

道路への塩の利用について

三代川 清造*

1. 問題点

我が国の道路は大部分が砂利道・土砂道など未舗装の道路であるが、(表一) 大抵は表面状態が悪くて通行者および附近の人家等に多大な不便を与えている。降雨にあえばぬかるみとなり、晴れば一面にほこりが立ち、実際に何とかならぬものかとの改善を願わないものはないだろう。

一方ここを管理するものにとつても土砂の補給・整

地など絶えまない努力と、年々かなり多額の経費をつぎ込みながら、大型・重量化した通行車は増加の一途であり、道路は磨耗する一方であると言われている。その上、でこぼこ道は危険であり車の寿命を著しく短縮するのである。

舗装によつて、この多くの問題が解決される筈であるが資金難があり実際には大して経費を要せず持続性のある平滑で快適なほこりの立たない道路とするための改善方法が強く要望されている。

表一 道路の現況

区 分		総延長 (A)	巾員 5.5m 以上 の改良済 (B)	B/A	未改良 (C)	C/A	舗装済 (E)	E/A
		Km	Km	%	Km	%	Km	%
国 道	一級国道	9,217	4,468	48	4,749	52	2,552	28
	二級国道	14,913	3,981	27	10,932	73	1,605	11
	計	24,130	8,449	35	15,681	65	4,157	17
都 道 府 道	主要地方道	27,763	6,691	24	21,072	76	2,399	9
	その他の地方道	92,174	7,930	9	84,244	91	3,341	4
	計	119,937	14,621	12	105,316	89	5,740	5
合 計		144,067	23,070	16	120,997	84	9,897	7

(「国土建設の現況」より引用)

2. 土粒子の安定化

(1) 食塩による安定処理

多くの場合に土粒子に食塩を混合すること、即ち塩による安定処理によつて上述の改善が安価に出来る。

米国ではこうした安定化工事が盛んに行われており、一度道路が安定化されると維持費は 70~80% に減じると報告されている。食塩で安定化した道路は再処理の面でも好都合であり、長期にわたる維持費の節減によつて、このための工事費とさらに付帯的な若干の改良工事をするだけの利益を生み出すと言われている。

安定化とは骨材と結合土とを結合して緻密なよく締つたものにするを言い、交通や天候の作用に対しても堅固となるもので、大抵の場合に材料としては現

在の道路路盤そのものが使用可能であり、これに少量の塩を均一に混合し適当な含水状態で締め固めるだけで、ほぼ完全に安定化される。これは食塩が土壌中の水に溶解すると粘着力を増大して微細な土粒子間の粘着力を増大し、転圧効果を高め土粒子構造を密なものとし、過大な水分を含まずさらに乾燥時に蒸発を抑えて常に一定の水分を保持しほこりの発生を防止するためである。この効果は土質により、気象・交通状態等によつてかなり異なることが考えられ現在種々の研究がなされている。

(2) 土粒子の安定法

道路を改良するための安定処理方法としては食塩による方法以外にも種々あり、これらが単独にまたは併用して行われるもので、その方法を分類すると次のようになる。

* 日本専売公社調査役 (The Japan Monopoly Corporation)
東京都港区赤坂葵町

- (a) 粒度調整による方法
- (b) セメントを主とする方法
- (c) 瀝青剤による方法
- (d) 新しい添加材料による方法

いずれの方法も(a)の粒度調整による方法が基本となるべきものであるが、これは機械的安定処理ともいわれ、粗粒材(砂利、碎石等)と細粒材(砂)および結合土(シルトおよび粘土)を適切に配合して締固めや載荷等によつて起る側方移動に対して安定性あるいは抵抗性を増大しようとするものである。

(b)のセメントを用いる方法は通常ポルトランドセメントによつてソイルセメントをつくるもので、5~15%程度のセメントを加えて混合し、たゞちに締固めたりえ1週間程度養生し道路の基礎あるいは軽交通の表層とするものである。ソイルセメントは(1)吸水膨脹・収縮の大きな土に用い、(2)細粒土の浸透水による破壊を防止し、(3)凍上の防止、地下水の毛管作用の防止・調節等に役立つ。たゞ、後の補修は困難であることが難点となつていようである。

