

# 新しい道路材

野崎 弘・田中啓介

本稿は、去る 11 月 9 日当所移転披露および公開における講演の内容を記したものである。道路建設が人間の生活に工業の発達に重要な役割をもつことは言うに及ばず、いまや平和の国づくりの象徴とさえなつて、各国がこれに力を注いでいる。とくに世界の文明国に 30 年おけていると言われるわが国の道路構築こそ、実地的見地からも社会政策上の理念の上でも重要課題である。これと同時に適切な道路材の出現が切に望まれる。現在何が使用され、今後、いかなる道路構築材が期待されるべきかについて述べる。

## 序 説

道路は人間の生活の必要上から、人類の歴史とともに生まれた。産業、工業の発達とともに、物資および人間の輸送に道路構築は、ますます必要の度合を大にしている。とくに輸送機関としての自動車の激増が今日の道路整備をもたらした第一の原因でもある。自動車輸送のもつ便利、迅速、快適という近代人の好みとも合して、道路構築に熱をあげるのは世界共通の現象とまでなっている。道路の発達をもって一国の文明度の尺度としてもよく、また平和のシンボルともいわれる。各国は道路建設にかなりの経費を投じている。ワシントン世界道路情報局 IRF の 1962 年 2 月の調査によると、世界の道路費は過去 14 年間 5~6% の増加の一途をたどり、自由世界 162 カ国の 1961 年の道路費総額は 7 兆 3500 億円であるという。もちろんこの数字は史上最高である。第 1 表にこの IRF の調査の一部を示す。

第 1 表 各国道路建設状況 (1961)

国名	道路費年額 億円	自動車数 万台	道路延長 555万km	舗装道路 198万km	舗装率
アメリカ	4兆0200	7600	35	17	48
西ドイツ	5400	561	76	11	14
カナダ	4680	522	96	3	3
日本	3840	211	123	39	32
フランス	2580	700	32	32	100
イギリス	2200	708			

アメリカの年間経費が 4 兆 0200 億円であることは 7 兆 3500 億円に対して約 55% を占めるものであり、この点世界を圧倒していると言える。なお表の中で日本の場合、統計の出所または集計法のちがいのためか、数字は必ずしも、わが国でみる統計と一致していない。しかし表は各国の状況を定性的に比較するには役立つ。

これによると 1961 年につぎこんだ日本の道路費は 3840 億円で世界第 4 位であり、そう少なくともなさうである。ところが道路の総延長に対する舗装率が 3% という、文明国では最低位の数字である。相当な経費を投じながら舗装率が 3% と低く、これに反し、同等の経費で外国では高率となっている。これは説明の要もなく過去何年かの累積の結果を示しているにほかならない。日本の道路整備が本格的になったのはごく近年になってからのことがこれでよくわかる。

近年までの日本における道路整備の経過が北大板倉教授<sup>1)</sup>によってつぎのように述べられている。

終戦直後アメリカ駐留軍は直ちに飛行場の整備にとりかかった。この工事はアメリカ人の設計監督のもとに、わが国の建設業者がこれを施工した。このため基礎構築、施工管理試験などについて直接技術が伝わるところとなった。ついで行政協定 MSA にもとづいて自動車道路が米軍キャンプと中心都市とを結んで軍用道路が建設された。これによって舗装技術が伝わった上に道路そのものも産業道路として役立つところとなった。ついで外国との往来が激しくなつて、日本の道路の貧弱なことがわかり、戦後電源開発に続いて国策として道路整備およびその建設資金調達のための立法措置がとられた。そのはじまりが昭和 27(1952) 年である。

その後財源、道路構築様式などに関する法令などについて詳細な経過は省略するが、昭和 33(1958) 年には総額 1 兆円の第 1 次道路整備 5 カ年計画がたてられた。まもなくして昭和 36 年度には第 1 次 5 カ年計画が改訂され昭和 36~40 年度の 5 カ年間に 2 兆 1000 億円の第 2 次 5 カ年計画がたてられ実施進行中であるが、さらにこの計画も改訂<sup>2)</sup>の機運にある。

