

thyまたは二〇〇五〇μ程度の甲状腺被曝が推定される。それらの地域でも、甲状腺癌が増えたとされている。

おわりに——チェルノブイリ被災国の知見の再検証を

『ロシア政府報告書』における「チェルノブイリ甲状腺癌」についての評価は、次のようにまとめることができる。

- ・チェルノブイリ原発事故被災地では「事故後二年目」に甲状腺癌が増え「四〇五年目」に大幅増加した
- ・「甲状腺癌」は事故時五歳以下のグループに増加したが、この層に甲状腺癌が多発したのは事故から一〇年後頃、彼らが一〇代になった後である。事故直後数年間をみると、事故時一〇代後半の層に甲状腺癌が増えている
- ・甲状腺癌が増えたとされるロシアの被災地の一部では、児童の甲状腺被曝量は数μy〜数十μyと推定されている

日本では県民健康調査の担当医や検討委員会が、チェルノブイリ甲状腺癌について「四〇五年後に増加」「事故時五歳以下の層に増加」「一〇〇μy超の内部被曝で増加」という点を強調してきた。そして、福島県で見つかった甲状腺癌との「違い」に焦点が当てられてきた。

『ロシア政府報告書』と照らし合わせると、このような説明が必ずしも妥当でないことが分かる。健康被害認定に対し

て慎重なロシアですら、甲状腺癌について事故後二年目での増加を認めている。そして「事故時五歳以下」層に甲状腺癌が多発したのは、一〇年近く経ってからのことである。なぜこのことについて、日本で広く言及されてこなかったのか。本稿は福島県で見つかった甲状腺癌の放射能起因性を断言するものではない。ただ、「因果関係否定」の論拠として「チェルノブイリ甲状腺癌」が引き合いに出されるとき、その説明に不正確さが目立つ。少なくとも、被災国の提示するデータは、それらの説明と大きく食い違う。

もう一度チェルノブイリ被災国が提示するデータを検討する必要性を訴えたい。

二〇一六年はチェルノブイリ原発事故三〇年である。被災国から、長年の健康調査や支援政策の総括となる報告書、資料が発表されるだろう。それらの資料を人類の共有財として、被災当事者、支援者に伝えるのが専門家の責務であるはずだ。被災国の報告内容に反論があれば、すべてオープンにした上で議論すればよい。ロシア語の資料で翻訳が公開されないのをよいことに、専門家が文脈を無視して一部を抜き出し、その見解を押しつけるなら、逆に信頼を失うだけだ。放射線影響否定ありきで被災国の知見を歪めて伝えては来なかったか、検証が必要である。この五年間「チェルノブイリ」の知見を、日本でどの程度活かすことができたのか。民間の手で検証したい。

凍土壁が抱え込んだ 1F汚染水問題の困難

汚染水問題の発端と本質

福島第一原発一〜四号機（以下1F、五、六号機は論じない）は、阿武隈山系からの被圧水流も含め、一日一〇〇〇トンに及ぶと言われる複雑な地下水流の場に立地する。このため1F建屋群を直近で取り囲む多数の井戸（サブドレーン）が削孔され、①揚圧力（浮力）低減による建屋躯体の力学安定と②建屋基礎からの地下水流入の防止を目的に、原子炉運転の開始以来3・11の事故当日までサブドレーンからの地下水汲み上げが続き、建屋周辺の地下水位高さを基礎底部以下に保つよう水位管理されてきた。こうして1Fは長年月に亘って地下水流の場から遮断されていた。

さて地震と津波により、当日運転中の一〜三号機は全電源を喪失して冷却機能を失い、炉心溶融が発生した。発熱が続く高温の溶融燃料（以下、デブリ）は、原子炉圧力容器（放射線