(c)瀝青剤による方法は、表面の防水を主目的とするもので余り効果的なものではないが、防塵には効果がある。油塗装道は常に修理を行わなければならない欠点がある。

(d)新しい材料による方法としては、有機高分子剤(アクリル酸カルシウム樹脂、アニリン・フルフル樹脂、ポリアクリル酸ナトリウム等)、リグニン系材料(亜硫酸パルプ廃液、クローム・リグニン)、無機剤(シリコン、ケイ酸ソーダ)等の利用があるが、これらはおもむね高価で未だ充分にその効果をたしかめられておらず、実用段階に至っていないが、新しい合成樹脂の中には将来有望と思われるものもある。

これらに較べると食塩とか塩化カルシウム等の塩類を用いる方法は、はるかに安価であり、いつでも簡単に入手出来る等の特色がある。

塩と塩化カルシウムはその性質が類似しており、米国では塩化カルシウムによる道路安定処理もかなり行われているようである。塩化カルシウムは土壌空隙溶液の表面張力を高め、土の粘着力を強める点および凍上防止に關聯して氷点降下の点では塩より有利であるが、塩化カルシウムは路盤全面の収縮を起し亀裂を生じるのに対し、食塩はこのような亀裂を生ずることなく、また安定処理後の養生期間は塩化カルシウムは2~10日間を要するのに対し塩の場合は2日程度でよく、塩は乾期に結晶化して支持力を増すとも言われており、さらに塩化カルシウム溶液は酸性でPHが4.5

~5.0となるので通行車輛の腐蝕の恐れがあるのに対して食塩は中性であることなど有利な点が多いようである。

(3) 土の基本的性質

土質安定は多くの場合、土粒子間の力の改良を行うことであり、その基礎は土粒子間および土と水の間の力の性質と大きさである。

土の組織としての分類はしばしば砂、シルトおよび粘土の量によつて図-1のように行われる。(表-2参照)

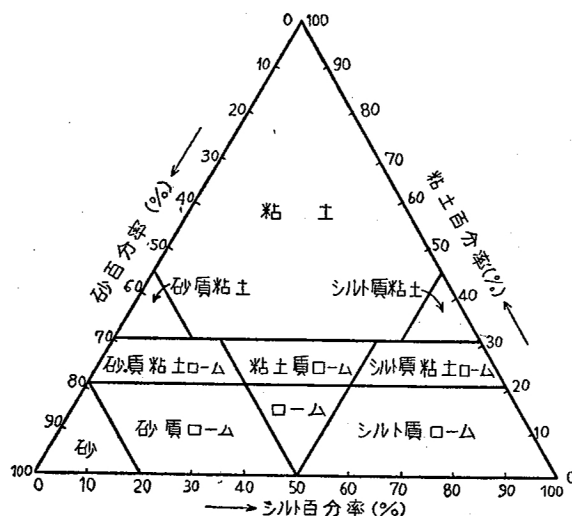


図-1 三角座標による土の組織の分類

砂は通常、珪酸または石灰からなつており内部摩擦によつて土の安定性を維持する。しかし粒子間の水膜の働きは極めて少く粘着力に欠けている。適当な粒度の砂質土は凍上を起さず、また砂は塑性がなくほと

表-2 粒子名 称

名 称	粒径(mm)	名 称	粒径(mm)
レキ	60~2.0	粘 土	0.005~0.001
砂	2.0~0.05	コロイド	0.001 以下
シルト	0.05~0.005		

んど圧密されない。

シルトは砂粒子に似た物性を有するが粒子は砂より小さく肉眼で認識できる。安定性に関するシルトの働きは主として内部摩擦であるが、ある程度粘着力も持つている。シルトは寒冷時に凍上の害を受けやすいが、これは透水性と間隙の大きさが土層中の水の移動を起しやすく、それが凍つて表面を盛り上げるからである。

