

(株) 間 組 技術研究所 正員○清 水 洋 次
山口 靖 紀
三 原 正 哉

1. まえがき

LNGなどの低温物地下式貯槽の周辺地盤の凍結防止あるいは凍結領域を貯槽周辺に限定させる方法として、貯槽躯体内に流体を環流させ給温することによって低温領域を限定する方法が考えられる。これを実用化するにあたり基礎的な実験¹⁾と模型タンク実験を実施してきたが、本文は後者について報告するものである。

2. 実験概要

実験は、図1に示すようにコルゲート土槽（直径4 m、高さ1.8 m）に凍上しやすい関東ローム（比重2.70、砂分17%、シルト分46%、粘土分37%、大宮産）を充填しながら本方法による温水流入用パイプを配置した模型タンク（外径1.46 m）を設置し、液体チッ素（LN₂）を貯留しながら温水流入用パイプに所定の流体を流して各種測定を行った。また、土槽内には周辺に施した砂層より水を供給し、地下水位を一定に保つようにした。表1に実験内容の一覧を示す。実験シリーズ1～3では流速を変えて約30℃の水を流し地盤を全く凍結させない方式（全面ヒーティング方式）を、実験シリーズ4では約-5℃のブラインを流し、地盤の凍結厚さを制限する方式（凍結領域限定方式）を、実験シリーズ5では流体を流さないで地盤を自由に凍結させる方式（凍結土方式）をそれぞれ実施した場合の貯槽および地盤の挙動を調べた。各実験は貯槽および地盤の温度が定常状態になるまで行い、測定は、貯槽および地盤の温度、地盤変位、ボイルオフガス量、コルゲート土槽の外巻きアングルのひずみ等について行った。

3. 実験結果

(1) 温度分布およびボイルオフガス量 実験シリーズ2、4、5の温度分布をそれぞれ図2、3、4に示す。全面ヒーティング方式の場合は、地盤の凍結は全くなく凍結領域限定方式および凍結土方式の場合の最大凍結厚さはそれぞれ26 cm、74 cmとなっている。流体の流入温度と貯槽底版中央部での流体温度の差（低下温度と呼ぶ）と流速の関係を図5に示す。図5より、流体の温度低下は流速の増加とともに双曲線的に小さく

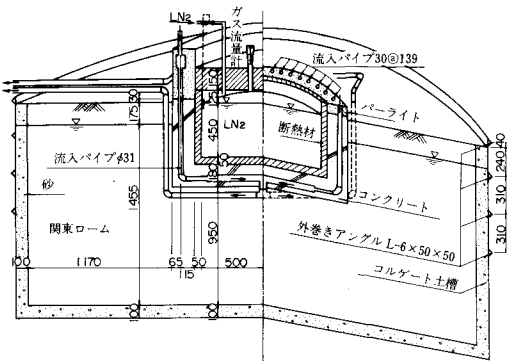


図1 実験装置図

表1 実験内容の一覧

実験シリーズ	流体	流入パイプ数 (本)	流速 (M/H)	流量 (t/min)	流入温度 (℃)	備考
1	水	30	4.45	1.43	約30	全面ヒーティング方式
2	"	30	2.23	0.72	"	"
3	"	30	1.11	0.36	"	"
4	ブライン	30	2.23	0.72	約-5	凍結領域限定方式
5	なし	なし	—	—	—	凍結土方式

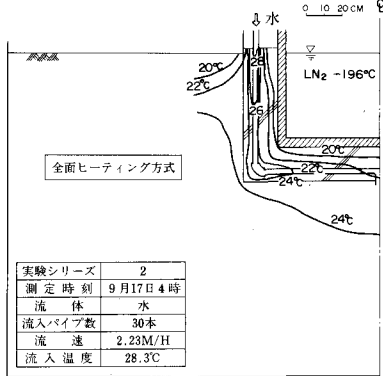


図2 等温線分布 (実験シリーズ2)

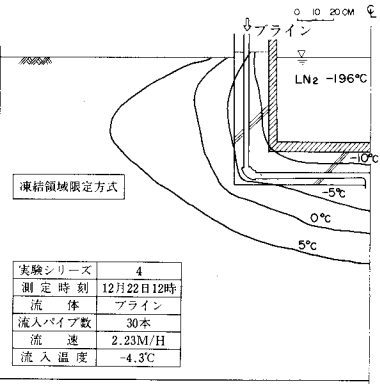


図3 等温線分布 (実験シリーズ4)

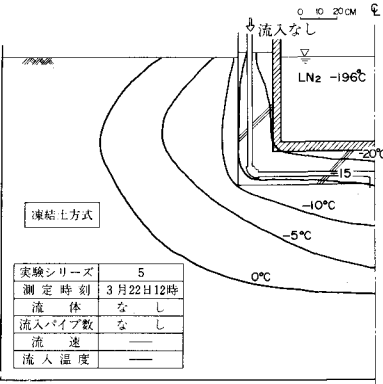


図4 等温線分布 (実験シリーズ5)

なることがわかる。流体を環流させ給温することにより貯槽周辺の地盤下の凍結を抑制する場合、ボイルオフガス量の増加が問題となるが、本実験の場合のボイルオフガス量を図6に示す。図6より、ボイルオフガス量は凍結土方式に比べ凍結領域限定方式の場合約7%、全面ヒーティング方式の場合約16%それぞれ増加することがわかる。

