

宮崎大学工学部 正員 藤本 広

同 学 生 有永正教

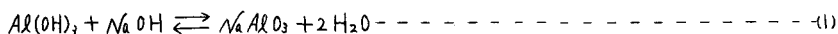
同 学生員。村上 哲

1 まえがき

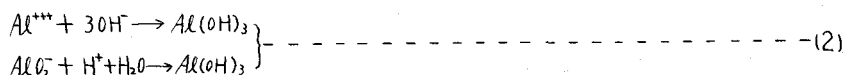
著者の中の一人(藤本)は、以前からシラスのアルミニウム電解固結法について基礎的研究を行なってきた。¹⁾²⁾³⁾これは、シラス層へのセメントペーストや、薬液などの圧力注入が困難であることを見越して、アースダムやシラス地山などの漏水対策や基礎処理、あるいは崩壊対策に役立てんとするものである。これまでの研究により、両極共にアルミニウム模型杭を使用し、2%濃度の食塩水で飽和させた模型盛土の場合については実験が完全に成功したので、今回はアルミニウムの節減を図るために陰極に鉄模型杭を使用した場合と、土中にアルミニウム電極を直接立てた際に発生する分極作用による悪影響を除く方法とについて、飽和、不飽和の両盛土に対して実験を行い、さらに電極杭の配置効果ならびに食塩水の最適濃度とについて検討してみた。その結果、陰極に鉄模型杭を使用した場合や分極作用の生成防止法について予想外に良好な実験資料が得られたので、電極杭の配置効果と食塩水の最適濃度についての考察結果も含めてここに報告する。

2 アルミニウム電解による土の固結原理

土のアルミニウム電解固結の一般的な原理については、吾国では村山博士の詳細な研究がある。⁴⁾それによると、土壌コロイドを含む土に直流を通电すると、土壌コロイドに吸着している(+)両イオンが夫々対極に向って移動し、(-)極側では NaOH , KOH 等が生ずるため pH が大になり、(+)極側では H_2SO_4 や H_2CO_3 等の発生により酸性になる。この際、土壌コロイドの電気泳動および吸着水の(+)極から(-)極への電気浸透も同時に起る。さらに(+)極の Al が電解溶出して(+)極側では Al^{+++} , H^+ , SO_4^{--} や $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ が共存し(-)極側では



の反応があり、 Na^+ , Al^{+++} , OH^- や AlO_2^- が共存している。すなわち、通电している土中では(-)極から(+)極側へと pH が次第に低下してその途中に $\text{pH}=7$ 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。したがって、この領域では、



の反応があつて $\text{Al}(\text{OH})_3$ が析出する。これがさらに、 $\text{Al}(\text{OH})_3 \xrightarrow{\text{脱水}} \text{Al}(\text{OH}) \xrightarrow{\text{脱水}} \text{Al}_2\text{O}_3$ の変化をなして結晶性の $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、ボーキサイトあるいはアルミナになるのではないかと説明されている。この $\text{AlO}(\text{OH})$ や 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充填して凝結硬化するために土の固結や不透水化が可能となるものと考えられている。また、さら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が固結程度と生成位置に影響するとされている。すなわち、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極から通電するだけで固結が可能であるが、酸性土では中性帯が生成され難く固結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(+)極側にHCl、(-)極側にNaOHが生じてPH傾度が大きくなり、中性帯が生成して固結が可能になるとのことである。

3 実験方法

3-1 試料と実験装置

シラス試料は宮崎県西諸県郡野尻町附近の新期シラス層から採取したもので、4.8mm以下のものを実験に使用した。2mm以下粒子の平均比重は $G_r = 2.46$ 、2mm以下の三角座標による土質分類では砂質ロームに属し、均等係数は $C_u = 6.43$ であった。

