

二重殻構造NATMトンネルの地震時挙動について

九州大学工学部 学生員 相川 明, 学生員 阿部 秀徳
九州大学工学部 正員 橋木 武, 正員 鳥野 清
清水建設(株) 正員 高崎 英邦

1.はじめに 本研究は 砂質地盤中に施工される二重殻構造をもつNATMトンネルの施工中も含めた動的安全性に関し検討するものである。すなわち、前報において吹付コンクリートのみの場合について、その動的安全性を確認したが、今回は、その同じトンネルについて吹付コンクリート内に二次覆工を施し、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建系モデルを作成し、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震動特性について解析し報告するものである。なお、解析手法として 粘性境界を用いた簡易三次元解析法を採用した。

2.解析手法 解析を行うトンネル-地山建系モデルを図-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1に譲り、ここでは省略する。モデルは深さ170mの左右対称モデルであり、下端は固定境界とし基盤に結合されており、現地盤の固有振動数に一致する震動特性をもつ。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。地山の面外方向については、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している。岩盤内の浸透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 70kgf/cm^2 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 25kgf/cm^2 であり、静的には安全であることが確認されている。本解析では、コン

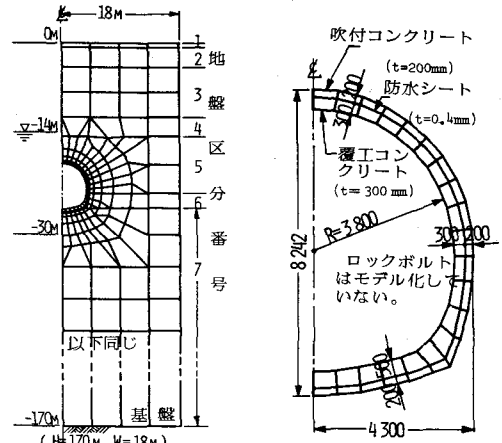


図-1 解析モデル全体図
図-2 解析モデルトンネル半断面拡大図

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/cm^3) ν : ポアソン比
 G_d : 動せん断係数 (kgf/cm^2) 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	1.04×10^5	0.05

ρ : 密度 (g/cm^3) ν : ポアソン比
 G_d : 動せん断係数 (kgf/cm^2) h : 減衰定数
表-2 トンネル断面の動的物性値

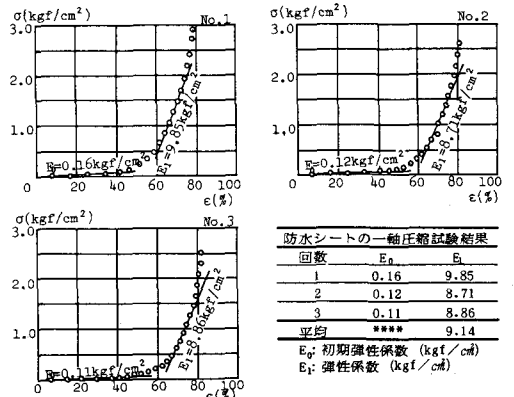


図-3 防水シートの一軸圧縮試験結果

防水シートの一軸圧縮試験結果		
回数	E_0	E_1
1	0.16	9.85
2	0.12	8.71
3	0.11	8.86
平均	****	9.14

E_0 : 初期弾性係数 (kgf/cm^2)
 E_1 : 弾性係数 (kgf/cm^2)

クリートはすべて地山同様に矩形要素であらわし、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、弾性係数は軸圧縮試験結果(図-3)により $E_a=9.14\text{kgf/cm}^2$ を採用した。ただし、防水シートの減衰定数はパラメトリックに変化させて最も妥当な値を採用するものとする。このモデルの基礎に、地盤の一次の固有振動数に一致する周波数にスペクトルのピークをもつ地震波No.1と、地盤の二次固有振動数に一致する地震波No.2を入力し、トンネル-地山連成系の震動特性を調べた。地震波はいずれも、現場に近いS地点(-60m)で観測されたものである。入力波の最大入力加速度は、いずれの場合も100galとした。

