

【論文】

## 鮎の瀬大橋の架設系における振動特性について

瓜生正樹\*<sup>1</sup> 水田洋司\*<sup>2</sup> 牧誠也\*<sup>3</sup>

### On the Vibration Characteristic in the Construction System of Ayunose Ohashi

Masaki URYUU, Yoji MIZUTA and Seiya MAKI

There is no example examined in an experiment or analysis about the vibration characteristic of the structure under construction, and it has many unknown portions. In this paper, numerical analysis examined how the oscillation characteristic of a rigid frame bridge and cable stayed bridge which has different vibration characteristic would change in construction process. An object bridge is Ayunose Ohashi. Eigen-value analysis and earthquake response analysis were carried out for every construction step from the single system of a rigid frame bridge and cable stayed bridge until the completion system, and the vibration characteristic of each construction step was examined.

Key words: Construction system, Ayunose Ohashi, vibration characteristic

eigen-value analysis, earthquake response analysis, completion system

#### 1. 序論

平成7年の兵庫県南部地震発生により、道路橋に対する耐震設計の見直しが図られ、平成14年3月に発刊された道路橋示方書<sup>1)</sup>には性能照査を主体とする耐震設計法が述べられている。これは橋の供用期間中の地震発生確率を考慮して、地震動をレベル1とレベル2に大別し、橋の重要度に応じて、要求性能を満足するように耐震設計を行う方法である。しかし、これはあくまでも完成系に対する耐震設計であり、施工途中つまり架設系に対する耐震設計は考慮されておらず、それについて検討した論文<sup>2)</sup>も筆者らの知る限り見当たらない。架設系の耐震設計は、設計水平震度  $k=0.10$  程度の静的な慣性力を与え、各部位の応力度照査をしているのみで、詳細な動的解析までは検討されていないのが現状である。日本は、兵庫県南部地震、鳥取県西部地震、鹿児島県北部地震、新潟県中越地震など10年を経ずして、大きな被害をもたらした大地震を4度も経験した。数年の施工期間を要して建設する大規模な橋梁構造物<sup>3), 4)</sup>では、剛性の低い構造となる架設系においても耐震設

計の検討が必要と考えられる。

本論文は、斜張橋部とラーメン橋部で構成される鮎の瀬大橋を対象として各施工STEPにおける振動特性について検討したものである。

#### 2. 鮎の瀬大橋の概要

本研究では、熊本県上益城郡矢部町大字菅の幅400m、深さ140mのV字渓谷に架設された鮎の瀬大橋を対象モデル橋<sup>5), 6)</sup>として使用した。橋梁の一般図を図-1に示す。橋梁形式は、Y型形状のラーメン橋と斜張橋が連続した3径間プレストレスコンクリート橋である。非対称な全体構造形式に加え、斜張橋部では中央径間側と側径間側のスパン割りが異なっているため側径間主桁端部では13720kNのカウンターウエイトを有した桁構造となっている。橋脚基礎は、ラーメン橋及び斜張橋とも渓谷崖面の中腹に位置し、大口径深礎工が採用されている。P1のラーメン橋脚は高さ約65m、Y部材の開き角度45°であり、P2の斜張橋部の主塔は、A型RC構造で、高さ約140mである。主桁の断面構造は両構造とも逆台形1室箱桁構造であり、桁高はラーメン橋部で6.0mから2.2mまで変化し、斜張橋部で2.2mとなっている。斜張橋ケーブルは、ファン型2面吊り

\*<sup>1</sup> 工学研究科博士後期課程2年(三井住友建設(株)九州支店)

