

杭基礎RC橋脚の耐震設計に関するパラメータスタディ

鉄道総合技術研究所 正会員○ 堤 英康，正会員 谷村 幸裕，正会員 佐藤 勉

1. はじめに

鉄道構造物等設計標準（耐震設計）¹⁾（以下、耐震設計標準）は、兵庫県南部地震のように非常に大きな地震動を考慮すること、表層地盤の影響の評価を適切に行うこと、橋梁および高架橋の応答値は動的解析により算定すること、構造物が所要の耐震性能を満足することを照査する（性能照査型設計）ことが原則となっている。また、部材および地盤には非線形性を考慮するものとしている。構造物の挙動を非線形領域まで考慮するため、RC橋梁の部材の断面形状が従来と大きく異なる場合が生じることが考えられる。そこで、耐震設計標準を適用し、地盤条件が上部構造物に与える影響について検討を行う。なお、本稿では、橋軸方向の検討結果について示す。

2. 検討概要

2.1 検討対象構造物および検討ケース

本検討の対象構造物はRC橋梁の杭基礎RC橋脚とし、橋脚く体の断面寸法・軸方向鉄筋量は橋脚高さごとに同一とし、地盤種別をパラメータとして検討を行う。形状寸法および断面諸元を図-1および表-1に、検討ケースを表-2に示す。杭長は、G3～G5地盤では20m、G5～G7地盤では30mとし、G5地盤については地盤条件（土質諸定数および表層地盤の厚さ）の異なる2ケースを考えた。橋脚く体の部材の損傷レベルは、L1地震動に対して損傷レベル1を、L2地震動（スペクトル2）に対して損傷レベル3を満足させることとする。ここで、上部工、基礎構造物（フーチングおよび杭）、橋軸直角方向の橋脚く体幅は、全ての検討ケースにおいて同一の条件とした。なお、構造物の応答値は、1次の振動モードが卓越し主たる塑性ヒンジ個所が明確であると推定されるため、比較的簡易な動的解析法（非線形スペクトル法）により算定する。なお、上部構造物（橋脚く体）に着目した検討であるため、地盤変位を考慮した検討は行っていない。

表-1 橋脚く体の断面諸元

高さH	6m	8m	10m
諸元			
断面幅 b (mm)	1400mm	1600mm	2100mm
軸方向鉄筋 (D32 : SD390)	112本 $p_t=0.74\%$:橋軸方向	132本 $p_t=0.75\%$ 橋軸方向	122本 $p_t=0.50\%$ 橋軸方向
f'ck	24 (N/mm ²)		

表-2 検討ケース

項目	解析パラメータ
橋脚高さH	6m, 8m, 10m
地盤種別	G3, G4, G5, G6, G7
杭長	20m (G3, G4, G5)
	30m (G5, G6, G7)

