

鉛玉と砂の力学特性の比較

地域地盤環境研究所 正会員 下野段朋恵 本郷隆夫
正会員 陳国華 福田光治
山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸

1. まえがき

砂の応力～ひずみ関係では圧密降伏応力が重要な役割を担っている¹⁾が、実務的レベルでは一般に $e \sim \log p$ 曲線からこの圧密降伏応力が決められるケースも多い。しかし砂の場合は圧縮量が小さく、かつ粒子の破碎などが影響するため、構成物質の形状保持と間隙変化を前提にした応力～ひずみ関係の圧密降伏応力を $e \sim \log p$ 曲線から求めることは困難になる。圧密降伏応力の決定において精度を向上させるためには、粒子の破碎性を除去した特性を調べ、これを基準にして圧密降伏応力を決める方法も検討方法のひとつと考えられる。この破碎性を除去した特性を与えるものとして、低応力下では破碎性が考えられない鉛玉の試験が基準になる現象を示してくれることが期待される。本論文は基礎的研究の一環として、鉛玉の力学特性を調べ砂の強度・変形特性との類似性を研究した結果を示したものである。

2. 実験方法

使用した鉛玉は直径 2mm の均等な球で、表 1 に最大・最小間隙比を示す。標準砂と比較すると鉛玉の最小間隙比は類似した傾向を示したが、最大間隙比はかなり小さい値が得られた。最大間隙比の一般的な傾向²⁾から考えると試験方法の検討が必要と考えられる。力学試験は地盤工学会基準に従い、圧密排水 (CD) 三軸圧縮試験と中空円筒供試体によるねじり単純せん断試験 ($b=0.5$) を行った。なお供試体の初期間隙比を約 0.67、拘束圧は 20, 40, 80 kPa、ひずみ速度は 0.1%/min とした。

3. 鉛玉の応力～ひずみ特性

図-1 に三軸圧縮試験 (CD) と中空ねじり試験結果の応力経路を示した。この図から両試験結果におけるピーク軸差応力と平均主応力の平均的な勾配を求めると $M=0.875$ が得られる。 $\sin \phi' = 3M/(6+M)$ で求めた ϕ' は $\phi' = 22.5^\circ$ であり、砂や粘土の ϕ' に比べて小さな値が得られた。この原因として、粒子形状や粒子表面の平滑性が影響していると考えられる。図-2 は圧密排水三軸圧縮試験結果を示したものである。軸差応力のピークは軸ひずみ 2～3% 付近で生じ、その後やや軟化傾向にあるが低下量は小さい。また軸ひずみ約 15% 付近までこの緩やかな軟化傾向は維持されている。一方体積変化は収縮から膨張に転じた後はひずみの増大に伴ってひずみ～体積膨張比は減少していくものの、軸ひずみ 15% 付近まで膨張傾向が維持されている。図-3 は中空ねじりせん断試験結果である。最大応力比 q/p' は 0.8～1.1 にあり、ピーク時のせん断ひずみは圧密排水三軸圧縮試験結果とは異なり、約 10% 付近にある。また体積膨張はせん断ひずみが 20% を越えても続いているが顕著な軟化現象は示していない。図-4 は応力比～ひずみ増分比関係を示したもので、応力比は 0.9～1.1 付近で一定のままひずみ増分比は

