

高有機質土の地震時繰返し载荷による強度低下

中央大学理工学部 学生員 ○堤 千花 正会員 石原研而

正会員 國生剛治 学生員 星野研一郎

1. はじめに

高有機質土の動的性質に関する研究は一般的な砂や粘土に比べ研究例が非常に少なく、沈下や安定問題を解決するための合理的な方法が確立されていない。ところが、高含水状態で間隙比の大きい高有機質土が地震動などの繰返し载荷を受けた場合、その力学的性状は大きく変化することが予測される。そこで本稿では特に高有機質土の地震時繰返し载荷による強度低下に着目し、同一地点から採取した物理的・化学的に性質の異なる三種類の試料を用いて三軸試験機により非排水繰返し载荷試験および非排水単調载荷試験を行った。

2. 試験試料の基本物性

実験に使用した試料はいずれも東京都大田区上池台の工事現場から採取した不攪乱試料である。この地点では高有機質土は層厚 1.5mの表土層下に 5.5m堆積しており、採取深度は地下 3～4mである。

基本物性により採取試料を①～③の 3 グループに分類し、各分類の物理・化学特性を一般的な高有機質土、沖積粘土および沖積砂と共に表-1 に示す。ここで強熱減量率は有機物の量を表しており、分解度は有機物の腐植の進み具合を表している。表-1 から、試料①～③の物理・

表-1 試験試料の基本物性

試料	物理特性							化学特性
	含水比 (%)	土粒子密度 (g/cm ³)	湿潤密度 (g/cm ³)	間隙比	強熱減量率 (%)	圧縮指数 Cs	Cc	分解度* (%)
①	232～285	2.08～2.17	1.16～1.21	4.95～5.89	36.0～40.4	0.6	2.2	88.2～94.4
②	340～387	1.95～2.05	1.09～1.12	6.87～8.15	48.7～51.5	0.8	3.7	79.9～83.1
③	425～509	1.76～1.88	1.01～1.06	7.55～9.32	52.6～54.5	0.8	5.0	51.1～64.3
高有機質土	80～1500	1.3～2.6	0.9～1.2	3～16	20～98	-	-	-
沖積粘土	50～80	2.65	1.20～1.80	0.9～3.5	-	-	-	-
沖積砂	10～30	2.70	1.60～2.00	0.6～1.4	-	-	-	-

* 水洗い法による

3. 試験方法

採取した不攪乱試料はワイヤーソウ、カッターを併用し、直径 5cm、高さ 10cmの円柱供試体に慎重に成形した。三軸試験機にセットした供試体に炭酸ガスと脱気水を通して B 値 0.95 以上を確認し、有効拘束圧 $\sigma'_c=19.6\text{kPa}$ 、背圧 294kPa で等方圧密した。圧密終了後地震を想定した様々な応力比の非排水繰返し载荷試験（応力制御・周波数 0.1Hz・繰返し回数 20 波）を行った。

また、別途繰返し载荷を行わない試料について非排水単調载荷試験（ひずみ制御、载荷速度 0.05%/min）を行った。

4. 結果と考察

図-1 に非排水繰返し载荷試験の実施例を示す。応力比 $R = s_d / 2s_c'$ の小さい $R=0.29$ では繰返し载荷が進行してもひずみの成長はほとんど見られず、過剰間隙水圧の発生量もわずかである。応力比が大きくなるに従い繰返し载荷によるひずみの増大と有効応

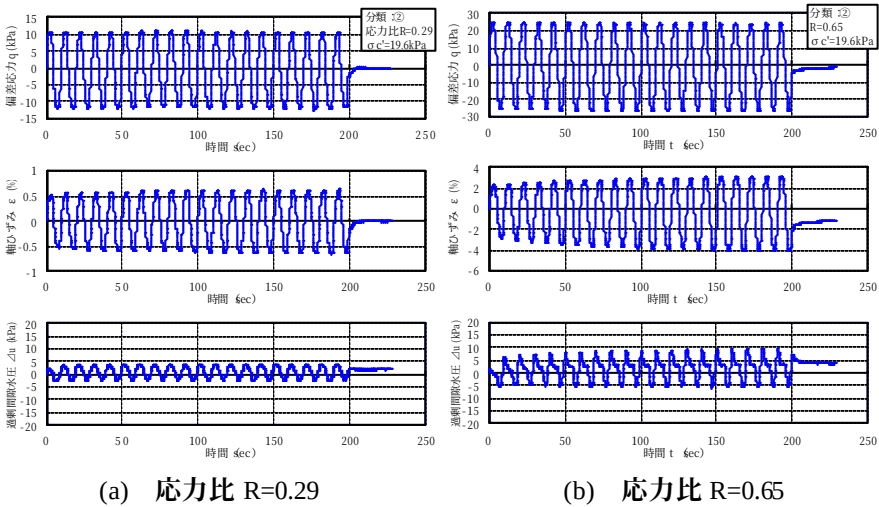


図-1 代表的な繰返し载荷試験の時刻歴(分類②)

力の低下が顕著に見られるようになり、 $R=0.65$ では圧縮応力の最大値で供試体が膨張しようとして正のダイレイタンスを生じ、有効応力が回復するサイクリックモビリティ現象が起きようになる。

