

地震時における地盤-覆工間挙動の 数値解析的検討

Numerical Analysis on Seismic Behavior
of Ground-lining Interaction for NATM Tunnels

土井 理¹・西村和夫²・土門 剛²

Tadashi Doi, Kazuo Nishimura and Tsuyoshi Doman

¹首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 修士1年 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail: ri-do@hotmail.co.jp

²正会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科

The needs of large cross-section NATM tunnels have increased widely in urban areas. In these cases, flattened elliptical tunnel shapes are adapted to avoid the superfluity of excavated area and construction costs. Isolation sheet is set between lining of NATM tunnel and ground. This sheet cut tension force between them. This study is carrying for estimating the influence of this sheet on the seismic stability of these large flattened road tunnels using dynamic two-dimensional finite element method.

Key Words : seismic behavior, numerical analysis, ground-lining interaction, joint element

1. 研究背景と目的

トンネルは構造物全体が地盤で取り囲まれており、また、断面と比較して構造物軸方向の長さが長く、かつ、トンネル自身の質量も周辺地盤と比較して相対的に小さい。したがって、地震時の挙動はトンネル自重の慣性力よりも周辺地盤の挙動に支配されると考えられ、周辺地盤が地震時も安定していれば、地表の構造物に比べて一般には地震の影響が少なく、耐震性に富む構造物といえる。このため良好な地山内に位置するトンネルについては、構造物の重要性が特に高い場合を除いて地震時の影響を考慮する必要はないとされてきた。しかし、トンネルの挙動は、たとえば地盤と覆工の相対的剛性差、支保と覆工間の構造的連続性の影響など、いまだ明確になっていない要因の影響を強く受ける。また、強震時には、地盤と構造物との間に滑り剥離現象を生じる可能性がある。剥離は、接触面における垂直応力が付着強度を超える引張力となった場合に生じ、滑りは、接触面におけるせん断応力が地盤と構造物の間のせん断強度を上回った場合に生じる。特に、地盤と覆工の間にアイソレーション効果を有した防水シートを設けているトンネルでは、滑り剥離の現象

がより顕著なものとなることが予想される。よって強震時における滑り剥離の影響を把握することが必要となる。

滑り剥離を考慮するための地盤と覆工の接触面のモデル化には、覆工節点と地盤節点にジョイント要素を用いる方法が採用されつつある。そこで本研究では、「地震時における地盤-覆工間挙動の数値解析的検討」と題して、地盤と覆工間にジョイント要素を設け、その物性による影響を検討してジョイント要素の特性を把握し、ジョイント要素の滑り剥離モデルとしての適用性について考察することを目的とする。

2. 解析手法

解析プログラムにはTDAPⅢを用いた。地盤および覆工の物性値は表-1に、都市NATM防水型トンネルを構造モデルとして用いて解析を行った。トンネル形状を図-1に示す。解析メッシュ図は図-2のとおりであり、境界条件は、解析領域側方に2次元側方伝達境界を用い、底面は固定境界とした。

解析手法は、水平動のみを対象とした正弦波を入

力波としてトンネル構造モデルの動的解析を行った。

解析領域は側方領域170m, 土被り39mとし, 地盤-覆工間ジョイント要素の剛性を表-2のように8パターンのケースに変化させてトンネル挙動の諸値にあたる影響についての解析を行った。

なお, 解析結果の検討は, 天端部・アーチ部・覆工隅角部・インバート部の4箇所について行った。

表-1 物性値

	弾性係数E (kPa)	せん断弾性係数G (kPa)	ポアソン比	質量密度 (kN/m ³)	減衰比
地盤($V_s=400\text{m/s}$)	$8.40\text{E}+05$	$3.10\text{E}+05$	0.35	19.02	0.03
覆工	$2.80\text{E}+07$	$1.17\text{E}+07$	0.2	23.54	0.03

