

断層変位とその出現位置が橋梁の地震時安全性に与える影響

東北大学 学生会員 ○及川 慎

東北大学 正会員 松崎 裕

東北大学 正会員 運上 茂樹

1. はじめに

地震発生時、地表断層が橋梁直下に出現することにより、橋台や橋脚間に相対変位が生じ、地震慣性力のみが作用した場合とは異なる被害が生じることがある。1999年の台湾・集集地震では地表に5m程度の断層変位が生じ、落橋に至るなどの被害が生じた。活断層の位置は国土地理院の活断層図に記載されているものの、地表地震断層の出現位置の正確な予測は難しい。また、事前に未確認の断層が出現することもある。加えて地震発生時には主断層から数百m～数kmの範囲内に副断層が出現することも多く、例えば2011年の福島県浜通り地震では、主断層から100mほど離れた場所に45cmの水平変位が生じた¹⁾。本研究ではこのように断層変位の出現位置が不明であることを踏まえ、断層変位の出現位置が橋梁の地震時安全性に与える影響に関して変位漸増解析及び動的解析を行い、考察する。

2. 対象橋梁とモデル化

平成24年道路橋示方書²⁾に従って設計された図-1に示す積層ゴム支承を有する5径間連続鋼桁橋を解析対象とした。支間長は40m、橋台高さは5.1m、橋脚高さは10m、地盤条件はI種地盤である。対象橋梁は骨組構造でモデル化し、橋台・橋脚の基部は固定、橋脚の塑性ヒンジ領域における履歴特性はトリリニア型の武田モデルとした。橋台は線形梁で、支承は線形ばねでモデル化した。桁は線形梁とし、RC床版と鋼鋼桁を鋼と等価な断面に換算し、モデル化した。

3. 解析手法

3.1 変位漸増解析

径間が橋軸方向に水平に広がるような横ずれ断層が出現したことを想定し、断層の片側の下部構造の基部にのみ橋軸方向(A1方向)に強制変位を与え、それを静的に漸増させた解析を行った。断層位置としては図-1のように(a)A1-P1間、(b)P1-P2間、(c)P2-P3間の3通りを想定した。

3.2 動的解析

動的に生じる断層変位の影響について検討するために、断層の両側で異なる変位波形を橋軸方向に入力して各波形の変位の差を断層変位とし、それを変化させた複数の解析を行った。変位波形は2016年熊本地震本震のK-NET熊本EW成分の加速度波形を積分することで算定した。積分の際に、Iwanら³⁾やBoore⁴⁾が提案した基線補正を行って積分する方法と、ハイパスフィルタをかけた後に積分する方法の2つの方法を用い、異なる変位波形を算定した。後者の方法は残留変位を大幅に減少させるため、2つの方法で得た変位波形を異なる割合で足し合わせることで、加速度を極力変えずに任意の残留変位を有する変位波形を作成した。K-NET熊本EW成分の加速度波形から作成された残留変位0.3mの変位波形を熊本0.3のように呼ぶ。算定した変位波形の例を図-2に示す。解析の際には、表-1に示すように断層を挟みA1側に熊本0.1を、A2側に熊本0.1~1.0までの計10波形を残留変位0.1m刻みで変化させて入力した。断層位置としては3.1と同様に図-1に示す3通りを想定した。

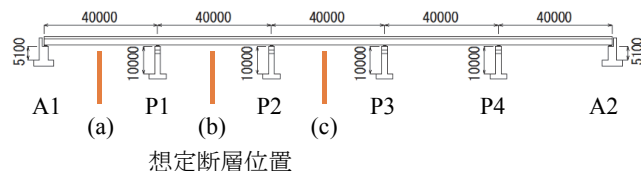


図-1 対象橋梁

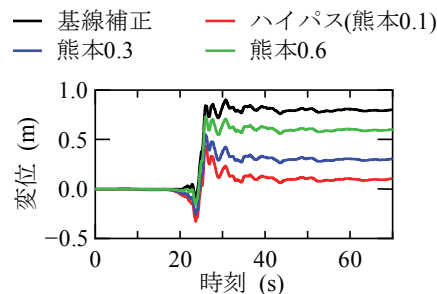


図-2 観測波形から算定した変位波形の例

4. 解析結果

4.1 変位漸増解析

変位漸増解析の結果を図-3に示す。ここでは各部材の限界値を、橋脚は耐
キーワード：断層変位、鋼鋼桁橋、地震時安全性、静的解析、動的解析

表-1 入力変位波形の組み合わせ

入力場所		相対残留 変位 (m)
A1 側	A2 側	
熊本 0.1	熊本 0.1~1.0	0.0~0.9

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL：022(795)7449 FAX：022(795)7448

震性能 2 の限界曲率，支承はせん断ひずみ 250%とし，それを基準に正規化しており，縦軸が 1.0 に達した時の変位で設計上の終局に至ることを表している。(a)と(c)では，P1, P2 橋脚，P1, P2 支承の応答がそれぞれほぼ等しくなった。(b)では P1 橋脚が，(c)では P1, P2 橋脚が最初に終局に至ることが確認できる。このときの地盤変位は，(b)では 0.49m，(c)では 0.70m と(b)の方が小さい地盤変位で終局に至った。これは，(c)では断層の両側の下部構造 3 基同士の抵抗力が釣り合うため両者に同等の力が作用するのに対し，(b)では下部構造 2 基と 4 基の抵抗力が釣り合う

