

アンダーピニング工法における杭基礎の合理的な受替評価方法の一提案（その1）

中央復建コンサルタンツ（株） 正会員 ○室谷耕輔 坂田智基 畔取良典
 （財）鉄道総合技術研究所 正会員 澤田 亮

1. はじめに

アンダーピニング工法による施工は、構造物の受替時の挙動を事前に予測することが重要である。その予測方法は、設計基準等で算定される地盤ばねを用いた梁-ばねモデル等により検討することが多い。しかし、梁-ばねモデルは、地盤ばねの設定値に解析結果が大きく左右され、構造物の受替時における実挙動と一致しないことが多い。

そこで、本研究では、既往の杭基礎受替工事の実測結果を対象に、鉄道設計基準¹⁾の地盤ばねを用いた梁-ばねモデルの解析を行い、実挙動を合理的に評価できる地盤ばねの補正方法について検討を行う。

2. 解析条件

(1) 解析モデル

対象とする既往の施工事例は、既設構造物を支持する既設の杭基礎2本（杭No.1：Φ1.7m、杭No.2：Φ1.8m）を新設の門型ラーメン基礎（下受床版 H=3.0m、地下連続壁 t=1.8m（奥行 7.15m））で受け替える工事である。この施工事例を対象とした解析モデル概念図を図-1に示す。解析モデルは、既設杭基礎と新設基礎を分離した梁-ばねモデルとし、受替時におけるプレロード荷重を各モデルの作用・反作用荷重として載荷する。また、地盤ばねは非線形モデル（バイリニア）（図-2）とし、既設杭基礎・新設基礎は線形部材とする。

(2) 土質条件および地盤ばねの設定

土質条件は、G.Lー約 30m まで N 値 0～8 の軟弱層、G.Lー約 30m 以深が N 値 50 以上の砂礫層で構成される地盤である（図-1）。図中に示す土質定数については、鉄道設計基準に基づき設定する。鉄道の設計基準による地盤ばねは、地盤の変形係数 E と杭直径から算定される地盤反力係数（式-1）により設定される。解析では変形係数 E に対して、補正係数 α（1～1000）を考慮し、実測値に適合する補正係数を検討する（図-2）。

(3) プレロード荷重、既設杭基礎・新設基礎の実測変位量

各杭位置に載荷するプレロード荷重、既設杭基礎・新設基礎の実測変位量を表-1に示す。プレロード載荷位置は図-1に示す矢印の位置とする。プレロード荷重は、既設構造物の設計荷重に対して 0～120%の初期載荷を行った後、80%まで荷重を除荷し、その後、100%まで再載荷を行っている。

$$k_v = 3.2 E_o D^{-3/4}, \quad k_{sv} = 0.3 E_o D^{-3/4} \quad (\text{式-1})$$

ここに、 k_v ：杭先端の地盤反力係数 k_{sv} ：杭周面の地盤反力係数（粘性土）

E_o ：地盤の変形係数 D ：杭の直径

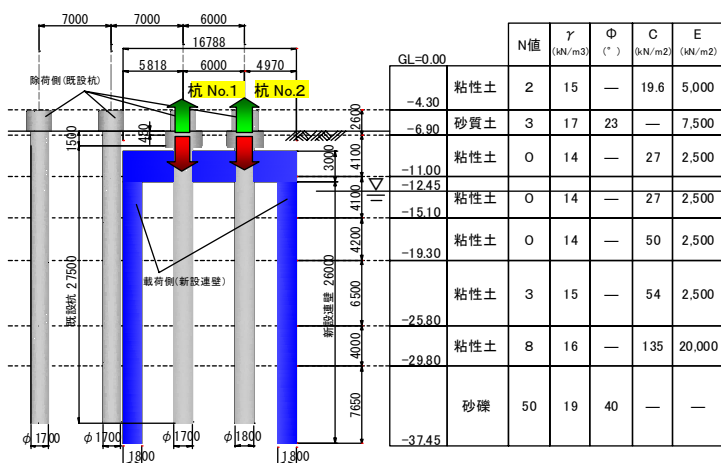


図-1 解析モデル概要図

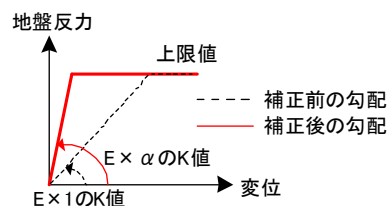


図-2 地盤ばねモデル

表-1 プレロード荷重—実測基礎変位量

プレロード荷重(%)	載荷荷重		実測値(mm)	
	杭No.1 (kN)	杭No.2 (kN)	杭No.2隆起量 (既設杭基礎)	杭No.2沈下量 (新設基礎)
初期載荷	0	—	0.02	-0.12
	20	1,866	1,477	-0.43
	40	3,733	2,953	-0.84
	60	5,599	4,430	-1.33
	80	7,466	5,906	-1.93
	100	9,332	7,383	-2.62
	110	10,265	8,121	-2.95
	120	11,198	8,860	-3.52
除荷	100	9,332	7,383	-3.18
	80	7,466	5,906	-2.67
再載荷	100	9,332	7,383	-3.04

キーワード アンダーピニング、杭基礎、地盤反力係数、梁-ばねモデル

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 06-6160-2212

3. 検討結果

(1) 初期載荷時における杭の実測変位値と解析値

図-3 に初期載荷時における杭 No.2 の実測変位値および解析値を示す。新設杭はプレロード荷重を載荷するため、沈下の挙動を示す。一方、既設杭は除荷する方向に荷重を作用させるため、隆起の挙動を示す。E×1 の場合、120%載荷時における解析値の変位は、実測値に対して、新設基礎の沈下量は約 4 倍 ($-6.6\text{mm}/-1.5\text{mm}$)、既設杭基礎の隆起量は約 9 倍 ($3.04\text{mm}/3.5\text{mm}$) となり、構造物の挙動を過大評価することが分かる。新設杭および既設杭の実測値と比較的一致するのは、E×50 および E×100 のケースであり、初期載荷においては変形係数を 50 倍以上に補正する必要があると考えられる。

