

鉛直地盤ばねによる直接基礎の浮き上がり効果と滑り現象の分析

Analysis of the stepping effect and slipping phenomenon of
the spread foundation by the vertical soil spring

山下 典彦 (大阪産大・工) 久保田 晃平 (大阪産大・工) 宮脇 幸治郎 (元府立高専)

Norihiko YAMASHITA, Osaka Sangyo University

Kohei KUBOTA, Osaka Sangyo University

Kojiro MIYAWAKI, Former Osaka Prefectural College of Technology

E-mail: yamasita@ce.osaka-sandai.ac.jp

In this study, the rotating soil spring under the spread foundation of the RC pier with the backfill soil was replaced with the vertical soil spring, and the stepping effect of the spread foundation was evaluated. And then, by performing nonlinear response analysis in the past study that introduced the behavior pattern of the bottom of the foundation, the interaction between the rotational motion and the translational motion of the foundation was investigated.

1. はじめに

山下ら¹⁾は、RC 橋脚を対象に SR モデルを用いて、基礎と地盤の滑り・剥離現象を考慮した非線形地震応答解析を行い、底面地盤ばねの挙動パターンを分析し接地率について考察している。

本研究では、上記の内容に埋戻し土を考慮し、回転地盤ばねを鉛直地盤ばねに置き換え、直接基礎の浮き上がり効果を検証した著者ら²⁾の研究に挙動パターンを導入することで、基礎の回転運動と基礎底部の並進運動の相互作用について検討した。

2. 解析概要

解析対象は、回転ばねモデルに対し等価な回転運動を表現した図-1 に示す鉛直ばねモデルとする。非線形応答解析は、増分法 ($\beta=1/6$) で Rayleigh 減衰を使用し、RC 橋脚及び基礎の減衰定数はそれぞれ 5%, 10% で定め、微小時間を 0.001 秒として実施した。また、入力地震動は道路橋示方書³⁾の平成 7 年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台地盤上 NS 成分を線形補間して使用した。

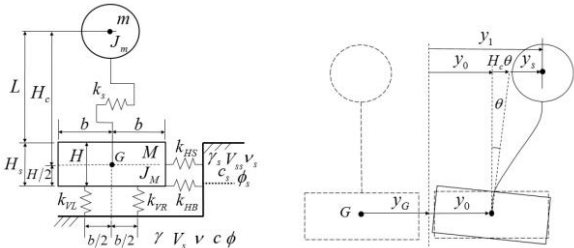


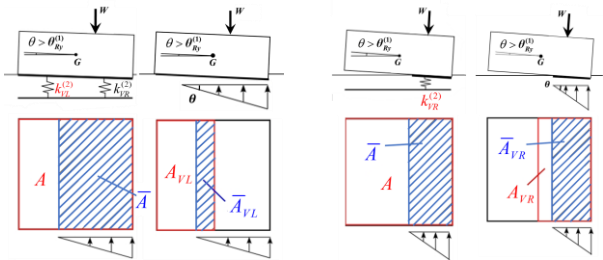
図-1 鉛直ばねモデルと座標系

3. 鉛直地盤ばねの浮き上がり機構

基礎の回転地盤ばねは、参考文献²⁾と同じ、骨格曲線をトリリニア型として評価しており、基礎の回転角が $\theta_{Ry}^{(1)}$ を向かえることで底面と地盤間に剥離が生じ、 $\theta_{Ry}^{(3)}$ から底面地盤の圧縮破壊が開始する。

基礎の鉛直地盤ばねは道路橋示方書³⁾より、大きな地震力が作用した時は三角形分布として評価しており、基礎の回転角が $\theta_{Ry}^{(1)}$ を向かえることで浮き上がり(上記の剥離と同じ、接地面積率 <1.0)が生じる。具体的には、回転角が時計回りで図-2 に示すように接地面積率 $\bar{A}/A = \sqrt{\rho_{Ry}^{(1)}/\theta}$ が 0.5 を境界として鉛直地盤ばねの様相が変化する。図-2(a) の $\bar{A}/A > 0.5$ では、浮き上がりが生じているが、 $k_{VL}^{(1)}$ (線形) が分担する領域の

