

凍土方式による陸側遮水壁の造成

凍結管の削孔・建て込み、凍結設備の設置工事

木 田 博 光・浅 村 忠 文・阿 部 功

福島第一原子力発電所の1～4号機の原子炉建屋群では、地下水が流れ込むことで1日に約300トンの新たな汚染水が発生している。汚染水増加を抑制する対策のひとつとして、建屋周りを凍土方式の遮水壁（深さ約30m、全長約1,500m）で取り囲む、凍土方式による陸側遮水壁（以下、“陸側遮水壁”と呼ぶ）が採用された。本報では、凍結管の削孔・建て込み工事および凍結設備について報告する。

キーワード：福島第一原子力発電所、震災復旧、凍結工法、凍土遮水壁

1. はじめに

福島第一原子力発電所の1～4号機の原子炉建屋群では、地下水が流れ込むことで1日に約300トンの新たな汚染水が発生している。汚染水は、回収し浄化処理した後、冷却水として一部再利用されているが、増えた分はタンクを増設し、貯留し続けている。陸側遮水壁は、汚染水増加を抑制する対策のひとつとして採用された。建屋周りを凍土方式の遮水壁（深さ約30m、全長約1,500m）で取り囲み、山（西）から海（東）へ流れる地下水を迂回させて建屋に近づけないことにより、汚染水増加を大幅に低減することを目的としている（図－1）。

事業概要は以下の通りである。

事業名：平成25年度「汚染水処理対策事業（凍土方式遮水壁大規模整備実証事業）」

補助金交付者：経済産業省 資源エネルギー庁

共同研究者：東京電力ホールディングス(株)、鹿島建設(株)

工期（補助事業期間）：2013年10月～2016年3月

主要数量

- ・凍結管 1,568 本、測温管 359 本
- ・冷凍機 30 台
- ・水位観測井戸 82 孔（陸側遮水壁沿いの内外に配置し、水位差により遮水効果を確認するためのもの）
- ・注水井戸 33 孔（陸側遮水壁沿いの内側に配置し、建屋周辺水位を建屋内水位より高く保持するための補助手段）

陸側遮水壁の施工においては、昼夜進められる他の廃炉作業との競合や、地上設備、地中埋設物をはじめとする様々な制約条件がある中で、2015年度中に全体設備完了、凍結運転開始を達成する事ができた。

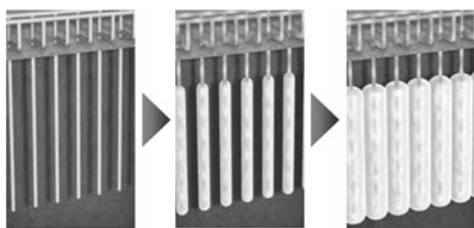
2. 陸側遮水壁の特長

(1) 陸側遮水壁の造成方法

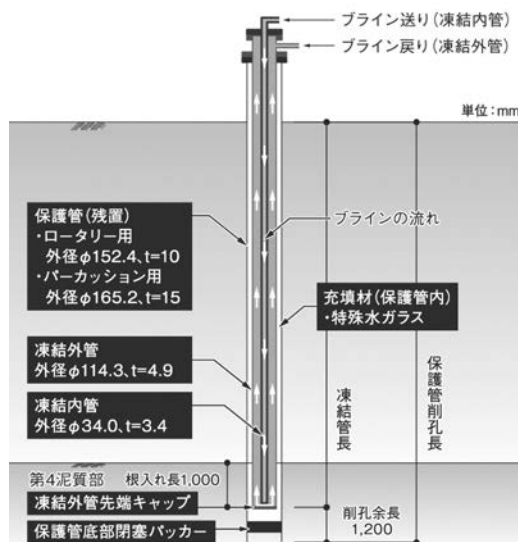
陸側遮水壁では、凍結管を地中に約1m間隔で鉛直に設置し、ブラインと呼ばれる約-30℃の冷却液（塩化カルシウム30%水溶液）を循環させ、管周りの土を凍らせ太く成長させることで連続した壁を形成す



