

鹽化カルシウムによる土砂道 安定處理工法

正員 北海道大学教授 工博 板倉 忠 三

§ 1. 土砂道安定處理の必要性

道路の改良、修繕整備は近代世界の大きな趨勢である。わが国においても膨大な輿論に支持されて、昨秋の国会参議院において審議未了の憂き目を見た法案も今議会においては法律第 73 號 (28. 7. 23) 道路整備費の財源等に関する臨時措置法が国民の熱意に応じて公布され、29 年度から 5 箇年間、揮発油税法による税収入額に相当する金額を道路舗装、改築、修繕並びに北海道においては特に維持にも振り向けられ、わが国開発の原動力たる交通網の整備に専念できるようになった。昭和 27 年 3 月末現在 62 万戸を超え、益々増加の途を追う自動車の自在な走行路を整備すると共に快適かつ衛生的の近代的の通路を享受し得る態勢ができたわけである。ここに一步退いて道路の本質を論ずることは最も緊要なことであろう。

一般に道路舗装はその路床、路盤並びに基層を度外視しては砂上の樓閣である。舗装の安定は直接路床、路盤並びに基層の安定に通ずる。最近の舗道の観念は正にこれであつて、北海道において不整凍土防止のため路盤以下に大費用を投ずるのはこれがためである。旅行者がその豪華に驚く米國最近の道路事情を見るに、市道 30 万哩の 75% が高級舗装であるが、州道 238 万哩の内 55.4%、国道 54.4 万哩の内 15.3%、すなわち全道路延長の 46% は未改良あるいは地均し、排水のみを実施した土砂道で、所謂 Low Cost Road と呼ぶ低廉な簡易舗装かあるいは安定處理道が 31% におよび、本当の高級舗装は 23% 程度である。舗装道路も舗装前は Stage Construction と称えて少なくとも 6 箇月～1 年間は安定處理を行つた路盤あるいは基層上に交通を許して自然輾壓し、常に補修を加えながらその安定を漸進せしめしかる後に本舗装に着手する。しかし高級舗装の研究と共に、路盤の耐荷力を増進せしめる方法として、また少しでも低廉な道路を建設しようとして Local Materials を活用して実施する安定工法に骨身を削つている学者並びに道路技術者の縁の下の方が与つていることも見逃すことができない。ローマは一日にしては成らなかつたのである。骨材豊富、資金運用に長じた米國においてこれを見るのは正に愉快である。貧乏なわが国では瀝青あるいはセメントコンクリート等の高級舗装は元より望む所

ではあるが外国の皮相のみを見てその醜態さに眼を奪われ、その底に流れるものを咀嚼せずして一氣に飛び付くことは甚だしく危険である。何度舗装をしても賽の河原の繰返ししの愚は貧弱な財政に鎗を掛けるものであつてこの臨時家經濟上からも一歩下つて三考すべきであらう。われわれの新しい舗道築造の技術並びに研究は舗装体の研究と共に先ずそ

の根本をなす土砂道の安定に根を深く下ろさなければならない。

一般に土砂道の安定は、粒状材料による安定とこれを締合せるバインダー用土の安定とから成る。夏季の乾燥時にはバインダーが塵埃その他となつて飛散消失して路面に骨材が露出し、交通荷重によつて緩められて凹凸を生ずる。このような時には粘土あるいはシルト等の粉状材料を加え最適含水量を保たしめて骨材の締合を完全ならしめることが必要である。反面湿潤季にあつてはバインダーが液性限界を超えて流動化し、路上を流れ去つて骨材の締合を失う。この時路床構成材料中に粘土あるいはシルト質を多く含めば交通荷重により骨材がめり込み流体化した細微土をポンプアップして路面を泥濘化する。この時には粒状材料を加えて安定を保つことに努力する。これが安定處理道の根本観念である。

しかして工事は凡て合理的に低價に仕上げることが主眼であつて、安く仕上げる道路は現地産の材料を活用し、その施工法を合理的にし能率化することである。土砂道における路床、路盤、舗装における路盤、基層の安定は舗道の基本をなすものであつて、これが完備されなければいかに高級な舗装を施工しても砂上の樓閣のそしりを免かれぬ。

しかし舗装にもいわれることであるが、特に土砂道にあつては維持が必要であることは最も注意を要する事実である。

一般に安定處理道としては、(1)瀝青質乳剤によるもの、(2)ソイルセメントによるもの、(3)化学薬剤によるもの等が行われてきたが、米國においては近年鹽化カルシウムを用いた土壌-骨材型の基層および表層の建設が広く採用されるようになった。

鹽化カルシウムは低廉であると同時に次のような利点がある。

(1) 大氣中から湿気を吸収する能力があり土壌中の水分の蒸発率を減少することによつて湿気を確保し、更に土壌の突固め効果を促進することである。

(2) 更に寒冷地において注目すべきは凍土防止の効果があることである。

これらの築造作業から考えれば次の通りである。

(1) 骨材の締合材料たるバインダーの突固め操作を

簡單化してなおかつ充分の効果を得る。

- (2) 乾燥期にも湿気を保有し、表面の材料を確保し、路面の亀裂および塵埃の発生を防ぐ。
- (3) 土壌の凍結を防げ、凍上による被害を防ぐ。

§ 2. 安定處理道の構造

1. 概 説

一般に道路は、路面の舗装あるいは塗装の封緘層、土壌—骨材型の表層およびその基層から成る。時に選択した土の路盤、あるいは Blanket 層を路盤と基層との間に設置して、路盤が湿分含有量を変化し、あるいは凍結融解作用のような破壊的な気象の影響を受けるのを防止することもある。

一般に表層と基層とにおいてはこれらに用いる材料の間に根本的な相違がある。表層として最も良好な成績を示す粒状材料混合物は不透水層で封緘すれば失敗し、このような時には空隙の多いものが優れている。表層、基層共に荷重によつて沈下せず、輪窒を形成したり過大の移動を生じたりすることなく予定の荷重を支持する安定性を有しなければならない。その内、表層は交通の摩擦に耐え、表面に降下する降水の滲透を防ぎ、表面からの蒸発によつて失われる湿分を下から補充するに足るだけ充分の毛管作用を有していなければならない。それ故表層には粘土が必要であつて、安定に必要な水の蒸発を防ぐのである。このため塩化カルシウムを添加することも考えられる。しかしこの粘土量を基層に混合しその上に瀝青塗装をすれば膨脹し軟化して破損の原因となる。従つて基層においては表層におけるよりも粘土量を少なくすべきである。従つて表層を施工する前に基層を表層として一時使用しようとする時には特別の注意が必要で、このような場合には瀝青塗装をする前に必要な湿分をコントロールするため塩化カルシウムを用いることは極めて効果的である。

表層と基層に許容される粘土の質と量を決定する試験は次に述べる通りであるが、土壌混合物の望ましい性質は塑性指数 (P. I.) で表わされ、基層は6以下、表層には4~9、両用には4~6とされている。

2. 材料および試験

適切な土壌—骨材材料は土と骨材を適当な割合に混合したものである。その内骨材は No. 200 篩の上に止まる粒状物質であり、雲母の鱗片、泥炭の粒子等は別として、砂、砂利、碎石、鉍滓等で耐久性のあるものたるべきである。また、土は通常ある種の骨材および締合力を有する自然産の材料で No. 200 篩を通過する細微土である。この細微土は混合物に所望の毛管上昇性および粘着性を与えなければならない。湿分の多い場合に安定處理道に経験されるように膨脹と軟化をきたして好ましくない。故にこの細微土はその他、質共に指定されてコントロ

ールしなければならない。安定な土壌混合物中の粒状物質はその強度と硬さの外、コンクリート中の骨材と同じような他の機能を与える。粗細よく粒度の混じった骨材は粒度分布の貧弱なあるいは粒子の揃つた骨材よりも安定性が大である。細微土は粒状骨材に対して填充材として役立ち、毛管上昇あるいは保水性を有し、すべての粒子を強い耐久性のある塊に締め合せた膠着材として作用する。

すなわち全体の土壌—骨材混合物の性質は次の各項に關係している。(1)粒子の粒度分布、(2)細微土の締合力、突固めの性質、(3)全混合物の突固めの性質。

しかしして所要の試験項目は次の通りである。

(1) 篩分析; A.A.S.H.O. T 27-42, A.S.T.M. C-136-39, No. 200 篩の無い場合には傾瀉試験によるのであつて、土壌には試料約 1 LB. (0.5 kg), 粒状材料あるいはこれを含んだ混合物には3~5 LB. (1.5~2.5 kg) を採るべきである。

(2) 塑性試験; No. 40 篩を通過する風乾土について行う。液性限界 (L.L.) には A.A.S.H.O. T 89-42, A.S.T.M. D 423-49 塑性限界 (P.L.) は A.A.S.H.O. T 90-42, A.S.T.M. D 424-39 により塑性指数 (P.I.) を求める。通常 L.L. と P.I. とを以て土材料の塑性を代表している。

(3) 突固め試験; A.A.S.H.O. T 99-38, A.S.T.M. D 698-42 T, Modified A.A.S.H.O.

