

日本国土開発
同森 国夫
正員 ○佐久間彰三

はじめに

無振動 無騒音工法として近年非常に多く用いられるようになったPIP工法はその機軸性、経済性等の優れた利点を持っている。しかし PIP工法を仮設山留め工法として用いた場合、一般的には止水性のある連続柱列杭と言われているが、施工精度により止水性は期待できず湧水量の多い地盤ではそれが最大の欠陥となっている。特に細砂層の地盤では湧水と共に砂が流出し、PIP杭背面に大きな空洞を生じさせ、家屋の沈下、路面の陥没等の災害を起す原因となっている。従ってこれらの問題に対して事前に何らかの対策を考慮しておく必要がある。

現に行なわれている方法として山留背面への葉液注入、ウェルポイントあるいは空洞を早期に発見することによって、砂・モルタルで充填する方法などがある。いずれの方法も経済性を含めて満足な効果は期待しえない。葉液では土質による注入範囲が限定されている。最近、超高压のジェットを利用したCCP工法あるいはジェットグラウトが使用され、従来注入あるいは改良が困難とされていた地層に於いても効果を発揮している。しかし、この種の工法をPIP柱列杭間隙からの漏水に対処させるのは図-1、2に示すように過大な施工になり、PIP柱列杭との組合わせによる土留は経済性に問題があり特殊な場合以外には使用できないであろう。

ウェルポイント・ディープウェルを併用する場合には周辺地盤の沈下が避けられない。特に細砂層では砂粒子の汲み上げにより沈下現象が広範囲に及ぶ。

PIP杭間隙の充填は、土留め壁完成後に前述の補助工法を用いるより、杭の形成と同時に間隙を充填する工法が期待される。

そこでまだ固らないモルタル杭中から既成杭に向けてLW又はセメントミルクをジェットグラウトしてPIP杭間隙を充填する実験を行ない、同時に空洞早期発見法として大地の抵抗の変化により空洞の有無を調べる電気探査法を中心に実験を行なったのでその結果を報告する。

1. 実験結果の要約

PIP杭間隙充填に関しては、充填が行なわれていることが観察され、止水性も十分であることが杭間隙充填を実施しない箇所と比較して確かめられた。

空洞の早期発見法の実験では、多くの発見法の中で、簡便で連続性があり、集中管理も可能な電気探査法について良好な結果を得ることができた。

2. PIP杭間隙充填法実験

まだ固らないPIP杭の中から既成杭に向けてジェットグラウトすることにより杭間隙充填の可否、適切なグラウト圧力、ロッドの引き上げ速度、葉液の種類等の判定を行なった。実験場所は東京江東地区の地下鉄10号線の

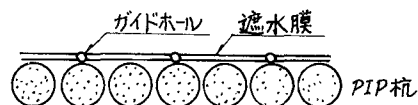


図-1 ジェットグラウトによる止水

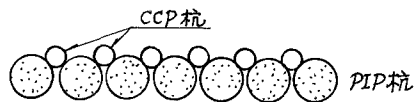


図-2 CCP工法による止水

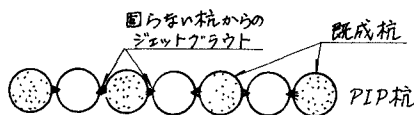


図-3 杭間隙充填法による止水

建設現場で、地盤はG.L. 0～1.5mまで表土、-7.5mまで砂層、それ以下は軟弱層が続いている。

(1) 実験方法

一本おきにPIP杭を打設し、これを親杭と称する。親杭の間の杭（試験杭と称する）の掘削、モルタル充填を行なう。H形鋼（300×300）にガイドを取り付けて建て込む。ロッドはクレーンによってガイドに沿わせて挿入する。ロッドにはノズルの方向及び深さ方向にマークをつけておき、G.L.-7.5mまで挿入する。次にロッドを引き上げる。ノズルの方向は地上でパイプレンヂを用いて調整する。引き上げ速度はウォッチマンとクレーンのオペレーターが連絡をとり管理する。養生後、実験堅坑を掘削して観察する。

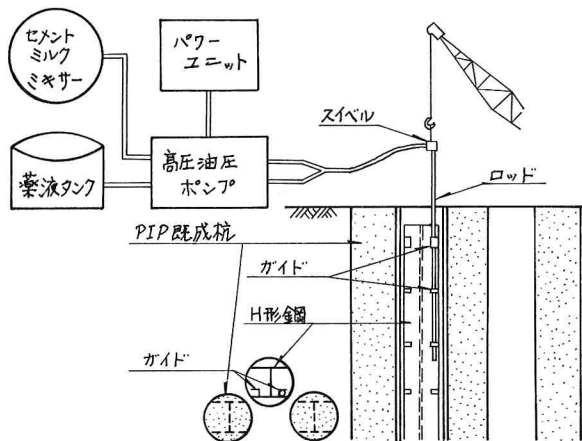


図-3' PIP杭間隙充填法模式図

(2) 実験ケース

図-4に示すようにPIP柱列杭三面のうち二面は、杭間隙の充填を施工し、他の一面は特に止水を行わず、普通の柱列杭として掘削後両者を比較する。試験杭は10本で、グラウト圧力50～200 kg/cm^2 、ロッド引き上げ速度1.0～2.0 m/分。薬液はLWとセメントミルクの組み合わせで16ケースに分けて実験を行なった。

