

機能分離支承を用いた橋梁の支承鉛直反力の変動検討

足立幸郎¹・鈴木 威¹・長澤光弥¹・西森孝三²

¹正会員 阪神高速道路公団 工務部設計課（〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3）

²正会員 （株）総合技術コンサルタント（〒533-0033 大阪市東淀川区東中島3-5-9）

1. はじめに

機能分離支承は、既設橋梁の耐震改善において狹隘部に存在する線支承などの交換などを可能にする技術として開発され、阪神高速道路東大阪線における上部構造耐震改善工事において採用された¹⁾。その後、L2地震動に対する過大な上部構造変位に追従するために肥大化するゴム系支承に対して、鉛直支持機能と水平力抵抗機能とを分離させることによって支承を縮小することが可能となり、またそれがさらにコスト縮減につながることから、新設橋梁においても採用されはじめた。阪神高速道路においても、京都高速道路油小路線において積極的に採用を考えているところである。

機能分離支承を採用した橋梁においては、鉛直力支持のために滑り支承が用いられる。滑り支承においては、鉛直地震動および桁のたわみ振動によって鉛直反力が変動することなどによる摩擦減衰の信頼性が十分に把握されていないことから、「力」に対する設計においては摩擦減衰を無視し、「変位」に対する設計においては摩擦減衰を考慮した設計がなされるのが一般的である。

しかしながらこのような設計上の仮定はあくまでも工学的判断に基づいたものであり、機能分離支承を有する橋梁の地震時応答特性を検討した上で設定されたものではない。またコスト縮減の観点から、摩擦減衰力を合理的に評価し、それを耐震設計に取り込むことによってより合理的な設計が可能となると考えられる。

ここでは、機能分離支承を有する橋梁の地震時挙動を明らかにし摩擦減衰力の有効性を検討するとともに、それを耐震設計に反映することを目的に検討を行った。本論文では、その検討の一部として機能分離支承を有する橋梁に対して地震時の入力方向による鉛直支承反力の変動特性について検討を行った結果を報告するものである。

2. 検討対象橋梁および検討条件

一般に橋梁の耐震設計は、橋軸方向と端軸直角方向についてそれぞれ独立して行われ、鉛直地震動については影響が小さいことより無視される。また、橋梁のモデル化にあたって、上部構造は剛性無限大の棒部材、支承はせん断バネに集約される場合が多い。このような、橋梁のモデル化では、本来の橋梁の3次元的な地震時挙動は反映されない。ここでは、地震動の入力方向による支承部に生じる鉛直反力の変動特性を検討することから、ここでは立体モデルを構築した。

検討対象は、単柱T型RC橋脚に支持された7本主桁を有する鋼単純合成I桁とした。図1に検討対象橋梁のモデル一般図を示す。橋脚高さは14m、橋長は40m、上部構造重量は9,016kN、橋脚重量は6,217kNである。RC橋脚の非線形挙動を考慮するため、M- ϕ モデルにより構築し、復元力特性については修正武田モデルとした。なお、橋軸方向と橋軸直角方向については連成を考慮していない。基礎の剛性の影響については、地震動の入力方向による影響を直接的に検討するため無視した。非免震時（非機能分離支承採用時）の橋軸方向の固有周期は0.61秒、橋軸直角方向は0.53秒である。

支承は、橋軸方向は弾性支持、橋軸直角方向は固定とした。弾性支持にはゴム支承、固定支持にはストッパーを想定した。なお、鉛直方向には滑り支承をもって支持させることを想定した。橋軸方向弾性支持時の等価固有周期は概ね1.5秒を目標とした。また、橋軸方向に弾性支持された場合は、鉛直方向にもある程度弾性支持状態になる。これについては、弾性支持装置の形状により、千差万別であることから、ここでは安全側を考慮し、鉛直剛性を無視した。滑り支承の動摩擦係数は15%を想定した。なお動摩擦係数には、一般に面圧依存性および滑り速度依存性が存在する。滑り速度依存性については、L2地震動作用時にはこれを無視しても、上部構造の最大変位および最大加速度を

