

地震時の上部構造端部と橋台の衝突における 緩衝装置の効果と設置方法に関する検討

三上 卓¹・運上茂樹²・近藤益央³

¹正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所研究員 耐震研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 工博 独立行政法人土木研究所上席研究員 耐震研究グループ (同上)

³正会員 独立行政法人土木研究所主任研究員 耐震研究グループ (同上)

1. はじめに

本研究は、道路橋の桁端部構造の合理化を図るために、大規模地震時に道路橋の桁と橋台間の衝突が橋全体の地震時挙動に及ぼす影響について明らかにすることを目的とするものである。

本文では、両端に橋台を有する道路橋を対象に、桁と橋台パラペット部の衝突による衝突力を緩和するために設置する緩衝装置の設置方法、すなわち、緩衝装置の厚さおよび支圧面積が橋全体の地震時挙動に及ぼす影響について解析的に検討した結果をまとめた。

2. 解析方法

(1) 解析モデル

桁端部における衝突現象を考慮して橋の地震時挙動を解析的に追跡するために、図-1に示すような骨組モデルを用いた弾塑性地震応答解析を行うこととした。衝突現象を解析的に追跡するためには、衝突現象を再現できる適切なモデル化を図る必要があり、以下のように仮定した。

衝突現象は、桁と橋台間に非線形の履歴特性を有する衝突バネを設置し、上部構造の変位が遊間量を超えて橋台のパラペットの方向に移動した際、衝突バネに反力が生じるものと仮定した。遊間に緩衝装置がない場合は、上部構造の応答が遊間変位より小さい場合には衝突バネには反力が生じないが、遊間量を超えるとバネ定数 K を有する衝突バネに反力が生じるものと仮定した。

衝突現象は非常に短時間で生じる衝撃的な現象で

あるため、これを解析で適切に再現するためには、衝突バネのバネ定数や解析時の積分時間間隔などが重要となる。衝突バネ定数 K としては、上部構造の軸方向剛性を基本に波動伝播を考慮した剛性として文献[3, 4]で提案されている次式を用いた。

$$K = \gamma EA/L \quad (1)$$

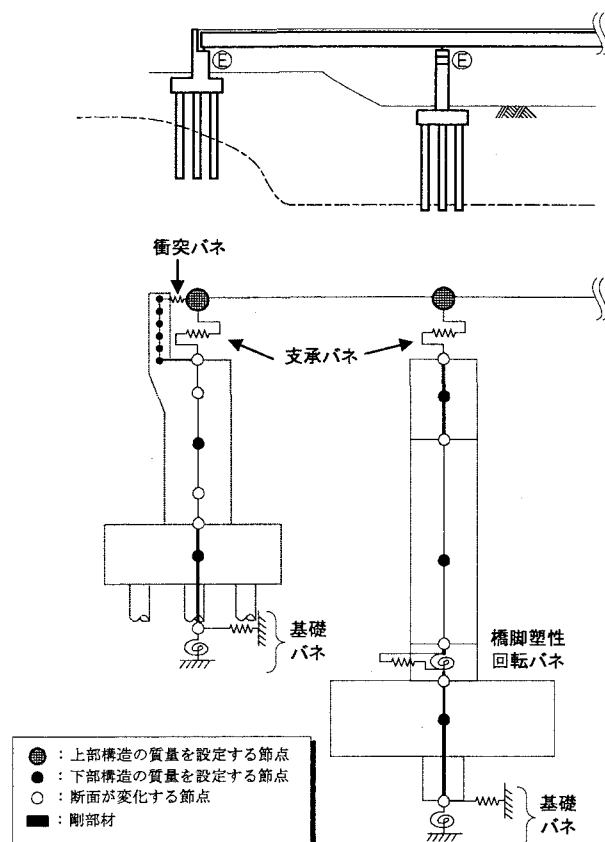


図-1 上部構造と橋台の衝突を考慮するための解析モデル

ここに、

EA ：上部構造の軸方向断面剛性

L ：上部構造の長さ

γ ：衝突バネと上部構造の軸剛性の比

衝突バネ定数と数値積分時間間隔の関係について解析的検討⁵⁾を行い、本解析で用いた解析対象橋梁については、衝突バネと上部構造の軸剛性の比 $\gamma=20$ 、数値積分時間間隔については、解析結果が安定して求められる1/1000秒に設定した。