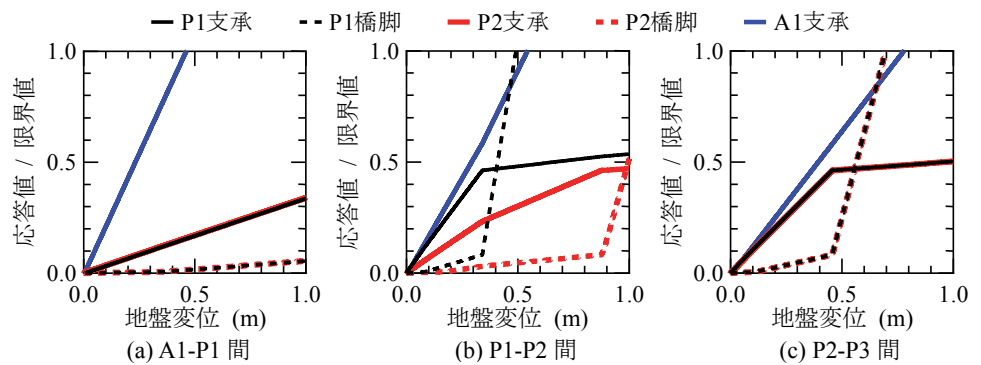


図-3 変位漸増解析結果

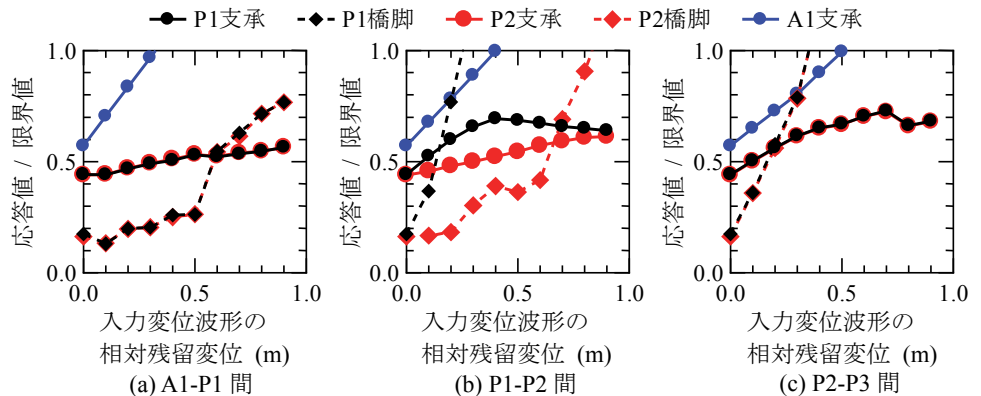


図-4 動的解析結果

ため，基数の少ない側の P1 橋脚の負担が大きくなったものである。また，A1 支承は断層位置が A1 橋台に近い径間になるほど小さい地盤変位で終局に至ることが確認できる。これも橋脚と同様の理由で A1 支承の負担が大きくなるためである。3 つのケースで最も早く終局に至ったのは(a)の A1 支承で，このときの地盤変位は 0.46m であった。

4.2 動的解析

動的解析の結果を図-4 に示す。限界値は 4.1 と同様である。変位漸増解析と同様に，(a)と(c)では，P1, P2 橋脚，P1, P2 支承の応答がそれぞれほぼ等しくなった。それぞれのケースで最初に終局に至る部材や断層位置による各部材の応答の変化の傾向は，変位漸増解析と同様であった。また，3 つのケースの全てで各部材が変位漸増解析よりも小さい相対残留変位で終局に至っており，加速度の影響を受けて応答が大きくなったと考えられる。3 つのケースで最も小さい相対残留変位で終局に至ったのは，変位漸増解析とは異なり，(b)の P1 橋脚であることが確認できる。対応する相対残留変位は 0.2~0.3m であった。支承は線形である一方，橋脚は非線形挙動をしているため，加速度を受けた際に塑性化が大きく進展し，A1 支承よりも応答値の増加が大きくなったと考えられる。

5. まとめ

断層変位が A1-P1 間に出現した際には A1 支承の応答，P1-P2 間に出現した場合には P1 橋脚の応答が大きくなることを示した。断層変位と地震動加速度の両方を考慮した動的解析では，静的な変位漸増解析よりも応答値が大きくなる傾向があることを示した。今後は，橋軸直角方向や鉛直方向の変位を想定した検討などを行う予定である。

謝辞

本研究では，防災科学技術研究所 K-NET の観測記録を利用させて頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 一般社団法人 エンジニアリング協会 地下開発利用センター：平成 28 年度 エネルギー関連施設における活断層の工学的研究会 報告書，2017.
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012.
- 3) Iwan, W. D., Moser, M. A. and Peng, C.-Y.: Some observations on strong-motion earthquake measurement using a digital accelerometer, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.75, No.5, pp.1225-1246, 1985.
- 4) Boore, D. M.: Effect of Baseline Corrections on Displacements and Response Spectra for Several Recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.95, No.5, pp.1199-1211, 2001.