

III-84 流水下における凍結止水実験(1)

(株) 藤田組技術開発センター技術研究所 正員 石山和雄

同 上

正員 檜村 博

同 上

正員 石井武美

1. まえがき

本実験は、凍結対象地盤に地下水流が存在する場合に、地盤凍結の性状・限界などについて調査研究する目的で、標準砂中に地下水流を生じさせ、低温液化ガス—液体窒素 (LN_2)—一循環方式によって種々の流速に対する地盤凍結を行ない、凍結閉塞による止水壁形成の限界、 LN_2 消費率、解凍性状などについて実験したものであり、今回はそのうち流速の限界、 LN_2 消費率、凍結土壁形状について報告する。

2. 実験の方法

図-1 に示す試料箱に凍結管(外径 12 mm 銅管)を 10 cm 間隔に設置し、豊浦標準砂を透水係数 $k = 2 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ となるように水締め充填したもので実験を行なった。水の流入面は上部水槽で定水位に維持され流出水位の上下微調節により定水頭を与えて、目標流速を得た。また、当実験は、流速(20 m/日まで)、凍結管間隔(10 cm, 30 cm)および LN_2 消費率を変化させて行なった。試料内の温度分布の測定は C-C 熱電対を 63 点試料内およびその他の点に設置して行ない、流速は、溢流量から平均観測流量として算出した。

液体窒素の循環は、貯液槽とヘッダーパイプと直結し、さらにヘッダーパイプに各凍結管をそれぞれ直結して、液状のまま液体窒素を凍結管内に注入し、凍結管出口を再びヘッダーパイプで連結して排気管に集約して行なった。液体窒素注入量の調整は、注入・排気両管に取り付けたバルブで排気温度制御方式で行ない、基準温度として -150°C を採用した。

3. 実験の結果

(1) LN_2 の供給は、排気管出口温度 -150°C を維持するような排気温度基準制御方式で行なったため、 LN_2 消費率は流速の増加と共に大きくなった。図-2 は、凍結管間隔 10 cm の場合の流速と LN_2 消費率との関係を示したものであり、ほぼ直線的に比例しているものと考えられる。

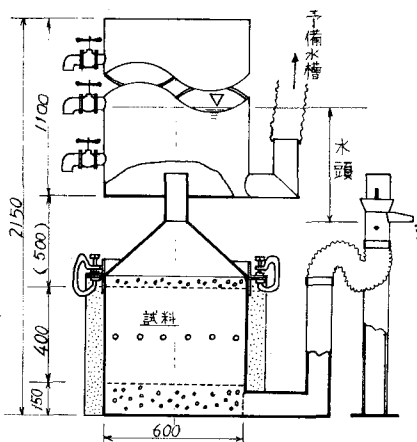
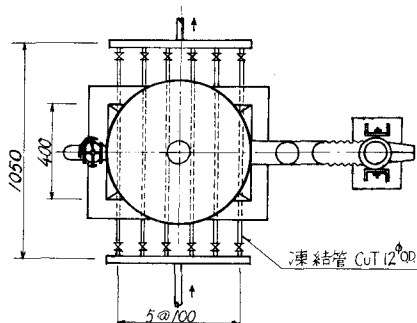


図-1 実験装置

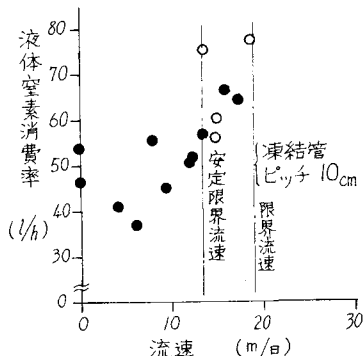


図-2 流速と液体窒素消費率との関係

(2) 図-3 は、図-2 に示す LN_2 消費率によって試料を循環凍結させたときの、凍結管間隔 10 cm と 30 cm の流速 (V) と凍結土壁閉塞完了までの止水時間 (T) との関係を示したものである。