以上のようにして日本も道路整備にかなりの努力を払っているが、現在欧米諸国の水準までには 30 年の遅れがあるという。この遅れを取り戻すには 7 兆円以上の投資を要するという。

われわれは舗装材料を研究する立場であり、材料の占める経費はそのうちの少部分に過ぎないが、道路の効用性、耐久性の点からその死命を制するものは、この舗装材料に何を使用するかである。道路の使用者である自動車の氾濫、スピード、重量の増加などにこれに耐え、風雨、日光に耐えるものでなければならぬ。また施工も容易、迅速におこなえるものでなければならぬ。いかなる材料が適するか、また現在使用の材料をどの方向に改良すべきかこれを以下検討したい。

ここで序説としての蛇足ながら、前に述べた日本の道路建設の世界のレベルに遅れること 7 兆円という数字を考えてみる。これがいかに膨大な経費であるかは、日本政府の年間予算が 2 兆円程度であることや、1960 年の日本国民の総所得が 12 兆円弱<sup>3)</sup>であることなどからも容易に了解できる。このような巨大な事業のもつ理念といったものを国民も、また行政担当者も検討し再認識しておく必要がある。

一国のかかげる目標は世界の国どこも同じく、平和にして文化的国家という。けれども内外の自然のおよび人為的条件によって、各国それぞれ様相の異なった国土と政治形体と一般人の生活様式を生み出している。この中で道路は国土を開発し、産業を起こす原動力ともなる国家的規模の人為的建設であり、いちじるしく社会性、政治性に連る性格のものである。したがって国土をどのように利用し、また一般庶民の生活をどの方向にみちびくかに大きな影響もっている。

およそ個人にせよ、大きくは国の組織体にせよ、その活動を大きくわけて建設と消費に分類できよう。建設のために、また建設によって消費が大きくなり、消費によって新たな建設が生まれる。どちらにかたよっても活動はアンバランスであるが、一般に建設は困難であり、これに対して消費は容易である。先進国には建設が多くみられ、後進国が消費に傾くことも一般的傾向である。

戦後ゆとりが出て、レジャーを楽しむということが流行語となったが、これもなんらかの新たな建設がなければそれだけでは行き詰ること必至であろう。道路だけが建設ではないが、世界的視野にたつて日本の現状を見たときは、為政者ならびに一般人が文字通り地道な道路構築に努力が払われてしかるべきことを了解できよう。

#### 適当な道路材とは何か

現在の道路舗装材はセメントかアスファルトである。それぞれ長短はあるが二つとも恐しく昔から使われているという事実がある。紀元前 3000 年にすでにギリシャ Crete 島に石材を粘土質で固めた道路が存在したという<sup>4)</sup>。これはその後の仏人技師 McAdam (1756~1836) のいわゆるマカダムかみ合せ式砕石道路に相当する。また同時代同地方にミノア道路と称する結合材に石膏  $\text{CaSO}_4$  としゅい  $\text{CaO}$  を用いた現在のコンクリート式道路があったといわれる。一方紀元前 3500 年に、現在イラク地方であるメソポタミヤに瀝青材が道路材または防水剤として使用されたという。近代セメントは 1824 年に発見されたことになっているが、コンクリート道路といい、瀝青質舗装といい今日まで約 5000 年間それほど大きな変化はないともいえる。今後もこの状態は当分続くことになる。ただ後にも舗装材料のもつべき理想的性質を詳細に検討するが、これを考慮し、施工から交通開始までの時間が短縮できること、道路の弾性的性質がよいこと、維持修理が簡易であることその他によってセメントコンクリート舗装はアスファルト舗装の方に代わりつつある。これは世界的すう勢として認められるところである。その使用量も日本だけで年間 100 万 t となることは必至であろう。石油の原油中には 10% 程度アスファルトが含まれているとすれば、これをまかなう原油量は 1000 万 t となる。この量はすでに毎年輸入されている原油量の相当部分である。このようにアスファルト