図-2に非排水単調載荷試験で得られた偏差応力、過剰間隙水圧と軸ひずみとの関係を示す。最も含水比の低い試料①は軸ひずみが約13%となったとき約42kPaのピーク強度を示す。過剰間隙水圧は試験全体を通して正の方向に増え続け、負のダイレイタンスを示す。試料②、③は軸ひずみが15%以上の大きな値になっても偏差応力が増加し続け、明確なピーク強度を表さない。過剰間隙水圧は軸ひずみ5%程度までは正の方向に増加し、分類③において最も大きく発生する。その後軸ひずみの増加に伴って過剰間隙水圧は負の方向に増加し、正のダイレイタンスを発揮する。

各供試体から得られた繰返し載荷時の偏差応力 $s_d/2 = (s_1 - s_3)/2$ と、同一分類の試料で非排水単調載荷試験のみを行った試験結果から求めたピーク強度 $s_f = s_1 - s_3$ との比を取り、動的強度比 $s_d/2s_f$ とする。明確なピークの現れない試料②、③では、軸ひずみが15%での偏差応力をピーク強度としている。任意の繰返し回数 $N=i$ で求めた動的強度比 $(s_d/2s_f)_{N=i}$ と、その繰返し回数での軸ひずみを片振幅分に平均した値 $e_{N=i}/2$ との関係調べることににより、繰返し載荷時の強度低下について検討する。

図-3から図-5は、繰返し載荷回数 N を1, 5, 10, 20とした場合の動的強度比と軸ひずみとの関係を分類ごとに示したものである。まず各分類の20波目の曲線のみに着目する。いずれの分類においても、軸ひずみが5%程度までは任意のひずみを与えるのに必要な動的強度比が0.8程度まで急激に増加していることが分かる。軸ひずみが5%以上になると曲線は動的強度比 $s_d/2s_f = 0.9$ 程度に収束していき、動的強度が静的強度にほぼ一致する。従って、載荷速度が比較的急速で引っ張り方向にも応力が作用する動的載荷においても、軸ひずみが10%以上となるような大変形を生じさせるには、いずれの試料でも静的強度にほぼ匹敵するような動的偏差応力が必要であることが分かる。

次に、各分類において繰返し載荷回数の増加に伴う曲線の変化に着目する。繰返し載荷回数が1波目($N=1$)から20波目($N=20$)の曲線になるに従い、同じ軸ひずみに対する動的強度比は小さくなっている。従って繰返し載荷回数が増加するにつれて強度が低下することが分かる。この傾向は含水比の最も低い分類①において最もよく表れており、繰返し載荷による試料の軟化が最も顕著であるといえる。つまり、含水比が低く分解の比較的進行した試料ほど繰返し載荷回数の増加に伴う強度低下が起きやすいと判断される。

5. まとめ

- ・ 大きな軸ひずみを発生させる繰返し偏差応力は、試料の基本物性によらず静的強度とほぼ同程度の大きさとなった。
- ・ 含水比が低く分解の比較的進行した試料ほど繰返し載荷回数の増加に伴う強度低下が起きやすいことが分かった。

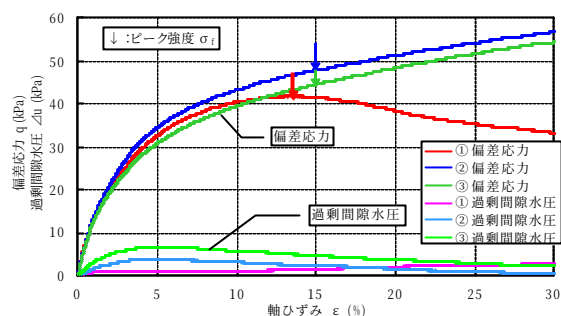


図-2 非排水単調載荷試験結果

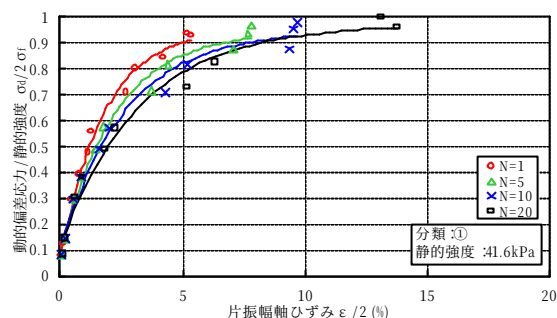


図-3 動的強度比と軸ひずみとの関係(分類①)

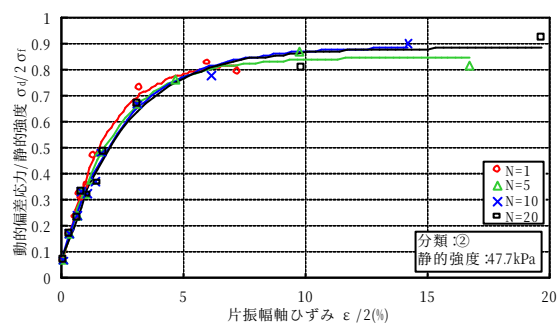


図-4 動的強度比と軸ひずみとの関係(分類②)

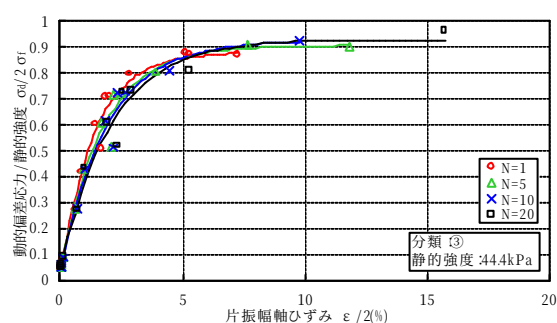


図-5 動的強度比と軸ひずみとの関係(分類③)