図－1 陸側遮水壁の造成と地下水の流れイメージ



図—2 凍土の造成イメージ



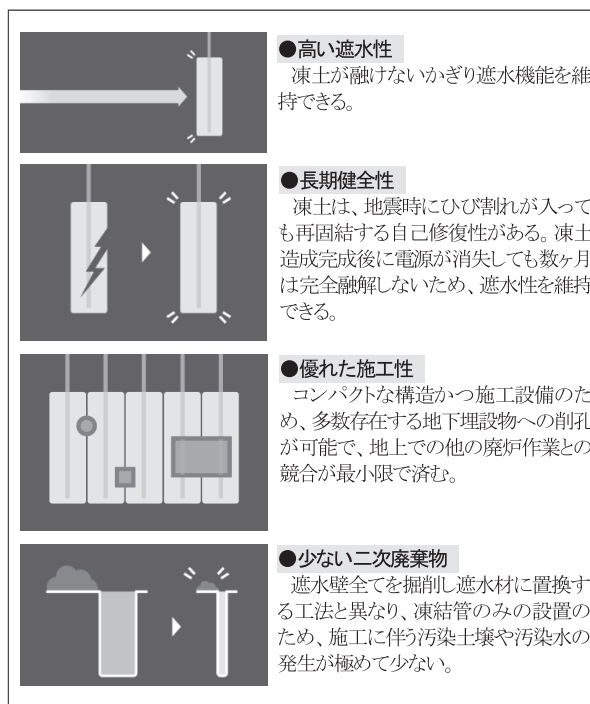
図—3 凍結管の構造断面図

る。ブラインは凍結内管の中を下降し、凍結外管の中をドーナツ断面状に上昇する。この凍結に必要な内外の二重管を、保護管内に収めた三重管構造とすることで、長期運用期間中に必要に応じた凍結管の交換を可能にしている。保護管は、削孔管の底部をパッカーにて閉塞し、地中に残置している（図—2，3）。

(2) 陸側遮水壁の特長（図—4）

陸側遮水壁の工法・構造として、下記の特長を有する凍土方式が採用された。

- ①高い遮水性：凍土が融けないかぎり遮水機能を維持できる。
- ②長期健全性：凍土は地震時にひび割れが入っても再固結する自己修復性がある。凍土造成完成後に冷凍機が停止しても数ヶ月は完全に融解しないため、遮水性を維持できる。
- ③優れた施工性：コンパクトな構造かつ施工設備のため、多数存在する地下埋設物への削孔が可能で、地上での他の廃炉作業との競合が最小限で済む。
- ④少ない二次廃棄物：遮水壁全てを掘削し遮水材に置換する工法と異なり、凍結管のみの設置のため、施工に伴う汚染土壌や汚染水の発生が極めて少ない。



図—4 凍土方式による陸側遮水壁の特長

3. 工事概要

陸側遮水壁は「凍土方式の壁により建屋に地下水を近づけない」、海側遮水壁は「鋼管矢板方式の壁により汚染水を海へ流出させない」ためのもので、互いの端部を連結する。建屋内への地下水の主な流入源は地層最上部の中粒砂岩層と呼ばれる透水層である。陸側遮水壁は、その外周と下部からの地下水流入を抑制するため、第4泥質部と呼ばれる難透水層に1 m以上根入れした。ブラインを冷却する大規模凍結プラントは、当初凍土壁周辺に配置する計画であったが廃炉関連工事に伴うヤードの確保が困難な事と地震、津波対策を考慮して35 mの高台に配置した（図—5）。

4. 施工手順

陸側遮水壁における地下の凍結管と地上のブライン配管の施工は、以下の手順にて実施している（写真—1）。

5. 埋設物への対応

建屋周りの地下には、配管、ケーブル等の多くの埋設物が存在している。陸側遮水壁と埋設物が交差する箇所については、埋設物管理図と試掘等の現地調査により、埋設物の位置、寸法、構造形式、内部状況を確認し、凍結管1,568本の配置パターン（単列、複列、貫通）を決定した（図—6）。