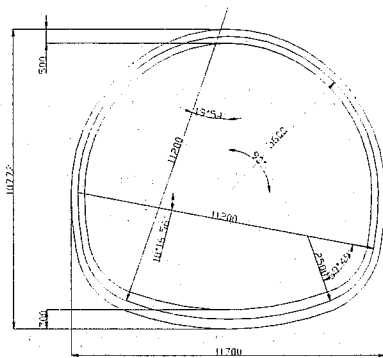


図-1 トンネル形状

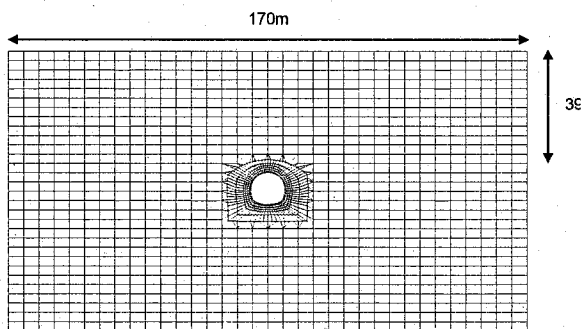


図-2 メッシュ図

表-2 ジョイント剛性設定パターン

	せん断方向剛性 $K_s(\text{kPa})$	直方向剛性 $K_n(\text{kPa})$	K_s の具体的数値(kPa)	K_n の具体的数値(kPa)
case1	$K_s1=Ge$	$K_n1=Ee$	$3.10\text{E}+05$	$8.40\text{E}+05$
case2	$K_s2=Ge*10$	$K_n2=Ee*10$	$3.10\text{E}+06$	$8.40\text{E}+06$
case3	$K_s3=Gc$	$K_n3=Ec$	$1.17\text{E}+07$	$2.80\text{E}+07$
case4	$K_s4=Ge*100$	$K_n4=Ee*100$	$3.10\text{E}+07$	$8.40\text{E}+07$
case5	$K_s5=(K_s2+K_s7)/2$	$K_n5=(K_n2+K_n7)/2$	$6.00\text{E}+07$	$1.44\text{E}+08$
case6	$K_s6=(K_s5+K_s7)/2$	$K_n6=(K_n5+K_n7)/2$	$8.83\text{E}+07$	$2.12\text{E}+08$
case7	$K_s7=Gc*10$	$K_n7=Ec*10$	$1.17\text{E}+08$	$2.80\text{E}+08$
case8	$K_s8=Ge*1000$	$K_n8=Ee*1000$	$3.10\text{E}+08$	$8.40\text{E}+08$

(Ge:地盤のせん断弾性係数 Ee:地盤の弾性係数)
(Gc:覆工のせん断弾性係数 Ec:覆工の弾性係数)

3. 解析結果

(1) 地盤の引張・圧縮応力への影響

トンネル覆工に隣接する地盤要素の引張・圧縮応力に対する影響を検討した。比較対象としてジョイント要素を設置しないケースも設けた。

a) 引張応力 (図-3)

曲率半径が小さいほど最大引張応力の応答が大きくなっており, どの部位においてもケース2(地盤剛性の10倍)のときに最も大きな応答を示していることが分かる。また, 覆工隅角部以外の部位ではケース4程度の剛性(地盤剛性の100倍程度)で応答値が収