\*<sup>2</sup> 工学部都市基盤デザイン工学科

\*<sup>3</sup> 工学研究科博士前期課程1年

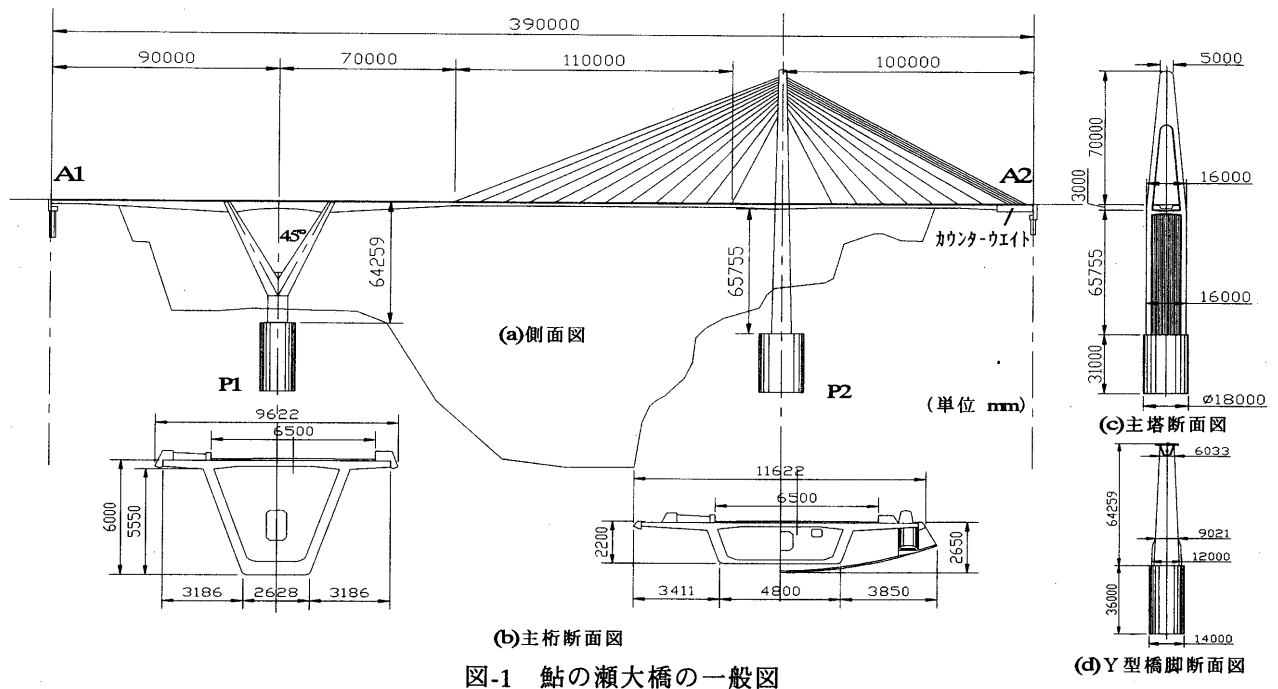


図-1 鮎の瀬大橋の一般図

構造で中央径間側および側径間側にそれぞれ 12 列、合計 48 本で構成されている。

2.1 鮎の瀬大橋の架設系

異種の構造が連続する複雑な PC 橋では施工に多くの時間を要し、施工中の構造系は特定の方向に剛性の小さい構造特性を有する場合がある。しかし、施工条件や施工方法が異なるため、示方書でも架設系の耐震規定は設けられていない。本橋においても、Y 型ラーメン橋部と斜張橋部とが連結される以前の単一系においては、剛性の低い構造系と考えられる。ここでは、Y 型ラーメン橋部、斜張橋部のそれぞれ

の施工 STEP に対応して各 STEP のモデルを作成した。それらの施工 STEP を図-2 に示す。Y 型ラーメン橋部は STEP1~2 で Y 構造鉛直部、STEP3~5 で斜部材、STEP6~9 では主桁柱頭部と桁の張出し部を有する系にモデル化した。Y 型の斜部材施工時の STEP4 と 5 では部材の開き止め防止としてストラット鋼材を配置した構造系のモデルとして設定した。斜張橋部は、中央径間側及び側径間側に張られている 12 本のケーブル(斜材)を考慮して、斜材架設を 12 STEP に分けてモデル化した。

