

改定されたタイプI地震動が 鋼トラス橋の地震時応答に与える影響

道谷梓¹・小野潔²

¹学生会員 大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻(〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

²正会員 博士(工学)大阪大学大学院准教授 工学研究科 地球総合工学専攻(〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

1. はじめに

道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編¹⁾(以下、「道示 V」という)では、地震に対して複雑な挙動を示す構造物に対して、動的解析を行うこととされており、鋼トラス橋は複雑な挙動を示す構造物とされている。鋼トラス橋については、ファイバーモデルを用いた動的解析を行う例が報告されている。

また、平成 24 年 3 月に改定された道示 V では、動的解析に用いるレベル 2 地震動タイプ I および、大規模な地震が発生する地域とそれに該当しない地域で設計地震動に差をもたせる「地域別補正係数」が見直された。特定の地域区分では、従来に比べ大幅に増幅した設計地震動を耐震性能照査の際に用いることとなった。しかしながら、改定された設計地震動が鋼トラス橋の地震時応答に与える影響は未だ明らかにされていないのが現状である。

そこで、本稿では、上路式鋼トラス橋を対象に、改定された地域別補正係数を考慮したタイプ I 地震動、タイプ II を入力地震動として時刻歴応答解析を行った。そして解析結果をもとに改定されたタイプ I 地震地震動が地震時応答に与える影響について検討を行った。

2. 解析モデルおよび解析条件

本研究では、複合非線形骨組解析プログラムとして、汎用プログラム EERC²⁾を用いた。解析は3次元ファイバーモデルを用いた骨組解析により行った。

(1) 構造モデル

対象とした橋梁は図-1、表-1 に示すような上路式鋼トラス橋³⁾であり、3次元ファイバーモデルで

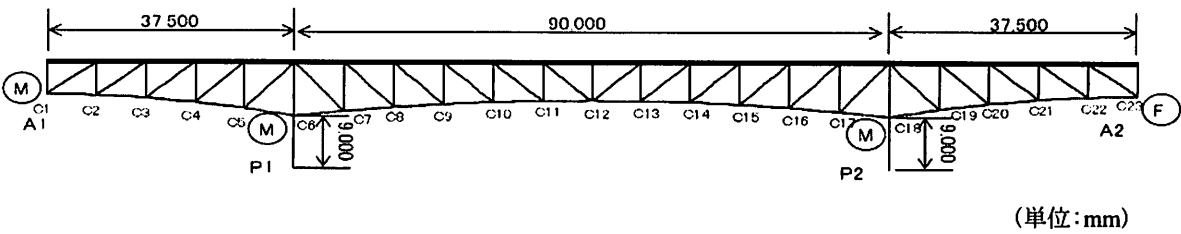


図-1 対象橋梁

表-1 構造諸元

型式	三径間連続上路式トラス橋
橋長	166.0m
支間割	37.5m+90.0m+37.5m
全幅員	9.75m

モデル化した骨組構造を図-2 に示す。各支点の変位の拘束条件を表に示す。各支点部の回転については、すべての支点部で橋軸方向回転のみ拘束とした。なお P1 および P2 とともに橋脚基部は固定であるとした。

(2) 各部位のモデル化

主部材の断面は JSSC のモデル³⁾を参考に局部座屈が発生しないように上下弦材、斜材、垂直材の板厚を 22 mmに変更している。上下弦材、垂直材の断面分割は板厚方向に 1 分割、板幅方向に 10 分割とし、図-3 に示す通りとする。上下弦材、斜材、垂直材以外のコンクリート床版などのモデル化は、JSSC のモデル化の通りとした。また、各部材の部材軸方向の要素分割は 4 分割以上とし、トラス弦材と腹材格点部の結合条件は図-4 のような剛結とした。拘束条件は表-2 に示す。なお要素分割数⁴⁾、格点部のモデル化⁵⁾、床板のモデル化については今後詳細な検討が必要であると考えられる。

