

宮崎大学工学部 正 曼 藤 本 廣
 宮崎大学工学部 学生員 ○坂 田 條太郎
 宮崎大学工学部 学生員 福 原 幸 二

まえがき

シラス地帯では、シラスの深層部の安定処理、例えば、アースダムなどの堤体の基礎処理、ならびに取付部シラス地山の漏水対策、あるいは盛土本体の強化などにセメントペーストや薬液などの注入工法が必要な場合があるが、いざ実施してみるとシラス層への注入は意外に困難で、処理に困ることがある。著者のうちの一人(藤本)は以前に、その様な場合の対策として、粘土層で実用されるアルミニウム電解固結法の応用を考え、アルミニウム電極板を用いた小規模の基礎的な室内実験を行なったことがある。その結果、電解液として濃度2%の食塩水をシラス層中に浸透させた後通電すれば所期の目的を達成しうることが明らかになった。

昨年から、著者らは、この工法の実用化のための現地実験の準備段階として、アルミニウム製の模型杭を使用してシラス盛土の飽和と不飽和の両状態について室内実験を行なっているが、その結果、前回の電極板の場合よりも杭を電極とした方が予想外に効果のあることが明らかになったので、今回その実験結果を報告することにした。

1 実験方法

1-1 試料と実験装置

実験に使用したシラスは宮崎県野尻町のシラスで 2mm 以下粒子の平均比重は $G_s=2.460$ 、気乾含水比 $w_h=16.5\%$ 、均等係数 $C_u=64.3$ であった。その粒度曲線は図-1に示す。[蒸溜水(2)+シラス(1)]の PH は 6.60 であった。

実験装置の概要を図-2に示す。

この容器(長さ 50cm、幅 18cm、高さ 30cm)に気乾試料を三層に分けて入れ、各層ごとにタンパーを 10 回落下させ、12cm の高さに突固め、透水量を測定するため、一端は 65° の傾斜で仕上げ、法尻に幅 4cm、高さ 2cm のフィルターをつけ、他端には 0.25mm の金網を垂直に取付けた。

1-2 実験

実験は、(A)気乾試料で作った模壁盛土に NaOH 溶液で飽和させた場合と、(B)不飽和盛土に 2% NaOH 溶液で浸透させた場合とについて、それぞれ Al 電極杭の間隔、本数および大きさ(直径)

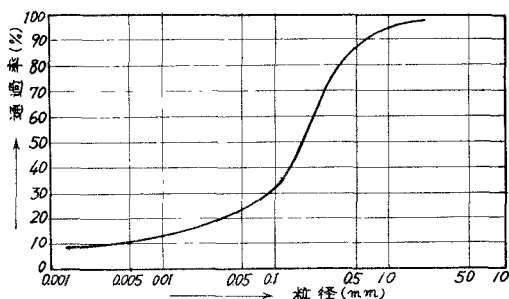


図-1 粒度曲線

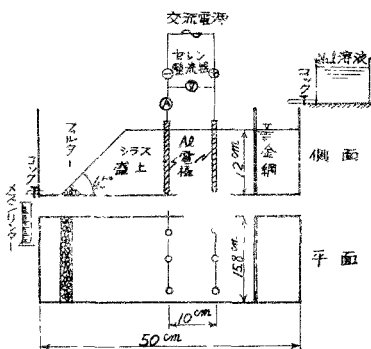


図-2 固結実験装置の概要

を色々変えて数種の組合せについて行なった。

(A)の場合(テストNo.1,2)は、まずNaCl 2%水溶液を用いて、水頭12cmの定水位透水試験を行ない、透水量(cm^3/min)測定後、Al電極を(電極間隔10cm)で底面まで打込み、盛土の両端に12cmの高さまで水溶液を満し、通電中も定水位とした。ここでセレン整流器の性能が40 volt, 26Ampのため電流が26Amp以上流れない様電圧を変化させた。

