

Ⅲ-B12 トンネル周辺地盤の変形に及ぼすネイル補強とライニングの効果に関する基礎的研究

東京工業大学 学生会員 ○ 本多 剛 三城 健一
東京工業大学 正会員 高橋 章浩 桑野 二郎

1. はじめに

近年、都市域において地下空間での構造物の建設が増加しているが、地上近接構造物へ与える影響が問題となっている。桑野ら^{(1),(2)}はトンネル周辺地盤に soil nail を挿入して、その補強効果を調べる遠心模型実験を行っている。本研究では、ネイル補強に加えてライニングを施し、両者の一体化による効果を調べるために遠心模型実験を行った。

2. 実験方法

本研究では、模型地盤材料としてカオリン粘土を用いた。まず、スラリー状の試料を 427kPa で予備圧密し、その後 0kPa まで膨潤させた。この段階で地表面を整形し、トンネルを直径 $D=50\text{mm}$ 、土被り $C=2D$ となるように掘削した。模型 nail(ギター弦、 $l=80\text{mm}$ 、 $\phi=0.58\text{mm}$)は、端部に 3mm 角のアルミ板のエンドプレートをつけ、トンネル壁面に垂直になるように、 $30^\circ, 60^\circ$ の角度で放射状に 20mm 間隔 7 断面に挿入した。模型 lining(OHP シート、 $t=0.05\text{mm}$)は、あらかじめトンネルの大きさの円筒状にしておいたものを、トンネル壁面に接着させて取り付けた。補強パターンは、CASE1:無補強、CASE2:補強(lining のみ)、CASE3:補強(nailing のみ)、CASE4:補強(nailing+lining)の 4 ケースとした。CASE4 では、模型 nail と模型 lining は接着することで一体化させた。補強材設置後、トンネル内にゴムバッグを挿入して、100G 場で遠心圧密した。遠心圧密時には、ゴムバッグに土被り圧と釣り合うように空気圧を供給し、遠心圧密後この空気圧を低下させることでトンネル掘削を模擬した。また、変位計によって地表面の沈下を、約 400 個のターゲットを写真計測することによって地盤内の変位を計測した。図 1 に模型地盤概要を示す。

3. 実験結果

図 2 にトンネル内圧除荷時のトンネル軸上の地表面の沈下量 $S_{\max}$ とトンネル内圧との関係を示す。CASE1 と CASE2 ではほぼ同じ挙動を示しているが、CASE4 では同じトンネル内圧における沈下量他ケースより小さく、最終沈下量も抑えられている。今回用いた曲げ剛性のほとんどない Lining のみの補強では強度の増加に効果はあまり見られなかったが、soil nail と一体化させることにより地盤の安定性は増加したと考えられる。CASE3 では初めは沈下量が抑えられているが、途中から急増し、最終的には CASE1, CASE2 と同程度の沈下量が生じている。

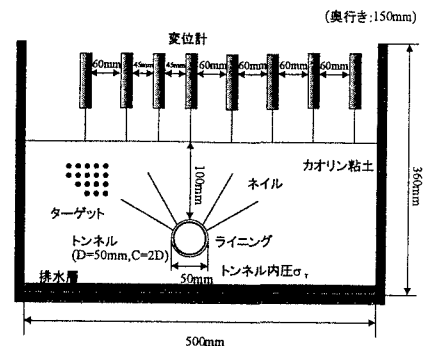


図 1 模型地盤概要

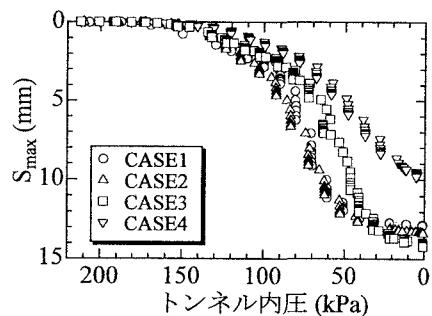


図 2 $S_{\max}$ とトンネル内圧の関係

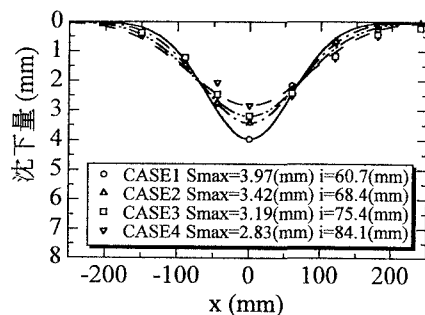


図 3 地表面の沈下形状($v \approx 30\%$)

