

せん断型ダンパー・ブレースを有する 鋼上部構造の力学特性

岩田 隆弘¹・木下 幸治²

¹ 学生会員 岐阜大学大学院博士課程 工学研究科工学専攻 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

E-mail: y3921004@edu.gifu-u.ac.jp

² 正会員 岐阜大学准教授 工学部社会基盤工学科 (同上)

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

既往の研究において、鋼上部構造の対傾構を地震エネルギー吸収部材であるダンパー・ブレースとすることで、下部構造への地震力が低減可能であることが示されてきている。本研究は、鋼上部構造対傾構のダンパー・ブレース化としてせん断型ダンパーを用いたダンパー・ブレースの検討を行うことを目的とした。具体的には、軸方向力作用下で小さい変形から大きなエネルギー吸収を期待できると考えられるせん断型ダンパーの要素試験を行い、パラメータ解析を基に決定した補正係数を考慮した初期剛性計算式を提案した。その上で、提案設計式に基づき設計したせん断型ダンパーを対傾構と取替えた上部構造の載荷実験およびダンパー・ブレース単体の FEM 解析を行い、その力学特性を明らかにした。

Key Words: steel superstructure, cyclic loading test, shear damper brace

1. はじめに

兵庫県南部地震で多数の橋梁構造物の損傷が報告されている中で、鋼上部構造の各部材の損傷により、橋梁下部構造の損傷が軽減された事例が報告されてきている¹³⁾。この事例を基に、上部構造の部材に塑性化を考慮することによる地震力低減の可能性が考えられ、既往の研究では鋼上部構造での地震エネルギー吸収を目的に対傾構をダンパー・ブレース化することで下部構造への地震力が低減可能であることが示されてきた⁴⁵⁾。

著者らは、既往の研究⁴⁵⁾を基に鋼上部構造対傾構のダンパー・ブレース化に関する検討を進めている。まず、本検討を進める上で必要不可欠な縮小試験システムを実験的並びに解析的手法により構築した⁶⁷⁾。その中では、対傾構の有無による比較検討も行ってきた。

本研究では、鋼上部構造対傾構のダンパー・ブレース

化の検討を行うことを目的とした。具体的には、軸方向力作用下で小さい変形から大きなエネルギー吸収を期待できると考えられるせん断型ダンパー⁸⁾の要素試験を行い、パラメータ解析を基に決定した補正係数を考慮した初期剛性計算式を提案する。その上で、提案設計式に基づき設計したせん断型ダンパーを対傾構と取替えた載荷実験・解析を行い、その力学特性を把握する。

2. せん断型ダンパーの要素試験

(1) 実験概要

図-1 にせん断型ダンパーの要素試験体を示す。古庄らは、軸方向力が作用した時にスリットにより設けられたせん断面でせん断降伏するダンパーを検討している⁸⁾。本研究では、古庄らによって検討されたせん断型ダンパ

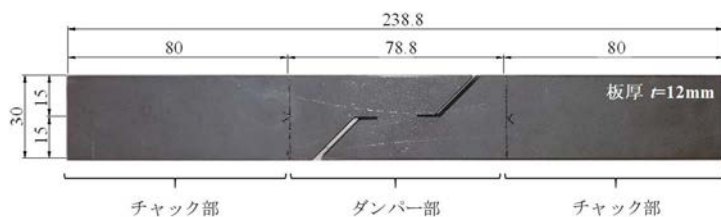


図-1 せん断型ダンパー要素試験体 (単位: mm)

表-1 材料定数

	No.1	No.2	No.3	Average
Modulus of Elastic E [GPa]	207	208	207	207
Yield Stress σ_y [MPa]	235	239	236	237
Ultimate Stress σ_u [MPa]	308	307	309	308
Ultimate Elongation [%]	40.9	42.0	44.3	42.4

一に着目し、それを基に試験体を製作した。また、図-1のせん断型ダンパーはLY225材よりなる鋼板を用いて製作した。本研究において、せん断型ダンパーに使用する材料と同じ鋼板から引張試験片を3体製作し、引張試験により求めた材料定数を表-1に示す。要素試験には、200kN 材料試験機を使用し軸方向力を作用させた。荷重方法は単調に引張軸力を作用させる単調荷重試験と、両振で引張圧縮軸力を作用させる繰返し荷重試験を実施した。なお、繰返し荷重試験では、単調荷重試験で得た降伏変位を δ_y とし、 $\pm 1\delta_y$ ずつ増加させた(図-2)。

(2) 試験結果

図-3に要素試験結果の荷重-変位関係を示す。結果より、繰返し荷重試験では安定した履歴曲線を描きエネルギー吸収が期待できる。なお、圧縮側の変位で $-12\delta_y$ となったところで、荷重の上昇が見られるが、これは変形に伴うスリット部の接触によるものである。また、単調荷重試験と繰返し荷重試験との比較より、繰返し硬化による荷重上昇が課題に挙げられる。

