

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

運上茂樹¹・近藤益夫²・三上 卓³

¹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1-6）

²正会員 独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ 主任研究員（同上）

³正会員 博（工） 独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ 研究員（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、上部構造端部と橋台間に生じる衝突現象を有する橋全体の地

震時挙動に及ぼす影響について、橋台背面土のモデル化の違いによる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、本研究では、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、本研究では以下のように仮定した。衝突現象は、桁と橋台間に図-2 に示すような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。

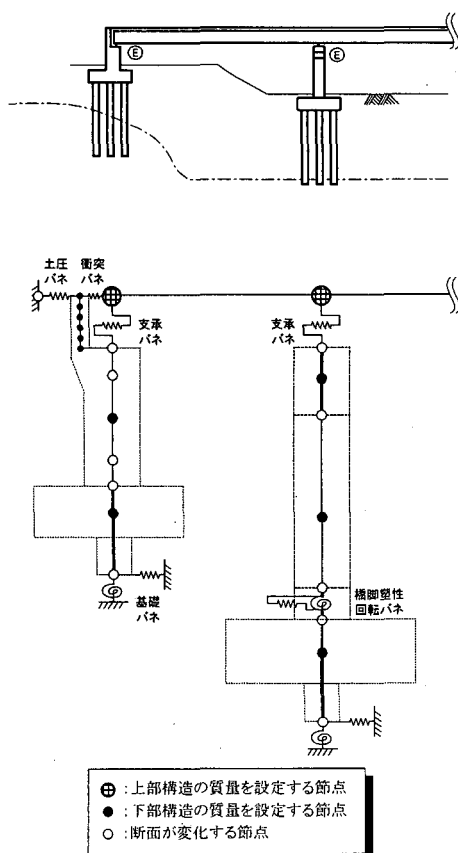


図-1 上部構造端部と橋台の衝突を考慮した解析モデル

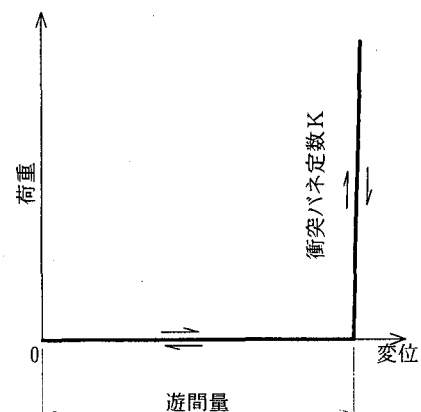


図-2 衝突バネモデル

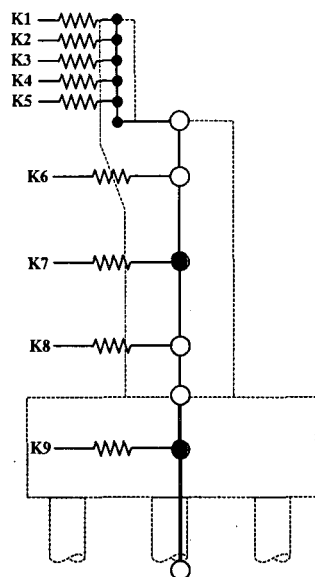


図-3 橋台背面土モデル

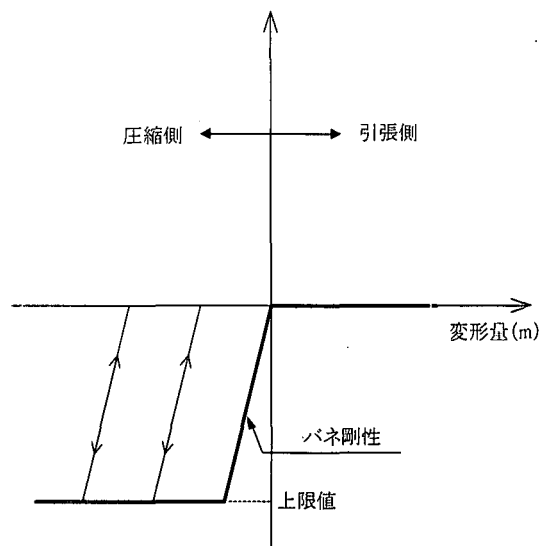


図-4 土圧バネの荷重と変位の関係

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[1, 2]で提案されている次式を用いた。

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

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

本研究では、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、パラペットの厚さを 0.5m とし、基部に塑性ヒンジを配し、桁衝突により非線形領域に達することを想定して非線形要素でモデル化した。主鉄筋は $D29\text{-}cc125$ の1段配筋とした。

