

粘性ダンパーの抵抗特性のばらつきに着目した耐震設計に関する試算

国立開発研究法人 土木研究所 正会員 ○有馬 俊, 澤田 守, 大住 道生

1. はじめに

既設橋の耐震補強等で、支承部に支承本体とは別途地震の影響を低減するための装置（ダンパー）を設ける事例が増えてきている。一方、道路橋示方書¹⁾では、このような構造の信頼性を評価する方法（部分係数）は示されていない。そこで、支承部にダンパーを設けた橋に対して、道示に適合することを検証する方法の確立を目的に、解析により基礎的な検討を実施した。本稿では、速度べき乗依存型の抵抗特性の粘性ダンパーを対象とし、設計で想定する抵抗特性に対するばらつきに着目して試算を行い、既に道示や支承便覧²⁾に設計法が示されている免震橋（「支承による橋の固有周期の適度な長周期化及び支承のエネルギー吸収の両方の効果による部材応答の低減を耐震設計において考慮する橋。また、その効果を発揮する支承を免震支承という。」^{文献1), p.2)}と比較し信頼性を検証した。

2. 検討条件

解析モデルは、文献3)の橋を参考に図-1に示す1橋脚モデルとした。解析は、道示に示されるレベル2地震動タイプ2の加速度波形を用いた時刻歴応答解析とし、支承部の水平変位の相対変位（支承部相対変位）及び橋脚柱部の曲げ変形による水平変位（橋脚曲げ変形）に着目して、3波の最大応答値の平均値（解析値）で評価した。

図-2に検討フローを示す。免震橋モデル（モデル1）と支承部を分散支承と粘性ダンパーとしたモデル（モデル2）は、地盤、橋脚、及び支承部の条件を変更して複数のケースを作成した。表-1に検討ケースの代表諸元及び解析値を示す。また、図-3にモデル1の検討ケースの1次モードの固有周期をレベル2地震動タイプ2の標準加速度応答スペクトルにプロットしたものを示す。検討ケースは、モデル1では、地盤条件（1種, 2種, 3種）と橋脚高が異なる条件（5m, 10m, 15m）ごとに、解析値が道示の免震橋の設計で求められる制限値以内かつ、免震支承のゴム体積（支承数5個, 支承幅400mm~1m, 二次形状係数4~10）又は橋脚の降伏震度（0.4~0.9程度）が最小となるケースを選定した。ここで、降伏震度とは橋脚柱の降伏曲げ耐力を上部構造重量+橋脚重量の1/2で除した値である。モデル2では、地盤、橋脚、及び分散支承（支承数, 支承幅, 二次形状係数）はモデル1と同じ条件とし、モデル1と2の支承部相対変位（支承せん断ひずみ）及び橋脚曲げ変形（橋脚応答塑性率）が同等となるように、粘性ダンパーの減衰係数（抵抗力の評価式 $F=CV^a$ におけるC）を変更して作成した。

ばらつきは支承部のみ考慮した。モデル1では、免震支承に対して便覧に準じて等価剛性が±10%となるよう、ゴムのせん断弾性係数に±10%となる正規分布のばらつきを与え、全てのばらつきで等価減衰定数が設計値以上となるように補正した。モデル2では、分散支承に対して免震支承と同じばらつきを与えた。また、粘性ダンパーに対して減衰係数が±10%となるよう正規分布でばらつきを与えた。