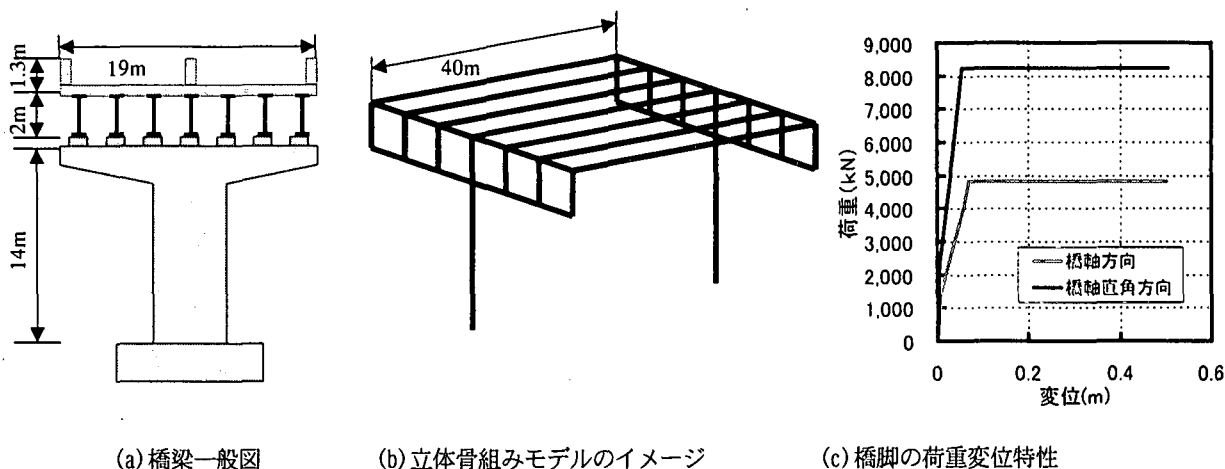


図1 検討対象橋梁モデル

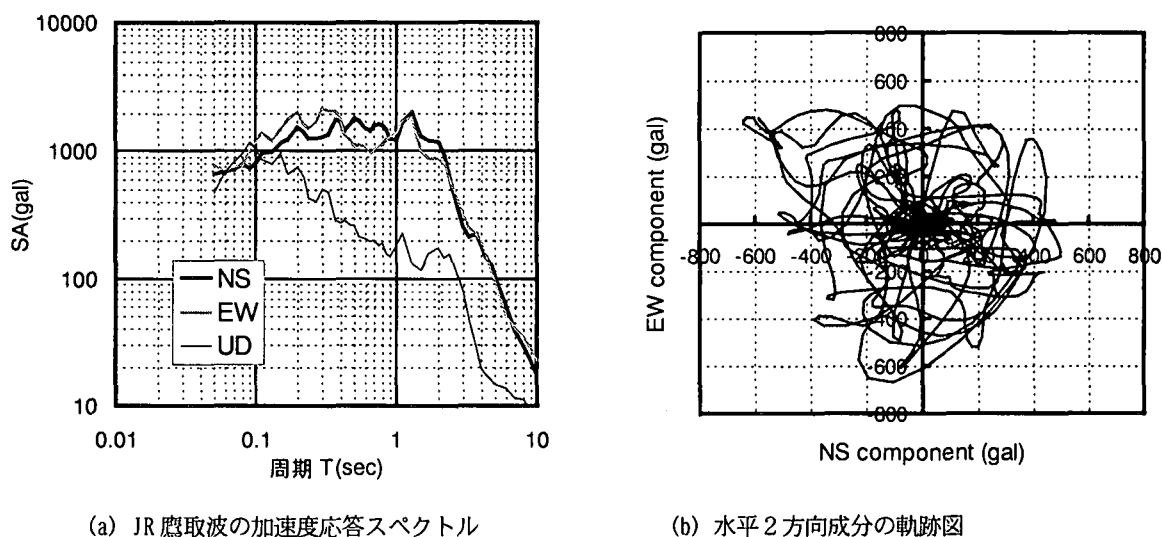


図2 JR 震取波

推定するにあたっては無視できることが確かめられている。一方、面圧依存性については無視できるものではないが、今回の計算においては解析コードの都合上無視した。なお、面圧依存性については、今後の計算において考慮する予定である。なお計算よびモデル上は、滑り支承は完全バイリニアモデルを用い、初期勾配はRC橋脚の剛性の10倍を目途に初期勾配を設定した。これは計算の安定を考慮したものである。水平方向の弾性支承には線形バネモデルを用いた。橋脚の減衰比は2%、水平方向弾性支承の減衰比は4%とした。

