

断層変位が橋梁の耐震安全性に与える影響に関する一考察

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発生することにより、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年に発生したトルコ・コジャエリ地震、台湾・集集地震では地表に数メートルの断層変位が生じ、落橋に至るなどの被害が生じた。それ以降、大塚ら¹⁾が鋼斜張橋に対して動的解析を実施し、静的解析では応答を過小評価する傾向があることを示すなど、断層変位が橋梁に与える影響に関して様々な研究が行われてきたが、体系的な整理は十分ではない。一方で、国内には多数の活断層が存在しており、2016年に発生した熊本地震でも断層変位・地盤変状に伴う被害が生じている。そこで本研究では、連続鈹桁橋を対象に変位漸増解析及び動的解析を行い、断層変位が橋梁の耐震安全性に与える影響について考察する。

2. 解析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I種地盤上の図-1に示す積層ゴム支承を有する5径間連続鈹桁橋を解析対象とした。支間長は40m、橋台高さは5.1m、橋脚高さはモデルAは10m、モデルBは20m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。支承は線形ばねでモデル化した。桁はRC床版と鋼鈹桁を鋼と等価な断面に換算してモデル化した。

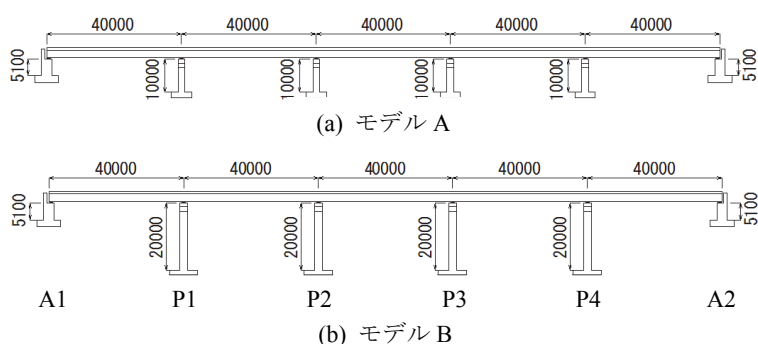
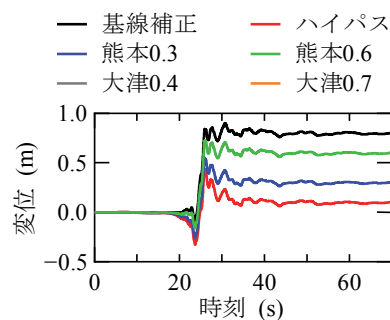
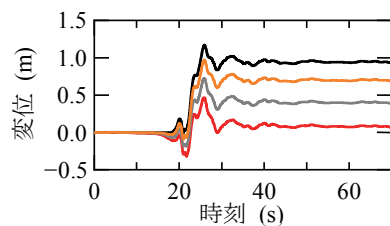


図-1 解析対象橋梁



(a) K-NET 熊本 EW 成分



(b) K-NET 大津 EW 成分

図-2 観測波形から算定した変位波形の例

3. 解析手法

(1) 変位漸増解析

中央径間に、径間が水平に広がるような横ずれ断層が発生したことを想定し、A1, P1, P2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。

(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ケースの解析を行った。変位波形は2016年熊本地震のK-NET 熊本 EW 成分、K-NET 大津 EW 成分の2つ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となる変位波形を作成した。算定した変位波形の例を図-2に、解析における入力変位波形の組み合わせを表-1に示す。図-2および表-1では、熊本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のように呼んでいる。熊本0.1はハイパス

表-1 入力変位波形の組み合わせ

入力変位波形		相対残留変位 (m)
A1, P1, P2	P3, P4, A2	
熊本 0.1	熊本 0.1~0.8	0.0~0.7
大津 0.1	大津 0.1~0.9	0.0~0.8

キーワード 断層変位、鋼鈹桁橋、耐震安全性、静的解析、動的解析

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

フィルタで得た波形をそのまま用いている。

4. 解析結果

(1) 変位漸増解析

変位漸増解析の結果を図-3 に示す。P1, P2 の支承および橋脚の応答はほぼ同じであったため、代表して P1 の結果を示す。ここでは各部材の応答について、橋脚は耐震性能 2 の終局曲率、支承はせん断ひずみ 300%、桁は鋼材の引張強度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終局に至ることを表している。

