

関西電力株式会社高浜発電所放水口防潮堤地盤改良工事に係る申告について

平成29年2月2日  
原子力施設安全情報  
申告調査委員会

1. 申告の経緯

平成28年5月26日に原子力規制委員会のホームページの意見・質問サイトに関西電力株式会社（以下「関西電力」という。）高浜発電所放水口（1～4号機共用）防潮堤地盤改良工事に関して、申告者からメールによる情報提供があった。

その後、複数回にわたり原子力施設安全情報申告調査委員会事務局（以下「事務局」という。）は、申告者とメール、電話及び面談により情報の詳細内容の把握を行った。

同年8月26日、第18回原子力施設安全情報申告調査委員会（以下「申告調査委員会」という。）にて受理し、同年8月29日から関西電力に対して調査を依頼した。

事務局は、同年9月9日から平成29年1月31日まで複数回関西電力から調査状況を確認した。

2. 申告の概要

(1) 申告者

匿名

(2) 作業時期

平成27年6月～11月

(3) 作業場所

- ・ 関西電力高浜発電所放水口
- ・ 地盤改良工事を請け負った元請け会社の協力会社が保有する倉庫

(4) 申告者からの情報の概要

- ① 放水口防潮堤地盤改良工事について、工事に必要とされる薬液（シリカグラウト）が予定どおりに使用されていない。
- ② ①に記す地盤改良工事に使用される薬液の計画注入量と実際に使用した量に差が生じるため、注入量の記録（圧力流量測定装置）の修正を行った。
- ③ 工事で発生した産業廃棄物（注入作業の過程で生じた薬液廃液）について、当初予定されていた方法（バキューム車により発電所外へ搬出し産業廃棄物として処理）での処理を行っていない。

注：なお、③産業廃棄物の取扱いについては、原子力規制委員会の所管外のため、申告調査委員会においては、参考情報として対応。

### 3. 本申告案件に関する法令との関係

#### (1) 設置許可及び新規制基準適合義務

防潮堤（地盤を含む）は、原子力施設を津波から防護するために設置する発電用原子炉施設であり、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律に基づく新規制基準において「津波防護施設」に位置付けられるとともに、想定されている地震・津波に対して、その安全機能を損なわれないことが要求されている（同法第43条の3の6第4号）。

#### (2) 工事計画認可

高浜発電所の防潮堤は、同法第43条の3の9第1項により、「当該工事に着手する前に、その工事の計画について原子力規制委員会の認可を受けなければならない。」及び、同条第3項第2号により、「発電用原子炉施設が同法第43条の3の14の技術上の基準に適合するものであること。」が要求されている。

高浜発電所3，4号機の工事計画認可（平成27年8月4日（3号機）、同10月9日（4号機））にあたって、原子力規制委員会は、工事計画認可対象設備として、認可申請書の添付書類に、防潮堤の地盤、地震による損傷及び津波による損傷防止についての強度等に関する説明書が提出され、これらについて確認している。

#### (3) 使用前検査

同法第43条の3の11に基づき、認可を受けて工事する発電用原子炉施設は、「原子力規制委員会の検査を受け、これに合格した後でなければ、これを使用してはならない。」とされている。

現時点において、高浜発電所3号機に係る使用前検査は終了（平成28年2月26日、当該防潮堤等4号機との共用設備を含む。）しているが、4号機は検査中である。

当該防潮堤の工事について、関西電力は、平成27年7月11日から工事を開始し、同年9月27日までに薬液注入工事を完了、同年11月11、12日に基準適合性を確認した。原子力規制委員会は、同年11月19日、20日に性能を確認する使用前検査を実施、同年12月3日に、地盤改良工事の基本設計方針に係る使用前検査を実施した。その結果、当該防潮堤は、同検査に合格している。

#### 4. 主な調査項目

申告内容による高浜発電所放水口防潮堤の安全性への影響を評価するため、申告調査委員会における議論を踏まえ、事務局において、工事計画認可どおりに工事が行われたか、以下の項目について調査を実施。