その粒度曲線を図-1に示す。ガラス電極PHメーターで測定した〔シラス(1) + 蒸溜水(2)〕のPHは6.60であった。図-1には参考までに文献(1)で報告した実験に使用したシラスの粒度も示しておいた。

写真-1はシラス盛土を2%食塩水で飽和させた場合の実験(テストジ-ズ-A)装置の写真で、片面透明樹脂の木製容器(内寸法: 814×20×28.5cm)、セレン整流器(140 Volt, 2.6 Amp)、食塩水供給装置ならびに電流計(2 Amp)とからなっている。電極杭には径5mmと10mmのAl棒と径4mmのFe棒を使用し、その長さはす

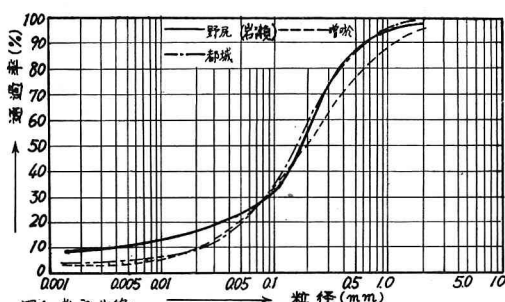


図1. 粒度曲線

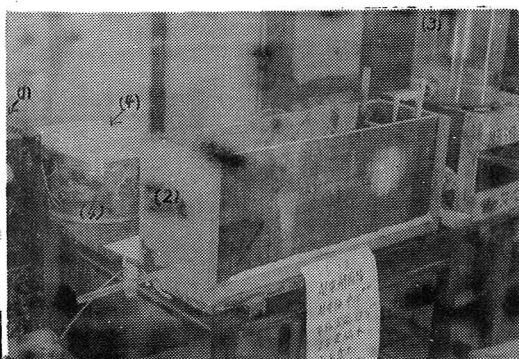


写真-1. 実験装置、①整流器、②実験容器、③食塩水注入器、④水に浸した固結層、

べて20cmとした。分極作用の防止の為のストレーナーは外径2cm、内径1.5cm、長さ15cmの塩ビ管でランダムに2mmの穴をあけたものを使用した。

3-2 実験方法

実験は(A)、気乾シラスで作った模型盛土を食塩水で飽和させた場合と、(B)、水道水による含水比 $w = 30\%$ の模型盛土に食塩水を浸透させた場合とについて、夫々食塩水の濃度(1%, 2% および 3%)電極の材質、間隔および杭径を数種に組合せて行った。ストレーナーを使用した場合は電極とストレーナーを一体にして容器に立ててシラスを入れて盛土を作った。

実験(A)では4.8mm以下の気乾シラスを容器に3層に分けて入れ各層毎にタンパー(底面: 15cm×15cm)で均質に締め固め、高さ15cm、下流側法勾配1:1の盛土(天端幅50cm)を作りまず電極杭を盛土底面まで押し込み、食塩水を定水位15cmで盛土中に浸透させ、浸透流が定常状態に達してから通電した。通電中は電流計の最大値が2 Ampであったので、電流がそれ以上にならないように電圧を調整した。なお法尻に設けたフィルター(径2mm~5mm 碎石、高さ5cm)は浸透流によるパイピングを防ぐためのものである。上流側は鉛直法面とし200メッシュ金鋼で保護した。実験(B)では水道水によって含水比を $w = 30\%$

に調整したシラスを3層に分けて実験槽に入れ、高さ15cm、天端幅50cm、下流側法勾配1:1の盛土に締め固めた。この実験では電極間隔を全て10cmとし両極の中央にトレンチ(幅3cm×深さ1cm)を掘りそのトレンチから食塩水を注入浸透させるようにした。通電の要領は実験(A)と同様である。実験(A)(B)共に固結層の生成は電極間の抵抗値の変化と、透明板からの観察によって判断した。固結層生成後、陰極の外側①、内側②、陽極の内側③、および外側④として試料を採取してPHを測定した。

