

## 8. ホリゾンタル・ケミカル・インジェクション工法 (H.C.I工法)について

不動産建設(株) \* 岸田孝人 辻 輝博 若崎 定

### 1. まえがき

本工法は、当社がオランダの大手基礎工事会社であるI.F.G社とのフロスライセンス協定によって技術導入した薬液注入工法の一つであり、広範囲に水平に薄い遮水層をつくるのが目的で、掘削底面の遮水に通している。一般にウェルポイント工法などの排水工法を採用した場合、多量の排水によって付近の建築物、道路、埋設管などの沈下および漏井、表面水の汚染などの悪影響がしばしば見られる。よって、上記のような条件下では極めて有効な工法である。

従来の施工方法では貫入パイプと注入パイプとを同一のものを用いたいわゆる直列工程方式になっているが、本工法では特殊な注入具(以下「注入チップ」と呼ぶ)を地中に埋設する方式をとっており、注入チップの貫入埋設と注入作業を完全に別工程にした並列工程方式であるため施工能率のアップが期待される。さらに注入に関しては低圧、低流量注入を特徴としており所定注入位置以外への薬液流失を防止している。

### 2. 施工方法と機械装置

#### (1) 施工プロセス

本工法による遮水工事の一般的に行われる施工順序を図-1で示す。まず、鉛直方向に矢板または地中連続壁の打設工事により土留、水平方向の遮水を行う。埋設用注入チップの貫入埋設作業は注入作業に先行して振動貫入機械により互いに隣接して複数本同時に振動貫入する。薬液注入は注入チップと接続されたポリエチレンチューブを通じて地表面で行う。造成注入層のサンプリングテストによる施工効果判定後、排水作業により地下水位を低下させ、所定の掘削面まで掘削し、構築物の建設が完了すると土の埋戻し、矢板の引抜きが行われ全プロセスを終了する。

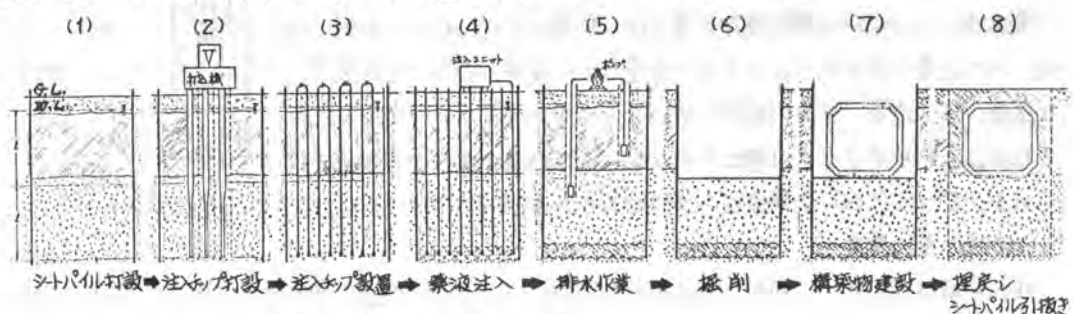


図-1. 施工プロセス

#### (2) 打設機

注入チップの振動貫入打設機の構成を図-2に示す。鋼製のリーダを装備したクローラークレーン

に振動貫入機構として起振機、上部コンソール（起振機に複数本の貫入パイプを一定のピッチに連結する鋼製組立連結台）、貫入パイプを取付け、リーダ下部には貫入パイプの位置決め、振止め用のフートコンソールを取付けたい打ち機タイプの施工機である。本施工機は、注入チップを所定の深度に正確に埋設するためクレーンのリーダが前後左右いずれの方向にも移動可能（前側：7度、左右側：±5度）な装置になっており、常に垂直性を保持できるようになっている。

(3) 注入チップの貫入埋設

注入チップの埋設プロセスを図-3に示す。貫入パイプは外管と内管とからなり、注入チップはその先端部の所定の位置に挿入される。貫入パイプが所定の深さまで打込まれると内管と直結された油圧シリンダを駆動させ、内管によってチップを押し出す機構とチップの形状、貫入パイプの引抜き技術等によって注入チップの貫入が確実に防止される。

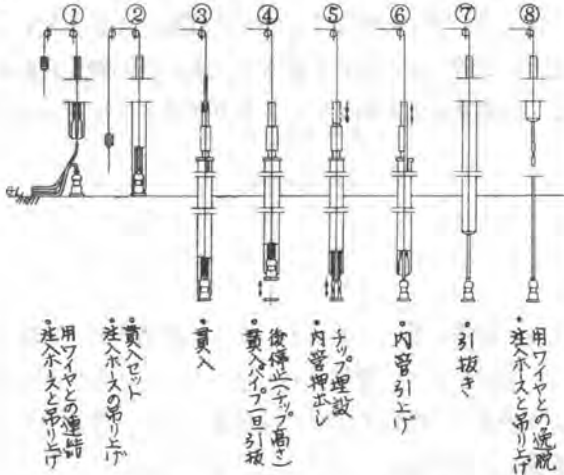


図-3 注入チップの埋設プロセス

(4) 薬液注入

薬液注入ユニットは混合攪拌装置と注入装置に分けられる。主剤、助剤、水の各量は混合比に応じて各々検量のうえ攪拌、混合し注入装置に圧送後、注入流量、圧力の設計仕様に従って注入チップから地中に注入される。これらプロセスは施工タイムチャートに基づきすべて自動化されている。図-5において薬液注入プロセスを示す。

