

Ⅳ-33 Fe-石灰による土質安定工法に関する考察

建設省九州地方建設局中津工事々務所 正会員 井月大

我が国の如く多雨湿潤で、土が酸性となり粘土などの微粒子を多量に含む土は、繰返荷重(図-1)と共に含水比によつて、土の剪断力は大きく変化して、路盤の变形即ち舗装道路の破壊の大きな原因となる。註12.これが対策として、砂礫石等による土質安定工法(図-2)が考へられるが、工費並に大型ローラーによる軋圧の必要等から経済的でなく、註25又、改定PR分類等でも優良であるとされる土も我が国の土は、長時間水で飽和されることによつて、土の剪断力等は、急減することと、三軸試験機による室内試験と共に工事施工を通して確認した。註128.又、Russellは「土の強さは、含有粘土量に影響される」と云つてゐるが、含有する粘土量と共に、吸着イオンに影響されることに着眼して、調査研究を進め次の事を明らかにした。註347.8

図-2 播磨国道34号線安定処理せる路床土に最適含水比附近(突固めの場合)JISA/210の力学特性(井月大調査等)

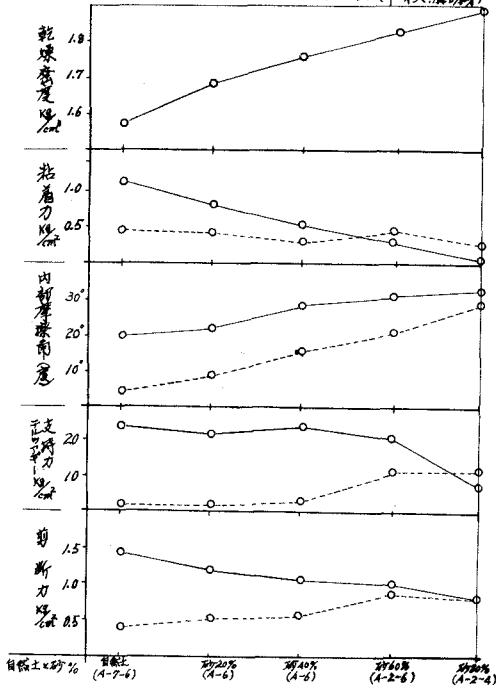
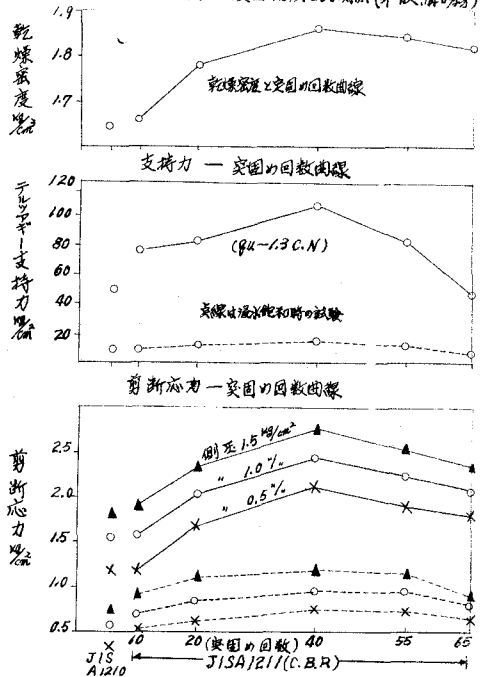


図-1 播磨国道34号線路床土(P.R.分類A-7-6)の含水比一定(16%±0.2%)の場合での突固め方法と諸関係(井月大調査等)



(1) わが国の土は、酸性土が多いが、これは、雨が多いたのイオン特性(表-1)から考察して、土の吸着イオンが、Hイオンに置換されるのうと考へられる。

表-1 各種イオンの特性

i. 加水作用	-----	H > K > NH ₄ > Na > Ca > Mg
ii. 吸着力	-----	H > Ca > Mg > K > NH ₄ > Na
iii. 凝固力	-----	H > Ca > Mg > K > Na
iv. 電位と 陽界電位	-----	(イオン石) (電位) (陽界電位)
		H 42.0 mV. 42.0 mV.
		Li 55.4 49.0
		Na 56.0 45.0
		K 54.5 42.0
		Ca 33.1 33.0
		Mg 36.1 36.0

(2) 土は最適含水比によつて、最も安定性を得るが、繰返し荷重の回数と、荷重の増大に伴

い、土の含水比を減じて、その時の O.M.C. にしてやる必要があるに拘らず わが国は、雨量が多く、その上に、路床土の吸着イオンの親水性の関係もあり、土の含水比を、施工時の含水比に保つことすら困難である。むしろ含水比は、増加する傾向がある。