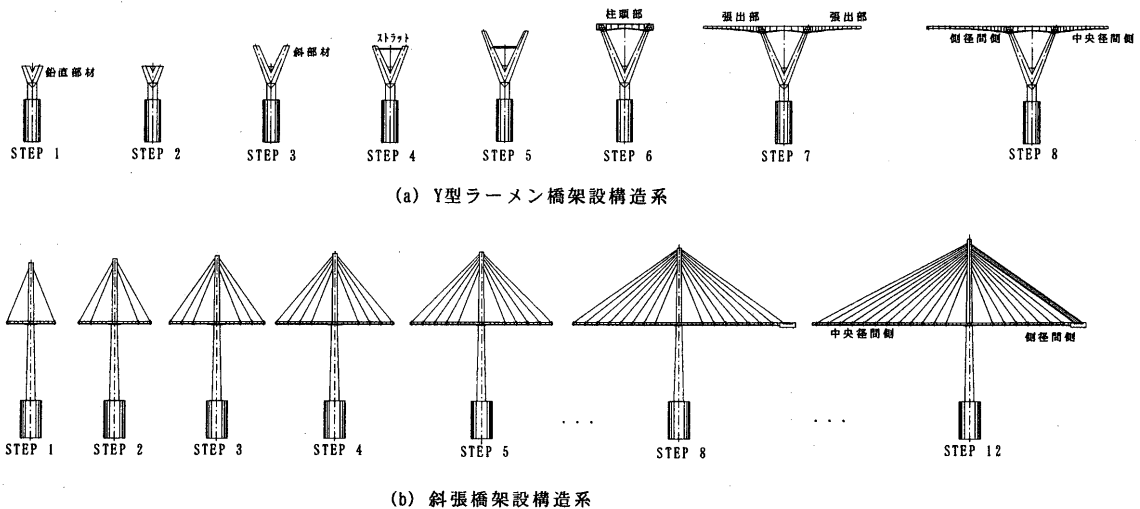


図-2 鮎の瀬大橋の架設構造系

### 3. 架設系の固有値解析

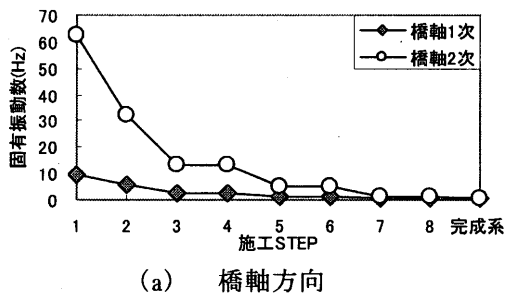
Y型ラーメン橋部、斜張橋部について、TDAPⅢ(株式会社情報システム)を用いて、各STEPごとに固有値解析を実施し、固有振動数、固有モードを求めた。鉛直方向の固有振動数は、ラーメン橋部、斜張橋部とも各STEPで高い値(1.0Hz前後)を示しており、本論文では割愛した。注目する方向は橋軸方向と面外方向である。

#### 3.1 固有振動数と固有モード

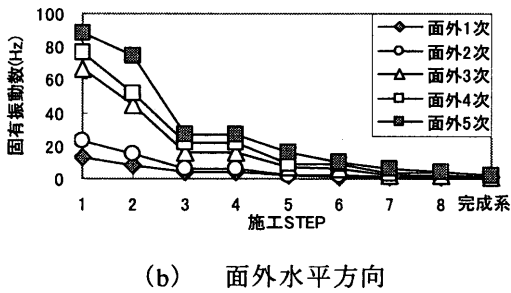
Y型ラーメン橋部の橋軸・面外方向固有振動数を図-3に、斜張橋部の橋軸・面外方向の固有振動数を図-4に示した。また、完成系の固有振動数も図示した。ラーメン橋部及び斜張橋部の1次固有モードを図-5、図-6に示す。固有モードの方向と次数は刺激係数とモード図より決定した。Y型ラーメン橋部はSTEP8(面外方向)の1次固有モード、斜張橋部は

