

シールドトンネルの免震構造の地震応答 評価のための解析法の提案

鈴木 猛康¹・金 聲漢²・植村 靖美²

¹正会員 工博 (株)熊谷組技術研究所 土木系研究開発部 (〒300-22茨城県 つくば市鬼ヶ窪1043)

²正会員 日本技術開発(株)土木本部 総合技術部 (〒164東京都中野区中野5-33-11)

トンネル外周に免震層を形成するトンネル免震構造では、比較的短い免震層形成区間のトンネル～免震層～周辺地盤の相互作用によって免震効果が実現される。しかし、従来の梁～バネモデルによる地震応答解析では、短い区間でなおかつトンネル外周の極く薄い層において生じる相互作用の評価を行うのは困難である。本論文では、煩雑な3次元解析を行うことなく、上記の相互作用を考慮した地中線状構造物の地震時応答を簡便に解析することを目的として、軸対称FEMを用いた解析手法を提案している。また提案手法を用いてシールドトンネルを対象とした数値解析例を示し、免震構造適用によるシールドトンネルの免震効果を具体的に示している。

Key Words : shield-driven tunnel, seismic isolation, earthquake response analysis, modeling soil-tunnel interaction, axisymmetric finite element, numerical simulation

1. はじめに

表層地盤中の地中線状構造物の軸方向の地震応答解析では、構造物を離散化して長さ20m程度の梁に、構造物周辺の地盤を相互作用バネとしてモデル化して梁に連結し、地盤変位をバネ端に強制変位として与えることにより、相互作用として生じる構造物の変形を静的に解析する、梁～バネモデル¹⁾を用いる方法が一般的に採用されている。この梁～バネモデルは非常に簡便であり、設計実務においても研究においても多くの使用実績がある。このモデルの地盤と構造物の間の相互作用バネは、地盤のせん断弾性係数や地盤反力等から換算されているが、その設定法には曖昧な点が残されている。例えば実地震観測結果に基づいて逆解析で求めた相互作用ばね定数は、せん断弾性係数や地盤反力等から与えたバネ定数より1オーダー小さいとの報告²⁾があり、また鈴木、田村³⁾は軸対称有限要素でシールドトンネルと周辺地盤をモデル化し、相互作用バネ定数を算定する方法を提案しているが、この手法によって得られるバネ定数も、やはり地盤のせん断弾性係数や地盤反力等から換算された値より1オーダー小さな値となることを示している。このように相互バネ定数の設定方法が曖昧であるため、地中線状構造物の

地震時挙動を正確に把握するためには、バネを用いることなく地盤と構造物の相互作用を構造的に考慮できるモデルの開発が必要である。

とくに地盤条件が急変する箇所の地中線状構造物の地震時挙動を正確にシミュレートする際には、前述のような相互作用バネを採用することなく、シールドトンネルをセグメント本体部とリング継手に分離し、軸方向に細かく分割するとともに、トンネル周辺地盤も連続体として有限要素でトンネルと連続させ、幾何学的にも正確にモデル化することが必要と考えられる。

シールドトンネルの覆工体と周辺地山の間で免震層を形成することによる免震構造では、トンネル外周の数cm～10cm程度の薄い免震層によって、周辺地盤からトンネルに伝達されるひずみが低減され、トンネル外周のせん断抵抗の大幅な低下によって免震施工区間ではほぼ一様なトンネルひずみとなり、なおかつほぼ100%のリング継手の変位吸収効率が実現されるため、軸方向には大きな免震効果が達成される^{4),5)}。限られた境界条件、荷重条件ながら、前述の軸対称有限要素モデルで免震効果を検討した結果では、トンネル軸方向の伸縮ならびにねじり変形に対して、極めて大きなトンネル断面力低減効果が発揮されることが示されている^{5),6)}。

地盤条件急変部を縦断する地中線状構造物に対して、免震構造を適用したことによる構造物の地震時断面力低減を正確に把握するためには、トンネルを含んだ地盤を三次元的にモデル化して解析することが理想であるが、地盤条件急変部を含む不整形な表層地盤を、3次元でモデル化すること自体が煩雑であるばかりでなく、境界条件の設定上、モデル化にはおのずと限界がある。これに地中構造物のモデル化が加わることになるため、3次元解析を行うのは現実的には困難と言える。

そこで本論文では、3次元解析のモデル化の煩雑さを解消しながら、地中線状構造物と免震層ならびに周辺地盤との相互作用を考慮できる地震応答解析手法として、前述の軸対称有限要素による解析手法を拡張した手法を提案し、数値解析例を示すことにする。なお、本論文で提案するモデルの妥当性の検証には、さらに検討が必要であるが、ここでは数値解析例によって、シールドトンネルに免震構造を適用した場合の挙動（免震効果）を、解析結果を示して具体的に説明することにとどめる。

