

三軸試験におけるシルト質砂の強度評価における載荷速度の影響

河川堤防, シルト質砂, 載荷速度

名城大学 国際会員 小高猛司
名城大学 国際会員 板橋一雄
名城大学大学院 学生会員 ○岸 賢吾
市川工務店 (元名城大学学生) 坂井田旭秀
建設技術研究所 国際会員 李 圭太

1. はじめに

河川堤防の詳細点検における浸透時のすべり破壊に対する検討においては, 浸透解析によって浸潤面を設定した後に, 全応力法の円弧すべり解析が通常用いられる。この際の強度定数の特定には全応力解析を念頭において, 粘性土であれば UU 試験, 砂や砂礫材料であれば CU 試験の結果が用いられる¹⁾。現地の浚渫土が多用される河川堤防の構成材料にはシルトなどの細粒分が多く含まれる土も多く, それらの土では粘土と砂の両方の特徴を併せ持つ中間土のな性質を有する場合がある。本報では, 現地堤防で採取した細粒分 50%以下のシルト質砂を用いて種々の載荷速度で CU 三軸試験を実施し, シルト質砂のせん断特性に及ぼす載荷速度の影響を調べるとともに, 中間土の強度定数の特定に通常用いられる CU 条件での試験結果の解釈について考察を行った。

2. 供試体の作製方法および試験手順

実際の堤防で採取したシルト質砂を, 現地の湿潤密度にあわせるように湿潤状態のまま突固めて, 直径 5cm, 高さ 10cm の再構成の供試体を作製した。図 1 に供試体の粒度分布を示し, 表 1 に各実験ケースにおける供試体の乾燥密度を示す。含水比を揃えた上で, すべて同一方法で供試体を作製したが, 表に示すように供試体ごとに乾燥密度のバラツキが生じている。供試体は三軸セルに設置して二重負圧法により飽和化を行った後, 所定の有効拘束圧 (50, 100, 200kPa) で圧密してから, ひずみ速度 0.1%/min および 1%/min の 2 種類で非排水せん断を行った。

3. 試験結果

図 2 および図 3 にすべての試験の応力～ひずみ関係および有効応力経路をそれぞれ示す。図 2 の応力～ひずみ関係において 3 種類の初期有効拘束圧ごとに比較すると, いずれの拘束圧においても, 載荷速度の大きい実験ケースの方が, 同じ軸ひずみレベルでは軸差応力が大きくなっており, せん断強度に載荷速度の影響が現れている。特に軸ひずみレベルが大きくなるせん断後半にその傾向が顕著になり, 逆にせん断初期の弾性領域に近いところでは大きな差は生じていないことがわかる。図 3 の有効応力経路においても拘束圧ごとに比較をすると, 同じ軸差応力で見れば, 載荷速度が小さい方がより過剰間隙水圧の発生量が大きく, 有効応力の減少量は大きい。すべての実験ケースにおいて, 有効応力はせん断初期に一旦減少した後に, 再び増加に転じており, ダイレイタンシーの傾向が圧縮から膨張へ変わってゆく

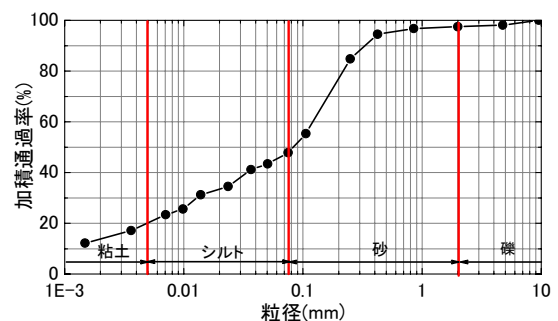


図 1 各供試体の粒度分布

表 1 各実験ケースの供試体の諸元

実験 Case	A	B	C	D	E	F
載荷速度	0.1 (%/min)			1 (%/min)		
有効拘束圧 (kPa)	50	100	200	50	100	200
乾燥密度 (g/cm ³)	1.432	1.480	1.438	1.451	1.473	1.433

