

I-587

シールドトンネルの免震構造に関する研究(その1)

— FEM解析による効果の確認 —

(株)熊谷組技術研究所 正員 宇波 邦宣

(株)熊谷組技術研究所 正員 鈴木 猛康

1. まえがき 地盤〜シールドトンネル系の地震時動的相互作用を3次元FEMにより解析し、さらに同じメッシュでトンネル〜地盤間に免震層を介在させた場合の解析を行って両者を比較することにより、免震層の効果について確認したので以下に報告する。

2. 3次元FEMによる解析 本解析モデルは、周辺地盤も含めて外径5.1mのRCセグメント製シールドトンネルの4.5リング分をトンネル断面に沿ってカットした状況をイメージしたものであり、トンネルの円形断面を利用した軸対称問題として取扱っている(図-1)

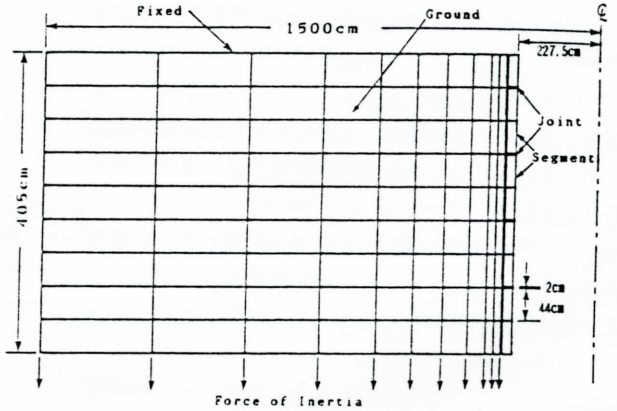


図-1 3次元FEMメッシュと解析概要

。今回はトンネル軸方向の変形について解析を行う。地震時に地盤は入力地震動によって生じた慣性力に応じて変形をする。しかし、地盤の境界部に強制変位を与えたのでは地震時の慣性力による地盤変形を表現できない。そこでトンネルを含んだ上面を固定として各地盤節点に重力をトンネル軸方向に与えることで、地盤〜トンネル系の地震時変形を擬似的に再現した。本解析は3次元弾性解析であるために、ポアソン比の影響により単純な一方向の外力による変形でも結果は複雑になる。そこでトンネル軸方向のひずみが軸直交方向のひずみの影響を受けないように、地盤とトンネルのポアソン比は、全て0としている。

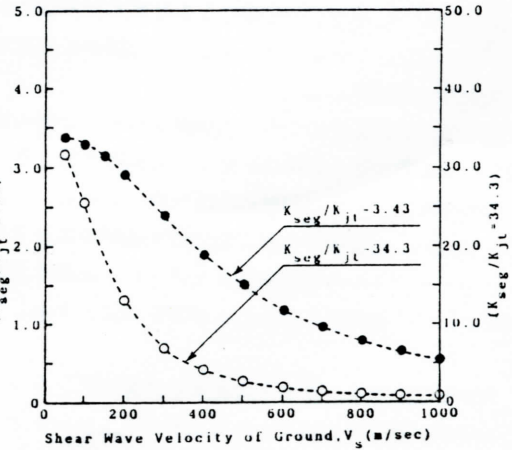


図-2 地盤のVsとDjt/Dsegの関係

図-2にセグメント本体部と継手部のバネ定数の比が $K_{seg}/K_{jt}=3.43$ 及び 34.3 の場合について、それぞれ継手部とセグメント本体部の変位の比 D_{jt}/D_{seg} を地盤のせん断波速度をパラメータとしてプロットした。

横軸が地盤のせん断波速度であり、左縦軸が $K_{seg}/K_{jt}=3.43$ 、右縦軸が $K_{seg}/K_{jt}=34.3$ の場合の D_{jt}/D_{seg} を示している。この図から明らかなように地盤による周辺拘束がなければ、 D_{jt}/D_{seg} の値は両者のバネ定数の逆数の比と一致するが、地盤が硬くなるにつれて次第に低減していることが分る。またこの低減率は、当然ながら K_{seg}/K_{jt} が大きくなるほど著しくなっていることも分る。従って従来のトンネルの等価剛性算定法におけるシールドトンネルの等価剛性は、周辺地盤の剛性を考慮しなければ、実挙動との相違が生じると考えられる¹⁾。

3. 免震構造と免震効果 トンネルに発生する地震時ひずみ、断面力を低減させる方法として、トンネル〜地盤間のせん断変形を吸収する免震層を介在させた免震構造を考えた²⁾。以下に上記の解析条件で、層厚5c

