

小野田セメント株式会社 渡木 亨

1. はしき

Soll-lime stabilization は古くから知られているが、これは土の中の粘土鉱物 (主として SiO_2 — Al_2O_3 — H_2O の成分系) と消石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ との化学的硬化反応を利用したものである。この工法を成功させるためには、粘土と消石灰とを均一に碎土混合した後、最適含水比の近くで十分に転圧する必要がある。埋立地など自然含水比が液性限界を越えるような高含水比のヘドロ層の場合、消石灰では均一な混合と十分な転圧が不可能なため、所要の強度を得ることができない。

消石灰の代わりに 生石灰 CaO を使えば、生石灰が消石灰に変化する過程である (1) 脱水作用 (生石灰混入率 Y の約 2 倍の含水比低下 $4W \approx 2Y$)、(2) 発熱作用 ($Y=5 \sim 10\%$ で約 100°C)、(3) 膨脹作用 (10% 以下の拘束圧下で約 2 倍の体積膨脹) を有効に利用し、最終的にはヘドロ中の粘土鉱物と消石灰との化学的硬化反応を實現させ、比較的短期間うちにヘドロ層の強度を大幅に向上させることが判明した。本報は、この生石灰を利用した各種の地盤改良工法のうち、特にヘドロ層の表層固結を対象として、設計方法、施工方法、管理試験方法などについて少数の室内実験を基に述べる。

2. ヘドロの改良方針

ヘドロ層は排水、乾燥の行なわれる表層数 10 cm 程度を除き、深部では排水不良のため、液性限界 (LL) を越える高含水比のものが多い。一軸圧縮強度 (q_u) もおよそ 1 kg/cm^2 以下である。

このヘドロ層の含水比 (w) を何らかの手段で液性限界以下に下げ、塑性限界 (PL) に近づけることができれば、図-1 から容易に推定されるように、ヘドロ層の強度は大幅に向上する。従来から、表層の改良に排水溝、深層の改良に各種のドレーン工法が行なわれているわけである。

生石灰を使う場合、ヘドロとの混合処理が不可能な比較的深い改良 (1 m 以上) に対しては、パイル状の工法により主として生石灰の物理的な脱水、膨脹作用を利用するためヘドロ層の強度増加は高々図-1 の範囲内である。しかし、パイル材料、パイルの充てん方法によっては、打設パイル周辺 10 cm 程度を含めて、パイル自体で強固なものにする ($q_u \geq 100 \text{ kg/cm}^2$) は容易であるから、パイルを含まぬ複合地盤としてのヘドロ層の支持力は図-1 から推定される値より大きくなる。

室内実験によると、パイル材料中の生石灰 率 (W)、パイル直径 (d_i)、パイル有効範囲の直径 (D_e) の場合 $Y = \lambda \left(\frac{d_i}{D_e} \right)^2$ であるから、生石灰の消化、吸着による脱水率 $\sim 2Y$ 、膨脹圧密による脱水率 $\sim 2Y$ を考慮すれば、自然含水比 (w_n) のヘドロで塑性限界 (PL) まで脱水するためには $4Y \geq \frac{w_n - PL}{100}$ 。

つまり、ヘドロとの混合処理が可能な浅い改良に対しては、生石灰の消化、吸着による脱水 $\sim 2Y$ 、膨脹による蒸発 $\sim 2Y$ の他に、特殊な粘土 (一部海のようなナトリウムモンモリロナイト) を除き、

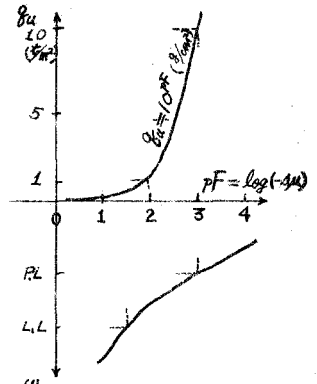


図-1. ヘドロの q_u - PI - w 曲線
(農業土木学会論文集 14巻, 1964年)
山崎, 渡藤 他.

砕土、乾燥したヘドロと消石灰との化学反応を期待できるから、適当な転圧を行なえば表層改良部分の強度を $\gamma_u > 50 \text{ kg/cm}^2$, $\text{CBR} > 10$ 程度に向上できる。混合処理する場合の生石灰混入率の選定は (1)、混合、砕土適性を考慮して $\gamma_L \geq \frac{w_u - p_L}{100}$ とし、(2) 転圧後の強度が十分でない場合、所要強度が得られるまで生石灰混入率 (γ_L) を増すか、経済性を考慮して他の混和材料、たとえば石こう、セメントを併用する。

3. 設計方法

ヘドロの表層を固結する主な目的は (1) 重機の搬入、(2) 掘削、(3) 構造物の基礎などである。このうち、構造物の基礎については許容沈下量 Δ 奥から基盤までの深層改良を含む必要がある。

