

地下水の流入抑制のための対策

平成 25 年 5 月 30 日

汚染水処理対策委員会

<概要>

東京電力福島第一原子力発電所では、地下水の流入により、日々400立米の汚染水が発生している。増え続ける汚染水の問題は、廃炉を進めていく上で最も深刻な課題の一つである。この課題に対して、本年4月末より計3回の汚染水処理対策委員会を開催し、精力的に検討を進め、以下の地下水の流入抑制のための抜本対策をとりまとめた。

- ① 地下水流入抑制のためには、東京電力が取り組んでいる地下水バイパス、建屋近傍のサブドレンによる水位管理等の対策が十分に機能しないリスクに備えた対策を講ずるべきである。
- ② このため、上記の対策に加えた抜本策の柱として、プラント全体を取り囲む陸側遮水壁を設置すべきである。陸側遮水壁について本委員会で検討された施工法は、凍土壁、粘土壁、グラベル(砕石)連壁であり、その中で、遮水効果、施工性等に優れる凍土方式が適切と判断した。
- ③ 凍土方式による陸側遮水壁により長期間建屋を囲い込む今回の取組は、世界に前例のないチャレンジな取組であり、多くの技術的課題もあることから、事業者任せにするのではなく政府としても一歩前に出て、研究開発への支援やその他の制度措置を含めて検討し、その実現を支援すべきである。その際、建屋周辺の地下水と建屋内の汚染水の水位のバランスを十分に制御することも重要な技術課題である。
- ④ 地下水の流入抑制をより確実に行うためには、個々の対応策が、想定どおりに機能しないリスクがあることを前提として、これまでに検討を進めている対応策だけでなく、追加的な対応策も含めて重層的に施策を進めることで、信頼性の高い全体計画とする必要がある。
- ⑤ また、上記の対策の効果が発揮されない場合であっても、増加する汚染水を十分に貯蔵できるタンクの容量を確保することが必要であり、中長期で必要とされるタンク容量を見通して増設計画を早急に策定すべきである。具体的には、平成28年度中に80万立米まで増設するとともに、対応策の進捗を見定めつつ、必要に応じ更なる増設に備えるべきである。

タンクの貯蔵容量の確保については、既設タンクのフランジ接合部の補修、溶接式タンクへの更新の検討に加え、従来型のタンクで対応できない場合の方策

(タンクの大型化等)についても実現可能性の評価を行う。

- ⑥ 高濃度の汚染水が溜まっている海水配管トレンチについては、大量の放射性物質の海洋流出等のリスクを認識し、海洋流出等のリスクを未然に防止するためにも、平成26年度中の完了を目指し、トレンチ内の水抜き、滞留する汚染水の放射性物質濃度の低減等の対策の具体化に直ちに取り組む。この対策は陸側遮水壁を運用開始する前に完了することを目指す。
- ⑦ 国、東京電力、ゼネコン、プラントメーカー等からなる実務的なタスクフォースを汚染水処理対策委員会の下に設置し、凍土方式の陸側遮水壁の概念設計、施工計画の策定等の評価、進捗管理を行うことにより、速やかな陸側遮水壁の設置を図る。具体的には、平成25年12月に陸側遮水壁の技術的課題の解決状況を検証するとともに、平成25年度末までにフィージビリティ・スタディを実施し、その後準備が整い次第速やかに建設工事着手、平成27年度上期を目途に運用開始する。

目次

1. 地下水の流入抑制に向けた基本的な考え方	
(1)問題意識	4
(2)基本的な考え方	4
2. 地下貯水槽からの汚染水漏えい事故への対応状況	
(1)地下貯水槽からの汚染水の漏えい事故と、地上タンクへの移送状況	6
(2)放射線量のモニタリング状況	8
3. 地下水の流入抑制策の検討	
(1)敷地内の地下水の流れ	12
(2)原子炉建屋内等の汚染水の状況	13
(3)地下水の流入抑制のための重要な要素	15
(4)東京電力が進めている対応策	15
(5)主な流入抑制策の整理・評価	20
(6)地下水の流入抑制策の組み合わせに対する評価	29
4. 地下水の流入抑制のための具体的対策	
(1)原子炉建屋等の周囲への流入抑制策	34
(2)原子炉建屋等の内部への流入抑制策	38
(3)高濃度汚染水の早期除去	38
(4)汚染水の貯蔵容量の確保	38
(5)地下水の観測網の整備と流動解析の実施	39
(6)全体計画の実施スケジュールと効果	40
5. 今後の進め方	43

1. 地下水の流入抑制に向けた基本的な考え方

(1) 問題意識

東京電力が進めている現行の地下水の流入抑制策は、想定通りに機能すれば、汚染水の増加を十分に抑制できるものであり、現行計画を着実に進めることには一定の合理性がある。

これに加えて本委員会では、地下水の流入による日々の汚染水の増加状況、貯水タンク容量と今後の増設計画等を勘案すると、仮に東京電力が進めている現行の対策が想定通りに機能しない場合、汚染水の行き場がなくなる深刻な事態となるリスクがあるため、抜本的な対策を含めて検討を行った。

(2) 基本的な考え方

これまで東京電力は、「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」に基づき、以下を汚染水処理の基本方針として、取組を進めてきている。

<中長期ロードマップからの抜粋>

以下について必要な検討を行い、これを踏まえた対策を実施することとし、汚染水の海への安易な放出は行わないものとする。

- A) 増水の原因となる原子炉建屋等への地下水の流入に対する抜本的な対策(地下水流入抑制対策)
- B) 水処理施設の除染能力の向上確保や故障時の代替施設も含めた安定的稼働の確保方策(水処理システムの強化)
- C) 汚染水管理のための陸上施設等の更なる設置方策(タンク増設計画)

なお、海洋への放出は、関係省庁の了解なくしては行わないものとする。

本委員会では、この汚染水処理の基本方針も踏まえながら、以下を地下水の流入抑制策を具体的に検討していく際の基本的な考え方としている。

○地下水の流入抑制策については、その効果が現れるまである程度の時間を要し、その効果を事前には正確に予測できない側面がある。また、現在の東京電力福島第一原子力発電所が置かれている状況を踏まえると、敷地内の地下水流動や原子炉建屋等への地下水の流入、原子炉建屋内等の汚染水の流動状態等、検討の前提となるデータが必ずしも十分正確に調査・把握されておらず、これを短期間で行うことは困難である。このように地下水の流入

抑制策については不確実な面がある一方、汚染水の漏えい等の事故が発生した場合に社会に与える影響は極めて大きい。

○今回の東京電力福島第一原子力発電所の事故の教訓の一つは、安全対策にこれで大丈夫ということではなく、準備している対策が機能しないことを想定して、先手先手に対策を講じていく必要があるということである。また、各対策を実施していくには、技術的な検証、他の工事との調整等に相当な期間を必要とするため、準備している対策が機能しなかったことが判明して初めて代替策を検討し始めているのでは、迅速かつ適切な対応ができない。

○地下水の流入抑制をより確実に行うためには、個々の対応策が、想定どおりには機能しないリスクがあることを前提として、これまでに検討を進めている対応策だけでなく、追加的な対応策も含めて重層的に施策を進めることで、信頼性の高い全体計画とする必要がある。

○これまで具体的に検討されてきた対応策(地下水バイパス、サブドレンによる水位管理、建屋の貫通部の止水等)だけでは、十分な効果を発揮しない可能性があり、機能しなかった場合の代替策が十分に検討されていないことを踏まえると、十分な計画とは言えず、追加的な対応策が不可欠である。

本委員会では、以下の2点を地下水の流入抑制において遵守すべき事項と考えて、検討を行った。

- ①建屋内の汚染水を建屋外に流出させないこと。万が一、建屋外に流出する場合をも想定し、敷地外への影響を最小限に止める措置を講じること。
- ②管理すべき汚染水の量を増加させないこと。タンクによる貯蔵計画の破綻を防止すること。

これらを達成するために、各対応策の効果と問題点を整理・評価するとともに、対応策が計画通りに機能しないリスクや予期せぬ事態により実施できないリスクを考慮して、時間軸上での事態推移の幅広い想定を踏まえた地下水の流入抑制のための全体計画を策定する。

2. 地下貯水槽からの汚染水漏えい事故への対応状況

東京電力は福島第一原子力発電所で発生した汚染水の一部を、敷地内にある地下貯水槽に保管していた。この地下貯水槽は、東京電力が、漏えいが起こることはないように設計を行い、政府(規制当局)もその内容を確認していた。しかし、この地下貯水槽からの漏えいが起こり、当初の計画通りにはうまくいかない事態が発生することとなった。

東京電力は今般の事故を踏まえ、汚染水の貯蔵に地下貯水槽は使用しないことを決定したが、この事故は既存の施策が十分な効果を発揮しなかった一例である。汚染水処理の問題にあたっては、このようリスクを想定して対応計画を立てることが重要であり、今後の教訓として、本委員会できりあげることとした。

(1) 地下貯水槽からの汚染水の漏えい事故と、地上タンクへの移送状況

平成 25 年 4 月 5 日、東京電力が地下貯水槽 No.2 の内側のシートと一番外側のシートとの間(漏えい検知孔)に溜まっている水について分析を行ったところ、高い塩素濃度と $10^3\text{Bq}/\text{cm}^3$ レベルの全 β 核種(トリチウムを除く全ての β 核種)濃度を検出した。外部への汚染水漏えいの可能性があるかと判断し、他の地下貯水槽を含め監視強化を行った。その結果、地下貯水槽 No.3 においても、漏えい検知孔に溜まっている水から高い塩素濃度と $10^3\text{Bq}/\text{cm}^3$ レベルの全 β 核種濃度を検出し、一番外側のシートの外側にあるドレーン孔においても $10^{-1}\text{Bq}/\text{cm}^3$ レベルの全 β 核種濃度を検出したため、東京電力は 4 月 7 日に外部へわずかな漏えいの可能性があるかと判断した。

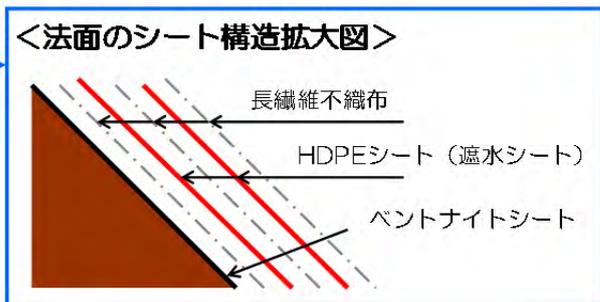
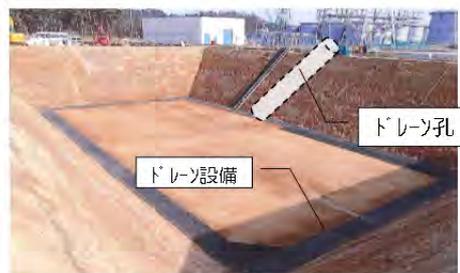
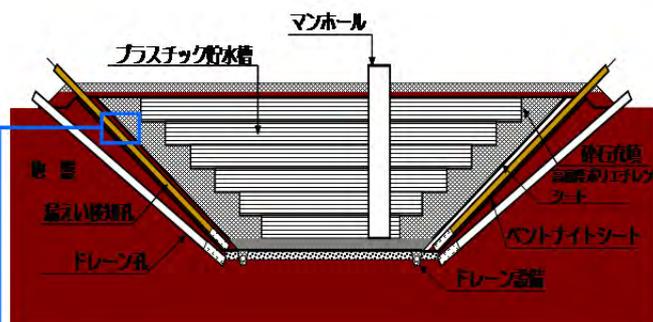
東京電力は、外部への汚染拡大防止の観点から、漏えいの可能性がある地下貯水槽 No.2 から地下貯水槽 No.1 へ汚染水を早急に移送していたが、4 月 9 日に地下貯水槽 No.1 についても、漏えい検知孔に溜まっている水から高い塩素濃度と $10^4\text{Bq}/\text{cm}^3$ レベルの全 β 核種濃度を検出したため、内側シートから一番外側のシートへ漏えいの可能性があるかと判断した。この地下貯水槽は、汚染水を貯蔵しても、漏えいが起こることはないように十分に信頼性のある形で設計を行い、政府(規制当局)もその内容を確認していた。しかし、地下貯水槽 No.2 における漏えいに続き、その移送先とした地下貯水槽 No.1 においても漏えいが確認されるなど、想定していなかったことが立て続けに起こった。東京電力は、今後も、漏えいの原因究明に向けた取組を継続していくこととしている。

地下貯水槽からの漏えい量について、当初、東京電力が地下貯水槽 No.2 の漏えいの可能性があることを確認した際(平成 25 年 4 月 6 日時点)、地下貯水槽内に設置していた水位計の指示値の低下量 0.7%から、漏えい量は最大約 120 立米と

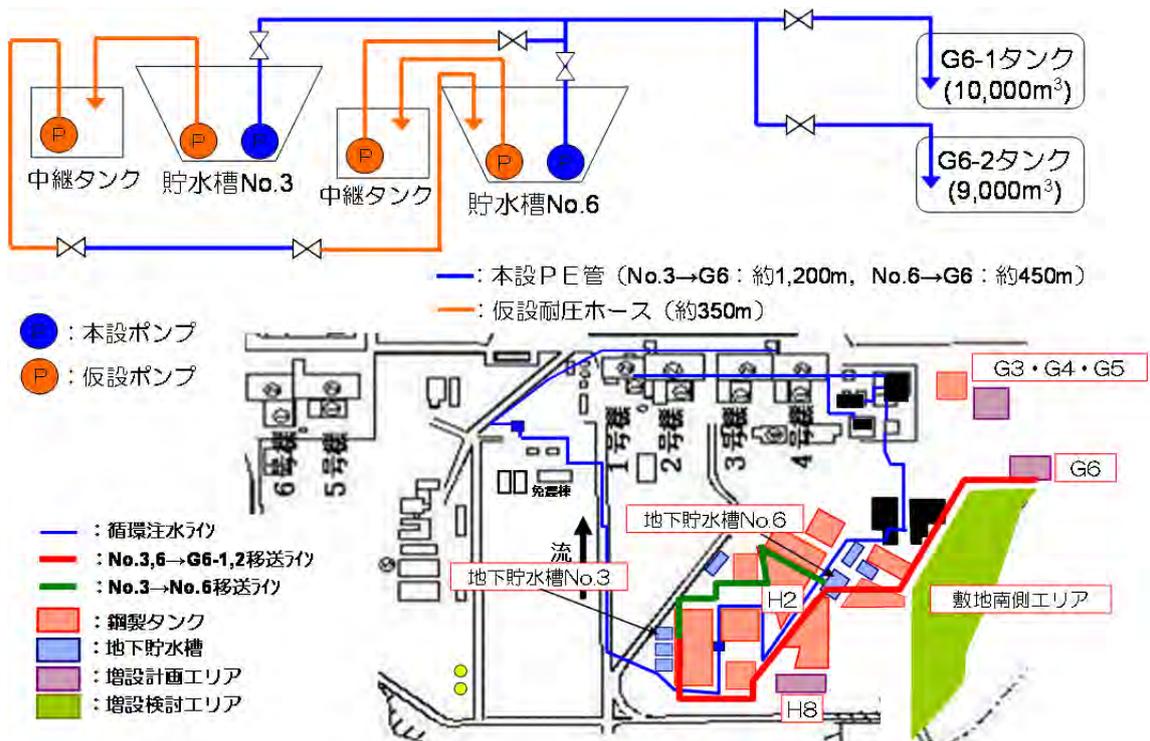
推定した。後日、漏えい検知孔の水位が低いことや放射能濃度に偏りがあることなど不自然な状況もあることから、東京電力は、ボーリング調査、漏えい検知孔・ドレーン設備からの水の回収・分析の調査を進め、漏えい量の再評価を行った。

