

実測値に基づくトンネル覆工の作用土圧に関する考察

(財)地域 地盤 環境 研究所 正会員 橋本 正 ○ 髙田孝宏
京都大学 正会員 田村 武

1. はじめに 現行のシールドトンネル設計荷重は、土質条件や土被り厚に応じて全土圧またはゆるみ土圧を与えている。しかし、覆工に作用する土圧は、地盤条件や施工条件および地盤～構造物の相互作用などに依存し、これらの影響因子が相互に絡み合うため、覆工土圧の発生機構は非常に複雑であり、未解明な部分が多い。実際の覆工に作用する土圧の計測結果を考察することによって、覆工土圧が裏込め注入等の施工時荷重の影響を受けること、地盤特性に大きく依存すること、およびトンネル全周にわたり比較的均一な覆工土圧分布となることなどがわかってきている¹⁾。本論文では、地盤種別ごとのトンネル覆工土圧について、実測値に基づいて考察した。

2. 軟弱粘性土地盤での覆工土圧 軟弱粘性土地盤における覆工土圧の模式図を図1に示す。軟弱粘性土地盤では、裏込め注入圧がその後の土圧変化に大きく影響する。トンネル法線方向の初期応力に対して大きな裏込め注入圧を作用させると、土圧は上昇した後次第に低下し、初期応力に近づきながら一定値に収束する。また、初期応力に対して小さな裏込め注入圧を作用させると、その後土圧が徐々に上昇し、初期応力に近づきながら一定値に収束する。すなわち、軟弱粘性土地盤中の長期的な覆工土圧は、ほとんどが(初期応力 $\pm c$ (粘着力))以内に収束することが事例研究²⁾よりわかっている。

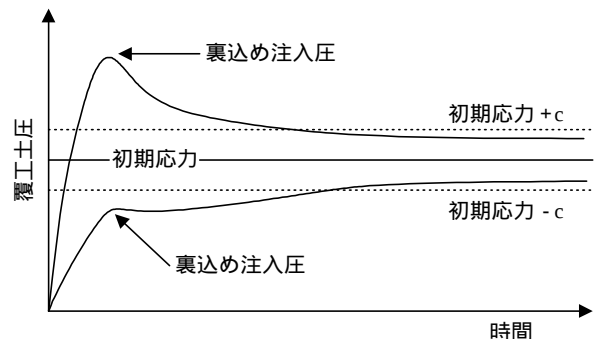


図1 軟弱粘土地盤における覆工土圧の模式図

3. 硬質粘性土地盤での覆工土圧 トンネル天端部の鉛直全土圧の実測値と全土被り圧の比(p_v / p_{v0})～地山強度比($2c / p_{v0}$)の関係を図2に、有効応力表示に直したものを図3に示す。

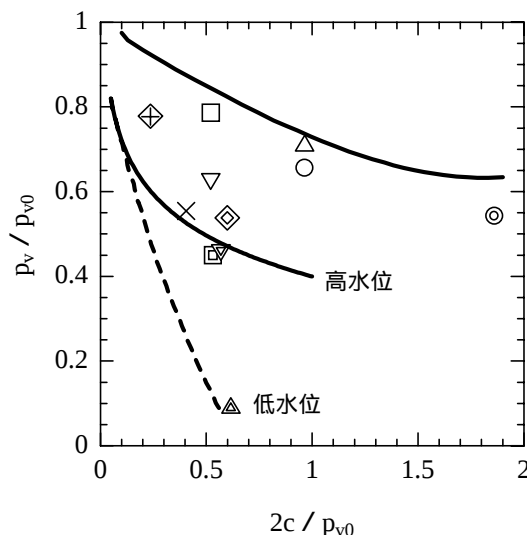


図2 $2c / p_{v0} \sim p_v / p_{v0}$ 関係(全応力状態)

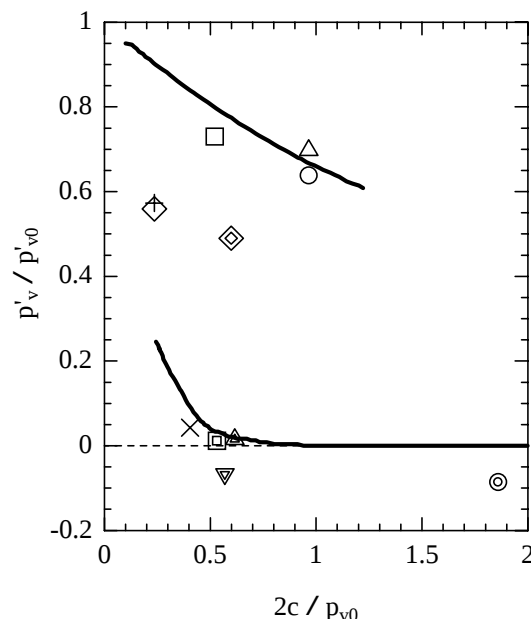


図3 $2c / p_{v0} \sim p'_v / p'_v0$ 関係(有効応力状態)

