

Ⅲ - B71

トンネル用鉄筋支保の力学挙動に関する研究

早稲田大学 学生員 何 川

早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

トンネル用鉄筋支保(Lattice Girders)は、鉄筋を溶接して組み立てた骨格状になるようなトンネル支保である。現場の使用効果および今までの研究結果では、鉄筋支保の以下について利点が証明されている。(1)製造しやすい。(2)自重が軽くて施工しやすい。(3)ある程度の変形を調節することができる。(4)他の支保工(例えばロックボルト、吹き付けコンクリート、コンクリート二次覆工)との整合性がよい。(5)経済性がよい。したがって、現在、中国ではトンネルの支保工に、鉄筋支保がよく使用されている。

しかしながら、鉄筋支保の実施段階では、いろいろな問題を抱えている。まず、(1)地盤と鉄筋支保の相互作用の力学関係は考察が不十分で、この支保工におけるトンネルの横断面の縮小量および安定度を判断する尺度が定まっていない。鉄筋支保、特に吹き付けコンクリートとの複合構造がトンネルの岩盤に提供する拘束力を判定できない。(2)NATMでのトンネルの掘削・支保の大原則は地山の強度を最大限に発揮させ、人工的な支保をできるだけ低減すること、応力集中を避けるように地山中の応力の再配分を促進すること、地山を拘束して補強することである。以上に述べた原則を実現するために、トンネルの横断面縮小量をある程度許容しなければならない。この場合は、トンネル壁面の変形に応じた鉄筋支保の変形の抑制対策がまだ確立していない。(3)伝統的な荷重・構造系および岩盤力学体系における鉄筋支保の強度計算だけが定性的に見積もられている。(4)合理的な鉄筋支保の構造に対する検討が不十分である。

上述の諸問題を解決するため、岩盤と吹付けコンクリートの影響を考慮して鉄筋支保の力学構造実験および解析を行った。

2. 実験概要

実験に用いた鉄筋支保模型は半円形(直径 2m)で、通常の複線トンネルの上半横断面寸法の約 1/5 である。鉄筋支保の横断面構造にはX型(A型)、▽型(B型)、△型(C型)、□型(D型)の4つある。図1は実験に用いた鉄筋支保を示したものである。この鉄筋支保の鉄筋は普通のφ6.5、φ10、φ14の建築用鉄筋である。本研究では鉄筋支保の継手についての問題は考えていなかったため、継手は設置されていない。加工された鉄筋の力学的性質があらかじめ測定された。この結果から加工された鉄筋の強度は特に損失して

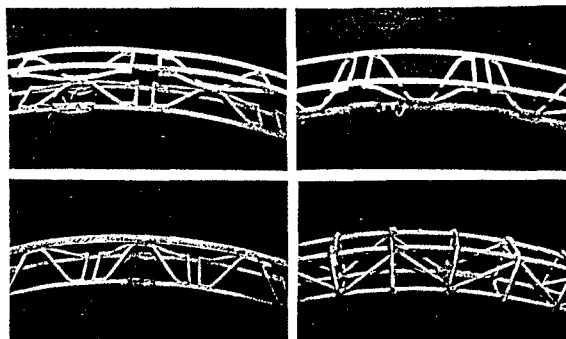


図1.

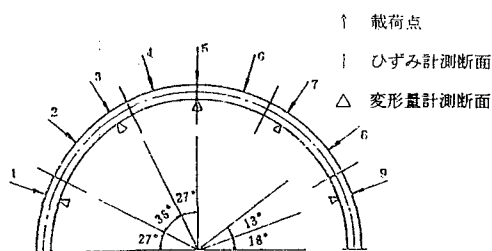


図2. 実験概要

キーワード：トンネル支保工，NATM，鉄筋支保，力学挙動

連絡先：〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部土木工学科小泉研究室 TEL(03)3204-1894