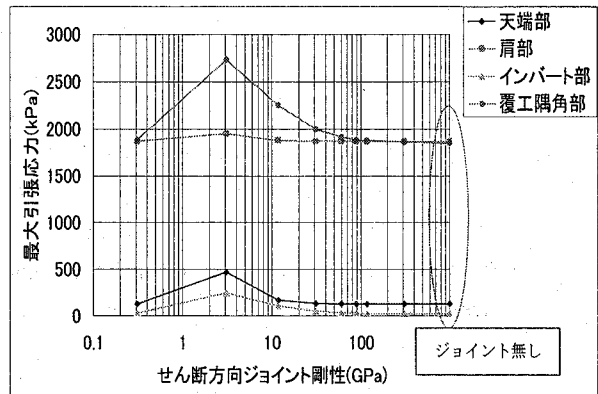


図-3 最大引張応力への影響

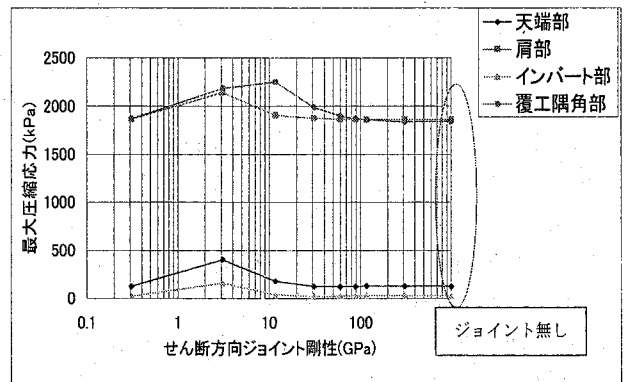


図-4 最大圧縮応力への影響

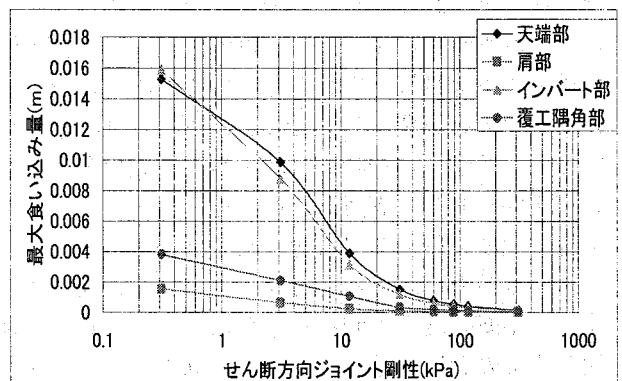


図-5 最大食い込み量への影響

束している。収束後とジョイント要素を設置しない場合の応答はほぼ同じものとなっている。

b) 圧縮応力 (図-4)

全体的な応答は引張応力のものと似ているが、覆工隅角部においてケース2の応答が引張応力よりもかなり小さく、ケース3での応答が最も大きく出ている。これにはジョイント要素の非線形性などの複雑な要因が関与しているものと思われる。

(2) 地盤-覆工間の食い込み量への影響

ジョイント要素を介して隣接する地盤節点と覆工節点との地震動による食い込み量について解析を行った。

図-5に示すように、すべての部位において、ジョイント要素の剛性が高まるほどに食い込み量が小さくなっていくことが分かった。ケース4(地盤剛性の100倍)以降も小数点第4~5位以下で数値の減少が続いているが、変化量はごく小さいので収束したものとみなせる。

(3) 覆工に働く断面力への影響

検討対象は軸力N(軸引張力・軸圧縮力)と曲げモーメントMである。比較対象としてジョイント要素を設置しないケースも加えた。

a) 軸引張力 (図-6)

