

トラス橋における地盤変動時の挙動に関する基礎的検討

東北学院大学 学生会員 ○松井友希 正会員 千田 知弘
 (株)地震工学研究開発センター 正会員 馬越 一也 西日本高速道路(株) 正会員 崔 準祐

1. はじめに

2016年4月に発生した熊本地震は、地盤変動によるアバットの滑動によって橋梁の被害が増大することをあらためて知らしめた災害であったといえる。特に、アーチやトラスといった橋梁形式の橋梁に関しては、わずかな地盤変動でも落橋に繋がりがかねない損傷が生じ得ることが示されるようになった。そのような背景の元、地震工学委員会性能に基づく橋梁の耐震構設計画・設計法に関する研究小委員会WG2においては、アーチ橋とトラス橋に着目し、地盤変動時に生じる挙動を明らかにし、損傷評価を取りまとめる取り組みを始めている。そこで本研究では、トラス橋を対象とし、地盤変動が生じた際の挙動をFEM解析を用いてシミュレートした結果を報告する。

2. 解析モデルおよび解析手法

解析対象とした支間50m、全幅員6.9m(有効幅員6.0m)、ライズ6.5mを有する下路式ワーレントラス橋¹⁾の正面図と側面図を図-1に、主要部材の断面図および断面配置図を図-2に示す。図-2に示す通り上弦材と下弦材はボックス断面構造となっており、支点部から支間中央にかけて断面が大きくなっていく構造となっている。逆に、斜材は支点部から支間中央にかけて断面が小さくなっていく構造となっており、自重を考慮した場合、圧縮側となる斜材がボックス型断面、引張側となる斜材がH型断面となっている。床版は幅6.9m×軸長50.0m×厚さ0.19mであり、縦桁と合成されている。

本研究では、汎用有限要素法解析ツールScanFEM²⁾を用いて解析を行なった。トラス部材をファイバー要素、床版をシェル要素でモデル化し、要素数2533、節点数2308とした。図-1、図-2中に示したO点を原点とし、橋軸直角方向にx軸、高さ方向にy軸、橋軸方向にz軸を取った。また、側面図手前側を上流としA1側を左岸、A2側を右岸と仮定した。本研究ではA2側の支承が橋軸圧縮側にのみ滑動するモデル(以後、橋軸方向モデル)と、橋軸直角方向に滑動するモデルを対象とする。橋軸直角方向モデルに関しては、A2側の支承が可動可能もしくはゴム支承の変形可能領域で滑動が生じた場合を想定したモデル(以後、橋軸直角方向非固定モデル)と、橋軸方向の滑動を制限するモデル(以後、橋軸直角方向固定モデル)の2ケースとした。解析に使用した各材料定数を表-1に示す。

トラス部材にはSS400材を用いることとし、降伏応力はSS400材の公称値である235MPaとして取り扱う。RC床版は鉄筋コンクリートのヤング率(25GPa)を入力することで床版の剛性を付与した。また、強制変位に関しては単独方向のみを与えることとし、主要部材に生じる最大相当応力が主要部材の降伏応力を超えるまで加えた。境界条件を表-2に示す。表中では拘束を○、拘束フリーを×で表した。A1側をヒンジ支承、A2側をローラー支承とし、回転拘束はx軸周りをフリーとし、y軸周りとz軸周りを拘束した。なお、表-2には紙面の関係上、降伏応力に達した際の強制変位を先に記している。

3. FEM解析結果と考察

各モデルの降伏応力に達するまでの強制変位量を表-2に示す。橋軸方向モデルに関しては僅か0.04mの滑動で

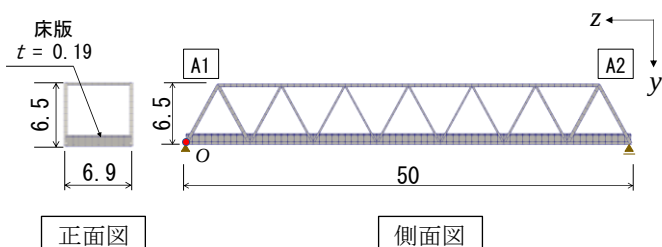


図-1 下路式トラスの正面図および側面図(単位:m)

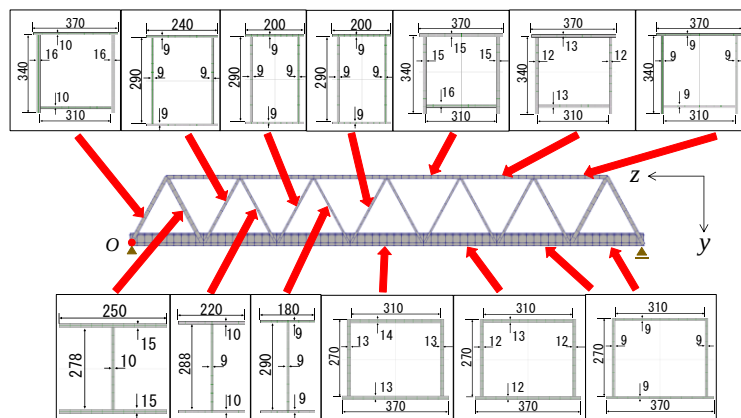


図-2 主要断面図および断面配置図(単位:mm)

キーワード 地盤変動, FEM, トラス橋

連絡先 〒985-8537 宮城県多賀城市中央一丁目13番1号 TEL022-368-1

あっても降伏点を超える相当応力が下弦材に生じることが示された。橋軸直角モデルに関しては橋軸方向モデルの5倍以上の滑動を許容することが示されるとともに、固定モデルと非固定モデルで15%ほどの差が生じた。降伏応力に達する強制変位量に差が生じた原因を、各モデルの変形挙動と相当応力分布から考察していくこととする。