(a) 注入量の算定

注入薬液は打込点から球状に浸透すると考え、ゲル化後、不透水層は所定ピッチに対して連続した球根で形成される。注入チップは正三角形配置で打設され、図-6のように3個所のオーバーラップを見込んでおく。いま打設ピッチaで施工する場合、球径dは

$$d = \sqrt{3/2} \cdot a \cdot 2/3 \cdot 2 = 1.155a$$

名称	数量	名称	数量
1 クローブレン	1台	6 起振機	1台
2 油圧ユニット	1台	7 上部コンソール	1台
3 リーダステー	2本	8 センサーレバ	6本
4 リーダ	1式	9 貫入パイプ	6本
5 リーダ引込機構	1式	10 フットコンソール	1式

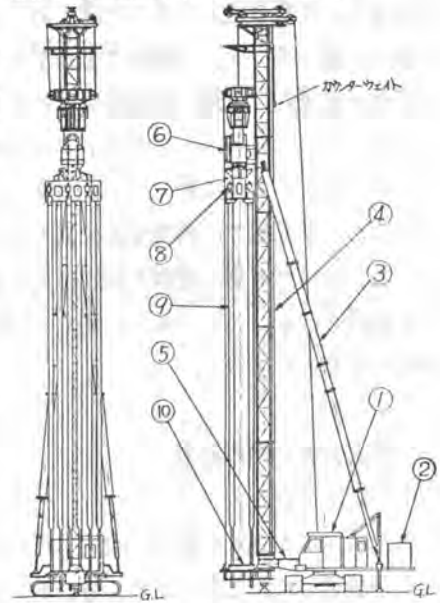


図-2 施工機の主使用機械の構成

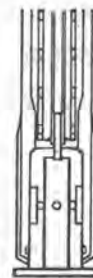


図-4 貫入パイプ先端 (注入チップ 取付け)

地盤間げき比を $e$ とすると1チップ当りの注流量 $V$ は

$$V = \pi/6 \cdot d^3 \cdot e / (1+e)$$

$$= \pi/6 \cdot (1.155d)^3 \cdot e / (1+e)$$

一般的には砂の間げき比 $e$ は $0.5 \sim 0.7$ であるが、安全側にみて、 $0.67$ とし、ピッチを $1\text{ m}$ として注し時のロスを見込んで $10\%$ の安全率を与えると注流量は約 $0.35\text{ m}^3$ となる。

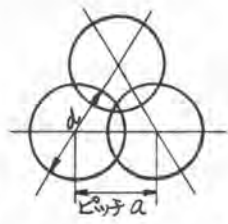


図-6

(b) 注流量の設定

注流量を決定する要因は施工能率、薬液の砂中への浸透、ゲルタイム等があげられる。一般にはゲルタイムで決めるのが便利である。本工法の特徴の一つは低圧、低流量で薬液を地中へ浸透させて均質な球根を作ることにより、ゲルタイムは $25 \sim 40$ 分が最適で、 $350\text{ l}$ 程度の注流量をゲルタイム内に注入することから、注流量は $10\text{ l/min}$ 前後が適当である。

(c) 注入圧力の算定

注入圧力は次の2種類の圧力に分けて考えられる。

- ① 注入チップからの噴射圧力
- ② 配管内圧力損失

通常現場では配管総延長が1チップ当り $50\text{ m}$ 以上になるから、②は注入圧力の大部分を占めることになる。①については次式を用いる。すなわち、噴射圧力を $P_1$ とすると、

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot \bar{\omega} \cdot v / c \cdot K \cdot l_0$$

- $P_2$ : 地下水圧
- $\rho$ : 薬液流量
- $\bar{\omega}$ : 薬液の比重量
- $v$ : 薬液の粘度
- $c$ :  $4\pi r$  ( $r$ =注入チップの半径)
- $l_0$ : 地下水の粘度
- $K$ : 透水係数

なお、上式はMaggの式から変形して求められるものである。 $P_1$ の値は薬液の粘度の急激な上昇がないければ $2\text{ kg/cm}^2$ 以下になるのが普通である。

(5) 品質管理

ゲルタイムを常に設定時間に制御するには主剤と助剤の混合比を一定に保っておく必要がある。本注入機では静電容量型の液面計を備えつけて自動検量を行っている。

注入が満足に行われているかの判定には注入圧力記録計が用いられている。図-7に注入圧力記録例を示す。注入チップの注入孔の周囲はゴムスリーブで覆われていて、土砂の侵入による注入孔の目づまりを防止している。注入開始時、平均的に $15 \sim 20\text{ kg/cm}^2$ の注入圧力を必要とするが、ゴムスリーブがクラック