(4) 密度試験; 砂を使用した現場混合物試験, Soil Augar による試験孔による。

(5) 材料の要求; A.A.S.H.O. M 56-42, M 61-42, A.S.T.M. D 556-40 T, D 557-40 T.

a) 表層用材料の篩分析 (表-1)

表-1 表層用土壌骨材材料の篩分析
(通過重量比)

通過篩 (吋)	A 型 砂粘土 (モルタル (%)	B 型 砂利、碎石、鉍滓 (等粗粒粒度の骨 材 (%)	C 型 砂利、石或は鉍 滓を篩つたもの 或は砂 (%)
1	100	100	
3/4		85~100	100
3/8		65~100	
No. 4		55~85	70~100
No. 10	65~100	40~70	35~80
No. 40		25~45	25~50
No. 200		10~25	8~25

但し角のある粗骨材の多い時は圓いものより No. 10 篩通過分を多くすることが望ましい。

No. 10 篩通過のものには次の粒度が必要である。No. 10 篩通過 100%, No. 20 篩通過 55~90%, No. 40 篩通過 35~70%, No. 200 篩通過 8~25%。No. 40 篩を通過

するもので表層に用いられるものの塑性, $P.I. = 4 \sim 9$, $L.L. \leq 35$, No. 200 篩を通過するものは, No. 40 篩を通過するものの 2/3 より少ないこと。

b) 基層用材料の篩分析 (表-2)

表-2 基層用土壌骨材材料の篩分析
(通過重量比)

通過篩 (吋)	B 型 (砂利, 碎石, 礫等粗粒粒度の骨材)		
	最大 1 吋 (%)	最大 2 吋 (%)	最大 3 吋 (%)
3			100
2		100	65 ~ 100
1½		70 ~ 100	
1	100	55 ~ 85	45 ~ 75
¾	70 ~ 100	50 ~ 80	
½	50 ~ 80	40 ~ 70	30 ~ 60
No. 4	35 ~ 65	30 ~ 60	25 ~ 50
No. 10	25 ~ 50	20 ~ 50	20 ~ 40
No. 40	15 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 25
No. 200	5 ~ 15	5 ~ 15	3 ~ 10

A 型, C 型は表-1 中表層用の場合と同じ。

基層用材料の内, No. 40 篩を通過する材料の塑性, $P.I. \leq 6$, $L.L. \leq 25$, No. 200 篩を通過するものは全材料の 1/2 より多からず, No. 40 篩を通過するものは 2/3 より多くないことを要する。

塩化カルシウムを用いる場合には, A.S.T.M. D 98 の規定に合格すべきであつて, 量は次の通りである。

a) 路上混合の場合

フレーク状の塩化カルシウムは厚さ 1 吋 (2.54 cm) に付 0.5 LB/yD² (0.27 kg/M²), 材料は交互にひろげ細長く堆積するか, あるいは双の多い維持用の機械あるいは他の方法で均一に混合する。重量比で約 0.6% となる。

b) フラント混合の場合

フラント混合を終わった材料の湿分は重量の 5 ~ 8% で, 塩化カルシウムは土壌-骨材混合物 1 ton 当り 10 LBs (4.5 kg) を含ましめること。重量比で約 0.5% となる。

§ 3. 塩化カルシウムの土壌安定性 におよぼす影響

土壌-骨材混合物に塩化カルシウムを添加する時, 密度, 湿分含量, 突固め作業, 強度, 耐久性, 建設方法, 作業等におよぼす影響, 変化等を述べれば次の通りである。

(1) 密度および突固め作業

一般に土壌と塩化カルシウムの混合物を掘固めた密度は土壌のみの密度よりも高い。この密度の増加は乾燥土壌に加える塩化カルシウムの量によつて規定され, 殊に軽い突固めに対してこの効果は大である。すなわち塩化カルシウムを加えることにより輾壓の程度が少なくても, あるいは軽い輾壓機を用いても同一の輾壓程度を得られ, 同一程度の輾壓によればより大きな密度が得られる。その実験の二, 三は次の通りである (表-3 ~ 6, 図-1 ~ 4)。

表-3 試験土壌の物理的性質

種 別	比重	野外 湿分 含量 (%)	液性 限界	塑性 限界	塑性 指数	收缩 限界	細粒 比 (%)
アラバマ塑性土	2.64	18.0	26.0	15.0	11.0	13.0	47.1
アラバマ軽鬆土	2.66	18.0	24.0	N.P.	—	16.0	46.3
ノース, カロリ ナ 塑 性 土	2.64	25.0	30.0	21.0	9.0	18.0	33.0
ノース, カロリ ナ 軽 鬆 土	2.61	20.0	17.0	N.P.	—	N.S.	38.2
ヴァージニア 塑 性 土	2.66	22.0	30.0	16.0	14.0	14.0	57.4
ヴァージニア 軽 鬆 土	2.66	19.0	19.0	N.P.	—	N.S.	27.7

表-4 最適突固めにおける乾燥密度 (kg/m³)

塩化カルシウム 含 有 量 (%)	アラバマ 塑 性 土	アラバマ 軽 鬆 土	ノース, カロリナ 塑 性 土	ノース, カロリナ 軽 鬆 土	ヴァージ ニア塑性土	ヴァージ ニア軽鬆土	ハンマ ー重量 (LB)	落 高 (吋)
0	1,908	1,938	1,901	1,914	1,919	1,855		
½	1,962	1,981	1,880	1,932	1,960	1,842		
1	1,975	1,993	1,895	1,949	1,976	1,890	5.5	6
2	1,985	2,013	1,922	1,967	2,001	1,874		
3	2,009	2,026	1,941	1,978	2,021	1,890		
0	2,012	2,005	1,903	1,954	1,980	1,941		
½	2,034	2,037	1,930	1,985	2,026	1,951		
1	2,050	2,066	1,975	2,004	2,055	1,960	5.5	12
2	2,061	2,079	1,988	2,013	2,089	1,976		
3	2,072	2,082	2,002	2,025	2,103	2,012		
0	2,129	2,109	2,050	2,039	2,135	2,071		
½	2,140	2,132	2,028	2,052	2,143	2,079		
1	2,149	2,149	2,055	2,079	2,149	2,097	10	18
2	2,151	2,170	2,073	2,097	2,162	2,108		
3	2,169	2,178	2,084	2,114	2,174	2,116		

表-5 塩化カルシウム混合量と100% Proctor
突固めを得るに要するハンマー落下回数
比率 (重量 5.5 LBs, 落高 12 吋)

土の種類	塩化カルシウム混合量 (%)				
	0	1	2	3	
アラバマ 塑性土	100	75	63	54	48
アラバマ 軽鬆土	100	69	56	44	38
ノース・カロリナ 塑性土	100	82	68	56	42
ノース・カロリナ 軽鬆土	100	75	59	48	40
ウージニア 塑性土	100	79	65	48	36
ウージニア 軽鬆土	100	93	88	81	73

表-6 塩化カルシウム混合量と100% Modified
AASHO 突固めを得るに要するハンマー落下
回数比率 (重量 10 LBs, 落高 18 吋)

土の種類	塩化カルシウム混合量 (%)				
	0	1	2	3	
アラバマ 塑性土	100	92	84	75	69
アラバマ 軽鬆土	100	78	64	50	45
ノース・カロリナ 塑性土	100	81	68	56	48
ノース・カロリナ 軽鬆土	100	75	58	46	39
ウージニア 塑性土	100	81	68	52	40
ウージニア 軽鬆土	100	92	84	78	71

