

### III-11 大規模掘削工事におけるケミコパイルの一例

(株)間組研究開発局 正員 中園清治  
(株)間組大阪支店 齊藤 実  
(株)間組研究開発局 正員 〇衣川 勲

#### 1. まえがき

本報文中で報告する施工例は、大阪南港埋立地北端と港区築港を結ぶ「みなと大橋」の南港埋立地側橋脚フーテング基礎掘削に適用したものである。

工事地点は、昭和36年から昭和39年頃にかけて海底浚渫土砂によって埋立てられた所で、地盤は図-1に示すように極めて軟弱な埋立層と、沖積粘土層から成立っており、その粘着力はGL-8~14mの間で0.3~2.0t/m<sup>2</sup>程度であった。

掘削の寸法は最大のもので幅41.5m×長45.25m×深7.8mと、このような超軟弱地盤ではそれまでに例を見ないほど大規模なものであった。

その土留め工法としては、種々検討した結果、一重鋼矢板工法を採用した。

しかし、同工法が本施工地点において成立するためには、GL-8~14m付近に存在する砂質シルト層の粘着力0.3~2.0t/m<sup>2</sup>を3.0t/m<sup>2</sup>以上に改良して、矢板根入部の抵抗を増してやる必要があった。このため各種の地盤改良工法を比較検討の結果、短期間に所定の改良効果が期待できる長所をもったケミコパイル工法を採用した。その結果、一応初期の目的を達し、無事掘削工事を完了できたので、ここに報告する。

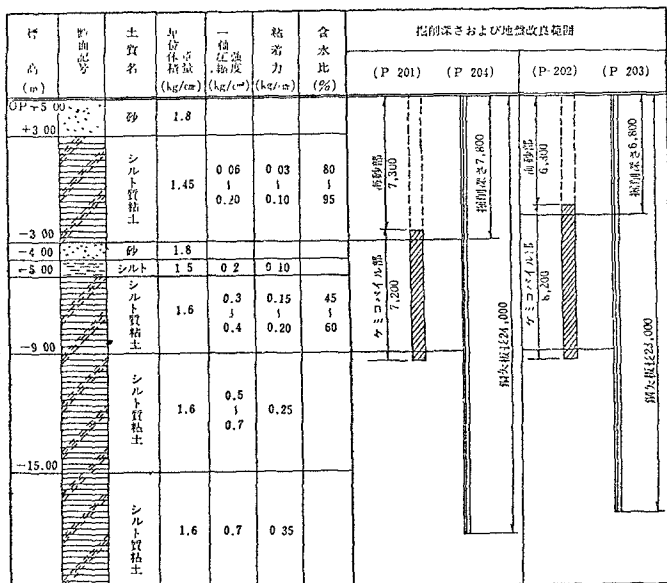


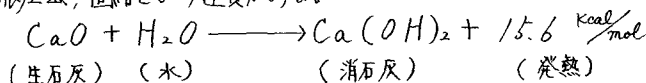
図-1 土質構成図

図-1 土質構成図

#### 2. ケミコパイル工法の原理

ケミコパイル工法とは、生石灰を主成分としたケミコライム〔小野田セメント(株)登録商標〕を土中にケーシングを用いて柱状に形成し、このケミコライムがもつ脱水効果、膨脹圧密効果、化学反応効果などによって、軟弱土の改良を行なう工法である。

ケミコライムは次式に示すように、土中の水分と急激に反応し、消石灰を生成する過程において、消化吸水、発熱による蒸発乾燥、膨脹圧密、固結という性質がある。



すなわちケミコパイル工法は、ケミコライムのもつ下記の性質と地質改良に利用したものである。

##### (1) 脱水作用(消化吸水、発熱および蒸発乾燥による改良効果)

生石灰は消石灰に化学変化する過程において、生石灰重量の32%に相当する土中水を消化し、さらに消石灰の毛細管吸水作用および蒸発乾燥作用で生石灰重量の約45~75%の土中の間隙水を脱水、軟弱土の含水比を

低下させ、地盤強度を短期的に増大させる。

#### (ロ) 膨脹圧密作用（水平方向膨脹作用による改良効果）

生石灰は吸水すると真体積が約2倍になる。その際生じる膨脹力は、パイル断面を拡大させる。この膨脹力は載荷盛土などと同様に地盤を圧密し、脱水作用を補助する。

#### (ハ) くい作用

ケミコパイル自体、ケミコライムの自硬性によって強度発現を示す（本工事の場合、 $N$ 値8～10程度）。このくい作用によって、ケミコパイルを含めた複合地盤を形成し、全体としての地盤強度は増大する。

