

比抵抗法による地盤注入範囲の検出に関する若干の考察

立命館大学理工学部 正員 富山直隆
同上 大学院 学生員 篠田和侑

I. まえがき 一般に注入工法は目的の地盤中に薬剤を注入して固結させ、地盤の強度を増加させたり、湧水や漏水を防止したりする工法であるが、所期の目的とする薬液が注入されているか否かを調べる方法が確立されていないため注入効果に対する信頼性に乏しいように思われる。この問題を解決する一方法として薬液注入前後における地盤の見掛け電気比抵抗に差を生ずることに着目して、この変化量と注入材、注入量の関係による注入範囲の検出法の検討を試みた。もとより電気比抵抗による地下埋没物の探査に関する研究は多く行なわれているが、ここでは特に注入工法を目的として模型実験を行なった結果の主なものについて若干の考察を述べる。

II. Sand gel sample の比抵抗特性について

(1)実験概要：薬液注入材はその種類によつた異つた比抵抗特性をもつと考えられるので、その基礎資料をうるため4種の薬液（アミド系：日東SS30R，スミソイルL，リグニン系：サングラウト，尿素系：ユリロック，珪酸塩系：水ガラス）のSand gel sampleを作製し、湿潤砂槽の中で養生して後その比抵抗を測定した。Sampleの寸法は $10\text{cm} \times 20\text{cm} \times 10\text{cm}$ で配合は表-1中に示した。砂は愛知川産のものを用いたが図-1にその粒度分布を示した。比抵抗測定器は横河製3244型である。電極配列はWennerの4極系を用い、電極間隔は5cm，電極挿入深さは2.2cmである。

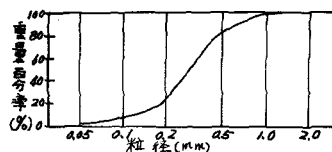


図-1 粒度加積曲線

(2)実験結果および考察：(a)図-2-(a)に間隙比がおよそ0.8のsampleの比抵抗と材令の関係を示した。これによると材令1日あたりまほどの薬液についてもほとんど同じ比抵抗であるのに対して材令3~7日では尿素系が急激に増加し、珪酸塩系，リグニン系では

薬液名	間隙比	注入量と砂の量		配合 (100 cc 当り)		材令
		注ぎ方	注ぎ量	A液	B液	
アミド系	0.602	固詰め	3400 700	主剤 10cc	補助剤 0.5g	10分
	0.814	中詰め	2950 800	促進剤 0.3g	安定剤 0.3g	15分
	0.859	ゆる詰め	2930 900	抑制剤 0.03g	抑制剤 0.03g	
日東SS30R	0.653	固詰め	3300 700	主剤 10g	補助剤 0.5g	8分
	0.815	中詰め	3000 800	促進剤 0.4g	水 50cc	20秒
	0.860	ゆる詰め	2900 900	水 40cc		15分
尿素系	0.653	固詰め	3300 700	主剤 20g	硬化剤 2g	9分
	0.815	中詰め	3000 800	助剤 5g	水 50cc	15分
	0.879	ゆる詰め	2820 900	水 29g		
リグニン系				主剤 40cc	B剤 6cc	12分
	0.720	中詰め	3165 800	下剤 1.75g	水 44cc	10秒
珪酸塩系	0.653	固詰め	3300 700	主剤 25cc	硬化剤 1.25cc	5分
	0.815	中詰め	3000 800	水 25cc	水 47.5cc	15分
	0.860	ゆる詰め	2900 900			

表-1 Sand gel Sampleの種類と配合

はわずかしめ、あるいは全く変化せず、アミド系はその中間にあることが知られる。これらの結果から薬液によつては硬化の進行度合の判定が可能であるように思われる。(b)材令7日における比抵抗と間隙比の関係を図-2-(b)に示した。この図によると間隙比が0.65~0.81の間では尿素系と珪酸塩系は比抵抗の大小はあるが間隙比による変化はみられない。アミド系では間隙比の増大とともに比抵抗は減少している。これは間隙比の増大が比抵抗に影響をあまり与えない尿素，珪酸塩系ではある範囲内で注入量の判定が難しく、アミド系では比抵抗の減少により注入量の判定が可能であることを示している。

Ⅲ. 埋設絶縁板 による模型実験

(1) 実験概要:

