

(31) 凍土を含む飽和砂地盤の液状化振動実験

金沢大学大学院 長谷川正道
 金沢大学工学部 宮島昌克
 金沢大学工学部 北浦 勝
 金沢大学大学院 古村貴男

1. はじめに

地震による地盤の液状化現象は、構造物の傾斜、転倒、マンホールの浮上、側方流動、地盤沈下など地震動の強さ相応の被害をもたらしている。1993年1月15日に発生した釧路沖地震においても、やはりこれらの被害が確認され、特に港湾地区ではその施設に大きな被害が見られた。しかし、その他の地区における液状化に伴う地盤沈下による被害は、今回の地震動の強さから想像されるほど大規模なものではなかった。その原因の一つとして、地震発生当時、地表面から約60~80cmにわたって凍土の存在していたことが挙げられており、凍土層が地盤の液状化現象や地震動の増幅に及ぼした影響に対して、関心が集まっている。

このような観点から本研究では、砂箱に飽和砂地盤を作成し、ドライアイスを用いて模型砂地盤の表層を凍結させた後液状化振動実験を行った。そして、凍土を含む飽和砂地盤の液状化時の挙動を明らかにするとともに、凍土融解後の地盤の沈下特性についても検討を加えた。

2. 実験概要

図1に実験装置の概要を示す。凍土作成のために、鋼製の砂箱側面の上部を発泡スチロールで覆い、砂箱に断熱処理を施した。図中の熱電対温度測定装置は、熱電対の電気抵抗から温度を測定するものである。水圧計は、砂箱中央の地表面から深さ100mmの位置に設置し、これにより、液状化の発生の有無を確認した。本

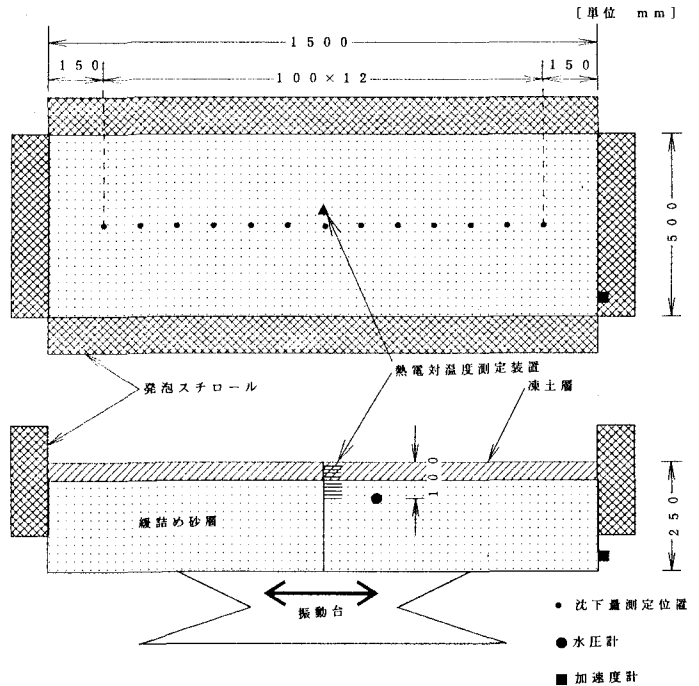


図1 実験概要図

表1 砂の物理定数

比重	2.67
均等係数	2.96
最大間隙比	1.030
最小間隙比	0.721
50%粒径 (mm)	0.2
透水係数 (cm/sec)	0.0192

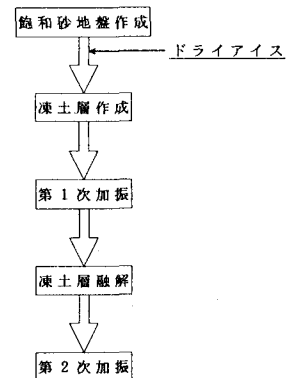


図2 実験の流れ

実験で使用した砂の物理定数は表1に示す通りであり、粒径が比較的均一で液状化を起こしやすい砂である。なお、地表凍結時に起きる地盤の凍上現象は、この粒径の砂では起きないことが知られている¹⁾。

