

## 鋼製ダンパーによる簡易ラーメン橋の耐震補強

瀧上工業株式会社 ○高橋佑輔

(研究当時高知工科大学 学生会員)

高知工科大学 フェロー 藤澤 伸光

1 はじめに 株式会社高知丸高殿によって開発された sqc ピア工法による実用化第1号の橋梁では、部分的に橋脚間にブレースが設けられているが、基本的な考え方が補強であるため、設計上、橋脚の降伏を許している。一方、近年、鋼製ダンパー、ダンパーブレースなどと呼ばれる2部材を降伏させることによってエネルギー吸収を図り、耐震性を向上させる研究が多く報告されている。今井は、橋脚間のブレースを積極的に降伏させて、橋脚の降伏を防いで耐震性能2を満たす設計の検討を行っている。1) 本研究では、ブレースによるエネルギー吸収とその制震効果を詳細に検証するとともに、ブレースをダンパーとして有効に機能させるための設計法を探ることとした。



図1 ダンパー設置後のイメージ(1径間)

## 2 鋼製ダンパーの制振特性

2.1 鋼製ダンパーの諸元 鋼製ダンパー設置位置を図1に示す。両端2対の橋脚に同じ諸元のダンパーを設置するものとした。ダンパーとしては角鋼管を想定したが、断面の増減による損傷形態の変化を明らかにするため、JISの規定に関わらず広範囲に断面積を変化させた。検討したダンパー断面積を表1に示す。表中のケースE、GだけはJISに規定された鋼管であるが、他は断面積のみを与えた仮想的なものである。なお、実際の鋼製ダンパーでは圧縮時にも有効に機能するように何らかの座屈防止策が必要であるが、ここでは簡単に引張、圧縮とも同じ降伏特性であるとした。降伏応力は $250\text{N/mm}^2$ 、降伏後の2次剛性は初期剛性の $1/10$ とした。

表1 ブレース断面 単位(mm<sup>2</sup>)

ケース	断面積	ケース	断面積
A	100	G	1213
B	300	H	1500
C	500	I	2000
D	700	J	2500
E	893	K	3000
F	1000	L	3500

2.2 動的解析結果 ケースA~Lについて動的解析を実施した。橋軸直角方向

の地震波だけを考え、タイプI、IIの地震波3波ずつ、計6波の地震動に対する応答を調べたが、タイプIの地震動に対する応答は小さいことが分かったので、以下ではタイプIIの地震動に対する応答について考察する。

ケースA~Dでは、ダンパー、橋脚の両方が降伏する結果が得られた。橋脚の降伏は、主桁と橋脚の接合部、又は、橋脚の地表部分で生じる。代表的なケースAの場合について応力-ひずみの関係を調べた結果、ループ状のリサージュとなっていることが確認された。ループ面積は大きく、ダンパーは効率的にエネルギーを吸収しているものの、ダンパーの断面が過小なためエネルギー吸収能力が不足して橋脚が降伏したと考えられる。変位波形によれば、地震動の初期には微小ながら応答振幅が減少しているが、後半では、ほとんど制振効果が認められなかった。

ケースE~Gでは、ダンパーが降伏して、橋脚は降伏しないという理想的な結果が得られた。代表的なケースEの場合について、タイプIIの中でも応答の大きかった地震波3に対するダンパー部分の応力-ひずみの関係を図2に、同様に、橋脚と主桁の接合部の変位を図3に示す。図3の非線形とは、ダンパー部材が降伏応力を超えると塑性変形を起こす設定とした場合の解析結果で、線形とは、ダンパー部材の降伏を考えない場合の解析結果である。応力-ひずみのリサージュはループ状となっている。ループ面積も大きく、効率的にエネルギーを吸収しているものと考えられる。図3によれば、降伏を考えた場合(非線形)、変位振幅は線形の場合の約2割減少しており、この断面のダンパーを用いれば、十分な制振効果が得られることが分かる。また、ケースE、F、Gでは、線形に比べて非線形の波形に遅れが生じている。これは、減衰が大きいことによるものと考えられ、適切なダンパー断面の判断基準として利用できる可能性がある。ケースE~Gの中では、ケースEが最も効率