図ー5 関連設備配置図（平面，断面）

6. 被ばく低減対策

作業時間は施工箇所の空間線量に応じて1日あたり3～4時間としている。被ばく低減対策としては、除染（線源となるがれき撤去、汚染土壌のすき取り）や、遮へい物（碎石、敷き鉄板、コンクリート・鉄板・鉛フェンス）の設置を行っている（写真ー2）。鉛フェンスは、手作業で迅速に設置できるようにした簡易遮へい壁で、単管柵に、3mm厚の鉛シートを貼り付けた合板を固定したものである（写真ー3）。配管工事で最も時間を要するのが保温工事である。配管継手以外は全て保温（ウレタンフォーム $t = 50 \text{ mm}$ ）と外装（ガルバニウム鋼板）を工場で施工し現地に搬入した。これにより85%程度の時間短縮が図られた。

7. 大規模凍結プラント設備

凍結プラントには30台の冷凍機を配置し、その能力は1台あたり約70冷凍トン（0℃の水70トンを24時間で氷にできる能力）である。凍土遮水壁へのブライン供給は、冗長性確保のためバルブを介して南北に2分割で実施する計画とし、冷凍機設備も各15台配置した2分割のプラントとした。



写真ー1 凍結管とブライン配管の施工手順

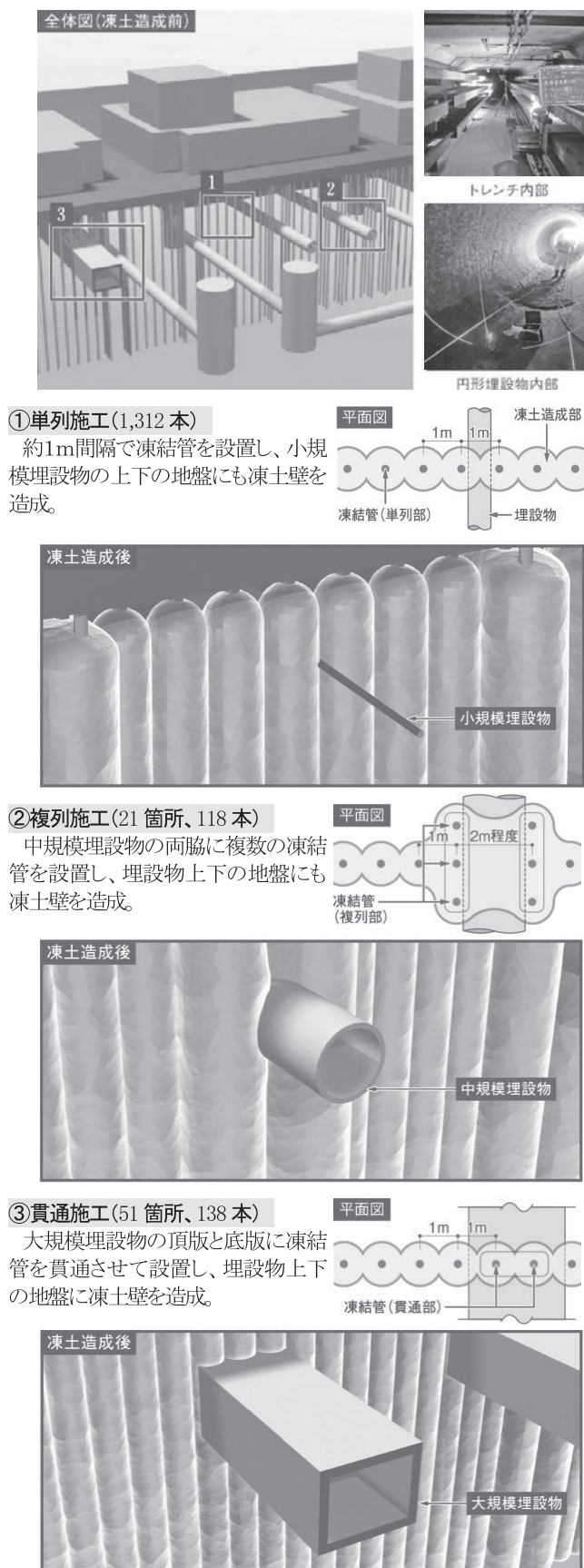


図-6 埋設物規模に応じた凍結管配置パターン

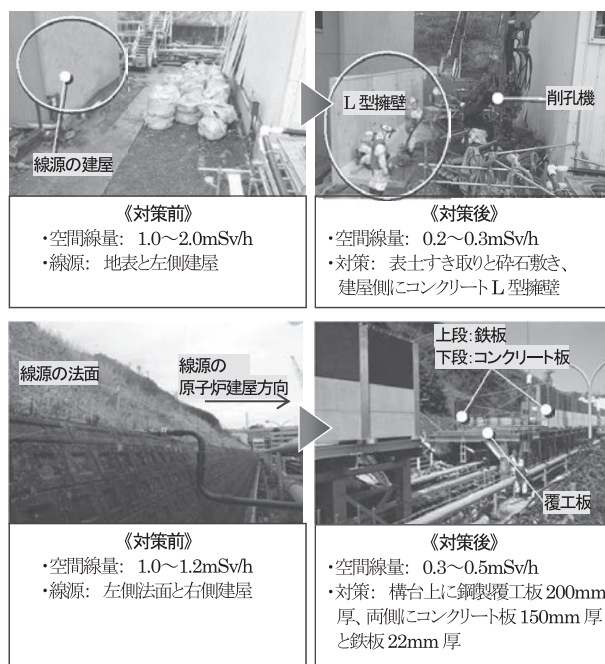


写真-2 遮へい対策効果の例



写真-3 遮へいの例(重機置き場周りの鉛フェンス)

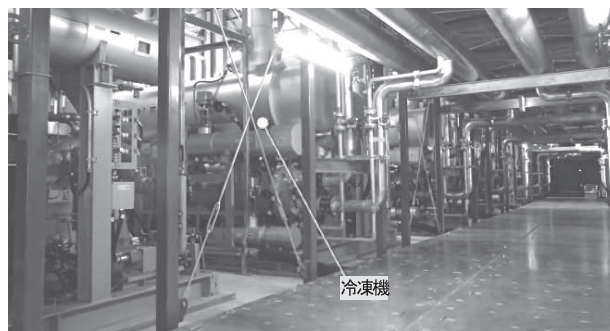


写真-4 凍結プラント建屋内の冷凍機

