

建設省土木研究所 学生員 吉田精一

正員 常田賢一

東京大学生産技術研究所 龍岡文夫

(株)応用地質調査事務所 今野政志

○はじめに

これまで、筆者らは地震時の地盤の挙動を把握するため、動的せん断変形特性(剛性 G)については共振法土質試験及び低周波動的せん断試験(中空ねじり型)により、動的せん断強度については振動三軸試験によってそれぞれ実測値を求め砂質地盤の剛性の評価、剛性に及ぼす各種の要因、地震時における地盤の液状化の判定などの研究を続けて来た^{1,2)}。今回は、次の2点について検討した結果を報告する。(1)乱した砂の共振法、中空ねじりによる剛性の簡易評価法を不かく乱細砂の振動三軸試験による液状化過程における剛性の変化の推定に適用できるか。(2)上記の指定方法で実施した豊浦砂の実験結果との比較

○実験方法・データ整理・考察

表-1に実験中の応力条件、 B 値、試料の物理特性を示す。試料は、東京湾羽田の不かく乱シルト質細砂、供試体寸法は、径50mm、高さ100mm。動的載荷入力は、0.5Hz正弦波とした。出力データは、軸荷重、間隙水圧、軸方向変位で、これと試料長、断面積からヤング係数 E 、軸ひずみとを求め、さらに次の(1)、(2)式により剛性 G とせん断ひずみ振幅 γ を算出した。有効拘束圧 $\sigma'_c = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ と5.0とした。

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad \text{--- (1)} \quad \gamma = \frac{3E}{2} \quad \text{--- (2)}$$

ν : ポアソン比で 性 G とせん断ひずみ振幅 γ を算出した。有効拘束圧 $\sigma'_c = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ と5.0とした。

の試料グループの G - γ 曲線を図-1に示す。 G の値は、豊浦砂に比べ小さいがそのひずみ依存性の傾向は、豊浦砂の場合あるいは中空ねじりらの結果と似ている。一方、間隙水圧のデータ整理は、有効応力 $p = 0$ の載荷回数を N_0 、間隙水圧 u の最大値を U_{max} として載荷回数、間隙水圧をそれぞれ無次元化してまとめたものが図-2である。豊浦砂に比べ U/U_{max} が $1/2$ になってからの増加率が少なく、この差の解明は今後の課題である。

○剛性の簡易評価法の適用と考察

せん断ひずみを考慮した剛性 G は、

$$G = \frac{C_m f(\gamma) (2.17 - e)^2}{1 + e} p_m(\gamma) \quad \text{--- (3)}$$

 e : 間隙比 p : 有効平均応力

No	試料名	応力条件			B 値	動的載荷状態	試料の物理特性							
		σ'_v (kg/cm ²)	σ'_c (kg/cm ²)	$\sigma'_{ap}/2\sigma'_c$			D_{60}/D_{10}	D_{50}	FC	G_s	e_0	e_c	e_{max}	e_{min}
1	3-11-1	1.0	1.0	0.295	0.97		2.2	0.192	7.0	2.755	0.791	0.785	1.377	0.848
2	3-11-2			0.344	0.95		2.5	0.183	9.0	2.686	0.744	0.735	1.361	0.820
3	3-11-3			0.279	0.96		2.5	0.163	10.5	2.755	0.807	0.799	1.461	0.875
4	3-11-4			0.254	0.96		3.1	0.158	13.0	2.747	0.803	0.786	1.469	0.910
5	3-12-1			0.252	0.87		3.6	0.138	21.0	2.757	0.912	0.919	1.517	0.932
6	3-12-2			0.224	0.94		3.7	0.119	25.0	2.687	0.906	0.651	1.627	0.967
7	3-7-1	0.8	0.8	0.245	0.94		3.2	0.175	12.0	2.748	1.024	0.999	1.439	0.881
8	3-7-2			0.332	0.98		3.7	0.145	20.0	2.753	0.921	0.896	1.637	0.981
9	3-7-3			0.283	0.95		3.6	0.175	13.0	2.750	1.000	1.000	1.469	0.860
10	3-8-1			0.391	0.97		2.8	0.165	11.5	2.631	1.099	0.789	1.000	0.598
11	3-8-3			0.264	0.94		1.8	0.260	2.5	2.771	0.789	0.765	1.154	0.766
12	3-15-1			1.2	0.269	0.95		0.998	38.0	2.727	0.866	0.865	2.186	1.172
13	3-16-1	1.2	0.6	0.258 (0.413)	0.96	応力比0.258で約300波 加振後0.413で再加振	3.0	0.120	32.0	2.659	1.101	1.103	2.096	1.018
14	3-16-2		0.3	0.275 (0.496)	1.0	応力比0.275で約300波加 振後0.496で再加振	3.5	0.132	29.0	2.637	1.002	1.002	1.800	1.000
15	3-16-3		0.6	0.244	1.0	軸荷約8.4まで加振	2.6	0.120	28.5	2.635	0.938	0.925	1.713	0.808
16	3-3-1	0.5	0.3	0.278 (0.441)	0.95	応力比0.278で約300波加 振後0.441で再加振	2.0	0.19	5.0	2.690	0.869	0.872	1.144	0.747
17	3-3-2		0.5	0.290	0.96	軸荷約3.8まで加振	1.8	0.23	2.0	2.685	0.753	0.753	1.138	0.759
18	3-3-3		1.0	0.287	0.96		1.7	0.24	1.5	2.683	0.785	0.761	1.074	0.719

