

砂柱工法を用いた石巻工業港海底地盤の改良について

東北大学工学部 河上孝義
東北工業大学 浅田秋江
東北大学工学部 ○ 田村日出男

1. まえがき

サンドパイルによる軟弱地盤の改良工法は、これまで各地において盛んに行われ良好な効果を発揮している。最近、気仙沼港および石巻工業港では、大口径砂柱($\phi=1.6$ および $1.8m$)を地盤中に設け人工圧密により地盤を改良し、支持力を高める工法が採用された。本報告は、石巻工業港における大口径砂柱工法による海底軟弱地盤の改良効果を検討するために、圧密期間中の間隙水圧および沁下量の測定を行い、また、改良前後の地盤特性(一軸圧縮強度、密度、含水比等)の変化を調査し、この工法の改良効果について検討したものである。

2. 砂柱工法の概要

エジェクター式浚渫船により海底粘土層中に $1.5\sim 4.0m$ 径の孔を掘削し、エジェクター高深度浚渫船により洪積物より吸上げた良質の砂を濃縮サイクロンを通じて充てんする。この砂柱を粘土層に中心間隔 $5.5\sim 10.0m$ 設置して、粘土層上の構造物または盛土の基礎とすれば、人工圧密により地盤を改良し、かつ砂柱により支持力を高め、軟弱地盤の基礎工法として工費の軽減、工期の短縮を期待し得る。石巻工業港においては径 $1.8m$ 、長さ $28m$ の砂柱を、中心間隔 $5.5m$ で正方形に配置された。(標準断面図を図-1、砂柱の平面配置図および諸計器の設置位置図を図-2に示す)

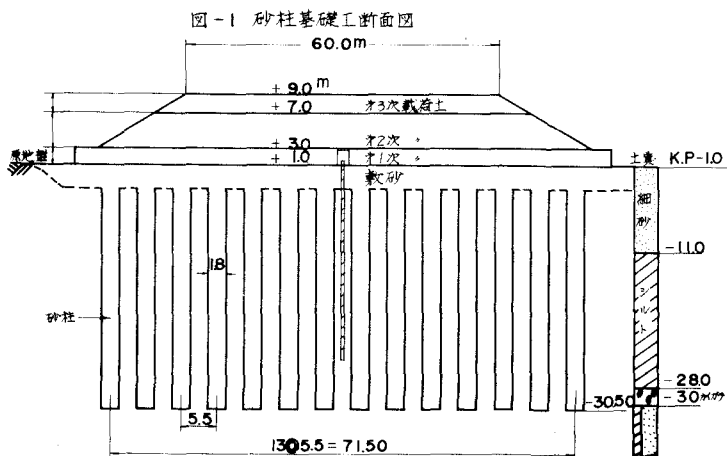
3. 改良前の地盤特性

3. 1 地盤構造の概要

図-1に示すようにK.P. $1m$ からK.P. $-11m$ 付近までの約 $12m$ は砂層からなり、K.P. $-11m$ 付近からK.P. $-30m$ 付近までの約 $19m$ は沖積粘土層で、その下部(K.P. $-28\sim -30m$)は貝殻を非常に多く混入している。なおK.P. $-30m$ 以深はシルト質砂層となっている。

3. 2 地盤の土質状況

K.P. $-11m\sim -28m$ の沖積粘土層の物理的性質は以下の如くである。すなわちこの地層を構成する土粒子の比重は、 $2.65\sim 2.70$ であり、粒度組成は砂分 10% 、シルト分 $50\sim 70\%$