良くエネルギー吸収しており、検討した断面の中では最適と言える。

ケースH～Jでは、ダンパーも、橋脚も降伏する結果となった。ダンパー断面の増加に伴って、橋脚の応答に対してダンパーのひずみが相対

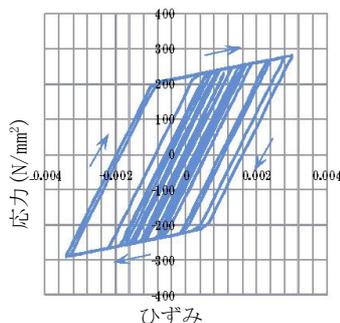


図2 応力-ひずみの関係

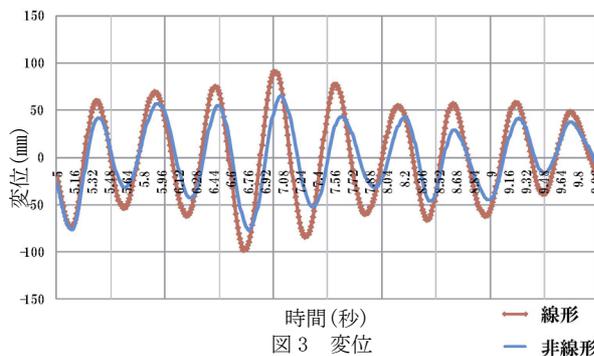


図3 変位

的に小さくなるためと考えられる。実際、応力-ひずみのリサージュから、他のケースに比べてひずみ量が小さく、ループ面積が減少していることが確認された。なお、橋脚の降伏は、地表部分で生じており、橋梁上部の剛性の増加によって相対的に下部の負担が増した結果と思われる。変位波形によれば、ケースA～Dの場合と同様に、地震動初期には微小ながら振幅低下が認められるものの、後半ではほとんど制振効果がなかった。

ケースK、Lでは、ダンパーが降伏せず、橋脚が降伏する結果になった。橋脚の降伏は、ダンパーと橋脚の接合部の下部分で生じている。応力-ひずみのリサージュにはループ状の軌跡が認められず、ダンパーが降伏しないため地震エネルギーを吸収していない。当然、変位も変化していない。断面が過大なため、ダンパーがエネルギー吸収装置としての機能を果たしていないと言える。

**3 動的解析とプッシュオーバー解析の相関性** 動的解析によらずにダンパーの性能に関する情報が得られる可能性を探るために、プッシュオーバー解析と動的解析の相関性を調べた。プッシュオーバー解析では、単調に増加する水平加速度に各節点の質量を乗じた水平荷重を載荷した。

ダンパー降伏時、橋脚降伏時の水平加速度、およびこれらの比を表2に示す。動的解析で良好な結果が得られたケースE～Gでは、橋脚の一次降伏時の荷重がダンパー降伏時の荷重の約1.8～2.1倍となっている。

この値自体は、設計条件によっても変化すると考えられるが、静的解析であるプッシュオーバー解析から得られた降伏荷重比と、ダンパーの制震性能に高い相関が認められたことは重要な知見と言える。すなわち、限定された設計条件の下であれば、動的解析によらずにプッシュオーバー解析でダンパーの最適断面を求められる可能性を示しているのではないかと考えられる。

**4 ダンパーの座屈荷重の照査** ケースE、Gの角パイプ断面の座屈を照査した。座屈応力の計算結果をまとめて表9に示す。2ケースとも座屈応力は降伏応力以上となっており、今回の条件下では、圧縮時にもダンパーが有効に機能すると言える。

**5 結論**

- ・ある条件では、鋼製ダンパーが地震エネルギーを吸収する機能を発揮できる。
- ・ダンパーの断面には最適値があり、断面が過小の場合は、エネルギー吸収不足となる。断面が過大な場合は、エネルギー吸収不足、又は、降伏しないためダンパーとして機能しない。
- ・適切な設計をすれば、圧縮時にもダンパーが有効に機能する。

参考文献 1) 今井恵介「鋼製ダンパーを設けた簡易橋の耐震性能」土木学会四国支部第15回技術研究発表会講演概要集、平成21年5月

表2 降伏時の水平加速度 単位(G)

ケース	ダンパー	橋脚	降伏荷重比
A	0.043	0.130	3.02
B	0.055～0.056	0.150	2.67～2.72
C	0.067～0.068	0.160	2.34～2.38
D	0.080～0.081	0.174	2.16～2.19
E	0.092～0.093	0.190	2.04～2.07
F	0.098～0.099	0.198	2.00～2.02
G	0.111～0.113	0.204	1.80～1.84
H	0.130～0.131	0.212	1.63～1.64
I	0.160～0.162	0.226	1.40～1.41
J	0.191～0.195	0.240	1.23～1.26
K	0.221～0.227	0.252	1.11～1.14
L	0.253～0.256	0.252	0.98～1.00

表3 座屈応力 単位(N/mm²)

ケースE	ケースG
571	1040