みで、左側の接地面積率 $\bar{A}_L/A_L$ を $k_{VL}^{(1)}$ に乗じることで $k_{VL}^{(2)}$ (非線形) となる。図-2(b) の $\bar{A}/A \leq 0.5$ では、さらに浮き上がりが大きくなり、 $k_{VL}^{(2)}$ が分担する領域は無くなり $k_{VR}^{(1)}$ (線形) が分担する領域のみで、右側の接地面積率 $\bar{A}_R/A_R$ を $k_{VR}^{(1)}$ に乗じることで $k_{VR}^{(2)}$ (非線形) となる。なお、回転角が反時計回りの場合も同様な機構である。



(a) $\bar{A}/A > 0.5$ の場合 (b) $\bar{A}/A \leq 0.5$ の場合

図-2 浮き上がりによる接地面積率と鉛直地盤ばね

4. 浮き上がり効果と挙動パターンとの関係性

滑り現象は山下ら¹⁾を参考に底部地盤ばね k_{HB} で表現し、完全弾塑性型として評価する。降伏点変位は、浮き上がりが生じることで、逐次変化し複雑な挙動となる。また、基礎底部の変位が降伏変位を超えることで滑り現象が生じる。基礎の回転運動と基礎底部の並進運動の相互作用を表-1 の基礎底部の変位が正の領域 (1~21) と負の領域 (22~42) の挙動パターンを番号で示し、浮き上がりのみが生じる場合は 2, 23, 滑りのみが生じる場合は 3, 24, 滑りと浮き上がりが共に生じる場合は、基礎底部の変位と回転の増分から 4~21 と 25~42 の番号で履歴の挙動を区別している。図-3 は、挙動番号による履歴の挙動の一例である。

そこで、本研究では底部地盤ばね k_{HB} の復元力の値が最大となる前後の 4.9~5.9 秒間でケース 1, 2 (回転ばねモデル、鉛直ばねモデル共に k_{HB} の回転運動による降伏変位の変化あり)、ケース 3, 4 (回転ばねモデル、鉛直ばねモデル共に k_{HB} の回転運動による降伏変位の変化なし) による分析を行った。図-4(a), (b) は、それぞれ回転ばねモデル、鉛直ばねモデルの履歴ループを描いたものであり、4.9~5.9 秒間に黒→赤→青(挙動により区別)に遷移している。図-4(c), (d) は、同区間の接地面積率、復元力及び挙動番号の時刻歴である。

図-4(c), (d)より, ケース 1,2 の接地面積率が減少する時間から挙動番号2,23 と 3,24 の時間をそれぞれ引くことにより滑りと浮き上がりが共に生じる時間を求め, 表-2 に示す浮き上がり・滑り現象の生起する割合を分析した. 表-2 より, ケース 2 は浮き上がりのみ, ケース 1 は滑り・浮き上がり共に生じた割合と鉛直地盤ばねと回転ばねモデルでは異なる割合を示すが, 滑りのみの場合は両ケース共に 0.0%を示す. また, ケース 2 のみにおける割合の比率は, 1.7 倍ほど差が生じている. 次にケース 1,2 で最も異なる挙動番号を示す 5.8 秒以降時点で, 回転地盤ばねの挙動番号は 34, 36, 39, 鉛直地盤ばねの挙動番号は 23, 22 に変化している.

図-5 は, 同区間の鉛直ばねモデルと回転ばねモデルの相関図である. 挙動番号は 21 番以降を多く示し, 正の相関が確認できるが, 一部で差異が生じている. この時の挙動番号は, 図-4(c), (d)における 5.8 秒以降の挙動番号と一致しており, 接地面積率における増減が異なるので, 挙動番号に影響を与

えている. また, ケース 3,4 は回転運動が k_{HB} の降伏点変位に影響を与えないので, 接地面積率の影響を受けるケース 1,2 と比べて結果が異なった.

5. まとめ

本研究では, 基礎の回転運動と基礎底部の並進運動の相互作用について分析した. 鉛直地盤ばねは浮き上がりのみ生じる割合, 回転地盤ばねでは滑り・浮き上がり共に生じた割合が大きい. また, 鉛直地盤ばねにおける浮き上がり・滑り・浮き上がりの割合による比率は, 1.7 倍ほど差が生じており, 鉛直地盤ばねと回転地盤ばねでは異なる結果を示す. 回転地盤ばねと鉛直地盤ばねの接地面積率における増減は異なっており, それに伴う挙動番号に影響を与えている.