3. せん断型ダンパーの初期剛性計算式の提案

(1) せん断型ダンパーの初期剛性計算式

図-4にせん断型ダンパーの初期剛性計算式を提案する上での概念図を示す。これは、せん断型ダンパーを断面変化ごとに7分割し、それぞれ分割した要素を1つのばね要素として考えている。分割した要素ごとに剛性式を決定し、せん断型ダンパー全体を直列ばねで仮定している。この時A1、A2およびA3は軸剛性、S1はせん断剛性で考える。

a) A1部の剛性

A1部は軸剛性で考える。A1部の軸応力 σ_{A1} は次式で示される。

$$\sigma_{A1} = E\varepsilon_{A1} = E \frac{\Delta L_{A1}}{L_1} = \frac{P}{B_1 t} \quad (1)$$

このとき、 E は鋼材のヤング係数、 ε_{A1} はA1部の軸ひずみ、 ΔL_{A1} はA1部の軸変形量である。(1)式より、A1の軸剛性は次式で示される。

$$K_{A1} = \frac{P}{\Delta L_{A1}} = \frac{EB_1 t}{L_1} \quad (2)$$

b) A2部の剛性

A2部の剛性もA1部と同様に軸剛性で考えるが、図-4に示すように断面変化を有するため、断面変化を考慮した軸剛性式となる。まず、軸方向の任意点 x における断面 A_x は次式で求められる。

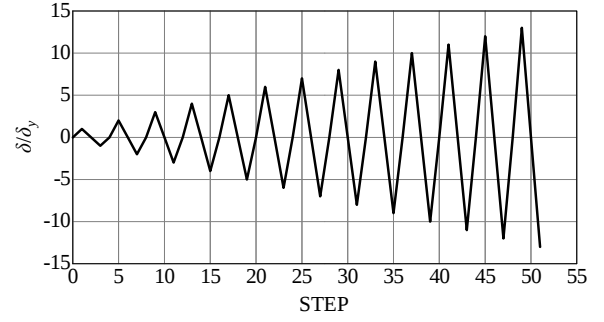


図-2 要素試験の荷重ステップ

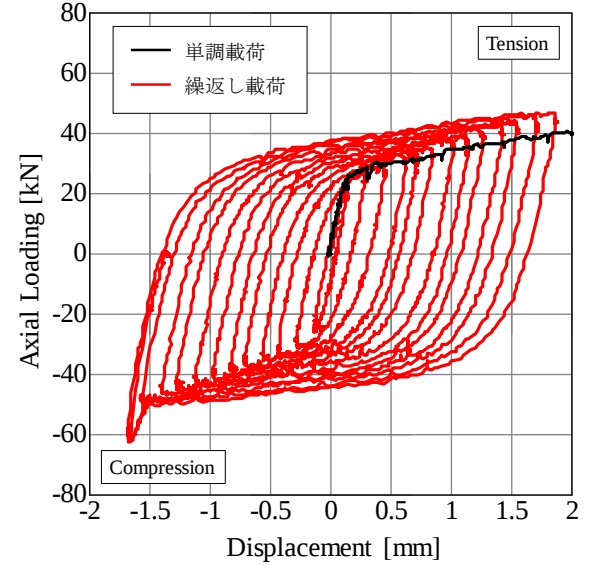


図-3 要素試験結果

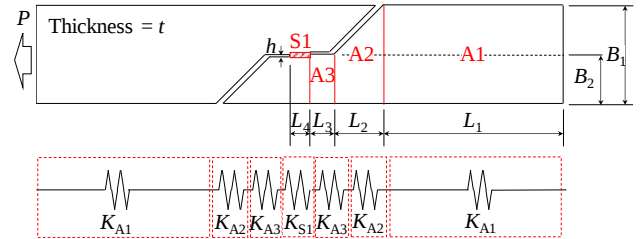


図-4 概念図

$$A_x = \left(B_2 + \frac{B_1 - B_2}{L_2} x \right) t = \frac{B_1(L_2 + x)}{2L_2} t \quad (3)$$

次に、任意点 x における微小変位量 $d\lambda$ は次式で求められる。

$$d\lambda = \frac{\sigma_x}{E} dx = \frac{P}{A_x E} dx = \frac{P}{\frac{B_1(L_2 + x)}{2L_2} t E} dx \quad (4)$$

このとき、 σ_x は任意点 x における軸応力である。A2部全体の軸変形量 ΔL_2 は、微小変位量 $d\lambda$ をA2区間で積分することで求めるため、次式で求められる。

