

室内試験で得られる強度定数の違いが河川堤防の安定性評価に及ぼす影響

名城大学大学院

学生会員 ○森 涼香

名城大学

正会員

小高猛司・板橋一雄

大日コンサルタント（元名城大院）正会員

牧田祐輝

1. はじめに

河川堤防の詳細点検において、浸透時のすべり破壊に対する安定性検討は、全応力法の円弧すべり解析が用いられる。その際に使用する強度定数は、主に三軸試験によって求められるが、細粒分から礫分まで広範な粒度の土で構成された堤防土の場合、粒度調整法や試験条件の設定に十分な注意を払う必要がある。小高ら¹⁾は大型および小型三軸試験を実施し、供試体寸法、供試体密度、排水条件が河川堤防砂礫の力学特性に及ぼす影響を検討するとともに、それぞれの試験条件によって得られた強度定数に大きな違いが生じることを示した。本報では、それらの強度定数を用いて、モデル堤防に対して円弧すべり解析を実施することにより、三軸試験の各種試験条件が、河川堤防の安定性評価に及ぼす影響について検討を行った。

2. 三軸試験で求められる強度定数¹⁾

試験には、小鴨川の河川堤防から採取した砂礫を用いた。大型三軸では、自然乾燥状態の原粒度試料を気中落下させることにより、乾燥密度 1.70 と 1.80g/cm^3 （それぞれ、締固め度 $D=85$ と 90% に相当）の供試体を作製した。小型三軸では、 9.5mm 以下の粒径に粒度調整したせん断頭粒度試料を用いた。含水比 14% の湿潤試料をモールド内で軽く締固め、上記の乾燥密度に加えて、乾燥密度 1.60g/cm^3 ($D=80\%$)の供試体も作製した。大型、小型いずれの試験でも、二重負圧法による飽和化後、初期有効拘束圧 50 , 100 および 200kPa における $\overline{\text{CU}}$ および $\overline{\text{CD}}$ 試験を実施した。

図 1 に試験結果を示す。CD 試験の結果は、大型、小型で大きな差が生じなかったため、小型のみの結果を示している。 $\overline{\text{CU}}$ 試験では、いずれの締固め度 D においても、せん断初期において大型試験の方が大きく塑性圧縮している。 $D=90\%$ では大型、小型ともに正のダイレイタンスの発現が見られるが、 $D=85\%$ ではその度合いは小さくなり、大型においては正のダイレイタンスの発現は見られない。破壊応力比は大型と小型で差が生じており、 $D=90\%$ では 0.2 程度の差であるが、 $D=85\%$ では 0.6 程度の大きな差となる。以上の結果から、締固め度 D の試験であっても、大型供試体の方がゆる詰傾向が顕著に現れることが明らかとなり、粒度調整試料した小型三軸試験では、原粒度の大型三軸試験と同じ結果を得ることはできないことがわかる。表 1 は一連の試験から求められる内部摩擦角と粘着力の値である。せん断中に排水を許す CD 試験による ϕ_d は最も大きく、かつ供試体寸法や供試体密度の影響が小さい。 $\overline{\text{CU}}$ 試験を有効応力で整理した ϕ' は図 1 の $\overline{\text{CU}}$ 試験の破壊応力比の関係を反映している。 $\overline{\text{CU}}$ 試験を全応力で整理して求めた ϕ_{cu} は、 $D=85\%$ の小型三軸試験を除いて全体的に小さな値となっている。 $D=90\%$ では、大型と小型いずれの ϕ_{cu} は小さいものの、比較的大きな粘着力 c_{cu} が発生している。

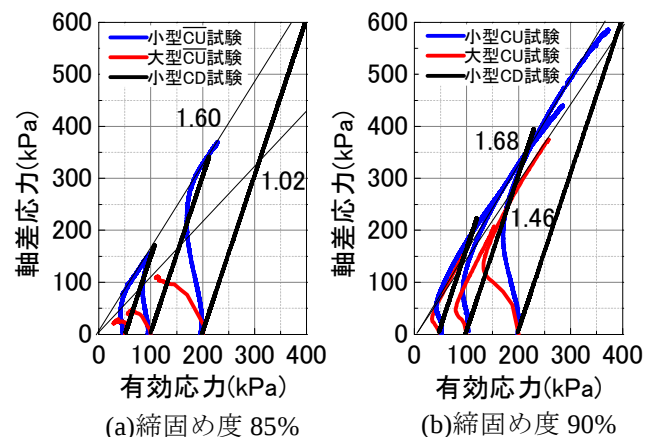


図 1 三軸試験結果

表 1 内部摩擦角と粘着力

締固め度		ϕ_{cu} (°)	c_{cu} (kPa)	ϕ' (°)	ϕ_d (°)
90%	大型	22.5	39.1	35.3	42.1
	小型	24.5	115	41.1	41.7
85%	大型	12.1	0	24.7	40.9
	小型	30.6	0	40.6	39.0
80%	小型	15.1	0	32.7	35.6

キーワード: 河川堤防 砂礫 三軸試験 安定解析

連絡先: 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部建設システム工学科 Tel 052-838-2347