すなわち3%の塩化カルシウムを混合することにより
突固め回数を $\frac{1}{2}$ 以下に減じ得る場合がある。札幌にお
ける例によれば同量の混合により輾壓に際して約30%
多量の碎石を噛み込ませることができた。

(2) ウォーカピリティー

塩化カルシウムの添加による密度の増加と共に、針入

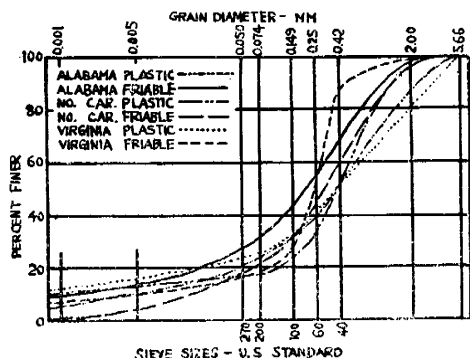


Figure 1 Grain size distribution
of six soils

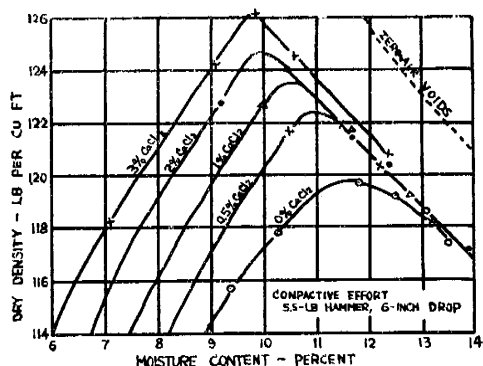


Figure 2 Compaction curves of
Virginia plastic soil

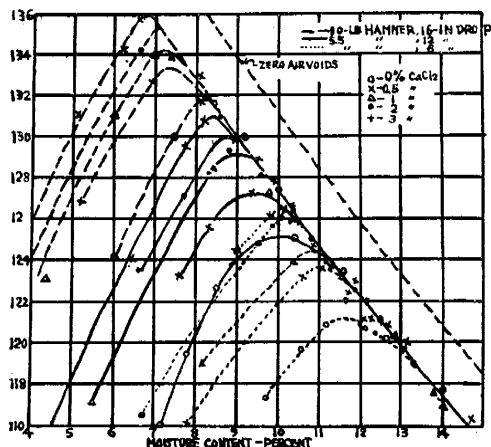


Figure 3 Compaction curves of
Alabama friable soil

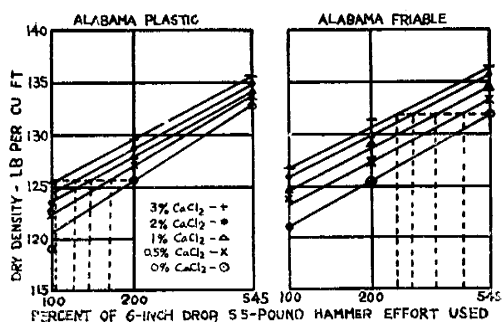


Figure 4 Relation between density
and compactive effort

抵抗が低下しウォーカピリティーを増す。このため粒状
材料の噛み合せ埋設が容易となり養生期間の突固めを促進
させる。これにより混合が容易となり通常の掻き混ぜの
 $\frac{2}{3}$ 程度でよいことが知られている。

(3) 保水性、防塵性

塩化カルシウムは大気中の相対湿度が30%以上なら

は常にこれから湿度を奪いこれを保持するから、細微質土は摩耗時に密実に附着維持されて塵埃を発生せしめず、材料の消費が比較的少ない。これは道路の両側に住む人々に取つて最も大きな利益の一つである。

(4) 養生、撒水

土質骨材混合物の混合と輾壓操作中、特に乾燥期においては塩化カルシウムを使用すれば所要水量は少なくともよい。これは過剰水による危険を防ぎその後の乾燥に時間および費用を要しない。また養生期間中乾燥のため表面の亀裂発生を防止する作用をする。すなわち塩化カルシウムを混合しない場合、夏期においては表面亀裂を防ぐため通常数日間撒水を必要とするが、塩化カルシウムを混合すればその必要は無くなる。

(5) 乾湿作用による体積変化

乾湿試験の結果、塩化カルシウムを含んだ供試体の湿分含有量は、これを含まないものよりも低いことがわかった。これは現場作業においては極めて重要なことで、表層あるいは基層の乾湿の交互作用による体積変化を減少させることができる。

(6) 液性限界と塑性限界の低下

(7) 凍上現象の予防

これらについては稿を新たにして述べることにする。

(8) 建設過程における利点

塩化カルシウムの混入により混合、敷均し、撒水、輾壓等において節約される費額は大きく、ほとんどその購入費を補つてなお余りある。また最も重要なことは、その建設過程において基層をたとえ暑熱乾燥の時期でも何等表面を被覆せずに数箇月間表層として放置できることである。これについては1949年約20哩の基層を暑い湿潤期に施工した例がある。

(9) 耐久性能

通常、基層には数多くの壺孔とか波状を生じ、これらは表層の下の塗り前の前に撒均し、輾壓を行わなければならない。また風で吹き飛ばされたりして失つた細微土を補充する必要を生ずる。しかし塩化カルシウムで処理した基層では波状を生ぜず、また壺孔も比較的少ない。しかし全面に厚混合物の最大支持力は養生後、最初の15%程度減少したことの報告があるが、これは土質による処が極めて多いと考えられる。

§ 4. 土壌—骨材混合物の塩化カルシウム処理法

(1) 塩化カルシウム処理量

一般に処理深さは3~5吋(7.5~13cm)、所要の処理量は土壌混合物重量の1~3%が普通とされている。今土壌の密度を 1.600 kg/m^3 とすればその処理量は次の通りとなる。

処理量(%)	1	2	3
--------	---	---	---

処理深(cm)	10	10	10
処理量(kg/m ²)	1.6	3.2	4.8

これは突固め操作を考えた場合であつて、凍上防止を考えた場合にはまた別な観点から処理量を決定する必要がある。

(2) 塩化カルシウム処理法

塩化カルシウムで基層を処理する方法の概略を述べれば次の通りである。

a) 路上混合

路上混合は表層および基層用に配合した土壌—骨材混合物の成分を直接路盤上あるいは Subbase 上で機械によつて混合して行く。バインダー土壌が道路、路肩、斜面あるいはかなり面積の浅い土取場から得られるならば、乾燥すれば速かに粉末になるように薄く切取り、攪拌するか、撒均すかして土塊を除くことが有利である。道路表面に撒げられたバインダー土壌は湿り過ぎてすぐに粉末にできなければ乾燥させる。乾燥した土はその100%が1吋目の篩を通り、少なくとも80%が4番篩を通る迄ディスクングするか輾壓して破碎し、その後道路の片側に細長く横き集め堆積する。

次に粒度を整えた骨材を量測つて道路上に運び、適当な配合のバインダー土を骨材の上に撒均し、塩化カルシウムを輾壓した厚さ1吋に付 LB/yd^2 (厚2.5cmに付 0.27 kg/m^2)の割合に撒げ、全体を路上で撒均しグレーダー、ディスク、刃の多いメンテナーあるいは他の適切な混合装置で混合する。この混合作業の後で湿分が最適含水量以下であつたならば、含水量最適より幾分上廻る位混合物の上に水を均一に撒布する。混合作業は水が全体に均一に混ざる迄続行し、しかる後これを路上に撒均し成形して輾壓によつて締固める。混合物を厚4吋(10.2cm)を超えない程度の層に撒げた時には平滑な鋼鉄のローラーあるいは空気入りタイヤのローラーが好ましいが、混合物を撒げた層の厚さがもつと大ならば、最初の締固めにはタンピングローラーを用いるべきである。8吋(20.3cm)以上の厚さの層は何層かにして締固めなければならない。締固め作業中表面は平滑に撒均し、出来上つた路面が所望の路型、および断面を有するように成形すべきである。横断勾配は少なくとも4.2%がよいとされている。