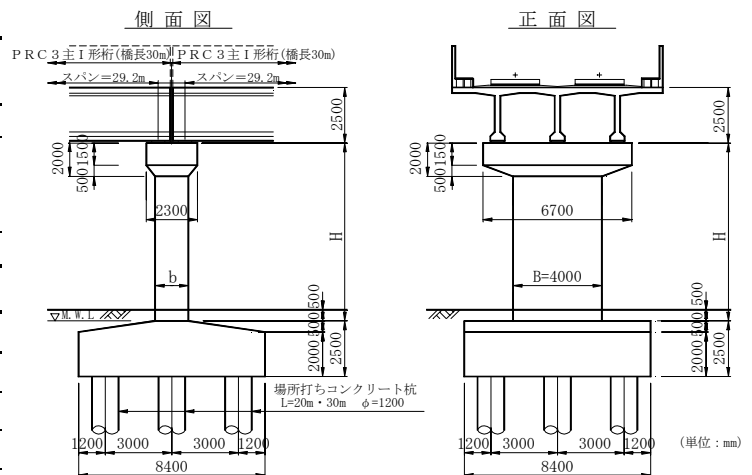


図-1 杭基礎RC橋脚の形状寸法

2.2 解析モデル

構造解析モデルは、地盤、基礎および上部構造物を一体とした平面骨組モデルとした。部材の非線形性は、橋脚く体は曲げモーメントと部材角 ($M-\theta$) の関係、杭は曲げモーメントと曲率 ($M-\phi$) の関係で表わし、復元力特性は、最大耐力以降の低下領域を考慮したテトラリニア型モデル¹⁾を用いており、橋脚く体基部および杭頭にはフーチングからの軸方向鉄筋の抜け出しの影響も考慮している。また、杭部材に対しては軸力の変動が曲げ耐力に与える影響を考慮している。地盤の非線形性はバイリニア型¹⁾でモデル化し、群杭の影響¹⁾を考慮した。なお、フーチングおよび支承部は剛域として取り扱った。

3. 解析結果

3.1 静的非線形解析結果

2.2の解析モデルを用いて、静的非線形解析を十分に耐力が低下するまで実施し、全ての検討ケースにお

キーワード：耐震設計，RC橋脚，非線形スペクトル法，変形性能

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 TEL042(573)7281 FAX042(573)7282

いて橋脚く体基部のみが塑性化する結果が得られた。降伏震度 K_{hy} は、高さ 6m の場合は 0.43 程度、8m の場合は 0.42 程度、10m の場合は 0.41 程度の値となっており地盤種別による違いは極めて小さかった。 K_{hy} が L1 地震動の設計水平震度 K_h (地表面設計地震動の L1 地震動の弾性加速度応答スペクトル¹⁾ を重力加速度 980gal で除した値。最大値は G5 地盤の 0.408、最小値は G7 地盤の 0.285) 以上であるため、L1 地震動に対し損傷レベル 1 を満足している。構造物全体系の降伏変位 δy は図-2 に示すように地盤種別による違いが見られた。特に、G3 地盤および G5 地盤 (杭長 20m) での δy は、いずれの橋脚高さでも、他の地盤種別より δy が小さな値となっている。以上の結果から同一の断面寸法および軸方向鉄筋量の橋脚でも地盤種別の違いにより δy に違いが生ずる結果となり、これにより構造物の等価固有周期 T_{eq} にも差が生ずることとなる。

3.2 構造物の応答値の算定結果

3.1 より橋脚く体基部の降伏が構造物の降伏点となるため、地盤種別ごとに設定された「L2 地震動 (スペクトル 2) 上部構造物 (RC)」の所要降伏震度スペクトル¹⁾ を用いて、応答塑性率 μ を求め、L2 地震動による構造物全体系の応答変位 $\delta L2$ を算定した結果を図-3 に示す。 δy が小さい G3 地盤の $\delta L2$ が大きくなっていることや、 δy が大きい G7 地盤の $\delta L2$ が小さくなっていること理由は、 μ の違いによるものである。 $\delta L2$ における橋脚く体の変位 $\delta L2s'$ が占める割合 ($\delta L2s' / \delta L2$) を図-4 に示す。地盤種別の違いにより $\delta L2s' / \delta L2$ に差があり、同一の断面寸法および軸方向鉄筋量の橋脚の場合には、表層地盤の固有周期 T_g が長くなるほど、 $\delta L2s' / \delta L2$ が小さくなる。

3.3 部材の損傷レベルの照査結果

L2 地震動に対して損傷レベル 3 を満足する最小の帯鉄筋比 p_w を算定した結果を図-5 に示す。 $\delta L2$ が大きい G3 地盤、G4 地盤および G5 地盤 (杭長 20m) において、 p_w が大きな値となっており、十分な変形性能を与える必要があることが分かる。橋脚く体は全て曲げ破壊モードであり、損傷レベルは G3 ~ G6 地盤では損傷レベル 3、G7 地盤ではいずれの橋脚高さとも損傷レベル 2 となっている。なお、G7 地盤において、 p_w をこれ以上減ずるとせん断破壊モードとなり変形性能を期待できなくなる。

