

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360200

研究課題名(和文)シナリオ型の地震動および進行性破壊を考慮した鋼橋の高度耐震・制震設計法の開発研究

研究課題名(英文)Developing an advanced seismic design method for steel bridge structures using seismic dampers

研究代表者

宇佐美 勉 (USAMI, TSUTOMU)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：50021796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円、(間接経費) 4,290,000円

研究成果の概要(和文)：鋼橋の耐震設計法の高度化のため、1)震源断層から橋梁までの地震動予測モデルを構築し、断層近傍の鋼橋の3次元応答特性を検討する。2)鋼製およびアルミ製BRBの低サイクル疲労特性を解明し、照査法を提案する。3)BRB付き鋼橋モデルの耐震性能を実験・解析により解明する。主要な成果は、1)対象橋梁の応答特性は断層の位置および断層上端の深さに大きく関係する。2)AL製BRBは、溶接によって著しく低サイクル疲労強度が低下するため、全ボルト接合BRBを開発した。3)BRBの高精度低サイクル疲労照査法を開発した。4)S製BRBはAL製BRBに比べ強度と剛性が高くなるため取り付け部材に損傷を及ぼす可能性がある。

研究成果の概要(英文)：This study is aimed to develop an advanced seismic design of steel bridge structures, comprising: 1) The three dimensional nonlinear earthquake response behavior of steel truss and arch bridges near a thrust fault. 2) The clarification of low-cycle fatigue characteristics of steel and aluminum alloy BRBs. 3) A comparative study on seismic behavior of steel truss models with either steel or aluminum BRB diagonal members. The main results are: 1) The thickness of sedimentary layer and the spatial position of bridges strongly affect their responses. 2) A new bolt-assembled high-performance aluminum alloy BRB is developed to avoid the adverse effects of the welding. 3) An accurate low-cycle fatigue verification method is developed. 4) Care must be given in the design of steel bridges with BRBs to the fact that the larger axial rigidity/strength of steel BRBs than that of aluminum BRBs may induces larger damages in the surrounding members of steel bridges.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：鋼橋 大地震 耐震補強 制震ダンパー 鋼 アルミニウム 座屈拘束ブレース

1. 研究開始当初の背景

- 1) 現行の鋼橋の耐震設計は、過去の地震記録を元に作成され、示方書に規定された一律の地震動を用いて行われている。震源を特定し、地震波の伝播ならびに建設場所の地盤特性を考慮した、いわゆる、シナリオ型の地震動を用いることの重要性に対する認識はあるものの、複雑で難解さゆえ、特殊な構造物(長大橋等)を除いて適用されるのはまれである。
- 2) 耐震性が劣る鋼橋の補強法として、金属材料の塑性変形によって地震エネルギーを吸収・消散する履歴型制震ダンパー(座屈拘束ブレース(BRB)、せん断パネルダンパー(SPD)等)を付与する方法が主流となってきた。しかしながら、制震ダンパーの低サイクル疲労寿命、制震ダンパーを鋼橋モデルに設置したときの制震効果などに関する実験データは非常に少ない。

2. 研究の目的

- 1) シナリオ型の強震動予測手法を整理し、震源断層から橋梁までのモデルを構築し、計算精度の高い広域的な地震応答解析を実施する。さらに、広域的な地震挙動において、ほとんど解明されていない断層近傍の構造物の応答特性についても検討を実施する。
- 2) 鋼製(以下S製)およびアルミニウム製(以下AL製)BRBの低サイクル疲労特性を解明し、照査法を提案する。
- 3) 制震ダンパー付き鋼橋モデルの耐震実験を実施し、解析手法および照査法の検証を行う。

3. 研究の方法

- 1) 運動学的断層モデルと水平成層地盤モ

デルに基づいて、断層永久変位を含む地震動波形を理論的に合成し、断層近傍の地震動の時空間分布特性および橋梁の応答特性について解明する。

- 2) S製ならびにAL製BRBの定振幅および変動変位振幅繰り返し引張-圧縮実験を多数実施し、レベル2地震動3回に耐えうるような高機能な制震ダンパーを開発する。
- 4) 鋼製ならびにアルミニウム製座屈拘束ブレースを斜材に設置した鋼製トラス構造の実験・解析により制震ダンパーが耐震性能に及ぼす効果、ならびに、鋼製とアルミニウム製ダンパーの性能比較を行う。

3. 研究成果

- 1) 震源から橋梁までの一貫した解析モデルを提示した。そのモデルを用いて、対象橋梁の応答特性が断層の位置および断層上端の深さに大きく関係することがわかった(図1参照)。

断層中央横断：地表断層で、対象橋梁の変形状態に対して断層変位の影響が大きい。断層永久変位を強制変位荷重とした静的解析の結果と異なり、断層変位と慣性力の両方の影響を受けていることになる。伏在断層になると、断層変位の影響は小さく、橋軸方向の慣性力が大きくなり、対象橋梁が損傷する。

