

鋼製ダンパーを設けた簡易橋梁の耐震性能

(株)ブリッジ・エンジニアリング ○今井恵介

(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ピア工法は仮栈橋工法を道路橋に応用することによって、大幅なコスト削減と工期の短縮が実現できる。

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。これは、橋脚長、スパンがかなり大きい部分があって耐震設計の規定を満たさなかったためであるが、基本的な考え方が補強であったため、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。そこで、本研究では、橋脚間のブレースを積極的に降伏させ、ブレースによるエネルギー吸収によって橋脚の降伏を防いで耐震性能2を満たす設計の可能性を探ることとした。

2 鋼製ダンパーによる耐震性向上の検討

2.1 鋼製ダンパーの設置方法

橋脚間の鋼製ダンパー設置の考え方を図1に示す。5対の橋脚全てに同じ諸元のダンパーを設置するものとした。設置位置としては、図中のH1、H2を3通りに変化させた。以下、これらをタイプA、B、Cと呼ぶ。また、同一タイプのダンパーに対して、断面性能を3通りに変化させた。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対策が必要であるが、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 250N/mm^2 、降伏後の2次剛性は初期剛性の1/10とした。

3タイプのダンパーの設置位置、および断面性能を表1に示す。これらの断面は、プッシュオーバー解析から橋脚が降伏する荷重を求め、この荷重の70～80%程度の荷重でダンパーが降伏することを目安として定めたものである。

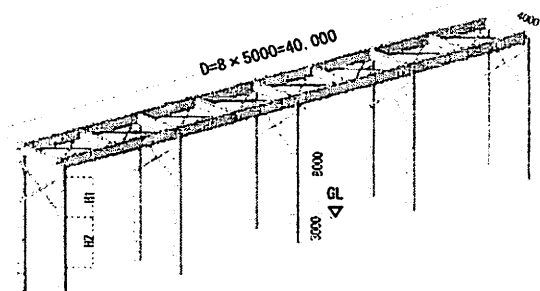


図1 鋼製ダンパー設置のイメージ 単位(mm)

表1 ダンパー設置位置と断面

	タイプA	タイプB	タイプC	
H1	3000	2000	2000	
H2	4000	4000	2000	
ボックス断面	H	B	tw	Tf1
ケース1,4,7	100	100	3.2	3.2
ケース2,5,8	150	150	5	5
ケース3,6,9	75	75	3.2	3.2

単位(mm)

2.2 動的解析結果

以上の9ケースのダンパーを設置した構造に対して、動的解析を実施した。橋軸直角方向の地震動だけを考え、タイプI、IIの地震波を3波づつ、計6波の地震動に対する応答を調べた。結果を表2に要約する。表中の○は当該部材が降伏していないことを、×は降伏していることを示す。ダンパーが降伏、橋脚が降伏していない状態とするのが本設計の目的であるから、橋脚が○、ダンパーが×となっているケース1、3、4が初期の目的を達成した構造である。

タイプAでは、ケース1、3の2ケースが耐震性能2を満たしている。ケース2では、ダンパーが降伏せず、逆に橋脚が降伏するという結果になった。ケース2ではダンパーの断面が大きいのでダンパーが降伏しなかったことは容易に理解できるが、橋脚が降伏する理由は必ずしも自明ではない。なお、橋脚の降伏は橋脚の上端、主桁と接合部

表2 動的解析結果の要約

		橋脚	ダンパー
タイプA	ケース1	○	×
	ケース2	×	○
	ケース3	○	×
タイプB	ケース4	○	×
	ケース5	○	○
	ケース6	×	×
タイプC	ケース7	×	×
	ケース8	×	×
	ケース9	×	×

付近で生じている。ダンパーが降伏しなかったため、地震エネルギーを吸収する部分がなくなり結果的に大きな応答が発生したと考えるのが妥当のように思われるが、今回の解析では詳細なメカニズムは不明である。