(1) 重機の搬入 (改良効果 $< 7\text{日}$)。従来はヘドロ表層の一部を山土、砕石、スラックなどで置換えて所期の目的を達成しているが、置換材料の入手容易な所でも所要量が多くなり便さずとも経済的でない。

生石灰を利用する場合、図2のように (1) 生石灰パイル処理、(2) 表層混合処理を併用するのが有利である。重機が接地圧を分散させるためのパイル処理深さ (H) は改良前ヘドロの粘着力 C_0 、このヘドロの支移力 $\sim 5C_0$ に対する安全率を f とし $p_u = p_0 / (1 + \frac{H}{a})^2 \leq 5C_0 / f$ から求める。

混合処理深さ (h) についても同様である (パイル処理層の粘着力

C_0' はパイル中間の最小値 $\sim 3C_0$ をとる)。1例として $p_0 = 10 \text{ kg/cm}^2$,

$a = 15 \text{ cm}$, $C_0 = 0.05 \text{ kg/cm}^2$, $f = 1$ の場合, $H \geq 140 \text{ cm}$, $h \geq 70 \text{ cm}$ 。生石灰混合処理層の強度は $\gamma_u > p_0$ を目安とすればよからう。また、ヘドロの表層にかなりの置換えが行なわれている場合、パイル処理だけで十分な場合もある。

(2) 掘削 (改良効果 $< 7\text{日}$)。主として生石灰パイルによって掘削部の周辺 (1) を改良し、掘削深 (D)、掘削幅 (B) が大きい場合に (4) 側壁部 (2) を深く改良する ($H > B$)。側壁部の厚さ (b) は、パイル複合地盤の強度を

$C_{op} = 2rC_p + (1-2r)C_0'$ で近似すれば、安全率を f とし $\frac{C_{op}}{f} \geq \frac{M}{S} = \frac{\gamma D^3}{6b^2}$ から計算できる。ただし、 $r = (d/D)^2$, C_p はパイルの粘着力 $\sim$ 引張強度。

また、掘削底部の改良厚 (d) は、過剰水圧力 $p_0 B = \gamma (D+d) B$ に対する改良部の抵抗力 ($\gamma' d B + d C_0'$)、未改良ヘドロのすべり抵抗 $\sim 2B C_0$ を考慮して、安全率を f とすれば $f \leq \frac{B(\gamma' d + 2C_0) + d C_0'}{\gamma B (D+d)}$ から求める。

補填壁 (2) を施工する場合、右边分子のすべり抵抗力が $b C_{op}$ だけ増す。1例として $\gamma_0 = 1.2 \text{ kg/cm}^3$, $C_0 = 0.05 \text{ kg/cm}^2$, $B \times D = 4 \times 2.5 \text{ m}$ の場合, $r = 0.10$ の生石灰パイルで, $\gamma' = 1.2 \text{ kg/cm}^3$, $C_0' \approx 3C_0 = 0.15 \text{ kg/cm}^2$, $C_p \approx 20 \text{ kg/cm}^2$ となるから, $b \geq 2.40 \text{ m}$, $d \geq 4.20 \text{ m}$ 。補填壁 (2) を施工する場合、掘削底部の改良は不要。

(3) 構造物の基礎。上載荷重 (p_0)、許容沈下量 (Δ) を考慮すると基盤に届くまでヘドロ層の全厚をパイル工法で改良することが望ましい。設計方法は、すべり安定性に対して前記の複合地盤強度 (C_{op}) をとり、沈下に対しては生石灰パイルの水平方向膨張圧を考慮し、残留沈下量が許容沈下量以下になるように、生石灰パイル面積比 (r) を選定する。

4. 施工方法

ヘドロ表層の一部が山土などで置換えられている場合、湿地ブル程度の重機は搬入できるから、パイルケーシング打設装置を湿地ブルに取りつけるか (パイル深 2 m まで)、サンドパイル打設機を利用す

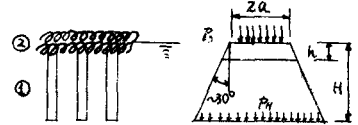


図2. ヘドロ改良表層部の軸荷重による応力分布の略図。

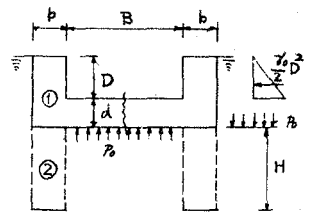


図3. ヘドロ層掘削のための改良

水ばよい。生石灰のパイル状充てし工法では、ケーシング中に浸水しないようにケーシング先端金物に工夫を要する。

また、置換土の行なわれていないヘドロ表層を固結するための具体的な方法は現在まだ検討中であるが、(1)ブルドーザーなどによる押し混合、(2)圧さく空気による吹き混合、(3)重錘落下による押し混合などを考えている。

5. あとがき

生石灰を利用した地盤改良工法一般については、日本道路公団、日本国有鉄道の関係者の方々から御指導を頂き、また特にヘドロ層の問題については東大農学部のご先生方から御指導を頂いたことに対し厚く感謝の意を表したい。