

鋼上部構造へのせん断型ダンパー・ブレースの適用に関する検討

岩田 隆弘¹・木下 幸治²

¹学生会員 岐阜大学大学院修士課程 自然科学技術研究科環境社会基盤工学専攻
(〒501-193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

E-mail: w4523006@edu.gifu-u.ac.jp

²正会員 岐阜大学准教授 工学部社会基盤学科 (同上)

E-mail: kinosita@gifu-u.ac.jp

これまでに、鋼上部構造対傾構への地震エネルギー吸収部材であるダンパー・ブレースの適用性が検証され、ダンパー・ブレース設置による下部構造への地震力低減効果が示されてきた。本研究は、鋼上部構造対傾構へのせん断型ダンパー・ブレースの適用性の検討を行うことを目的とした。まず、これまでに構築した縮小試験システムを用いて、対傾構を設置した鋼上部構造の降伏荷重程度までの荷重－変位曲線を実験的に得ることを試みた。その後、実験結果に基づいて構築したファイバー要素解析モデルを用いて、せん断型ダンパー・ブレースの地震力低減効果を検討した。ダンパー部は、既往の研究で提案されたせん断型ダンパーの実験結果を再現可能な FEM 解析モデルを構築した。

Key Words: steel superstructure, small-scaled model, fiber analysis, cyclic loading test, shear damper

1. はじめに

大地震において、これまでに橋梁構造物における主構造の橋脚や鋼桁の損傷や、対傾構や横構など、橋梁構造物全体の損傷が報告¹⁾されてきており、橋梁構造物全体の高耐震性能化が求められる。

橋梁構造物全体の高耐震性能化を実現する上で、エネルギー吸収効果が期待できるダンパー・ブレースの二次部材である鋼上部構造の対傾構などへの適用により、上部構造の慣性力低減に繋がると考えられる。これに伴い、橋梁下部構に作用する地震力を低減することができ、橋梁構造物全体の高耐震性能化に進むと考えられる²⁾。

既往の研究では、鋼上部構造の対傾構への地震エネルギー吸収部材であるダンパー・ブレースの適用性が検証されてきており、ダンパー・ブレースによる地震力の低減効果が示されてきた³⁾。

著者らはこれまでに、更なる対傾構へのダンパー・ブレースの適用性の検討に向けて、鋼上部構造の縮小試験システムの構築、ファイバー要素解析による簡易で高精度な解析手法の構築、ブレースを設置した鋼上部構造の剛性評価のための力学モデルの構築を行ってきた⁴⁾。

本研究は、鋼上部構造対傾構へのせん断型ダンパー・ブレースの適用性の検討を行うことを目的とした。まず、

これまでに構築した縮小試験システムを用いて、対傾構を設置した鋼上部構造の降伏荷重程度までの荷重－変位曲線を実験的に得ることを試みた。その後、実験結果に基づいて構築したファイバー要素解析モデルを用いて、せん断型ダンパー・ブレースの地震力低減効果を検討した。ダンパー部は、既往の研究で提案されたせん断型ダンパーの実験結果を再現可能な FEM 解析モデルを構築した。また、ダンパー・ブレースを設置した鋼上部構造の耐力計算法についても検証した。

2. せん断型ダンパー・ブレースの概要

ここでは、本研究で検討を進めるせん断型ダンパー・ブレースについて概説する。せん断型ダンパー・ブレースは、既設あるいは新設橋梁の対傾構部に設置し、対傾構に作用する軸方向力がせん断力に変換され、橋軸直角方向の地震力に対し、そのエネルギー吸収効果と地震力低減効果を発現させる。図-1に既往の研究で提案されたダンパーの詳細図⁵⁾、およびダンパーの設置概要を示す。本ダンパーは、板にスリットを設けるだけで非常に単純な構造となっており、製作コストが低くまた、軸降伏ではなくせん断降伏させることにより、小変形領域からも

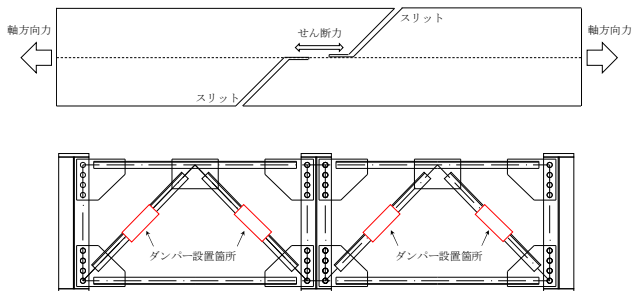


図-1 ダンパーの概要とその設置箇所

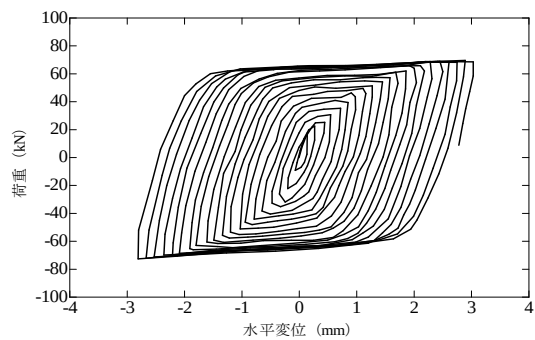
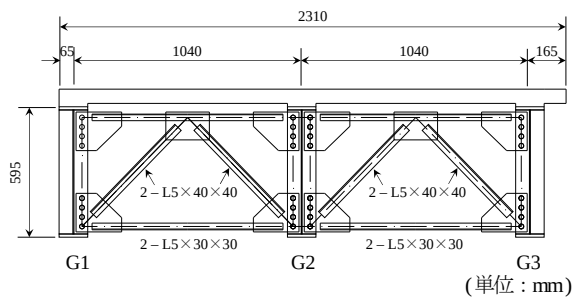
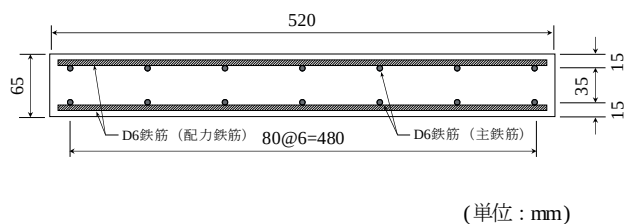


