

(株)熊谷組 技術研究所 正会員 ○鈴木 猛康
 東京大学 工学部 正会員 石原 研而
 東京大学 大学院 谷 和夫

1. はじめに

近年、粘性土の非排水繰返し試験が実施されるようになり、その動的挙動が次第に明らかになつて来ている。しかし粘性土の挙動は砂に比べて非常に複雑で、実験における取り扱いにも困難な点が多く、また十分に知られていない。メキシコ市では、地震発生直後から粘性土地盤上の建物の沈下が急激に加速され、沈下は数年にわたって持続したという報告がある。これは地震による動的せん断時に残留した過剰間隙水圧が、徐々に消散したことによる地盤沈下現象と考えられる。土木工学の耐震設計の意味から、粘性土の動的挙動について解明すべき問題は数多く残されているが、ここでは宮城沖地震と日本海中部地震を例にとり、動的応力履歴を受けた軟弱粘性土地盤の沈下現象について考察する。

2. 研究目的

1978年の宮城沖地震の際、仙台市日の出町、扇町を中心とする若竹地区では、地震発生後地盤沈下が加速され、4年余りで加速された沈下量は数cmから70cmに至り、建物に被害を与えている。(図-1参照) 若竹地区では、表層に高含水比・高圧縮性のヒート層が、3~4mの厚さで分布している。ヒートの含水比は300%以上、圧縮指数は3.59であり、動的応力履歴を受けたヒート層の圧縮沈下が、若竹地区の地盤沈下の主要な部分を占めているように思われた。そこでこのヒート試料を不攪乱状態でサンプリングし、宮城沖地震の際ヒート層に発生するせん断応力波形を応答解析で求め、これを用いて単純せん断試験を行い、地盤沈下のシミュレーションを試みる。

3. 地盤応答解析

図-2の解析モデルを用いて、SHAKEによる応答解析を行った。地震波は、石巻市開比崎で観測されたものを基盤入力している。また、せん断定数、Damping ratioのひずみ依存性は、Seed, Idriss の提案する代表的なものを採用している。

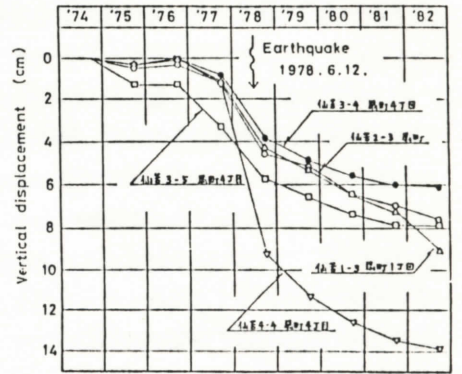


図-1 仙台市若竹町の地盤沈下

Depth (m)	Layer thickness (m)	Soil type	Shear velocity V_s (m/s)	Unit weight γ_s (t/m ³)	Shear modulus G_s (t/m ²)
0	0.8	Subfacies soil	124	1.80	250
0.8	2.4	Organic soil	95	1.35	110
3.2	5.8	Silly fine sand	142	1.70	350
9.0	1.5	Sandy silt	154	1.65	400
10.5	9.5	Sandy gravel	335	1.75	2000
20.0	3.5	Clay	242	1.80	1000
23.5	21.5	Sandy gravel	443	2.00	4000
45.0		Rock	667	2.70	10000

図-2 解析モデル

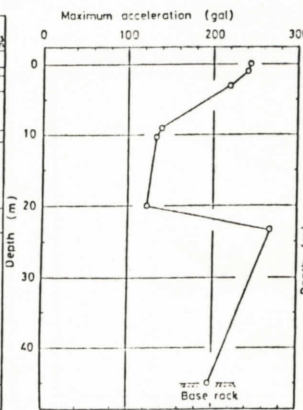


図-3 最大加速度

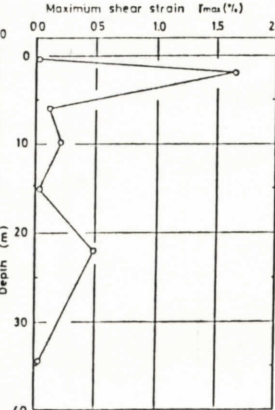


図-4 最大せん断ひずみ

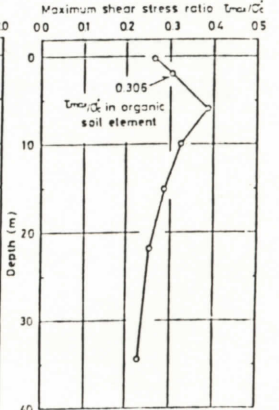


図-5 最大せん断応力比

解析の結果、得られた最大加速度分布を図-3に、最大せん断ひずみ分布を図-4に示した。対象とするピート層の最大加速度、最大せん断ひずみはそれぞれ240 gal, 7.7%程度である。図-5はせん断応力比分布を示しており、これよりピート層における最大せん断応力比は0.306となる。