凍結管間隔 10 cm の場合、 $V = 13.5$ m/日までの各流速に対しては、凍結時間に比例して安定した凍結土壁の形成が行われて止水するが、 $V = 13.5$ m/日を変曲点としてそれ以上の流速になると、止水閉塞が不安定となって非常に大きな凍結時間が必要となり、 $V = 19$ m/日以上では、 LN_2 消費率を大きくしても止水閉塞の徴候が全く見られなかった。同様な傾向が、凍結管間隔 30 cm の場合にも見られ、その変曲点は約 6 m/日であった。

したがって、このような実験条件のもとでは、 $V = 19$ m/日がいわゆる凍結限界流速であると考えられるが、 $V = 13.5$ m/日の流速は、安定した凍結土壁の閉塞が得られる限界流速と考えられ、これを筆者らは、安定限界流速と呼称する。この安定限界流速は、実施工の場合、凍結管の配列・間隔、寒冷源の消費率の各条件の下に推定し得る経済的な意味での限界流速と言えよう。

(3) 図-4 は、凍結土壁閉塞の際の凍結土壁形状を、凍結管を中心とする中と厚さの比率、すなわち凍結土厚成長率と流速との関係を示したものである。この図は、流速の増大に伴って、凍結時間は当然長くなるのであるが、それと共に、凍結管下流側の成長が著しくなることを示している。また、図-5 のように、凍結管上流方向凍結土厚と凍結管下流方向凍結土厚の比、すなわち a/b は、安定限界内においては流速に関係なく、ほぼ、0.6 ~ 0.4 の値を示していて、これは流水下における凍結性状について理論的解明の一つの糸口を与えるものと考えられる。また、実施工においては、これらの結果から凍結管の配列は千鳥配列がより有効と考えられる。

4. まとめ

本実験から、液体窒素を用いた場合の限界流速は、ほぼ 13 m/日程度、経済性を無視すれば最大 19 m/日程度まで凍結できると推定される。また、寒冷源としてブラインを用いた場合の流水下における性状

についても今後実験を行なう予定である。流水下の凍結性状についての理論解明には、流水の水温変化や、凍結土形成過程における熱負荷の変化なども加味する必要があると考えられる。

なお、本実験に対して御指導頂いた中央大学久野悟郎教授に感謝する次第である。

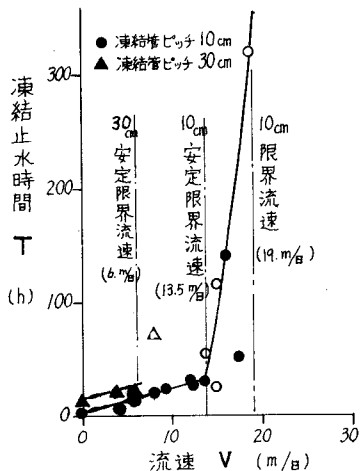


図-3 流速-凍結止水時間の特性

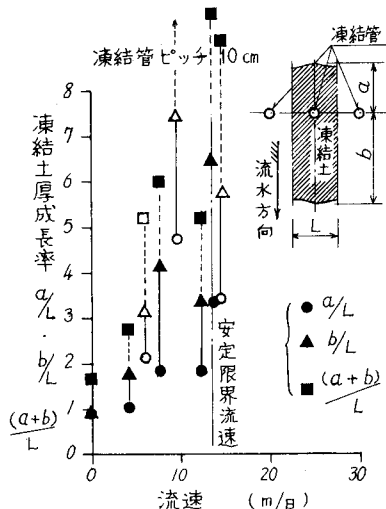


図-4 流速と凍結土壁の形状との関係

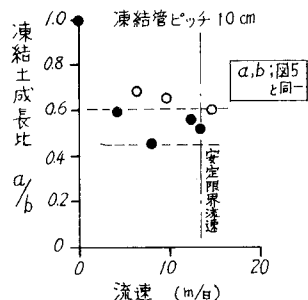


図-5 流速と凍結土壁の形状との関係