

(106) シールドトンネル曲線部に生じる地震力の検討

東京都交通局 ○中島猛男
 建設省土木研究所 川島一彦
 同上 杉田秀樹
 建設省東北地建 加納尚史

1. はじめに 地下鉄シールドトンネルを建設する場合には、他構造物との関係や用地上の問題等により線形の制約を受けることが多く、曲率半径が小さい、あるいは曲線区間長の長い曲線部を有するケースが増加している。本研究では、曲率半径および曲線区間長をパラメータとした動的応答解析により、シールドトンネルの曲線部に生じる地震力について検討したので、その結果を報告する。

2. 解析手法 解析手法の概要を以下に示す。¹⁾ ①表層地盤を3次元のバネ～質点系にモデル化する。 ②一次覆工セグメント、リング継ぎ手及び二次覆工からシールドトンネルの軸剛性及び曲げ剛性を計算し、これと同じ剛性を持つ梁に置換する。軸剛性については引張剛性を用いる。 ③表層地盤の動的解析を行い、各地盤質点の応答変位を各時刻について算出する。 ④③で算出される地盤応答変位をバネを介して時刻歴でトンネルに静的に作用させ、シールドトンネルの動的応答変位を計算する。 ⑤④により計算されたシールドトンネルの応答変位から、トンネルに生じる断面力を算出する。

3. 解析条件 (1)地盤条件 図1に解析対象とした地盤条件を示す。解析対象領域は600m×600mで、基盤と均質様な表層地盤とから成る。基盤は深さ17.5mおよび29.5mの水平部と勾配6%の傾斜部とから成り、表層地盤はN値5の軟弱な砂質地盤とした。Z軸方向には地盤の変化はない。

(2)シールドトンネル 解析対象とした地下鉄シールドトンネルの断面図を図2に示す。セグメント厚は250mmで、無筋コンクリートによる厚さ250mmの二次覆工を有する。また、トンネルの設定位置は図1中に示すように基盤が傾斜している部分に曲線部が位置するように設定した。

(3)入力地震動 入力地震動として動的解析用入力地震動L₂を用いた。これはマグニチュード8の地震が震央距離25kmの地点で発生した場合の第一種地盤上の加速度応答スペクトルを推定し、この加速度応答スペクトルと一致するように実地震動の加速度記録を周波数領域で振幅調整したものである。ここでは、実地震動として八戸港で得られた1968年十勝沖地震の加速度記録のNS成分(運輸省港湾技術研究所による)

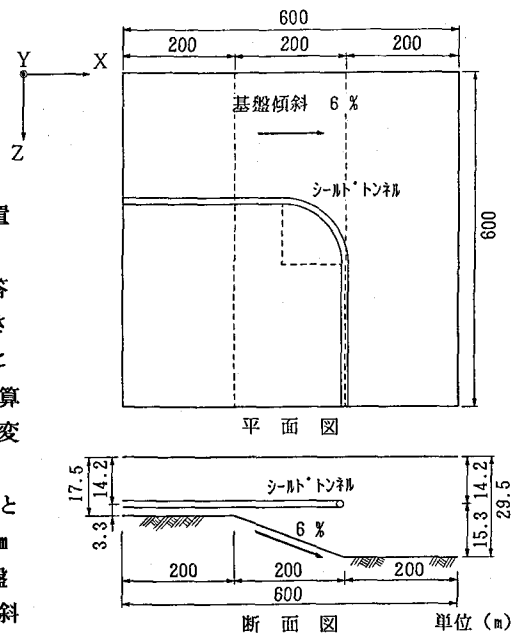


図1. 解析対象地盤およびシールドトンネル

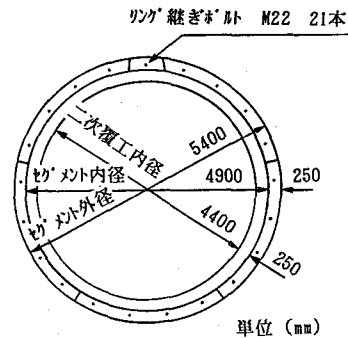


図2. シールドトンネル断面

を選び、固有周期0.8秒～5.0秒の範囲で上記の加速度応答スペクトルと一致するように振幅調整して入力用地震動を作成した。図3にL₂の加速度波形を、また図4にL₂の加速度応答スペクトルを示す。