- (1) 関西電力の地盤改良工事の品質管理体制
- (2) 薬液注入量、記録の信頼性
  - ① 薬液注入量（実績）\*及び薬液納入量
    - \*：地盤に注入する薬液の圧力及び流量を時系列の波形記録として圧力流量測定装置により記録。
  - ② 圧力流量測定装置の仕組み・能力（データの改ざん防止を含む）
  - ③ 工事期間中の同装置の現場での使用管理状況及び現場からの搬出状況
  - ④ 関西電力等による現場工事管理の状況
  - ⑤ 工事期間中の現場作業時間
  - ⑥ 本工事による地盤改良効果（液状化抵抗比）確認試験方法及び試験結果
- (3) その他
  - ① 薬液注入作業に伴う廃液の処理
  - ② 施工中の水質データ（観測井、放水路、放水口沖合い）

#### 5. 調査結果

上記4. の各項目について、事務局による調査において、関西電力に確認した結果は以下のとおり。

- (1) 関西電力の地盤改良工事の品質管理体制
  - 関西電力の地盤改良工事に係る品質管理体制を確認する等した結果、元請け会社の下に工事実施会社とは別の会社により、ボーリング調査、土質試験等を実施する体制を構築し、品質確認を行っていた。
- (2) 薬液注入量、記録の信頼性
  - ① 薬液注入量（実績）及び薬液納入量
    - 本工事に使用された薬液量について、納品書及び納入状況写真により確認するとともに、計画注入量と納入量が一致する（納入量が注入計画量を約0.6%上回る）ことを確認。
    - また、圧力流量測定装置の薬液注入チャート（本工事でボーリングを実施した全削孔（約3, 200本）に関する、約1, 600チャート、8m/チャート、1チャート約15箇所分を記録）により、計画注入量どおり薬液が注入されたことを確認した（実際の注入量/計画注入量 $\approx$ 100%）。

関西電力は、圧力流量測定装置によるチャートを全て調査した結果、流量、圧力、注入日など異常を示すものは無く、計画どおりに工事が実施されていたことを確認。

さらに、事務局において、関西電力が確認したチャート（約25,000箇所）のうち、抜き取りにより約1,800箇所を確認した結果、工事の記録の修正は確認されなかった。

## ② 圧力流量測定装置の仕組み・能力（データの改ざん防止を含む）

圧力流量測定装置（業界団体認定、重量約120kg）は、チャート紙に注入施工時の流量・圧力を時系列的にペン書き記録するとともに、注入完了時にはチャート紙に年月日・注入量・記録部固有番号・チャート番号をプロッタで印字するシステムであり、チャートに関する固有番号等の記録と圧力・流量データを同時に印字することにより、データ改ざんを防止する仕組みである。

また、当該測定装置は、検出部からの流量・圧力信号はそれぞれの検出器（センサー）からアナログ信号が演算部に入り演算した後、記録部に送られペン書きする構造となっており、仮にPC等外部の信号と接続したとしても、記録部の設定プログラムはパスワードを入力しないと解除できないような構造になっており、外部からの入出力及びスケール等の設定変更ができないようにプロテクトがかかっている。

本工事で使用した測定装置のパスワードは、メーカー及びリース会社のみ把握しており、元請け会社や協力会社はじめ現場作業員には、パスワードを知らされていないことを確認した。

