

III-807

発泡ビーズ混合軽量土の水浸状態での繰返し載荷時挙動

横浜国立大学 工学部 正会員 ○今井 五郎
 横浜国立大学 工学部 正会員 プラダン テージ
 大日本インキ工業（株） 正会員 内山 正美

1. はじめに

軽量化土（Stabilized Light Soil, SLS）は、基礎地盤の安定性を最大限に発揮させることを目的として、軽量化、安定化を図った盛土材料として考案された。原料土として砂質土、軽量化材として発泡スチロールビーズ、安定材として普通ポルトランドセメントを使用し、それらに適量の加水を施して混合したものを軽量土とするのが一般的である。したがって、軽量土は砂粒子と発泡ビーズがセメントで結合した状態で地盤の構成土として機能する。ただし安定剤の添加は土としての一体性を確保することを主目的にするから、ふつうその添加率は低く抑える。このため粒子間結合は強くないので、特に繰返し荷重の作用に対する疲労安定性が問題となる。湿潤状態でのこの疲労安定性に関する研究は既に発表されており、一軸圧縮強度の50%程度以下の繰返し荷重ならば問題無しと結論されている¹⁾。しかし、水中の軽量土では、発泡ビーズの体積変化が水圧変化と深く関係するから、その点を視野に入れた研究成果が要求される。この要求に若干寄与できる研究成果を得たので、以下にその概略を報告する。

2. 実験計画

材料 各配合材料の物理的性質を表-1に示した。原料土は君津産山砂で、その2mmふるい通過分を用いた。

配合 軽量化材の混合割合により軽量土の密度が決まる。そこで混合土の湿潤密度を0.9, 1.1, 1.3(g/cm³)の3通りに設定して発泡粒の混合割合を求めた。また、安定化の度合は安定材の混合割合により決まるので、現行の実施工を考慮して添加率を4, 6, 10(%)の3通りとした。各材料の配合質量は表-2に示したとおりである。なお加水は主に混合効率の増加を目的として行われるので、適切な量とする他ない。

実験装置 セメントで結合しているとはいえ、その結合力は弱いので軽量土はあくまでも土である。よって、その疲労特性は拘束圧の影響を受けるはずである。そこで三軸圧縮試験装置を用いることにし、側方応力・背圧一定の下で、軸方向に両振幅繰返し応力を加える実験を行うことにした。繰返し荷重として交通荷重を考えた。この場合、砂質土とはいえほぼ非排水载荷であるから、実験も非排水条件下で実施した。供

試体は、恒温湿潤状態で7日間養生した。すべての供試体に脱気水を通した後に背圧(0.4 Kg/cm²)を加えたが、その時点でのB値は0.4~0.6とかなり低い(発泡ビーズの圧縮性が高いためである)。そこで飽和度を上げることを考えてフラッシュを2時間行った。その後に、セル圧と背圧の差 $\sigma_c = 1.0(\text{kgf/cm}^2)$ のまま等方圧縮して繰返し応力 $\pm \sigma_a$ を5000波まで加えた。繰返し応力比 $\pm \sigma_a / (2\sigma_c)$ は0.2, 0.4, 0.6の3通りとした。

3. 実験結果

実験で得られた結果(軸ひずみ・過剰水圧の経時変化)はいずれも似ている。その一般的な傾向を示したのが図-1である。勿論、供試体の配合条件、実験条件の違いに応じて、 ϵ_{DA} 、 ϵ_{res} ($\Delta U / \sigma_c$) min等の特性指示値は違うが、図から読みとれる、工学的に重要な結果は以下のように集約される。

ひずみ発生量について；① 繰返しによる永久変形(ϵ_{res})は初期の繰返し過程で発生し終える。② 永久変形が発生し終えた後は、繰返し応力に応じた弾性変形が生じるだけで安定した応答を示す。

過剰水圧の発生量について；① ひずみ発生と同じように、過剰水圧の蓄積分は初期の繰返し過程でのみ生じ、その後は弾性的なレスポンスをするのみで安定している。② 発生する過剰水圧は負であり、軽量土全体

表-1 配合材料の物理的性質

原料土 (山砂)	土粒子密度...	2.704 g/cm ³
	最大粒径...	2.00 mm
	最適含水比...	15%
安定材 (ポルトランドセメント)	土粒子密度...	3.16 g/cm ³
発泡ビーズ (発泡倍率: 50)	組成	ポリスチレン
	平均粒径...	約 1 mm
	粒子密度...	0.025 g/cm ³

表-2 配合表

供試体湿潤密度 ρ_i (g/cm ³)		0.9	1.1	1.3
山砂の乾燥質量 (g)		600	600	600
発泡粒	質量 (g)	16.9	12.0	8.8
	山砂と発泡粒の体積比	1 : 3.07	1 : 2.18	1 : 1.60
セメント	質量 (g)	24 36 60	24 36 60	24 36 60
	乾燥山砂に対する質量%	4 6 10	4 6 10	4 6 10
水 (g)		60	60	60

