

III-377

断面形状によるNATMトンネルの振動特性

九州大学工学部 学生員 阿部 泰徳, 学生員 相川 明
九州大学工学部 正員 樗木 武, 正員 平田 登基男

1. はじめに NATMトンネルの断面形状はその用途・地質条件・施工位置など様々な因子により決定されるが、静的な解析によるのみ決定される場合がほとんどであり地震による動的応力を考慮して設計されることは少ない。そこで本研究は砂質地盤中におけるNATMトンネルの振動特性が断面形状によりどのように変化するかを検討するものである。すなわち、前報¹⁾で解析した馬蹄形断面NATMトンネルと内空断面面積がほぼ等しい円形・半円形・楕円形・正方形断面および底部が直線で側壁の曲率が異なる4種類の断面を想定し、それぞれのモデルに同一の地震波を入力して地震時のトンネルおよび周辺地山の応答特性を報告するものである。なお、解析手法は粘性境界を用いた簡易三次元解析法を採用した。

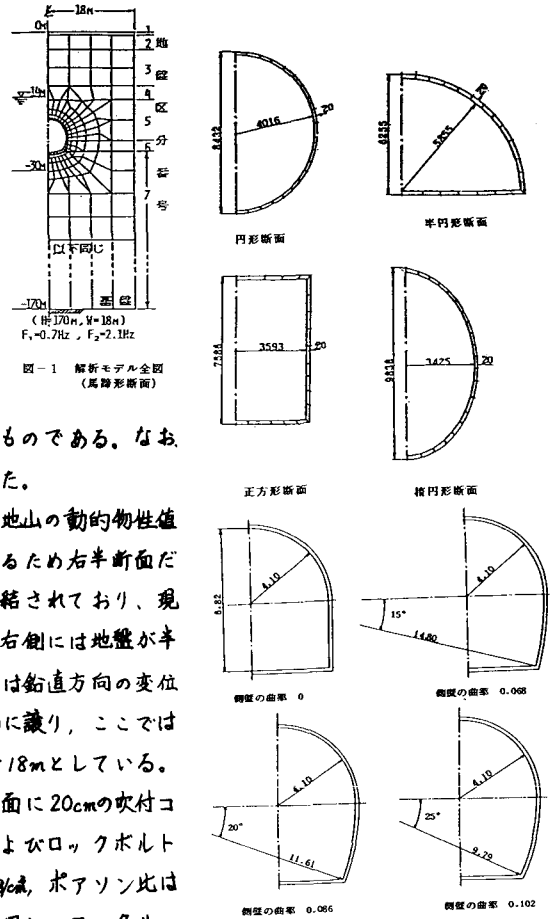


図-1 解析モデル全図（馬蹄形断面）

2. 解析概要 馬蹄形断面の解析モデルを図-1に、また地山の動的物性値を表-1に示す。モデルは深さ170mの左右対称モデルであるため右半断面だけを解析する。モデルの下端は固定境界として基盤に剛結されており、現地盤の固有振動数に一致する振動特性をもつ。モデルの右側には地盤が半無限に続く効果をもたせる仮定境界を採用し、対称軸上は鉛直方向の変位を拘束している。なお、地山モデルの決定方法は文献2)に譲り、ここでは省略する。本トンネルは土被りが浅く、全てのモデルで18mとしている。解析を行ったトンネルの断面は図-2に示すように掘削断面に20cmの吹付コンクリートを施している。なお、本解析では二次覆工およびロックボルトは考慮されていない。コンクリートの物性値は密度2500kg/m³、ポアソン比は0.17、動せん断弾性係数 1.04×10^{10} kgf/cm²、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/cm²とする。コンクリート要素のモデル化に際しては地山同様に矩形要素を採用する。入力する地震波は地盤の1次固有振動数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採用し、モデルの基盤に最大加速度100galで入力する。

3. 解析結果

3-1 応答変位 同一時刻でのトンネルの応答変位をプロットしたものを図-3に示す。図よりどの断面でも上部にいくほど応答変位が大きくなっていることがわかる。これは地盤の応答変位が上層にいくほど大きくなることと酷似しており、トンネルは地山と一体となって挙動しているといえる。変位量に関しては正方形断面の場合で最大となるが、最小である馬蹄形断面と比較しても2mm程度であるため、トン

地盤区分	ρ	ν	G_0	h
1	1.40	0.398	70	0.15
2	1.43	0.375	643	0.15
3	1.88	0.296	1500	0.15
4	1.88	0.238	1780	0.15
5	1.97	0.487	1870	0.15
6	1.90	0.467	5240	0.15
7	1.95	0.467	5380	0.15
コンクリート	2.50	0.170	104000	0.05

