

直接基礎のロッキング振動が橋脚の非線形地震応答に及ぼす影響

九州旅客鉄道(株) 正会員 細入圭介
東京工業大学大学院 フェロー 川島一彦

1. はじめに

従来の震度法では、直接基礎は支持地盤から浮き上がらないことを大原則に設計されるが、兵庫県南部地震の際のような強震動を受けた場合には、フーチングの浮き上がりが生じる可能性がある。そこで、震度法で設計された一般的な直接基礎によって支持された橋の地震応答を非線形動的解析によって検討した。

2. 解析対象橋梁

解析対象橋梁を地盤条件とともに図-1 に示す。これは、平成8年道路橋示方書に基づいて試設計された橋であり、現在ごく一般的に建設されている橋である。直接基礎の寸法は、設計水平震度 $k_h=0.2$ を用いて震度法により決められており、橋軸方向には 6.5m、橋軸直角方向には 7m である。以下には、橋軸方向の応答結果を示す。基礎寸法が変化した場合の影響を検討するため、上部構造や橋脚躯体、基礎のフーチング厚さは変化させずに、設計水平震度 k_h を 0.15, 0.4, 0.5 と変化させて、基礎の寸法だけを変化させた橋も解析することとした。この場合の基礎寸法は、それぞれ 4.5m×5m, 8m×9m, 9m×10.5m である。

3. 解析モデルおよび入力地震動

図-1 に示した橋を図-2 に示すように離散型骨組構造モデルとしてモデル化する。橋脚躯体部のうち、塑性ヒンジ区間は Takeda 型の非線形はり要素でモデル化した。地盤は図-2 に示すように圧縮力には抵抗し、引張には 0 の剛性を有する地盤ばねでモデル化した。入力地震動としては、1995 年兵庫県南部地震で観測された神戸海洋気象台 NS 成分記録を用いた。

4. 基礎の設計水平震度が 0.2 であるフーチングで支持された橋の地震応答特性

桁に生じる応答変位を示したのが図-3 である。桁の最大応答変位は 0.22m であり、このうちフーチングの回転によって桁に生じる最大応答変位は 0.04m と全体の約 20% に過ぎない。この時、橋脚基部の塑性ヒンジにおける最大応答曲率は 0.016/m であり、最大応答曲率じん性率は 14 に達している。これに対して、地盤が引張力に抵抗しないとして解析した橋の桁の応答変位を示したのが図-4 である。桁の最大応答変位は 0.28m であるが、このうちフーチングの回転によって桁に生じる最大応答変位は 0.22m であり、全体の約 80% に相当している。この結果、橋脚基部の塑性ヒンジにおける最大応答曲率は 0.003/m と上述した場合の約 20% に小さくなっている。図-5 は、フーチングの両端にはどれだけの浮き上がりが生じたかを示した結果である。フーチングは左端では 0.06m、右端では 0.1m 程度浮き上がる。

5. フーチング幅の異なる直接基礎の地震応答特性

桁に生じる応答変位を示したのが図-6 である。フーチング幅 4.5m の場合には、桁の応答変位のおよそ 95% がフーチングの回転によって生じるのに対して、フーチング幅 9m の場合には、フーチングの回転によって生じる桁の変位は全体の 10% に過ぎない。この時の橋脚基部の塑性ヒンジにおける最大応答曲率は、フーチング幅が 4.5m, 8m, 9m の場合それぞれ、0.001/m, 0.015/m, 0.020/m である。これを、フーチング幅に対するフーチングの回転角 θ_F と橋脚基部の塑性ヒンジにおける橋脚の塑性回転角 θ_{pp} の関係として示した結果が図-7 である。 θ_{pp} と θ_F はおおむね逆比例の関係にある。

6. 結論

設計水平震度 0.2 を用いて震度法で設計した直接基礎によって支持される橋脚高さが 10m 程度のごく一般的な連続高架橋に兵庫県南部地震の際の神戸海洋気象台記録が作用すると、幅 6.5m のフーチング端部は 0.1m 程度浮き上がる可能性がある。また、フーチング底面地盤の引張側反力を無視した解析を行うと、引張側反力を考慮した場合に比較して、フーチングの抵抗メカニズムの軟化が生じるため、フーチングのロッキング振動が増加し曲げ復元力の低下が生じる結果、橋脚基部の塑性ヒンジにおける塑性回転角が減少する。すなわち、フーチングの浮き上がりやこれに伴うロッキングの増大は、橋脚の塑性回転応答に対しては一種の免震効果として作用する。

