

土砂層 NATM の耐震性に関する 基礎的研究

九州大学工学部 学生員○相川 明

九州大学工学部 正 員 樗木 武

九州大学工学部 正 員 平田 登基男

九州大学工学部 正 員 M. H. KADIVAR

1. はじめに 本研究は、砂質地盤中に施工される NATM トンネルの耐震安定性を検討するものであり、トンネルの施工条件および地山条件の変化がトンネルの動的応答特性に及ぼす影響を把握し、NATM トンネルの耐震設計法のための諸基礎資料を得ることを主たる目的とするものである。前報までにおいて¹⁾ -⁵⁾、ある水路トンネルを一例にとりあげ、軟弱な砂質地盤中に施工される NATM トンネルの地震時の挙動を、その横断面および縦断面に関し二次元的に解析し、その結果より、本トンネルに限ってではあるが、静的に安全な設計であれば、耐震上も問題はないとの結論を得た。しかるに、トンネルの設計施工基本計画の段階で活用することを意図するならば、トンネルの耐震安定性の検討は、施工条件との関連性においても議論する必要があると考える。そこで、今回は、施工条件の変化が NATM トンネルの震動特性に及ぼす影響について、比較検討するものである。すなわち、現在までに施工された 124 箇所 NATM トンネルに関する施工実績データをもとに、数量化理論 II 類および III 類を用いて、断面形状・大きさ・支保パターン・施工法に関して施工分類を行い、断面形状に関しては図-1 に示す TYPE-1 から TYPE-3 の 3 種類の標準断面形を得た。TYPE-1 (断面積 65m^2) は、主に高速道路トンネルに用いられる。TYPE-2 (断面積 50m^2) は鉄道複線トンネルおよび道路トンネルが属するものであり、TYPE-3 (断面積 25m^2) は鉄道単線トンネルが含まれるものである。今回は、この 3 断面と従来より研究してきた大型水路トンネルの 4 断面について振動解析を行い、断面形状の変化が NATM の振動特性に及ぼす影響を比較検討した。なお、解析には粘弾性簡易三次元解析を用いた。

2. 解析概要 解析に用いたモデルの一例を図-2 に示す。モデルは深さ 170m の左右対象モデルであり、地盤構成にあわせて矩形要素で要素分割した。モデル下端は基盤に固定し、地震波を入力させ、側方には伝達境界を施した。土被り厚はすべてのトンネルで 18.0m とした。吹付コンクリート厚はどの断面でも 20cm であり、下部にはインバートを施している。本解析では覆工コンクリートおよびロックボルトは考慮していない。なお、地山の物性値はいずれの断面においても表-1 に示すものを用い、吹付コンクリートの物性値については、密度 2.50g/cm^3 、ポアソン比 0.17、動せん断弾性係数 $1.04 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ および減衰定数 0.05 を採用し、コンクリートの地震時許容応力値は 105kgf/cm^2 とするものである。なお、入力する地震波は本地盤の一次元有振動数 ($f_1=0.7\text{Hz}$, $f_2=2.1\text{Hz}$) と一致する周波数にスペクトルのピークを持つ地震波を加速度波形で入力し、入力加速度の最大値が 100gal になるように結果を換算した。

3. 解析結果 (1) 応答変位 応答変位の最大値は、4 タイプのトンネルのどの断面においても、同一時刻に発生し、TYPE-1 の断面で 9.00cm であり、TYPE-3 の断面で 8.94cm である。断面積が小さくなるほど変位も減少する傾向がみられるものの、その差はわずか 0.6mm であり、応答変位の大きさは断面形状には影響されないものと考えられる。

(2) 最大最小主応力 それぞれのトンネル断面においてコンクリート要素に発生する最大主応力の時刻歴での最大値の分布形状を示したものが図-3 であり、その値を表-2 に示す。図より、すべての断面において斜め上方 45° 付近、および、下部コーナー部に応力の集中が認められ、天端、側方およびインバート中央部分では応力値が小さくなっている。TYPE-1、2 および 4 の断面では斜め 45° 上方で最大の主応力値が発生し、その値は TYPE-1 の断面で最大の 25.2kgf/cm^2 である。TYPE-1 から TYPE-3 を較べると、断面積が小さくなるほ

ど、その値も減少していることがわかる。これに対し、下部コーナーでの最大主応力値は断面積が小さな断面ほど大きくなる傾向が認められ、TYPE-3の断面では下部コーナーで発生する応力値が斜め45°付近に発生する応力値よりも大きくなっている。最小主応力は最大主応力の分布形状とは全く逆の分布形状をしており、どの断面でも天端、側方およびインバート中央部分で引張応力が発生しているものの、その値は、おおむね1.0kgf/cm²以下である。引張応力の最大値を示したTYPE-3の断面でも、その値は0.706kgf/cm²であり、引張破壊を気にするほどではないと考える。