トンネル、ネイル補強、ライニング、地盤変形、粘土

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学土木工学科、TEL03(5734)2592

トンネル掘削後の沈下形状は、しばしば正規分布曲線[式(1)]で近似される⁽²⁾。

$$S = S_{\max} \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right) \cdots (1)$$

ここで、 S は地表面の沈下量、 $S_{\max}$ はトンネル軸上の沈下量、 x はトンネル軸からの距離、 i はトンネル軸から変曲点までの距離を表す。また、沈下により生じる溝部の面積(=トンネル断面積の減少分)を volume loss; V [式(2)]と呼び、これを初期トンネル断面積 V_0 で割ったものを volume loss 比; v [式(3)]と呼ぶ。

$$V = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot S_{\max} \cdots (2),$$

$$v = V/V_0 \cdots (3)$$

変形の初期($v \approx 30\%$)における地表面の沈下形状を図3に示す。CASE1 < CASE2 < CASE3 < CASE4 の順で i が大きくなっており、沈下形状がなだらかになっている。このことから補強によって変形の集中を防ぐことができ、沈下量は抑えられていることが分かる。

変形前後のターゲットの変位より、地盤内のひずみを求めた。図4~7に同程度の volume loss($v \approx 80\%$)が生じているときの地盤内の最小主ひずみ分布を示す。CASE1 では 45° の方向にひずみが集中しているが、CASE2 ではひずみの集中している領域が CASE1 に比べるとトンネル側部に近くなっている。ひずみの集中している場所で大変形が生じていると考えられるので、CASE2 の方が変形の幅が広がっており、変形の集中がやや抑えられている。また、CASE4 では特にトンネル上部でひずみの発生が抑えられている。CASE3 と CASE4 を比較するとあまり顕著に違いは見られないが、ネイルによる補強効果がライニングによるものに比べて相対的に大きいためだと考えられる。Lining のみの補強でもひずみ分布には影響が見られるが、soil nail との一体化によりその効果はより大きなものになっている。

4. まとめ

本研究から次の結果が得られた。(1)曲げ剛性のないものを lining として用いても沈下形状には影響があり、変曲点間の距離が大きくなだらかな形状となつて、変形の集中を抑える効果があった。(2)lining と soil nail を一体化させることにより補強効果は増加し、沈下量を抑えることができた。また、この傾向は変形の初期段階から見られた。

【参考文献】

- (1) 桑野二郎、R.Neil Taylor、Richard J.Grant: Soil nail により補強された粘土地盤内のトンネル周辺地盤変形に関する遠心模型実験; 第32回地盤工学研究発表会, pp2147-2148, 1997
- (2) Peck, R.B: Deep excavation & tunneling in soft ground; 7th ICSMFE, Mexico, State of the Art volume, pp226-290, 1969
- (3) 本多剛、高橋章浩、桑野二郎: 補強されたトンネル周辺地盤の変形挙動に関する研究; 土木学会第53回年次学術講演会, III-B, pp142-143, 1998

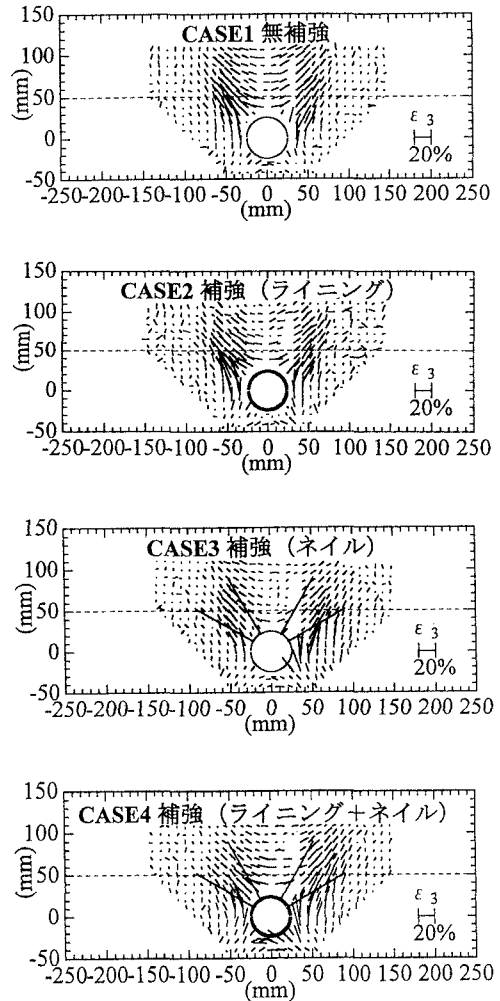


図4 最小主ひずみ分布($v \approx 80\%$)