4. 試験結果および考察

不攪乱ピートに不規則波形のせん断力載荷で単純せん断試験を行い、宮城沖地震による仙台市の地盤沈下をシミュレートした。軸ひずみと間隙水圧比の関係を図-6に示す。図中には規則波載荷の結果もプロットしている。両者の関係は、 $\Delta u/\sigma'_c = 1$ を漸近線とする双曲線関数で近似される。

$$E_a = \frac{a \Delta u/\sigma'_c}{1 - \Delta u/\sigma'_c} \quad (a \text{ は定数}) \quad (1)$$

(1)式は他の粘性土に対しても適用され、この関係は載荷速度やせん断振幅の影響を受けない。最大せん断応力比と間隙水圧比の関係を図-7に示す。応答解析で得られたピート層の最大せん断応力比が0.306であったから、図-7よりこれに対応する間隙水圧比を読み、この間隙水圧比で発生する軸ひずみを図-6から求めると、およそ0.8%が得られる。したがって地震時に残留した過剰間隙水圧の消散によるピート層の圧密沈下量は、層厚を3~4mとすれば2.4~3.2 cmとなる。ただしピート試料は地震による動的応力履歴を受けて一度圧密されているため、宮城沖地震の際は多少これよりも大きな沈下が生じたと判断される。

秋田市に分布するピート層からサンプリングしたピート試料についても、同様の単純せん断試験を実施した。結果は図-8, 9に示すように、最大せん断応力比が1以上の地震波形でせん断しても過剰間隙水圧の残留は少なく、したがって軸ひずみもわずかである。仙台ピートが正規圧密状態であるのに対し、秋田ピートはOCR=2の過圧密状態であり、これは正の過剰間隙水圧の発生する限界と考えられる。よって日本海中部地震の際は秋田市内の軟弱粘性土地盤では被害がなかったものと推測される。

5. まとめ

宮城沖地震の際、仙台市の軟弱粘性土地盤で発生した沈下現象を、単純せん断試験でシミュレートした。その結果、実測値とほぼ同じオーダーの圧密沈下量が得られた。このような沈下量推定方法は、耐震設計の意味から応用分野が広く、今後ますます必要となる。

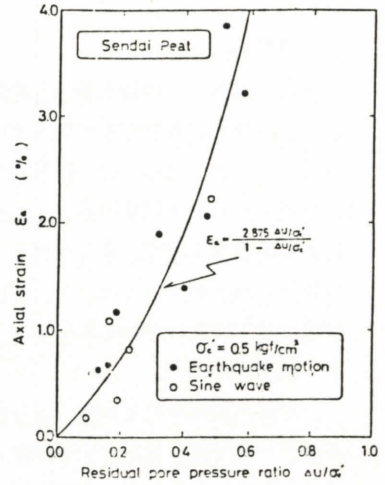


図-6 $E_a \sim \Delta u/\sigma'_c$ の関係

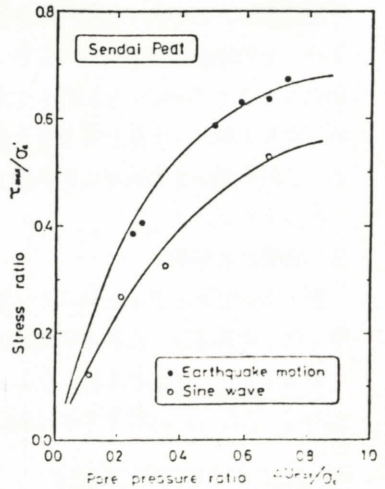


図-7 $\tau_{max}/\sigma'_c \sim \Delta u/\sigma'_c$ の関係

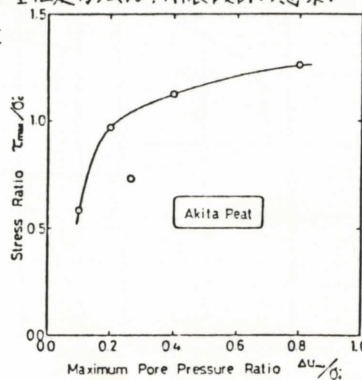


図-8 $\tau_{max}/\sigma'_c \sim \Delta u/\sigma'_c$ の関係

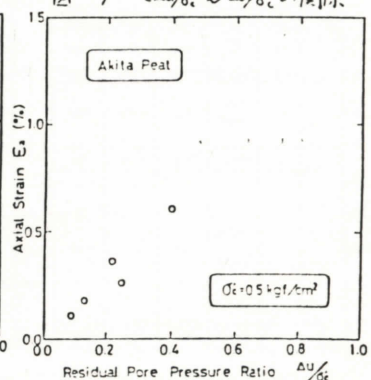


図-9 $E_a \sim \Delta u/\sigma'_c$ の関係