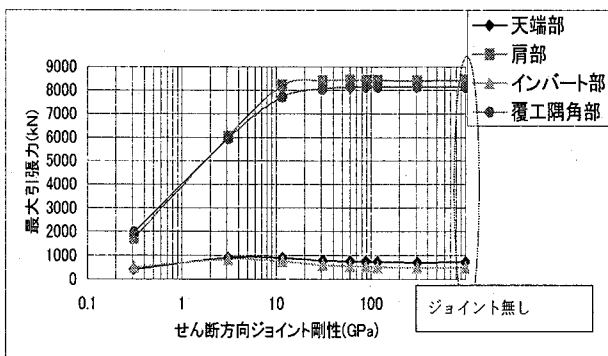


図-6 最大軸引張力への影響

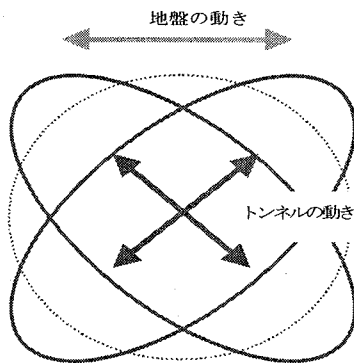


図-7 せん断波によるトンネル変形¹⁾

肩部と覆工隅角部において大きな軸力が作用しており、ジョイント剛性が小さいときは軸引張力が極端に小さくなっていることが分かる。対して、天端部と肩部では作用する軸力自体も小さく、ジョイント剛性の影響も小さい。これは図-7に示すような、せん断波による斜め45°方向へのトンネル変形に伴うものであると考えられる。また、軸力においてもケース4程度の剛性(地盤剛性の100倍程度)で応答値が収束を始め、収束後とジョイント要素を設置しないケースの応答値はほぼ同等である。

b) 軸圧縮力 (図-8)

軸圧縮力は、軸引張力とほぼ同じ挙動を示した。

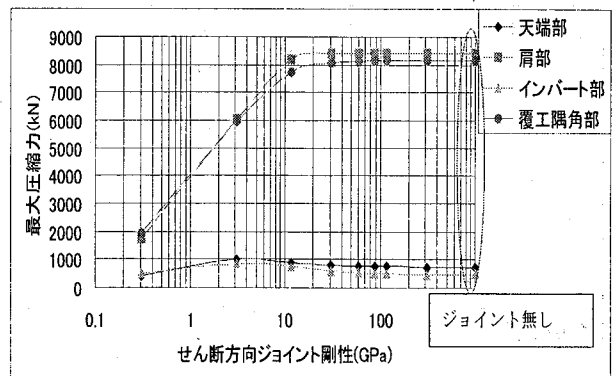


図-8 最大軸圧縮力への影響

c) 曲げモーメント

せん断波によるトンネル変形と形状効果の厳しさから、覆工隅角部で曲げモーメントが大きく出ていることが分かった。また、軸力と比べて曲げモーメントではジョイント剛性による影響が少ないことも分かった。そして、ここでもケース4程度の剛性(地盤剛性の100倍程度)で応答値が収束を始め、収束後の応答とジョイント要素を設置しないケースの応答値はほぼ同等であることがわかる。

