

拡幅掘削時のトンネル構造の挙動に関する実験的考察

東京都立大学大学院 学生会員 ○井上 洸志

東京都立大学 正会員 砂金 伸治

土木研究所 正会員 日下 敦

1. はじめに

近年の車両の大型化や交通量の増大に伴って、トンネル内での車両のすれ違いや歩行者の通行が困難な断面の狭いトンネルが増えてきている。また、老朽化や地山状態の変化などにより、覆工コンクリート等に変状が発生し、覆工を打ち直すなどの改築に迫られるトンネルなど、既設トンネルの断面を拡幅する必要性が高まっている。しかし、通常のトンネルの掘削におけるゆるみ領域、作用荷重といった力学的なメカニズムは多く研究されているが、既設トンネルの支保構造を含めて地山部分を撤去し、拡幅した場合における地山の応力再配分等に関する挙動や、地表面等を含む周辺へおよぼす影響、また、改築されるトンネルに必要と考えられる構造諸元に関して不明確な点が多く残されている。そのため、現状での断面拡幅・改築時のトンネル支保構造は、新設トンネルの設計方法に準拠した支保構造を採用している場合が多く、設計方法や施工方法は個々の工事で独自に検討されており、特に定められた手法がないのが現状である。したがって、既設トンネルが存在することによるそれ自体の先進導抗としての効果や、既設トンネルの掘削によりトンネル周辺部に発生するゆるみ領域の存在などを考慮した、より合理的な拡幅時の設計法等の確立が求められている。

以上の背景を踏まえ、本研究では、既設トンネルを拡幅する際に必要となる支保構造の考え方を明確化することを目標とし、拡幅掘削時におけるトンネル構造の基本的な挙動を把握するために模型実験を行った。

2. 実験方法

重力場においてトンネルの断面を拡幅する場合におけるトンネル構造の力学的挙動を把握する目的で二次元模型実験を行った。地山材料には、簡便で再現性も期待できることや一般の砂の内部摩擦角に近いことなどよりアルミ棒積層体を使用した。トンネル模型は、弾性係数が 2802N/mm^2 の硬質塩化ビニル管を用いており、奥行 100mm 、直径は既設トンネルでは 60mm 、拡幅トンネルでは 89mm で、 $3/4$ 円に加工してある。

実験では図-1に示す「通常掘削」と「拡幅掘削」と称する2種類の掘削方法による結果を比較した。掘削はトンネル模型を設置し、その模型に巻いたテフロンシートを引き抜くことで内空変位を生じさせることで模擬する手法とした。この場合、とくに拡幅掘削では、直径 60mm の既設トンネル模型を設置し、既設トンネルの掘削を模擬した後、直径 89mm の拡幅トンネル模型をアルミ棒地山に同時に押し入れることで断面の拡幅を模擬した。そして、押し入れた

直径 89mm の掘削を上述の方法で模擬し、最終的にトンネル模型に作用するひずみを測定し、拡幅掘削によるトンネル構造の挙動の把握を試みた。なお、直径 60mm のトンネル模型には 0.3mm テフロンシートを4枚で 1.2mm 、直径 89mm のトンネル模型には 0.3mm テフロンシートを6枚で 1.8mm の内空変位を発生させた。また、拡幅掘削において、画像解析を用いたテフロンシート引き抜きごとのアルミ棒地山の変位測定を行った。写真-1に実験状況を示す。

3. 実験結果

図-2に、拡幅掘削において、拡幅トンネルを押し入れて設置した段階におけるアルミ棒変位の図を示す。図-2に示すキーワード： トンネル、拡幅掘削、模型実験、支保の設計、ゆるみ領域

連絡先： 東京都立大学 住所〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1 TEL042-677-1111 (代表)

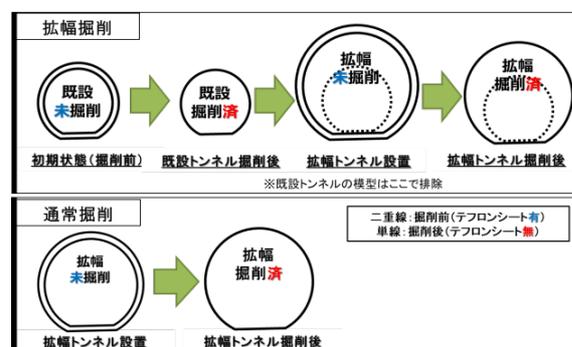


図-1 実験方法



写真-1 実験状況

(左：拡幅模型の押し込み時，右：拡幅掘削後)

す白線の内側は既設トンネルで発生させた内空変位である1.2mm以上の変位をトンネル中心方向に起こしている。この範囲は既設トンネルの掘削模擬と、拡幅トンネルを押し入れることによって発生したゆるみ領域と考えることができる。