2. 軸対称FEMによる解析モデル

(1) モデルの概念

軸対称FEMを用いた解析モデルの概念図を図-1に示す。左側が軟質、右側が硬質地盤であり、中央で両地盤の境界が鋭角で形成されている表層地盤の地盤条件急変部を考える。シールドトンネルは、軟質地盤から硬質地盤まで地層境界を跨がって建設されており、地層境界部の軟質地盤側でトンネル軸方向の地盤ひずみの最大値が発生する条件となっている。したがって、地層境界部から軟質地盤のある区間と硬質地盤中の比較的短い区間のテールボイドに免震層を形成させ、地盤ひずみの絶縁とトンネルひずみの分散によって、地震時トンネル断面力の低減が図れると考えられる。

軸対称モデルによる図-1上図の地盤条件ならびにトンネルの配置のモデル化を、概念的に示したのが図-1の下図である。トンネル中心線が対称軸であり、半径がトンネル中心軸から基盤までの距離とである。前述のように、トンネルとその周辺の地盤は軸対称有限要素によってモデル化され、相互の力のやりとりは、バネではなく形状と構成則によって決められた連続体として厳密に取扱われる。したがって、図-1上図と下図のトンネル位置での地盤の地震時応答変位が一致するような地震荷重条件が軸対称

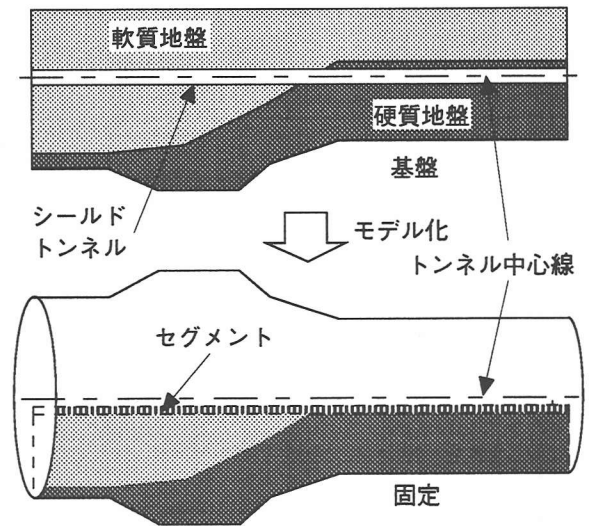


図-1 軸対称モデルの概念図

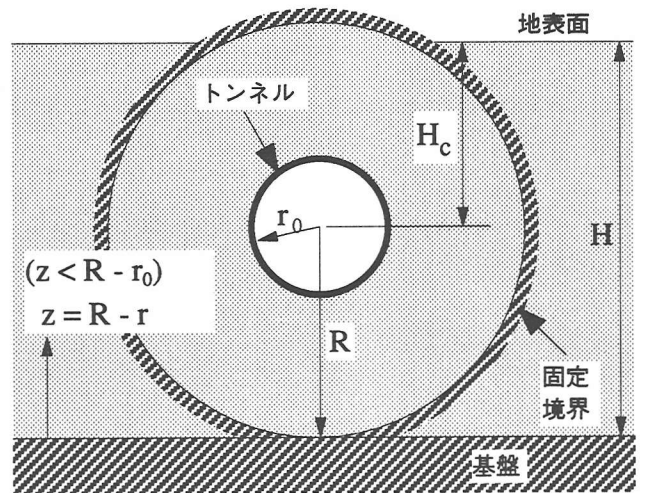


図-2 モデルと実地盤の境界条件の相違

モデルで設定できれば、地盤とトンネルの相互作用を考慮したトンネルの応答を解析することが可能となる。

軸対称モデルでは、トンネル断面中心を対称軸としなければならないが、実地盤のような地表面、側方の半無限境界を考慮することができない。したがって3次元解析と同一の条件でモデル化を行うことはできない。そこで、ここで提案する軸対称モデルでは外側の境界を基盤位置に設定し、ここに固定の条件を設定した。図-2は本モデルと実地盤の境界条件の相違を概念図で示している。

(2) 荷重条件

軸対称モデルの内側はセグメント内壁であり、外側は基盤面となる。したがって、トンネルから地表面までは、モデルではまったく考慮されない。本モデルではトンネルとその外周の地盤との相互作用を

