

気泡混合軽量土の単位体積重量が破壊規準に及ぼす影響

明星大学 土木工学科 正会員 矢島 寿一
株式会社 杉孝 青木 雄一郎

1. はじめに

近年使用されている気泡混合軽量土(以下, 軽量土)はその適用場所に応じて単位体積重量を任意に選定し, その軽量土の単位体積重量(γ_t)は $\gamma_t=7.0 \sim 12.0 \text{ kN/m}^3$ の範囲で使用されている¹⁾。矢島ら^{2,3)}はこの単位体積重量が異なることによる破壊規準の変化を調べている。しかしながら, 軽量土の単位体積重量による破壊規準の変化は数少ない論文データより得られた結果であり, さらなるデータの蓄積が必要であると考えられる。そこで本研究では軽量土の一軸圧縮強さ(q_u)を $q_u=300 \text{ kN/m}^2$ と一定とし, 単位体積重量を $\gamma_t=8, 10, 12 \text{ kN/m}^3$ と変化させた場合, 単位体積重量が破壊規準に及ぼす影響について検討した。

2. 供試体条件および試験方法

(1) 供試体条件

本試験は大学構内より採取した粘性土であり, 物性値を表-1に示す。軽量土供試体の条件としては, 目標単位体積重量を $\gamma_t=8, 10, 12 \text{ (kN/m}^3)$ とし, 材令28日の目標一軸圧縮強さを, 軽量土及びセメント改良土共に $q_u=300 \text{ (kN/m}^2)$ 一定となるように配合した。なお, 供試体は練り混ぜ後, 水温20一定条件下で28日まで水中養生を行い, 三軸圧縮試験を行った。その結果, 材令28日後の各供試体(供試体 No.C, L12, L10, L08)は表-2に示す物性を持つ供試体となった。

(2) 試験方法

三軸圧縮試験は母材、セメント改良土についてはCD-Test, CU-Testを行った。軽量土については表-2の飽和度(S_r)に示すように軽量土は不飽和であることから, 圧密排気排水せん断試験を行い, 体積変化はギャップセンサー付き2重セルを用いて体積変化量を測定した。

3. 排気排水せん断挙動

図-1は代表的な供試体 No.L10のせん断時の軸差応力($q=(\sigma_1-\sigma_3)$)と軸ひずみ(ε_a)の関係を示した図である。この図より, 拘束圧が低い場合には, ε_a が微小段階で線形勾配から逸脱し後に最大軸差応力を示すひずみ硬化軟化型の $q \sim \varepsilon_a$ 関係となる。そして拘束圧が増加すると ε_a が微小段階で線形勾配から逸脱し後に緩やかに線形が変化するひずみ硬化型の $q \sim \varepsilon_a$ 関係となる。ここで, ε_a が微小段階で線形勾配から逸脱する応力を第1降伏応力, その後に緩やかに線形が変化する第2降伏応力と呼ぶことにする。この最大軸差応力や第2降伏応力を示す $\varepsilon_a=1\%$ 付近では軸差応力は拘束圧(σ'_c)が小さいほど大きい。また, 軸ひずみが $\varepsilon_a=15\%$ となると, 軸差応力は σ'_c が大きなものほど大きくなっている。

4. 破壊基準

図-2^{2,3)}は軽量土の破壊基準を模式的に示したものであり, $q=(\sigma_1-\sigma_3) \sim p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)/3$ 関係における軽量土の破壊線は最大応力状態と残留応力状態の2つで示され, そして, 最大および残留応力状態の破壊線の傾き $(M)_{\text{peak}}, (M)_{\text{res}}$ は, 単位体積重量(すなわち間隙比)の違いに起因

表-1 母材の物性値

土粒子の密度: ρ_s (g/cm ³)	2.88
液性限界: w_L (%)	99.0
塑性限界: w_p (%)	62.0
塑性指数: I_p	37.0
砂分: (%)	56
シルト分: (%)	31
粘土分: (%)	13

表-2 各供試体の物性値

供試体種類	母材	セメント改良土	気泡混合軽量土		
供試体No.	S	C	L12	L10	L08
単位体積重量: γ_t (kN/m ³)	15.9	14.2	12.1	9.9	8.0
一軸圧縮強さ: q_u (kN/m ²)		296	312	289	307
含水比: w (%)	73.1	109.5	127.5	130.4	146.7
初期間隙比: e_i	2.13	3.05	3.84	4.65	5.72
飽和度: S_r (%)	98.8	103.4	95.5	80.5	73.8