土壌—骨材混合物の成分の撒均し混合においては、路盤あるいは路肩から幾分でも余分の土壌を削り取らないことが非常に大切である。そうでないとバインダー土を過剰にして次々に破損を生ずる原因となる。

b) プラント混合

中央混合設備あるいは道路沿いの可搬式設備による混合であつて、路上混合によるより費用は幾分高いが次のような利益がある。すなわち、(1)一そう均一な混合物が

得られる。(2) 雨季が長引けば路上混合では粘土の効果的な取扱いが遅れるが、プラント混合では気象条件による影響が比較的少ない。(3) 交通に対する障害の程度が少ない。(4) 混合物に必要な水を供給する費用が少なく比較的便利である。(5) 路上に施工用の機械が少ない。(6) 混合物の成分のコントロールが比較的容易である。

安定処理用混合物の生産に必要なプラントの機械は、篩分けおよび破碎設備の外、材料と操作方法の性質によつて変化する。この操作は主としてバインダー土壌を粉末にしたもの、粒度を整えた骨材、塩化カルシウムと水をミキサ内に供給することで、ミキサではこれらが均一に練り合わされ、直ちにトラックに積込むかあるいは貯蔵槽内に入れる。

最も普通に採用される操作では、バインダー土壌はホッパー内にあげ、ここから重力によりスクリュコンベヤーに供給し、スクリュコンベヤーは直接かあるいは中継のベルトコンベヤーで破碎機内に均一の割合で供給する。破碎機のユニットは上下2対のローラーから成り、上の方の1対の内1本の径は他より大で表面は平滑であり緩速度で回転し、もう1本はより高速度で回転し、その表面には縦断方向にナイフを取付けた小径のローラーである。下方の1対はクラッシュローラーの作用をし、滑面と同径である。このユニットは20%迄の水分を含んだバインダー土壌に用いる。しかし材料が乾燥していれば最も完全な破碎ができるが、人工的の乾燥は必要としない場合が多い。

粒度を整えた骨材は粉末にしたバインダー土壌と共にコントロールした補給によつて貯蔵用ホッパーから通常バグミル型のミキサ内に入る。塩化カルシウムは人手あるいはコントロールしたベルトコンベヤーあるいは重力による補給用ホッパーから補給する。また所要の水を供給する配管を要する。

バグミルは材料を連続的に混合し、同時にミルを通じて出口に混合物を運ぶような角度に取付けてなお附け換えてできる奴のある縦断方向の軸を有する。出口には練り合せの終わった混合物を取つて、ベルトあるいはバケツ式コンベヤーによつて貯蔵用ビンに入れるかあるいはビット内に落し、これからクラムシエル型の掴みによつてトラックに積込む。

c) 他の設備および方法

場所によつて凹所および採石場に積み過ぎた土は、振動篩を通して芝あるいは石を去除く時、充分粉末になるような適切な砂および粘土から成つていことがある。バインダー用の土によつてはスクリュ型フィーダーよりもプレートフィーダーを用いる方がよいこともある。プラントによつては骨材およびバインダー用の土はクラムシエルあるいはパワージョベルで数回操作して配合

し、部分的に混合することもある。

コンクリートの骨材用に設計したパッチャープラントは配合および混合に用いてもよい。湿つたバインダー用の土を取扱う方法はスクリュフィーダーを用いなくてもよい。バインダー用の土は水と共にホッパーから開閉を囲んだバグミルの中に入れられる。このバインダーと水とはこの中で充分濃いペーストとなる配合であつて、ペーストはControlした割合で押出され、整粒した骨材の流れと共に約1時半間隔に設置した1時のローラーの間を通過させる。これらは2台のバグミルを通過し、必要に応じて水を加えられる。この操作中にバインダー用の土は完全に破壊され均一な混合を得ることが出来る。このような装置を備えた可搬式安定処理用のプラントは米国では既に生産され使用されている。

混合にはまた可搬式のミキサも用いられる。これは道路沿いに移動し乍ら骨材とバインダー用の土とを道路上の細長い堆積から掴み上げ、バグミル内で水と混合し、これを更に細長く堆積するかあるいは直ちに鋪設場所に拡げる。

プラントで混合した材料を路面上に拡げた後は前述のようにして突固める。ある所ではBlack Topの建設に通常用いられる撒布機械が土壌—骨材混合物を打設するのに極めて適していることがわかつた。この混合物は通常3吋(7.6 cm)の層に掛け輾壓して所望の突固め度合を得る。

安定処理基層上に瀝青処理をする場合、基層となるべき土壌—骨材混合物の基礎は約1週間か、あるいは表面に骨材のモザイクが現われる迄充分養生すべきである。この時期を観測することに失敗すれば材料固有の強度の発揮を妨げ、最初の湿潤季に破損する結果となる。

土壌—骨材混合物による安定処理の施工中屢々論議された設計上の欠陥は多くはその施工の環境にあつて、その内容は次の通りである。

(1) 土壌—骨材混合物は交通を許している区間において連続的に湿潤な気象の時に施工してはならない。微土は交通によつて路面上に運ばれ、その表面は土のバインダーが多過ぎるように見える。雨季に施工する時は、交通は迂迴させ、建設工事に必要な交通を考へてプラントに向つて施工する方がよい。乾季になつたら交通に開放し、充分突固められる迄維持すること。

(2) 土壌—骨材混合物の施工は春秋の雨季中は原則として制限しなければならない。塩化カルシウムを規定量含有する混合物は、その内のクロライドが凍結を妨げるから、晩秋の凍結季にも施工することができる。但しこの場合、瀝青質表面の塗装は勿論翌年の夏迄遅らせるべきである。

(3) 若し土壌—骨材混合物を凍結した路盤上に施工す

るならば、春の融解中荷重制限を厳重に励行しなければならない。同時に突固め操作中は注意深くコントロールし、弱点は速やかに修理すべきである。

(4) 冬季間を通じて基層を施工するならば、その年の秋冬および春の期間中に路頂を増加するように考える。路頂が扁平であると湿潤季に路面の輪損を多くする。路頂を減ずる必要があれば、これは前の春になすべきで基層は瀝青質表層を施工する前に充分突固めること。

(5) 充分な側溝および形の整った両路肩は安定処理路面にはぜひ必要である。

§5. 安定処理道の維持

土壌—骨材混合物によって築造した道路の維持を支配する基本理論は次の通りである。

(1) 表面は滑らか、確固で、緩んだ材料が無いように維持する。

(2) 幅1 m 当り4 cm の変形A の最初の横断勾配は常に保つ。

(3) 表面の風化、破損は塩化カルシウムを用いて最小にすべきである。維持を少なくしようとすればこの種安定処理道は過期的に播均らしを実施すべきである。一般に路面を湿らすに充分な程度の小雨が降る時には、道路の中央から側方に向つてかなり軽く播均す。これによつて凸部、凹部および他の小さな不規則性を無くすることができる。降雨後、路面上および側方に集めた材料は湿っているが、しかし未だ路面が泥土化するかあるいはこるようになる位湿り過ぎない間に、緩んだ材料は道路に播戻し適当な路底を形成すべきである。最後の播均しおよび仕上げは表面が交通によつて突固められている間継続すべきである。

路面が泥濘化し、走り易くなる程度の豪雨が降つた時には、路面上の不安定な材料は側方に播集めここに溜めておくべきである。降雨中あるいは表面が極端に湿っている時には、路側から路底部に向つて播均しをしてはならない。この材料が突固めに充分な程度乾燥したならば、すぐに播戻して適当に成形すべきである。最後の播均しおよび仕上げは、表面が交通によつて締固められている間は継続すべきである。曲線区間のカントは交通上常に維持しなければならず、曲線の内側から外側に向つて掻き上げるべきである。夏の多いメインテナーは輪軸距離が長く最終仕上げには最良である。維持には路面が湿っている時のみ用いるのである。

これらの維持作業に塩化カルシウムを用いれば次の3目的を達することができる。

- (1) 旅行者及道路沿い住民に迷惑な塵埃を減少する。
- (2) 路面の材料の確保
- (3) 安定材料に締合力を追加する。

その施工法は通常機械を用いて均一に春季0.54 kg/m²

の量を撒布し、夏季には0.27 kg/m² の割合で少なくとも2回撒布するのである。しかし降雨と交通量とは用いる量に直接の影響を有している。

塩化カルシウムを撒布する最良の時期は、雨後必要な播均し操作が済んでからである。降雨迄塩化カルシウム撒布を遅延できなければ、より高い湿度で速かに溶け渗透するように夜間か早朝に施工すべきである。塩化カルシウムはフレーク状のものをを用いるので、米国の数州では撒水した後にこれを撒布する処もある。また塩類の溶液にして撒布する場合もある。

