

中部電力(株)正会員 ○藍田 正和
同上 正会員 西野 健三

1. はじめに

シールドトンネルのような地中線状構造物に対する耐震設計においては入力地震動として水平地盤面内の伝播性波動を主として仮定している。この考え方は近年におけるアレー観測結果に基づいて、より合理的な手法として整備されガス導管指針¹⁾の制定に至っている。しかし、今日においてもなお、このような表面波の定量的性質は明確とはなっており、傾斜基盤のような不整形地盤においては、むしろ、ガス導管指針の地盤急変部で導入されている鉛直上昇波に対する検討も必要と考えられる。

このようなことから、本報告では不整形な基盤を有する地盤内に施工されるシールドトンネルを対象として、SH波入力に対する応答解析を実施し、一般的指針に示される表面波動入力に対する解と比較検討したので報告する。

2. 解析モデルと解析方法

対象とした解析モデルは電力ケーブル用シールドトンネルであり、図-1に示すものである。トンネルの平面線形は左端で一部曲線部をもつが大部分が直線となっている。トンネルの深度はGL-15~20mの間にあるが、 $N > 50$ 以上として選定した基盤が上下しているため、トンネル軸上での変位はせん断上昇波に対してかなり複雑になることが予想される。しかし、表-1に示すトンネル長からもわかるように、最も勾配の大きな基盤傾斜角でも約 6° 程度であり、それほど顕著な不整形地盤とは言えない。表-1には他の諸元についても示しており、比較的標準的なシールドトンネルと言えよう。

まず、一般的表面波動入力に対する解析としては、せん断一次モードによる変位振幅と基盤と表層地盤との調和平均波長で定義される正交波動が入射角 45° で伝播するという従来指針²⁾によった。また、断面力の算定では応答変位法による水道指針²⁾を用いた。この際、シールドトンネルの引張軸剛性については、事前の継ぎ試験による検討³⁾から、継ぎ板の変形特性から得られた図-3に示すバイリニアな関係を用いた。実際の解析においては、シールドトンネルのように圧縮側と引張側で剛性の異なる非線形構造物であってもその最大応答値のみに着目すれば、片方の剛性のみによる一様剛性管路としての解で十分評価できることが確認できたため、ここでは、引張軸力のみに着目して引張側の一様剛性管路として計算を行った。計算は図-1に示す各ボーリング位置での7断面について水平成層地盤として行った。

一方、SH波入力に対する応答解析では図-1に示す地盤を30mピッチの土柱に分け、150gal El Centro波入力等価線形重複反射解析によるトンネル軸上変位を入力とした。また、トンネルは地盤に3次元的に支承される10mピッチの3次元骨組構造としてモデル化し、時々刻々の変位分布に対して弾性床上の梁として解析した。なお、トンネル軸方向剛性は上述した試験に基

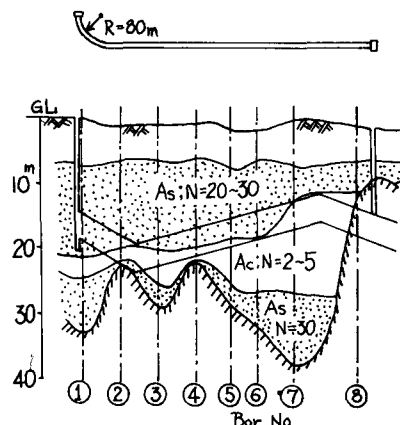


図-1 対象としたトンネル地盤条件

表-1 トンネル諸元

延長	1230 m
セグメントタイプ	RC平板形セグメント
継手形式	継手板ボルト結合
外径	4.5 m
内径(一次覆工)	4.1 m
内径(二次覆工)	3.7 m