地震動による加振方向はX軸の正の方向から反時計回りにとった角度θで表し、θ=0°、30°、60°、90°の4通りとした。

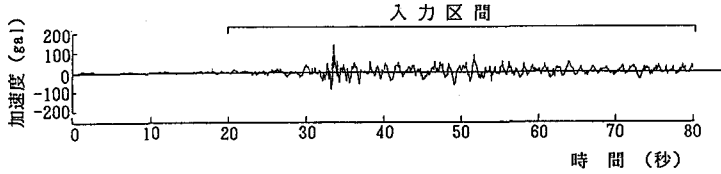


図3. 入力地震動L₂の加速度波形

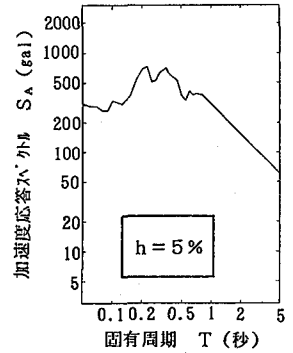


図4. 入力地震動L₂の加速度応答スペクトル

(4)解析ケース 表1に解析ケースを示す。曲率半径Rについては、R=100m～200mの間で20m毎に変え、6ケースとした。曲線区間長については曲線部の中心角で表すものとし、曲率半径をR=120mに固定して、曲線部の中心角を30°、60°、90°、120°とした4ケースを設定した。

表1. 解析ケース

曲率半径の影響の検討			曲線区間長の影響の検討		
ケース	曲率半径(m)	中心角(°)	ケース	曲率半径(m)	中心角(°)
①	100	90	⑦	120	30
②	120	90	⑧	120	60
③	140	90	⑨	120	90
④	160	90	⑩	120	120
⑤	180	90			
⑥	200	90			

4. 解析結果 (1)曲率半径の大きさと地震時応答との関係

図5に曲率半径R=100mとR=200mのケースについて最大断面力の分布を示す。軸力は基盤傾斜部の中央付近を中心とする山形の分布であり、R=100mとR=200mのケースとの間に大きな違いはない。曲げモーメントは直線部から曲線部への接続部で

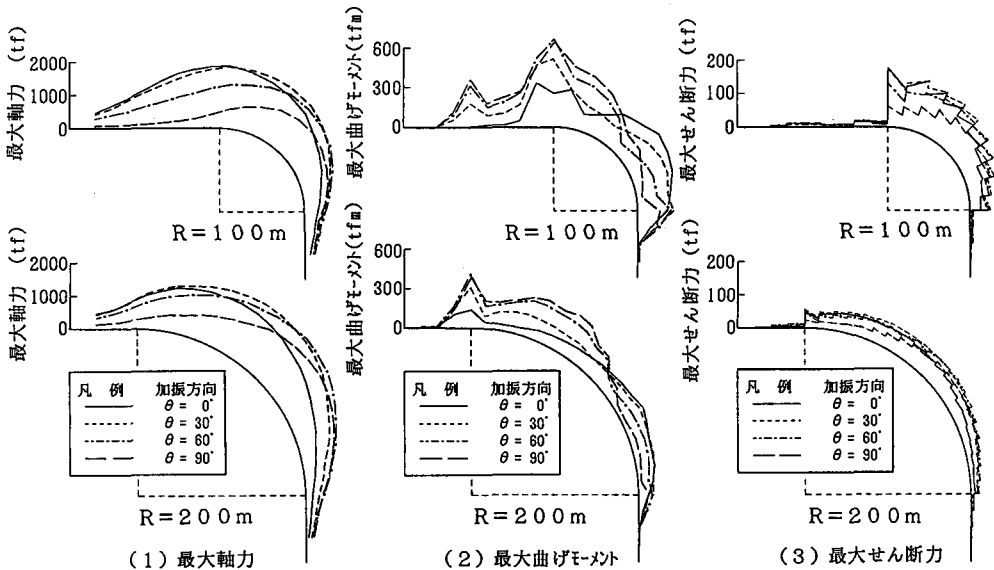


図5. 最大断面力の分布

大きくなり、特に $R=100\text{m}$ のケースでは 600tf_m を越える値となっている。せん断力は両ケースともにほぼ直線部においてのみ生じ、 $R=100\text{m}$ のケースでは直線部から曲線部への接続部で特に大きく、 180tf 近い値となっている。 $R=200\text{m}$ のケースでは加振方向による違いが小さく、また直線部から曲線部への接続部においても、せん断力は小さい。