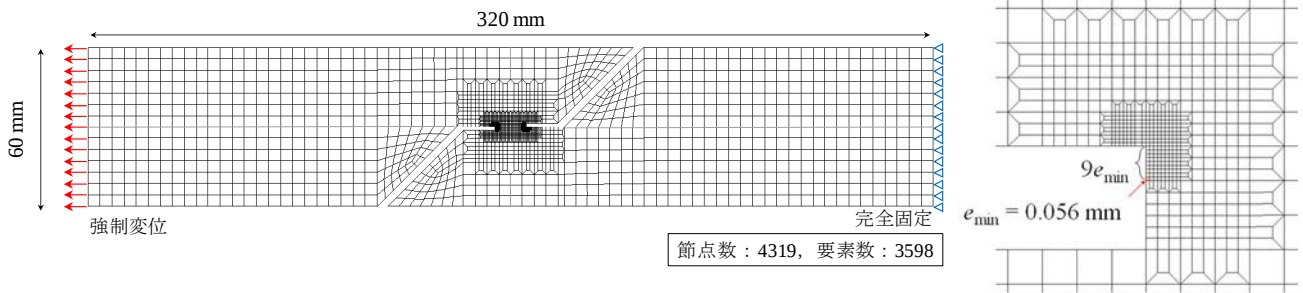


図-5 セン断型ダンパーの解析モデル

$$\begin{aligned}
 \Delta L_2 &= \int_0^{L_2} d\lambda \\
 &= \int_0^{L_2} \frac{P}{\frac{B_1(L_2+x)}{2L_2} tE} dx \\
 &= \frac{2PL_2}{RB_1t} \int_0^{L_2} \frac{1}{L_2+x} dx \\
 &= \frac{2PL_2}{EtB_1} \ln(2)
 \end{aligned} \quad (5)$$

(5)式より、A2部の軸剛性は次式で示される。

$$K_{A2} = \frac{P}{\Delta L_2} = \frac{EtB_1}{2L_2 \ln(2)} \quad (6)$$

c) A3部の剛性

A3部の軸剛性は、A1部と同様に考えられるため、次式で示される。

$$K_{A3} = \frac{EB_2t}{L_3} = \frac{EB_1t}{2L_3} \quad (7)$$

d) S4部の剛性

S4部はせん断剛性で考える。S4部のせん断応力は次式で示される。

$$\tau_{S1} = G\gamma_{S1} = G \frac{\Delta d}{\ell} = \frac{P}{L_4 t} \quad (8)$$

このとき、 G は鋼材のせん断弾性係数、 γ_{S1} はS1部のせん断ひずみ、 Δd はせん断変形量、 ℓ はせん断高さ ($\ell = 2h$) である。(8)式より、S1のせん断剛性は次式で示される。

$$K_{S1} = \frac{P}{\Delta d} = \frac{GL_4 t}{2h} \quad (9)$$

e) セン断型ダンパー全体の剛性

図-4に示すように、直列ばねで表現するため、せん断型ダンパーの全体の剛性は(2, 6, 7, 9)式より次式で示される。

$$K_d = \frac{1}{\frac{1}{K_{S1}} + \frac{2}{K_{A1}} + \frac{2}{K_{A2}} + \frac{2}{K_{A3}}} \quad (10)$$

(2) セン断型ダンパーの降伏強度計算式

せん断型ダンパーは、図-4に示すS1区間のせん断面で

表-2 計算結果と解析結果の比較

	計算式	解析	解析/計算式
K_{S1} [kN/mm]	6307.7	3000.0	0.476
K_{A1} [kN/mm]	2246.6	2093.0	0.932
K_{A2} [kN/mm]	5915.0	2571.4	0.435
K_{A3} [kN/mm]	8482.8	1578.9	0.186
全体 [kN/mm]	616.3	300.7	0.488
降伏強度 [kN]	12.5	12.3	0.984



図-6 解析結果の応力分布 (変形倍率 50 倍)

降伏する構造となっている。すなわち、降伏強度はせん断部の断面積 A_{S1} と鋼材のせん断降伏応力 τ_y で決定するため次式で求められる。

$$P_y = \tau_y A_{S1} = \tau_y L_4 t \quad (11)$$

(3) FEM解析による計算式の妥当性の確認

初期剛性計算式並びに降伏強度計算式の妥当性をFEM解析との比較を通して検討する。図-5に本検討で用いる解析モデルを示す。本解析では、既往の研究⁹⁾で検討された試験体寸法を基にモデル化しており、本要素試験体の寸法とは異なる。FEM解析には、非線形汎用コードであるABAQUS⁹⁾を用いた。図-5に示す様に、スリット部の応力集中箇所を最小要素寸法 (0.056mm) とし、応力集中箇所から離れるに連れて段階的に大きくした¹⁰⁾。

表-2に計算式を用いた計算結果と解析結果の比較を示す。初期剛性計算式は解析結果と比較すると、A1部は同等であるが、それ以外の要素は計算式では剛性を過大評価しており、特にA3部では80%以上の差がある。一方で、降伏強度については解析結果と同等の値となっている。ここで、図-6に30kNの引張力を与えた時のせん断部付近の応力分布を示す。応力分布よりA3部周辺では引張方

向の応力のみならず、圧縮方向の応力も作用していることが確認できる。これは、荷重作用軸と断面の図心軸の偏心による曲げの影響と考えられる。さらに、スリットの角部には、当然ながら応力集中が生じていることが確認できる。

以上より、当然ではあるが直列バネの仮定では実際に生じる曲げ応力や応力集中が考慮できず、再現性が低い。このため、それらの影響を補正係数として乗じることとした。

(4) パラメータ解析による補正係数の決定

各種影響因子に関する補正係数を決定するために、パラメータ解析を実施した。表-3にパラメータ解析のケース一覧を示す。パラメータ解析は、3.(3)で示した解析モデルを基本系として、せん断型ダンパーの板厚、長さ、幅をパラメータとした。また、パラメータ倍率は、0.6, 0.8, 1.2, 1.4倍とした。