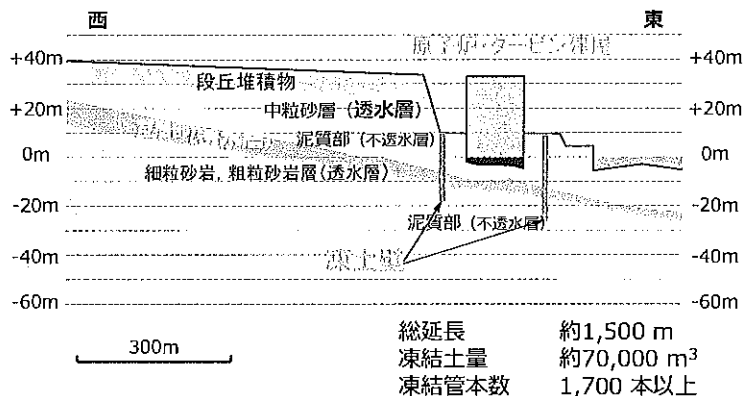
物質を閉じ込める第三の壁）の底を溶かして抜け落ち、このため

原子炉格納容器（第四の壁）も温度と圧力の上昇により損傷した。その後、デブリ冷却のため大量の注水が行われるが、この水は第三、第四の壁の損傷部から原子炉建屋（第五の壁）底部に流れ込み、津波による滞留海水と混ざり合い、全建屋で七万六〇〇〇トンに及ぶ大量の高濃度汚染水の滞留が起こる。これを追うように、燃料被覆管（第二の壁）と水蒸気の反応による大きな水素爆発（二号機だけでTNT四三三トン相当）が、一、三、四号機の順に連続し、原子炉建屋とタービン建屋の側壁や基礎、建屋を連結し外部環境に繋がる各種の構造物と埋設管は著しく損傷した。そして二、三号機タービン建屋から海側地下に向かう大口径海水トレンチにも大量（一・五〜二万トン）の高濃度汚染水が流れ込んだ。

ここで重要な点は、事故以来サブドレーンの稼働が停止し、地下水位が建屋周辺の地表高さにまで戻ってしまったことに

浅岡 顕
（一社）地盤工学会
会長を務める。

図1 1F付近の地下水流と地層



注・縦横の縮尺は一致していない。建屋付近は概念図。(原図は東京電力資料による)

結果が出ています。1Fでは地下水は大略西から東へ流れるとされるが、実際は南北にも地層は複雑に波打ち、一・五kmもの延長では急流もあるし流れの方向も変化します。この中を凍土円柱が徐々に太くなって行くと、水の流れる幅が狭まり流速は上がる。総延長が一・五kmにもなると、凍土円柱が壁と

設置工事が繰り返される。その準備は本当にあるのか？
 ・地層上部を占める中粒砂層での地下水のダルシー流速は0.1〜0.2m/dayとされるが、この初期流速が0.7m/dayに上がれば、もはや1m間隔では凍土円柱は閉合しない実験

2-1 凍土式遮水壁
 汚染水増加が始まって二年が経過し、地上タンクの汚染水量が三〇万トンを超え、あちこちへの汚染水漏洩が問題にされる頃になって、ようやく経産大臣の指揮により、二〇一三年四月三日、原子力災害対策本部福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議(事務局:経済産業大臣)のもとに「汚染水処理対策委員会」(以下、汚染水委)が設置された。
 なぜ二年も遅れたのか、それも措く。汚染水増加を止める決め手が建屋群を地下水流の場から完全に遮断する遮水壁の構築にあると考えたのはよいが、問題はこの委員会が、設置からわずか二か月後の五月三〇日、第三回汚染水委で、遮水

凍土式遮水壁選択の謎と「基本方針」

ある。つまり健全な建設当初の1Fでなく、第五の壁さえも壊された1Fの全体が、1F史上初めて複雑な地下水流に曝されることになった。
 建屋の躯体安定は、今は措く。しかし地下水流入は直ちに始まった。一日当たり四〇〇トン程度で、都市土木でこの量は建屋壁/床面積を考えると漏洩箇所も分からないほどの軽微かもしれない。しかしこの水は建屋内の高濃度汚染水と混じり、直ちに自身が高濃度汚染水となるから、「軽微」では済まない。こうして一日約四〇〇トンの核汚染水の増加が始まり、五年が経過する今も止まっていない。

壁には凍土式遮水壁(以下、凍土壁)が妥当とする提言を取りまとめたことにある。

2-2 なぜ凍土壁か? その1(技術的側面)