次に、曲線部に生じる最大断面力の加振方向および曲率半径による変化を図6に示す。

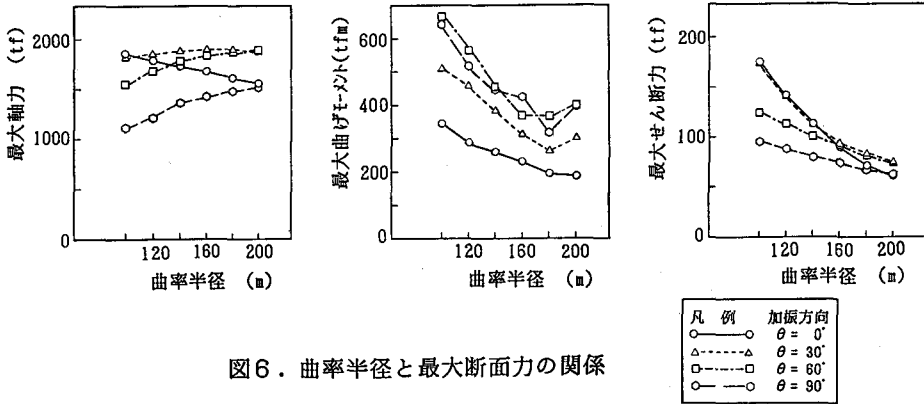


図6. 曲率半径と最大断面力の関係

図6によれば、軸力については曲率半径が小さくなると、加振方向 $\theta = 0^\circ$ では増加し、 $\theta = 60^\circ$ 、 90° では減少し、 $\theta = 30^\circ$ ではほとんど変わらない。4つの加振方向の最大値に着目すれば、最大軸力は曲率半径が $R=100\text{m} \sim 200\text{m}$ の範囲で変化しても、その影響を受けないといえる。

曲げモーメントは、加振方向に関わらず曲率半径が小さくなるにつれて増大する。図7に加振方向 $\theta = 90^\circ$ の場合について直線部から曲線部への接続部付近のトンネル要素が負担する変位の違いを模式的に示す。曲率半径の大きさによって変化するトンネル要素の向きと加振方向との関係により、曲率半径が大きい場合には、単位長さのトンネル要素が負担する変位が小さいので曲げモーメントがそれほど大きくならないが、曲率半径が小さい場合には、同じ長さのトンネル要素が負担する変位が相対的に大きくなるため、大きな曲げモーメントが生じるものと考えられる。

せん断力についても、曲率半径が小さくなるにつれ、増大する傾向がみられる。せん断力はトンネル軸直角方向の相対変位によって生じるが、曲げモーメントと同様に、曲率半径が小さい場合には相対的に短い曲線長で変位を負担することになるので大きなせん断力が生じると考えられる。

(2) 曲線区間長と地震時応答との関係

図8に曲線区間長を変えた各ケースについて最大断面力の分布を示す。軸力の分布を見ると中心角の違いによる差は顕著ではなく、それぞれのケースで中心角の共通部分については同様の形状をしている。曲線区間長の最も長い中心角 120° のケースを、中心角 90° のケースと比べると、曲線部から直線部への接続部において多少の違いはみられるが、4方向の加振方向の最大値に着目するとほとんど違いはない。また、直線部から曲線部への接続部で曲げモーメントが最大となる傾向は各ケースに共通である。せん断力はほぼ曲線部においてのみ生じ、直線部と曲線部の接続部で大きくなるという傾向は各ケース間で共通である。以上のように中心角の大きさが $30^\circ \sim 120^\circ$ の範囲で変わっても、いずれの断面力についても著しい変化は生じないといえる。