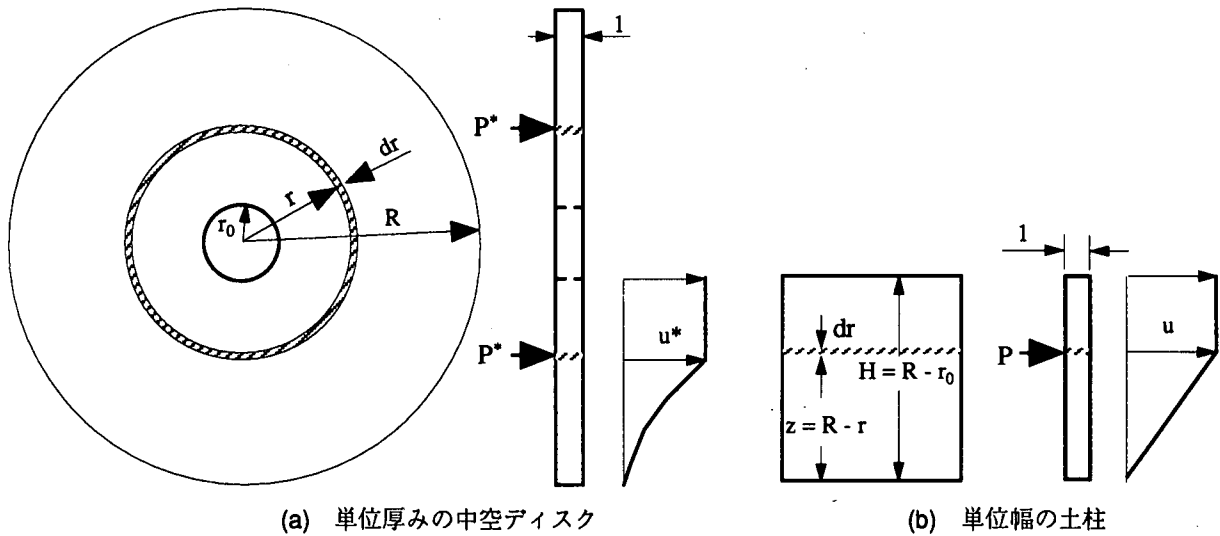


図-3 軸対称モデルと2次元モデルの荷重～せん断変位の関係の比較

シミュレートすることに重点を置いているので、この点は無視するとしても、トンネル位置での地盤変位が、2次元の表層地盤と同等となるような解析条件を設定する必要がある。

図-3は平面ひずみ状態の2次元モデルと軸対称モデルに、水平荷重が作用したときの変形概念を示している。せん断弾性係数 G を有する2次元地盤から切り出した幅1(奥行き1)の土柱に、図-3で基盤から $z=R-r$ の高さに、水平力 P が作用したとき、基盤から z の高さにおける土のせん断変形 u は(1)式で与えられる。一方ここで提案する軸対称モデルで、対称軸に直角に切り出した単位厚みのせん断弾性係数 G の中空ディスクを考える。対称軸から半径 r の位置に水平力 P^* が作用したとき、土のディスクの半径 r の位置での基盤からの相対変位 u^* は、(2)式で示される。本軸対称モデルでは、基盤からある高さに作用する荷重に対する中空ディスクの変形量を、平面ひずみ状態の2次元表層地盤と等しくすることを条件にする。この条件は、(3)式で与えられる両者の比を1とするように地盤物性を変化させるか、あるいは作用させる水平荷重を変化させる方法により可能となるが、前者の場合は地盤の弾性係数自体を変えてしまいますことになり、解析しようとするトンネル軸方向の伸縮が正しく取扱えなくなるため適切ではない。

$$u = \frac{P}{G} (R-r) \quad (1)$$

$$u^* = \frac{P^*}{2\pi G} \log(R-r) \quad (2)$$

$$\frac{u^*}{u} = \frac{1}{2\pi} \frac{\log(R-r)}{R-r} \frac{P^*}{P} \quad (3)$$

したがって、ここでは軸対称モデルで水平慣性力として r の位置で与える荷重 P^* を、2次元平面ひずみ状態で与える水平慣性力 P に(3)式の逆数を乗ずることによって与え、擬似的に2次元平面ひずみ状態と同等な変位を発生させることにした。

$$P^* = \frac{2\pi(R-r)}{\log(R-r)} P \quad (4)$$

本モデルでは時刻歴応答を解析することも可能であるが、ここではある時刻の地震慣性力を各節点に外力として作用させたときの静的応答を解析するという、地盤応答震度法⁷⁾に準じた方法を採用する。この際の震度としては、2次元FEM解析の結果得られた、ある時刻の個々の節点の加速度を使用することもできるが、地中線状構造物の応答にもっとも有効な地盤の基本せん断振動モードに着目するならば、地表面加速度を a_0 として(5)式の形で加速度分布を仮定することも可能である。ただし(5)式中の記号は図-3で用いたものと一致させている。したがって、2次元FEMあるいはバネ～質点系の地盤モデルによる地震応答解析で得られた地表面あるいは質点の加速度より、簡単に深さ方向の加速度を決定することができる。

$$a(z) = a_0 \sin\left(\frac{\pi z}{2H}\right) \quad (5)$$

水平力として与えられる地震慣性力は、節点の地盤質量にその位置の加速度を乗じて与えることができるので、各節点の集中質量に(4)式と(5)式の積として(6)式で与えられる $a^*(z=R-r)$ を、加速度として与えれば良い。

$$a^*(z; R-r) = a_0 \sin\left(\frac{\pi(R-r)}{2H}\right) \frac{2\pi(R-r)}{\log(R-r)} \quad (6)$$