水で飽和した地盤中を鉛直に削孔して凍結管を埋め、管内にマイナス三〇℃程度の冷媒を循環させると、やがて凍結管を中心に土は円柱状に凍る。凍土壁はこの円柱状の凍土を、直径よりも狭い間隔で横一列に並べて壁状にするもので、円柱が水平にも鉛直にも連続して重なっていれば遮水壁になりうる。

1Fでは原子炉建屋群を取り囲む総延長は一・五kmを超え、凍結管は間隔を1m〜1.2mにまで飛ばしても、本数は一五五〇本以上になる。さらに凍結管は複雑な地層構成の中を、深さ三〇mの下部泥質層まで打設しなければならぬ(次頁図1)。しかも凍結運転は七年以上に亘るとすると、未だ経験したことのない大型で長期の「チャレンジング」な事業になる。

このように大型の凍土壁が本当にできて、しかもそれを七年以上も維持できるのか? 「1Fに凍土壁」と聞いた初めから、凍土壁の技術的な実現を危ぶむ声は、土木/地盤工学の技術者の間で多く交わされていた。主な点は以下の通り。

・七年以上の長期凍結運転はかつてない。このような長年月ではその間に、凍結管と溶接継ぎ手の腐食/劣化の発生は必然で、運転中に何度も、高線量域での人力による凍結管再

して閉合する目前になって、閉合不能個所があちこちにつきつき現れる可能性が高まる。地下水流があるときは、薬液注入などで先ずその水流を止めてから凍結工法を使う。しかし一・五kmもの1Fで、まず水流を止めてから、などはできない。

・互層部の砂岩、その下の細粒砂岩層、粗粒砂岩層は阿武隈山系と繋がる被圧滞水層である。水は岩の割れ目を細い地中埋設管のようにして流れていて、前記のような砂の中の全断面を流れるダルシー流れではない。このような水は凍りにくい。凍っても割れ目を広げ砂岩を壊す可能性がある。

・上部の中粒砂層と下部の被圧滞水層を分かち泥質部は、不透水層で透水性が極めて小さいから、本来凍結は必要でない。凍結を避けるため泥質部層では冷媒をシールするのか? あるいはこの泥質部層を無用に凍結させるなら、凍結による変状が出ないことをどのように確かめているのか? この泥質部がもし粘土のような圧密材とすると、凍結管中心に向かう水の流れにより、円周方向には(粘土塊に隙間が生まれ、その中に残った水が凍る)アイスレンズを生じ、半径方向には放射状に亀裂を生じる。下部が被圧滞水層であるため、泥質部の無用な凍結による予期せぬ変状は全く好ましくない。実際四号機基礎の建設時、開削によってこの泥質部を一部破り、下の被圧層から大きな出水があったことを当時の技術者から聞いていた。今この泥質部はどうなっているのか、何も聞かない。

・通常〇・七〇・八mの凍結管間隔が、1Fでは山側で1m、海側は一・二mと広い。凍結効率に距離の二乗に反比例するから、1Fの凍土壁はもともと凍りにくい。しかも建屋直近は中粒砂層開削後の埋戻し土で互礫が混じり、地中埋設管も多い。これを貫き下部の泥質層と被圧互層、堆積砂岩層も貫く三〇mに及ぶ叩き込み式削孔では、凍結管の鉛直精度は期待できない。地表では正確に1m間隔でも、地中、地底の凍結管間隔はバラバラと考えたほうがよい。凍土円柱が隣の円柱と上から下まで一様に接して壁ができるなどは、作図上の空論である。

・地中埋設管が凍土壁山側で七六か所、海側で九〇か所以上ある。凍土壁がこの埋設管を跨ぐときは、埋設管径二mでも凍結管間隔は最大四m程度まで広がり、凍結管を復列にしても、埋設管上下部の地盤の凍結は難しい。しかも事故後四年以上経過して管内に水を抱えていれば、それは周囲の地中温度と同じ一四〜一八℃の熱源になり、管内の水は凍らない。埋設管に外接する土も凍りにくい。貫通施工の凍結管でも同じ。埋設管からの地下水流入を避けるにはモルタル等による管の充填が必要で、その予定はあったと聞くが、実際になされた報告はない。