(B)の場合(テストNo.3,4)は、1-1に述べた試料に蒸溜水を加えて含水比(目標の含水比 $w_a = 25\%$)を調整し、これを5層に分けて容器に入れ、各層ごとにタンパーを10回落下させ20cmの高さに突固めた。この盛土にアルミ電極(電極間隔20cm)を打込み、電極からそれぞれ内側6cmの位置に幅4cm × 深さ15cmのトレンチを作り、そこにNaCl 2%水溶液を等量づつ注加し、一定電圧で通電した。通電中も時々NaCl水溶液を注加した。この装置を写真-1に示す。

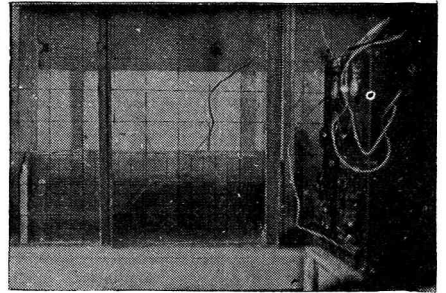


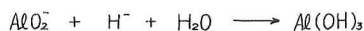
写真-1 固結実験装置

2. Al電解による固結原理

土のアルミニウム電解固結の一般的な原理については、京都大学の村山朔郎博士の詳細な研究がある。それによると一般に土壤コロイドを含む土に直流を通電すると、土壤コロイドに吸着している陰陽両イオンが夫々対極に向って移動し、陰極側ではNaOH, KOH等が生ずるためPHが大になり陽極側では H_2SO_4 , H_2CO_3 等の発生により酸性となる。この際、土壤コロイドの電気泳動及び吸着水の陽極から陰極への電気浸透も同時に起る。更に陽極側のAlが電解溶出して陽極側では Al^{+++} , H^+ , SO_4^- , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ が共存し、陰極側では



の反応があり、 Na^+ , Al^{+++} , OH^- , AlO_2^- が共存している。即ち通電している土中では陰極側から陽極側へとPHが次第に低下してその途中でPH=7の中性帯が生じ、この中性帯で $\text{Al}(\text{OH})_3$ が凝固コロイドとなるから土が細粒土であれば極めて不透水性となりイオンの移動が妨げられ、この領域では酸性側の H^+ , Al^{+++} とアルカリ側の OH^- , AlO_2^- とはDonnanの膜平衡状態をつくり後は拡散によって中性帯内に移動する。従ってこの領域では



の反応があつて $\text{Al}(\text{OH})_3$ が析出する。これが更に $\text{Al}(\text{OH})_3$ 脱水 $\rightarrow \text{AlO}(\text{OH})$ 脱水 $\rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ の変化をなして結晶性 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、結晶性ボーキサイトやアルミナになるのではないかと説かれている。この $\text{AlO}(\text{OH})$, Al_2O_3 は水に不溶性で化学的にも安定しており、これが土粒子間隙を填充して凝結硬化するために土の固結(剪断抵抗の増大)、不透水化が可能となるものと考えられている。

又更に村山博士によれば、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ の生成が土中水のPHに影響されるので固結対象の土のPHが固結及びその位置に影響するとされている。即ちアルカリ性の土では別に電解質溶液の添加等の処理をしないままでもAl極から通電するのみで固結可能であると云われ酸性土では中性帯が生成され難く固結が困難であるとされている。この場合にはNaCl等の電解質溶液を添加すれば電気分解により陽極側にNaCl陰極側にNaOHが生じ、PH傾度大となり中性帯が生成し固結が容易にみられるとのことである。

3. 実験結果と考察

現在まで得られている実験結果の一覧表を表-1 にまとめて示す。表中、テスト No.3 と No.4 の飽和度 $S_r = 34.7\%$ の値は NaCl 水溶液を浸透させる前のものである。したがって、その通電時の飽和度は 90 数%と推定される。