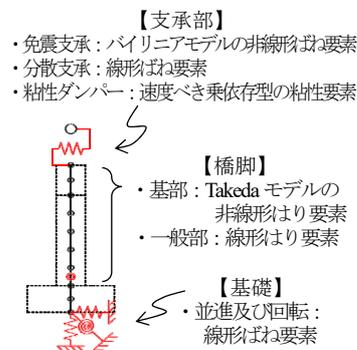


図-1 解析モデル

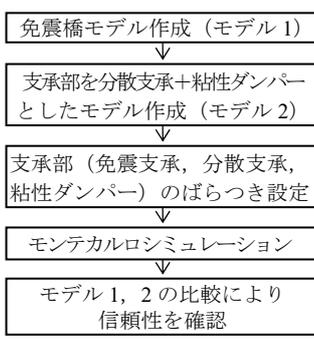


図-2 検討フロー

表-1 各モデル検討ケースの代表諸元及び解析値

ケース	地盤種別	橋脚高 (m)	橋脚鉄筋	降伏震度	支承幅 (mm)	二次形状係数	支承せん断ひずみ	橋脚応答塑性率	図3	
							モデル1	モデル2	凡例	
1	1種	5	D16-1段	0.45	400	4	191%	190%	0.7	○
2		10	D29-1段	0.44	400	4	238%	236%	1.1	○
3		15	D32-2段	0.46	450	4	226%	225%	1.0	○
4	2種	5	D25-1段	0.78	800	6	195%	165%	2.8	△
5			D29-1段	0.92	800	10	225%	207%	3.0	△
6		10	D32-2段	0.74	850	4	168%	156%	1.5	△
7			D35-2段	0.87	800	6	229%	190%	1.5	△
8			D51-1.5段	0.86	700	4	222%	187%	1.3	△
9	3種	5	D25-1段	0.78	850	10	163%	153%	2.5	×
10			D29-1段	0.92	750	10	232%	235%	1.8	×
11		10	D35-2段	0.87	700	4	247%	248%	1.5	×
12			D51-1.5段	1.08	750	4	232%	233%	1.2	×

※ケース12は、橋脚幅も変更

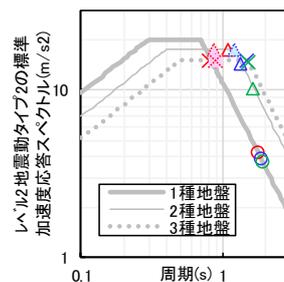
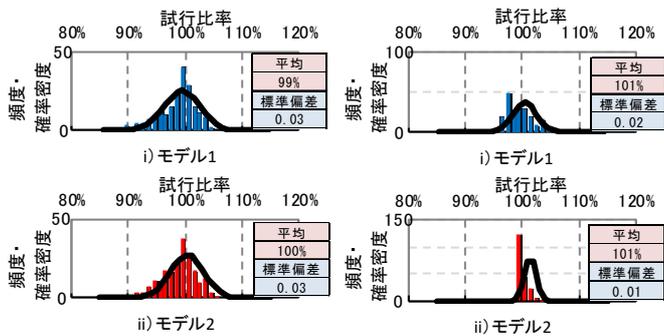


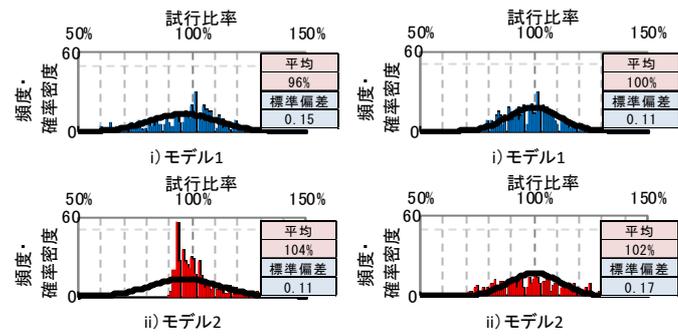
図-3 検討ケースの標準加速度応答スペクトル

キーワード ダンパー, 耐震設計, 免震支承, 動的解析, モンテカルロシミュレーション

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (国研) 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773



(a) 支承部相対変位 (b) 橋脚曲げ変形
図-4 試行比率の頻度分布(ケース 6)

