

図3 用いた土槽

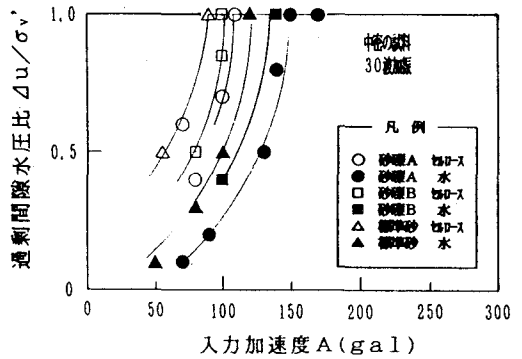


図4 入力加速度と過剰間隙水圧比との関係

速度計の値)を変えた実験を行い、30波加振した時の過剰間隙水圧比(深さ5cm)と入力加速度の関係を求めた。これが図4である。

この図から過剰間隙水圧比が1.0、つまり液状化を生じる入力加速度を読みとって比較してみると、まずそれぞれの試料で水を用いた実験よりセルロースを用いた実験の方が液状化を生じる加速度が小さくなっている。これは、セルロースを用いた方が透水係数が小さく、過剰間隙水圧が消散しにくいことに主に起因していると考えられる。

次に、同程度の透水係数の試料として、①豊浦標準砂で水を用いたもの、②砂礫Bでセルロースを用いたもの、③砂礫Aでセルロースを用いたもの、の3種類のデータを比較してみると、それぞれ約120、100、110galで液状化が発生している。実験の精度を考慮すると、これらの値は有意な差がなく、ほぼ同程度の入力動で液状化していると言えよう。

したがって、砂礫地盤と言えども上部に粘土層があったりして透水性が悪いと、砂と同様に液状化を生じさせる可能性はあると言えそうである。ただし、これは同じ相対密度での話であり、原位置での液状化のし易さを論ずる場合には、原位置で両者が同じ相対密度になっているか否かを検討しておく必要がある。

#### 4. 永久変位に関する実験

液状化にともなう地盤の永久変位(または側方流動とも呼ぶ)に関して、筆者達は振動台を用いてそれを再現する実験をこれまで行ってきた<sup>1)</sup>。これまでは砂に対して実験を行ってきたが、今回は砂礫に対しても同様な実験を行った。

用いた実験モデルは図5に示すように、傾斜した2層からなっている。試料は両層とも同じものを用いたが、基盤層は十分に締固めて、加振により液状化しないようにした。上層の液状化層は所定の密度で詰め、間隙水圧計も埋設した。液状化層厚Hおよび液状化層θの傾きを3段階に変えた実験を行った。この実験では液状化が発生して10秒後に加振を止め、地表面においたマーカーから地表での永久変位量を求めた。

