

けた衝突を考慮した橋システムの地震時挙動

吉澤 努¹・忽那 幸浩²・田崎 賢治³・川神 雅秀⁴

¹正会員 工修 大日本コンサルタント 技術本部（〒343-0851埼玉県越谷市七左町5-1）

²正会員 工修 日本道路公団 技術部（〒100-8979東京都千代田区霞が関3-3-2）

³正会員 工修 大日本コンサルタント 技術一部（〒343-0851埼玉県越谷市七左町5-1）

⁴正会員 工博 大日本コンサルタント 技術本部（〒343-0851埼玉県越谷市七左町5-1）

1. はじめに

積層ゴム支承を用いた地震時水平力分散構造のけた橋は、大規模地震が発生した際、けたに大きな水平変位が発生し、けたと橋台パラペットや隣接けた間相互において衝突が生じる可能性がある。これを回避するには、けた遊間量を相当大きく確保する必要がある。このため、大規模な伸縮装置が必要となり、走行性、維持管理性、全体工事費等の面で不利となる場合がある。

本研究では、けた橋を対象としてけた遊間量を常時あるいは震度法レベルの水平変位により設定し、大規模地震時にけた衝突が発生する場合の橋の動的挙動についてシミュレーション解析を行った。これにより、けた衝突

が発生する部位に設置した緩衝装置の効果や、橋台パラペットやけた端部の破壊の影響について検討した。そして、緩衝装置の設計方法や、けた衝突の影響を橋の耐震設計にどのように反映すべきかについて考察した。

2. 解析条件

解析モデル橋は図-1に示す両端橋台の5径間連続けた橋¹⁾とし、図-2に示すように橋台パラペット～主げた間に緩衝装置を設置した。緩衝装置は、図-3のようなハニカム型（厚さ0.2m）を想定し、1支承線上に20個を設置するものとした。