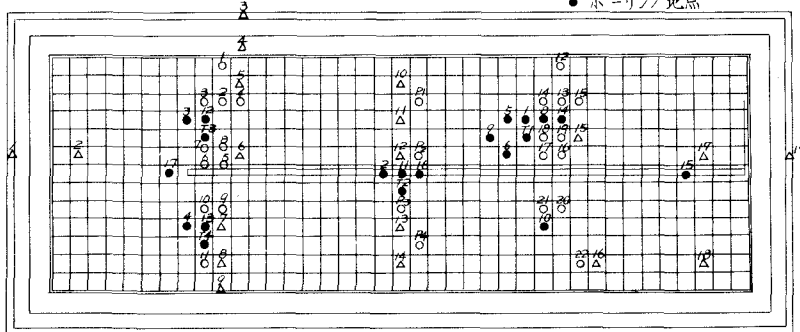


および粘土分 20~40% で、三角座標によって分類すると、シルト質粘土ロームおよびシルト質ロームの範囲に入る。また自然含水比は 60~80% 単体重量は 1.5 g/cm^3 自然間隙比は 1.5~2.0 の値を示している。

力学的性質について述べると、一軸圧縮強度は約 10

図-2 砂柱、沈下板、間隙水圧計およびボーリング位置図

○ 間隙水圧計
△ 沈下板
● ボーリング地点



水圧計No.	埋設深度m	水圧計No.	埋設深度m	水圧計No.	埋設深度m	ボーリングNo
1	20.0	10	25.0	19	20.0	改良前 T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄
2	15.0	11	20.0	20	20.0	一次 No. 1, 2, 3, 4, 5, 6
3	20.0	12	20.0	21	25.0	二次 No. 5, 7
4	25.0	13	15.0	22	20.0	三次 No. 8, 9, 10, 11, 12, 13
5	15.0	14	20.0	P ₁	25.0	改良後 No. 14, 15, 16, 17
6	20.0	15	25.0	P ₂	30.0	
7	25.0	16	15.0	P ₃	25.0	
8	30.0	17	20.0	P ₄	20.0	
9	20.0	18	25.0			

%、鋭敏比は平均 10 位の値を示し、乱れぬることによる強度低下が比較的大さいことを示している。直接せん断試験によって求めた粘着力は 3~5%、内部摩擦角はほぼ 15°~25°と見られる。さらに圧密試験結果より求めた先行荷重の深度分布を見ると正規圧密であると考えられる。

4. 沈下量および間隙水圧の変化について

沈下板は砂房中 KP-5 m の位置に設置し、その構造は沈下板に砂の摩擦を防ぐガイドパイプと沈下量を測定するロッドをつけたもので、沈下量はロッドの先端の変化をレベルで測定して求めた。

間隙水圧計は坂田式 PPR 型 ($\max 5 \text{ kg/cm}^2$ および 7 kg/cm^2) を使用し、埋設は予定深度より 1 m 浅い位置まで機械ボーリング孔を掘り、フィルターを水で保護して 1 m 圧入した。測定は直示および差法の 2 種の方法で行い、指示圧力値から基準水面からの静水圧値を差し引いて過剰間隙水圧値を求めた。沈下板および間隙水圧計の設置位置および深度は図-2 に示している。

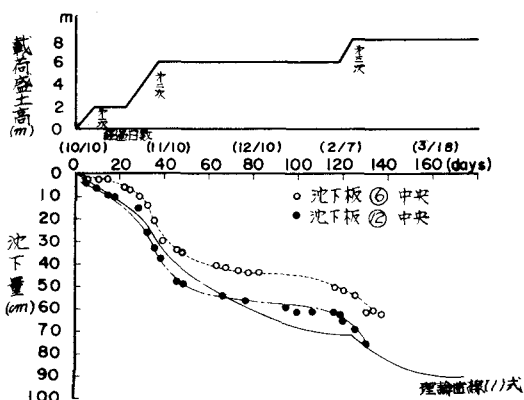
4. 1 沈下量の変化について

改良前に求めた試験結果とサンド・ドレーン工法の場合に適用される (1), (2) 式とを用いて、圧密沈下量および速度を計算した。

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \frac{C_{ci} \cdot H_i}{1 + e_{ci}} \log \frac{C_{ci} + \Delta \sigma}{\sigma_0} \quad (1)$$