STEP12(面外方向)の1次固有モードを一例として示している。

図-3、図-4より、Y型ラーメン橋部および斜張橋部とも施工が進むにつれ、固有振動数が下がり、両橋の連結直前まで斜張橋部の橋軸方向、面外水平方向の最低次振動数は極めて低い構造となることが確認できた。Y型ラーメン橋部ではSTEP1~2、つまりY脚の鉛直部施工完了時までは低次の振動数も高い振動数となっているが、STEP3以降のY脚斜部材から主桁施工時には低次振動は小さい値となっている。Y型ラーメン橋部は剛性の高い構造と考えられるが施工時には固有振動数が大幅に低下する。斜張橋部は斜材架設開始から完了まで大きな変動はなく、斜材架設・主桁張出しによる固有振動数の変化は少ない。しかし、Y型ラーメン橋部に比べて低い振動数である。特に、STEP12の面外水平方向の振動数は最低となっており、注意が必要である。

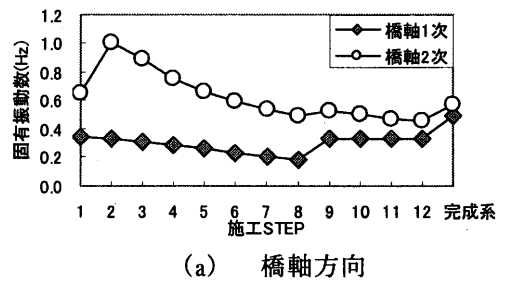


(a) 橋軸方向

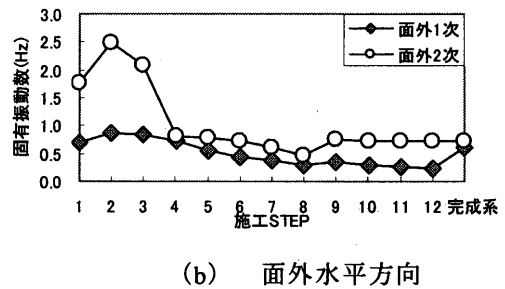


(b) 面外水平方向

図-3 Y型ラーメン橋の固有振動数



(a) 橋軸方向



(b) 面外水平方向

図-4 斜張橋の固有振動数

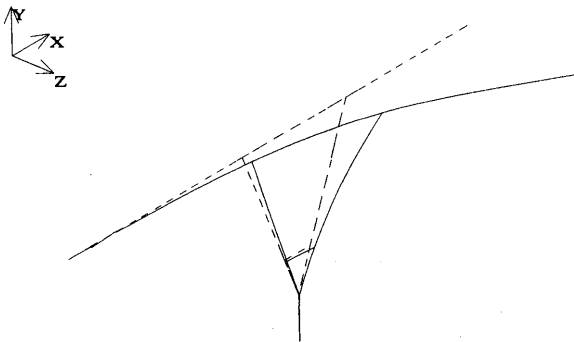


図-5 Y型ラーメン橋部 (STEP8 面外方向) 1次固有モード (0.75677Hz)

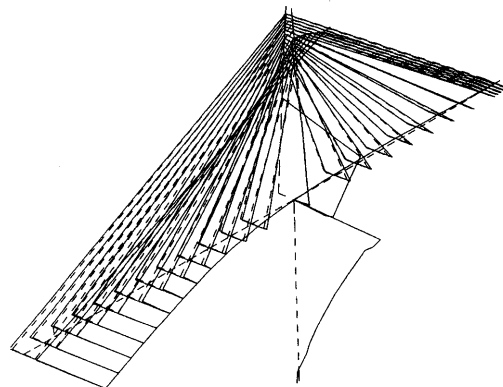


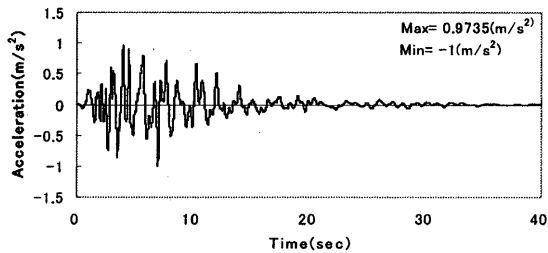
図-6 斜張橋部 (STEP12 面外方向) 1次固有モード (0.21967Hz)

