

NATMトンネルの振動特性について(1)

九州大学工学部○学生員 阿部 秀徳, 学生員 相川 明

正員 橋本 武, 正員 平田 登基男

1. はじめに 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⁾までは馬蹄形断面を持つ NATM トンネルについてケーススタディを行ったが、今回はトンネル内空断面形状が馬蹄形トンネルのそれとほぼ等しい5種類の断面(円・半円・楕円・正方形・正三角形)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。

2. 解析概要 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り、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礎に剛結されており、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伝達境界を採用し、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、ここでは割愛する。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。トンネル断面は図-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。コンクリートの物性値は密度 2.50 g/cm^3 、ポアソン比0.17、動せん断弾性係数 $1.04 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ であり、また、減衰定数は0.05を採用し、コンクリートの地震時許容応力値は 105 kg/cm^2 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。なお、本解析ではロックボルトは考慮されていない。入力する地震波は地盤の1次固有振動数に一致する周波数にスベクトルのピークをもつ地震波を採用し、モデルの基礎に最大加速度 100 gal を入力する。

3. 解析結果 5種類の断面を用いたモデルのコンクリート要素の最大主応力分布形状を図-3に、最大および最小主応力値を表-2に示し、馬蹄形トンネルのそれと比較検討する。馬蹄形断面の最大主応力分布とほぼ等しい分布形状を示す断面は円形・楕円形である(この2つの

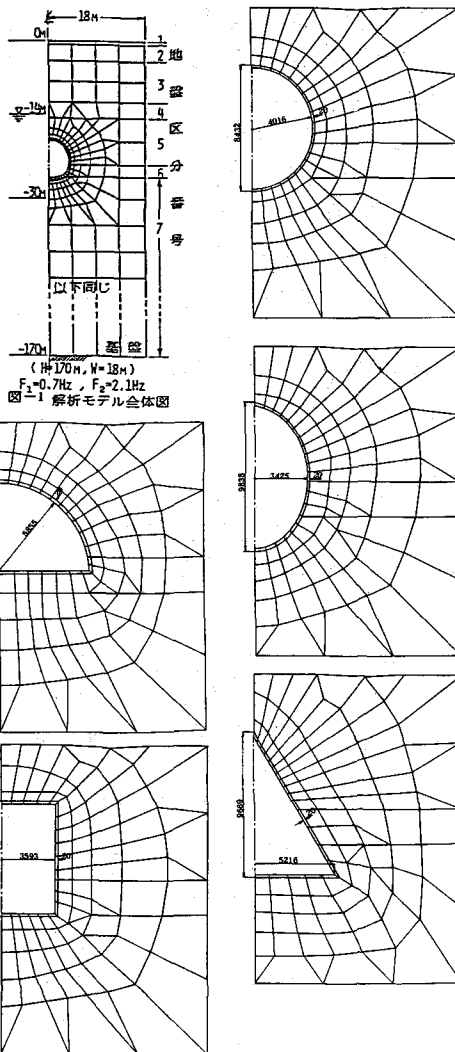


図-2 トンネル断面メッシュ図

地盤区分	ρ	ν	G_0	h
1	1.48	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

ρ : 密度(g/cm^3) ν : ポアソン比
 G_0 : 動せん断弾性係数(kgf/cm^2) h : 減衰定数

表-1 モデル地盤の動的物性値

断面を *Type I* 型断面と呼ぶ)。これらの断面では斜め 45° 上方および斜め 45° 下方付近に大きな主応力が発生する。側方・天端・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、*Type I* 型断面の最大主応力分布とは異なるといえるだろう。*Type I* 型は断面形状そのものが上下対称であること、そしてトンネル内空断面形状がなめらかな曲線であるため最大主応力の分布形状も上下対称になると思われる。また、最大の主応力値は馬蹄形、楕円形、円形の順に大きくなっていて、最大せん断応力値についても同様のことがいえるため、*Type I* 型断面には地震時に回転運動が生じていると考えられる。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、その最大値は馬蹄形断面も含めた各種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好ましい断面といえる。逆に、正三角形断面は斜辺に極めて大きな応力が作用しているため最も危険である。次に最小主応力に関して述べる。*Type I* 型断面の最小主応力分布は最大主応力に関して言及したことと同様なことがいえる。すなわち、分布形状は馬蹄形断面のものと類似し、ほぼ上下対称な形状を呈している。しかし、最小の主応力値が発生する位置は若干異なり、楕円形および馬蹄形断面で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、最小主応力の値が小さいことから、円形断面の斜め 45° 上方と側方の最小主応力値の差は 1kgf/cm^2 程度である。半円形断面では斜め 45° 上方で *Type I* 型断面と同程度の引張応力が発生する。正方形断面では上部コーナー付近で、正三角形断面では天端付近と下部コーナー付近でかなり大きな引張応力が発生し、引張破壊に対して注意する必要がある。以上の結果を踏まえてトンネルの耐震安全性を検討する。トンネルが施工される位置に、関東地方の砂質地盤での 75 年確率の地震波に相当する 300gal 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正三角形断面で 70kgf/cm^2 となる以外はいずれの断面も 40kgf/cm^2 以下であり、これを静応力値（馬蹄形の場合は 25kgf/cm^2 ）に付加しても地震時許容応力値 105kgf/cm^2 より十分に小さいと考えられる。しかし、引張応力が加味して考えると正方形断面と正三角形断面は引張破壊の危険性があり、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。

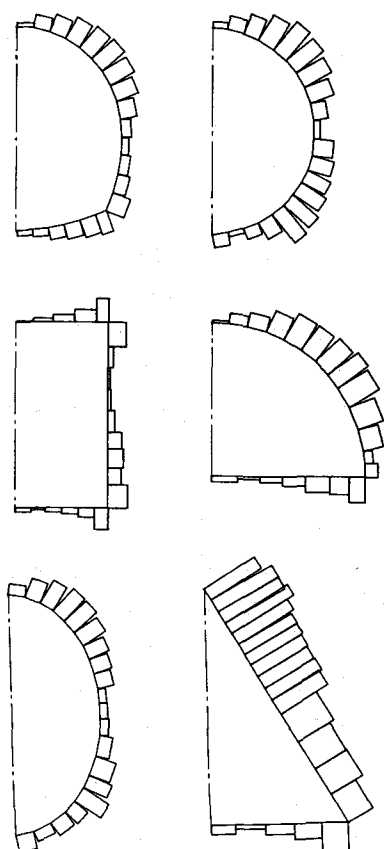


図-3 最大主応力分布図

断面形状	最大主応力値 (kgf/cm^2)	最小主応力値 (kgf/cm^2)
馬蹄形	19.4	-2.25
円形	24.6	-2.82
楕円形	28.8	-2.23
半円形	25.5	-2.52
正方形	16.2	-5.29
正三角形	58.3	-11.28

表-2 断面形状による主応力の変化 (基礎入力加速度 100gal)

<参考文献>

- 1) 相川・阿部・島野・橋本・高崎 土木学会西部支部研究発表会, 1986
- 2) 英相川・橋本・平田・高崎 土木学会 39 回年次学術講演会, 1984