

III-B 299

比抵抗トモグラフィを利用した薬液注入の改良範囲評価方法の適用限界

（財）電力中央研究所 正会員 ○小峯秀雄

（株）シーアールエス 田代勝浩

1. はじめに

薬液注入工法の信頼性を向上するため、筆者は改良範囲の確認方法として比抵抗トモグラフィを利用した薬液注入の改良範囲評価方法を提案している⁽¹⁾⁽²⁾。本評価方法は薬液と地下水の比抵抗値のコントラストに基づくものであり、薬液の電気比抵抗が地下水のそれと同程度の場合には改良部の電気比抵抗の低下が小さくなり、改良範囲評価の精度の低下が予想される。このような観点から、本評価方法の適用可能限界は現段階では明確になっていない。そこで、本研究は薬液と地下水の比抵抗値のコントラストの観点から比抵抗トモグラフィの適用性を検討し、その限界を明らかにすることを目的としている。

2 実験概要

(1)使用した地盤材料および薬液：薬液注入工法の対象となる地盤を想定して、透水係数が 10^{-2} cm/secオーダーの三河珪砂5号(土粒子の密度=2.64 Mg/m³：粒径範囲=0.074~2 mm, 平均粒径 D_{50} =0.55 mm)を地盤材料として使用した。注入薬液には主剤濃度が35%の溶液型水ガラス薬液および寒天溶液を使用した。水ガラス薬液はグリオキザールを硬化剤とした主剤濃度35%の溶液型水ガラス薬液である。本薬液の固化時間は25~30分、電気比抵抗の値は0.62 ($\Omega \cdot m$)である。一方、寒天溶液は浸透性に優れ、温度調節することにより自由にゲル化させることが可能である。また、寒天溶液を作製するときの溶媒（例えば、水）の電気比抵抗を調節することにより、自由に比抵抗値の異なる寒天溶液を作製することが可能である。以上の理由から、本実験においては、微量の水ガラスを混入した数種類の水溶液を溶媒として用い、電気比抵抗が1~22 $\Omega \cdot m$ の範囲にある数種類の寒天溶液も注入薬液として使用した。

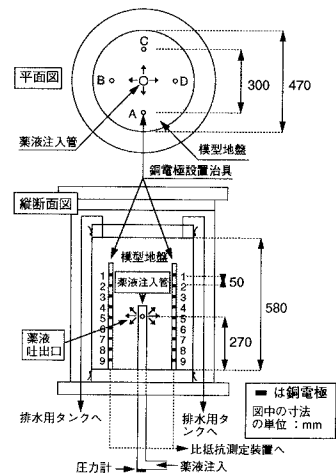


図1 使用した実験装置の概要

(2)実験方法：実験装置(図1)にゴムメンブレンで覆われた直径470mm、高さ580mmの模型地盤を突き固めにより作製し通水により飽和させた。模型地盤中には薬液注入管(直径30mm、高さ300mm)1本と銅電極を内蔵した円柱棒(直径21mm、高さ500mm)4本を設置した。1本の円柱棒あたりに銅電極を50mm間隔で9個取り付けた。全模型地盤の飽和度は99-103%の範囲にあり、ほぼ完全に飽和していた。通水完了後、模型地盤に背圧を98.1kPaとして、有効拘束圧98.1kPaを作用させて地盤の完成とする。模型地盤の乾燥密度は1.50-1.51Mg/m³であった。本実験では、薬液と間隙水の比抵抗のコントラストの観点から、比抵抗トモグラフィを利用した改良範囲評価方法の精度について調べることを目的としている。そのため、各実験ケースにおいて薬液と間隙水の比抵抗のコントラストを変化させ、注入形態、改良部の形状や大きさをほぼ同一にして実験結果を比較する必要がある。本実験では薬液注入量を約5000mlとした。本実験で実施した全ケースの実験条件を表1に示す。薬液注入は、手押しポンプにより注入速度1.6~4.6リットル/分で実施した。改良部の確認は、模型地盤解体の際に掘削あるいは水洗いにより未固結部を除去して行った。

