

Ⅲ-609

大断面矩形シールドトンネル用セグメントの開発
（その2）水平部材

竹中土木 正会員 ○ 近 信明
竹中土木 正会員 藤井 義文
竹中工務店 石瀬 俊明

1. はじめに

2車線道路の幅員を確保し、かつ、柱をもたない矩形シールドトンネルでは、土被り13mを想定した場合に、水平部材はセグメント幅1.2mあたり $M=28.1\text{tfm}$ の正の曲げモーメントを受ける。この大きな正曲げに抵抗できる構造として、橋梁の合成桁に似たSRCセグメントの開発を行っている。

本報告では、矩形シールドの水平部材となるセグメントの実物大供試体による単体曲げ実験、ならびに継手曲げ実験の結果について報告する。

2. セグメント構造

セグメント構造を図-1に示す。セグメントは圧縮側にコンクリート（ $\sigma_{ck}=56.0\text{kgf/cm}^2$ ）と鉄筋（D41）、引張り側に鋼材（SM490A）を配置し、スタッドジベル（ $\phi 22\text{mm}$ ）を介してコンクリートと鋼材を一体化した合成構造とした。

次に、その継手の構造を図-2、3に示す。継手は鋼材の下フランジを凸加工に施し、凹状に加工した継手カバー（上下4個）で上下からフランジの凸部を挟込み、この凹凸のかみ合わせで曲げ引張りに抵抗する構造とした。また、継手カバーは脱落防止としてボルト（ $\phi 20\text{mm}$ ）で締結した。せん断に対する継手は鋼材のウェブをプレートとボルトでつなぐ構造とした。

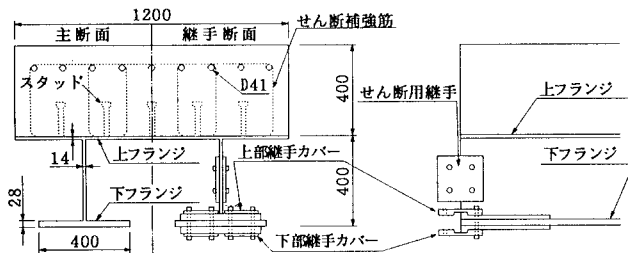


図-1 断面図

図-2 継手部側面図

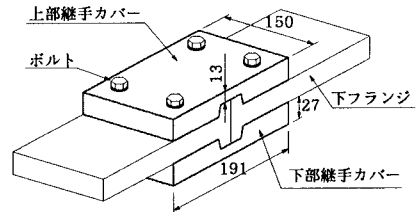


図-3 継手詳細図

3. 実験概要

実験の荷重方法図を図-4に示す。荷重方法は、軸力を導入した2点集中荷重とした。荷重パターンは、設計軸力において部材が許容応力度に到達するまで荷重し、除荷後、軸力0の状態まで破壊まで荷重した。設計軸力は、土被り13mを想定し、単体部 $N=7.9\text{tf}$ 、継手部 $N=8.4\text{tf}$ とした。

4. 実験結果

1) 単体曲げ実験 曲げモーメントと中央部図心位置での鉛直変位の関係を図-5に示す。実験値の変位は計算値よりやや大きくなり、 $M=30.0\text{tfm}$ と比較すると剛性は計算値の80%であった。 $M=29.8\text{tfm}$ （許容曲げモーメント）の時と $M=59.8\text{tfm}$ （最大）の時の中央部でのひずみ分布を図-6に示す。 $M=29.8\text{tfm}$ の時、ひずみ分布は直線であり計算値とよく一致した。計算値とは、鉄骨部の全断面を鉄筋に置き換えたRC理論式により算出したものである。実験結果より、弾性範囲においてはこのRC理論により応力解析が可能であると考えられる。一方、 $M=59.8\text{tfm}$ の時では、ひずみ値から判断するとコンクリートの緑

