

都市部山岳工法トンネルの支保設計諸元に関する実績調査および分析

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 新井 泰 大石敬司*)
 ハ°シフィックコンサルタンツ(株) 正会員 松長 剛**)

1. はじめに

一般に、環境条件や地山条件の厳しい都市部におけるトンネル建設には、開削工法やシールド工法が適用されてきた。しかし、断面選定の自由度、各種補助工法に関する技術開発の進展等を背景に、山岳工法を都市部の非開削工法として適用する事例(いわゆる都市 NATM)が増えている。一方、設計体系については、事前の当初設計と施工時の修正設計という流れこそあるものの、都市部の適用に特化した定型的な設計法は未だ無く、各事例毎に様々な設計が行われている。そこで、筆者らは、設計・施工実績調査、実験、数値解析等を通じて安全かつ合理的な設計法の確立を目指しているが、本報告では、その一環として行っている支保設計諸元の実績調査・分析作業で得られた計測値および予測値との比較に関する知見について述べる。

2. 支保設計諸元に関する実績調査

検討に先立って、これまでに施工された都市部山岳工法トンネルの支保設計諸元に関する実績調査を行った。調査対象としたトンネル・工区の条件は「立地条件：都市部及び都市近郊」「地山条件：未～低固結の堆積地山」とし、鉄道の事例を中心に 52 トンネル・工区についてのデータの収集を行った。

その結果を図 - 1 に示すが、都市部山岳工法トンネルにおける支保設計諸元では、山岳部のような対象地質毎に支保ランクが上下する傾向は見られなかった。また、ロックボルトの省略事例が 1985 年以降に見られるようになり、この傾向は先行支保等の導入が一般化してきた近年において顕著になっている。

【代表的な支保設計諸元(全 52 事例)】

- ・吹付けコンクリート 20cm : 29 事例 ・ロックボルト省略 : 16 事例
- ・鋼製支保工サイズ 125H : 18 事例, 150H : 20 事例

3. 計測結果に関する分析結果

全 52 事例の施工実績から、天端沈下と支保応力(吹付け応力・鋼製支保工応力)の計測値について分析を行った。

(1) 天端沈下について

地山条件の相違による支保設計諸元に差が無かった結果を踏まえて、掘削工法(上半先進工法)と支保設計諸元(吹付け厚 20cm・鋼製支保工サイズ 125H)の事例を抽出し、地山条件(地質・土被り比)と天端沈下の関係を図 - 2 の如く整理した。

同図が示すように、地質条件によって天端沈下は大きく異なっており、同じ施工条件・支保設計諸元における天端沈下を比較した当該結果によると、未固結地山では岩盤地山よりも大きな支保応力が発生していると想定される。

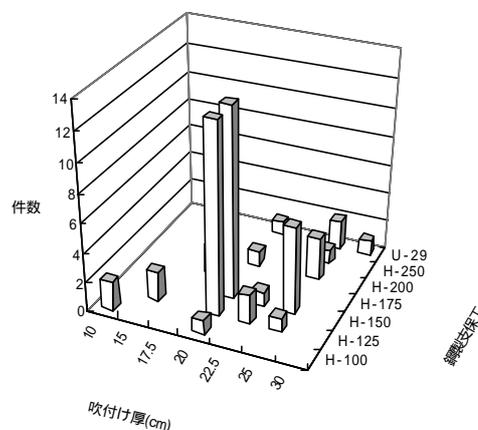
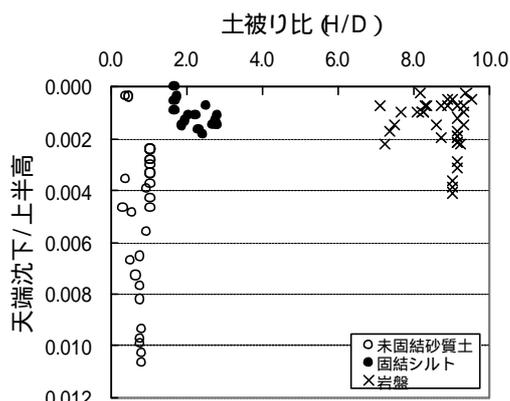


図 - 1 支保設計諸元の調査結果



断面規模の影響を考慮し、天端沈下を上半高で無次元化した

図 - 2 天端沈下の計測結果

*) 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7266 FAX 042-573-7248

**) 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 TEL 03-3344-1903 FAX 03-3344-1906

(2) 支保応力について

天端沈下の分析結果を踏まえて、支保応力として吹付け応力と鋼製支保工応力の計測値を図 - 3 の如く整理した。実績調査で収集できた支保応力に関する計測事例は非常に少なく、吹付け応力：8 事例 / 鋼製支保工応力 16 事例であった。