#### (ニ) 化学反応による効果

パイルから浸透したカルシウムが土粒子中に吸着し、土粒子を凝集させて、粘性土を固結化する。

### 3. ケミコパイルの設計

#### (1) 粘着力の増加

$$C_0' = C + (0.20 \sim 0.30) \cdot \left(\frac{d_i}{d_e}\right) \cdot P_e$$

$C_0'$  ; 地盤改良後の粘着力 ( $\text{t/m}^2$ )     $C$  ; 地盤改良前の粘着力 ( $\text{t/m}^2$ )     $d_i$  ; ケミコパイルの径 (m)

$P_e$  ; パイルの膨脹圧 ( $\text{t/m}^2$ )     $P_e$  は実験値によると  $80 \sim 100 \text{ t/m}^2$  と報告されているが、本現場の施工例からすると  $50 \sim 60 \text{ t/m}^2$  程度が妥当と推察する。

$d_e$  ; 有効径 (m)    正方形配置  $d_e = 1.128d$     三角形配置  $d_e = 1.050d$

#### (2) ケミコパイルを含めた複合地盤として考えた場合

$$C = C_0' \cdot (1 - a_s) + a_s \cdot C$$

$C$  ; 複合地盤の粘着力 ( $\text{t/m}^2$ )     $a_s$  ; 膨脹後のパイル面積比  $= \frac{d_i^2}{d_e^2}$

$d_i'$  ; ケミコパイルの消化後の径 (m)     $d = 0.40 \text{ m}$  の場合     $d_i' = 0.592$  (実験値)

$C_p$  ; パイルの粘着力 ( $\text{t/m}^2$ )     $= 7.5 \text{ t/m}^2$  程度

#### (3) 本地点での計画

本地点においては、 $GL-8 \sim -14 \text{ m}$  付近の砂質シルト層の粘着力  $0.3 \sim 2 \text{ t/m}^2$  を  $3 \text{ t/m}^2$  以上にするために、ケミコパイル ( $d_i = 40 \text{ cm}$ ) を  $1.2 \text{ m}$  間隔の正方形配置に打設することとした。また改良対象の層を矢板根入部としたため、地表から  $GL-6.3$  ないし  $-7.3 \text{ m}$  までの間は砂でん充とした。

### 4. ケミコパイルの施工方法および施工上の留意点

ケミコパイルの施工方法は、サンドドレーン工法と同様にケーシングを振動機で土中に打込み、その中にケミコライムをてん充し、空気圧をかりながらケーシングを引抜いて、ケミコライムの柱を土中に形成させる。

したがって、施工上あまりむずかしい点はないが、つぎの諸点に留意する必要がある。

(1) ケミコライムは第3種危険物であるから、所轄の消防署の仮貯蔵許可を必要とする。

(2) 現場に置く場合は、地表面と  $30 \sim 50 \text{ cm}$  離して不燃性の仮貯蔵所を造り、仮置きした場合は雨にかからぬよう、シートなどでケミコライムを保護する。

(3) ケーシングを打込み、ケミコライムを投入した後、30秒～1分間は十分締固めを行ない、かつ引抜の際は  $4 \sim 7 \text{ t/m}^2$  の圧縮空気とケーシング内に送り込み、ケーシングとケミコライムを完全に分離する。

(4) ケーシング内に地下水が流入した場合は、ケミコライムがケーシング内で固結することがあるので使用するケーシングの先端シュウは、水密性の良い構造とする。

(5) ケミコライムは水と反応し、パイル中心部で  $400 \sim 500^\circ\text{C}$ 、周辺部で  $100^\circ\text{C}$  の発熱とする。したがって、ケミコパイルが地表面まである場合は可燃物に注意し、作業員は足元に十分注意する。

(6) ケーシング内にケミコライムを投入する時、周囲に粉じんが散るため、作業員は防じんマスク、防じん眼鏡、手袋などを着用する。また周辺に人家がある場合は、振動、騒音、粉じんなどに注意して施す。