粘土およびコロイドは土質工学的に最も問題を含む

ものであり、安定処理においても最も困難をとめないやすい。粘土およびコロイドは化学的および物理的に他の粒子と異なっている。これらはほとんど化学的作用によつて形成された二次鉱物で水分子と結びやすい珪酸アルミニウムであり、大部分の粒子は水中にあつて負の電荷を帯び、互に反発力をもっている。従つて雨後の水たまりに浮遊する粒子は容易には沈降しない。しかし土粒子間にはまたファンデル・ワールスの力や、さらには水素結合、双極子、イオン結合等の牽引力も作用しているものであつて、これらの関係は極めて複雑であり現在の段階では未だ土の基本的性質と安定処理の実際の間連絡が充分に確立されていないのであるが、こうした土壤水中に食塩のような強電解質を溶解した場合にはイオン濃度が大きく変化し、土粒子間の力関係に容易に影響を与えることが考えられる。一般に微量添加材による安定処理は土粒子間の力を変換して土粒子を分散あるいは凝結させて土の性質を変えることによつて締固め効果を増進し、土の密度を増大し強さおよび安定性を改良しようとするものである。天然の土の土粒子は一般に団粒状にあるから、これに食塩のような強力な分散材を混合し土粒子を分散させ容易に滑動できる状態にして締固めを行うときは、分散材を混合しないとときと較べて低い含水比で一層よく締固めることが出来ると言われている。例えば分散材として四磷酸ナトリウムを添加すると液性限界は小となるが(表一3)、これは土粒子が滑動しやすくなることを示すものと考えられ、こうした分散材の微量添加によつて、より高い乾燥密度が得られる(図一2)。

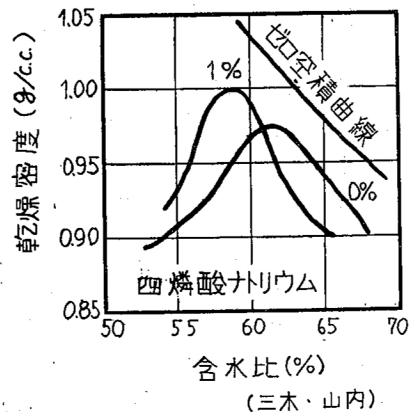
表一3 関東ロームに分散材(4磷酸Na)を添加した場合のL.L.の変化

4 磷酸 Na 百分率(%)	液性限界 (L.L.)
0	98
0.2	97
0.5	91
1.0	89

(三木・山内)

一般に土の締固めについては Proctor によつて提唱されたように最適含水量で最大密度が得られることは常識となつているが、この締固め密度に対する含水比の影響については下記のような諸説がある。

Proctor の潤滑説：これは最適含水量以下の低い水量では土はかたく圧縮が困難であり、最適含水量で土はやわらかくなり十分に転圧されるが、これ以上の水



図一2 関東ロームの突固め試験

分を有する時には土粒子間隙中の水分を圧縮することになるため土粒子間隙が大きくなり密度が小になるとする説である。

Hogentogler の水膜説：これは含水比の変化は粒子の水膜を変えることになり、その結果土粒子間の付着力が変化し、最適含水量で水膜は適度の厚さをもち締固めの効果が最大であるとする説で、潤滑説を補足するものである。

その他、最適含水量において表面張力が最も発達して最大締固め効果を与えるという表面張力説もあるが疑わしい。

塩を添加した場合には最適含水量は小になり、従つて締固めは水分が無添加の場合より小の状態で行われることになる。従つて土粒子の水膜は無添加時に比し一層薄くなり土粒子間の附着力を増加するものと推定される。さらに塩添加は土壤水溶液の粘性を高めて土粒子間の粘着力をも増大するであろうから、このためにも土の乾燥密度は増大するものと考えられる。このようにして、先の分散効果と合せて総合的に塩を添加した場合には土の乾燥密度を高め、従つて強度を増大するものと考えられる。換言すれば、塩添加は転圧回数を増大したことと同様の効果をもたらすとも言い得よう。

この他、塩を添加すると氷点をさげる等の効果があり、塩を添加しない土との相異点をまとめると次のようになる。

- (a) 水分を保持し、乾燥を遅らせる。
- (b) 水膜は薄くなり、土を Workable にする。
- (c) 氷点が低くなる。
- (d) 塩分濃度により粘土が綿毛状や非綿毛状になる。
- (e) 体積収縮が減じる。

