

大林道路株式会社 正員 浜口 三甫
三菱重工業株式会社 野口 直樹
大林道路株式会社 出沢 憲二

1. はじめに

排煙脱硫の副産物として発生する排煙脱硫石膏（以下石コウ）の利用方法としては、土質安定処理材への利用があげられる。石コウをエトリンガイト（ $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ）生成反応に利用したソイルライム石コウ工法が粘土質路床土の改良に適用されている。ソイルセメント工法のように、砂質系土質にも石コウが活用されるならば、その有効性は多大であると考え、石コウを路盤材料の安定処理工法に適用し、安定処理材としての有効性について検討した。

2. 二水石コウの性状

排煙脱硫のプロセスから得られる石コウは、一般に二水石コウ（ $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）であり水硬性を示さないが乾式加熱すると約 130°C で半水石コウ（ $\frac{1}{2}\text{CaSO}_4\cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ）に変わり、水硬性を示すようになる。半水石コウの硬化時間は非常に早く、濃水量60%で硬化開始4分、硬化終結10分であり、この硬化時にわずかに膨張するのも特徴である。このように二水石コウの硬化早急性、水硬性を考慮して、路盤材料の安定処理材としての適用を検討しようとした。

3. 室内実験

ソイルセメント工法の配合設計を参考にして、路盤材料を半水石コウで処理した場合、硬化時間が早いことから、供試体作成に無理があることと、水中養生時に水和硬化して路盤材料を固結していた石コウが一部水に溶解し、同時に吸水するため水浸後の強度が著しく低下し、または崩壊した。そこで半水石コウの硬化時間を調節するため、ある種の硬化遅延剤の混入を考えた。施工条件を考慮すると、半水石コウは路盤材料に混合され、締固めが終了した以降に硬化が開始するのが望ましいわけであり、早期強度も得られる。

一方、水浸溶解性に対処するためには、化学反応性のある添加剤が必要であり、この目的で普通ポルトランドセメントを添加することとした。これはセメントの主要化合物であるアルミ酸3石灰（ $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$ ）が石コウと反応しエトリンガイトが生成されることと、セメント自体の水和反応をねらいとしたものである。

以上のことから実験は、半水石コウセメント安定処理材（以下G-C系）の硬化時間の測定と強度発生状況、水浸耐久性を主に行った。

実験-1 硬化遅延剤として、フエン酸ソーダを用いた表-1の配合で凝結時間をビガー自動凝結試験機を用いて測定した。表-1に示すようにフエン酸ソーダを粉体に混合しておく場合でも、 3.84g （石コウに対して1.2%）添加すれば施工条件を考慮しても十分であろうと思われる。

表-1 セメント入り半水石コウの凝結時間

フエン酸ソーダ 添加量(g)	半水石コウ320g+セメント80g		備 考
	凝結始発 時間(分)	凝結終結 時間(分)	
0	1.54	5.06	フエン酸ソーダを 水に溶解した場合
0.16	3.00	6.00	
1.60	25.30	1.15.00	
2.56	57.00	2.45.00	
3.20	1.00.00	3.27.00	
1.62	10.34	25.41	フエン酸ソーダを 粉体に混合し おく場合
2.56	26.42	53.03	
3.20	54.13	2.30.00	
3.84	1.15.00	3.17.00	

表-2 路盤材料の性状

種類	フルイ目 (mm)								高圧乾燥 率(%)	0.4mm 率(%)
	30	20	13	5	2.5	0.6	0.3	0.075		
A			100	97.4	93.4	73.8	45.2	3.1	1.722	13.7
B	100	93.2	85.0	73.8	53.0	24.6	15.5	2.2	2.122	7.8

実験-2. 路盤材料A(山砂)と路盤材料B(砂石+山砂)について、半水石コウとセメントと種々の割合で混合し、一軸圧縮試験を行う。表-1は路盤材料の性状が決定結果と図-1、図-2に示す。図-2より路盤材料Aでは一軸圧縮強度 $\sigma_0 = 30 \text{ kg/cm}^2$ となるセメント量は10%であるが、G-C系ではそれぞれ10%-2.5%で所要の強度を得る。路盤材料Bについても図-2から $\sigma_0 = 30 \text{ kg/cm}^2$ 得るのにセメントで5.5%程度必要であるがG-C系だと各々5%-1%である。