上部構造や橋脚の構造部材については非線形履歴特性を考慮できる梁要素で、基礎については弾性バネでモデル化した。ゴム系支承は弾性バネとしてモデル化した。橋台は、衝突が起ると橋台のパラペット部が破壊することが想定され、これを通常の非線形部材としてモデル化することが必要とされるが、以下の解析では緩衝装置の効果に着目するために、弾性と仮定した。橋台背面土については、著者らの解析的検討⁶⁾により、橋台背面土を考慮しない場合とケーソン基礎に準じてモデル化した場合の試算結果から両者の結果の違いがほとんど見られないことから、簡単化のために、考慮しないこととした。

(2) 緩衝装置モデル

衝突の影響を緩和するための緩衝装置としては、図-2の降伏型のバネ特性を有する緩衝装置を想定した。降伏型モデルは、円筒型のゴム製緩衝装置のように、これが軸方向力を受けると、ある変位量で降伏が生じ、その降伏抵抗を保つことが可能な履歴特性を有する装置を想定している⁷⁾。緩衝装置は、厚さを10cmおよび20cmとし、支圧面積を1m²、5m²および10m²とした。解析で用いた降伏型緩衝装置のバネ定数を表-1に示す。なお、桁と橋台間の初期遊間量は25cmに設定した。

(3) 解析対象橋

解析対象橋としては、一般的な橋を対象とすることとし、文献[8]に示される5径間連続の地震時水平力分散構造の橋を基本に設定した(図-3参照)。解析対象橋の設計条件は表-2のとおりである。

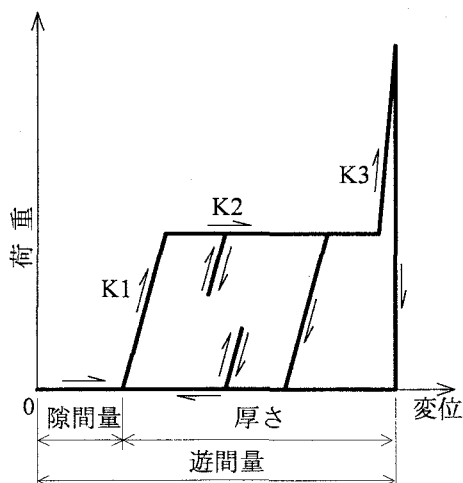


図-2 緩衝装置モデル

表-1 降伏型緩衝装置のバネ定数

		支圧面積		
		1m ²	5m ²	10m ²
厚さ10cmの ハニカム型 緩衝材	プレート荷重 f (kN/個)	118.65	118.65	118.65
	緩衝材厚さ h (m)	0.1	0.1	0.1
	緩衝材個数 (個)	28	141	282
	K1 (kN/m)	332,220	1,672,965	3,345,930
	K2 (kN/m)	0	0	0
	K3 (kN/m)	12,390,000	12,390,000	12,390,000
厚さ20cmの ハニカム型 緩衝材	プレート荷重 f (kN/個)	950.00	950.00	950.00
	緩衝材厚さ h (m)	0.2	0.2	0.2
	緩衝材個数 (個)	7	35	70
	K1 (kN/m)	333,000	1,663,000	3,330,000
	K2 (kN/m)	0	0	0
	K3 (kN/m)	12,390,000	12,390,000	12,390,000
	K4 (kN/m)	12,390,000	12,390,000	12,390,000

表-2 解析対象橋の設計条件

上部構造形式	5径間連続鋼桁橋
橋長および 支間長	40m×5径間=200m
橋台形式	逆T式
橋脚形式および 橋脚躯体高さ	単柱橋脚、躯体高さ10m
基礎形式	杭基礎
支承条件	積層ゴム支承による 地震時水平力分散構造
地盤種別	II種地盤