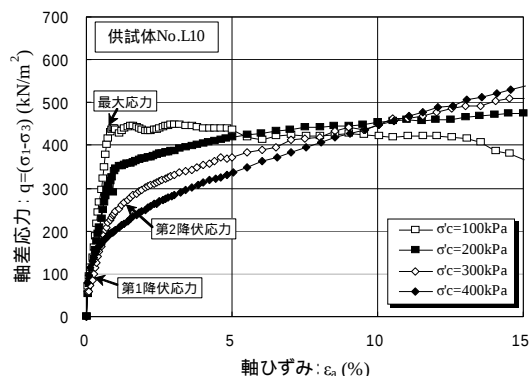
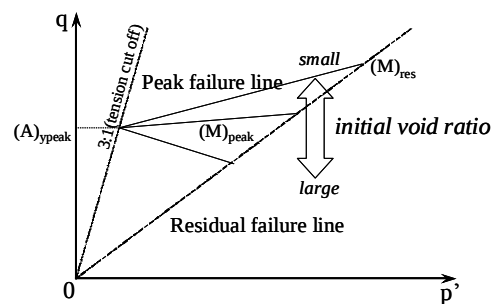


図-1 排気排水せん断挙動

図-2 軽量土の破壊規準の模式図^{2,3)}

Key Word: 気泡混合軽量土, 単位体積重量, 破壊規準

〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1 TEL.042-591-9649, FAX.042-591-9632, E-Mail. j-yajima@ar.meisei-u.ac.jp

するものと考えている。そこでここでは、最大応力状態を各拘束圧での最大応力もしくは第2降伏応力での応力状態とし、残留応力状態を $\varepsilon_a=15\%$ 時の応力状態として、代表的な供試体 No.L10 の $q \sim p'$ 関係を図-3 に示す。これより、供試体 No.L10 では残留応力状態で拘束圧の増加に伴い軸差応力は増加するが、最大応力状態では低下する傾向が見られた。この結果は残留応力状態では Mohr-Coulomb の破壊基準が適用できるが、最大応力状態では適用できないことになる。

5. 単位体積重量が破壊基準に及ぼす影響

各供試体の最大応力・第2降伏応力状態の破壊線の傾き $((M)_{peak})$ 、残留応力状態の破壊線の傾き $((M)_{res})$ と単位体積重量 (γ_t) の関係を図-4 に示す。これより、最大応力状態、残留応力状態でも γ_t が大きくなれば $(M)_{peak}$ 、 $(M)_{res}$ も大きくなり、 $(M)_{peak}$ 、 $(M)_{res} \sim \gamma_t$ 関係は次式で表わすことができる。

最大応力状態： $(M)_{peak}=0.3\gamma_t-3.75$

残留応力状態： $(M)_{res}=0.15\gamma_t-1.01$

そして、各供試体で Mohr-Coulomb の破壊基準が適用できるか否かは破壊線の傾きによって決定される。拘束圧の増加に伴い軸差応力も増加すれば、傾きは正の値を示し Mohr-Coulomb の破壊基準が適用できるが、軸差応力が減少すれば傾きは負の値を示すため適用できない。このことから、図-4 では単位体積重量： $\gamma_t=12.5\text{kN/m}^3$ 以下では Mohr-Coulomb の破壊基準が適用できないことになる。この $(M)_{peak}$ が負の値になってしまう理由としては、単位体積重量を軽くするために練混ぜ時に気泡を混入するため供試体中に多くの気泡が存在しこれにより、土粒子どうしの摩擦力が失われるため、負の値を示すと考えられる。

矢島ら^{2,3)}は単位体積重量ではなく軽量土の初期間隙比 (e_i) と $(M)_{peak}$ 、 $(M)_{res}$ の関係を求めている。そこで、今回の試験結果より得られた値をプロットしたものが図-5 である。同図には矢島らが求めた最大・残留応力状態での e_i と $(M)_{peak}$ 、 $(M)_{res}$ の近似直線を細線で示している。これより、今回得られたデータも $(M)_{peak}$ 、 $(M)_{res}$ は e_i の増加に伴い低下し、矢島らが求めた近似直線に近い範囲にプロットされていることがわかる。そこで、このデータも含めて再度近似直線を求めると以下のような式となる。