以上の諸点より路盤構築工法を検討すると共に、舗装道路の路床土の軟化を考慮して、空隙の多い砕石等の使用をさせて、**ポンピング**等に抵抗が大きく、水に強く、且つ路床土となじみのよい安定処理法を発見して、これによる路盤構築工法を明らかにした。^{註4.5.6.7.B}

又、道路工事は、ローコスト道路政策の立前の一一般に、表層は低級舗装となりがちであるが、路盤及び路床は、交通荷重を、十分に分散伝達させると共に、数年がかりで漸進的に、道路を完成できる工法で、且つ、地方材料を立地条件に基き合理的に、強力利用の出来る工法がのめされる。**水工法**は、現地の上の吸着イオンを、水に強い **Caイオン** によつて置換して、これが溶出を防ぐために、**鉄粉** (主として酸化鉄粉) を混和することによつて、**チェボタリオフ** の云ふ **水成岩** と、人工的に、しかも手持ち機械化作業により構築出来る土質安定工法であつて、鉄道の路盤噴泥防止工、舗装道路並に運動場の路盤工、道路工事及び河川堤防工事の法覆工等々の経済的構築工法への應用を可能にした。^{註6.7.B.9.10.}尚、当工事々務所に於て、中津一日出間10号国道改築工事並に山国川改修工事に昭和39年度工事として使用した Fe-石灰による土質安定処理土量は、道路路盤工、法覆工事年度末の砕石不足に伴ふ変更追加を合せると、4 萬立方メートルに達した。

然し此處に特に重要な事は、**Ca⁺⁺ イオン** を如何なる化合物より求めるかにある。市販消石灰も組成の相違によつて、その安定効果がかなり広い範囲内に變化することが指摘される。消石灰、消化トロマイトは、Plasticity、保水性に富むが、未消化物が残留すると、

表-2 より明らかな如く、後になつて、膨張その他の原因によつて、安定処理土の變形並に安定効果の減少を伴ふことに成るので注意を要する。石灰石の極微粉末は、かくの如き危険性が少なく、しかも、Plasticity が高いとされている。表-3 は、此の長を考察して試験した實驗結果である。消石灰の製造工程において、熟処理温度とその製品 - **CaO**、**Ca(OH)₂**、**CaCO₃**、**MgO**、**Mg(OH)₂**、**MgCO₃** - と共に、**Mg(OH)₂** が **MgO**、粒子を、薄膜となつて覆ふと、その効果を低下させる事々々を考えると、Fe-石灰工法に於いて、使用する消石灰の選別とその使用量は興味ある重要な問題点である。

表-2 セツコク石灰関係化合物の溶解度

2.1 水に於ける溶解度 (g/100cc)

(室半順一、重水素)

化合物	SP	0	10	20	25	30	40	50	60
CaCO ₃ (セツコ)		—	—	—	1.45×10 ⁻²	—	—	1.55×10 ⁻²	—
CaCl ₂ 6H ₂ O		60.3	65.6	74.5	82.6	—	—	—	—
CaCl ₂ 4H ₂ O		91	—	—	100.6	—	—	—	—
Ca(HCO ₃) ₂		0.165	—	0.160	—	—	0.1705	—	0.1750
Ca(OH) ₂		0.185	0.176	0.165	—	0.153	0.141	0.128	0.116
CaSO ₄ 2H ₂ O		0.179	0.148	—	0.2050	0.204	0.2071	—	0.2047
MgCl ₂ 6H ₂ O		528	535	545	—	—	575	—	610
Mg(OH) ₂		—	9×10 ⁻⁴	—	—	—	—	—	—
MgSO ₄		74.0	—	236	262	—	29	313	—

2.2 種々の CO₂ 分圧下における炭酸カルシウムの溶解度

P _{CO₂} (atm)	0.0032	0.001	0.01	0.1	1.0	6	10
CaCO ₃ %/100g H ₂ O	53	78	170	300	900	—	2550
CO ₂ %/100g H ₂ O	458	684	1487	3632	792	—	—

、**Ca(OH)₂**、**CaCO₃**、**MgO**、**Mg(OH)₂**、**MgCO₃** - と共に、**Mg(OH)₂** が **MgO**、粒子を、薄膜となつて覆ふと、その効果を低下させる事々々を考えると、Fe-石灰工法に於いて、使用する消石灰の選別とその使用量は興味ある重要な問題点である。

Soil は、一般に、固相-液相-気相 (炭酸ガス) からなる一つの複雑な不均一系と見られるのであるが、これに石灰が加めると、系内に於いて、塩基の集い合いが起るのである。土に対する石灰の効果については、土の団粒作用の効果があげられるが、土の物理的性質に、如何なる土にも好影響と與えるとは限らないようである。ある学者は、石灰の効果