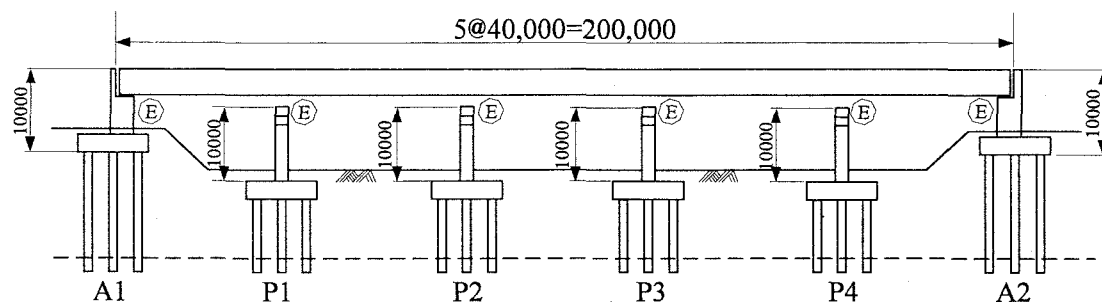


図-3 解析対象橋梁

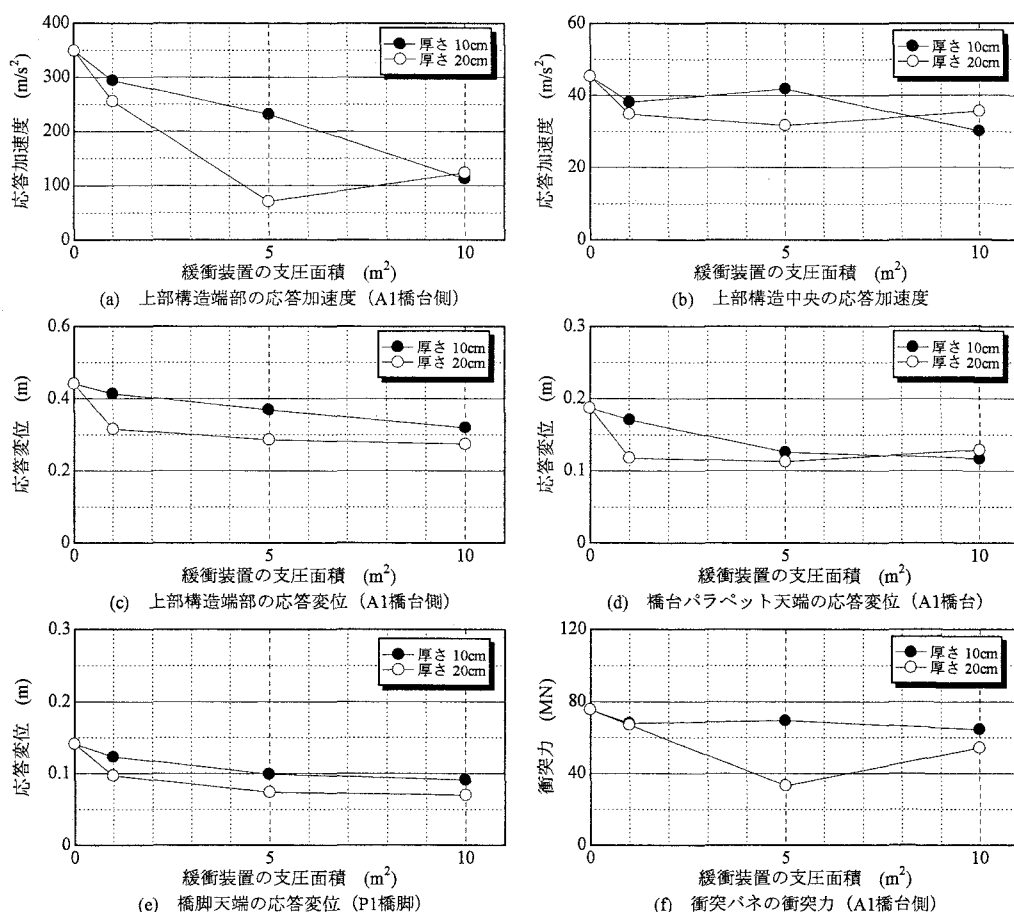


図-4 緩衝装置の厚さおよび支圧面積の違いが橋全体の応答に及ぼす影響

3. 解析結果

(1) 緩衝装置の設置方法の影響

本節では、桁と橋台間の衝突時における緩衝装置の挙動に対する緩衝装置の厚さおよび支圧面積の違いによる影響を検討するため、橋脚高さ10m、初期の桁遊間量25cm、緩衝装置は降伏型(厚さ10cm, 20cm)とし、それらの支圧面積は1m², 5m²および10m²として解析を行った。入力加速度は、文献[8]に示されるタイプIIの標準加速度波形II-II-1である。