(2) 除荷時における杭の実測変位値と解析値

図-4 に除荷時における杭の実測変位値と解析値を示す。図は 120%載荷時の変位をゼロとした 80%除荷時までの相対変位を示す。初期載荷時に実測値と比較的一致した E×50 の解析値は、新設基礎の隆起量で実測値の約 3 倍 ($0.73\text{mm}/0.26\text{mm}$)、既設杭基礎の沈下量で約 2 倍 ($-1.46\text{mm}/-0.85\text{mm}$) となり、過大評価することが分かる。除荷時において実測値と比較的一致するのは変形係数を 500 倍以上に補正したケースである。

(3) 再載荷時における杭の実測変位値と解析値

図-5 に再載荷時における杭の実測変位値と解析値を示す。図は 80%除荷時の変位をゼロとした 100%再載荷時までの相対変位を示す。除荷時と同様に E×50 の解析値は、新設基礎の沈下量で実測値の約 3 倍 ($-0.35\text{mm}/-0.12\text{mm}$)、既設杭基礎の沈下量で約 2 倍 ($0.73\text{mm}/0.37\text{mm}$) となり、過大評価することが分かる。再載荷時において実測値と比較的一致するのは変形係数を 500 倍以上に補正したケースである。

4. まとめ

本研究は、受替え工事の実挙動を予測する場合の合理的な評価手法として、梁ばねモデルの地盤ばねの補正方法について検討を行った。その結果を以下に整理する。

- ・地盤の変形係数をそのまま用いた鉄道基準の地盤ばねは、実測値に対して過大評価になる可能性が確認された。
- ・初期載荷時の変形係数は 50 倍以上に補正することで実測値と比較的一致することが確認された。
- ・除荷時および再載荷時の挙動を実測値と比較的一致させるためには、変形係数を 500 倍以上に補正の必要があり、初期載荷時より大きな補正になることが確認された。

今後は、実験の実施による挙動把握とそのシミュレーション、他の実測事例のシミュレーション等を行い、予測解析における合理的な地盤ばねの補正方法の提案を行いたい。

《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 基礎構造物・抗土圧構造物，2000.6

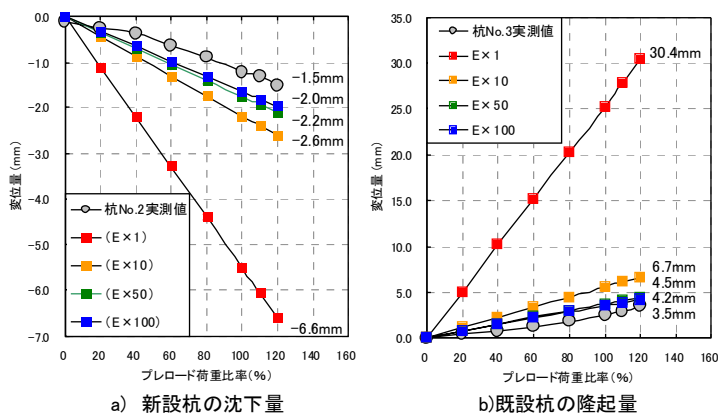


図-3 初期載荷時における杭の実測変位値と解析値

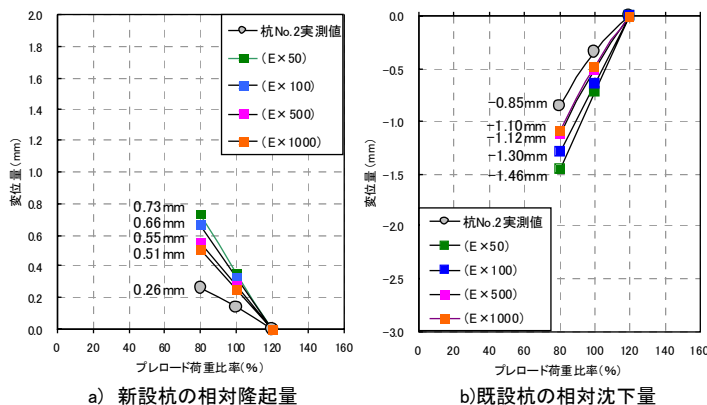


図-4 除荷時における杭の実測変位値と解析値

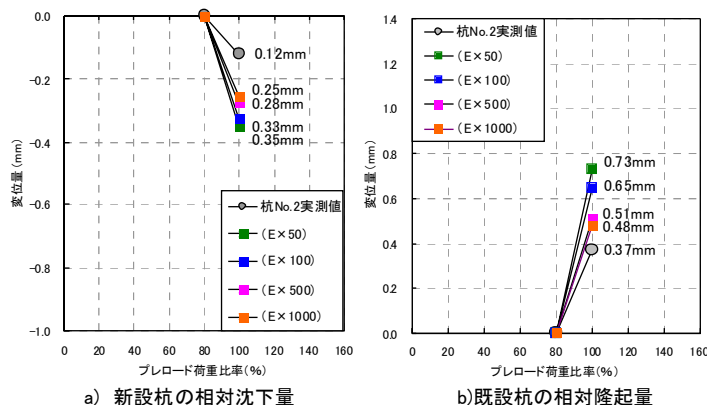


図-5 再載荷時における杭の実測変位値と解析値