成した消化ガスが発生させます。
- 消化ガス発電設備** 汚泥消化タンクで発生した消化ガス全量を活用して発電します。また、発電時に発生する蒸気も活用して汚泥消化タンクを加熱します。
- 固形燃料化設備** 電動力で動く脱水機と円筒式炭化機で構成される脱水燃料システムを採用しています。排水汚泥を熱風と共に循環させて乾燥し、含水率約20%の燃料化物を製造します。本システムは、シンプルかつコンパクトな配置が可能であることから、コスト削減・省エネルギー化が可能であり、小規模設備が導入し、簡便です。
- 燃料化物ホッパー** 約30kgの燃料化物を貯蔵できます。一時貯蔵した後、トラックで有効利用先へ出荷します。

適用工法の概要

① 低炭素型の環境配慮コンクリート

通常、陸上工事ではコンクリートの結合材には普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント B 種（普通ポルトランドセメントの約 43%を高炉スラグ微粉末で代替したセメント工場製品）が使用されるところ、レディーミクストコンクリート工場において、普通ポルトランドセメントの 60%を高炉スラグ微粉末^{※1}で代替した結合材を混合して使用した「低炭素型の環境配慮コンクリート」を、プラント設備基礎へ計 854m³使用しました。

本工事における「低炭素型の環境配慮コンクリート」の採用^{※2}は、CO₂削減に大きく貢献した他、マス部材となる設備基礎の温度応力ひび割れの発生抑制にも寄与しています^{※3}。CO₂削減量の試算結果^{※4}は、普通ポルトランドセメントのみ使用した場合と比較すると 129ton、高炉セメント B 種を使用した場合と比較すると 36.5ton となります。CO₂削減量の割合では、それぞれ 57.2%、27.5%となります^{※4}。

なお、「プローブシステム^{※5}」を搭載したアジテータ車を一部採用し、ドラム内コンクリートの品質をレディーミクストコンクリート工場から建設現場でのコンクリート荷卸し時までを逐次モニターし確実な品質確保に努めるなど、所要品質を満足した低炭素型の環境配慮コンクリートを現場適用しました。

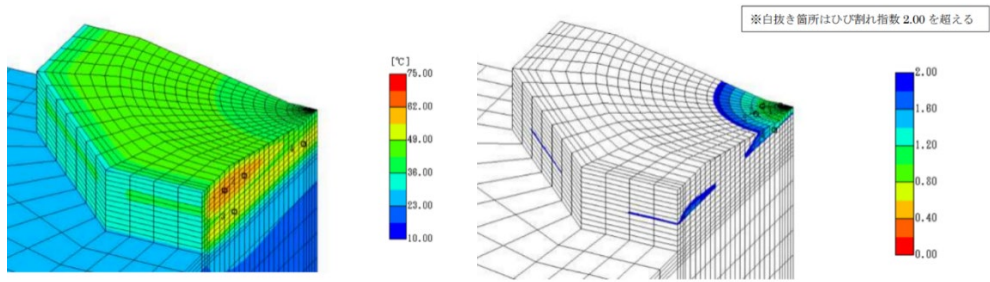
※1：高炉スラグ微粉末とは、製鉄所の高炉から排出された溶融状態のスラグを高速の水や空気急冷し、微細に粉砕したものです。高炉スラグ微粉末はそのままでは硬化しませんが、セメントの水和反応によって生成する水酸化カルシウム等のアルカリ性物質および石膏の硫酸塩の刺激によって、水和・硬化する潜在水硬性を有しています。高炉スラグ微粉末は、高炉における鉄の製造過程で副産される高炉水砕スラグを乾燥、粉砕した製品です。したがって、ポルトランドセメントのように石灰石（主鉱物は CaCO₃）を焼成する工程がないため、CO₂が排出される割合が極めて小さくなります。



写真 高炉スラグ微粉末

※2：本工事における低炭素型の環境配慮コンクリートの適用にあたり、設備基礎のマス部材の温度応力ひび割れ解析のほか、予めレディーミクストコンクリート工場での製造試験による各種性能を確認しています。環境配慮型コンクリートの設計基準強度は 24N/mm²と 30N/mm²の 2 種類であり、結合材の割合は普通ポルトランドセメント 40%と高炉スラグ微粉末 60%です。

