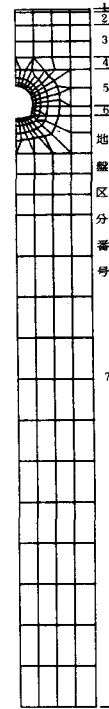


建設省の正員 英直彦, 九州大学工学部 学生員 相川 明
九州大学工学部 正員 橋本 武, 正員 平田 登基男
清水建設(株) 正員 高崎 英邦

1. はじめに 本研究は、砂質地盤中に施工されるNATMトンネルの施工中也含めた動的安定性に関し検討吟味するものである。すなわち、前期ではトンネル周辺地山の地盤振動特性の把握を行ったが、今回は、その結果を受けて、実際のトンネル断面をもとにトンネル-地山連成系でのモデル化を行い、次いで、地盤の固有振動数に一致する正弦波および地震波を提案モデルに入力し、地震時のトンネル及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。なお、数値解法として粘性境界を用いた簡易三次元解析を採用した。

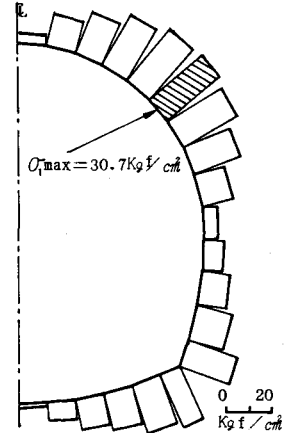
2. 解析概要 解析対象地点で実施されたPS検査及びボーリング調査をもとにモデル化を行った。すなわち、変位に最大の影響を与える1次固有振動数を現地盤とモデル地盤とで一致させる観点にたつて、解析領域の深さを決定したが、その結果、深さ170mのモデル地盤が現場の地盤特性をほぼ満足するといえ、これを採用した。解析を行うトンネルは、砂質地盤中に施工される水路トンネルであり土被りは約18mと浅い。トンネル断面は、左右対称であり馬蹄形をしている。幅約8.6m、高さ約8.2mあり、吹付コンクリートの厚さは20cmである。覆工は底部で50cm、側方及び上部で20cmあるが、今回の解析では吹付コンクリートのみ考え、覆工のない場合を対象として解析した。なお、ロックボルトは用いられていない。トンネル横断面の振動解析に使用したモデルを図1に、また、地盤の物性値を表1に示す。モデル化にあたり自然地盤の解析の場合と同様に、下端を固定境界とし、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。まず、1次及び2次の固有振動数に一致した正弦波をモデル基盤に入力し、減衰定数をパラメータとして振動特性の変化を調べ、さらに、スペクトルのピークが1次(No.1)及び2次(No.2)の固有振動数に一致する2つの異なる地震波(No.1, No.2を現場近似的地点・60mで観測)を入力し、トンネル-地盤連成系での振動特性を調べた。入力加速度の最大値は、



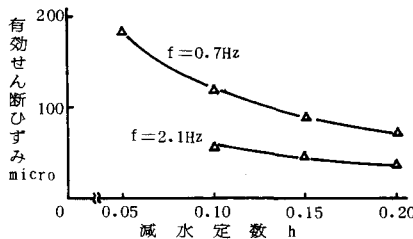
図一 / 解析モデル (H=70m)

地盤区分	ポアソン比 ν	単位体積重量 ρ (t/m ³)	軸せん断弾性係数 G_0 (t/m ²)
1	0.398	1.40	700
2	0.375	1.43	6430
3	0.296	1.88	15000
4	0.238	1.88	17800
5	0.487	1.97	18700
6	0.467	1.90	52400
7	0.467	1.95	53800

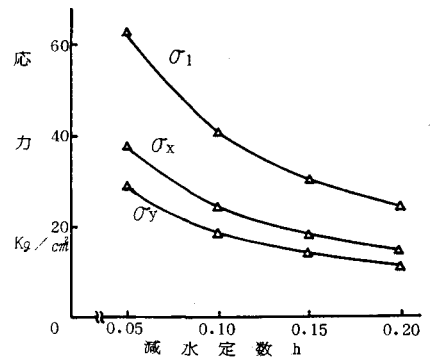
表一 / モデル地盤の諸物性値



図二 正弦波(0.7Hz)入力時の最大主応力分布図 (h=0.15)



