

気泡土のパイプ輸送に伴う基礎実験

(株)青木建設 技術開発センター 正員 吉 田 一 男

(株)帝国建設コンサルタント 正員○宮 下 高 昭

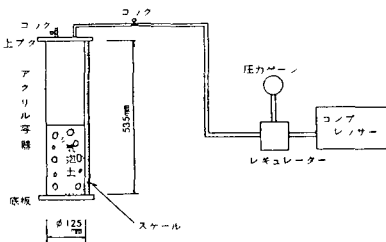
1. まえがき

気泡土とは土砂に気泡を加え混合した土で流動性に富むため、長距離のシールド・推進工事における掘削土の輸送およびダムに堆積した土砂の輸送手段として気泡土のパイプ輸送が考えられている。

気泡土のパイプ輸送は狭い箇所での設備が簡易であると同時に連続した搬送が可能となるため多量の土砂搬出ができる方法であるが搬送時の気泡土の挙動が不明確であるため基礎実験を行なった。

2. 実験概要

試料は砂・砂礫の2種類で、砂試料の物理的特性は $G_s = 2.682$ 、粒度分布は礫分21%、砂分77.2%、シルト・粘土分0.7%、最大粒径 9.52mm 、砂礫試料の物理的特性は $G_s = 2.661$ 、礫分68%、砂分31%、シルト・粘土分1%である。気泡材は石けんの泡と同様なものであるが、破壊抵抗力が強く、大気圧下で直径約 $50\mu\text{m}$ の泡の集合である。気泡土は試料と気泡を混合したもので、パイプ輸送時の圧縮性を調べるために図・1に示す圧縮変形試験装置を使用した。圧力は5分間所定の状態を保った後、 0.5kgf/cm^2 ごと増圧し、各圧力に対する体積変化を測定し、最大圧力は 4kgf/cm^2 とした。最大圧力に達した後、 0.5kgf/cm^2 ごと減圧し、各圧力に対する体積変化を測定した。圧縮変形実験前には気泡土の単位体積重量と含水比を測定した。



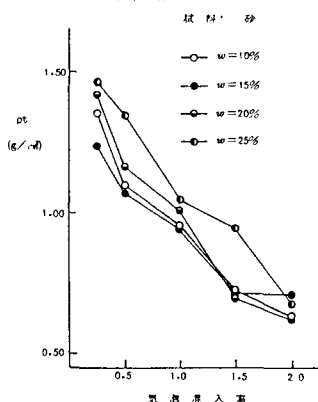
図・1 圧縮変形試験装置

3. 実験結果と考察

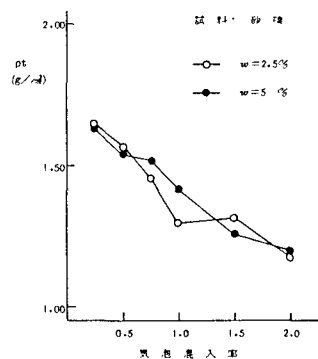
(1) 気泡土の単位体積重量

砂試料の場合、気泡土の単位体積重量は気泡混入の増加に伴い、負の一次式に乗り小さくなる傾向がみられ、特に気泡混入率が砂：気泡 = 1：1以上になると、気泡土の単位体積重量は $\rho_t < 1\text{g/cm}^3$ となり水の単位体積重量より小さくなる（図・2）。初期含水比の相違は気泡土の単位体積重量にはそれほど大きくは影響を与えていないが過飽和状態になると同量の気泡混入率であっても、単位体積重量は大きくなる傾向にある。この原因としては過飽和状態にある水が気泡を劣化させるためと考えられる。砂礫試料の場合も、気泡土の単位体積重量は気泡混入の増加にともない負の一次式に乗り小さくなる傾向はみられるが、単位体積重量は $\rho_t = 1\text{g/cm}^3$ 以下になることはできない（図・3）。