※3：設備基礎の温度応力ひび割れの発生抑制



a) コンクリート打設後の最高温度

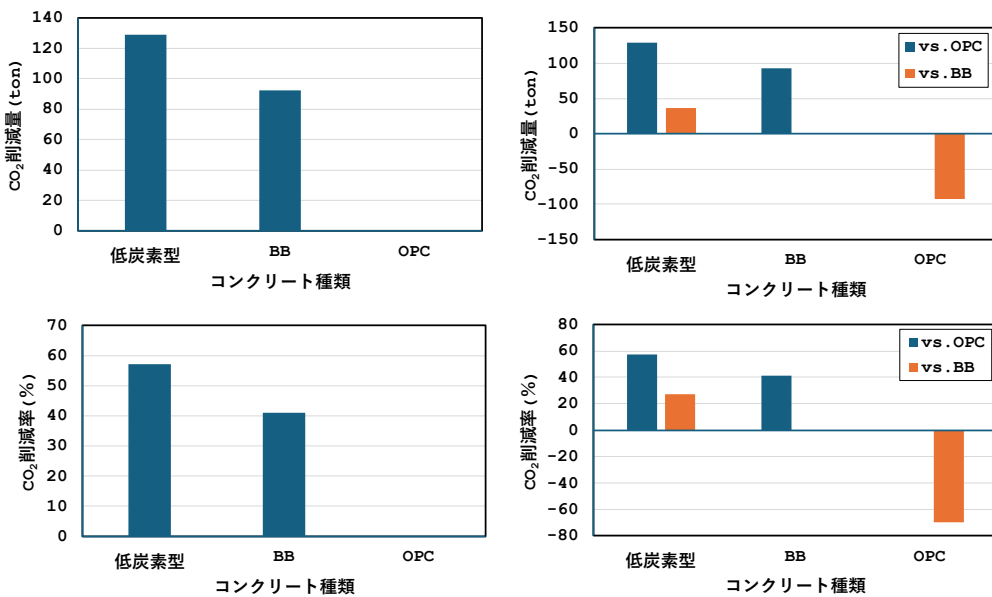
b) コンクリート打設後の最小ひび割れ指数

参考図 コンクリートの温度効力解析の一例（汚泥消化タンク基礎）



参考 汚泥消化タンク基礎のコンクリート打設後の状況と図面

※4：環境配慮型コンクリート：普通ポルトランドセメント 1 ton を製造するためには、785kg の CO₂ が発生します。高炉スラグ微粉末の場合は 1 ton あたり 36.5kg となります。インベントリデータによる結合材 1ton あたりの比較の CO₂ 排出量等を示す。なお、高炉セメント B 種の高炉スラグ微粉末の割合は 43%として算出しています。

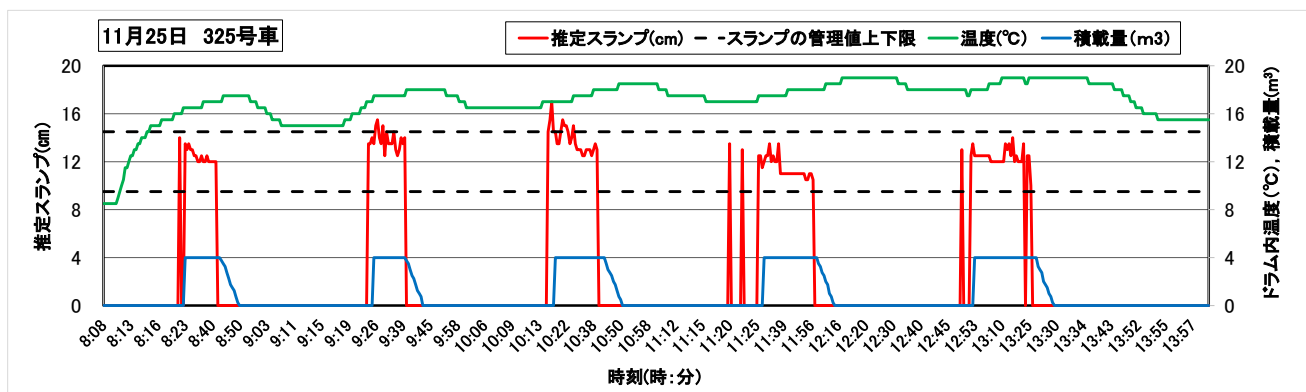


参考図 本工事の環境配慮型コンクリート採用による CO₂ 削減効果

※5：プローブシステム（スマートアジテータ）によるコンクリートの品質の連続管理技術は、出荷から荷卸しまでのコンクリートのスランプ、スランプフローおよび温度の連続計測・記録技術です。
 （一般社団法人日本建築総合試験所より、建設材料技術性能証明（第 22-04 号、2023 年 1 月 16 日、申込者は GNN Machinery Japan 株式会社ですが、共同実験研究会には東洋建設も参画しています）



