

## 断層運動による地盤変位が地中構造物に及ぼす影響

阪神高速道路公団 正会員 足立 幸郎  
 同上 正会員 吉村 敏志  
 八千代エンジニアリング 正会員 中田 恒和

1.はじめに トルコ・コジャエリ地震や台湾・集集地震において、断層運動に伴う地盤変位による構造物被害が多く見られた。地中トンネル構造物においては、このような断層運動に伴う地盤変位に抵抗するよう設計することは困難であるが、安全性及び復旧性の観点から、その影響の程度を把握する必要があると考えられる。ここでは、断層破砕面を横切るシールドトンネルを想定したFEM解析を行ったので、その結果を報告する。

2.解析対象 図1に示す傾斜基盤上に堆積する沖積層および洪積層を貫くシールドトンネルを解析対象とした。トンネル深さ方向位置は図1に示すとおりである。なお、検討対象とした地盤では、反射法探査で断層破砕面が4面（～面）確認されており、これらに対応して地表に撓曲線が確認されている。また、当該撓曲線に対応する断層は逆断層で、确实度で活動度はB級であり将来M=6.5の地震が発生すると推定されている。想定したシールドトンネルは外径10.6mで合成セグメントを想定した。

3.断層運動による基盤変位量の推定 地表地盤変位とマグニチュードとの関係式が多く提案されている。地表地盤変位は一般に堆積層厚が薄い場所で確認されていると考え、地表地盤変位推定式で推定される変位量が当該地区では基盤面で生じたと仮定し、この基盤の強制変位による堆積層およびトンネルの変形状態をFEMにより解析することによって、トンネル構造物に及ぼす影響について検討することとした。M=6.5の地震に対しては、日本の活断層による地盤変位を対象とした松田式<sup>1)</sup>では80cm、全世界の断層運動による地盤変位を対象としたDonald et al式<sup>2)</sup>では90cmの変位が生じると推定された。そこで、堆積層が最も薄い断層破砕面の上盤側基盤面を90cm強制変位させた解析を実施した。なお強制変位方向は断層破砕面の方向と同一とした。

4.解析モデル 図2にFEM解析モデルを示す。沖積層および2層の洪積層から構成される堆積層の物性は表1のとおり与えた。断層破砕面は、何も考慮しない場合と、 $c=0$ 、 $\phi=35^\circ$ および初期垂直応力から算出される降伏応力を有するジョイント要素でモデル化する場合の2ケースを考慮した。シールドトンネルは、表2のとおり、リング継手剛性を考慮した等価剛性、もしくはリング継手剛性を無視したセグメント剛性を用いた2ケースでモデル化した。解析ケースを表3に示す。

5.解析結果 図3に代表的なケース1の地盤変形図を示す。地表面には段差のような地盤変位は生じていない。なお、当該地盤では撓曲線のみが確認されていることから、地表面段差が生じていない事実と解析結果は

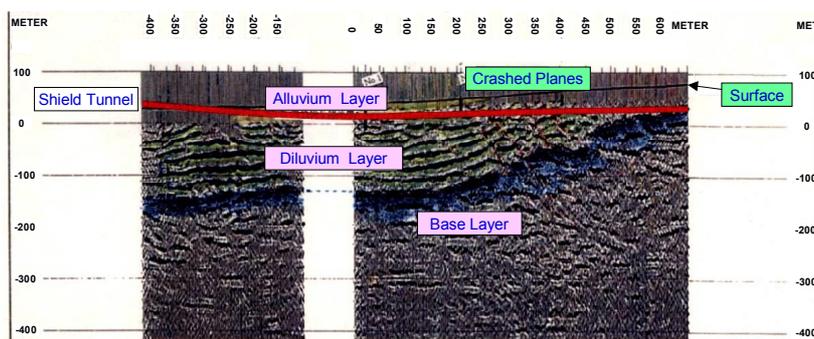


図1 想定地盤の構成とトンネルの位置関係

表1 地盤の物性

	(kN/m <sup>3</sup> )	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> (m/s)		G(kN/m <sup>2</sup> )	E(kN/m <sup>2</sup> )
沖積層	15.7	200	1,600	0.49	63,800	192,000
洪積層( )	16.7	400	1,700	0.47	273,000	800,000
洪積層( )	18.6	600	1,900	0.44	695,000	1,980,000

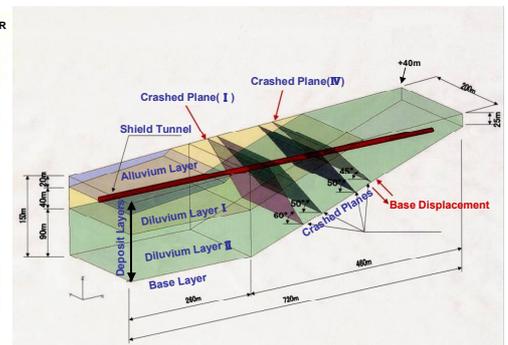


図2 FEM解析モデル図

表2 トンネル構造物の物性

	(kN/m <sup>3</sup> )		I (m <sup>4</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )
等価剛性	24.0	0.15	108.9	486,000
セグメント剛性	24.0	0.15	108.9	32,300,000