減衰定数は上部構造が主に水平変位する1次振動モードと橋脚が主に変形する2次振動モードを対象にレイリー型の減衰マトリックスを設定した。

(2) 橋台背面土のモデル化

桁-橋台間の衝突では、橋台背面土の挙動が衝突挙動に無視できない影響を及ぼすものと考えられる。桁衝突

時における橋台背面土の挙動は実験や FEM 解析による検討がまだ不十分であることから、本研究では橋台背面土を、 N 値 10、土のせん断抵抗角 $\phi = 40$ 度相当の地盤と仮定し、以下に示す3種類のモデル化を行った。

a) 背面土を考慮しないケース(ケース1)

橋台背面土の支持効果を無視し、基礎バネのみで橋台を支持するモデルとした。

b) ケーソン基礎に準じたバネおよび支持力上限値を用いるケース(ケース2)

橋台背面土の水平支持効果を、高さ方向に分布するようにバネ要素でモデル化した(図-3 参照)。分布バネの荷重と変位の関係は、図-4 のように、圧縮力は地盤反力係数に相当するバネにより抵抗するが、受働土圧を支持力の限界として降伏し、引張側は一切抵抗しないモデルとした。バネ定数および支持力の上限値は道路橋示方書 IV 編³⁾のケーソン基礎に関する式を用いた。

c) 道示 V 編の受働土圧に準じた支持力上限値を用いるケース(ケース3)

橋台背面土モデルは b) と同様のモデル(図-3)とする。バネ剛性も同じ値とするが、支持力の上限値を道路橋示方書 V 編³⁾の地震時受働土圧とした。

d) Caltrans バネを用いるケース(ケース4)

カリフォルニア州交通局(Caltrans)の提案するバネにより橋台背面土をモデル化した。ここでは、橋台パラペット部(図-3 の $K1 \sim K5$)、橋台躯体部($K6 \sim K8$)およびフーチング部($K9$)の3つのバネを集約することにした。

解析に用いた各モデル化により得られたバネ値および上限値を表-1 に示す。Caltrans のバネ剛性は、ケーソン基礎に準じたバネ剛性と比較して、4 倍程度の値となっていることがわかる。

表-1 橋台背面土のバネ値および支持力上限値（バネ値：kN/m、上限値：kN）

ケース番号	橋台背面土モデル名		パラペット部					橋台躯体部			フーチング
			K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
ケース2	ケーソン基礎に準じた支持力上限値を用いるケース	バネ値	110871	73914	73914	73914	110871	246873	246873	246873	295656
		上限値	569	776	1190	1620	3101	11154	17057	23591	37695
ケース3	道示V編の受働土圧に準じた支持力上限値を用いるケース	バネ値	110871	73914	73914	73914	110871	246873	246873	246873	295656
		上限値	427	582	894	1212	2328	8369	12788	17676	28235
ケース4	Caltransバネを用いるケース	バネ値	0	0	1692000	0	0	0	2820000	0	1128000
		上限値	—	—	13248	—	—	—	22081	—	8832

