

1. はじめに

トンネル土圧の発生メカニズムは、地盤内のすべり線を介したせん断力のつり合いに起因するところが大きい。従って、トンネル土圧の発生メカニズムを調査する上で、地盤の変形に伴うすべり線の進行過程が土圧に及ぼす影響を明確にすることは重要な工学的課題である。

本研究は、模型土槽底面に配置した水平板の上昇に伴う土圧の変化状況と地盤内のすべり線の進行状況について調査した実験結果に基づいて、受働側の地盤変位を受けるトンネル土圧を直線のすべり線と仮定した極限つり合いに基づく理論と従来の Marston-Spangler の突出型理論の応用の両者で評価し、比較検討したものである。

2. 水平板上昇に伴うすべり線の進行と土圧の変化状況

実験では、幅 150 cm、奥行き 30 cm の土槽に豊浦標準砂を用いて地盤を作成し、土槽底面中央部に配置した水平板を 1 mm/min の速度で上昇させ、水平板にかかる土圧の変化状況と地盤内のすべり線の進行を調査した。⁽¹⁾

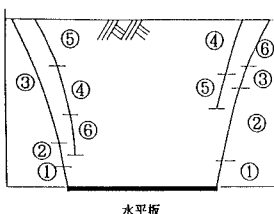
図1(a)(b)(c)は、土被り 30、60、90 cm の実験で観察された水平板の上昇に伴うすべり線の進行状況を示したものである。すべり線は、土被り 30、60、90 cm の場合に、水平板の端部から地表面に向かってそれぞれ約 71°、80°、84° の角度でひろがりながら進行している。

水平板に作用する土圧の変化状況については、土被りに関係なく水平板端部で著しく上昇し、端部より中央側では土圧はほぼ一定に分布し増加量も小さくなる事がわかった。⁽¹⁾ また、土被り 30、60 cm の場合には水平板端部に作用する土圧はピーク値を示すが、土被り 90 cm の場合にはピーク値が表れず土圧の増加が上昇し続ける結果となった。これは、土被り 30、60 cm の場合にはすべり線が地表面に達するのに対し、土被り 90 cm ではすべり線の進行が地表面まで及ばないためである。実験で得られた各土被りでの、土圧比〔(初期土圧+土圧の増分/水平板の面積)/初期土圧〕は、土被り 30、60、90 cm でそれぞれ 3.90、4.60、6.40 である。

水平板上昇量

- | | |
|---|-----------|
| ① | 0~1.1cm |
| ② | 1.1~1.3cm |
| ③ | 1.3~1.5cm |
| ④ | 1.5~1.6cm |
| ⑤ | 1.6~2.1cm |
| ⑥ | 2.1~2.6cm |

(a) 土被り 30cm

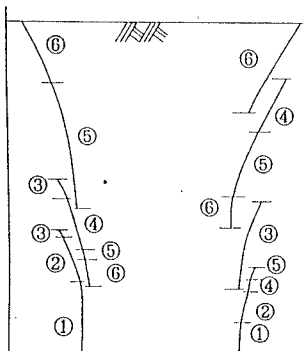


水平板

水平板上昇量

- | | |
|---|-----------|
| ① | 0~0.8cm |
| ② | 0.8~1.0cm |
| ③ | 1.0~1.3cm |
| ④ | 1.3~1.7cm |
| ⑤ | 1.7~2.0cm |
| ⑥ | 2.0~2.3cm |

(b) 土被り 60cm

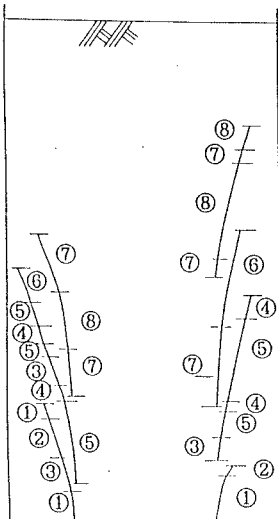


水平板

水平板上昇量

- | | |
|---|-----------|
| ① | 0~1.1cm |
| ② | 1.1~1.3cm |
| ③ | 1.3~1.5cm |
| ④ | 1.5~1.7cm |
| ⑤ | 1.7~1.9cm |
| ⑥ | 1.9~2.3cm |
| ⑦ | 2.3~2.6cm |
| ⑧ | 2.6~2.9cm |