キーワード：断層変位、地盤変位、地中構造物、シールドトンネル、FEM解析

連絡先： 大阪府中央区久太郎町 4-1-3 TEL 06-6252-8121 FAX 06-6252-4583

一致している。なお、既往の実験及び解析的研究では堆積層厚の4～5%の基盤変位が生じた場合、地表面に段差が生じると報告されている<sup>3)</sup>。今回の場合、基盤変位/堆積層厚は約1%であることから、撓曲線が生じることは既往の研究結果とも一致する。図3にケース1におけるジョイント要素の状況を示す。強制変位を与えた断層破砕面のみに変位が生じており、堆積層下約1/3程度では剥離面が見られ、ほぼ全面にわたってずれが生じていることがわかる。図4にケース1におけるジョイント要素の上盤及び下盤の相対変位を示す。モデル要素の最下面（GL-85m付近）からトンネル下面位置（GL-53m付近）では、大きな相対変位が生じているが、それ以高では相対変位がほとんど生じていないことがわかる。トンネル剛性を变化させた解析やジョイント要素を配置しない解析も行ったが、いずれの場合においてもトンネル位置の断層破砕面では大きな影響を及ぼすズレは生じず、かつ周辺地盤の変形もほとんど変わらなかったことを確認している。

**6 地盤変位がトンネル構造物に及ぼす影響** FEM解析により得られた地盤変位をトンネル構造物に地盤ばねを介して強制変位させることにより、地盤変位がトンネル構造物に及ぼす影響について計算を行った。トンネルはリング継手を考慮した等価剛性を有する梁要素でモデル化した。なお、各ケース間の地盤変位の差はほとんど無視できる範囲であったので、ケース1の地盤の変位を用いてトンネル縦断方向への影響解析を行った。解析結果を図5に示す。今回検討したトンネル位置と地盤変位の条件下では、発生モーメントおよびせん断力ともリング継手の引張強度試験や部材強度から推定される限界状態に対して安全であることが判明した。

**7 .おわりに** 本検討では、トンネル深さ位置より下方の堆積層が十分厚かったため、基盤面の強制変位が地中で吸収され、構造物に及ぼす影響が最小限にとどまった。堆積層厚が十分に厚く、トンネル位置が浅い場合は、仮に地中トンネルが平面上断層線を横切っても断層運動に伴う地盤変位による影響は小さいと言える。

**参考文献** 1)松田：活断層から発生する地震の規模と周期について、地震、2,28,P269-283、1975 2)Donald L., et al: New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bulletin of the seismological society of America, Vol.84, No.4, pp974-1002, August 1994 3)例えば、谷山ら：逆断層運動に伴う砂質表層地盤の変形に関する研究、土木学会論文集 No.591/ -43, 1998.4

表3 実験ケース一覧

ケース名称	トンネル剛性	強制変位を与える断層破砕面	強制変位
ケース1	継手を考慮した等価剛性	山側（ジョイント要素）	90cm
ケース2	継手を考慮した等価剛性	山側（ジョイント要素なし）	90cm
ケース3	セグメント剛性	山側（ジョイント要素）	90cm

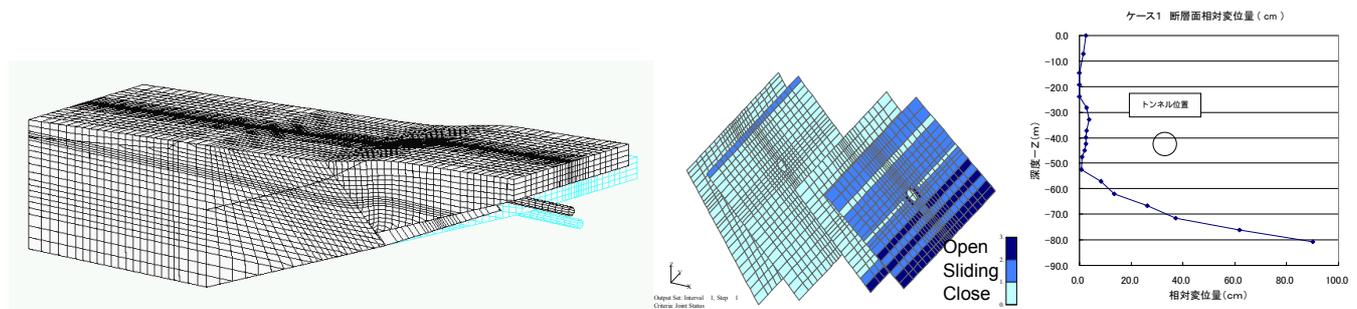
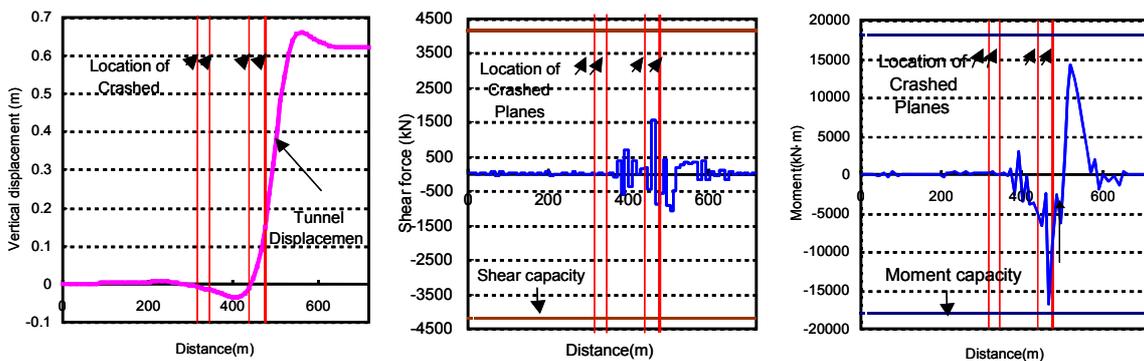


図2 地盤変形図（ケース1）

図3 断層破砕面の状況（ケース1）

図4 断層破砕面の変位（ケース1）



(a)トンネル縦断方向変位

(b)発生せん断力と耐力

(c)発生曲げモーメントと耐力

図5 断層運動による地盤変位がトンネル縦断方向に及ぼす影響（ケース1）