その結果、地下貯水槽 No.2 における漏えい量はベントナイトシート内側で約 300 リットル、ベントナイトシートの外側で約 20 リットルであり、そのほとんどはドレーン設備にとどまったものと推定している。同様の方法で、地下貯水槽 NO.1 及び NO.3 からの漏えい量を推定した結果、更に少量であったと推定している。

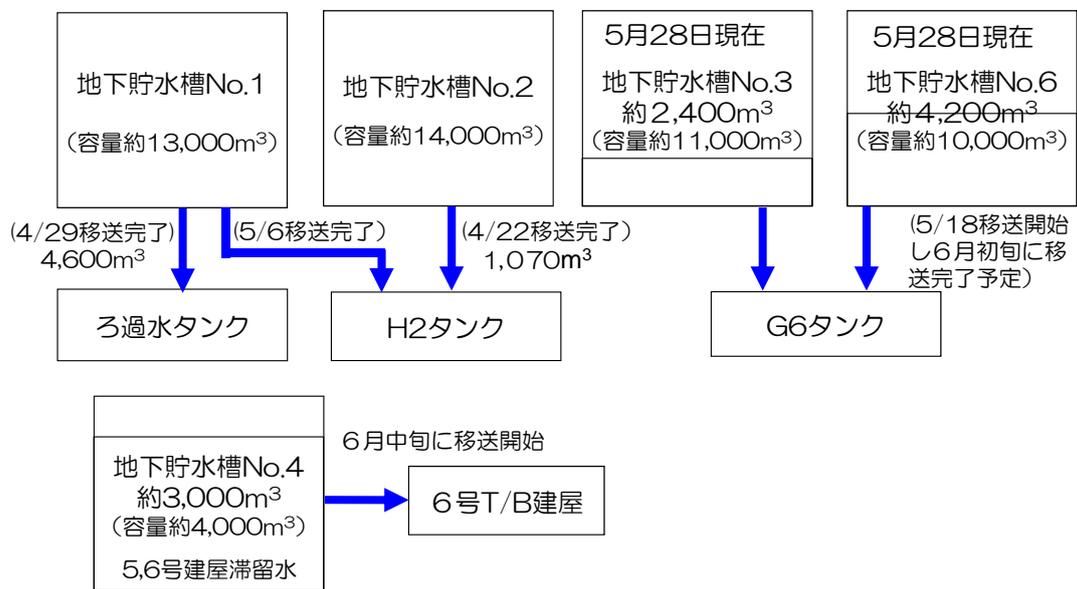
地上タンクへの移送について、現在、地下貯水槽 No.1 及び No.2 の汚染水の移送は完了している。5月18日より地下貯水槽 No.3 の汚染水の移送を開始し、6月初旬までに地下貯水槽 No.3 及び No.6 の移送を完了予定である。5号機及び6号機の建屋滞留水を貯蔵している地下貯水槽 No.4 についても、6月中旬に移送を開始し、7月までに移送を完了予定である。



[地下貯水槽の構造(出典:東京電力)]



[地下貯水槽及び移送タンクの位置、移送ルート(出典:東京電力)]



[地下貯水槽からの汚染水の移送量(出典:東京電力)]

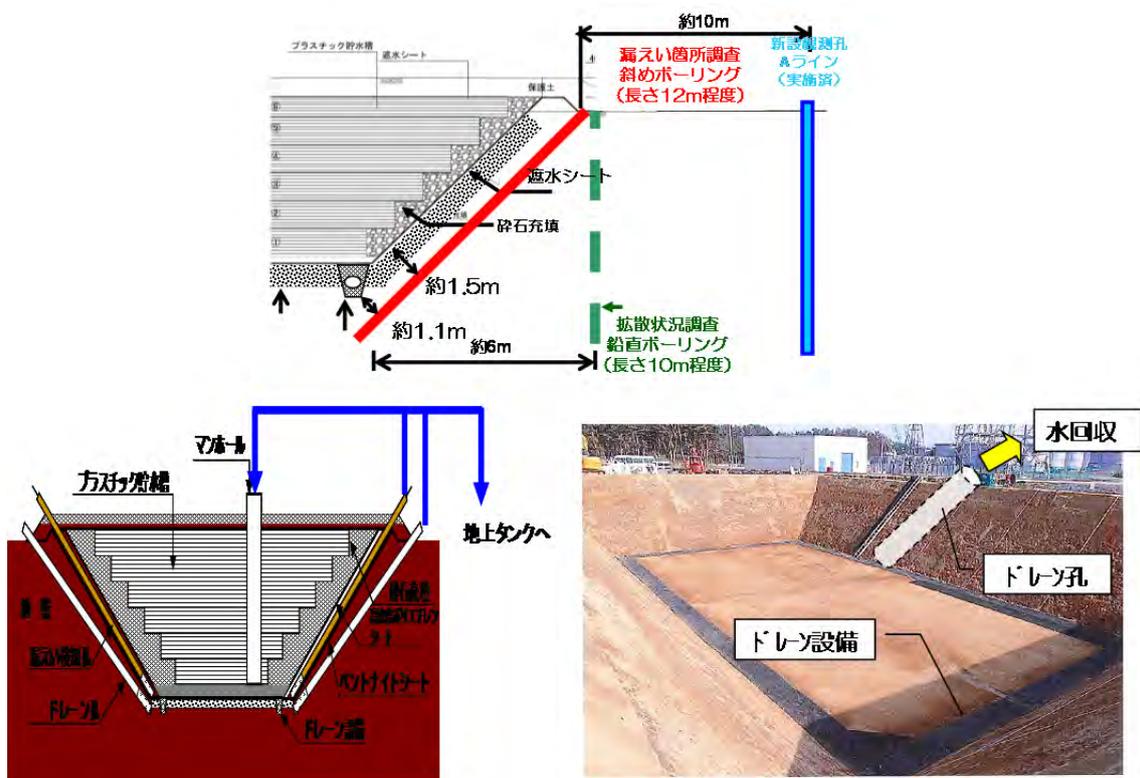
(2)放射線量のモニタリング状況

東京電力は、漏えい検知孔・ドレーン設備からの水抜き、汚染の有無、汚染濃度

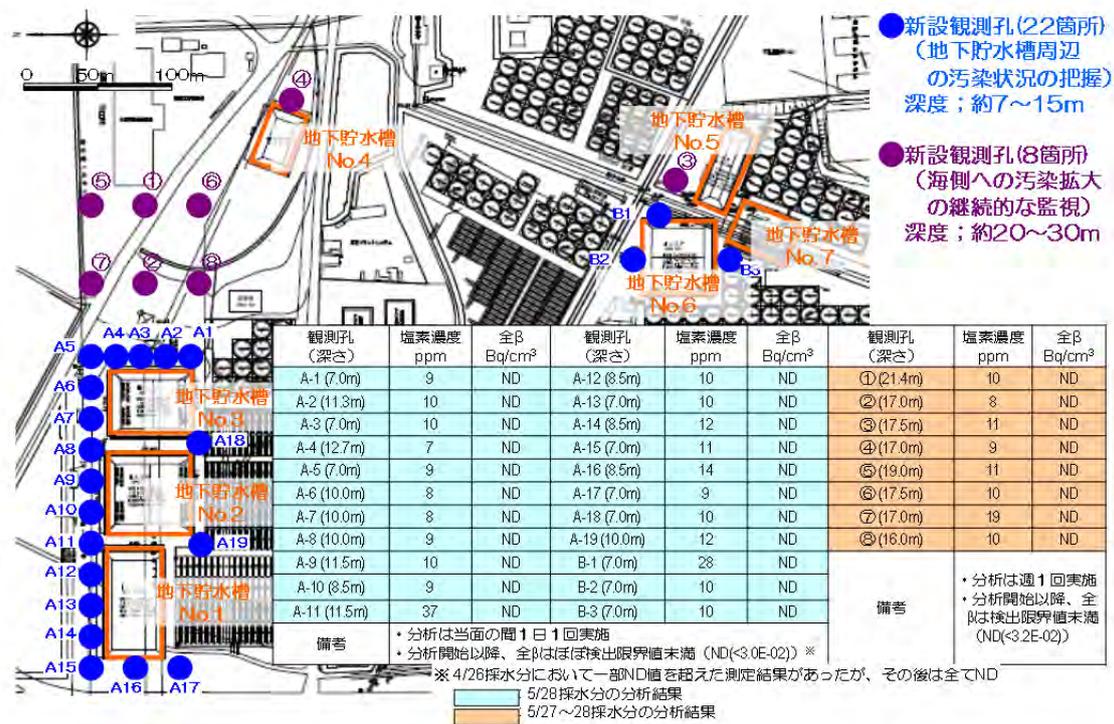
の確認を行うため、汚染水の回収調査を継続するとともに、地下貯水槽周辺の汚染状況を把握するために新設観測孔 22 箇所、海側への汚染拡大の継続的な監視のために新設観測孔8箇所を設置した。あわせて、地下貯水槽 No.2 の詳細な漏えい状況を把握するために、斜めボーリング 13 箇所、鉛直ボーリング1箇所を実施し、水質分析を行った。

これらのモニタリングの結果、漏えい検知孔からの汚染水回収を 50 ㍓/日程度（原水換算数リットル程度）で開始したところ、当初の4月 11 日は、 $5.8 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3$ の汚染水の流出が確認されていたが、約 40 日後の5月 20 日には、 $2.9 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$ まで急激に低下したため、東京電力は汚染水の漏えい量は少量であるとしている。ドレーン孔の汚染水回収では、6 立米（原水換算 0.2 リットル）を回収しただけで、全 β 濃度は 1/4 程度に低下したことからも、東京電力は、汚染水の漏えい量は少量であると推定している。また、新設観測孔、地下貯水槽周辺における水質分析結果は、地下貯水槽 No.2 の北東部に設置した複数の新設観測孔において、5月 24 日に地下貯水槽 No.2 ドレーン孔北東部で観測されているものよりも1オーダー低い 10^{-2}Bq/cm^3 程度の全 β 核種濃度が検出された。今後その関係性を含め、調査を実施する予定である。

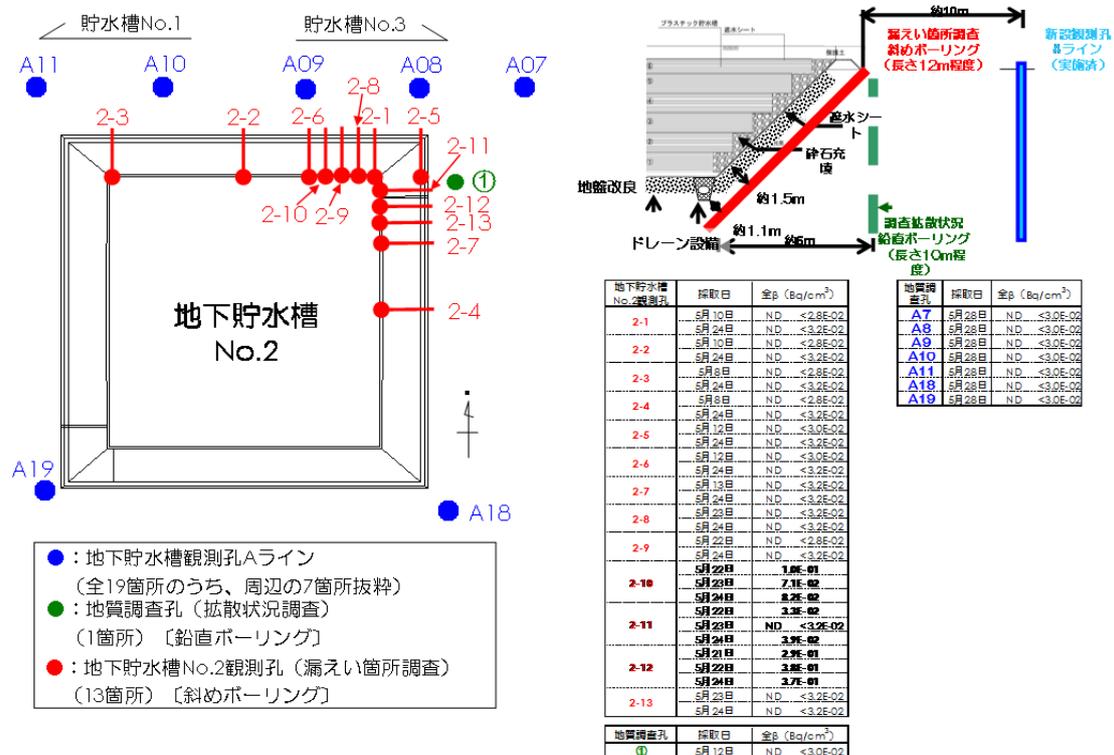
東京電力は、今後も、モニタリングを継続し、今般の地下貯水槽からの漏えいによる影響を監視し続けていくこととしている。



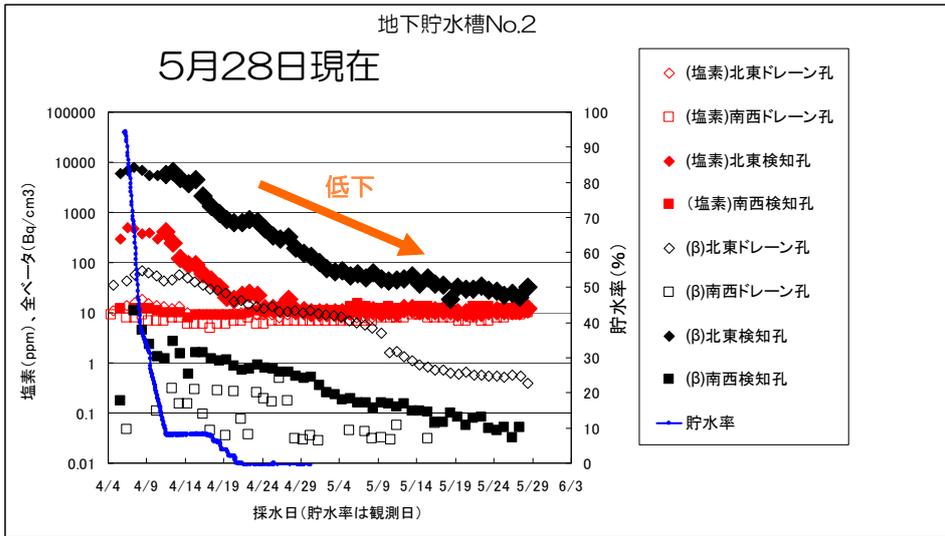
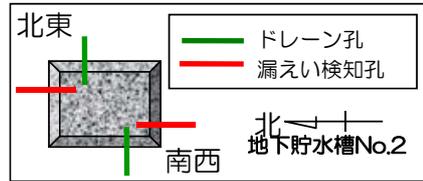
[モニタリング設備の構造(出典:東京電力)]



