

軟岩の強度回復に及ぼす載荷時間と細粒分含有率の影響

前田建設工業 技術研究所 正会員 南 浩輔 前田建設工業 技術研究所 正会員 野田 兼司
前田建設工業 技術研究所 正会員 井上 博之

1.はじめに

地下空間にトンネルなどの地下構造物を建設した場合、その周辺地山は何らかの損傷を受け、塑性領域・ゆるみ領域が発生すると考えられている。また、ゆるみ領域は時間経過に伴い徐々に拡大し、地下構造物の安定性、周辺地山の透水性能は低下すると考えられてきた。

しかしながら、炭坑や深部トンネルでは、掘削後の空洞周辺の地山が掘削当時よりも硬くなっている或いは圧縮状態になっている現象が事実として確認されている。この事実は、この領域の透水性が時間の経過とともに建設時より向上していく可能性を示している。

大久保ら^{2001¹⁾}は、強度回復の要因として地質学でいう続成作用を考えている。続成作用の中には、a)土粒子の再配置、b)粒子の塑性変形、c)細粒の粘土などが流動して隙間を埋める圧密作用、d)炭酸塩鉱物などで膠結される膠結作用、e)再結晶作用、f)交代作用、g)差別的溶解作用、h)圧力溶解作用(応力腐食)、i)自生作用などが含まれる。

本研究では、強度回復現象の短期的な要因として a)～c)に起因している可能性が高いと考え、載荷時間および粒度分布の違いによる強度回復について調べた結果を報告する。

2.試験試料

今回の試験では、岩石試料として土丹 B および配合の異なる人工岩 A(細粒分含有率：33.6%)、人工岩 B(細粒分含有率：65.8%)、人工岩 C(細粒分含有率：97.1%)の4種類を用いた。土丹 B は横浜市に位置する工事現場で採取した。また、人工岩 A、B、C は図-1 に示す土質材料およびセメントを配合し作成した。

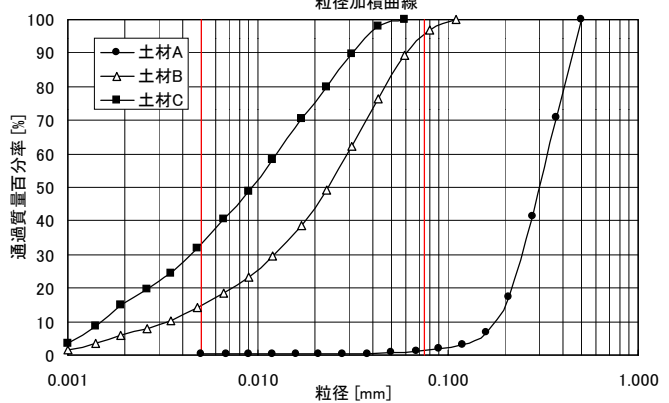
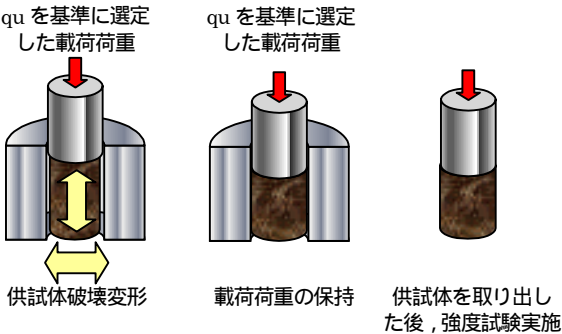


図-1 人工岩配合材料粒度分布

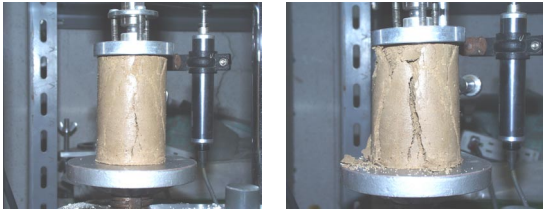
3.試験方法

強度回復試験手順を図-2 に、試験条件を表-1 に示す。
＜強度回復試験手順＞

- 1) 供試体(直径φ 50mm,高さ 100mm)を鋼製厚肉円筒(外形φ 105mm,内径φ 55mm,高さ 110mm)に入れ、直径φ 54mm の押し棒により供試体破壊後、所定載荷荷重に達するまで押し込む。
- 2) 所定載荷荷重を保持する(24 時間,1 週間載荷の場合)。
- 3) 供試体を取り出し、一軸圧縮試験を実施する。