3 薬液と地下水の比抵抗に関する適用限界

図2は、比抵抗トモグラフィを利用した改良範囲評価方法による評価結果を例示したものである。比抵抗トモグラフィを利用した改良範囲評価方法の詳細については文献(1)(2)を参照されたい。図2(a)は、間隙水の比抵抗が34.9 $\Omega \cdot m$ である地盤に、1.23 $\Omega \cdot m$ の比抵抗を有する寒天溶液を注入したK5KK51の結果である。すなわち、薬液の比抵抗が間隙水の約1/30の場合の結果であり、この場合は比較的良好な改良範囲の評価が可能と考えられる。一方、図2(b)に示すK5KN51は、間隙水の比抵抗が44.7 $\Omega \cdot m$ である地盤に21.17 $\Omega \cdot m$ の比抵抗を有する寒天溶液を注入した実験である。すなわち、薬液の比抵抗が間隙水の比抵抗の約1/2の場合の実験結果である。この場合、評価された改

表1 実験ケース一覧

実験ケース	模型地盤の乾燥密度 ρ_d : Mg/m ³	模型地盤の間隙比 e	薬液の種類	薬液注入量 Q: ml	薬液の比抵抗 ρ_{lg} : $\Omega \cdot m$	間隙水の比抵抗 ρ_{gw} : $\Omega \cdot m$	ρ_d/ρ_w	注入速度 リットル/分
1 K5SS61	1.51	0.75	溶液型水ガラス薬液	5762	0.62	31.2	0.020	1.6
2 K5KK51	1.51	0.75	寒天溶液	4919	1.23	34.9	0.035	2.2
3 K5KL51	1.51	0.75	寒天溶液	5109	4.19	43.1	0.097	3.7
4 K5KP51	1.51	0.75	寒天溶液	5079	8.41	44.7	0.188	4.4
5 K5KM51	1.51	0.76	寒天溶液	5146	10.54	47.1	0.224	4.6
6 K5KG51	1.50	0.76	寒天溶液	4501	15.27	38.1	0.401	4.5
7 K5KN51	1.50	0.76	寒天溶液	4074	21.17	44.7	0.474	3.1

