

Ⅲ－6 突固めによる粗粒土の粒子破碎に関する一考察

(株)四国総合研究所 正会員 斎藤章彦
(株)大本組 正会員○直江芳隆
愛媛大学工学部 正会員 八木則男

1. はじめに

三軸圧縮試験等により繰り返し変形特性を求める場合、通常供試体をランマー等で突固め作製する。このため、試験材料によっては突固めに伴い粒子破碎が発生し、初期粒度とは異なった粒度分布となる場合がある。特に、軟岩等粒子強度が小さく粒子破碎を起こしやすい材料では、圧密・せん断に伴う粒子破碎とも関連し、試験結果に影響を及ぼす。本報告は、突固めによる粒子破碎が締固め特性に及ぼす影響について考察したものである。

2. 試験材料および試験方法

試験材料は、現地から採取した頁岩主体の硬岩(C_M～C_H級)および軟岩(C_L級)と緑色片岩(C_L級)を母岩とする盛土用岩砕試料である。原粒度は100mm以上のものを含むため、試験粒度は最大粒径を19mmとする相似粒度とした。試験材料の粒径加積曲線を図-1に、物理特性を表-1に示す。試験は、小型自動突固め装置(モールド径10cm, 高さ12.7cm)を使用し、所定の粒度に調整した試料を5層に分けて締固めた。なお、締固めエネルギーは、1Ec=25.3cm・kgf/cm³(Modified Proctor)である。

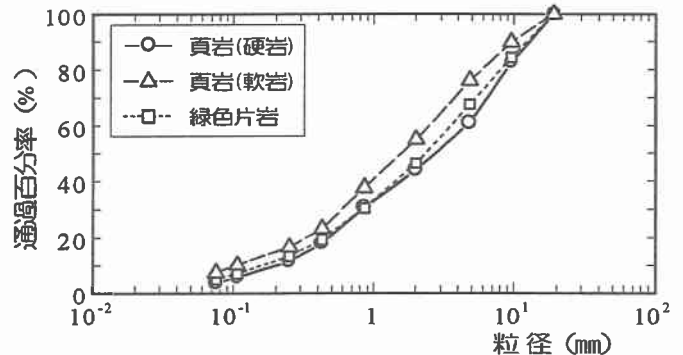


図-1 試験材料の粒径加積曲線

3. 試験結果

(1) 締固めエネルギーと乾燥密度の関係

締固めエネルギーと密度、破碎率の関係を調べるため各試料を0.5Ec, 1Ec, 3Ec, 10Ecのエネルギーで突固めた。密度は含水比の影響を受けるため、突固めは自然乾燥状態試料(気乾試料という)および最適含水比に調整した試料(最適試料という)について行った。

図-2は締固めエネルギーEcと乾燥密度の関係を示したものである。いずれの試料も締固めエネルギーの増加とともに乾燥密度は大きくなる傾向を示している。3Ecから10Ecにおける密度増加はわずかであり、10Ecではほぼ最大密度に近い状態と考えられる。また、同一エネルギーでは最適試料の方が気乾試料よりも乾燥密度が大きくなっている。

締固めエネルギーと密度の間には双曲線で近似できる関係がみられる場合がある¹⁾。

$$\rho_d = \frac{E_c}{a + bE_c} \quad (1)$$

ここに、 a , b は定数

図-2の実線および破線は(1)式によって近似したものであり、今回の試験結果は双曲線でほぼ近似できるようである。

表-1 試験材料の物理特性

試料	頁岩(硬岩)	頁岩(軟岩)	緑色片岩
土粒子比重 ρ_s	2.702	2.715	2.907
絶乾比重 D_D	2.627	2.399	2.683
表乾比重 D_s	2.642	2.482	2.863
吸水率 Q (%)	0.57	3.47	0.42
均等係数 U_c	56	48	75
自然含水比(%)	0.6	2.7	0.3
最適含水比(%)	4.7	8.7	3.9

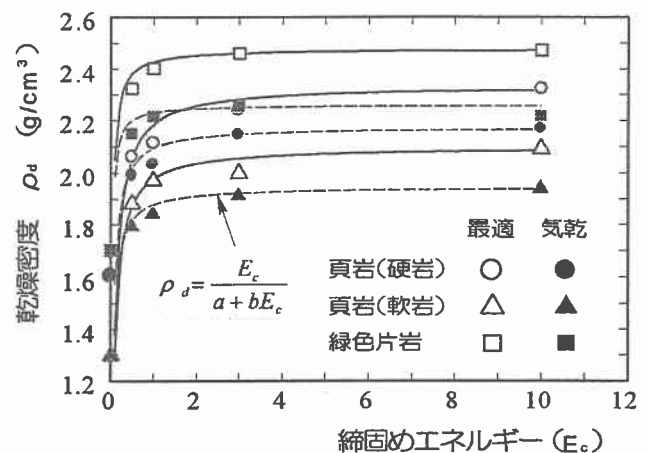


図-2 締固めエネルギーと乾燥密度の関係

(2) 締固めエネルギーと粒子破碎率の関係

締固めによる粒子破碎によって生ずる粒度変化を把握するため、突固め後ふるい分け試験を行い、粒子破碎率(B_m : Marsalの粒子破碎率²⁾)を求めた。図-3に締固めエネルギーと粒子破碎率、間隙比 e^* (粒子間隙比を用いる)の関係を示す。

締固めエネルギーの増加とともに、粒子破碎率は増加し、間隙比は減少している。すなわち、破碎により粒子が細粒化することにより、空隙が減少し、密度が増加するものと考えられる。