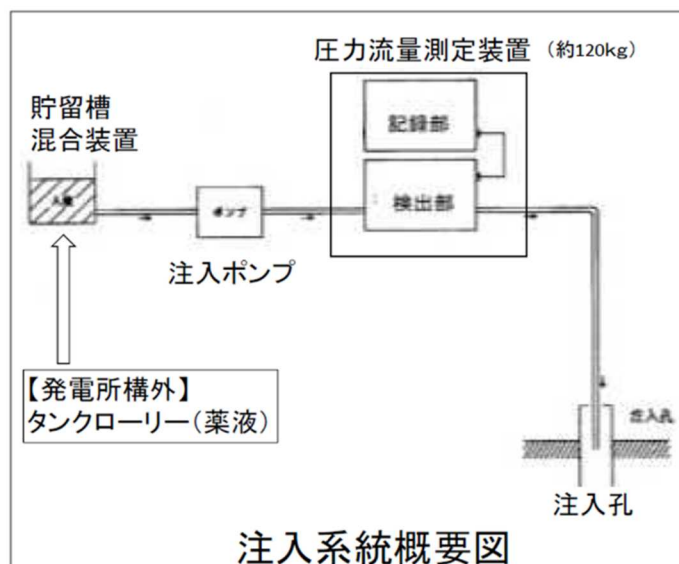


図1 圧力流量測定装置概要

③ 工事期間中の同装置の現場での使用管理状況及び現場からの搬出状況

本工事において、109台の圧力流量測定装置が使用されたが、現場に設置された後は、薬液注入工事が完了するまで、現場から搬出されていなかったことを、構内搬出記録から確認した（A～Cプラント：注入完了日平成27年9月24日、搬出日平成27年9月25日～、Dプラント：注入完了日平成27年9月27日、搬出日平成27年9月29日～）。

④ 関西電力等による現場工事管理の状況

関西電力及び元請け会社は、薬液搬入時に立会、納品書等記録による確認を行うとともに、薬液注入に関し、注入完了後にチャートによる確認を行っていた。

また、平成27年7月1日～9月30日の間の土日及び7月20日、9月21日～23日を除き、関西電力社員による施工管理のための現場の巡回が行われていた。

⑤ 工事期間中の現場作業時間

注入作業は、平成27年8月7日から9月27日まで行われたが、この間作業は昼勤（8：00～20：30）と夜勤（20：00～翌朝8：00）の昼夜2交代で行われていた（日曜日は休み）。

⑥ 本工事による地盤改良効果確認試験方法及び試験結果

注入後の液状化に対する地盤改良効果を確認するため、関西電力は、法令上求められている、地盤からのサンプリングによる液状化抵抗比※または、シリカ含有量から算出した液状化抵抗比※を用いて、全ての箇所についてせん断応力を上回ることを確認していた。

※：地盤の液状化に対する強度

【工法の特徴】

間隙水をシリカのゲル化物に置換えることにより粘着力を付与し、砂の液状化を防止する。

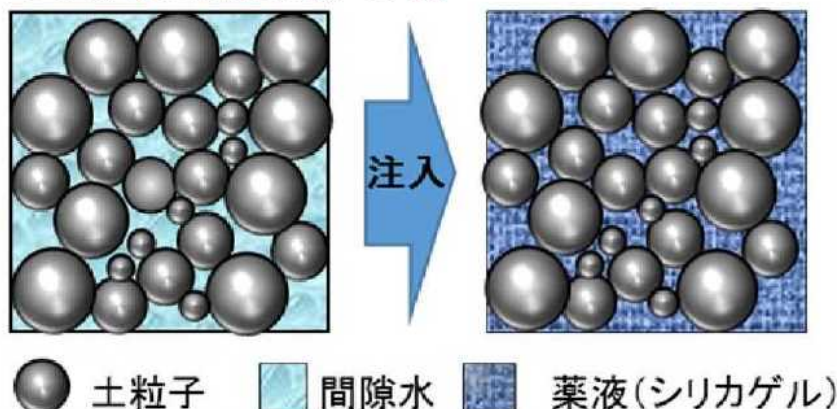


図2 薬液注入後の地盤形成状況（モデル図）

### (3) その他

- ① 薬液注入作業に伴う廃液の処理
- ② 施工中の水質データ（観測井、放水路、放水口沖合い）

本事項については、原子力規制委員会の所掌外であるが関西電力から、注入工事の過程で発生する薬液の廃液は、バキューム車により搬出し産業廃棄物として処理したとの回答を得た。