したがって、地山条件等の相違による影響について十分な考察はできないが、収集した計測事例によると、吹付け・鋼製支保工ともに許容応力度の 50% 程度の応力値を示している事例が多く、先行支保が無い事例では、許容応力度以上の計測値を示している事例も確認された。

4. 計測値と予測値の相関に関する分析結果

都市部山岳工法トンネルの設計では、FEM で掘削挙動の予測と同時に支保設計を行う場合が多い。そこで、当初設計における FEM の予測値と当該計測値を比較し、施工に対する設計上の見かけの安全余裕について検討した。なお、比較結果の整理にあたっては、山岳部の施工事例を逆解析した土屋ら¹の研究成果を引用した。検討結果を図 - 4, 5 に示す。

(1) 天端沈下の相関性について

- ・当初設計における予測値は、逆解析(×印)よりも計測値との乖離が大きくなっており、都市部山岳工法においては、沈下に対する安全余裕を高く設定していることがわかる。
- ・地盤剛性の低い未固結砂質土(○印)では、固結シルト(●印)よりも予測値が大きくなっており、施工時の沈下対策工(先行支保や補助工法)を経て沈下が軽減されている。
- ・予測値よりも計測値が大きくなっている事例もあり、FEM では設計用値とモデル化範囲の設定が重要である。

(2) 吹付け応力の相関性について

- ・天端沈下の相関性に比して、当初設計の予測値と計測値の相関性が高くなっている。
- ・天端沈下、内空変位を逆解析した結果(×印)では、予測値に対してばらつきが大きくなっている。したがって、当初設計において FEM の解析結果を活用する場合は、予測したい内容を予め明確にしておくことが重要である。

5. まとめ

都市部山岳工法トンネルの実績調査、計測値と予測値に関する分析を行い、以下に示す知見が得られた。

- (1) 都市部山岳工法トンネルでは、地山条件に関わらず概ね同等の支保設計諸元が採用されており、未固結地山では天端沈下や支保応力が大きい(支保応力が許容応力度の 50% 程度発生している事例が多い)。
- (2) 当初設計では、変位に対する安全余裕を高く設定している場合が多い。また、支保応力については予測値と計測値が同程度となる事例が多く、当初設計時の支保選定に際しては十分な検討が必要となる。

以上の知見を踏まえて、今後は都市部山岳工法トンネルの特徴を反映した支保設計手法を検討し、当初設計における FEM の適用方法についても重要な検討課題と位置付けて検討を進めていく予定である。

最後に、設計・施工に関する技術資料を多数ご提供頂いた各鉄道事業者の方々に深甚なる謝意を表します。

1:12 のロックボルト・吹付けコンクリート・トンネルにおける解析値と実測値の比較, 土屋, 安田, 1987 年 鉄研速報

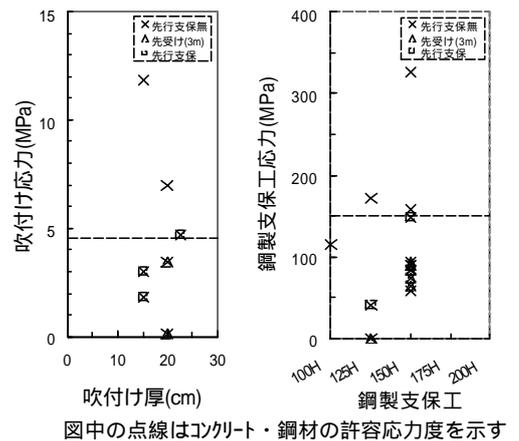


図 - 3 支保応力の計測結果

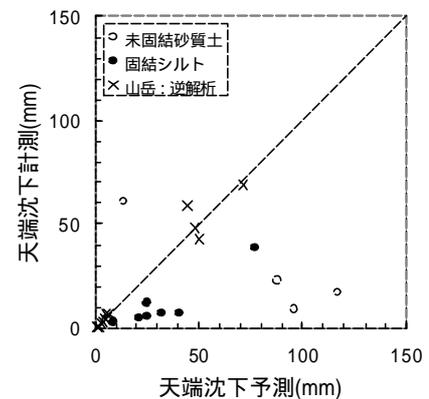


図 - 4 天端沈下の計測値と予測値

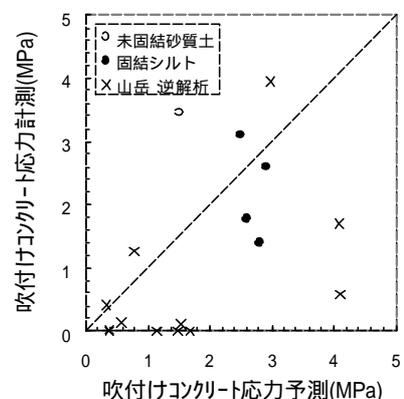


図 - 5 吹付け応力の計測値と予測値