

断層をまたぐ鋼斜張橋の地震時挙動に関する一考察

熊本大学大学院  
熊本大学大学院  
(株)地震工学研究開発センター  
Pusan National Univ.

学生会員  
正会員  
児玉 喜秀

○吉本 宏和  
葛西 昭  
Cheung, Jin Hwan

1. はじめに

断層をまたぐ橋梁構造物の場合、断層近傍の地震動には多次元の複雑な成分が関与し複雑な応答を示す<sup>1)</sup>。したがって、このような状況下での実験的および数値解析的な検討が必要である。現在、韓国のSESTEC(Seismic Simulation Center)で複数の振動台を用いた鋼斜張橋の振動台実験を実施している。使用している振動台は回転動を再現することができ、断層をまたぐ場合の振動台実験を実施することが可能である。そこで、本研究では、この実験で使用している供試体を参考に解析モデルを構築し、断層をまたぐことを想定した地震動を入力し、数値解析を通じて地震時挙動の予測、着眼点の創出を目的とした。以下、その検討の経過を報告する。

2. 対象橋梁および数値解析モデル

2.1 対象橋梁概要

対象とする橋梁は、SESTECの振動台で使用するために製作された橋梁である。その概形を図-1に示す。図-1中の(a)は側面図であり、(b)は主塔断面図である。振動台実験用橋梁であるため、各部材の断面はかなり簡素化されたものを用いている。

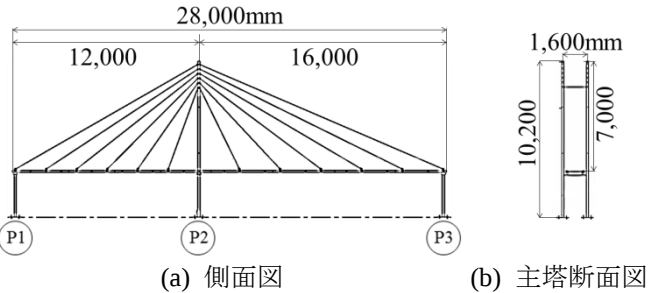


図-1 対象橋梁

2.2 数値解析モデルの構築

数値解析には、汎用有限要素法解析プログラムABAQUS<sup>2)</sup>を使用し、全ての部材に対して、はり要素を用いた。ケーブル部分については、大変形に伴い、収束性が困難になることを回避する定式化を行い、ケーブルと主塔、主桁の定着部は、剛結とした。

(1) 境界条件

主塔基部および端部橋脚基部は完全固定とした。主桁-P2橋脚間および主桁-P1、P3橋脚間には支承を配しており、拘束条件は表-1のように定めた。

(2) ケーブルプレストレスの導入

本研究では、最初に死荷重に相当する自重解析を行い、その後、熱膨張係数を用いた温度応力による解析を利用してプレストレスを導入することとした。各ケーブルに想定されている初期応力値を元に、熱膨張係数を算出している。

表-1 拘束条件

|        | P1,P3 支承 | P2 支承 |
|--------|----------|-------|
| 橋軸方向   | 自由       | 拘束    |
| 橋軸直角方向 | 拘束       | 拘束    |
| 鉛直方向   | 拘束       | 拘束    |
| 橋軸回転   | 拘束       | 拘束    |
| 橋軸直角回転 | 自由       | 自由    |
| 鉛直回転   | 拘束       | 拘束    |

(3) 材料特性

全ての材料は鋼材であり、ここではS M490の材料特性を使用することとした。表-2に使用した材料定数を示す。また、鋼材の構成則はバイリニア型移動硬化則とした<sup>3), 4)</sup>。

表-2 材料定数

| 鋼種                            | SM490             |
|-------------------------------|-------------------|
| 弾性係数 E(GPa)                   | 206               |
| 単位体積重量 $\gamma(\text{N/m}^3)$ | $7.7 \times 10^4$ |
| 降伏応力 $\sigma_y(\text{MPa})$   | 315               |
| ポアソン比 $\nu$                   | 0.3               |
| 減衰定数 h                        | 0.02              |

3. 数値解析の概要

3.1 振動特性の把握

本研究では、ケーブルの要素数を30としている。そのため、本モデルにおける変形前の位置ではケーブルが部材座屈する可能性があり、自重解析を実施するにあたって解の発散が予想される。そこで、固有値解析では、要素数を1とし、座屈の発生を抑えた。

固有値解析の結果から、橋軸方向に最も卓越した1次モード(1.07Hz)と橋軸直角方向に最も卓越した3次モード(2.23Hz)を採用した。その結果、Rayleigh減衰の減衰マトリクスは、減衰定数を0.02として質量マトリクスの係数を0.18、剛性マトリクスの係数を $1.93 \times 10^{-3}$ とした。

3.2 弾塑性地震応答解析

入力した地震動は、P1、P2橋脚間に横ずれ断層を想定したM6.5の3次元地震動である。1966年、サンフランシスコとロサンゼルスほぼ中間に位置するサン・アンドレアス断層上の村で発生したParkfield地震を参考に算出した地震動である<sup>5), 6)</sup>。

この地震動は、回転成分を有する6自由度地震動であ

キーワード: 振動台, 斜張橋, 地震応答解析, ケーブルプレストレス, 断層  
連絡先: 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番1号 TEL096-342-3579

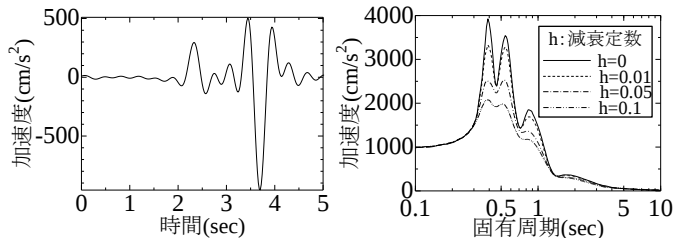


図-2 P1橋脚の橋軸直角方向成分

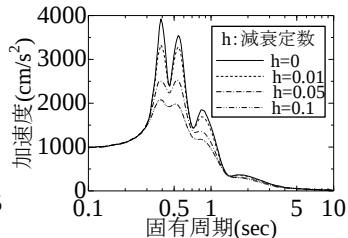


図-3 弾性加速度応答スペクトル

る. 図-2に代表例として, P1橋脚の基部に入力した橋軸直角方向成分の地震動を示す. なお, 参考のため図-3に弾性加速度応答スペクトルを示す.