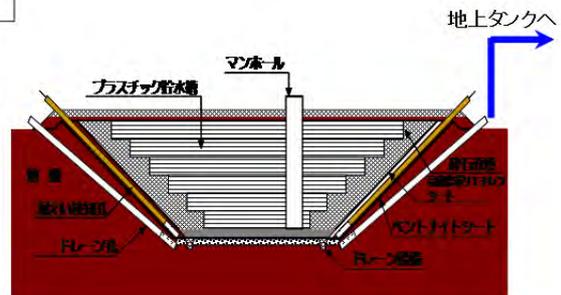
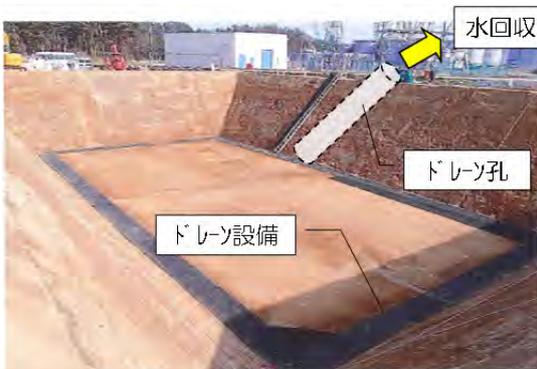
[モニタリング設備の位置図、水分析結果①(出典: 東京電力)]



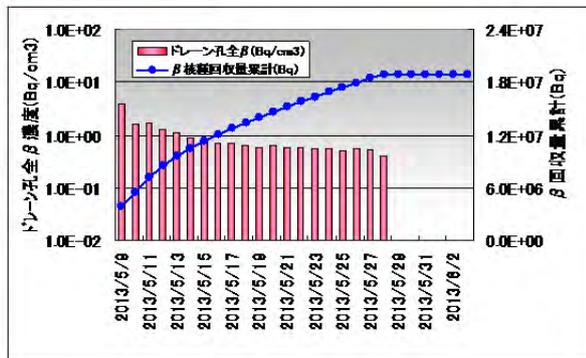
[モニタリング設備の位置図、水分析結果②(出典: 東京電力)]



[漏えい検知孔からの水の回収・分析結果(出典:東京電力)]



5月28日現在



[ドレーン設備からの水の回収・分析結果(出典:東京電力)]

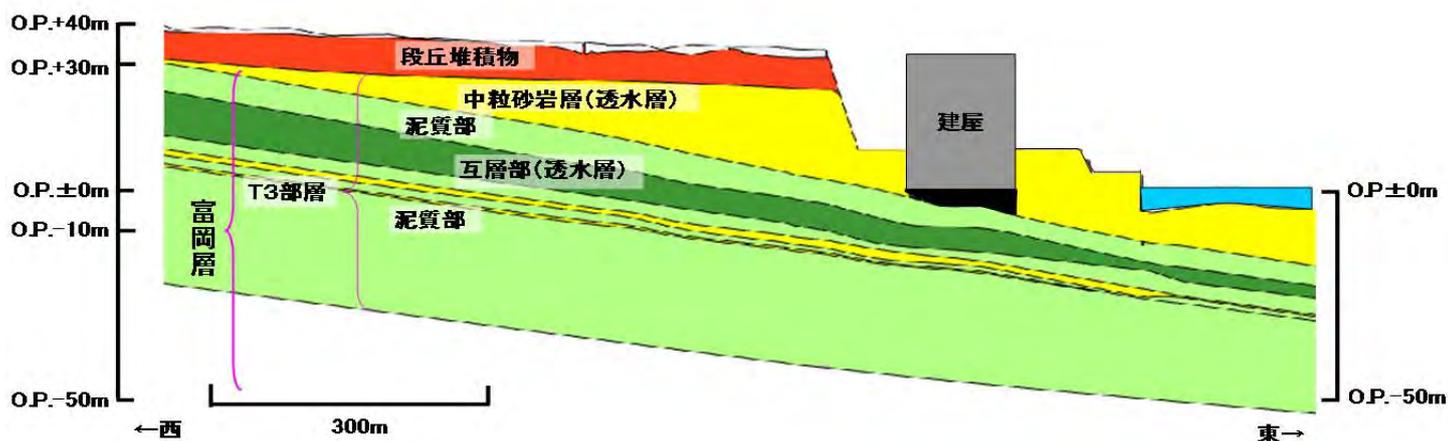
3. 地下水の流入抑制策の検討

(1) 敷地内の地下水の流れ

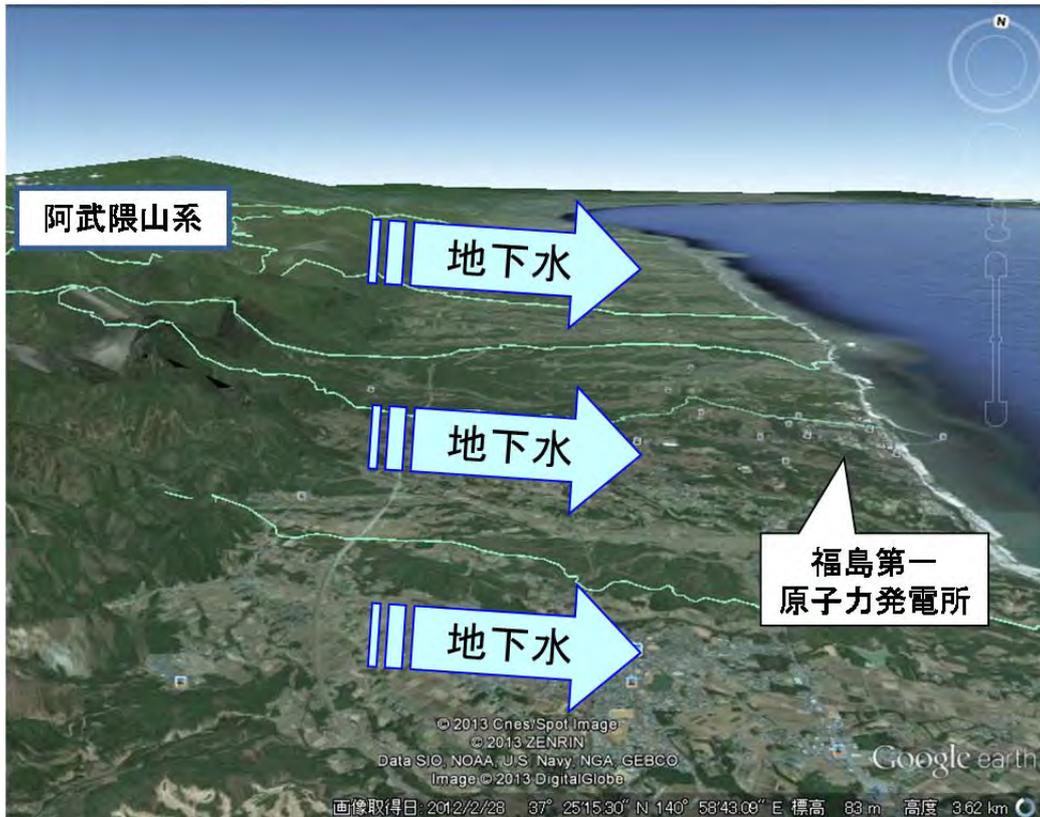
福島第一原子力発電所の敷地には、新第三系の富岡層が、敷地全域にわたって、O.P.(小名浜港工事基準面。海拔とほぼ一致。)+30m~O.P.±0m 付近を上限とし分布している。その最上位のT3部層は、富岡層上部の O.P.-10m~O.P.-50m 付近に浅に分布しており、主として塊状の砂質泥岩~泥岩からなり、上部から中粒砂岩層、泥質部、互層部(砂岩と泥岩の互層)、泥質部から構成される。富岡層は敷地の全域にわたりほぼ同じ層厚で分布し、南北方向では水平に、東西方向では東方に 2° 程度傾斜する同斜構造を示している。また、富岡層の上位には同層を不整合に覆う第四系の段丘堆積物が層厚数~10m程度でほぼ水平に分布しており、砂礫、砂、粘土、シルト、ロームから構成される。

地盤の透水性は、原位置透水試験、室内透水試験より、砂岩が 10^{-3} cm/sec 程度、泥岩が 10^{-6} cm/sec 程度と評価されていることから、透水層は表層近くに分布する中粒砂岩層と、泥質部の下位に分布する互層部と考えられる。2つの透水層は、その間に数~10m程度の厚さで連続して分布している泥質部により遮断されている。建屋の地下外周部は、中粒砂岩層に接している。

地下水とは透水層の中にある水分であり、発電所敷地に分布する地下水は、敷地外から供給される地下水に加え、敷地内地盤への降雨浸透(降雨量の30年間の平均は1,545mm/年)により供給され、敷地の西側にある阿武隈山系の方向から東側へと流れている。



[地質断面の概略(出典:東京電力)]



©google

[1F敷地周辺の地下水の流れ(イメージ)]

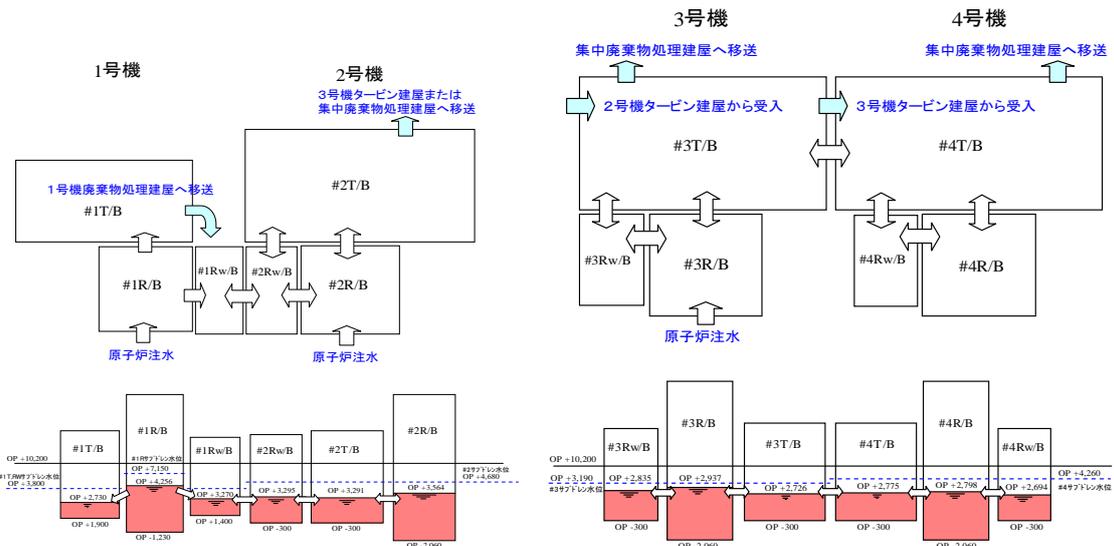
(2) 原子炉建屋内等の汚染水の状況

東京電力福島第一原子力発電所では、原子炉建屋等の底部に、熔融燃料を冷却した際に発生する、放射性物質で汚染された水が滞留している。

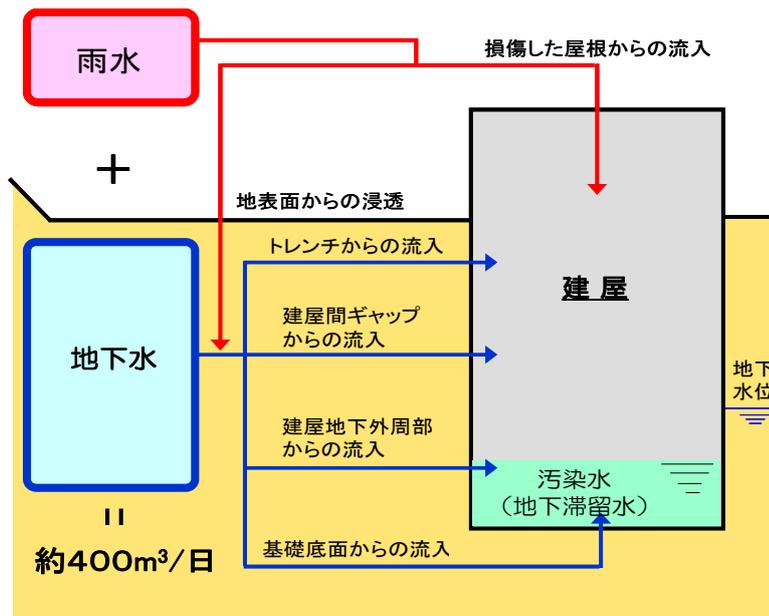
震災前には発電所の建屋周辺にある井戸(サブドレン)により地下水の一部をくみ上げること(1号機から4号機で、約 850 立米/日)により周辺地下水位の低下を図り、建屋への地下水流入を抑制していた。震災によりサブドレンが機能を失い、水のくみ上げを行うことができなくなったため、周辺地下水位が上昇し、その結果、配管等を通じて、建屋へ約 400 立米/日の地下水等が流入している。

このため、流入する地下水が建屋等の底部で滞留している汚染水と混ざり合うことで、汚染水の量が増えており、仮にそのまま放置すれば建屋底部の汚染水の水位が上昇することとなるが、これをポンプで移送することにより、水位を一定に保っている。

建屋へ流入する水の起源について、東京電力は、地下水によるものが約 300 立米/日、雨水によるものが約 100 立米/日であると仮定している。また、東京電力は、建屋への流入経路について、屋根及び基礎底面からの流入が約 50 立米/日、トレンチ、建屋間ギャップ等の外周部からの流入が約 350 立米/日と概算している。本委員会では、これらの数値が様々な仮定をおいた上で算出されたものであることを踏まえ、数値そのものは定性的なものとして捉え、対応策を考える際の参考として活用することとした。



[建屋間の汚染水の流入状況(出典:東京電力)]



[建屋内への地下水の流入経路の推定(出典:東京電力)]

(3) 地下水の流入抑制のための重要な要素

地下水の流入抑制のためには、適切に建屋周辺の地下水位と建屋内の汚染水位(地下滞留水の水位)の差(「水位差」)を管理した上で、水位差を小さくすること及び水位差を維持しつつ地下水位を流入経路となる建屋の貫通部等より下げることが重要な要素である。

現在、水位差の管理として、建屋内の汚染水位を建屋周辺の地下水位よりも低く保つことにより、建屋内の汚染水の外部への流出を防止している。そのため、各号機について、建屋周辺のサブドレン水位で最も低い観測結果と建屋内の汚染水位を監視、比較することとしているが、原子炉建屋周辺は放射線量が高くサブドレン水位の計測が難しいため、タービン建屋周辺のサブドレン水位と原子炉建屋内の汚染水位を比較することにより管理し、汚染水移送は、タービン建屋に設置された移送ポンプで行っている。

水位差を小さくすることで、建屋への地下水の流入量を抑制することが期待できる。しかし、タービン建屋から移送を行い、タービン建屋水位に追従して原子炉建屋水位をコントロールしている現状のシステムでは、水位差を小さくすることは、建屋内の汚染水の建屋周辺への流出リスクを上げることになる。そのようなリスクを回避するには精緻な水位コントロールが要求され、それは容易なことではない。