第 2 表 道路材 (セメント、瀝青物を除く)<sup>4)5)</sup>

材料または薬剤の銘柄	成分, 作用, 研究の出所など
石 材	砂, 砂利, 碎石, 岩石 (安山岩, 花崗岩, 玄武岩, 凝灰岩)
石 膏	$\text{CaSO}_4$ , モルタル, 接着
石 灰	$\text{CaO}$ , しゅい, 結合剤, 土質改良
塩化カルシウム	$\text{CaCl}_2$ , セメント凝結硬化, 道路安定剤 (H. D. Wilford 1955)
鉄 滓	製鋼, マンガン製造等のスラッグ, 土質改良
粘 土	$\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$ カオリン, れんが, 粘結剤
珪酸ソーダ	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 固結用, 土質安定 (1934 オハイオ州試用)
珪酸アルミ	$\text{Na}_2\text{SiO}_3, \text{NaAlO}_2$ , 軟弱地盤処理, 生研 MI 式
パルプ廃液	リグニン, 粘結用, 土質改良 (1936)
ロ ジ ン	アビエチン酸, 粘結用, 土質改良
アニリン, フルフラール樹脂	$2 \begin{array}{c} \text{NH}_2 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4 \end{array} + \begin{array}{c} \text{H}-\text{C}=\text{CH} \\    \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}-\text{CHO} \\   \\ \text{O} \end{array}$ 土質安定, プリンストン大学 (1947)
アクリル酸カルシウム	$\text{Ca} \begin{array}{l} \text{O} \\   \\ \text{O}-\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\   \\ \text{O}-\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\   \\ \text{O} \end{array}$ 土質安定, MIT (1948)
その他の樹脂	レゾルチンフォルムアルデヒド樹脂, フェノールフォルムアルデヒド樹脂, フルフラールアルコール硫酸樹脂, メラミンフォルムアルデヒド樹脂, いづれも土質安定
油 類	桐油 Tungoil, 安定作用, 防水作用
エポキシ樹脂	ビスフェノール, エピクロロヒドリン, 舗装材 (1930 ドイツ)
ゴ ム	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ -\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{OH}_2- \\   \\ \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}=\text{CH}_2 \\   \\ \text{Cl} \end{array}$ 天然ゴム, 合成ゴム, アスファルトに混和使用 (1923 オランダ)
ネオプレン	アスファルトに混和使用 (1931 dupont)
有機カチオン剤	$\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{R}-\text{N}^+-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right] \text{Cl}^-$ などほか多数, 防水処理 (1949 アイオワ州立大学)
シリコーン	$\begin{array}{c} \text{R} \\   \\ -\text{Si}-\text{O}- \\   \\ \text{O} \\   \end{array}$ 防水用 (土に対し 1% 程度使用)
高分子電解質	アクリルアミド $\text{CH}_2=\text{CHCONH}_2$ , ポリアクリル酸ナトリウム, CMC, PVA $-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-$ $\begin{array}{cc}   &   \\ \text{OH} & \text{OH} \end{array}$ いずれも通気性, 吸水性, 粘度調整による土壌改良剤, 土の団粒化剤
膨 潤 炭	石炭, タール, アンスラセン油, エマルジョン化して舗装材
Dutrex 55	アロマチック 28%, 道路補修, または舗装材 (Shell 製品)
そ の 他	以上のような薬剤処理のほか機械安定処理電気滲透式安定処理などがある

の大量使用に対しても、またそれに代わるべき新しい材料の研究のためにも、舗装材の研究が強化されてしかるべきだろう。外国ではこの方面の研究機関<sup>1)</sup>がかなり充実しているようにみられる。

さて石油化学の発達とともにアスファルトに代わるべき合成樹脂、可塑性物が種々提案<sup>6)</sup>されている。ここで今後舗装材料としてなが適するか、いかなる性質を具備すべきかの一般論を試みよう。その前に現在までに使用

されたもの提案されたものを第 2 表に掲げた。これは舗装材を網羅したわけではない。三木氏<sup>4)</sup>または R. C. Manfort<sup>5)</sup>の文献によった。また舗装材と土質処理剤と一緒にしかかかっている。説明の要もなく舗装という言葉は天然地盤の上に、なんらかの形で人工的に処理したある厚さの部分であり、道路構築という表層だけでなく天然地盤そのものの安定処理も含まれる。表はこれらを区別せずに掲げている。