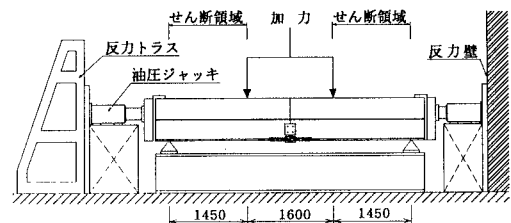


図-4 荷重方法図

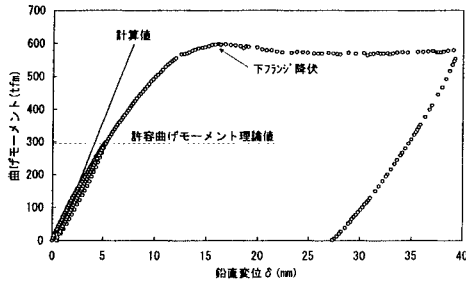


図-5 曲げモーメント-鉛直変位図

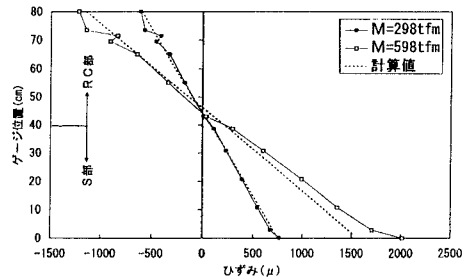


図-6 中央部ひずみ分布図

応力は 380 kgf/cm^2 と耐力にまだ余裕があり、鋼材はひずみ硬化開始のひずみ値約 10000μ まで余裕があるが、実験では最大曲げモーメントに到達した。最終破壊時の供試体状況等を調べた結果、図-4に示すせん断域においてコンクリート部と鋼材部に剥離が生じた結果、合成構造が保持できず、耐力がそれ以上のびなかったと考えられる。

2) 継手曲げ実験 曲げモーメントと継手回転角 θ の関係を図-8に示す。軸力（設計軸力 $N = 84 \text{ tf}$ ）ある場合とない場合の勾配がほぼ同じであることから、継手の回転角に与える影響はほとんどないことがわかった。また、 $M = 70 \text{ tfm}$ の時に継手カバーを抑えるボルトの締め付け力を許容の 20% から 60% に増したために、継手カバーの変形が抑制され、回転バネ定数は大きくなった。耐力的には設計値の M が 128 tfm 、計算上の終局曲げ耐力 $M_u(\text{cal})$ が 381 tfm に対して、実験値 $M_u(\text{exa})$ が 577 tfm と計算上の 1.5 倍であった。しかし、RC理論で部材が弾性と考えられる範囲において、曲げが継手カバーに発生し、局所的に許容応力を越える箇所が見られた。実験結果より、下部継手カバーの引張り力が上部継手カバーの 2.4 倍作用しており、継手が圧縮側コンクリートを支点に単純に曲げ引張りを受けると考えられる値 1.25 倍よりかなり大きくなった。継手カバーの応力状態から求められる曲げモーメント（継手系曲げモーメント）と、載荷した曲げモーメントの関係を図-9に示す。継手部には、載荷曲げモーメントの 1.13 倍に相当する曲げモーメントが作用したことがわかった。

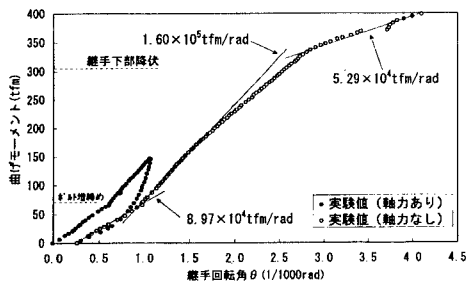


図-8 曲げモーメント-継手回転角 θ 図

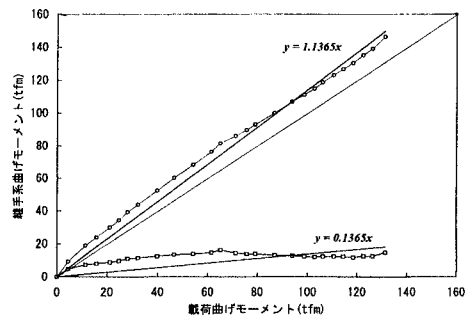


図-9 載荷曲げモーメント-継手系曲げモーメント図

4. まとめ

単体に関しては、地盤内での覆工を想定した場合には、今回の2点集中載荷時に生じる大きなせん断力は発生しないが、実験で終局曲げ耐力が得られなかったのは、コンクリートと鋼材の剥離が原因であり今後の検討課題となった。

継手に関しては、継手の剛性はボルトの締め付け力を増すことにより大きくできることがわかった。終局曲げ耐力は十分であったが、継手カバーには局所的な曲げが発生し許容値を越える箇所が見られた。設計に当たっては、継手部の曲げモーメントの割増しを考慮した設計が必要であると考えられる。

今後は、局所的な曲げの発生が少ない形状の継手や、局所的な曲げに対して部材を大きくするなどの検討を進めていく予定である。