断層終端横断：断層中央横断と応答の傾向が似ているが、対象橋梁が回転と並進移動するという複雑な挙動を示す。

断層並行：地表断層では同一方向に地盤が移動するため断層変位の影響は小さいが、伏在断層では直角方向の地震力が非常に大きくなり、最も部材損傷が進み崩壊に至ると考えられる。

- 2) 端部リブを溶接したAL製BRBは、S製高機能BRBに対して設定した目標性能に達する前に、端部リブ溶接止端部の低

サイクル疲労により破断した。目標性能達成のため、端部リブの溶接を回避し、全てボルト接合した BRB を開発した。

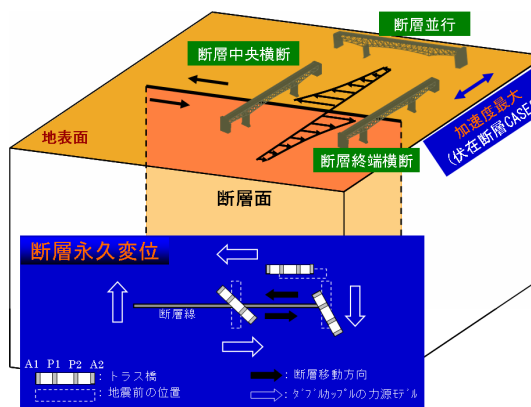


図1 断層永久変位

3) 累積塑性変形 (CID) によって低サイクル疲労性能を照査する方法は安全側であることに鑑み、Manson-Coffin 則と Miner 則を組み合わせた累積疲労損傷度 D に基づく、より合理的な低サイクル疲労照査式を提案した。

$$D = C \cdot \sum_{i=1}^{nc} (\Delta \varepsilon_i)^m < 1.0 \quad (1)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon_i$ = ひずみ範囲、 C, m = 定数(表1) nc = 全サイクル数である。式(1)を満足すれば、低サイクル疲労に対して安全である。

表1 式(1)の定数の値

BRB 芯材の種類	C	m
S 製	28.2	2.05
AL 製 (全ボルト)	1.08×10^5	4.31

4) 図2のトラス構造材に 裸の H 形鋼、S 製 BRB、AL 製 BRB を用いて性能比較を行った。裸の H 形鋼と S 製 BRB の性能比較では、は に対して変形性能は 4.3 倍、エネルギー吸収量は 11.5 倍になり、著しい耐震性向上が見られた。S 製 BRB と AL 製 BRB の比較

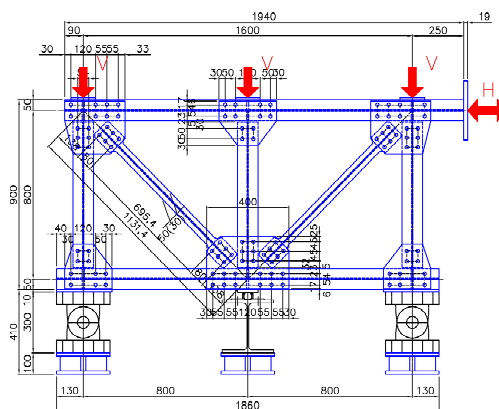


図2 トラス実験供試体

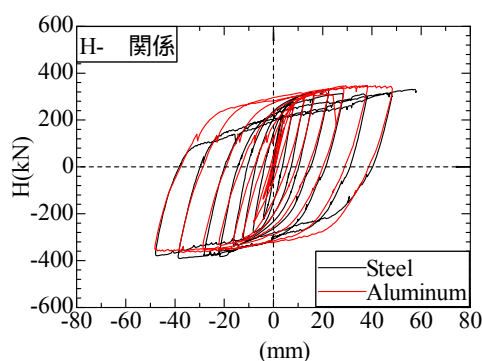


図3 SおよびAL製BRBトラスの水平荷重 水平変位関係の比較

(図3)では、の履歴曲線は、大変位まで載荷後の除荷・再負荷領域、特に水平荷重が正の領域 ($H > 0.0$) で、の履歴曲線より荷重が低くなる。これは、では、大変位領域で斜材周辺部の部材・部位にボルト穴の支圧変形、破断などの大きな損傷が顕在化したのに対し、にはそのような損傷は見られなかった。これは、は に比べ、降伏強度は同一であるが、降伏後の強度上昇が小さく、損傷が主構造周辺部に及ばなかったためである。これらの実験結果は、BRB を付与した橋梁の耐震設計に配慮すべき重要な点を示唆している。即ち、橋梁の耐震性向上を目的に横構・対傾構に BRB を使用する場合、BRB の軸方向強度と剛性を過度

に高めることは、周辺部の部材・部位に損傷を広げるため、控えるべきであることを示唆している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計11件) 全て査読有り

宇佐美勉, 山崎伸介, 森 翔吾, 野呂直以, 今瀬史晃, 野中哲也(2014): 座屈拘束波形鋼板 (BRRP) ダンパーの繰り返し弾塑性挙動, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.335-348

宇佐美勉, 今瀬史晃, 舟山淳起, 野中哲也(2013): 鋼およびアルミニウム合金製座屈拘束ブレースを設置した鋼トラス構造の耐震性能比較, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.3, pp.439-451.