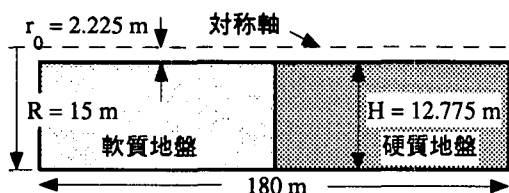


図-4 荷重条件の妥当性検討のためのモデル地盤

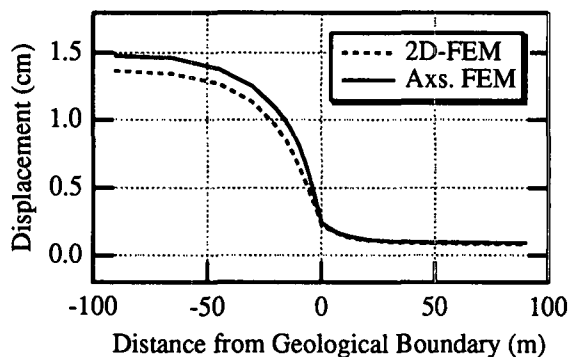


図-5 軸対称FEM (Proposed)と2次元FEM (2D-FEM)による地表面水平変位の解析結果の比較

上記の荷重条件の妥当性を検証するために、2次元FEM解析との比較を行った。解析の対象としたのは図-4に示す幅180m、層厚 $H=12.775\text{m}$ の表層地盤であり、断面の左半分が軟質地盤、右半分が硬質地盤である。軸対称モデルの場合は、 $r_0=2.225\text{m}$ とした。なお、地盤の物性値は、後述する図-6に示す値とした。また加速度分布は(5)式で与え、地表面加速度は $a_0=300\text{gal}$ で全断面で一定とした。2次元FEMのモデルでは、このような加速度分布にしたがって、各節点に深さに対応した加速度を評価し、質量マトリックスとの積から、各節点に作用させる地震慣性力を求めて与えた。一方軸対称モデルでは、式(6)にしたがった加速度を地震慣性力の算定に用いた。なお、左右の解析境界は両モデルとも水平のみローラーとした。

図-5は2次元FEMと軸対称FEMの解析で得られた地盤の地表面水平変位を、比較して示したものである。図から明らかなように、軸対称FEMによる変位が、左の軟質地盤側で2次元FEMのケースより多少大きい結果となっているが、境界条件の相違等を考慮すれば、(6)式は良い近似を与え、荷重条件の設定は妥当であることが分かる。

しかし実地盤では、図-2に示したように表層地盤の層厚 H は $R-r_0$ より当然厚い。したがって、 $z < R-r_0$ では(6)式で加速度を換算できるが、 $z > R-r_0$ での慣性力による地盤の応答は考慮できない。軸対称モデルの $r=r_0$ の面に、この深さに発生する地盤のせん断力を

与えてやるのが妥当であろうが、この面にはセグメントが配置され、また免震層がセグメントのさらに外側に形成されることを考えると、単純にはいかない。そこで、この問題は今後の課題として残し、本論文では、同様な地盤条件で実施した2次元FEMの解析結果と地盤変位分布がほぼ一致するよう、(6)式の地表面加速度 a_0 を操作することにする。

3. 解析条件

(1) 解析対象

解析の対象とするのは、図-6のような剛基盤上の層厚30mの表層地盤と地盤中のシールドトンネルである。左側が軟質地盤、右側が硬質地盤となっており、モデルの中央で垂直な地盤境界を有している。シールドトンネルは外径5m、セグメント厚27.5cmのRC製セグメントとし、土被り12.5m（トンネル中心が地表面より15m）の位置に建設されているものとする。表層地盤は地盤境界より左右にそれぞれ約90mを解析対象とし、幅約180mをモデル化することにした。

(2) 2次元FEM解析による表層地盤の地震応答解析

まず地盤を有限要素でモデル化し、表層地盤のみで地震応答解析を実施した。メッシュ分割は縦の分割は図-7と同一とし、横の分割は層厚30mを均等に12分割とした。解析にはSuperFLUSHを用い、解析領域の左右境界をエネルギー伝達境界、下部境界を固定とし、図-6の地盤物性値を用いて線形で解析した。なお、減衰定数は軟質地盤で0.1、硬質地盤で0.05とした。

地震入力は、兵庫県南部地震の際、関西地震観測協議会の神戸大学観測所で得られた強震観測記録の水平NS成分を、基盤より鉛直入射させることにした。

図-8はモデルの中央部における変位応答が最大となる時刻の、水平変位分布を示している。図のように左右の地盤のせん断振動の位相は同位相であり、左の軟質地盤の地震応答によって右の硬質地盤が強制的に変形させられていることがわかる。また水平変位の鉛直方向分布は基本せん断振動のモードと一致しており、(4)式の妥当性を示唆している。粕田、鈴木によれば⁸⁾、この地盤モデルのように、軟質、硬質地盤の境界が垂直に形成されている場合、地盤の最大ひずみは地盤境界より軟質地盤側で最大値を与えており、トンネルがある場合には、地盤境界部