3. 解析結果および考察 地震波No.1を

入力した場合の吹付および覆工コンクリートの最大主応力の分布図を図-4に示す。これは、防水シートの減衰定数を0.15とした時のものであるが、吹付コンクリートでは、斜め上方と底部コーナーに、覆工コンクリートでは右斜め下方部分に応力の集中がみられる。地震波No.2を入力した場合も、これとほぼ同等の分布形状となる。防水シートの減衰定数を変化させても、最大主応力の分布形状に

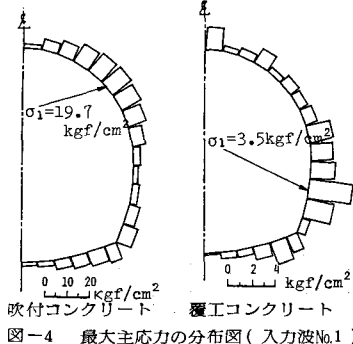


図-4 最大主応力の分布図(入力波No.1)

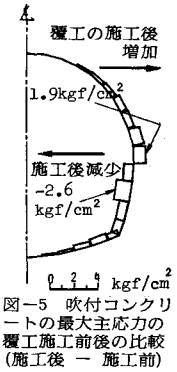


図-5 吹付コンクリートの最大主応力の覆工施工前後の比較(施工後 - 施工前)

変化はなく、その値も影響されない(図-6)。これは防水シートの厚さが極めて薄いことが原因であると考えられる。本解析では、防水シートの減衰定数として地山と同一の $h=0.15$ を採用した。また、吹付コンクリート要素について、覆工施工前後の最大主応力を比較したのが図-5であるが、本トンネルの断面形状では、覆工の施工により、トンネルコーナー部分では応力が減少するものの、トンネル側方上部では、わずかながらも応力が増大することがわかる。トンネルの構成要素の最大主応力の最大値を表-3に示す。いずれの地震波についても、覆工コンクリートの最大主応力値は、吹付コンクリートのそれに較べて一桁小さい値である。また、防水シートの応力値は、棒要素の軸力を応力に変換したものであるが、おおむね 2kgf/cm^2 以下であり、十分弾性限界内にあるといえ、本トンネルの耐震安全性を考える場合は、吹付コンクリート要素についてのみ、その安全性が検証されれば十分であることがわかる。また、トンネル施工位置での応答加速度は、No.1がNo.2の約2倍であり、地盤の一次の固有振動数が卓越する地震波の方が、二次に卓越する地震波よりも、トンネルに対し危険側に作用することがわかる。したがって、地震波No.1を入力した場合の吹付コンクリート要素の耐震安全性について次のように考察するものである。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300galの地震波が到来したとすると、最大主応力値は約 26kgf/cm^2 となり、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 25kgf/cm^2 に加算すると、地震時応力が 51kgf/cm^2 となるが、この値は、地震時の許容応力値 105kgf/cm^2 に較べて十分に小さい値であり、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、引貫地盤中に施工される二重殻構造をもつ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、地震時においても、ほぼ安全であることが確認できた。

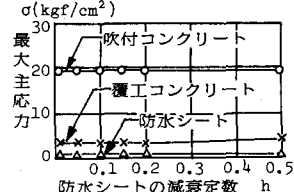


図-6 吹付コンクリート・覆工コンクリート・防水シートの最大主応力の変化

地震波	No.1	No.2
吹付コンクリート	19.4	11.7
覆工コンクリート	3.49	2.18
防水シート	1.20	0.67
トンネル施工位置の最大応答加速度 (gal)	220	100
	230	120

表-3 最大主応力の最大値 (kgf/cm²)

謝辞: 本研究を行うにあたり御指導下さった九大工学部平田助幸、および、清水建設(株)熊坂氏に感謝します。
参考文献 1) 柴田島野 橋本高崎 土木学会西部支部研究発表会, 1984 2) 柴田島野 橋本高崎 土木学会39回年次学術講演会, 1984