

# 動的解析による断層変位を受ける地中構造物の耐震性と耐震継手の有効性

九州大学大学院工学府 学生会員 相部岳暁 九州大学工学研究院 フェロー 大塚久哲

## 1. はじめに

1999年に発生したトルコ・コジャエリ地震や台湾・集集地震では断層が地表に出現し、その影響で橋梁や地中構造物など、多くの土木構造物に甚大な被害が生じた。しかし、現行の耐震設計では、地震による揺れのみが考慮されており、断層運動によるずれの影響は考慮されていない。日本でも確認されているだけでも約2000の断層があるため、線状地中構造物は断層と交差せざるを得ない場合があり、断層変位による影響が危惧される。本研究では断層を横切るトンネルの耐震性と断層変位対策としての耐震継手の有効性を2次元動的有限要素解析により検討する。

## 2. 解析概要

### (1) 動的解析

地盤の一般的解析では、入力加速度は対象地盤の基盤全体に一样に作用するため、境界条件は基盤位置で変位固定としている。しかし、この方法では基盤位置に断層変位が生じる解析が実行できないため、本研究では絶対変位系の多点入力により、上盤と下盤の基盤部にそれぞれ異なる2種の変位波形を入力した。基盤位置では境界条件は無くフリーとしている。使用している地盤の解析ソフトでは、異なる変位波形を入力することができないため、バネを介して力を入力する方法を採用している。

### (2) 地震波

対象とする地震波は1999年の台湾・集集地震のTCU068地点で観測された加速度波形を参考にしている(図-1)。この加速度波形から、IwanやBooreに基づく方法により残留変位の異なる2種の異なる変位時刻歴波形を作成した<sup>1)</sup>。図-2に作成した変位波形、図-3に変位差を示す。解析は、解析時間を80secとし、断層変位は20secから33secの間に発生させた。

### (3) 解析モデル

解析モデルを図-4、トンネルの断面図を図-5、物性値を表-1に示す。厚さ30mの表層地盤以浅をモデル化し、基盤面に断層変位が発生すると仮定した。解析モデルは地盤を平面ひずみ要素(非線形)、トンネルを梁要素(線形)でモデル化した。地盤の非線形性は修正R-Oモデルで表現した。断層変位は断層面に沿って0.577mとし、上盤と下盤の基盤にそれぞれ残留変位の異なる変位波形を入力した。変位波形の入力方向は断層面に沿う方向(60°)としている。

