

Ⅲ - B179

地盤改良によるヒービング防止機構のモデル

D J M工法研究会 正会員 大西 朝晴 正会員 鈴木 亮彦 西 寿三男
 長崎大学名誉教授 D J M工法研究会顧問 伊勢田 哲也
 (有)アブライド 正会員 境 友昭

1. はじめに

深層混合処理工法は、我が国で開発された地盤改良工法として多くの施工実績があり、地盤掘削時のヒービング防止工法として、掘削底面に施工されることがある。しかし、非常に稀なケースとして掘削底面下の改良柱体が浮き上がるという変状問題が報告されている¹⁾。この浮き上り現象を説明するメカニズムとしてヒービング現象が指摘されている。これまでヒービング現象は、極限釣合法を用いたすべり安定問題に還元して解析されるのが一般的であった。このすべりモデルは実用的でまた多くの設計実績があるが、地盤の変形を考慮したモデルではなく、したがって地盤改良柱体が浮き上がるような現象を説明することには困難がある。このため、本報告では変形を考慮することができるようなモデルを提案し、深層混合処理工法によるヒービング防止技術の設計方法の確立を目指すものである。

2. ヒービング解析のモデル

2. 1 極限釣合モデル

ヒービングは、掘削面側と背面側の力の不釣り合いによって、掘削底面が破壊する現象である。これまでの極限釣合法では、背面側の土の重量 W と円弧状のすべり面での土のせん断抵抗が釣り合うこととして安定解析されている。

このすべり安定モデルを、掘削底面が地盤改良されている場合に適用すると、地盤改良柱体を通るすべり線の長さ L_0 と柱体のせん断強度の積によって地盤改良効果の算出ができることになる。すなわち、 L_0 をすべり線全体の長さ、 L_D を改良柱体を通るすべり線の長さ、 τ_s 、 τ_D をそれぞれ、地盤、改良柱体のせん断強度とすると（図-1参照）、

$$f_s = \frac{L_0 \tau_s}{W_r} \quad (\text{地盤改良がない場合})$$

$$f_s = \frac{(L_0 - L_D) \tau_s + L_D \tau_D}{W_r} \quad (\text{地盤改良がある場合})$$

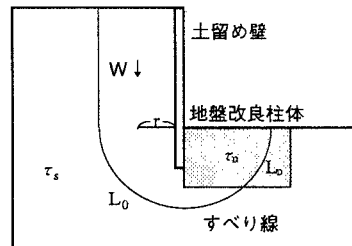


図-1 極限釣合モデル

が成立し、 $\tau_D > \tau_s$ である限り、すべりに対する安全率は向上する。

しかし、このモデルでは、改良柱体そのものは地盤の変形とは関係なく不動のものとして取り扱われており、改良率、改良深度など地盤改良を設計する上での重要な設計パラメータは、与えられない。

2. 2 提案モデル

掘削背面側の土の側方移動による掘削底面の地盤の盛り上がり現象を説明するため、ヒービングの発生過程を単純化したモデルを提案する。土留め壁のみを設けた掘削時の地盤を図-2に示すように3つのブロックに区分する。掘削時の力の平衡について次のように考える。

- 1) ブロックAは、土留め壁によって水平方向の変形を拘束されているため、その荷重はすべてブロックBに作用する。
- 2) ブロックBは、底面および左側無限遠が拘束されているため、ブロックAからの荷重を水平方向の圧力に変換しブロックCに伝える。

