

岩盤斜面の地震時安定性評価に関する地盤材料のせん断・引張強度特性

中間土, 引張り強さ, ひずみ

複合技術研究所 正会員 ○伊藤 企陽司, 木口 峰夫
 原子力安全基盤機構 国際会員 中村 英孝, 正会員 村田 雅明
 鉄道総合技術研究所 国際会員 篠田 昌弘, 中島 進
 日本大学 国際会員 中村 晋
 東北大学 国際会員 河井 正

1. 背景 原子炉建屋周辺の岩盤斜面を想定して重力場で実施した振動台実験により, 引張亀裂が斜面崩壊の引き金になりうるということが分かっている¹⁾(図-1)。このことは, 岩盤斜面の地震時安全性評価にあたり, せん断強度特性に加えて, 引張強度特性の評価も重要であることを示唆している。しかし, 1g 場での振動台実験に用いられるような低強度の地盤材料の引張強度特性に関する知見は限られているため, 粒子法による大変形解析では, 筆者らは便宜的に引張強度を粘着力 c の 1/10 に設定しているのが現状である²⁾。以上を背景として, 本論文では振動台実験で使用した地盤材料のせん断強度・引張強度特性を精緻に評価する事を目的として, 三軸圧縮試験および一軸引張試験を実施したので, その結果について報告する。

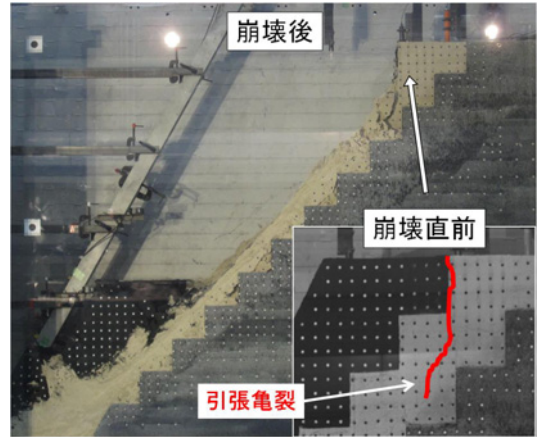


図-1 斜面模型の破壊形態

2. 試料および試験方法 本研究では, 1g 場および 50g 場において実施した振動台実験の斜面模型に使用した試料の 2 種類を用いた。以下, 1g 場における振動台実験に用いた試料を試料 A, 50g 場における振動台実験に用いた試料を試料 B とする。それぞれの試料の配合等の試験条件は, 表-1 に示すとおりである。表-1 における「室内作製試料」とは試験室内にて攪拌混合, 供試体の作製および養生を行った試料で, 「模型構築試料」とは振動台実験の斜面模型構築時に攪拌混合した試料に対し試験室内にて供試体の作製, 養生を行ったものである。三軸圧縮試験および一軸引張試験の供試体は, 振動台実験で作製した斜面模型における湿潤密度を目標とし, 試料 A が $\rho_t=1.767\text{g/cm}^3$, 試料 B が $\rho_t=1.650\text{g/cm}^3$ となるよう作製した。三軸圧縮試験の供試体は直径 50mm, 高さ 100mm の寸法のモールドに試料を 5 層に分け入れ, 各層がほぼ等しい湿潤密度になるよう突固めにより作製した。また, 一軸引張試験の供試体は図-2 に示すような寸法となるよう三つ割のモールドを用いて, 三軸試験の供試体同様に突固めにより作製した。

表-1 試験条件

| 試験No. | 実施試験 | 試料 | 作製試料 | 配合(重量比) | 湿潤密度 | 養生日数 |
|--------------------------|--------|-----|--------|--|-------------------------|------|
| A-u1, A-u2 A-u3 | 三軸圧縮試験 | 試料A | 室内作製試料 | 砂砂(100) ベントナイト(1) 水(10) | 1.767 g/cm ³ | - |
| A-t1, A-t2 A-t3, A-t4 | | | 模型構築試料 | | | |
| A-t4, A-t5 | 引張試験 | | | | | |
| B-u1, B-u2 B-u3 | 三軸圧縮試験 | 試料B | 室内作製試料 | 砂砂(100) ベントナイト(5) 消石灰(60) 水(20) | 1.650 g/cm ³ | 7日 |
| B-t1, B-t2 B-t3, B-t4 | | | 模型構築試料 | | | |
| B-t4, B-t5 | 引張試験 | | | | | |

表-1 に示すとおりである。表-1 における「室内作製試料」とは試験室内にて攪拌混合, 供試体の作製および養生を行った試料で, 「模型構築試料」とは振動台実験の斜面模型構築時に攪拌混合した試料に対し試験室内にて供試体の作製, 養生を行ったものである。三軸圧縮試験および一軸引張試験の供試体は, 振動台実験で作製した斜面模型における湿潤密度を目標とし, 試料 A が $\rho_t=1.767\text{g/cm}^3$, 試料 B が $\rho_t=1.650\text{g/cm}^3$ となるよう作製した。三軸圧縮試験の供試体は直径 50mm, 高さ 100mm の寸法のモールドに試料を 5 層に分け入れ, 各層がほぼ等しい湿潤密度になるよう突固めにより作製した。また, 一軸引張試験の供試体は図-2 に示すような寸法となるよう三つ割のモールドを用いて, 三軸試験の供試体同様に突固めにより作製した。