§6. 塩化カルシウムによる安定処理の実施例

前節に述べたものは A.R.B.A. (米国道路建設業協会) の委員会において作製した一応の規準とも見られるものであるが、なお、三の実施例を挙げて参考に資したい。

(1) ヴァージニア海岸道路砂質粘土の安定処理(1948年度)

延長約35哩(56 km)の改良で、断面は厚10吋(25.4 cm)の安定処理砂質粘土の基層と2層のアスファルト系摩耗層とから成る。この基層用の材料は附近の採取場から得られ5吋(12.7 cm)ずつ2層に施工したが、塩化カルシウムはその上層に処理した。全計画延長3,000呎を1,000呎ずつ3工区に分け、第1工区は塩化カルシウムを1.35 kg/m²、第3工区は2.7 kg/m²の量で処理し、これらの中間に在る第2工区は塩化カルシウムの処理は行わなかつた。基層用材料は U.S.P.R.A. の分級では A—2 に規定される一様な良質の砂質粘土で、液性限界21.8、塑性指数4.7、最適含水量9.2%で、標準 Proctor 密度は2,050 kg/m³であつた。

道路断面は最初近似的に勾配と縦断面がつけられ、その上に規定量のフレーク状の塩化カルシウムを一様に撒布し、Seaman の Pulvi-Mixer による攪土法で土層の12.7 cm に充分混合し突固めたが、この際適量の水を加えた。突固めの後、直ちに交通に開放し、18日間養生した後整形して、アスファルトの摩耗層を敷設した。この養生期間中、塩化カルシウム処理の工区では数回の軽い播均しを行い、処理しない工区では塵埃防止のために水を加えた。突固めは自動半型輾壓機およびゴムタイヤの動力牽引車で施工し、突固め操作に行つた第1回の密度試験では標準 proctor 密度の約100%であつた。突固め直後の3工区の密度比較は表-7の通りである。

表—7 塩化カルシウム使用量と輾壓密度

工 区 別	塩化カルシウム量 (kg/m ²)	輾 壓 密 度 (kg/m ³)
第 1 工 区	1.35	2,082
第 2 工 区	—	2,050
第 3 工 区	2.70	2,011

(2) テキサス州フォックス県砕石安定基層の安定処理 (1950年報告)

有名な T.V.A. のある州でこの県には 1,800 哩以上の道路網があり、低廉な道路の建造工法を探求して現地産の材料の活用にあるという見地から、附近に無尽蔵に産出する石灰岩を用い塩化カルシウム安定処理を行つた基層を建設している。色々実験した結果、全体の基層材料の配合として表-8 のものを採用した。この中、最右端の欄は現在用いている程度を示し、No. 200 篩を通るも

表-8 配 合

篩 目	通過量標準 (%)	使用中のもの (%)
1	100	100
2	80~90	95
4	50~90	77
No. 4	36~65	61
No. 10	22~50	38
No. 40	15~30	16
No. 200	5~15	5

のが少ないが、建設費を最小限に押えられた場合、この地方産材料で我慢しなければならぬとしてこれを用いている。すなわちこの材料はクランシーを通り篩わない石を約 60%、石灰岩屑を約 40% 混合して得られるので、最も適切な粒度組成を得るためにはバインダー土を加える必要があるが、実施ができないのでこのままにした。その理由は、この附近の土は極端な重粘土で粉末にできず合成骨材とするため均一に混ぜることが困難なことにある。

この地方では、道路上に 1 日 100 台以下から 5,000 台以上の交通量のあるものがある。これらは少なくとも厚 15 cm の表面層を必要としており、7.5 cm を超えない層は力不足であるべきである。

この基層築造の順序は次の通りである。

- a) 厚 6 cm を規定しつつ粗骨材を路上に撒布する。
- b) 続いて石灰岩屑を同様に、その上加える。
- c) 最上の層 7.5 cm の厚さ毎に 0.54 kg/m^2 の割合で 50-60 フレーク状の塩化カルシウムを撒布する。これは骨材撒布の延長 1.6 km を最大限度とし、最小 0.8 km をおいて後に行う。
- d) 材料は全部混合する迄標準方法によつて端から端迄撹拌せしめる。この時必要に応じて水を加える。
- e) 材料を適当に混合した後、風乾し養生する。正規の養生には 2 日間を要する。この期間中に他の混合作業が行われてもよい。
- f) 養生が終つたならば、適当な勾配と路頂を取るよ

うに撹拌し成形して、輾壓して作業を終る。

g) 輾壓した時、第 2 の層を加えるかあるいは下塗 (Priming) する前に基層を再び養生する。正規には、塩化カルシウムを用いる時には、この養生期間中に水を濯ぐ必要はないが、余り早く乾燥させないようにすることが大切である。

この工法は随分討議された結果、確かに望ましく、経済的であることが知られたのである。この場合の結論は次の通り。

- a) 骨材の混合がより容易で、撹拌しは約 60% 位で充分の効果を挙げることができる。
- b) 輾壓して得られた密度は大きく、塩化カルシウムを用いない砕石の基層の輾壓回数の約 $1/3$ でよい。
- c) 混合および輾壓作業中、特に酷暑中の撒水は少なくともよい。これは撒水量を少なくし、費用の高い乾燥作業を要しない。
- d) 塩化カルシウムを用いなければ酷暑中には表面の亀裂を防ぐため、数日間基層上に注水する必要があるが、塩化カルシウムを用いればこの必要のないのが普通である。

- e) 塩化カルシウムは湿分を吸収し、これを保持するから、細微土が表面に維持される。
- f) 道路面に塵埃が立たない。
- g) 凍害に対して効果的な対策となつた。
- h) 混合、敷設、撒水および輾壓に節約できた費額はほとんどその購買費用を償つて余りある。

i) 最も重要な利益の一つは、数箇月以内に基層に表層を施工できない時に表われる。前年の夏約 32 km の基層を 2~5 箇月間、下塗あるいは表層処理を施工しないで酷暑の乾燥季に放置しても、通常の場合のような液状あるいは輪漕を生ぜず、撹拌し作業をせずに表層を施工することができた。

またある試験区間では、この基層のままで越冬したが、5% 近い横断勾配を与えていたので破損は無かつた。

(3) ミシガン州ゼネシー県の砂利道安定処理 (1952 年報告)

この県はデトロイト市の北約 100 km の寒い所で、人口約 27 万、道路総延長 2,456 km 中 1,680 km が砂利道で、道路延長 1.6 km 当り自動車数は 80 台であつてこの維持に手を焼いて塩化カルシウムで安定処理をした。

土質はシルト質粘土で 35% 以上が No. 200 篩を通過するものであつたが、3 年間実施し好結果を得たという。

ここでは塩化カルシウムを溶液にして用いているが、1951 年には 38% 溶液で 11,356 キロリットルすなわちフレークで 9,700 トンを用いた。施用割合は、地方道には 1 km 当り溶液 7.1 キロリットルすなわち 5.5 フレークトンで、これを 3 回に分け 1 回溶液で 2.37 キロリットルづ

つ、また一級道には1 km 当り約 9.5 キロリットル、すなわち 7.28 フレクトン³を3回に撒布した。

1 km 当り 11.6 キロリットルの施用には 7.6 キロリットル入撒布機 8 台に Positive Displacement Pump を設備した。このポンプは 1 回転に 1.74 リットルを放出する。このポンプの運転軸は自転車チェーンで直接撒布機の後輪に密着した歯輪に連結し、撒布機の前進と同期運転をするようになっている。撒布機は第 1 回の往行運転には 1 km 当り 1.18 キロリットルを道路の片側に、第 2 回の復行運転にはもう一方の側に 1.18 キロリットル撒布する。この時道路の中央には約 60 cm の重複を保ち、最大摩耗の起るこの場所に塩化カルシウムを追加した形を取り、降雨の際には路側に流れるようにした。第 3 回は 1 km 当り 3.55 キロリットルすなわち 4.37 フレクトン³を中央に撒布して、この点の摩耗を防ぐようにした。

