

鹿島建設機技術研究所 正員 永井 文男

鹿島建設機技術研究所 正員 大保 直人

鹿島建設機技術研究所 正員 林 和生

1. はじめに

セグメントの継手部は一般に鋼製ボルトを用いて結合されるが、その際一定の初期張力が導入される。特にRCセグメントのうち通しボルトタイプや中子タイプでは、ダクトイル継手タイプのものに比べ継手部の引張剛性に与える初期張力の影響が大きく、トンネルの地震時挙動を調べる場合、解析モデルにこの特性を反映させる必要があると考えられる。そこで、主として引張剛性に着目した継手部の交番加力実験を行って荷重・変位特性を調べ、その結果をもとにトンネル軸方向の平均の軸力・変位関係と曲げモーメント・曲率関係をモデル化した。そして、これを用いてトンネルの地震時応答特性を調べた。検討対象として、セグメント本体の断面欠損が少なく剛性が大きい通しボルトタイプを選んだ。

2. セグメント継手部の加力実験と結果

試験体には、外径約14mのリングを想定してセグメントの一部（弧長2.6 m、幅1.8 m、厚さ0.65 m）を製作し、そのうちボルト1本当りに相当する部分を用いた。載荷方法は、継手部のボルトに初期張力 f_0 13.5tfを導入し、引張荷重1に対し圧縮荷重1.5の割合でボルトが降伏するまで漸増交番載荷した。図-1に継手部の荷重・変位曲線を示す。継手は f_0 近傍まで高い剛性を示し、 f_0 以降は剛性が低下した。したがってボルト1本当り荷重・変位曲線は、地震時に想定される変位を含む1 mm程度以下では、圧縮区間、原点～ f_0 区間、 f_0 以降の区間で異なる勾配を持つ直線の組合わせで表現できる（以下TRI-LINERモデルと称する）。

3. セグメントリングの解析モデル

上述の試験結果から実験と実際のボルト長の補正を行ない、50本のボルトを有するセグメントリング（1リング当たり）のトンネル軸方向の軸力・変位曲線を求めた（図-2）。各区間のばね定数は図中に併記したように、セグメントコンクリートの剛性 K_s 、ボルトボックス部の剛性 K_{BB} 、ボルトの剛性 K_B 、またはこれらの直列ばねの剛性で構成されている。

1リング当たりの平均の曲げモーメント・曲率（ $M-\phi$ ）関係は、以下の2つの仮定を用いて求めた（図-3参照）。①リング断面の各部は、1リング当たり図-2のNを断面積で除して得られる応力・変位（ $\sigma-\delta$ ）関係を有する部材とする。②リング断面は変形後も平面を保持する。図-4にTRI-LINERモデルから得た $M-\phi$ 曲線を実線で示した。さらに引張側の剛性として初期張力を無視するBI-LINERモデルから得た $M-\phi$ 曲線も破線で併記した。

4. 応答変位法による試計算

初期張力の有無による応答の概略の相違を調べるため、一例として曲げモーメントに着目して検討した。曲げ剛性ここではトンネル軸方向に一定の等価線形で表現し、シールドトンネルに発生する曲げモーメントを応答変位法¹⁾により計