表-1 Al 電解固結実験条件と結果一覧表

テスト No.	突 固 回数	盛土条件	食濃 塩 水度	Al電極 寸法	電極本数と 間隔	使用電気					透水量(% _{min})		備 考	
						陰極	陽極	電圧 (V)	最大 電流	通電 時間	所要電 力量	1m ² 当換 算電力量		処理前
1	10	$\gamma_d = 0.98$ $\rho = 1.51$ $S_r = 100$ $R = 12.0$	2%	$\phi 5 \text{ mm}$ 電極長さ $l = 12 \text{ cm}$		10 5 40	A 212 40	hours 25	W.H. 1225.5	K.W.H. 64.6	8.0	≈ 0	通電中飽和状態 フィルター有 完全固結(厚さ 3~6cm)	
2	10	$\gamma_d = 0.95$ $\rho = 1.58$ $S_r = 100$ $R = 12.0$	2%	$\phi 10 \text{ mm}$ 電極長さ $l = 12 \text{ cm}$		10 5 40	214 40	51	2710.6	430	10.3	≈ 0	通電中飽和状態 フィルター有 完全固結(厚さ4~8cm)	
3	10	$\gamma_d = 0.87$ $\rho = 25.8$ $\rho = 1.83$ $S_r = 34.7$ $R = 20.0$	2%	$\phi 5 \text{ mm}$ 電極長さ $l = 20 \text{ cm}$		80	210	24	2793.3	698			ブロック 状の固 結層生 成	通電中不飽和状態 フィルター無 使用食塩水量 3200 ^{cc}
4	10	$\gamma_d = 0.89$ $\rho = 24.5$ $\rho = 1.76$ $S_r = 34.2$ $R = 20.0$	2%	$\phi 10 \text{ mm}$ 電極長さ $l = 20 \text{ cm}$		50	258	76	4097.4	102.4			ブロック 状の固 結層生 成	通電中不飽和状態 フィルター無 使用食塩水量 7200 ^{cc}

γ_d : 乾燥密度 (%) ρ : 間隙比 ω : 含水比 (%) S_r : 飽和度 (%) R : 盛土の高さ (cm)

3-1 固結層の生成位置とPH傾度の関係

写真-2 と写真-3 にテスト No.2 に
よる(飽和状態)固結層の生成状態
を示す。今回の実験で、電極の内側
におけるPH傾度を求めてみると、固
結層をはさんで陽極付近で $\text{PH}=3.7$
陰極付近で $\text{PH}=10.5$ という傾度を
得て、固結層は、前述の理論
ならびに 12 年前の実験結果(図-

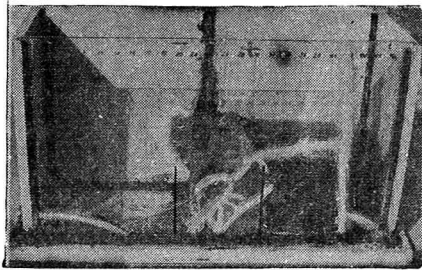


写真-2

3 cf) と同様に、 $\text{PH}=7.0$ の中性帯に生成していることが判った。なお、両極
の外側のPHは、実験前後でほとんど変化がなかった。

不飽和盛土(テスト No.3 と No.4)ではPH傾度は前述の通りであるが固結層は飽
和盛土のように完全でなかった。その原因は、NaCl 水溶液が全面的に浸透して
いないことと、飽和盛土の場合に比べて電極間隔が2倍になっていることにあると思われる。

3-2. 電流、電圧の変化

図-4 のごとく、電圧一定のときは電流強度は数時間でピークが現われ時間経過につれて減少する。
これは、Donnan 膜平衡の発達、含水比の低下も原因となるが、極を直接土中に入れたものでは、 O_2, H_2

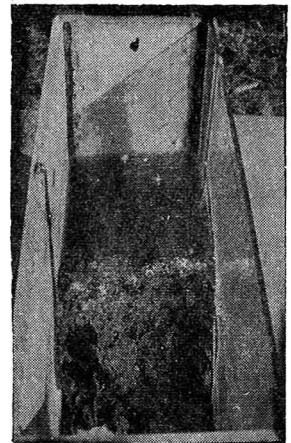


写真-3

等のガスが極を包み、これが極に吸着されて電気抵抗を高めること、及び、土中の陰陽イオンの分布がその範囲の極に集まるため、あたかも極中間の土は蓄電池のようになり、いわゆる分極作用に基づく逆起電力が作用するためである。このガスによる絶縁作用と分極作用とを除くには断続通電を行なつて時々、ガスの放散と逆電圧の時間を与える必要がる。しかし、今回の実験では電源を1時間通電中15分位遮断したところ電流強度は急増したが、これは1時的現象