図-2 既往の研究のダンパーの履歴特性⁵⁾



(a) 全体図



(b) 配筋図 (橋軸直角断面)

図-3 試験体図面

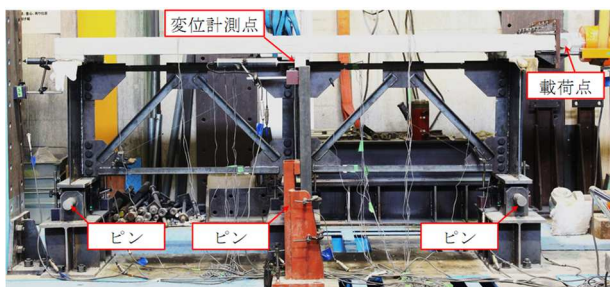


図-4 試験システム

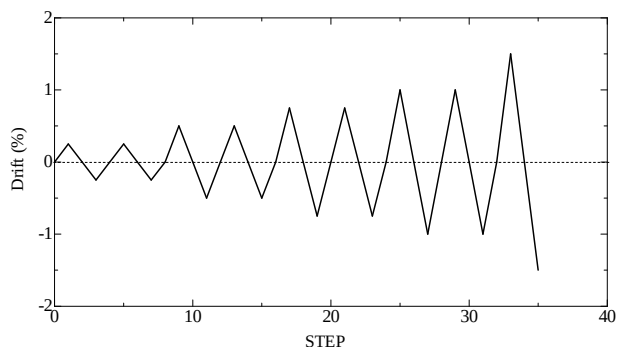


図-5 荷重サイクル

そのエネルギー吸収効果を発現することが可能である。図-2 にその履歴特性⁵⁾を示す。本ダンパーは非常に安定した履歴ループを描いている。本研究では、本ダンパーを対傾構に設置することによる効果について検討を進めていく。

3. 縮小試験体を用いた荷重実験

本章では、対傾構を設置した鋼上部構造の縮小試験体の試験システムの概要と、実施した荷重試験の結果から得られた力学特性について示す。

(1) 試験システムの概要

図-3、図-4 に縮小試験体の図面と試験システムを示す。

ここでは、荷重部から最も遠い桁からそれぞれ G1, G2, G3 とする。荷重実験には、これまでに著者らがこれまでに構築した鋼上部構造を対象とした縮小試験体荷重試験システム⁴⁾を用いることとした。縮小試験体は、文献 3) の大型試験体を基に作成され、実大の 0.24 スケールの縮小試験体であり、コンクリート床版を有する鋼 I 桁断面 3 主桁から一部を抜き出したものである。試験体下端はピン構造とされ、主桁上部とコンクリート床版の結合部にずれ止めとしてスタッドが用いられている⁴⁾。本研究では上記の縮小試験体に対し、対傾構を設置している。

荷重試験では、鋼製フレーム内に試験体を設置し、油圧ジャッキにより繰返し水平力を与えた。繰返し荷重は、著者らがこれまでに行った荷重実験と同様に漸増型繰返し荷重で、各 2 サイクル荷重を行う⁴⁾。試験中の荷重は、変位制御で行い、主桁高さに対する水平変位 δ (mm)

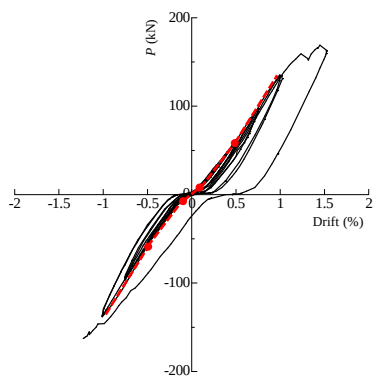


図-6 荷重変位関係

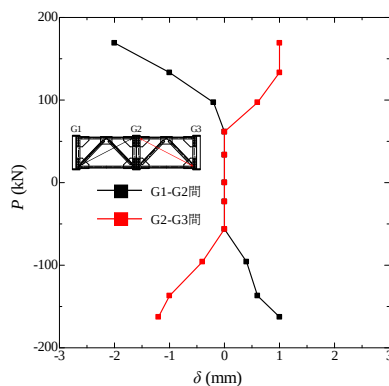


図-7 対傾構部の斜め変位

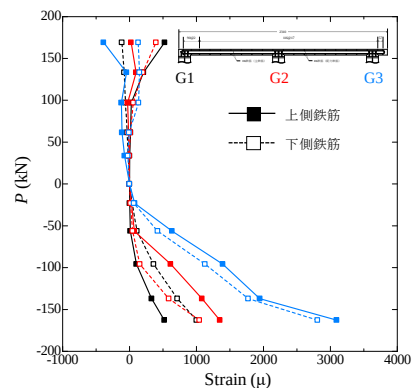
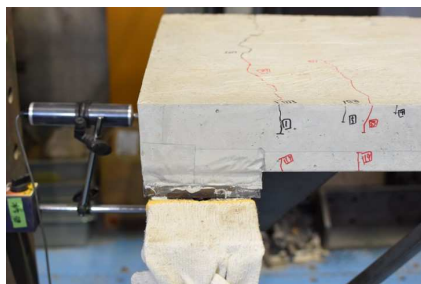
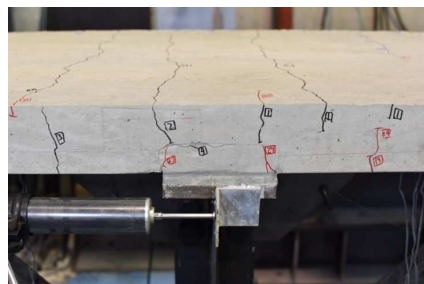


