

水資源開発公団 正会員 木村 陽一

1 はじめに

本報は水資源開発公団が実施している北総東部用水事業（利根川より最大7.94[㊦]を揚水する農業用水専用のパイプライン）において、利根川下流部の軟弱な沖積層地帯約4kmに内径2,100^ㄩの鋼管を埋設する際、鋼矢板土留工に生石灰杭による地盤改良工を併用し、その目的を達成することが出来たのでその経過について報告するものである。

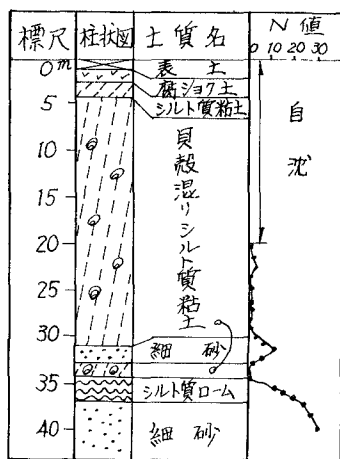
2 地形、土質の概要

本線パイプラインの計画路線は大部分が千葉県佐原市南部の北総台地北側に出来た沖積平野を通過する。この地帯は広い谷地形をなし、その中央部を利根川の右支川である小野川が北流しており土地の利用状況は大部分が水田耕作に使用されている。地層については地表より順に表土（農耕土）、腐しよく土、シルト、粘土、細砂層よりなる沖積層があり、その下部に洪積層の砂層が存在するが、谷中央部付近では沖積層が20~40mにも及び軟弱地盤地帯となっている。このため現地では水田の耕作にも難渋しているような状態である。この地区において実施した土質ボーリングおよび土質試験の代表的とみられる結果を表-1と図-1に示す。

表-1 土質試験結果

試料 No.	①	②	③	④
採取深度 (m)	6.0~6.8	9.0~9.8	5.0~5.85	9.0~9.85
土粒子比重	2.64	2.71	2.68	2.67
単位重量 (g/cm^3)	1.55	1.49	1.39	1.43
含水比 (%)	93.6	96.1	113.6	108.9
土質名	シルト質ローム	シルト質粘土	シルト質ローム	シルト質粘土
一軸圧縮強度 (kg/cm^2)	0.29	0.28	0.17	0.26
粘着力 (t/m^2)	1.45	1.4	0.85	1.3

図-1 土質柱状図



3 パイプ埋設工法の検討

パイプの埋設にあたって沖積層の浅い(4~5m)区間はウエルポイント工による地下水排水を併用する「のり切削削工法」を採用したが、沖積層が深い区間についてはこの工法では施工が困難なため、鋼矢板土留工を前提とした掘削工法を検討することとした。一般に土留工を計画する場合には ①ヒービングに対する安全性、②土圧に対する安定性、③ボーリングに対する安全性等の検討が必要であるがこの土質においては透水係数は 10^{-7} 程度のオーダーであるから③の検討は省略することとし①と②についての検討を行なった。

検討の結果では、まずヒービングに対しては土留鋼矢板の根入れ長を長くすることによって対処出来るが、土圧に対する安定性においては、現状の土質条件では根入れ長を増しても不安定となり何らかの地盤改良工等を実施して地盤強度を増やす必要が生じた。この一連の検討経過をまとめたものを図-2と表-2、3に示した。

表-2 ヒービングの検討結果

Z	M_D	M_R	F_S
6.5 m	110.5 t·m	105.4 t·m	0.95
7.5	〃	117.4	1.06
8.5	〃	129.4	1.17
9.5	〃	141.4	1.28