土丹 B



人工岩

図-2 強度回復試験方法

表-1 強度回復試験条件

載荷荷重	供試体の一軸圧縮強度の 1.2,4 倍
載荷時間	< 通常載荷 > 所定載荷荷重に達した時点で除荷 < 24 時間載荷 > 所定載荷荷重を 24 時間維持後、除荷 < 1 週間載荷 (168 時間載荷) > 所定載荷荷重を 1 週間維持後、除荷
供試体寸法	直径 50mm × 高さ 100mm 供試体端面の平行度の精度は、供試体中心軸からの偏り 50mm 長に対して 0.05mm 以内
供試体の状態	< 土丹 B (1 種類) > 24 時間以上の真空飽和による飽和状態 < 人工岩 (3 種類) > 自然含水状態
試験数量	各 1 供試体
試験機仕様	岩石三軸圧縮試験機(サーボコントロール方式) 型式 TO-20-3 (坂田電機株式会社製造)

キーワード：強度回復 / 一軸圧縮強度 / 載荷時間依存性 / 細粒分含有率
連絡先：[住所] 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 [TEL] 03-3977-2614 [FAX] 03-3977-2251

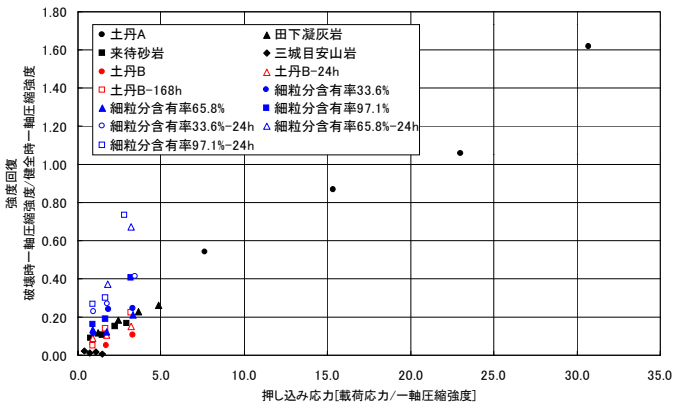


図-3 岩種による強度回復試験結果

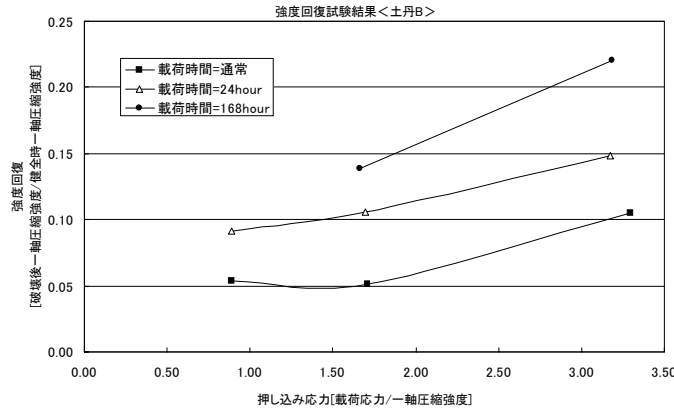


図-4 載荷時間 - 強度回復関係

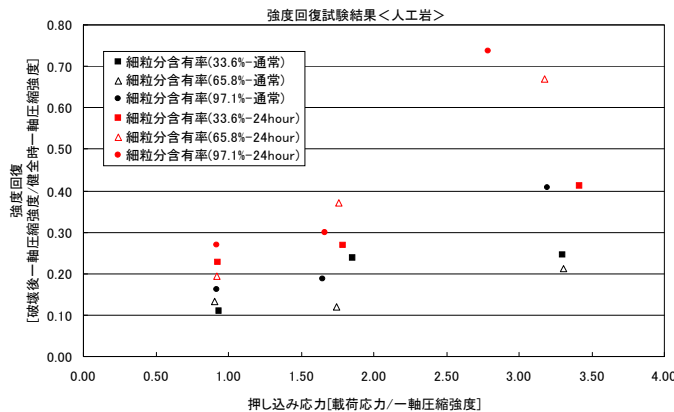


図-5 細粒分含有率 - 強度回復関係

4. 試験結果

図-3 に今回実施した試験結果を大久保ら, 2001¹⁾が実施した強度回復試験結果と併せて示す。試験結果から比較的低い載荷応力下においても, 自然岩・人工岩とも強度回復を示すことが判る。

図中, 白抜きの試験結果は, 大久保らが実施した強度回復試験より載荷時間を長くしたケースである。

図-3～5 は縦軸に強度回復 (= 圧縮破壊後の一軸圧縮強度 / 健全時一軸圧縮強度), 横軸に押し込み荷重 (= 載荷応力 / 一軸圧縮強度) を示したものである。

4.1. 載荷時間と強度回復の関係

強度回復の載荷時間に対する依存性を確認するため, 土丹 B 試料を用いた強度回復試験を実施した。試験条件は, 載荷荷重を一軸圧縮強度 (= q_u) の 1, 2, 4 倍, 載荷時間を通常, 24 時間, 1 週間

(168 時間) とした計 9 ケース (実験中含む) である。