キ・ワ・ド：シールドトンネル，覆工土圧・水圧，軟弱粘性土地盤，硬質粘性土地盤，砂質土・砂礫土地盤

連絡先：(財)地域 地盤 環境 研究所 大阪府大阪市西区立売堀 4-3-2 TEL:06-6539-2973

図2において $2c/p_{v0} = 0.5$ のような軟弱粘性土では、 $p_v/p_{v0} = 1$ に近い値を示す。 $2c/p_{v0}$ が大きくなるにしたがって p_v/p_{v0} が減少し、地下水位が高い場合には $p_v/p_{v0} = 0.45 \sim 0.8$ の値をとる。また、図3において地山強度比が小さい地盤では、有効鉛直土圧 p'_v は有効土被圧 p'_{v0} に近い値を示すが、地山強度比が大きくなると p'_v/p'_{v0} の取り得る範囲は大きくなる。つまり、地山が自立する地盤では、裏込め注入を間隙水圧相当の小さい注入圧で施工した場合、有効鉛直土圧は0近くなるのに対して、沈下対策などから裏込め注入を十分におこない、土被り圧相当の大きな注入圧を作用させた場合には有効土圧は0まで減少せず、 $p'_v/p'_{v0} = 0.5 \sim 0.75$ の値を保持している事例が見られる。また軟岩や地山強度比が非常に大きい場合には、有効土圧は0に近づく。これは地盤の弾性係数が大きい場合、裏込め注入後、注入材の微小圧縮によって土圧が低下し、周辺地盤で応力を受け持つためと思われる。

4. 砂質土・砂礫土地盤での覆工土圧 地下水位が高い場合におけるトンネル天端部での実測鉛直全土圧と全土被り圧の比(p_v/p_{v0})～N値の関係を図4に示す。全応力状態ではN値の大きさにあまり依存せず、およそ $p_v/p_{v0} = 0.4 \sim 0.65$ の範囲に分布しているのがわかる。これを有効応力表示したのが図5である。N値が小さい緩い砂層・砂礫層では、シールド掘削による除荷や地盤の攪乱によって地盤が緩みやすい状況にあることから、有効鉛直土圧 p'_v は緩み土圧状態の小さい値を示す。一方、N値が40～80程度の砂・砂礫地盤のように地盤の剛性が裏込め注入材の剛性(収縮性含む)と相対的に近い場合、裏込め注入の施工条件に依存して、裏込め注入圧が残存しやすい状態にあると言える。この場合、有効天端土圧の実測値の最大値は $p'_v = 0.5p'_{v0}$ を示すが、もし、緩みが生じた場合には、 p'_v 緩み土圧になると推定される。また、N値が100を超えるような非常に密な砂・砂礫地盤の場合、裏込め注入材の圧縮変形などによって地山が自立し、 p'_v/p'_{v0} は非常に小さくなる。さらに、砂・砂礫地盤中に細粒分を混入した地盤では、粘着力の発揮によって地山が自立する場合は、土圧の発生が見られない場合もある。

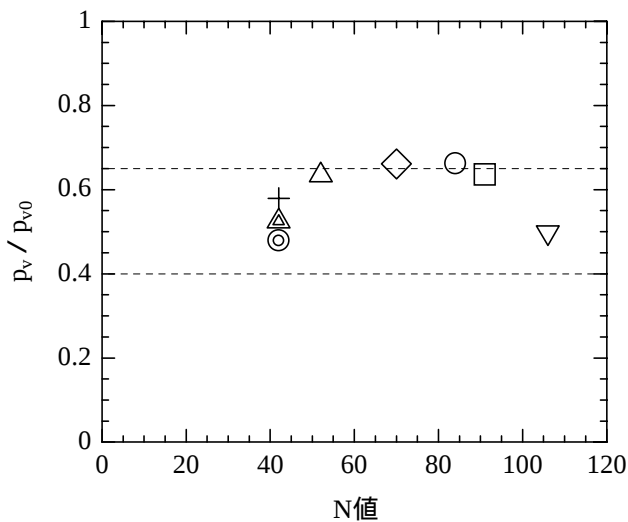


図4 N値～ p_v/p_{v0} 関係(全応力状態)

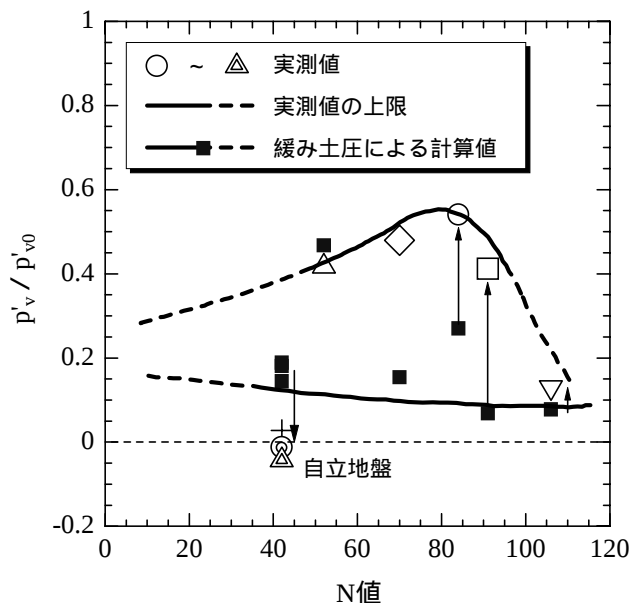


図5 N値～ p'_v/p'_{v0} 関係(有効応力状態)

5. おわりに 以上、トンネル覆工土圧について実測値に基づいた地盤種別ごとの考察をおこなったが、今後、安全性と経済性のバランスを考慮した合理的な設計上の覆工土圧を確立していく必要があると思われる。

参考文献：1)太田 他：セグメントに作用する土・水圧および応力の計測結果，トンネル工学研究論文・報告書，Vol.7，pp.405-410，1997. 2)橋本正 他：実測値に基づくシールドトンネルの設計土圧に関する一提案，トンネル工学研究論文・報告書，Vol.7，pp.291-296，1997.