

3 次元地震動下における鋼アーチ橋アーチリブの地震時挙動に関する基礎的研究

熊本大学大学院 学生会員 ○遠藤 公誉

熊本大学大学院 正会員 葛西 昭

(株)地震工学研究開発センター 正会員 児玉 喜秀

熊本大学大学院 学生会員 吉本 宏和

1. 緒言

鋼橋の耐震研究は、兵庫県南部地震を契機に大きく発展した。しかし、その成果の多くは、鋼製橋脚などに代表される下部構造についてである。これは地震力によって直接的に損傷を受ける部分として、下部構造が代表的な部分であるためである。

一方、橋梁は様々な設置条件の下、種々の構造形式が存在する。例えば、鋼アーチ橋はアーチ部分が圧縮力を分担することで、構造系が成り立っている。上部構造は一般に支承構造などを介して下部構造と接続されており、水平地震力の作用が比較的小さいとされているが、下部構造の振動によっては、それを軽視することができない状況がある。例えば、断層変位の発生が懸念されているところをまたぐ場合などは、詳細な検討が必要である。

また、鋼アーチ橋に関する耐震計算例はあまり多くなく、耐震照査法の構築を目的とした研究は少ない¹⁾。そこで本研究は、鋼アーチ橋が地震時にどのような軸力変動を受けるかを解析的に把握し、今後に発展が予想される耐震研究の一助とすることを目的としている。また、本成果は、震動台実験による検証も将来的には考えている。

2. 解析モデル

本研究では、鋼アーチ橋の基礎的な検討を行うために、実橋を参考に各種構造パラメータを選定した。なお、将来的な震動台実験を念頭に、自定式であるタイドアーチ形式を採用した。

数値解析を行う際には、汎用有限要素法プログラム ABAQUS²⁾を用いた。アーチ形状は、文献 3)を参考に平均的であるスパンライズ比を 6.5、スパンは 120m とした。断面形状について、アーチリブは補剛箱形断面、支材は無補剛箱形断面、タイ材は矩形断面、横桁と主桁、吊材、横構は I 型断面とした。また、部材のモデル化にあたり、すべてはり要素を用いた。一般図と断面の詳細について図 1、2 に示す。

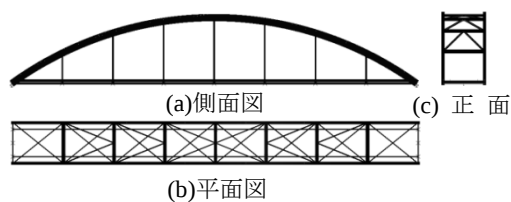


図 1 一般図

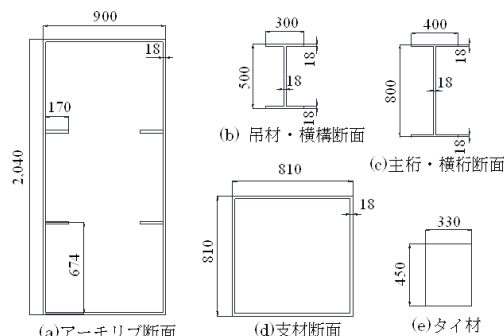


図 2 各部材断面図

また、アーチリブとタイの接合、吊材・タイ材および横桁との接合部はそれぞれピン結合とした。支承の境界条件は、一方をピン支承とし、もう一方をローラ支承とした。荷重については、主桁部分に 10 分割して質量として与え、500tf の載荷を想定した地震応答解析を行った。

また、対象橋梁は全ての材料を鋼材(SM490 材)とした。表 1 に材料定数を示す。鋼材の構成則はバイリニア型移動硬化則とした。

表 1 材料定数

鋼種	E (GPa)	σ_y (MPa)	ν	ρ (kg/m ³)
SM490	200	315	0.3	7.8×10^3

3. 数値解析の諸条件

地震応答解析の実施にあたり、Rayleigh 型減衰マトリクスを用いた。マトリクス作成には、1 次モードと 4 次モードを採用した。なお、部材の減衰定数は全て 0.01 とした。地震応答解析は、道路橋示方書に記載のレベル 2 タイプ II 地震動 II 種地盤用地震動と、過去に日本で観測された地震動のうち、震度の比較的大きかった地震動をそれぞれ入力した場合の解析、および、支承間中央に断層があると仮定して、断層変位を想定した地震動⁴⁾⁵⁾を入力した場合の解析を行った。断層変位を想定した地震動の詳細は、文献 4),5)を参照されたい。なお、想定する断層の位置を図 3 に示す。

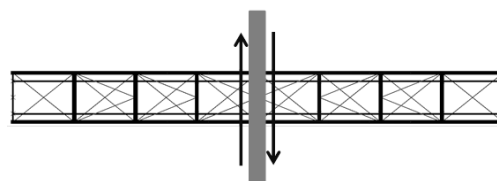
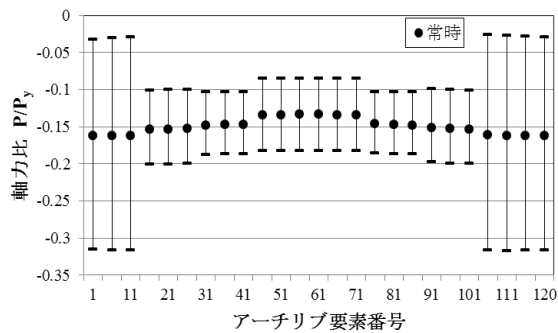
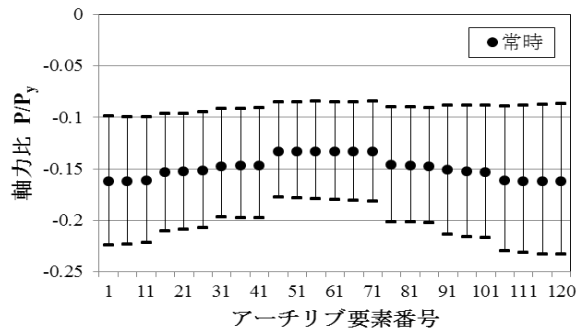