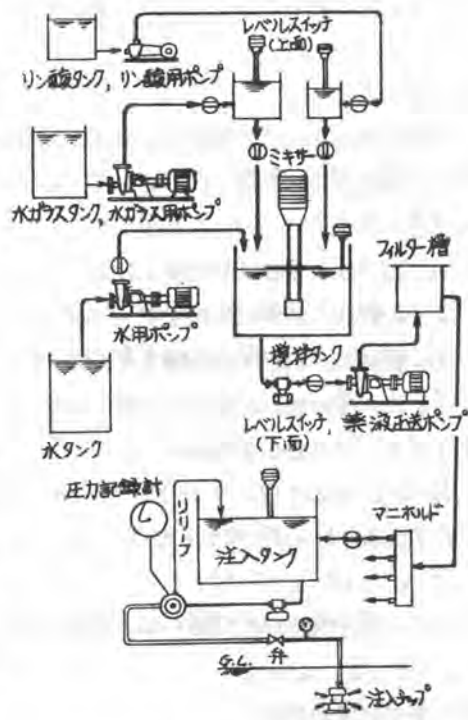


図-5 薬液注入プロセス

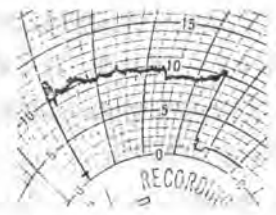


図-7 注入圧力記録例

クすると圧力はダウンして安定する。注入に異常が発生すると、この圧力記録が昇降する。

### 3. 設計方法

一般に注入チップの間隔は1mの正三角形配置、平均注入層厚は1mである。注入深度は主に地下水位と掘削深さに影響され、注入層における上向きの水圧と土の重量とのバランスを計算し決定する、安全率を普通 $F_s = 1.05$ にとり図-8より

$\gamma_w$ : 地下水の単位体積重量 ( $t/m^3$ )

$\gamma$ : 不飽和土の単位体積重量 ( $t/m^3$ )

$\gamma'$ : 飽和土の水中単位体積重量 ( $t/m^3$ )

$Z$ : 注入層の地下水水面からの深さ (m)

とすると、つり合い方程式は

$$F_s \cdot \gamma_w \cdot Z = \gamma t_0 + t(\gamma_w + \gamma') = \gamma t_0 + (Z - h - t_0)(\gamma_w + \gamma')$$

ここで、 $\gamma_w = 1.0$ ,  $\gamma = 1.7$ ,  $\gamma' = 1.0$ ,  $t_0 = 0.5$ とすれば上式は

$$Z(m) = (2.0h + 0.15) / 0.95$$

となり、掘削深さの約2倍が注入深度となる。

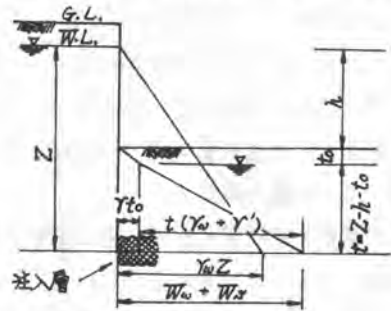


図-8

### 4. 施工効果の判定

施工効果については、薬液が十分に浸透すれば透水係数が $10^{-2} \text{ cm/sec}$  位の原地盤が施工後は $10^{-5} \text{ cm/sec}$  台になることは実際の現場でも各種室内実験でも確かめられている。図-9は兵庫県明石市の現場実験において施工後にサンプリングを行い、PH試験を実施した結果である。薬液はアルカリ性(PH7)であるので、注入した部分のPHが注入していない部分のPHより高ければ薬液が浸透していることになる。図-9においてO印が注入チップの位置、Aがサンプリング地点である。

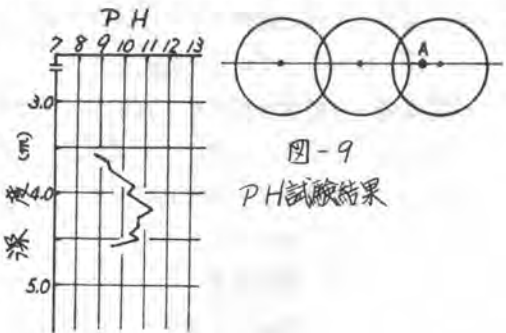


図-9

PH試験結果

### 5. あとがき

ヨーロッパでは鉄道、地下鉄、ビルの基礎など大規模な工事に採用されており、国内では、昭和51年4月~5月の間、兵庫県明石市において現場実験を行い良好な結果が得られた。

今日、地下水の排水規制、湧水に対する住民パワーが厳しくなっている折から地下水の大量排水による事故やトラブルを耳にする機会が多くなってきている。基礎工事における公害対策の面からも本工法は意義のある工法であると考えられるので、今後皆様方のご意見、ご指導を得ておおいに発展させたいと考える次第である。

(参考文献; 川上高弘, 中村正邦: ポリタール・カルクインジェクション工法について, 『建設機械』 74.1月号 (No.287))