

[様式2]

提案書	
技術分野	④
提案件名	溶融した低融点重金属による止水技術
提案者	高橋 実
<p>1. 技術等の概要（特徴、仕様、性能、保有者など）</p> <p>(1) 技術の概要</p> <p>低融点重金属の凝固を利用する止水技術を提案する。溶融状態の低融点重金属をステンレス鋼製の送液チューブを通して漏えい部の近くに内側または上部から送り込み、滞留させるか、あるいは液体噴流として漏えい部周辺に噴射する。重金属は周囲の水によって冷却され、同時に漏えい部付近の固体材料により冷却されて融点以下に温度が低下し、凝固により漏えい孔を閉塞する。</p> <p>この止水に用いる低融点重金属の候補として鉛系合金が考えられる。その融点の要件として、(i) 常温に近い水中で安定した凝固状態が保持されるようにするために、その融点は常温を超えるある温度（例えば 40℃）より十分高いこと、(ii) 凝固時に水が沸騰して気泡が発生し、攪拌効果で重金属表面が凹凸になることを防ぐため、その融点は大気圧の水の沸点より低いこと、があげられる。これらの要件を満たす市販の低融点重金属として融点 72℃のウッズメタル（以下、Wood's metal と称する。）またはこれに近い融点を有する鉛ビスマス系合金の利用を提案する。</p> <p>(2) 特徴</p> <p>溶融した低融点重金属による止水技術の主な特徴は、(i) 重金属の冷却に伴う凝固のみにより漏えい箇所を閉塞させ、止水するものであること、伝熱と液体から固体への相変化という単純な原理に基づくものであること、(ii) 冷却が良好であれば止水材料である重金属が短時間で凝固するため、迅速に止水が実現できること、(iii) 空気、水等に触れる環境や放射線の照射に対して止水材料である固体の重金属が数十年間の長期間安定であること、(iv) 止水材料である重金属に鉛を含むためγ線等の放射線の遮蔽効果が大きいこと、(v) 漏えい水の流速と温度に応じて、適切に凝固するように止水材料（重金属）の噴射温度と速度を自由に制御でき、しかも止水材料の比重が水の約 10 倍であるため下部に滞留させやすく、水に溶解することなく水との分離と共存性も良好であること、(vi) 止水材料である重金属が化学的に安定であり、水や漏えい部まわりの材料と化学的に反応したり腐食させることもなく、常温で安定に共存できること、(vii) 止水材料（重金属）の成分が中性の水に溶け出て毒物として拡散することは無視できるほど小さいこと（ただし、酸性の水の場合は溶け出る）、(viii) 凝固した止水材料（重金属）を後で除去する必要がある場合、温度 100℃程度の温水または高温蒸気により加熱・融解させることで容易に除去することができること、(ix) 止水材料（重金属）は市販されており量産によって安価であること、である。</p> <p>(3) 仕様、</p> <p>【止水材料】 前述のように低融点重金属である Wood's metal を用いる。その成分は</p>	

48%Bi-26%Pb-13%Sn-13%Cdである。その物性値は、密度 9490kg/m<sup>3</sup>、粘性係数 4.0mPa s、比熱 273J/kgK、熱伝導率 13.5W/mK、融点 72°C、融解潜熱 18.5kJ/kg である。水のおよそ 10 倍の比重にあるため漏えい部の上部に滞留しやすく、下部からの水の流入に対しても止水可能である。重金属の熔融状態の流動性は良好であるのでチューブによる送液は容易である。金属であるため熱伝導性が高く、融解潜熱が比較的低いため周囲の水によって冷却されると容易に凝固する。

【送液チューブ】 材質としてステンレス鋼を用いた薄肉チューブが適している。融点付近の温度の Wood' s metal はステンレス鋼を腐食しない。重金属を熔融状態に保つために送液チューブを融点以上に加熱する必要がある。その加熱方式として、チューブ内側へのヒーター挿入またはチューブ外側へのヒーター取り付けが可能であり、チューブの温度監視のための直径 1 mm 程度のシース熱電対を適宜取り付ける。チューブの先端には噴出ノズル取り付け、必要に応じて交換可能とする。漏えい個所まで噴出ノズルを近づけ、適切な方向に重金属を噴出させるため、チューブは一部フレキシブルな構造とする。

