

液状化地盤における鉄道橋脚基礎の合理的な設計に関する検討

中央復建コンサルタンツ（株） 正会員 ○永井史保 坂田 智基
中央復建コンサルタンツ（株） 正会員 尾崎 良明
（財）鉄道総合技術研究所 正会員 澤田 亮

1. はじめに

現在、液状化地盤の鉄道橋脚基礎の設計は、基礎の塑性率と損傷レベルの照査を行っているが、地震後の復旧などを考えた場合、液状化地盤での変位量についても照査することが望ましい。そのためには、変位量を照査指標とした場合の液状化地盤における鉄道橋脚基礎の合理的な設計法を検討する必要がある。そこで、液状化時に想定される作用についての感度解析を行い、設計上考慮すべき有効な作用に関して検討を実施した。

2. 検討概要

検討は、L2 地震動に対して非線形応答スペクトル法¹⁾を適用した静的非線形解析法により実施した。対象とした鉄道構造物は単線用 RC 壁式橋脚で、基礎形式は杭基礎（場所打ち杭φ1.0m、オールケーシング工法）である。上部構造形式は単純 PC 箱桁（スパン L=19.20m×1 連）、く体高さは 8.8m とした。

図 1 に骨組モデルを示す。基礎の地震時応答値に着目するため、杭はテトラリアの非線形部材、く体及びフーチングは剛部材とした。地盤抵抗は、杭先端の鉛直地盤抵抗、杭周面の鉛直せん断抵抗、杭周面の水平地盤抵抗をバイリニアのばねでモデル化した。

表 1 に解析ケースを示す。液状化指数 $P_L > 20$ の液状化地盤においては、地盤剛性の低下と液状化時の慣性力に加え、群杭で囲まれた液状化層の付加慣性力を考慮した。Case1-1 は基礎の実重量を慣性力とするケース、Case1-2 は排除した土の重量を考慮した基礎の有効重量を慣性力とするケース、Case1-3 は上部非液状化層のフーチング前面抵抗を考慮（基礎の慣性力は実重量）するケースとした。また、 $5 < P_L \leq 20$ の液状化地盤においては、地盤剛性の低下と液状化時の慣性力に加え、Case2-1 は地盤変位外力を考慮しないケース、Case2-2 は地盤変位外力を考慮するケースとした。

3. 解析結果

杭部材の損傷レベルに加え、変形量の照査指標として、鉛直変位量、水平変位量、回転角に対する応答値を算出し、照査を行った。制限値については、損傷レベルは 2、鉛直変位量は杭頭鉛直力に対し設計鉛直支持力、水平変位量はフーチング中心での水平変位量に対し 8.0%L

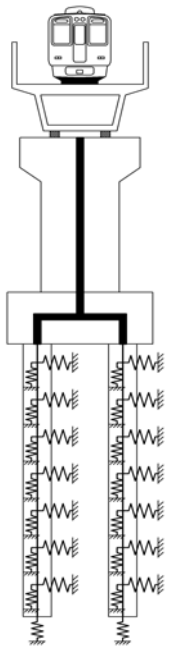


図 1 解析モデル

表 1 解析ケース

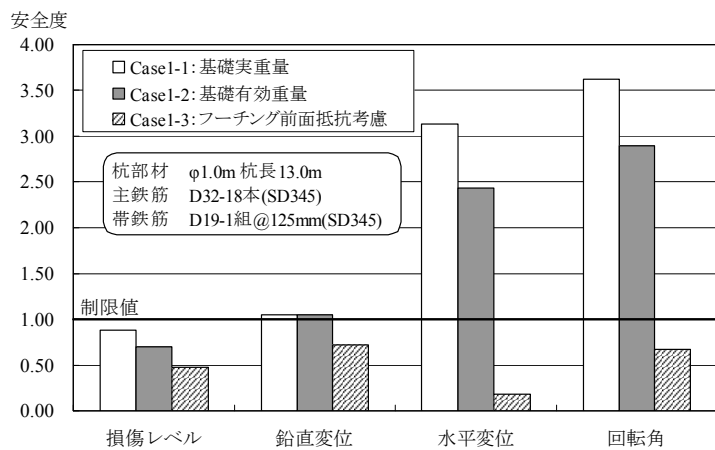
$P_L < 20$	$5 < P_L \leq 20$
Case1-1：基礎実重量 Case1-2：基礎有効重量 Case1-3：フーチング前面抵抗考慮	Case2-1：地盤変位外力無し Case2-2：地盤変位外力有り