・凍土壁は海側で外径約五mの海水トレンチを六か所で跨ぐ。このトレンチはもはやモルタル充填されていて、凍結管は貫通できないから、トレンチ下部の延長約三〇mの地盤は遮水

元の自然に戻ってしまうから、むしろ元に戻す必要がある時にこそ用いるのが凍結工法である。

では1Fでは、何ができていれば元に戻すのか？ 凍凍要件をどう考えていたのか。

「基本方針」(二〇一三年九月、次項で詳述)のあと、当時の政府の出す工程表では、二〇二〇年までに、①建屋外の地盤地下水位を建屋内の汚染水水位より高く保ちながら両者を下げて行き、ついには建屋から高濃度汚染水をすべて抜き取ってしまう(地下水位管理と建屋滞留水処理/ドライアップ)、②そして建屋の除染、建屋の壁の貫通部の止水、建屋間ギャップの止水、(トラス室など)原子炉建屋底部の止水、格納容器の補修などが終了する、と記されている。原子炉圧力容器の金属材料による補修までも、著者は政府委員から聞いたことがある。同じ工程表にこの後の凍土壁の運転の記載はないから、①と②が凍凍要件で、それが二〇二〇年までに達成できると考えていたことは、疑う余地がない。つまり1F建屋群を3・11前の状態に直しておけば、凍土壁はもう無くなつてよいとしていた。

しかし、凍凍要件①や②が、将来はともかく今の技術で、二〇二〇年までの七年(今や五年)内に達成できるなどは、責任ある技術者に言えることではない。凍土壁が仮設構造物であるが故に、このような要件の早期達成が求められる。これが恒久的遮水壁であれば、たとえ①や②がデブリ取出しなど

されず、最初から凍土壁の欠損部となる。

以上のような懸念にもかかわらず、汚染水委は設立の二か月後、二〇一三年五月三〇日に以下の理由により、最良の遮水壁として凍土壁を選択する。

- ・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、施工性の高さから、遮水壁が囲い込む範囲を狭くできること、
- ・このため、取り扱う地下水の量が少なく、地下水位管理が比較的容易であること

この内容は一週間後、二〇一三年六月五日に原子力規制庁に報告されたが、そこには「地下水流入抑制のため、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ーンによる水位管理等の対策が十分に機能しない事態に備えるため、凍土方式によるプラント全体を取り囲む陸側遮水壁を設置すべき」と書かれている。凍土壁は最後の砦とされていた。しかし後に述べるように、太字で示した理由はすべて誤りである。

2-3 なぜ凍土壁か？ その2 (仮設性と凍凍要件)

凍土壁はいつか融けて無くなる仮設構造物だが、凍土壁は仮設だから問題ありとする議論は、凍土壁選択時から今に至るも、どの資料にも見当たらない。政府のすべての委員会は、凍土壁が仮設であることに全く言及していない。これは東京電力も同じであるが、融けて無くなる、つまり否応なく必ず

将来の廃炉工程で必要になるとしても、十分な技術の成熟まで待つことができる。この点は4節で述べる。

2-4 政府の「基本方針」

汚染水委の提言を受けて二〇一三年九月三日、凍凍要件も含め、凍土壁の建設が汚染水問題に関する基本方針(以下、「基本方針」)に書き込まれることになった。「国が前面に出る」として国の原子力対策本部が決定した方針である。

方針1 汚染源を取り除く

- ・多核種除去設備等による汚染水浄化
- ・海水トレンチ内の汚染水除去(↓二〇一五年中に建屋内に移送された)
- ・原子炉建屋等の地下に滞留する汚染水の除去(凍凍要件に当たる、滞留汚染水除去は方針1の最終目標に書き込まれているので、ここに記している)

方針2 汚染源に水を近づけない

- ・地下水バイパスによる建屋上流での地下水汲み上げ(↓二〇一四年から海洋排出)
- ・サブドレーンによる地下水汲み上げと地下水位管理(↓二〇一五年から開始)

・凍土方式の陸側遮水壁の設置(↓二〇一五年山側三辺については凍結管と测温管の設置は完了、海側一辺は凍結管削孔を完了、規制委の水位管理の認可をまって二〇一六年初頭から山側三辺の凍結開始予定)

・雨水の土壌浸透を抑える敷地舗装(↓順次施工中)