水位差の管理のためには、地下水位を正確に把握した上で、地下水位の変化に対応して、建屋内の汚染水位の適切な管理を行う必要がある。この管理を高度化するには、水位観測箇所の充実、タービン建屋に設置されている移送ポンプの深部への移設、原子炉建屋等の建屋ごとの移送ポンプの設置等を行わなければならないが、高線量下での困難な作業となる。

現在、建屋への地下水の流入抑制を行うため、これまでに建屋の貫通部の止水等の対策を実施してきたが、ある貫通部を止水することにより他の貫通部からの流入量が増える可能性もあるため、流入抑制効果を定量的に把握出来ていない。流入抑制のためには、地下水位を、流入経路となる貫通部等より下げることが有効な対策となる。

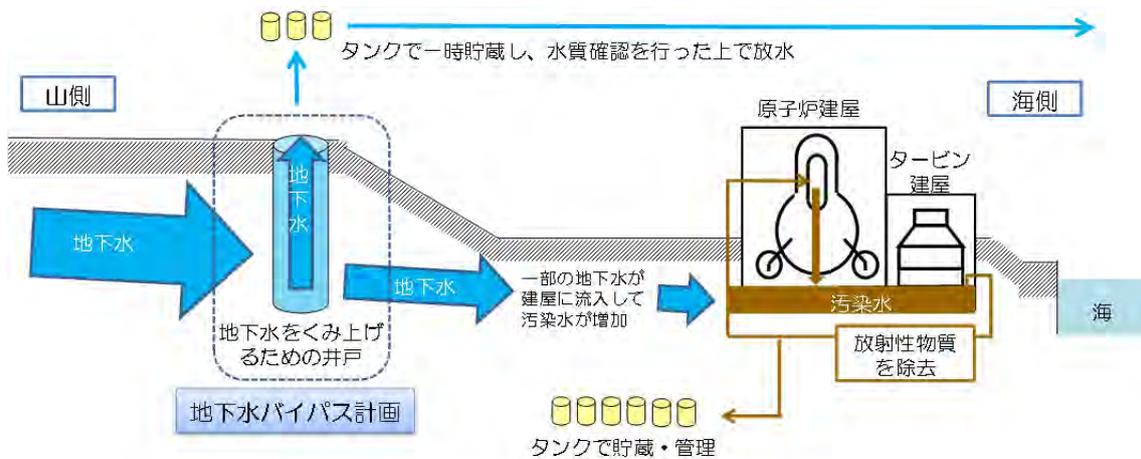
(4) 東京電力が進めている対応策

東京電力が進めている主な地下水流入抑制策である地下水バイパス、サブドレンによる水位管理、建屋等の貫通部の止水、また、海洋汚染防止策である海側遮水壁の設置の概要は以下の通りである。

①地下水バイパス

山側から海側に対して流れている地下水を、建屋の上流で揚水し、地下水の流路を変更し、建屋周辺の地下水位を低下させ、建屋内への地下水の流入を抑制する地下水バイパスについて、準備を進めていく。その際、建屋内の汚染水の外部への流出を防ぐために、建屋周辺の地下水位の低下状況を評価しながら、段階的に揚水量を引き上げている。

東京電力は、この対応策により、フル稼働時には、建屋への流入量を約 400 立米／日から、約 300 立米／日まで抑制することを目指すとしている。



[地下水バイパスのコンセプト]

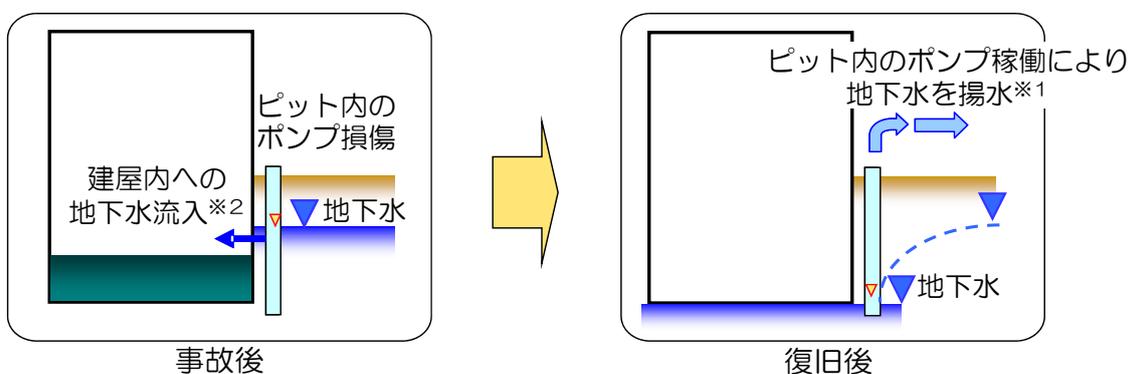


[地下水バイパスの配置図(出典:東京電力)]

②サブドレンによる水位管理

サブドレンは、建屋底部への地下水の流入の防止や、建屋に働く浮力の防止を目的として、ポンプにより地下水をくみ上げ、地下水位のバランスを取るために建屋近傍に設置されているものである。東日本大震災前には、1号機から4号機のサブドレンにおいて約 850 立米／日の揚水を行っていた。現在は、東日本大震災の影響によって稼働することができなくなった井戸の復旧作業を行うとともに、新たに井戸(サブドレンピット)を掘削している。

このサブドレンを復旧させて、建屋周辺の地下水をくみ上げることにより、建屋内への地下水の流入を抑制することとしている。サブドレンは建屋近傍に設置されているので、地下水バイパスに比較して、建屋周囲の地下水位をより直接的に管理することが可能となる。

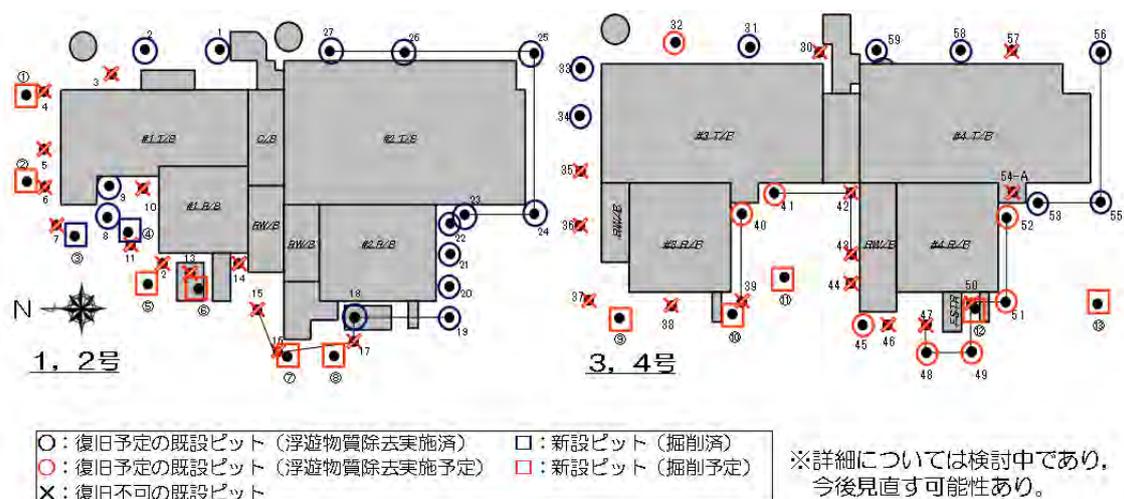


〔イメージ図〕

※1：事故前の1～4号機サブドレンにおける揚水量は約850m³/日。

※2：建屋内への地下水流入量は全体で約400m³/日。

〔サブドレンのコンセプト(出典:東京電力)〕



〔サブドレンの配置図(出典:東京電力)〕

③建屋の貫通部の止水

1号機から4号機の建屋には、合計で880箇所以上の外壁貫通部がある。このうち、地下水に水没し、かつ、外部とつながっている貫通部は建屋への地下水の流入経路となっている可能性が高い。それらの貫通部を止水することにより、建屋への地下水の流入量を抑制する。

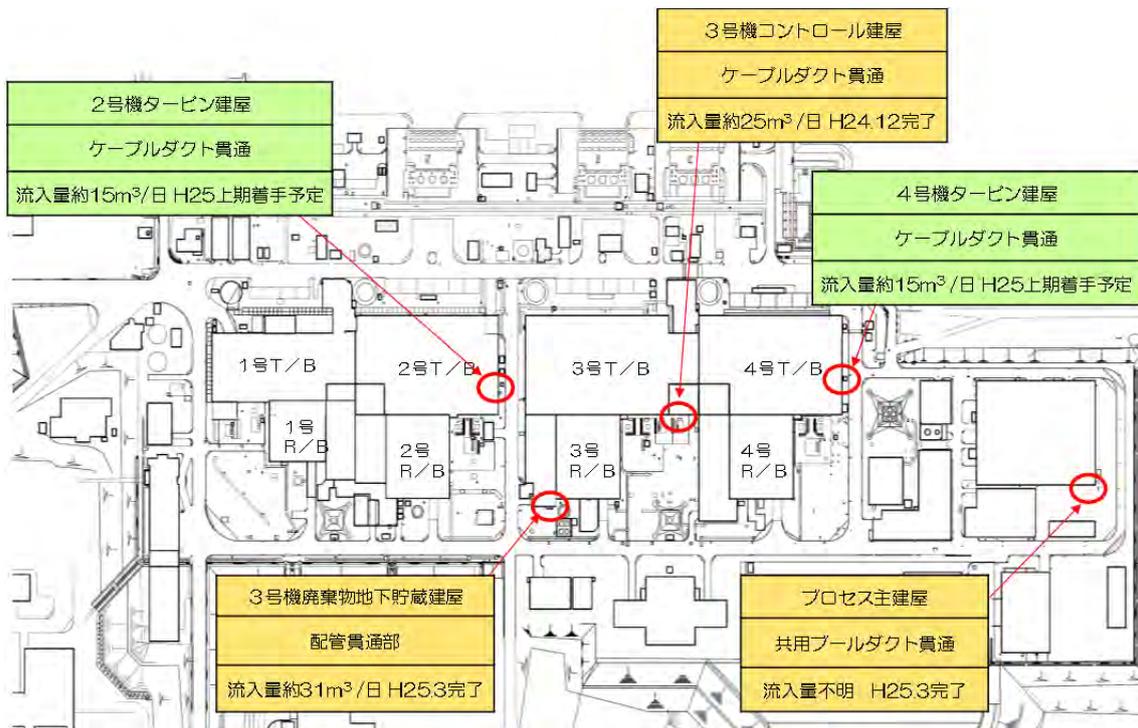
東京電力は、これまでに3箇所の止水を実施しており、このうち、2箇所については止水前の流入量を合計約56立米としている。東京電力は、この止水により、建屋への流入総量は減少していると考えている。平成25年上半期までに流入経路の分析と止水対策の立案を進め、速やかに止水作業を開始することとしているが、止水すべき箇所の特定に加え、流入量が多い箇所での止水方法の確立、高線量雰囲気、高濃度汚染水の存在等の高線量下での作業員の被ばく低減策を講じることが必要となる。



号機	総数 (箇所)	高さによる分類（箇所）			部位による分類（箇所）	
		下降した地下 水位*より 下方に位置	下降した地下水位 と上昇した地下 水位の間に位置	上昇した地下 水位*より 上方に位置	水没する貫通部 のうち建屋間 にある貫通部	トレンチ 又は地中埋設
1号	218	95	36	87	88	98
2号	183	137	28	18	148	34
3号	225	126	17	82	132	43
4号	254	135	16	103	127	103
合計	880	493	97	290	495	278
全体比	—	67%		33%	56%	31%

※ 1月から7月までのサブドレン水位観測値の最大値と最小値を、それぞれ、上昇した地下水位と下降した地下水位として分類

[地下外壁貫通部の整理(出典:東京電力)]

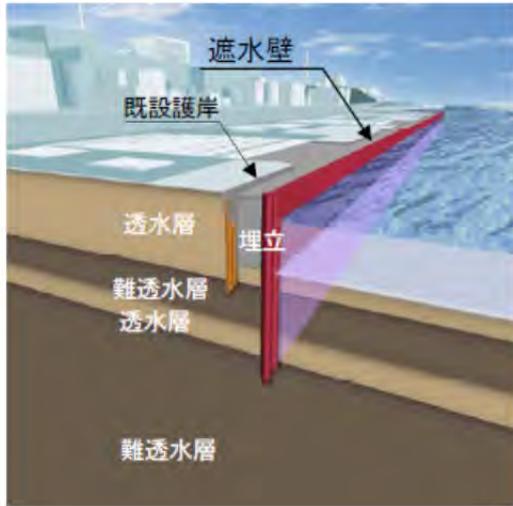


[これまでの止水実績及び滞留水減少量(出典:東京電力)]

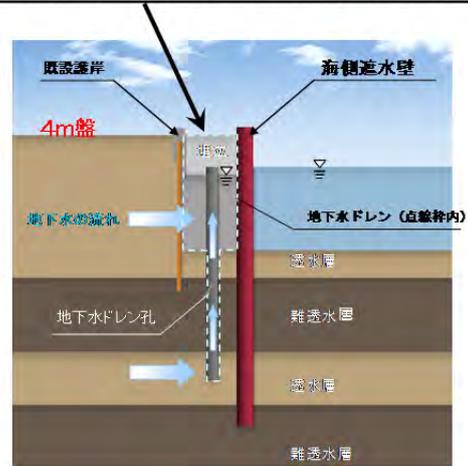
④海側遮水壁の設置

発電所内に滞留している汚染水が、周囲に流出しないように水位管理を行っているが、万が一、建屋外に漏えいした場合においても海洋汚染を防止するために、建屋の海側に鋼管矢板による遮水壁の設置を進めている。また、この海側遮水壁と既設護岸との間に地下水ドレンを設置することで、地下水位の管理を可能とすることとしている。

東京電力は、海洋汚染防止策として早期の運用開始を目指しており、平成26年度半ばからの運用開始を予定している。

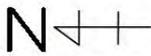


海側遮水壁と既設護岸の間（地下水ドレン）の地下水位を平均潮位以下として、海洋汚染防止を図る。



海側遮水壁の断面図イメージ

[海側遮水壁のコンセプト(出典:東京電力)]



[海側遮水壁の配置図(出典:東京電力)]

(5) 主な流入抑制策の整理・評価

① これまで東京電力が検討を進めている対応策

これまで東京電力が進めている対応策に対して、本委員会で以下のとおり整理・評価を行った。

1) 地下水バイパス

この対応策により、建屋への地下水の流入が一定程度抑制されると考えられ、また、他の対策と比べて最も早期に流入量抑制の効果が期待できることから、進めていくべきである。

しかし、建屋から離れた場所での地下水の揚水であり、想定通りに流入量が低減しないリスクもある。また、建屋内の汚染水の外部への流出を防ぐために、建屋周辺の地下水位の低下状況を評価しながら、段階的に揚水量を引き上げていくため、効果の発現までには時間を要することに留意が必要である。

2) サブドレンによる水位管理

この対応策により、建屋周囲の地下水位をコントロールしながら低下させることが可能となり、地下水の流入量が相当程度抑制されると考えられ、進めていくべきである。事故後に稼働できなくなった設備を復旧するという既存設備の活用であることに加え、新規に設置するものとあわせ、建屋周辺の地下水位を効果的に管理できる唯一の方法であるなど、効果的な地下水の流入抑制策と考えられる。