図-7にパラメータ解析の結果を示す。板厚をパラメータとした場合は、感度が小さく線形関係を示すが、長さおよび幅をパラメータとした場合は、感度が大きく非線形性を示すことが分かる。この結果より決定した補正係数を表-4に示す。

以上の補正係数を考慮したせん断型ダンパーの初期剛性計算式は、以下ようになる。

$$K'_{A1} = \frac{EB_1t}{L_1} C_{1A1} C_{2A1} C_{3A1} \quad (12)$$

$$K'_{A2} = \frac{EtB_1}{2L_2 \ln(2)} C_{1A2} C_{2A2} C_{3A2} \quad (13)$$

$$K'_{A3} = \frac{EB_1t}{2L_3} C_{1A3} C_{2A3} C_{3A3} \quad (14)$$

$$K'_{S1} = \frac{GL_4t}{2h} C_{1S1} C_{2S1} C_{3S1} \quad (15)$$

$$K'_d = \frac{1}{\frac{1}{K'_{S1}} + \frac{2}{K'_{A1}} + \frac{2}{K'_{A2}} + \frac{2}{K'_{A3}}} \quad (16)$$

(5) 補正係数を考慮した初期剛性計算式および降伏強度計算式の妥当性の確認

パラメータ解析では、古庄らの既往の研究⁹⁾の試験体寸法を対象に補正係数を決定した。本節では、既往の研究⁹⁾とは板厚、長さ、幅の異なる前章の要素試験結果と、提案計算式より求まる初期剛性および降伏強度との比較を通して、計算式の妥当性を検討する。図-8に実験結果と計算値を示す。両者の比較の結果、計算式より求めた初期剛性並びに降伏強度は要素試験結果と良く一致していると言える。以上より、補正係数を考慮した計算式は、

表-3 パラメータ解析一覧 (単位: mm)

		t	B_1	B_2	L_1	L_2	L_3	L_4	h
基本系		20.0	60.0	30.0	109.5	30.0	14.5	12.0	1.5
	T-0.6	12.0	60.0	30.0	109.5	30.0	14.5	12.0	1.5
	T-0.8	16.0	60.0	30.0	109.5	30.0	14.5	12.0	1.5
	T-1.2	24.0	60.0	30.0	109.5	30.0	14.5	12.0	1.5
板厚	T-1.4	28.0	60.0	30.0	109.5	30.0	14.5	12.0	1.5
	L-0.6	20.0	60.0	30.0	65.7	18.0	8.7	7.2	1.5
	L-0.8	20.0	60.0	30.0	87.6	24.0	11.6	9.6	1.5
	L-1.2	20.0	60.0	30.0	131.4	36.0	17.4	14.4	1.5
長さ	L-1.4	20.0	60.0	30.0	153.3	42.0	20.3	16.8	1.5
	B-0.6	20.0	36.0	18.0	109.5	30.0	14.5	12.0	0.9
	B-0.8	20.0	48.0	24.0	109.5	30.0	14.5	12.0	1.2
	B-1.2	20.0	72.0	36.0	109.5	30.0	14.5	12.0	1.8
幅	B-1.4	20.0	84.0	42.0	109.5	30.0	14.5	12.0	2.1