図-4は、緩衝装置の厚さおよび支圧面積の違いが地震時挙動に及ぼす影響を、上部構造端部の応答加速度および応答変位、上部構造中央の応答加速度、橋台パラペットおよび橋脚天端の応答変位、および衝突パネ反力について示したものである。

図より、上部構造端部および中央の応答加速度は、緩衝装置の厚さが10cmの場合には、支圧面積が大きくなるにつれ、応答加速度が小さくなっているが、厚さが20cmの場合には、支圧面積が5m²の場合に応答加速度が最も小さな値となっている。上部構造端部、橋台パラペット天端および橋脚天端の応答変位は、総じて、緩衝装置の厚さが大きく、また、支圧面積が大きくなるにつれ、応答変位が小さくなって

おり、緩衝装置の効果が表れている。ただし、厚さ20cmかつ支圧面積10m²の場合の橋台パラペット天端の応答変位のみ、異なった結果を示している。衝突パネの衝突力についても、上部構造の応答加速度と同様に、緩衝装置の厚さが20cmかつ支圧面積が5m²の場合に最も小さな応答値を示している。

(2) 緩衝装置のパネ反力-変形関係

図-5は、A1橋台側およびA2橋台側の緩衝装置のパネ反力-変形関係を示したものである。図より、緩衝装置の厚さが10cmの場合には、支圧面積が1m²および5m²の場合において、緩衝装置が降伏した上に、緩衝装置の塑性域を超えて変形し、緩衝装置が圧壊し、上部構造端部と橋台パラペットの衝突現象が起こっていることがわかる。厚さが20cmの場合には、支圧面積を1m²とした場合のみ、同様の挙動を示している。緩衝装置の厚さが20cmかつ支圧面積が10m²の場合については、降伏まで達しておらず、弾性域での応答を示している。それ以外の2ケースについては、降伏はするものの、塑性域での応答に留まっていることがわかる。特に、厚さ20cmかつ支圧面積が5m²の場合には、パネ変形量が多少大きく応答しているが、支圧面積が10m²の場合よりもパネ反

