

京都大学大学院 学生員 ○平井伸悟

京都大学大学院 正会員 建山和由

1.はじめに

従来、トンネルの施工方法としてはシールド工法，NATM，開削工法が多く用いられているが，これらの工法では掘削による残土の処理が大きな問題となっている．本研究では，掘削に伴う排土を極力無くし，かつ短時間に地下空間の創生を行うことのできる新しいトンネル構築方法を提案し，簡単な数値計算を通して，その実現可能性について検討を行った．

2.新工法の提案

比較的間隙比の大きな砂または粘土地盤内に直径 10cm ほどの小孔を水平方向に掘削し，その小孔を押し広げることでトンネルを構築することを想定する．このとき，孔壁付近の土を集中的に圧縮し，密度を急上昇させることができれば孔壁が強く安定し，覆工の役割を果たすと考えられる（図 1 参照）．したがって，覆工の簡略化をはかることができ，また，小孔を押し広げてトンネルを構築することから，排土の発生量を激減させることができる．

孔壁付近に土を集中して圧縮させるには土中に大きなひずみを発生させる必要がある．図 2 に示すように土のある要素を変形させたとき，静的に载荷した場合は，その要素全体にわたり一様なひずみが生じる（同図(a)参照）．しかし，衝撃的な荷重を非常に短い時間内にのみ载荷すると，その時間内に塑性波が伝播した部分でしかひずみが発生せず，载荷端付近にひずみを集中させることができると考えられる（同図(b)参照）．この原理をトンネル構築に応用して，衝撃的な载荷により急速に小孔を押し広げると，孔壁付近に土を集中させ比較的狭い範囲で押し広げによる影響を押さえることができる．

小孔を押し広げると周辺地盤の密度が上昇することが予想されるが，中心からある距離まで離れば，初期の密度のままに変化しない点が現れると考えられる．ここでは，その地点までの距離を影響半径と呼ぶことにする．地盤中の密度が変化するということは，その土が何らかの応力を受けていると考えられ，トンネルの土被りが影響半径より小さいと，地表面が盛り上がる等の問題を生じる可能性がある．よって，この工法を適用する際に影響半径を十分に考慮する必要がある．本研究ではこの影響半径に着目して数値計算を行った．

3.解析方法

計算では，载荷前は一様な密度分布を持った地盤内に半径 r_0 の小孔を掘削し，その孔壁に衝撃的な変位を与える場合を想定し（図 3），このとき地盤内の半径方向に伝播する塑性波の挙動とそれに伴う土の圧縮を時間ステップを追って求めた．

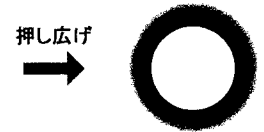
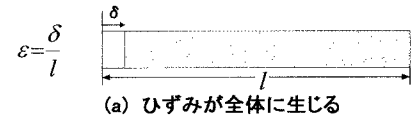


図1 構築イメージ

静的载荷



急速载荷

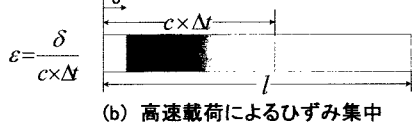


図2 ひずみの集中

C_p : 塑性波の伝播速度
 $V(1)$: 内壁面の変位速度
 r_0 : 小孔の半径

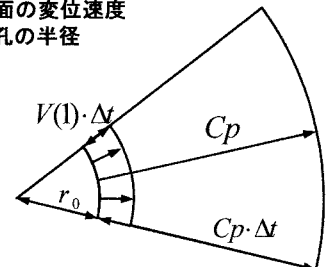


図3 圧縮過程の土のモデル化

この計算には、土の一次元衝撃圧縮現象のシミュレーション手法として開発された数値計算手法¹⁾を軸対象載荷が考慮できるように改良して使用した。ここでは、塑性波が微小時間 Δt で伝播した領域を土の一つの要素と考え、要素ごとの間隙比の変化を計算し密度変化（湿潤密度の変化）を求めた。