橋軸方向モデルの相当応力分布図を図-3に、橋軸直角方向固定モデルの相当応力分布図を図-4に、橋軸直角方向非固定モデルの相当応力分布図を図-5に示す。各図は変形倍率75倍で統一して表示している。また、各図で赤丸、青丸で示した箇所は応力が卓越する箇所であり、赤丸の方がより高い応力が生じている。橋軸方向モデル(図-3)に関しては、相当応力の分布はA1側、A2側で左右対称となり、下弦材端部にかけて大きく、支間中央にかけて小さくなる。赤丸箇所に降伏応力を達する相当応力が生じているが、この箇所では下弦材に座屈変形が見られ、この挙動によって僅か0.04mの滑動であっても降伏応力に達した原因だと推察される。

橋軸直角方向固定モデル(図-4、図-5)どうしの相当応力分布を比較すると、固定モデルは点対称となる相当応力分布を示すのに対し、非固定モデルはA1側に応力が集中する相当応力分布を示す。固定モデルに関しては、A2側上流とA1側下流にA2側下流より大きな相当応力が生じる。これはアーチ橋に橋軸直角方向に強制変位を与えた場合の挙動³⁾と一致する。橋軸直角方向非固定モデル(図-5)に関しては、下弦材が片持ち梁のような曲げ挙動を示すため、同じ強制変位条件であっても、支承の境界条件によって、トラス橋に生じる応力分布に大きな差が生じることが示された。床版の変形挙動に関しては橋軸方向モデル変形が最も大きく、床版の変位が支間中央で0.028mほど上に凸になるように変形挙動を示した。

4. まとめ

本研究では、地盤変動時にトラス橋に生じる挙動を、橋軸方向(圧縮側)と、橋軸直角方向に強制変位を与えてシミュレートした。降伏応力に達する強制変位量を比較すると、橋軸方向モデルは、橋軸直角方向の変位の1/5程度の滑動で降伏に至り、また、その量はわずか0.04mであることが示された。許容される滑動量に差が生じた理由として、橋軸方向モデルの場合、変位の初期段階から、両側の支付近の下弦材に座屈変形が生じるためであった。各モデルの床版の変形量を比較すると、橋軸方向モデルの床版の変位が最大となり、支間中央で0.028mほど上に凸になる変形であった。本研究では床版を弾性体として簡易モデル化しており、今後鉄筋配置などを詳細に考慮した弾塑性解析を行い、更なる検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 橋善雄, (中井博改訂), 橋梁工学, 共立出版株式会社, 付録・トラス橋の設計図, 1994.
- 2) 株式会社耐震解析研究所(現:地震工学研究開発センター): SeanFEM ver.1.22, 理論マニュアルと検証, 2007.
- 3) 例えば, 千田ら, 鋼アーチ橋における地盤変動時の挙動に関する数値解析的検討, 第22回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集, pp.257~264, 2019.

表-1 解析に使用した各材料定数

部材	ヤング率 (GPa)	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断弾性係数 (GPa)
鋼材	206.0	77.0	77.0
RC床版	25.0	24.5	10.8

表-2 境界条件および強制変位

強制変位方向	境界条件(単位:m)					
	A1			A2		
	x	y	z	x	y	z
橋軸圧縮方向	○	○	○	○	○	0.04
橋軸直角方向(固定モデル)	○	○	○	-0.20	○	○
橋軸直角方向(非固定モデル)	○	○	○	-0.23	○	×

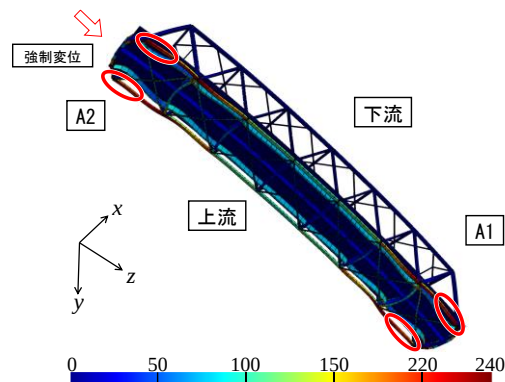


図-3 橋軸方向モデル相当応力分布 (単位: MPa)

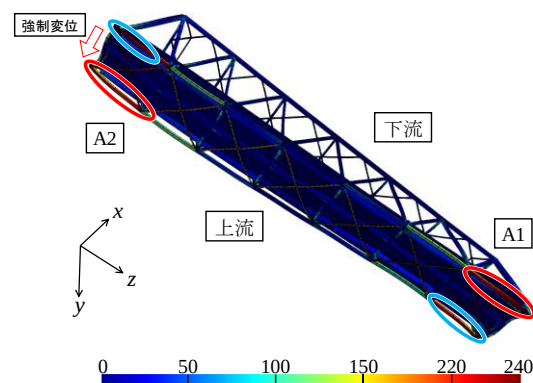


図-4 橋軸直角方向固定モデル
相当応力分布図 (単位: MPa)

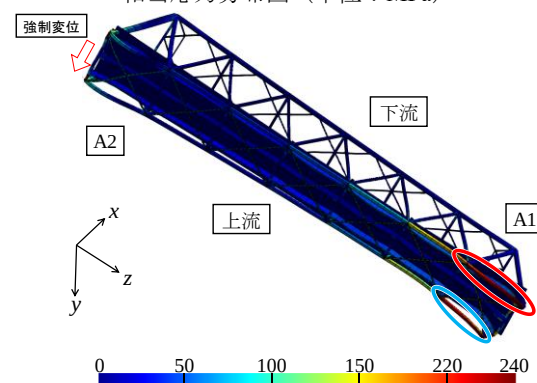


図-5 橋軸直角方向非固定モデル
相当応力分布図 (単位: MPa)