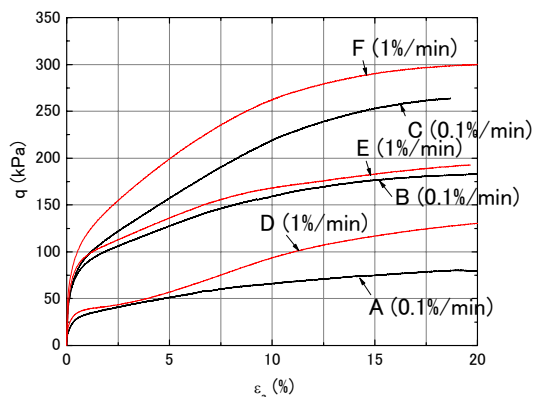


図 2 応力～ひずみ関係

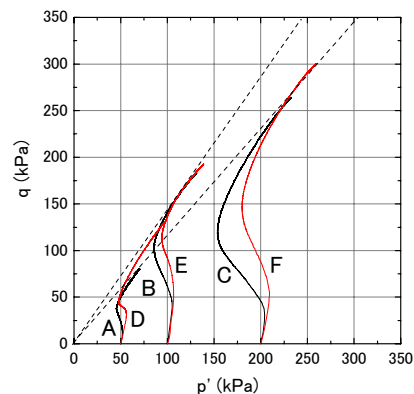


図 3 有効応力経路

ことがわかる。この正のダイレイタンスに起因する軸差応力の増大は、程度に差はあるものの比較的粗いシルトや砂分を多く含む土の非排水せん断時の特徴的な性質である。一方、破壊線の傾き（破壊時の応力比）は各実験ケースによって異なるものの、大別して2つに分かれる。この破壊線の傾きの違いは供試体の密度のパラツキにも関係していると思われ、表1に示す乾燥密度が比較的大きい Case B, D, E において破壊線の傾きが大きくなっている。Case B と E ならびに Case C と F を比較する限り、載荷速度は破壊線の傾きに大きな影響は与えていない。しかしながら、超過圧密粘土等は、載荷速度に応じて破壊線を含めた有効応力経路が大きく異なることも知られており、Case A と D の破壊線の相違は、供試体密度の相違だけによるものか、載荷速度の相違の影響もあるのか簡単には判断できない。

次に、載荷速度が強度定数の算定に及ぼす影響について考察する。図4ならびに図5にそれぞれ全応力ならびに有効応力で整理したモール・クーロンの破壊規準を載荷速度ごとに示す。なお、軸差応力はピーク強度を持たずに単調増加していることから、モールの応力円は軸ひずみ15%時の応力状態を用いて描いている。

図4の全応力のモール・クーロンの破壊規準を見ると、載荷速度の大きい方が軸差応力が大きくなることを反映して、モールの応力円も大きくなっている。そのため、内部摩擦角はいずれの場合もほぼ同じであるが、粘着力は載荷速度の大きい場合の方が大きくなる。このように、載荷速度の増大にしたがって軸差応力が大きくなる地盤材料であれば、全応力で整理する限りは載荷速度の増加につれて多少なりとも粘着力の増大が見込まれる。河川堤防の法面すべり破壊の検討では、小さな拘束圧レベルでのせん断強度が特に重要となるため、たとえ小さな粘着力であっても円弧すべり解析の結果に与える影響は大きい。実務で用いられる CU 試験では載荷速度は 1%/min が用いられるが、その際には粘着力が若干大きめに見積もられている可能性があることに注意する必要がある。