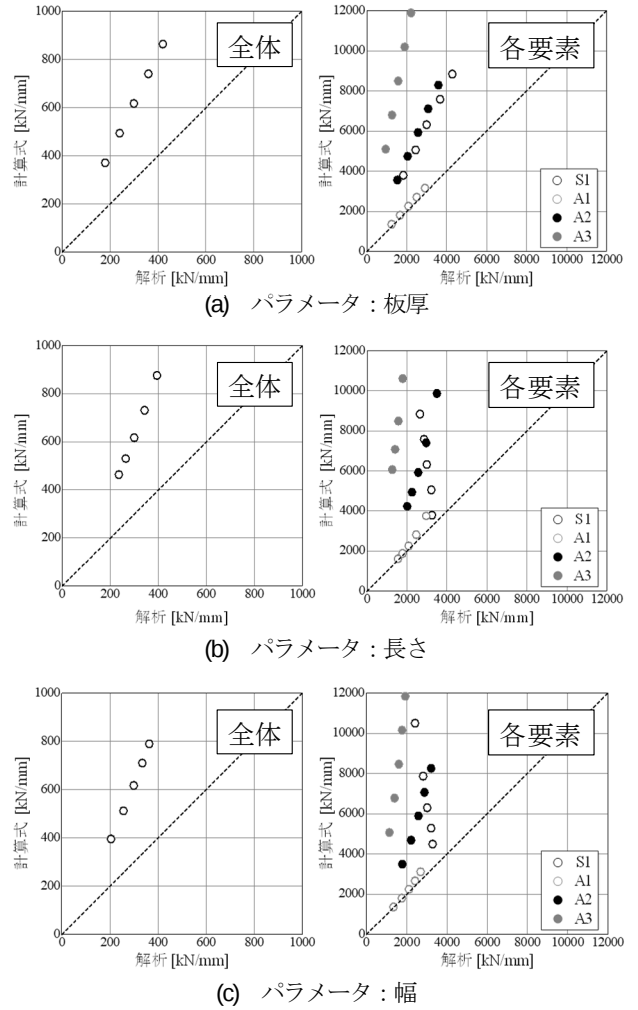


図-7 解析結果と計算式の剛性比較

要素試験レベルでは妥当であると言える。

4. せん断型ダンパーを設置した鋼上部構造の載荷実験

(1) 実験概要

図-9に対傾構への接続方法の概念図を示す。本実験では、著者らのこれまでの研究において降伏程度まで載荷

表-4 補正係数

	C_1 (板厚 t)	C_2 (長さ L)					C_3 (幅 B)				
倍率	全倍率	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
S1	0.485	1.775	1.317	1.000	0.779	0.620	0.472	0.734	1.000	1.256	1.493
A1	0.928	0.855	0.949	1.000	1.029	1.046	1.059	1.035	1.000	0.960	0.916
A2	0.434	0.820	0.926	1.000	1.057	1.102	1.148	1.070	1.000	0.940	0.886
A3	0.187	0.765	0.904	1.000	1.069	1.120	1.169	1.084	1.000	0.923	0.852
全体	0.488	0.923	0.966	1.000	1.028	1.049	1.071	1.034	1.000	0.972	0.949

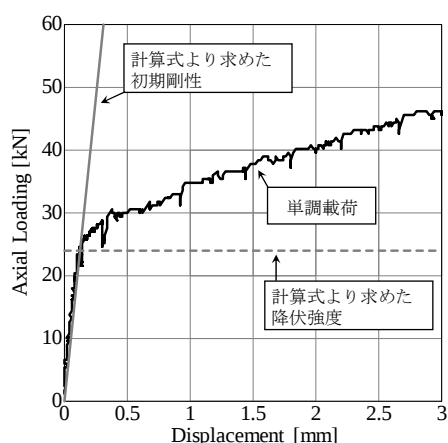


図-8 要素試験結果と計算結果の比較

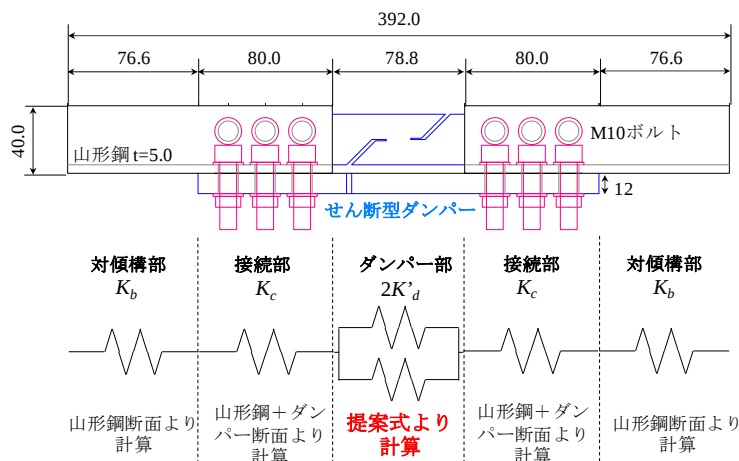


図-9 せん断型ダンパーの接続方法

をした対傾構を有する鋼上部構造縮小試験体（以下、対傾構有試験体）⁷⁾の対傾構を切り出し、せん断型ダンパーを設置する方法を試みた。せん断型ダンパーと対傾構の接続は摩擦接合継手とし、山形鋼の脚に対してL字となるようにそれぞれ2基ずつ設置した。

せん断型ダンパーは、対傾構有試験体の初期剛性、降伏強度と同等になり、かつ設置可能な寸法で設計した。ダンパー・ブレースの初期剛性は、山形鋼からなる対傾構部、山形鋼とダンパーの断面の足し合わせとなる接続部、ダンパー部とした直列ばねで考え、降伏強度は前章の降伏強度計算式より算出する。なお、本実験では1本の山形鋼に対してせん断型ダンパーを2基設置しているため、2基分の初期剛性と降伏強度は並列ばねとして考えている。なお、設置したせん断型ダンパーの寸法は図-1と同じである。

図-10に試験システムを示す。試験体はコンクリート床版を有する鋼桁断面3主桁の橋軸方向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し、主桁の上フランジとコンクリート床版の接続にずれ止めとしてスタッドを用いた。繰返し载荷は、漸増型繰返し载荷で、各2サイクル载荷を行った。载荷ステップは図-11に示すように主桁高さに対する水平変位 δ (mm)の割合をDrift率 (%)とし、1.0%までは $\pm 0.25\%$ ずつ、1.0%から2.0%までは $\pm 0.5\%$ ずつ、それ以降は $\pm 1.0\%$ ずつ変動させた。