タイプ B では、ケース 4 だけが耐震性能 2 を満たしている。タイプ B ではダンパーの傾斜が小さいので、タイプ A に比べてトラスとしての拘束が小さく、従ってエネルギー吸収能力も劣ると考えられる。ケース 4 のダンパーの場合は、傾斜減少によるエネルギー吸収能力低下が耐震性能 2 を損なうレベルには達していないと考えるのが妥当であろう。逆に断面の小さいケース 6 では、ダンパーが降伏しているにも拘らず橋脚も降伏している。上述のエネルギー吸収能力の低下という観点から考えれば、エネルギーは吸収されているものの、橋脚の降伏を防ぐには吸収量が不足していると考えれば合理的に説明可能と考えられる。

最も大きな断面を用いたケース 5 では、ダンパーも橋脚も降伏していない。全く健全であったという意味では耐震性能 2 を満たしていると考えられることもできるが、ダンパーというよりも耐震ブレース補強的な挙動であり、小さな断面を降伏させてエネルギー吸収を図るという設計意図が実現されているとは言えない。

タイプ C では全てのケースで橋脚、ダンパー両方が降伏した。タイプ C は地震後に容易に修復できるようにダンパーを地表面近くに設置したものであるが、元々橋脚の変形が小さい部分であることから、予想通り効率が悪く、ダンパーによるエネルギー吸収能力が耐震性能 2 を満たすには不足したと考えられる。

以上をまとめれば、ダンパーの取り付け位置や傾斜はトラスとしての補強効果と同様に考えればよく、両橋脚のずれ変形が大きい部分にある程度の傾斜を付けたダンパーを設けるのが効果的であること、ダンパー断面には最適値があり、過小であればエネルギー吸収能力不足から主構造の損傷を招き、過大であれば降伏しないためエネルギー吸収装置としてのダンパー機能を発揮しないことが結論される。

3 残留変位の照査

2 での検討で耐震性能 2 を満たしたケース 1、3、4 が、道路橋示方書の規定を完全に満足しているかどうかを照査する。ダンパー、橋脚以外の部材は弾性としているので、これが健全であるか否かを判断するには、個別に部材の応力をチェックする必要がある。橋脚以外で最も応力的に厳しい横桁の応力を調べた結果、中央の 3 本の横桁の最大応力は許容応力を超えているが、降伏には至っていない状態であった。レベルⅡ地震に対しては許容応力を超えても弾性範囲内にあればよいと考えられるので、これらの横桁の安全性には問題ない。端横桁では約 300N/mm² の最大応力が発生していた。今回の設計を独立した橋梁とみなせば、この結果は規定を満たさないことになる。ただし、主桁、横桁は弾性として設計することとなっているから、横桁応力の問題は横桁断面の増加で対応する以外に方法がない。逆に言えば、この問題がダンパーの効果に関する今回の検討の主要な結論を左右することはないと言えよう。

よって、最終的には断面変更が必要ではあるが、弾性設計とする部材にはほぼ問題がないとして、最後に耐震設計の主要な照査項目である残留変位を照査する。

ケース 1、3、4 の残留変位の計算結果をまとめて表 3 に示す。残留変位の許容値は橋脚高さの 1/100、すなわち 80mm である。表から明らかなように 3 ケースとも残留変位は許容値以内となっており、耐震設計の規定を満たしていることが分かる。

表 3 残留変位のまとめ

	タイプⅠ 地震	タイプⅡ 地震
ケース 1	14.66	51.33
ケース 3	17.25	61.65
ケース 4	16.41	57.89

単位 (mm)

5 結論

- ・橋脚間に設けたダンパーを降伏させることによって、橋脚の降伏を防ぎ、耐震性能 2 を満たす設計は可能である。
- ・ダンパーの断面に最適値があり、断面が過小な場合はエネルギー吸収能力不足となり、過大な場合には降伏しないためダンパーとして機能しない。適切に設計すれば、残留変位についても耐震設計の規定を満たすことができる。