

III-319

北海道南西沖地震により液状化した岩屑なだれ礫層の動的強度について

(財)電力中央研究所 (正会員) ○河井 正
(同上) 田中 幸久
(同上) 國生 剛治
(株)シー・アール・エス 瀬尾 和義

1. はじめに 一般に礫地盤の液状化抵抗は大きく、地震時の液状化被害の可能性は低いと考えられている。しかしながら、北海道南西沖地震の際には北海道森町、七飯町において実際に礫地盤(岩屑なだれ堆積物)の液状化に起因するとみられる被害が発生している。当所ではこの礫質地盤液状化の原因を解明するため、地盤調査^{1) 2) 3)}、凍結サンプリング⁴⁾室内試験を実施した。

2. 実験概要 供試体の直

表1 供試体別データ一覧表

径は約30cm、高さは約60cmである。今回液状化強度試験の他に三軸セル内でせん断波速度の計測(以後Vs試験)、動的変形試験⁵⁾も併せて行った。

	No.1	No.3	No.4	No.8	No.10	No.2	No.11
乾燥密度(g/cm ³)	2.0311	2.0378	2.1178	2.0725	2.1127	2.0347	2.0391
湿潤密度(g/cm ³)	2.2837	2.2879	2.3385	2.3098	2.3352	2.2859	2.2887
平均粒径(D ₅₀)(mm)	4.22	5.58	16.0	5.54	8.66	6.82	3.08
均等係数	143.4	207.6	254.3	179.1	325.3	218.2	141.8
細粒分含有率(%)	8.53	9.72	7.33	8.69	9.18	8.68	10.42
液状化応力比	0.221	0.193	0.168	0.181	0.169	0.244	0.273
繰り返し回数(軸ひずみ1%)	10.4	19.0	51.3	33.3	24.9	19.7	17.8
繰り返し回数(軸ひずみ2%)	13.7	22.8	57.2	38.7	28.1	21.0	20.3
等価せん断剛性率($\gamma=1 \times 10^{-5}$)	622	621	661	737	766	847	841
せん断波速度(Vs)	201	175	187	158	246	175	213
	175	187	158	246	175	213	168
							211
							284
							185
							188
							171
							167

(No.1,3,4,8,10は $\gamma=1 \times 10^{-5}$ まで)以下簡単に実験手順を記す。

まず凍結試料は上下端面をカットした後、セル圧0.3kgf/cm²のもとで解凍する。次に炭酸ガスを供試体上部側のコックより注入しながら排水する。排水後セル圧を負圧に置き換えセルを解体、供試体寸法の計測、センサー類(加速度計2対、ギャップセンサー2対)をセットし、セルの再セット後負圧をセル圧と置き換える。その後炭酸ガスを供試体下部→上部と一定時間通し、脱気水を供試体下部より上部に向けて注入する。注入完了後背圧1.0kgf/cm²を載荷し、B値を測定する。この時点でB値が0.95未満の場合は背圧を下げ再度脱気水を通す。B値が0.95以上であった場合は有効拘束圧0.5kgf/cm²まで等方圧密を行い、圧密終了後Vs試験、動的変形試験、液状化試験をこの順で実施する。

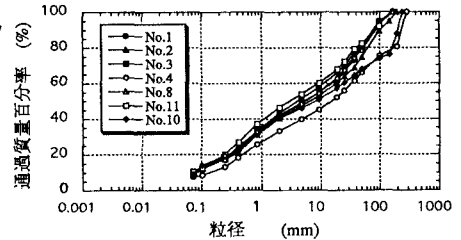


図1 各供試体の粒径加積曲線

3. 実験結果

図1には各供試体の粒度分布を、表1には細粒分含有率、均等係数(Uc)、平均粒径(D₅₀)を示す。図1の最大粒径は短径によるが、供試体によっては長径30cm以上の礫が含まれる(No.4、10)。サンプリング時には50-60cmの礫も観察されており、供試体に含まれていた礫はこの断片である。No.4供試体については粒径2.00mm未満の試料に対して比重試験も行い、平均的な比重として2.718を得た。表1中の湿潤密度はすべてこの比重による。また地表面から供試体中心までの平均的距離1.35m、地震当時の地下水位-0.6mより、供試体中心の原位置での地震当時の鉛直土被り圧は0.22 kgf/cm²程度と推定される。

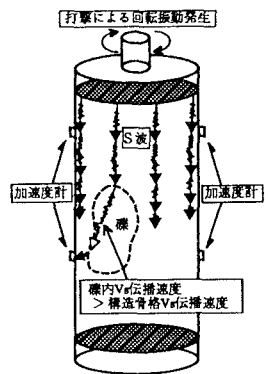


図2 Vs伝播概念図

(Vs試験) 表1にVs試験結果の一覧を示す。二対の加速度計による結果が大きく異なり、原因は10cm程度以上の礫と加速度計の位置関係による局所的なものであると推定されたので、2つの値を各供試体