表-1 実験条件と試料の物理特性

* は仮りの値

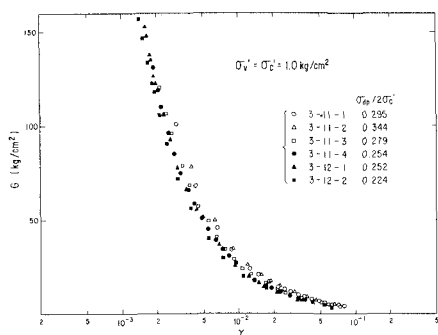


図-1 G ~ γ 曲線

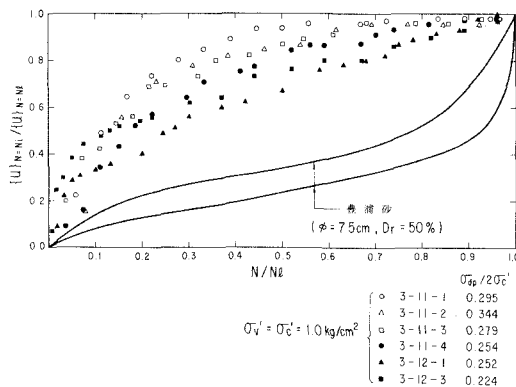


図-2 間隙水圧と載荷回数

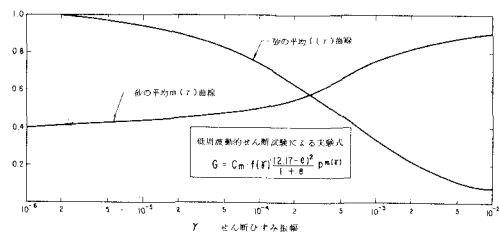


図-3 簡易評価法のひずみの関数

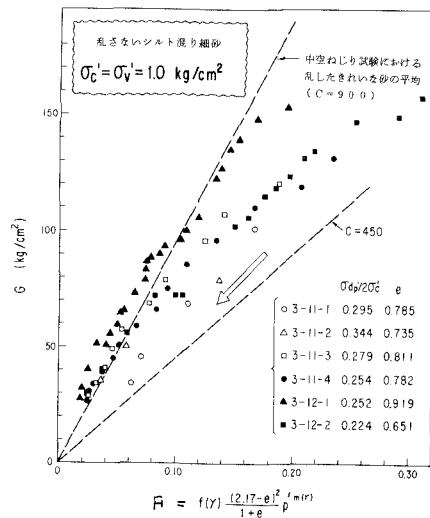


図-4 G 実測値と簡易評価法による推定値

中空ねじり試験の結果から一般の砂では、(3)式で表わされる。

$f(\gamma)$ と $m(\gamma)$ は共にせん断ひずみの関数で、図-3 のような曲線を作る。 C_m は、各砂による定数でちなみに豊浦砂では、中空ねじりの試験結果から $C_m = 9.75$ である。この式の意味することは、 C_m の値が求まれば任意の間隙比、平均主応力のもとでの G を評価できることである。そこで、実験中の e と p' (初期有効拘束圧 - 過剰間隙水圧) と図-3 から逆算して、(図-4 中の F を算出すること) これと G の実測値との関係を図-4 に示した。液状化の過程の G の低下は、間隙水圧の上昇による p' の低下とせん断ひずみの増大によるものと思われるが、 F はこの効果を考慮した関数で G とほぼ比例関係にあるので、液状化過程における G の変化は(3)式で表せることがわかる。しかし、 G と F の比例関係が豊浦砂ほどよくないのは、乱した砂に対して求めた $f(\gamma)$ が羽田試料の $f(\gamma)$ とやや異なるためであろう。この関係が上に凸状になっていることから羽田試料の方が、乱した砂に比べひずみ依存性が小さいと推定できる。ばらつき理由としては豊浦砂ほど相対密度、粒度分布特性がそろっていないこともあげられるであろう。まとめとして、液状化過程における不かく乱砂質試料の剛性の変化に対する簡易評価法(従来の)の適用は可能であることがわかった。なにぶん、データが十分とは言えないので今後とも実験を重ね、剛性の簡易評価法の充実に努めたい。末筆ながら助言をいただいた当研究所振動研究室長の岩崎敏男に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地盤の動的変形特性の測定法、高木義和・吉田精一 1976年第15回土木研究所発表会
- 2) 共振法における供試体作製法と砂のせん断変形係数、吉田精一・龍岡文夫 1977年第32回土木学会年次学術講演会
- 3) 液状化過程における砂の剛性の変化、今野文志・龍岡文夫