ただし $M_D = (BHr + Bq) \times B/2$ ----- 回転モーメント

$M_R = \pi B^2 C + 2ZBC$ ----- 抵抗モーメント

$F_S = M_R / M_D$ ----- 安全率

表-3 土圧に対する安定性の検討結果

Z	M_D	M_R	F_S
6.5 m	961.5 t·m	606.8 t·m	0.63
35.0	14103	11127	0.79

ただし $M_D = P_1 l_1$

$M_R = P_2 l_2$

$F_S = M_R / M_D$

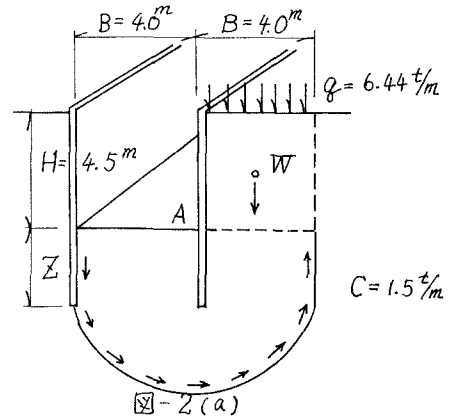


図-2(a) ヒービングの検討説明図

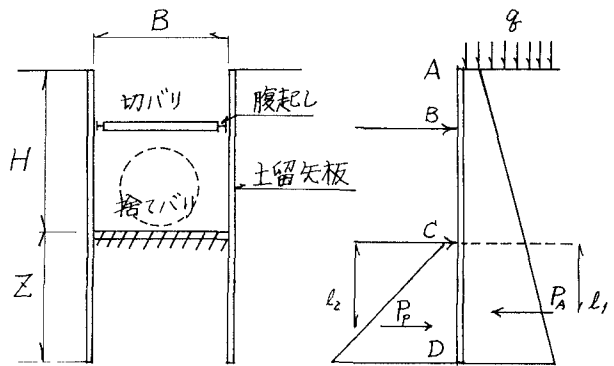


図-2(b) 掘削断面土留、土圧分布図

4 地盤改良工法の選定

地盤改良工法の選定にあたっては用地や工事期間等の制約もあるので次の点を重視した。

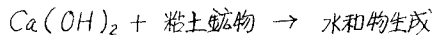
① 工事施工時期は水田作付期間外の約6ヶ月間であり改良効果の面で速効性があり、また確実性のあるものがよい。

② 鋼矢板土留工と併用する関係で工事費は安価であること。

このため(a)サンドコンパクション工法、(b)サンドドレーン工法、(c)養液注入工法、(d)生石灰杭工法等の中から上記条件を考慮し(a)、(d)の2工法に絞って比較検討したところ、工期、工事費および効果の面で本地区においては(d)の生石灰杭工法が有利であると考えられた。

5 生石灰杭工法の設計と施工

この工法による地盤改良については各種の軟弱地盤において、すでにかなりの実施例も報告されているので工法の原理については簡単に記しておく。



生石灰が土壌中の水分と化学反応して消石灰に変る過程での膨張、発熱効果を利用して地盤の圧密、脱水効果をもたらす速効効果と、消石灰が地中の水分を毛細管吸水して地中の粘土鉱物を吸着し土の強度安定化をはかる遅効効果に大別され、また2次的にはクイ効果等もあるといわれている。

生石灰杭工法の基本設計にあたっては、この工法による地盤の強度増加がどの程度になるかをサンドドレーン工法において使用されている強度増加式により検討した。

一般に生石灰杭の有効円周上に発生する水平方向の有効圧密膨張力 ΔP は(1)式で与えられる。

$$\Delta P = (d_i / d_e) P_e \text{ ----- (1)}$$

ここに d_i : 生石灰杭の直径 (m)
 D_e : 生石灰杭の有効円直径 (m)
 P_e : 生石灰の水平方向膨張力 (t/m²)
 d : 生石灰杭のピッチ (m)

また生石灰杭による改良後の地盤強度は (2) 式で与えられる。

$$C = C_0 + k \Delta P \text{ ----- (2)}$$

ここに C_0 : 改良前の土の粘着力 (t/m²)
 C : 改良後の土の粘着力 (t/m²)
 k : 土の粘着力増加率 (0.2 ~ 0.3)