図-3 に内空変位を与えるごとの圧縮ひずみの推移を示す。通常掘削の場合では、内空変位を与えるごとに徐々にトンネル模型に作用する地山荷重による圧縮ひずみが減少していき、内空変位0.9mm以降は圧縮ひずみの減少は緩やかになっていった。図-4 に示す支保工と地山の相互作用の図より、トンネルの安定は地山特性曲線と支保工の特性曲線が交わった点で得られることが示されている。今回の結果においても、ある程度内空変位を与えた段階で支保圧が収束する点があり、そこから内空変位を与えても圧縮ひずみは変化しなかったと考えられる。一方、拡幅掘削の場合では、直径89mmのトンネル模型を押し入れた段階でトンネル模型に作用する圧縮ひずみは既に減少しており、その後、内空変位を与えることによって起こる圧縮ひずみの減少はなく、そのひずみの値は通常掘削の場合と明確な差異はなかった。つまり、既設トンネルの掘削によるゆるみ領域の発生によって、拡幅トンネルの支保構造に働く応力は減少されるが、その減少される値は、その断面積の新設トンネルの掘削により減少される支保構造に働く応力の値と大きな差はないと考えられる。したがって、既設トンネルのゆるみ領域内で拡幅掘削を行う際の支保の規模は、同じ断面規模の新設トンネルを掘削する際に適用される標準支保パターンを使用すれば構造上の問題は少ない可能性があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、既設トンネルを拡幅する際に必要となる支保構造の考え方を明確化することを目標とし、模型実験を通じて、拡幅掘削時におけるトンネル構造の基本的な挙動を把握することで、拡幅トンネルの支保の設計の考え方を検討した。アルミ棒地山を用いた二次元模型実験から、既設トンネルのゆるみ領域内で拡幅掘削を行うと判断できる場合の支保の規模は、その掘削後の断面積を有する新設トンネルに適用される標準支保パターンを使用すれば構造上の問題は少ないと考えられることが明らかになった。これは言い換えれば、このような条件下では、既設トンネルが存在することによる拡幅トンネルに施工する支保を軽減させられる効果が乏しいことを示す可能性があると考えられる。

一方で、著しく塑性化した領域を掘削する場合や、先行掘削にともなう3次元的な効果による影響の把握等の様々な条件下における拡幅掘削時におけるトンネル構造の基本的な挙動の把握に関しては今後も検討が必要であると考えられる。また、今回行ったアルミ棒地山を用いた実験における拡幅掘削の再現の整合性に関しては、再現解析やさらに試行回数を増やすなどをして検討していく必要がある。

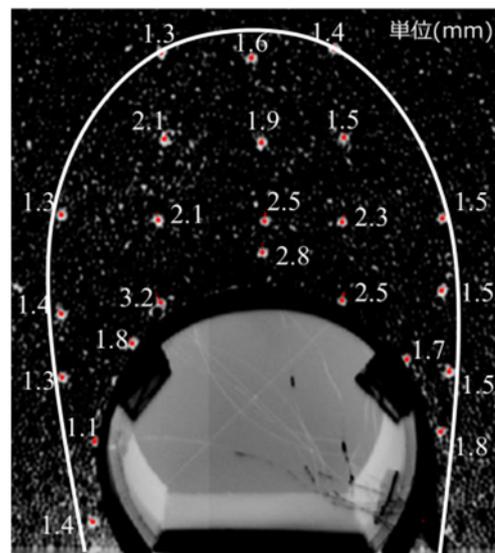


図-2 拡幅トンネル設置時アルミ棒変位
(拡幅掘削)

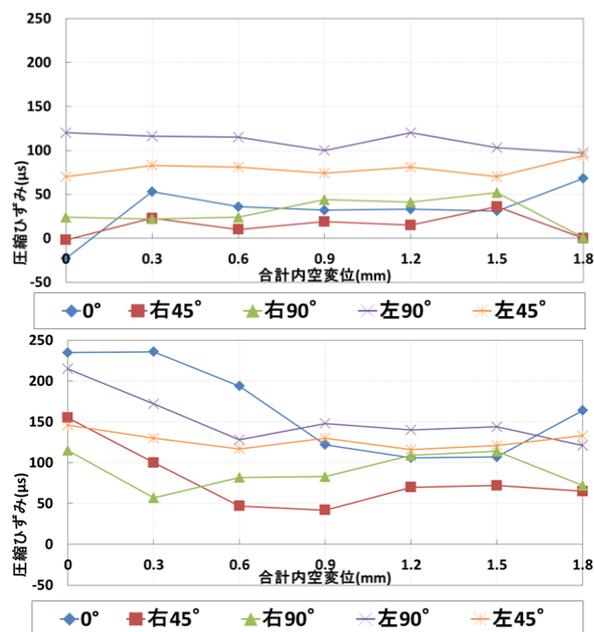


図-3 圧縮ひずみ推移
(上：拡幅掘削 下：通常掘削)

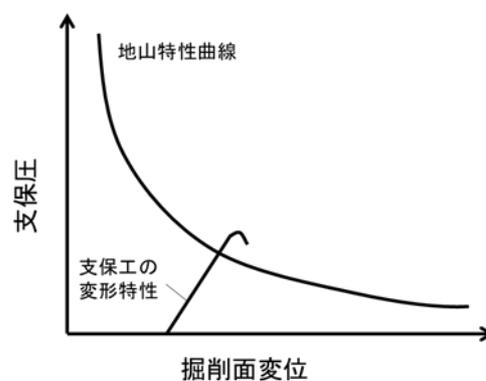


図-4 支保工と地山の相互作用