### 4. 架設系の地震応答解析

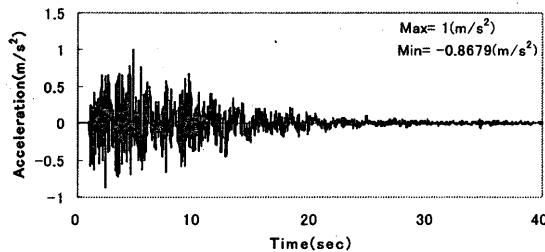
地震応答解析には Newmark  $\beta$  法 ( $\beta = 1/4$ ) を用い、時間間隔を 0.01 秒として線形時刻歴応答を求めた。構造物の減衰マトリックスは各 STEP の面外振動の 1 次と 2 次を基準振動数に選定し、Rayleigh 減衰として算定した。

#### 4.1 入力地震波

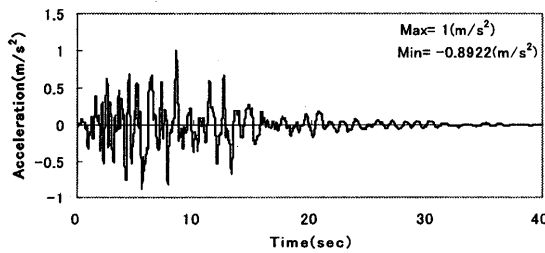
地震応答解析に用いた地震波は、1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）で記録された JR 西日本鷹取駅構内地盤上（Ⅱ種地盤）の E-W 成分、U-D 成分、N-S 成分の最大加速度を 100gal と 500gal に調整し、それぞれ橋軸方向、鉛直方向、面外方向に作用させた。計算の結果、面外方向へ地震波を作用させたときの応答値が一番危険な状態になったため、本論文ではすべて面外方向に地震波を作用させたときの応答値を掲載している。入力地震波形を図-7 に、それらのパワースペクトルを図-8 に示している。また、応答値の着目点を図-9 に示す。



