

気液混合流体による地盤凍結工法の開発 (その1: 小規模土槽における基礎実験)

ケミカルグラウト(株) 正会員 ○塩屋 祐太

ケミカルグラウト(株) 正会員 相馬 啓

1. 目的

地盤凍結工法はシールドトンネル工事等に伴う仮設工事において、強度・止水性共に優れた工法である。開発中の凍結システムは塩化カルシウム水溶液の代わりに二酸化炭素(CO_2)を循環させるシステムである。このシステムでは冷凍機、ポンプを含むプラント消費電力削減、配管径の縮小などが見込まれる。 CO_2 は粘性が塩化カルシウム水溶液より低く、従来工法で採用されている二重管をアルミマイクロチャンネル(扁平管)にすることが可能となる。アルミマイクロチャンネルは多孔管となっており、熱交換器などに使用されている。図1にイメージ図を示す。本報告では従来工法と比較した基礎実験について述べる。

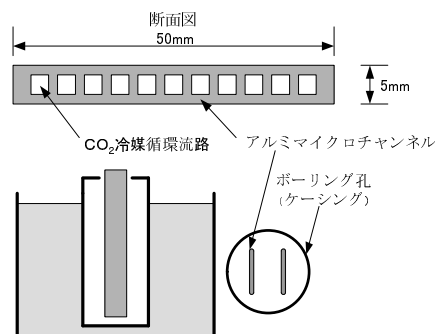


図1 イメージ図

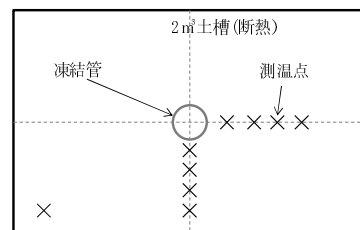


図2 土槽レイアウト

表1 冷凍機仕様

項目	仕様	数量	単位
冷凍機(CaCl_2 側)	7.4kW仕様	1	台
冷凍機(CO_2 側)	7.4kW仕様	1	台
一次冷媒	R404A	1	式
CaCl_2 水溶液ポンプ	最大80L/min	1	台
CO_2 ポンプ	最大20L/min	1	台
寸法	3.3m×1.75m ×1.786m		
重量	1t		

表2 実験仕様

項目	仕様	数量	単位
冷却温度	CaCl_2 水溶液	-30	℃
	CO_2	-30, -45	℃
凍結期間		7	日
温度計測	K熱電対 1分毎計測	51	点
実験土槽	2m ³	4	基
断熱材	ビジョンフォーム	60	枚

2. 原理

CO_2 を液体で地盤中に循環させ、地盤と熱交換することで一部が気化し、気液混合流体となって CO_2 受液タンクに戻る。一部気化した CO_2 のみ再液化するシステムである。この CO_2 の相変化による潜熱を利用することで従来の塩化カルシウム水溶液よりも高効率で凍土を造成できることが期待できる。

3. 実験概要

本実験は CO_2 を二次冷媒に利用したシステムの性能を確認すると共に、アルミマイクロチャンネルによる凍結管を検証するために、3ケースの実験を行った。ケース1は、冷却温度-30℃で従来工法の二重管方式を塩化カルシウム水溶液と CO_2 の比較実験、ケース2は、冷却温度-30℃でアルミマイクロチャンネルを1枚使用した場合と2枚使用した場合の比較実験、ケース3は、 CO_2 で冷却温度-45℃の性能確認実験である。

4. 実験方法

図2に土槽レイアウト、表1に冷凍機仕様、表2に実験仕様を示す。2 m³の土槽に温度計測用の熱電対とφ114.3mmの二重管またはφ114.3mmのガイドパイプをあらかじめ設置し、水を入れて山砂を投入した。山砂投入後はバイブレーターで締固めを行った。土槽は周辺を断熱材で覆い、外気の影響を受けないようにした。土槽作製後、配管を行った。塩化カルシウム配管はφ25.4mmのサクシオンホースを使用し、 CO_2 配管はφ9.525mmとφ15.875mmの銅パイプを使用した。温度は1分毎に計測した。凍結管の表面から5cm, 10cm, 15cm, 20cmの四か所、4深度、2方向で1土槽につき未凍結部を含め25点計測した。運転期間は1ケースにつき7日間とした。7日間冷凍機運転後、凍土を掘り起し、寸法を計測した。

キーワード 地盤凍結工法, CO_2 , 高効率化, 簡略化, 基礎実験

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-2-5 共同通信会館 ケミカルグラウト(株) TEL 03-5575-0471

5. 実験結果

表3に実験結果一覧, 図3に凍土成長曲線, 図4に積算電流値経時変化を示す.