ある程度の支持力を有し比較的低抵抗均一媒質になるベントナイトと砂

の混合物に水を加え、これを槽に詰めた。図-3にその装置を示した。この実験では側壁による影響を除くためにあらかじめ側壁からの距離に対する補正値を求めておき、槽内に埋設物体を挿入した時の比抵抗値を修正した。絶縁板は合成樹脂板を使用し、その寸法は表-2に示した。測定方法は(a)埋設板の長軸に対して直角に多くの測線を平行に設ける方法、(b)埋設板の長軸に対して測線を90°, 60°, 30°, 0°と回転させる方法、(c) Schlumberger の改良法で電流電極間隔と電位電極間隔を相対的に変化させ、測定方向も回転させる方法、(d)電流電極を表面に固定し、電位電極棒2本を埋設板とはさんで槽中に順次挿入する方法の4種である。

(2) 実験結果および考察: 上記の測定方法の順に述べる。

(a) 図-4-(a), (b) は埋設板が $3\text{cm} \times 20\text{cm}$ の場合の各測線ごとの比抵抗曲線と等比抵抗線を示したものである。これらの図によると比抵抗曲線は埋設板の端部の測線になるほど平坦な曲線となる。また等比抵抗線は板の比抵抗に及ぼす影響をよく表わしている。(b) 図-5-(a), (b) は埋設板が $6\text{cm} \times 20\text{cm}$ の場合の各測線の比抵抗曲線と等比抵抗線を示したものである。これらの図より比抵抗の極小部の等比抵抗線が埋設板の端に向つて張り出していることが知られる。(c) 図-6 は流電々極間隔 40 cm, 電位電極間隔 10 cm における埋設板の縦幅 40 cm で長さを変化させた時の $\bar{\rho} = \text{測定値} / \text{ベントナイト比抵抗}$ と測線方向の関係を示した。埋設板に測線が直角に近いほど埋設板の長さの相違を明確に表わしている。(d) 図-7 は深さ 8 cm から 20 cm の間に埋設板 ($12\text{cm} \times 20\text{cm}$) が挿入された時の $\bar{\rho}$ と深さの関係を示したものである。電流電極が表面から流している電流と埋設板が擾乱している部

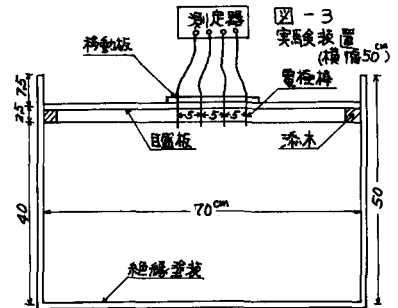
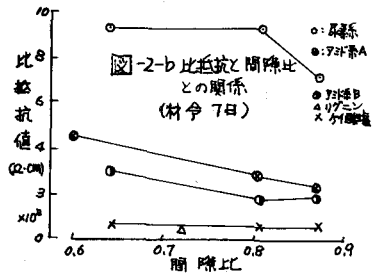
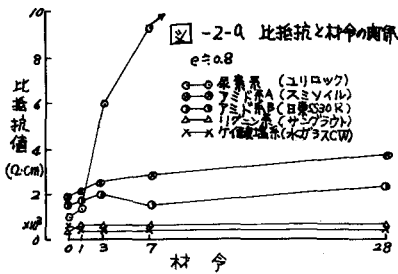
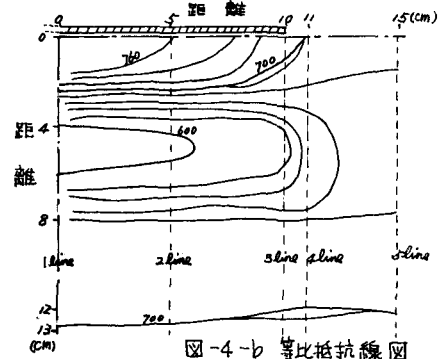
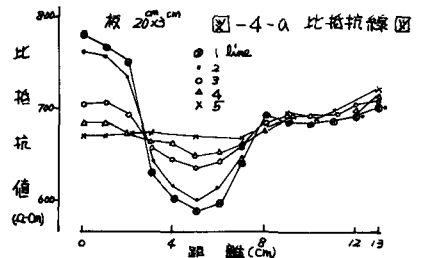
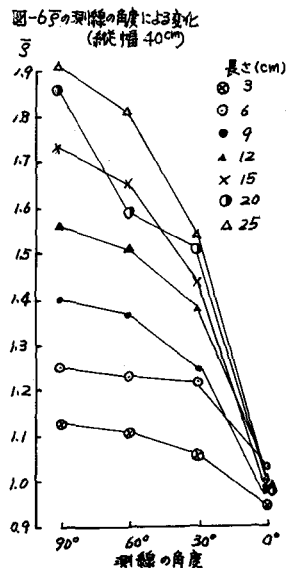
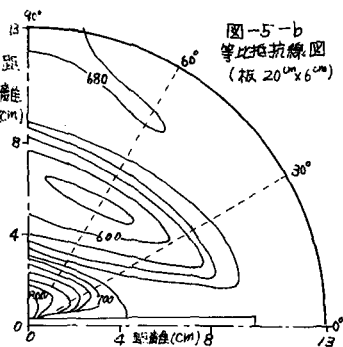
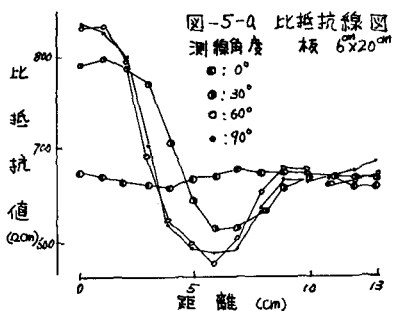


