

(I-27) トンネル模型実験による地山および切羽の挙動計測

計測技販株式会社	正会員	佐藤 博樹
北海道大学工学研究科	学生会員	湯浅 浩介
北海道開発局開発土木研究所	正会員	中井 健司
株式会社間組東京支店	正会員	巽 治

1. はじめに

NATM工法は地山と支保とが相互に連成した構造をなすことを一つの特徴としているが設計時には地山物性値や初期地圧を正確に把握できず作用荷重系を特定できないことから経験的手法に依存することも多い。

本研究では盛土地山におけるトンネル掘削模型実験を行って地山の变形・破壊と土圧変化等を調べ掘削時の3次元的地山応力挙動の把握を試みることを目的とする。今後、扁平断面や分岐トンネルなどの応用的な模型実験への発展のためにもその試験方法の模索や基礎データの蓄積などは重要となるものと考えられる。

2. 実験の概要

2.1. 実験装置 (図-1)

供試体には高さ2m、天端面4.6m×4.6mの盛土を用い、天端部に鋼板を介し、H型鋼、重錘などにより载荷しつつ、予め埋設した塩ビ管(外径520mm、肉厚14.6mm、長さ4.0m)を引抜き、トンネル掘削の代行とした。盛土は、シルト層を主体とした土と自然砂を2:3程度の配合で混合し、振動コンパクタにより30~50cmずつ締固めて作成した。この物性値は盛土中央部より採取した試料を用い土質試験を行って求めた(単位体積重量 $\gamma_t=15.68\text{ kN/m}^3$ 、弾性係数 $E=2450\text{ kPa}$ 、粘着力 $C=6.86\text{ kPa}$ 、内部摩擦角 $\phi=33^\circ$)。

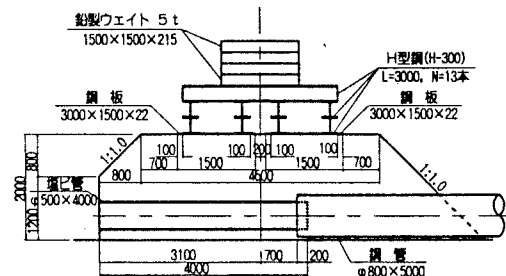


図-1 実験装置概要図

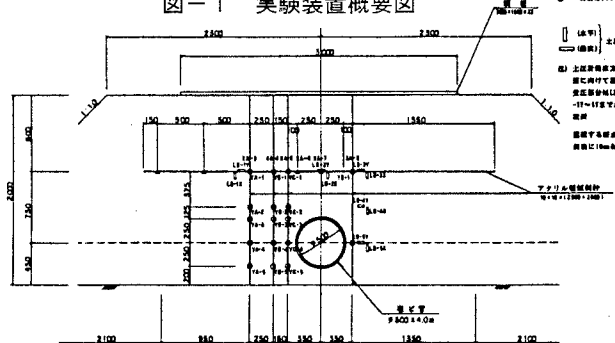


図-2 計測器配置図

2.2. 実験方法

- (1) 初期载荷試験・・・245kNまで段階的に载荷し、計測機器が正常に作動しているか確かめる。
- (2) 掘削試験・・・初期载荷状態のまま塩ビ管を重機で静かに引抜き、掘削時の地山応力挙動を把握する。
- (3) 再载荷試験・・・29kNあるいは98kNの重錘により破壊するまで再载荷を行う。

2.3. 計測方法

地山変位および応力挙動は、図-2に示すように予め盛土内に配置し埋設した土圧計とアクリル製歪計により捉えた。トンネル内の变形・破壊状況は、観察用鋼管内から写真、ビデオ撮影により観察した。また切羽進行(掘削)位置を把握するため、塩ビ管引抜き変位をワイヤーゲージにより計測した。掘削および再载荷試験では0.3秒間隔の動的計測を行った。

Keywords: トンネル模型, 地山応力

連絡先(札幌市北区北13条西8丁目, 電話 011-716-2111(6177), F A X 011-726-2296)

