

桁と橋台の衝突を考慮した橋梁の地震時挙動 に関する解析的検討

佐藤雅士¹・運上茂樹²・星隈順一³

¹正会員 (株) 復建技術コンサルタント 構造設計部 (〒980-0012 宮城県仙台市青葉区錦町 1-7-25)
²正会員 工博 独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ 上席研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6)
³正会員 工博 独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ 主任研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6)

橋梁においては地震時水平力分散ゴム支承を用いた連続構造が採用されることが多く、大地震時における桁の変形量が大きくなることから、遊間や伸縮装置の設置などにおいて問題が生じ得る場合もある。一方、遊間を大きく設けられない場合には、大地震時には桁と橋台や桁同士の衝突が生じ得るが、この場合には衝突部に損傷を生じる可能性がある。その一方で、桁の橋軸方向の振動を抑制する効果も期待され、橋全体としては耐震性を向上できることも考えられる。このため、本論文では、地震時の桁と橋台の衝突に対して遊間量や緩衝装置の設置が橋全体の振動に対してどのような影響を及ぼすかを解析的に検討した結果をまとめたものである。

Key Words : bridge, seismic design, dynamic analysis, pounding

1. はじめに

近年、橋梁においては地震時の水平力を分散する観点からゴム支承を用いた連続構造が採用されるようになってきている。しかし、大地震時にはゴム支承の変形量が大きくなることから、上部構造の応答変位が増大し、桁端部の遊間や伸縮装置の設置などにおいて構造的、経済的な課題が生じる場合もある。一方、遊間を大きく設けられない場合には、大地震時には桁と橋台や桁同士の衝突が生じる恐れがある。この場合に

は、桁端部、橋台パラペットに衝撃的な荷重が作用することが予想され、衝突部に損傷を生じる可能性がある。その一方で、衝突現象が桁の橋軸方向の振動を抑制し、応答変位を低減させる効果も期待され、橋全体としては耐震性を向上できる可能性もある。

そこで、本論文では、地震時の桁と橋台の衝突に対して遊間量や緩衝装置の設置が橋の振動に対してどのような影響を及ぼすかを解析的に検討した結果をまとめたものである。

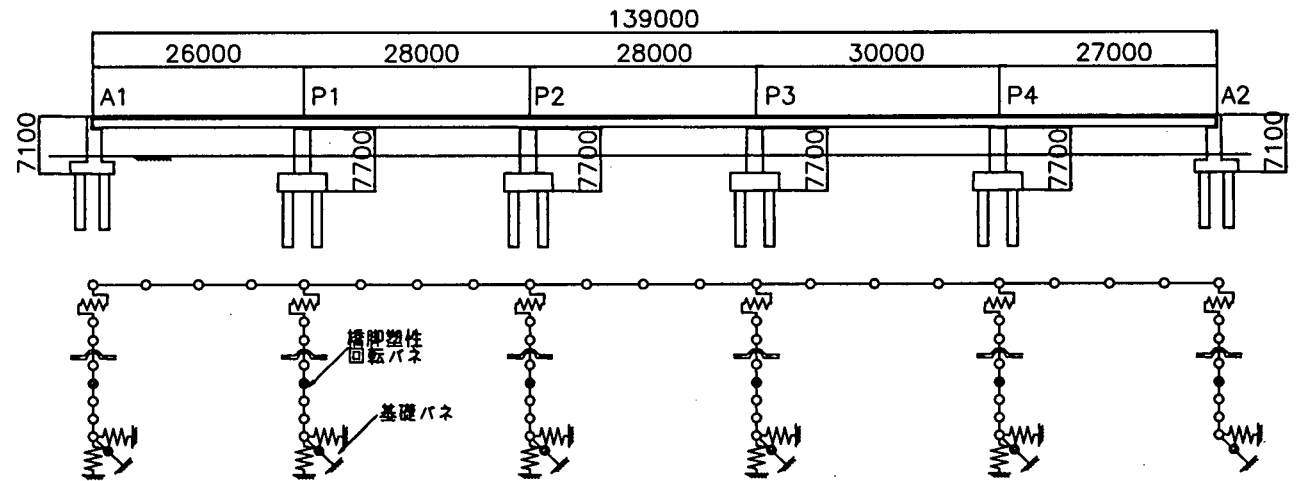


図-1 全体モデル

2. 解析モデル

解析モデルとしては、図-1、図-2に示すように、両端が橋台で支持されている5径間連続橋とし、橋台パラペットと主桁間の衝突に着目した。解析では、遊間と緩衝材の厚さをパラメータとし、遊間量は50～400mmに、緩衝材についてはこれを設けない場合と厚さを100～300mmに変化させた。