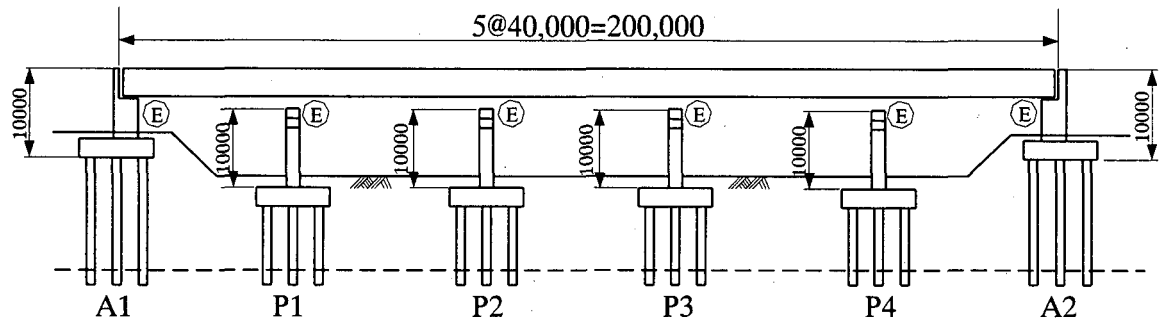


図-5 解析対象橋梁

3. 解析対象橋および解析条件

(1) 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[4]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-5 参照)。解析対象橋の設計条件は表-2のとおりである。桁遊間量は25cmとした。桁端部での衝突は、桁と左右両端の橋台間で生じるものと仮定した。

(2) 解析条件

橋台背面土のモデル化の違いが桁-橋台間の衝突を考

慮した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するために、橋台背面土を考慮しないケースと橋台背面土のモデル化方法3ケースの計4ケースについて、地震応答解析を行った。

解析に用いる入力地震動としては、文献[4]に示されるタイプⅡの標準加速度波形3波を用いた。最大応答値で評価を行う場合には3波の応答値の平均値を用いた。

4. 解析結果

図-6～図-9は、橋脚高さ10m、桁遊間量25cmとした場合の橋台背面土のモデル化の違いが地震時挙動に及ぼす影響を、衝突バネ反力、橋脚基部塑性ヒンジの回転角、主桁中央および橋脚天端の応答変位および橋台パラペット天端の応答変位について検討したものである。図より、主桁中央、橋脚天端および橋台パラペット天端の応答変位は、橋台背面土を考慮しないケース1に比べて、橋台背面土をモデル化した場合に低減していることがわかる。その中でも、Caltransバネを用いたケース4は、橋台背面土を考慮しないケース1に比べて、10cm程度の変位の拘束がみられる。これは、解析に用いた表-1のバネ剛性の値および支持力の上限値から、安易に予測される結果である。橋脚基部の塑性ヒンジ回転角に着目すると、ケース1に比べてケース4では、35%程度の低減が見られる。図-10に、一例として、ケース4の場合の時刻歴応答波形を示す。

表-2 解析対象橋の設計条件

上部構造形式	5径間連続鋼I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
支承形式	積層ゴム支承
支承条件	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

