

「ケミカルグラウト(株)」

# ICECRETE工法

## 環境負荷低減を目指した新しい地盤凍結工法

### 技術の概要

#### 地球環境に優しい地盤凍結工法

地盤凍結工法では一般的に冷凍機を使用し、冷媒ガスの圧縮と膨張を伴う冷凍サイクルで地中の熱を効率よく外気に移動させ、地中の間隙水を凍

結させて凍土を造成する。凍土は、強固で高い止水性を有する。従来の地盤凍結工法では、凍結管を循環する冷媒として不凍液である塩化カルシウム水溶液を使用し、冷凍機の冷媒ガスにはフロンを使用していた。これに対して、当社が開発したICECRETE工法では、凍結管を循環する冷媒として液化炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)、冷凍機の冷媒ガスとしてアンモニア(NH<sub>3</sub>)を採用している。どちらも化学的に合成された物質ではなく、元々自然界に存在する物質である。

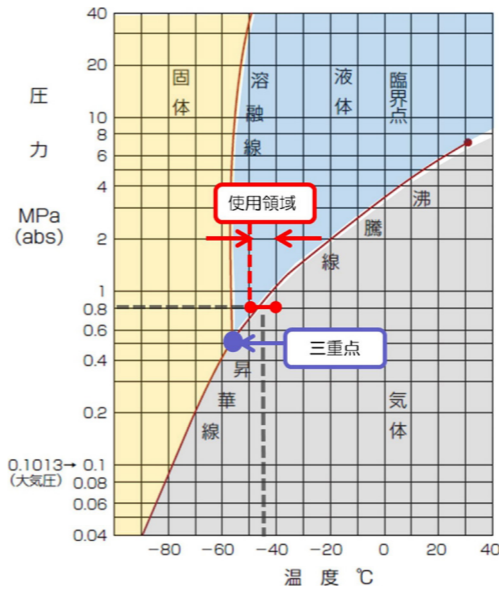


図1 CO<sub>2</sub>状態図<sup>(3)</sup>

液化炭酸ガスによる高効率化  
CO<sub>2</sub>の状態図を図1に示す。大気圧下では固体と気体の状態しか存在しないが、0.5 MPa以上の圧力下においては、液体の状態が存在する。ICECRETE工法では、この特徴を生かして、CO<sub>2</sub>を地中に埋設した凍結管へ循環させる。凍結システム比較図を図2に示す。液体のCO<sub>2</sub>は凍結管を循環している間に、地盤から熱を奪い液体から気体に相変化する。当工法では、この相変化する際の気化潜熱を利用して凍土を造成する。また、液体CO<sub>2</sub>は従来の不凍液と比較して粘性が非常に低いことも特長である。  
2014年から開発をはじめ、数々の実証実験を経て2017年にシールド接続防護で初めて実用化され、

### 技術の売り セールスポイント

#### 1 省スペース化

液化炭酸ガスの気化潜熱を用いた高効率の地盤凍結システムのため、同等の冷凍能力で比較すると、凍結設備の設置スペースが約2割省スペースとなる。気化潜熱の利用により、少ない流量で多くの熱量を採取することが可能なため、配管径が2分の1に縮小され、配管設置スペースも小さくなる。

#### 2 工期短縮

従来の冷却温度であるマイナス30℃よりもさらに低い、マイナス45℃での冷却が可能となったため凍土造成期間が短くなり、工程が

短縮される。また、軽量で熱伝導性に優れたICチャンネルを採用することで、作業性、安全性が向上し工期短縮に寄与する。配管径縮小、凍結設備のコンパクト化によりシールド到達防護の実績では、到達に伴うシールド解体工期を約4割短縮した。

### その技術の独自性 または強み

#### 地球温暖化緩和に貢献

従来の地盤凍結工法で使用していたフロンはオゾン層の破壊や地球温暖化への影響が大きいことから、一部の種類は既に製造中止となり、今後製造や使用に関して規制される見込みである。近年では環境への影響が少ない新しいフロンの開発も進んでいるが、まだ研究開発の段階であり、自然

