

# 鋼橋の制震技術の最前線

## —ダンパーブレースとその効果—

工藤 祐琢<sup>1</sup>

<sup>1</sup>三菱重工鉄構エンジニアリング株式会社 橋梁事業本部 技術統括部 技術グループ

(〒108-8215 東京都港区港南2-16-5 三菱重工ビル内) .



鋼橋の大規模地震対策として制震ブレースの採用事例が増えている。「ダンパーブレース (NETIS登録 No.CG-070005-A)」は2004年に広島県に新設された王渡橋 (鋼上路式ローゼ橋) のレベル2地震対策として橋梁に初めて採用され、その後、既設橋の耐震対策に採用される事例が急増している。本文では、はじめに鋼橋への制震設計導入経緯を概説した後、ダンパーブレースの概要と採用事例およびその効果を紹介する。

キーワード 鋼橋, 耐震, 制震, ダンパーブレース, 座屈拘束ブレース

### 1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震によって鋼橋の耐震設計は根本から見直され、桁橋や高架橋を中心に橋脚の補強や免震支承の導入、落橋防止システムの体系化などによる耐震対策が進められた。

しかしながら、アーチ橋やラーメン橋などの特殊橋梁においては、レベル2地震による大きな作用力に対して部材断面の増強や変形性能の向上によって対処する従来の「耐震」では構造部材の寸法や経済性に限界があり、粘り強く変形して崩壊や倒壊を免れても残留変位が大きいと復旧に時間を要するという課題があった。

2002年の道路橋示方書改訂<sup>1)</sup>では、地震被災後の早期復旧の観点から橋の重要度に応じた「耐震性能」が定義され、建築分野では既に主流であった「制震」の考え方が導入された。

橋の大規模地震対策としての「制震」は、地震エネルギー吸収を期待する塑性化部材 (=制震デバイス) を適切に配置して橋の減衰性能を高め、地震によって構造部材に生じる作用力自体を小さく抑えようとする方法である。レベル2地震被災時において、取替可能な制震デバイスに意図的に損傷を集中させて橋の耐荷性能を担う主要部材の応答は弾性域内に抑え、供用に支障を及ぼす大きな残留変位を生じさせないようにコントロールすることで、被災後の速やかな復旧性を要求する耐震性能を満足させる。

その後、アーチ橋やラーメン橋に対する制震設計の適用については精力的な研究が行われており、それらの成

果<sup>例えば 2), 3), 4)</sup>によって制震設計導入のメリットが認知されつつある。また「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム(H17~H19)」の実施とも相まって、近年、既設橋の耐震補強を中心に制震設計の採用事例が増えている。

### 2. ダンパーブレースとは

#### (1) 概要

ダンパーブレースは、軸降伏型の鋼材ダンパー (「制震ブレース」や「座屈拘束ブレース」とも呼ばれる) に分類される制震デバイスである。

常時やレベル1地震時には一般部材同様に降伏に対して所定の安全率が確保されるように設計され、弾性部材として機能するが、レベル2地震時には芯材部の鋼材が降伏して塑性変形を繰り返すことで地震エネルギーを吸収して振動を減衰させ、橋の主要部材に生じる作用力や応答変位を低減する。

ダンパーブレースは2004年に広島県に新設された王渡橋 (鋼上路式ローゼ橋) のレベル2地震対策として採用されたが、これは橋梁に制震ブレースが組み込まれた初めてのケースでもある。近年、既設橋の耐震対策としてダンパーブレースの採用実績が急増しており、2009年8月末現在、全国で20橋に採用されている (図-1)。うち中国地方における採用実績は広島県内で2橋、岡山県内で1橋となっている。これら3橋の詳細は3章にて紹介する。



図-1 ダンパーブレースの採用実績  
(上図は橋数, 下図は納入本数, 2009年8月末現在)