表-2 合成樹脂板の寸法

寸法	10	20	30	40
3 cm	3×10	3×20	3×30	3×40
6	6×10	6×20	6×30	6×40
9	9×10	9×20	9×30	9×40
12	12×10	12×20	12×30	12×40
15	15×10	15×20	15×30	15×40
20	20×10	20×20	20×30	20×40
25	25×10	25×20	25×30	25×40





子を示すもので埋没板の下端付近近で電極間隔5cmのものに $\bar{P}_{max}$ から $\bar{P} = 1$ 近くまで急激に変化していることが知られる。

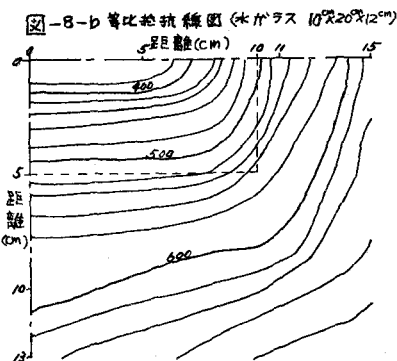
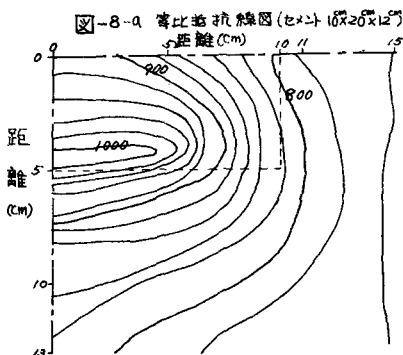
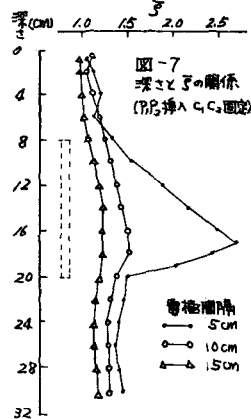
表-3 バントライトと薬液注入物の比抵抗比

寸法 (cm)	バントライト $\bar{P}_1$ (Ω/cm)	セメント $\bar{P}_2$	水ガラス $\bar{P}_3$	比抵抗比 $\bar{P}_1/\bar{P}_2$	比抵抗比 $\bar{P}_1/\bar{P}_3$
10×20×6	2040	3375	650	1.65	0.322
10×20×12	1442	2300	430	1.40	0.300
10×30×6	2100	3575	667	1.70	0.318
10×30×12	1412	2575	449	1.54	0.315
10×20×4	2820	3620	543	1.56	0.313
平均				1.57	0.313