解析モデルの桁端部には、図-3に示すような非線形弾性バネを設けた。バネ定数 K_2 は緩衝材の圧縮バネ、 K_1 は桁の軸方向バネより設定¹⁾した。緩衝材としては、素材として、せん断弾性係数G12のゴムパットを想定した。橋台パラペット及びパラペット背面地盤抵抗については、図-4に示すような非線形バネ要素（パイリニア型履歴特性）を考慮した。パラペットは軸力の作用しない矩形断面として終局曲げモーメント M_u ²⁾を設定し、バネ定数 K_H は地盤バネ、 P_u は受働土圧³⁾とし、残留変形を考慮したモデルとした。

解析は、非線形時刻歴応答解析法とし、入力地震波としては、図-5に示す加速度波形³⁾2波（a波、b波）を用いた。

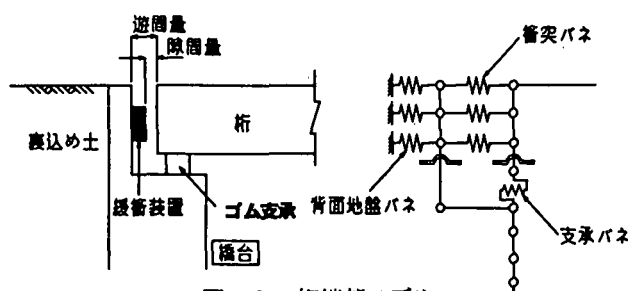


図-2 桁端部モデル

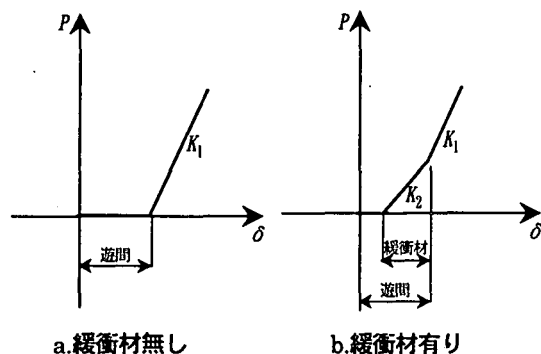


図-3 桁端衝突バネ

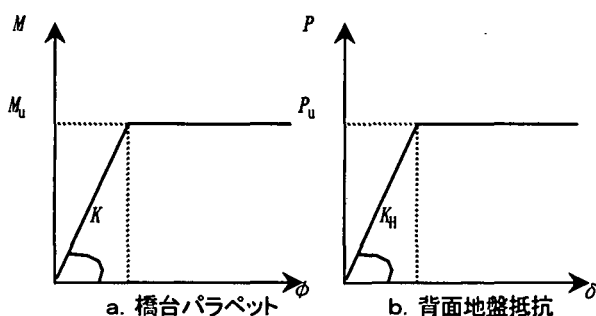


図-4 パラペット及び背面地盤抵抗

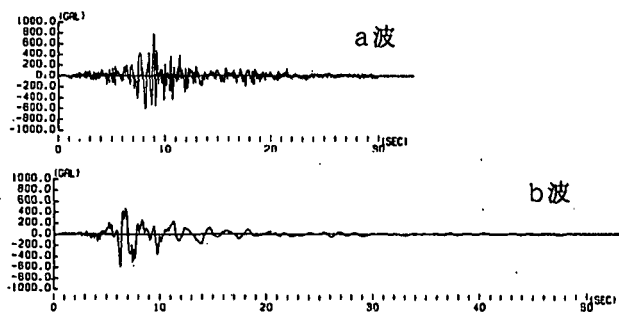


図-5 入力地震波

3. 解析結果

(1) 桁の応答変位への遊間の影響

図-6は、緩衝材を設けずに遊間量を変化させた場合の桁の応答変位波形を示したものである。また、表-1は各遊間で桁の最大応答変位を示したものである。a波を入力した場合には、遊間400mmでは衝突せず、そのときは337mmが桁の応答変位となっている。遊間を300mm以下とすると、桁と橋台パラペット間で衝突が生じ、遊間量を小さくするほど桁の応答変位も小さくなり、遊間50mmでは遊間400mmの6割程度となっている。ただし、遊間50mmの場合、桁の最大応答変位は遊間量を約150mm程度超過しているが、これは両端の橋台パラペット部が背面土側に約150mm押し込まれたことを意味している。