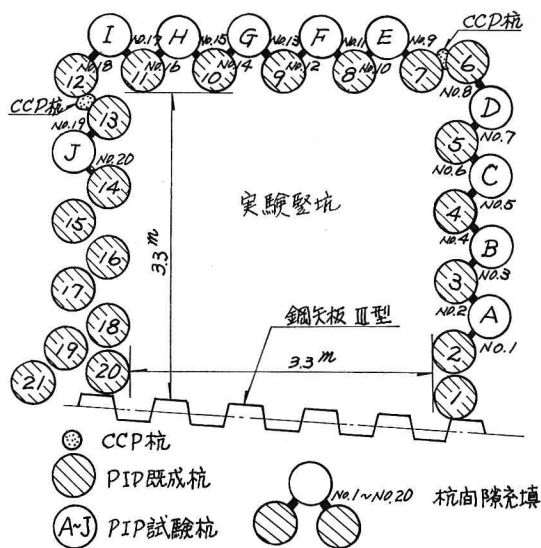
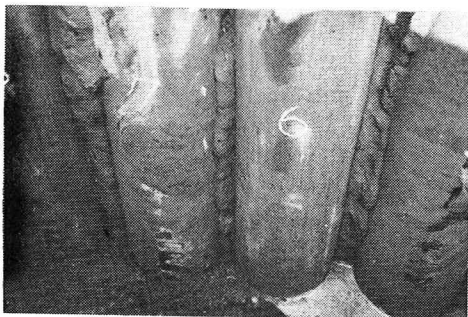


図-4. 実験堅坑平面図



(3) 実験結果

掘削後の観察の結果、杭間隙充填が確認された。図-4の①～②杭、⑩～⑪杭、⑫杭～シートパイルの間隙からは地下水と共に砂も流出したが、杭間隙充填の施工箇所からは1ヵ所滲み出る程度の水の流出があった他は止水効果が十分であると判明した。注入圧力、ロッド引き上げ速度、薬液の種類による止水効果の差異は認められなかった。所要時間はH形鋼1本（間隙充填2ヶ所）当り15～20分で、注入時間10分（段取り、ロッド内水洗い、移動）程度に相当する。写真1,2に杭間隙充填されたモルタルを示す。

従って効率的、経済的な杭間隙充填法を次に示す。

注入圧力 ----- 75 ~ 100 kg/cm^2
 ロッド引き上げ速度 ----- 20 m/分
 薬液の注入量 ----- 10 l/m
 薬液の種類 ----- セメントミルク

3 空洞実験

山留め背面に空洞ができて陥没事故を起こした例は今までに多々報告されているが、陥没を起こす以前に空洞を発見する確実な方法は現状では確立していない。過去の陥没例では、不完全山留、地下水又は上下水道からの漏れ、砂層地盤等の条件が重なって事故を起こしていることが多い。

今回の実験に先立ち、石巻屋の地下鉄の現場で観測孔、ハンマーによる打診、ラジオアイソトープ法、電気探査法、電気ドリル法の実験を行った。この結果、電気探査法が山留めの種類、空洞の位置を問わず探査可能な方法であることがわかった。電気探査法とは、大地に電極（鉄筋でよい）を差し込み、一定電流を流し、その時の電圧を測定して、空洞が発生する前後の比抵抗の変化を調べる方法である。水槽実験では比抵抗の変化が30%程あったが石巻屋の実験では10%程しかなく、空洞による変化であると確認するに至らなかった。これは空洞の形状が地層の関係で水平方向に長い（横長形空洞）為と考えられた。

今回の実験では実際の空洞に近い球形ないし、垂直方向に長い（縦長形）空洞を造るようにした結果、空洞発生による比抵抗の変化が明確に認められた。

(1) 目的

電気探査を山留め背面の空洞発見法として確立することを目的として

a 電気探査 b 沈下板 c 電気ドリル

の3項目について実験を行った。

(2) 実験方法

- ① 図-5に示すごとく鋼矢板背面にハンドオーガーにより沈下穴を掘り、沈下板を設置する。
- ② 図-6に示す位置に電気探査用の電極を埋設し、空洞がないときの比抵抗を測定する。
- ③ 鋼矢板に10cm程度の穴を図-6に示す位置に3箇所あけ、この穴を利用して注水により空洞をつくり沈下板の観測を行なう。
- ④ 沈下の観測と併行して、電気探査を行ない、空洞により比抵抗の変化を測定する。
- ⑤ 持製ロッドをつけた電動ドリルで空洞の大きさを測定する。