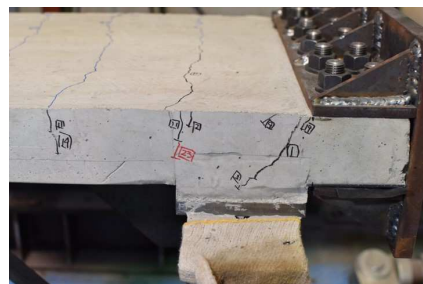
図-8 床版鉄筋のひずみ



(a) G1



(b) G2



(c) G3

図-9 床版の損傷状態

の割合を **Drift 率 (%)** とし、1.0%までは $\pm 0.25\%$ ずつ増加させ、それ以降は $\pm 0.5\%$ ずつ変動させた(図-5)。なお、後述するが本研究では対傾構を設置した載荷実験では対傾構の降伏程度までの載荷後に、ダンパー・ブレースへの取替を行い再度実験を行うため、ここでは対傾構の降伏程度まで載荷を行い試験を終了している。

(2) 荷重変位関係

載荷実験結果として、図-6に荷重変位関係を示す。この時、水平変位 δ は**Drift 率 (%)**としている。結果より、Drift 率1.0%までは比較的線形挙動を示しているが、それ以降は剛性が低下しており、この時に、対傾構が降伏したと判定し、Drift 率1.5%で載荷を終了した。

ここで、図-6内に破線で示すように対傾構の降伏までの荷重変位関係の包絡線は2段階の剛性の上昇が確認できる。これについては、1段階目は鋼桁下端に設けたヒンジ端(ピン)の遊間による試験体にずれか原因であり、2段階目は図-7に示すように対傾構部の斜め変位が $\pm 50\text{kN}$ 付近(Drift 率における $\pm 0.5\%$)まで出ていないことが原因であると考えられる。そのため、滑り区間を過ぎて剛性が高くなり、一定となった区間の剛性を試験体の剛性(26.6kN/mm)として取り扱った。

(3) コンクリート床版の損傷状況

図-8にコンクリート床版の鉄筋のひずみ量を示す。図-8の横軸がひずみ(μ)、縦軸が荷重(kN)を示してい

る。ここでは、G1~G3直上における中央の主鉄筋の軸方向ひずみを計測した。図-8より、G3部のひずみは、 -50kN 付近(Drift 率における -0.5%)に至ると急激に引張側に増大し、載荷終了時には降伏ひずみ程度まで達する結果となった。これは、静的載荷の負側(引き側)の際に、載荷部近傍であるG3付近の鉄筋に局所的な変形が作用したことによるものと考えられる。一方、G1、G2ではひずみ量は小さく、降伏程度に達していない。

図-9に載荷終了のコンクリート床版の損傷状態を示す。G1およびG2直上のコンクリート床版の損傷は、比較的軽微であり断面が急変するハッチ部の応力集中部から床版厚さ方向にひび割れが発生している程度であった。一方、G3では、載荷治具より斜め方向にひび割れが発生している。以上より、G1、G2においては損傷が非常に軽微な状態であることがわかる。