ρ : 密度 (g/cm³) ν : ポアソン比
 G_0 : 動せん断弾性係数 (kgf/cm²) h : 減衰定数

表-1 モデル地盤およびコンクリート要素の動的物性値

ネルの断面形状が応答変位に与える影響は考慮しなくてもよいといえる。

3-2. 最大・最小主応力 解析モデルのコンクリート要素に発生する最大・最小主応力の分布形状をそれぞれ図4、図5に示す。最大主応力の分布は正方形および半円形断面以外は全く同様な分布形状を示す。すなわち、斜め45°上方・下方に応力の集中が認められ、天端・側方・底部付近では応力値が小さく最大主応力の分布形状はほとんど上下対称となっている。半円形断面の場合もこれと類似しているが、下部コーナーの応力集中はトンネル内空断面形状が変曲点を有するためであり、またこの変曲点がトンネル側方に位置しているためこの地点での応力値は他の断面と比較して小さい値をとっている。正方形断面では上下コーナー部に応力が集中しているが、その最大値は 16.2 kgf/cm^2 と解析に用いた全ての断面中で最小であり、地震時の最大主応力に関してのみ言及するならば最も良好な断面形状であるといえる。次に最小主応力に関して述べる。最大主応力の場合と同様に、正方形・半円形断面以外では馬蹄形断面とほぼ等しい分布形状を呈している。しかし、最小の主応力値が発生する位置は若干異なり馬蹄形断面では側方で発生するのに対し、円形断面では斜め45°上方で発生する。ただし、最小主応力の絶対値が小さいため斜め45°上方と側方での最小主応力値の差は 1 kgf/cm^2 程度であり、特にどちらか一方の応力が問題となるわけではない。正方形断面では上部コーナー付近で 5.29 kgf/cm^2 の引張応力が発生するため、引張応力による亀裂あるいは破壊に対する警戒が必要である。また、側壁部分の曲率の違いが最大・最小主応力値に与える影響を調べたものが図6である。この図より、地震動によって発生する応力は静的な場合と異なりある曲率で最小となり得ることがわかる。これに関してはより詳細な解析が必要ではあるが、地震に対して有利な断面が存在するということはいへん興味深いことである。

3-3. 耐震安全性の検討 トンネル施工位置に関東地方の砂質地盤での75年確率の地震波に相当する 300 gal の地震波が到来したとすると、吹付コンクリート要素に生じる最大主応力値はいずれの断面でも 40 kgf/cm^2 以下であり、これを静的応力値（馬蹄形断面の場合では 25 kgf/cm^2 ）に付加しても地震時許容応力値 105 kgf/cm^2 より十分に小さいと考えられる。しかし、引張応力も加味すると正方形断面では亀裂が発生する危険性があり、結局、トンネル上部にアーチ形状を有する断面が耐震安全性を考慮した場合も有利であるといえる。

〈参考文献〉

- 1) 相川・阿部・榎木・平田・高崎 土木学会第40回年次学術講演会、1985
- 2) 英・相川・榎木・平田・高崎 土木学会第39回年次学術講演会、1984

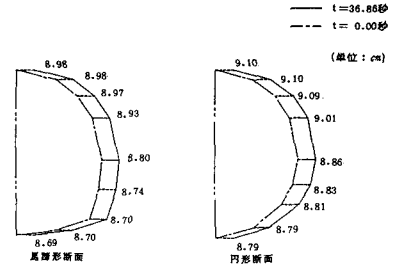


図-3 応答変位図

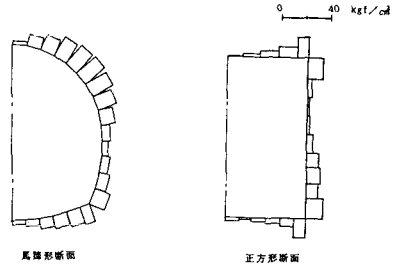


図-4 最大主応力の分布形状図

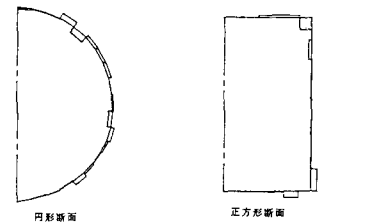


図-5 最小主応力の分布形状図

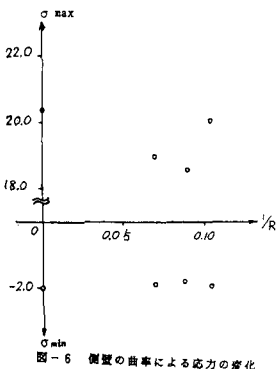


図-6 側壁の曲率による応力の変化