Wang, C.L., Usami, T. and Funayama, J. and Imase, F. (2013): Low-cycle fatigue testing of extruded aluminum alloy buckling-restrained braces, Engineering Structures, Vol.46, pp. 294-301.

Wang, C.L., Usami, T. and Funayama, J. and Imase, F. (2012): Evaluating the Influence of Stoppers on the Low-Cycle Fatigue Properties of High-Performance Buckling-Restrained Braces, Engineering Structures, Vol.41, pp. 167-176.

Usami T., Wang C.L. and Funayama J. (2012): Developing High-performance Aluminum Alloy Buckling-Restrained Braces Based on Series of Low-cycle Fatigue Tests. : Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol.41, pp.643-661

舟山淳起, 今瀬史晃, 宇佐美勉, 王春林

(2012): アルミニウム合金製 BRB の低サイクル疲労特性, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.58A, pp.448-458

今瀬史晃, 舟山淳起, 宇佐美勉, 王春林, 野中哲也, 菅付紘一 (2012): BRB による鋼製剛結トラスの耐震性向上効果, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.58A, pp.423-435.

今瀬史晃, 宇佐美勉, 舟山淳起, 王春林 (2012): 繰り返し荷重を受ける鋼トラスの進行性破壊に関する実験と解析, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.68, No.4, 土木学会, pp. 713-729

舟山淳起, 今瀬史晃, 宇佐美勉, 王春林 (2012): H 形鋼斜材を BRB 化することによる鋼トラス構造の耐震性能向上効果, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4, 土木学会, pp. 730-747

児玉喜秀, 原田隆典, 野中哲也, 中村真貴, 宇佐美勉 (2012): 震源断層近傍における鋼アーチ橋の応答特性と耐震補強法, 構造工学論文集, Vol.58A, pp.436-447.

児玉喜秀, 原田隆典, 野中哲也, 中村真貴, 宇佐美勉 (2011): 逆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.57A, pp.454-466.

[学会発表](計10件) 全て査読なし

Zeng P., Chen Q, Wang C.L., Usami, T. and Meng S.P. (2013): BEHAVIOUR AND DESIGN OF AN ALL-STEEL SELF-CENTERING BUCKLING RESTRAINED BRACE, 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering, TITec, Tokyo.

Usami, T. (2012): Seismic Upgrading of Steel Trusses Using BRBs (Invited Lecture), 9th CUEE Conference, TITec, Tokyo.

Usami T., Funayama J. Imase F. and Wang C.L. (2012): Experimental Evaluation on

Seismic Performance of Steel Trusses with Different Buckling-restrained Diagonal Members, Proc. the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.

Usami, T., Wang, C. and Funayama, J. (2011): Low-cycle Fatigue Tests of a Type of Buckling-restrained Braces, The Twelfth East-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-12), Hong Kong.

Wang C.L., Funayama J. and Usami T. (2011) : Component Testing and Hysteretic Characteristics of Aluminum Alloy Buckling-restrained Braces, Proc., 3rd Asia-Pacific Young Researchers and Graduates Symposium, Advance in Structural Engineering, Taipei, 2011

Usami T., Wang C.L. and Funayama J. (2011): A Numerical Study on the Behavior of High-performance Buckling-restrained Braces, Proc. III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Corfu, Greece.

Usami T., Wang C.L. and Funayama J. (2011): Improving low-cycle fatigue performance of a type of buckling restrained braces for bridge engineering. : Proc., 4th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, Italy.

Usami T., Wang C.L. and Funayama J. (2011): Developing high-performance aluminum alloy seismic dampers, Proc., 7th International Conference on Steel & Aluminum Structures, Malaysia.

Usami T., Wang C.L., Funayama J. and Imase F. (2011) : Seismic Performance Test and Analysis of Steel Trusses with Buckling-restrained Diagonal Members,

Proc., 2011 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics, Seoul, Korea.

Wang C.L., Usami T. and Funayama J. (2011): Experimental and Analytical Investigations on Performance of High-performance Buckling-restrained Braces Affected by Constraints, Proc., 6th International symposium series on steel structures, Seoul, Korea.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
宇佐美 勉 (USAMI TSUTOMU)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号：50021796
- (2) 研究分担者
原田 隆典 (HARADA TAKANORI)
宮崎大学・工学部・教授
研究者番号：70136802
- (3) 連携研究者
葛 漢彬 (GE HAN-BIN)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号：90262873
- (4) 連携研究者
鈴木 森晶 (SUZUKI MORIAKI)
愛知工業大学・工学部・教授
研究者番号：90273276

(5)連携研究者

渡辺 孝一 (WATANABE KOUICHI)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：90387762

(6)連携研究者

葛西 昭 (KASAI AKIRA)

熊本大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：20303670

(7)連携研究者

判治 剛 (HANNJI TAKESHI)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80452209