

I-596 シールドトンネルリング継手部周辺地盤が等価剛性に与える影響について

東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎
 (株)熊谷組 正員 鈴木 猛康
 (株)熊谷組 正員 野口 利雄

1. はじめに

地中線状構造物であるシールドトンネルに地震力が作用するプロセスは、地震時に発生する地盤の変位と変形が、地盤とトンネルを結ぶばねを介してトンネルに伝達され、トンネル構造に変形、断面力が発生するとされている。このときシールドトンネルを構造力学的に線状構造物として取り扱うためには、等価剛性と呼ばれる剛性をもつ様な部材に置換する必要がある。このシールドトンネルの等価剛性が周辺地盤の特性によりどう変化するかについて数値シミュレーションを行なった。

2. シールドトンネルの等価剛性

シールドトンネルの覆工体として用いられるセグメント本体は剛性の高い部材であるが、これを結ぶ継手板、ボルトは本体と比べ剛性が小さく、シールドトンネル自体は不連続性の高い構造物となる。このような地中線状構造物の耐震設計を行なう場合、リング継手を含めて様な剛性をもつものに置換することが行なわれていて、この剛性を等価剛性と呼んでいる。図-1に軸方向圧縮時、引張時それぞれの軸剛性を示す。

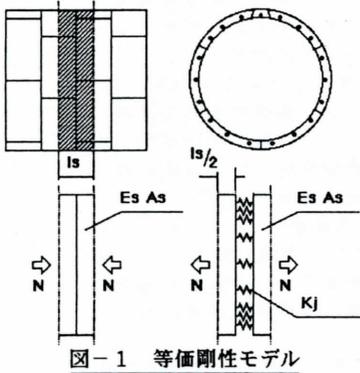


図-1 等価剛性モデル

地震時に地盤がトンネル軸方向に一樣に変形しようとするとき、変形が継手部に集中し、軸方向に不連続な変形をしようとする。トンネル継手部のごく近傍の地盤は、このため大きなひずみを生じトンネル壁との相対的なすべりや、亀裂が発生することが考えられる。このような複雑な関係は地盤とトンネルとの相互作用に含まれるものであり、これを示したのが図-2である。図中Kは従来のトンネルと地盤を結ぶばねで、Jは継手部の存在により新たに生ずる地盤とトンネルの相互作用(すべり、亀裂)を表すばねである。

3. 数値解析

解析には有限要素法を使用した。地盤、裏込め材、セグメント部分には軸対称要素、亀裂、すべり部分にはジョイント要素、継手部分には梁要素を用いた。せん断ひずみの増大による地盤要素の剛性低下、継手板に対するボルトの締め付け効果、継手板降伏による継手ばね定数値の低減も考慮した。図-3の計算モデルで、セグメント中央断面でセグメントと地盤に同量の地盤変位に対応する強制変位を与えると、トンネル端部の境界条件から独立した等価剛性を求めることができる。等価剛性の算出方法は、図-3のセグメント右端部に作用する力がセグメント～継手板～ボルトのばね系を代表する断面力と考えると、この断面力と強制変位量からトンネルの計算上の等価剛性が求まる。この値をトンネルのみの場合の等価剛性と比べてその比を求め、実際のトンネルの等価剛性に乗ずれば各ケースでの等価剛性の値が計算できる。

4. 解析ケース

想定したトンネルは地下鉄単線断面、外径7.0m、桁高30cm、リング間ボルト21本のものである。土被りは20mで一定とした。地盤はポアソン比を0.49、初期弾性係数を1000、3000kgf/cm²の2種類とし、ひずみ依存性はHardin-Drnevichの式によった。裏込め材は厚さは10cmで一定とし、ポアソン比を0.2、弾性係数を500、1000、

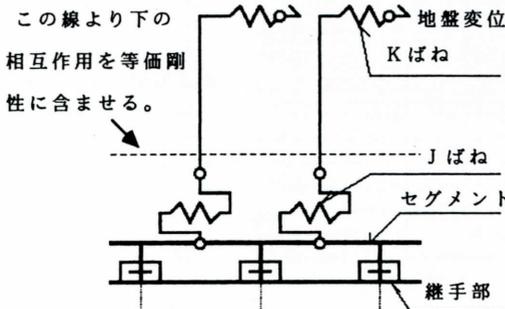


図-2 地盤ばねモデル

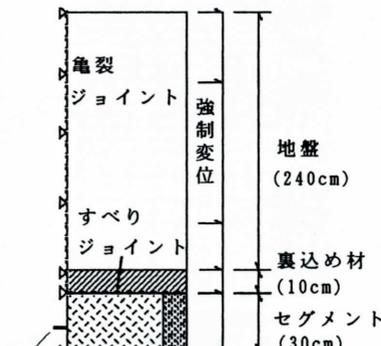


図-3 解析モデル

は20mで一定とした。地盤はポアソン比を0.49、初期弾性係数を1000、3000kgf/cm²の2種類とし、ひずみ依存性はHardin-Drnevichの式によった。裏込め材は厚さは10cmで一定とし、ポアソン比を0.2、弾性係数を500、1000、

