三軸圧縮試験装置による内部侵食時の供試体変形と浸透流速の評価

東京大学生産技術研究所 正会員 〇佐藤 真理 東京大学生産技術研究所 正会員 桑野 玲子

1. はじめに

地盤内での内部侵食は地中の水の浸透により発生すると考えられており、粒度の良い地盤においては細粒分が卓越 して流出すると予想される。大規模に発生すればパイピングや地盤陥没など侵食そのものによる土砂災害が発生す るものの、一見すると変化が分からないような少量の侵食が地盤に与える影響は殆ど明らかになっていない。本研 究では三軸圧縮試験供試体内で侵食を発生させる装置を新たに開発し、少量の侵食による地盤変形や侵食が浸透流 速に及ぼす影響を明らかにした。

2. 実験装置·手順¹⁾

装置は通常の三軸圧縮試験装置を改良したものであり、底板と上板は 5mm 径の穴が 52 個空いており土砂の流出が 可能となっている。装置模式図を図1に示す。また上部キャップと下部ペデスタル内には土砂受けが設置されてお り、土砂が集められ排出される。土砂の排出と十分な浸透量確保のためにチューブは 8mm 径のものを用いている。 供試体の大きさは直径 7.5cm、高さ 16cm である。水タンクは上部キャップに接続する「上部水タンク」と底部ペ デスタルに接続する「下部水タンク」の 2 個を用いている。どちらもタンク上部にロードセルを取り付ける事によ り、重量の変化を実験中計測できる。供試体には図 2 に示すような位置に 4 個の LDT と 3 個のクリップゲージ(CG) を設置した。LDT と CG によって、実験中の軸ひずみ、水平ひずみ、体積ひずみを計測している供試体内は後述す る浸透流発生中以外は大気圧状態に開放されており、拘束圧は載荷軸上のロードセルと高差圧計(HCDPT)によりセ ル圧で調整されている。

実験手順は、通常の三軸試験と同様最適含水比付近による 1cm 層毎の湿潤突固めにより供試体を作成後、セル圧を かけ 25kPa の等方応力状態とした。このセル圧はせん断終了時まで一定で維持されている。その後含水比を上昇さ せるために下部水タンクを下部ペデスタルと接続しタンク水位を供試体上端面と同程度の高さに引き上げて一日放 置した。水浸後は上部下部水タンクをそれぞれ上部キャップと底部ペデスタルに接続し、下部水タンクに負圧 (-75kPa)を与える事で下向き浸透流を発生させ、水と土砂を下部水タンクに集めた。下向き浸透流は基本的に下部 水タンクがほぼ一杯になった時点で終了し(1.5L 程度)、一部の条件では 2 倍の水を流した。その後 0.055%/min.で 排水せん断を行った。せん断中挙動については佐藤ら(2014)¹⁾参照。



3. 実験材料、条件 1)

実験材料は江戸崎砂(pdmax=1.76g/cm³, wopt=14.2%, ps=2.705g/cm³, emin= 0.868, emax = 1.383)を用いた。江戸崎砂 の粒度を図3に示す。図3より、江戸崎砂は細粒分を20%程度含む砂であり、Kenny et al.(1985)²⁰の示す"内部 侵食が起こりうる材料の粒度分布の条件"を満たしている。実験条件は侵食量を変化させた。侵食量は底面フィル ター材と水の浸透流量によって調整されており、全てのケースで同一動水勾配の下向き浸透流を与えている。例え ば底面フィルター材が濾紙や布地であった場合侵食は発生せず、メッシュ径が大きくなる程侵食量が多くなる。本 研究では"侵食率"(=排出土砂の乾燥重量/供試体初期状態乾燥重量)のパラメータを用いた。侵食率は最大1%程度

キーワード	内部侵食,三軸圧縮試験,浸透,変形		
連絡先	〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 Bw304	東京大学生産技術研究所	TEL03-5452-6845

となっている。締固め度は水浸後、侵食前の状態で高密度条件では約87%、低密 度条件では約82%でほぼ同一となっており、この値は初期状態から水浸による体 積変化を考慮して補正した値となっている。

4. 実験結果

4.1 侵食によるひずみ変化測定結果

侵食前後での軸ひずみ、水平ひずみ、体積ひずみの変化と侵食率との関係を図4 ~図6に示す。なお上部軸ひずみは図2のLDT1とLDT3の平均により算出され、 下部軸ひずみはLDT2とLDT4の平均により算出されている。上部水平ひずみは CG1、中部水平ひずみはCG2、下部水平ひずみはCG3により算出された値であ

る。上/下部体積ひずみは上/下部軸ひずみと上/下部水平ひずみから計算している。軸ひずみは水平ひずみや体積ひ ずみに比べ小さな値となっており、上部軸ひずみは侵食率が増加するに従い若干膨張する傾向があり、下部は侵食 率の増加に比例して僅かに圧縮する傾向があった。また水平ひずみは下部において侵食率に比例して圧縮が進んだ 一方、上部では侵食による変化が殆どみられなかった。平均すると侵食にともなってやや圧縮が進む傾向であった。 体積ひずみも水平ひずみと類似しており、侵食にともない特に下部において侵食率以上に圧縮される結果となった。 平均すると侵食率の5割程度圧縮された。高密度条件と低密度条件でひずみ傾向の違いは見られなかった。



4.2 侵食率と間隙内流入・流出速度

侵食率と侵食中の水の間隙内流入・流出速度の関係性を図 7に示す。底面メッシュ、浸透流量条件を各点の横に示す。 高密度条件よりも低密度条件の方が流入流出速度が大きい 結果となった。また流入速度が流出速度を若干上回るのは、 供試体が完全飽和でない為である。図7よりメッシュ径が 大きくなるほど侵食率は大きくなる一方、流入・流出速度 は高密度条件、低密度条件ともに 0.05mm 径メッシュで最 大となり、その後メッシュ径が大きくなると(侵食率が増 加すると)流入・流出速度が減少していく傾向があった。



100

80

60

40

20

1E-3

0.01

0.1

粒径(mm)

図3 江戸崎砂粒度分布

10

通過試料百分率(%)

5. 考察とまとめ

本研究の考察とまとめを以下に示す。

- 侵食により下部では侵食率に比例して圧縮されたが、上部では殆ど圧縮されなかった。これは近藤ら(2013)³ が指摘するように供試体内で侵食が不均質であり、特に流出面に近い下部で侵食量が多い可能性が考えられる。
 下部では侵食量以上に圧縮がみられるため、インターロッキングが起きている事も示唆される。
- 軸ひずみと水平ひずみで異方性がみられたが、これは浸透流方向が鉛直方向であった事の影響や突固めで供試体を作成した時に異方性が出来た事による影響の可能性が考えられる。
- 侵食中の水の流入・流出速度は同一動水勾配条件でも侵食量により変化した。侵食量が大きくなると速度が減 少する傾向があった。底面付近でのアーチングや目詰まりが起きている可能性がある。

参考文献:1) 佐藤真理, 桑野玲子,"三軸試験装置による内部侵食が強度変形特性に与える影響の定量的評価",第49 回地盤工学研究発表会,小倉,2014,印刷中.2) Kenny,T.C. and Lau.D., "Internal Stability of granular filters." Canadian Geotechnical Jornal, Vol.22, pp.215-225, 1985.3) 近藤明彦,前田健一,山田高弘, "土の粒度形状と間 隙構造に着目した出砂に対する安定性",第5回メタンハイドレート総合シンポジウム講演集, pp.28-35, 東京, 2013.