(a) 橋軸方向

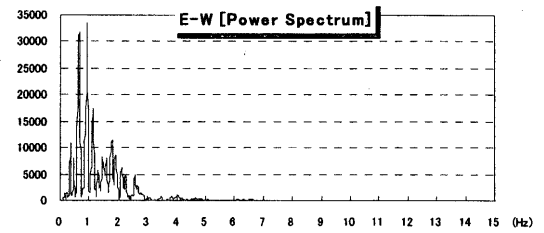


(b) 鉛直方向

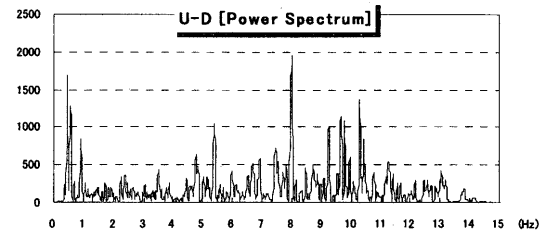


(c) 面外水平方向

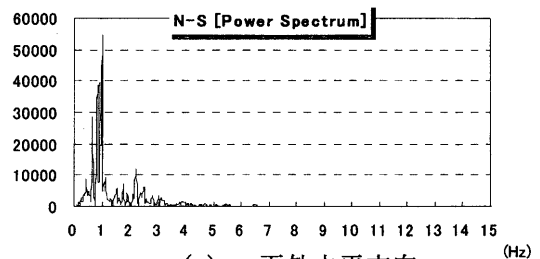
図-7 入力地震波形



(a) 橋軸方向

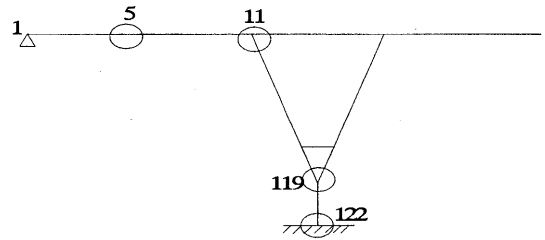


(b) 鉛直方向

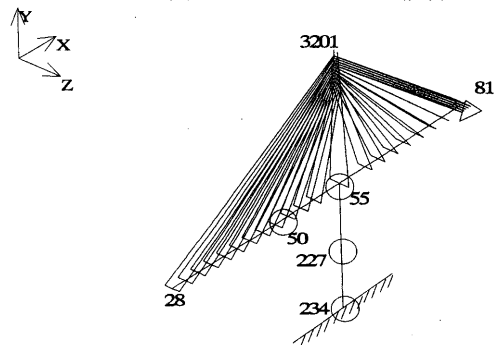


(c) 面外水平方向

図-8 パワースペクトル



(a) Y型ラーメン橋部



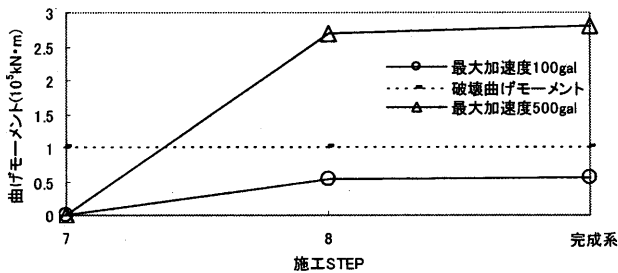
(b) 斜張橋部

図-9 応答値の着目点

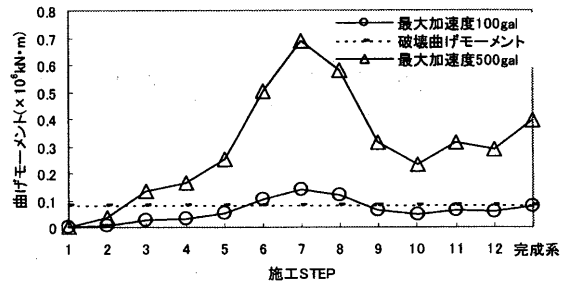
### 4.2 地震応答解析

面外方向に地震波を入力したときのそれぞれの着目点における面外曲げモーメント応答を算出した。図-10、11にY型ラーメン橋部、斜張橋部の各STEPの最大曲げモーメントを示す。図中には地震波の最大加速度が100gal、500gal時の最大曲げモーメント応答を図示しており、破線は破壊曲げモーメントを表している。また、図-12、13にラーメン橋部、斜張橋部の各STEPにおける時刻歴応答の一例を示している。

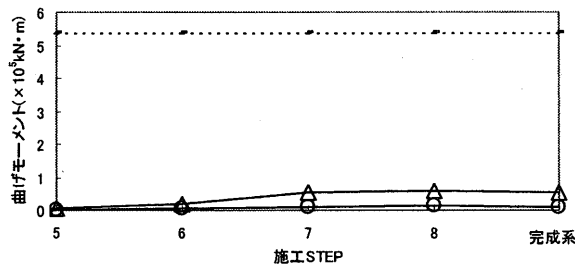
Y型ラーメン橋部の着目点について、最大100galの地震では各点において破壊曲げモーメントを下回り、300gal程度を想定しているレベルI地震動に対して、架設系構造への大きなダメージはない。しかし、最大加速度500galの地震が発生すると、斜部材施工時よりY型ラーメン橋部の橋脚部（Point119）及び基部（Point122）において破壊曲げモーメントを上回り危険な状態となる。また、桁部であるPoint5は、最大加速度500galの地震で破壊曲げモーメントを超えているが、プレストレスの影響を考慮していないのでさらに詳細な検討が必要であろう。