## (2) 構造

ダンパーブレースは、両端の十字断面の芯材と、それらを直列につなぐ中間材（中空鋼管）から構成される（図-2）。中間材には芯材に対して大きな剛性を持たせ、大規模地震時に大きな軸力を受けると芯材部で鋼材が降伏して塑性変形するように設計されている。芯材は座屈拘束管によって圧縮時の座屈変形が防止されており、引張、圧縮とも同様の履歴を描く。

芯材に用いている低降伏点鋼はダンパーブレースなどの鋼材ダンパーのために開発された高性能鋼材であり、以下の特長を有している。

- ・降伏点のばらつきを公称値  $\pm 20\text{N/mm}^2$  以内とする厳しい狭幅管理がなされており、設計上の想定と実挙動との誤差を抑えられるため従来鋼使用に比べ安全である。
- ・伸び性能に優れており、塑性域での安定した履歴、すなわちエネルギー吸収能が期待できる。

## (3) 特長

### a) レベル2地震対策による鋼重増加を抑制

ダンパーブレースが地震エネルギーを吸収して橋の構造部材に生じる作用力自体を低減するため、新設橋、既設橋の耐震補強ともにレベル2地震時に必要な部材断面が小さくなり、耐震対策による鋼重増加を抑制できる。

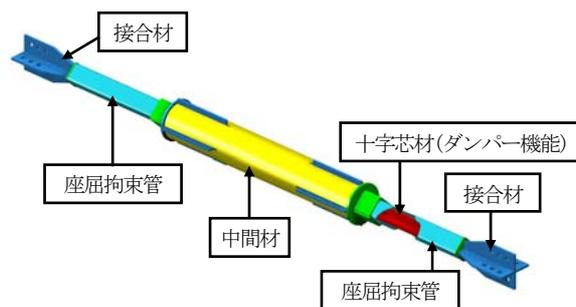


図-2 ダンパーブレースの構造

### b) 下部工への影響を低減

耐震対策による鋼重増加を抑制できることで上部工死荷重が減少すること、および上部工に組み込まれたダンパーブレースが地震エネルギーを吸収して減衰させることにより、上部工から下部工への作用力が低減される。新設橋に採用する場合には下部工の設計も経済的になる可能性がある。

### c) 広範な条件に対応可能

- ・降伏軸力は200kN～3,000kNの範囲で納入実績があり、さらに大きな降伏軸力（～5,000kN）にも対応可能である。
- ・部材長は2m～最大20mまで対応可能である。中間材にて剛性を調整できるため長尺にも対応しやすい構造となっている。
- ・芯材部と中間材部の長さの比率を変化させることで、降伏軸力と部材長を固定したまま軸剛性の調整が可能である。

### d) 中空構造のため軽量

芯材部の座屈拘束構造および中間材部ともに中空構造であり軽量である。

## (4) 施工方法

橋梁本体への取付けは高力ボルト摩擦接合によって行う。

### a) 新設橋

対傾構斜材、横構斜材など従来の部材と同様に取付けできる。

### b) 既設橋の耐震補強

ブレース側のボルト配置に合わせて橋梁本体側のガセットプレートの改造あるいは取替を行うとともに、ガセットなど橋梁本体への取付部がブレースより先に座屈変形を起こさないよう、必要に応じてリブ追設などの補強を行う。

## (5) 耐久性

鋼材ダンパーのエネルギー吸収性能の評価指標として、塑性変形量の累積和を降伏変位（弾性限の変位）で除した累積塑性変形倍率  $\eta$  が定義されている（図-3）。すなわち、

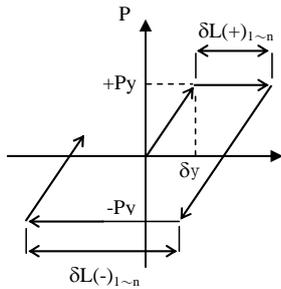


図-3 累積塑性変形倍率

$$\eta = \sum (\delta L(+)_1 \sim n + \delta L(-)_1 \sim n) / \delta y \quad (1)$$