(c) 土被り 90cm



水平板

図1 すべり線の進行状況

3. すべり線間のせん断力のつり合いによる土圧の評価

実験で観察されたすべり線を水平板端部から地表面に向かって進行する直線と仮定してすべり線間のせん断力つり合いから土圧の増加量を算定した。ここでは、すべり線を微小分割し、それぞれの分割区間に作用する鉛直土圧と側圧から Mohr の応力円を用いてすべり線に作用するせん断応力を求め、このせん断の応力の鉛直方向成分から水平板に作用する土圧の増加量を求めた。鉛直土圧は土被り圧とし、側圧の評価には、鉛直土圧に受働・静止・主働土圧係数を乗じた値を用い、それぞれの比較を行った。ここで、地盤の密度は 1.48g/cm^3 、内部摩擦角は $\phi=32^\circ$ である。この方法で得られた土圧比の値と実験で得られた土圧比の値を表1に示す。

表から側圧係数に受働土圧係数を用いて算定した値が比較的实验結果に近い値をとっている。特に土被り 30 cm の場合は土圧比の計算値が 3.95 となり実験値の 3.90 とよく一致した。しかし、土被り 60, 90 cm の場合には計算値が実験値よりも大きな値となった。

4. Marston-Spangler 理論を応用した土圧の算定

従来より埋設管に作用する鉛直土圧の評価に用いられている Marston-Sapngler の突出型理論を応用して土圧を算定し実験結果との比較を行った。Marston-Sapngler 理論では、鉛直のすべり線を仮定しているが、ここでは実験結果を踏まえて、3. と同様に水平板端部から、土被り 30、60、90 cm でそれぞれ 71° 、 80° 、 84° の角度で進行する直線のすべり線と仮定した。その結果 Marston-Sapngler の突出型理論にもとづく微分方程式は式 (1) のようになる。

$$\frac{\Delta \sigma_v}{\Delta h} = \gamma + \frac{2K \tan \phi \cdot \sigma_v}{\left(B + \frac{2H}{\tan \theta}\right) - \frac{2h}{\tan \theta}} \quad (1)$$

ここに σ_v は鉛直土圧、 h は地表面からの鉛直方向間距離、 γ は地盤の密度 ($=1.48\text{g/cm}^3$) K は側圧係数、 ϕ 内部摩擦角 ($=32^\circ$) B は水平板の幅 ($=30.0\text{ cm}$)、 H は土被り厚さおよび θ はすべり線が水平板となす角度である。コンピュータを用いて上式を数値解析し、水平板に作用する土圧の増加量を土圧比で表し、実験結果との比較を行った結果が表2である。

表から明らかなように、解析値と実験値は一致しない。特に、土被り 60, 90 cm の場合は3. で比較的近い値がみられた受働土圧係数を用いた場合に実験値に比べ解析値がかなり大きな値をとっている。図1から土被り 30cm の場合は、すべり線が水平板端部から地表面まで連続しているのに対し、土被り 60cm および 90cm の場合はすべり線は不連続に発生している。このため、土被り 60cm と 90cm の場合は、連続したすべり線を仮定した Marston-Spangler 理論の解析結果と実験値の間に大きな差が現れたものと考えられる。今後は、このような不連続なすべり線が発生する要因の調査を行い、土圧の上昇に直接影響を与えるすべり線の特定を行いたい。

表1 土圧比の比較 (すべり線を用いた方法)

土被り 側圧の評価	30 cm	60 cm	90 cm
受働土圧	3.95	5.79	7.19
静止土圧	1.90	2.11	3.17
主働土圧	1.76	2.47	3.43
実験値	3.90	4.60	6.40

表2 土圧比の比較 (Marston-Spangler 理論の応用)

土被り 側圧の評価	30 cm	60 cm	90 cm
解析値			
受働土圧	2.29	24.88	144.24
静止土圧	0.39	0.94	1.64
主働土圧	0.35	0.80	1.32
実験値	3.90	4.60	6.40

参考文献 (1) 小宮、渡邊、清水：砂質地盤の水平板上昇に伴うせん断帯進行と土圧分布、

第31回地盤工学研究発表会、P, 2301~2302, 1996