4. ファイバー解析モデルの検討

本章では、前章で行った実験を基に、対傾構を設置した解析モデルの検討を行なう。また、解析結果から損傷順序を解析的にも明らかとする。

(1) 解析モデル

図-10に解析モデルを示す。解析モデルは、著者らがこれまでに構築した鋼上部構造のファイバー要素解析モ

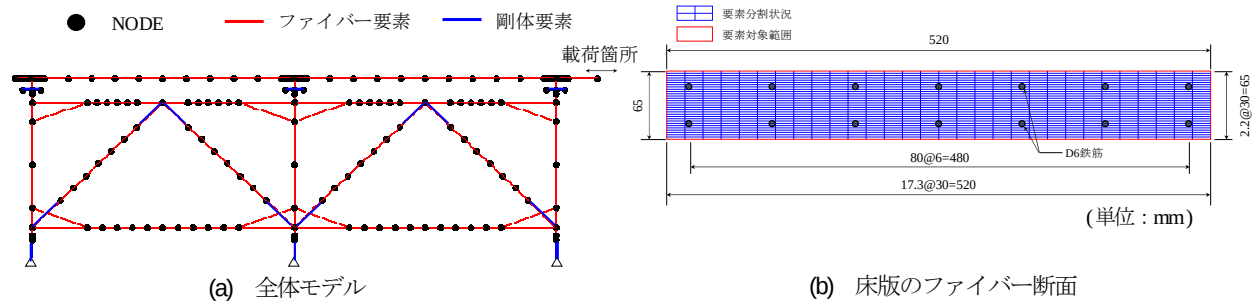


図-10 ファイバー要素解析モデル

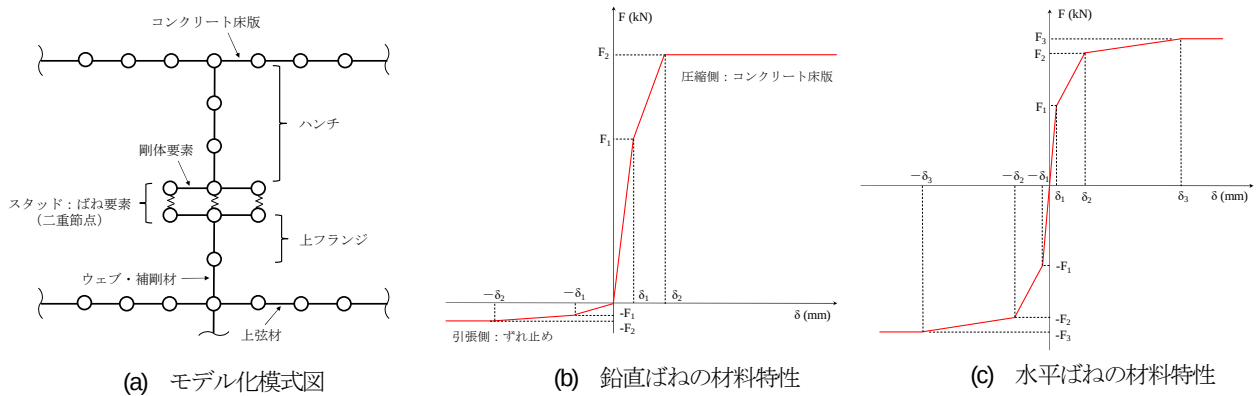


図-11 ばね要素によるスタッドのモデル化

デル⁴⁾をベースとする。コンクリート床版のファイバー断面の要素分割は、床版厚および床版幅ともに30分割としている。また、コンクリート床版内の鉄筋は、主鉄筋のみモデル化し、配力鉄筋についてはモデル化を行っていない。

図-11(a)にスタッドのモデル化の概念図と材料特性を示す。スタッドのモデル化には、ばね要素を使用し、コンクリート床版の下面と鋼桁上フランジ上面の間に取り付けられた水平ばねと鉛直ばねでモデル化している。鋼桁ひとつあたり鋼桁上フランジ中央部に9本、外縁に6本とスタッドが取り付けられている。また、スタッドは鋼桁ひとつあたりに対して、橋軸方向に3列で配置されているため、コンクリート床版の下面のノードおよび鋼桁上フランジのノードから左右に剛体要素を設け、ひとつあたりの鋼桁に3つのばね要素でモデル化した。図-11(b)に鉛直ばねの材料特性を示す。鉛直ばね特性は、引張側をスタッド、圧縮側をコンクリートが抵抗するモデルとし非対称のトリリニアモデルとした。スタッドの初期勾配 k_{vs} およびコンクリートの初期勾配 k_{vc} には次式より算定した。

$$k_{vs} = \frac{E_s A_s}{L_s} \quad (1)$$

$$k_{vc} = \frac{E_c A_c}{2d_c} \quad (2)$$

ここで、 E_s はスタッドの弾性係数、 A_s はスタッドの総断面積、 L_s はスタッドの長さ、 E_c はコンクリートの弾性係数、 A_c はコンクリート床版と接する部分の鋼上フランジの面積、 $2d_c$ は床版厚である。図-11(c)に水平ばねの材料特性を示す。文献6)では押し抜き試験結果より、スタッドの剛度を決定しているが、本研究では、スタッドの断面積 A_s 、スタッドの長さ L_s をパラメータに文献6)で示されている値を換算し、剛度を決定した。

また、各部材の材料特性を図-12に示す。コンクリートは、コンクリートの圧縮側の材料特性には、JSCEの非線形モデル⁷⁾を用い、引張側は考慮せずゼロとして、弾性係数 E_c は 28000N/mm^2 とした。鉄筋の材料特性には降伏棚を考慮したトリリニアモデルとし、鋼板はバイリニアモデル⁸⁾とし、二次勾配を弾性係数 E_s の1.0%としている。対傾構のモデル化は、文献4)で構築したXブレースが設置された鋼上部構造の解析モデルと同様に、ガセットプレートとブレース材の結合部を剛体要素としてモデル化している。

(2) 解析結果

図-13に解析結果を示す。結果より、前述したように

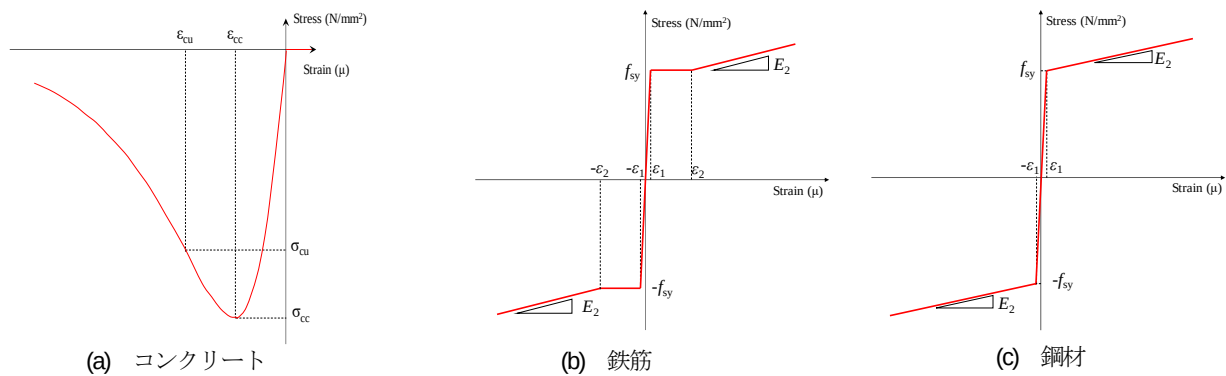


図-12 各部材の材料特性

実験における初期載荷時の滑りから初期剛性は一致しない。一方で、Drift 率が 1.0~1.5% 区間では耐力が概ね一致し、除荷時の剛性もよく一致する結果となった。

次に、各部材の損傷順序は、Drift 率が 0.5% 時に対傾構の端部より降伏が開始し、0.75% に達すると中央部の腹部が降伏した。その後、コンクリート床版に圧縮による軽微な損傷が確認され、1.0% に達すると上下弦材の端部より降伏が開始、その後コンクリートの G3 部分の鉄筋が降伏した。以上の結果より、Drift 率が 1.0~1.5% 区間では耐力一致し、除荷時の剛性もよく一致している。また、解析においても対傾構が他の部材に先行して降伏していることも解析的にも明らかとなった。