一方、b波を入力した場合には、561mmであるが、すべてのケースで衝突が生じている。傾向としてはa波と同様、遊間量を小さくするほど応答変位も小さくなり、遊間を50mmとすると遊間を400mmとした場合の3割程度まで抑えることができる。

入力地震波a波とb波で異なる点として、遊間量の超過分について、変形量の小さいa波では遊間を小さくし桁の応答変位を拘束するほど背面土側に押し込む量も増大するが、変形量の大きいb波の場合、遊間が300mmのケースで最大を示している。

表-1 桁の最大応答変位

遊間 (mm)	緩衝材 (mm)	応答変位 (mm)		超過分変位分担 (mm)			
		a波	b波	a波		b波	
				緩衝材	背面土	緩衝材	背面土
50	無	204	170	—	147	—	117
100	無	231	243	—	125	—	136
200	無	262	375	—	64	—	166
	100	267	358	67	93	66	178
300	無	324	478	—	21	—	168
400	無	337	561	—	—	—	153
	100	332	556	20	10	72	171
	200	306	546	75	27	166	167
	300	277	519	121	51	258	149

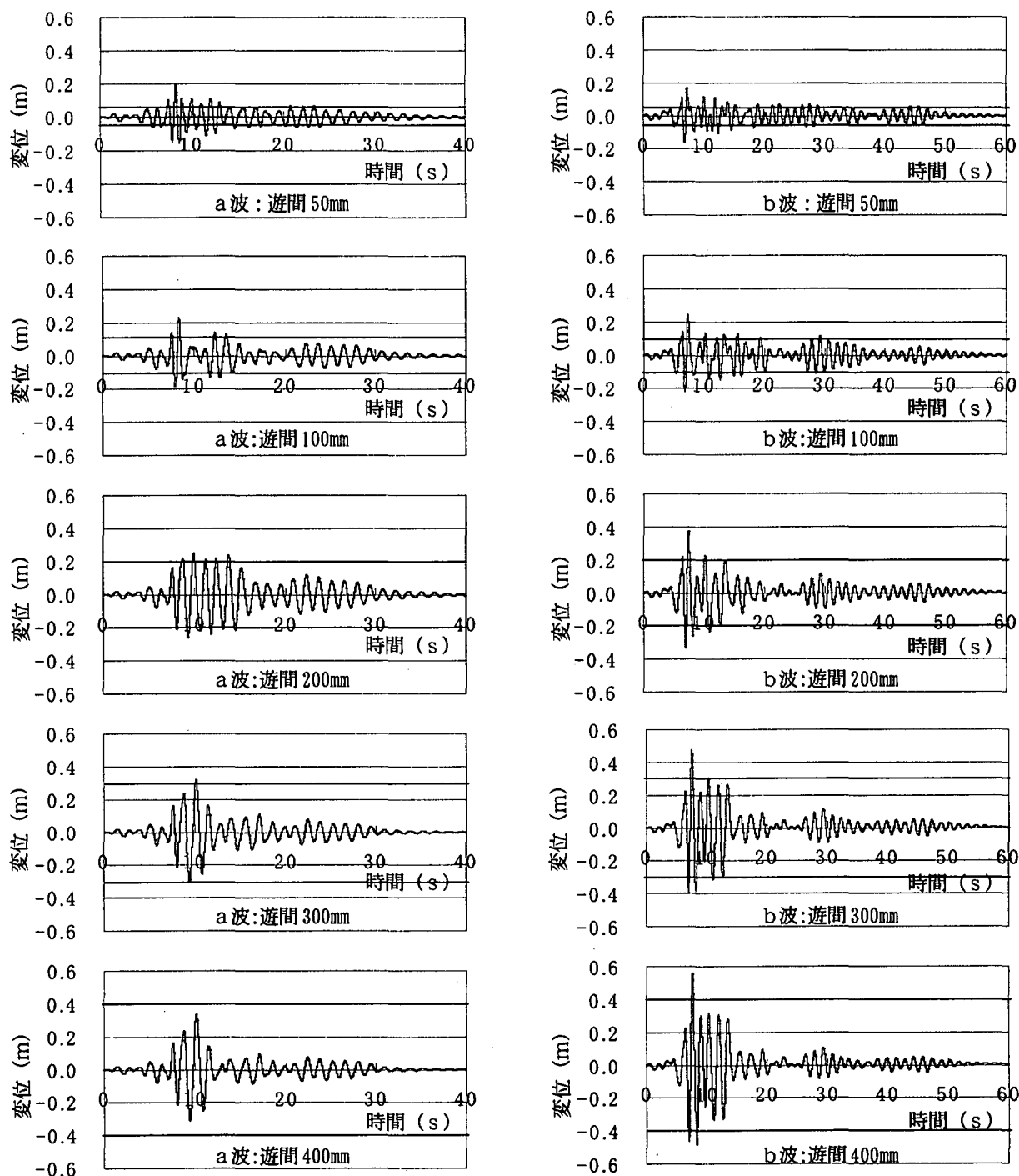


図-6 遊間を変化させたときの桁の時刻歴応答変位

(2) 桁の応答変位への緩衝材の影響

図-7は、緩衝材を設けた場合の桁の応答変位波形を示したものである。遊間を400mmとし、緩衝材厚を100mm、200mm、300mmに変化させた場合と、遊間を200mmとし100mmの緩衝材を設けた場合について検討をおこなった。入力地震波a波、b波とも、緩衝材厚を厚くし隙間量を抑えることにより、桁の応答変位が小さくなっている。しかし、桁の変位の拘束効果は低く、特に応答値の大きいb波については本解析で設定した緩衝材では効果はほとんどない。

(3) 衝突バネ作用力に及ぼす遊間と緩衝材の影響

表-2は、衝突バネ作用力（衝突力）の最大値を示したものである。a波を入力した場合の衝突力は、遊間100mmのケースが最も大きく、遊間量を大きく設定することで衝突力及び衝突回数を低減できる。また、遊間を50mmと小さくすることで衝突回数は増加するものの、桁の最大応答速度を抑えることにより衝突力を平滑化することが可能である。

b波を入力した場合は、遊間300mm、400mmのケースで衝突力が最大となる。これは応答値の大きいb波では、ある程度の遊間が確保されていると桁の応答速度が大きくなり、衝突力も大きくなる傾向を示している。