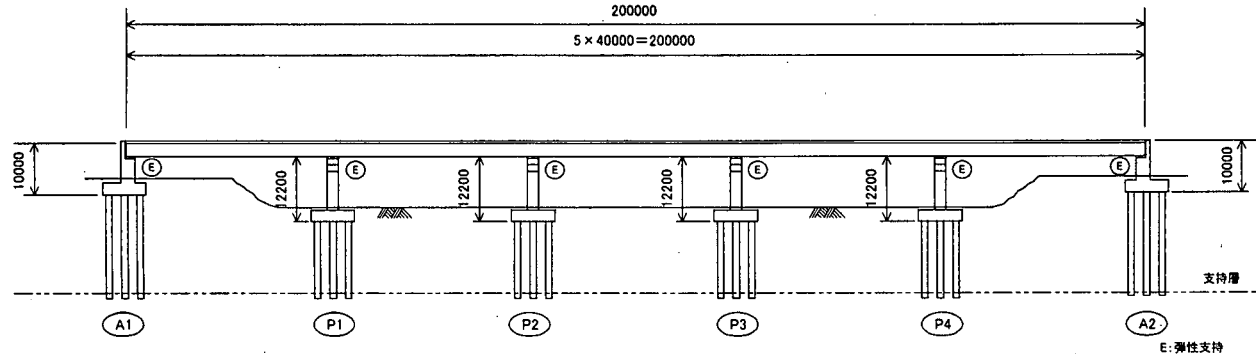


図-1 解析対象橋

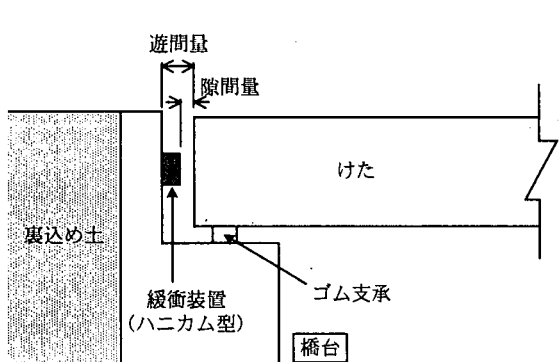


図-2 緩衝装置設置位置

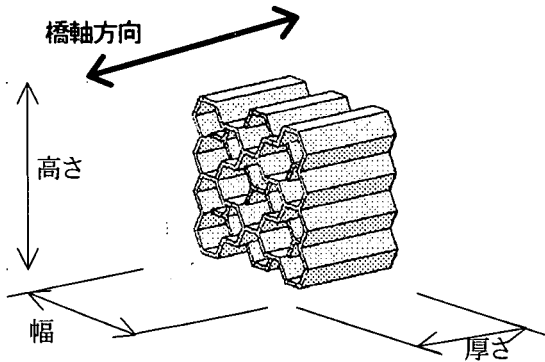
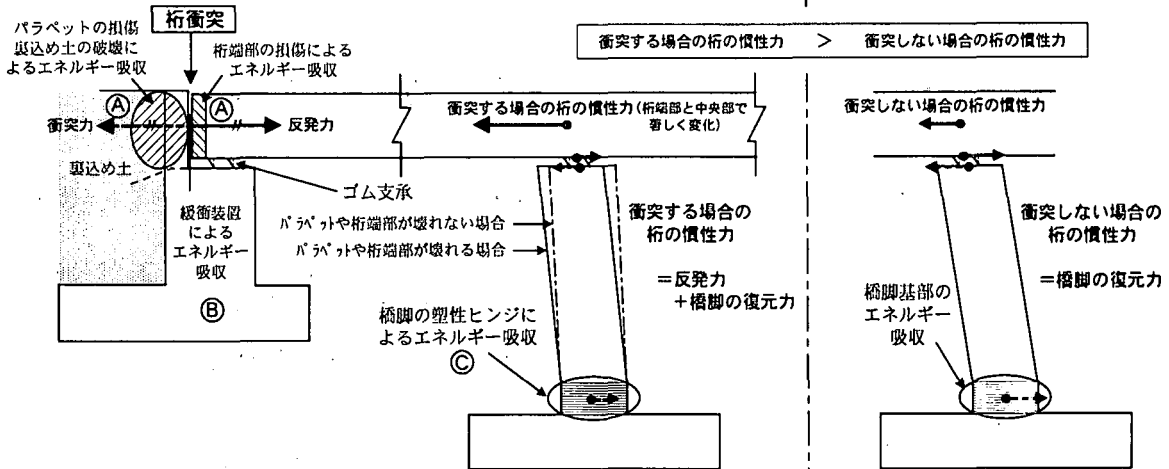