4.解析結果と考察

計算では、表1に示す土試料内に、初期半径10cmの小孔を掘削し、この小孔の内壁面に図4に示す変位速度 $v(t)$ を与えた。ここでは、載荷時間を0.5,0.2,0.1(s)の3パターンに、また、孔壁の変位速度を8パターンに変えて計算した。図5、図6は押し広げ後の周辺地盤の密度分布に関する計算結果の一例である。図5は孔壁の内壁面変位速度の初速度が変化することによる密度分布の違いを表している。初速度が大きいほど孔壁の密度は上昇することが分かる。また、図6は載荷時間の変化による密度分布の違いを表しており、載荷時間を長くすると、押し広げ後の小孔半径は大きくなるものの、半径に対する影響半径の大きさも大きくなっていることが分かる。また、両図からいずれの速度条件においても、小孔をある程度の大きさにまで押し広げることができること、孔壁から比較的近い距離で衝撃が吸収され、密度変化が起こる領域が比較的小さいことが分かる。

5.まとめ

本研究では、今回提案したトンネル構築方法が実現可能かを検討するため数値計算を行った。以下に本研究で得られた知見を示す。

- ① 孔壁近傍の密度の上昇程度は小孔の内壁面変位速度の初速度に依存する。
- ② 半径約3mのトンネルを構築し得る可能性がある。
- ③ 載荷速度と載荷時間を制御することで、様々な大きさの断面に押し広げることが可能と考えられる。

以上より、小孔を押し広げる速度をより早くし、載荷時間を短くすることで周辺地盤に及ぼす影響の小さな、堅く安定した孔壁を持つトンネルを構築することが可能だと言える。しかし、これらの結論は大胆な仮定に基づいたモデルと解析方法によって得られたものであり、実際の現象を必ずしも的確に表現できているとは限らない。今後の課題としては、実験による検証と構築すべき空洞に応じた載荷の制御法の確立を考えている。

〈参考文献〉1) 建山和由他：塑性波頭の伝播からみた土の衝撃締め固め機構について、土木学会論文集 No.454/III-20, pp.37～46, 1992

表 1 解析に用いた試料の諸元

土質	砂質ローム
比重	2.65
含水比(%)	11
初期密度(g/cm ³)	1.8

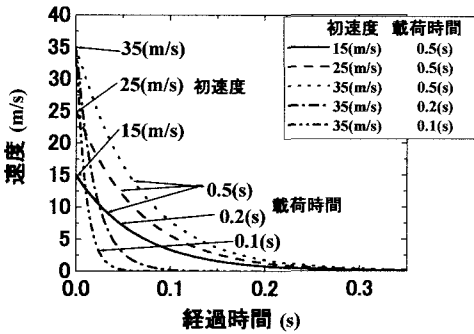


図4 孔壁の変位速度例

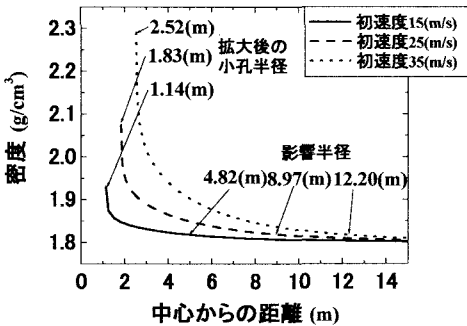


図5 周辺地盤の密度変化
(初速度による比較, 載荷時間0.5s)

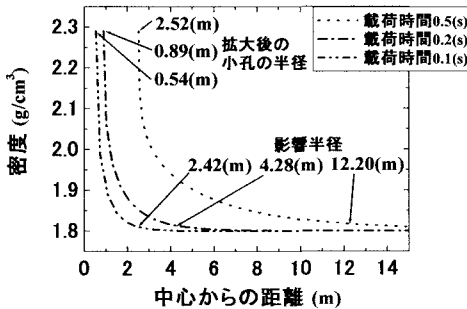


図6 周辺地盤の密度変化
(載荷時間による比較, 初速度35(m/s))