

I-530

地盤との拘束に非線形性を考慮した沈埋トンネルの地震応答解析

豊橋技術科学大学 正員○神谷 光昭
建設省土木研究所 正員 川島 一彦
同 上 正員 大日方尚巳
同 上 正員 加納 尚史

1. まえがき

沈埋トンネルの地震応答解析においては、トンネルを周辺地盤によって弾性的に支持された梁とみなす場合が多い。しかしながら、地中埋設構造物～地盤系の復元力特性は、一般に強い非線形性を示すことが知られており、特に、大規模地震に対する耐震性の検討を行う際には、トンネルと周辺地盤とのすべりを考慮に入れた解析も必要になると考えられる。

このような観点から地盤と構造物との間の拘束に非線形性を考慮して沈埋トンネルの地震応答解析を行ない、線形解析結果との比較によって、その影響を検討した。

2. 解析の概要

解析の対象としたのは、首都高速道路湾岸線の東京港トンネルである¹⁾。沈埋トンネルは9個のエレメントで構成されており、いずれも鉄筋コンクリート製で、高さ8.8m、幅37.4m、長さ115mとなっている。また、エレメント間には可とう性の継手が設けられている。

本解析で設定した仮定は以下の通りである。

- 1) 沈埋トンネルと地盤を結ぶばね（以下、地盤ばねと呼ぶ）は、図1のようなバイリニア型の履歴曲線を描くものとする。
- 2) 可とう性継手は、等価線形の継手ばねによってモデル化する。
- 3) 入力地震動は基盤面において与えるものとし、基盤面全長にわたり、一様な入力地震動がトンネル軸方向に作用する。

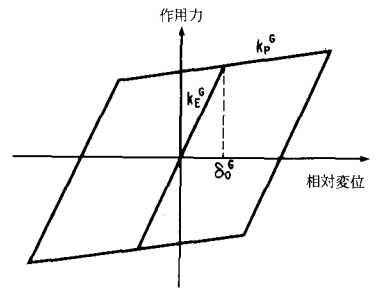


図1 地盤と沈埋トンネルを結ぶばねの履歴曲線

表1 計算ケース一覧

ケース	Δ_0^G	K_P^G/K_E^G
1	(線形)	(線形)
2	0.5 cm	1/10
3	"	1/100
4	1.0 cm	1/10
5	"	1/100
6	2.0 cm	1/10
7	"	1/100

なお、その他の条件については、東京港トンネルの耐震設計において設定された値を用いることとした。ここで、地盤ばねを非線形ばねとする場合には、 K_E^G 、 K_P^G 、 Δ_0^G をどのように設定するかが問題となる。しかしながら、このような非線形性については、現時点ではほとんど解明されていないのが実情である。このため、一次剛性 K_E^G については、東京港トンネルの耐震設計において用いられた値とし、二次剛性 K_P^G は K_E^G に対する比率で与えることとした。表1に各計算ケースの Δ_0^G 、及び、 K_E^G に対する K_P^G の比率を示す。これら各計算ケースの応答解析結果から、線形解析に対する非線形解析の影響の程度、及び、非線形性の強さの違いが応答値に与える影響について検討を行うものとした。

なお、入力地震動としては、東京湾横断道路トンネルの耐震設計用に提案されている動的解析用入力地震動L2を用いた。

3. 地盤ばねの非線形性が応答値に及ぼす影響

図2に地盤と沈埋トンネル間に生じる最大相対変位の分布を、図3に沈埋トンネルに生じる最大軸力の分布を、それぞれ示す。これより以下のことが指摘される。

- 1) 地盤ばねの非線形性を考慮することにより、地盤～トンネル間の相対変位は線形解析結果より大きくなる。それとは逆に、トンネル軸力は線形解析結果を下廻る。以上の傾向は、相対変位に関しては左右両端付近、軸力に関しては中央部を除いたほぼ全体において顕著に見ることができる。

2) Δ_0^G に着目すると、トンネル軸力及び地盤～トンネル間の相対変位ともに Δ_0^G が大きくなるにつれて応答値は線形解析結果に近づく。特に、 $\Delta_0^G = 2\text{ cm}$ とした場合には、最大相対変位自体が6 cm程度であるため、相対変位及び軸力とも、線形解析結果とほぼ同一の結果となる。

3) $K_F^G/K_E^G = 1/10$ 及び $1/100$ による応答値を比較すると、 $1/10$ の方が $1/100$ に比べ、地盤～トンネル間の相対変位は小さく、トンネル軸力は大きくなる。ただし、 $1/10$ 及び $1/100$ の両者の差は、 Δ_0^G が小さい場合には顕著であるのに対して、 Δ_0^G が2 cm程度と大きくなると小さくなる。