#### 4. 数値解析の結果と考察

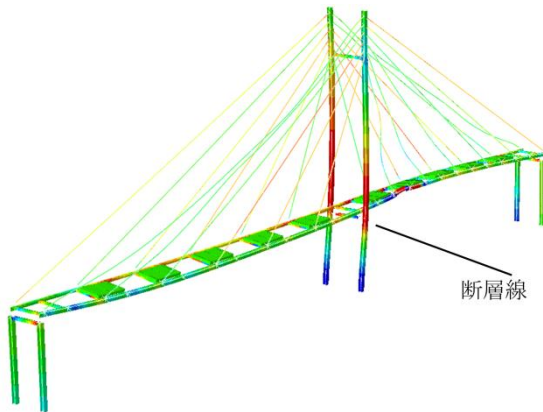


図-3 変形図

想定地震動を入力したところ, 3.66秒で解が収束せず解析を打ち切った. その時点での変形図を図-3に示す. 地震動を入力して約3秒後で主桁の一部に大きな応力が発生し, たわみが大きくなったことで数値解析として不安定状態に陥ったものと考えられる.

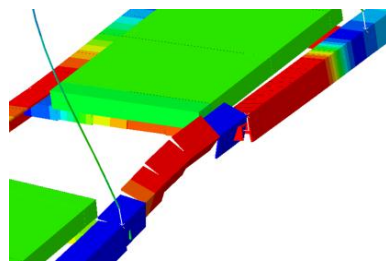


図-4 座屈部の拡大図

たわみの大きい部分の拡大図を図-4に示す. この原因として, 次の2点が考えられる.

①圧縮力の増大による座屈

②断層をまたいでいることに伴うせん断変形

そこで, 図-5に座屈部の時刻歴の軸力, 図-6P1, P2橋脚基部の時刻歴の橋軸直角方向成分の変位を示す. 図-6において, P1橋脚のグラフを実線, P2橋脚のグラフを破線で示した.

解析が止まった時点での軸力値は,  $-3.42 \times 10^5$  (N)であり, 圧縮力が加わっている. さらに, 主桁がたわみ, 軸線からずれること, 地震動による外力を受けることで曲げモーメントが発生する. その結果, 主桁に大きなたわみが発生するものと考えられる. また, 図-6よりP1, P2橋脚の橋軸直角方向成分の変位方向は逆であり, 解析が止まった時点でP1, P2橋脚の相対変位が約0.64m

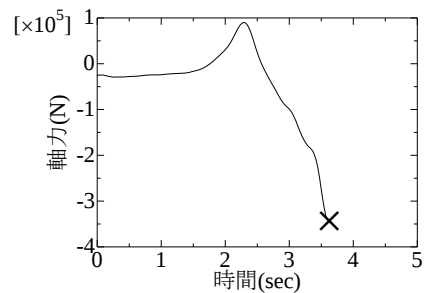


図-5 たわみ部分の軸力

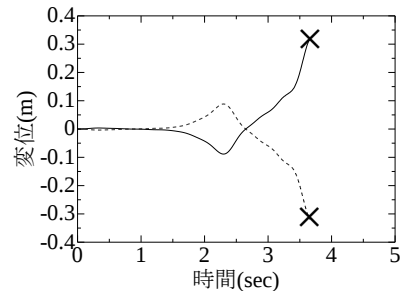


図-6 P1, P2橋脚基部橋軸直角方向成分の変位となっている. これは大きな変動であり, 主桁に与える影響は大きいと考えられる. さらに, 主桁, 主塔の挙動では, ねじれが加わっており, これも変形に影響していると考えられる. 複合的な要因が考えられ, 現在, 鋭意検討中である.

#### 5. おわりに

本研究では, 想定地震動を入力した結果, 主桁に大きなたわみが発生した. その原因として, 橋軸方向に圧縮力が働くことや断層をまたぐことに伴うせん断力が考えられる. また, 主桁や主塔にねじれが見られ, この影響も考えられる.

現在, 長大化が進む斜張橋において, 主桁の安定性は重要な技術的課題として挙げられている<sup>7)</sup>. 今後, 実験との整合性を計りつつ, 断層をまたぐ状況下でどのような検討が必要かをまとめる.

#### 参考文献

- 1) 原田隆典, 野中哲也, 王宏沢, 岩村真樹, 宇佐美勉: 震源断層近傍における上路式鋼トラス橋の応答特性, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.573-582, 2009.3.
- 2) Abaqus Analysis User's Manual Version 6.11 SIMULIA, DASSAULT SYSTEMS, 2011.
- 3) 宇佐美勉著, 日本鋼構造委員会: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 技報堂出版, 2006.
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書および同解説(I共通編V鋼橋編), 2002.
- 5) 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.
- 6) 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, 地震, 第57巻, 日本地震学会, pp.387-392, 2005.
- 7) 土木学会: 鋼斜張橋-技術とその変遷-, 2010.