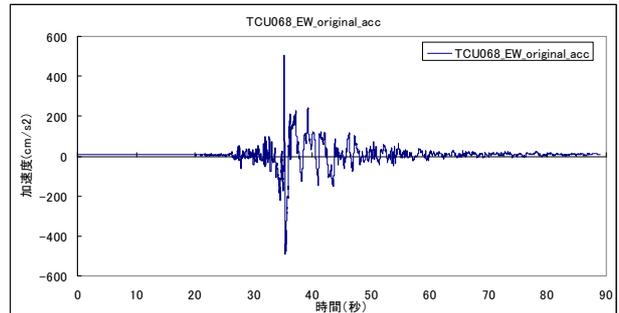


図-1 TCU068 地点加速度

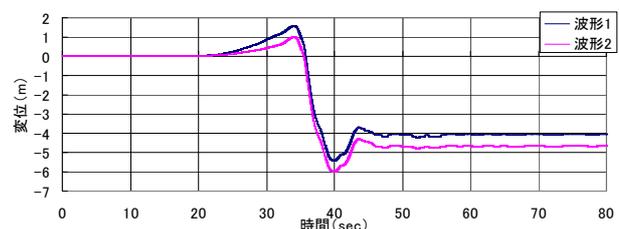


図-2 作成した変位波形

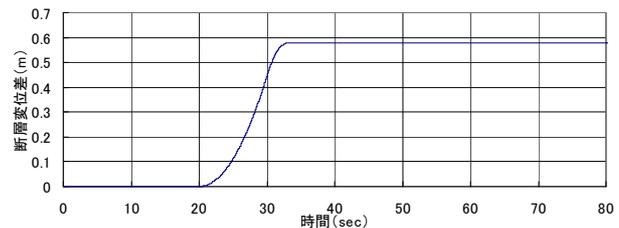


図-3 断層変位差

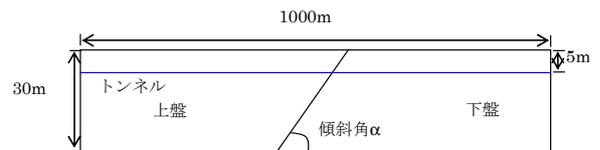


図-4 解析モデル

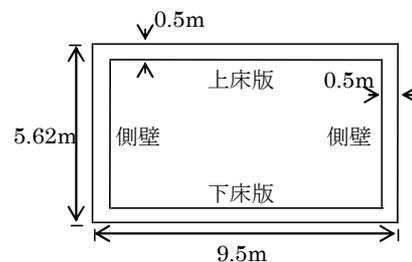


図-5 トンネル断面図

表-1 トンネルの物性値

ヤング率 (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
25,000,000	0.2	23.5

#### (4) 解析ケース

断層のタイプは逆断層とし、断層面の傾斜角を  $60^\circ$  とした。初めに動的解析の必要性について検討するため、動的解析と静的解析の比較を行った。次に、断層変位対策として耐震継手の有効性について、継手の間隔・個数をパラメーターとして解析を行った。

### 3. 解析結果

#### (1) 動的解析と静的解析の比較

動的解析と静的解析で構造物の断面力の応答を比較した(図-6 左)。軸力は動的解析と静的解析で 1.8%の差しかないが、曲げモーメントは 20.9%，せん断力は 12.9%動的解析の方が大きくなる結果となった。図-6 の右図に動的解析の時刻歴応答断面力を示す。いずれの断面力も最大値は断層変位が完了する 33 秒で発生している。35sec で断面力が低下しているのは、入力加速度の 35sec を見ても分かるように、この時間で最大加速度を観測しており、断面力を低下させる方向に力が加わっていることが原因であると考えられる。今回記載している解析では最大加速度が断層変位後に生じているが、前述の Iwan や Boore に基づく方法により最大加速度が断層変位中に生じる変位波形も作成できる。

#### (2) 耐震継手を用いた断層変位対策

耐震継手を断層面を中心に 2,4,10,20m 間隔で 2 個設置したケースの断面力分布(絶対値)を図-7 左、低減率を図-7 右に示す。いずれの断面力でも継手部の断面力が 0 に近く、結果として最大断面力を著しく低減できる。曲げモーメントは継手を設置することにより間隔 20m のケース以外では最大値が上盤側で生じている。これは、継手は断層面から最大値が生じている地点までの区間に設置することで高い効果を得られると考えられ、継手無しのケースで最大値が下盤側 5m の地点で生じているからである。継手の間隔が広がると(20m のケース)低減効果は小さくなるが、10m 以下では各断面力の低減の傾向が異なる。