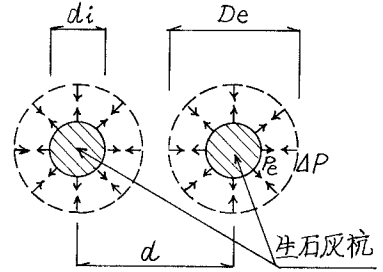


図-3 生石灰杭の有効膨張円

本設計においては $P_e = 80 \text{ t/m}^2$, $D_e = 1.13 \text{ m}$ ($D_e = 1.13 d$... 正方形配置), $d_i = 0.3 \text{ m}$, $d = 1.0 \text{ m}$ として次のようにした。

$$\Delta P = (0.3 / 1.13) \times 80 = 21.24 \text{ t/m}^2$$

$$C = 1.5 + 0.25 \times 21.24 = 6.81 \text{ t/m}^2$$

また地盤改良の所要日数についてはサンドドレーン工法における Barron の式を使用した。

$$t = T_h D_e^2 / C_v \text{ ----- (3)}$$

ここに t : 圧密所要日数
 T_h : 時間係数 ($C_v t / D_e^2$)
 n : D_e / d_i
 C_v : 圧密係数 (cm^2/s)

表-4 圧密度の時間的变化

日数	T_h	U	C
7	0.077	62%	4.7 t/m ²
14	0.154	78	5.8
21	0.231	92	6.3
28	0.308	95	6.5

であり実際には Barron の U ~ T_h 曲線によって圧密度の時間的な変化を求めている。この結果は表-4 のようになり施工後14日で圧密度は約80%に達することがわかる。

このため地盤改良工を行なった場合にはヒーピングおよび土圧に対して丈夫な安全率が増加して掘削深4.5m程度の場合は土留鋼矢板Ⅲ型, $l = 8 \text{ m}$ を使用すれば施工可能となる。施工断面の一例は図-4 に示した。

つぎに現場の施工であるが、まず打込方法としてはケーシングを使用しての振動打込として代表的な施工機械の配置例を図-5 に示す。また施工の順序については

- (1) 打込位置の芯出しとケーシング建込み
- (2) 振動杭打料を起動して所定深度へ打込む
- (3) 所定量の生石灰をホッパーより投入する
- (4) 圧さく空気をケーシング内へ送り投入した生石灰を押しえながら引抜く
- (5) 膨張する生石灰の上向力を上部へ砂を投入して押しえる

施工は昭和47年度後半から昭和48年度にかけて実施され施工数量については表-5 に示すように全部で約3500本 (区間延長約400m) に達した。なお掘削の過程において一部の旧所ではあるが、ほぼ掘削完了時に矢板のはらみ出しが起きたので、下部捨バリを補強する等して処置し大事には至らないで管理設を終了した。

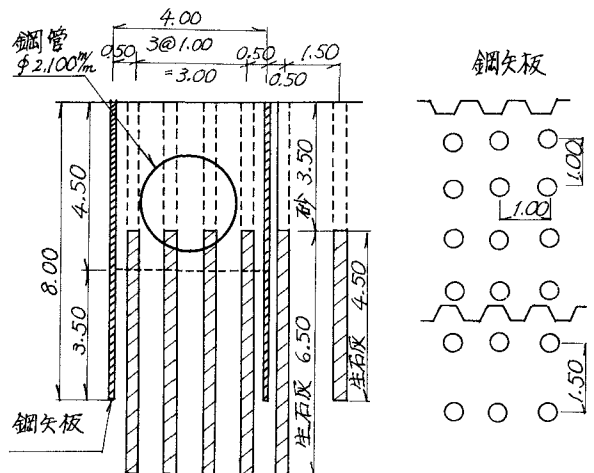


図-4 土留工・生石灰杭施工断面、平面図

6 改良効果の調査

前述の方針で施工された生石灰杭による地盤改良が現場ごどの程度効果を出しているか、また掘削開始を施工後14日としたが時期的に十分かどうか等の観点から下記の諸調査を実施した。

- ①スウェーデン式サウンディング 9箇所
- ②オランダ式貫入試験 42 "
- ③一軸圧縮強度試験 5 "
- ④単管式コーン貫入試験 2 "