参考図 プローブシステムの概要



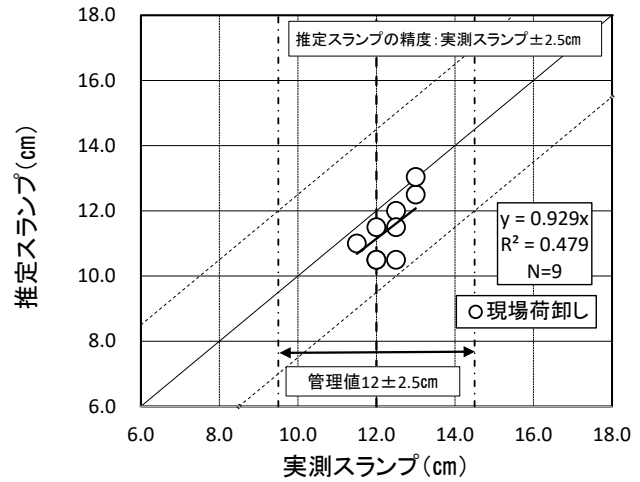
参考図 プローブシステムによる管理図の例（325号車の1日5回の運搬記録）

図の説明：横軸は時刻であり、アジテータ車（車番 325 号）の 1 日に 5 回現場へコンクリートを運搬した記録である。赤色線がコンクリートの推定スランプ、緑色線がドラム内の温度、青色線がコンクリート積載量である。これらのデータは、リアルタイムにクラウドデータとしてどこからでも閲覧可能である。現場における荷卸し時のコンクリートの推定スランプが、管理基準の 12 ± 2.5 cm の範囲にあることがわかる。なお、参考図は、本工事で得られた実測スランプと推定スランプの関係図である。推定スランプは概ね実測スランプを捉えていたといえる。



コンクリートのスランプ試験

写真 実測スランプの例



参考図 実測スランプと推定スランプの関係

② 「ANC 技術」と「TOSMO-SV」

周辺環境への騒音と振動に対する配慮としての技術提案は、低騒音・低振動型の建設重機や車両の騒音対策を強化する「ANC 技術」と工事騒音広域監視システムによって騒音影響を管理する「TOSMO-SV」の2つです。隣接建物への影響に関して、工事騒音広域監視システムや振動レベル計によって騒音と振動を監視した結果、工事期間中の規制基準を十分に下回ることが確認されました。よって、工事騒音振動に関し「周辺環境に配慮した施工」ができました。

また、騒音対策として実施した「ANC 技術」は、油圧ショベルエンジン排気音低減用の ANC サイレンサーです。施工時に実施した低減効果確認測定結果より、ANC サイレンサーの有効性を確認しました。

1)ANC 技術：

アクティブ騒音制御（ANC: Active Noise Control）は、発生音と逆位相の音を出力させることにより対象とする建設機械の騒音を低減する技術で、本工事では写真のように油圧ショベルのエンジン排気口周りにマイクとスピーカを設置した ANC サイレンサーを適用しました。

ANC が OFF のとき、40Hz 帯域が 73.3dB、80Hz 帯域が 81.9dB と 2 帯域で卓越成分が確認されましたが、ANC を ON にすると、それぞれ 61.5dB、69.0dB と、約 12dB の低減効果が得られました。