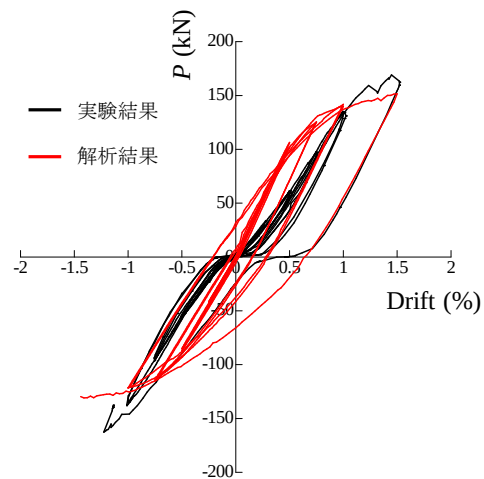


図-13 解析結果

5. 鋼上部構造へのせん断型ダンパーの適用性の検討

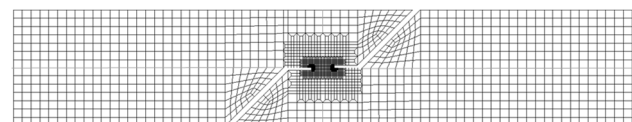
本章では、まず FEM 解析を用いて検討を進めるダンパーの履歴特性の再現について検討を行う。また、ダンパーを鋼上部構造の対傾構に設置した解析についても行う、その適用性の検討も行う。

(1) FEM 解析によるせん断ダンパーの履歴特性の再現

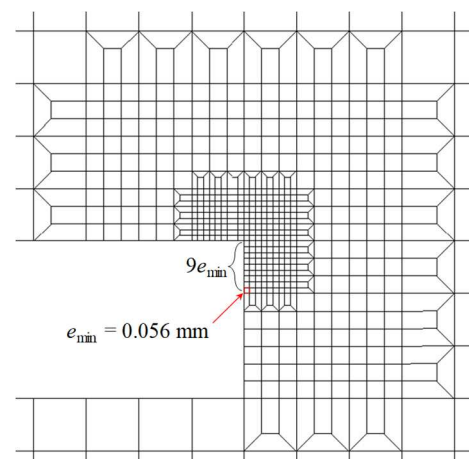
ここでは、せん断型ダンパー・ブレースのダンパー部の FEM 解析モデルの構築を目的に再現解析を行い、解析手法の妥当性の検討を行う。

FEM 解析には非線形汎用コードである ABAQUS⁹⁾を用いた。図-14 に解析モデルを示す。解析モデルは、シェル要素 (S4R) でモデル化している。また、図-14(b)に示す様に、試験体中央部に設けられたスリットの端部における応力集中箇所を最小要素寸法とし、その寸法を 0.056mm とした。また、応力集中箇所から離れるにつれて段階的に要素寸法を大きくしている。

対象ダンパーの鋼種は、極低降伏点鋼 (LY100) であるため、繰返しによるひずみ硬化を考慮する必要がある。



(a) 全体図



(b) 応力集中部詳細図

図-14 FEM 解析モデル

表-1 機械特性と混合硬化則のパラメータ

鋼種	E [GPa]	E_{st} [GPa]	σ_y [MPa]	混合硬化則で用いるパラメータ			
				Q^∞ [MPa]	β	E_0 [GPa]	γ
LY100	205	2.05	90	206.5	6.44	2.05	339

