

25. 小型機械を用いた重錘落下締固め工法

三信建設工業(株)：大沢 一実，*新坂 孝志

1. まえがき

軟弱地盤の改良には種々の工法がありそれぞれ数多くの実施例がある。その原理は地盤の密度を増大させるもの、地盤を固結してしまうもの等さまざまである。その中で重錘落下締固め工法は密度増大工法に分類され、従来大規模な埋め立て地等の締固めに用いられている。一般的な重錘落下締固め工法は、100～200 t吊りの大型クレーンで10～60 t程度の大型重錘を、10～30mの高さから自由落下させ軟弱地盤の締固めを行っている。これに対し、最近小型の重錘を連続的に自由落下させることで、効率的に地盤の締固めを行う工法が英国から導入し、その機動性からこれまで大型機では不可能であった施工環境にも適用されはじめている。今回石油タンク建設に伴う液状化対策として、この小型機械による重錘落下締固め工法「BSP動圧密工法」を採用し好結果を得たので紹介する。



写真-1 BSPコンパクター

2. BSP動圧密工法とは

この工法は英国BSP社で開発され、日本には1994年に導入された新しい工法である。工法の原理は従来の重錘落下締固め工法と同じだが、自由落下する重錘は7 tと小型で、落下高さも1.2mと小さい。したがって打撃エネルギーは8.4 t・mとなるが、これを毎分40～60回というスピードで連続的に落下させ、能率良く地盤を締め固めることを可能にしている。また、重錘はあらかじめ地面に置かれたフートと呼ばれる直径1.5mの円形接地体の上に落下するので、地面に突出した岩塊等にも対応し、土石塊の飛散も軽減している。特長をまとめると以下ようになる。

- ①コンパクトなボディーで機動性が高い。
- ②打撃スピードが速く能率良く締固めが可能。
- ③フートの採用で地盤とのなじみが良く、土石塊の飛散が少ない。
- ④1回の打撃エネルギーが小さいので細かいコントロールが可能。

用途としては、タンク基礎、建物基礎、宅地造成、道路・鉄道の基礎地盤の締固め等があり、また廃棄物処理場の廃棄物減容化にも利用されている。

3. 設計の考え方

改良の原理は、重錘落下による衝撃力と振動により地盤が圧縮され密度が増大する、というもので、砂質土に適用した場合に効果が得られることは容易に理解できよう。設計手順のフローを図-1に示す。改良深度は3m~4m程度を限界としている。設計手順は、目的に応じた目標N値を設定し原地盤N値に対する増加N値(ΔN)を求める。さらに、 ΔN と打撃エネルギー量の関係を用いて必要な打撃エネルギー量： (E_v) を求めることにより打撃回数を設定する。この際大型の重錘落下締固め工法に比べ力の減衰が大きいことから、円形面等分布荷重による土中応力計算式を応用し衝撃力影響値： I を考慮している。また一度に圧縮するのではなく、改良範囲全面を打撃した後整地するまでを1シリーズとし、これを何シリーズか繰り返して打撃圧縮する方法を採っている。

4. 施工方法

本工法の施工手順を図-2に示す。1シリーズ1打撃点での沈下量は50cmまでとし、所定の締固め度になるまで必要回数、打撃と整地を繰り返す。作業は単純明快である。機械は「BSPコンパクター」と呼ぶ1.2mクラスのバックホウをベースマシンとした専用機で、能率的な打撃スピードに見合った機動性を持っている(写真-1)。使用機械の仕様を表-1に示す。