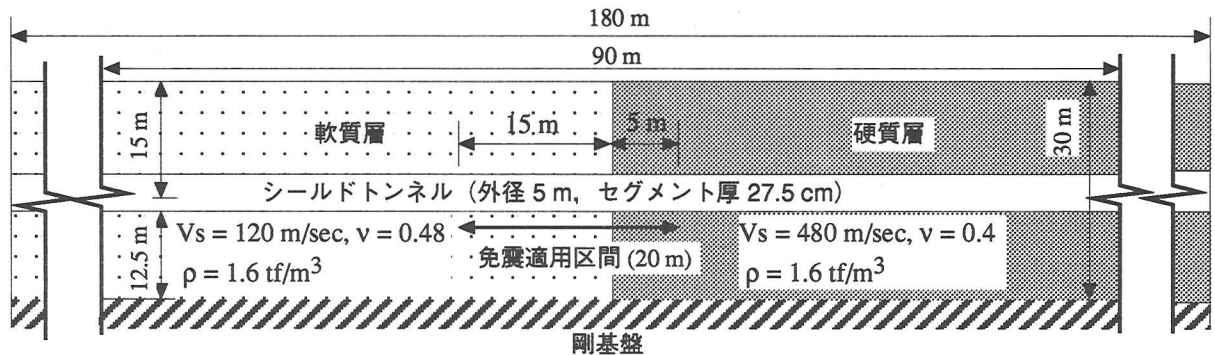


図-6 解析対象とする表層地盤モデルとシールドトンネルの配置

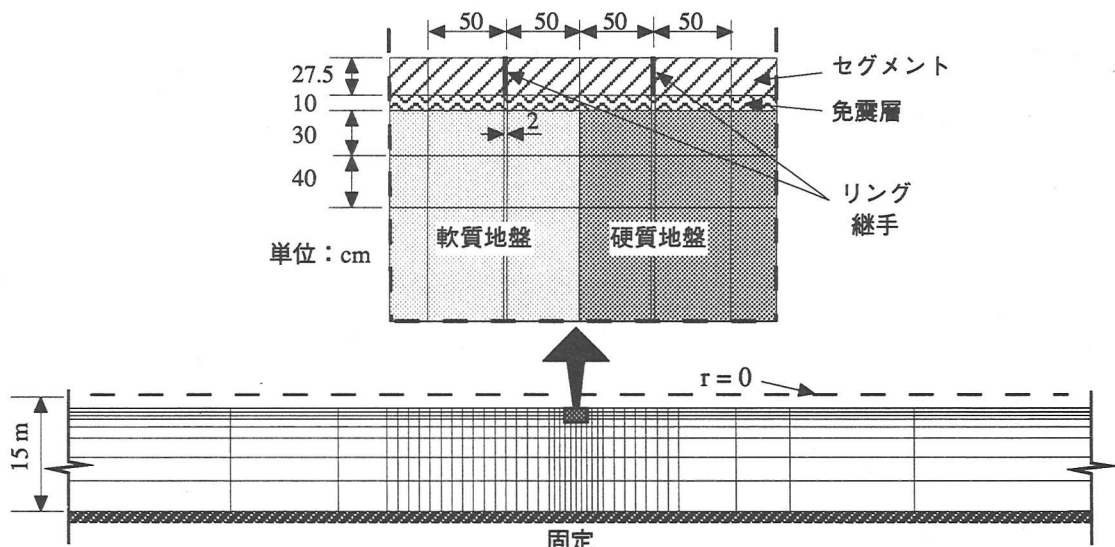


図-7 軸対称FEMによるメッシュ分割図

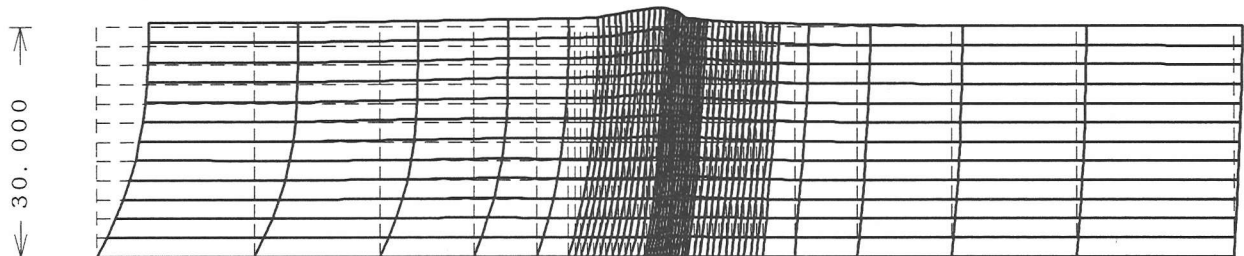


図-8 2次元FEM動的解析で得られた地盤中央部最大応答時の地盤変形

より軟質地盤側で、大きな地盤ひずみがトンネルに伝達されることが明らかにされている。

(3) 軸対称FEMによるモデル化と解析ケース

軸対称モデルの要素分割を図-7に示す。軸対称FEMモデルでは、GL.-15mの深度のトンネル中心線を対称軸とし、対称軸より $r=222.5\text{cm}$ の位置にセグメントの内壁を、これよりセグメント厚27.5cmまでの要素を1分割としてセグメントをモデル化している。またセグメントのさらに外側にテールボイドを想定して10cmの厚みの要素を配置しており、ここに裏込め材あるいは免震材の物性を与えることが