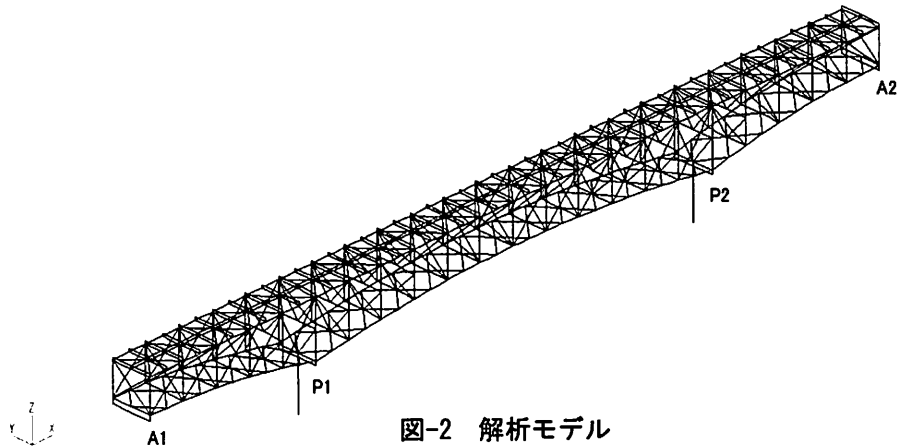


図-2 解析モデル

表-2 拘束条件

支点	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
A1,P1,P2	自由	拘束	拘束
A2	拘束	拘束	拘束

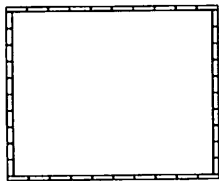


図-3 主部材の断面分割図

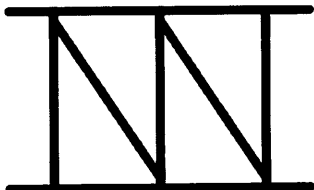


図-4 格点部のモデル化

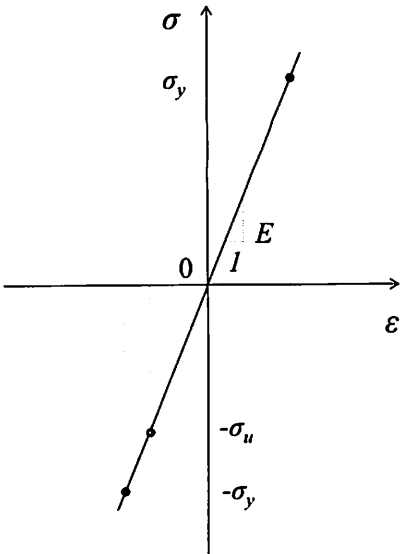


図-5 線形モデル

(3) 応力-ひずみ関係のモデル化

道示 V¹⁾によると、鋼トラス橋弦材等については、その重要性からレベル 2 地震動に対しても応答値が割増係数 1.7 を考慮した許容応力度⁶⁾以下に留まるように設計することが望ましいと解説されている。そして、動的解析では、線形はり要素を用いるのが良いとされている。鋼トラス橋の耐震性能照査においては、道示 V で解説される通り、線形はり要素を用いた解析により割増係数 1.7 を考慮した許容応力度で照査することが最も確実であるとされている。そこで本研究では、上下弦材、斜材、垂直材に対して図-5 に示す応力-ひずみ関係を用いて解析を行った。図-5 は鋼部材を弾性体とした応力-ひずみ関係(以下、「線形モデル」という)である。図-5 の σ_y は降伏強度、 σ_u は全体座屈強度で道示 II⁶⁾で規定される溶接箱形断面鋼長柱の基準耐荷力曲線から算出される座屈応力度を用いた。

(4) 動的解析条件

H14 道示 V⁷⁾では、レベル 1，レベル 2 地震動タイプ I およびタイプ II に対して、同一の地域別補正係数が用いられ、地震発生頻度の高い地域が A($c_z=1.0$)，B($c_z=0.85$)，C($c_z=0.7$)と 3 種類に区分されていた。H24 道示 V では、タイプ I 地震動に対する地域別補正係数が設けられ、結果として、A，B 区域をそれぞれ 2 つに分け、計 5 地域の区分が規定された。表-3 に H24 道示 V¹⁾において改定された地域別補正係数を示す。なお、レベル 2 地震動タイプ I については H24 道示 V で動的解析に用いる加速度波形も改定されている。今回用いる入力地震動は、I 種地盤に着目し、レベル 2 地震動タイプ I の 3 波、レベル 2 地震動タイプ II の 3 波とする。そして、表-3 に示された地域別補正係数のうち、B1 区域に着目し、タイプ I を 1.2 倍、タイプ II を 0.85 倍に補正した。そしてこれらの地震動を橋軸直角方向、橋軸方向に作用させた。