**道路材としての 3 条件**

道路材としてもつべき条件と言ったものを著者らは考え出した。もとより土木の専門家ではないので、重点を見落としたり、見当ちがいをしているかも知れない。識者経験者のご叱正を得れば幸いであることをあらかじめおことわりしておく。道路材としての適合するための 3 条件をつぎのようにした。

- 自然的条件を克服するもの
- 交通条件に適當なるもの
- 工業的条件を満足するもの

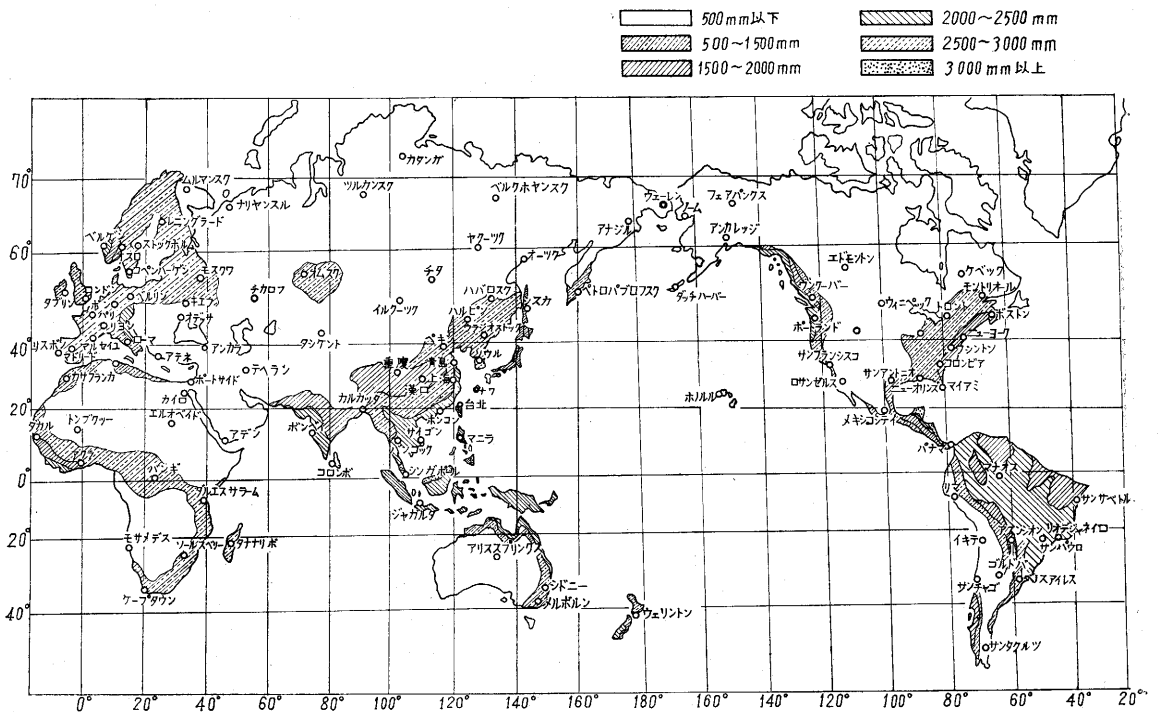
**自然的条件について**

自然的条件には気象と土質がある。気象には風雨、温度、湿度、寒暑の周期性、日光の多寡がある。多雨多湿のところと乾燥状態のところでは使用可能な舗装材も変わってくる。たとえば乾燥状態にあるヨーロッパでは溶剤の含んだいわゆるカットバック式アスファルトが使用できるが多雨多湿の日本では現在の様式では不適當であることがある。さらに、たとえば米国での土質の安定処理は