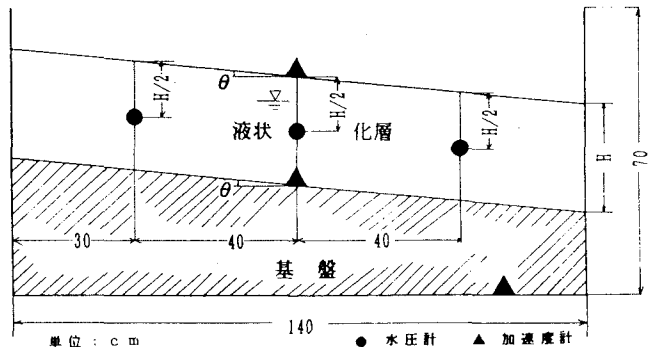


図5 永久変位量の実験モデル

図6.7に地表での平均変位量(マーカーの動きの平均値)とH、θ、Drとの

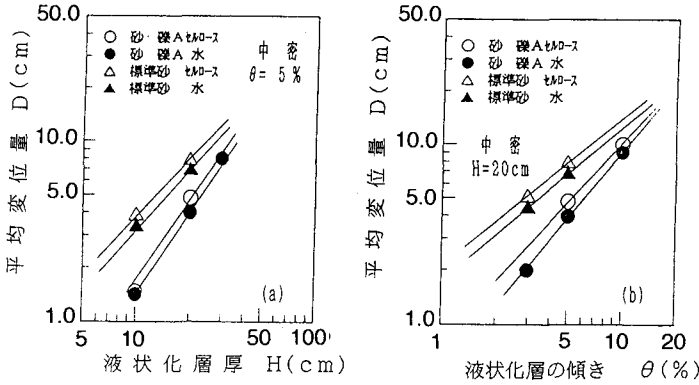


図6 永久変位量と液状化層厚、傾きの関係

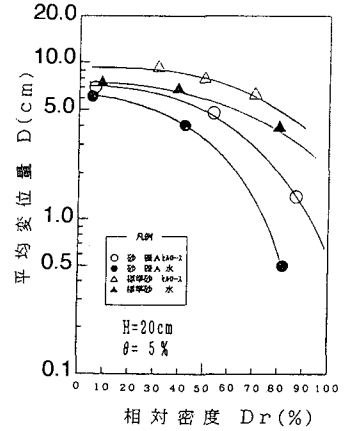


図7 永久変位量と相対密度の関係

関係を示す。まず、図6は中密の試料に対し、 $H$ と $\theta$ の影響をみたものであるが、砂と砂礫とも液状化層や液状化層の傾きが大きくなるにつれて変位量も大きくなった。その増加割合は砂礫の方が少し大きくなった。図7には  $H=20$  cm、 $\theta=5\%$  における変位量を相対密度との関係で示している。いずれの試料も相対密度が小さいと大きな変位が発生している。また、同程度の透水係数のデータとして豊浦標準砂で水を使ったものと砂礫でセルロースを使ったものを比較すると、同じ相対密度であれば砂礫の方が少し小さな変位量となっている。ただし、砂礫で水を使ったものよりはセルロースを用いたものの方が変位量は大きく、砂礫でも排水条件が悪く、ゆるく堆積している場合には、液状化にともなう永久変位が発生することを示唆している。

過剰間隙水圧比  
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0

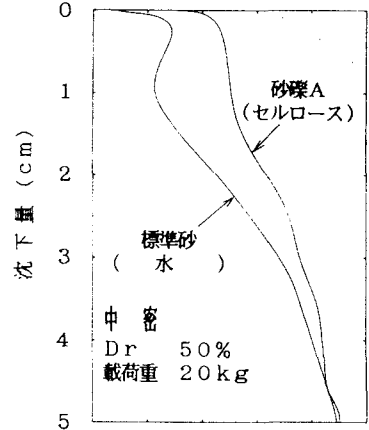


図8 過剰間隙水圧比と沈下量の関係

## 5. 荷重実験

液状化にともなう直接基礎の支持力の低下や沈下量に関して、図3のような荷重方法で実験を行った。荷重板の寸法は30cm×30cmであるが、これに20kgと75kg(荷重板の重さも含む)の荷重をかけたまま加振を行い、液状化にともなう沈下量を測定した。荷重強度はそれぞれ  $0.22 \text{ tf/m}^2$ 、 $0.83 \text{ tf/m}^2$  に相当する。密度は中密と密詰めとした。

図8に地表面から5cmにおける過剰間隙水圧比と沈下量の関係を示す。豊浦標準砂で水を用いた場合に比べて砂礫でセルロースを用いた場合には、同じ過剰間隙水圧でも沈下量が小さいことがわかる。図9には液状化後も加振を続け、60秒後に加振を止めた時の最終沈下量を示すが、やはり砂礫の方が最終沈下量も少ないこ