表-3 地域別補正係数

	c_z	c_{lz}	c_{llz}
A1	1.00	1.20	1.00
A2	1.00	1.00	1.00
B1	0.85	1.20	0.85
B2	0.85	1.00	0.85
C	0.70	0.80	0.70

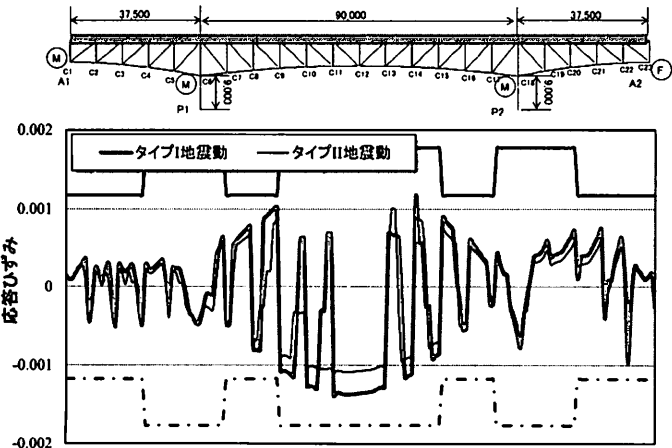
また、対象橋梁に対して死荷重が作用したときの静的解析を行い、これを初期状態とし、幾何学的非線形性を考慮して時刻歴応答解析を行った。積分法としては、ニューマークの β 法を用い、 $\beta=1/4$ とした。減衰についてはレーリー減衰を使用した。そしてレーリー減衰で採用する 2 つのモード次数、固有周期に関しては表-4 に示すとおりである。

3. 解析結果および考察

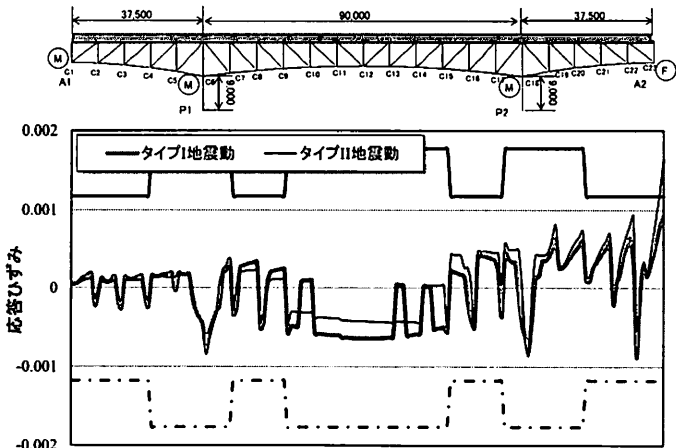
道示 V¹⁾では、入力地震動 3 波の動的解析結果の平均値を用いて耐震性能照査を行うこととされている。よって、タイプ I 地震動の 3 波、タイプ II 地震動の 3 波で動的解析を行い、要素ごとの最大ひずみを抽出し、入力地震動 3 波による解析結果の平均値に主として着目して検討を行った。図-6～図-8 にはそれぞれ橋軸直角方向、橋軸方向に地震動を作用させた。

表-4 固有値解析結果

	橋軸直角方向		橋軸方向	
モード次数(次)	1	7	2	3
固有周期(s)	0.662	0.202	0.481	0.463



(a) 橋軸直角方向



(b) 橋軸方向

図-6 上弦材におけるひずみの分布

用させた際の、全上弦材、全下弦材、全垂直材の応答ひずみの分布を示す。このうち、(a)は橋軸直角方向の結果、(b)は橋軸方向の結果であり、図中の黒の実線は $\varepsilon_y(=\sigma_y/E)$ 、図中の黒の破線は $\varepsilon_u(=\sigma_u/E)$ を示す。また、図-6～図-8の応答ひずみは各断面で絶対値が最大となる応答ひずみを抽出し、その値を正負の符号を考慮して整理したものである。本来、鋼部材では座屈と降伏という現象があるため、圧縮ひずみ、引張ひずみのそれぞれの最大値で整理すべきであるが、今回のモデルでは座屈応力、降伏応力に大きな差が見られないこと、整理の簡便性からこ

のようにした。

図-6より、上弦材では、タイプⅠ地震動の応答ひずみがタイプⅡ地震動の応答ひずみより引張側、圧縮側ともに概ね大きくなっており、特に橋梁中央付近で差があることがわかる。図-7より、下弦材では、A2付近で差は見られるが、それ以外の要素ではタイプⅠ地震動の応答ひずみとタイプⅡの応答ひずみで大きな差は見られない。図-8より、垂直材では、P1およびP2付近では橋軸直角方向ではタイプⅠ地震動の応答ひずみがタイプⅡ地震動の応答ひずみより大きいことがわかる。