$$t = d e^2 \cdot T_v / C_v \quad (2)$$

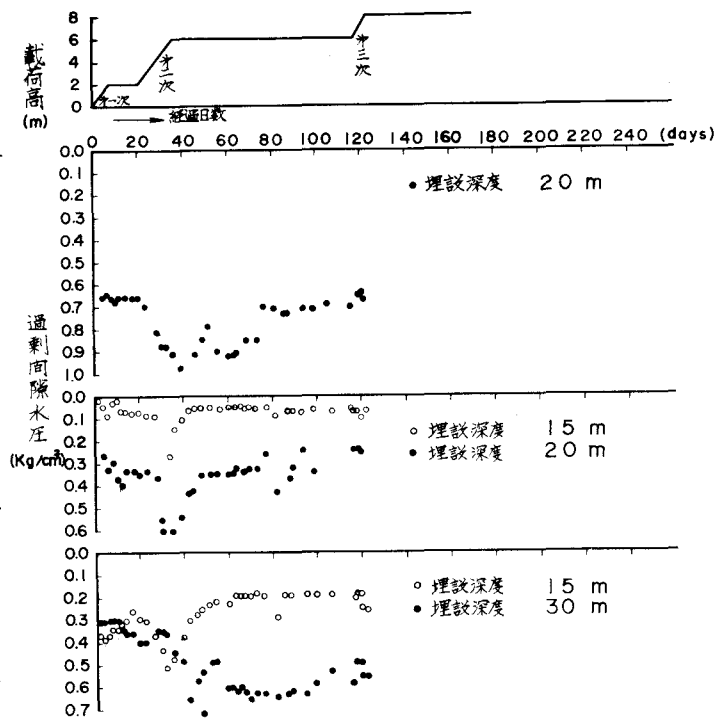
図-3 載荷中央部における沈下-時間曲線



但し、 S : 沈下量 (cm) t : 圧密に要する時間 (sec) C_c : 圧縮指数 H : 圧密厚 (cm)
 σ_v : 先行圧密荷重 (kg/cm²) C_e : 初期間隙比 d_e : $1.128d$ (d は砂柱の中心間隔)
 T_v : 時間係数 $C_{\alpha r}$: 圧密係数 (cm²/sec)

載荷中央部における沈下量の計算結果および実測結果を図-3に示す。図-3より、実測による沈下速度は計算結果よりも大きく、最終沈下量は幾分小さいが、ほぼ一致している。最終沈下量は砂層の沈下等を考えると計算値よりは大きくなる筈であるが、理論から実際に至る間の種々の仮定や問題点などを考えると、この程度、計算と実測値が一致していることは、かなり精査のよいものといえる。つまり、砂柱による圧密促進効果は良好であったといえる。

図-4 載荷高と過剰間隙水圧の経時変化



4. 2 間隙水圧について

載荷による地盤内の間隙水圧変化の測定結果から求めた代表例を図-4に示す。過剰間隙水圧の経時変化の傾向は載荷盛土高の変化に比較的良好に対応しているが、なかには間隙水圧計の故障、零点の変動など水圧計の不備による事故が多いので、今後、間隙水圧計を埋設する場合には充分検討を加えた上、使用する必要があろう。

5. 地盤強度、含水比、炭素の変化について

5. 1 地盤強度の変化について

地盤強度の変化を知るために、盛土による載荷の各段階ごとに深度の異なる試料について一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮強度 q_u の変化の状態は図-5(a)に示すように非常にバラツキが大きい。このバラツキを生じた原因として、オ1にサンプリングによる試料の乱れ、オ2に砂柱打設による地盤の攪乱が考えられる。この結果のみから地盤強度の増減を検討することは困難ではあるが、地盤全体の圧密が順調に行われたことを考えれば砂柱周辺を除いた地盤においては、地盤強度が幾分増加したと考えてもよい。(図-5(b), (c)).

5. 2 含水比の変化について

地盤の含水比は、載荷期間中に時間の経過とともに減少するが、(図-5.d) 載荷撤去後はほとんど変化しない。すなわち、地盤内の水分が圧密によって排除されたことを示している。

5. 3 密度の変化について

湿潤密度は、載荷期間中は時間が経つにつれて増加するが(図-5.e)、載荷撤去後はほとんど変化が見られない。これは圧密によって地盤が密になったためである。

図-5 地盤強度
含水比・密度の変化例

