

浚渫土を固化した人工石材のせん断強度定数の検討

北海道大学大学院
北海道大学大学院
五洋建設株式会社
五洋建設株式会社

正会員
非会員
正会員
正会員

○渡部要一
和泉大志
江守辰哉
上野一彦

1. はじめに

筆者らは、新たな浚渫土の有効利用方法として、近年、港湾工事で入手が困難になっている石材に着目し、人工石材の研究開発を進めている¹⁾²⁾。本稿では、人工石材を港湾施設の建設に利用することを想定し、浚渫土を強固に固化した人工石材の力学特性について検討した結果を報告する。

2. 人工石材試料及び試験条件

本研究で用いた人工石材は、名古屋港から採取された含水比80%の浚渫土（液性限界 $w_L=75.8\%$ 、塑性限界 $w_p=35.3\%$ 、塑性指数 $I_p=40.5$ ）に、高炉B種セメントを水セメント比 $W/C=2.443$ （添加材として混合したシリカヒュームをセメントと見なすと $W/C=2.321$ ）で混合・養生・破碎して作製した。重力式護岸の裏込め石として使用することを想定し、準硬石に相当する一軸圧縮強さ 9.8MPa

以上とした。三軸試験の供試体寸法（直径 75mm 、高さ 150mm ）に合わせて、ふるい分けによって粒径 $6.7\sim 9.5\text{mm}$ の粒子を抽出し、石材と相似粒径の礫材として供試体を作製した。

JGS 0612を準用して、試料の最小密度・最大密度試験を行った。石材が表乾状態にあるとした見かけの最小間隙比と最大間隙比はそれぞれ 0.650 と 0.867 であった。

試験条件を表-1に示す。試験IDのAは人工石材、DとLはそれぞれ密詰めと緩詰めを表し、それに続く数字は三軸試験における拘束圧を表している。背圧 200kPa を作用させ、有効拘束圧が $100, 200, 400\text{kPa}$ として圧密した後、排水バルブを開いたまま軸ひずみ速度 $0.1\%/min$ で排水せん断を行った（三軸CD試験）。

3. 試験結果と考察

三軸CD試験により得られた主応力差と軸ひずみとの関係を図-1に示す。相対密度が高い試料ほど、また拘束圧が高い試験ほど大きな主応力差が計測された。いずれの試験においても主応力差にピークは表れず、ひずみ硬化型の挙動が続いた。体積ひずみと軸ひずみとの関係を図-2に示す。密詰め供試体よりも緩詰め供試体の方が、また拘束圧が低いものよりも高い試験の方が大きな体積ひずみが発生した。せん断変形とともに供試体が密になる傾向、すなわち負のダイレイタンス特性が表れている。なお、密詰めで、かつ、拘束圧が小さなAD100は、軸ひずみ 12% 以降は体積ひずみがほぼ一定となっていて、体積ひずみが発生することなくせん断変形が進行する限界状態に達していることが示唆される。これに関

表-1 試験条件

試験ID	AD100	AD200	AD400	AL100	AL200	AL400
間隙比 e	0.662	0.672	0.626	0.761	0.769	0.704
相対密度 (%)	93.0	88.6	109.5	47.7	44.1	73.9
拘束圧 (kPa)	100	200	400	100	200	400

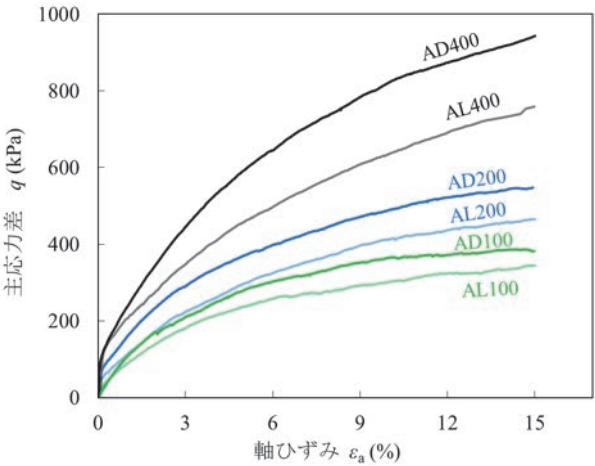


図-1 主応力差と軸ひずみとの関係

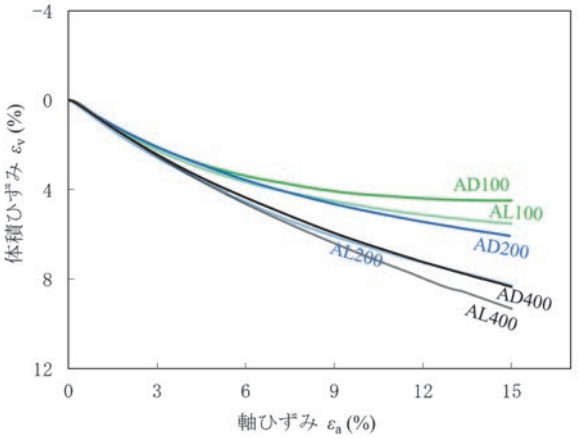


図-2 体積ひずみと軸ひずみとの関係

連した考察は後述する。

ピーク強度が表れなかったため、軸ひずみ15%のときを破壊と定義して破壊時のモールの応力円を図-3に描いた。なお、図中に示した原点を通る接線は、粘着力を0と見なしたときの破壊規準線であり、ここでは密詰め供試体に対してのみ描いてある。拘束圧が高くなるほどせん断抵抗角 ϕ が小さくなる傾向が明瞭に現れており、密詰めの場合には、拘束圧100kPaで41.4°であったものが拘束圧400kPaでは32.8°となり、21%減少（ $\tan\phi$ で考えると27%減少）した。緩詰めの場合にも同様の傾向が見られ、拘束圧100kPaで39.3°であったものが拘束圧400kPaでは29.1°となり、26%減少（ $\tan\phi$ で考えると32%減少）した。