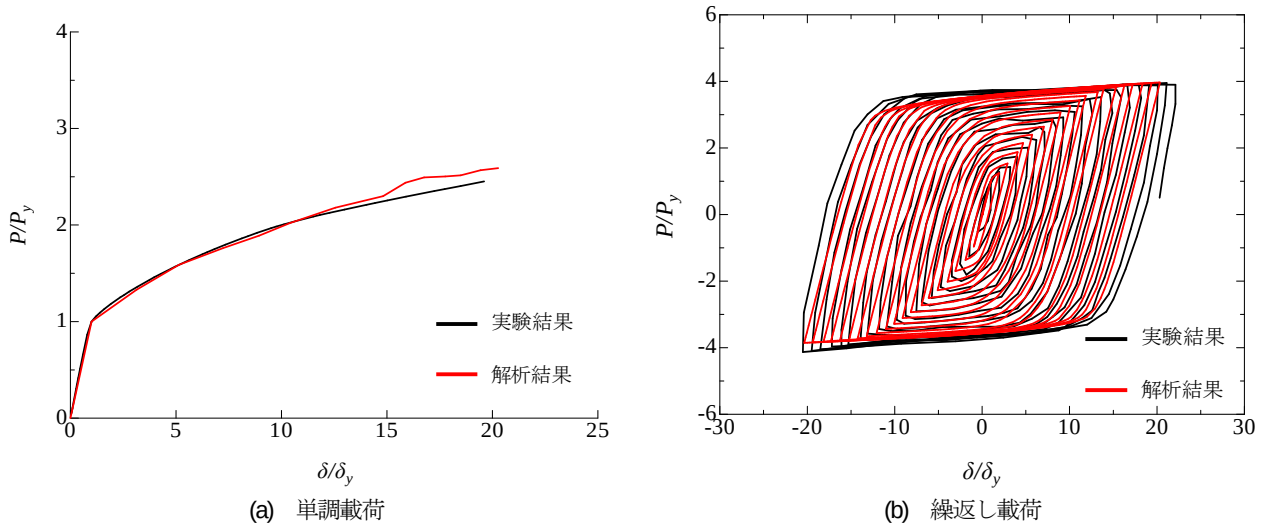


図-15 実験結果と解析結果の比較

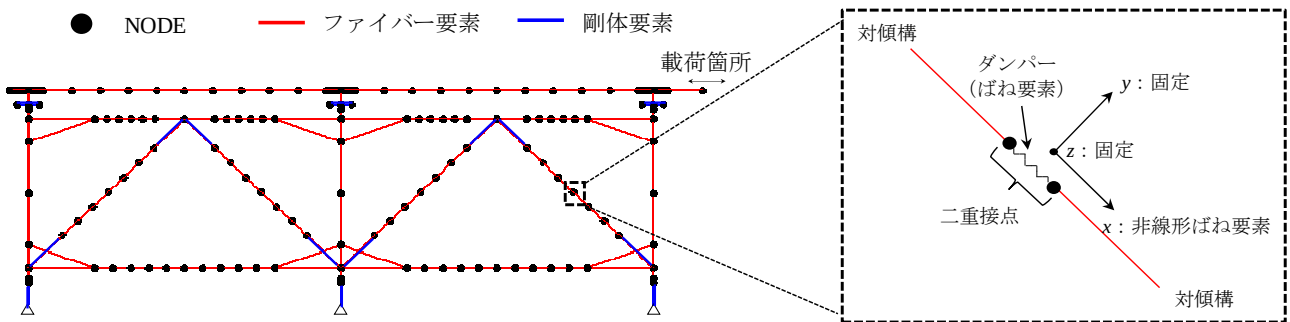


図-16 ファイバー解析におけるダンパーのモデル化

そこで、硬化則には混合硬化則⁹⁾を用いる。混合硬化則に用いるパラメータは弾性域の最大変化量 Q^∞ 、塑性変形に伴う弾性域の大きさを定めるパラメータ β 、移動硬化成分 E_0 、塑性変形に伴って硬化係数を低減させる γ の4つである。本解析で用いたパラメータを表-1に示す。各パラメータは既往のせん断ダンパーの繰返し試験結果より算定した。

図-15に単調荷重実験および繰返し荷重実験の結果と、解析結果を示す。図-15において、縦軸をダンパーの降伏荷重 P_y 、横軸を降伏変位 δ_y で無次元化している。結果より比較を行うと、単調荷重、繰返し荷重の両者とも実験結果をよく再現していると言える。以上より、硬化則に混合硬化則を用いた FEM 解析により実験結果をよ

く再現でき、解析モデルの妥当性を示した。

(2) せん断型ダンパー・ブレースを適用したファイバー要素解析

ここでは、前章で構築した鋼上部構造のファイバー要素解析モデルに対して、対傾構にせん断型ダンパーを導入した解析を行い、せん断型ダンパーが鋼上部構造に与える効果について解析的に検討を行う。

ダンパー部は、図-16に示す様にブレース中央に二重節点を設け、その節点同士をばね要素で接続することにより、モデル化することとした。図-17にダンパーの履歴特性を示す。使用する解析ソフトでは、ばね要素に繰返しのひずみ硬化による耐力上昇が再現できないため、

文献 10)を参考に、降伏強度を実際の 3 倍とし、実験結果の履歴特性を概ね再現できるモデルとした。

図-18 に解析結果を示す。なお、対傾構のみ設置の解析結果は、図-13 の解析において Drift 率±6.0%まで実施した結果である。結果より、ダンパーの設置により最大耐力の低下が確認できる。これにより地震力の低減効果が期待できる。また、小変位段階から安定したエネルギー吸収を示していることも確認できる。以上より、せん断型ダンパー・ブレースを対傾構に設置することにより、地震力低減効果とエネルギー吸収効果が期待できる。

6. 鋼上部構造の耐力計算手法の検討

本章では、せん断型ダンパー・ブレースの設計に必要な鋼上部構造の耐力計算手法について検討を行い、ファイバー要素解析との比較よりその妥当性を検討する。

(1) フレーム構造の耐力計算

まず、対傾構を設置しないフレーム構造のシステム計算および、フレーム構造の降伏判定について概説する。表-2 にシステム計算の概念と計算表¹⁰⁾を示す。フレーム構造ではコンクリート床版および上下弦材からなる構造の橋軸直角方向の剛性を並列ばねで評価する。なお、初期剛性は著者らがこれまでに構築した力学モデル⁴⁾より計算可能である。フレーム構造の降伏判定は、上下弦材の降伏、RC 床版の終局より判定を行う。上下弦材の降伏判定には、力学モデル⁴⁾により上下弦材の部材端モーメントが、降伏モーメント M_{cy} に達した時とし、降伏モーメント M_{cy} は次式で求まる。

$$M_{cy} = \frac{\sigma_{cy} I_c}{y_c} \quad (3)$$

ここで、 σ_{cy} は上下弦材の降伏応力、 I_c は上下弦材の断面二次モーメント、 y_c は中立軸からの最大応力となる位置の距離である。また、コンクリート床版の終局判定も同様に、力学モデル⁴⁾よりコンクリート床版の部材端モーメントが、終局モーメント M_u に達した時とし、終局モーメント M_u は次式より求まる。

$$M_u = C'_c(d - 0.4x) + C'_s(d - d')$$

$$C'_c = 0.68f'_cxb \quad (4)$$

$$C'_s = A'_sf_{sy}$$

ここで、 d は引張鉄筋の有効高さ、 d' は圧縮鉄筋の有効高さ、 x は中立軸距離、 C'_c はコンクリートの圧縮合力、 f'_c はコンクリートの圧縮強度、 b は床版幅、 C'_s は圧縮鉄筋の圧縮力、 A'_s は圧縮鉄筋の断面積、 f_{sy} は圧縮鉄筋の降伏強度である。以上のシステム計算方法と上下弦材の降伏判定、コンクリート床版の終局判定よりフレー