実験の流れは、図2に示すようである。すなわち、砂箱に250mmの緩詰め飽和砂地盤を作成した後、その上部にビニールシートと金網を介してドライアイス均等に敷き詰め、飽和砂地盤上部に凍土層を作成する。このとき、砂箱中央に設置した熱電対温度測定装置により、地表面から10mmごとの地盤温度を測定し、凍土層厚を調べる。本実験では地盤温度が0℃未満の層を凍土層と見なす。実験は、凍土層厚0mm、30mm、50mm、70mmの4種類に対し行った。図3に、凍土層厚70mmにおける地盤温度の測定例を示す。同図では、220分後に深さ70mmの温度が0℃を下まわっており、凍土層が70mmに達したことがわかる。目標凍土層厚に達した後、ドライイスを除去し、第1次加振を行う。その後、凍土層を融解し、完全融解を確認した後、第2次加振を行った。これはもう一度強い地震が来ることを想定してのものである。一連の実験における地盤沈下量の測定は、飽和砂地盤作成直後の測定値を沈下ゼロとして、凍土層作成後、第1次加振後、凍土層融解時、第2次加振後に行った。測定位置は、図1に示す13点である。第1次加振及び第2次加振は、5秒間で最大加速度150galに達するような5Hzの正弦波による30秒間加振である。

3. 実験結果及び考察

1) 凍土層厚と沈下特性の関係

図4は、各凍土層厚における実験ステップごとの沈下量を表している。凍土層作成後の沈下量は、凍土層厚の増加とともに増えている。これは①凍土層作成時にドライアイスにより飽和砂地盤内の間隙水が地表上部