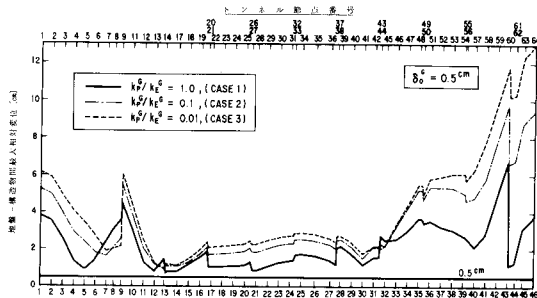
4. まとめ

本解析での結果をまとめると以下のようになる。

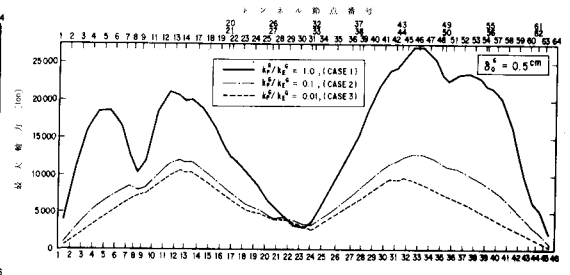
- 1) 地盤ばねの非線形性を考慮することにより、地盤～トンネル間の相対変位は増加し、トンネル軸力は低下する。
- 2) 本トンネル程度の断面寸法及び地盤条件を有する場合には、地盤ばねの降伏変位 Δ_0^G を2 cmと見込むと、非線形解析によるトンネル軸力及び地盤～トンネル間の相対変位は線形解析結果と比較して、大きな差は生じない。

<参考文献>

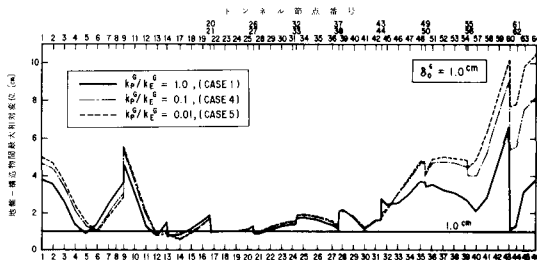
- 1) 首都高速道路公団：東京港トンネル工事誌、第4編 耐震設計、pp463～558、土木学会、昭和52年3月



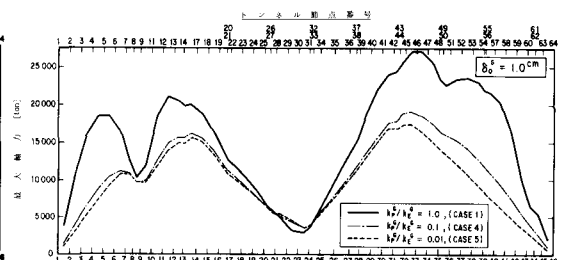
(a) $\Delta_0^G = 0.5\text{ cm}$ の場合



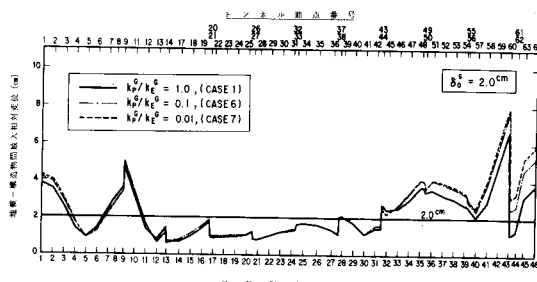
(a) $\Delta_0^G = 0.5\text{ cm}$ の場合



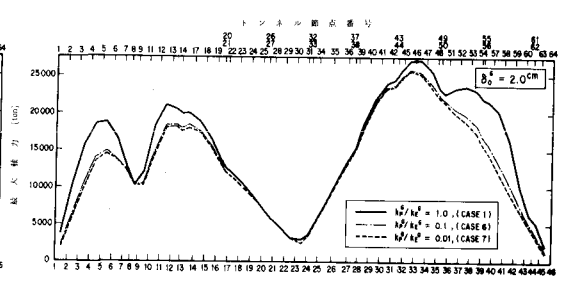
(b) $\Delta_0^G = 1.0\text{ cm}$ の場合



(b) $\Delta_0^G = 1.0\text{ cm}$ の場合



(c) $\Delta_0^G = 2.0\text{ cm}$ の場合



(c) $\Delta_0^G = 2.0\text{ cm}$ の場合

図2 地盤～トンネル間最大相対変位の分布

図3 沈埋トンネルに生じる最大軸力の分布