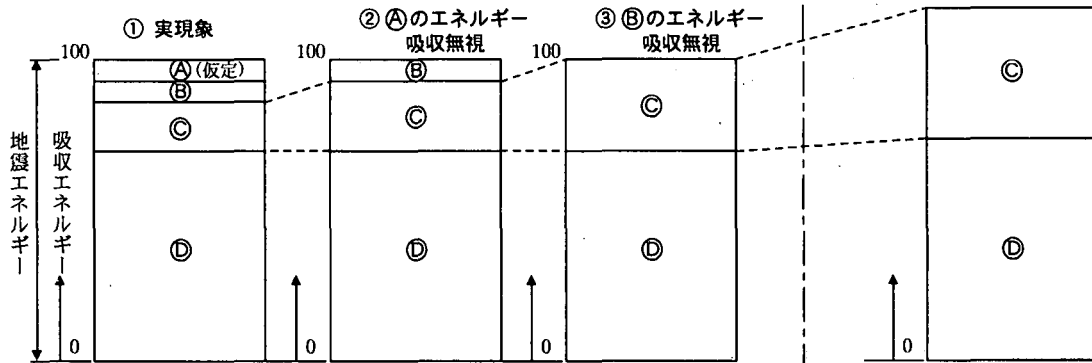
図-3 ハニカム型緩衝装置

衝突する場合

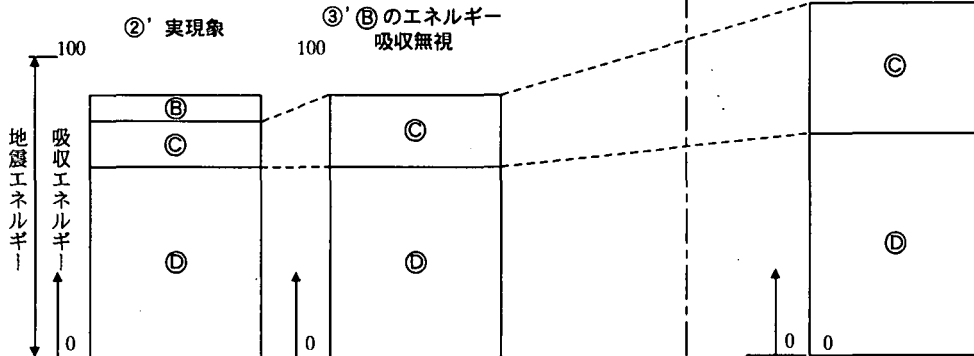
衝突しない場合



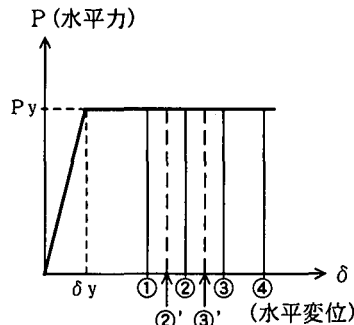
i) パラベットや桁端部が壊れる場合 (桁移動量: 遊間量 + $\alpha = 37\text{cm}$)



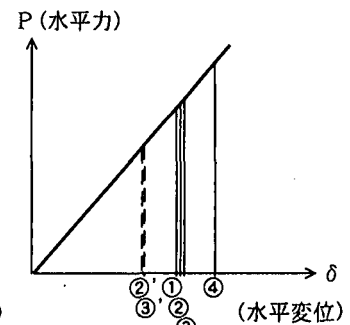
ii) パラベットや桁端部が壊れない場合 (桁移動量: 遊間量 = 25cm)



- ① : パラベットや桁の破損等による吸収エネルギー
- ② : 緩衝装置による吸収エネルギー
- ③ : 橋脚の塑性ヒンジによる吸収エネルギー
- ④ : 粘性減衰による吸収エネルギー + α (線形要素のひずみエネルギー)



橋脚の設計変位



ゴム支承の設計変位

図-4 けた衝突を考慮する場合の橋のエネルギー吸収の考え方と橋脚および支承の設計変位

けた衝突が発生する際の橋のエネルギー吸収については、図-4のように整理することができる。橋台パラペットやけた端が損傷する場合は、実現象としては以下の4通りのエネルギー吸収部位が考えられる。

- A：橋台パラペットやけた端部の破壊（履歴減衰）
- B：緩衝装置（履歴減衰）
- C：橋脚基部の塑性ヒンジ（履歴減衰）
- D：その他の部位（粘性減衰、逸散減衰）

ここでは、けた衝突の有無、橋台パラペットやけた端部の破壊の有無、橋のエネルギー吸収をどの部位（A～D）について考慮するか等の比較検討項目を想定し、検討ケースは表-1に示す9ケースとした。

解析モデルの概要を図-5に示す。緩衝装置は実験結果²⁾から得られた履歴特性を近似し、図-6のような履歴モデルを作成した。けた衝突は、初期ギャップを考慮した非線形バネにより考慮した。衝突バネの剛性は衝撃力発生 の程度と解の安定とを勘案し、けたの軸方向剛性の5倍とした。

橋台背面には橋台パラペットやけた端部の破壊を表す非線形バネを設置し、図-7に示す非線形バネ要素でモデル化した。バネ定数は文献³⁾により設定した。

橋脚は、柱基部に塑性ヒンジが生じるものとし、塑性ヒンジの履歴モデルは剛性低下型の武田モデルを用いた。

解析方法は直接積分法による非線形時刻歴応答解析とし、積分時間刻みは $\Delta t=1/1000$ に設定した。入力地震動は文献¹⁾に示されるタイプIIの標準加速度波形を用い、解析結果は3波平均して扱った。

