

電々公社 正員 辻 和勝
東大生研 正員 田村重四郎

1 緒言

今までのシールドトンネルについての、地震時挙動に関する研究及び観測結果によると、トンネル軸方向加速度、上下方向加速度に比べ、トンネル軸直角方向加速度が常に最大になっている事が分っている。また、歪に關しても、トンネル断面内の斜め方向の歪が常に最大である事が認められている。

このような事から、トンネル軸方向より、むしろ軸直交断面内における地震時の挙動についての研究を行う必要が有ると考え計算、観測及び模型実験を行った。

本研究の着眼点は、シールドトンネルのセグメントの継手は動的には従来剛節として解析されているが、実際には剛節とヒンジの中間的な性質を持っていると考えられるので、本研究ではセグメントの継手構造を剛節、弾性ヒンジ、ヒンジの三種類に分けて、その各々が地震時に地盤、トンネル或るいは周辺の土にどのような影響を与えるか研究した。さらに箱型複線トンネルは、地震時に発生する軸直交断面内の上床の歪がシールドトンネルの場合に比べて大きく、しかも上下方向加速度の影響を受け易いという事が観測結果から認められているので、本研究では上下方向の地震時挙動についても調査した。

2 計算方法

数値解析では、トンネル軸直交断面を平面歪状態の仮定の下に二次元問題として扱い、有限要素法を用いて線形領域で応力状態を計算した。応答計算では、モーダルアナリシスの手法を採用し、減衰係数10%を用いた。

入力波形としては、十勝沖地震の際八戸港で記録された加速度波形を用いた。

表-1

	1st	2nd	3rd
剛節	0.929	2.881	5.220
弾性ヒンジ	0.926	2.869	5.201
ヒンジ	0.924	2.862	5.188

3 シールドトンネル(双設)

① 固有振動数に及ぶ継手の影響

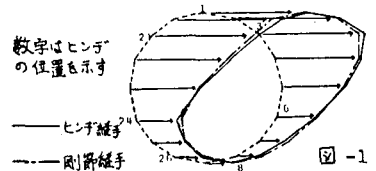
表-1に示すように、継手をヒンジにする事によって、剛節の場合に比べ一次で0.5%、二次、三次で0.6%程度の固有振動数の減少があるが、継手の影響はほとんどないと言う事ができる。

② 変位応答

変位応答には、一次の固有振動数の波形が著しく卓越していた。従って、変位応答では一次のモードが重要であって図-1にはトンネルの一次の変位モードを示した。この図から継手がヒンジ点で剛節の場合に比べて大きく折れている事が分かる。

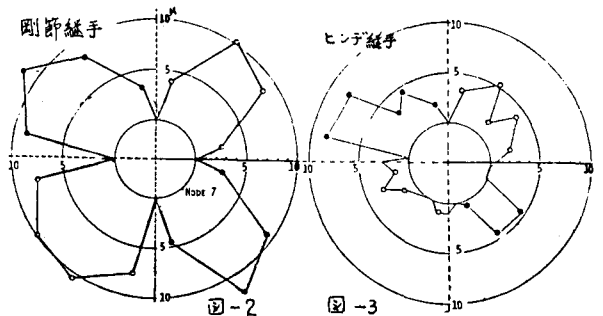
系全体で見ると、一次モードに対しては継手による影響は小さいが、二次、三次の順に、ヒンジの場合には、トンネルの上下方向変位が増大してゆく事が分かった。しかし、最大変位応答は、一次振動が大きく卓越している為、継手の構造の影響はほとんどなかった。

DISTRIBUTION OF STRAIN (1st MODE)



③ トンネルのひずみ

ひずみ応答も、一次の振動が主に卓越するが、変位応答に比べ、二次、三次の影響はやや大きくなる事が分かった。しかし、四次以上のモードの影響は、ほとんどなかった。そこで、主に影響を及ぼす一次のひずみモードを図2、3に示す。この図から分かるように、ひずみの大きさは、ヒンジ継手の場合、剛節の場合に比べ小1/2以下になっている。これは、軸



ひずみより大きな値を示している曲げひずみが、ヒンジ点で0になっている為である。軸ひずみは、継手の種類に拘らずほぼ同じ分布をしていた。また、弾性ヒンジは、剛節とヒンジの中間の分布をしていた。

④ トンネル周辺の土の主応力分布

図4から分かるように、斜め45度方向では、最大主応力と最小主応力が同符号である。これに対して、上下端部と水平の二側面では、異符号になっている。

この事から、斜め方向は圧縮、引張を大きく受けるが、90度方向は、圧縮、引張より、むしろせん断力を大きく受けるという事が分かった。

剛節継手 VS=100 m/Sec.

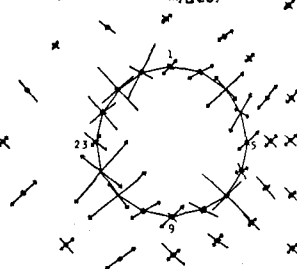


図-4

4. 箱型複線トンネル

計算方法は、ニールドの場合と同様であるが、上下方向についても考慮した。

① 固有振動数

表-2に結果を示す。

② 変位モード、応答

刺激係数は、水平方向の場合一次モードが最大であったが、上下方向の場合、二次モードで最大であった。この上下方向の二次モードは、地盤全体が大きく動く基本振動であり、一次モードは、トンネル周辺だけが大きく動くモードであった。

変位応答では、水平方向の場合、一次の振動が卓越していたのに対し、上下方向は二次の振動が卓越していて、一次も含まれている事が分かった。(図-7)

③ ひずみ応答

水平方向加振の場合には一次振動、上下方向の場合には二次振動が卓越する事が認められた為、それぞれのひずみモードを図5, 6に示した。これより、上床中央部は水平方向地震動については、ひずみが小さいが上下方向では、ひずみを生じている事が分かる。応答の計算結果は、図-7に示す。また、ひずみ応答の大きさは、隅角部で大きな値を示していた。

④ 模型実験について

地盤はゼラチン、トンネルはアクリル樹脂を用いて模型実験を行ったが、結果について述べると、水平方向については、少なくとも6次まで正確なモードが得られたが、上下方向では4次モードまでであった。

ゼラチンによる模型実験は、実際の地震時挙動を把握するには、かなり有効な手段である事が分かった。

	HORIZONTAL			VERTICAL		
モード	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
固有振動数(Hz)	1.021	3.125	3.215	4.139	5.168	5.324
刺激係数	5.030	1.625	-0.306	0.881	4.636	1.678

HORIZONTAL
STRAIN (1st MODE)

VERTICAL
STRAIN (2nd MODE)

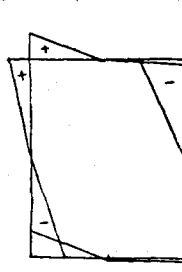


図-5

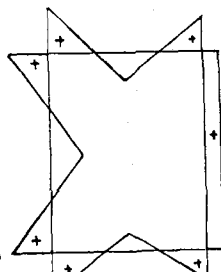


図-6

図-7

