

Ⅲ-452 押し込み・引き揚げ荷重に対する深礎基礎のシェイクダウン解析

名古屋大学大学院 学生会員 ○山田 英司、中川 雅之
 名古屋大学工学部 正会員 大塚 悟、松尾 稔

1 はじめに

荷重方向やその大きさが変化する繰り返し荷重を複合荷重と定義する。複合荷重に対する安定性は単一方向の荷重に対する安定性より著しく低下する。このような荷重の例としては地震や風荷重が挙げられる。送電用鉄塔基礎の場合は、上部構造物に作用する風荷重によって基礎に引き揚げ荷重や押し込み荷重が載荷するためこれらの繰り返し荷重に対する構造物の安定性評価について検討する必要がある。本研究では基礎と地盤間の離合・すべりを考慮して、荷重方向の変化する繰り返し荷重に対する基礎の支持力評価を行う。

2 基礎と地盤間の離合・すべりを考慮したシェイクダウン解析

深礎基礎の支持力問題の特徴は基礎と地盤間にすべりや離合が生じて、しばしば構造物や地盤の安定性に大きく影響することにある。そこで基礎と地盤間のすべりや離合を表現するために、基礎と地盤間のインターフェイスにジョイント要素を設ける。ジョイント要素は厚さが0であり、インターフェイスの垂直および接線方向の剛性と強度で不連続性を表現する。インターフェイスにおける離合やすべりを塑性変形と見なして弾塑性体にモデル化することによって連続体に基づく安定解析が可能になる。

地盤内応力を $\sigma(t)$ 、基礎と地盤間のインターフェイスに働く作用力を $p(t)$ 、一般応力を $S(t)^T = \{\sigma(t)^T, p(t)^T\}$ とする。基礎と地盤間のインターフェイスにおける離合・すべりを考慮したシェイクダウン解析の場合も、通常のシェイクダウン解析と同様に Melan の定理に基づき安定性を評価する。降伏関数には次式のような線形降伏関数を用いる。

$$f(S(t)) = N^T S(t) - K = N^T (S^E(t) + \bar{S}^R) \leq 0 \quad (1)$$

ここに、 f : 降伏関数、 N : 線形降伏関数の外向き法線ベクトルの集合マトリックス、 $S^E(t)$: 荷重に対する弾性一般応力、 $\bar{S}^R$: 時間に無関係な残留一般応力である。時間的に変化する $N^T S^E(t)$ を次式で表すベクトル M に変換することによって荷重領域 Δ 内の任意の繰り返し荷重の影響を M で表すことができる。

$$M = \max \left\{ N^T S^E(t) \mid B^T S^E(t) = F(t), F(t) \text{ in } \Delta \right\} \quad (2)$$

深礎基礎がシェイクダウンする限界荷重領域を $\alpha\Delta$ とすると、この荷重係数 α を用いて基礎と地盤間のインターフェイスを考慮したシェイクダウン解析は次式の線形計画問題として定式化できる。

$$s = \max \left\{ \alpha \mid \alpha M + N^T \bar{S}^R + N^T S_i \leq K, B^T \bar{S}^R = \mathbf{o} \right\} \quad (3)$$

ここで、 S_i : 初期一般応力である。

3 複合荷重を受ける深礎基礎の支持力評価

図.1 に解析に用いた有限要素メッシュと荷重条件を、表.1 に解析定数を示す。本解析は軸対称条件で行い、インターフェイスにおける引張強度は 0 kN/m^2 、せん断強度は 100.0 kN/m^2 を仮定した。初期応力については表.1 の定数を用いて弾性自重解析より求めている。

表.2 に単一方向の荷重(押し込み荷重及び引き揚げ荷重)に対する支持力を示す。インターフェイスを考慮していない場合 (Case.1) に比べ、インターフェイスを考慮した場合 (Case.2) は支持力は小さくなっている。これはインターフェイスを考慮することにより合理的に離合・すべりを評価できるためである¹⁾。