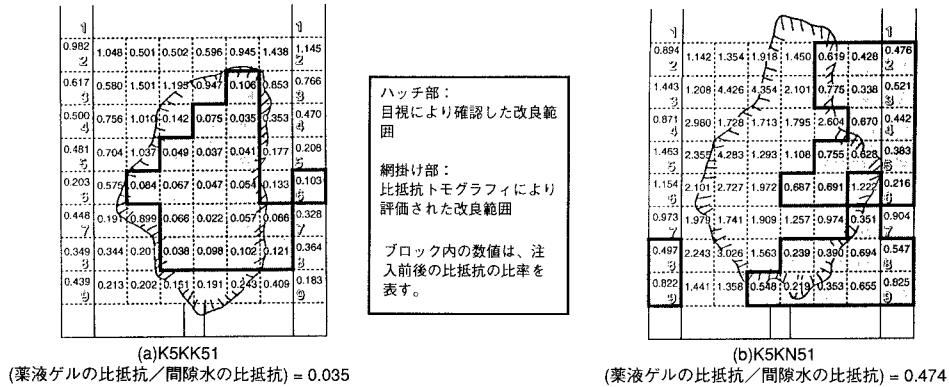


図2 提案した方法により評価された改良範囲と確認した改良範囲の比較

良範囲と目視により確認した改良範囲はほとんど一致せず良好な評価はできない。次に、改良範囲評価における薬液と地下水の比抵抗に関する適用限界を明らかにするため、改良部に位置する範囲の注入前後の比抵抗の低下に着目して実験結果を整理した。改良部に位置する範囲の各比抵抗ブロックにおいて、注入後と注入前の比抵抗の比を求め、それらの平均値を（注入後の比抵抗/注入前の比抵抗）と表示する。そして、各実験結果において求められる（注入後の比抵抗/注入前の比抵抗）を薬液と間隙水の比抵抗の比（薬液ゲルの比抵抗/間隙水の比抵抗）において整理した。なお、改良部に位置する比抵抗ブロックは、実験終了後、模型地盤を解体する際に確認した改良部のスケッチにはほぼ内接するブロックとした。以上のデータ整理より図3が得られる。図3より、（薬液ゲルの比抵抗/間隙水の比抵抗）の値が0.1以下であれば、すなわち薬液の比抵抗が間隙水の1/10以下であれば、改良部において注入前後の比抵抗の低下が顕著になる。このような場合には、比抵抗トモグラフィにより良好な精度を有して改良範囲の評価が可能であると考えられる。一方、（薬液ゲルの比抵抗/間隙水の比抵抗）の値が0.1より大きい場合は、注入前後の比抵抗の低下は小さく、値のバラツキも大きくなり、良好な精度を有した改良範囲の評価は困難となる。実際、図3から分かるように、（薬液ゲルの比抵抗/間隙水の比抵抗）の値が0.1以下の場合に提案した方法により良好な改良範囲の評価が実施できた。表2に、一般に使用されている薬液および地下水と海水の電気比抵抗を示す⁽³⁾⁽⁴⁾。これによれば、一般的な地下水の場合には（薬液ゲルの比抵抗/間隙水の比抵抗）の値が0.1以下となり、表2に示した薬液の場合、比抵抗トモグラフィを利用した改良範囲評価方法は海水の影響を受ける地点を除くほとんどの地盤に対して適用可能であると考えられる。比抵抗トモグラフィを利用した改良範囲評価方法は改良部の電気比抵抗の低下に基づくものであるため、その適用限界を十分把握した上で実施しなければならない。すなわち、実地盤への適用に当たっては、使用する薬液の電気比抵抗と地盤条件、特に地下水の電気比抵抗について十分検討して利用しなければならない。実際、薬液注入工事の事前調査等で対象地盤の土質試料や地下水を採取している場合が多い。したがって、この時点で地下水と使用する薬液の電気比抵抗を測定しておけば、図3を用いて比抵抗トモグラフィを利用した改良範囲評価方法が適用可能か否か判断できる。

参考文献

- (1)小峯、西、後藤（1994）：比抵抗トモグラフィを利用した薬液注入の改良範囲評価方法、土木学会論文集493号/Ⅲ-27、pp.137-146
- (2)小峯、田中、西、鈴木（1994）：電気比抵抗による薬液注入改良効果の定量的評価法（その2）、電中研究報告U93035
- (3)井上 誠(1990)：新しい土質調査法—比抵抗法による地盤計測—：最近の土質・基礎に関する諸問題講習会講演資料 pp.39-55
- (4)物理探査学会(1989)：図解 物理探査

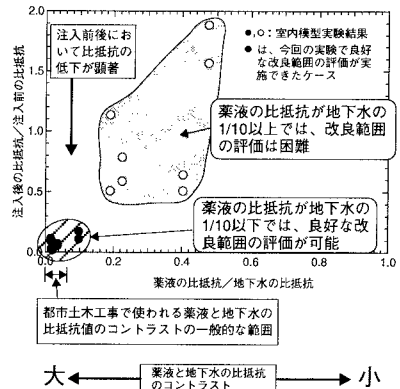


図3 改良範囲評価における薬液と地下水の比抵抗値のコントラストの影響

表2 都市土木工事で主に使用される薬液と地下水や海水の電気比抵抗値

		電気比抵抗： $\Omega \cdot m$
薬液	有機溶液型水 ガス系薬液	0.62
	懸濁液型水 ガス系薬液	1.30
	無機溶液型水 ガス系薬液	0.4
	地下水	20~80
	海水	0.3
	地表水	100~300