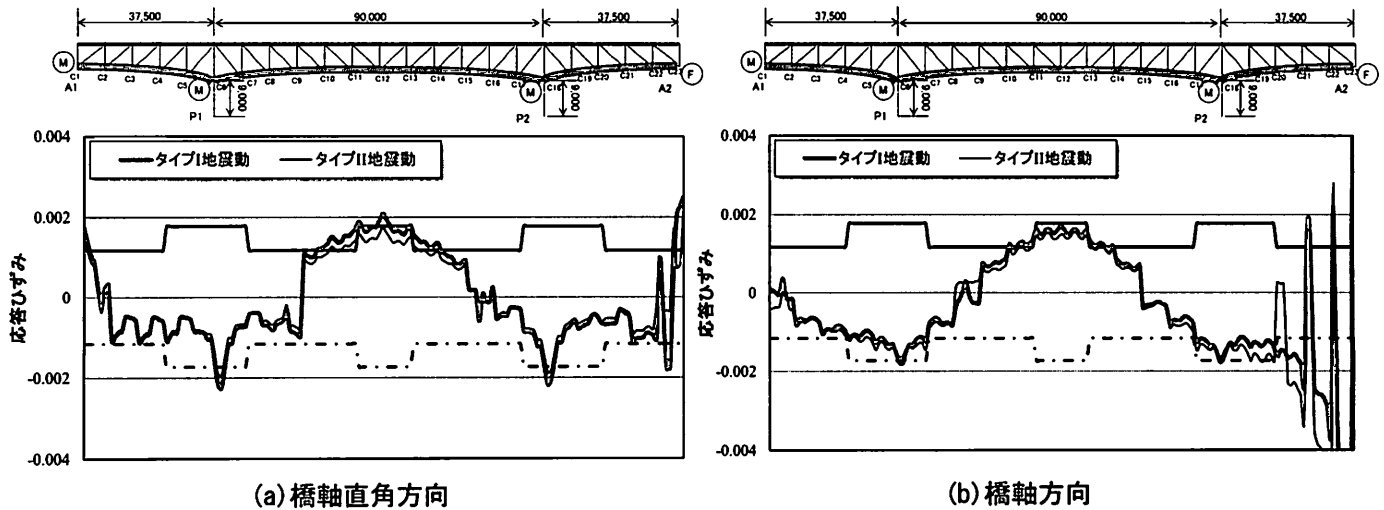


図-7 下弦材におけるひずみの分布

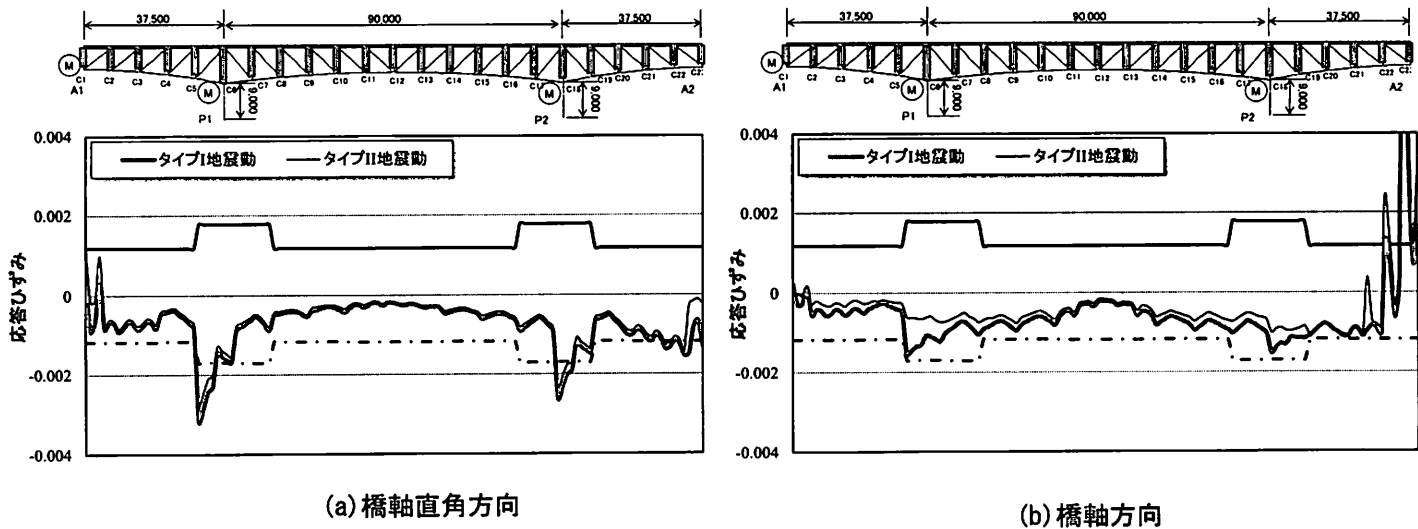


図-8 垂直材におけるひずみの分布

以上より、タイプ I 地震動の応答ひずみの方がタイプ II 地震動の応答ひずみより概ね大きいものの、要素によってはタイプ II 地震動の応答ひずみが大きい要素もあり、必ずしもタイプ I 地震動の応答ひずみが大きくなるとは言えない。

また、図-9、図-10 には、タイプ I 地震動、タイプ II 地震動それぞれ 3 波を橋軸直角方向、橋軸方向に入力した時に動的解析結果から得られる応答ひずみの分布を示す。図-9 (a)、図-10(a)にはタイプ I 地震動の結果を、図-9 (b)、図-10(b)にはタイプ