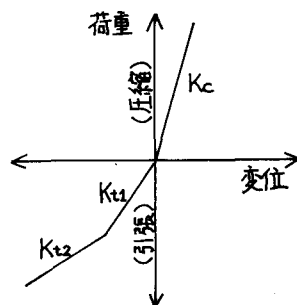


図-2 トンネル軸方向剛性

づいて、図-2に示す非線形剛性を用いた。

3. 解析結果と考察

図-3は重複反射解析より得られたEl Centro波主要動部の $t=2\sim6$ secでのトンネル軸上変位分布を各時刻に対して示したものである。各地点における地盤の一次卓越周期が多くの地点で約1 sec前後であったことから、各時刻での変位分布が似た形となっているが、このような不整形地盤(トンネル縦断線形との相対的關係も含めて)ではSH上昇波に対しても図に示すように、トンネル軸上の変位分布は見掛け上の波動の性質を示す。特に、トンネル中央部にあっては変位振幅の比較的大きな100m程度の見掛け波長がみられ、この部分で大きな断面力が発生することが予想される。なお、本解析では前項でも述べたように、各点での変位を水平方向に非連続なせん断は柱から求めており、実際にはもう少し平滑化された変位分布となる。このようなトンネル軸上に見掛け波動を波長成分としてスペクトル表示したものが図-4である。スペクトルの包絡線はほぼ左上りのものとなっているが、400m程度に比較的大きな成分をもつほか、80m, 90m付近の短波長側にも若干卓越した成分をもっている。引張側トンネル剛性に最も大きな断面力を発生させる波長は本モデルの場合50m程度であることからこのような成分の存在は大きく影響するものと思われる。

次に、せん断一次モード簡易算定式による地盤変位と応答解析解によるそれと比較したものが図-5である。両者はEl Centro波のみによる解ではあるが、比較的良好一致し、トンネル中央部を除いて、トンネル軸と地盤との距離関係とよく相関している。このトンネル中央部の変位応答の差は簡易式が地盤の平均的動特性によるせん断一次モード形を仮定しているのに対して、応答解析解では地盤を忠実にモデル化しているためであり、図には示さなかったが、この近傍では地盤とトンネル軸との間に非常に軟弱な地層が存在しているためである。このため、前述した見掛け波長とともに、大きな変位振幅を示し、図-4(c)に示すように結果的に最大軸力を与えている。しかし、他の部分では両者の関係は比較的良好一致しており、表面波動による仮定によってもSH上昇波に対する応答をある程度表現できることを示している。

4. 結 論

本検討は種々の仮定に基づくほんの一例でしかすぎないが、不整形な地盤においてはSH上昇波によっても見掛け上の波動の性質が表われ、これによって表面波動と同等もしくはそれ以上の応答が生ずることが示された。耐震設計法として定式化するには多くの問題があり過ぎるが、このような検討も今後は必要と思われる。

参考文献：1) ガス導管設計指針(日本ガス協会、昭和74年)、2) 水道施設耐震設計指針解説(日本水道協会、昭和74年)、3) 震動とトンネルの相互作用に関する検討(日本トンネル学会、昭和74年)

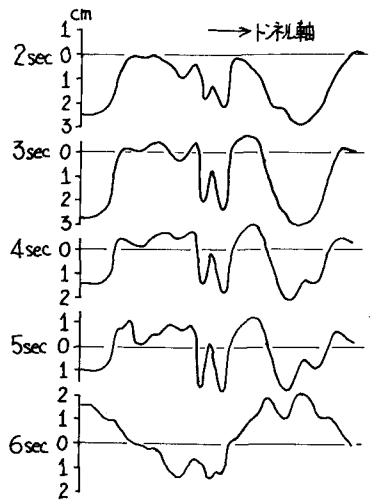


図-3 トンネル軸上の地盤変位

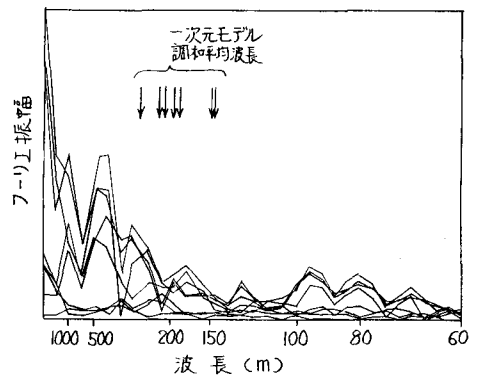


図-4 トンネル軸上地盤の見掛け波長

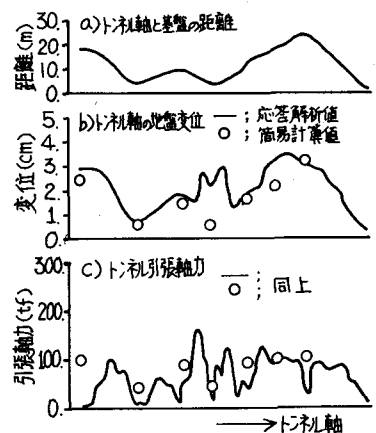


図-5 入力波動の違いによる応答の差