塩化カルシウムの取り扱いを容易にするために、外郭地域に約 160 キロリットル入の水槽を 2 個設備し、中央地区には約 76 キロリットル入の水槽を備え、夏季中これらは常に満水し、これから直接撒布機に供給した。この型の安定処理に関連して、粘土分が欠乏した時には砂利を掘上げて必要量の粘土を加えて、Pulvi-Mixer を通してよく混合し、1 km 当り 4.7 キロリットルすなわち 3.64 フレクトン³の塩化カルシウムを加える。

また、高級舗装道路を新しく築造する時の Subbase の安定処理にも塩化カルシウムを用いているが、これには 16.8 km の第 1 段階の工事が 1951 年に施工され、フレクの塩化カルシウムが安定骨材 1 トン当り約 4.7 kg の割合で加えた。この場合にはプラント混合で、ミシガン州道路局の設計により、設計配合に 7 種の塑性指数を用いた。第 2 段階の工事にはもう少し配合割合を多くした。これによつて塩化カルシウムの経済価値が高く評価され、1948 年塩化カルシウムを用いなかつた時の維持費に対して、1949 年これを施工した時のそれは 19.2% の節約を示していた。

(4) イルノイ州の砂利道の安定処理 (1953 年報告)

デューパゲーイン県線の 6.56 m (20 呎) 幅員の町道約 4 km を 3 日間に安定処理を施工した。この古い砂利道は比較的軽交通用であるが、その維持は時々問題になつた。他の緩んだ砂利の町道と同じように、交通、風および気象の総合作用によつて年々失われていた。この状態はわが国には何処にでもあるもので非常に参考になる。この砂利の補給は絶えない問題で、安定な気象に耐え得る道路で塵埃の無い表面を造成し、少なくとも向う 5 年間以上は維持が少なくなることがわかつた。

安定処理の第 1 段階はバインダーを含む砂利の 5.1 cm の層を加え 10.2 cm 迄掻き起し、適当な横断勾配にし最適含水量近くになる迄散水し、ついで自動ロータリー

式ミキサ式播種機で 3.41 m (7 呎) の幅に充分路上混合した。それから塩分を 1 km 当り 2.43 トンすなわち約 2.53 kg/m² の割合でトラックに載せた水圧式撒布機で撒布し、上層 10.2 cm の土—砂利混合物と共にロータリーミキサで充分掻き混ぜた。これは 3 回往復して 6.56 m 幅の路面を仕上げた。

続いて 8 輪の空気入りタイヤのローラーで締めたのであるが、土—砂利—塩類混合物は適当な湿分含量を試験した。これは簡単な手動試験で、掌一杯の材料を球形に締めつけた時これが形を崩さず、圧力を解いた時に碎けない状態を限界とする。

輾壓が進んで安定処理表面がしつかり合着した後、表面を充分湿らす程度に水を噴霧し、なお輾壓を續けて表面の過剰水が消失する迄に至つて終る。

この塩類による安定処理は路面を緊めて硬くし、表面を取り壊さなければ普通のパトロールグレーダーでは成形し直すことができない。その結果、凍結融解および交通による破損は同じ配合の土—砂利—塩類混合物をロータリーミキサで混合したものでパッチングする程度の維持に限定されるのである。

この工法の利点は、塩類のブライン溶液と水の混合物は砂利の潤滑材として作用しそのウオーカビリティーをよくする。そのため材料をかなり高度の密度および防水性を有するように締固められる。締固めの後、塩類は再び結晶し骨材粒子表面に薄い被膜を形成する。この被膜は混合物内の湿分の移動を減ずると考えられ、乾燥し過ぎたり湿り過ぎたりすることを防ぐのである。その上凍上作用を起す温度を下げるといつてゐる。

§ 7. 安定処理剤としての塩化カルシウムの性質

安定処理剤としての塩類は塩化カルシウムと塩化ナトリウムが最も手近かに得られるが、この両者の安定処理剤としての諸性質を述べることにする。

(1) 溶解度

一般に水に対する物質の溶解度は、水の蒸気圧、表面張力、凍結点、比重等が物質の溶解によつて変化され得る範囲を大きく決定する。溶液中の溶質の量が多ければ多いほど、純水に対して溶液の変化の程度が大きい。塩化カルシウムと塩化ナトリウムとでは水温に対する溶解度は著しく異なり (表-9 および 10)、後者が 100 cc の水中で 0°C で 35.7 g、100°C で 39.8 g で差が無いのに比し、前者は夫々 59.5 g と 159 g の溶解量で、0°C では後者の 1.5 倍、100°C では 4 倍にも達する。これは土壌中の水の移動に伴う塩分の移動を知り得、また水温を上げることによつて余分の水量を減じて、実質量を増加せしめることができて施工中の操作の範囲が広いことを意味し、更に低温度時の濃度は氷点降下に関係する。

表-9 鹽化カルシウムの水に對する溶解度

組 成	溫 度 (°C)	H ₂ O 1,000g 當り Mol 數	同 藥 劑 重 量 (g) *
CaCl ₂ ·6H ₂ O	-50	3.92	85.9
	-40	4.13	90.5
	-30	4.36	95.5
	-20	4.64	101.7
	-10	4.96	108.8
	0	5.35	117.3
	10	5.85	128.2
	20	6.70	146.9
	30.2	9.25	202.7
CaCl ₂ ·2H ₂ O	40	11.5	169.0
	60	12.3	180.8
	80	13.2	194.0
	100	14.2	208.7

* 藥劑の重量は含水量のみに基づく

表-10 鹽化ナトリウムの水に對する溶解度

組 成	溫 度 (°C)	H ₂ O 1,000g 當り Mol 數	同 藥 劑 重 量 (g) *
NaCl·2H ₂ O	-20	5.28	49.9
	-15	5.48	51.8
	-10	5.69	53.8
	-5	5.90	55.8
NaCl	0	6.10	35.6
	5	6.10	35.6
	10	6.11	35.7
	20	6.13	35.8
	40	6.22	36.4
	60	6.33	37.0
	80	6.50	38.0
	100	6.70	39.2

* 藥劑の重量は含水量のみに基づく

(2) 吸 湿 性

土壌安定処理上化学藥劑の必要な性質の内重要なものの一つは吸湿性である。これによつて処理混合物の含水量を多少共一定に保ち、このために混合物中の過剰な収縮と膨脹を防ぐ作用をする。また蒸発作用による湿気の消失を遅延させる藥劑の能力は土の凝固に重要である。安定処理の行われている期間中道路材料から湿気の蒸発の速やかな状態では、建設後道路散砂利の充分あるいは完全な輦壓は不可能といふ迄も非常に困難である。しかし塩化カルシウムは日中の暑い時、路面からの湿分の蒸発を遅らせるのみならず、実際には夜間あるいは他の適当な湿潤状態では失つた湿分を恢復する。塩化カルシウムは吸湿性のみならず潮解性をも有している。潮解性は空氣中から湿分を吸収、吸着することにより液状となる性質をいい、吸湿性は水分を容易に吸着して保持する性質をいう。これらの性質は空氣中の相對湿度および温度に密接な関係がある(表-11, 12)。

塩化ナトリウムはこのような性質が少ない。

(3) 蒸 気 壓

表-11 鹽化カルシウムの潮解性

(一定温度、鹽化カルシウムの溶解する最低値相對湿度)

相 對 濕 度 (%)	溫 度 (°F)	溫 度 (°C)
20	100	37.8
30	74	23.3
40	44	6.7
43	32	0

表-12 鹽化カルシウムの吸着性

(異なる温度においてフレーク狀の鹽化カルシウムの補える水量)

相 對 濕 度 (%)	鹽化カルシウムの 補 える 水 量 (kg)
36	1.0
60	1.6
70	2.0
80	2.8
85	3.5
90	5.0
95	8.4

但し温度は 77°F (25°C)

