気泡混合軽量土の単位体積重量と破壊基準の関係

株式会社本間組　　正会員　○竹内　基樹
明星大学　　正会員　　矢島　寿一

1. はじめに

近年、土に軽量な材料を混合し，軽量な材料で構造物を作るといった工法が数多く提案され，「軽量盛土」や「軽量盛土工法」と呼ばれ，地盤改良技術として定着しつつある。現在，気泡混合軽量土の破壊基準の考え方は，一軸圧縮強さを用いてせん断応力で評価することが一般的である。しかしながら，気泡混合軽量土に対して三軸圧縮試験を実施した場合，破壊基準はモール・クーロンの破壊基準が適用できる右肩上がりの破壊基準で示される場合と，モール・クーロンの破壊基準が適用できない右肩下がりで示される場合があることが過去の研究[1),2)]より知られている。そこで本研究では，気泡混合軽量土の一軸圧縮強さを一定とし，気泡混入量を増減させた単位体積重量の異なる供試体に対し，三軸圧縮試験を行い，単位体積重量の違いによるせん断挙動の違いを明確にし，破壊基準を求め，単位体積重量が破壊基準に及ぼす影響について検討した。

2. 使用材料及び試験方法

使用材料として母材は大学構内より採取した関東ローム，固化材は高炉セメント B 種，起泡剤は界面活性剤系気泡剤を使用した。使用した母材の物性値を表-1 に示す。

配合条件は練り上がり時の流動性を確保するために「フロー試験(JHS A 313 - 1192 シリンダー法)」を行い，含水比を w=85%と決定した。また，単位体積重量を γ_t=7,10,12,16kN/m^3 の 4 種とし，それぞれ一軸圧縮強さが q_u=200kN/m^2 となる配合条件を決定した。

表-1 母材の物性値

土粒子の密度:ρ_s		(g/cm^3)	2.732
粒度	砂分	(%)	35
	細粒分	(%)	65
	シルト分	(%)	44
	粘土分	(%)	21
	最大粒径	(mm)	2
液性限界:w_L		(%)	71.1
塑性限界:w_P		(%)	46.9
塑性指数:I_P		(%)	24.2
土質名称			シルト

作製した供試体は水中養生とし，材令 28 日目以降の供試体に対して三軸圧縮試験(圧密排気排水せん断試験)を実施した。供試体寸法は直径φ=50mm、高さ h=100mm とし、拘束圧はσ'_c=50,100,150,200,300kPa の 5 種類を選定し、ひずみ速度 0.05mm/min で軸ひずみ 15%までせん断した。

3. 気泡混合軽量土の排水せん断挙動と破壊基準の決定方法

三軸圧縮試験より得られた排気排水せん断挙動を模式的に示すと図-2(a)に示すような①初期ひずみ領域で最大応力を示した後に，軸差応力が徐々に減少していくひずみ硬化軟化型。②せん断初期に変曲点を示し，徐々に軸差応力は増加するひずみ硬化軟化型に近いひずみ硬化型。③軸ひずみの増加に伴い軸差応力が増加し，軸ひずみ εa=15%で最大応力を示すひずみ硬化型の 3 種類に分けられることが分かった。また,図-2(b)には軸差応力(q)と平均有効主応力(p')の関係を示す。図-2(a)の青線のひずみ硬化軟化型の最大と残留応力を図-2(b)の q-p'関係にプロットすると最大応力は a 点，残留応力は b 点で示される。同様に，赤線のひずみ硬化軟化型に近いひずみ硬化型の最大と残留応力は c 点，d 点で示される。また，緑線で示されるひずみ硬化型の残留応力は e 点で示される。これを整理し，最大と残留応力の破壊基準を求めると，最大応力の破壊基準は線分 A-B で示され、残留応力の破壊基準は線分 C-D で示される。