母岩強度の小さい軟岩、緑色片岩は硬岩に比べて粒子破碎率が大きい。また、含水比が大きい最適試料の方が気乾試料よりも破碎率が大きい。これは、粒子が濡れていれば粒子表面の摩擦が変化するに伴い粒子間のすべりやすさが変化したり、湿潤粒子の強度が気乾粒子の強度に比べて一般に低いことなど粒子破碎が生じやすく比較的締まりやすい環境が整うためと考えられる³⁾。

図-4は締固め後の間隙比と粒子破碎率の関係を示したものである。赤司⁴⁾によれば締固め後の間隙比は材質・粒度に関係なく粒子破碎と良好な相関を示すとされ、今回の結果も比較的良い相関を示している。

図-5は締固めに伴う粒度組成の変化を表したものである。破碎性の大きい軟岩では、粒子破碎による細粒化が著しい。軟岩では、粒子強度が小さいため、締固めエネルギーが小さい段階から粉碎による細粒化が進行しているものと考えられる。一方、粒子強度の大きい硬岩では、まず粒径の大きい礫の破碎が起こり、エネルギーの増加とともに裂壊、粉碎による細粒化が起きているものと推測される。

4. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下になる。

- ① 締固めエネルギーと乾燥密度の関係は、締固めエネルギーと沈下量の関係にみられるような双曲線にほぼ近似できる。
- ② 粒子破碎は含水比、粒子強度(母岩強度)の影響を受け、含水比が大きいほど、また粒子強度が小さいほど破碎しやすい。
- ③ 締固めによる密度増加は、粒子破碎によって細粒分が増加し、粒子間空隙が減少することで説明できる。
- ④ 破碎形式は、軟岩では締固め初期から粉碎による細粒化、硬岩ではまず礫の分割破碎が起こり、その後裂壊、粉碎による細粒化が進むものと推測される。

[参考文献]

- 1) 立入幹郎, 石井武美, 藤原東雄: 室内および現場における粗粒材の振動締固め実験, 土と基礎, Vol.22, No.4, pp.39-44, 1974
- 2) 土質工学会: 粗粒材料の変形と強度, pp.191-192, 1986
- 3) 粗粒材料の現場締固め: 土質工学会, pp.58-59, 1990
- 4) 赤司六哉, 江藤芳武, 平田登基男, 相場 明: ロック材料の間隙比に関する一考察, 第14回土質工学研究発表会, pp.333-336, 1979

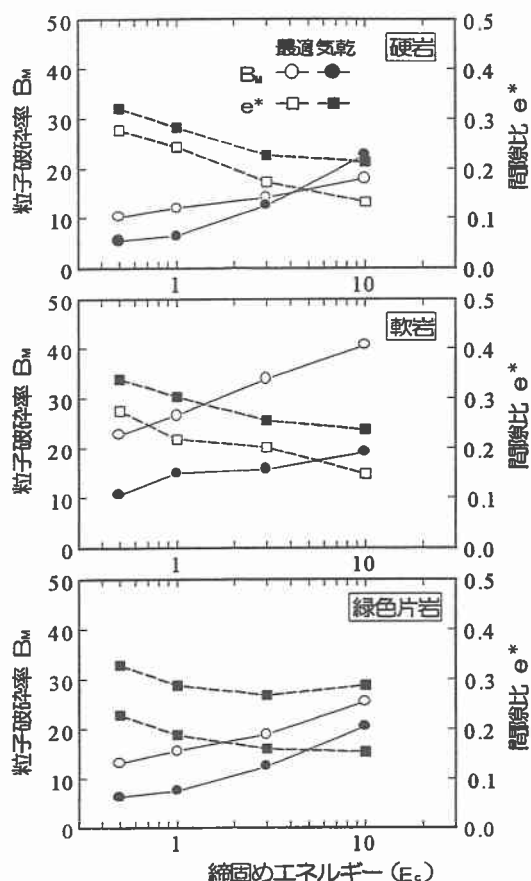


図-3 締固めエネルギーと間隙比
粒子破碎率の関係

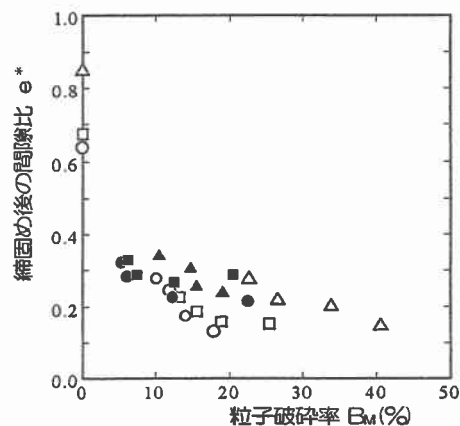


図-4 間隙比と粒子破碎率の関係

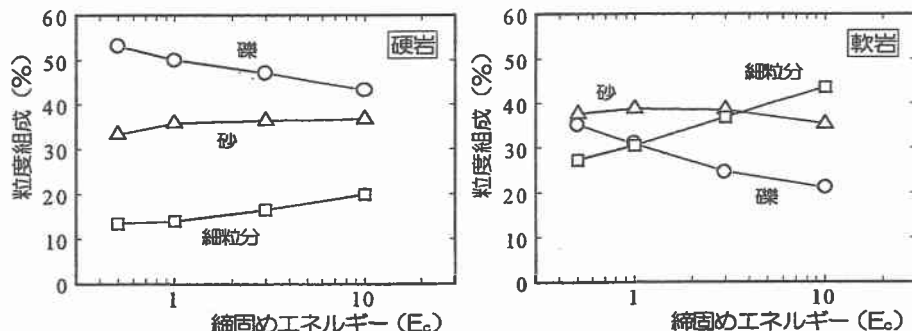


図-5 粒度組成の変化(最適試料)