

ダンパーの最適配置に基づく既設橋梁の耐震補強に関する研究

熊本大学大学院

学生会員 ○谷口 雄一郎

熊本大学大学院

正会員 松田 泰治

日本技術開発株式会社

正会員 宮本 宏一

日本技術開発株式会社

正会員 長 悟史

熊本大学

学生会員 藤本 匡哉

1. はじめに

現在、橋梁の耐震設計は性能照査型設計への移行期にある。性能照査型設計は、構造物に要求される性能を実現に忠実に規定することで合理的な設計を目指すものである。性能照査型設計では、地震時に各部位にどの程度の損傷が許容され、どの程度のエネルギー分担が期待できるかを明確にし、橋梁システム全体として安全を確保できる耐震設計を行う必要がある。本研究ではダンパーを最適設置した橋梁に対して動的応答解析を行い橋梁システムの合理的な地震時の安全性の確保を試みた。

2. 非線形応答スペクトルを用いたダンパーの設定

本論文では天然ゴム系の積層ゴム支承とダンパーを組み合わせた制振設計を取り上げているが、ダンパーを用いる場合を含めて、橋梁の免震・制振設計では橋脚基部の損傷を限定的な範囲に止める必要がある。この場合、固有周期に対しては積層ゴム支承のせん断バネが支配的となることから、図-1に示す1質点系モデルによる応答解析を行った。検討に用いた地震動は道路橋示方書V耐震設計編の標準波より地震タイプ別にそれぞれ3波選択した。ダンパー K_1 はせん断バネのバイリニア型とし、初期剛性は質点の質量 M に対して固有周期が1(sec)となる剛性とした。一方、積層ゴム支承のせん断バネ K_2 は固有周期が1.5～5(sec)となるようにパラメトリックに変化させ、各々設定した。減衰は2%とする。

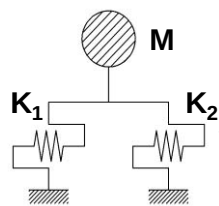


図-1 1質点系モデル

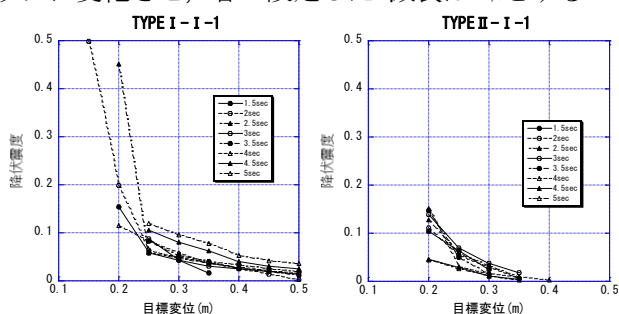


図-2 降伏震度 (1質点系モデル)

1質点系動的応答解析を用いて収束計算を行い、得られた目標変位を満足するダンパーの降伏荷重を質点の質量で除して降伏震度を求めた。無次元化することで1質点系モデルでの結果を全体系モデルに適用することが可能となる。解析結果を図-2に示す。TYPE I-I-1地震波およびTYPE II-I-1地震波では同周期において目標変位が小さくなるに従い、降伏震度は大きくなる傾向が認められる。

3. 検討対象橋梁と解析条件

2.で示した、ダンパー性能設定方法の既設橋梁耐震補強への適用性を、昭和55年道路橋示方書に従い設計された4径間連続鋼板桁橋を対象に検討する。橋梁形式は非免震構造の旧耐震モデルである。本研究では、まず全ての支承を反力分散支承に取り替えて、地震時において増加する上部構造水平変位や下部構造作用力をダンパーにより制御する補強方法を採用する。上部構造の全重量に対して目標とする固有周期を満足する積層ゴム支承のせん断バネを求め、各橋脚の鉛直反力比に応じて次のように配分した。A1:P1:P2:P3:A2=1:2.5:2.5:2.5:1。一方、ダンパーの抵抗力は各下部構造の曲げ水平耐力を考慮して次の比率で配分した。A1:P1:P2:P3:A2=2:1:4:1:2。なお、ダンパーの減衰特性は2.と同様の考え方に従い、ダンパー K_1 は弾塑性バネのバイリニア型とし、初期剛性は上部構造の質量に対して固有周期が1(sec)となる剛性を持たせた。また、減衰特性は、ひずみエネルギー比例型減衰から作成した等価粘性減衰行列で評価した。検討対象橋梁を図-3に、検討対象橋梁の簡易骨組みモデルを図-4に示す。

4. ダンパーによる応答低減効果の検討

1質点系モデルの解析結果をもとに、上記で設定したダンパーを有する全体系モデルに対して汎用解析プログラムソフト T-DAPⅢを用いて動的応答解析を行い、1質点系モデルと全体系モデルとの比較検討を行った。解析条件は1質点系モデルと同様に、桁質量に対する

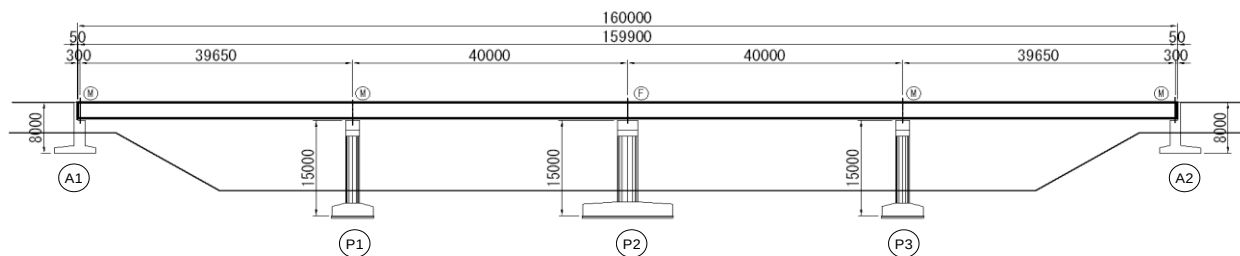


図-3 検討対象橋梁 (I種地盤A地域の河川橋梁)