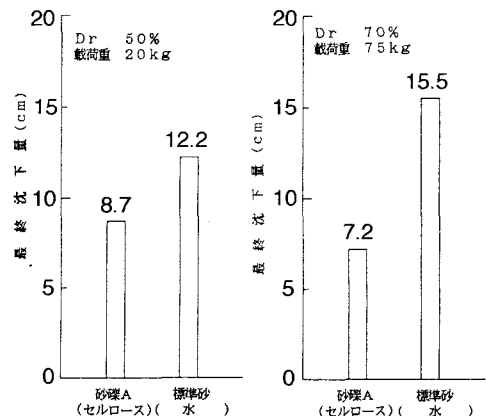


図9 最終沈下量の比較

表1 関東地震時の川崎市における家屋被害と液状化の関係

被害		川崎区	幸区	中原区	高津区	多摩区
①ひどく壊れて住めなくなった	L	9	1	1	0	2
	T	28	9	4	0	3
②少し壊れ修理して住んだ	L	22	1	2	1	7
	T	77	20	37	15	15
③あまり壊れなくそのまま住んだ	L	2	0	0	0	12
	T	33	14	12	13	24
④全然壊れなかった	L	1	0	2	1	5
	T	13	6	6	20	10

L: 液状化が発生した家屋数  
T: 液状化が発生した家屋数+液状化が発生しなかった家屋数

とが言える。

ところで、関東地震の際の川崎市液状化発生地点と家屋の被害状況については、久保ら<sup>2)</sup>がアンケート調査を行って調べている。このデータを見直して、液状化地点で家屋が被害を受けたか否かをまとめてみた。これが表1と図10である。データ数が少なくバラつきが多いが、川崎区に比べて多摩区の方が液状化しても家屋の被害が少なかったと言えそうである。おおまかに言って川崎区の地盤は砂地盤であり、多摩区は扇状地性の砂礫地盤が多い。したがって、このことも、砂礫地盤で液状化が発生しても、構造物の沈下量は砂地盤に比べて小さいことを物語っている可能性がある。

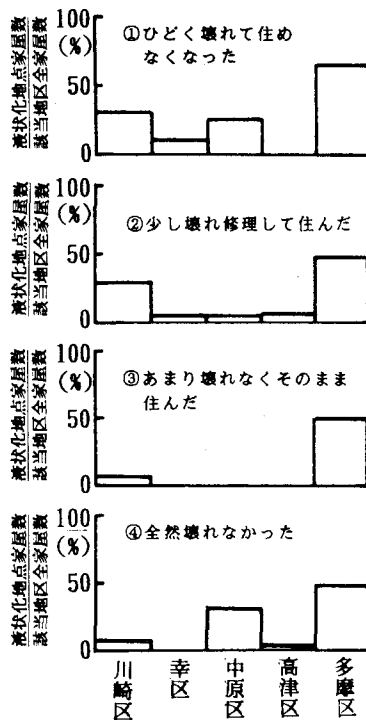


図10 地区ごとの液状化による被害の比較

## 6. あとがき

以上、砂礫地盤の液状化特性について実験をいくつか行ってきた。今回の実験からは、砂礫地盤と言えども排水条件が悪いと砂地盤と同様に液状化し、また永久変位も生じること、ただし、液状化しても支持力や強度は砂に比べて大きく、構造物への被害は軽くてすむ可能性があることなどがわかった。最初に述べたように砂礫地盤とひと口に言っても粒径などが多種多様であり今回の実験だけでは結論は出せなく、今後も実験や解析等で研究を進めてゆく必要があると考えられる。なお、本研究は文部省科学研究費補助金（代表者東北大学和泉正哲教授）の援助を受けている。

## 参考文献

- 1) Yasuda, S., Nagase, H., Kiku, H. and Uchida, Y.: The Mechanism and a Simplified Procedure for the Analysis of Permanent Ground Displacement due to Liquefaction, 土質工学会論文報告集, Vol. 32, No.1, pp.149-160, 1992.
- 2) 久保慶三郎, 杉山孝志, 安田 進: 関東地震時の川崎市における液状化地点, 第14回土質工学研究発表会講演集, pp.1289-1292, 1979.