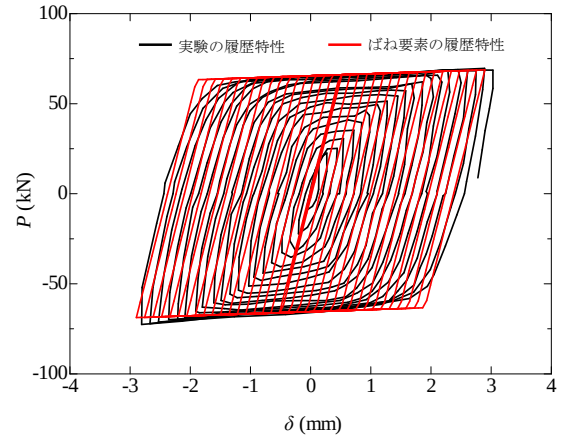


図-17 ダンパーの履歴特性

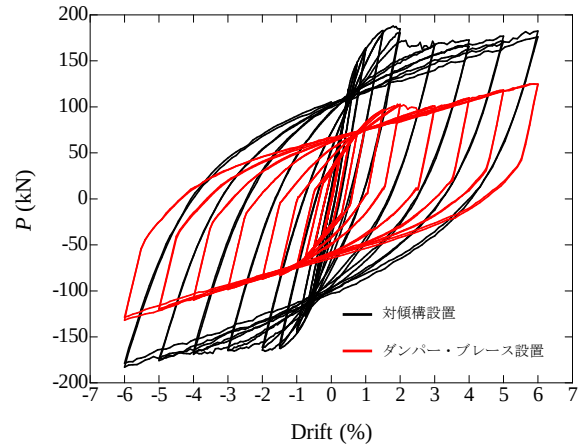


図-18 解析結果の比較

ム構造の耐力計算を行った結果とファイバー解析の結果⁴⁾の比較を図-19 に示す。結果より、本計算手法より、フレームの二次剛性までよく一致する結果となっている。また、コンクリート床版の終局後は、解析および実験の結果を参考に、これ以上の耐力上昇はないものとし、三次勾配の傾きを 0 とすることで、フレーム構造の骨格曲線を再現することが可能である。

(2) ダンパー・ブレースを設置した耐力計算

ダンパー・ブレースはブレースとダンパーの直列ばねとして評価し、耐力計算を行う。対傾構の二次勾配は初期剛性の 1/100 として計算を行う。また、ダンパーの二次剛性については、前章で行った FEM 解析を基に初期剛性の 1/100 とした。ダンパー・ブレースをフレーム構造に設置した場合の計算方法については、フレーム計算と同様にダンパー・ブレースとフレーム構造からなる並列ばねでモデル化して計算を行うことができる。

図-20 に、鋼上部構造に対傾構を設置した場合の耐力計算結果と解析結果の比較、図-21 に鋼上部構造にダンパー・ブレースを設置した場合の耐力計算結果と解析結果の比較を示す。結果より両者とも耐力計算による初期

表-2 フレーム構造およびダンパー・ブレースのシステム計算

	床版	上下弦材	フレーム	ブレース	ダンパー	ダンパー・ブレース
モデル						
骨格曲線						
弾性剛性	K_{deck}	K_{chord}	$K=K_{chord}+K_{deck}$	K_b	K_d	$K=\frac{K_d}{K_d/K_b+1}$
貯蔵剛性		$K'_{chord}=K_{chord}/\mu_{chord}$	$K'=K_{deck}+K'_{chord}$			
蘇生率		$\mu_{chord}=\delta_{deck,y}/\delta_{chord,y}$				
降伏変位	$\delta_{deck,y}$	$\delta_{chord,y}$	$\delta_{chord,y}$	$\delta_{b,y}$	$\delta_{d,y}$	$\delta_y=\left(\frac{K_d}{K_b}+1\right)\delta_{dy}$

剛性および骨格曲線の形状がよく一致している。ここで、ファイバー解析の結果は、繰返し载荷による解析の包絡線を示したものであり、一度最大耐力を迎えた後に耐力低下を示すが、これはコンクリート床版の終局計算時に計算が不安定になることによる耐力低下であり、収束計算が安定した後は再度耐力上昇を示している。以上より、力学モデルとシステム計算を用いた鋼上部構造の耐力計算手法とファイバー要素解析の比較より同等の結果が得られたことから本計算手法を用いて鋼上部構造の耐力計算が可能であることを示した。

7. まとめ

本研究では、対鋼上部構造対傾構へのせん断型ダンパー・ブレースの適用性の検討を行うことを目的とした。まず、これまでに構築した縮小試験システムを用いて、対傾構を設置した鋼上部構造の降伏荷重程度までの荷重-変位曲線を実験的に得ることを試みた。その後、実験結果に基づいて構築したファイバー要素解析モデルを用いて、せん断型ダンパー・ブレースの地震力低減効果を検討した。ダンパー部は、既往の研究で提案されたせん断型ダンパーの実験結果を再現可能な FEM 解析モデルを構築した。また、ダンパー・ブレースを設置した鋼上部構造の耐力計算手法についても検証した。その成果を以下にまとめる。

- 1) 対傾構の降伏程度までの载荷実験を実施し、実験結果を基に検証したファイバー要素による解析モデルは、実験時における载荷初期の滑りにより初

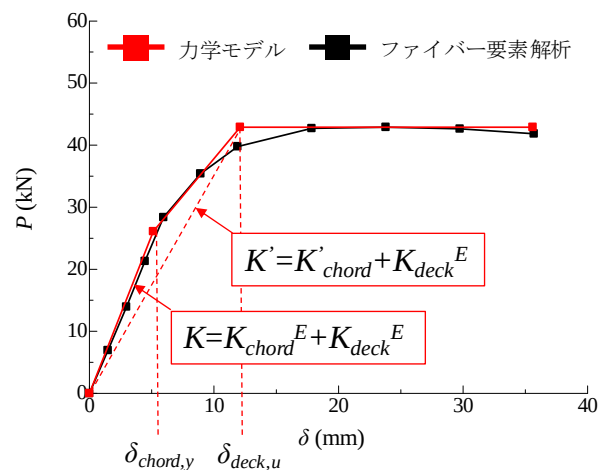


図-19 フレーム構造の計算結果

期剛性は一致しないが、滑り区間を過ぎて剛性が高くなる区間、すなわち Drift 率が 1.0~1.5%区間では耐力および剛性が一致し、解析モデルの妥当性を示した。

