

活断層を横切る沈埋トンネルの地震時解析

早稲田大学理工学部 学生員 市橋 正行
早稲田大学理工学部 フェロー 清宮 理

1. はじめに 現在、トルコ・台湾等において大規模な地震時に大きな断層変位が観測されている。それに伴い、断層を横切る土木構造物の安全性の検討が指摘されている。特に、沈埋トンネルを代表とする線状構造物はその形状から断層を横切ることが多い。勿論、断層を回避して建設するのが基本であるが、断層は長いもので数十キロ超となるためそこに交通需要があれば建設を余儀なくされるのが現状である。

本研究では、沈埋トンネルを例に弾性支床上の梁と仮定し、縦ずれ断層と横ずれ断層の断層変位を強制変位として与え、沈埋トンネルの断面力について材料非線形性を考慮した有限要素法により評価したのでこの結果について報告する。

2. 西日本における断層変位の計算例 図-1に沈埋トンネルと断層の状況を示す。断層は縦ずれ断層と横ずれ断層を想定した。最も大きい縦ずれ断層の上下変位を対象とした地震は1944年東南海地震で、長さ $L=120\text{km}$ 、幅 $W=80\text{km}$ 、食い違い量 $U=310\text{cm}$ 、傾き $\delta=10^\circ$ の断層面を想定し、この断層での各パラメーターを基に計算された地表面の最大変位は 54cm であった。同じく横ずれ断層の水平変位を対象とした地震は1927年丹後地震で、 $L=30\text{km}$ 、 $W=15\text{km}$ 、 $U=300\text{cm}$ 、 $\delta=90^\circ$ の断層面を想定、最大変位は 276cm であった。

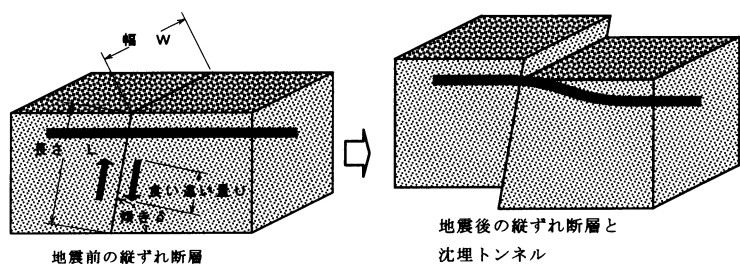


図-1 地震前後の縦ずれ断層

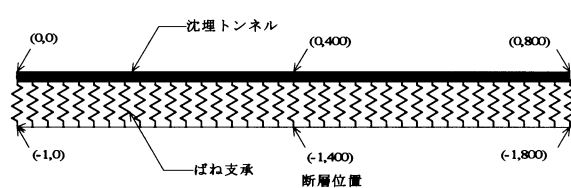


図-2 解析モデル図

3. 解析モデル 沈埋トンネルの解析モデルを図-2に示す。沈埋トンネルの長さは、 800m とし中央に断層が存在すると仮定する。沈埋トンネルは節点数 801 、要素数 800 の梁要素で置換し、各節点には地盤バネを鉛直と水平方向に取り付けた。

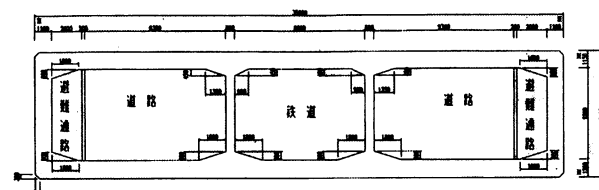


図-3 標準横断面図

沈埋トンネルの断面図を図-3に示す。構造形式は、鋼・コンクリートフルサンドイッチ構造で、沈埋深さ 28.0m 、幅 35.0m 、高さ 8.6m 、コンクリートの弾性係数 $2.8 \times 10^6 \text{tf/m}^2$ 、鋼材の弾性係数 $2.1 \times 10^7 \text{tf/m}^2$ である。沈埋トンネル函体の耐力は、水平面内において、降伏せん断力 16889tf 、終局せん断力 81744tf 、ひび割れ曲げモーメント $133068\text{tf}\cdot\text{m}$ 、降伏曲げモーメント $573220\text{tf}\cdot\text{m}$ 、終局曲げモーメント $823526\text{tf}\cdot\text{m}$ であり、鉛直面内において、降伏せん断力 16647tf 、終局せん断力 81744tf 、ひび割れ曲げモーメント $79841\text{tf}\cdot\text{m}$ 、降伏曲げモーメント $350227\text{tf}\cdot\text{m}$ 、終局曲げモーメント $548285\text{tf}\cdot\text{m}$ である。地盤バネは、地盤の有限要素モデルを作成し、荷重と変位の関係から求めた。水平方向 5443.04tf/m 、鉛直方向 8313.54tf/m である。

以上のような条件で、強制変位量を地盤バネ端部に与えた。縦ずれ断層は鉛直方向の強制変位量を、横ずれ断層は水平方向の強制変位量を終局耐力を超えるまで段階的に与えた。

キーワード：沈埋トンネル、断層、材料非線形性、有限要素法、強制変位

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 51号館16F-01 TEL & FAX.03-5286-3852