入力地震動には、Ⅱ種地盤における代表的波として兵庫県南部地震においてJR鷹取駅で観測された波を用いた。図2にJR鷹取波の3成分の加速度応答スペクトル、および水平2成分の平面加速度軌跡を示す。JR鷹取波については機器補正を行っているが、設計スペクトルに適合させるなどの補正は行っていない地震波を解析に用いた。これは、多方向同時入力を行う場合には、3成分が相関を有する地震波を用いることが重要であると考えたためである。なお計算にあたっては、橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向を様々な組合せの入力を行った。なお、JR鷹取波については、水平2成

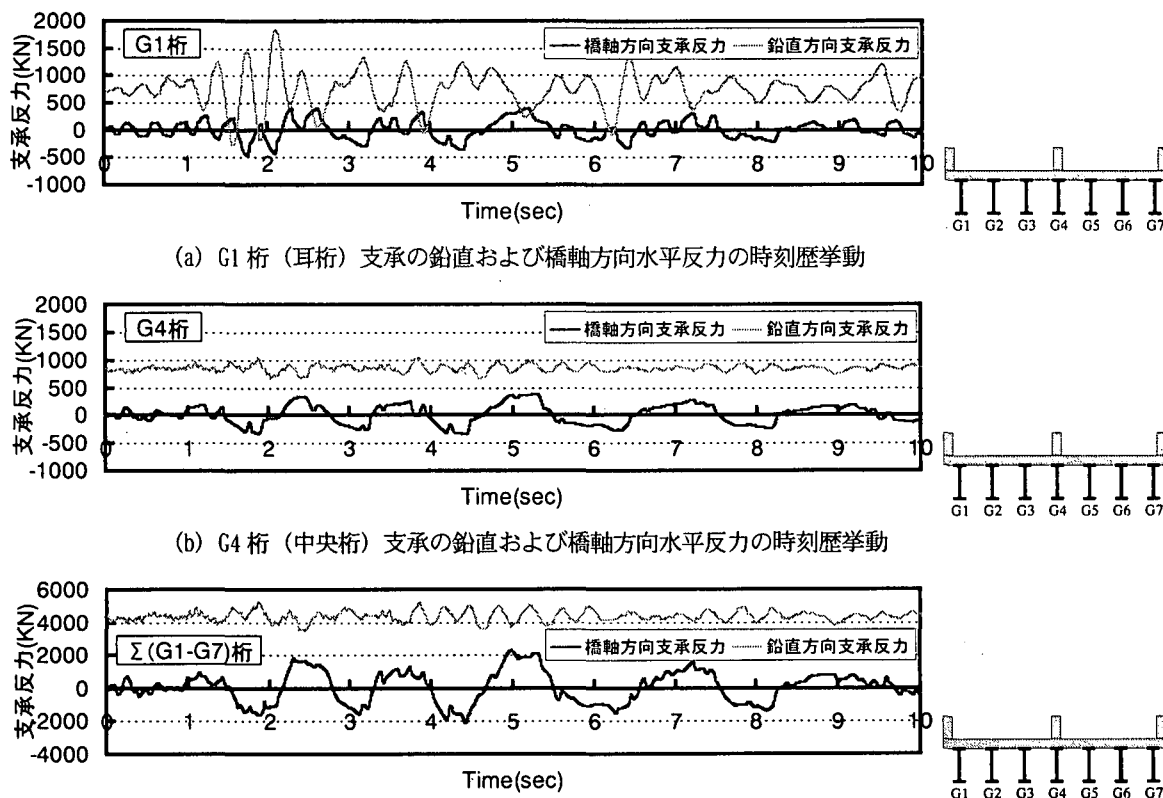
分の平面加速度軌跡より、ほぼ両成分とも同様の地震動強度を有していること、また一方の成分のみが強度を一時的発揮するような指向性の強い地震波ではないという特徴を有していることがわかる。