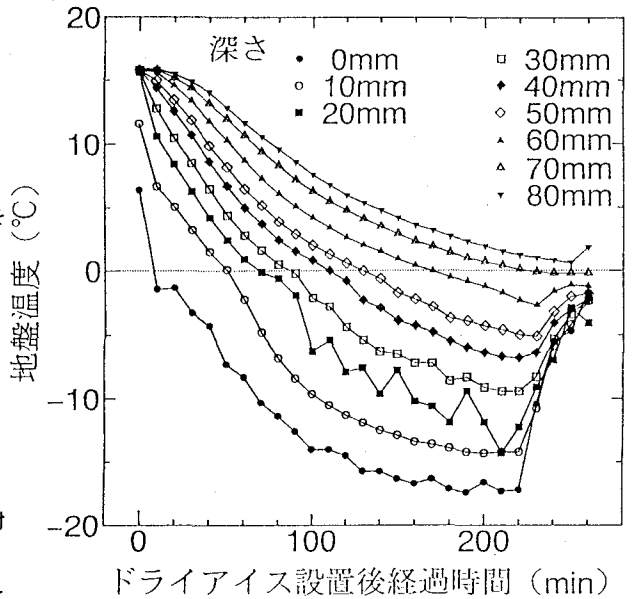


図3 凍土層70mm作成時の地盤温度変化

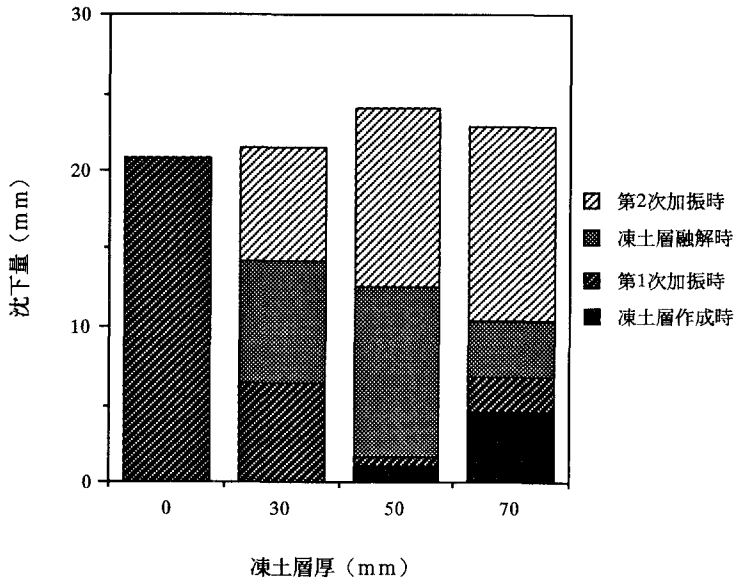


図4 凍土層厚と沈下量の関係

に吸い上げられることによる圧密現象¹⁾と、
 ②その吸水量が凍土層厚に比例することによ
 ると考えられる。ところで沈下量は地表面で
 測定している。従って、凍土層の端面が砂箱
 内側面と完全に凍固結してブリッジが構成さ
 れている場合には、不凍土層の液状化に伴う
 沈下（第1次加振の沈下）を測定できないこ
 となるはずである。一方凍固結していない
 場合は、不凍土層の沈下に伴って凍土層が沈
 下するので、不凍土層の沈下を測定できる。
 今回の実験では凍土層厚50mmの場合が凍固結
 しており、他の2つの場合は凍固結していな
 い。これらのことが反映して、凍土層厚50mm
 の場合における第1次加振後の沈下量が他の
 2つの場合に比較して小さくなっている。釧
 路沖地震における内陸地域での地盤は、凍土
 層厚50mmの場合と同じ凍固結の状態にあっ
 たと考えられる。また、港湾地域では、海面に
 近いため、一部凍固結しない部分が生じて沈
 下が起こり、大きな被害となったことが考え
 られる。また、釧路沖地震において、もし凍
 土層がなかった場合には、図4の凍土層厚0mm
 の結果に示されるように、第1次加振と共に
 地盤沈下が現れ、凍土層のある場合の地盤沈
 下より、はるかに大きかったであろうと予想
 される。これより、釧路沖地震時での凍土層
 は、地震直後の地盤沈下の被害を軽減したこ
 とがわかる。凍土層融解時の沈下量は、凍固
 結の場合、第1次加振時の液状化により、凍
 土層下にてできる空隙の体積に比例する。凍
 土層厚50mmの場合に融解時の沈下量が大き
 いのは、このためであると考えられる。第2次
 加振時の沈下は、既に第1次加振において不
 凍土層は締め固められているため、融解した
 凍土層のみの液状化による沈下からなると思
 われる。確かに図4からも明らかなように、
 第2次加振時の沈下は、凍土層厚の増加と共
 に大きくなっている。