は、 Ca^{++} の有機質腐蝕土並に鉄水酸化物に対する影響を通して、起ると云われている。又

表-3 影射地比増上[Ca+H₂O]8%と添加して安定処理した場合(Ca:Mg)の混合率と土の力学的性質の変化

Ca----- 日本石灰工業株式会社の消石灰										Fe----- 八幡製鉄所の製鉄粉塵									
成分 %										成分 %									
CaO MgO Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ 酸不溶物 含水率 均質減量										Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
Mg----- 中部化学工業株式会社の消石灰										成分 %									
成分 %										成分 %									
CaO MgO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Cl 1/gloss										成分 %									
53.30 1.00 5.12 8.26 20.21										8.26 20.21									
MgO CaO Fe ₂ O ₃																			

ゲートは、表-3、表-4より明らかに考察出来る如く土壌中の微細間隙を充填し、また可溶性の水酸化カルシウムを、不溶性化合物とするものと考察される。

次にFe-石灰による土質安定工法の工事施工に伴ふ室内試験方法と現場施工管理方法に就て述べる。

i) 三軸試験……最大粒径2%として、自然土、或は、自然土に乾燥重量割合で添加した混合物で、JISA/210に規定するモールドに1層25回3層突固めを行ないユニバーサル・トリマーによつて三軸試験用供試体(φ25mm、高さ87.5mm)を整型して、供試体の含水比の変化を防止することに留意しながら三軸試験を行なう。水による飽和後の三軸試験については、圧縮室にセツトするにさいして、供試体の上下端板を、透水板としてセツトして、除々に供試体の間隙を真空状態(水銀柱600mm程度)とし脱気水にて、供試体を飽和した後、三軸試験を行なつた。0.3、0.4、0.6、等については、突固め直後パラフィンで供試体を被覆して、含水比の変化を防止した。

ii) 舗装厚さの決定……工務、谷藤正三著「歴青舗装の設計と施工」に紹介されている米国テキサス州土質研究所で提案している三軸試験による方法で、三軸試験による剪断強さや材料を分類して、この分類と輪荷重から舗装厚さを求める方法を採用する。わが国のように雨量が多い気象条件にあつては、三軸試験によつて、路床土或は、安定処理土が水でSaturationされた場合について、舗装厚さを検討することは必要である。筆者の過去数年の現場経験によれば一番確実と考えられる。

iii) 設計配合並に施工管理 室内C.B.R.試験は、主として、安定処理土の設計配合並に施工管理を行う資料を求める意味で行う。突固めは、JISA/211による1層20回5層突固めによつて行う。法面の突固め等は、JISA/210の突固め試験が大体一致するが、路盤路盤等の場合は、現場の状態或は、締め固め機械の種類によつて多少の違いはあるが、普通1.5702のタイヤローラで締め固められたC.B.R.値及び乾燥密度は、1層20回5層突固めの室内C.B.R.値及び乾燥密度によく一致する。註7.9.10

尚本工法の経済性は、AASHO道路実験報告及びテキサス三軸試験法による路盤厚さの決定並に現場実験より考察すると碎石単価が乾圧数込み工費を含め1,300円以上の場合は経済的であると共に Stage construction 工法が可能である。

- | | | | |
|-----|------|--|--------------------|
| 註1 | 井月夫 | 舗装と路盤路床土の土質工学的検討 | 昭和32年建設省第12回直技研究会 |
| 註2 | 井月夫 | 安定処理工法についての一考察 | 昭和34年土木技術特集懸賞論文発表号 |
| 註3 | 井月夫 | 化学的土質安定工法に関する一考察 | 昭和35年土質学会シンポジウム |
| 註4 | 井月夫 | Lime & Cement Stabilization に関する考察 | 第6回日本道路会議 |
| 註5 | 井月夫 | ソイル・スタビライゼーションの経済性について、 | 第6回日本道路会議 |
| 註6 | 井月夫 | Ca(OH) ₂ -Fe ₂ O ₃ SYSTEMによる土の安定処理法 | 土木施工 37-10 |
| 註7 | 松本功 | 化学的土質安定工法による路盤噴泥防止工法 | 鉄道線路 昭37 10-12 |
| 註8 | 井月夫 | Fe-石灰使用による土質安定工法に関する考察 | 第16回直技研究会 |
| 註9 | 栗田敦 | Fe-石灰使用による施工例の1.2 | 昭和37年建設省第16回直技研究会 |
| 註10 | 栗田博文 | Fe-石灰による地滑り対策と斜面保護工について、 | 管内技術研究会 |