冷凍機の補機設備としては、ブラインのストックタンク及び凍結管への供給ポンプ、冷却系として冷却塔、ブライン循環ポンプ、冷凍水循環ポンプより構成されている。

冷凍機の仕様及び台数は、地下水の挙動等から凍土遮水壁を早急(約45日)に築造するために必要とされる冷凍能力から決定し、維持運転開始後に徐々に冷凍機台数を減らす計画とした。冷凍機の運転は、凍結

管へ送り出すブライン（冷却液）の温度を平均
-30℃になるように冷凍機の ON/OFF 設定を行って
いる。当初、凍土造成の過程でブライン液を常温から
-30℃付近まで急冷するために地中からの入熱が大
きく、冷凍機運転台数は30台であったが、負荷の減
少とともに現在では60～70%の運転台数で管理でき
ている。また、放射線汚染及び経年劣化防止のため冷
凍機設備は建屋内に収納した（写真—4）。

8. おわりに

2016年3月31日より本格凍結を開始した。本格凍
結は地下水の遮水状況を確認しながら第一段階（陸側
遮水壁全体の95%を併合する）・第二段階（残り5%
の併合）の順で実施される。現在は第一段階にて陸側
遮水壁の健全性について検証中である。

謝 辞

最後に、当工事にご尽力いただいた関係者の方々に
心より御礼申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 1) 木田, 他: 土木施工 2016Mar2018 VOL57 NO.3「凍土方式による陸
側遮水壁の造成」

【筆者紹介】

木田 博光（きだ ひろみつ）
鹿島建設㈱
東京土木支店
専任役



浅村 忠文（あさむら ただふみ）
鹿島建設㈱
土木営業本部
副本部長



阿部 功（あべ いさお）
鹿島建設㈱
福島第一凍土工事事務所
所長