本研究は, 2 本の鉛直地盤ばねで検討したものであり, 今後は, 鉛直地盤ばねの本数による接地面積率の影響を検討する必要がある.

表-1 挙動番号

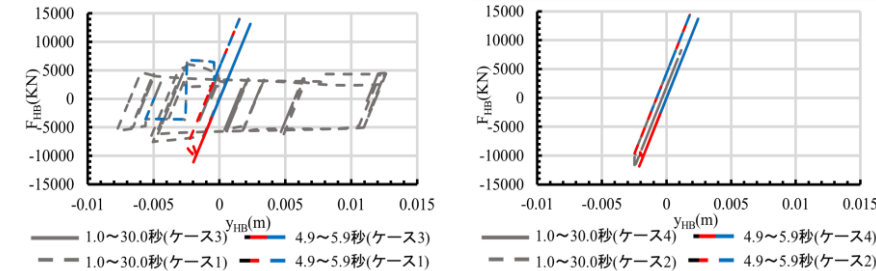
状態		増減		挙動 番号	状態		増減		挙動 番号
回転	変位	回転			回転	変位	回転		
浮き上がりなし（線形）									1, 22
浮き上がりのみ（線形）									2, 23
滑りのみ									3, 24
正	+	+	4, 37	負	+	—	13, 28		
		0	5, 38			0	14, 29		
		—	6, 39			+	15, 30		
	—	+	7, 34		—	—	16, 25		
		0	8, 35			0	17, 26		
		—	9, 36			+	18, 27		
	0	+	10, 40		0	—	19, 31		
		0	11, 41			0	20, 32		
		—	12, 42			+	21, 33		

参考文献

- 1) 山下典彦, 甲田啓太, 宮脇幸治郎: 滑り・剥離現象を考慮した直接基礎底面の接地率に関する一考察, 第 38 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1-6, 2018.
- 2) 山下典彦, 久保田晃平, 宮脇幸治郎: 鉛直地盤ばねによる埋戻し土を考慮した直接基礎の浮き上がり効果の検証, Kansai Geo-Symposium 2021 論文集, pp.175-180, 2021.
- 3) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2012.

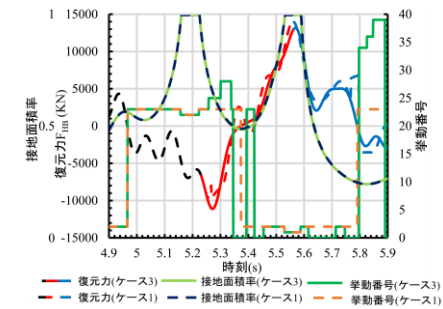
表-2 浮き上がり・滑り現象の生起する割合

	ケース 1	ケース 2
浮き上がりのみ	44.9%	63.0%
滑り・浮き上がり	55.1%	37.0%
滑りのみ	0.0%	0.0%

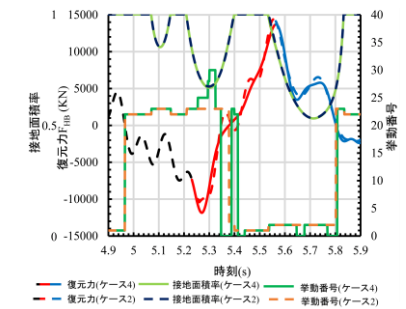


(a) ケース 1,3 の履歴ループ

(b) ケース 2,4 の履歴ループ



(c) ケース 1,3 の接地面積率と挙動番号



(d) ケース 2,4 の接地面積率と挙動番号

図-4 接地面積率と底部地盤ばね k_{HB} の挙動

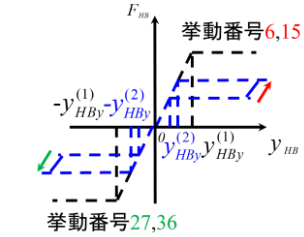


図-3 挙動番号による履歴の挙動

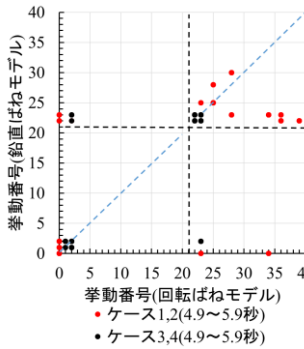


図-5 挙動番号の相関図