これらの調査・試験方法には支々一長一短がある。①、④は必要とする深度（地下4.5m以下）ではロッドの周面マサツの影響を補正する等の面と、試験方法自体は簡単であるが結果を利用する面ではあまり有効なものとは云えなかった。③は施工後7日と日も浅く生石灰杭打込時の振動による地盤の擾乱等もあって良好な試料が得られず十分な改良効果を確認するまでに至らなかった。このため昭和48年度施工分については①、④の欠点を補い時間的な効果の変化も把握する目的で②のオランダ式貫入試験を実施してかなりの効果を確認している。図-6はその代表的な資料である。この図によれば施工後14日で改良前地盤の粘着力の約2倍まで粘着力が増加しているのが判る。しかし、設計当初に予想した程の増加（ $1.5 \text{ t/m}^2 \rightarrow 5.8 \text{ t/m}^2$ ）は施工後7日と14日の粘着力増加状況からみても無理なようである。

7 むすび

生石灰杭工法による地盤改良は当初予想した程の大巾な改良効果は認められなかったが無事工事を完了出来て本工法を採用した目的は達せられたものといえる。おわりに2, 3の問題点をあげて今後本工法を採用する際の参考としたい。①設計にあたって使用した生石灰の側方膨張力 $\bar{\epsilon} = 80 \text{ t/m}^2$ は、今回の結果からみたとこでは若干過大と思われる。現実には35～60 t/m^2 程度という説もあり安全側で計画すべきであろう。②本工法の効果的な土質条件には限度があるものとみられる。粘着力1 t/m^2 以下、含水比100%以上ではその効果も薄いのではないと思われる。③施工精度（打設間かく、鉛直性）が改良効果にも影響するので十分な施工管理が要求されるとともに改良効果の実現も是非実施したい。④本工法を耕世で施工する際は施工後に作物の生育阻害を起した例もあるので注意を要する。

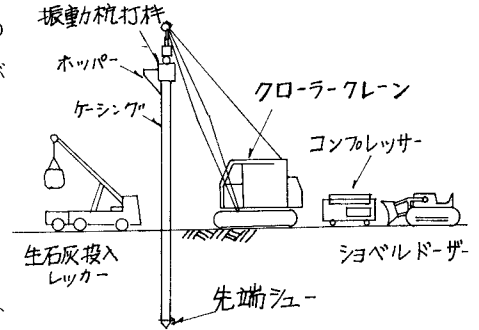


図-5 施工機械の配置例

表-5 生石灰杭施工実績

規格	数量	摘要
$\phi 300, L=6.5 \text{ m}$	517 本	杭全長10m
" " 4.5	104	" 8
" " 6.3	553	" 12.75
" " 5.5	2,298	" 9.75

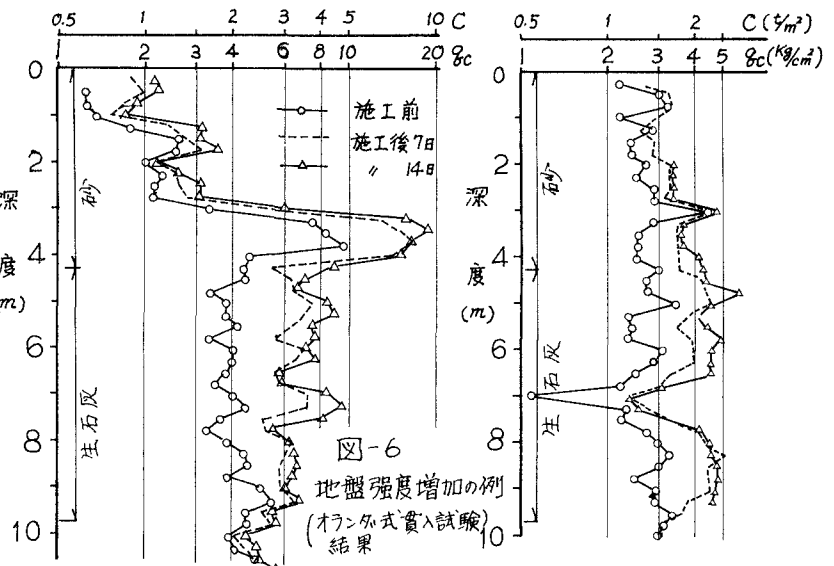


図-6 地盤強度増加の例
(オランダ式貫入試験結果)