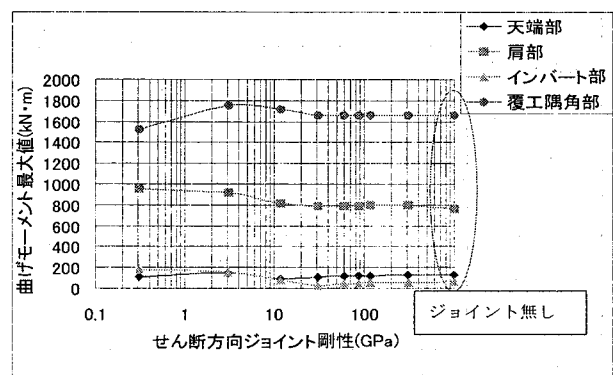


図-9 曲げモーメントへの影響

4. 覆工断面力状態について

図-10に示すように、ジョイント剛性の強弱によって断面力の分布形状に影響がもたらされることはなく、違いがほとんどないことが分かる。

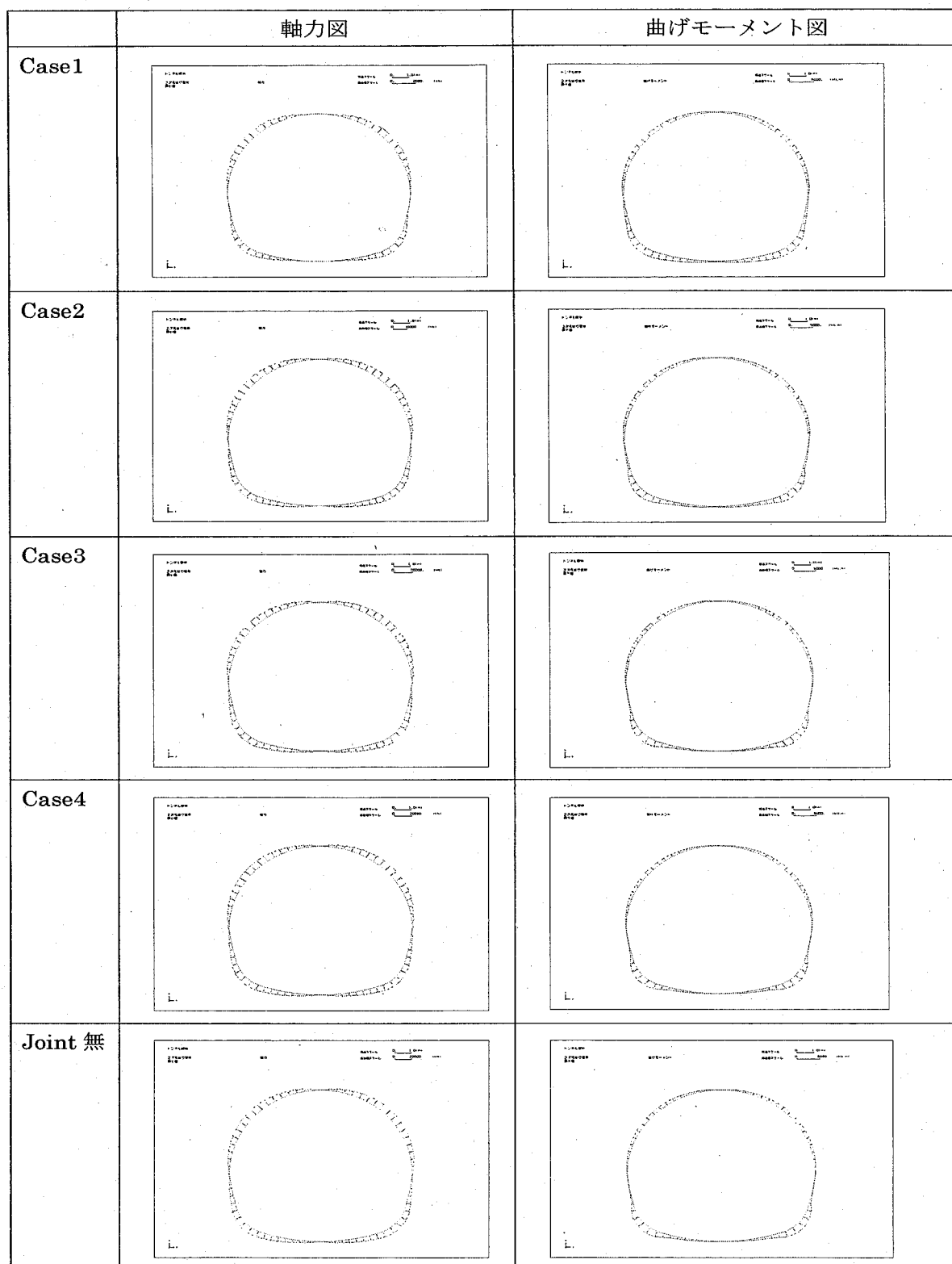


図-10 ジョイント剛性による断面力分布形状

5. 結論

本研究結果より一貫して言えるのは、ジョイント剛性が地盤剛性の100倍程度(覆工剛性の3倍程度)より大きくなったときに諸値が収束に至ることである。そして、収束後の応答値はジョイント要素を設けないモデルでの応答値とほぼ同等のものとなることもわかった。このことから、

ジョイント要素を設けて解析を行う場合、その剛性を地盤剛性の100倍程度(覆工剛性の3倍程度)で設定するのが望ましいといえる。

参考文献

- 1) 阿部昌弘：不整形地盤に位置する山岳トンネルの地震時挙動，2005年度東京都立大学修士論文。