平成 26 年度半ばからの運用開始を目指しているが、サブドレン中の放射能濃度によっては、稼働できない可能性がある。

3) 建屋の貫通部の止水

この対策は、サブドレンによる水位管理等の他の対応策が機能しない場合に備え、建屋内への地下水の流入抑制を期待できるものであり、進めていくべきである。止水方法の確立、被ばく低減策等の技術的課題も多いが、建屋内への地下水流入を相当程度抑制するものとして、効果的な箇所から優先的に実施するなど、継続的に取り組んでいくべきである。

4) 海側遮水壁の設置

平成 26 年度半ばからの運用開始に向けて着工しており、万が一汚染水が建屋外に流出した場合に備えた海洋流出防止の効果を踏まえ、早期の完成に向けて進めていくべきである。ただし、海側遮水壁を設置することで、建屋より海側の地下水のバランスが変わり得るという視点からも、海側遮水壁、陸側遮水壁の設置も含めた地下水流入抑制策に係る評価を行うことが必要である。

②本委員会で検討を行った新たな対応策

本委員会では、東京電力が進めている対応策が予定通り実施できない場合に備えて、地下水の流入抑制策を中心として、多くの対応策の検討を行ってきた。その中で、主な地下水流入抑制策として、陸側遮水壁の設置、トーラス室へのグラウト充填による止水、建屋間ギャップの止水について、また、海洋汚染防止策である海水配管トレンチ内の汚染水の除去について、本委員会としての評価を以下のとおり整理した。

1)陸側遮水壁の設置

<概要>

陸側遮水壁は、1号機～4号機の汚染水が滞留している建屋を囲い込むように、遮水性の高い壁を設置するものである。これにより、山側から建屋に向かう地下水の流れを遮断し、建屋周辺の地下水位を低下させることができ、建屋内への地下水の流入を抑制するものである。

陸側遮水壁について、本委員会において、大成建設から粘土壁、鹿島建設から凍土壁、安藤・ハザマからグラベル連壁(碎石による透水性の壁)の施工方法の提案、清水建設から各施工法の評価とこれらを踏まえた総合的対策の必要性に関する提案があった。

なお、陸側遮水壁と呼称しているのは、既に対策が進められている海側遮水壁と比較して、陸側に位置していることを示すためであり、提案の中では、その海側遮水壁と接続している形のものも、接続していない形のものもあった。

<評価>

陸側遮水壁は、地下水の流入抑制を可及的速やかに実現しなければならない現在の状況において、サブドレンが十分機能しない場合の対応策として、必要不可欠の措置である。さらに、想定しないことが起きるとのスタンスに立てば、陸側遮水壁は、万が一建屋内の汚染水が外部に流出した場合にも、汚染範囲を最小限に食い止めると同時に、海洋への流出を確実に防止するための対応策としても機能するものである。

ただし、最短で進めた場合でも、施工計画の策定に約6ヶ月、施工に約1年が必要であり、現在進行中の燃料取り出しカバー工事、その後に計画している使用済み燃料の共用プールへの輸送作業等、他の工事との工程調整が必要であることに留意すべきである。また、凍土による遮水壁には、これまで2年程度の運用実績はあるものの、大規模かつ10年を超える運用実績は無く、継続的に冷凍機を運転

させる必要があることから、津波対策を含めた凍土システム(凍結装置、電源設備)の長期的な信頼性を確保する必要がある。

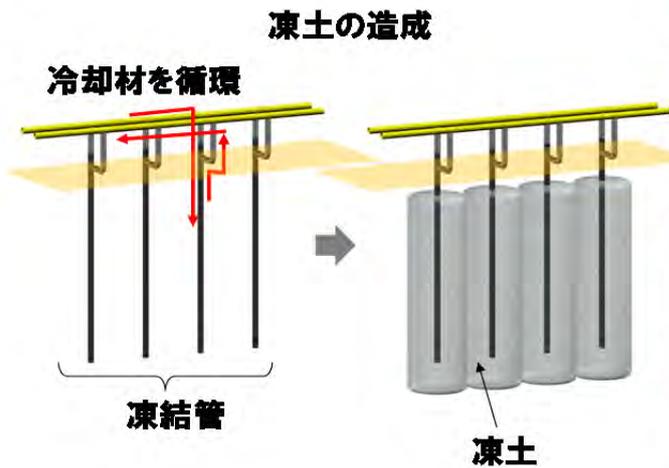
陸側遮水壁を設置して山側からの地下水流入が抑制されると、遮水壁の内側にある範囲の地下水位が低下していき、適切な地下水位の管理を行わなければ、建屋内の汚染水位との差が縮まっていくことで、建屋内の汚染水の外部への流出リスクが高まることとなる。そのため、地下水及び汚染水の水位管理が必要不可欠であり、それぞれの水位を正確に把握し挙動の予測を行うとともに、建屋周囲で地下水を供給、排出し適時的確に水位をコントロールすることが必要となる。

具体的には、サブドレンや新設のリチャージ(再注水用)井戸等の遮水壁内の排水や注水、遮水壁に囲まれたエリアのフェーシング(地面をアスファルト等で覆うことで、雨水の地下への浸透を防止することや、建屋の破損部分からの降雨の直接流入を避けること)による雨水の流入防止、建屋深部への排水ポンプの設置による排水、建屋周辺の地下水の観測網の整備等の組み合わせによる水位管理が考えられる。これらの対策により、地下水位の管理は可能であると考えられるが、世界に例のない初めての取組であり、今後、その具体的な実現方法について引き続き検討を行い、効果も評価しながら進める必要がある。

また、地下水位の管理を容易にするため、地下水を物理的に遮断するのではなく、遮水壁の中にポンプを設置し、そのポンプで地下水をくみ上げることが可能なグラベル連壁もあるが、地下水の流入抑制量が少ない可能性や、くみ上げた地下水の放射能濃度によっては、稼働できない可能性がある。

凍土壁とは？

凍結管を地盤中に所定間隔(例えば1m)で設置
 凍結管内に冷却材(例えば-40℃)を循環
 凍結管まわりに凍土の壁を造成



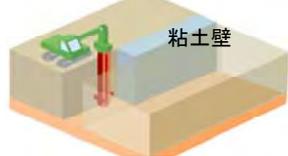
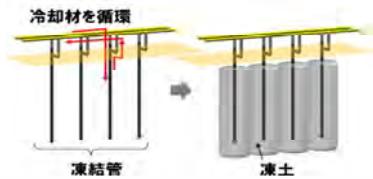
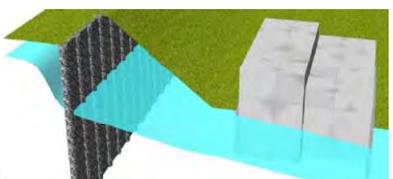
冷却材

冷却材	溶質	濃度例 (%)	凝固点 (℃)	氷点付近の粘性	防食性
コールドブライン	ギ酸ナトリウム	50	-55	低	高
ナイブライン	エチレングリコール・プロピレングリコール	50	-45	中	中
塩化カルシウム	塩化カルシウム	30	-55	高	低

[凍土による陸側遮水壁のコンセプト(出典:鹿島建設)]



[凍土による陸側遮水壁の配置図(出典:鹿島建設、写真提供:東京電力)]

提案者	構造	工法概要		工法概念図	
大成建設	粘土壁	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水壁を構築する部分の地盤を切削し、切削土を除去。 ・粘土を充填することで粘土壁を構築。 			
①透水係数	②施工性	②耐震性	④長期耐久性	⑤残土等の発生	⑥工期
$10^{-8} \sim 10^{-9} \text{m/s}$	<ul style="list-style-type: none"> ・重機が大型 ・建屋近傍設置には不利 	粘土であるため、追従性がある	塩分濃度が高い場合は対策が必要	残土が発生する	約24～30ヶ月
提案者	構造	工法概要		工法概念図	
鹿島建設	凍土壁	<ul style="list-style-type: none"> ・凍結管を設置する部分の地盤を切削し、切削土を除去。 ・所定の間隔で、凍結管を設置。 ・凍結管の中を、氷点下数十度の冷却材を循環させ、凍結管の周辺土壌を水分とともに凍結させることで、凍土壁を造成。 			
①透水係数	②施工性	②耐震性	④長期耐久性	⑤残土等の発生	⑥工期
0m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・重機が小型 ・建屋近傍設置には有利 	クラックが入ってもすぐに再凍結する	冷却材の継続循環、機材の交換が必要	残土はほとんど発生しない	約18～24ヶ月
提案者	構造	工法概要		工法概念図	
安藤ハザマ	グラベル連続壁	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水壁を構築する部分の地盤を切削し、切削土を除去。 ・グラベル(碎石)を充填することで地下水を透しやすい壁を作り、壁内にポンプを相当数設置。 ・壁内で上流からの地下水をくみ上げることで、建屋周辺からの地下水位を管理。 (・地下水位管理が不要となった後、壁内にセメントを注入し充填することでコンクリート壁を構築。) ※グラベル連壁は地下水の上流側のみの設置で、その他は遮水効果の高い鋼製壁を設置。 			
①透水係数	②施工性	②耐震性	④長期耐久性	⑤残土等の発生	⑥工期
グラベル連続壁は、水を通す設計であり、比較には適さない	<ul style="list-style-type: none"> ・重機が大型 ・建屋近傍設置には不利 	地震でグラベルがずれても、機能に大きな影響は無い	ポンプ等の設備の更新が必要	残土が発生する	約24ヶ月

[陸側遮水壁の工法に対する提案概要]

2) トーラス室へのグラウト充填による止水

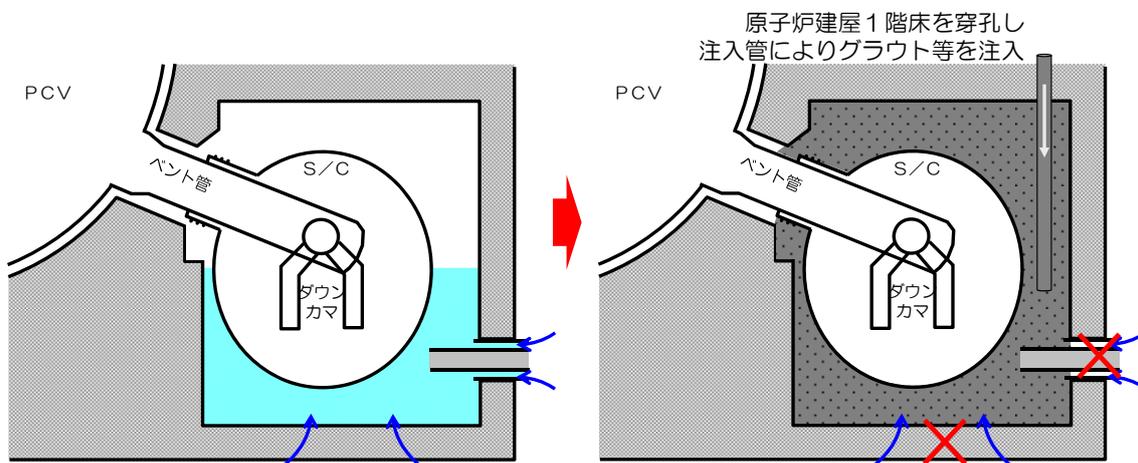
<概要>

トーラス室(原子炉建屋地下階)にグラウトを注入し、貫通部等を止水することにより、原子炉建屋への地下水流入量を低減する対応策である。

トーラス室の貫通部等の止水ができれば、トレンチ、建屋間ギャップ等の外周部からの地下水の流入を大幅に抑制し、大きな効果が得られると考えられる。また、燃料との接触がないため、汚染水に含まれる放射性物質の濃度が大幅に低下することも期待される。

<評価>

地下水がトラス室へ流入している状況の中で、グラウト(空洞を埋めるために注入するセメント等の流動性液体)を注入・充填し、止水できるかを、今年度、米国エネルギー省(DOE)等の知見を活用し、フィージビリティ・スタディを行う。その結果を受け、トラス室へのグラウト充填による止水の実施可否を判断する。また、止水を実施する前には、燃料冷却のための格納容器内での循環ループの構築(PCV 循環)に加え、今後の廃炉作業への影響評価も確認する必要があり、その成り立ちについても今年度検討する。最短で進めた場合でも、施工計画の策定に約1年半、施工に約2年が必要であると考えられる。



[グラウト充填による止水のコンセプト(出典:東京電力)]

3) 建屋間ギャップの止水

<概要>

隣り合わせた建屋の地下外壁は、50mm～150mm 程度の間隔を空けて(建屋間ギャップと呼ばれている)配置されており、建屋間を貫通する配管が集中している。水ガラスまたはシリカゾル等により地盤改良を行うことで建屋間ギャップへの地下水の流入を抑制することにより、貫通部からの地下水流入を抑制する対応策である。

<評価>

止水が成功した際には、主に建屋間ギャップからの地下水の流入を抑制できると考えられるが、他の貫通部、トレンチ等からの地下水の流入は続くと考えられるため、単独での効果は限定的である。

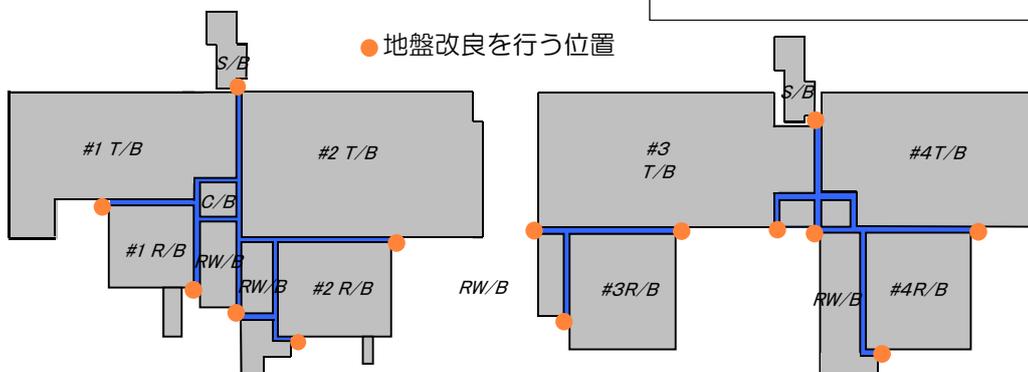
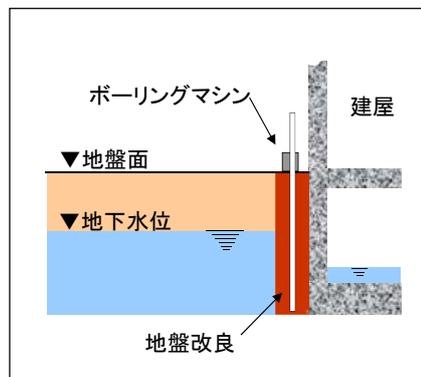
建屋の外壁周辺の地上部は高線量であり、作業可能な線量になるまで除染や遮へいを実施するなど、作業員の被ばく低減策を講じる必要があること、地中のトレンチなどの障害物がある中での工事となることなどの課題がある

