

九州大学工学部 学生員○阿部 秀徳, 学生員 相川 明
九州大学工学部 正員 樫木 武, 正員 平田 登基男
清水建設(株) 正員 高崎 英邦

1. はじめに 本研究は砂質地盤中における二重殻構造をもつNATMTンネルの動的安定性に関し検討するものである。すなわち、前報¹⁾において吹付コンクリートのみの場合の動的安定性を確認したが、今回は、同じトンネルについて二次覆工を施し、いわゆる二重殻構造とした場合のトンネル断面および周辺地山に関して力学的連成系モデルを作成し、その提案モデルに、地盤の固有振動数に一致する地震波を入力し、地震時のトンネルおよび周辺地山の振動特性について解析し報告するものである。

2. 解析手法 解析を行う覆工-地山連成系モデルを図-1に、また、地山の動的物性値を表-1に示す。なお、地盤の解析モデルの決定方法については文献²⁾に譲り、ここでは省略する。モデルは深さ70mの左右対称モデルであり、下端は固定境界とし基礎に結合されており、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無限に続く効果をもつ伝達境界を採用し、対称軸上は鉛直方向の変位を拘束している。地山の面外方向には、三次元効果をもつ粘性境界を採用した。本トンネルは、砂質地盤中に施工される土被り約18mの水路トンネルであり、トンネル断面は、図-2に示すように、二重殻構造をなしている。岩盤内の環流を排水するために、二重殻の間に厚さ0.4mmの防水シートが施されており、二重殻相互では半径方向にしか力が伝達されない構造となっている。コンクリートの許容応力は70 kgf/cm²で設計されており、弾塑性解析の結果、静的な応力の最大値は25 kgf/cm²であり、静的に安定であることが確認されている。本解析では、コンクリートはすべて地山同様に矩形要素で置き換え、防水シートについては軸力のみが伝達されるように棒要素でモデル化し、弾性係数は一軸圧縮試験結果より $E_d = 9.14 \text{ kgf/cm}^2$ を採用した。防水シートの減衰定数については、これをパラメトリックに変化させた結果、各要素の主応力値およびその分布形状に与える影響は小さいといえることが確認できたので、地山と同一の $\nu = 0.15$ を採用した。また、防水シートがトンネル構成要素に与える影響を調べるため、防水シートがない場合のモデルについても吟味した。この2つのモデルの基礎に地盤の一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もつ地震波を入力し、覆工-地山連成系での振動特性を調べた。地震波は現場に近いS地点(-60m)で観測されたものであり、最大入力加速度は100 gal である。

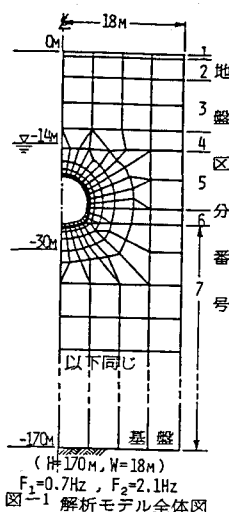


図-1 解析モデル全体図

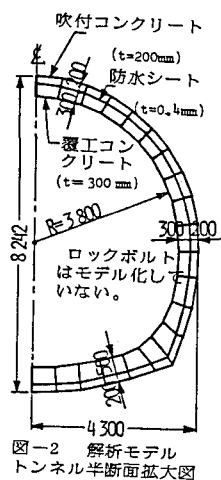


図-2 解析モデルトンネル半断面拡大図

地盤区分	ρ	ν	G_d	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

ρ : 密度 (g/cm³) ν : ポアソン比
 G_d : 動せん断係数 (kgf/cm²) h : 減衰定数
表-1 モデル地盤の動的物性値

構成要素	ρ	ν	G_d	h
吹付コンクリート	2.50	0.17	1.04×10^5	0.05
防水シート	0.94	0.49	3.07	0.01~0.50
覆工コンクリート	2.50	0.17	1.04×10^6	0.05

ρ : 密度 (g/cm³) ν : ポアソン比
 G_d : 動せん断係数 (kgf/cm²) h : 減衰定数
表-2 トンネル断面の動的物性値

3. 解析結果および考察 トンネル側方の吹

付コンクリート要素と、同一深度で約1m離れた地点の周辺地盤との相対変位時刻歴を図-3に示す。覆工と地盤との相対変位は0.1mm以下でほぼ同一の挙動を示している。また、トン