- 2) 既往の研究を基にダンパーの FEM 解析モデルの構築を行い、単調载荷の荷重変位関係を再現した。また、繰返しによるひずみ硬化を考慮した混合硬化則を用いて、履歴特性を再現した。
- 3) ダンパーの履歴特性を既往の実験結果から近似し、鋼上部構造のファイバー解析に適用させた結果、载荷初期段階からエネルギー吸収効果を示し、また地震力の低減効果を示した。
- 4) 上部構造の耐力計算において、上部構造およびダンパー・ブレースの耐力計算手法を検討し、ファ

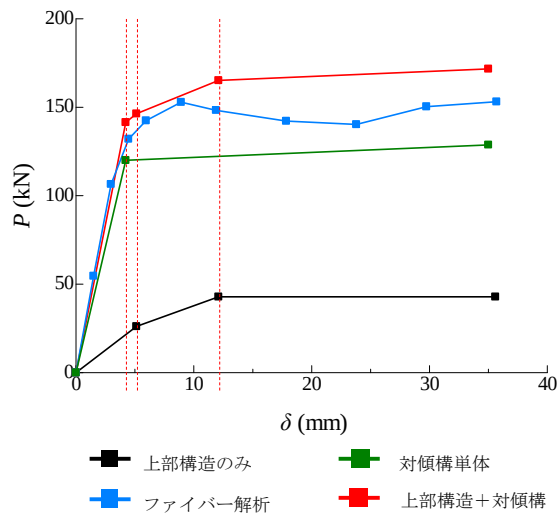


図-20 対傾構+上部構造の計算結果

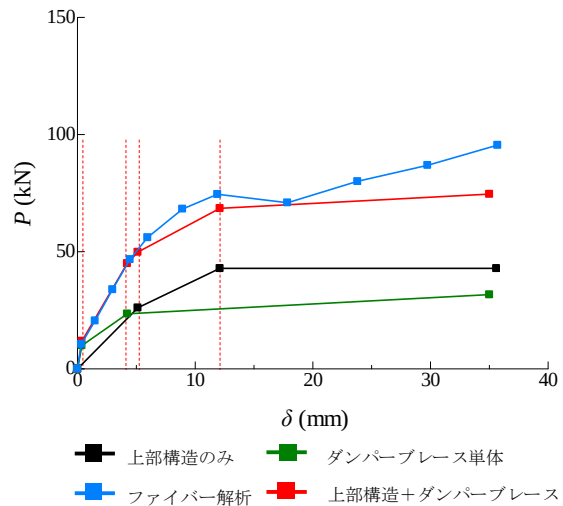


図-21 ダンパー・ブレース+上部構造の計算結果

イバー要素解析の結果と比較することでその有用性を示した。

本研究では、ダンパーの履歴特性に既往の実験結果を利用して、その適用性を検討した。今後は、ダンパーの定式化を進め、定式化したダンパーの剛性式より履歴特性を決定、ダンパーの設計を進めていく。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所：平成28年熊本地震土木施設被害調査報告，国総研資料 第967号，2017。
- 2) Carden, L. P., Itani, A. M. and Buckle, I. G. : Seismic performance of steel girder bridges with ductile cross frames using single angle X braces, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, pp. 329-337, March 2006.
- 3) Bahrami, H., Itani, A. and Buckle, I. : Guidelines for the seismic design of ductile end cross frames in steel girder bridge superstructures, Center for Civil Engineering Earthquake Research, UNR, Report No. CCEER 09-04, July 2010.
- 4) 木下幸治，岩田隆弘，井上一磨：鋼上部構造へのダンパ

ー・ブレースの適用性を検討可能な縮小試験体と解析手法の構築，地震工学論文集，2018。（掲載予定）

- 5) 古庄龍悟，休場裕子，三木千尋：極低降伏点鋼のせん断特性に関する研究，土木学会第55回年次学術講演会，I-B164-165，2000。
- 6) 中島章典，池川真也，山田俊行，阿部英彦：ずれ止めの非線形性を考慮した不完全合成桁の弾塑性解析，土木学会論文集，No.537/I-35，pp.97-106，1996.4。
- 7) 土木学会：2002年制定コンクリート標準示方書[耐震性能照査編]，pp.23
- 8) 堺淳一，川島一彦：部分的な除荷・载荷を含む履歴を表す修正 Menogotto-Pinto モデルの提案，土木学会論文集，No. 738/I-64，pp. 159-169，2003。
- 9) Habbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. : ABAQUS/Standard User's Manual, Version 6.14
- 10) 社団法人 日本免震構造協会：パッシブ制震構造 設計・施工マニュアル，pp.80-84，2003。
- 11) 社団法人 日本免震構造協会：パッシブ制震構造 設計・施工マニュアル，pp.23-24，2003。

INVESTIGATION OF APPLICATION OF SHEAR DAMPERS TO CROSS FRAMES OF STEEL SUPERSTRUCTURES

Takahiro Iwata and Koji Kinoshita

In previous studies, applicability of dampers braces, which are used as earthquake energy absorbing members to cross frames of the steel superstructure, has been verified and the effect of reducing the seismic force by the damper brace has been demonstrated. In this study, investigation of dampers braces to the steel superstructure was studied by using the small-scaled test system, fiber element analysis model, and dynamic model constructed.