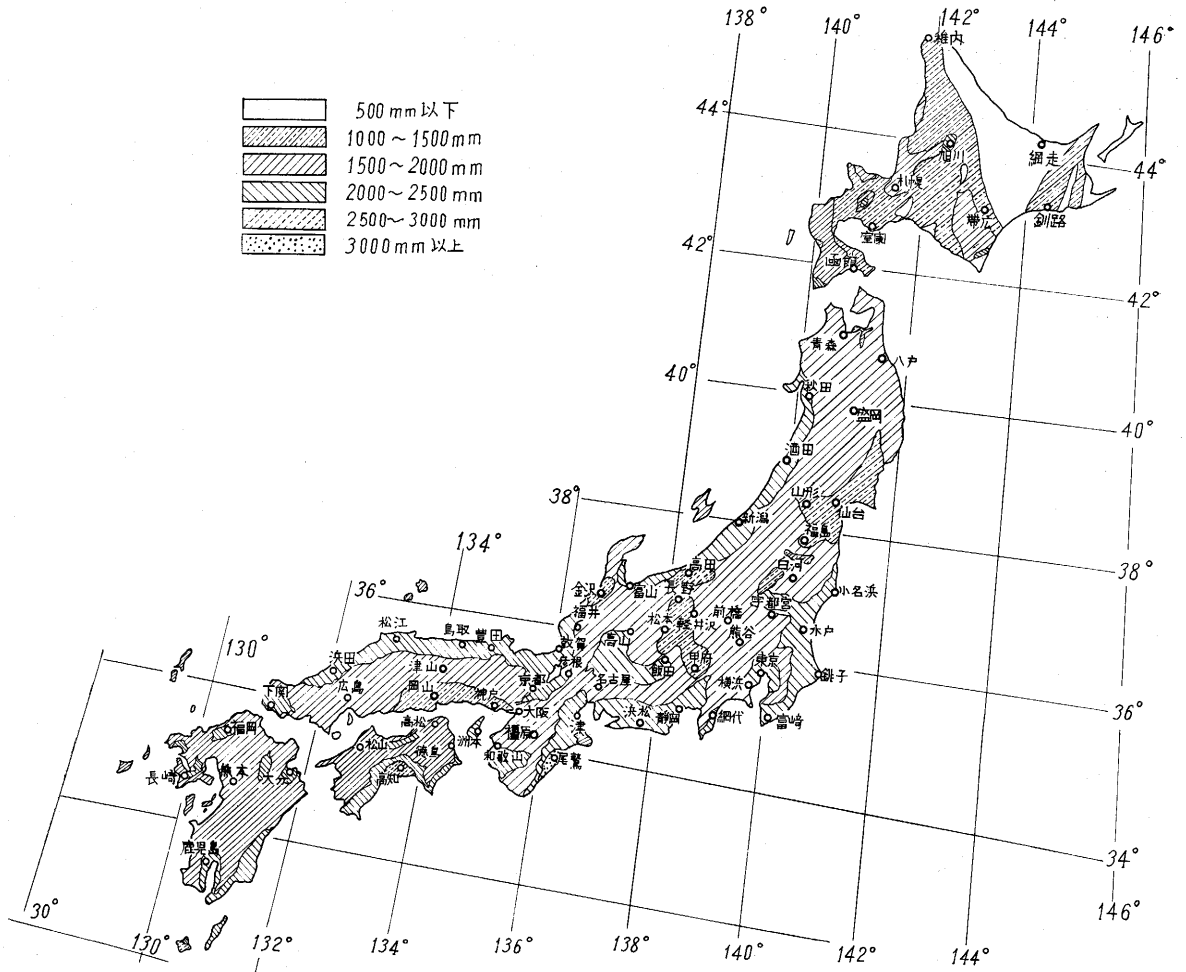
大陸の東と西で異なる<sup>4)</sup>といわれている。現に日本でも戦後米国に学んだ道路構築技術は土質の条件の差から反省の時期にあるという。ただこの土質については筆者らは不案内であり、ここで当然述べなければならないであろうところの土質の分類とその処理法の解説は当所の星基教授、三木助教授の専門家をお願いすることとしたい。

