

山岳トンネルにおけるベンチ長を考慮した変位予測手法に関する検討

大成建設株式会社 正会員 ○中田 祐輔, 大塚 勇

1. 背景

山岳トンネル工事では、掘削に伴う壁面の変形が日々の計測（A計測）で記録され、安全管理に用いられている。掘削の前には、二次元・三次元の解析を行って変形量を予測することも多い。二次元解析では、上半掘削と下半掘削による変位進行がそれぞれ独立して起こる（上半先進工法）、または同時に起こる（全断面掘削工法）ことを想定した解析ステップで計算を行うが、上半切羽と下半切羽の離隔（：ベンチ長）が短い工法の場合、上半掘削による変位進行の収束前に下半掘削による変位進行が徐々に始まることもあり、解析上の変位進行過程が実現象と合致しないという課題がある。本研究ではベンチ長と変位進行の関係について三次元解析を用いて検討を行う。またその検討をもとに、二次元解析結果から掘削中の変位進行を概略的に推定する手法を提案する。

2. ベンチ長が変位進行に及ぼす影響の三次元解析を用いた検討

ベンチ長と坑内変位進行の関係を検討するため、真円形状断面の三次元弾性モデルにおける逐次掘削解析を実施する。掘削ステップとしては、ベンチ長を一定（上半と下半を同時に掘削）としたパターンと、実際の施工ステップを想定してベンチ長を変化（ある長さの上半掘削後、同一長さの下半掘削）させたパターンを、それぞれ数ケースずつ実施する。それぞれのケースにおける、上半切羽離れとベンチ長の関係を、図2に示す（点線：ベンチ長一定、実線：ベンチ長変化）。解析に用いる地山物性値を表1に示す。一般的な傾向を検討するため支保のモデル化はせず、変位は最大変位量で正規化して示す。

表 1 解析用地山物性値

単位体積重量	変形係数	ポアソン比
20kN/m ³	50MN/m ²	0.3

各ケースの内空変位の経距変化図を、図3に示す。ベンチ長を一定としたケースの結果（点線）から、ベンチ長が35m（3.5D）のケースでは上半掘削による変位進行が概ね収束してから下半掘削による変位が始まっているように見えるが、ベンチ長が10m（1D）程度のケースでは、上半掘削による坑内変位進行と下半掘削による坑内変位進行が分離しづらくなることが分かる。また図3にベンチ長の軸を追加して三次元的に示した図を、図4に示す。ベンチ長を変動させたケースの結果（実線）はベンチ長一定のケースの結果（点線）の間を横断するような変位進行となることが分かる。このことから、ベンチ長を変化させた解析の坑内変位量は、様々な長さでベンチ長一定とした解析結果を用いて推定可能であるといえる。このため、以降はベンチ長一定としたケースで検討を行う。

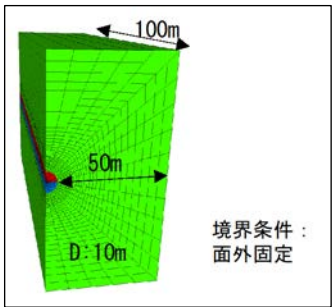


図 1 真円断面解析モデル図

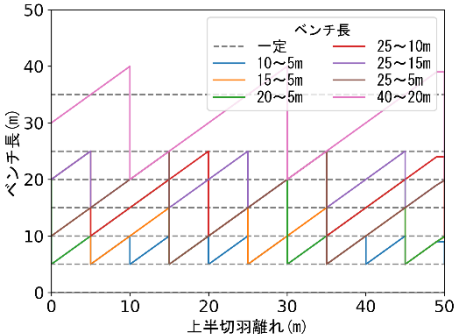


図 2 解析ケースごとの切羽位置関係

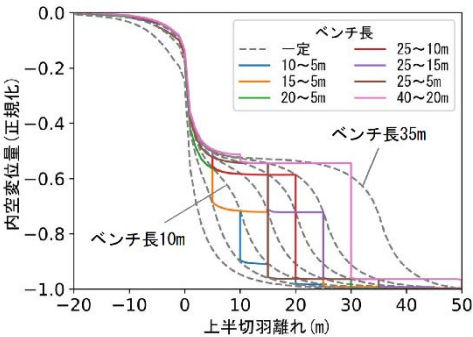


図 3 解析結果（二次元表示）

キーワード 山岳トンネル 変位予測 ショートベンチ 掘削解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 大成建設株式会社 土木設計部 TEL 03-5381-5296

三次元解析結果を用いて、上半掘削による変位と下半掘削による変位を別々に求め、ベンチ長に応じてそれらを足し合わせた結果と、ベンチ長一定の解析結果を比較して、足し合わせの妥当性について検討する。検討のため、ベンチ長を一定とした各ケースの解析結果に対して以下の操作を行う。