動的解析における積分法には Newmark β 法を用い、積分時間刻みは0.002秒とした。

3. 計算結果

図3に、3成分入力時の鉛直支承反力および橋軸方向水平支承反力の時刻歴として、G1桁（耳桁）部支承、G4桁（中央桁）支承、および支承反力の総和を示す。なお、橋脚は橋軸方向に塑性化し、橋軸直角方向には塑性化はするものの基本的に弾性状態であった。図4に、橋脚天端の水平変位の軌跡図を示す。

図3(a)では、耳桁部の支承について示す。鉛直反力の時刻歴挙動に着目した場合、負反力を生じるような変動があることがわかる。これは、上部構造の重心位置が支承位置よりも高いことによって、オーバートーニングモーメントが発生しているためである。また、鉛直反力および水平反力の極大、極小値の時刻はほぼ



(a) G1 桁（耳桁）支承の鉛直および橋軸方向水平反力の時刻歴挙動

(b) G4 桁（中央桁）支承の鉛直および橋軸方向水平反力の時刻歴挙動

(c) 橋梁全体としての支承の鉛直および橋軸方向水平反力の時刻歴挙動

図3 支承の鉛直および橋軸方向水平反力の時刻歴挙動（3成分入力時）

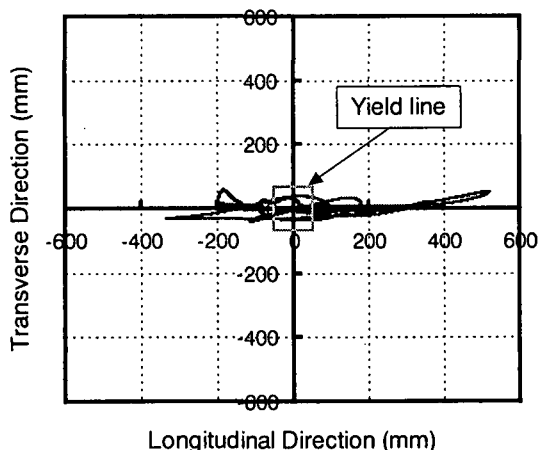


図4 橋脚天端変位の軌跡図（3成分入力時）

一致していることがわかる。これは、JR 鷹取波については指向性がみられず、橋軸方向に大きな地震力が作用した際には、橋軸直角方向にも大きな地震力が作用し、鉛直反力の変動に寄与するためと考えられる。図3(b)に着目した場合、中央桁支承の鉛直反力は概ね0.3秒程度の周期をもって変動していることがわかる。これは桁の鉛直たわみ振動の固有周期にほぼ一致している。しかしながら、その変動幅は、耳桁部支承と比較して明らかに小さい。図3(c)に着目した場合、橋梁全体としては、中央桁の挙動に一致していることがわかる。鉛直反力の変動幅は常時反力の2割程度であるこ