モデル A では、橋脚が降伏する以前では A1, P1 支承が主に終局ひずみに近づいていくが、橋脚が降伏すると橋脚基部の曲率が急激に増大し、最終的には P1 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 0.70m である。また、降伏以後は P1 支承のひずみがほとんど増加しないのに対して、A1 支承は橋台が弾性のために一定の割合で増加し続ける。一方、モデル B ではモデル A と比べより大きな変位まで P1 橋脚の降伏が起らず、降伏後の曲率の増大ペースも緩やかである。その結果、A1 支承が最初に終局に至ることが確認できる。橋脚を高くすることで変形性能を高めることができるが、橋梁全体系としては橋台上の支承がその限界を決定することになる。

(2) 動的解析

モデル A に対して動的解析を行った結果を図-4、図-5 に示す。全ての解析ケースにおいて、支承は終局に至らなかった。また、P1 と P2、P3 と P4 の橋脚の最大応答曲率はどちらも数%程度の違いであったため、代表として P1 と P4 の結果を示す。変位漸増解析では P1, P4 橋脚の応答は対称になるが、図-4 において、熊本の波形を入力した場合において P1 橋脚の応答曲率だけがある時刻で大きく増加している。その結果、変位のみを入力した結果である図-3(a)と比べて小さい地盤の相対変位で終局に至っており、地震動加速度の影響が加わったために塑性化が進展したと考えられる。図-5 は入力波形の相対残留変位毎の最大応答曲率を示したものである。大津の波形を入力した場合には P1, P4 橋脚の応答曲率が対称に近い形で推移し、変位漸増解析の結果と同程度の地盤の相対変位で終局に至っており、入力波形の相対変位の影響を大きく受けたと考えられる。一方、熊本の波形を入力した場合には P1 橋脚が P4 橋脚に対してより塑性化が進展し、変位漸増解析よりも小さい 0.3~0.4m の変位で終局に至ることが図-5 から確認できる。

5. まとめ

断層変位を受けた際の橋梁の損傷部材は橋脚高さによって変わり得ることが確認された。地震動加速度の特性や大きさによっては、断層変位が生じた際、橋脚の塑性化が大きく進展する場合があることが確認された。今後も様々な橋梁諸元や地震動に対して検討を加えていく予定である。

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。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 大塚久哲, 古川愛子, 中村壮: 断層変位を受ける鋼斜張橋の動的解析, 土木学会地震工学論文集, 第 29 巻, pp.450-457, 2007.
- 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 accelerograph, *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.

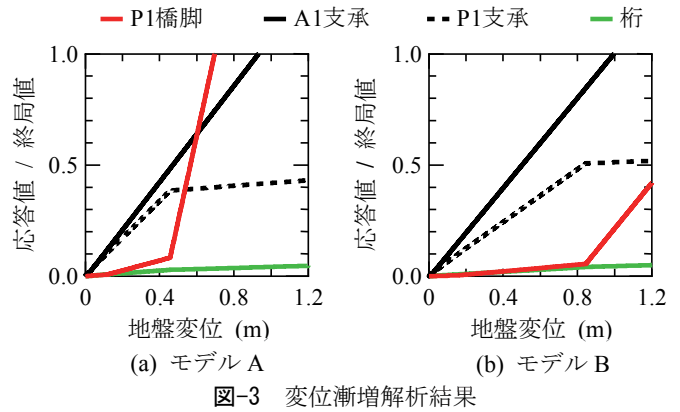


図-3 変位漸増解析結果

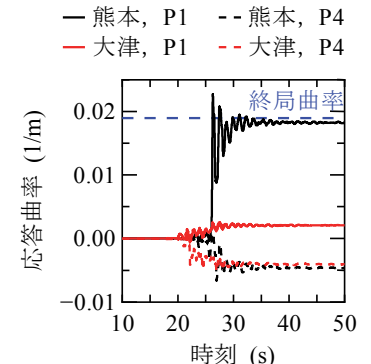


図-4 相対残留変位 0.4m における橋脚の時刻歴応答曲率

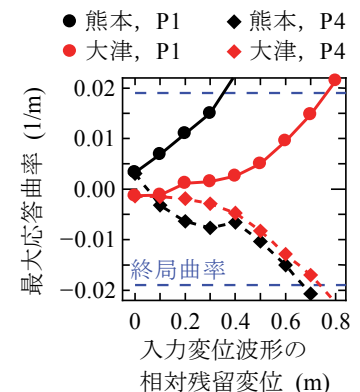


図-5 相対残留変位と橋脚の最大応答曲率の関係