

免震 U 型ダンパーを用いた鋼方杖ラーメン橋の耐震性能向上に関する検討

(株)ニューブリッジ 正会員 ○加藤 修
 新日鉄住金エンジニアリング(株) 野呂 直以

1. はじめに

近年方杖ラーメン橋を耐震補強する事例が増加している。橋軸方向の補強のみに着目すると、粘性ダンパーを設置する例が非常に多い。しかしながら、粘性ダンパーは、橋軸方向に対しては高い制震効果を発揮できるものの、橋軸直角方向に対しては効果が発揮できない。そのため橋軸直角方向の補強には別途補強部材が必要となる。そこで筆者らは、図-1 に示す一つの部材で橋軸・橋軸直角の両方向に対して制震機能を発揮できる免震 U 型ダンパー¹⁾を用いた鋼方杖ラーメン橋の新たな耐震補強方法を提案する。

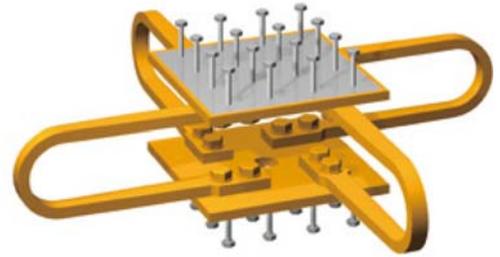


図-1 免震 U 型ダンパー

2. 対象橋梁

対象橋梁を図-2 に示す。これは、昭和 55 年以前に設計・架設された、橋台部が鋼製の可動支承、橋脚部は鋼製のピン支承の、山間部に架かる鋼方杖ラーメン橋を想定している。

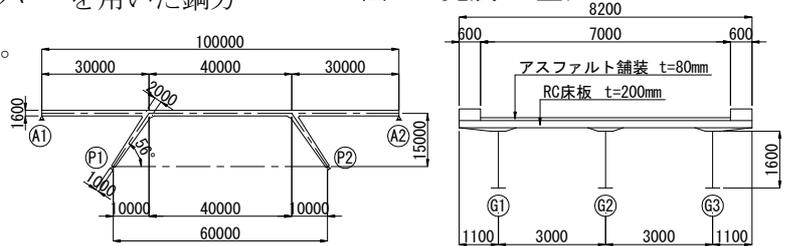


図-2 対象橋梁

3. 解析概要

耐震補強効果の検討にあたっては、ファイバー要素を用いた 3 次元フレーム要素解析を用いる。設計地震動には道路橋示方書²⁾に示すレベル 2 地震動のタイプ II 地震波 (I 種地盤)を用いる。解析では各ケースで橋軸方向、橋軸直角方向に分けて地震波を入力した。

表-1 解析モデルの境界条件

	耐震補強方法	橋台部支承条件
耐震補強前モデル	—	既設鋼製支承
耐震補強後モデル①	粘性ダンパー	既設鋼製支承
耐震補強後モデル②	免震 U 型ダンパー	すべり支承

表-2 免震 U 型ダンパーのロッド 1 本あたりの性能

ダンパー形式	NSUD40	NSUD45	NSUD50	NSUD55	NSUD60
K1(kN/m)	1480	1900	2080	2400	2900
δy (mm)	18.9	24.2	27.9	31.7	37.2
K2(kN/m)	25	32	36	40	49
δu (mm)	550	650	750	850	1000

粘性ダンパー・免震 U 型ダンパーを

用いた場合の橋台部の支承条件を表-1 に示す。粘性ダンパーは橋軸直角地震時に対しては機能しないことから、既存の支承のままとし、別途水平力分担構造を配置する前提とした。免震 U 型ダンパーは、橋軸直角地震時に対しても機能することから、すべり支承を使用する前提とした。

解析はパラメトリックに実施した。粘性ダンパーは抵抗力を 100~500kN まで 100kN 刻みで変化させた。免震 U 型ダンパーはダンパー形式毎に 1~8 本とした。免震 U 型ダンパーの性能を表-2 に示す。

4. 解析結果

A1・P1 に着目した支点最大・最小反力、並びに降伏部材(要素)数の解析結果一覧を表-3 に示す。耐震補強モデル①・②の A1 部の 1 支点あたりの反力は、補強モデル①は鉛直・橋軸直角が支承、橋軸が粘性ダンパー、補強モデル②は鉛直が支承、橋軸・橋軸直角が免震 U 型ダンパーに作用する反力を示している。降伏部材数は、橋軸・橋軸直角方向の地震波(計 6 波)に対して 1 度でも降伏した解析上の要素数の累計を示し、主に橋脚と脚対傾構が降伏している事を確認した。なお、降伏する部位はどのケースにおいてもほとんど差はなかった。粘性ダンパーによる補強を実施した場合、補強前に比べて P1 脚に作用する最大・最小反力がやや改善される

キーワード 免震 U 型ダンパー、鋼方杖ラーメン橋、動的解析、耐震性向上

連絡先 〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町 3-7-10 (株)ニューブリッジ TEL:03-3668-1741

が、橋軸直角地震時における A1 橋台部の最大反力に対しては設置効果が期待できない結果になった。一方免震 U 型ダンパーを用いた場合、免震 U 型ダンパーの形状・本数によってばらつきはあるが、P1 脚に作用する最大・最小反力がやや改善した。これは粘性ダンパーと同様の効果が得られたためと考えられる。橋軸直角地震時に A1 橋台部に生じる上揚力は、バネ値が低いほど生じない結果となった。これはバネ値が高いほど橋軸直角方向の移動が拘束されることにより、上揚力が生じやすくなったと考える。なお粘性ダンパーを用いた場合でも、別途制震ストッパー等を用いることで橋軸直角方向に対して免震 U 型ダンパーと同等の補強効果を得られる。