表-1 間隙比特性

	鉛玉	豊浦砂
最小間隙比	0.645	0.640
最大間隙比	0.714	0.961

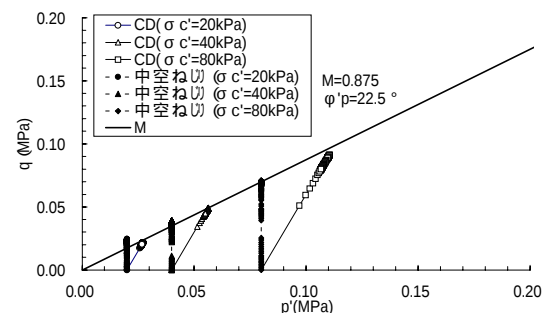


図-1 鉛玉の三軸及び中空ねじりの応力経路

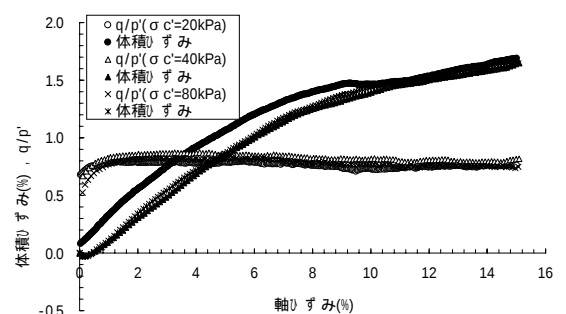


図-2 鉛玉の圧密排水三軸圧縮試験結果

小さくなっている。ピーク後の軟化量は一般的には拘束圧が大きくなれば減少量も大きいという特徴を示している

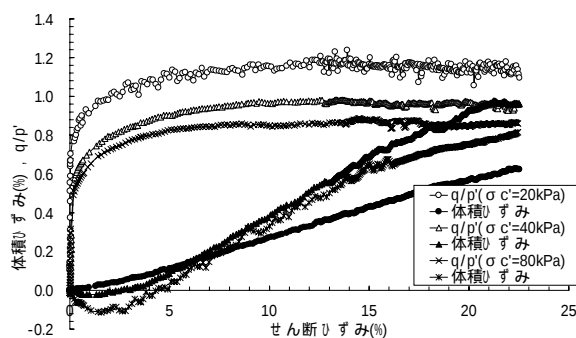


図-3 鉛玉の中空ねじりせん断試験結果

るが、鉛玉の実験ではこの減少が顕著には現れていないことが特徴である。

4. 砂の体積変化と鉛球の実験結果

図-5,6 は砂の等方圧縮試験結果を示したもので、同じ結果を応力の座標をかえて示してある。砂は異方性や破砕性の研究に用いている豊浦砂、六甲まさ土、ポートアイランドまさ土、秋穂砂及び Dogs Bay 砂^{3),4)}である。図-5 より求められる降伏応力は Dogs Bay 砂 1MPa 付近、豊浦砂 10MPa 以上、ポートアイランドまさ土は不明確である。しかし応力座標を算術グラフで示した図-6 からはかなり広い応力範囲にわたって $e \sim p$ の線形性が維持されており、降伏応力の意味が不鮮明になっていることがわかる。従って FEM 解析における弾塑性解析では、弾塑性論の概念を満足する降伏応力をいかに決めるかが重要な課題になる。この場合砂の破砕性による影響を知ることが重要と考えられる。つまり破砕性が生じない鉛玉の特性をこの破砕性の影響を調べる基準にすれば有効な情報が引き出されると期待される。

図-7 は鉛玉を用いた圧密排水三軸圧縮試験と中空ねじりせん断試験結果における体積変化と砂の等方圧縮試験結果を重ねあわせたものである。この図から 80kPa 付近までの低拘束圧下において鉛玉の圧縮特性は秋穂砂の圧縮特性に類似している。また鉛玉は 80kPa までの拘束圧下ではいずれも膨張傾向を示しており、この傾向は秋穂砂に類似している。

5. あとがき

本論文では三軸圧縮試験と中空ねじりせん断試験結果により鉛玉の力学特性を示した。低拘束圧下において鉛玉の変形特性は砂の比較的密な圧縮特性に類似していることから破砕性の研究及び降伏応力を算定する場合、破砕性が全くない特性の基準条件を与えることが期待されることがわかった。

(参考文献)1)下野段朋恵, 福田光治, 中田幸男, 兵動正幸 (2000): $e \sim C_c$ 図を用いた砂と粘土の圧縮性の比較, 第 35 回地盤工学研究発表会 (投稿中), 2)中島伸一ら(1994): 大阪湾埋立材の密度変化と粒度, 第 29 回土質工学研究発表会講演集, pp.2079-2080, 3)下野段朋恵, 中田幸男, 兵動正幸ら(1999): カーボネイト砂のせん断挙動に与える拘束圧の影響, 第 34 回地盤工学研究発表会講演集, pp.431-432, 4)下野段朋恵, 中田幸男, 兵動正幸ら(1999): 主応力方向の違いが砂の排水せん断強度に与える影響, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集 3-A, pp.18-19

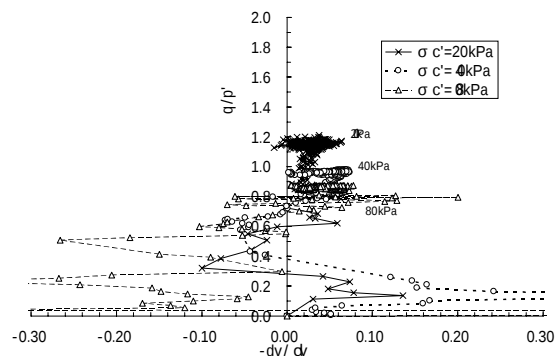


図-4 鉛玉の応力比-ひずみ増分比関係

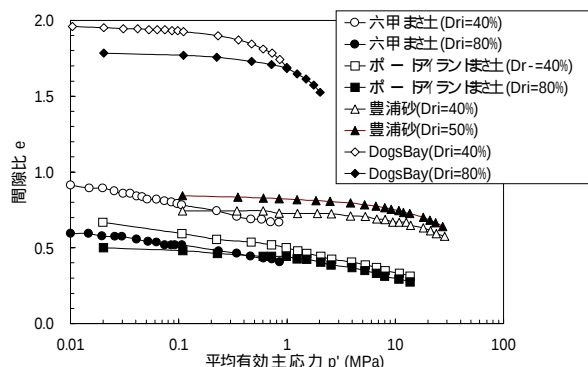


図-5 砂の等方圧縮特性(1)

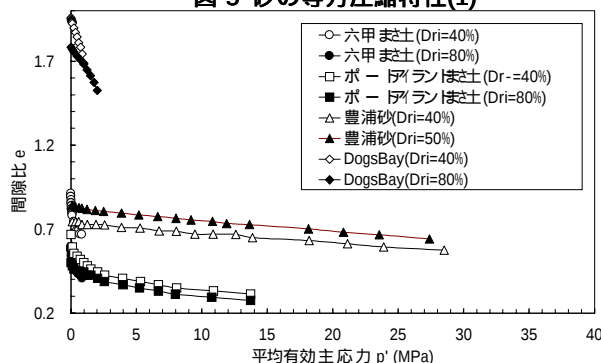


図-6 砂の等方圧縮特性(2)

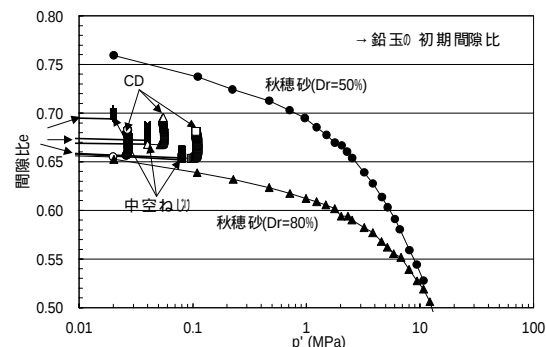


図-7 鉛玉実験における体積膨張と砂の圧縮性