

双設落し戸に作用する土圧の算定式の3次元問題への拡張

京都大学 学生員 ○ 菊本 統

京都大学 正会員 木村 亮, 岸田 潔, 田村 武

1. まえがき トンネルに作用する緩み土圧の算定には、落し戸実験に基づく Terzaghi の式¹⁾が頻用されてきた。Adachi et al.²⁾は同式を3次元問題に拡張した。一方、筆者ら³⁾は離隔のない双設トンネル(落し戸)に作用する土圧の算定式を提案している。以上の検討を踏まえ、本稿では双設トンネルに作用する土圧の算定式を3次元に拡張する。

2. 3次元問題に拡張された落し戸土圧の算定式 Terzaghi の式¹⁾では、図1に示す落し戸境界の鉛直面 ab , cd にすべり面が仮定され、落し戸に作用する荷重の総和 L は直上の地山の自重 W と ab , cd 面に作用するせん断力の合計 $2Q$ の差として求まる。Adachi et al.²⁾は、この式を3次元問題に拡張した。例えば、図2の正方形の落し戸では、前後左右に4つの鉛直なせん断面を仮定され、落し戸土圧 σ_v は次式で求まる。

$$\sigma_v = \frac{\gamma x}{4K_h \cdot \tan \phi} \left\{ 1 - \exp \left(-4K_h \cdot \frac{H}{x} \cdot \tan \phi \right) \right\} \quad (1)$$

ここに、 x は落し戸1辺の長さ、 H は土被り、 γ , ϕ は地盤の単位体積重量と内部摩擦角、 $K_h (=1.0)$ は土圧係数である。式(1)の誘導の詳細は文献2)を参照されたい。

3. 離隔のない双設落し戸に作用する土圧の算定式 筆者ら³⁾は、隣接する2つの落し戸(下降順に先行、後続と呼ぶ)を順に下降させた後、先行および後続落し戸に作用する土圧 σ_{vf} , σ_{vn} の算定式を提案した。同式は、次の4つの仮定に基づいている。

- Terzaghi に倣い鉛直なすべり面(図3の ab , cd , ef 断面)を仮定する。
- ab , ef 断面には、落し戸側の地山に上向きに働くせん断応力 τ を与える。中央のせん断面 cd には、先行落し戸側の地山に下向き、後続落し戸側の地山に上向きに作用するせん断応力 τ' を与える。
- せん断応力 τ , τ' は、摩擦則に基づき、地山の内部摩擦角 ϕ の正接とすべり面に作用する水平土圧(拘束圧) σ_h , σ_h' の積で表される。
- 水平土圧 σ_h , σ_h' は、それぞれ土圧係数 K_h , K_h' と落し戸上の鉛直土圧 σ_v の積で表す。ただし、先行落し戸上では $\sigma_v = \sigma_{vf}$ 、後続落し戸上では $\sigma_v = \sigma_{vn}$ とする。また、 K_h' は中間地山(cd 断面)での水平土圧の低減を考慮した土圧係数であり、 $K_h' < K_h$ なる値である。