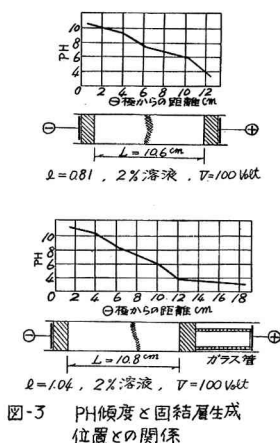


図-3 PH傾度と固結層生成位置との関係

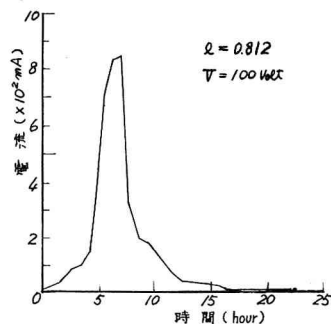


図-4 電流—時間曲線

で1~4分でもとの電流にもどるため、時間の損失の方が大きく固結層の生成時間は遅れた。図-5は抵抗—時間曲線を示し、ピークが多く現われたのは、電圧をたびたび変化させたためである。図-6は電流—時間曲線を示す。これに見られる数多くのピークはNaCl水溶液を注加したためである。

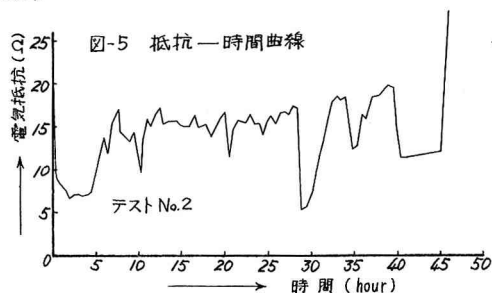


図-5 抵抗—時間曲線

写真-4はテストNo.2の通電後のAl電極状態を示す。

4. あとがき

この実験により模型杭でも完全な固結層の生成を認められ、この実験により、実用化への見通しが得られた。この実験結果をまとめると次の通りである。

- (1) シラスを固結するには最低2%の濃度のNaCl溶液が必要であり、電極間をNaCl溶液で飽和させることが重要である。
- (2) $1 m^2$ の固結層を得るに要する電力量はシラスの場合、大体 65~300 KWHと思われる。

今後の課題として

- (1) 電極間の最適間隔
 - (2) NaCl水溶液の最適濃度
- を見出す必要がある。

なお、実験には技術員荒巻英次氏に協力していただいた。また研究経費の一部は文部省科学研究費(特定災害)「西部地区における災害の地域的特性」の援助による。以上付記して謝意を表する。

参考文献

ス原、藤本：シラス土壌のアルミニウム電解集合固結に関する実験的研究 宮崎大学工学部研究報告 第5号 昭和33年8月

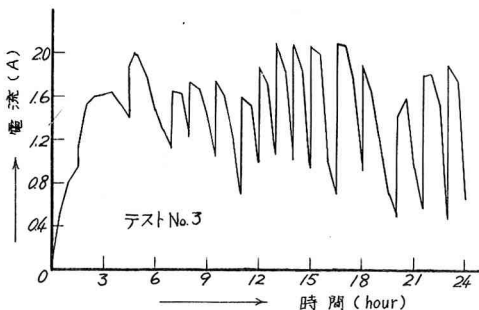


図-6 電流—時間曲線

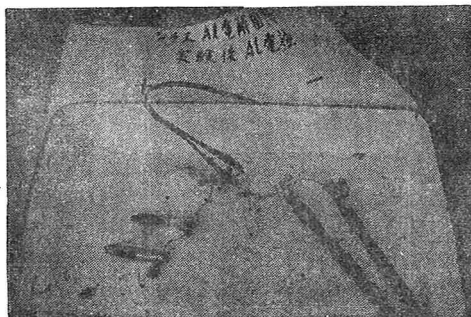


写真-4