

III-31

ECL工法（鋼リング支保工方式）における構造実験

東京理科大学	正会員	松本嘉司
佐藤工業 ㈱		倉木修二
西松建設 ㈱	正会員	熊谷健洋
㈱ 熊谷組		山本征彦

1. はじめに

シールドトンネルの覆工体は、一般的にセグメントが使用されているが、近年、新しい覆工方式として場所打ちコンクリートによる方法（ECL工法）が注目されてきている。

ECL工法における覆工体の補強法は各種検討されているが、当工法は、I形鋼をリング状に組立て、鋼リング間にコンクリートを打設することでライニングを構築するもので、形態的には山岳工法における支保工に近いものである。

本報告は、鋼リング支保工方式の開発の内、構造的特性の検討結果に関するものである。

2. 構造形式の概要

円周方向に設置する支保工（鋼リング）は、全ピースとも中心角 60° の六分割でキーブロックは設けず、ピース間の接続面はリング中心を向いている。したがって、最終ピースはトンネル軸方向に挿入する。ピース間は突き合わせ継手で、ボルト（高張力鋼、M24、F10T）4本で締結する。また、隣接する支保工では継手位置一致しないような千鳥配置とする（図-1）。

3. 実験内容

① 実験方法

本実験では、曲げと軸力との組合せの自由度を増すために、梁による2点荷重方式を採用した。試験体は支保工単体、コンクリートを打設した1リング幅、2リング幅の3種類とし、加力方法は「曲げのみ」および「曲げ+軸力」の2種類行なった（表-1、図-2）。

試験体の設計には、東京都内のモデル地点の土質から慣用設計法により算出した想定荷重（軸力 $157.5\text{tf}/\text{m}$ 、曲げ $19.3\text{tf}\cdot\text{m}/\text{m}$ ）を用いた。実験中の加力は想定荷重までは、軸力・曲げ荷重とも比例して増加させ、それ以降は曲げ荷重のみを増加させた。

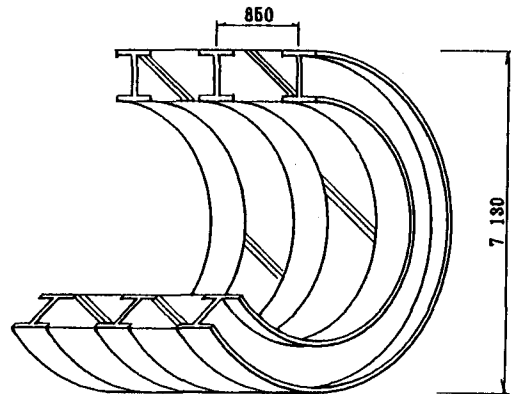


図-1 覆工体概念図

表-1 実験ケース

	曲げのみ	曲げ+軸力
支保工単体	○	—
1リング幅	○	○
2リング幅	—	○

※○の組合せで実験を行なった

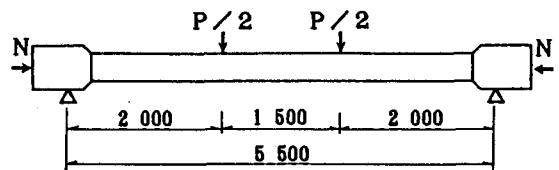


図-2 加力方法

② 材料特性

鋼材はH-350×350×12×16（SS41、静弾性係数 $E_s=2.07 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ）を使用した。コンクリートは早強ポルトランドセメントを用い、その力学特性は表-2に示すとおりである。

表-2 コンクリートの材料特性 (kgf/cm^2)

	圧縮強度	引張強度	静弾性係数
標準養生	240	31	2.8×10^5
現場養生	226	30	2.8×10^5

※現場養生：試験体と同一条件の養生

4. 実験結果

① 支保工単体による曲げ試験

継手部の曲げに関する剛性は端板とウェブの板厚の影響が大きいが、当試験では、端板の塑性変形による継手位置での折れが発生した。しかし、強度的には端板の破壊よりボルトの破断の方が先であった。破壊荷重（ $38.0 \text{ tf} \cdot \text{m}$ ）等はボルトを主筋としたコンクリート部材とみなして計算した場合と一致した。

② 1リング幅試験体の曲げ試験

軸力を加えたときのコンクリートのひびわれの発生は曲げ荷重 $38 \sim 41 \text{ tf} \cdot \text{m/m}$ で、想定荷重を越えてからであった。支保工のウェブにはスタッドを打込んだが、鋼材引張側フランジの降伏時においても鋼材とコンクリートが分離することはなかった。軸力の有無によらず、ほぼ期待通りの応力分布であった。

③ 2リング幅試験体の曲げ試験

この試験は、継手部の影響について検討するためにおこなった。

支保工の継手部と両側に隣接する支保工の荷重分担は、継手部の剛性の高低により決定すると考えられる。実験では、ボルトと一般部フランジがほぼ同一変位で降伏領域に入ったが、高張力鋼ボルトを用いているためかボルトの破断が先であった。終局状態を考えると、継手部の剛性をやや下げた方が好ましと思われる。

なお、コンクリートの初期ひびわれは、発生荷重、位置とも継手の有無に関係なく、1リング幅の場合と同様であった。最終破壊時（ボルト破断時）には継手部にひびわれが集中していたが、コンクリート塊の落下等は発生しなかった。

5. おわりに

ひびわれ発生荷重、応力分布、破壊荷重等の構造的性質は、計算で得られていた値とほぼ一致し、期待どおりの結果であった。また、この結果は、より施工性が良く、構造的に有利なピース間継手の開発により、さらに経済性の高い覆工体も可能であることも示唆している。

現時点では、トンネルに作用する荷重に未だ不明な点があり、さらに、地山を弛めることのない場所打ちコンクリートライニング工法の場合には従来とは異なる点もあり、さらに複雑なものとなっている。これらの検討も含めてより経済的な構造、効率的な施工法の開発を今後の研究テーマとしたい。

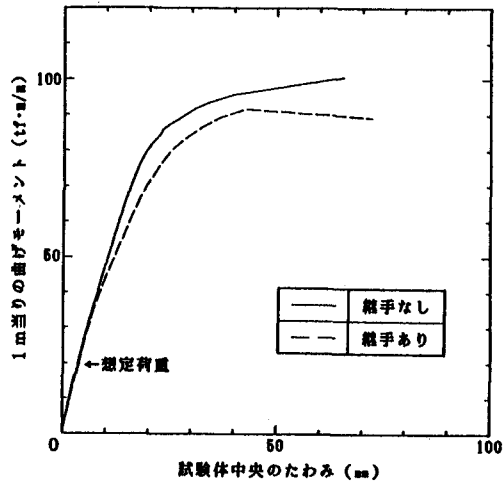


図-3 試験体中央のたわみ