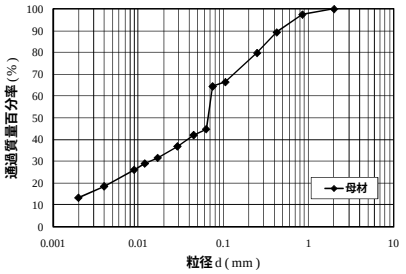

図-1 母材の粒径加積曲線

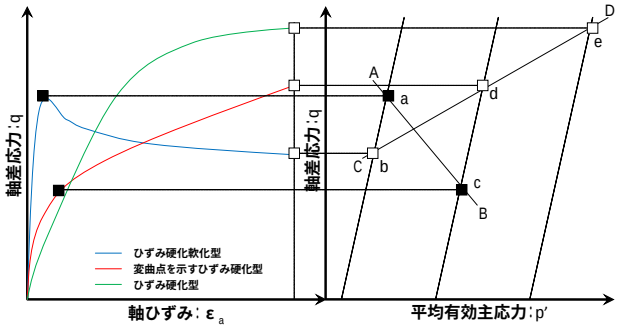

図-2 気泡混合軽量土の排気排水せん断特性

2. 破壊基準

前章の方法によって求められた各単位体積重量の最大応

キーワード：気泡混合軽量土，単位体積重量，破壊基準
連絡先：〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1　Tel. & Fax. 042-591-9649

力の破壊基準を図-3，残留応力の破壊基準を図-4 に示す。最大応力の破壊基準は，単位体積重量がγ_t=7,10,12kN/m^3 の場合，平均有効主応力が増加すると軸差応力は減少する。一方，γ_t=16kN/m^3 の場合、平均有効主応力が大きくなると軸差応力は増加する。また，破壊基準の傾きは単位体積重量が大きくなると大きくなり，γ_t=16kN/m^3 以上となると破壊基準の傾きは正の値で示される。また，残留応力の破壊基準は，γ_t=7kN/m^3 の場合，平均有効主応力が大きくなると軸差応力は減少する。一方，γ_t=10,12,16kN/m^3 の場合，平均有効主応力が大きくなると軸差応力も増加する。また，破壊基準の傾きは単位体積重量が大きくなると大きくなり，γ_t=10kN/m^3 以上となると破壊基準の傾きは正の値で示される。

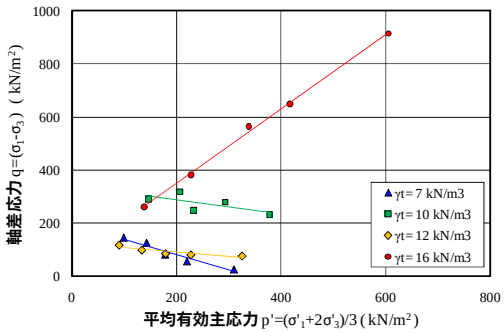

図-3 最大応力時の破壊基準

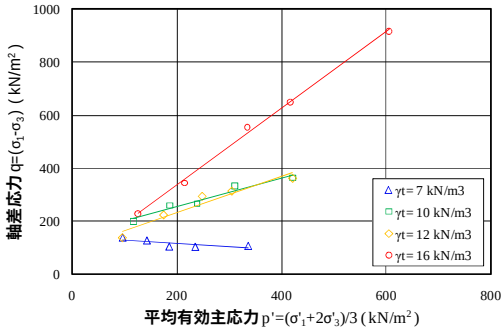

図-4 残留応力時の破壊基準

3．単位体積重量が破壊基準に及ぼす影響

破壊基準の傾き($(M)_p$,$(M)_r$)と単位体積重量(γ_t)の関係を図-5 に示す。図中には矢島ら [1),2)]の行った試験結果と近似線を破線で示している。そして，今回全ての結果から得られた$(M)_p$,$(M)_r$ とγ_t の関係は図中赤線と(1)式で表すことができる。

$$\left.\begin{aligned}(M)_p &= 0.26\gamma_t - 2.65\\ (M)_r &= 0.18\gamma_t - 1.19\end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots (1)$$

