

Ⅲ - A59

「分岐」挙動から見た正規圧密粘土 3 軸供試体の部分排水「強度」の一考察

東京ガス 正会員 浜田 重誠
名古屋大学工学部 正会員 浅岡 顕・中野 正樹・野田 利弘
名古屋大学大学院 学生会員 金田 一広

1. はじめに

部分排水試験を行うと、「強度」は軸ひずみ速度によって変化する。正規圧密粘土 3 軸供試体では、遅い軸ひずみ速度の方が速い場合に比べて強くなる。通常この「強度」差は、排水量の違いによって説明される。つまり、遅い軸ひずみ速度でせん断すれば、十分排水が起こり土骨格の圧縮に伴う硬化によって「強度」は大きくなる。逆に、排水ができないほど速い場合は、「強度」は小さい。このように「強度」が排水量だけで決定されるならば、部分排水「強度」は軸ひずみ速度に対して連続的に変化するものと考えられる。ところが、詳細な室内 3 軸試験を行うと「強度」は軸ひずみ速度に対して必ずしも連続的ではない。そこで、この「強度」の「不連続性」を、詳細な室内 3 軸試験と水～土連成有限変形計算より調べたので報告する。

2. 実験結果の破壊モード

Fig. 1 は、3 軸圧縮試験機を用いて、飽和した練り返し川崎正規圧密粘土供試体を上下端で排水を許し（部分排水条件）、側圧一定（294kPa）下で数種類の定率荷重速度を与えた時の「強度」をプロットしたものである。「強度」の変化は、一義的には排水量に起因するものであると考えられるが、Fig. 2 が示すように載荷速度により 4 つの変形・破壊モードに分類でき、「強度」が必ずしも Fig. 1 の「S 字カーブ」のように滑らかでない。この実験結果から、水の移動による排水量と変形・破壊モードの違いが部分排水試験の「強度」に影響をおよぼすものと考えられる。以下に、初期不整を忍ばせた平面ひずみ矩形供試体の「分岐」挙動と土骨格の接線剛性マトリクスの固有値を調べることで、「強度」の不連続性を考察する。

3. 軸ひずみ速度の違いによる「分岐」挙動

載荷速度に起因した変形・破壊モードの違いによって「強度」の不連続性を、カムクレイモデルを用いた水～土連成有限変形計算によって示す。用いた材料定数は Table. 1 に示す。計算は、上下端排水・側面非排水の平面ひずみ矩形供試体（幅 12cm×高さ 36cm）に対し、供試体側面に振幅のごく小さな余弦カーブを初期不整として与えて変位制御で行う。実験で使われる供試体は、複雑な幾何学的初期不整が存在すると考えられるので、ここでは Fig. 3 に示すような 2 次（半周期）と 3 次（3/4 周期）

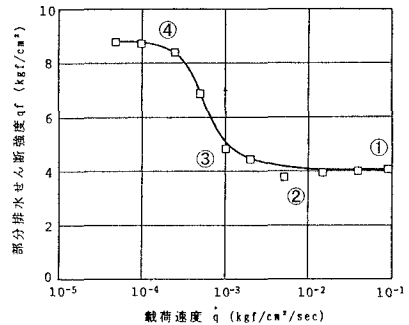


Fig.1 「強度」～載荷速度関係

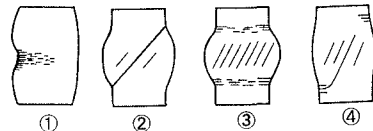


Fig.2 破壊形状

Table.1	材料定数
圧縮指数 λ	0.131
膨張指数 κ	0.016
限界状態定数 M	1.530
初期比体積 $v_0=1+e_0$	1.830
初期圧密応力 p'_0 (kPa)	294.0
透水係数 k (cm/sec)	3.7×10^{-8}

Table.2	軸ひずみ速度
軸ひずみ速度 (%/min)	TEST 名
9.12×10^0	TEST1
9.12×10^{-2}	TEST2
1.824×10^{-2}	TEST3
9.12×10^{-3}	TEST4



Fig.3 初期不整

の幾何学的不整を合成させた初期 2+3 次不整を用いた。なお、初期不整のない供試体を以下完全供試体と呼ぶが、この場合載荷速度に伴う排水量に応じて供試体が示す経路は異なり「強度」が連続となる。ここでは言葉の定義として、初期不整を忍ばせた供試体の経路が同じ軸ひずみで完全供試体の経路から外れる場合を「分岐」、さらに軸差応力にピークがある場合を「破壊」、また供試体の「強度」は「破壊」する時はその軸差応力、「破壊」しない場合は軸ひずみ 7.6%の軸差応力と呼ぶことにする。以下では Table. 2 の軸ひずみ速度を取り上げて説明する。2+3 次の初期不整を忍ばせた結果、軸ひずみ速度によって次の①～③の 3 種類の「分岐」挙動が見られる。