とがわかる。

地震動の多方向入力による鉛直反力の変動特性について検討した結果を図5に示す。図5では、入力方向を変化させた場合における、各桁の支承部の鉛直反力の最大値および最小値を示している。地震動の入力方向が橋軸方向入力であっても鉛直反力の変動が見られる。これは、桁のたわみ振動によるものであり、その変動量は死荷重時の±10%程度である。さらに、鉛直動が加わることで変動量が大きくなり、死荷重時の±20~25%程度に増加する。さらに、橋軸直角方向の入力を行うことにより、さらに変動量が大きくなる。橋軸方向および橋軸直角方向の入力を行った場合は、耳桁部においては、あくまでも瞬時の最小値であるものの負反力が生じるほど大きな変動量となる。中央桁部においては、橋軸方向入力時のそれと大きな変化は見られない。橋軸直角方向と鉛直方向に入力した場合は、さらに鉛直動の変動が加わり若干変動量が大きくなる。3次元入力を行った場合は、耳桁部には死荷重時と比較して最大時で2.5倍、最小時で0.7倍の変動が生じる。このように、鉛直反力は大きな変動を生じていることから、このような鉛直反力の変動を考慮した地震応答特性を把握した上で、この効果を耐震設計に反映させる必要がある。

滑り支承では、動摩擦係数は鉛直反力に依存する。この効果を取り込んだ動的解析が必要であるが、現段

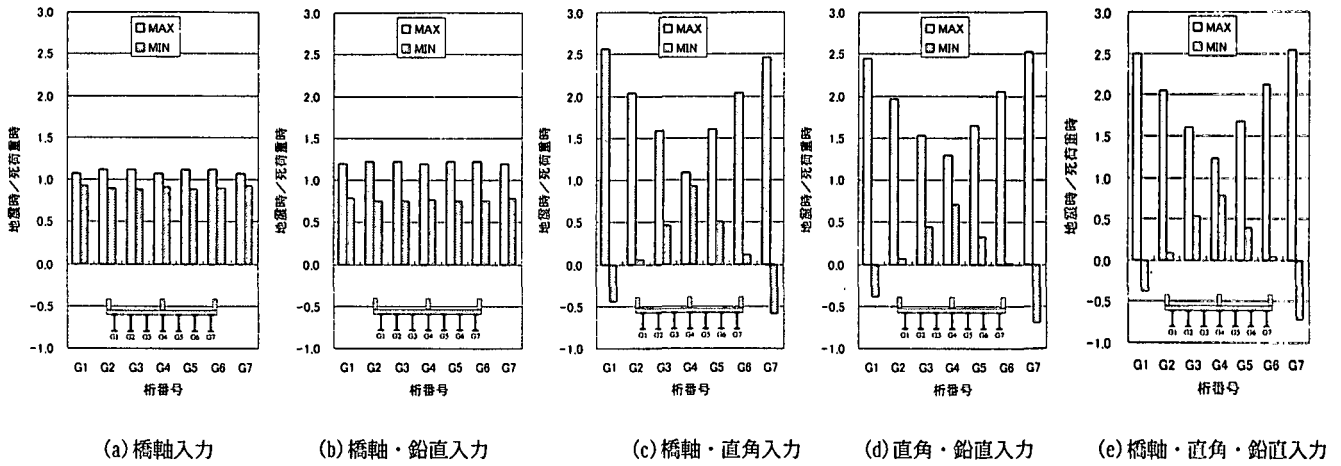


図5 入力方向の違いによる滑り支承部鉛直最大・最小反力の変動

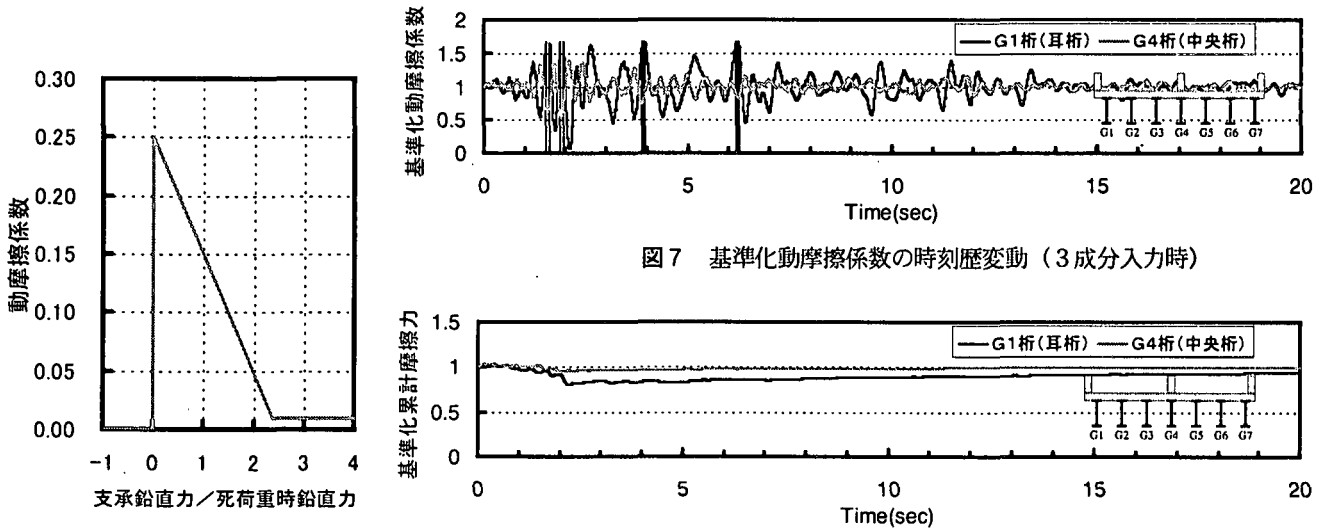


図6 動摩擦係数モデル

図8 基準化累積摩擦力の時刻歴変動 (3成分入力時)