II 地震動の結果を示す。図-9(a)のタイプ I 地震動の結果に関しては、地震波 I-I-2 の応答ひずみと他の 2 波から得られる応答ひずみとの間に差が見られるが、図-9(b)のタイプ II 地震動の結果に関しては、図-9(a)ほど 3 波の地震動による応答ひずみに大きな差が見られないことがわかる。また図-10 から、タイプ I 地震動、タイプ II 地震動ともに特に橋梁中央付近の上弦材で地震波によって応答ひずみの分布に差が見られる。これらの結果より、タイプ I 地震動 3 波、タイプ II 地震動 3 波の中でも応答ひずみの分布にばらつきがあることがわかる。

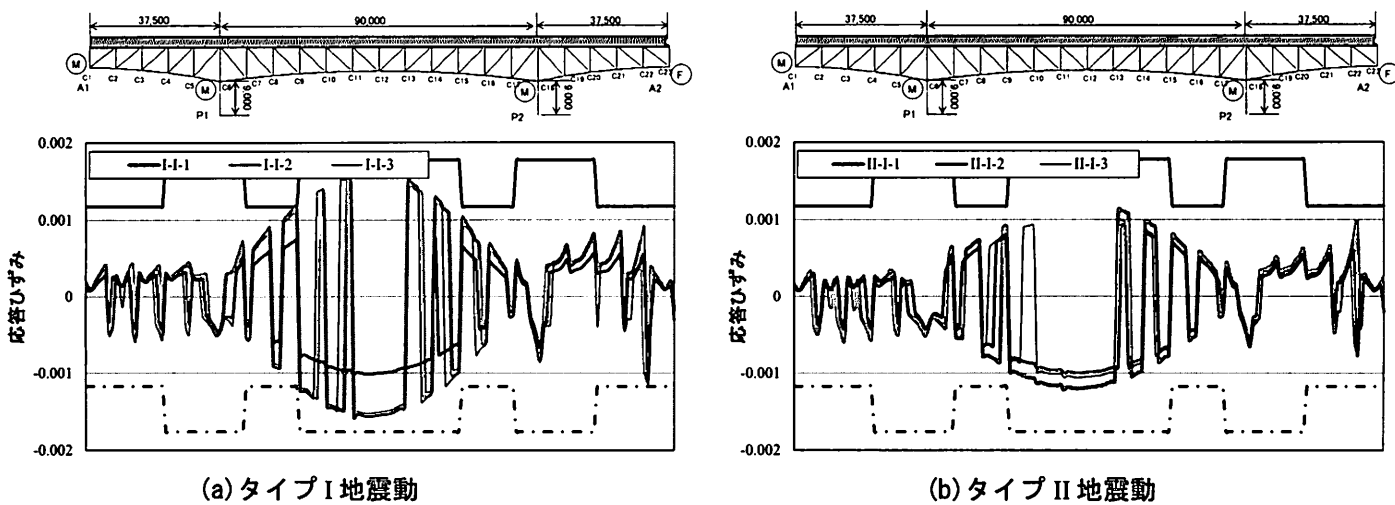


図-9 各地震波による上弦材におけるひずみの分布 (橋軸直角方向)