■ の免震層を介在させた場合の $K_{seg} / K_{jt} = 3.43$ のケースについて、その免震効果を定性的及び定量的に示す。

図-3は地盤のせん断波速度 $V_s = 300 \text{ m/sec}$ 、単位体積重量 $\gamma_t = 2 \text{ tf/m}^3$ について、せん断弾性係数 $G_g = 5 \text{ kgf/cm}^2$ の免震層を介在させた場合 (a) とさせない場合 (b) の変形の比較を行ったものである。免震層がある場合には、あたかもトンネルがないかのように地盤は一樣に近い伸びを示しており、トンネルの変形量はごくわずかなのに対して、免震層がない場合には、地盤とトンネルの相互作用によって、トンネル近傍では地盤に引張られる様にトンネルが変形していることが分る。免震層がある場合、地盤の変形を免震層が吸収することにより、トンネルの軸方向の変形量は、著しく低減していることが分る。

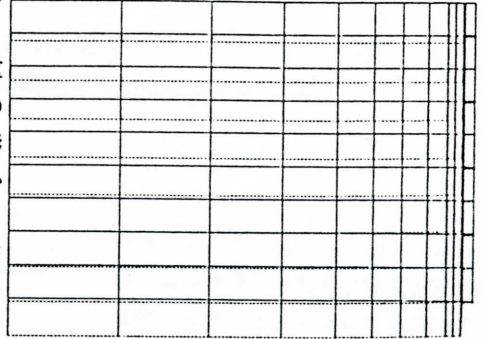
次にセグメント本体部に発生するひずみに関して、免震層がある場合とない場合についての解析結果を図-4を用いて比較する。縦軸は免震層がある場合とない場合のセグメント本体部のひずみの比率 $\epsilon_{t1} / \epsilon_{t2}$ (ひずみ低減率) を示し、横軸は地盤のせん断波速度を示す。また免震層のせん断弾性係数 G_g としては、2.5, 5, 10, 15, 30 kgf/cm^2 の5種類について解析を行った。図に示すように G_g が小さくなるほど、また地盤の剛性が高くなるほど免震層によるセグメントひずみ低減効果が大きくなっていることが分る。この図から免震層による免震効果が定量的に示された。

本免震層には、この他にもう一つの効果がある。今回の解析で使用した免震層のせん断弾性係数 G_g の範囲では、 D_{jt} / D_{seg} の値が K_{seg} / K_{jt} の値にほぼ一致している。このことは図-2に示した等価剛性算定法に関する不合理が排除され、シールドトンネルの等価剛性をセグメントと継手部の直列バネによって一義的に与えることができることを示している³⁾。

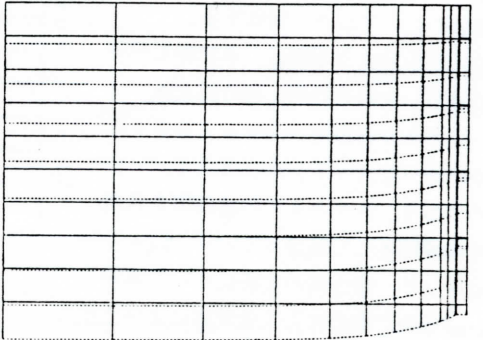
4. まとめ 本研究から、まず3次元FEM解析によりシールドトンネルの地震時の変形メカニズムをシミュレートする手法を示し、さらにこの手法で免震層がある場合とない場合についての変形の相違を定性的に明らかにした。そしてこれらを整理して免震層介在による免震効果、すなわちセグメント本体部の軸ひずみ低減効果及び継手による変位吸収効果を定量的に示した。

5. 参考文献

- 1) 鈴木猛康、田村重四郎：周辺地盤を考慮したシールドトンネルの等価剛性、第43回土木学会年次学術講演会、第一部、1988, pp.1160-1161、
- 2) 鈴木猛康：シールドトンネルの免震構造に関する模型振動実験、第20回地震工学研究発表会、1989, pp.565-568、
- 3) 鈴木猛康、宇波邦宣：シールドトンネルの免震構造に関する研究(その2) — 地盤応答解析への適用 —、第45回土木学会年次学術講演会、第一部、1990



(a) 免震層を介在させる場合



(b) 免震層を介在させない場合

図-3 地盤～トンネル系の変形

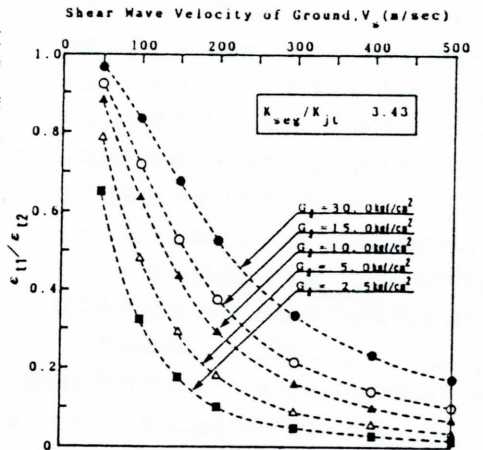


図-4 免震層によるひずみ低減効果