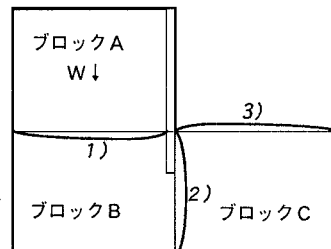


図-2 変形解析モデル図

深層混合処理、ヒービング、すべり、有限要素解析、弾性解析

D J M工法研究会（〒104 東京都中央区新川1-2-8 山京ビル10階 TEL 03-3553-3028 FAX 03-3553-3038）

(有)アブライド（〒305 茨城県つくば市大曾根3816-1 TEL 0298-64-6850 FAX 0298-64-4800）

3)ブロックCは側方流動荷重を受けるが、右側無限遠および底面が拘束されているため、変形は掘削底面上部に多く生じる。

4)ブロックCの一部の変形が大きくなると、弾性変形範囲を超え、地盤が塑性域に達し破壊に至る。

すなわち、「ヒービングは、掘削による地盤の重量のアンバランスによって掘削底面領域が水平方向に変形圧力を受け、これによって掘削底面が膨れ上がる現象」として理解される。言い換えると、背面側と掘削面の静止土圧の差が側方流動圧となって地盤ブロックCに作用し（図-3参照）、上面が鉛直方向に拘束されていないために、変形が生じるということである。

これに対し、図-3に示すように深層混合処理工法によって地盤改良を行った場合、柱体と柱体の間には、鉛直応力の差分によるせん断応力が発生する。このせん断応力 F_t が柱体を含む改良盤のせん断抵抗よりも大きいと「柱体の浮き上がり現象」が生じると理解される。また、改良地盤の持つせん断抵抗は、(1)柱体と柱体が接触している場合は、その摩擦力度、また(2)接点でない場合には、柱体間の距離によってその摩擦力度と未改良地盤のせん断強度の中間の値を持つものと推定される。すなわち、柱体と柱体の平均距離を d とすると、改良地盤のせん断強度は、 $d \rightarrow 0$ において柱体の摩擦力度、 $d \rightarrow \infty$ において未改良地盤のせん断強度と等しくなる。この関数が得られると、地盤の改良率および改良深度に関する設計パラメータが得られる。

ただし、上記のモデル化の考察ではヒービングの力学的挙動の単純化のために、土留め壁の水平方向の移動と、ブロックCのリバウンド（上載荷重の除去による鉛直変位）の2点を無視した。

3. 提案モデルの簡単な検討

3.1 解析条件

地盤ブロックCの部分のみをモデル化し、線形弾性解析で計算した（条件・モデルは図-4参照）。境界条件は下・右側固定で、左側上端では、土留め壁の効果を鉛直変位を抑えることでモデル化し、水平ローラー（鉛直方向固定）とした。左側（土塊B）の側方変形の効果を分布荷重として与えた。荷重は単位体積重量 2tf/m^3 の地盤の高さ 10m 分を与えた。

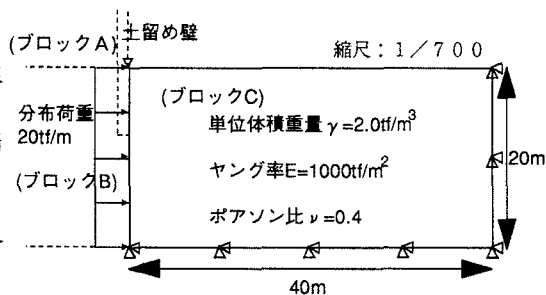


図-4 解析モデル図

3.2 解析結果

変位結果を図-5に示す（変位量の縮尺は1/30）。左端から、つまり土留め壁位置から4～6mのところで鉛直変形量が最大となっている。これは、観察される現象の傾向と一致し、このようなモデル化で膨れ上がりを見せることから、ヒービングの挙動を表現できる可能性があると考えられる。

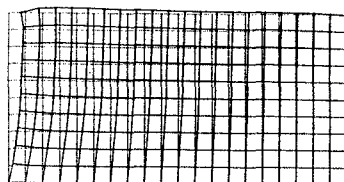


図-5 解析結果変形図（格子は2m間隔）

4. まとめ

ヒービングによる掘削底面の変形メカニズムの把握のために、掘削底面領域のみをモデル化する考え方を説明し、弾性解析による簡単な検証も行った。今後、モデルの検証および掘削底面領域の解析方法の検討に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 桜井・北田・左子・伊東：大規模山留め工事における地盤改良の問題点と今後の課題、基礎工、Vol.24 No.8、1996