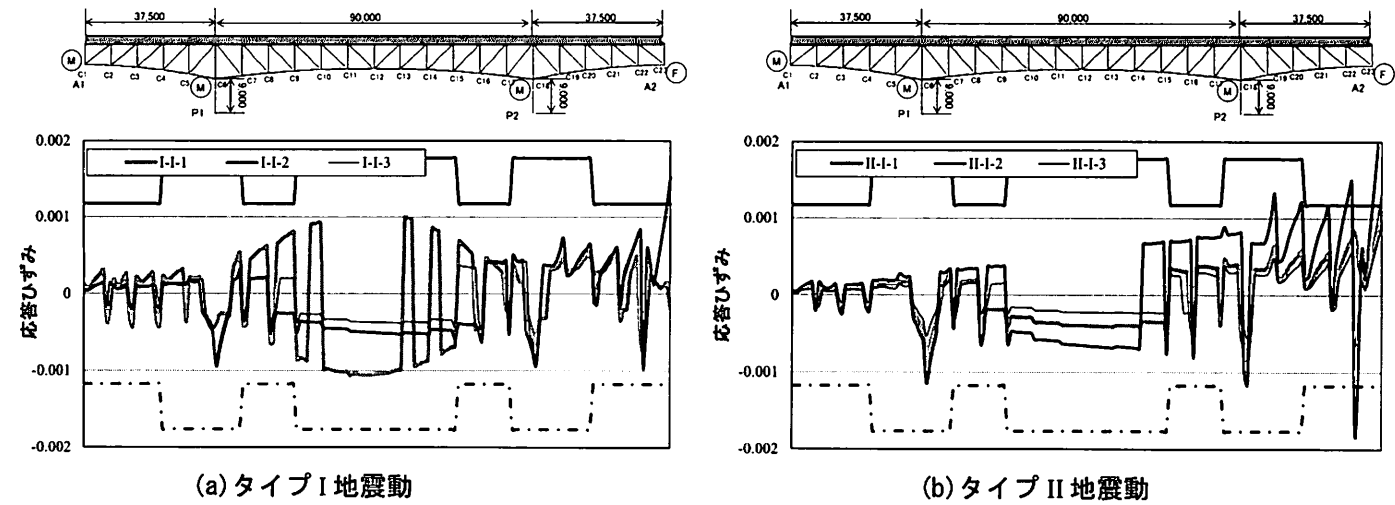


図-10 各地震波による上弦材におけるひずみの分布 (橋軸方向)

4. まとめ

本稿では、上路式鋼トラス橋を対象に、改定された地域別補正係数を考慮したタイプ I 地震動、タイプ II 地震動を入力地震動として時刻歴応答解析を行った。そして解析結果をもとに改定されたタイプ I 地震動が地震時応答に与える影響について検討した。以下に得られた知見の概要を示す。

- ・本稿で対象とした鋼トラス橋では、タイプ I 地震動の応答ひずみの方が対応 II 地震動の応答ひずみより概ね大きいものの、要素によってはタイプ II 地震動の応答ひずみが大きい要素もあり、必ずしもタイプ I 地震動の応答ひずみが大きくなるとは言えない。
- ・タイプ I 地震動 3 波、タイプ II 地震動 3 波の中でも応答ひずみの分布にばらつきがある。

5. 謝辞：本稿はJSPS科研費25420483により実施したものです。また本稿で用いた鋼トラス橋の解析モデルの作成を行うにあたり、(株)地震工学研究開発センターの野中哲也氏、馬越一也氏に助言いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，2012.3.
- 2) (株)地震工学研究開発センター：EERC/Fiber User's Manual，2007.
- 3) (社)日本鋼構造協会：ファイバーモデルを用いた鋼橋の動的耐震解析の現状と信頼向上，2009.9.
- 4) 小野潔，松村政秀，徳永宗正，三好崇夫，西村宣男：複合非線形性骨組解析による鋼長柱の全体座屈評価に関する検討，鋼構造年次論文報告集，第 16 巻，pp.203-208，2008. 11.
- 5) 谷上裕明，小野潔，徳永宗正，三好崇夫，西村宣男：動的解析における上路鋼トラス橋格点部のモデル化に関する一検討，鋼構造年次論文報告集，第 17 巻，pp.459-466，2009.11.
- 6) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，丸善，2012.3.
- 7) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，2002.3.