また、本工事期間中、発電所内の観測井、放水口及びその近傍12箇所における水質データにより観測しており、水質が悪化するようなデータは観測されていないことを確認した。

## 6. 結論

以上の調査結果によれば、当該地盤改良工事においては、申告者からの情報提供のあった、「①：放水口防潮堤地盤改良工事について、工事に必要とされる薬液（シリカグラウト）が予定どおりに使用されていない。」については、当該注入工事のために納入された薬液は計画どおりに使用されたものと判断される。

また、「②：①に記す地盤改良工事に使用される薬液の計画注入量と実際に使用した量に差が生じるため、注入量の記録（圧力流量測定装置）の修正を行った。」については、工事期間中（平成27年8月7日～9月27日）、現場において圧力流量測定装置のチャート記録の改ざんを行うことは事実上不可能であり、また注入工事期間中に発電所の外へ同装置が持ち出されることもなかったこと等から、記録（チャート）の改ざんは行われていないものと判断される。

### (参考)

なお、当該注入工事の過程で発生した薬液廃液の処理についても調査した限りにおいて問題は見受けられなかった。

以上

1. 放水口防潮堤地盤改良工事について

(1) 放水口防潮堤の概要

高浜発電所の放水口側に設置されている防潮堤(以下、「放水口防潮堤」という)は、施設の天端高さを、想定される入力津波高さ T.P.+6.7m に対して余裕を有するように T.P.+8.0m に設定し設置している。放水口防潮堤は、地震時、津波時の各ケースに応じて、想定される事象による荷重を評価し、これらの荷重を適切に組み合わせて作用させた場合に、施設全体の安定性が保たれ、施設を構成する各部材が健全性を保ち、施設の天端高さが想定される津波高さを上回る事等によって、津波防護機能が確保されていることを確認している。

なお、放水口防潮堤は、新規規制基準の要求を踏まえ、工事計画認可申請において、国、学会、協会等の定める各種基準類に基づき、構造物や地盤を適切にモデル化した解析により、構造部材の健全性(構成部材が健全であること)や基礎地盤の支持性能(施設が地盤に支えられていること)等について評価を行い、地震や津波に対して津波防護機能を損なわないことを確認したことにより、国より工事計画認可をいただいている。

(2) 放水口防潮堤地盤改良工事の概要

放水口防潮堤を設置した地盤は、液状化を生じさせないために、地盤改良工事を実施している。採用した浸透固化改良工法は、地盤中に薬液(シリカグラウト)を注入する事で、地盤内の土粒子の間隙(土粒子のすき間)にある水と薬液を置き換えるとともに、薬液が徐々にゲル状に固結することにより、対象とする地盤内には液状化の要因となる間隙水がほとんどなくなることで、液状化を生じさせない工法である。浸透固化改良工法の概要を図-1に示す。この工法は、開発されて約20年の間に1,000件以上の実績を有しており、削孔についても、施工実績の多い通常の鉛直及び斜めボーリングを用いているもので、特殊な工法を採用しているものではない。また、事前に実施した土質調査等により現地地盤の特性を十分把握して工事を実施している。