ごとに平均せず別々に示す。（図2にせん断波伝播経路の概念図を示す）

（動的変形試験） 動的変形試験の結果も、Vs試験の結果と同様二対のセンサー間で結果が異なる。せん断ひずみ $\gamma=1 \times 10^{-6}$ の前半における結果では、供試体によっては、同一の载荷段階におけるひずみレベルが二対のセンサー間で大きく異なる結果も得られた。図3に動的変形試験の結果とVs試験により求めたS波速度、湿潤密度により求めたせん断剛性を併せて示す。なおNo2,11供試体に関しては変形試験を $\gamma=10^{-3}$ 付近まで実施した。

（液状化試験） 図4、図5は液状化試験における軸差応力、過剰間隙水圧、軸ひずみの時刻歴と有効応力経路の一例であり、図6は応力比と繰り返し回数の関係である。時刻歴より過剰間隙水圧比が1に近づく（この場合は0.5kgf/cm²）と、供試体の剛性が急激に劣化し軸力の载荷が軸変位に追従できず軸差応力の波形が乱れていることが観察できる。これは緩い砂などにみられる現象と同様である。このように水圧比が1に到達する回数と軸ひずみが急激に増加する回数が同程度であること、応力

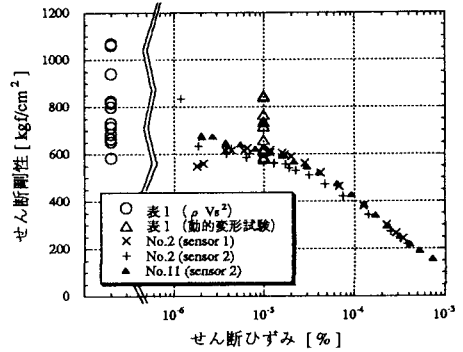


図3 せん断ひずみ—せん断剛性関係

波形が乱れ5%強度が正確に求められないことより、図6に示す液状化応力比の判定は、軸ひずみ両振幅が1%または2%に達した時点を採用している。Vs試験の結果、動的変形試験の結果は供試体ごとまたは同じ供試体内でも、大きな礫の存在によってかなりのばらつきがみられるが、液状化試験結果には長径30cm以上の礫を含む供試体と含まない供試体との間に明確な差は認められない。したがって、図6の液状化強度を原位置の液状化抵抗を表す指標とする事は妥当である。

4. まとめ 北海道南西沖地震の際に液状化被害を受けた岩屑なだれ堆積物の、室内試験による液状化強度は0.2（軸ひずみ2%）であった。また、Vs試験結果、動的変形試験結果は供試体内に含まれる大きな礫の影響を受けるのに対し、液状化強度試験結果は大きな礫の存在に影響されず供試体の平均的な値が得られることが分かった。

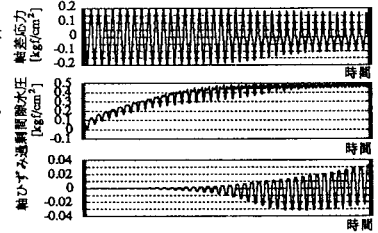


図4 液状化試験時刻歴例

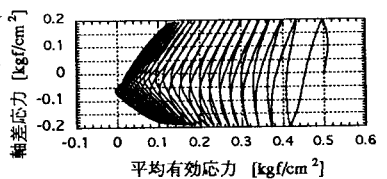


図5 有効応力経路例

謝辞 この研究は、甚大な被害を受けながらも全面的に御理解、御助力下さった夏坂幸彦氏、凍結サンプリングや地盤調査において御協力いただいた基礎地盤コンサルタント酒井運雄氏の両氏なしには実現不可能でありました。両氏のご協力に深く感謝の意を表します。

参考文献 1)国生剛治ら、(1994)：北海道南西沖地震による岩屑なだれ礫層の液状化、一(その1)地盤性状および物理探査などによる検討一、第29回土質工学研究発表会(投稿中) 2)工藤康二ら、(1994)：同、一(その2)2受振機法ダウンホールP S検層による弾性波速度分布一、第29回土質工学研究発表会(投稿中) 3)田中幸久ら、(1994)：同、一(その3)非排水繰り返し強度と地盤調査結果との相関一、第29回土質工学研究発表会(投稿中) 4)片岡哲之ら、(1994)：同、一(その4)凍結サンプリング一、第29回土質工学研究発表会(投稿中) 5)田中幸久、工藤康二、西好一、瀬尾和義(1993)：いくつかの計測方法により求めた不攪乱砂礫および砂の動的変形特性、第28回土質工学研究発表会発表講演集pp.991-992、

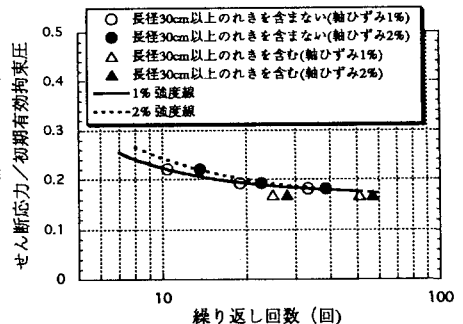


図6 せん断応力比—繰返し回数関係