階では解析コードの都合上この効果を計算に取り込むことができないため、ここでは簡易的に地震応答に及ぼす影響を評価することを考えた。具体的には、上述した計算により得られた鉛直反力の時刻歴変動を用い動摩擦係数がどの程度変動するかについて検討した。検討にあたり動摩擦係数の面圧依存性に関する既往の研究成果²⁾より、動摩擦係数の面圧依存性を図6のようにモデル化した。ここでは、死荷重作用時の面圧時に動摩擦係数が15%となるとし、面圧に応じた動摩擦係数の負勾配は既往の研究成果によった。図6に示した動摩擦係数を利用し鉛直反力の変動に乗じることにより、動摩擦係数の変動を算出した。その結果を図7に示す。動摩擦係数は中央桁部であっても、主要動時には±40%程度の変動が生じている。動摩擦係数に鉛直反力を乗じた減衰力の累積値を、鉛直反力の変動を考慮しない場合の値をもって基準化した量を図8に示す。これは、必ずしも直接的な量ではないが、概ね地震応答に及ぼす減衰性の変動を示す指標として示した。これによれば、基準化累積減衰力は主要動時で、25%程度低下することがわかる。

4. まとめ

機能分離支承を用いた橋梁の地震時挙動を調べるため、立体モデルを構築したうえで多方向入力地震動を考慮した地震応答解析を実施した。その結果、耳桁部において負反力を生じるほどの鉛直反力の変動が見られることが判明した。今後、さらに滑り支承の動摩擦係数の面圧依存性、鉛直方向バネを考慮した解析を多種類の橋梁システムにおいて実施し、機能分離支承を有する橋梁システムの動的解析に用いる有効面圧係数を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 伊津野和行、袴田文雄、中村一平：機能分離支承装置の動特性と設計手法に関する研究、土木学会論文集 No.654/ I-52、233-244、2000.7
- 2) (株)川口金属工業：摩擦減衰型面新装置ハイブリッド地震応答実験報告書、平成10年10月