は見かけ上、膨張性の土として振舞う。

ひずみ量の蓄積（ ϵ_{res} 増加）と過剰水圧の蓄積（ ΔU の増加）は粒子同士の相対滑りに起因する現象である。そして、弱くセメントされているとはいえ、軽量土の粒子同士の滑りは結合の破壊なくしては生じない。したがって、実験で与えた応力比の範囲内（0.2～0.6）では、その粒子間結合が繰返し载荷の初期段階で殆ど破壊されてしまい、その後は摩擦による粒子間拘束が卓越する、ということが推察される。破壊される結合の割合が大きいほど ϵ_{res} の値は大きいのが当然である。その様子を示す実験結果を図-2に示した。軽量土中のしっかりした粒子間結合は砂-砂の間に形成されるから、砂粒子の混合割合の高い（ ρ_s の大きな）軽量土ほど、またセメント添加率の高い軽量土ほど ϵ_{res} は小さいはずである（それぞれa、b図）。また、結合の破壊はより大きな応力比の下でより多く生じるから、 ϵ_{res} は応力比が大なるほど大きい（c）。

過剰水圧の蓄積量についてはひずみほど簡単には説明しかねる。一般の土ならば、正の ϵ_{res} の増加には正の ΔU の増加が対応するはず（収縮性の土）だが、軽量土の場合には、圧縮性、変形性が著しく高い発泡ビーズが混在しており、その変形性が ΔU の増加特性を一般の土と違ったものにすることが十分に予想される。実際、実験で得られる $(\Delta U/\sigma_c)_{min}$ と各因子との関係はかなり複雑である。

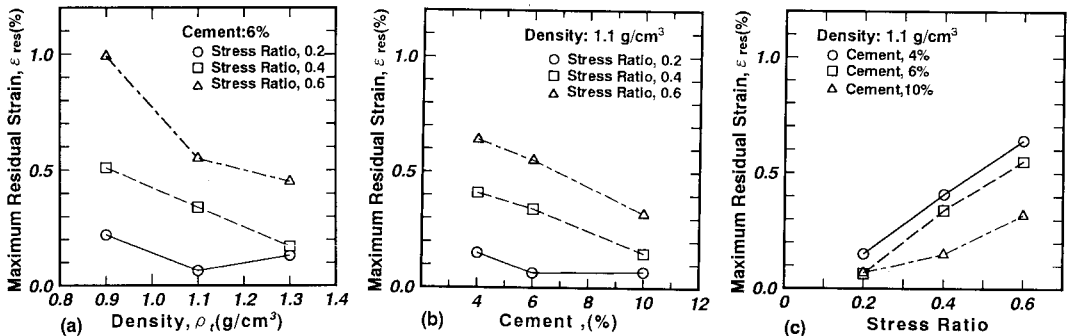


図-2 最大残留ひずみに及ぼす各因子の影響

4. 考察

3. 実験結果の後半で述べた過剰水圧の発生量について今少し述べてみたい。図-1に示したように、過剰水圧比は負の値を示しつつ蓄積されていく。一般の土ならば、負の過剰水圧は膨張性の土に限って発生する。その論理の結論を軽量土にそのまま適用すると、今回の実験における $\rho_s=0.9\sim 1.3g/cm^3$ の範囲で軽量土はよく締まった膨張性の安定化土ということになる。しかし、発泡ビーズの存在を無視した砂粒子骨格体とみなした場合の間隙比は、1～2の範囲にあり、収縮性の土と考えざるを得ない。その限りでは過剰水圧比はプラスの側で蓄積してしかるべきである。しかし実験事実とは逆である。ということは、発泡ビーズがせん断に伴って著しく収縮し、砂粒子骨格部分の土に含まれていた水でせん断にともなって排出された量を抱き込んでしまう、と考えざるを得ない（ビーズ自身は水を吸収しない）。

5. まとめ

以上に示した研究の結論は次のようにまとめられる。

- ① 変形から見た水浸状態での疲労安定性は、現実の配合条件、応力条件の下では十分に期待できる。文献1)の成果に信頼できる知見を新たに加えることが出来た。
- ② 水浸状態での強度特性については、発泡ビーズの変形、圧縮性と発生過剰水圧との関係が複雑に絡んでいることが強く示唆された。水中施工を考える場合に、この問題に対する明確な回答が要求されるだろうから、繰返し载荷以前の基本課題として取り組む必要がある。

6. 参考文献

- 1) 森 他：発泡ビーズ混合軽量土の繰返し载荷による疲労特性、土木学会第48回講義集、Ⅲ-325、1993。