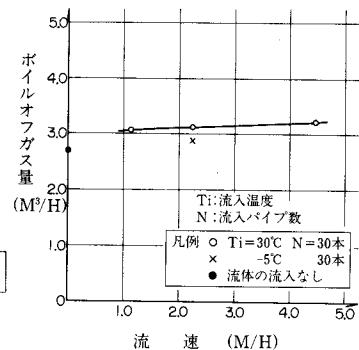
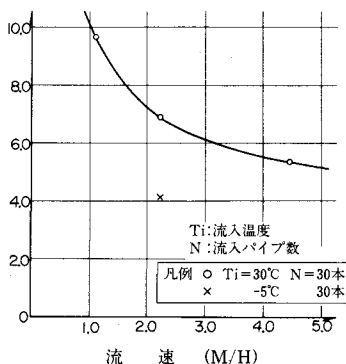


図5 流速と低下温度の関係 図6 流速とボイルオフガス量の関係

(2) 凍上変位量および凍土圧 全面ヒーティング方式の場合、貯槽の周辺地盤が全く凍結しないため凍上変位および凍土圧は発生しなかった。凍結土方式の実験は、凍結領域限定方式の実験において地盤の温度分布が定常状態になってから実施した(図7)。地表面および地中の鉛直変位、水平変位を図8に示す。図8より、地中の水平変位は、その測定点が凍結するまでは増加し、凍結後減少していることがわかる。また、地表面の鉛直変位は凍結領域限定方式の場合、凍結土方式に比べ約37%に減少する。

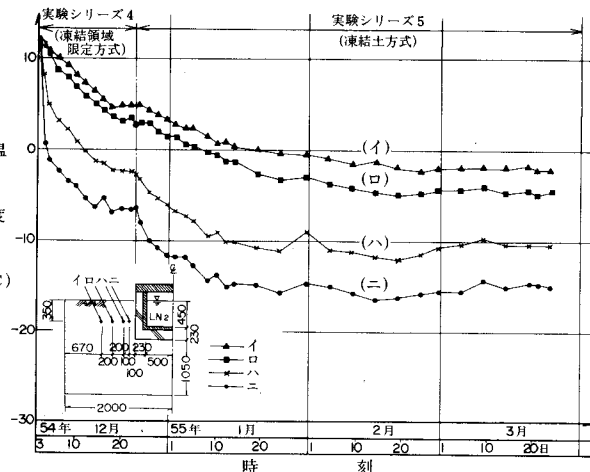


図7 地盤内温度の経時変化

凍土圧に関しては、コルゲート土槽の外に巻いたアングルに生ずるひずみによって判断した。アングルに生じたひずみの分布を図9に示す。図9より、アングルのひずみは地盤の凍結とともに増加する傾向にあるが、地盤の凍結の初期の段階では貯槽の深さの1/2付近で最大となっており、地盤の凍結が進むに従って、地表面付近で最大となることがわかる。これは、地盤の凍結が進むに従ってコルゲート土槽の根巻きコンクリートによるコルゲート土槽の下端部固定の影響が顕著に表われたためと思われる。

アングルのひずみ ($\times 10^{-4}$)

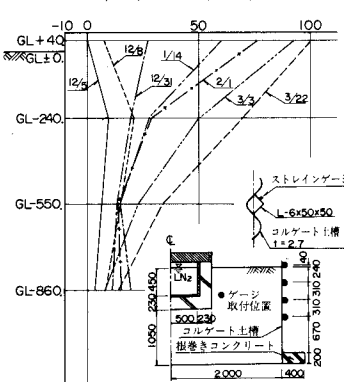


図9 アングルのひずみの変化図

4. あとがき

本実験によって、貯槽躯体内に流体を環流させ給温することによって低温領域を限定し、変位量および凍土圧の大巾な減少が可能であることが確認された。今後、本実験で得たデータをもとに解析を進めていき、その結果は発表当日に示す予定である。

参考文献：1) 山口他：LNG地下タンクの周辺地盤の凍結防止に関する一実験、土木学会第7回関東支部研究発表会、1980.1

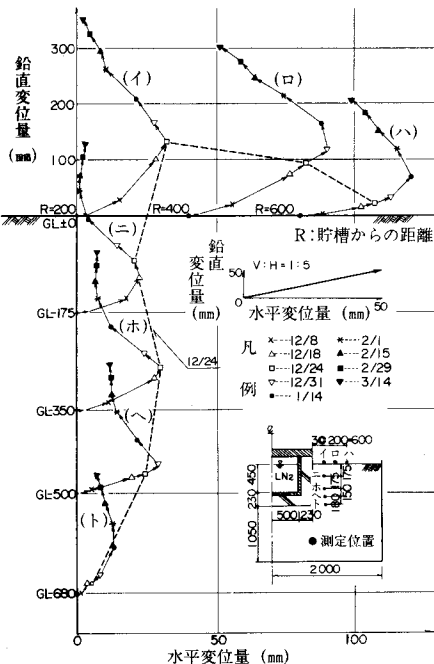


図8 地盤変位の変化図