最大応力状態： $(M)_{peak}=2.52-0.61e_i$

残留応力状態： $(M)_{res}=2.73-0.51e_i$

6. まとめ

今回の試験で以下のことがわかった。

- (1)最大および残留応力状態での破壊線の傾き $((M)_{peak}$ 、 $(M)_{res})$ は軽量土の単位体積重量 (γ_t) によって変化し、 γ_t が小さくなるにしたがって $(M)_{peak}$ 、 $(M)_{res}$ も減少することが認められた。
- (2)今回の配合では、 $\gamma_t \leq 12.5\text{kN/m}^3$ 以下の軽量土において、最大応力状態の破壊線の傾きが負の値を示すことがわかった。
- (3)今回の試験データを初期間隙比 (e_i) と $(M)_{peak}$ 、 $(M)_{res}$ の関係で整理すると、既往の研究と同等の結果となった。今後ともデータの蓄積を行う予定である。

【参考文献】1)(社)地盤工学会、地盤工学・実務シリーズ 22、軽量土工法、平成 17 年 6 月。2)J. Yajima, Y. Watanabe & Y. Hayashi, A study on failure criterion of foam composite light-weight soil, Proceedings of the International Workshop on Lightweight Geo-Materials(IW-LGM2002), JGS, pp.173-179, 2002 3)矢島・渡辺・林：軽量土の一軸圧縮強さと初期間隙比が破壊基準に及ぼす影響、第 37 回地盤工学研究発表会、pp.861-862、(社)地盤工学会、平成 14 年 7 月

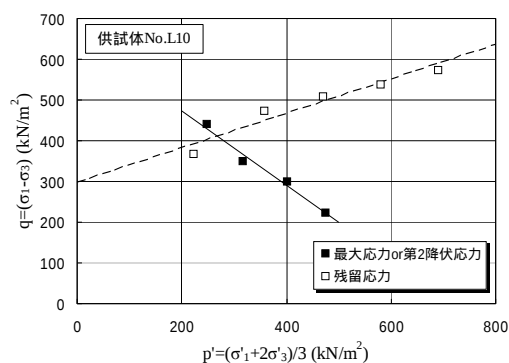


図-3 供試体 No.L10 の破壊規準

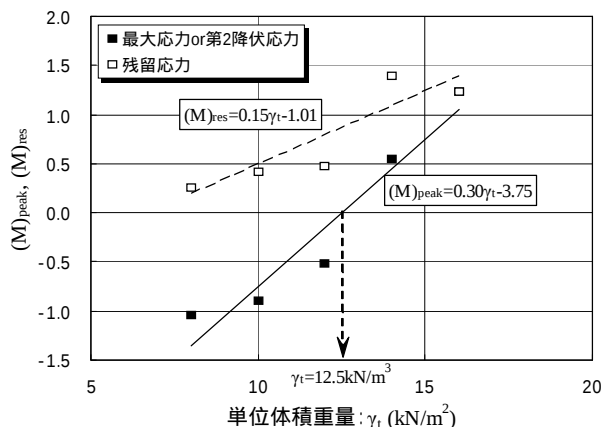


図-4 $(M)_{peak}$ 、 $(M)_{res} \sim \gamma_t$ 関係

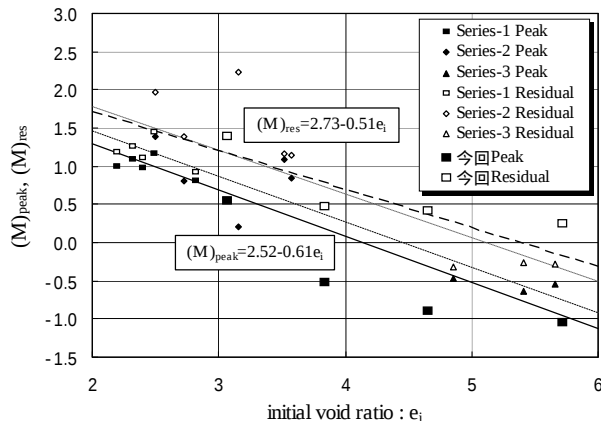


図-5 $(M)_{peak}$ 、 $(M)_{res}$ と e_i の関係