すなわち、気泡混入の増加に伴い



図・2 気泡土密度と気泡混入率



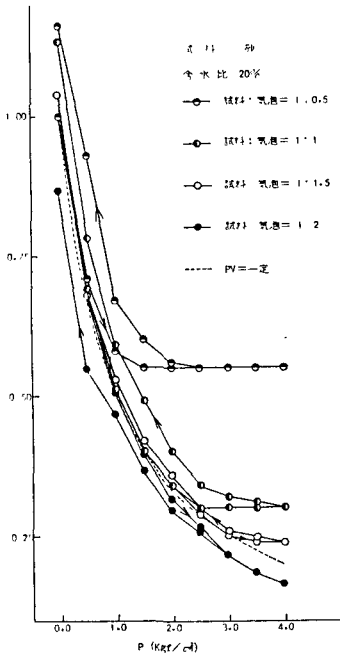
図・3 気泡土密度と気泡混入率

気泡上の単位体積重量はいずれの試料も小さくなる傾向にはあるが同量の気泡混入率であっても砂と砂礫では単位体積重量に大きな差が生じる。この原因としては砂試料の場合、単一の砂粒子は礫粒子に比較して、粒径も小さく軽量であるため、土粒子は気泡に包まれ浮上した状態下にあるのに対し、礫粒子は粗粒で重量も大きいので気泡内に浮上させることは困難となり、土粒子と気泡が分離した状態になるためと考えられる。

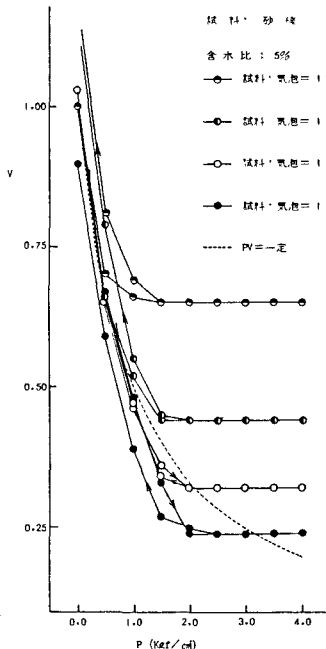
(2) 気泡土の体積変化と圧力の関係

圧力の変化による気泡土の体積変化は気泡のみの体積変化と考え、大気圧状態における気泡の体積を1とし、圧力増減時の体積変化と気泡混入率との関係を図・4, 5に示し、気泡混入率を一定にし、初期含水比を変化させた関係を図・6に示す。図中に破線で示した曲線は $PV=一定$ のボイルシャルルのカーブで下向きの矢印は増圧時、上向きの矢印は減圧時を示す。気泡土の体積変化は気泡の混入率が少ないほど小さな圧力下で体積変化は止まり、気泡の混入率が多くなるほど大きな圧力下まで体積変化を示す。すなわち、土粒子の間隙を埋める以上の気泡を混入させた場合、土粒子は浮上した状態にあり、このような条件下での体積変化は気泡土全体の体積変化となって現われるが土粒子が接触を始めると気泡土全体での体積変化は停止する。さらに圧力を増加させると気泡だけが分離した状態で体積を減少させるため間隙部分は蜂の巣構造となり、減圧時には不揃いの気泡となり体積膨張となる。

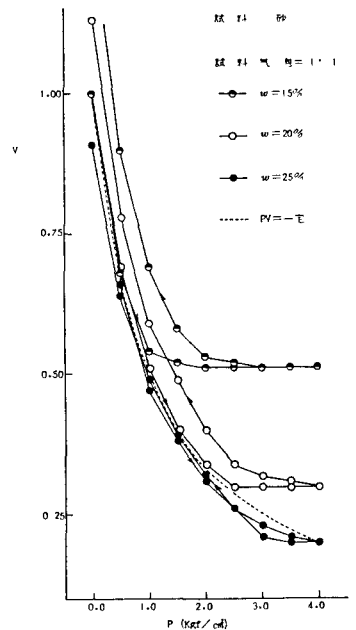
初期含水比の違いによる体積変化は含水比が高いほど大きな体積変化を示し、減圧時の気泡膨張も小さくなる。(まとめ) 気泡土のパイプ輸送は土粒子と気泡が適度に混合し、土粒子がすべて気泡によって取り囲まれ、浮上している状態が理想であるが圧送を伴う場合には気泡の圧縮性により体積が減少するため圧送圧力は $P=20\text{ kgf/cm}^2$ 以下が適当と考えられる。



図・4 気泡混入率と圧力増・減時の体積変化



図・5 気泡混入率と圧力増・減時の体積変化



図・6 含水比と圧力増・減時の体積変化