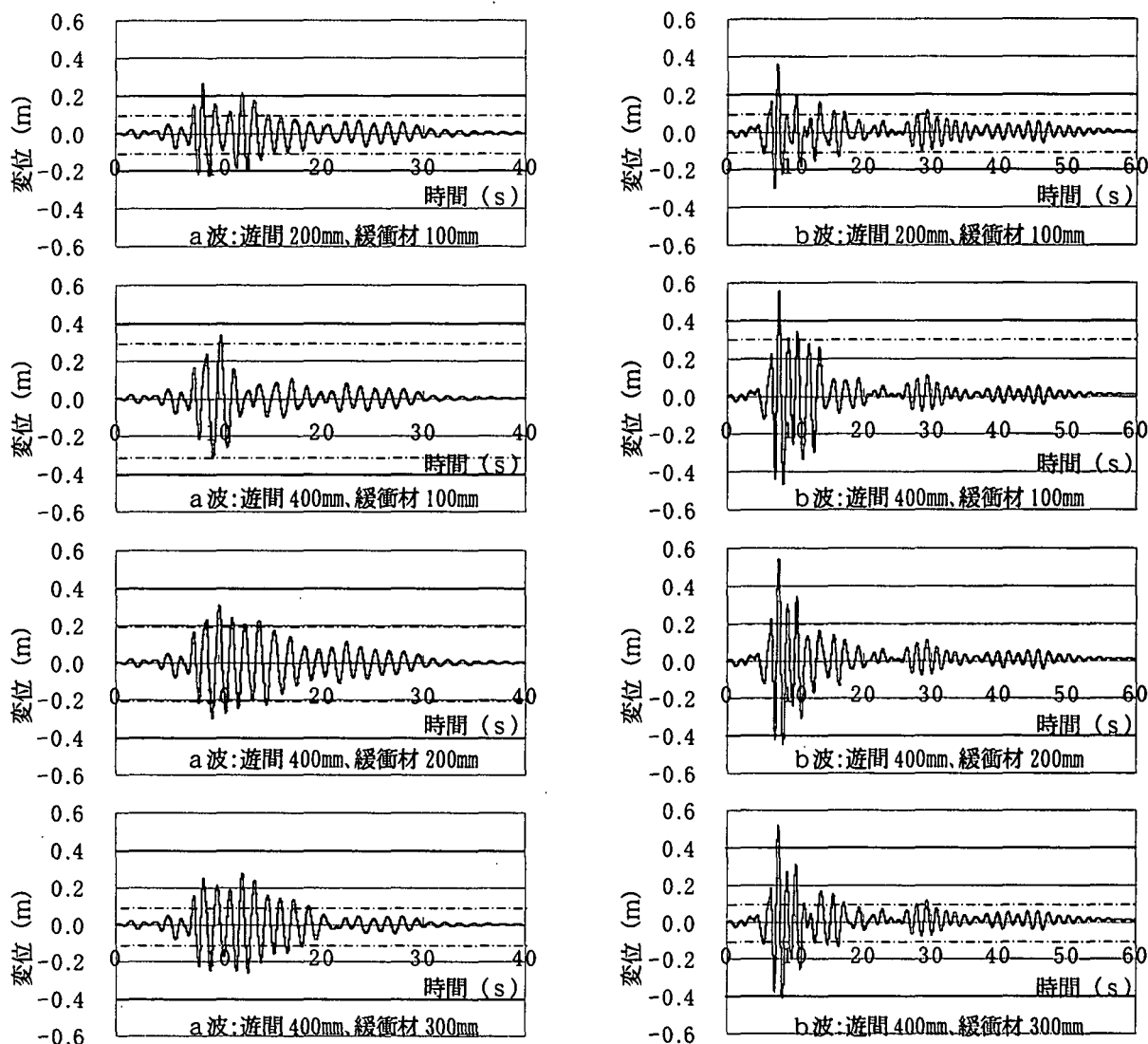


図-7 緩衝材厚を変化させたときの桁の時刻歴応答変位

ものと考えられる。

桁が衝突したときの橋台パラペットについては、a波の遊間 400mm、緩衝材 100mm のケースを除いた、すべてのケースでパラペットが終局曲げモーメント ($M_u=3,877\text{kN}$) に達している。本解析でモデル化したパラペット厚 ($d=500\text{mm}$) 及び緩衝材では、背面地盤の抵抗を考慮しても、パラペットの破壊は生じることになる。

表-2 衝突力の最大値

遊間 (mm)	緩衝材 (mm)	衝突力 (MN)		衝突回数	
		a波	b波	a波	b波
50	無	53.8	46.0	29	35
100	無	73.0	57.0	10	16
200	無	28.8	82.0	11	6
	100	27.4	49.2	11	11
300	無	18.9	90.7	2	8
400	無	-	89.9	-	3
	100	6.7	52.7	2	5
	200	12.8	51.6	9	8
	300	14.7	42.9	18	13

4. まとめ

桁と橋台間の衝突を考慮することにより、上部桁の応答変位を抑制することが可能であり、遊間量が小さいほど応答変位が小さくなる。ただし、この場合には、橋台パラペットに破壊が生じることも想定される。

また、緩衝材を設けて衝突エネルギーを吸収する方法もあるが、今回解析で想定した緩衝材ではその効果は小さい結果が得られており、効果的な緩衝材の反力・エネルギー吸収特性等について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 渡邊学歩, 川島一彦: 衝突ばねを用いた桁間衝突の解析精度, 第2回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 1998.12.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 1996.12.
- 3) 日本道路協会: 道路橋の耐震設計に関する資料, 1997.3.