キーワード：非線形動的解析, 橋梁, 直接基礎, ロッキング振動, 耐震設計

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL 03-5734-2922 FAX 03-5734-3810

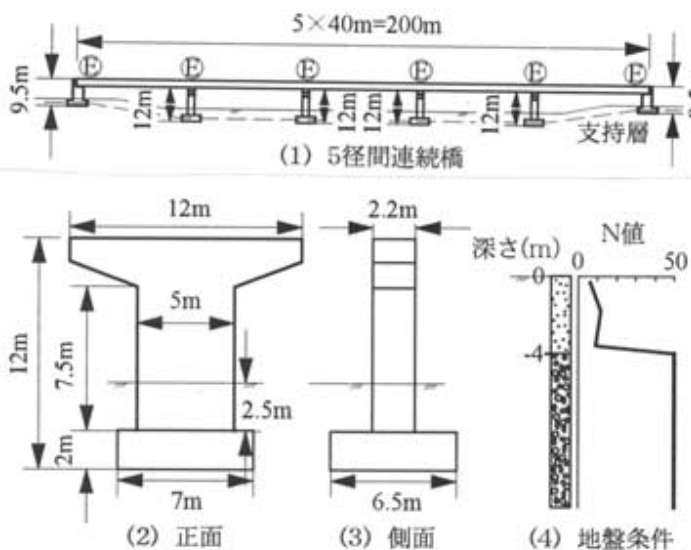


図-1 解析対象橋脚及び地盤条件

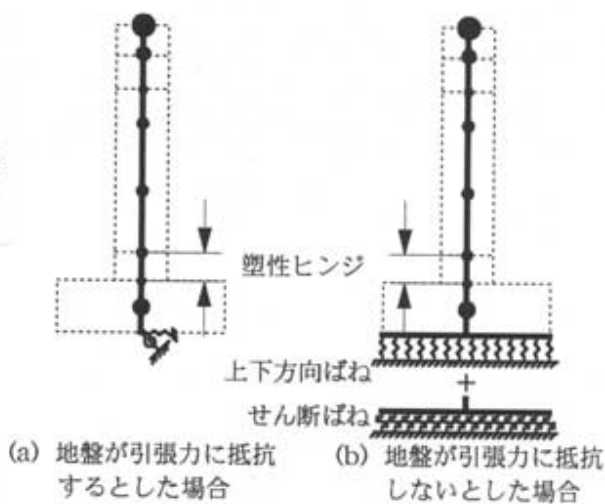


図-2 解析モデル

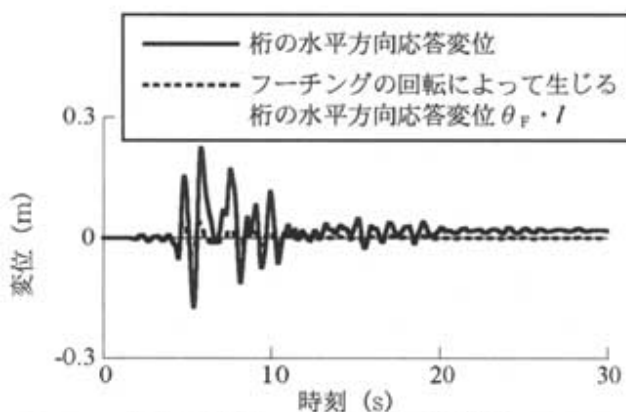


図-3 地盤が引張力に抵抗するとした場合の桁の水平方向応答変位