3. 解析結果

解析結果を表-2に示す。ここで、橋脚応答とは、基部に設置した塑性ヒンジの最大回転角を示す。解析結果の概要は以下のとおりであった。

(1) けた衝突の影響

けた衝突を考慮しないケース1と、けた衝突を考慮するケース2、3およびケース7を比較すると、けた衝突によりけたの変位が拘束されるため、上部構造の応答変位が顕著に低減され、支承、橋脚の応答値も低減された。特に橋脚基部塑性ヒンジの最大回転角は、橋台パラペットやけた端部の破壊を考慮したケース3においても0.00197radと、ケース1の0.00889radに対し1/4以下であった。

一方、衝突バネにはケース2で43250kN、ケース7では67810kNの衝撃力が生じた。また、上部構造にはケース2で6G以上、ケース7では8G以上の加速度が生じた。

(2) 緩衝装置の効果

緩衝装置を設置しないケース7と、緩衝装置を設置するが減衰を考慮しないケース9を比較すると、ケース9

表-1 解析ケース

ケース項目			エネルギー吸収	解析ケース
衝突なし			CD	1
衝突あり	パラペットやけた端等が壊れる	緩衝装置なし	ACD	2
			CD	3
			ABCD	4
		緩衝装置あり	BCD	5
			CD	6
			CD	7
	パラペットやけた端等が壊れない	緩衝装置なし	BCD	8
		緩衝装置あり	CD	9

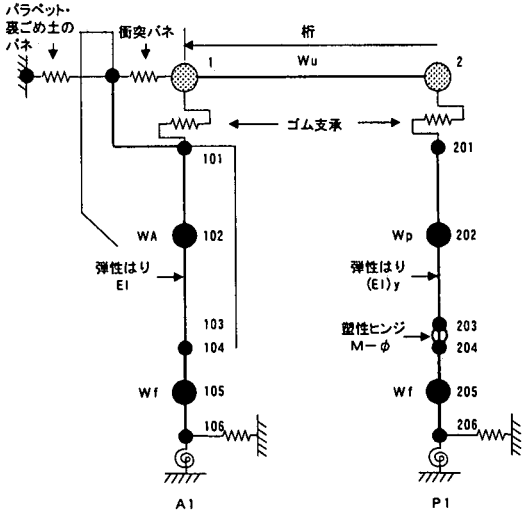


図-5 解析モデルの概要

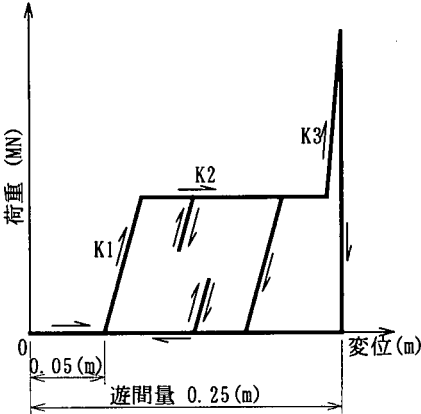


図-6 緩衝装置の履歴モデル

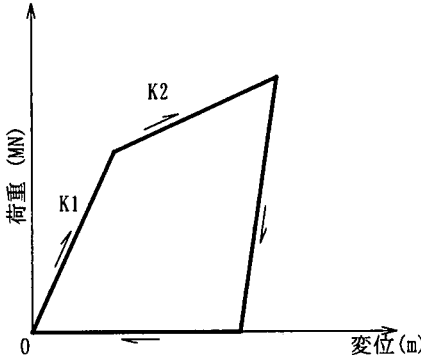


図-7 パラペット・けた端の損傷バネ

表-2 解析結果

ケース項目			I補強・ 吸収	解 析 ケース	上部構造		衝突バネ 最大反力 (kN)	支承 変位 (m)	橋脚 応答 (rad)
					変位 (m)	加速度 (m/s ²)			
衝 突 な し			CD	1	0.757	16.64	—	0.607	0.00889
衝 突 あ り	バラベットや けた端等が 壊れる	緩衝装置なし	ACD	2	0.399	61.18	43250	0.319	0.00153
			CD	3	0.446	79.06	53070	0.365	0.00197
		緩衝装置あり	ABCD	4	0.243	25.09	13240	0.207	0.00085
			BCD	5	0.299	26.72	14120	0.258	0.00095
			CD	6	0.362	68.44	17650	0.312	0.00115
		緩衝装置なし	CD	7	0.299	81.50	67810	0.256	0.00158
	バラベットや けた端等が 壊れない	緩衝装置あり	BCD	8	0.199	23.83	19670	0.156	0.00075
			CD	9	0.206	63.38	24650	0.166	0.00077