いなかった。実験は次の4種類について行った。すなわち、（1）鉄筋支保骨格：鉄筋支保の骨格体だけで、吹付けコンクリートのないもの、（2）薄肉の吹付けコンクリートとの複合構造体：鉄筋支保は薄肉（横断面半分の厚さ）の吹付けコンクリートで部分的に被覆したもの、（3）厚肉の吹付けコンクリートとの複合構造体：鉄筋支保は厚肉（横断面の厚さ）の吹付けコンクリートで十分に被覆したもの、（4）無筋の吹付けコンクリート：同じ厚さの無筋の吹付けコンクリート（薄肉と厚肉）のみのもの、である。実験は全部で17組行った。実験に用いた吹付けコンクリートの圧縮強度は $\sigma_c=185\text{kgf/cm}^2$ 、弾性係数は $E=2.58\times 10^5\text{kgf/cm}^2$ である。図2は実験の概要を示したものである。9ヶ所の載荷位置に法線方向で荷重を静的に作用させた。実験の種類によってはそれらの載荷位置にゴムが設置された。支保に対する地盤の弾性拘束はそのゴムにより評価した。載荷は構造体が崩壊するまで行った。実験の過程中、5ヶ所の断面で鉄筋と吹付けコンクリートの表面ひずみおよび法線方向の変形量を測定した。

3. 解析計算

解析には、静力計算法および有限要素法を用いた。静力計算法は鉄筋支保の横断面内力および各鉄筋棒中の応力が簡単に計算できる。しかし、岩盤の拘束の影響を考える場合にはこの方法を用いず、各種の岩盤の性質によるシミュレーションを行い、FEMを用いて、岩盤と鉄筋支保の相互作用の力学計算を行った。

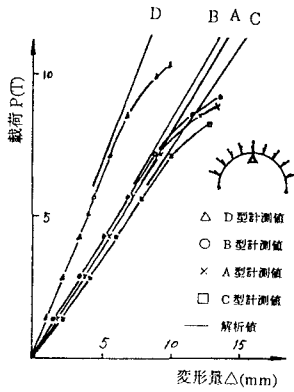


図3. 各鉄筋支保
の載荷—変形曲線

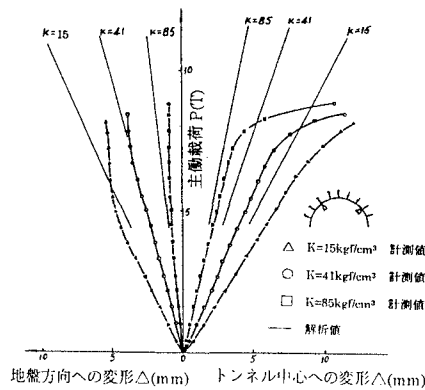


図4. D型鉄筋支保
の偏圧載荷—変形曲線

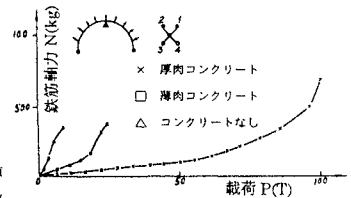


図5. A型鉄筋支保
の鉄筋軸力値変化曲線

4. 実験結果と解析結果との比較および考察

以上の鉄筋支保の実験および解析から以下の結果が得られた。

- ①鉄筋支保自身の耐荷能力はそれほど高くない。しかし、吹付けコンクリートとの複合構造になると吹付けコンクリートの厚さのわずかの増加に応じて耐荷能力が大きく増加する。
- ②鉄筋支保と吹き付けコンクリートの複合構造では、鉄筋およびコンクリートの材料性能の両方が十分に発揮される。伝統的な従来の鋼製アーチより、鉄筋支保の力学的性能がよい。
- ③鉄筋支保の剛性はトンネルの岩盤が変形するにつれて吹付けコンクリートでどのようにも調節できる。このため、鉄筋支保の自身の変形に対する適用性が大きく、岩盤の最大許容変形量内におさめることができる。したがって、地山強度を最大限に発揮させ、岩盤との安定体系が早く実現できる。
- ④鉄筋支保の構造によって、耐荷性能と耐変形性能が異なる。□型のような四角形の横断面の構造は他のものより、耐荷性能および耐変形性能に優れており、経済性もよい。

鉄筋支保と吹き付けコンクリートとの横断面の強度計算方法を提案した。これによればトンネルの安定性が定量的に計算できる。また吹付けコンクリートの各層の厚さと設置時期を決定できる。