軸ひずみ15%までのせん断では、AD100以外の試験でせん断中に体積圧縮が続いていたことから、限界状態に達していなかったと考えられる。

そこで、応力経路における限界状態線の傾き M を得るために、応力比 q/p' を縦軸に、軸ひずみ増分に対する体積ひずみ増分の比として定義されるダイレイタンス比（ $-de_v/de_a$ ）を横軸にとってプロットした（図-4）。ダイレイタンス比が0になる応力比（ M に相当）を外挿により求め、これをせん断抵抗角 ϕ に換算した。得られた結果を表-2にまとめた。軸ひずみ15%時には、せん断抵抗角は供試体の相対密度やせん断時の拘束圧の大きさに依存して決まっていたが、限界状態においては、いずれの供試体条件、試験条件においてもせん断抵抗角は41°～44°の狭い範囲にあった。これをモールの応力円として描いたものが図-5である。限界状態に達すると、密詰めか緩詰めか、拘束圧が高いか低いかに関係せず、材料固有の値としてほぼ同じ値のせん断抵抗角 ϕ を有していることが示唆された。

4. おわりに

本研究では、浚渫土を固化した人工石材の排水せん断特性を検討した。その結果、相対密度が高く拘束圧が高いほどせん断抵抗強さは大きくなるが、せん断抵抗角 ϕ は拘束圧が高くなるほど低減した。しかしながら、大変形により限界状態に達すると、いずれの試験条件においてもせん断抵抗角 ϕ は41°～44°の狭い範囲になることが示唆された。

参考文献

1) 江守辰哉, 上野一彦, 渡部要一, 和泉大志 (2020): 固化材と脱水材を併用した浚渫土の高強度固化処理検討, 土木学会第75年次学術講演会, III-333.
2) 和泉大志, 渡部要一, 江守辰哉, 上野一彦 (2020): 浚渫土を用いた人工石材のせん断特性, 第55回地盤工学研究発表会, 22-1-1-05.

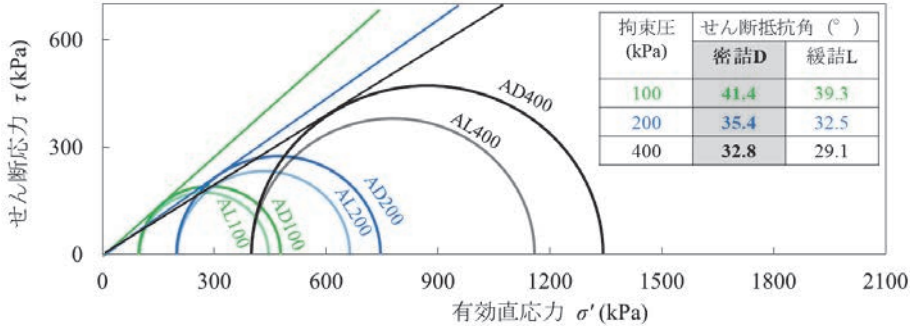


図-3 軸ひずみ15%時のモールの応力円

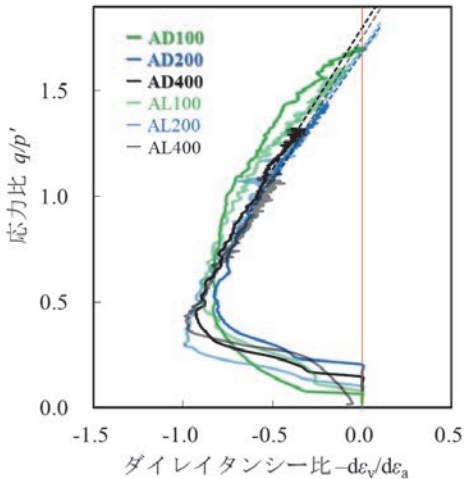


図-4 応力比とダイレイタンス比との関係

表-2 推測された限界状態における応力比とせん断抵抗角

	AD100	AD200	AD400	AL100	AL200	AL400
限界状態応力比 $M=q/p$	1.70	1.68	1.80	1.69	1.70	1.75
せん断抵抗角 $\phi(^{\circ})$	41.5	41.0	43.8	41.2	41.5	42.6

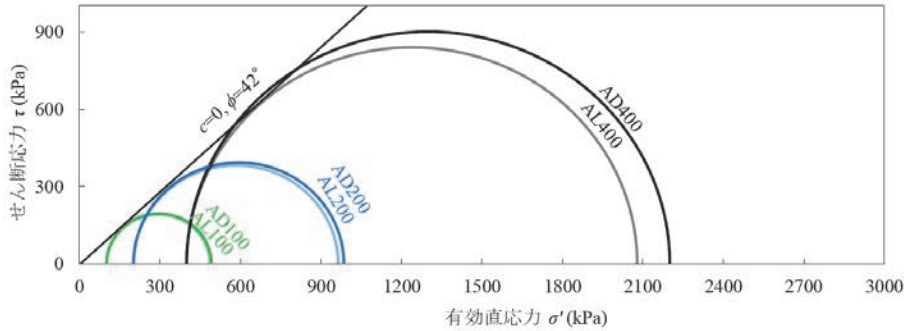


図-5 限界状態におけるモールの応力円