(2) 実験結果

図-12に本実験結果と、これまでに著者らの研究で行



図-10 鋼上部構造载荷実験の試験システム

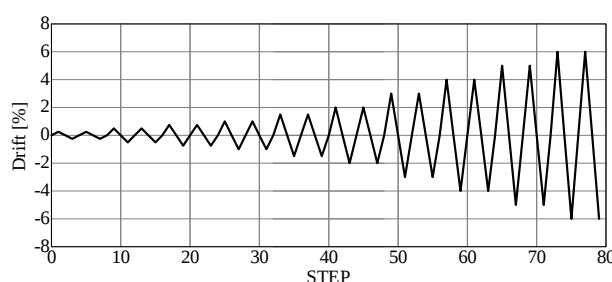


図-11 鋼上部構造载荷実験の载荷ステップ

ってきた対傾構有試験体の実験結果⁷⁾を示す。本実験（以下、ダンパー有試験体）は、Drift率が0.75~1.0%の時に水平荷重80kNで降伏し、対傾構無試験体と同様にDrift率が3.0%の時に水平荷重が155kNで最大耐力を迎えた。試験体の降伏はひずみゲージの値よりせん断型ダンパーの降伏に伴うものであり、コンクリート床版の浮き上がりにより25%程度の耐力低下を示したため実験を終了した。対傾構有試験体と比較すると、初期剛性は概ね一致

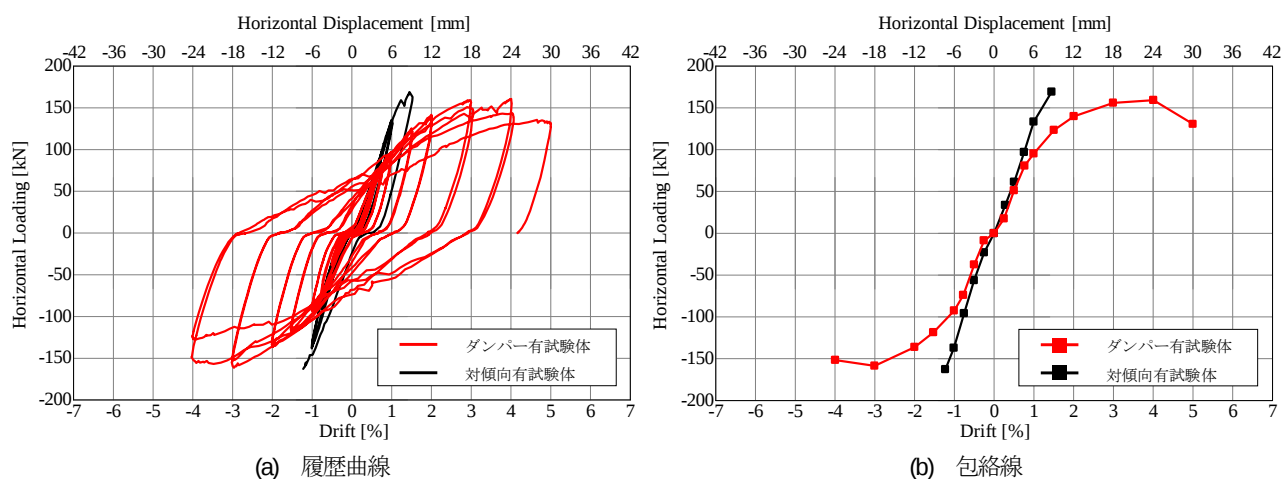


図-12 鋼上部構造縮小試験体の載荷実験結果

しており、取替え後でも評価可能である。一方で、降伏強度は対傾構有試験体では120kN、ダンパー有試験体では80kNと30%程度低く、前述した設計の降伏強度を満たしていない。この原因として、対傾構に設置したせん断型ダンパーが要素試験とは異なる挙動を示しているのではないかと考えられる。

5. 設計値と実験値の降伏強度の差異に関する解析的検討

前章の載荷実験の結果、せん断型ダンパーを設置した上部構造の降伏強度が設計値を満足しなかった。ここでは、せん断型ダンパー・ブレース単体の FEM 解析を行い、設計値と実験値の降伏強度の差異について解析的な検討を加える。

(1) 解析モデル

図-13 および表-5 に解析モデルの諸元を示す。解析モデルはせん断型ダンパー、山形鋼、ガセットプレートをモデル化したダンパー・ブレースモデルと山形鋼とガセットプレートのみモデル化したブレースモデルとなっている。各部材は全てシェル要素でモデル化し、各部材の接続は剛体要素を用いた。境界条件は、ガセットプレートの片端を完全固定とし、残る片端に圧縮方向に強制変位を与えた。なお、3.(3) の解析では ABAQUS を使用していたが、本解析では RADIOSS¹⁰⁾を使用している。これは、研究途中でライセンスの更新があったためであるが、RADIOSS においても ABAQUS と同等の再現性を示すことを確認している。