図 3 想定する断層位置

弾塑性挙動、断層変位、地震応答解析、耐震設計、鋼アーチ橋、上部構造
連絡先 (〒869-0855 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1 TEL 096-344-2111)



(a) II-II-1 地震動橋軸直角方向入力時



(b) II-II-1 地震動橋軸方向入力時

図4 レベル2地震動入力時軸力分布図

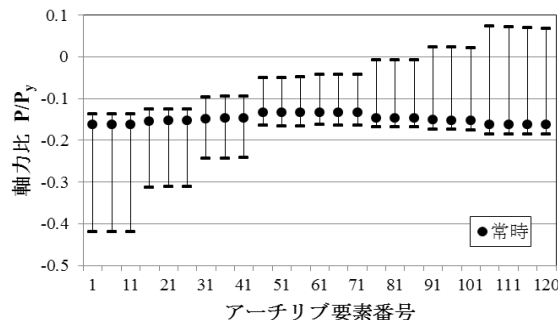


図5 断層変位入力時軸力分布図

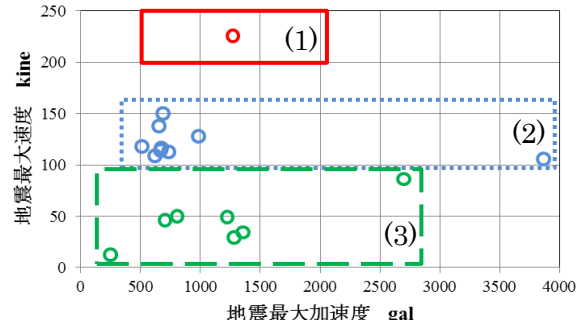


図6 最大加速度・最大速度地震分布図

4. 解析結果

レベル2地震動、断層変位想定地震動、日本における観測地震動をそれぞれ入力し、解析を行った際の応答のうち、特にアーチリブの応答軸力に着目する。

まず、応答軸力について、その状況を図4、図5にまとめる。図4はレベル2地震動を橋軸直角方向と橋軸方向に、図5は断層変位を想定した3次元地震動を入力したときの常時軸力、最大軸力、最小軸力をアーチリブの位置に応じてまとめたものである。橋軸方向に地震動を入力した場合は大きな軸力変化は見られないものの、橋軸直角方向の場合は、アーチクラウン部に比べて、基部付近に大きな軸力変動が生じている。断層変位想定地震動の場合も基部付近に大きな軸力変動が見られるが、グラフが左右非対称という結果になった。これは、断層変位により橋梁が特殊な挙動を見せたと考えられるが、詳細な挙動の把握については今後の課題としたい。

以上より、アーチリブは橋軸方向の揺れに比べて橋軸直角方向の揺れへの耐性が低く、特にアーチの基部は橋軸直角方向の地震動に弱い。極端な地震動ではあるが、断層変位を想定した場合、大きな軸力変動が生じており、座屈照査をする際には、この軸力変動を考慮に入れた評価を必要とする。

また、図6にそれぞれの地震動の最大加速度-最大速度の分布図を示す。地震動の分布は図中の(1)~(3)に分けることができ、(1)の地震動は最大圧縮軸力が降伏軸力の40%、(2)は30~35%、(3)は25%前後となっている。このことから、地震動の最大速度の値が大きいほどア

ーチリブの最大圧縮軸力の値が大きくなると予想できる。

5. 結言

本研究では、鋼アーチ橋にレベル2地震動、断層変位想定地震動、日本における観測地震動をそれぞれ入力した場合の地震応答解析を行い、同橋梁の設計をする上で考慮すべき部位を特定するための一考察と、地震動の加速度、速度と応答軸力の関係性の考察を行った。特に断層変位想定地震動では、大きな軸力変動があり、これに対応した耐震設計基準を作成する必要があることが分かった。また、地震動とアーチリブの挙動の関係性について、地震動の最大速度の値が影響していることが分かった。将来的には、数値解析結果の精度検証を行うために、震動台実験における結果との比較を考えている。

参考文献

- 1) 宇佐美勉著、日本鋼構造委員会：鋼橋の耐震・設計ガイドライン、技報堂出版、2006。
- 2) DASSAULT SYSTÉMES: ABAQUS Analysis User's Manual Version 6.11, DASSAULT SYSTÉMES, 2011.
- 3) 例えば社団法人日本橋梁建設協会：橋梁年鑑 平成19年度版、2007。
- 4) 原田隆典、大角恒雄、奥倉英世：3次元直交座標系における波動場の解析解とその地震波形作成への応用、土木学会論文集, No.612/I-46, pp.99-108, 1999.
- 5) 原田隆典、王宏沢：剛性マトリックスによる水平成層地盤の波動解析、第57巻、日本地震学会, pp.387-392, 2005。