蒸気壓とは物質の液体あるいは固体の狀態から氣體に変化する傾向を示し、また藥劑の水溶液の蒸気壓は水のそれより小であるから、水に溶けている藥劑が多いほど、与えられた条件の下では水の蒸発は少なくなる。飽和した塩化カルシウム溶液は室温で水の約 30% の蒸気壓を有している。それ故、塩化カルシウムが 30% 以上の相對湿度を有する大氣と接触した時には常に湿度を吸収し、他方 30% 以下の場合には乾燥狀態を続ける。この数字は塩化ナトリウムでは 80% 前後である。この事実から固体塩類の限界湿度の概念が生まれる。限界湿度以上の時には湿分を含んで居り、これ以下の時は乾燥狀態を保つのである。表-13, 14 は塩化ナトリウムと塩化

表-13 水と比較した鹽化カルシウム溶液の蒸気壓低下

溫 度 (°C)	H ₂ O 1,000g 中の CaCl ₂ の Mol 數	同 左 中 の CaCl ₂ の 重 量 (g)	H ₂ O 1,000g 中 の 1 Mol 當り 蒸 気 壓 低 下 (%)
0	2.5	27.7	8.23
	3.5	38.8	9.17
	6.0	66.6	10.62
	11.0	122.1	8.10
40	1.0	11.1	5.75
	3.0	33.3	8.35
	6.0	66.6	9.76
	12.0	133.2	7.14
70	1.0	11.1	5.37
	3.0	33.3	7.72
	6.0	66.6	9.12
	12.0	133.2	6.78
100	1.0	11.1	5.00
	6.0	66.6	8.40
	14.0	155.4	5.71

表—14 水と比較した鹽化ナトリウム
溶液の蒸気壓低下

温 度 (°C)	H ₂ O 1,000 g 中の CaCl ₂ の Mol 数	同 左 中 の CaCl ₂ の重量 (g)	H ₂ O 1,000g 中 の 1 Mol 當り 蒸 気 壓 低 下 (%)
0	4.0	23.3	3.76
	5.0	29.2	3.92
	5.8	33.8	3.99
20~25	0.1	0.6	3.29
	1.0	5.8	3.30
	2.0	11.7	3.42
	5.0	29.2	3.87
80	6.0	35.0	3.99
	4.0	23.3	3.65
	5.0	29.2	3.79
100	6.0	35.0	3.91
	2.5	14.6	3.47
	4.0	23.3	3.62
	5.0	29.2	3.76
	6.7	39.1	3.89

カルシウムの同じ温度における水の蒸気壓と異なつた温度と種々の濃度の溶液の蒸気壓との比較を示している。

(4) 表面張力

液体表面の分子は表面の上あるいは下からの同量の分子には吸引されない。その結果液体の主な部分によくついていて、液体の上に堅く膜がつた弾性的な被膜を形成している。この現象が表面張力である。塩化カルシウムおよび塩化ナトリウムの水溶液は純水よりも表面張力が大である。この性質は安定処理道からの水の蒸発を少なくするのに効果があり、土壤粒子を包む水分の被膜は純水の膜よりも強い。表-15, 16 は塩化カルシウムおよび塩化ナトリウム水溶液の表面張力を示す。

表—15 氣温 25°C における鹽化カルシウム
水溶液の表面張力

	Δr の 値								
M	0.1	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	11.2
W	1.1	5.6	11.1	22.2	33.3	44.4	55.5	77.7	124.3
Δr	0.35	1.52	3.2	6.9	11.0	14.95	18.4	25.1	35.0

$M = \text{H}_2\text{O} 1,000 \text{ g}$ 中の CaCl_2 の Mol 数

$W = \text{H}_2\text{O} 1,000 \text{ g}$ 中の CaCl_2 の重量 (g)

$\Delta r = \text{水溶液の表面張力と同温度における } \text{H}_2\text{O}$
の表面張力との差 (Dyne/CM)

但し 25°C における H_2O の

表面張力 $r = 71.97 \text{ Dyne/CM}$

表—16 氣温 20°C における鹽化ナトリウム
水溶液の表面張力

	Δr の 値							
M	0.1	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
W	0.6	2.9	5.8	11.7	17.5	23.3	29.2	35.0
Δr	0.17	0.82	1.64	3.28	4.92	6.51	8.17	9.80

$M = \text{H}_2\text{O} 1,000 \text{ g}$ 中の NaCl の Mol 数

$W = \text{H}_2\text{O} 1,000 \text{ g}$ 中の NaCl の重量 (g)

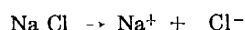
$\Delta r = \text{水溶液の表面張力と同温度における } \text{H}_2\text{O}$
の表面張力との差 (Dyne/CM)

但し 20°C における H_2O の

表面張力 $r = 72.75 \text{ Dyne/CM}$

(5) 氷 点

水溶性のイオン化合物を用いて土中の凍上を減少させることは基層の土に対するよりも、路盤の土に処理する方がより重要である。一般に純水は 0°C で凍結するが溶解性物質を加えれば氷点を下げる。しかし溶解性でもイオン化しない物質、たとえば砂糖を 1 モル、1 ℓ の純水に溶かせば約 -1.86°C で凍結する。塩化カルシウムおよび塩化ナトリウムは典型的な塩類で、水溶液中では完全にイオン化し次の通りである。



すなわち 1 個の塩化カルシウムの分子は 3 箇のイオンを生じ、塩化ナトリウムは 2 箇のイオンを生ずる。純水 1 ℓ 中に塩化カルシウムの 1 モル (111 g) を加えれば 11 % の溶液となり、この溶液の氷点を -5.58°C 附近迄下げる。この値はイオン化しない物質の溶液の約 3 倍の降下である。同様に塩化ナトリウムの 1 モル (58.5 g) を純水 1 ℓ に加えれば 5.5 % の溶液となり、溶液の氷点を -3.72°C に下げる。これはイオン化しない物質の溶液の氷点降下の 2 倍であり、イオンの数に比例する。

また薬剤の使用による水の氷点降下は土、薬剤および水の混合物の氷点降下はこの理論値よりも大きい。表-17, 18 は塩化カルシウムあるいは塩化ナトリウム水溶液の氷点の範囲を示す。

表—17 鹽化カルシウム溶液の氷点降下

	$\Delta t/M$ の 値							
M	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	4.325 E^x
W	1.1	2.2	3.3	5.6	11.1	22.2	33.3	48.0
$\Delta t/M$	4.832	4.78	4.78	4.98	5.8	7.6	9.3	11.79

$M, W = \text{表-15 と同じ}$

$\Delta t/M = \text{H}_2\text{O} 1,000 \text{ g}$ 中の 1 Mol 當り氷点降下 (°C)

$E^x = \text{共融, 氷} + \text{Ca Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

表—18 鹽化ナトリウム溶液の氷点降下

	$\Delta t/M$ の 値							
M	0.1	0.4	0.7	1.0	2.0	3.0	4.0	5.20 E^x
W	0.6	2.3	4.1	5.8	11.7	17.5	23.3	30.4
$\Delta t/M$	3.478	3.38	3.36	3.37	3.45	3.60	3.78	4.061

$M, W = \text{表-16 と同じ}$

$\Delta t/M = \text{H}_2\text{O} 1,000 \text{ g}$ 中の 1 Mol 當り氷点降下 (°C)

$E^x = \text{共融, 氷} + \text{Na Cl} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

(6) 土と水の混合物の密度

安定処理混合物内の薬品は湿分含量を保つように作用し、適当な条件下では混合物の突固めを有効にする。一例によれば一連の突固め試験で同一の突固め効力では水単味と塩化カルシウムで処理した土とは 1.554 kg/m^3 、および 1.730 kg/m^3 の重量があるとしている。この増加重量に相当する体積は、処理しない土壌中では空隙となつていて、これに過剰水が浸入して湿潤となり基層あるいは路盤に有害である。従つてこの11%の重量の増加は大きな意義を有する。薬剤を加えて得た土と水の混合物の密度の増加は疑も無く純水に比較して空隙を満す薬剤溶液の比重の増加に基づくものである。表-19 は塩化カルシウムおよび塩化ナトリウム溶液の種々の濃度の時の比重を示す。

表-19 20°C における塩化カルシウム及び
塩化ナトリウム溶液の比重

溶液中の薬剤の重量比 (%)	5	10	15	20	25	30
溶液の比重 (g/ml)						
塩化カルシウム	1.040	1.084	1.130	1.179	1.230	1.284
塩化ナトリウム	1.034	1.071	1.109	1.148	1.189	—

(7) 集凝力 (Flocculating Power)