■ 建屋間（50～150mmギャップ）へ地下水供給を遮断することで、建屋間貫通部からの地下水流入を抑制する。

「水ガラス」または「シリカソル」などにより地盤改良を行う。

< 継続検討中であるが、以下の課題の難易度が高い >

- ・ 建屋外壁周辺の地上部は高線量のため作業可能な線量になるまで除染や遮へいが必要
- ・ 地中にトレンチなどの構造物があるため止水工事の実現が困難



[建屋間ギャップの止水のコンセプト、止水位置(出典:東京電力)]

4) 海水配管トレンチ内の汚染水の除去

< 概要 >

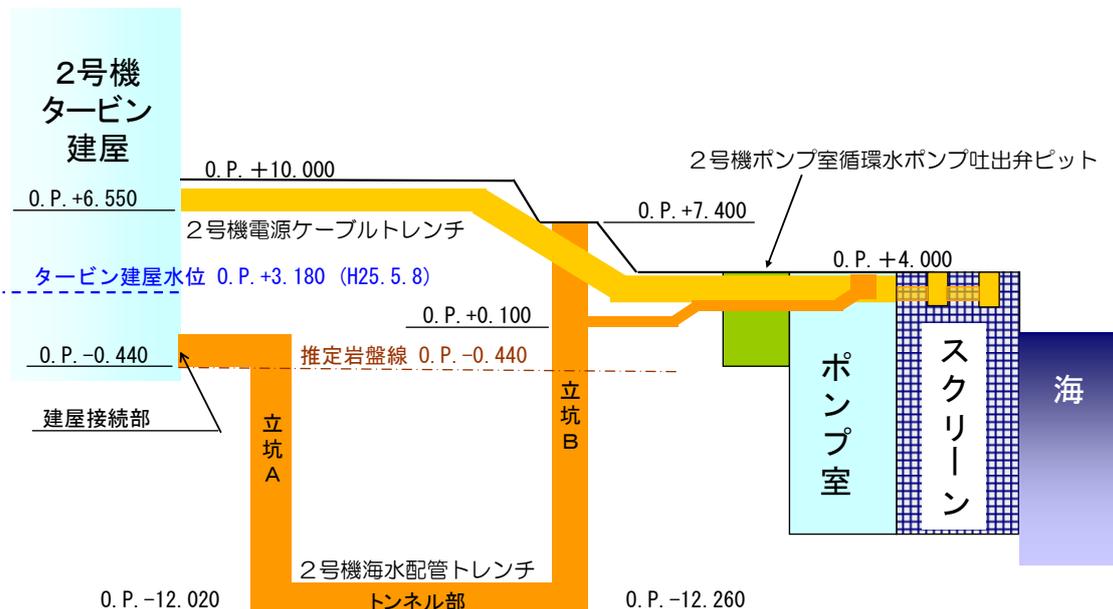
2号機から4号機の海水配管トレンチには、汚染水が滞留したままとなっている。トレンチのうちトンネル部の構造は2号機が直径約 4m、延長約 300m、3号機が直径約 4m、延長約 250m、4号機が約 2m × 2m × 2本、延長約 100m であり、汚染水の総量は立坑部を含むと約 1.5 万から2万立米と考えられる。2号機の海水配管トレンチには、放射性物質濃度(Cs)が約 $4.2 \times 10^6 \text{Bq/cm}^3$ (平成 23 年3月測定) と非常に高濃度な汚染水が滞留しているが、トレンチの建屋接続高さがタービン建屋内の汚染水の水位よりも低いことから、トレンチ内汚染水を回収しても、継続的にタービン建屋から汚染水が流入する等の課題がある。また、タービン建屋内の汚染水の水位を下げた場合には、逆にトレンチに溜まった高濃度の汚染水がタービン建屋側に流入する可能性がある。

<評価>

現在、海水配管トレンチからの水抜きの実施は、タービン建屋内の汚染水の水位が低下する平成 32 年度を予定している。しかし、高濃度の汚染水が溜まっている海水配管トレンチについては、大量の放射性物質の海洋流出等のリスクを認識し、海洋流出等の予期せぬリスクを未然に防止するためにも、直ちに対策に取り組むべきである。

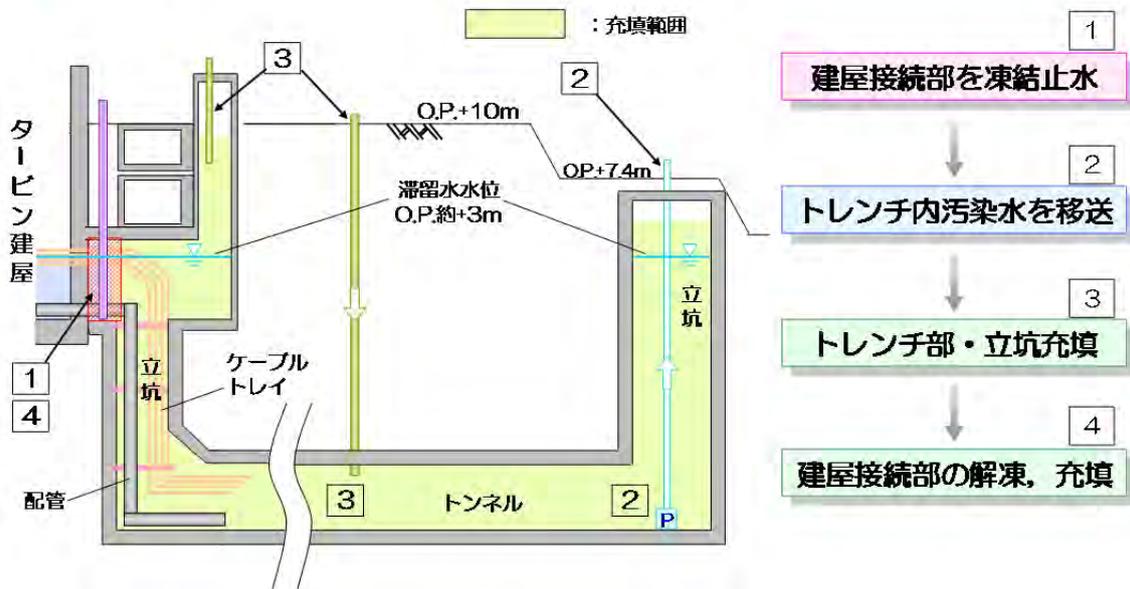
早期に海水配管トレンチ内の汚染水を処理する方法として、建屋との接続部を凍結工法により止水した後、汚染水を移送し、トレンチ部を充填することが考えられることから、まず、汚染水の放射性物質の濃度を再計測し、建屋接続部の止水方法、トレンチ内の汚染水の移送方法、トレンチ内の充填方法等について直ちに具体化するとともに、その濃度の低減を図るなどの環境改善措置を行う。凍結工法については、凍結時の配管等への影響評価、高線量下での作業員の被ばく低減策等の技術課題を克服することが不可欠である。また、この対策は、建屋を囲い込む形で陸側遮水壁を運用開始する前に、完了していることが望ましい。

また、高濃度の汚染水の滞留が確認されている海水配管トレンチに限定せず、原子炉建屋、タービン建屋等に接続されているトレンチについて滞留水の有無を再確認し、必要な対策を講じることが必要である。



[海側トレンチの構造図(出典:東京電力)]

■ 2号機施工案



[海水配管トレンチ内の汚染水の処理方法(出典:東京電力)]

5) その他の方策

本委員会では、タービン建屋地下汚染水のポリマーによる封入、格納容器内燃料デブリの空冷方式等についても検討を行ったが、技術的な難易度の高さ、実施可能時期の見通しの困難さなどの課題が指摘された。

(6) 地下水の流入抑制策の組み合わせに対する評価

地下水の流入抑制策について、各対応策の特徴、各対応策の組み合わせの効果を把握・比較し、対応策を検討する際の情報とするため、簡易な試算を行った。原子炉建屋等への地下水の流入量、各対応策の効果等、検討の前提となるデータが必ずしも十分正確には把握されていないことを前提とした検討であり、各対応策の効果量の予測を主目的としたものではないことに留意する必要がある。

① 各対応策の有効性

1) 評価対象とするケースの整理

検討の対象とした対応策は、主に原子炉建屋等の周囲への流入抑制、原子炉建屋等の内部への流入抑制のいずれかに効果的なものである。前者に分類されるのが、地下水バイパス、サブドレンによる水位管理、陸側遮水壁の設置であり、

後者に分類されるのが、建屋の貫通部の止水、トラス室へのグラウト充填による止水、建屋間ギャップの止水である。

各対応策の効果とその発現時期とを把握し、対応策の最適な全体計画を検討するため、定量化が比較的容易な原子炉建屋等の周囲への流入抑制策について、以下のケースに分けて、各対応策の有効性を評価した。

ケース0 現状(地下水流入抑制策を実施していない状況)

ケース1 地下水バイパス

ケース2 サブドレンによる水位管理

ケース3 粘土による陸側遮水壁

ケース4 凍土による陸側遮水壁

ケース5 グラベル連壁による陸側遮水壁

2)各ケースにおける地下水流入量の変化

ケース0からケース5について、各対応策を単独で実施した場合の効果と地下水の流入量の変化、地下水の揚水量の変化の2点から簡易な試算を行った。

地下水の流入量の変化とは、建屋に流入し汚染水となる地下水の流入量のことであり、減少分が各対応策の効果である。建屋への地下水の流入は、主にトレンチ、建屋間ギャップ等の外周部からのものであるが、一部、雨水として屋根から流入するものがある。また、地下水の揚水量の変化とは、地下水の流入抑制の効果を得るために、各対応策で必要となる地下水の揚水量を示したものである。

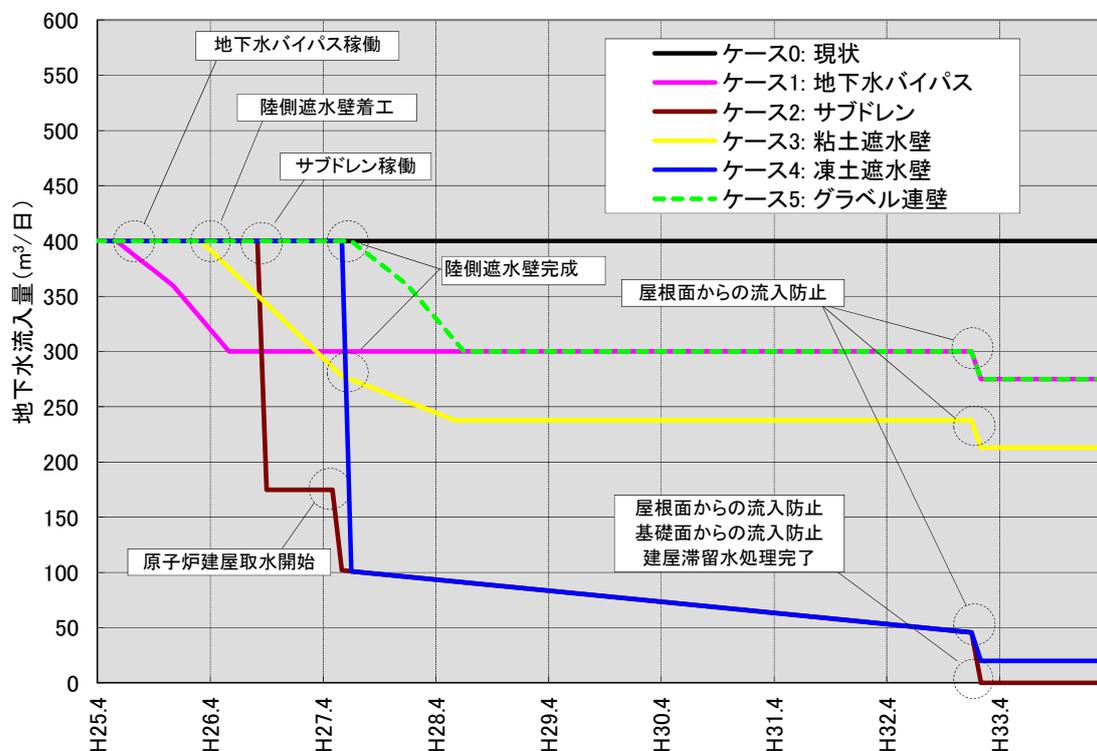
地下水の流入量の変化をみると、ケース2(サブドレンによる水位管理)とケース4(凍土による陸側遮水壁)において、最も効果が高い。いずれのケースともに、建屋内の汚染水の建屋外部への流出を防止するため、建屋周辺の地下水位と建屋内の汚染水位の水位差を維持していく水位管理が制約条件となり、建屋深部からの排水・モニタリング設備の設置状況によって抑制量が決定されるため、平成27年半ば以降の地下水流入量が同一となっている。また、平成33年初めに、屋根面や基礎面からの流入防止が完了し、ケース2では流入量がゼロになるとしている。

次いで、ケース3(粘土による陸側遮水壁)の効果が高くなるが、運用開始後も相当量の流入が続き、この対応策単独では十分な効果があるとは言えない。

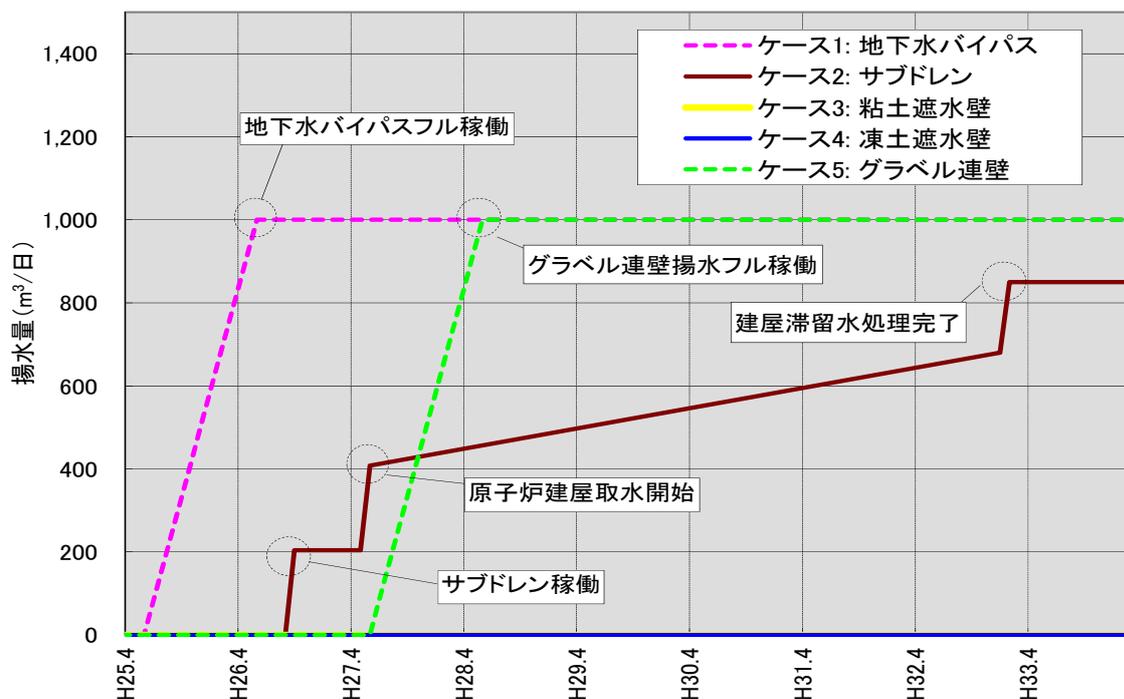
地下水の揚水量の変化をみると、ケース1(地下水バイパス)、ケース5(グラベル連壁による陸側遮水壁)で最も多くなり、次いで、ケース2(サブドレンによる水位管理)で多くなる。