(操作1) 上半掘削による変位進行と下半掘削による変位進行が概ね分離しているベンチ長 35m の解析結果を、上半掘削による変位部分と下半掘削による変位部分に分割する。

(操作2) ベンチ長が 35m より短い他のケースについて、各解析ステップの上半切羽離れと下半切羽離れに対応する変位量を(操作1)で分割した変位量からそれぞれ求め、足し合わせる

以上の操作を行った結果を図5に示す。足し合わせを行った結果(実線)と三次元解析から求められた結果(点線)は高い精度で重なっている。このことから、三次元解析では、上半掘削と下半掘削による変位進行はそれぞれの切羽離れによって定まり、両者を足し合わせることで掘削中の変位進行を推定できることが分かる。

以上の検討より、素掘り弾性解析については、ベンチ長が十分長い工法(上半先進)の変位進行をもとに、ベンチ長を変化させた解析の結果を推定できることが分かる。これに基づいて、上半先進工法を想定した二次元解析結果から、ベンチ長の短い掘削工法での変位進行を簡易的に予測する手法を提案する。

3. 二次元解析結果を用いた変位進行の簡易予測手法

予測には、二次元解析結果と特性曲線を用いる。まず二次元解析で上半切羽到達、上半掘削完了、下半切羽到達、下半掘削完了時の変位量を求める。次にそれらのステップ間を特性曲線で結び、(図6)、想定する掘削ステップごとに、上下半それぞれの切羽離れに対応する変位割合を求めて合算するものとする。

図7に示す断面形状をもつトンネルにおいて、実際の掘削ステップを再現して行った三次元解析の内空変位進行と、上記手法によって同様のステップにおける内空変位進行を二次元解析結果から予測した結果を、比較したものを図8に示す。変位進行はおおむね一致しており、二次元解析結果から上半切羽位置とベンチ長を考慮した変位進行を予測できることを確認することができた。

4. まとめ

以上の検討より、二次元解析結果と特性曲線から、ベンチ長を考慮した変位進行をおおむね予測できることを確認した。今回の検討は素掘り弾性解析に限った適用範囲であるが、今後支保をモデル化した解析や実際の計測データに対しての適用性を検討し、より精度の高い変位予測と、それに基づいた安全管理に役立てたい。

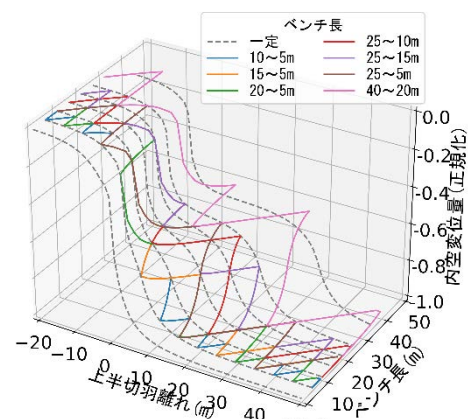


図4 解析結果(三次元表示)

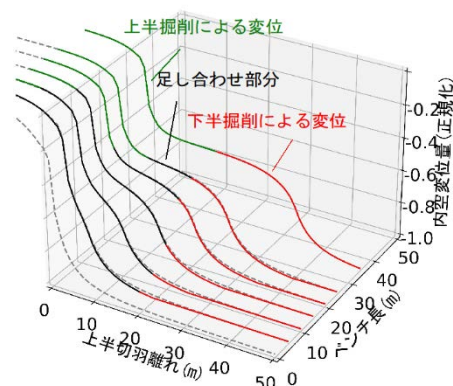


図5 上下半の掘削変位の足し合わせ

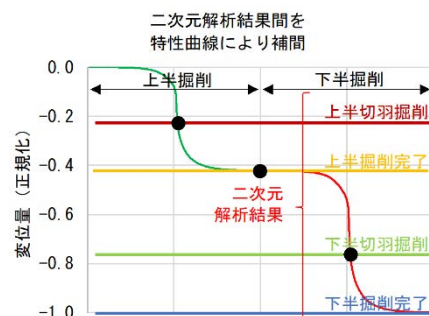


図6 二次元解析結果の特性曲線による補間

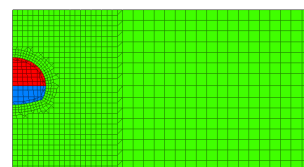


図7 解析モデル断面

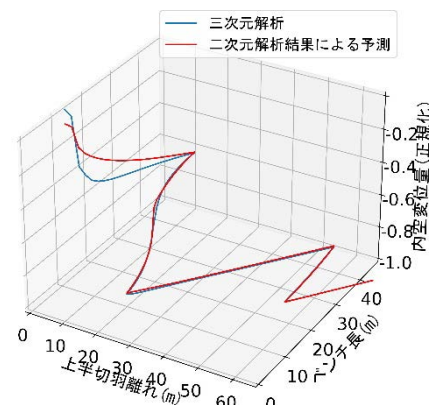


図8 二次元解析結果を用いた予測