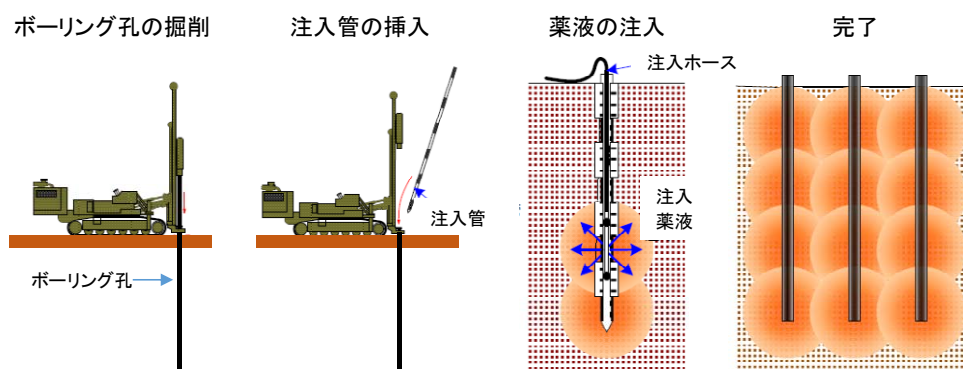


図-1 浸透固化改良工法の概要



地盤改良対象層としては、現地に分布する盛土層、砂質土層、砂礫層を対象とした。薬液の計画注入量については、改良対象となる土層において土質試験を実施し、測定された間隙に対し、注入される薬液が「浸透固化処理工法技術マニュアル(一般財団法人沿岸技術研究センター)」で定める充填率(90%)を満足できるよう注入率を設定し、設定した注入率と計画した改良範囲の土量から算出している。

また、薬液中のシリカ濃度については、解析により算出された繰返しせん断応力比(L)に対して、液状化の発生を許容しない液状化安全率である  $FL > 1$  を満足する液状化抵抗比(R)が得られる設計配合としている。なお、液状化安全率の式は以下のとおりである。

$$FL = R / L$$

ここで R：液状化抵抗比(地盤の液状化に対する強度)

L：繰返しせん断応力比

(地震時に地盤に加わる力：動的解析によって算出される力)

地盤改良工事は、関西電力(株)より元請会社に発注し、元請会社以下協力会社を含めた施工体制で実施している。現地では、平成 27 年 7 月 11 日に削孔を開始し、同 8 月 7 日に薬液の注入を開始、同 9 月 27 日に薬液注入を完了している。現場での施工状況を図-2に示す。



図-2 現場施工状況

## 2. 地盤改良工事実績の確認

### (1) 注入記録等による確認

申告者が述べているような、①放水口地盤改良工事について、工事に必要とされる薬液(シリカグラウト)が予定どおり使用されていない(以下、「申告①」という)、②①に記す地盤改良工事に使用される薬液と使用した量に差が生じるため、注入量の記録(圧力流量測定装置)の修正を行った(以下、「申告②」という)、③工事で発生した産業廃棄物(注入作業の過程で生じた廃液)について、当初予定されていた方



法(バキューム車により発電所外へ搬出し産業廃棄物として処理)での処理を行っていない(以下、「申告③」という)、といった申告①、②及び③が無かったことを確認するため、注入記録等により、A)薬液注入チャート(記録紙)による注入量の確認、B)薬液材料の納品書等により納品された薬液量の確認、C)薬液配合管理の確認、D)その他工事状況の確認を実施した。

A) 薬液注入チャートによる注入量の確認

a. 調査方法

調査は、薬液を注入した際に、注入位置、注入箇所、注入日、注入量、チャート番号及び記録部番号のデータが記載され、注入量及び注入圧力が時系列のグラフとして記載される薬液注入チャートの保管全数を対象にした。図-3にチャートの例を示す。これらのチャートの印字やグラフに不正が認められないかを確認した上で、不正のないチャートから算出される注入量が計画した数量を満足しているかどうかについて調査した。