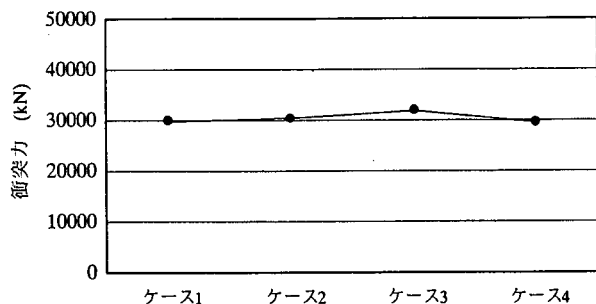


図-6 衝突バネ反力（衝突力）

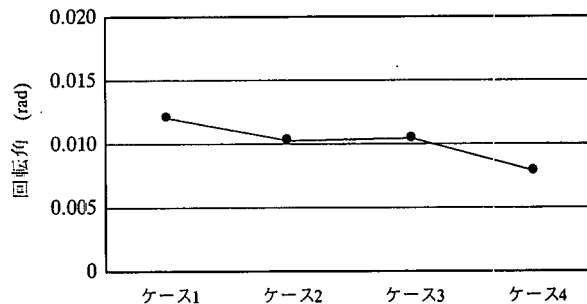


図-7 橋脚基部塑性ヒンジの回転角

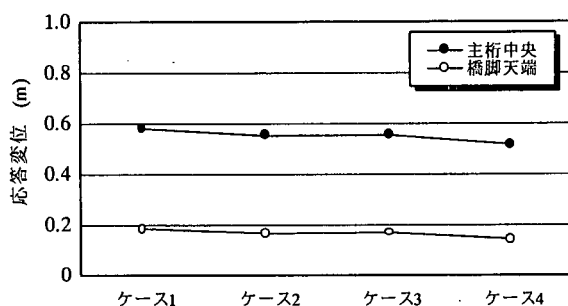


図-8 主桁中央と橋脚天端の応答変位

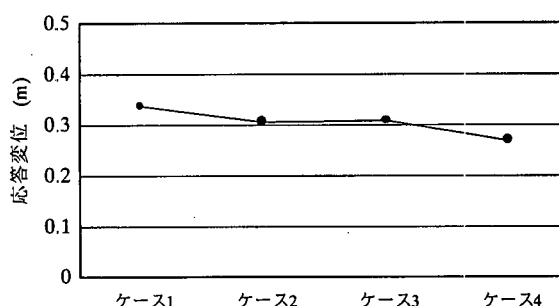


図-9 橋台パラペット天端の応答変位

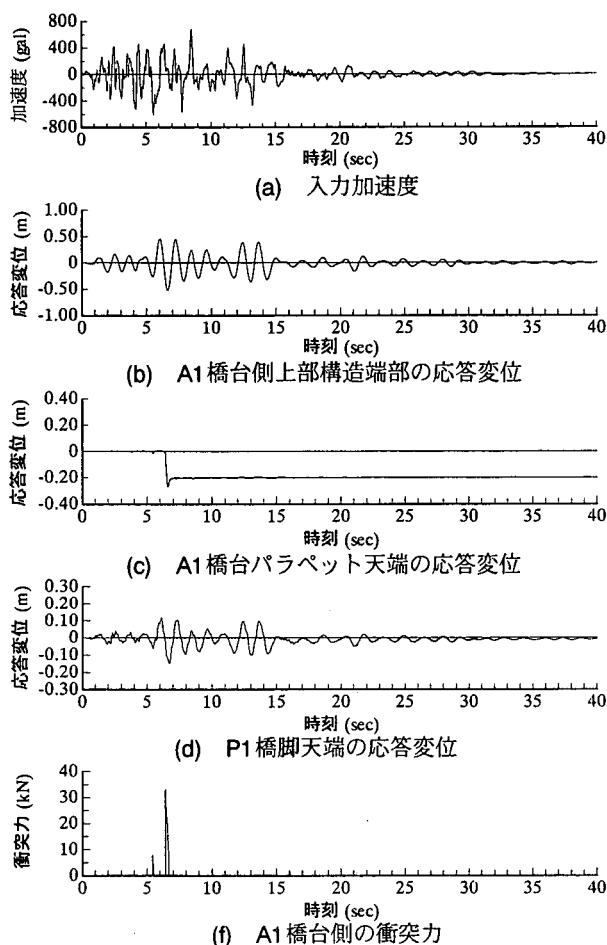


図-10 時刻歴波形（ケース 4，タイプⅡ標準波形第1波）

5. まとめ

橋台背面土のモデル化の違いが上部構造端部と橋台間の衝突を考慮した橋全体の地震時挙動に及ぼす影響に関して、以下のような知見を得た。

橋台背面土を 3 種類にモデル化した場合、Caltrans のバネのように、4 倍程度の剛性の場合でも、橋台パラペット天端および橋脚天端がある程度拘束されるだけであり、橋台背面土のモデル化は、橋全体の地震時挙動にはほとんど影響しない。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書Ⅳ下部構造編，Ⅴ耐震設計編，平成 8 年 12 月.
- 4) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，平成 9 年 3 月.
- 5) 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，Vo.44，No.2，pp.20-25，2002.2.