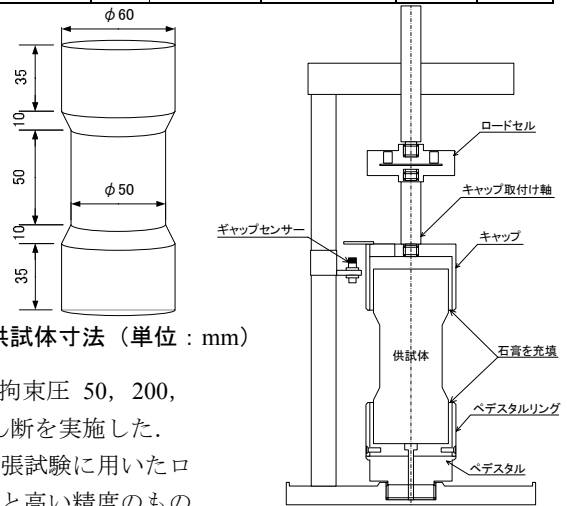


図-2 供試体寸法(単位: mm)

三軸圧縮試験は, 試料 A は拘束圧 2.5, 5, 10kPa で試料 B は拘束圧 50, 200, 400kPa で圧密後, ひずみ速度 0.2%/min で圧密非排水条件のもとせん断を実施した。

一軸引張試験については, 図-3 に示すような試験機を用いた。引張試験に用いたロードセルは, 引張強度が小さいことを考え, 校正係数-0.04075N/ $\mu\epsilon$ と高い精度のものを用いた。供試体設置時の影響を軽減するため, ペDESTALに供試体を設置した後, 内径 66mm の二つ割りのペDESTALリングとキャップを被せ, ペDESTALリングおよびキャップと供試体の隙間に石膏を流し込むことで, 試験機に供試体の端面と側面の一部を固定させた。載荷は, ひずみ速度 0.05%/min で実施した。三軸圧縮試験と引張試験のひずみ速度が異なるが, 事前の試験によりひずみ速度依存性がないことは確認済みである。また, 引張試験時に供試体に標点を設置し, カメラによる撮影を行い, 後に画像解析を

図-3 引張試験機全体図

行うことで供試体の変位を求めた。

3. 試験結果と考察 図-4,

図-5 は、試料 A および試料 B における引張応力-軸ひずみの関係を示したものである。本試験における引張応力は、供試体くびれ部の断面積における応力で、試験後の破壊面より上部の供試体およびキャップの重量を減ずることで補正している。また、軸ひずみは供試体くびれ部の高さ 50mm に対するひずみである。図より、試料 A の引張強度 q_t は、-1.02~-1.08kPa で平均引張強度は-1.06kPa で、試料 B の引張強度 q_t は、-15.14~-20.42kPa で平均引張強度は-17.246kPa である。写真-1 は、引張試験実施後の供試体を撮影したもので、写真より破壊面が概ね水平であることから、引張破壊が生じたと推定される。破壊箇所は、試験 No.B-t3 を除き $\phi=50\text{mm}$ の境界部で発生したが、境界部で生じた場合と中央部で生じた場合とで、極端な強度の差は確認できない。

また、図-6 は、試験 No.A-t6 における供試体中央の高さの 2 標点 (写真-1(a)中 No.4, No.11) における時間経過と標点の移動変位の関係を画像解析の結果より示したものである。図より、同じ高さにある 2 点が等しい変位を示していることが分かる。他の標点でも同様の傾向にあり、破壊面が水平であることから、曲げの影響が少ない試験が実施出来たと評価できる。また、図-6 中に示す A 点は、時間-変位関係における勾配が変わった点を示しており、この時点における引張応力-ひずみ関係は、図-4 中の A 点である。引張応力-軸ひずみ関係の A 点は、引張応力のピーク時にある。

図-7, 図-8 は、三軸圧縮試験の試験結果 (表-2) より作成した破壊基準線と引張強度の平均値を示したものである。前述の通り、筆者らが関連する解析的検討では、引張強度は粘着力 c の 1/10、勾配は内部摩擦角 ϕ と設定している (図-7, 図-8 中の直線)。これに対して、試料 A ではピーク時粘着力の 0.88 倍、残留時粘着力の 1.77 倍で、試料 B ではピーク時粘着力の 0.24 倍、残留時粘着力の 1.28 倍であった。

4. まとめおよび今後の課題

岩盤斜面の地震時安定性評価に関する岩盤斜面のせん断・引張強度特性をモデル化するため、圧密非排水三軸圧縮試験および一軸引張試験を実施したことにより、低強度の地盤材料における引張強度を評価することができた。破壊面の状態および画像解析結果から、試験の妥当性は検証できた。また、筆者らの研究グループが実施している解析における現行の引張強度特性は安全側であることも確認できた。今後は、今回の試験結果を斜面の安定性評価手法の高度化に繋げられるよう、地盤材料のせん断・引張強度特性のモデルを提案することで、数値解析を行っていく予定である。