(7) 地下構造物に近接してケミコパイルを打込む場合、パイルの膨張による側圧の影響を検討しておく必要がある。

(8) 地表水が多い場合は、それがケミコパイルの中に進入しないように事前に処理する。また雨水が多い場合は、パイル打設後3～5日間シートなどでパイルへの進入水を防止する。

## 5. 地盤改良効果測定結果

地盤改良効果の確認は下記の項目について行なった。ただしボーリング位置はすべて図-2に示すごとくケミコパイルから最も遠い場所で行なった。

ボーリングおよび室内試験

- 事前調査(一軸、三軸、物理実験)
- 1ヵ月後事後調査(同 上)
- 2ヵ月後事後調査(同 上)

原位置サウンディングテスト

- ベーンテスト(事前、事後/ヵ月)
- オランダ式サウンディング(同 上)
- コーンペネトロメーターテスト(事後/ヵ月)

測定結果の詳細は図-3～6に示すが、整理すると下記のようなものである。

(1) 内部摩擦角(三軸圧縮試験による)はほとんど変化が見られない。  
 (2) 粘着力(三軸圧縮試験による)は、OP-3付近では変化が認められない。OP-7～9付近は $0.22 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ であったが、 $0.28 \sim 0.32 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ と1.3～1.5倍に増加している。

(3) 一軸圧縮強度は、OP-3～5においては効果は不明であるが、OP-7～9においては $0.45 \sim 0.49 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ が $0.53 \sim 0.64 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ と1.2～1.4倍に増加している。

(4) 含水比はOP-3付近の高含水比地盤では変化がない。OP-7～9では48～55%が45～50%と1割程度減少している。

(5) 圧密係数、透水係数とも変化が見られない。

(6) ケミコパイル自体の強度はN値にして5～11、平均8程度である。図-3 深度～内部摩擦角(φ)関係グラフ  
 透水係数は $1.4 \times 10^{-6} \sim 9.2 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 、単位重量は $1.46 \sim 1.58 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ 程度である。

## 6. 考察および今後の問題点

本工事の施工実績、および測定結果から得られたケミコパイル工法の問題点、今後の課題などについて述べる。

(1) 本工事の地質構成のように、透水係数が $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm/sec}$ 、含水比40～60%というシルト質地盤の間に透水性の良い、高含水比の砂層がきょう在している場合は、ケミコパイルが先に砂層の水と反応し、改良を必要とするシルトからの水分吸収能力が減少する。

このような地質の場合は、事前に砂層の水を他の方法で抜いてやり、かつ改良区間を鋼矢板で囲うなどのしゃ水工事を行なう必要がある。

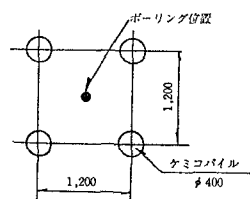


図-2 地盤改良効果確認のためのボーリング

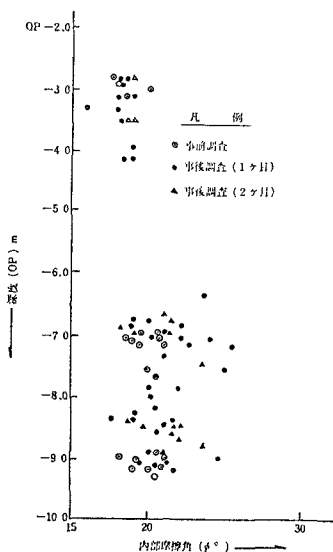


図-3 深度～内部摩擦角(φ)関係グラフ

(2) 透水係数の小さい地盤では小口径、小間隔で行なうべきである。

(3) 現在ケミコパイルの設計を行なう場合、粘着力の増加をパイルの膨脹圧のみの係数として計算しているが、実際は透水係数、含水比などによって大きく影響を受けると思われる。また膨脹圧に関しても、現在設計上  $P_e = 80 \sim 100 \text{ t/m}^2$  を採用しているが、これは室内実験値である。実際はケミコパイルの膨脹力は、側方に働く以外に上部へも逃げる。したがって、膨脹圧は多少減少する。本工事の実績からは、 $50 \sim 60 \text{ t/m}^2$  が妥当ではないかと思われる。この点、今後の研究に待たい。