ダンパーブレースでは、実験値をもとに許容累積塑性変形倍率を  $\eta a=700$  と設定している。兵庫県南部地震を用いた動的解析によって検証したところ、累積塑性変形倍率は  $\eta=200$  程度であった。したがって、同程度のレベル2地震に対して約3回その性能を発揮できる。

### (6) メンテナンス

橋梁本体と同様に、定期的な塗装塗り替えによって防食性能を維持する。レベル2地震を被災してダンパーとして機能した場合には、塑性変形時の伸縮で芯材が入りする貫通スリット部（座屈拘束管端部）に施した防水シールに破損がないか点検を行う。

## 3. ダンパーブレースの採用事例

### (1) 新設橋

#### 王渡橋（広島県）[2004年]<sup>9)</sup>

王渡橋は広島県安芸太田町の王泊ダム貯水池に架かる橋長140m、主径間99mの鋼上路式ローゼ橋である(図-4)。

事業の進行中に道路橋示方書の改訂で所要耐震性能が高められたため、上部工のレベル2地震対策としてダンパーブレースが採用された(図-5)。橋軸方向地震動に対しては主構面内斜材が、橋軸直角方向地震動に対しては支柱対傾構斜材および下横構斜材がそれぞれ応答低減効果を発揮する(図-6)。ダンパーブレースの採用により、部材断面を増強する従来の工法に対して、対策後の総鋼重を12%減少、上部工全体工事費では5%減少させることができた(図-7)。

