

III-25

粘性土地盤中のテールボイド空洞部に裏込め注入圧を作用させた時の
変形と割裂に関する研究

早稲田大学 正員 森 麟 建設省建研 正員 田村 昌仁
早稲田大学 学生員 ○徐 知遠 学生員 出光 恵

1. まえがき シールドトンネルにおける裏込め注入は、シールド推進時に生じるテールボイドに流動的な固結材を注入して、地表面沈下などを防ぐものである。しかし、現実にはテールボイドが応力解放によりいったん収縮し、その後注入材によって地山が押し戻される状況で裏込め注入が行われると、粘性土地盤などでは注入率が100%に達する以前に注入圧によって割裂が生じることも予想される。そこで、本研究では空洞部のある円筒形の粘性土の供試体を用い、割裂時の注入圧、割裂時における空洞体積の回復状況について調査することを目的とした。

2. 実験方法及び試料 実験装置の概要を図-1に示す。供試体は、図-2に示すようにモールドの底版の中央にパイプを立ち上げ、直径18cm、高さ19cm、円筒空洞部径5cmの供試体を作製した。その後供試体を実験装置に固定して円筒空洞部面から注入材が浸透を防ぐため、空洞内面にシリコングリスを塗って、注入材を満たして拘束圧1.5kgf/cm²と円筒空洞部内圧1.5kgf/cm²を同時に作用させた。拘束圧は一定にしたまま円筒空洞部内圧のみを1分間で0.1kgf/cm²ずつ減少させて強制的に円筒空洞部を収縮させた。所定の量だけ収縮させた後、内圧を5秒間で0.1kgf/cm²ずつ増加させて割裂を生じるまで加圧した。また、割裂圧は実測する注入圧が最大となる時点の注入圧とした。注入材は水及びべトナイト泥水を用い。供試体の諸元は表-1に示す。

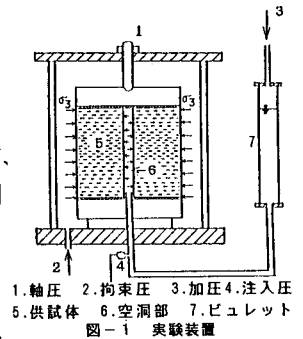
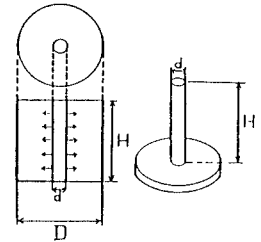


表-1 供試体の諸元

試料	配合 (g)	一軸強度 q_u (kgf/cm ²)	引張強度 σ_t (kgf/cm ²)	弾性係数 E_{50} (kgf/cm ²)
A	カオリン3000, 石膏800 七号珪砂3000, 水3000	0.3~0.6	~	40~70
B	カオリン3000, 石膏900 七号珪砂3000, 水3000	0.6~1.0	0.12~0.15	60~90
C	カオリン3000, 石膏1000 七号珪砂3000, 水3000	1.0~1.5	0.18~0.21	90~200



3. 実験結果及び考察

3.1 空洞体積の収縮過程と膨張過程 図-3は、注入材に水を用いた場合の供試体の強度の違いによる内圧と収縮率の関係を示したものである。本研究における収縮率の算出方法は、供試体の粘性土自身の圧縮は考慮せず、円筒空洞部内の注入材がピュレットに逆流した量を空洞収縮量と考え、これを初期円筒空洞部の体積で除して求めた。収縮過程については、外圧と内圧の圧力差が大きくなればなるほど収縮増分が大きくなり、この傾向は加圧に転ずるまで続く。また、同じ圧力差ならば強度が小さいほど収縮率は大きくなっている。圧力差が増すと供試体は弾性状態を過ぎ、降伏して塑性状態に入るため空洞部の変形量の増分が大きく曲線が急勾配になっている。約5%収縮させた後、注入材を加圧して空洞内圧力を増加して行ったときの膨張過程については、内圧を1.5kgf/cm²まで戻しても殆どは膨張しない。また、1.5kgf/cm²以上の加圧の場合もあまり膨張せず、いづれも初期空洞体積に戻らない状態で割裂が発生して割裂圧は強度の大きいものほど大きくなっている。

図-4は泥水を用いて強度の大きい試料Cに発生させる最大収縮率を4種(0, 5, 10, 15%)に変え、それぞれの最大収縮率に到達後に空洞圧力を上げて割裂するまでの圧力差と収縮率との関係である。この図から供試体に与える最大収縮率が大きいほど割裂圧が小さくなり、また割裂時の収縮率が大きく、空洞体積の回復状態が悪いことが示されている。

3.2 収縮率と割裂圧の関係 図-4から供試体に発生した最大収縮率が大きいほど割裂圧が小さくなる傾向が見られたので、試料A, B, Cについて最大収縮率と割裂圧との関係を調査した。図-5は注入材に水を