参考文献

1) 篠田ら：岩盤斜面の地震時安定性評価手法の構築に向けた試み，第 13 回日本地震工学シンポジウム，日本地震工学会，pp.2935-2942，2010。 2) 阿部ら：Material Point Method を用いた岩盤斜面モデルの地震時大変形解析，土木学会第 66 回年次学術講演会，土木学会，pp.577-578，2011。

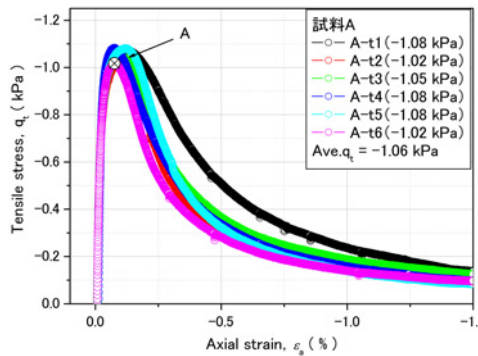


図-4 引張応力-軸ひずみ関係 (試料 A)

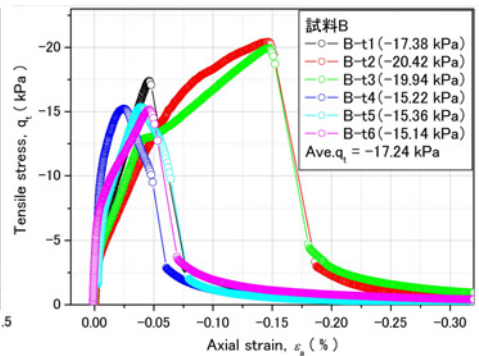


図-5 引張応力-軸ひずみ関係 (試料 B)

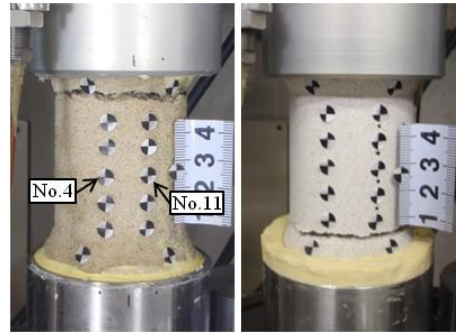


写真-1 試験後供試体状況

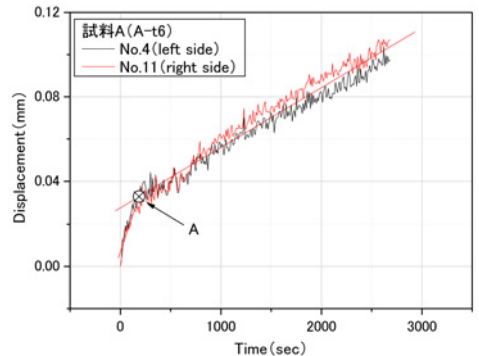


図-6 画像解析結果 (時間-変位関係)

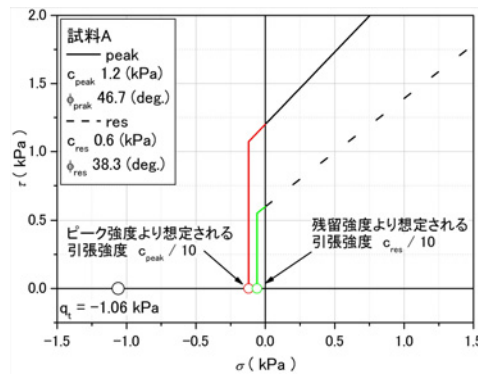


図-7 直応力-せん断応力関係 (試料 A)

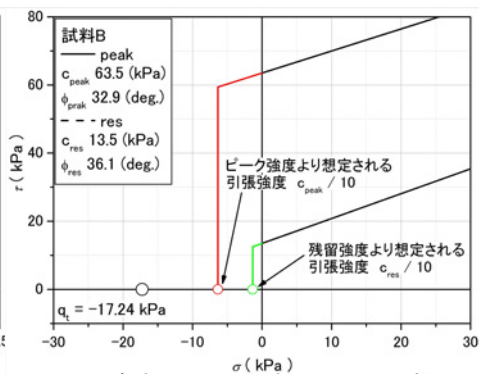


図-8 直応力-せん断応力関係 (試料 B)

表-2 強度定数

| | ピーク時 | | 残留時 | |
|-----|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| | 粘着力 c_{peak} (kPa) | 内部摩擦角 ϕ_{peak} (deg) | 粘着力 c_{res} (kPa) | 内部摩擦角 ϕ_{res} (deg) |
| 試料A | 1.2 | 46.7 | 0.6 | 38.3 |
| 試料B | 63.5 | 32.9 | 13.5 | 36.1 |