3. 実験結果と考察

初期載荷荷重による土圧の増加を図-3に示す。土圧は各測点とも線形的に増加しており、その増加率は鉛直・水平方向ともにトンネルに近い程大きい。掘削試験ではトンネル内部は完全に自立し、亀裂等は発生しなかった。図-4は切羽進行に伴う土圧変化の一例である。各測点とも、切羽の接近・通過に伴い土圧は急減し(図中A→B)、その後切羽が遠ざかるにつれてある程度土圧が復元する(B→C)傾向がある。このときの土圧の変化量を図中 σ_{ab} 、 σ_{bc} とした。切羽通過時の土圧の急減は各測点とも0.5D(Dは掘削径で約50cm)手前から0.5~1.5D後までの区間に生じる。鉛直方向はトンネル直上と側壁部で約18kPa、水平方向はトンネル肩部で約17kPaの最大値をとり、ともにトンネルから測点が離れるにつれて土圧の低減量が小さくなる。一方、切羽が計測断面から3.5~7・Dだけ離れるとほぼ一定値に復元するが、位置や復元量については各測点でバラツキがあり際立った傾向はみられない。アクリル製歪計の歪変化は、土圧変化とよく対応しており、横方向(XA)を除き、切羽の接近・通過に伴って計測断面の0.5・D手前から0.5~2.5・D後の区間で引張側に急変していた(圧縮からの解放)。

一般にトンネル掘削に伴う周辺地山の変位挙動は、掘削直前(約1D手前)から直後(約2D後)にかけて急変し、その後収束するが、上記の応力・歪挙動はこの現象によく対応している。再載荷試験では29kNの重錘を載荷したが(全載荷荷重270kN)、トンネル内の変化は見らず、重錘を98kNにして載荷したところ(全載荷荷重350kN)、載荷直後に計測断面付近のトンネル天端が小崩落し、ズリが円孔の半分位を埋めた。その際、両側壁部に縦断方向の亀裂が2~3mはいった。その後、約30分経過したところで、大きな破壊音とともに崩落し、掘削ズリが円孔をほぼ完全に埋めてしまった(写真-1)。天端の崩落は、トンネル中央部より20、30cmの円錐状に発生していた。

4. まとめ

- (1) 埋設した土圧計とアクリル製歪計では、初期載荷で盛土の変形応力挙動に対応した出力傾向がみられた。
- (2) トンネル掘削時の周辺地山の応力・歪変化は、切羽の約1D手前から2D後の区間において、地山内の土圧の急減や歪の急変として捉えられ、一般的な地山挙動によく対応していた。
- (3) 上載圧の増加によるトンネルの破壊は、側壁部の亀裂、天端部の崩落として現れ、側圧係数0.5前後の場合の円孔の破壊形態に酷似していた。

謝辞 本研究では(株)ダイヤコンサルタントの杉浦 高広氏に御協力を戴きました。ここに感謝申し上げます。

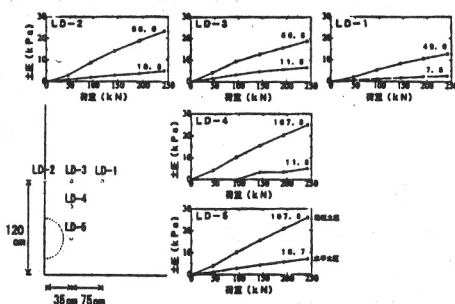


図-3 初期載荷における各測点の鉛直および水平方向の土圧変化(図中の数値は載荷1kN当たりの土圧増分(平均値)を示す)



図-4 掘削試験における土圧変化の一例(LD=4Y)

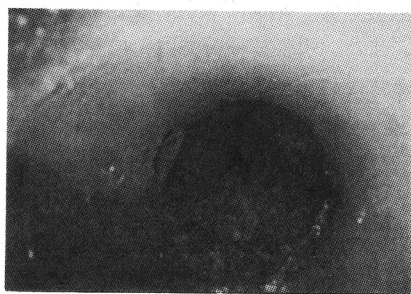


写真-1 350kN載荷後数分後の大崩落
天端部が崩落しズリが坑内を埋める。