用いた場合、図-6は泥水を用いた場合である。両注入材とも最大収縮率が大きくなるほど割裂圧は小さくなり、また同じ収縮率ならば強度が大きいほど割裂圧が大きくなる傾向がある。収縮率を大きくすることは塑性変形して土が乱れ、強度が減少することを意味するので円筒空洞部に割裂が発生しやすくなると考えられる。また図-5と図-6を比較すると図-6の泥水を用いた方が割裂圧が大きい。これは泥水の粘性が水より大きいことに起因している。

粘性土地盤において、割裂圧の大きさについては、すでに発表した筆者らの研究結果では、次の式で与えられることを示した。

$$P_r = \sigma_3 + \alpha q_u \quad (\sigma_3: \text{拘束圧}, q_u: \text{一軸圧縮強度}, \alpha: \text{係数})$$

上式の α の値は注入材の粘性、空洞部の径比、空洞部形状により変化する。そこで、今回の実験から α を収縮率から求めると α の値は大体次のように与えられることができる。

- 1) 最大収縮率が5%~10%程度の場合; $\alpha = 0.85$ (水)、 $\alpha = 0.90$ (泥水)
- 2) 最大収縮率が15%程度の場合; $\alpha = 0.80$ (水)、 $\alpha = 0.85$ (泥水)

3.3 最大収縮率と割裂時の空洞体積率の関係 図-4において供試体に発生させた最大収縮率が大きいほど、加圧過程で発生する割裂時の空洞体積率(初期空洞体積に当する比率)は小さくなる傾向が分かったので、試料A、B、Cについて、この状況を調査した。図-7は注入材が水の場合、図-8は泥水の場合である。両図とも収縮率が大きいほど割裂時までの空洞体積率は小さくなる。また両図を比較して試料強度と注入材の差の影響は殆ど認められない。これらの図において最大収縮率が0%の場合即ち全然空洞を収縮させずに加圧した場合は割裂時の空洞体積が初期値より2~3%大きくなり得ることを示している。また発生する最大収縮率を2%程度以下にしないと裏込め注入によって空洞体積は100%回復しないことが分かる。

4. まとめ 1) 最大収縮率と割裂圧の関係については最大収縮率が大きくなると割裂圧は小さくなり、同じ最大収縮率であれば強度が大きい方が割裂圧は大きい。2) 最大収縮率と割裂時の空洞体積率の関係については、最大収縮率が大きいほど割裂時の空洞体積率は小さくなり、同じ最大収縮率であれば、割裂時の空洞体積率に及ぼす供試体の強度及び注入材の粘性の影響はみられない。応力解放した粘性土地盤の空洞では、収縮率が約2%程度になる前に加圧しないと初期空洞の体積に回復できない。

5. 参考文献: 森 麟他: シールドトンネルの裏込め注入および切羽泥水圧による粘性土地盤の割裂現象、トンネルと地下 平成3年1月

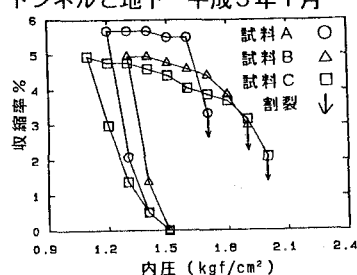


図-3 内圧と収縮率(強度による)

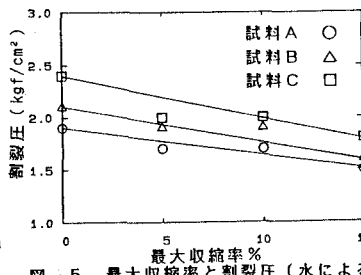


図-5 最大収縮率と割裂圧(水による)

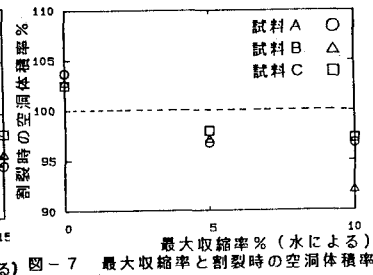


図-7 最大収縮率と割裂時の空洞体積率

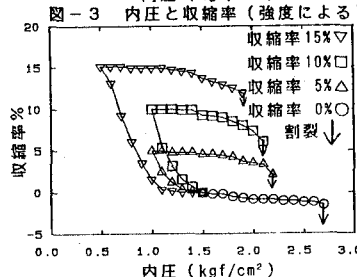


図-4 内圧と収縮率(試料C)

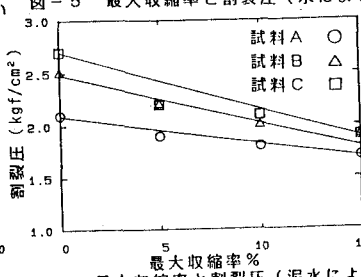


図-6 最大収縮率と割裂圧(泥水による)

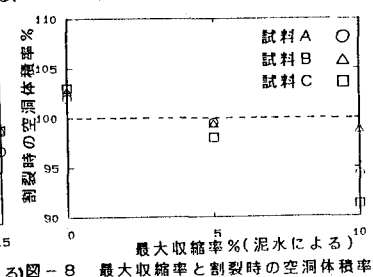


図-8 最大収縮率と割裂時の空洞体積率