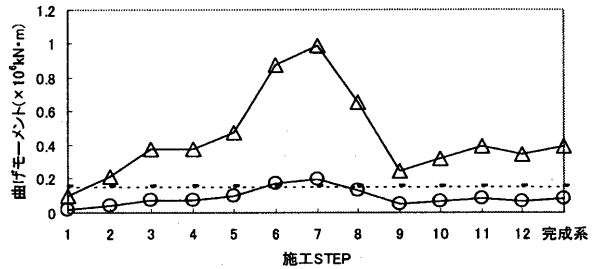
(a) Point5



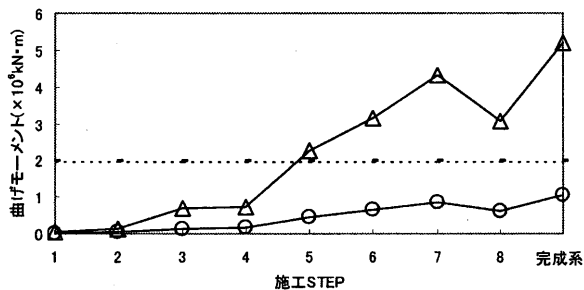
(a) Point50



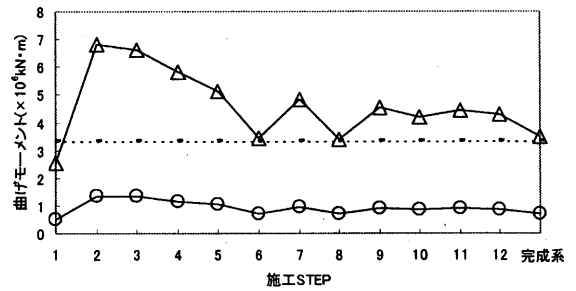
(b) Point11



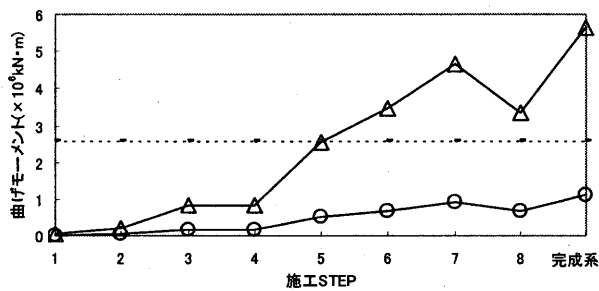
(b) Point55



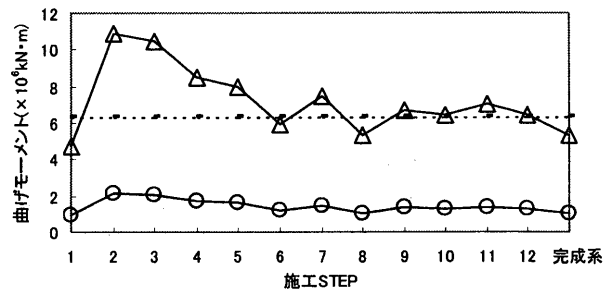
(c) Point119



(c) Point227



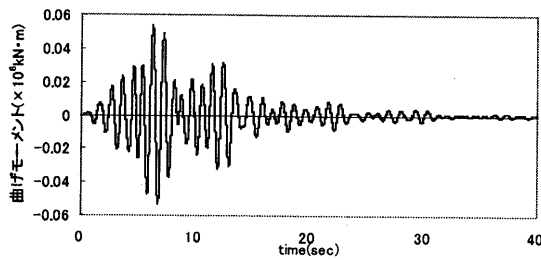
(d) Point122



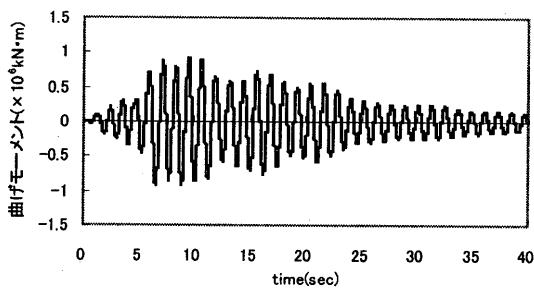
(d) Point234

図-10 Y型ラーメン橋部の面外曲げモーメント

図-11 斜張橋部の面外曲げモーメント

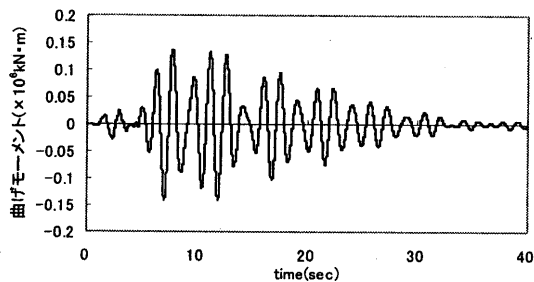


(a) Point5 (STEP8)

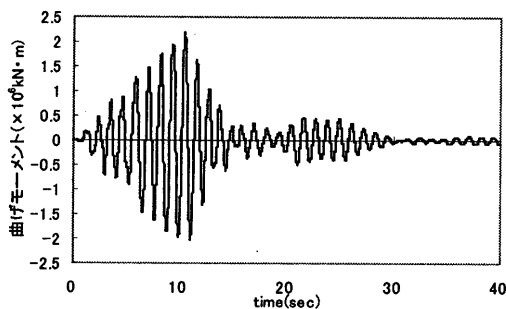


(b) Point122 (STEP7)

図-12 Y型ラーメン橋の  
面外曲げモーメント応答波形 (100gal)



(a) Point50 (STEP7)



(b) Point234 (STEP2)

図-13 斜張橋部の  
面外曲げモーメント応答波形 (100gal)

斜張橋部については、最大加速度 100gal の地震で Point50、Point55 の主桁の一部の施工 STEP を除き、破壊曲げモーメント内に収まっている。この程度の地震では十分架設系の安全性が確保されていると言える。しかし、最大加速度 500gal の地震が作用すると、斜材張出し当初の STEP2 より破壊曲げモーメントを超え、大型地震に対しては危険性が高い。特に STEP1 から STEP6、つまり架設初期の段階で大きな曲げモーメントを生じている。