4. まとめ 以上の結果を総括すると以下ようになる。応答変位はトンネルの施工形状および大きさには、ほとんど影響されず、おおむね地山定数と地震波によって決定づけられる。これに対して、主応力、および、その方向などは地山定数や地震波に影響されるのは当然のことながら、断面形状にも大きく影響される。本標準断面形においては、施工面積が大きくなるほど圧縮応力が増大し、逆に断面積が小さくなるほど引張応力が増大する傾向がある。

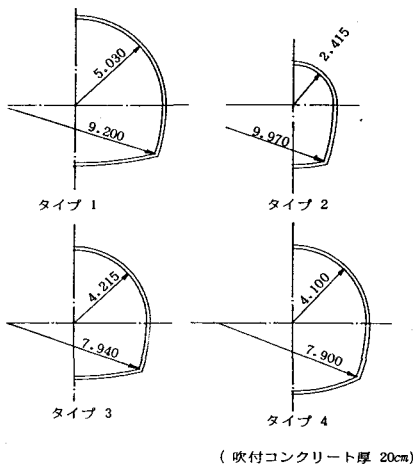


図-1 各断面の形状 (インバート有り)

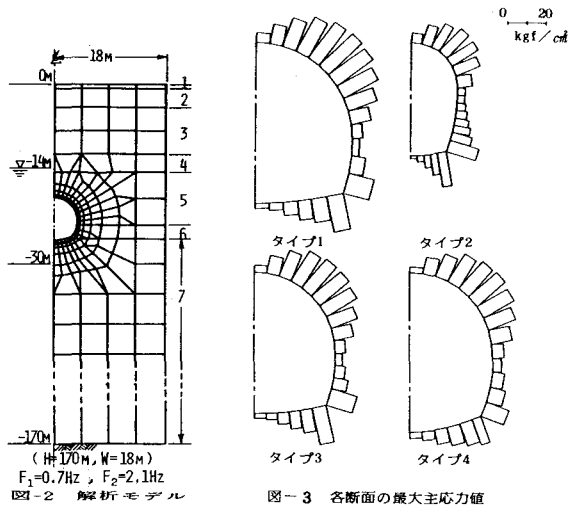


図-2 解析モデル

図-3 各断面の最大主応力値

表-1 ヒソコ地震の動的物性値

地震区分	密度 (t/m ³)	動弾力係数 G (kg/cm ²)	動せん断弾性係数 G _d (kg/cm ²)	減衰定数 h
1	1.40	0.398	7.00 · 10 ⁴	0.15
2	1.43	0.375	6.43 · 10 ⁴	0.15
3	1.38	0.296	1.50 · 10 ⁴	0.15
4	1.38	0.238	1.78 · 10 ⁴	0.15
5	1.97	0.487	1.87 · 10 ⁴	0.15
6	1.98	0.467	5.24 · 10 ⁴	0.15
7	1.95	0.467	5.38 · 10 ⁴	0.15

表-2 各断面での応答値の比較

断面形状	最大主応力 (kgf/cm ²)	最小主応力 (kgf/cm ²)	相対変位 (cm)
TYPE-1	25.2	-0.281	9.00
TYPE-2	20.8	-0.457	8.97
TYPE-3	18.8	-0.706	8.94
TYPE-4	24.7	-0.335	8.98

<謝 辞> 本研究を行うにあたり御指導下さった九州大学工学部鳥野助教、梅林建設株式会社倉原隆二氏、日本国有鉄道西川由朗氏、および、阿部秀徳君に感謝します。

<参考文献> 1)相川, 阿部, 樗木, 鳥野, 高崎: 二重殻構造NATMトンネルの地震時挙動について, 土木学会西部支部研究発表会, 1985 2)阿部, 相川, 樗木, 平田, 高崎: 二重殻構造NATMトンネルの動的挙動について, 土木学会第40回年次学術講演会, 1985 3)阿部, 相川, 樗木, 平田: NATMトンネルの振動特性について(1), 土木学会西部支部研究発表会, 1986 4)相川, 樗木, 高崎: 土砂層におけるNATMトンネルの縦断面に関する動的解析, 土木学会第41回年次学術講演会, 1986 5)阿部, 相川, 樗木, 平田: 断面形状によるNATMの振動特性, 土木学会第41回年次学術講演会, 1986