

橋脚の断面力に与える深い土被りの影響に関する検討

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○西村 隆義
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

1. はじめに

既設橋脚の耐震性評価においては、土被りは一般に抵抗として耐震性能向上に寄与すると考えられており、安全側にその影響を無視することが多い。しかし、地盤中に埋まるような橋脚では、土被りは橋脚の地震時挙動に大きな影響を与えると考えられるが、その影響は十分に把握されていないのが現状である。そこで本検討では、直接基礎橋脚を対象として土被り深さを变化させた解析を行ない、土被りが橋脚に与える影響について検討した。

2. 土被りの影響の考慮方法と解析条件

対象とした直接基礎橋脚の概要を図1に示す。橋脚の高さは10m、フーチング高さは1.75mである。また、橋脚断面寸法は1.5m×4.0m、フーチングの平面寸法は5.8m×7.7mである。上部工はスパン30mのPRC桁を想定し、重量は7161.8kNである。地盤物性は、土被りは一般的な埋め戻し土程度(N 値=2)とし、フーチング底面より上の地盤に適用した。フーチング底面以下の地盤は N 値=30とし、基礎($V_s=400\text{m/s}$ 相当)まで15m堆積しているものとした。パラメータとなる土被り深さ H は、図1に示すようにフーチング上面からの高さを0.0m、4.5m、7.5mと变化させてモデル化することとした。

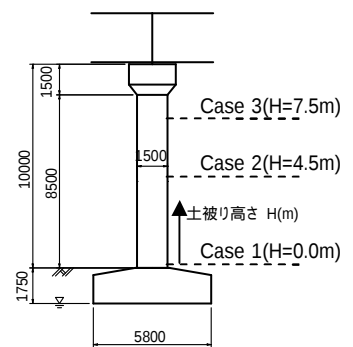


図1 対象構造物と解析ケース

解析モデルと土被りの考慮方法の概念図を図2に示す。解析モデルは、構造物は骨組み、自由地盤は質点-ばね系によりモデル化し、これらを相互作用ばねで結合した多質点系モデルを用いた。このモデルを用いることで、動的解析時に慣性力の影響と同時に、地盤変位の影響を考慮することが出来る¹⁾。

土被りが橋脚に与える影響は、以下の効果を考慮することとした。

橋脚躯体前面の水平抵抗 (土被りによる拘束効果)

基礎のロッキングに対する抵抗 (土被りの重量による効果)

の土被りによる水平抵抗については、土被り部分に相互作用ばねを配置して、自由地盤との相対変位により抵抗力を生じるようにモデル化した。

の回転抵抗については、土被り深さを变えることで土被りの重量すなわち鉛直荷重が増加し、フーチングの浮き上がりが抑制されることで表現した。土被りの影響範囲は、フーチング端部を想定破壊線としたフーチング上の土塊が寄与するものと仮定し、破壊線上に生じる抵抗力は無視して土塊重量のみが回転抵抗に寄与するものとした。なお、土塊重量は慣性力にも寄与するものと仮定した。

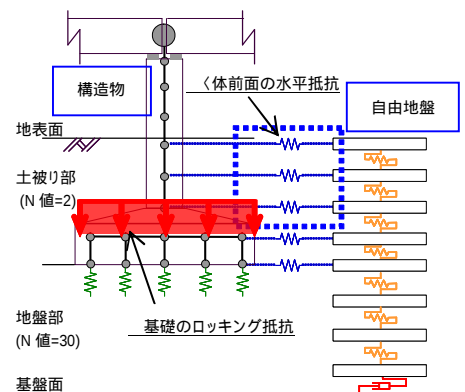


図2 解析モデルと土被りの考慮方法

直接基礎の回転挙動のモデル化は、鉛直地盤ばねを分割して分布させる分布ばねモデル²⁾を用いた。橋脚の非線形特性は、躯体が地盤と接しており、躯体のモーメント分布が三角形分布にならないことから $M-\phi$ 関係とし、骨格曲線と履歴特性はトリリニアの修正武田モデルを用いた。自由地盤の非線形特性は、骨格曲線に $R-O$ モデル、履歴則に Masing 則を用いて表現した。地盤と構造物の相互作用ばねは、鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計³⁾ (以下 耐震標準)に示されるバイリニアモデルで設定した。また、初期減衰には剛性比例減衰を用い、5Hz で3%となるように設定した。入力地震波は耐震標準に示される L2 地震動スペクトル ($G1$ 地盤)を用いた。

3. 静的非線形解析による検討結果

上部工の慣性力の影響を考慮した静的非線形解析の結果を示す。図3に、各ケースの荷重—変位曲線と降伏モ

キーワード 土被り、動的相互作用、直接基礎

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL042-573-7394

ードを示す。荷重—変位曲線を見ると、土被りが深いほど見かけ上の剛性および降伏震度が上昇しており、Case2 および 3 の降伏震度は、Case1 に対してそれぞれ 2.0, 3.1 倍に増加している。この結果より、土被りが深くなるほど橋脚への抵抗力が増加することが分かる。次に、降伏モードに着目すると、Case1 が基礎損傷先行モードであるのに対して、Case2,3 では橋脚降伏先行モードに変化している。これは、土被りが深くなることによる回転抵抗の増加と、支持力の増加による影響と考えられる。これらの結果から、慣性力の影響を考慮した場合、土被りが深くなるほど土被りの抵抗力としての効果が増加することから、見かけ上の剛性および降伏震度の増大や、降伏モードの変化などの影響があることがわかった。