試験結果を図-4 に示す。図-4 より載荷時間が長いほど強度回復が高いことが判る。これは粒子の再配置や圧密作用が載荷時間の増加に伴い進行した結果と考えられる。

また, 押し込み応力が $1 \sim 2q_u$ の範囲では強度回復に顕著な違いがみられず, ある程度の押し込み応力幅を持って強度回復が段階的に変化する可能性があると考えられる。

これらの点については, 今後, 中・長期的なものを含めて検討を実施していく予定である。

4.2. 細粒分含有率と強度回復の関係

細粒分含有率に対する強度回復を確認するため, 人工岩試料を用いた強度回復試験を実施した。試験条件は, 載荷荷重を一軸圧縮強度 (= q_u) の 1, 2, 4 倍, 載荷時間を通常, 24 時間, 細粒分含有率を 33.6%, 65.8%, 97.1% とした計 18 ケースである。

試験結果を図-5 に示す。図-5 より細粒分含有率が高いほど強度回復が高い傾向がみられる。これは細粒分含有率が高い岩の方が, 細粒の粘土などが流動して隙間を埋める圧密作用が働き易いためと考えられる。

また, 載荷荷重が増加するにつれて, 細粒分含有率および載荷時間による強度回復の差が大きく現れる結果となっている。これは, 強度回復が複数の要因が相互に影響しあうことで, 助長されることを示していると考えられる。

本試験では, 組成による強度回復を把握するため, 人為的に組成を調整できる人工岩をもちいて試験を実施した。今後は, 粒度分布・化学組成の異なる自然岩による試験を実施していく予定である。

5. 結論

- 1) 強度回復は載荷時間に依存し, 短期的には載荷時間が長い方が強度回復は高い傾向がある。これは, 載荷時間に伴い続成作用の a) ~ c) の現象が進行した結果と考えられる。
- 2) 岩石に含まれる細粒分含有率が増加すると強度回復が高くなる傾向がある。これは, 細粒分含有率の増加により続成作用の c) の現象が促進された結果と考えられる。

6. 今後の課題

- 1) 中・長期的な試験の実施。
- 2) 粒度分布や化学組成の異なる自然岩による試験の実施。
- 3) 水理条件の違いによる強度回復の把握
- 4) 強度回復の温度特性の把握。
- 5) 強度回復後の透水性能の確認
- 6) 試験数の増加による精度向上。

7. 参考文献

- 1) 大久保誠介, 福井勝則, 杉田隆博: 緩み領域の強度回復に関する基礎研究, 資源と素材, Vol.117 p.631-638, 2001