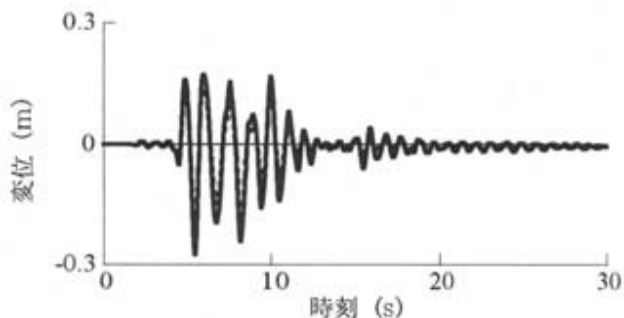


図-4 地盤が引張力に抵抗しないとした場合の桁の水平方向応答変位

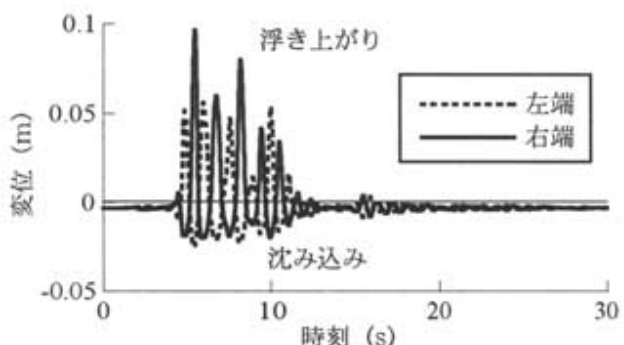


図-5 右端および左端におけるフーチングの浮き上がり

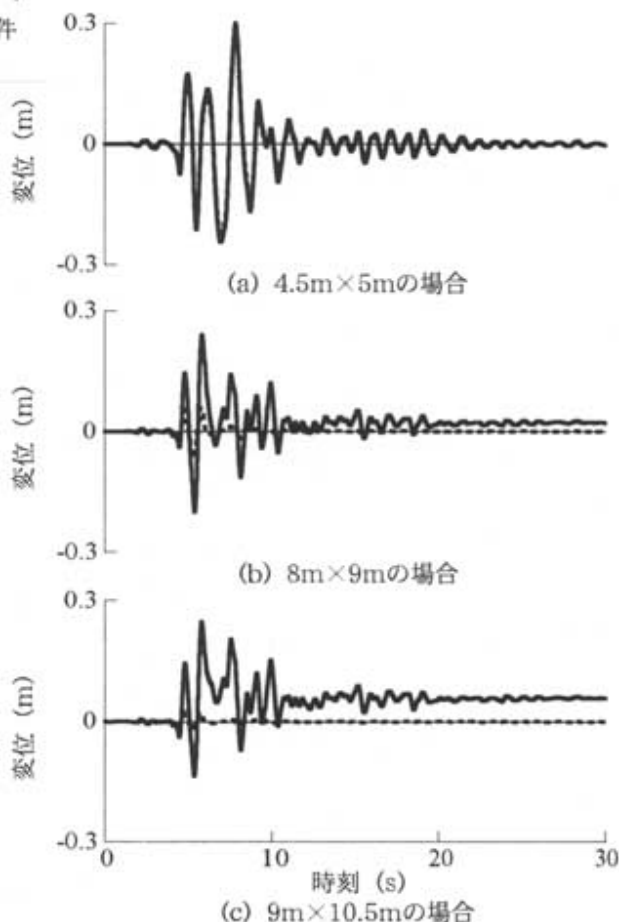


図-6 フーチング幅を変えた場合の桁の水平方向応答変位

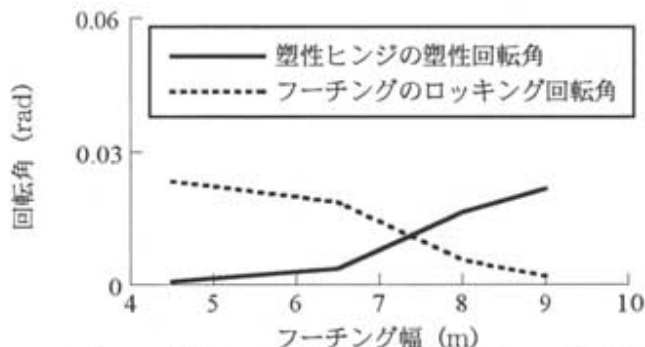


図-7 塑性ヒンジの塑性回転角およびフーチングのロッキング回転角