4. まとめ

同一の断面寸法・軸方向鉄筋量であっても、地盤条件により橋脚の挙動に違いがあり、また必要となる帯鉄筋量にも違いがあることが確認できた。設計の効率化や建設コストの削減を目的として、設計条件を変更する等さらに検討を進め、合理的な断面形状の設定方法について定量的な評価を行うことを今後の検討課題と考えている。

【参考文献】

1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999.10

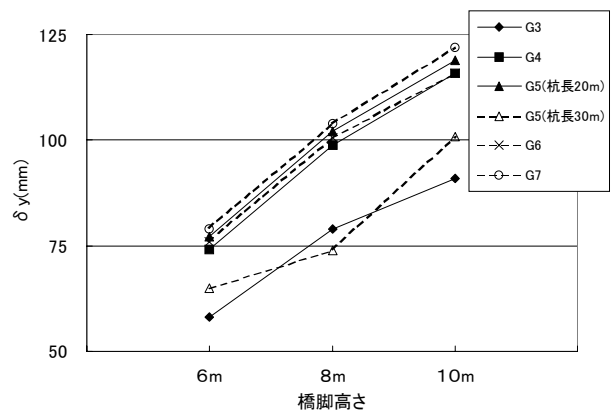


図-2 構造物全体系の降伏変位 δy

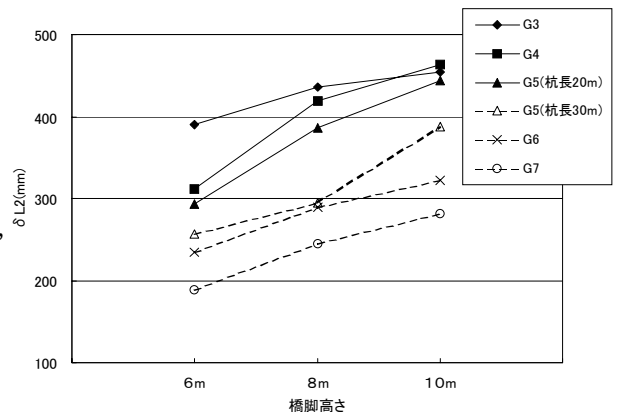


図-3 L2 地震動による構造物の応答値

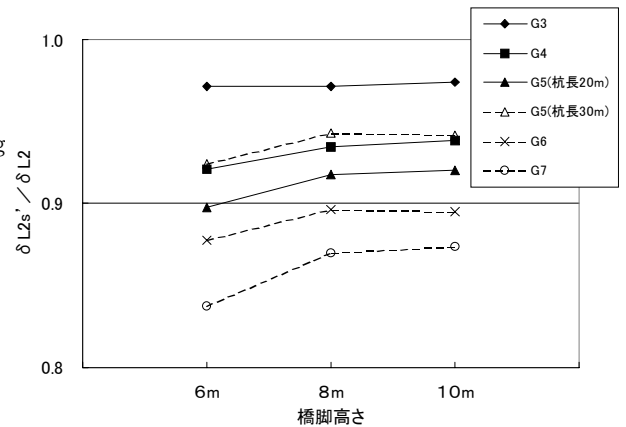


図-4 $\delta L2$ における $\delta L2s'$ の占める割合

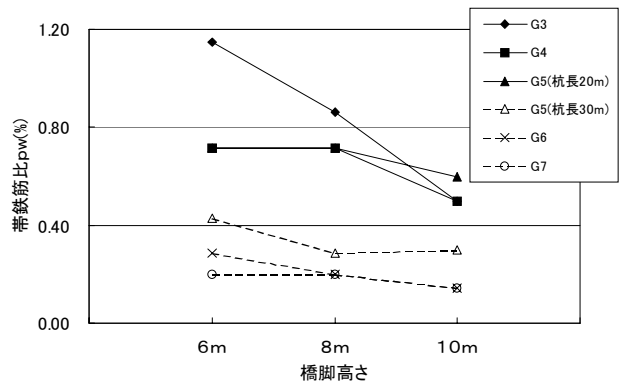


図-5 帯鉄筋比 p_w