支承周辺に設置する補強部材のみに着目し、1 支点あたりの補強に対して試算した経済比較を表-4 に示す。補強後モデル①は粘性ダンパーのほか、水平力分担構造としてせん断ストッパーを想定した。補強後モデル②は免震 U 型ダンパーを用いたケースである。解析は省略したが、粘性ダンパーと制震ストッパーの組合せにより、免震 U 型ダンパーと同等の補強効果を得たケースを補強後モデル①' とした。試算に当たっては過去に実施した同規模の補強を参考にした。結果、補強後モデル①と補強後モデル②は同等となった。しかしながら、せん断ストッパーは主桁の補強や取り付け部材が大がかりになる場合があるほか、維持管理性を考慮すると、取り付け部材の少ない免震 U 型ダンパーが優位になる可能性がある。なお、比較した 3 ケースの中では、補強後モデル①' が最も高価となった。

5. まとめ

本報では、免震 U 型ダンパーを用いた鋼方杖ラーメン橋の耐震性向上について検討した。従来用いられてきた粘性ダンパーによる補強と比較すると、橋軸方向に対しては同等の補強効果が得られることを確認できた。経済的には粘性ダンパー+せん断ストッパーを用いた場合と同等であるが、維持管理性や橋台への負担を考えると免震 U 型ダンパーを用いた場合の方が優位になる可能性がある。橋軸直角方向に制震ストッパーを用いる場合、制震ストッパーは桁下空間の制約などから設置箇所がある程度限定される。しかし免震 U 型ダンパーは 1 つの部材で橋軸・橋軸直角方向の両方に抵抗できることから、部材の設置に関する制約はほとんどないと考える。なお免震 U 型ダンパーの適用は、今回検討した組合せのみに限定されたものではないと考える。また本工法は、アーチ橋やトラス橋などの特殊橋梁でも同等の効果が期待できると考えられる。今後、形式別の特殊橋梁についても免震 U 型ダンパーによる耐震性能向上について検討したい。

参考文献

- 1) https://www.nsec-steelstrUctUres.jp/base_isolation/damper_U/featUres_dU/benefits_dU/
- 2) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 平成 24 年 3 月 日本道路協会

表-3 解析結果一覧

単位:kN

	降伏部材数 (部材数654)	橋軸地震時		直角地震時			
		A1最大反力 (橋軸方向)	P1最大反力 (脚軸方向)	A1最大反力 (橋直方向)	A1最小反力 (鉛直方向)	P1最小反力 (脚軸方向)	
補強前	233	0	2162	1267	-705	-727	
粘性ダンパー	100kN	213	100	1956	1259	-732	-662
	200kN	208	200	1946	1251	-762	-610
	300kN	204	300	2016	1244	-794	-581
	400kN	197	400	2088	1238	-828	-567
	500kN	179	500	2101	1233	-856	-555
Uダンパー NSUD40	1本(K1= 1480)	226	31	2175	32	143	-526
	2本(K1= 2960)	224	62	2164	63	140	-502
	4本(K1= 5920)	213	123	2099	126	141	-529
	6本(K1= 8880)	210	184	2078	187	84	-543
8本(K1=11840)	203	246	2039	246	16	-578	
Uダンパー NSUD45	1本(K1= 1900)	226	50	2165	50	-52	-504
	2本(K1= 3800)	214	99	2109	102	179	-560
	4本(K1= 7600)	213	198	2053	199	127	-554
	6本(K1=11400)	205	297	2021	299	-12	-601
	8本(K1=15200)	210	396	2110	394	-111	-595
Uダンパー NSUD50	1本(K1= 2080)	224	62	2174	63	-227	-500
	2本(K1= 4160)	215	124	2082	127	140	-562
	4本(K1= 8320)	214	247	2027	246	91	-532
	6本(K1=12480)	208	372	2046	370	-60	-609
8本(K1=16640)	218	489	2209	488	-225	-677	
Uダンパー NSUD55	1本(K1= 2400)	220	81	2160	82	-363	-504
	2本(K1= 4800)	218	160	2053	162	140	-557
	4本(K1= 9600)	220	321	1972	320	42	-563
	6本(K1=14400)	214	481	2151	474	-147	-641
	8本(K1=19200)	207	631	2243	633	-332	-713
Uダンパー NSUD60	1本(K1= 2900)	217	113	2131	115	-537	-555
	2本(K1= 5800)	217	226	2044	225	103	-554
	4本(K1=11600)	219	453	2060	445	-48	-632
	6本(K1=17400)	216	666	2261	665	-291	-726
8本(K1=23200)	218	882	2243	869	-565	-750	

A1鉛直方向、P1脚軸方向における“-”は、上揚力を示す。

表-4 経済比較(1 支点あたり)

	補強後モデル①	補強後モデル①'	補強後モデル②
下部工ブラケット	100万	100万	100万
上部工ブラケット	50万	50万	—
粘性ダンパー	200万	200万	—
せん断ストッパー	100万	—	—
制震ストッパー	—	200万	—
すべり支承	—	50万	50万
免震U型ダンパー	—	—	200万
主桁補強	50万	50万	50万
合計	500万	650万	400万
比率	1.25	1.63	1.00