(2) 解析結果

図-14 に圧縮方向に強制変位を与えた解析結果の荷重

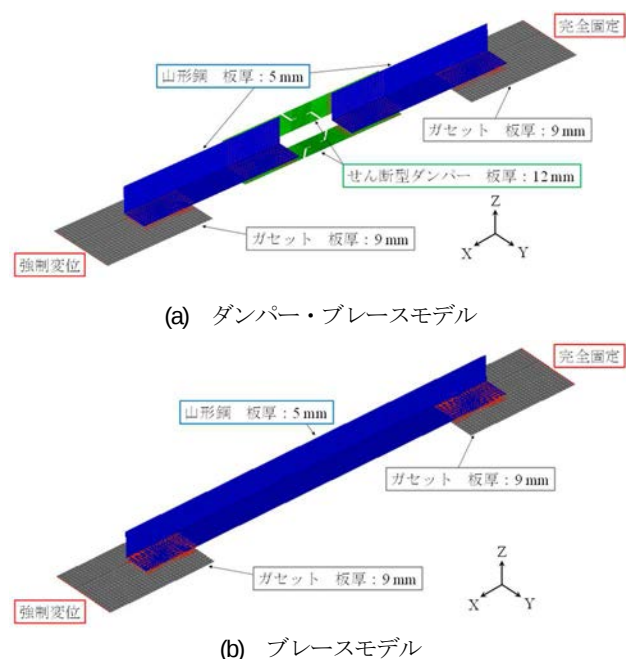


図-13 解析モデル

表-5 解析モデルの諸元

		幅 [mm]	長さ [mm]	板厚 [mm]
ブレースモデル	ブレース部	40	552	5
	ガセット部	100	160	9
	ブレース, ガセット接続部	40	80	-
ダンパー・ブレースモデル	ブレース部	40	552	5
	ガセット部	100	160	9
	ダンパー部	30	238.8	12
	ブレース, ガセット接続部	40	80	-
	ブレース, ダンパー接続部	30	80	-

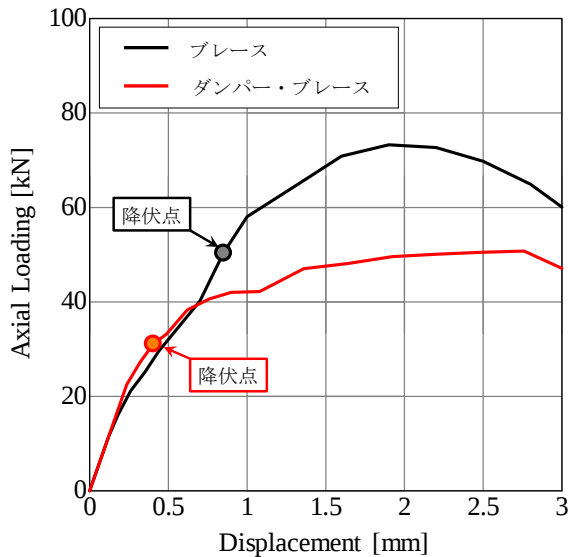


図-14 解析結果

変位関係を示す。結果を比較すると、初期剛性は概ね一致しているが、降伏点がダンパー・ブレースの方が30%程度低くなっている。ここで、図-15に応力分布を示す。図-15(a)は本要素試験のせん断型ダンパー単体の解析結果を示している。図-15(b)は、ガセット側の山形鋼の脚に接続したせん断型ダンパー (Damper A) を示している。図-15(c)は、ガセット側ではない山形鋼の脚に接続したせん断型ダンパー (Damper B) を示している。結果より、要素試験ではせん断面の全断面が先行して降伏するのに対し、ダンパー・ブレースのせん断型ダンパーは、せん断面の全断面降伏に先行して軸部の全断面降伏が先行していることが分かる。また、Damper Aの応力分布は、変位が0.362mmの時を示しているが、これは図-14の荷重変位関係における降伏変位であり、ダンパー・ブレースの降伏はせん断型ダンパーの軸部の全断面降伏によるものと判断できる。図-16にせん断型ダンパーの軸部の曲げ応力とダンパー・ブレースの変位の関係を示す。なお、軸断面で最後に降伏した要素の結果を示している。結果より、ダンパー・ブレースが降伏に至る0.362mmでは、曲げ応力が30MPa程度作用しており、曲げの影響が大きいことが分かる。

