

エトリンガイト

ふく だ

まこと 誠*

最近エトリンガイトの呼名が土質改良に関する研究論文の中にしばしば見受けられる。その理由はエトリンガイトを生成する硬化材が、高含水比の軟弱地盤、特にフミン酸を含有する腐植土層の安定化に優れた特性を有するからである。

この鉱物は1874年 Lehmann が西独 Rhein の Ettringen で発見し、その地名にあやかって付方された。それまでは、Cemet-Bacillus (セメントを蝕む細菌), Candlot's-salt (キャンドルト塩)と呼ばれていた。その由来はコンクリート構造物の膨張き裂の原因に関するものであり、また分子構造が複塩に相当することなどによる。

1. エトリンガイトの結晶構造

X線解析により六方晶であるとされたが¹⁾、その後三方晶であると決定された²⁾。結晶形態は、針状となりランダムに成長し架橋をつくって結晶構造となっている。

2. エトリンガイトの化学組成と性質

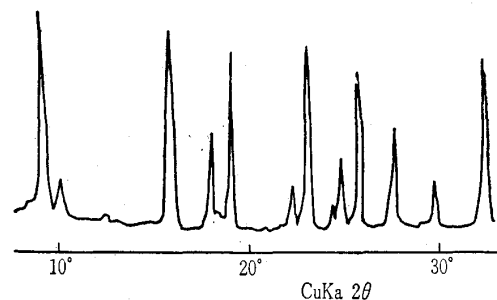
化学組成式は $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ であり、1分子中に45%の結晶水を有している。

図一1はX線回折図を示し、 $2\theta=9.1$ に特性ピークがある。示差熱分析により170℃と285℃に大きな吸熱ピークが存在し、結晶水の結合状態が異なることを示している^{3),4)}。150~400℃脱水物は非晶質化しており、600℃では分解してⅡ型無水石こうを生成する。特徴的なことは、150~600℃の脱水物は湿度60%付近の雰囲気中に放置すると $\text{Ca}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ に復元する⁴⁾。エトリンガイトは湿潤土壤中で安定であることを意味する。(CはCaO, Aは Al_2O_3 , Sは SiO_2 , Hは H_2O とした)

3. エトリンガイトの生成機構

3.1 水溶液中からの生成

脱炭酸した石こう飽和溶液に試薬炭酸カルシウムを焼成した生石灰を投入し、70℃で炭酸ガスのない雰囲気中でかくはんしながら、エトリンガイト組成となるように生石灰6 mol に対し1 mol の試薬硫酸アルミニウムの溶液を加える⁴⁾。



図一1 エトリンガイトのX線回折図

3.2 石こうと $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の共存下における固相原料の水和反応による生成

固相原料には非晶質の酸化アルミニウム (Al_2O_3) 反応性の粘土、高炉水砕スラグ^{5),6),7)}、ポルトランドセメント、高炉セメントなどのセメント、およびアーウィン系クリンカー (Hauynite, カルシウムスルホアルミネイト)^{8),9)}などがある。

4. エトリンガイト水和物の結晶成長

ポルトランドセメントには約3%の石こうが添加され、セメントの水和反応を制御し、凝結を遅延している。その機構は水和が最も初期に起こるアルミ酸石灰粒子の表面にエトリンガイトが生成し、アルミ酸塩を被覆するためである¹⁰⁾。また、最も水和性の強いアルミ酸石灰の水和速度よ

表一1 土質条件

深 度	土 質 名	含水比 (%)	密 度 (g/cm^3)	有機物含有量 (%)	初期強度 (kgf/cm^2)
-3.0m	シルト質粘土	514.4	1.035	68.4	0.224
-5.0m	腐 植 土	603.9	0.999	74.6	0.335
-7.0m	粘 土	80.0	1.503	7.2	0.237
-8.6m	粘 土	86.1	1.489	6.3	0.329

表二2 施工諸元

土 層 条 件	シルト層	腐植土層 (1回目)	腐植土層 (2回目)
噴 射 圧 力	180 kgf/cm^2	100 kgf/cm^2	150 kgf/cm^2
回 転 数	20 rpm	20 rpm	25 rpm
風 量	2.0 m^3	1.0 m^3	1.0 m^3
噴 射 量	1000 l/m	1300 l/m	1300 l/m
固 化 材	普通ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメントほか	D

*三井建設技術研究所 主任研究員

表—3 硬化材の化学成分(%)

	Ig-Loss	In-Sol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
ポルトランドセメント	0.5	0.2	21.6	5.4	3.0	65.0	1.3	2.0	99.0
D	3.5	0.2	23.3	8.5	1.3	48.2	3.3	9.9	98.2