図-1 路盤材料A

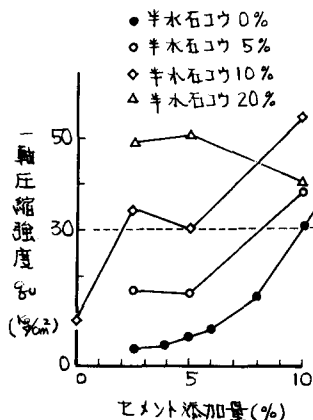
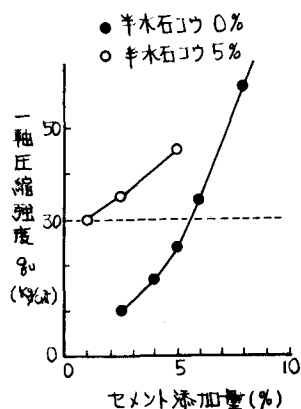


図-2 路盤材料B



また路盤材料Aを用いて長期水浸し時の耐久性について試験したのが図-3である。

6日間空中養生後、水浸養生したものと空中養生したものとは比較しても一軸圧縮強度に大差なく水浸耐久性も良好である。

以上のことからG-C系では半水石コウ量と増すことにより強度増加も著しく、反対にセメント量が少ないことから乾燥収縮によるクラックも生じにくいこととなる。

4. 屋外実験

室内試験の結果、路盤材料の安定処理剤としてG-C系が有効であることが明らかになったため、試験施工を実施し、施工性、強度特性、耐久性等を検討することとした。試験施工に採用した工種は、半水石コウ-セメント安定処理路盤、半水石コウ-セメント-アスファルト乳剤路盤、および比較のための粒調砕石路盤である。

図-4の配合設計の結果から表-3の配合割合とした。なお現状土は山砂である。施工手順は現状土の前処理-半水石コウ散布-硬化促進剤混入-攪拌混合-セメント散布-混合-(乳剤散布、混合)とし、路上混合方式を行った。表-3は施工翌日のデータであるが、硬化促進剤の混入方法(粉末混合)や含水量の変動が作用して、一軸圧縮強度は低い値となった。しかし粒調砕石路盤と比較した場合、支持力や変形係数が同程度あることから、施工翌日の処理層の性状は粒調砕石路盤にみじかると考えられる。

5. おわりに

排阻脱硫石膏(半水石コウ)と土質安定処理工法に利用する場合、ある種の硬化促進剤と一定量のセメントが必要である。今後石コウ形質、あるいは添加剤について検討するとともに、半水石コウと土質安定処理工法を適用した場合の利点を明確にしていく予定である。

図-3 水浸耐久性

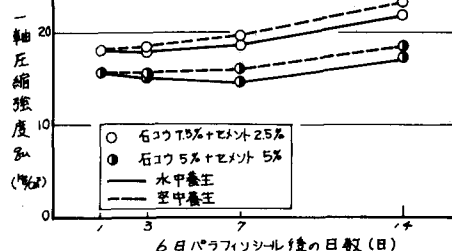


図-4 配合設計

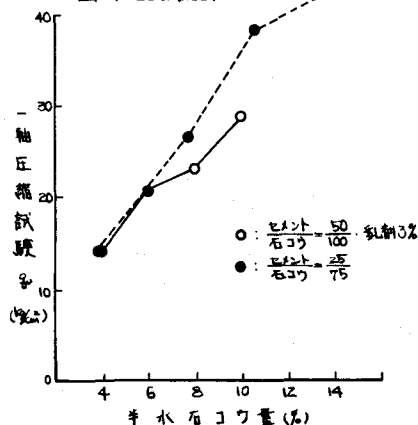


表-3 試験施工管理試験

路盤工種	配合割合 (%)	路床土		路盤上		変形係数 (kg/cm²)	σ₀ (kg/cm²)
		K ₂₀ (%)	CBR (%)	K ₂₀ (%)	CBR (%)		
粒調砕石 (0~20)		10.5	12.0	14.1	44.5	7.80	
		12.9	27.4	22.4	48.2	2,500	
石コウ-セメント安定処理	G=3	14.4	22.3	19.7	45.6	1,170	16.7
	G=10	14.3	38.0	22.5	88.3	2,430	15.3
石コウ-セメント乳剤安定処理	G=3						
	G=6	8.5	32.8	18.2	42.0	3,600	14.7