以上より、対傾構に設置したせん断型ダンパーが要素試験とは異なる挙動を示したことで、軸部に作用する曲げ応力が過大となったことが要因であることが明らかとなった。

6. まとめ

本研究では、軸方向の小さい変形から大きなエネルギー吸収を期待できると考えられるせん断型ダンパーの要

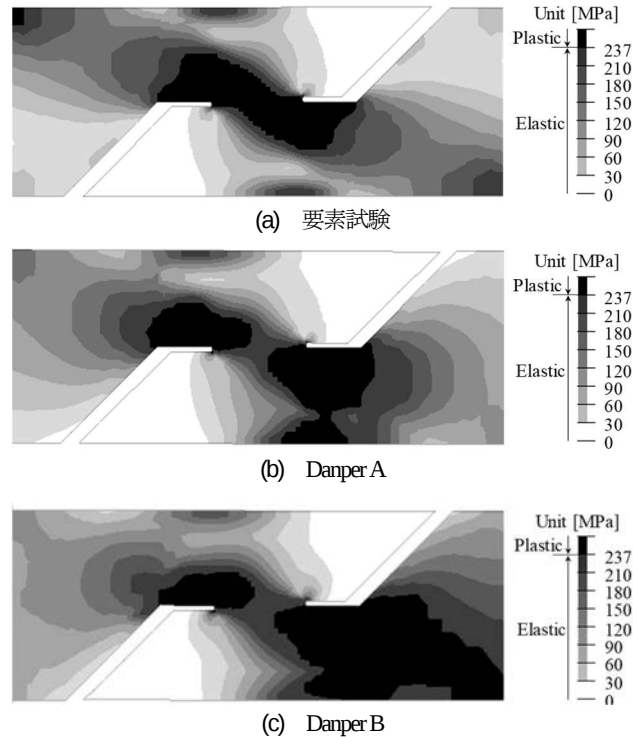


図-15 せん断型ダンパーの降伏時の応力分布

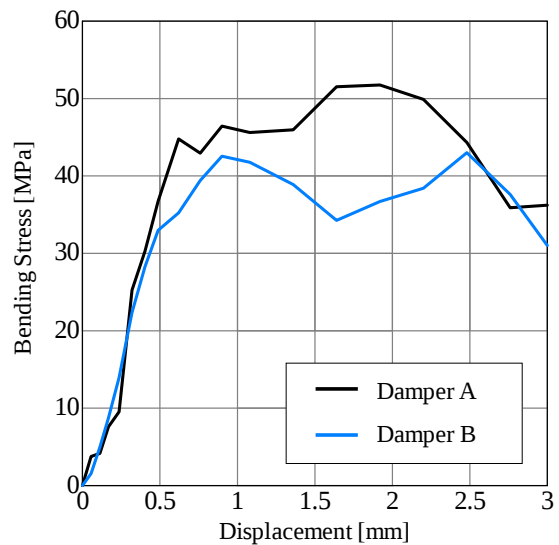


図-16 せん断型ダンパーの曲げ応力

素試験を行い、パラメータ解析を基に決定した補正係数を考慮したせん断型ダンパーの初期剛性計算式を提案を試みた。その上で、提案計算式に基づき設計したせん断型ダンパーを対傾構と取り替えた実験・解析を行い、その力学特性に関する検討を行った。本研究で得られた成果を以下に示す。

- 1) せん断型ダンパーの要素試験とそのパラメトリック FEM 解析に基づいて、補正係数を考慮したせん断型ダンパーの剛性式を定式化した。
- 2) せん断型ダンパーを設置した上部構造の初期剛性、降伏強度を対傾構有試験体と同等になるように設

計して載荷実験を行った結果、対傾構有試験体の実験と比較して初期剛性は同等となった。一方で、せん断型ダンパーが他部材に先行して降伏したが、降伏強度は設計値よりも30%程度低くなった。

- 3) 設計値と実験値の降伏強度の差異について解析的に検討を行った結果、対傾構に設置したせん断型ダンパーが要素試験とは異なる挙動を示したことで、軸部に作用する曲げ応力が過大となったことが要因であることが明らかとなった。

以上のように、せん断型ダンパーの提案式は要素試験レベルでは妥当であり、ダンパー・ブレースとした場合、他部材に先行してせん断型ダンパーが降伏した。しかし、ダンパー・ブレースにせん断型ダンパーを用いる場合、要素試験とは異なる挙動を示すことで曲げ応力が生じ、早期降伏の原因となることが明らかとなった。今後は、せん断型ダンパーをダンパー・ブレースに用いる際の設計法ならびに設置方法の検討を進めていく。

参考文献

- 1) Shinozuka, M., Ballantyne, D., Borchardt, R., Bukcle, I., O'Rourke, T., and Schiff, A.: The Hanshin-Awaji Earthquake of January 17, 1995 Performance of Lifelines, Technical Report NCEER-95-0015, National Center for Earthquake Engineering Research, 1995.
- 2) Bruneau, M., Wilson, J. W., and Tremblay, R.: Performance of Steel Bridge during the 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe, Japan) Earthquake, Engineering Structures, Vol. 20, No. 12, pp. 1063-1078, 1996.
- 3) Chung, R.: The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake – Performance of Structures, Lifelines, and Fire Protection Systems, NIST Special Publication 901, National Institute of Standards and Technology, 1996.
- 4) 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.
- 5) 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, 2010.
- 6) 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, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 74, No. 4, I_941-I-954, 2018.
- 7) 岩田隆弘, 木下幸治: 対傾構を有する鋼上部構造縮小試験体の静的載荷実験, 第21回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 5-12, 2018.
- 8) 古庄龍悟, 休場裕子, 三木千壽: 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.
- 9) Habbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. : ABAQUS/Standard User's Manual, Version 6.14
- 10) 宮崎達二郎, 野田尚昭, 李戎, 内木場卓巳, 佐野義一: 特異応力場の強さに基づく単純重ね合わせ継ぎ手のはく離破壊基準の検討, エレクトロニクス実装学会誌, 16巻2号, 2013.
- 11) Altair Engineering, INC.: RADIOSS THEORY MANUAL, 2014.

MECHANICAL CHARACTERISTIC OF STEEL SUPERSTRUCTURE WITH SHEAR DAMPER BRACE

Takahiro IWATA and Koji KINOSHITA

In previous studies, it was shown that the application of damper braces to cross frames of steel superstructures which can expect the energy absorption effect leads to the reduction of damage and inertial force of superstructures. The purpose of this study is to investigate a shear damper brace for steel superstructures. Experimental and analytical investigations on steel superstructures with the shear damper brace, which was designed in accordance with proposed design equations in this study, were carried out.