3. 慣用円弧すべり解析によるモデル堤防の安定性評価

図1にモデル堤防を示す。深さ10mの基礎地盤上に、堤体高5m、天端5m、堤防敷29m（法勾配2割4分）の堤防とした。すべり解析に先立って実施する飽和－不飽和浸透流解析では、不飽和特性等の土質パラメータから降雨強度や河川水位変動等の外力に至るまで、「河川堤防の構造検討の手引き²⁾」（以下、「手引き」と略す）に示されている砂礫堤防の詳細点検で用いる標準的な値や条件を使用した。ただし、浸透流解析は堤防内の浸潤面を求める役割を担っており、河川水位が上昇して十分に時間が経過した後の安定性を評価する上では、浸透流解析の結果は安全率に大きな影響を及ぼさない。

円弧すべり解析では、強度定数として三軸試験で得た表1の値を用いるが、全応力解析法であることから、基本はあくまで ϕ_{cu} であることに注意が必要である。粘着力 c_{cu} に関しては、「手引き」を参照して、試験結果に関係なく1.0kPaだけを見込むことを基本とする。

表2に各種の強度定数を用いて求められたすべり安全率 F_s を示す。実務での検討の基本となる解析結果を太線で囲んでいる。常時とは河川水位が基礎地盤上にある場合の安全率であり、洪水時とは上述の浸透流解析で求められた浸潤面を考慮した場合の安全率である。表1の ϕ_{cu} を用いるかぎり、常時であっても $F_s > 1.2$ となるのは、 $D=90$ および85%の小型のみである。洪水時に至っては $D=85\%$ の小型のみが $F_s > 1.2$ となる。密詰めめの $D=90\%$ の方が F_s が小さくなってしまふのは、本来 ϕ_{cu} とセットで考えるべき c_{cu} を、河川堤防の実務では無視するからである。仮に、 c_{cu} をともに考慮して F_s を算出すると表2に示すように非常に大きな値となってしまう、現実的ではない。図3は $D=85\%$ における、大型および小型の ϕ_{cu} を用いて解析したすべり円弧である。 ϕ_{cu} の違いを反映して、すべり円弧の範囲や大きさにも大きな差が生じている。 ϕ_{cu} が大きい場合には、浸潤面を多く含む法尻のみにすべりが発生するが、 ϕ_{cu} が小さい場合には、法面全体にすべりが生じている。次に、 ϕ_d を用いた結果に着目する。全応力解析に ϕ_d が使用できるのは、破壊が生じる瞬間でさえもすべり面上に過剰間隙水圧は生じないと仮定できる場合のみであり、よほど透水性が高い堤防でないかぎり合理的ではない。実際に、どの条件においても高い F_s が得られており、危険側の判定をしている可能性が高い。有効応力の ϕ' の場合、そもそも全応力解析に使用する合理性は全くないが、得られる F_s は見かけ上、大きすぎず小さすぎずという意味で都合が良い値を示している。そのため、現場技術者の判断で ϕ' が使用されることもあるようである。

4. まとめ

すべり解析で用いる強度定数は、室内試験の条件次第で大きく異なる。そのため、解析に用いる際には細心の注意を払うべきである。特に、粒度調整試料を用いる小型三軸試験では、原粒度試料の試験より大きな強度定数を与えることから、実際の安全率を過大評価している可能性もある。

参考文献: 1)小高ら:河川堤防砂礫の変形・強度特性の評価法に関する考察,地盤工学ジャーナル,5(2),2010.
2)(財)国土技術研究センター:河川堤防の構造検討の手引き,2002.

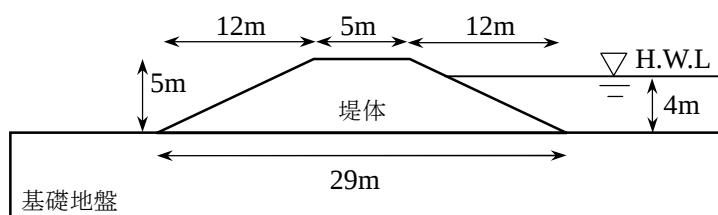
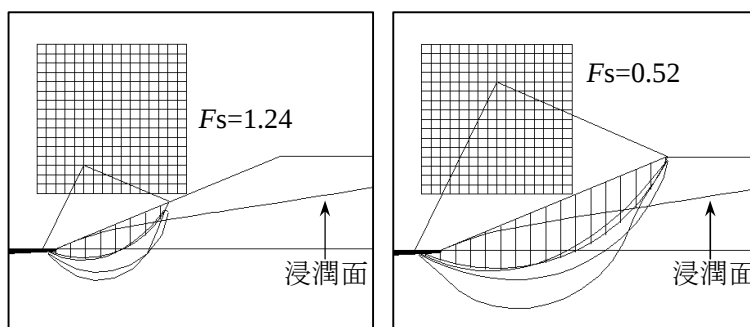


図2 モデル堤防

表2 円弧すべり解析で得られるすべり安全率

締固め度	試験	ϕ_{cu}			ϕ'	ϕ_d
		常時	洪水時	粘着力込	洪水時	洪水時
90%	大型	1.18	0.92	3.58	1.45	1.80
	小型	1.29	0.99	8.35	1.74	1.78
85%	大型	0.66	0.52	—	1.00	1.73
	小型	1.64	1.24	—	1.72	1.63
80%	小型	0.81	0.63	—	1.33	1.46



(a)小型三軸の ϕ_{cu} での解析

(b)大型三軸の ϕ_{cu} での解析

図3 円弧すべり解析の結果