図-5 より，$(M)_p$,$(M)_r$ ともに単位体積重量が増加すると増加し，モール･クーロンの破壊基準が適用できる範囲は，最大応力ではγ_t=10.1kN/m^3 以上，残留応力ではγ_t=6.5kN/m^3 以上である。このように$(M)_p$,$(M)_r$ が負の値を示してしまうのは，単位体積重量を軽くするために気泡混入量を多くしたため，気泡混合軽量土の内部の骨格が多孔質となり，間隙比が増加するために土粒子同士の摩擦が失われたと考えられる。そこで，$(M)_p$,$(M)_r$ と初期間隙比(e_i)の関係を図-6 に示す。図中には矢島ら [1),2)]の行った試験結果と近似線を破線で示している。今回全ての結果から得られた$(M)_p$,$(M)_r$ と e_i の関係は図中赤線と(2)式で表すことができる。

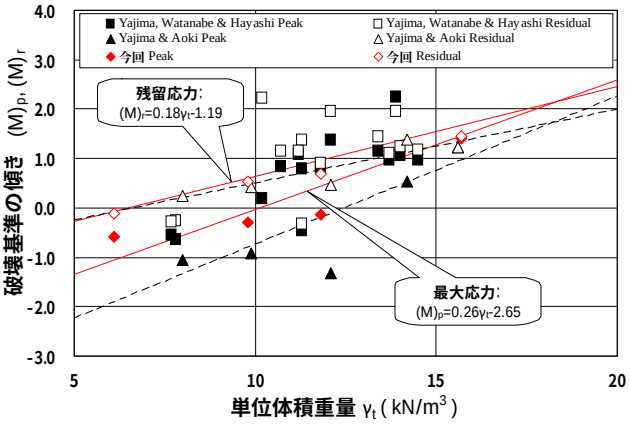

図-5 破壊基準の傾きと単位体積重量の関係

$$\left.\begin{aligned}(M)_p &= 2.47 - 0.61e_i\\ (M)_r &= 2.54 - 0.47e_i\end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots (2)$$

図-6 より，$(M)_p$,$(M)_r$ ともに初期間隙比が増加すると減少している。そして、モール・クーロンの破壊基準が適用できる範囲は，最大応力においては e_i=4.05 以下、残留応力においては e_i=5.41 以下である。

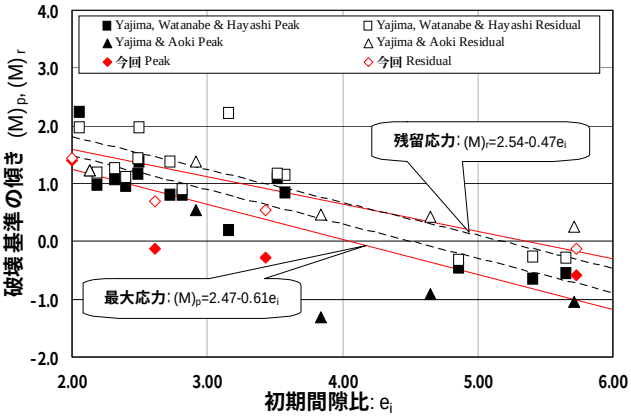

図-6 破壊基準の傾きと初期間隙比の関係

4．まとめ

(1) 排水せん断試験時のせん断挙動は，供試体条件及び試験条件により 3 種類のせん断挙動で示される。

(2) 気泡混合軽量土の単位体積重量と破壊基準の関係について検討を行い，モール・クーロンの破壊基準の適用範囲を求めることができた。しかしながら，今後もデータの蓄積を行ってゆく必要があると考えられる。

【参考文献】
1)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,pp861-862,平成 14 年 7 月.
2)矢島・青木：気泡混合軽量土の単位体積重量が破壊基準に及ぼす影響,土木学会第 61 回年次学術講演会,pp.335-336,平成 18 年 9 月