薬剤の集凝力は土壌安定に極めて重要な性質である。土中の粘土破片は化学的には活性で、砂およびシルトの破片は化学的活性が少ない。塩化カルシウム又は塩化ナトリウムのような電解質の薬剤の水溶液は、コロイド質の粘土粒子に接触した時に粒子を集凝するか、あるいはこれを引き離し、土を更に不透水的にするか、透水性を増加させる。土のコロイドは負に荷電され、薬剤の正荷電を有するイオンはこれと吸着するから、負イオンよりもこのような現象には重要性が大である。

原子価が1, 2 および 3 の原子の集凝力は 1:35:1.023 である。すなわち2価の Ca^{++} は1価の Na^+ よりも明らかに強力な集凝性を有している。

また一方、Masimovich は土の膨潤性が高ければ高いほど、塩類による影響は大であるといつてゐる。これによれば次のものは膨潤性の大きい方から小さい方に向つた順序である。ベントナイト、シエルクゼム、重粘ボドゾル質ロオム、レス、カオリン。これは同じ順序で交換容量が減少する。土の基交換容量は塩処理が得策であることの指数と見られる。すなわちボドゾル質ロオムはレスあるいはカオリンよりも化学薬剤処理による改良が容易である。これらも塩処理の有効性を裏付ける材料であると考えられることができる。

§8. 塩化カルシウムの示方

道路用、コンクリートの硬化促進兼入、コンクリート

の混合用の塩化カルシウムに関しては、A.S.T.M. 指定 D-98-48 に次のような標準がある。

(1) 化学組成

無水塩化カルシウム (CaCl_2)	最小 77%
MgCl_2 としてのマグネシウムの含量	最大 0.5%
NaCl として計算されるアルカリクロライドの含量	最大 2.0%
その他の不純物	最大 1.0%

(2) 粒 度

塩化カルシウムはフレック状をなすべく、実験用篩で試験する時には次の要求に合致しなければならない。

$\frac{3}{8}$ 吋篩通過量	100%
$\frac{1}{4}$ 吋篩に止まる量	最大 20%
No. 200 篩通過量	最大 10%

(3) 包装および記号

塩化カルシウムは約 100 LB (45 kg) 入の防湿袋あるいは包装に入れるか、あるいは 450 LB (204 kg) を超えない重量の気密のドラム罐内に入れて配達されなければならない。製造工場名、ロット番号、大約の正味重量および製造者が保証した塩化カルシウムのパーセンテージを各容器に読み取り易いように記載しなければならない。

(4) 試料の採取および試験

塩化カルシウムは塩化カルシウムの試料採取および試験の標準方法 (A.S.T.M. 指定 D 345) に準拠して、試料を採取し試験すべきである。購入者が工場における材料の代表的試料を選ばれるよう、あらゆる便宜が供せられるべきである。購入者が配達された後の材料から試料を採取する場合には、10 頁に述べた化学組成よりも塩化カルシウムの含有量に 3% の変化があつても許容される。

(5) 棄 却

塩化カルシウムはこれらのどれかの要求に合致せず、かつ容器の開蓋前に固い塊となり、あるいは粘着するようになっていたならば、これを棄却すべきである。

§9. 結 説

以上塩化カルシウムによる道路安定処理について述べたが、わが国の塩化カルシウムもガラス工場等の廃品回収として豊富に生産でき、しかも値段もさほど高価ではない。処理工法は現状では人力による程度であるが、その設計、配合もコンクリート同様土骨材混合物として合理的な方法を構じ、施工も混合と同時に機械化することによつて合理化並びに能率化するように研究すべきである。現在千歳道路、あるいは札幌市道において使用され始めた舗装用コンクリートのパグミルは元来煉瓦用材料粘土混合に用いられたものであり、この種安定処理道に最も適切なことを知る。

土壌-骨材混合物はコンクリートと同様に思へて設計し配合すべきもので、現地産の粘土あるいはシ

ルトを用いることを原則とする以上、土の種類が多岐に亘ることによつて、セメントコンクリートあるいはアスファルト混合物よりも試験項目はむしろ多く複雑となるが、それ迄に科学的の取り扱いを要するようになってきたのは、在来省みられなかつた部門だけに革命的といつても過言ではない。

土壤の配合、すなわち所望の P.I., L.L. を求めるための土壤材料の配合設計も大略確立されている。これらに関しては塩化カルシウムによる凍上防止工法と共に稿を新たにしたい。

§ 10. 参考文献

- (1) Migration and Effect on Frost Heave of Calcium Chloride and Sodium Chloride in Soil. Engineering Bulletin, July 1943, Purdue University.
- (2) The Value of Stabilized Road in the Highway

Program. Technical Bulletin No. 99, 1946, A.R.B.A.

- (3) Report of Committee on Calcium Chloride Soil Stabilization. Technical Bulletin No. 127, 1948, A.R.B.A.
- (4) The Use of Calcium Chloride in Crushed Stone Stabilized Bases. Technical Bulletin No. 171, 1950, A.R.B.A.
- (5) Frost Action in Roads and Airfields. Special Report No. 1, 1952, Highway Research Board.
- (6) Frost Action in Soils. Special Report No. 2, 1952, Highway Research Board.
- (7) Stabilization of Gravel Roads in Genesee County, Michigan. Road School, 1952, Purdue University.
- (8) Stabilizing A Township Road with Salt. Engineering News Record, June 25, 1953.

構築物の強度あるいは安定度測定方法の動向

材料とか構築物の強度、安定度の判定には永い間供試体の破壊による方法が行われて来たが、これには種々不満の点が多い。供試体はいくら数多く採取しても、また注意深く製作しても、その性質は構築に用いた材料あるいは構築物に類似させることはできても、決してその材料あるいは構築物そのものではない。また供試体は製作技術に負う処が多く個々の供試体を次々と破壊して行つたのでは製作の労力が過大であるばかりでなく、時の経過あるいはこれに対する処理方法に伴う変化を密に掴むことはできない。ここに非破壊試験法 (Non-Destructive Test) が要求される根本がある。

供試体を採ることが意味のない場合、あるいは現場にあるがままの姿でその強度とか性質を知ろうとする試みには、地質方面には弾性波式とか電気式の地下探査法が進められている。これを材料または構築物に応用したものに動弾性係数あるいは音波の伝播速度の測定がある。

これは近代科学の先端を行く弱電理論及び機器の発達、これら専門分野との協力によつて生まれ育まれた。米大陸では Canada の Ontario 水力電気社会の J. R. Les Lie, W. J. Cheeseman 両氏が Sonic Apparatus を作つてコンクリートの動弾性係数を測定した (1949) のに始まり、Ultra-Sonic Apparatus によつて Dam その他コンクリート構築物の亀裂、破壊の発見に成果を挙げた (1950)。しかしその後、Sonic Apparatus は Purdue 大学の E. A. Whitehurst 氏

がコンクリート構築物及びコンクリート舗装の試験に (1951)、Kansas 州電気技術者 R. C. Meyer 氏がコンクリート舗装に (1952)、Pennsylvania 大学の R. H. Miller, G. & W. H. Corson 会社の化学者 L. J. Minnick 両氏が舗道用 Lime-Fly-Ash-Soil の混合物に対して応用し (1952)、次いで同会社の W. F. Meyer 氏と L. J. Minnick 氏とが同様の材料を用いた舗装について現場測定を行つている (1953)。

一般に瀝青質混合材あるいはその舗装の場合、通常我々の環境にある温度範囲で温度による感応性が非常に高いので、弾性域、粘性域と流体域への変態が日常現われ、動弾性係数と粘性係数の同時検討が極めて重要なのであつて、(1)コンクリートその他の工学材料にも云えることである。(2)しかも静荷重だけを受けるものについては動的測定が適切であることは明瞭である。この意味において舗装体のみならず、路盤、基層または安定処理道の動弾性と動粘性とを解明し、これを以て舗道設計の資料とする方向に進められている。C. B. R., 平板載荷試験のみならず、三軸壓縮試験すらもこれに達する迄の一里塚に過ぎない。測定は大きな革命期にある。

(1) 土木学会北海道支部研究発表会, 28年2月, 菅原照雄: 瀝青材料の感温性について

(2) 土木学会誌, 28年9月, 樋口芳朗: 工学材料の模型解析。

(板倉忠三)