できる。さらにその外側には表層地盤の要素を対称軸から離れるほど粗く分割しており、 $r=15.0\text{m}$ の位置に基盤を表す固定境界を設定している。

セグメントと地盤の間のテールボイド（厚み10cm）には、免震層を形成させる場合はこの薄い要素に弾性係数 $E=15\text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.48の物性値を、通常の裏込め注入とする場合は弾性係数 $E=2600\text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.3を与えた。なお免震材の物性値は、既に開発されたシリコン系免震材の物性値である。前述のように、地盤ひずみは地盤境界より軟弱地盤側で最大となるので、ここでは免震層を軟質地盤側に15m、硬質地盤側に5mの計20

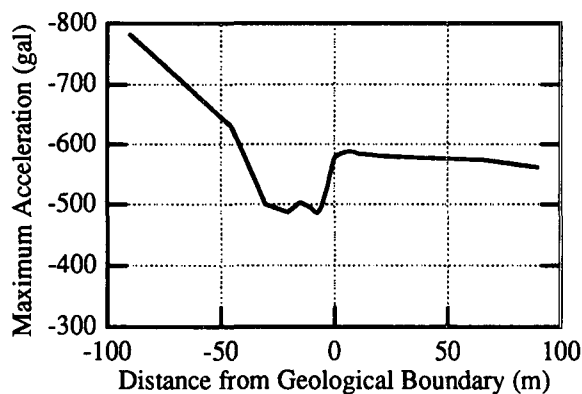


図-9 地表面最大加速度分布（2次元FEM解析）

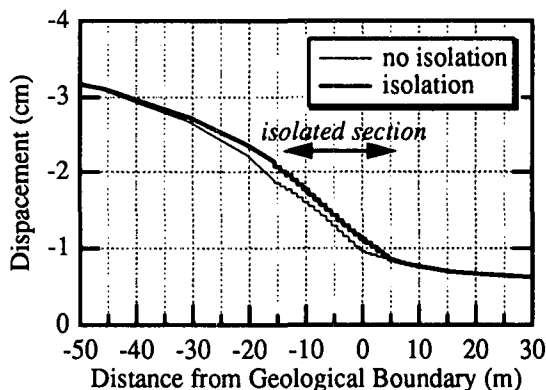


図-11 免震層の有無によるトンネル変位の比較

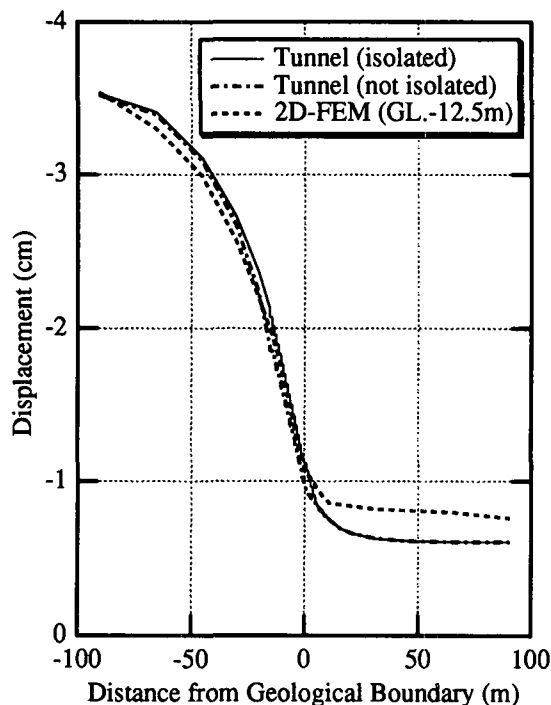


図-10 軸対称モデルによるトンネル応答変位と2次元FEM解析によるGL.-12.5mにおける地盤水平変位

mの区間に形成させることを想定するとともに、この区間とさらに硬質地盤側の5mでは、セグメントリング（1m）とリング継手を別々に要素分割している。とくに地盤境界部の7m区間では、セグメントリングもさらに2分割した。ここでRCセグメントの弾性係数を 360000kgf/cm^2 とし、この弾性係数から換算されるセグメントリング（幅1m）の軸剛性を求めておき、継手部では軸方向バネ定数に換算した場合、バネ定数がセグメントリングの $1/30$ となるような弾性係数を換算して与えた。ただし、その他のトンネル要素では、セグメントリングとリング継手の軸剛性から等価剛性を求め、この等価剛性に相当する弾性係数の連続体とした。このような手法

を用いているため、セグメント、リング継手ならびに両者の等価剛性のトンネル要素のポアソン比は、便宜上0とした。また、免震層、裏込め材ならびにセグメント、リング継手の要素には、質量は与えない。

なお、解析ケースは免震層有り無しの2ケースである。

(4) 地震荷重

作用させる地震荷重は(2)で示した2次元FEM動的解析の結果得られた、図-9に示す各地盤断面の地表面最大加速度を(4)式の a_0 とするとともに、前述の $z > R-r_0$ のケースに関しては(6)式の加速度に対して、2次元FEM解析結果とできるだけ一致するような加速度を左右の地盤でそれぞれ求めて加えることにした。