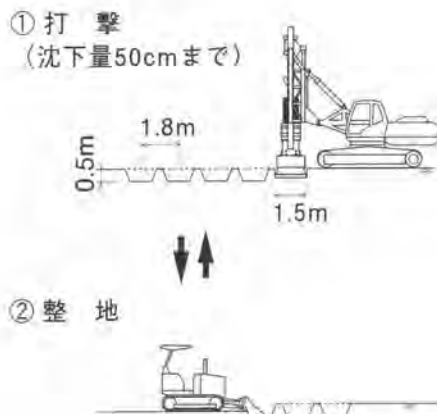


図-2 施工手順

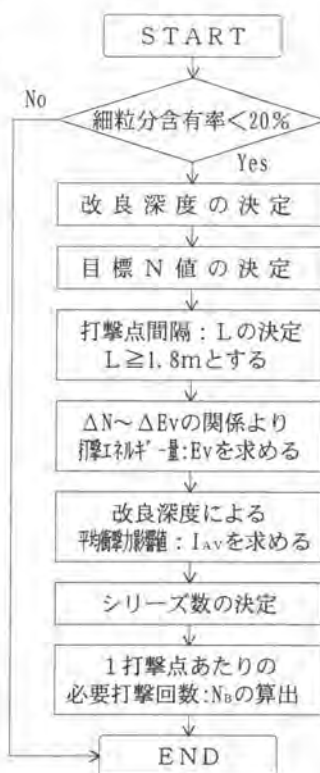


図-1 作業手順のフロー

表-1 使用機械

機械名称	仕様
BSPコンパクター	重錘重量7t、落下高さ1.2m 打撃速度40~60回/分、 フット径1.5m 全長7.8m、全幅3.2m 最大高さ8.35m、重量42t
ブルドーザ	11t級、重量10.7t
45tクレーン	組立解体時

5. 施工事例

今回、北海道苫小牧市に新設される石油タンク基礎の液状化対策として施工した施工事例を紹介する(写真-2)。5,000kℓ石油タンク建設に伴い、地表付近に緩い礫混り砂層が存在し地震時における液状化の危険性が指摘された。各種地盤改良工法を比較検討した結果、地表付近を効率的に締固め可能な本工法が採用された。土質は施工基礎から-3m付近までN値10以下の緩い礫混り砂層が分布している。図-3には対象土層の粒度分布を示す。前掲図-1設計手順に従い表-2に示す設計条件を基に設計を行った。



写真-2 石油タンク基礎地盤における施工状況

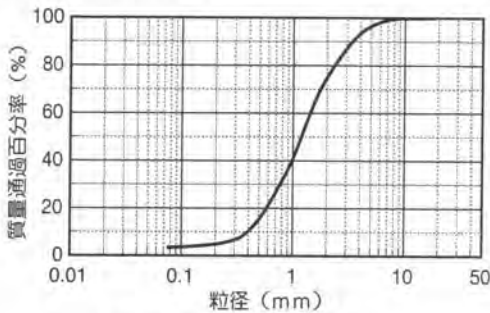


図-3 対象土の粒度分布

表-2 設計条件

項目	定数
細粒分含有率	$F_c = 4.0\%$
改良深度	GL-3.0mまで
現地盤N値	$N_0 = 6$
目標N値	$N = 20$
増加N値	$\Delta N = 14$
打撃点間隔	$L = 1.8\text{m}$
打撃エネルギー量	$E_v = 60\text{ t}\cdot\text{f}/\text{m}^2$ (図-4)
平均衝撃力影響値	$I_{AV} = 0.27$ (図-5)

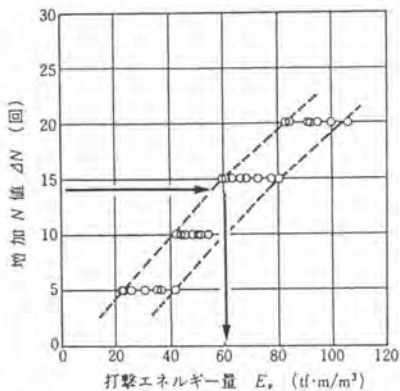


図-4 増加N値 ΔN と打撃エネルギー量 E_v (砂質地盤)