以上より、対応策の実施に伴う様々なリスクを考慮すれば、サブドレンによる水

位管理に加えて、凍土による陸側遮水壁あるいは粘土による陸側遮水壁を並行して実施することが望ましい。



[各ケースにおける地下水流入量の変化]



[各ケースにおける地下水揚水量の変化]

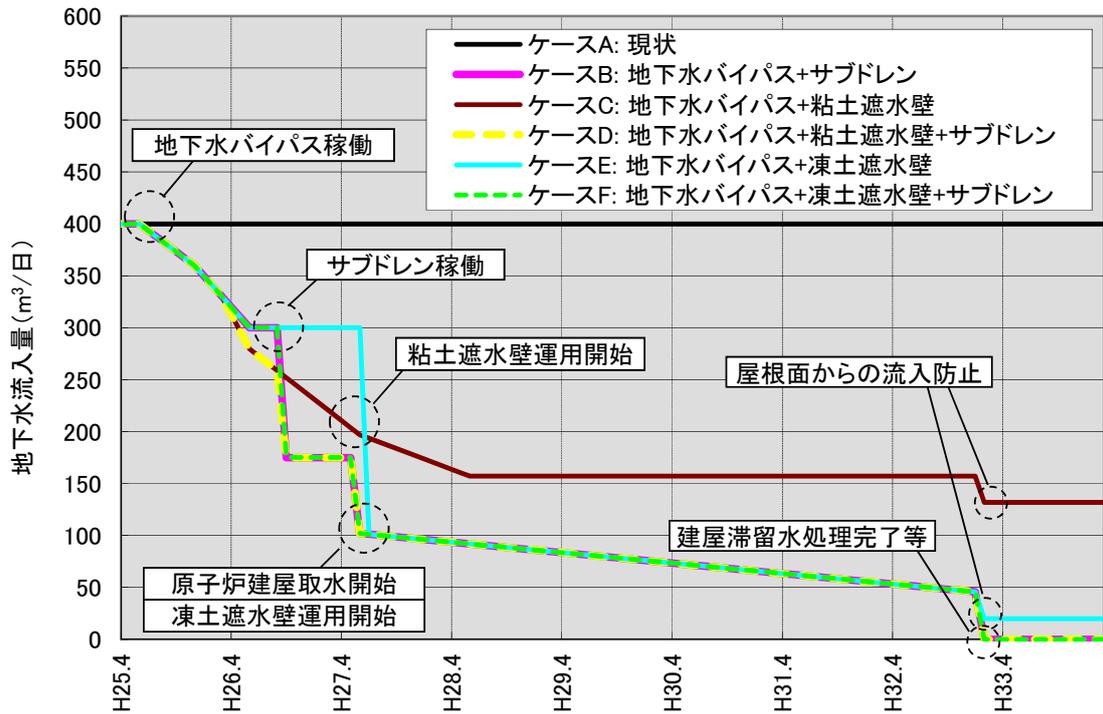
②対応策の組み合わせにおける地下水流入量と必要となるタンク容量の変化

地下水の流入抑制策として考えられる以下の対応策の組み合わせについて、地下水流入量と必要となるタンク容量の簡易な試算を行う。

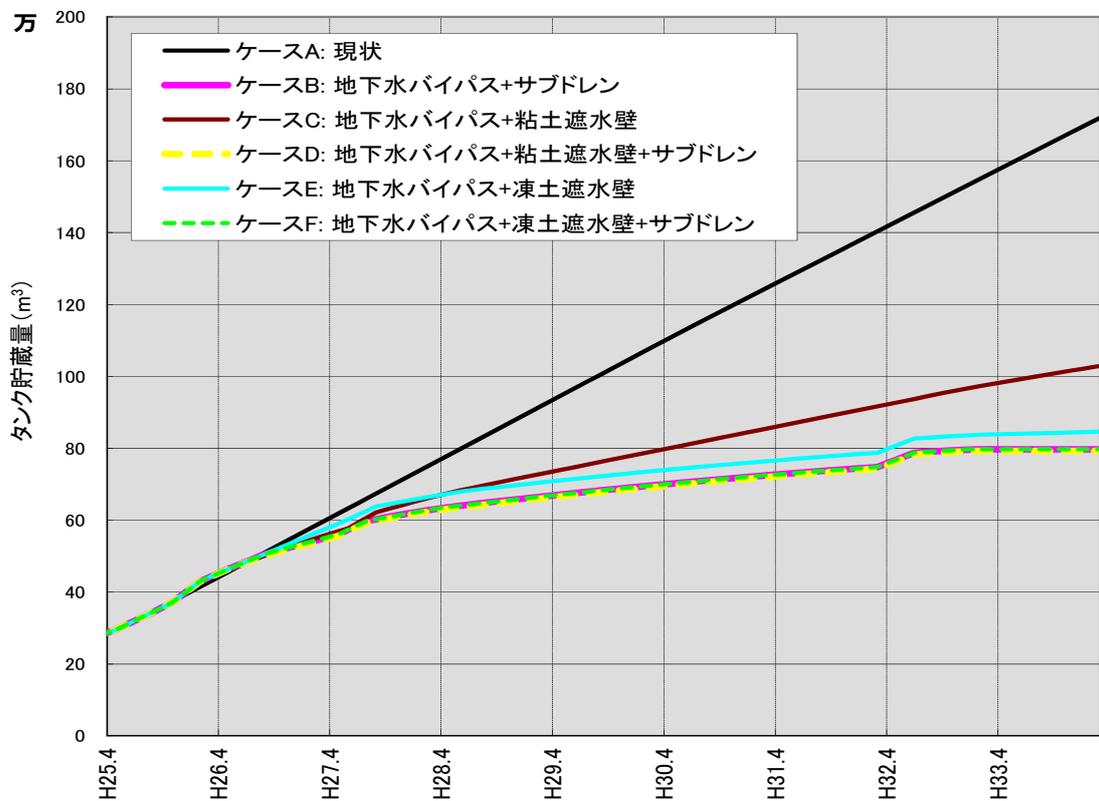
- ケース A 現状(地下水流入抑制策を実施していない状況)
- ケース B 地下水バイパス+サブドレンによる水位管理(これまでに東京電力が進めてきている対応策)
- ケース C 地下水バイパス+粘土による陸側遮水壁
- ケース D 地下水バイパス+サブドレンによる水位管理
+粘土による陸側遮水壁
- ケース E 地下水バイパス+凍土による陸側遮水壁
- ケース F 地下水バイパス+サブドレンによる水位管理
+凍土による陸側遮水壁

地下水の流入量の変化をみると、ケース B、ケース D、ケース F といったサブドレンによる水位管理を含む組み合わせにおいて、最も効果が高い。この中で、想定される主なリスク(サブドレンによる水位管理が行えないリスク、陸側遮水壁により期待された効果が得られないリスク)を低減させることができるケース D 及びケース F を、採用する組み合わせとすることが望ましい。特に、サブドレンによる水位管理が行えない場合に、水を全く通さない凍土による陸側遮水壁を用いた方が、地下水の流入抑制効果が高く、ケース F が最有力の組み合わせと言える。

各組み合わせにおいて必要となるタンク容量の変化をみると、ケース B、ケース D、ケース F といったサブドレンによる水位管理を含む組み合わせにおいて、今後7、8年以降では約 80 万立米のタンク容量が必要となる。また、サブドレンによる水位管理が行えない場合には、凍土による陸側遮水壁を用いた場合でも約 85 万立米のタンク容量が必要となる。



[各組み合わせにおける地下水流入量の変化]



[各組み合わせにおいて必要となるタンク容量の変化]

4. 地下水の流入抑制のための具体的対策

(1) 原子炉建屋等の周囲への流入抑制策

東京電力がこれまで検討を進めている、原子炉建屋周辺の地下水位を低下させ、建屋への地下水の流入を抑制する対応策(地下水バイパス、サブドレンによる水位管理)に加えて、陸側遮水壁を設置することとし、可能な限り早期の建設・運用を行う。地下水の流入抑制を効果的に行うためには、遮水壁で囲い込む範囲の地下水位を制御しやすくすることが重要である。

本委員会での検討の結果、陸側遮水壁の施工方式は、以下の理由から凍土方式とすることが適切であると判断した。

- ・遮水能力が高く、地下水の流入抑制効果が高いこと
- ・施工期間の短さ、施工可能性の高さから、遮水壁を囲い込む範囲を狭くできること
- ・このため、取り扱う地下水の総量が少なく、地下水位管理が比較的容易であること

陸側遮水壁の具体的な検討結果は、施工方式、範囲、地下水位及び地下水位の管理方法等の各論点について、以下のとおりである。

① 施工方式

陸側遮水壁の施工方式は、以下の背景から、遮水効果、施工性を踏まえ、凍土方式が適切である。

- ・最終的には建屋周辺の地下水位を下げていく必要があることから、地下水の流入量の抑制効果が高いことが望ましく、遮水壁の透水係数は小さければ小さいほど良い。また、遮水壁を一定程度深く設置すれば、建屋底部からの流入を抑制する高い効果を達成できる(建屋周辺であれば、不透水層がある30m以上の深度が必要である)。
- ・事故後2年が経過しているが、未だ高線量下での作業を求められることを考えれば、施工期間の短さ、施工可能性の高い方式が好ましい。
- ・建屋近傍には配管やトレンチ等の埋設構造物が多数あり、そうした構造物があっても施工可能で、周辺に汚染水を流出させない施工方式であることが必要である。
- ・地震等の自然災害への信頼性が必要である。特に地震によって、亀裂が入り、水の通り道ができにくいことが必要である。

ただし、凍土による遮水壁は、設置後も長期間にわたって安全面を含め万全な現場体制による維持・管理を続けていくことが必要であり、将来的に、地下水の流入抑制策に対する緊急性・重要性が低下して来た時期(例えば、格納容器の補修が完了し、建屋内の汚染水が完全に取り除かれ、建屋内の除染が完了した時期(平成 32 年頃を予定)など)には、比較的高い遮水能力を持ち、維持・管理が比較的容易な粘土による遮水壁へと入れ替えを行うことも検討すべきである。また、廃炉対策に 30~40 年の歳月が必要となる可能性を考慮しても、こうした対応策を検討すべきである。

凍土による遮水壁を、大規模にかつ長期間にわたって運用した前例はなく、今後の検討次第では設置が困難となる場合もあり得る。その場合には、粘土による遮水壁の設置を検討すべきである。両者の設置が困難な場合には、グラベル連壁による場合も考えられる。

②遮水壁で囲い込む範囲

陸側遮水壁で建屋を囲い込む際、最終的には建屋周辺の地下水位を下げていくため、流れ込む地下水の総量は少ないほどよく、可能な限り狭い領域で設置することが望ましい。その際、建屋の近傍になるほど、線量が高くなること、工事を阻害する地中埋設物が多くなることなど、作業性並びに施工の成立性に大きな影響を与える要因があることから、施工期間の短さ、施工可能性の高さが重要であり、凍土方式とすることが適切である。

また、運用開始のタイミングについては、各方向(建屋の西側(山側)、南北側(側方側)、東側(海側))で同時に行うことが、地下水の管理の観点から最も望ましい。工程等により順に運用を開始していく場合には、地下水の流入抑制の効果を可能な限り早期に得るために、西側、南北側、東側の順であることが合理的である。

現在、平成 26 年度半ばからの運用を目指して海側遮水壁の設置が進められている。陸側遮水壁の設置位置は、この海側遮水壁の更に内側とし、地下水の流入量をできるだけ抑制できる位置とすべきある。その上で、万が一の場合に備えた海洋流出防止策として、新設の陸側遮水壁と接続するべきである。

なお、長期的に凍土による遮水壁から粘土による遮水壁に移行する場合には、地下水流入抑制に加えて、廃炉対策の円滑な実施という観点も踏まえて囲い込む範囲を再検討することが望ましい。



[陸側遮水壁の配置案]

③地下水位及び汚染水位の管理方法

建屋内の汚染水を建屋周辺の地下に流出させないため、建屋周辺の地下水位を建屋内の汚染水位より常に高く維持することは極めて重要である。その際、取り扱う地下水の総量が少ないほど、地下水位管理が比較的容易となることから、遮水効果が高く、遮水壁で囲い込む範囲が狭い、凍土方式とすることが適切である。

その上で、建屋周辺の地下水位の管理だけでなく、地下水位の変動に応じた汚染水位の制御も重要である。特に、原子炉建屋の深部から排水できるようにすることで、汚染水位の制御が格段に容易になるため、現在でも放射線量が高いが、汚染水の制御についても優先的に取り組んでいくべきである。

以下の手法を組み合わせることにより地下水位及び汚染水位を管理することが十分可能と考えられる。ただし、技術的な難易度は低くなく、その具体的な実現に向けて、早急に取り組を開始する必要がある。

<建屋周辺の地下水位を維持する手法>

遮水壁の内側にあるサブドレンへの注水

遮水壁の内側に新設するリチャージ井戸からの注水

<建屋内の汚染水の水位を管理する手法>

各建屋深部への排水ポンプの設置による排水

地下水位の変動に対応できる汚染水位の制御機能
＜地下水位の変化を把握する手法＞
建屋周辺の地下水の観測網の整備

④フェーシングの実施

地下水の流入量を抑制するために、フェーシング（地面をアスファルト等で覆うことで、雨水の地下への浸透を防止することや、建屋の破損部分からの降雨の直接流入を避けること）を実施することによって、雨水の建屋への流入を防止することが望ましい。ただし、フェーシングを実施するためには、瓦礫等の撤去により対象エリアが片付けられていることが必要であり、現在の発電所の状況を踏まえると、直ちに実施することは困難であるが、フェーシングを実施するために検討は進めていくべきである。また、フェーシングを行わなくとも、期待する効果が得られる形で、陸側遮水壁の設置を進めておくべきである。

⑤技術的課題への対応

凍土方式による陸側遮水壁により長期間建屋を囲い込む今回の取組は、世界に前例のないチャレンジな取組であり、多くの技術的課題もあることから、事業者任せにするのではなく政府としても一歩前を出て、研究開発への支援やその他の制度措置を含めて検討し、その実現を支援すべきである。その際、建屋周辺の地下水と建屋内の汚染水の水位のバランスを十分に制御することも重要な技術課題である。

今後取り組んでいく概念設計の中で、各種課題を検討し、平成25年12月に以下のような陸側遮水壁の技術的課題の解決状況を検証するとともに、実施工法の絞り込み、他工法との組み合わせなど実施に向けた最適方策の取りまとめを行う（判断ポイント(HP)）。