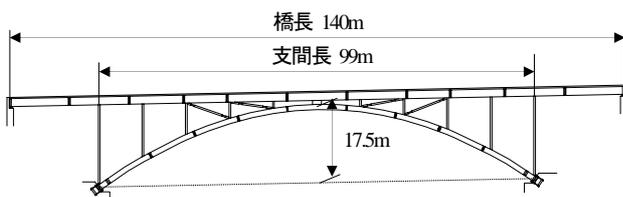


図-4 王渡橋側面図

また下部工への影響についても、上部工から作用する水平反力が橋軸、橋軸直角いずれの方向についても70%以上低減され(図-8)、基礎の補強は不要となった。



図-5 ダンパーブレースの設置状況（王渡橋）

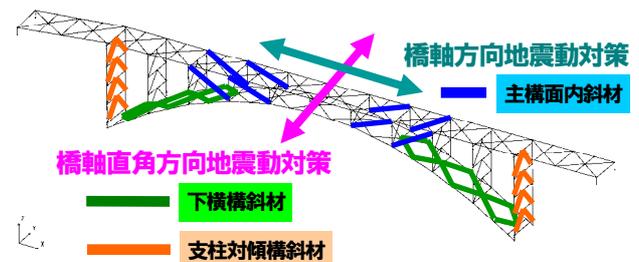


図-6 ダンパーブレースの配置（王渡橋）

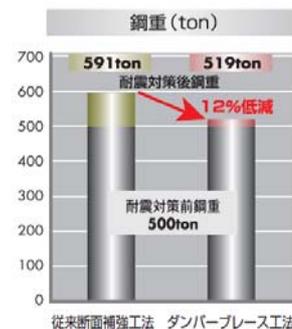


図-7 耐震対策による鋼重増加の抑制効果（王渡橋）

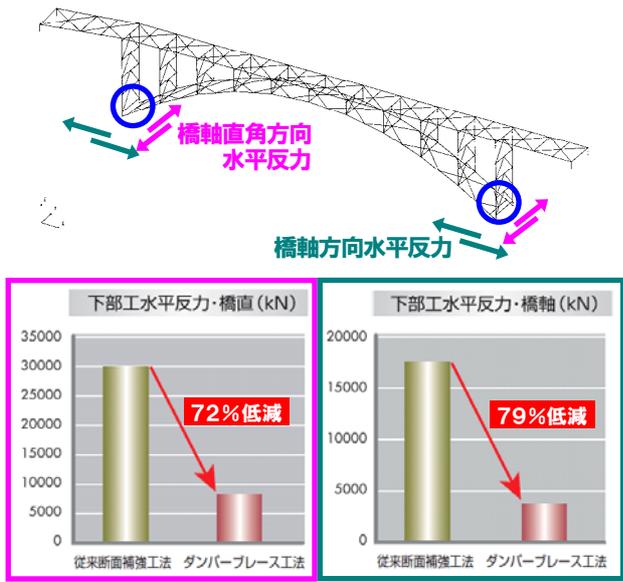
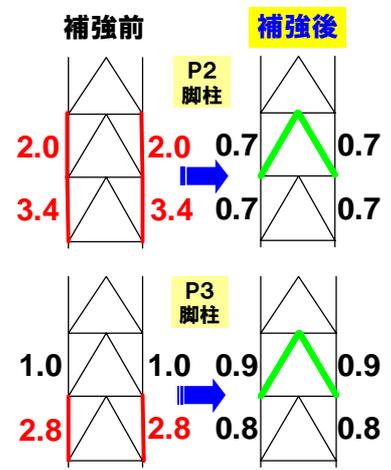


図-8 下部工に作用する水平反力の低減効果（王渡橋）

(2) 既設橋の耐震補強

a) 平林大橋（広島高速道路公社）[2006年]<sup>6)</sup>  
 広島高速1号線平林大橋は1985年（上り線）および1995年（下り線）に完成した橋長125m、主径間54mの鋼方杖ラーメン橋である。

橋軸直角方向のレベル2地震対策として脚柱斜材にダンパーブレースが設置され、あて板補強や脚柱基部の固定化などの対策と協働して効率的かつ経済的な耐震対策を実現した(図-9, 図-10)。補強前では最大で許容値の3倍を超えることが判明した脚柱の応力度を補強後には全て許容値内に収めることができた(図-11)。



図中の数値  
 発生応力度/降伏・座屈応力度  
 (許容値以内 ≤ 1.0 < 応力超過)