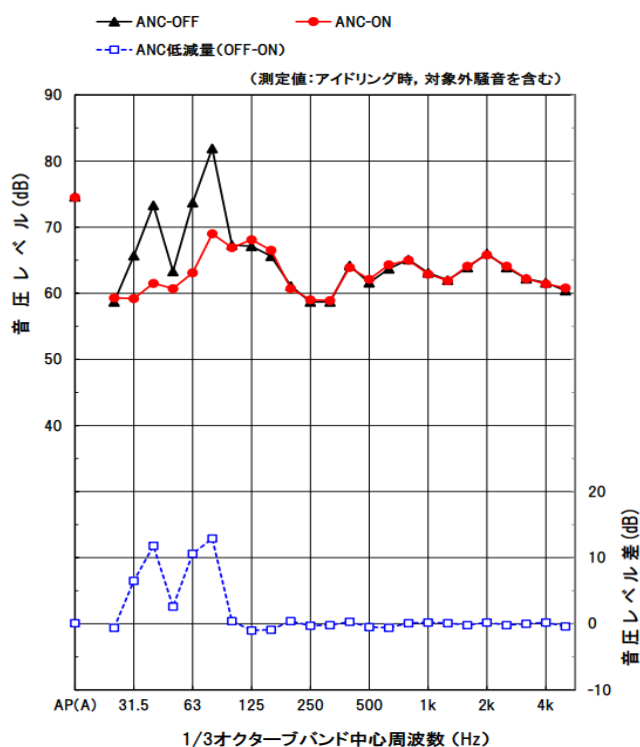


写真 3.1 ANC サイレンサー設置状況



写真 3.2 ANC サイレンサー効果測定状況

写真 ANC を搭載した建設重機

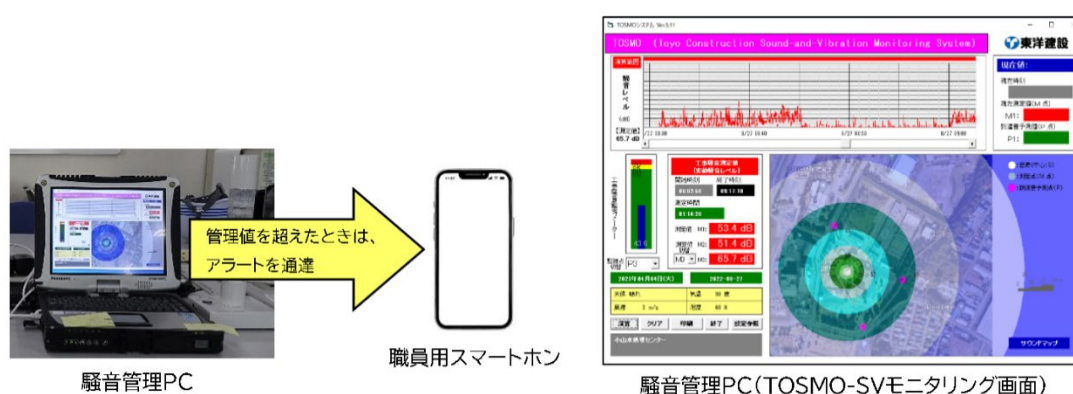


参考図 油圧ショベル エンジン換気口への ANC サイレンサー設置効果

2)TOSMO-SV :

広域工事騒音・振動監視システムは、施工エリア周辺地域に与える工事騒音・振動の影響を面的にリアルタイムに表示・監視するシステムで、騒音・振動による影響を可視化することにより、周辺地域の音・振動環境を保全しつつ最適な施工が可能となります。

なお、本工事では、工事振動については工事開始時に測定を行い、敷地境界で規制基準を十分に下回ることが確認されました（後述の3）参照）ので、工事振動監視は行わないこととし、広域工事騒音監視システムによる監視のみを行いました。



説明図 広域騒音・振動監視システム (TOSMO-SV)

音源が複数で可動範囲が広くかつ、音源が見通せる位置に騒音計（マイク）を設置できることから、1 工区（濃縮・消化設備エリア）と 2 工区（消化ガス発電・脱硫設備・ガスホルダエリア）をまとめて TOSMO 3（3 台タイプ）で監視しました。なお、3 工区（固形燃料化設備エリア）は他の工区から見通せず、音源の可動範囲が比較的狭いため、TOSMO 1（1 台タイプ）で監視しました。監視位置は工事騒音の影響を受けやすい民家等との敷地境界付近に設定しました。

監視位置 P1～P3 における監視期間中の最大値は、TOSMO 3 で 61.7dB（P2）、TOSMO 1 で 67.7dB（P3）であり、ほとんどの場合これを十分に下回る結果でした。

よって、提案どおり 85 デシベル以下（敷地境界）での工事管理がなされたことがわかります。

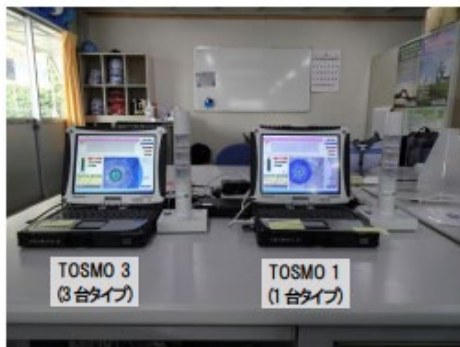


写真 1.1 TOSMO 監視画面(事務所内)