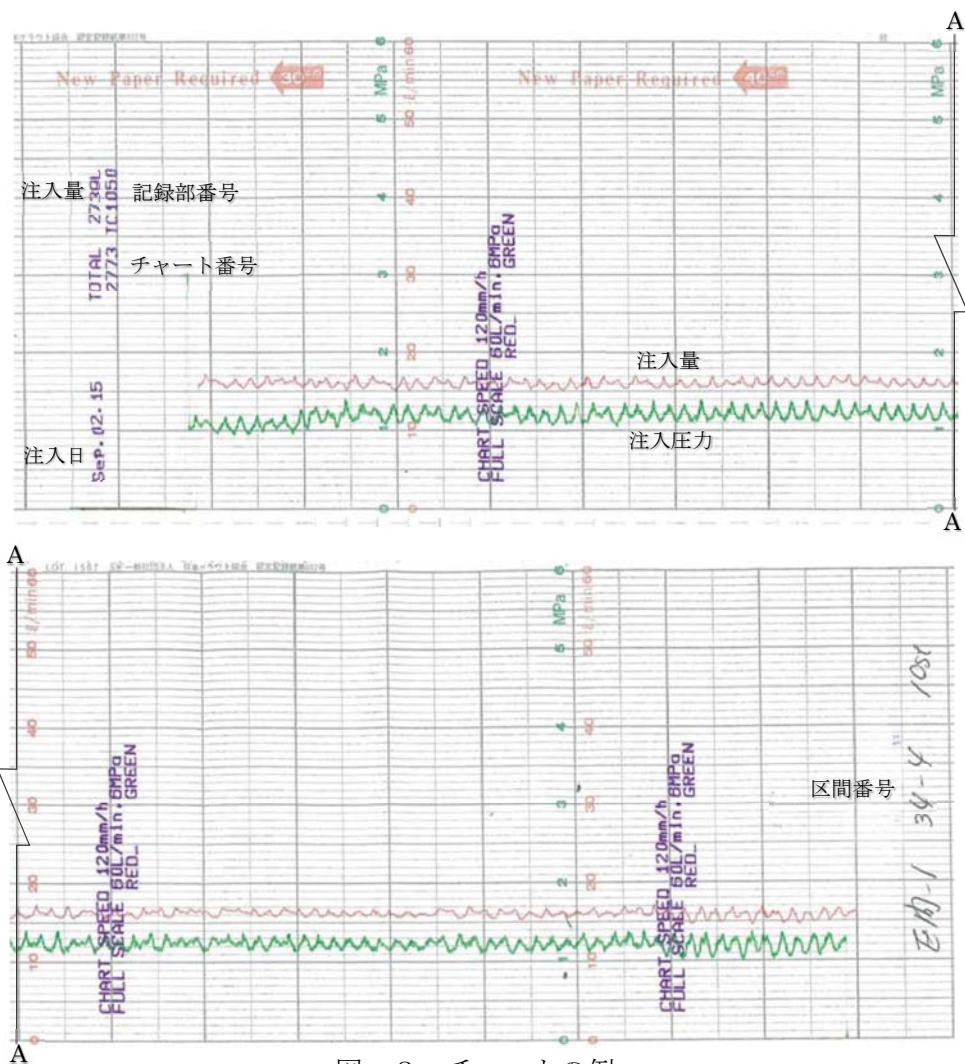


図-3 チャートの例

b. 調査結果

チャートに関して、注入量及び注入圧力のグラフに修正や不自然な動きがあるなどの不正が認められるようなものや印字について不正が認められるようなものは存在しなかった。

また、内容を確認したチャートにより算出した薬液注入量は、計画注入量を上回っていることを確認した。

以上のことから、申告①及び②を示す証拠は認められなかった。なお、チャートを確認している際に、チャート番号の飛び(抜け)が認められたため薬液注入工事日報等で確認したところ、チャートの存在が確認できない注入箇所が存在したため、注入実施後に一部チャートを紛失したものと考えられるが、薬液注入量は、それらを除き算出している。

B) 薬液材料の納品書等により納品された薬液量の確認

a. 調査方法

薬液材料の現地への納入実績を納品書等で確認し、現場へ搬入された薬液材料で計画した工事量がまかなえるかどうかについて調査した。

b. 調査結果

保存している納品書及び納入時に撮影している写真より現場へ搬入された事が確認された薬液材料ごとの納入量と計画注入量から必要とされる薬液材料ごとの必要量を算出したものとを比較した。薬液材料ごとの納入量は計画注入量から算定された必要量を上回っていることを確認しており、申告①を示す証拠は認められなかった。