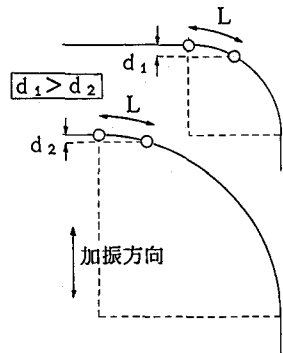
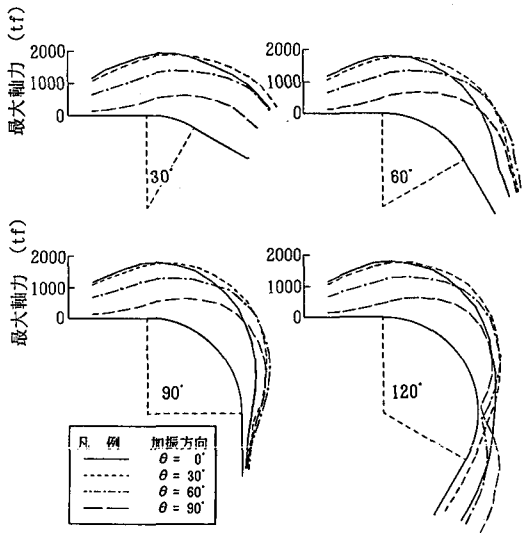
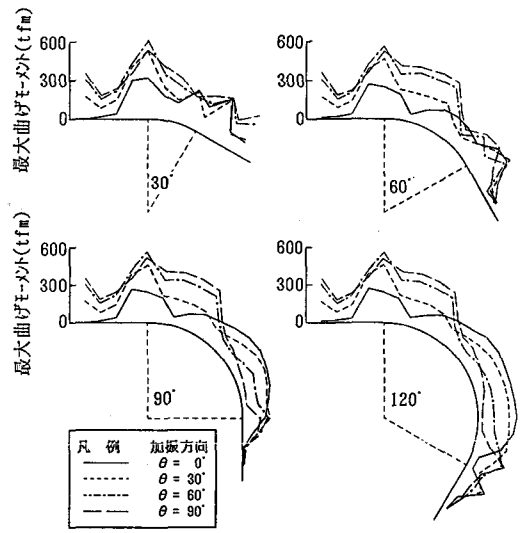


図7. トンネル要素の向きと変位

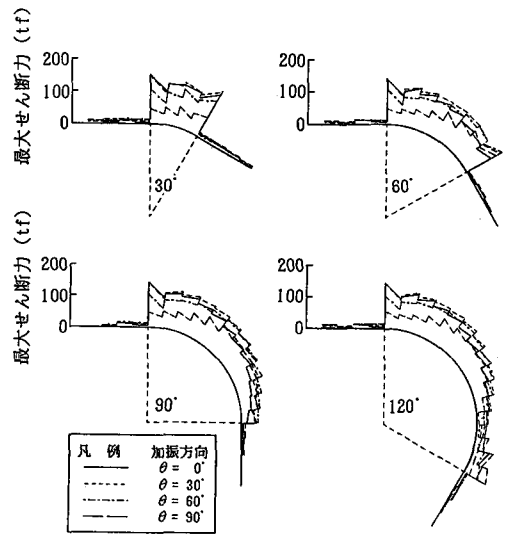


(1) 最大軸力



(2) 最大曲げモーメント

5. まとめ 地震応答解析により、地盤条件変化部に設置されたシールドトンネルの曲線部において、曲率半径および曲線区間長が断面力にどのような影響を与えるかについて検討した。その結果、曲率半径がR=200mからR=100mへ小さくなることにより、最大軸力はあまり変化しないが、最大曲げモーメントおよび最大せん断力はかなり増加することがわかった。また、曲線区間長が中心角30°~120°の範囲で変わることによる、地震時発生断面力に及ぼす影響は小さいことがわかった。現在の地下鉄は、車両の駆動方法等の改良による走行性能の向上、あるいはシールド工法の進歩等により、従来よりもかなり小さな半径を有する曲線部を設けることが可能となっているが、地盤条件が変化する地点において曲率半径の小さな曲線部を設ける場合には、シールドトンネルの耐震性を十分考慮する必要がある。



(3) 最大せん断力

図8. 最大断面力の分布

なお、本稿は第1著者が平成2年度部外研究員として建設省土木研究所耐震研究室において研究した結果をとりまとめたものである。

(参考文献) 1) 川島・杉田・加納: シールドトンネルの耐震性に関する研究(その7) 曲線部を有する下水道管渠に生じる地震力の検討、土木研究所資料、第2920号、平成2年11月