ではケース7に対し上部構造の応答変位、応答加速度、衝突バネ反力、支承、橋脚の応答のいずれも低減された。また、衝突バネ反力も67810kNから24650kNまで顕著に低減された。

ケース9と緩衝装置の減衰を考慮したケース8を比較すると、橋の応答はいっそう低減されており、特に上部構造の応答加速度はケース9のさらに半分以下の2.4G程度であった。

(3) 橋台バラベットやけた端部の破壊の影響

緩衝装置を設置し、減衰も考慮したモデルにおいて、橋台バラベットやけた端部の破壊が生じるケース5と生じないケース8を比較すると、ケース5では10cm程上部構造の変位が増加しており、緩衝装置を設けないケース7と同等であった。一方、衝突バネ反力はケース8に対し約5000kN低減された。

橋台バラベットやけた端の破壊による減衰を考慮したケース4では、ケース5に対し上部構造や支承の変位が約5cm低減された。しかし、これらの変位や橋脚の応答値は緩衝装置を設けないケース7に比較してまだ大きく、橋台バラベットやけた端が健全である方が、けた衝突により橋の変位を低減する効果が高いことが示された。

4. 考察

本検討により、けた衝突を考慮することで上部構造や支承の最大変位や、橋脚基部の塑性ヒンジの最大回転角を低減できることが分かった。このため、橋台とけたを衝突させることにより橋の耐震性が向上する可能性が示唆された。また、緩衝装置の有効性も確認された。

けた衝突を考慮した場合の耐震設計概念としては、図-4に示した橋のエネルギー吸収をどこまで考慮するかに応じて、以下のようなレベルが考えられる。

①けた衝突を考慮し、けた遊間を低減して常時および震度法地震時により設定する。ただし、橋脚等の設計は道路橋示方書V耐震設計編⁴⁾に準じて行う。

②けた衝突による地震応答の低減効果を見込み、支承寸法や橋脚の寸法および鋼材を低減し、より経済的な設計とする。

③緩衝装置の履歴減衰効果も考慮し、一層の経済性向上を図る。

ここで、①→②→③の順で経済性の向上が期待できるが、同時に、設計結果に対する緩衝装置の品質や解析精度の依存度も高くなる。このため、現時点では、①の採用が最も現実的と考えられるが、この場合でも、けた衝突を考慮しない場合に対して伸縮装置の規模が縮小可能となり、コスト低減や維持管理性の向上等の様々な有利性が期待できる。②や③のようなより高い設計レベルを実現するには、解析の精度向上を図ることや、衝突回数依存性、温度依存性などの各種依存性に対して安定した緩衝装置の開発および性能確保が課題となる。

橋台バラベットやけた端部の破壊の影響は、けた衝突の有無の影響ほど顕著ではないが、緩衝装置の効果と同程度に橋の応答値に影響することが分かった。橋台バラベットの破壊は、けた衝突時の背面土の挙動や踏み掛け版の影響などについて不明点が多く、けた衝突を考慮した橋の耐震設計の精度をより高めるためには、これらの挙動を明らかにしてゆく必要がある。

隣接けた間の衝突についても、耐震設計においてけた衝突を考慮することが望ましいと考えられる。そこで、緩衝装置の効果、衝突するけたどうしの固有周期差や、質量の差による衝突の影響等を検討することが、今後の課題である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997.3.
- 2) 野島他：緩衝機能を有する落橋防止システムの開発，日本道路公団試験研究所報告，Vol.36，1999.11
- 3) CALTRANS：Bridge Design Practice，1995.10.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1996.12.