写真 1.2 TOSMO 3/M1(マイク 1)



写真 1.3 TOSMO 3/M2(マイク 2)



写真 1.4 TOSMO 3/M3(マイク 3)



写真 1.5 TOSMO 1/M(マイク)



写真 1.6 監視位置 P1 (東側境界付近)

写真 監視状況とマイク設置状況

3) 工事振動測定：

1 工区（濃縮・消化設備エリア）における杭打設時の工事振動を測定しました。振動発生源からの距離の異なる地表面 3 か所（V1：18m、V2：28m、V3：166m）に測定点を設定した結果、振動規制法の値である鉛直方向の振動レベルは、V1（発生源から 18m）で 48.3dB、V2（発生源から 28m）で 40.4dB、V3（発生源から 166m／敷地境界近傍）で 30.8dB でした。このことより工事期間中の敷地境界における工事振動は、規制基準の 75 デシベルを十分に下回ることが推定されました。



写真 2.1 振動測定：V1（発生源から 18m）

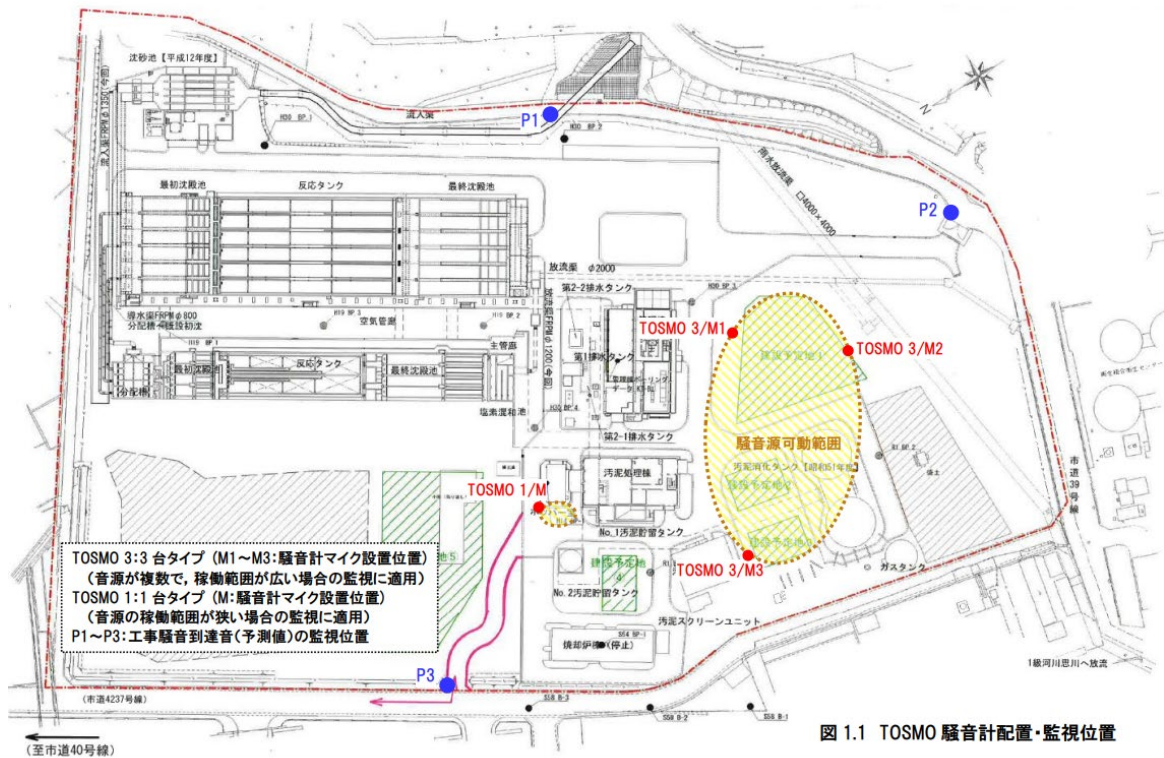


写真 2.2 振動測定：V2（発生源から 28m）



写真 2.3 振動測定：V3（発生源から 166m）

写真 振動レベル計による工事振動測定状況



参考図 TOSMO の騒音計配置 (マイク位置) および工事騒音監視位置

お問い合わせ先
 東洋建設株式会社 コーポレート部門
 管理グループ 広報部
 電話 03-6361-2691