【制御量】 適量の重金属を漏えい個所に供給するか、あるいは噴射して効率よく止水を実現させるため、漏えい個所の状況に応じて、噴流形状を選択し、噴出温度 (75~98°C)、噴出速度、噴出量、噴出方向を制御する。

#### (4) 性能

基礎研究の漏えい孔を有する水中の金属平板 (材質: ステンレス鋼、黄銅) 上に、止水材料である Wood' s metal および模擬液体である金属ガリウム (融点: 29.8°C) を噴射させる実験を行った。低融点重金属による漏えい孔閉塞・止水の性能を調べた結果、(i) 適切に凝固閉塞が実現可能であること、(ii) 熱伝導率が高い平板のほうが平板上で凝固しやすいこと、(iii) 平板の温度が低い方が漏えい孔上に凝固閉塞が起こり、止水に適していること、(iv) 周囲の水の温度は噴射熔融金属の漏えい孔への到達前の冷却に影響を及ぼすこと、(v) 必要量以上の噴射を続けると一度凝固閉塞した止水材料が再び融解すること、などがわかっている。

## 2. 備考 (以下の点など、可能な範囲で御記入いただけますようお願いいたします)

・開発・実用化の状況 (国内外の現場や他産業での実績例、実用化見込み時期を含む)

- (i) 提案者は平成 24 年度から本技術の基礎研究を行っており、その結果を日本原子力学会 2013 年秋の大会 (題目: 漏洩箇所における止水のための重金属の凝固特性、講演番号 K33、添付資料参照) で発表した。
- (ii) 提案者は、1975 年から現在まで低融点重金属を用いた実験研究の実績がある。
- (iii) 低融点重金属を漏えい個所の止水に用いた実績例はないが、高速炉原子炉容器上部プレナムのカバーガスのフリーズ・シールに用いた例がある。
- (iv) 大学の研究室単独では実用化が困難であるが、関係機関の協力により開発環境が良好に整う場合を想定すると、送液チューブの漏えい個所への引き回し構造を設計・試作する期間に 3 カ月、模擬試験装置による止水実証試験に 3 カ月として、初期段

階の実用化までの期間は最短でおよそ6カ月と考えられる。止水は一刻を争う緊急事態であるので、集中的に開発を行えば、この期間をさらに短縮することも可能であろう。

- (v) 初期段階の実用化の後にも、性能向上のための改良を継続することが望ましい。

・開発・実用化に向けた課題・留意点

本技術の性能を向上させるためには、以下のような改良が必要である。

- (i) 漏えい個所までの送液チューブの3次元引き回し構造を適切に設計する必要がある。
- (ii) 送液チューブは必要に応じて自在な曲げが可能な構造を部分的に有するように設計し、加熱ヒーターの取り付け後もその自在曲げ機能が維持できるようにすることが望ましい。その一案として、チューブ内にシースヒーターを挿入することが考えられる。
- (iii) 漏えい孔の寸法・形状に応じて、適切に低融点重金属を噴射できるように、先端の噴出ノズルを選択する。その噴出ノズルとして、直管ノズル、フルコーン・ノズル、ホロコーン・ノズルがあげられる。
- (iv) 漏えい孔の寸法が大きい場合には、低融点重金属が液体状態あるいは微小凝固粒子の状態の水と共に流出してしまう可能性があるため、その対策として漏えい孔をあらかじめ薄い金属シートで覆い、漏えい孔の寸法を小さくしてから低融点重金属を噴射する技術の開発が必要である。
- (v) 漏えい孔における水の漏えい流速が大きい場合には、低融点重金属が漏えい水と共に液体状態で流出する可能性がある。このような状態でも止水が有効であるようにするには、噴射条件（噴射ノズルと漏えい個所の距離、噴射温度、噴射速度）を最適に選択する必要がある。

・その他（特許等を保有している場合の参照情報等）

当該技術の特許の保有なし。

（備考）技術提案募集の内容（6分野）

- ① 汚染水貯蔵（タンク等）
- ② 汚染水処理（トリチウム処理等）
- ③ 港湾内の海水の浄化（海水中の放射性物質の除去等）
- ④ 建屋内の汚染水管理（建屋内止水、地盤改良等）
- ⑤ 地下水流入抑制の敷地管理（遮水壁、フェーシング等）
- ⑥ 地下水等の挙動把握（地下水に係るデータ収集の手法、水質の分析技術等）