4. 実験結果と考察

実験結果の一覧を表-1に示す。

表-1. 実験結果一覧表。

	盛土条件				電極配置			食塩水濃度	通電時間	PH傾度				透水係数		備考
	Fe	W	rd	c	陽極	陰極	間隔			①	②	③	④	実験前	実験後	
A-1	1.025	1.79	1.006	1.945	AL10×3本	AL10×3本	20	2%	44					0.032	0.051	
A-2	1.037	1.50	1.022	1.926	AL10×3本	AL10×3本	15	2%	43					0.023		
A-3	1.043	1.35	1.029	1.91	AL10×3本	AL10×3本	12.5	2%	27.5	>12	10.6	8.8	5.8			実験中陰極側にて水漏れ
A-4	1.022	1.11	1.011	1.95	AL10×3本	AL10×3本	12.5	2%	36	7.79	>12	>12	4.2	0.032	≒0	ストレーナーを付する
A-5	0.978	1.11	0.979	1.54	AL10×3本	Fe10×5本	12.5	2%	31.5	6.0	>12	>12	4.7		≒0	
A-6	1.025	1.18	1.062	1.536	AL10×3本	Fe10×5本	15	1%	25	8.0	>12	>12	3.0 8.0	0.014	≒0	
A-7	1.033	1.29	1.020	1.930	AL10×3本	Fe10×5本	20	3%	40	5.95	>12	3.65	8.4	0.026	0.026	

	盛土条件				電極配置			使用食塩水	通電時間	PH傾度				備考		
	Fe	W	rd	c	Sp	陽極	陰極			間隔	①	②	③		④	
B-1	テスト前 食塩水 浸透後	1.174 1.445	30 52.7	0.977 1.877	44 793.1		AL15 Fe15	×7 ×5	10cm	通電前 1.4% 3000cc 通電中 1.7% 5000cc	15分	9.00	11.20	3.62	3.58	電気抵抗増加し通電不能に63
B-2	テスト前 食塩水 浸透後	1.159 1.371	28.35 55.4	0.972 1.779	40.3 76.51		AL15 Fe15	×7 ×5	10cm	通電前 2% 4000cc 通電中 2.4% 14500cc	27.5分	8.71	11.52	3.52	5.76	
B-3	テスト前 食塩水 浸透後	1.205 1.436	27.83 57.78	0.943 1.629	42.35 71.23		AL15 Fe15	×7 ×5	10cm	通電前 3% 4000cc 通電後 3% 100cc	30分	5.4	>12	3.85	4.05	

4-1. 固結層の生成状態

実験(A): 昨年の報告で電極間隔10cmの実験で厚さ4~8cmの固結層の生成を見ているので、今回は20cm、15cm、および12.5cmと間隔を変えて実験を行い、12.5cmで全面に渡る1~2cmの固結層を得た。20cmと15cmでも固結層は生成したがきわめて弱くかつ薄いものであった。

実験中に陰極のAL棒が電気分解によって生じたNaOHによって蝕されてしまい、実験続行が不可能になることや、理論上陰極のAL棒は、固結には関係がないはずであることなどの理由から陰極をFe棒にとりかえて実験を行ったところ、通電時間を短縮することができ、固結層も厚さ1~2cmのものを生成することができた。更に食塩水の濃度を1%、2%、および3%と変えたところ、1%と2%の場合は固結層を生成した。だが1%の場合は2%の場合に比べると固結層の生成が不充分であった。3%の場合は40時間通電しても固結層が生成しなかった。また、分極防止の為、両極のAL棒にストレーナーを付けた場合には厚さ3cmの固結層を得ることができた。これによってストレーナー使用の効果が確認された。



写真-2. 固結状況(実験A)