図5に示すように有効応力で整理した場合には、図3に示した有効応力空間上の破壊線と同様の傾向となり、載荷速度の相違よりも供試体密度のパラツキの影響の方が大きく、 $c'=0$ と仮定すれば、密度の違いで大別できる Case A, C, F と Case B, D, E で2つの内部摩擦角のグループに分かれる。いずれにせよ、図3の有効応力経路に示すように、このシルト質砂は非排水状態におけるせん断強度は、正のダイレイタンスを拘束することによって発揮されるものであり、実際の河川堤防のように不完全な非排水条件の下では、ここまで大きなせん断強度は期待できないことに注意しなければならない。また、破壊時の応力比、すなわち図5に示す内部摩擦角は、排水条件であればピーク強度から算定されるものに対応しており、この意味でも内部摩擦角が大きめの見積り値であることを認識する必要がある。

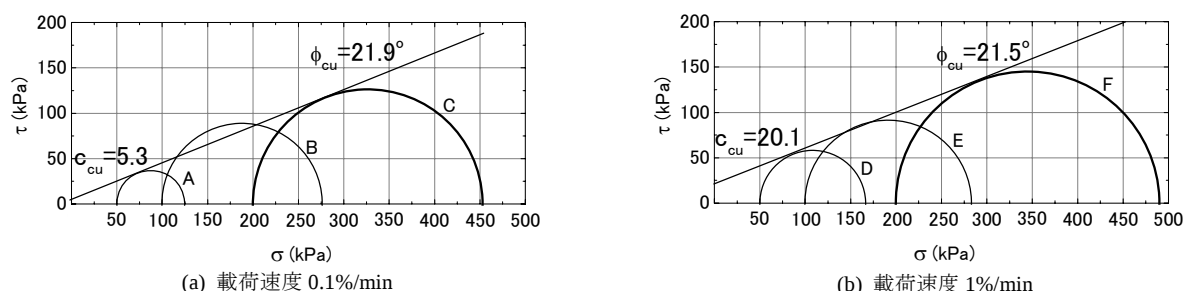


図4 全応力で整理したモール・クーロンの破壊規準

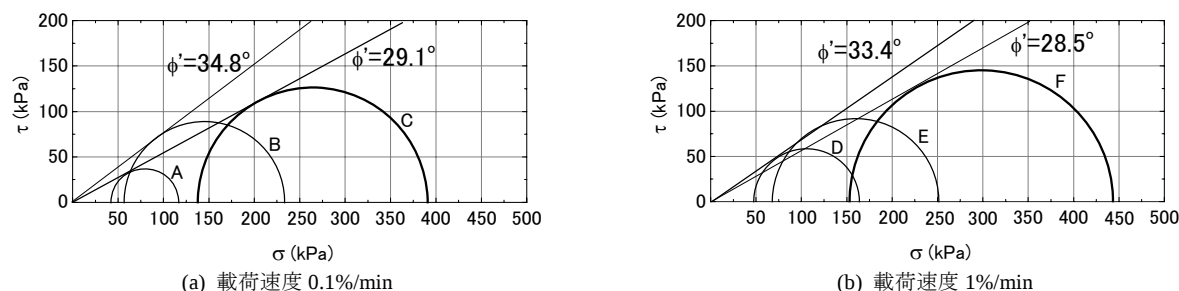


図5 有効応力で整理したモール・クーロンの破壊規準

4. まとめ

シルト質砂の強度評価に載荷速度が及ぼす影響について検討を行った。全応力で整理する場合、載荷速度が大きいほど粘着力が大きくなることがわかった。特に、実務で多用される CU 試験は大きな載荷速度で実施されるため、それで得られる内部摩擦角は比較的大きな値が見積もられていることを注意すべきである。一方、有効応力で整理する場合には、供試体密度のパラツキの影響が試験結果に大きく現れるため、静的締固め等によって供試体を作製し、より緻密な試験を行って検討する必要がある。いずれにしても過剰間隙水圧を考慮しない CU 試験では、対象とする地盤材料の正確なせん断挙動をほとんど検討しないために、試験結果の取扱を誤る可能性もあるので注意が必要である。

参考文献：1) (財)国土技術研究センター：河川構造の構造検討の手引き，2002.