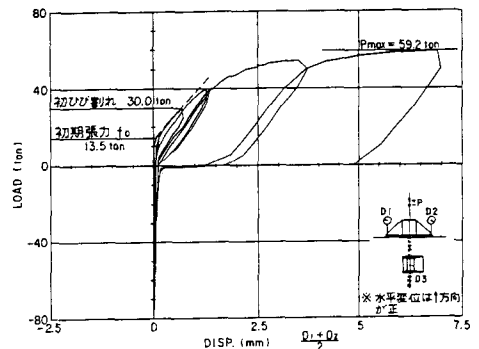


図-1 実験による荷重・変位曲線

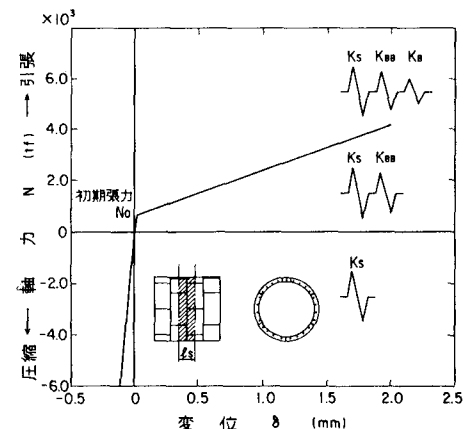


図-2 軸力・変位関係のモデル化

算した。ケーススタディとして、図-5に示す東京湾海底地盤²⁾に外径約14mのトンネルを構築した場合を想定し、 D_5 層を入力基盤として、水平震度を与えた（3ケース、 kh' : 0.1, 0.15, 0.2）。トンネルに対する地盤のばね定数の設定は、道路橋示方書によった。比較のためM- ϕ 曲線の第2勾配と第3勾配の範囲で、剛性をパラメータとした線形解析も行った。

発生する最大曲げモーメント M_{max} と曲率 ϕ_{max} を図-4に併記した。これによれば震度が同じの場合、曲げモーメントはほぼ同一の曲率で発生しており、剛性の相違にかかわらずトンネルはほとんど地盤と同じ動きをしていることがわかる。曲率がトンネルの剛性に余り影響を受けないため、M- ϕ 曲線が異なることによる発生曲げモーメントの相違は、M- ϕ 曲線の縦軸の相違分で決まる。例えば水平震度が0.2の場合について見ると、ボルトの初期張力が有る場合はこれが無い場合に比べて発生曲げモーメントは2倍程度に大きくなった。

5. まとめ

以上のことから、継手ボルトの初期張力は、シールドトンネルの地震時の発生曲げモーメントに無視できない影響を及ぼすため、耐震検討においてはこの事に留意する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 社団法人日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説、1978年版
- 2) 吉田光雄、大石嗣雄：東京湾横断道路、土と基礎、1987年1月, Vol.35, No.1

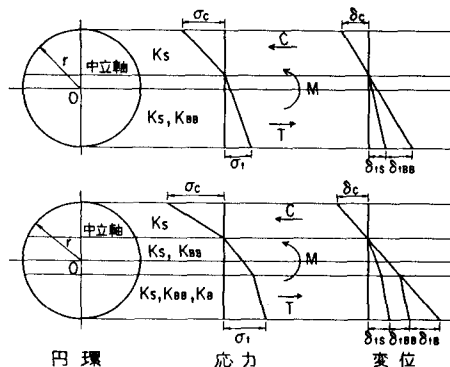


図-3 曲げモーメント・曲率関係の算出方法

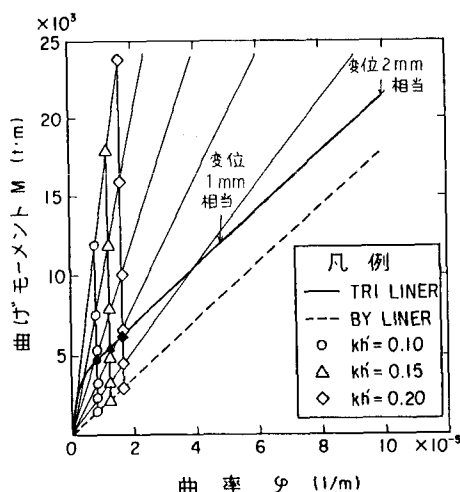


図-4 曲げモーメント・曲率関係のモデル化と応答値

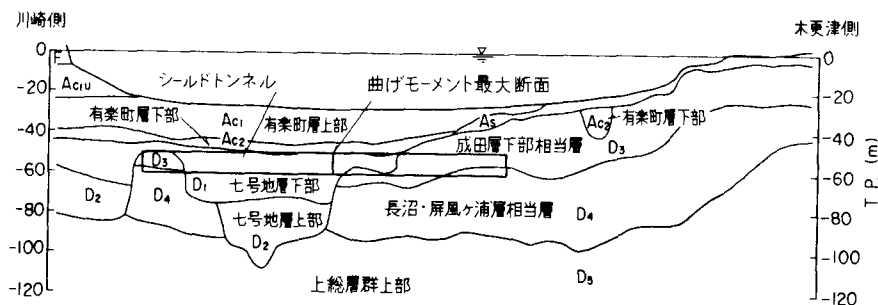


図-5 解析対象地盤²⁾