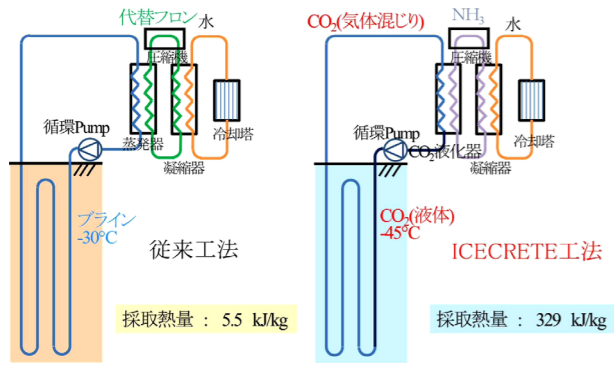


図2 凍結システム比較図

冷媒への移行は世界的な傾向である。ICECRETE工法では自然冷媒であるアンモニアを採用している。アンモニアはオゾン層破壊係数がゼロで、地球温暖化係数は代替フロン(HFC)の3920に対して1以下であり、特に地球温暖化緩和に大きく貢献する技術である。  
**消費電力を削減**  
ICECRETE工法では、液化CO<sub>2</sub>が、液体から気体へ相変化する気化潜熱を利用して凍土を造成する。液化CO<sub>2</sub>の気化潜熱は329 kJ/kgであり、従来の塩化カルシウム水溶液が2℃温度変化したと仮定して計算した顕熱5.5 kJ/kgに比べて非常に大きい。つまり、ICECRETE工法の方が少ない流量で同じ体積の凍土を造成できることがわかる。また、液体CO<sub>2</sub>は粘度が非常に小さく、マイナス30℃の塩化カルシウム水溶液の粘度14.71 MPa・sに対し、マイナス45℃の液体CO<sub>2</sub>は0.21 MPa・sと約70分の1となる。冷媒流量の低減と粘性の低下により、循環ポンプの動力削減、配管径を2分の1に縮小、長距離送液が可能となった。過去の実績では、凍結設備の消費電力量を約50%削減できた。

作業が簡単・安全に  
ICECRETE専用凍結管としてICチャンネルを開発した。ICチャンネルとは、アルミ製の扁平多孔管であり、鋼材の4倍も熱伝導性に優れ、1m当たり約0.3 kgと非常に軽量である。曲げ伸ばしも容易であるため、ロール状にして搬入運搬することが可能である。凍結管設置時の溶接作業が不要となり、軽量であるため人力で設置可能となった。  
**我が社の一押し技術として  
選んだ理由**  
近年、土木技術の発展によりシールド工事などの地下空間構築工事が大深度化、長距離化する傾向にある。このような背景から、強度、止水性の高い地盤凍結工法は必要不可欠であるが、狭隘な空間で作業を推進する上で、コンパクト化、省力化、省エネ化が求められていた。ICECRETE工法は、このようなニーズに適用した技術である。また、コンパクト化により既存の工法や技術との組み合わせが容易となり、地盤凍結工法の適用範囲拡大やコストダウン、さらには新しい市場の開拓の可能性もある。

#### 参考文献

- (1) 畠田大樹、向井昭弘、阿部聡、塩屋祐太、世界で初めて液化CO<sub>2</sub>凍結工法を海底シールド到達防護に採用、石狩湾新港発電所1号機放水トンネル、トンネルと地下、第49巻、第3号、55頁、2018年
- (2) 末永俊之、塩屋祐太、第64回「シールドトンネル工法施工技術講習会」シールド、難条件の克服へ。施工計画とその対応技術、14頁、2020年
- (3) (株) 日本産業・医療ガス協会炭酸ガス分科会・液化炭酸ガス取扱テキスト、4頁、2009年

#### 【編集委員評】

地球温暖化やオゾン層破壊の一因となっているフロン類を使わず、自然界に存在する物質を用いることで、環境負荷低減に貢献しながら工期短縮等の工事の生産性向上も実現している。実装されてから比較的時間もない技術であり、さらなる発展にも期待したい。

(担当編集委員：段下剛志)