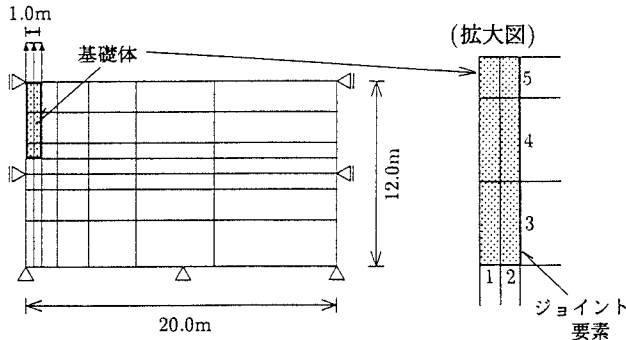


図.1 有限要素メッシュと荷重条件

表.3 に押し込み荷重と引き揚げ荷重の比率を変えた複合荷重を示す。ただし ① は押し込み荷重のみ、⑥ は引き揚げ荷重のみの場合である。図.2 に表.3 の複合荷重に対するシェイクダウン領域を示す。図.2 から分かるように、押し込み荷重に対する引き揚げ荷重の比率が大きくと、シェイクダウン領域の引き揚げ成分の増加に比べ押し込み成分は大幅に減少していく。引き揚げ荷重が押し込み荷重の2倍になる荷重系(④)ではシェイクダウン領域の引き揚げ成分は引き揚げ支持力 $(q_u)_{pull}$ と一致し、押し込み成分は押し込み支持力 $(q_u)_{push}$ の2割となる。それ以上引き揚げ荷重の比率が大きくなる荷重系でもシェイクダウン領域の引き揚げ成分は引き揚げ支持力を越えず、押し込み成分は2割以下になってしまう。またこれは押し込み成分の安全率は2割以下になると見ることができる。したがって複合荷重を受ける場合には、単方向の荷重に対して安定性評価を行うと危険側の支持力を与える可能性があるが、本解析手法による複合荷重に対する安定性評価は合理的であると言える。

4 まとめ

押し込み荷重・引き揚げ荷重が繰り返し載荷されるような送電用鉄塔の深礎基礎などでは、複合荷重に対する安定性は単方向の荷重に対する安定性に比べ著しく低下するのが、本解析手法では容易にこのような複合荷重に対して安定性評価できることが示せた。

参考文献 1) 山田, 中川, 大塚, 松尾 (1995): 深礎基礎の押し込み・引き揚げ支持力, 第30回土質工学研究発表会 (掲載予定).

表.1 解析定数

地盤	
E_s	1000.0 kN/m ²
ν_s	0.3
γ_s	16.96 kN/m ³
c	19.6 kN/m ²
ϕ	25.0°
基礎	
E_c	2.058×10^7 kN/m ²
ν_c	0.16
γ_c	23.03 kN/m ³
f_t	2.94×10^5 kN/m ²

表.2 単方向の荷重に対する支持力

	$(q_{u0})_{push}$ (kN/m ²)	$(q_{u0})_{pull}$ (kN/m ²)
Case.1	7912.1	1313.3
Case.2	1789.6	707.9

表.3 複合荷重

	引き揚げ荷重	:	押し込み荷重
①	0.0	:	1.0
②	0.5	:	1.0
③	1.0	:	1.0
④	2.0	:	1.0
⑤	4.0	:	1.0
⑥	1.0	:	0.0

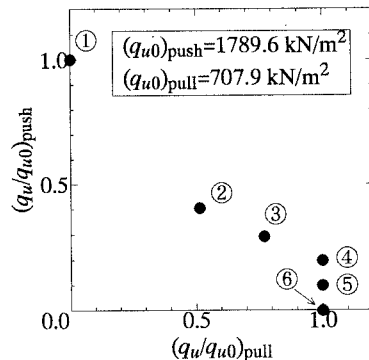


図.2 シェイクダウン領域