4. 解析結果と考察

(1) トンネル変位

図-10は、軸対称FEMによるトンネルの応答変位の解析結果を、2次元FEM動的解析でモデル中央部で最大応答変位の発生する時刻のGL.-12.5mにおける水平変位分布とともに示している。トンネルと地盤の変位を比較するのは適切ではないが、軸対称FEMによる解析結果は、軟質地盤側では2次元FEMによる解析結果とほぼ一致していることがわかる。硬質地盤側に関しても加速度を調整することでさらに2次元FEMの結果に近付けることは可能であろうが、ここではシールドトンネルの免震効果に注目するため、この解析結果を用いて免震層有無によるトンネルの変形を考察する。

図-11は図-10より2次元FEM解析の解析結果を除去

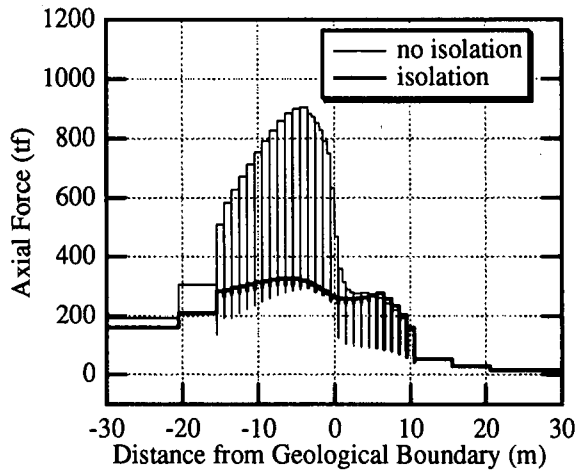


図-12 免震層の有無によるトンネル軸力の比較

し、さらに横軸の範囲を地層境界の近くのみとし、免震層有無によるトンネル変位の相違を示したものである。図に示すように、トンネルの変位は免震層の有無によって大きく異なるわけではないが、免震層有りのケースでは、免震層形成区間ではわずかながら免震層無しの場合よりトンネル変位が大きく、また変位がこの区間で直線的に分布していることがわかる。また、軟質地盤側では免震層形成区間と隣り合う約15mの範囲で、両ケースの変位に相違が確認できるが、硬質地盤側では、免震層形成区間以外は両ケースの変位はほぼ一致していることがわかる。したがって、硬質地盤側では5mの免震区間で免震層による変位吸収が局所的に行なわれ、その外側にはほとんど影響を及ぼさないが、軟質地盤側では免震区間で均一なトンネル軸力が達成されるようトンネルが変形し、免震区間に隣り合う約15mまでこの免震の影響が及んでいることになる。

(2) トンネル軸力の低減

図-12は軸対称FEMモデルによる解析で得られたトンネル軸力を、免震層の有無で比較したものである。免震層が無いケースで、地盤境界より軟弱地盤側の約20mと硬質地盤側の約15mの区間では、セグメントとリング継手を区別して要素分割を行っている。したがってこの区間では、リング継手が有効に変位吸収を行えば連続した軸力分布となり、継手の変位吸収が十分でなければ階段状の軸力分布となる。図に示すように、免震層の形成によってトンネルに発生する最大軸力は約1/3に大きく低減しており、また免震層無しの場合では階段状だった軸力分布が、免震層有りでは連続的な分布に変わっている。

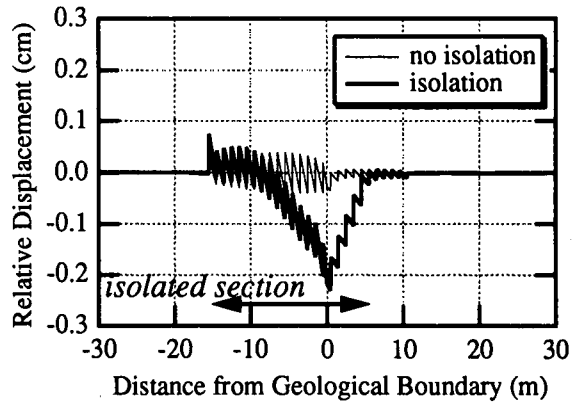


図-13 トンネルと地盤の相対変位

(3) 免震層のせん断変形

図-13はセグメントとテールボイドのトンネル側の節点の相対変位を、免震層有り無しのケースで比較したものである。免震層有りのケースは免震層で吸収したせん断変位を表している。これより軟質地盤側で集中していた地盤ひずみが、硬質地盤へと分散されていることがわかる。免震層のせん断変位は最大でも0.23cm（せん断ひずみ $\gamma=0.023$ ）程度で決して大きくはなく、免震層はトンネルにひずみを与えるような地盤の相対変位を吸収するために機能するのであり、トンネルの変位自体を抑制するものではないことがわかる。一方、免震層無しの場合では、せん断変位は極めて少なく、裏込め材はトンネルとほぼ一体となった挙動を示していることがわかる。