### 4. まとめ

本研究では、断層変位を受ける地中構造物の動的解析と静的解析の差異を明らかにした。また、耐震継手はトンネルに生じる断面力の低減に効果があることが分かった。

#### 参考文献

1) 土木学会：「断層変位を受ける橋梁の計画・耐震設計に関する研究小委員会」報告書，2008

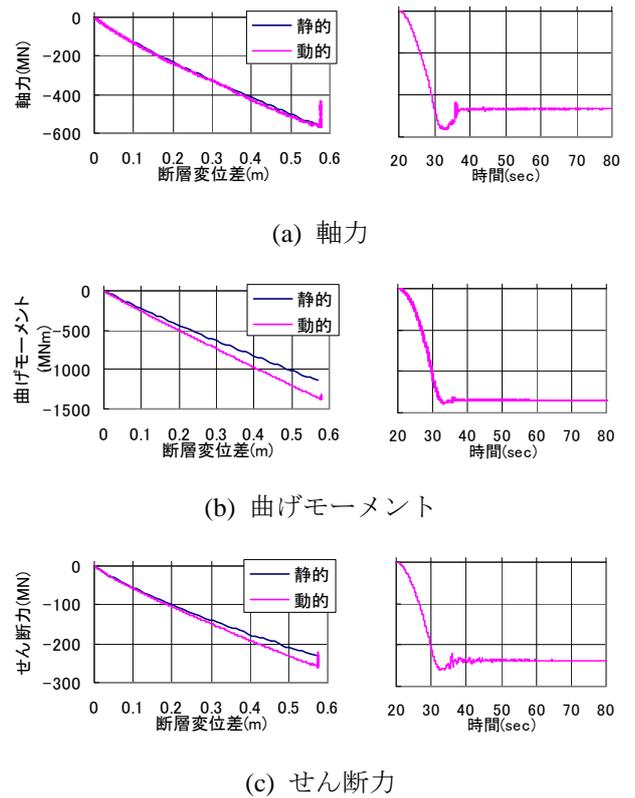


図-6 断面力(左：動解・静解比較，右：時刻歴断面力)

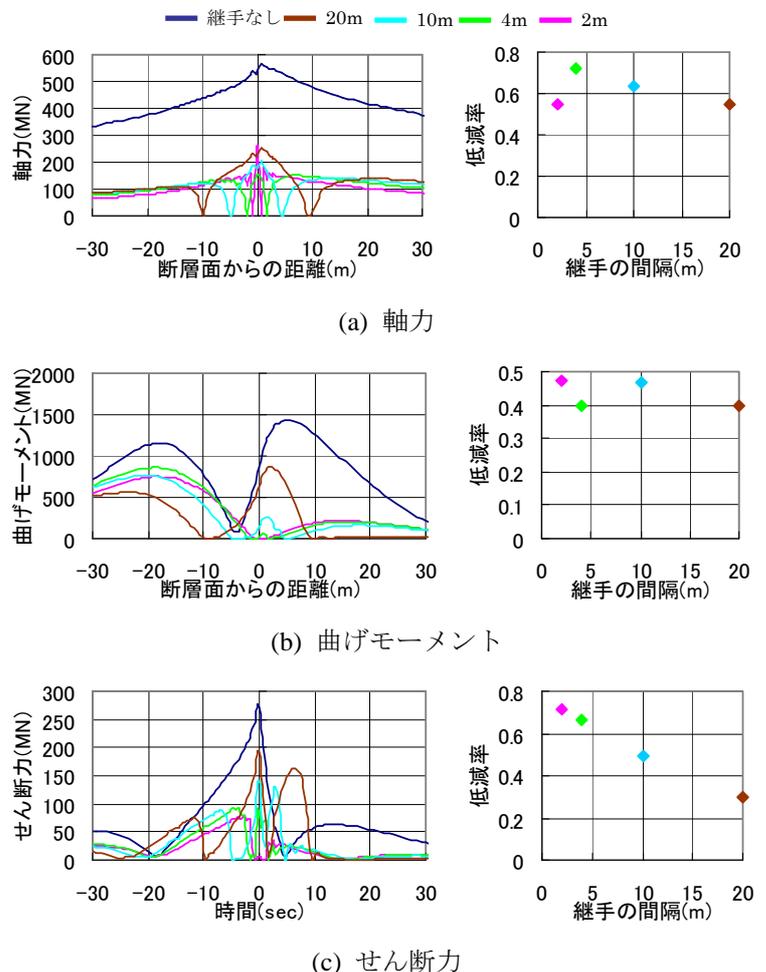


図-7 耐震継手の効果