## 5. 結論

ラーメン橋部、斜張橋部の各施工 STEP において、固有値解析、地震応答解析を実施した。得られた結果をまとめると以下のものである。

- ① Y型ラーメン橋部、斜張橋部とも施工の進行に伴い、固有振動数は低下する。
- ② 施工 STEP12 と完成系とでは橋軸方向、面外水平方向共に固有振動数に大きな差があり、早く結合する方が好ましい。
- ③ 斜張橋部の面外固有振動数は STEP5~12 で完成系より小さくなり、注意が必要である。
- ④ Y型ラーメン橋部、斜張橋部とも 100gal 程度の地震に対しては大きなダメージは生じない。
- ⑤ 加速度 500gal 程度の地震では、Y型ラーメン橋部の STEP5 から橋脚 Y 部と基部に、斜張橋部の STEP2 から主塔基部に破壊曲げモーメントを超える応答が見られる。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（V 耐震設計編）、平成 14 年 3 月。
- 2) 瓜生、水田、内谷、吉村：斜張橋とラーメン橋が連続した PC 橋の構造変化に伴う振動特性の検討、土木構造・材料論文集、第 20 号、2004 年 12 月。
- 3) 真鍋、佐々木、山口：多々羅大橋の実橋振動実験、橋梁と基礎 99-5、pp.27~30、1999 年 5 月。
- 4) 大塚、山口、高野、小笠原、下里：鶴見つばさ橋の振動特性、橋梁と基礎 97-11、pp.21~27、1997 年 11 月。
- 5) 水田、吉村、内谷、崎元、永木、瓜生：鮎の瀬大橋の振動実験、構造工学論文集、Vol.46A、pp.461~468、2000 年 3 月。
- 6) 内谷、水田、瓜生：斜張橋とラーメン橋が連続した複合構造形式 PC 橋の車両走行による応答特性の検討、構造工学論文集、Vol.47A、pp.461~468、2001 年 3 月。