(4) リング継手の変位吸収

図-13の免震層なしのケースを見ると、軟弱地盤側ではせん断変位がリング継手部で局部的に大きいのがざり型となっているが、硬質地盤側ではこれがあまり顕著ではない。これは、軟質地盤側ではリング継手による変形を拘束する地盤のせん断抵抗が比較的小さいが、硬質地盤側ではせん断抵抗が大きいために継手が変形を拘束された結果、有効なトンネル変位の吸収がきかないからである³⁾。一方免震層有りのケースでは、免震区間で硬質地盤側でもリング継手がトンネル変位を吸収していることが図から明らかである。図-12のトンネル軸力分布は、免震層無しの場合ではセグメントとリング継手の直列パネで想定したほどリング継手の変位吸収が実際に機能しておらず、その結果セグメントの軸力が大きくなることを明瞭に示しており、免震効果に対するリング継手の変位吸収効率向上の貢献度は、無視できないほど大きいことが分かる。免震層形成によるリ

ング継手の変位吸収効率向上をさらに拡張し、積層ワッシャーと免震層を併用すれば、さらに大きなトンネル断面力低減を確実に実現できる⁹⁾。

5. まとめ

本論文では、シールドトンネルの免震構造の地震時応答を解析するために、軸対称FEMを用いた解析手法を提案し、数値解析例によって具体的に免震効果を示した。本論文で得られた結論は、以下の2点としてまとめられる。

1) トンネル中心軸を対称軸とし、対称軸から基盤までを軸対称FEMでモデル化する地中線状構造物の地震応答を解析する手法を提案できた。またこのモデルで取扱う荷重条件を設定した。

2) シールドトンネルを対象とした数値解析により、地盤ひずみの吸収、トンネルひずみの分散、リング継手変位吸収効率の向上といったシールドトンネルの免震効果を、具体的に確認することができた。

本論文で提案する軸対称モデルには、2次元表層地盤のトンネル位置での地盤変位を再現するという課題が残されている。しかしこの点をクリアすれば、トンネルの免震設計において、照査用の有効な解析手法となりうるものと考えられる。

なお本研究は、建設省土木研究所、(財)土木研究センターならびに民間17社による建設省官民共同

研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の一環として実施されたものである。

参考文献

- 1) Okamoto, S., Tamura, C. and Hamada M.: Dynamic behavior of a submerged tunnel during earthquakes, Report of IIS, University of Tokyo, Vol.24, No.5, 1975.
- 2) 大塚, 橘, 濱田: 地震記録を用いたトンネル~地盤間ばね定数の推定, 土木学会第43回年次学術講演会, 第一部, pp.1168-1169, 1988.
- 3) 鈴木猛康: シールドトンネルの軸方向の耐震性評価に関する考察, 土木学会論文集, No. 441/I-18, pp.137-146, 1992.
- 4) 鈴木猛康: シールドトンネルの耐震性評価と免震化手法に関する研究, 東京大学工学部学位論文, 1990.
- 5) 鈴木猛康, 田村重四郎: シールドトンネルの免震構造とその免震効果の評価手法の提案, 土木学会論文集, No.525/I-33, pp.275-85, 1995.
- 6) 鈴木, 粕田, 小林, 福田, 池野: 都市トンネルの免震構造のためのシリコン系材料に関する実験的検討, 土木学会論文集, No.534/VI-30, pp.69-78, 1996.
- 7) 片山他: 地中埋設構造物の実用的な準動的解析法「応答震度法」の提案, 土木学会第40回年次学術講演会, 第一部, pp.737-738, 1985.
- 8) 粕田金一, 鈴木猛康: 鉛直な剛性変化面をもつ不整形表層地盤の地震時ひずみの発生に関する考察, 第31回地盤工学研究発表会, pp.1127-1128, 1996.
- 9) 鈴木猛康: 免震層と弾性ワッシャー併用によるシールドトンネルの地震時断面力低減効果, 土木学会第51回年次学術講演会, 第一部, pp.874-875, 1996.

(1996.9.14 受付)

PROPOSAL OF A METHOD OF NUMERICAL SIMULATION TO EVALUATE EARTHQUAKE RESPONSES OF THE SEISMIC ISOLATION STRUCTURE FOR SHIELD-DRIVEN TUNNELS

Takeyasu SUZUKI, Seong Han KIM and Yasumi UEMURA

In the seismic isolation structure for shield-driven tunnels, in which an isolation layer is formed between a tunnel lining and surrounding soil, seismic isolation effects can be attained by the interaction between tunnel, a thin isolation layer and surrounding soil within a comparatively short distance. Numerical models consisting of beam and springs can not simulate such an interaction successfully occurred in a thin layer around a tunnel in a short distance. In this paper, authors propose a simplified method for numerical simulation dealing with such an interaction, without adopting 3-dimensional dynamic analyses. Examples of numerical analyses are demonstrated, focussing on shield-driven tunnels. Then, seismic isolation effects by applying a seismic isolation layer are presented concretely for shield-driven tunnels.