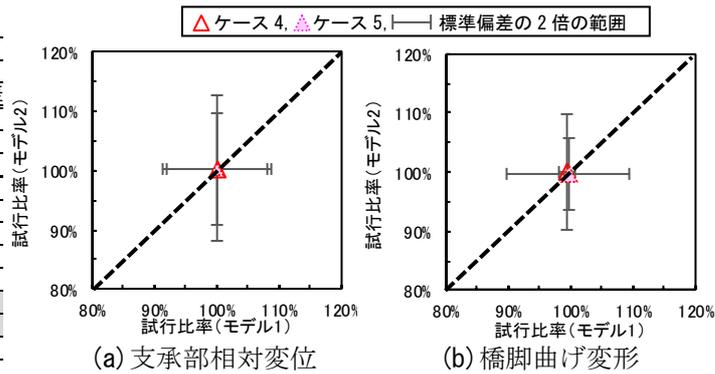


(a) ケース 9 (b) ケース 10
図-5 橋脚曲げ変形の試行比率の頻度分布

表-2 各ケースの試行比率の平均値及び標準偏差

ケース	モデル1 (免震支承)				モデル2 (分散支承+粘性ダンパー)			
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
1	100%	0.01	101%	0.02	100%	0.01	100%	0.01
2	100%	0.03	100%	0.01	100%	0.03	100%	0.005
3	100%	0.01	100%	0.02	100%	0.02	100%	0.002
4	100%	0.04	99%	0.01	100%	0.06	100%	0.05
5	100%	0.04	100%	0.05	100%	0.05	100%	0.03
6	99%	0.03	101%	0.02	100%	0.03	101%	0.01
7	100%	0.04	100%	0.01	100%	0.05	100%	0.03
8	100%	0.01	100%	0.02	100%	0.02	100%	0.01
9	99%	0.06	97%	0.15(0.15)	100%	0.05	104%	0.12(0.11)
10	100%	0.05	101%	0.12(0.11)	100%	0.06	103%	0.18(0.17)
11	100%	0.03	100%	0.02	100%	0.04	100%	0.04
12	100%	0.02	100%	0.02	100%	0.03	100%	0.02

※着色はばらつきが相対的に大きいケース、()は試行回数 500 回



(a) 支承部相対変位 (b) 橋脚曲げ変形
図-6 モデル 1 と 2 の試行比率のばらつき比較

3. 試算結果

モンテカルロシミュレーションの試行回数を 200 回として、モデル 1, 2 の各ケースの支承部相対変位及び橋脚の曲げ変形を算出し、ばらつきなしの解析値に対する比率（以降、試行比率）を求めた。図-4 に代表ケースとしてケース 6 の試行比率の頻度分布及び正規分布に従うと仮定した確率密度を示す。モデル 1, 2 の両モデルとも支承部及び橋脚のばらつきは、正規分布との差がみられるものの正規分布に近い傾向がみられる。

表-2 にモデル 1, 2 の各ケースの試行比率の平均値及び標準偏差を示す。平均値は、全ケースとも 100%程度となった。標準偏差は、支承部相対変位では全ケースとも大差はみられなかったが、橋脚曲げ変形ではケース 9, 10 で大きくなった。図-5 に試行回数を 500 回に増やしたケース 9, 10 の橋脚曲げ変形の試行比率の頻度分布及び正規分布に従うと仮定した確率密度を示す。今回、この要因の根拠を示すには至らなかったが、当該ケースのように地盤種別 3 種で基礎の地盤反力に対して支承部の剛性が相対的に大きくなる条件では、支承部の抵抗特性のばらつきに対して橋脚の曲げ変形への影響が大きくなる可能性が考えられる。なお、当該ケースは 1 次の固有周期の標準加速度応答スペクトルがピーク域の条件となる諸元（図-3 参照）であることから、一般的に免震橋では採用されない。

試行比率のばらつきの程度を評価するため、各ケースの試行比率の平均値と標準偏差の 2 倍の範囲（正規分布と仮定したときに約 95%の生起確率となる範囲）をモデル 1, 2 で比較した。図-6 にケース 9, 10 を除いて、ばらつきが大きくなったケース 4, 5 の結果を示す。モデル 1, 2 で当該範囲の最大値から最小値の範囲を比較すると、両モデルとも支承部相対変位及び橋脚曲げ変形は約 90%から 110%の範囲となり、モデルによる差はみられなかった。

4. まとめ

本稿のモデルの試算の結果、支承部を免震支承とする場合と分散支承+粘性ダンパー（速度べき乗依存型）とする場合に、支承部にばらつきを考慮して解析したところ、支承部相対変位及び橋脚曲げ変形の試行比率のばらつきに異なる傾向はみられなかった。また、両者とも、地盤種別 3 種の 1 次の固有周期の標準加速度応答スペクトルがピーク域の条件となる諸元では、試行比率のばらつきが大きくなった。今後は、抵抗特性のばらつきやダンパーの減衰力特性等の条件を変更してデータを蓄積していくとともに、信頼性の評価について検討を進める予定である。

参考文献 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・動解説 V 耐震設計編, 2017.11, 2) (社)日本道路協会：道路橋支承便覧, 2018.12, 3) (社)日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料, pp.2-1~2-139, 5-4, 6-5, 1997