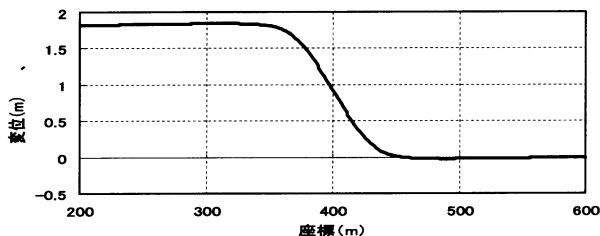


図-4 横ずれ断層の変位分布図

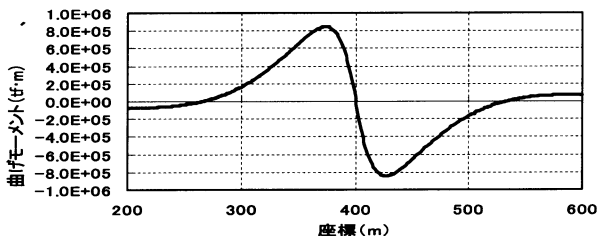


図-5 横ずれ断層のモーメント分布図

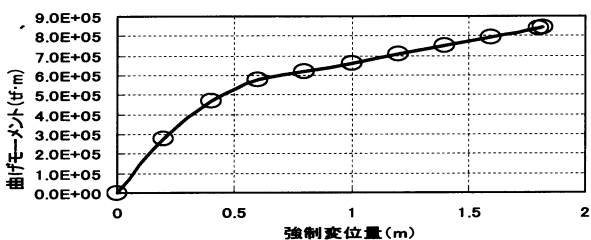


図-6 横ずれ断層の最大曲げモーメント

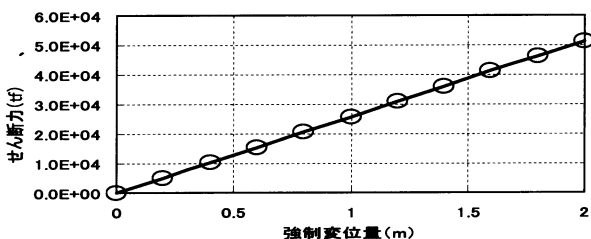


図-7 横ずれ断層の最大せん断力

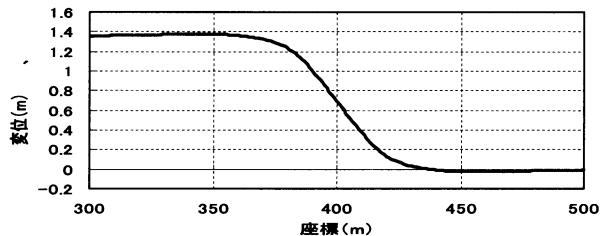


図-8 縦ずれ断層の変位分布図

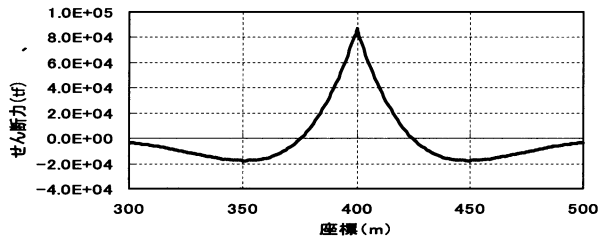


図-9 縦ずれ断層のせん断力分布図

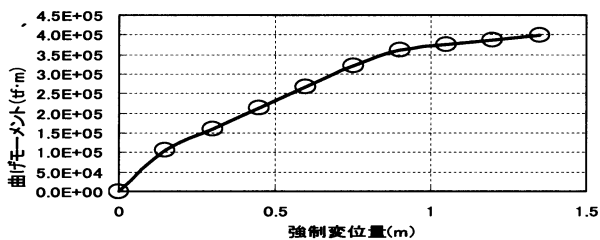


図-10 縦ずれ断層の最大曲げモーメント

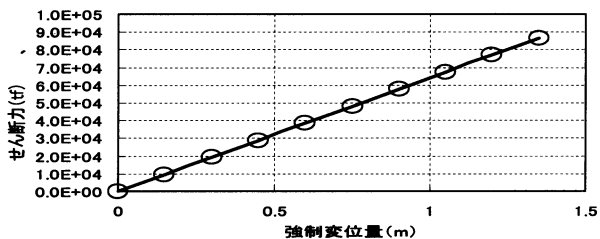


図-11 縦ずれ断層の最大せん断力

4. 解析結果 図-4に水平方向の強制変位を1.82m与えた時の沈埋トンネルの水平方向変位図を、この時のモーメント分布図を図-5に示す。断層から30m位の位置に最大曲げモーメントが計算された。図-6に横ずれ断層の最大曲げモーメント図、図-7に最大せん断力図を示す。降伏、終局に関していずれも曲げ破壊がせん断破壊に先行した。また、図-8に鉛直方向の強制変位を1.35m与えた時の沈埋トンネルの鉛直方向変位図を、この時のせん断力図を図-9に示す。断層位置において最大せん断力が計算された。図-10に縦ずれ断層の最大曲げモーメント図、図-11に最大せん断力図を示す。降伏、終局に関していずれもせん断破壊が曲げ破壊に先行した。

5. 結論 横ずれ断層について、水平面内の強制変位に対しては0.5m位において鋼板の降伏がおり、1.8m位においてかぶりコンクリートが終局ひずみに至った。曲げ破壊先行である。縦ずれ断層については、鉛直面内の強制変位に対しては0.25m位において外側鋼板のせん断降伏がおり、1.3m位においてコンクリートのせん断破壊に至った。せん断破壊先行である。今後、地盤の緩衝域を設けたり、大変形継手を導入する等して、断層の強制変位に対する沈埋トンネルへの影響の低減について検討したい。

6. 参考文献 (1)佐藤 良輔 ;日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会, 1989年
(2)東 宏城, 清宮 理 ;断層を横切る海底パイプラインの耐震性の検討, 第23回地盤工学・応用地学に関するシンポジウム, pp.43-44, 1999