2) 凍土層厚50mm実験における地盤沈下特性

上述したように、凍土層厚50mmの実験にお
 いては、第1次加振時に大きな沈下が見られ

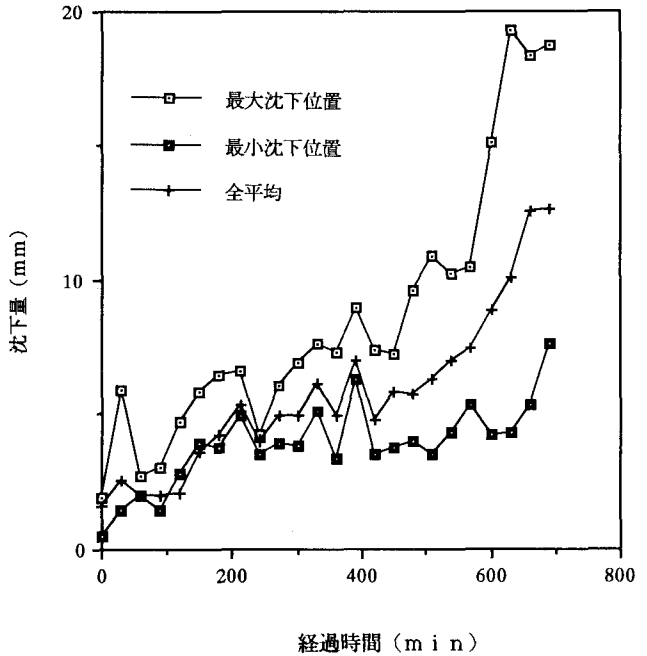


図5 50mm凍土層における第1次加振後から凍土融解までの沈下量経時変化

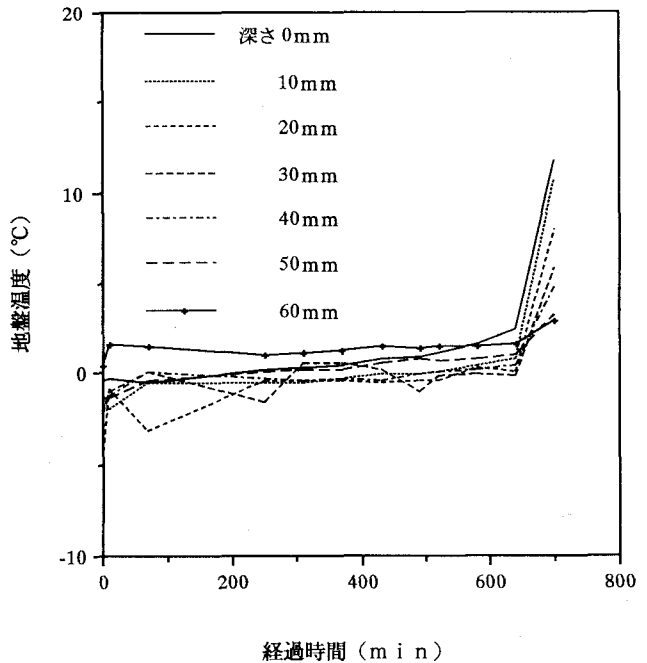


図6 50mm凍土層における第1次加振後から凍土融解までの温度経時変化

ず、凍土層融解時の沈下量が大きいことから、釧路沖地震の内陸地域での凍土地盤の挙動に相似していると考えられる。そこで、ここでは、その融解時の沈下特性を取り上げる。

図5は、凍土層厚50mm実験における第1次加振後から、凍土が完全融解するまでの経時沈下量を示している。また、図6は、その融解過程の地盤温度の経時変化を示している。これらから、第1次加振からおよそ650分後に地盤は完全融解し、その後で沈下量の急増していることがわかる。これは、凍土層下の空隙による沈下を示している。また、測定位置により融解後の最終沈下量に最大約11mmの差が生じたが、これは上述した空隙の生じた位置と生じない位置があったことを示している。それは、図7に示すように、第1次加振により不凍土層がほぼ均一に締められることが、凍土層の薄い場所の下には大きな空隙が生じ、厚い場所の下には比較的小さい空隙が生じたためと考えられる。

4. おわりに

凍土層を含む模型砂地盤の液状化実験を行った結果、以下のことがわかった。

- ①凍土層下の飽和砂地盤で液状化の発生することが確認できた。
- ②加振により凍土層と不凍土層間に空隙が生じた。
- ③場所により空隙体積が異なるが、それは凍土層厚の微妙な違いによるものと考えられる。
- ④凍土には、地震直後の地表面の沈下を抑止する働きがある。
- ⑤凍土と他の構造物との間で凍固結していない場合、凍土を含む飽和砂地盤における加振時の沈下は液状化と共に現れる。一方凍固結している場合、その沈下はすぐには現れない。

最後に、本実験にあたり、凍土作成方法並びに地盤温度測定方法に関して種々の御教示を賜った金沢大学関平和助教授に感謝申し上げます。また、寒い中で実験を応援して頂いた池本敏和技官を始め、研究室の学生諸氏に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 木下誠一：凍土の物理学，森北出版，p. 4，p. 109，1982.

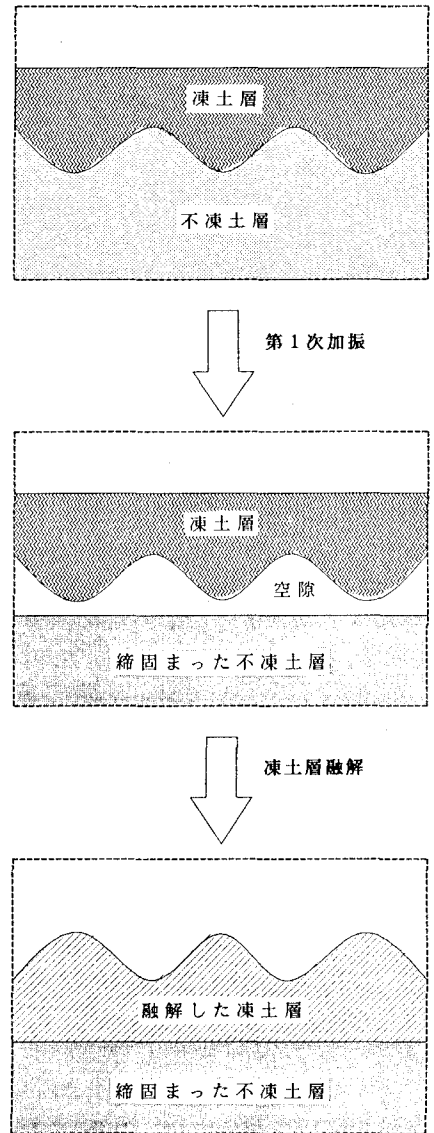


図7 融解時における凍土層と空隙の関係