これらの性質が次のような効果を生じると考えられ

る。

- (a) 転圧度の増加。
- (b) 表面は緻密になり、埃を防ぎ表層材の減耗を減らす。
- (c) 凍上をなくす。
- (d) 雨期のさく孔やわだちを防ぐ。

3. 安定処理工事

道路を安定処理するのに路面、路盤、路床等のいずれを処理するかにより、また舗装の基礎として用い、あるいは路肩の改良工事に使用する等種々の場合が考えられるが、最も普通に行なわれるものとして路面をも含めて路盤の安定処理について、今までに得られた試験結果等にもとづいて工事上の注意事項を主として述べる。

(1) 材料

1) 骨材

路盤用の骨材としては、ほとんど附近の河砂利が利用されているようであるが、注意しなければならないのは大粒径のものをさけるべきだという事である。路盤は通行車、歩行者等その利用の面から骨材の最大径は 2.5cm 以下であることが特に望まれる。これは事後の地ならしを容易にし、維持管理の面からも望ましく、さらに表層に後からアスファルト処理その他、より高度の舗装を行う場合にも便利であろう。

また骨材の結合のためには角張った形が望ましく、このため多少高価であるが砕石材が最も適当な材料であると考えられる。この他、骨材の粒度組成は表-4の条件を満たすことが望ましく、もし原地盤の材料がこの範囲から大きくはずれている場合には他から適当な材料を導入して粒度組成を改善することが必要である。

2) 結合土

表-4には No. 40 篩 (0.35 mm) を通過する微細土についての規準をも示した。表面安定化工事は結合土の性質とパーセンテージによつて支配されるので、これらの条件を守ることが大切である。

表面について望まれることは、路面として安定で、交通による摩耗作用に対して抵抗性強く、降雨の大部分を表面流去すること等であり、塩を添加するとこれらすべての要求を一層満足するようになる。また路盤は、たとえ完全に水で飽和している時でも充分な強度を保持しなければならない。

3) 材料の評価

安定処理に使用される材料の選定に当つては、先例、

表-4 路盤材の規準

区分	大きさ(通過)	篩目	重量百分率(%)
骨材	25. mm	1"	100
	20.	¾"	70 ~ 100
	10.	⅜"	50 ~ 90
	4.	No. 4	35 ~ 75
	2.	No. 10	25 ~ 60
微細土	0.35	No. 40	15 ~ 35
	0.07	No. 200	7 ~ 17
	No. 40 通過分 液性限界 (L.L.) 35以下 粘性限界 (P.L.) 9以下 No. 200 通過分は No. 40 通過分の ½ 以下であること		

現場経験などが大いに役立つ。最も簡単な現場試験としては土を握つてみることである。原土を握りしめ指を開いた時、土塊の形がくずれなければよいが、もしくずれれば結合土が不足しているのであり、こうした土には結合土を加えなければ安定化処理はすまめられない。

最も粒度組成のよい材料は、湿らせて握つた場合に次のような性質を示す。

- (a) 非常にざらざらしている。
- (b) 乾燥させても完全にもとの形を保つ。
- (c) 手に粘土分だけ付着する場合には手が僅かに色づく程度。
- (d) 手がかなりよごれるような場合には粘土分だけでなく砂も付着する。
- (e) この土を手のひらでたゞいて締固めた場合、鉛筆程度の先のとがついていない棒は簡単には突きさせない。

細かな実験室試験については J. I. S の規格が定められているから、これに従つて種々の測定値を整備することが望ましい。

(2) 工事方法

道路によつて路盤、路床の状態はまちまちであり、安定処理も表面だけ特に別に処理するのでなければ、路盤処理がそのまま表面処理になる。こうした工事の程度いかんによつて工事方法も異なるが、通常の路盤を表面から 10cm 程度処理する方法について述べる。

1) 原地盤改良工事

原地盤が良材であつて原土をそのまま使用する場合には、まず一定の処理深さまで原土を掘起す。普通 7

cm 前後であるからグレーダーが適当である。地盤が硬い場合や大きい玉石などが多い時はスカリフアイヤーであらかじめかき起す。ロード・ミキサーがあればそれを利用することも出来る。こゝで出来るだけ径の大きな石塊は取除くことが望ましい。出来るならばグレーダーで windrow を作り、体積を測り、平坦にならず。塩を均一に散布する。塩の量はあらかじめ実験室で最適値を定められればよいが、一応の目安として処理土の最適含水量の 10% 程度を考えたらよからう。即ち通常の砂質ロームでは最適含水量は 10~25% 程度であるから、塩添加量は 1~2.5% 程度となる。なお、工事当たりの余裕を見込み 2% とすれば、幅 5 m, 処理深さ 5 cm の例では 1 Km 当り 9 ton となる。