- ①水位管理方法の確立（リチャージ等の成立性・信頼性）
- ②地下水の流入抑制効果の確認（シミュレーション等）
- ③施工性・効果の確認（試験施工、高流速下での施工等）
- ④津波対策を含めた凍土システムの長期的な信頼性の確保
- ⑤他プロジェクトとの干渉・波及を考慮し、かつ特殊環境（高線量、地中埋設構造物の存在等）下での施工計画の策定
- ⑥高線量下かつ防護服着用を要する中での、必要な作業員の確保
- ⑦海水配管トレンチの建屋接続部止水方法 等

(2) 原子炉建屋等の内部への流入抑制策

原子炉建屋等の周囲への流入抑制策が十分に機能しないリスクに備え、原子炉建屋等の内部への流入抑制により、汚染水の発生量を抑制する対応策を充実させる。東京電力がこれまで検討を進めている建屋の貫通部の止水(特に、外部に面している貫通部の止水)に加えて、トラス室へのグラウト充填による止水について、その実現に向けた概念設計と施工計画の策定に至急着手する。

こうした貫通部等の止水策は、流入量が多い箇所での止水方法の確立、高線量下での作業員の被ばく対策等、技術的に非常に難易度が高いが、陸側遮水壁の設置、サブドレンによる水位管理等の他の対応策が機能しない場合でも、建屋内への地下水の流入抑制の効果を期待できるものである。したがって、貫通部等の止水策は、対応可能なものから速やかに着手し、他の対応策の実現性が明らかになってくるまで継続的に実施していくべきである。

(3) 高濃度汚染水の早期除去

海水配管トレンチに滞留する高濃度の汚染水が、大量に海洋に流出する万が一のリスクを未然に防止するため、平成 26 年度中の対策完了を目指し、凍結工法による建屋接続部の止水方法の成立性、海水配管トレンチ内の汚染水の移送方法、トレンチ部の充填方法について直ちに具体化するとともに、その濃度の低減を図るなどの環境改善措置を行う。なお、止水方法の成立性については、凍結時の配管等への影響評価、高線量下での作業員の被ばく低減策等の技術課題があることから、実証試験を実施し、平成 25 年 12 月までに評価する。

(4) 汚染水の貯蔵容量の確保

これまでの検討を踏まえた対応策(陸側遮水壁の設置、地下水バイパス、サブドレンによる水位管理等)を重層的に実施する場合、簡易な試算の結果では、必要となる汚染水の貯蔵容量は、平成 26 年 4 月に約 45 万立米、平成 27 年 4 月に約 55 万立米、平成 28 年 4 月に約 63 万立米、平成 33 年 1 月に約 80 万立米となった後、横ばいとなる。今回の試算は簡易なものであるが、得られた結果を参考として、タンクの貯蔵容量を確保していくことが必要である。今後、貯蔵容量の増加が急遽必要となるリスクに備え、常に半年分程度の空き容量(約 1 万から 7 万立米)を確保することが重要である。試算の結果を踏まえれば、現在、平成 27 年中頃に 70 万立米としているタンク容量を、80 万立米に増設する計画の検討を進め、平成 28 年度中に施工を終える必要がある。また、各対応策が機能しない場合に対応できるよう、対応策の進捗を見定めつつ、柔軟に増設計画を見直し、運用していくこと

が必要である。

タンクの空き容量を確保しながら、タンクの信頼性向上策を実施することが必要であり、既設タンクのフランジ接合部の補修、溶接式タンクへの更新の検討を進めていくべきである。これに加え、タンクの大形化や地上タンクで対応できない場合への備えとして、次の方策についても長期的な視点も踏まえ慎重に検討を進めておくことが必要である。

ータンクの大形化

現在、地上タンクの容量は 1,000 立米が基本となっているが、これを 3,000 立米程度に大容量化することで、単位面積あたりのタンク容量を増加させることができ敷地の有効活用が可能となる。また、タンク容量あたりの鋼材使用量も減少することから、発生する廃棄物の量も減少させることができる。ただし、地盤の強化が必要である。

ー洋上タンカーへの貯留

個々のタンクと比較して、大きな貯蔵容量が確保できることに加え、中古のタンカーを活用することで、比較的 low コストでの調達が可能である。しかし、万が一、漏えいが起こった場合には即座に海洋に流出することになるため、津波等の自然災害時の耐久性やタンカーの漏えい防止策の信頼性について検証を行うことが必要である。また、港湾内ではスペースに制約があることから、適切な係留箇所の確保に課題がある。

ー大深度スペースの活用

地上への放射能の影響が及ばない大深度地下の帯水層や、そこに設置するタンクを貯蔵設備として利用する。適切な地層の存在、実現までに必要な工事期間等について検証を行うことが重要である。あわせて、長期にわたっての汚染水の安全かつ確実な管理方法、施工方法の検討が必要である。

(5) 地下水の観測網の整備と流動解析の実施

今回、地下水の流入抑制策の検討にあたって、東京電力が保有するデータ及びこれまでに行ってきた解析結果を用いたが、その内容が不十分であったため、定量的に十分な正確性を持った検討を行うことができなかった。

建屋周辺の地下水位、地下水の流動状況、水質等の把握は引き続き重要であり、平成 25 年上期より東京電力福島第一原子力発電所内の地下水の観測網を拡充し、早期に整備する。また、敷地内の地質データ、これまでに蓄積した地下水データと、新たに入手する地下水データ等を用いて、敷地内の地下水流動、原子炉建屋等への流入等の正確な解析を実施することが必要である。

(6) 全体計画の実施スケジュールと効果

地下水の流入抑制のための全体計画として、以下のスケジュールで進めていく。

① 原子炉建屋等の周囲への流入抑制策

< 陸側遮水壁の設置 >

- ・平成 25 年度末までにフィージビリティ・スタディを実施し、その後準備が整い次第速やかに建設工事着手することを目指し、凍土方式による陸側遮水壁の設置に向けた取組を早急に開始。
- ・平成 27 年度上期を目途に、運用開始する。

< 地下水バイパス >

- ・現在、くみ上げた地下水の水質確認を進めており、稼働に向けて準備中。
- ・稼働後は、建屋周辺の地下水位を把握し、建屋内の汚染水位との水位差を一定に保ちながら、徐々に揚水量を増やしていく予定。

< サブドレンによる水位管理 >

- ・現在復旧作業を行っており、平成 26 年度半ばからの稼働を目指す。

< その他 >

- ・平成 25 年上期より、地下水観測網を拡充し、早期に整備する。
- ・平成 27 年上半期に、原子炉建屋への排水ポンプを設置することにより、地下水位管理を高度化することで、地下水の流入量を抑制する。
- ・格納容器の補修、原子炉建屋等の汚染水の処理完了を受けて、地下水の流入量をゼロにする。

② 原子炉建屋等の内部への流入抑制策

< 建屋の貫通部の止水 >

- ・平成 25 年上半期までに分析・立案を進め、対応可能な箇所から止水作業を開始する。
- ・他の対応策の実現性が明らかとなってくるまで継続的に止水を実施する。

< トーラス室へのグラウト充填による止水 >

- ・ただちにフィージビリティ・スタディを開始し、平成 26 年度中の施工計画の策定を目指す。
- ・平成 29 年度からの運用開始を目指す。

③タンクの増設計画

- ・平成 28 年度中に、タンク容量を 80 万立米に増設する。
- ・対応策の進捗を見定めつつ、柔軟に増設計画を見直し、運用していく。

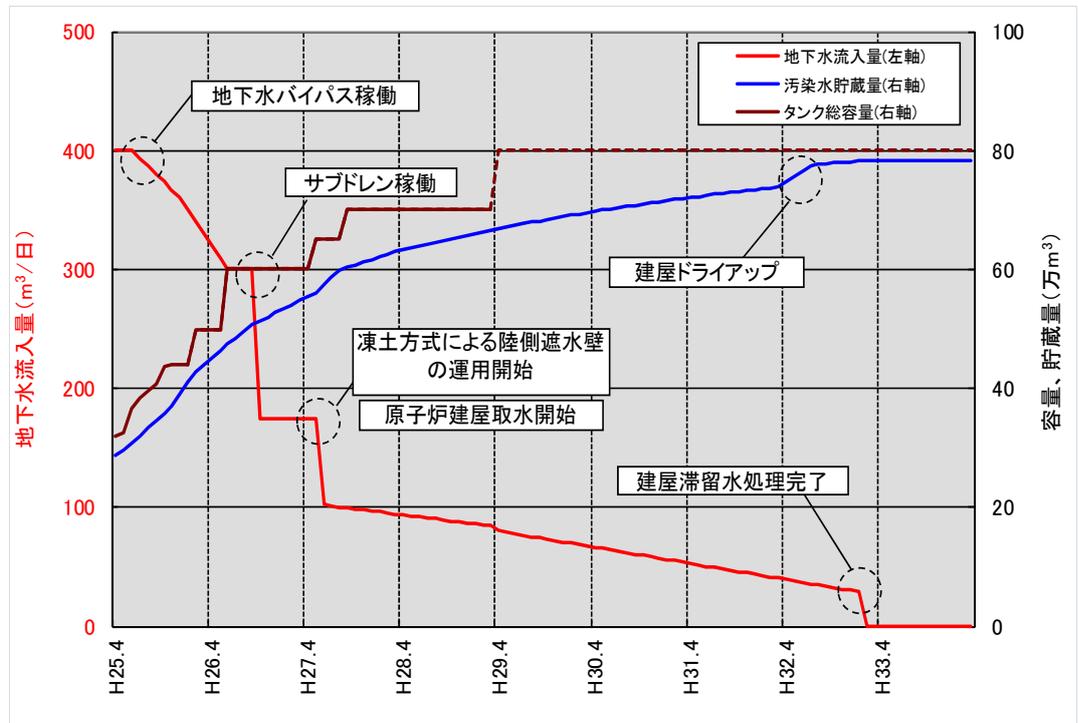
④海洋汚染の防止策

- ・平成 26 年度半ばに、海側遮水壁の運用準備を完了する。
- ・平成 26 年度中の完了を目指し、海水配管トレンチ内の汚染水を除去する。

この全体計画を実行に移すことにより、原子炉建屋等の周囲への流入抑制策で見ると、陸側遮水壁、サブドレンによる水位管理等を組み合わせることで、1つの対応策が計画通りに機能しないリスクや予期せぬ事態により実施できないリスクに対応できるようにすべきである。同様に、原子炉建屋等の周囲への流入抑制策が想定通り機能しない場合には、建屋の貫通部の止水等の原子炉建屋等の内部への流入抑制策が機能することが期待される。さらに、タンクの増設計画を策定することで、各対応策が機能しないという最悪の事態にも対応できるようにすべきである。また、建屋を囲い込む形で陸側遮水壁を設置することで、汚染水問題を日々心配されている地域の方々にも、安心感を与えられるのではないかと考えられる。

実施項目	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度	平成33年度以降	
原子炉建屋等の周囲への流入抑制策	陸側遮水壁 (凍土方式)		概念設計 実証試験等	設置工事	陸側遮水壁による地下水流入抑制						
	地下水バイパス	設置工事 ／順次稼働	地下水バイパスによる地下水流入抑制								
	サブドレン	復旧工事	設備順次稼働	サブドレンによる地下水流入抑制							
	その他		▽地下水観測網の整備 ▽目標:タービン建屋深部排水ポンプに切替	▽目標:原子炉建屋取水開始				▽目標:格納容器からの取水ループに切替		▽目標:建屋滞留水処理完了	
原子炉建屋等の内部への流入抑制策	貫通部止水	トレンチ止水工事	流入箇所特定、止水を継続実施								
	トラス室グラウト充填	フィージビリティ スタディ	設計	格納容器取水 装置設置工事	充填工事	トラス室グラウト充填による地下水流入抑制					
タンク増設				▽70万立米 まで増設	▽80万立米まで 増設	タンク増設					
海側遮水壁の設置		設置工事	地下水ドレン設備稼働								

[全体計画の実施スケジュール]



[原子炉建屋等の周囲への流入抑制策による効果の簡単な試算]

5. 今後の進め方

今回、凍土方式による陸側遮水壁を抜本策の柱として、地下水の流入抑制策をとりまとめた。この対策について、概念設計等を進め、年内を目途に技術的課題の解決状況を確認する。特に、陸側遮水壁の設置は、優先的に実施することで、平成 25 年度末までにフィージビリティ・スタディを実施し、その後準備が整い次第速やかに建設工事着手、平成 27 年度上期を目途に運用開始する。

<具体的スケジュール>

平成 25 年 6 月～	概念設計、詳細設計、施工計画等の策定
平成 25 年 12 月	陸側遮水壁の施工性、効果、水位管理方法等の検証の実施(判断ポイント(HP))
平成 25 年度内	陸側遮水壁のフィージビリティ・スタディの実施
平成 26 年度半ば	海側遮水壁の運用準備完了
平成 27 年度上期	陸側遮水壁の運用開始

今後、陸側遮水壁について、迅速な対応と早期の対策実現のため、資源エネルギー庁、東京電力、ゼネコン、プラントメーカー等からなる実務的なタスクフォースを本委員会の下に設置して、概念設計、施工計画の策定等の評価、進捗管理等を進めていく。

海水配管トレンチ内の汚染水の除去については、大量の放射性物質の海洋流出等のリスクを未然に防止するためにも、平成 26 年度中の完了を目指し、抜本的な対策を実施する。

地下水の流入抑制策を進めて行くにあたって、非常に困難な技術課題、将来の原子力施設の廃止措置等にも広く役立つと期待されるものについては、政府による支援を検討することが重要である。特に、凍土方式による陸側遮水壁により長期間建屋を囲い込む今回の取組は、世界に前例のないチャレンジングな取組であり、多くの技術的課題もあることから、事業者任せにするのではなく政府としても一歩前を出て、研究開発への支援やその他の制度措置を含めて検討し、その実現を支援すべきである。その際、建屋周辺の地下水と建屋内の汚染水の水位のバランスを十分に制御することも重要な技術課題である。

平成25年5月30日現在

汚染水処理対策委員会

名簿

委員長:	大西 有三	関西大学 特任教授、京都大学 名誉教授
委員:	出光 一哉	九州大学大学院 教授
	西垣 誠	岡山大学大学院 教授
	米田 稔	京都大学大学院 教授
	山本 一良	名古屋大学 理事・副総長
	大迫 政浩	(独)国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター長
	藤田 光一	国土交通省国土技術政策総合研究所 研究総務官
	丸井 敦尚	(独)産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 総括研究主幹
	山本 徳洋	(独)日本原子力研究開発機構(JAEA) 再処理技術開発センター 副センター長
	小林 正彦	(株)東芝 原子力事業部 技監
	石渡 雅幸	日立GEニュークリア・エナジー(株)シニアプロジェクトマネージャ
	鎌田 博文	(一社)日本建設業連合会 電力対策特別委員会 委員
	相澤 善吾	東京電力(株) 代表執行役副社長
	中村 紀吉	東京電力(株) 原子力・立地本部 部長
	中西 宏典	経済産業省 大臣官房審議官(エネルギー・技術担当)
規制当局:	山本 哲也	原子力規制庁 審議官
オブザーバー:	増子 宏	文部科学省研究開発局 原子力課長
	金尾 健司	国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課長
	廣木 雅史	環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 企画課長
	高坂 潔	福島県 原子力専門員

※ 必要に応じて、委員の追加を行う。

開催実績

第1回 平成25年4月26日

第2回 平成25年5月16日

第3回 平成25年5月30日