図3の灰色部に作用する鉛直力の釣合式と i)~iv) より、各落し戸に

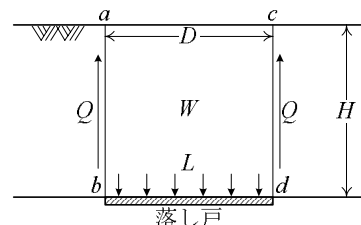


図1 Terzaghi の式による2次元落し戸土圧の算定

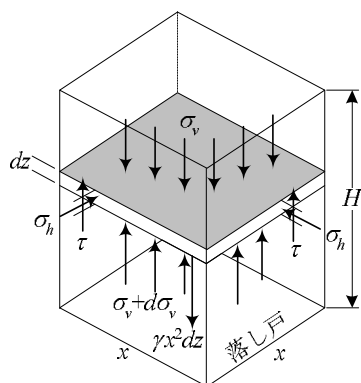


図2 Terzaghi の式の3次元問題への拡張

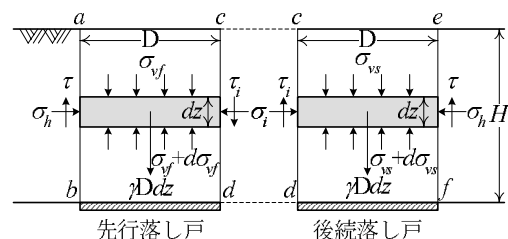


図3 2次元双設落し戸に作用する土圧の算定

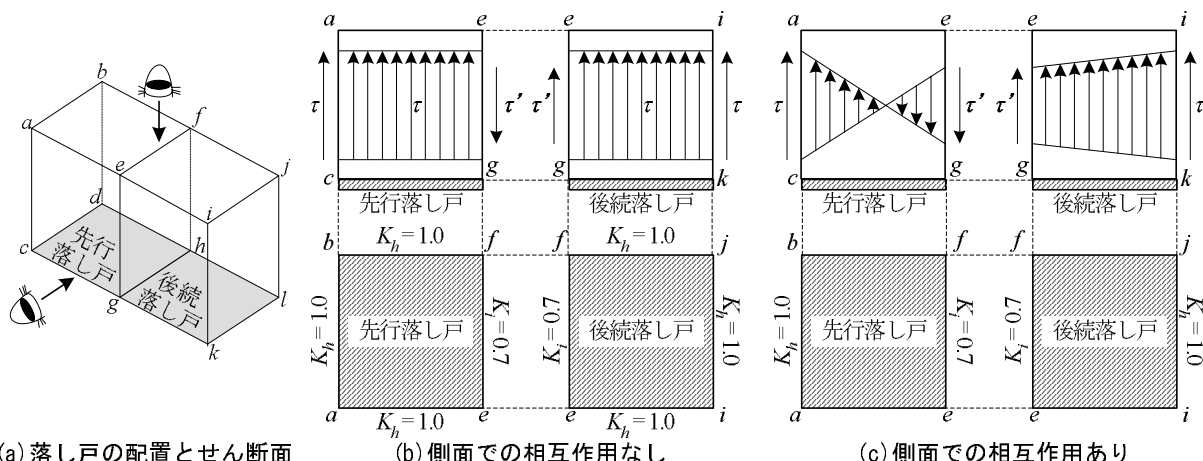


図4 双設落し戸に作用する土圧の算定式の3次元問題への拡張

キーワード 双設トンネル, 土圧, 落し戸, 算定式, 3次元

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 TEL 075-753-5106

作用する土圧は次式で表される．なお，中間地山での土圧係数 K_h' を除く全ての入力定数は Terzaghi 式と共通である．

$$\sigma_{vf} = \frac{\gamma D}{(K_h - K_h') \tan \phi} \left[1 - \exp \left(-\frac{H}{D} (K_h - K_h') \tan \phi \right) \right], \quad \sigma_{vm} = \frac{\gamma D}{(K_h + K_h') \tan \phi} \left[1 - \exp \left(-\frac{H}{D} (K_h + K_h') \tan \phi \right) \right] \quad (2)$$

4. 双設落し戸に作用する土圧の算定法の3次元問題への拡張と適用性の検証 双設落し戸に作用する土圧の算定式³⁾を3次元問題に拡張する．図4に拡張した土圧算定法の概念を示す．Adachi et al.²⁾と同様に，先行および後続落し戸を取り囲む4つの鉛直なすべり面を想定するが，先行落し戸と後続落し戸が1つのすべり面(図4の $efhg$ 面)を共有する．この面には，3で説明したように，先行落し戸側の地山に下向き，後続落し戸側の地山に上向きに，水平土圧の低減を考慮したせん断応力 τ が作用すると考える．一方，面 $efhg$ から離れた面 $abdc$ および $ijlk$ では，Terzaghi の式と同様に落し戸側の地山に上向きのせん断応力 τ を与える．

残りのすべり面 $aegc$, $eigk$, $bfhd$, $fjlk$ は，共有すべり面 $efhg$ に隣接する面であり，双設落し戸の相互作用が発生する可能性があるため，せん断応力をどのように表現するかが重要となる．今回は，これらの面に作用するせん断力を2種類の考え方で仮定する．一つ目は，図4(b)に示すように，共有すべり面 $efhg$ にのみ拘束圧の低減を考慮した τ が作用し，残りの面に作用するせん断力は Terzaghi の式と同様に落し戸側の地山に上向きに作用するせん断応力 τ を考える方法である．この考え方によると，先行および後続落し戸に作用する土圧 σ_{vf} , σ_{vs} は次式で表される．

$$\sigma_{vf} = \frac{\gamma x}{(3K_h - K_i) \tan \phi} \left[1 - \exp \left(-(3K_h - K_i) \frac{H}{x} \tan \phi \right) \right], \quad \sigma_{vs} = \frac{\gamma x}{(3K_h + K_i) \tan \phi} \left[1 - \exp \left(-(3K_h + K_i) \frac{H}{x} \tan \phi \right) \right] \quad (3)$$