キーワード 液状化地盤、鉄道橋脚基礎、設計作用、感度解析、耐震設計

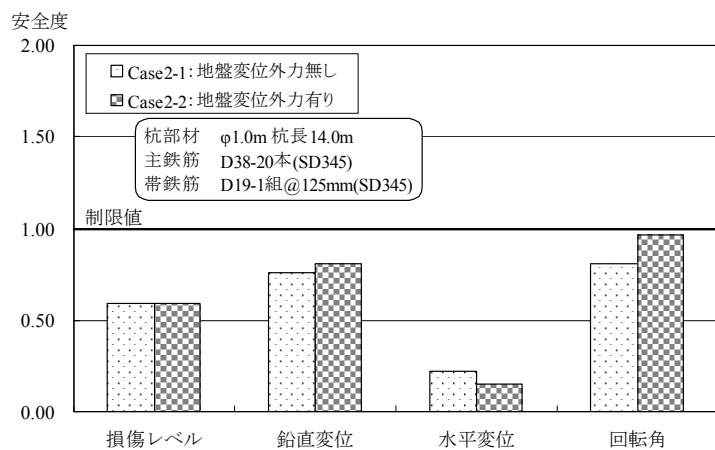
連絡先 〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ（株） TEL 06-6160-2312

(L : 基礎前面の抵抗幅), 回転角はフーチング中心での回転角に対し 0.02rad とした。

図 2(a)に $P_L > 20$ の液状化地盤における照査結果を示す。損傷レベルについては全てのケースで照査を満足したが、変形量を照査指標とした場合、基礎の慣性力を有効重量とした Case1-2 は、実重量とした Case1-1 と比べ変形量が小さくなり安全度が低下するものの、制限値を超過する結果となった。しかし、フーチングの前面抵抗を考慮した Case1-3 では、全ての照査指標において制限値以内となった。また、前面抵抗を考慮しない Case1-1, Case1-2 は、水平変位および回転角に対する安全度が極端に大きくなるのに対し、前面抵抗を考慮した Case1-3 では、それらの安全度が 1.0 以下となっており、水平変位、回転角に対してフーチングの前面抵抗の効果が顕著に現れていることが分かる。また、前面抵抗を考慮することで変形量が大きく抑えられるため、基礎の塑性率や損傷レベルで杭部材断面が決定することはなく、今回の解析においても、応答塑性率は 1 以下となった。



(a) $P_L > 20$ (Case1)



(b) $5 < P_L \leq 20$ (Case2)

図 2 損傷レベルおよび変位量に対する杭部材の安全度

上記の結果を踏まえ、 $5 < P_L \leq 20$ の液状化地

盤の解析では、基礎の慣性力は実重量とし、フーチングの前面抵抗を考慮することとした。図 2(b)に $5 < P_L \leq 20$ の液状化地盤における照査結果を示す。両ケースとも回転角に対する安全度が最も大きく、地盤変位外力を考慮した Case2-2 は地盤変位外力を考慮しない Case2-1 と比べ回転角に対する安全度が 17%程度増加したが、杭部材の鉄筋量が大きく変わることはなかった。また、 $P_L > 20$ 以上の解析結果と同様、フーチングの前面抵抗の効果により、基礎の塑性率や損傷レベルで杭部材断面が決定することはなく、応答塑性率は 1 以下となった。

4. おわりに

液状化地盤における鉄道橋脚基礎の設計において、地震後の復旧を考慮して変位量を照査指標とする場合、従来の設計のように慣性力を基本とした作用の評価だけでは変形量が過大となるため、上部に非液状化層が存在する場合には、その前面抵抗を考慮することで、残留変形量を適切に評価できる可能性があることが分かった。

さらに、 $5 < P_L \leq 20$ の液状化地盤に対する地盤変位外力の有無については、地盤変位外力が部材断面に与える影響が小さいこと、液状化地盤の地盤変位外力の評価が困難であり、設計が煩雑となることから、地盤変位外力を作用の組合せから省略してもよいと考えられる。

今後は、 $P_L > 20$ の液状化地盤において、地盤抵抗が残る液状化層における付加慣性力の考慮について、更に検討する必要がある。

参考文献

- 1) (財) 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，丸善（株）発行 1999.10.