次に処理土と塩を均一になるよう充分に混合する。この場合必要ならば散水する。混合は最も重要な処理であるから念には念を入れて充分に行うことが必要である。このためロード・ミキサーがあれば極めて便利であり効果的である。さもなければグレーダーで数回以上きりかえし混合を行う。次は整地に続いて転圧となるが、この場合処理土が最適含水量にあることが必要である。添加した塩はこの水分で充分に溶解し混合が充分であれば全く見えなくなる。天候によつてこの水分調節が左右されるのはいうまでもない。例えば乾燥時には蒸発によつて水分が失われるので、一回の工事距離は 500m 程度が便利であろう。

転圧はニューマチック・ローラーか鉄輪ローラーによる。始め重い鉄輪ローラーで転圧し、後をニューマチックで仕上げると平滑な緻密な表面が出来る。仕上げは表面加湿して、軽いローラーを早くかけるとよいようである。

工事後の数週間は処理土が次第に固まつて土粒子が落ちついた位置に着く時期で、養生期間と呼ばれ表面の安定化のために大切な時期であると言われている。この期間に過剰な粘土分のような微粒子が表面上に集り、弱い降雨があると僅かに可塑性になり平滑な表面が出来上る。事後にもし降雨が多量にあつた場合には表面を保護するために骨材を僅かに添加する必要があることもある。このためには最大 12mm 程度のごみや砂を含まぬのが望ましい。こうすると表面の薄い微細土の層が結合土としての役割を果たし、運転に一層好適な表面を作り、道路の厚さを少し加え小さくばみを埋めて、それが進展して穴になるのを最小限に抑えられる。

2) プラント混合客土工事

原地盤の材料が不良であるか、現在荒廃している場

合等では、他からの客土を必要とする。この場合にはまず現地盤の弱所を直し平坦に整地・転圧して基礎としての用意を充分に行つてから塩混合土を客土する必要がある。こうした道路は表面勾配が緩いことが多いので、かなりの勾配をとるよう整地に当つて充分の注意を要する。塩を処理土と混合するには普通のセメント・ミキシング・プラントがそのまま利用出来る。この方法によれば経費は幾分高くなるが材料の精選、塩分および水分の調節・均一混合に便利である。客土を搬入してからの工事は前述の通りである。

4. 経 費

塩の利用による安定化工事によつて将来の表面補修・維持費が節減出来る。交通量 300車/日 程度の土砂道を完全に維持するための経費の 3~4 年分でコンクリート舗装が出来ると言われている。砂利道の補修として、ほとんど毎月 1 回 1 cm 程度の砂利補給が行われているが、これは年に 10cm 以上道路が消耗することを意味している。当然塩処理を行うことによつてこうした経費は相当に節減できるであろう。

塩処理道はこの他、埃が立たないことで好評を得ている。この効果はかなり持続性があるようであり、降雨により地下に滲透した塩分も乾期に再び地表に上昇してくることが判つている。

こうした塩処理道工事のための経費は工法によつて異なり、先の例について試験規模で 1 m² 当り 55~120 円 (塩代 22 円を含む) 程度であるから、実用規模ではさらに一層安価に出来るものと考えられる。

5. 結 論

現在までに行われた試験例を表一5に示す。

塩安定処理道は土道をコンクリート舗装やアスファルト舗装に必敵するような強度の高いものにする工事ではないし、また悪化した道路を完全に治療する妙法でもない。この工事は各地の様々な土質と天候に適するよう充分な注意をもつて行われた場合に、道路の維持費を節減し埃を防ぎ、適切な維持管理を得てはじめて土粒子安定化の役割を充分にはたすことが出来るのである。塩処理道は道路として完全なものではないが安価に出来、しかもそれによつて大金を節減し、さらに一層改善することによつて、より良い道路を作ることが出来るのである。

塩による安定処理工事は一日にして成るものではない。工事施工後の数日は土質が不安定でまだ固まつていない。表面に浮遊層が発生したり、降雨にあつて表