4. 動的非線形解析による検討結果

動的非線形解析を実施した結果を示す。図 4 には、橋脚に発生する最大断面力分布を示す。せん断力分布に着目すると、橋脚上部では土被りが深いほどせん断力が大きくなっている。これは、前述した剛性および耐力の上昇に伴い、作用慣性力が増大した影響と考えられる。次に橋脚基部に着目すると、橋脚上部と同様に土被りが深いほど、せん断力が増加していることが特徴的である。せん断力分布の変曲点（急激にせん断力が増加する高さ）に土被り深さとの相関がみられることから、土被りの影響が唆される。

次に曲げモーメントに着目すると、躯体が降伏に達する範囲が拡大し、これに伴い見かけ上のせん断スパンが短くなっているのが分かる。これも、土被りが深くなるほど拘束効果が増加するため耐力が上昇し、作用慣性力が増大する影響と考えられる。

5. 動的相互作用の観点から見た考察

上記の結果より、橋脚の断面力は土被りが深いほどその影響を受けることがわかった。この影響を動的相互作用の観点から確認するため、構造物の質量を無視して地盤変位の影響のみを受ける動的解析を実施し、地盤変位の影響の把握を試みた。ただし、簡単のために橋脚躯体は線形で考慮した。橋脚躯体の発生最大断面力を図 5 に

示す。この結果より、土被りの影響を考慮している Case2,3 で橋脚基部の断面力が顕著に増加しているのがわかる。これは、動的解析結果で確認された橋脚基部の断面力の増加と調和的である。この結果より、土被りが深い橋脚では橋脚躯体に土被り部の地盤変位が作用し、橋脚躯体の断面力を増加させる可能性があることが確認できた。

6. おわりに

土被りの深い橋脚の地震時挙動について解析的な検討を行った。その結果、土被りには拘束効果があり、構造物全体系の剛性の向上および耐力の向上が見られることから地震時に背負う慣性力が増大し、土被りの影響を考慮しない場合に比べて、断面力の増加や見かけのせん断スパンが短くなる効果があることがわかった。また、作用としての効果もあり、土被り部の地盤変位が橋脚に作用することで、慣性力だけを考慮した場合に比べて、橋脚躯体の断面力や変形が大きくなる可能性があることがわかった。

参考文献

- 1) 豊岡亮洋，室野剛隆：免震橋の動的挙動に与える慣性力および地盤変位相互作用の影響，土木学会地震工学論文集 第 30 巻，pp283-290，2009，2) 西村隆義，西村昭彦，西岡英俊，神田政幸，羽矢洋，館山勝：直接基礎の地震時残留沈下量評価のための構造解析モデルの提案と試算例，第 43 回地盤工学研究発表会，2008，3) 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，1999.10.

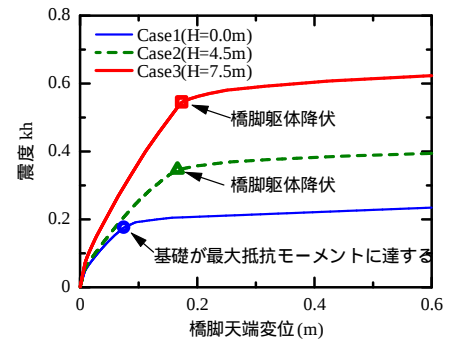


図3 荷重変位関係（静的非線形解析）

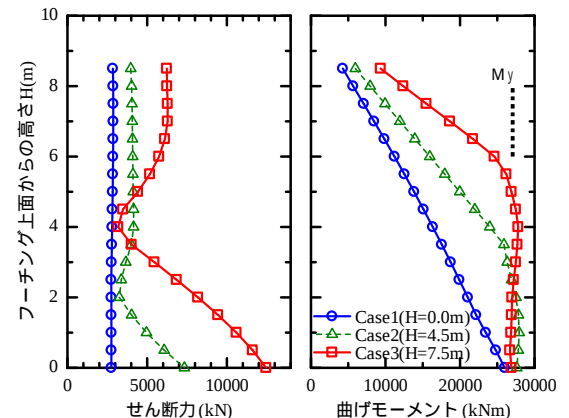


図4 橋脚の最大断面力分布（動的非線形解析）

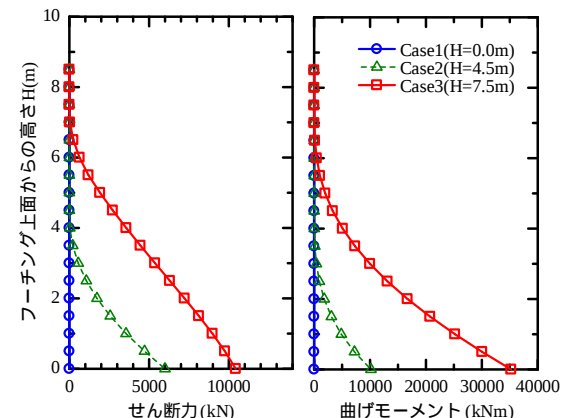


図5 橋脚の最大断面力分布
（地盤変位の影響のみを考慮した動的解析）