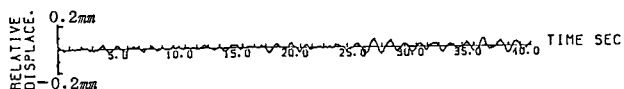


図-3 相対変位時刻歴図

ネルのどの点でも最大の変位が同一時刻に生じていたので、吹付コンクリート要素について応答変位(図-4)と底板中央に対する相対変位(図-5)を見ると、各点とも一様に振動し、上部にいくほど底板との相対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類似しており、覆工コンクリートも吹付コンクリートと同一の挙動を示すことから、覆工は地盤と一体となって挙動しているといえる。次に、防水シートの有無によりトンネル構成要素に生じる最大主応力値を比較したものを表-3に、その分布形状を図-6と図-7に示す。防水シートがある場合、吹付コン

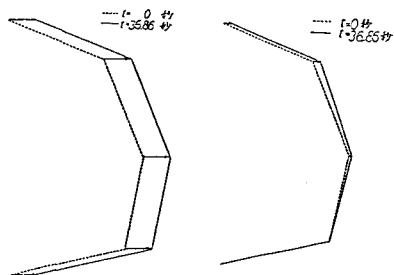


図-4 応答変位図

図-5 相対変位図

防水シートの有無	有	無
吹付コンクリート	19.3	9.29
覆工コンクリート	3.49	18.4
防水シート	1.20	—

表-3 最大主応力の最大値 (kgf/cm²)

クリート要素に発生する最大主応力値および分布形状はともに二次覆工施工前のそれとほぼ同等であり、覆工コンクリートにはあまり力が伝わっていない。これに対し、防水シートがない場合は防水シートがある場合と比較して応力の分布形状が全く異なり、主応力値は吹付コンクリート要素では減少し、覆工コンクリート要素では増大している。これは防水シートを施したときは二重殻相互でせん断力の伝達されなかったのに対し、防水シートを施さない場合には二重殻相互でせん断力の伝達が行われているためである。したがって、防水シートを施した二重殻構造NATMトンネルは本意きコンクリートである覆工コンクリートの応力を軽減できるうえ、止水効果が期待できるので、動的にも優れた構造であるといえる。本トンネルの耐震安全性を考える場合、コンクリート要素に生じる最大主応力の最大値は吹付コンクリート要素で生じていて、防水シートの応力値も十分弾性限界内にあるといえるため、吹付コンクリート要素についての安全性が検証されればよい。トンネル施工位置に、現場付近の地盤での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れば、最大主応力値は約27 kgf/cm²となる。これを地震時の付加応力として本トンネルの静的応力の最大値である25 kgf/cm²に加算すれば、地震時応力が52 kgf/cm²となるが、この値は地震時許容応力値105 kgf/cm²に較べて十分小さい値であり、本トンネルは動的にも安全であるといえる。以上の考察により、砂質地盤中に施工される二重殻構造NATMトンネルは、本トンネルに限っては、静的に安全な設計であれば地震時にも安全であることが確認できた。

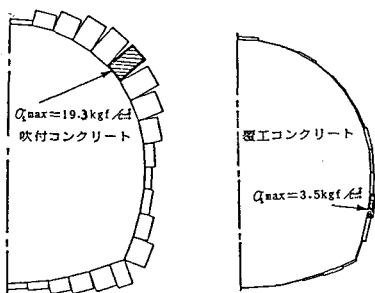


図-6 最大主応力の分布図 (防水シートあり)

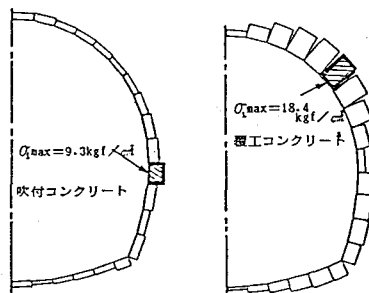


図-7 最大主応力の分布図 (防水シートなし)

<参考文献>

- 1英・平田・鳥野・樫木・高崎 土木学会西部支部研究発表会, 1984
- 2英・相川・樫木・平田・高崎 土木学会 39 回年度学術講演会, 1984