C) 薬液配合管理の確認

a. 調査方法

現場の薬液配合プラントにおいて、毎日2回計測している薬液の配合管理(薬液の水素イオン指数及び比重)が適切に計測されているかどうかを配合管理日報において確認する事で、適切に配合された薬液を使用しているかどうかを調査した。

b. 調査結果

すべての薬液配合管理の結果は、規格値を上回っていることを確認しており、申告①を示す証拠は認められなかった。

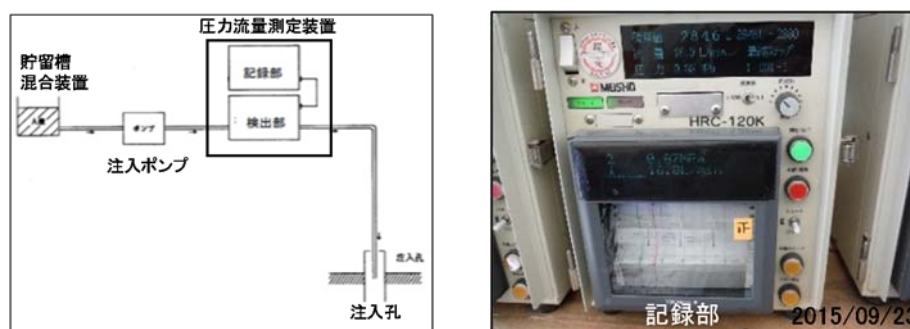
D) その他工事状況の確認

その他工事状況の確認として、圧力流量測定装置の状況、現場工事管理状況、廃液の処理状況、施工中の水質管理状況についても確認した。

a. 圧力流量測定装置の状況

チャートには、圧力流量測定装置により、注入日、注入量、チャート番号及び記録部番号が自動で印字され、注入量及び注入圧力が時系列のグラフ

として自動で記載される。圧力流量測定装置は、流量や圧力を測定する検出部と検出部のデータをデジタル値で表示するとともにチャートに印字する記録部から構成される。図－４に注入系統概要図及び装置写真を示す。使用している一般社団法人日本グラウト協会認定の圧力流量測定装置は、グラフとデータの印字を同時に実施する事でデータの改ざんを防止している。



図－４ 注入系統概要図及び装置写真

注入量等の記載や接続機器を変更するためには、記録部の設定を変更する必要があるが、そのためには、パスワードの入力が必要となり、機器のメーカー及びリース会社以外の者が変更できないものであることを確認している。

また、リース元への返却等による機器の現場からの搬出状況を、リース元の受取伝票等の記録により確認したが、不自然なものは存在しなかった。

以上のことから、申告者が述べているような発電所外の場所に圧力流量測定装置を持ち出した記録を確認する事はできず、また、工事完了後に持ち出したとしても、圧力流量測定装置の日付等の印字自体を、細工することは不可能であり、現場施工日以外の日付の記録が存在しないことも合わせて、申告②が行われたとは考えられない。

#### b. 現場工事管理状況

現場施工を実施する上で、関西電力(株)及び元請会社は、決められた頻度で、記録確認や立会等により、削孔位置、薬液材料の比重、薬液注入位置等の管理項目が、規格値内で施工されていることを確認しており、申告①を示す証拠は認められなかった。

また、現場施工においては、作業日は24時間作業を実施し、元請会社及び一次協力会社の職員が、作業中は常時立会管理しており、申告者が述べているような発電所外の場所に圧力流量測定装置を持ち出す事は難しく、申告②が行われたとは考えられない。

c. 廃液の処理状況

薬液材料は以下の運用を実施することにより極力廃液が生じないように運用していた。

- ・ 薬液材料がそれぞれ配合に見合った量となるよう、都度調整しながら入荷指示を実施。
- ・ 構内に設置したプラント毎の使用量により融通し、廃液が発生しないようポンプにて移送。