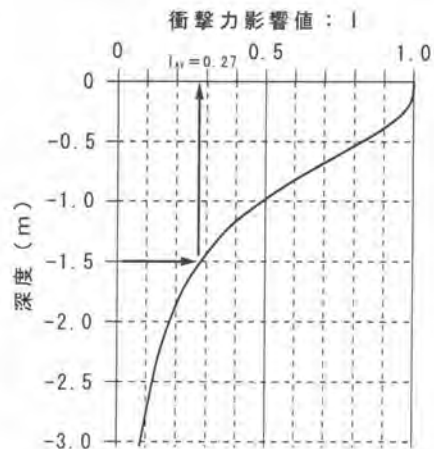


図-5 深度と衝撃力影響値

1シリーズ1打撃点あたりの打撃回数(N_B)は下式にて算出する。

$$N_B = \frac{E_v \cdot D \cdot L^2}{W \cdot H \cdot n \cdot I_{AV}} = \frac{60 \times 3 \times 1.8^2}{7 \times 1.2 \times 5 \times 0.27} \approx 50$$

N_B : 1打撃点当りの必要打撃回数(回)
 W : 重錘重量(tf)
 E_v : 打撃エネルギー量(tf・m/m³)
 H : 落下高さ(m)
 D : 改良深さ(m)
 n : シリーズ数(改良過程の段階数)
 L : 第1シリーズの打撃点間隔(m)
 I_{AV} : 平均衝撃力影響係数

ここでシリーズ数 n は、1打撃点あたりの許容沈下量も考慮し5回とし、 $N_B=50$ 回を得た。

図-6に施工図を示す。施工基盤は周辺地盤より6m程度低く、地下水位が地表付近にあったためウェルポイント工法により地下水位を低下させて施工した。施工面積は約750m²、総打撃回数は50,000回以上に及んだ。改良前後の N 値比較を図-7に示す。施工基盤から4m程度の深度まで N 値が10~30程度上昇し、高い締固め効果が確認された。

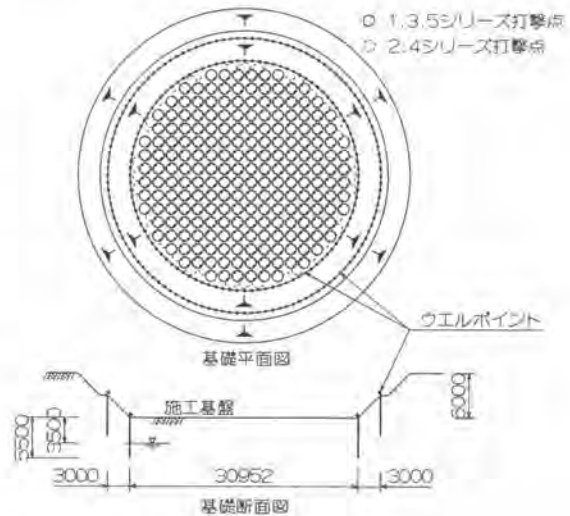


図-6 施工図

6. まとめ

地震多発帯に位置する我が国で地盤の液状化対策が叫ばれて久しいが、地盤改良に要する費用は必ずしも安いものではなくまだまだ十分な対策が施されているとはいえないのが現状である。BSP動圧密工法は地盤を削孔したり固化材を使用することなく、比較的簡便に地表付近の地盤を締固めることが可能で、条件が合えば有効な液状化対策工法になると考えている。

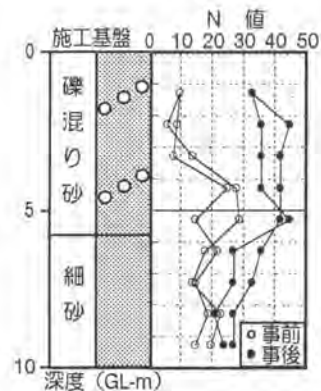


図-7 土質柱状図および施工前後の N 値比較

[参考文献]

- 1) 液状化対策の調査・設計から施工まで/土質工学会
- 2) 土質工学ハンドブック/土質工学会