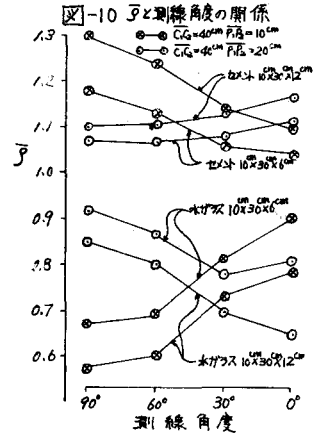
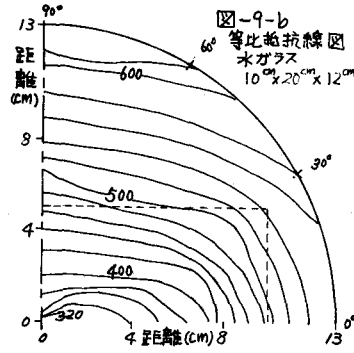
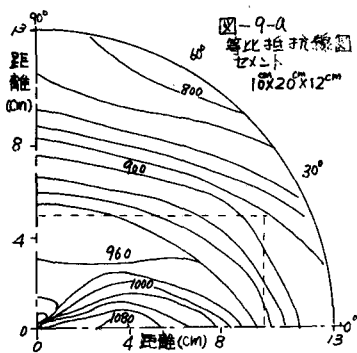
IV. 注入剤固形物埋没による模型実験

(1) 実験概要: II.において述べたように注入材には高抵抗性のものから低抵抗性のものまであるので本実験では表-3に示すように水ガラスとセメントを選んだ。なおセメント系の比抵抗特性はほとんど尿素系のそれと同じであり、尿素系では均質な試料が作り難いのでセメントを用いた。Sample は間隙比 0.80~0.82 の細砂に注入剤を 90~92% 充填したものを湿珪砂槽の中で7日間養生したものである。実験装置と測定方法(a)(b)(c)(d)はすべてIIIの実験と同じである。

(2) 実験結果および考察: IIIの実験と同じ順に述べると(a)図-8は 10×20×12 cm のセメントと水ガラスの埋没物の埋没深さ1cmの場合の等比抵抗線図を示した。セメントでは高比抵抗部が埋没物の長軸に対して直角方向の境界線上に頂角をもつように現われ長軸方向境界線を過ぎるとほとんど変化を示さない。水ガラスでは埋没物の中央を中心として低抵抗部が現われ、埋没物境界では比抵抗変化がかなり一様であつてその境界を明確に知ること



は困難である。(b)図-9に 10×20×10 cm の大きさのセメントと水ガラスの等比抵抗線図を示した。セメントでは低抵抗線が境界線を取り巻くような形で現われ、水ガラスでは



埋没物の中央に低抵抗部が現われる。(c)図-10は $\bar{P}$ と測定方向との関係を示したものである。埋没物の深さ方向の大きさが増大するにしたがって $\bar{P}$ の差は大きくなり測線が長軸方向に回転するとセメントでは $\bar{P}$ が減少し、水ガラスでは $\bar{P}$ は増大する。しかし電位電極間隔が2倍になるとセメントでは $\bar{P}$ は増大し、水ガラスでは $\bar{P}$ は減る傾向がある。このことは清野博士の理論からも理解される。(d)図-11は $4\text{cm} \times 10\text{cm} \times 12\text{cm}$ の埋没物に対し $\bar{P}$ の深さ方向の変化を示したものである。これによると埋没物の下端付近において水ガラスでは $\bar{P}$ が増大し、セメントでは減少し、深さととも両者と $\bar{P} = 1.0$ に接近することが知られる。

Ⅶ. 結言 以上各種の業液注入材の電気比抵抗特性と各種の測定法による注入材の埋没範囲の検出を模型実験によって検討した結果を実際の地盤に適用することを考えると

(1)業液の注入固結程度および範囲を知るために理想状態での実験を試みた。しかし煤質および埋没物の均質等方性など実際の地盤では問題であって複雑な条件が影響するから本実験におけるような比抵抗変化が明確に現われないことも考えられるが、その基本的比抵抗特性を如何につかむかという点については本実験の結果は大いに参考になるものと思われる。

(2)各種の測定方法から得られた比抵抗値をどのように解析するか、またどの程度の電極間隔でどの程度の密度に測線を選んで測定するかなど多くの問題点を残しているが、一応次のようにまとめることが出来る。(a)横長埋没物に対しては長軸に対して直角方向に多くの測線を設け境界線と思われる地質の測定を密に行なうことと等比抵抗線図を画くことが有効である。(b)比較的狭い範囲内で垂直方向埋没物深度を調べる方法としてはSchlumbergerの改良法によることが最良のようである。(c)流電極を固定し、電位電極を深さ方向に挿入して行く方法は埋没物下端の位置判定に有力な方法である。