ここで， x は落し戸1辺の長さ， γ は地山の単位体積重量， ϕ ($\neq 0$) は内部摩擦角， H は土被り， K_h ($= 1.0$) は Terzaghi の式に用いられる土圧係数， K_i ($< K_h$) は中間地山での拘束圧低下を考慮した土圧係数である．

二つ目の考え方は，共有すべり面 $efhg$ に隣接する4つのすべり面でも相互作用を考慮する方法である．この手法では，図4(c)に示すように，面 $aegc$, $eigk$, $bfhd$, $fjlk$ 上で，せん断応力が線形分布すると考える．つまり，面 $efhg$ に近づくほど τ に，面 $abdc$ および $ijlk$ に近づくほど τ に近いせん断応力が作用すると考える．このとき，先行および後続落し戸に作用する土圧 σ_{vf} , σ_{vs} はそれぞれ式(4)で表される．なお，式(4)の各記号の意味は式(3)と同じである．

$$\sigma_{vf} = \frac{\gamma x}{(2K_h - 2K_i) \tan \phi} \left[1 - \exp \left(-(2K_h - 2K_i) \frac{H}{x} \tan \phi \right) \right], \quad \sigma_{vs} = \frac{\gamma x}{(2K_h + 2K_i) \tan \phi} \left[1 - \exp \left(-(2K_h + 2K_i) \frac{H}{x} \tan \phi \right) \right] \quad (4)$$

続いて，式(3)および(4)による計算値と3次元双設落し戸実験⁴⁾の結果を比較する．算定に用いた値は， $x = 0.15$ m, $\gamma = 21.0$ kN/m³, $\phi = 32.0^\circ$, $K_h = 1.0$, $K_i = 0.7$ である．また，実験は4種類の土被り $H = 0.075, 0.150, 0.225, 0.300$ m で実施されており，パターンごとに値を代入した．図5に，式(3)および(4)による計算値と実験値の比較を示す．同図より，式(3), (4)はともに後続落し土圧 σ_{vs} を捉えた．しかしながら，式(3)は先行落し戸土圧 σ_{vf} に対して危険側の算定値を与える．よって，共有すべり面でのみ相互作用を考慮する手法は，双設落し戸の相互作用を過小評価すると考えられる．一方，式(4)は先行落し戸土圧 σ_{vf} を過大評価している．これは，共有すべり面に隣接する4つのすべり面で，双設落し戸の相互干渉を必要以上に大きく見積もったためと考えられる．

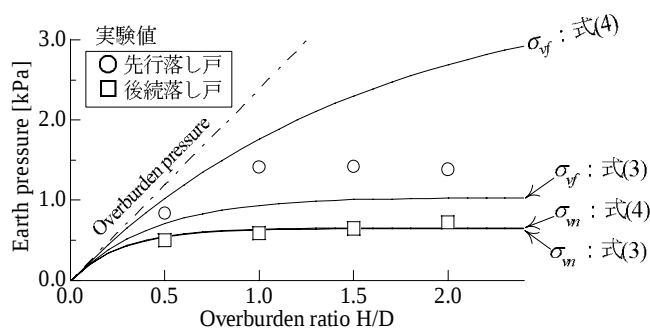


図5 算定値と実験値の比較

5. まとめ 双設落し戸に作用する土圧の算定式を3次元に拡張した．提案式による算定値と3次元双設落し戸実験の結果と比較した結果，共有すべり面のみで相互作用を考慮する手法では，実験における先行落し戸土圧を過小評価することがわかった．一方，共有すべり面に隣接する4つのすべり面でも相互作用を考慮しても，相互作用の影響がどのように発現するかを正確に見積もらなければ，先行降下床土圧を的確に算定するのは困難である．2つの落し戸が共有する面以外のすべり面においても相互作用が発生する可能性があり，それを正確に見積もらなければ落し戸への作用土圧を的確に算定するのが難しいとわかった．

参考文献 1) *Theoretical Soil Mechanics*, pp.66-75, 1943. 2) 土木学会論文集, No.750/III-65, pp.145-158, 2003. 3) 第39回地盤工学研究発表会平成16年度発表講演集, pp.1685-1686, 2004. 4) 第57回土木学会年次学術講演会講演概要集第3部, Vol.57, pp.545-546, 2002.