(3) 実験結果

- 1) 沈下板及び電気ドリルにより測定した空洞の形状を図-6に示す。
- 2) 電気探査の原理と結果を図-7及びグラフ-1で示す。

(4) 原理

一般に大地は、その地質（土質、岩質）の性状によって固有の電気抵抗を持っている。今、空洞がない場合と

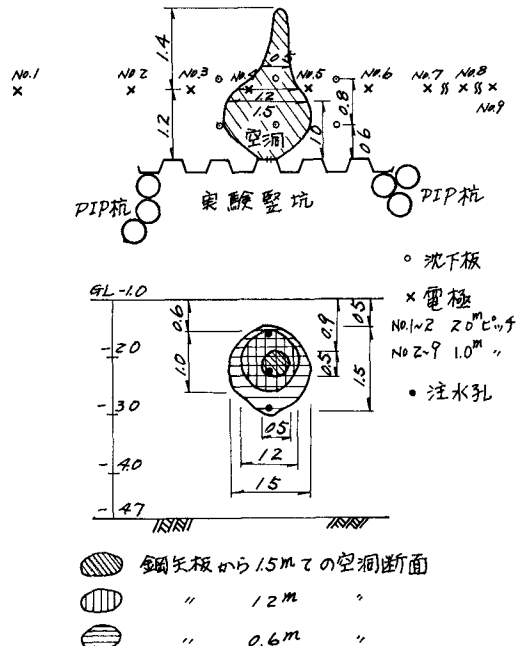


図-6 空洞実験結果 (単位 m)

空洞が発生した場合の大地の比抵抗値の違いを判定し、逆にその比抵抗値の違いにより空洞の有無を判定する方法である。

大地の比抵抗値を判定する方法には電極の並べ方によって4極法、3極法、2極法の3方法があるがここでは2極法について説明する。

2極法と言うのは図-7に示すごとく4本の電極を大地に差し込み、 C_1 、 C_2 の電極から電流を流し、 P_1 、 P_2 の電極に生じる電圧を測定する方法である。このようにして大地に電流を流すと、電流は電極間隔 a mに等しい深度の部分に集中的に流れると言われている。また深度 a mにおける見掛け比抵抗は次式によって与えられる。

$$\rho_a = 2\pi a V / I$$

但し ρ_a …… 深度 a における見掛け比抵抗 (Ω -m)

a …… 電極間隔 (m)

V …… 電圧 (V)

I …… 電流 (I)

(ロ) 結果

測定結果を図-8に示す。これは $a=1$ mの2極法の場合の結果である。レスポンスというのは空洞ができた前の比抵抗を1.0とした時の測定値の変化の割合を示しているものである。

このグラフから明らかにように空洞がない場合と、空洞ができた場合では比抵抗の変化が30%以上にも及ぶことが明らかとなった。従って電気探査により空洞の発見が十分に可能である事を示している。

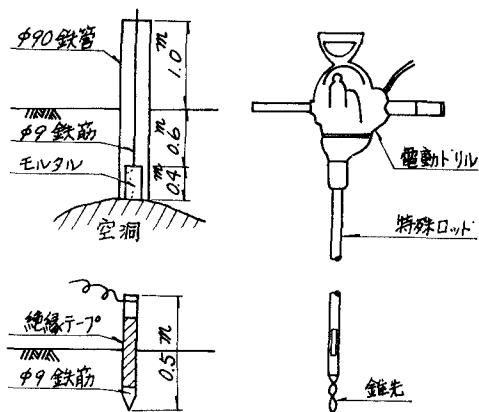


図-5 沈下板、電気ドリル、電極詳細図

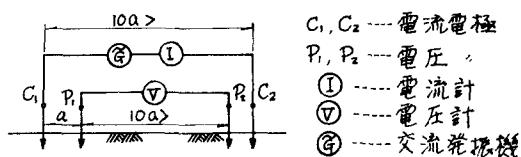


図-7 電気回路模式図

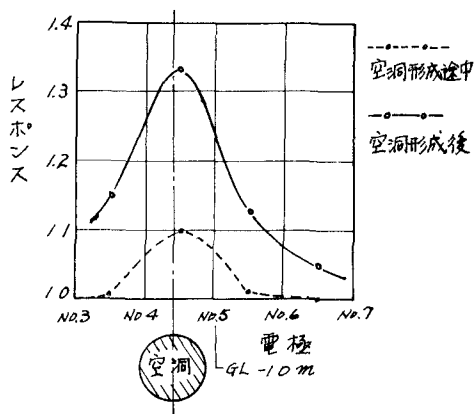


図-8 レスポンスの変化 ($a=1$ m)

終りに

PIP杭間隙充填法及び天板背面空洞の発見法の実験に御協力をいただいた東京都交通局、富士特殊土木(株)、三信建設工業(株)、地質計測(株)の関係各位に感謝いたします。