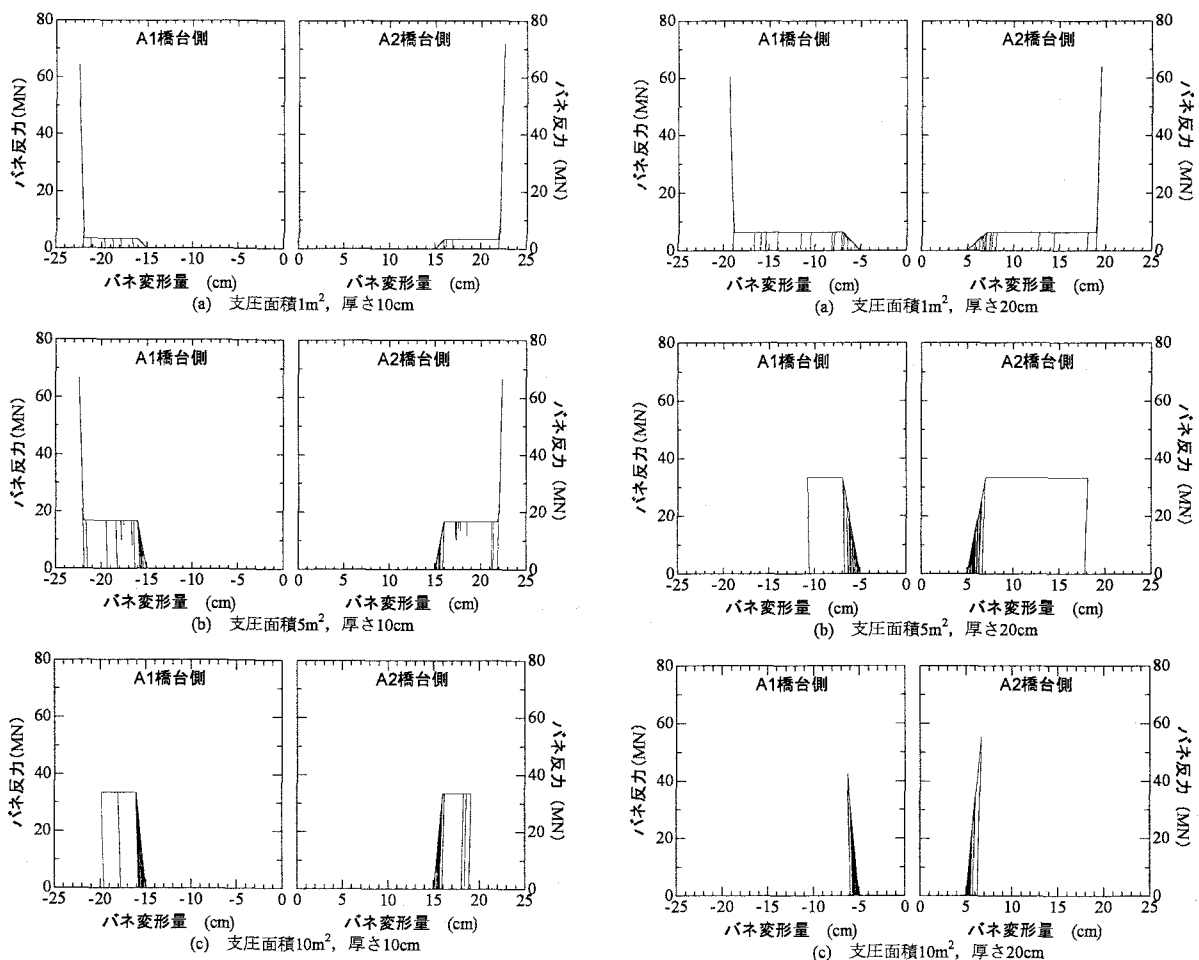


図-5 緩衝装置の厚さおよび支圧面積の違いが緩衝装置のバネ反力-変形関係に及ぼす影響

力が2/3以下に抑えられていることがわかる。

この緩衝装置のバネ反力-変形関係を図-4の結果と照らし合わせてみると、緩衝装置の厚さが20cmの場合には、支圧面積が5m²の場合において、緩衝装置が降伏し、塑性域を超えずに応答することで、バネ反力が小さく抑えられ、上部構造端部および中央の応答加速度が小さくなっている。逆に、支圧面積が10m²の場合においては、支圧面積が大きいことから、降伏に達さず、上部構造端部および橋台パラペット天端の応答変位は小さく抑えられるものの、バネ反力が大きくなるとともに、橋台パラペット基部の断面力が大きくなる。

4. おわりに

両端に橋台を有する道路橋を対象に、桁と橋台パラペット部の衝突による衝突力を緩和するために設置する緩衝装置の厚さおよび支圧面積が橋全体の地震時挙動に及ぼす影響に関して検討した。

その結果、ある強度以上の緩衝装置を用意すれば、衝突部での衝撃的な加速度を低減することができる。また、緩衝装置の厚さおよび支圧面積は、厚さおよ

び支圧面積が大きいほど、橋全体への効果が大きい訳ではなく、それぞれの厚さおよび支圧面積において効果が大きい厚さおよび支圧面積が存在することがわかった。

参考文献

- (1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，丸善，2002.3.
- (2) 運上茂樹，近藤益央，三上卓：上部構造端部と橋台の衝突が橋全体の地震時挙動に及ぼす影響，土木技術資料，Vol.44，No.2，pp.20-25，2002.2.
- (3) 川島一彦，庄司学：衝突緩衝用落橋防止システムによる桁間衝突の影響の低減効果，土木学会論文集，No.612/I-46，pp.129-142，1999.1.
- (4) 川島一彦：桁間衝突と落橋防止構造の作用力，第3回橋梁構造等の耐震設計法に関する講習会，2000.10.
- (5) 運上茂樹，近藤益央，三上卓：地震時における橋梁上部構造端部と橋台間の衝突解析法-積分時間間隔と衝突バネ定数の設定-，土木技術資料，Vol.45，No.4，pp.64-69，2003.4.
- (6) 運上茂樹，近藤益央，三上卓：上部構造端部と橋台の衝突における橋台背面土のモデル化の影響，第6回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.159-162，土木学会，2003.1.
- (7) 越峠雅博，運上茂樹，足立幸郎，長屋和宏：弾塑性型特性を有する円筒型ゴム製緩衝装置の衝撃緩衝効果に関する実験研究，土木学会論文集，No.675/I-55，pp.99-112，2001.4.
- (8) (社)日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997.3.