その上で配管等に残った薬液材料は排水タンクに集積した後、バキューム車により搬出し、産業廃棄物としての処理を実施しており、申告③を示す証拠は認められなかった。

d. 施工中の水質管理状況

施工中の周辺環境への影響を確認するために、施工位置付近に設置した観測井(観測用の井戸)、放水路内の観測点及び放水口沖合の観測点において、水質観測を実施していた。全ての水質観測結果は、それぞれ基準値内に収まっているか基準値がない項目は大きな変化が認められないものであり、海洋への薬液の投棄はもちろんのこと、施工による環境への影響も無いことを確認しており、申告③を示す証拠は認められなかった。また、当時の元請会社及び一次協力会社の職員から聞き取りした結果によれば、申告者が述べているような、現場作業員が海洋に浮かぶ魚や貝の死骸を処分したことも確認できなかった。

(2) 地盤改良効果の確認

地盤改良効果の確認として、不攪乱試料による繰返し非排水三軸試験(液状化試験)を実施し、改良地盤の液状化に対する抵抗力を直接求めることを基本としたが、礫分の多い現地地盤から試験に用いる供試体が十分採取できない事も考慮し、ボーリング等により得られた試料から、シリカ増加含有量を確認する方法も採用している。シリカ増加含有量と液状化抵抗比(R)の関係は、不攪乱試料及び現地から採取した地盤材料から作成した室内供試体により、繰返し非排水三軸試験(液状化試験)を実施して求めたシリカ増加含有量と液状化抵抗比(R)の関係から、推定している。

調査位置は、平面的・断面的に網羅的に確認できる配置とし、「浸透固化処理工法技術マニュアル(一般財団法人沿岸技術研究センター)」に基づき、確認ボーリングを実施するとともに、1ボーリングあたり上・中・下層からの試料採取を基本としている。

地盤改良効果の確認フローを図-5に示す。

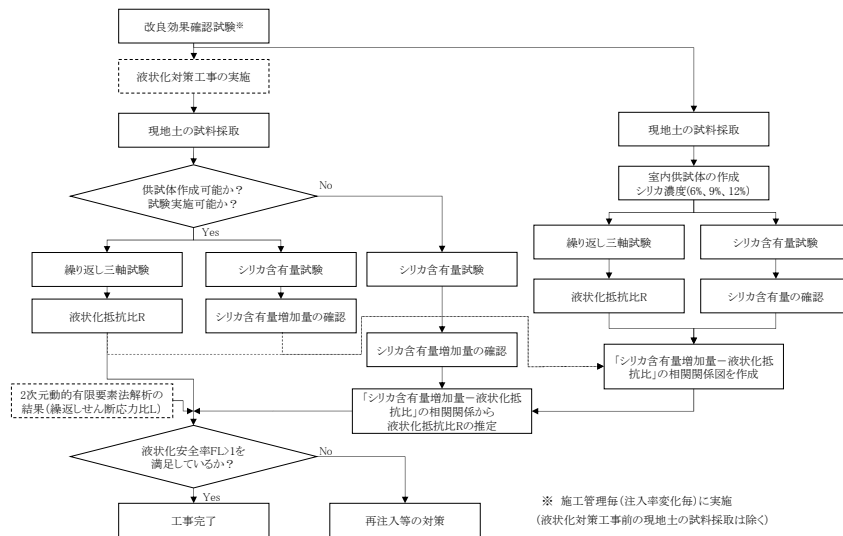


図-5 地盤改良効果の確認フロー

試験を行う専門会社により実施した繰返し非排水三軸試験(液状化試験)結果及びシリカ増加含有量を確認する方法からの推定結果全てにおいて、所定の液状化抵抗比(R)を満足しており、計画時の地盤改良効果が得られている事を確認した。

### 3. 調査結果

以上のことから、工事に関する記録等による確認結果によれば、本工事は、適切に施工・検査を行っており、薬液注入に関して問題は無く、計画時の地盤改良効果が得られていることを確認していることから、申告①、②及び③はなかったものとする。

以上