①: Test1 の「分岐」挙動を Fig. 4 に示す。Test2 でも同様の傾向が見られる。軸ひずみ 1.5%付近で 1 次モー

キーワード: 部分排水試験、強度、分岐、水～土連成、3 軸圧縮試験、有限変形解析

連絡先: 〒464-8603 名古屋市千種区不老町名古屋大学工学部 TEL:052-789-4622 FAX:052-789-4624

ドに「分岐」し、その直後に「破壊」（ピークを示）している。このため「強度」は完全供試体の「強度」に比べて非常に小さくなる。Fig. 5 は Test1 の軸ひずみ 7.6%におけるせん断ひずみ分布であるが、卓越したせん断面が供試体右上から左下にかけて入っていることが分かる。②：Test3 の「分岐」挙動を Fig. 6 に示す。①の「分岐」挙動に比べて大きな軸ひずみ 3.5%付近で1次モードに「分岐」するが、「破壊」には至らない。「強度」は完全供試体の「強度」に比べて少し小さくなる。Fig. 7 は Test1 の軸ひずみ 7.6%におけるせん断ひずみ分布であるが、せん断ひずみが供試体中央部に局所化している。③：Test4 の挙動を Fig. 8 に示す。初期不整を忍ばせた供試体にもかかわらず「分岐」しない。この軸ひずみ速度よりも遅い載荷の場合供試体は「分岐」を示さない。「強度」は完全供試体の「強度」に等しい。Fig. 9 は Test4 の軸ひずみ 7.6%におけるせん断ひずみ分布であるが、せん断ひずみの局所化が現れない。

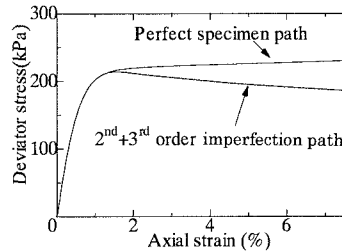


Fig. 4 軸差応力～軸ひずみ関係

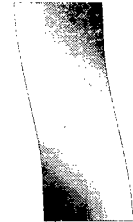


Fig. 5 せん断ひずみ分布

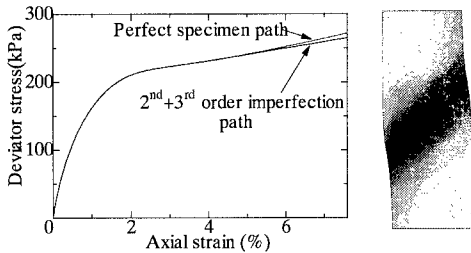


Fig. 7 せん断

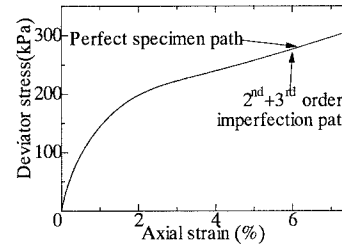


Fig. 9 せん断ひずみ分布

Fig. 6 軸差応力～軸ひずみ関係

ひずみ分布

Fig. 8 軸差応力～軸ひずみ関係

以上より、Fig. 10 は、初期2+3次不整を忍ばせた平面ひずみ供試体の「強度」をプロットしたものである。他の軸ひずみ速度についても同時に示している。軸ひずみ速度によって「分岐」挙動が異なり、①と②、②と③の間が不連続になる。またここでは示さないが初期不整の入れ方、大きさに応じてこの敷居線は左右に移動する。

4. 土骨格の接線剛性マトリックスの固有値解析

各軸ひずみ速度について、土骨格の接線剛性マトリックスの固有値を調べ小さいものから順に $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ として、固有値～軸ひずみの関係を Fig. 11～14 に示す。 λ_1 に対する固有ベクトルはいずれも1次モード（非対称1/4周期）であり λ_2 の場合は2次モード（非対称半周期）であった。軸ひずみ速度が遅い場合に対応してゼロとなる固有値の存在個数が減少する。

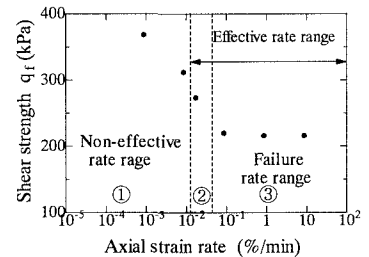


Fig. 10 強度～軸ひずみ速度関係

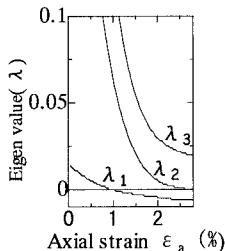


Fig. 11 Test1

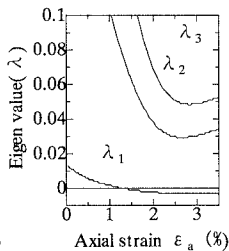


Fig. 12 Test2

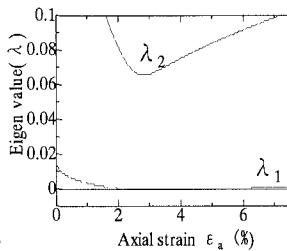


Fig. 13 Test3

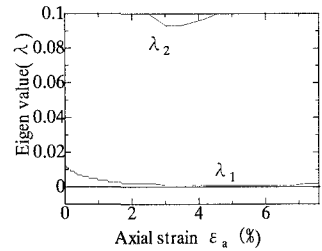


Fig. 14 Test4

4. おわりに

固有値～軸ひずみ関係

部分排水条件における正規圧密粘土の「強度」は排水量によって一義的に決定されず、載荷速度によって変化する変形・破壊モードによっても影響を受け不連続になる。

〈参考文献〉Asaoka and Noda(1995): "Imperfection-sensitive bifurcation of", S & F.