2000、5000kgf/cm²の4種類とした。地盤及び裏込め材部分に純引張応力状態が生じた場合亀裂が発生するものとした。地盤状態を2種類、裏込め材を4種類、計8ケースについて各々に地盤のひずみとして100μ~1000μを与えて、計算を行なった。

5. 解析結果

図-4に各ケースの等価剛性比を示す。等価剛性比は地盤の弾性係数には余り影響されず、裏込め材の弾性係数が増加すると等価剛性比も増加する。各ケースとも地盤ひずみ400~600μ程度までは等価剛性比は上昇し、それ以降は徐々に低下して行く。図-5に継手部周辺地盤の変形計算結果の一例を示す。(地盤の弾性係数:1000kgf/cm²、裏込め材の弾性係数:5000kgf/cm²) 図中の数字はせん断ひずみの大きさを示し、0は100μ以上1000μ未満、1以上はひずみの千単位の値である。*印は亀裂ひびわれが、×印はすべりが発生した箇所である。ひずみが增大するにつれ、地盤のせん断ひずみの増加、亀裂、すべりの拡大して行くようすがわかる。以上のことから、①継手部付近の裏込め材には亀裂やすべりが発生する。③等価剛性比は地盤ひずみの上昇に伴い徐々に増加するが、ある値を越えると徐々に低下する。④等価剛性比は裏込め材の弾性係数の影響を強く受けるが、裏込め材の弾性係数が増加すると地盤の弾性係数にも影響を受ける。等の現象が確認された。今後はトンネル径、土被りなどを变化させたケーススタディーを行なって行く予定である。

最後に、本研究を行なうに当たり、貴重な資料を提供していただいた、西松建設(株)技術研究所 野本寿氏に深く感謝の意を表します。

最後に、本研究を行なうに当たり、貴重な資料を提供していただいた、西松建設(株)技術研究所 野本寿氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

田村、桑原、鈴木 シールド洞道のリング継手の地震時挙動 生産研究38巻11号(1986年11月)

鈴木、田村 周辺地盤を考慮したシールドトンネルの等価剛性 第43回土木学会年講

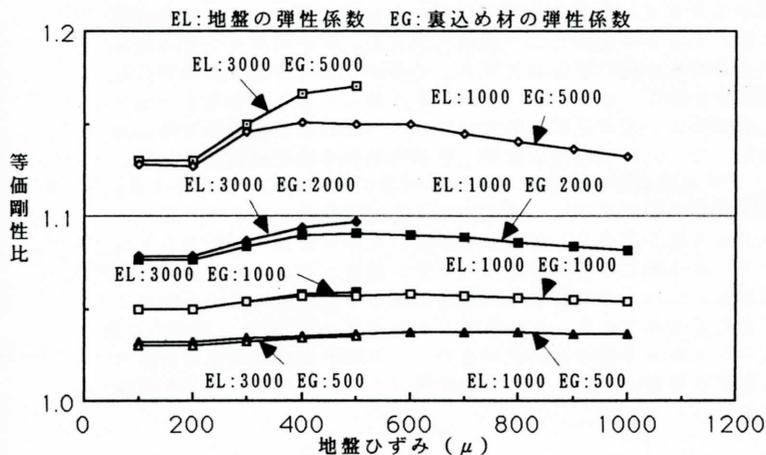


図-4 等価剛性比

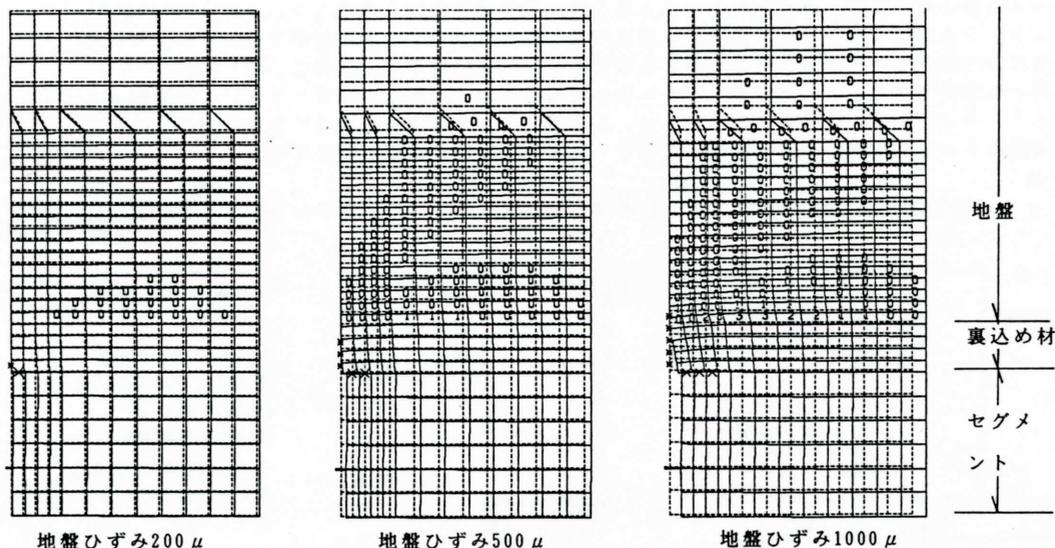


図-5 継手部周辺地盤の変形状態