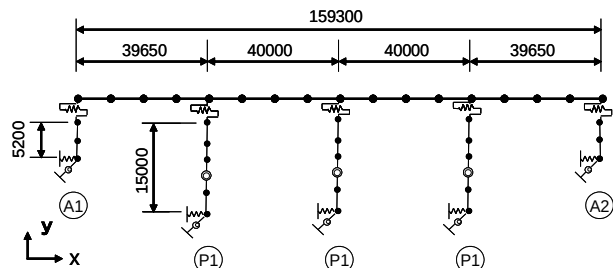


図-4 検討対象橋梁の骨組みモデル

積層ゴム支承による固有周期が 1.5～5(sec)となるように、目標変位が 0.1～0.5(m)となるようにパラメトリックに変化させるものとする。その一例として TYPE I-I-1 地震波での固有周期 3(sec)かつ目標変位 0.3(m)という条件下での各時刻歴を図-5 および図-6 に示す。これは応答変位の誤差が 4.3%と誤差が 10%以内となったケースである。1 質点系モデルの時刻歴と比べて全体系モデルでの時刻歴では全体的に見て応答変位が大きく出ているものの、大きな差異は認められず、1 質点系モデルによる評価は可能と判断される。

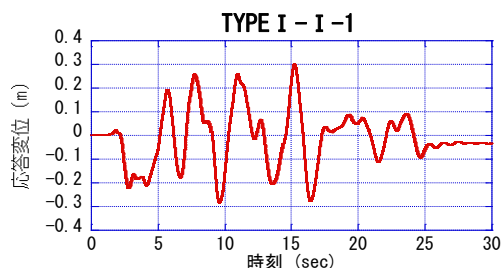


図-5 時刻歴応答(1 質点系モデル)

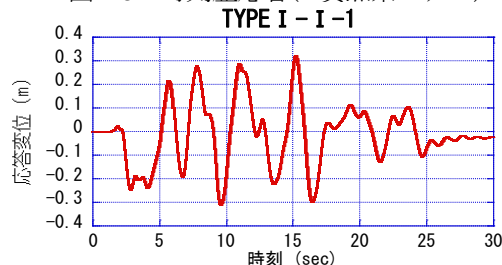


図-6 時刻歴応答(全体系モデル)

表-1 に目標変位に対する全体系モデルとの応答変位の誤差(%)を示す。誤差±10%未満となるケースに関しては青色で表示し、誤差が±10%を越えるケースに関しては橙色で表示している。TYPE I-I-1 地震波およびTYPE II-I-1 地震波では目標変位を 0.15(m)以下に、TYPE II-I-1 地震波では目標変位を 0.4(m)以上に

定した場合には計算は収束しておらず、表は空白部分となっている。TYPE I-I-1 地震波では目標変位を 0.25～0.35(m)に設定した場合、また、固有周期を 2～2.5(sec)に設定した場合に誤差 10%未満となるケースが多く認められた。短周期で目標変位を小さく設定した場合と長周期で目標変位を大きく設定した場合には誤差が 10%を超えるケースが多く認められた。TYPE II-I-1 地震波では、固有周期を 2～3.5(sec)に設定した場合には全ての目標変位で誤差は 10%未満となっているが、固有周期を 4(sec)以上で目標変位を 0.3(m)以上と設定したケースでは誤差が大きく出る傾向にある。

表-1 目標変位に対する全体系モデルとの応答変位誤差

Type I-I-1		周期(sec)							
		1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
変位(m)	0.1								
	0.15		48.0						
	0.2	14.0	18.5	29.0			16.0		
	0.25	10.0	2.0	6.0	3.2	3.6	9.2	13.2	14.4
	0.3	-0.7	2.7	6.7	4.3	7.3	7.0	9.3	11.0
	0.35	11.1	6.3	7.1	13.1	9.7	7.8	5.7	5.4
	0.4		7.0	6.7	12.0	10.5	13.0	10.2	10.0
	0.45		7.8	5.5	11.8	11.3	13.5	10.4	11.5
	0.5		7.2	4.2	14.8	14.6	14.8	8.4	10.2
Type II-I-1		周期(sec)							
		1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
変位(m)	0.1								
	0.15								
	0.2	14.5	2.0	10.0	8.5	7.0	6.0	31.5	34.5
	0.25	-3.6	2.8	7.2	3.2	1.6	2.8	2.8	2.8
	0.3	5.0	-1.7	4.7	1.3	1.0	23.7	20.0	14.3
	0.35		2.8	3.7	-1.7		18.8	18.3	16.3
	0.4						14.5		
	0.45								
	0.5								

誤差±10%以内
誤差±10%以上

4. まとめ

1 質点系モデルでの応答解析により得られたダンパー性能設定方法の全体系モデルへの適用性を、旧耐震設計された 4 径間連続鋼板桁橋の耐震補強に対して検討した。全体系モデルでの目標変位を 0.25～0.35(m)に設定した場合、また、固有周期を 2～2.5(sec)に設定した場合に目標変位に対する応答変位誤差が 10%未満となるケースが多く認められた。これにより、この範囲では 1 質点系モデルによる評価は可能と判断され、本ダンパーの設定が適用可能であると言える。今後の課題としては、1 質点系モデルでの動的応答解析の収束条件の緩和などが挙げられる。