

杭の引抜き降伏に着目した鉄道構造物の非線形解析に関する一考察

東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 正会員 ○牛木 隆 匡
 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 正会員 高橋 紗希子
 東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 正会員 田附 伸一
 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター 正会員 藤原 寅士良

1. はじめに

鉄道の高架橋や橋りょうの耐震設計において、設計地震動に対する構造物の応答値を算出する手法は、静的非線形解析に代表される静的解析と時刻歴非線形動的解析法に代表される動的解析の2つがある。鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計¹⁾(以下、耐震標準)によれば、構造物の応答値の算定には動的解析を採用することが基本とされている。しかし、地盤のモデル化や適切な運動方程式の解法等を定める必要があり、必要な計算量も増大するため、実際の設計においては、設計の簡略化のため静的解析が多く用いられる。静的解析では、一般にプッシュオーバー解析が用いられる。この解析方法では、基礎と構造物を一体モデルとして解析し、初めに部材降伏または支持降伏が発生した時点を経た構造物の降伏点としており、図1に示すような橋台が軟弱地盤上にある場合、杭の引抜き先行降伏(杭の支持力よりも杭が引抜かれようとする力が大きくなる状態)が発生しやすい。耐震標準においては、構造物の降伏順序についての制約はないものの、引抜き先行降伏とすると、構造系全体の安定性が確保できないおそれがあることや、地震後の復旧が困難となることから、一般的には損傷を地上部へ誘導する。そのため、図1のような橋台では、引抜き先行降伏を避けるために杭を支持地盤に深く埋設しなければならない事例が考えられる。このような事例は簡易設計手法である静的解析で耐震設計を行っているために発生するものと考えられる。そこで、本研究では静的解析及び動的解析を実施した際の杭の引抜き降伏の発生状況に着目し、比較を行った結果を報告する。

件を示す。対象構造物は場所打ち杭を有するRC橋台である。杭は橋軸直角方向に2列、杭径φ1500mmである。解析方向は橋軸直角方向である。地盤はGL.+16.0m付近までN=10以下の軟弱な粘性土及び砂質土が堆積している。図2にモデル化した構造物を示す。

2.2 解析概要

本モデルに対し、静的解析と動的解析を行い、両者を比較して違いを検証した両解析手法ともに、耐震標準に示された荷重及び地震波を入力した。静的解析では、構造物自重等による慣性力に相当する荷重をKh=1.0まで漸増させながら体の慣性力作用位置に載荷した(載荷方向は図2に記載)。動的解析では、軟弱地盤による地震波の増幅を考慮し、耐震標準のL2地震スペクトルII地表面地震波と同等となるよう、基盤面に入力する波形を調整して用いた。図3に解析に用いた地震波の地表面算定波を示す。

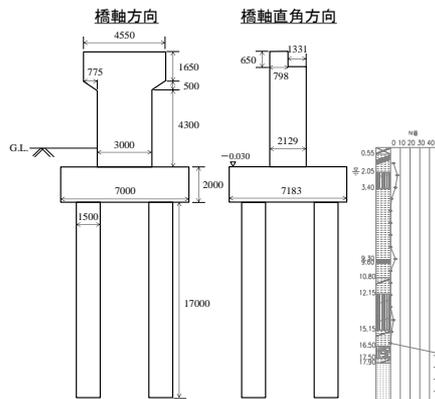


図1 構造物の概要

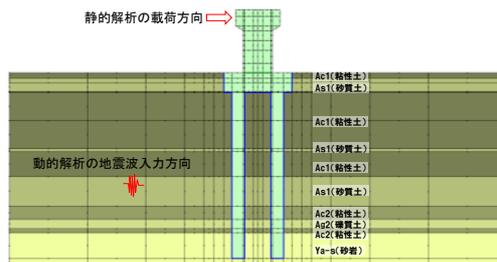


図2 モデル化した構造物

2. 解析方法

2.1 解析モデル

静的、動的解析ともに解析は、鉄筋コンクリート構造物の2次元非線形動的解析ソフト²⁾を用いた。

図1に本研究の解析に用いる構造物の概要と地質条

キーワード 耐震設計, 杭の引抜き降伏, 非線形解析, 静的解析, 動的解析

連絡先 〒980-8580 宮城県仙台市青葉区五橋一丁目1番1号 TEL 022-266-3713

3. 結果と考察

3.1 損傷結果

図4 上段に計算の最終ステップにおける損傷結果の比較を示す。構造物中に■で塗られた要素が降伏の箇所となっている。静的解析は、く体基部及び左側の杭に損傷が及んでいるのに対し、動的解析は、両側の杭に損傷が集中する結果となった。これらの違いは、静的解析と動的解析の構造物への地震荷重の入力方法の違いにあると考えられる。静的解析ではく体に同一方向から直接荷重を与えるため、片側の杭に対して広範囲に損傷が広がった。また、構造物の断面が大きく変化するく体基部に対する応力が特に大きくなる。動的解析では地盤を介して地震力が構造物の両方向から作用されるため、両側の杭に損傷が集中し、このような結果となった。