図-11 脚柱の応力低減効果（平林大橋）

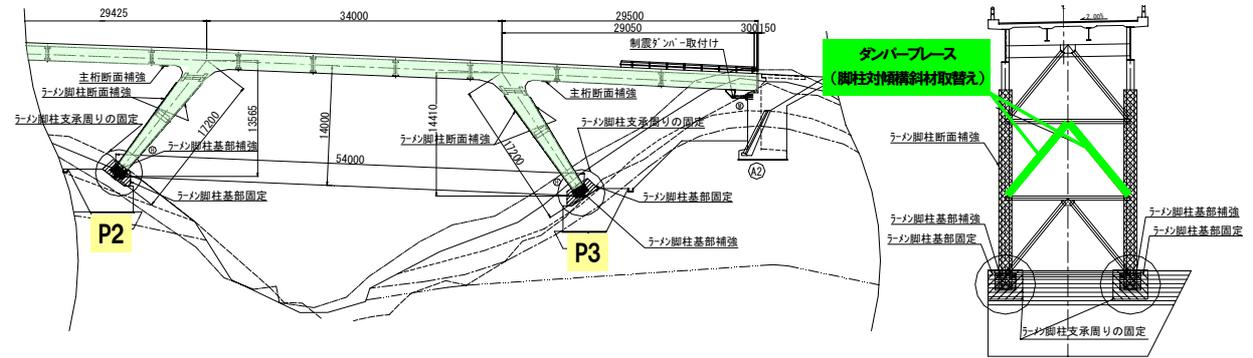


図-9 耐震対策の概要（平林大橋）



図-10 ダンパーブレースの設置状況（平林大橋）

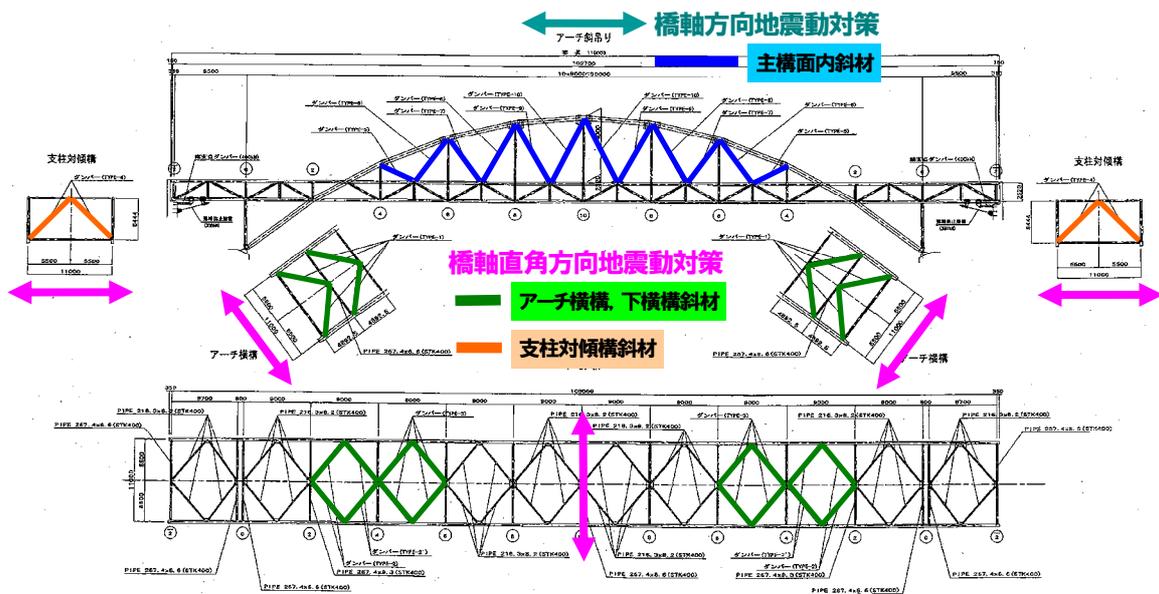


図-12 ダンパーブレースの配置 (伊達橋)



図-13 ダンパーブレースの設置状況 (伊達橋)

**b) 伊達橋 (国土交通省 中国地方整備局 岡山国道事務所)**  
[2007年]

伊達橋は岡山県玉野スポーツセンターに隣接する伊達池に架かる橋長110m、主径間90mの鋼中落式ランガー桁橋であり、1968年に完成した。

橋軸方向地震動に対しては主構面内への追加斜材、橋軸直角方向地震動に対してはアーチ横構斜材、下横構斜材、および支柱対傾構斜材の取替え部材としてダンパーブレースが設置された(図-12、図-13)。

**4. まとめ**

ダンパーブレースの概要を示し、採用事例として中国地方の3橋を紹介した。ダンパーブレースを用いた制震設計は、耐震対策を効率的かつ経済的に実施する手法として新設橋、既設橋の耐震補強いずれに対しても有効である。

近い将来、既設橋の保全事業の優先度が急速に高まる事が予想され、相対的に新設橋の建設事業に充当できる予算は減少する見込みである。現状、鋼橋への制震設計適用は既設橋の耐震補強向けが主となっているが、今後は新設橋への積極的導入によって事業コストのさらなる縮減が期待される。

**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, 2002.3
- 2) (社) 日本鋼構造協会, 土木鋼構造物の動的耐震性能照査法と耐震性向上策, 2003.10
- 3) (社) 日本鋼構造協会, 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 2006.9
- 4) (社) 土木学会, 鋼・合成構造標準示方書 耐震設計編, 2008.2
- 5) 四條利久磨, 森下邦宏, 川島一彦, 浦辻和幸, 田中昭人 “ダンパーブレースによる新王渡橋 (仮称) の耐震性向上”, 土木学会第 58 回年次学術講演会, I-033, pp.65-66, 2003.9
- 6) 上野慶太, 前川 勉, 森野真之, “ダンパーブレースを用いた既設方杖ラーメン橋の耐震性向上策”, 土木学会第 62 回年次学術講演会, 6-221, pp.441-442, 2007.9