リエトリンガイトの水和速度が大きいことを示している。

特にフミン酸を含有する腐植土層の改良処理材としてポルトランドセメントを用いるときは、著しく強度を低下するが、水和生成物としてエトリンガイトを生ずる硬化材は余り影響を受けない。

5. 腐植土層における安定処理現場施工例¹¹⁾

埼玉県内の国道を横断するボックスカルバート下部をサンドドレーンにより地盤改良したが、完成後2か月を経て床版が75cmの沈下を生じ、今後のこともあるので対策を検討した。作業空間が、ボックスカルバート内で約4mの高さしかなく、N値2以下の層が-11m付近まであり、その中間に4mの腐植土層を挟んでいる。柱状図を図-2に示し、土質条件を表-1に示す。対策としては、ボックスカルバートを支持杭で支持することが望ましいと考えた。

工法：超高压噴流注入工法

施工諸元：表-2により施工

目標改良強度： $\sigma_{28}=10 \text{ kgf/cm}^2$

硬化材：ポルトランドセメント、スラグおよび半水石こうを混合したもの1種(D)を用いた。Dの化学組成を表-3に示す。この化学組成から、半水石こう、ポルトランドセメントおよびスラグの混和量を計算で求めると、それぞれの重量比は1:3:3.5であり、水和反応によりエトリンガイトを生成することは明らかである。

ポルトランドセメントを主体とした硬化材を用い、シルト層を噴射圧力 180 kgf/cm^2 、腐植土層を 100 kgf/cm^2 で施工したところ、粘性土層に関しては、 $\sigma_1=25\sim26 \text{ kgf/cm}^2$ 、砂質土に対しては、 $\sigma_1=180 \text{ kgf/cm}^2$ であったが、腐植土層は固化していなかった。

腐植土層のみについては硬化材Dを用い、噴射圧力を 150 kgf/cm^2 にあげて施工したところ、腐植土層は、 $\sigma_1=$

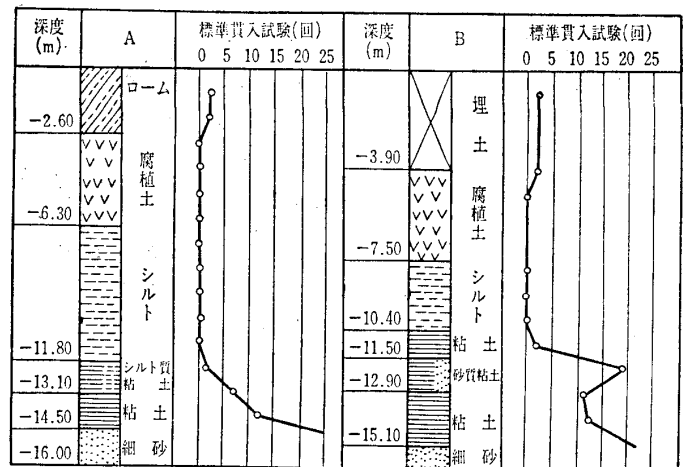


図-2 柱状図

8 kgf/cm^2 , $\sigma_{28}=17.8 \text{ kgf/cm}^2$ と目標値を十分満足する値が得られ、現在、沈下は止まっている。

参考文献

- 1) F.A. Bannister: Mineral, Mag 24, 324, 1936.
- 2) A.E. Moore, H.F.W. Taylor.: Nature, 218, 1048, 1968.
- 3) 竹本国博・才木義夫: セメント技術年報, No. 18, 1964.
- 4) 吉良欣一・間木野義雄・田村義彦: Gypsum & Lime, No. 170, 1981.
- 5) 有泉 昌・大場正男: 建設省土木研究所報告, No. 119, 1963.
- 6) 笠井順一: セメント・コンクリート, No. 391, Sept., 1979.
- 7) 大門正機・宋 宗沢・内田明生・山口 修・金 昌殷: Gypsum & Lime, No. 178, 1982.
- 青木繁樹・岡 昭仁・荒井康夫: Gypsum & Lime, No. 181, 1982.
- 8) 内田郁夫・能見清三郎・峯岸敬一: セメント技術年報, No. 33, 1979.
- 9) 福田延衛・梅山英美: セメント技術年報, No. 18, 1964.
- 10) H.E. Schwiete, U. Ludwing: Zement-Kalk-Gips, 17[6] 229, 1964.
- 11) 小寺秀則・川崎宏二: 腐植土層の安定処理, 第17回土質工学研究発表会.

(原稿受理 1983.11.15)