3.2 杭の引抜力

図4 下段にスラブ天端における最大応答時の変位図、図5 に引抜き側の杭の杭頭軸力を時刻歴図で示す。静的解析では荷重の増加に伴って右方向に変位が進み、天端変位 18.57(cm)で $K_h=1.0$ に達し、解析が終了となっている。この時、左側の杭（引抜き側）の杭頭に働く軸力は 7347.9(kN)であり、杭先端が地盤と定着せず、引抜かれている状況が確認された。一方、動的解析では構造物の左右に変位が生じ、天端最大変位は左方向に変位したときに 32.03(cm)であった。右側の杭（引抜き側）の先端は支持地盤に定着しており、引抜かれているといった状態は確認できなかった。この時の杭頭軸力は 3742.0(kN)であり、静的解析の軸力と比較して著しく小さい値であることが確認できた。地盤に対して地震動を与え、間接的に構造物に载荷する動的解析では、直接く体に载荷する静的解析に比べて杭の引抜き現象が発生しにくいことがわかった。ここから、簡易設計手法である静的解析により耐震設計を行い、引抜降伏が先行して発生する構造物は、それにより杭長を長くする等の必要はなく、設計の合理化が図られることを示唆した。

4. まとめ

本研究では杭基礎構造を持つ橋台のモデルに対して耐震標準に従って静的解析及び動的解析を実行し、結果の比較を行った。その結果、静的解析と動的解析と

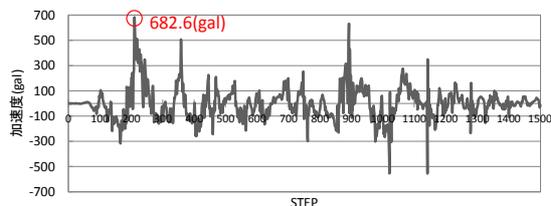


図3 動的解析に用いた地震波形（地表面算定波）

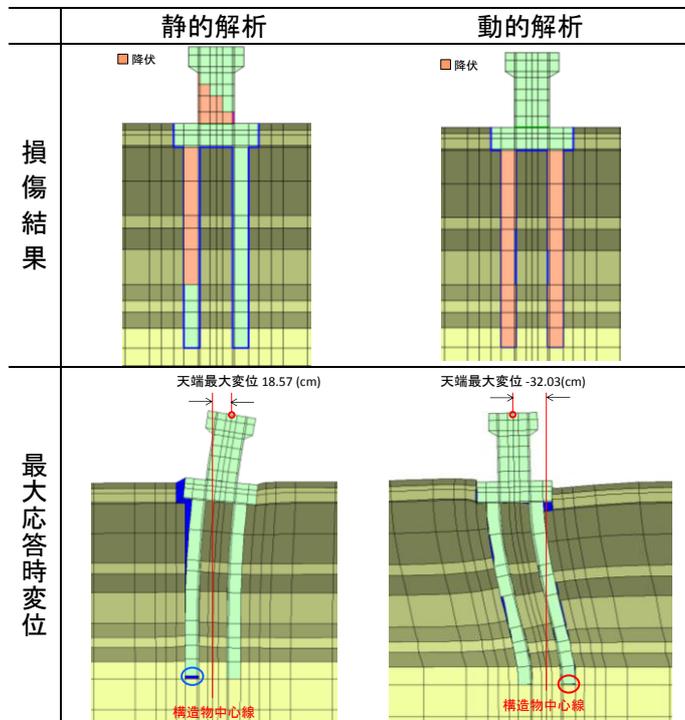


図4 損傷結果及び最大応答時の変位の比較

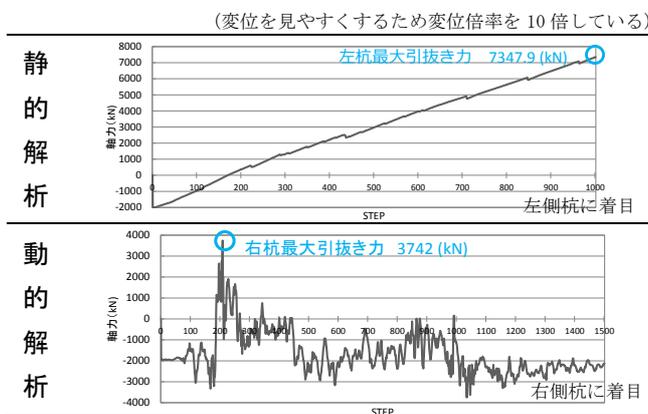


図5 杭の軸力

では構造物に対する载荷方法に違いがあるため、構造物の損傷箇所の違いが見られた。また、引抜降伏は静的解析を行った場合に発生しやすいため、杭が先行して引抜降伏を生じる際はそれにより杭を支持地盤に深く埋設するような必要はないことを示唆した。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，2012.9.
- 2) FORUM8：UC-win/WCOMD