ケース1では, 従来の二重管方式で CO_2 と塩化カルシウム水溶液では, 同等の凍土が造成できた. ケース2ではアルミマイクロチャンネル1枚の場合, 凍土の造成速度が遅かった. 2枚入れた場合はケース1と遜色なく凍土が造成できることが確認できた. ケース3は CO_2 で冷却温度 -45°C で運転できることが確認でき, 最大の凍土厚さであった.

また, ケース1では塩化カルシウム水溶液と比較して CO_2 は20%の流量で同等の凍土が造成できた. ケース3では塩化カルシウム水溶液の2%程度の流量で, ケース1以上の凍土の造成を確認した.

積算電流値はケース1の塩化カルシウム水溶液が最大であった. それと比較すると, ケース1の CO_2 は38%減となった. 最も大きく凍土が造成できたケース3は16%減であった.

図5に実験土槽作成前状況, 図6に露出させた凍土の状況を示す.

6. 結論

本実験で, 消費電力は冷却温度を -45°C にしても従来方式より減少することが分かった. また従来方式より流量が小さくなったことにより, 送液ポンプのスケールダウン, 配管の簡素化が可能となった. CO_2 を利用した地盤凍結は小さい電力, 少ない流量で従来工法と遜色なく凍土を造成できることが確認できた.

本実験は基礎実験として CO_2 を二次冷媒として使用して地盤凍結に適用できることを確認することができた. 実用化に向けて今後も検討を重ねる予定である.



図5 実験土槽作成前

表3 実験結果一覧

ケース	凍結管形状	冷媒・温度 ($^\circ\text{C}$)	凍土直径 (mm)
1	二重管	$\text{CaCl}_2 \cdot -30$	810
	二重管	$\text{CO}_2 \cdot -30$	850
2	アルミマイクロチャンネルシングル	$\text{CO}_2 \cdot -30$	640
	アルミマイクロチャンネルダブル	$\text{CO}_2 \cdot -30$	700
3	アルミマイクロチャンネルダブル	$\text{CO}_2 \cdot -45$	1050

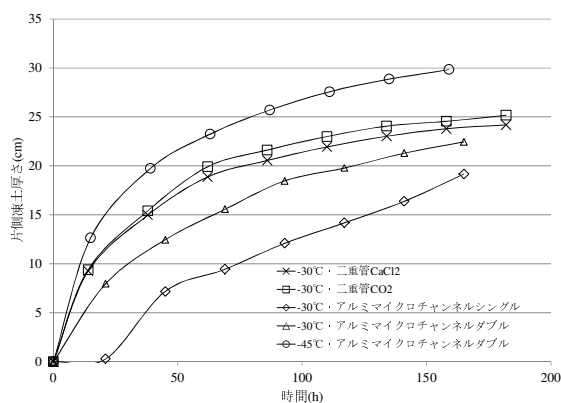


図3 凍土成長曲線

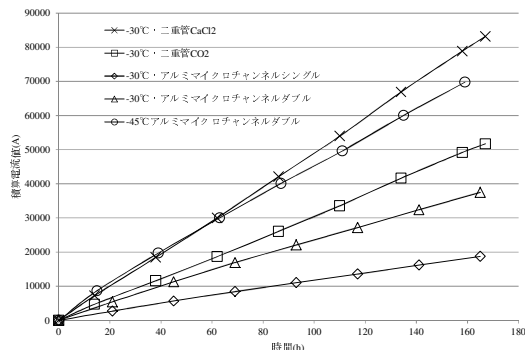


図4 積算電流値経時変化



図6 凍土(ケース3)

参考文献

- ・地盤凍結工法 計画・設計から施工まで 日本機械化協会編