実験(B): では陰極にFe棒を使い電極間隔を10cmにして食塩水の濃度を1%、2%および3%と変えて実験

した。その結果、2%と3%の時に厚さ1-2cmの固結層が30時間ほどできた。実験(A)の場合と固結層生成時の濃度が異なるのは、既にある程度の水を含んだ試料に食塩水を送入するわけであるから、盛土中の実際の濃度は、2%あるいは3%より小さくなるはずである。この実験条件の相違が(A)と(B)の固結層生成時の食塩水濃度の差として現われて、(B)の場合は(A)よりも高濃度が必要になったものと考えられる。実験後のPHは一覧表を見て判るように、今回の実験では(B)の場合はほぼ理論通りのPH傾度を示しているが、(A)の方は前回の実験に比べて乱れる傾向があった。これは食塩水濃度との関係で実験中に生じたNaOHの影響が大なるためと思われる。

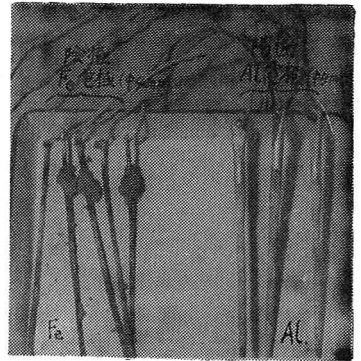


写真-3. 実験後の電極、

(A),(B)の実験を行う前に地下水流がある場合についての実験を(A)の方法の要領で浸透流の存在する状態で通電してみたところ、固結に拘するAl(OH)₃が実験槽の外に流出してしまい固結層は生成しなかった。この結果、地下水流がある場合については、その浸透速度がAlイオンの電気浸透速度より低い場合に限って、固結層の生成の可能性あるものと考えられる。

4-2. 使用電力量

図-2と図-3は実験A-5とB-2の場合の電気抵抗と通電時間の関係曲線とそれぞれ示したものである。これによると陰極にFe棒を使用した場合、飽和、不飽和盛土共に面積がAl棒の場合に比べて、抵抗のピークに達する時間が10時間程度遅くなることが認められた。使用電量を計算した結果、飽和盛土で両極Al棒の場合62.5KWH/m²、陰極がFe棒の場合49.5KWH/m²、ストレーナ付きの場合61.1KWH/m²で不飽和盛土(陰極Fe棒)の場合は64.0KWH/m²であった。

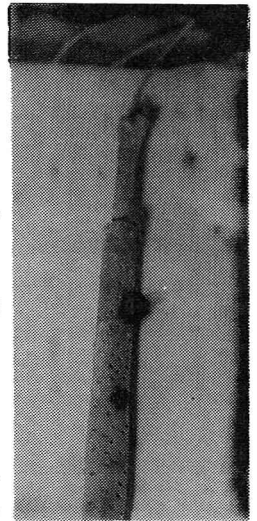


写真-4. ストレーナ付電極、

5. おまけ

本実験により以下のことが明らかになった。①電極間隔は近いほど効果がある、②食塩水の最適濃度は2%である、③陰極にFe棒を使用しても十分効果があり通電時間も短くなる、④ストレーナの効果が確認できた、⑤浸透速度の大きい地下水流のある個所では固結層の生成が困難であること。今後の課題として、①Alの消費量とその他の条件との関係を検討し、実用化の具体的な方策を確立する必要がある。

なお、この研究経費の一部は、文部省科学研究費(災害科学)におた。以上付記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 久原, 藤本 : シラス土壌のアルミニウム電解重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。

- 2) 藤本, 坂田, 藤原 : シラスのアルミニウム電解固結に関する実験的研究(第2報)

昭和44年度土木学会西部支部研究発表会論文集, 昭和45年2月。

- 3) 藤本 : シラスのアルミニウム電解固結に関する基礎実験、

第7回災害科学総合シンポジウム論文集, 昭和45年11月。

- 4) 村山他2名 : アルミ4電極による土の電気化学的固結法について、

土不厚会誌, 第32巻, 第2号, 昭和45年2月。