図三 減水定数と有効せん断ひずみとの関係



図四 減水定数と応力との関係

いずれの場合も100galとしている。なお、現地盤の1次ないし2次の固有振動数として、常時微動観測結果よりそれぞれ、0.7Hz、2.1Hzなる値を得ている。

3. 結果と考察 正弦波を入力した場合、減衰定数の値にかかわらず、トンネル斜め上方45°付近の吹付コンクリート要素に最大主応力が発生する(図2)。この要素に関し、有効せん断ひずみの大きさで、1次振動と2次振動の大きさを比較すると図3のようになり、トンネルの振動に主な影響を与えるのは1次振動であることがわかる。図4に示すように吹付コンクリートの最大主応力は、減衰定数の値に大きく左右されるが、実際の砂質地盤では、 $h=0.15\sim0.20$ であり、本解析では、安全側をとって $h=0.15$ を採用すると 最大主応力は $\sigma_{1max}=30.7\text{kgf/cm}^2$ である。次に実際の地震波を入力した場合について考えるものとする。図5はNo.1入力時の基礎に対するトンネル及び地盤の変位が最大となる時刻の応答変位図である。地表面の最大変位はNo.1の時9.63cm($G_{max}=241.6\text{gal}$)、No.2の時2.53cm($G_{max}=112.1\text{gal}$)であり、300galに換算すると No.1が11.7cm、No.2が6.98cmとなり、変位に関しては1次振動にピークをもつ地震波を入力した場合が大きいといえる。これは1次振動が地盤全体の振動であるのに対して、2次振動は上部部のみの振動であるためと考えられる。図6はNo.1入力時のトンネルの変形状態をみるためにトンネル下端を基準にして相対変位をとったものである。-23.5mに地盤の急激な変化があるため、-23.5mより上部で変位が急増している。最大相対変位はトンネル天端で3.21mm(No.2入力時は0.0907mm)と微小でありトンネル全体が同一の振動をしているものと判断できる。図7に No.1を入力した時の吹付コンクリートの最大主応力の分布を示す。主応力の最大値は斜め上方45°付近の要素で生じ、その値は、 $\sigma_{1max}=18.38\text{kgf/cm}^2$ である。本地震波入力の際のトンネルの応答最大加速度は228galであり、したがって、300galの地震波が到来した場合には、主応力の最大値は $\sigma_{1max}=24.2\text{kgf/cm}^2$ となる。本トンネルの設計では、コンクリートの許容応力を 70kgf/cm^2 として静的に安全であることが確認されている。地震時には許容応力の5割増しの 105kgf/cm^2 として計算するならば、もし、主応力の方向が一一致したとしても本地震波の場合は応力の増加が 35kgf/cm^2 以内であり、トンネルは動的にも安全であると言える。No.2の場合は、300galに換算すると応力の増加は 28.3kgf/cm^2 であり、この時も安全であることが確認できた。以上の考察から、砂質地盤中に施工されるNATMトンネルの耐震安全性は、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、地震時においても ほぼ安全であることがわかった。

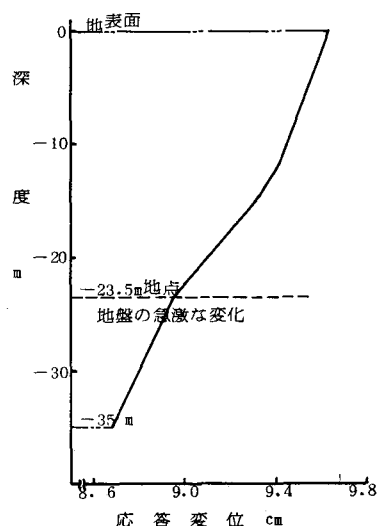


図-5 地震波No.1入力時のトンネルおよび地盤の応答変位図 (上層部地盤のみ) $h=0.15$

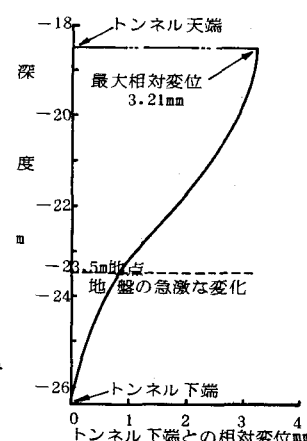


図-6 地震波No.1入力時のトンネル下端を基準とする応答変位図 36.86sec

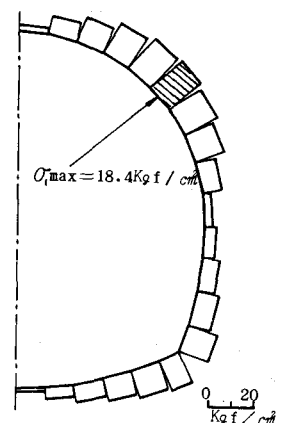


図-7 地震波No.1入力時の最大主応力分布図 ($h=0.15$)

謝辞: 本研究を行うにあたり御指導下さった九大工学部鳥野助教、および、清水建設(株)熊坂氏に感謝します。

参考文献 ①英・平田・鳥野・橋本・高崎: 土木学会西部支部研究発表会, 1974