(4) 地盤中に打設されたケミコパイルは、周辺  $5 \text{ cm}$  程度までは地盤中の土粒土を吸着し、強固な殻を形成している。本工事のように地盤のせん断抵抗を期待する場合は、ケミコパイル自体のせん断抵抗を考慮したいいわゆる複合地盤として考えるべきであろう。

以上、問題点・疑問点を列記したが、その他施工においては防じん処理、振動、騒音の問題や工事コストの問題など、ケミコパイルが今後さらに普及するために障害となる種々の問題が残されている。しかし、この工法のもつ科学的合理性、改良効果の速効性など長所は多々あり、改良すれば本工法の採用度はさらに高まると信じる。

以上のように今後解決すべき問題は多く残されているが、本地点においてケミコパイル工法を採用したことは一応成功であり、無事超軟弱地盤の大規模掘削を終えることができたことを述べ、本報告を終める。

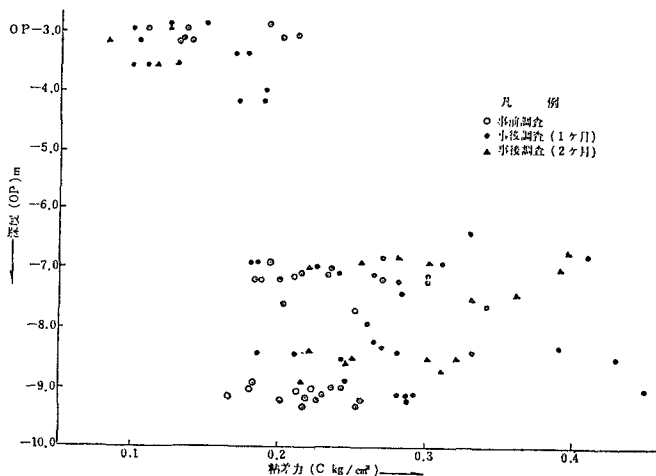


図-4 深度～粘着力 ( $C$   $\text{kg/cm}^2$ ) 関係グラフ

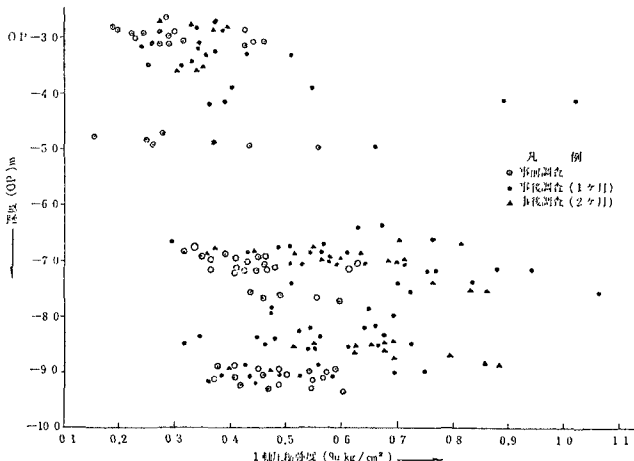


図-5 深度～軸圧縮強度 ( $q_u$   $\text{kg/cm}^2$ ) 関係グラフ

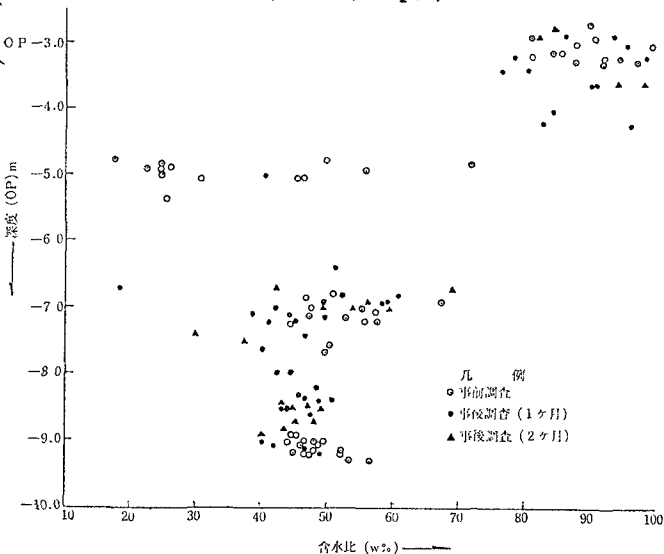


図-6 深度～含水比 ( $w\%$ ) 関係グラフ