気象関係も学問そのものは別に存在するが、舗装材としての立場からは、実際には温度とか湿度とかの物理的条件の影響を考慮すればよい。したがってこれについては著者らが若干調査したことについてつけ加えておくことにする。舗装材に対する気象関係の物理的作用としては前にも述べたように温度が高いと材料が軟くなり、低温で脆くなって割れたりしてはいけぬ。寒冷の地では、氷結氷解の繰返しに耐えうるものでなければならぬ。これに対し気温の高い所では日光の直射と風雨およびそれらの繰返しに変質をきたすものはいけぬ。たとえばアスファルト中にハイドロキノン、ナフトール、アニリンなどが添加されていると紫外線に対して老化が防止できるといふ。

土質も舗装材の耐久性の立場から考えると従来の古くからなされている地質学的分類では不十分なものがある。土質の物理化学的構造から水はけの難易とか、pH および組成による舗装材に対する化学作用、バクテリアの発生による腐食作用、地盤の軟弱か安定かなどを考慮すべきだろう。なるほど農業のための土壌物理学<sup>7)</sup>は見うけるが道路ならびにその材料の適用を目的とした土質



第 1 図



第 2 図

の物理および化学はまだ不十分のように思われる。

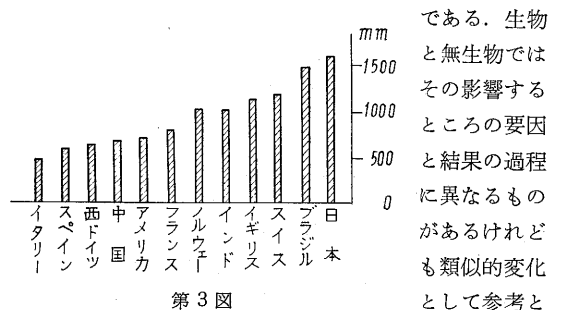
気象条件が道路構築材を選定するよりどころとなるとの観点にたつて著者の一人田中によって世界中の雨量、湿度、最高気温および最低気温がしらべられた。

これを図示したのが第1図および第2図である。

第1図および第2図をさらに年間の降雨量として概略示したのが第3図である。世界中で最も雨の多いのが日本である。ブラジルがそのつぎである。このようにして日本は代表的な多雨多湿の国である。これは無理もないことで、黒潮を対馬暖流によって水分は十分に供給される状態にあり、その上夏は南東、冬は北西の季節風があり、日本国土に雨を降らせている。この調査でわかったことは最も雨の多いのが三重県尾鷲であつて、これは一年平均雨量 4157mm 温帯地方としては世界一の雨量である。最も雨の少ないのが北海道網走で 834 mm、この値でもアジア大陸の各地に比べると多くなつてゐる。全体の平均が 1620 mm となり、これは世界第一である。

このような降水量とか温度などが、いったい舗装材と

なんの関係があるか。一見脱線気味とさえ思われなくてもないが、気象と土質を含めて天然自然の条件が材質に対して長期にわたつての影響を考慮したとき見逃せないものがある。その考えのよりどころとして、植物や動物が気象と土質の自然的環境の変化として地球上に発生したものであることそれ自体は、現在の知識では遠く及ぶところでない驚異的变化で、これは論外としても、それらが長年月の間に自然的環境の支配をうけて分布、形態、様相に変化をもたらしけていることは、げに明らかなこと



第 3 図

するに値しよう。

### 交通条件

すでに述べたように道路構築に対する要求は自動車の激増と高速化と大型化のもたらしたものである。自動車が高速で走るとタイヤの回転のため、タイヤ後部の路面付近に真空ができて上部の細かい砂の部分や粘着性を失った石が飛びちり、道路<sup>8)</sup>が急速にいたんでくるといふ。また荷重が大になれば道路の破壊作用を早めることは明らかで、この破壊作用に耐える材料でなければならぬ。また交通のスピード化と安全性とからいって、滑り抵抗が大きいことが望ましい。特に雨の降ったときの滑りどめは大切である。

以上並べた事項を常識的ではあるが、これをつきつめて考えてゆくと結局材料としての荷重、剪断力が加わった場合のたわみ性、圧縮性、弾性、レオロジーの性質といった材料の力学的性質に帰着する。

道路材としては、これら力学的性質に特に劇しい衝撃、繰返し応力にも、破壊変質を起こさない材料ということになる。専門家の説明でも交通で問題になるのは、主として弾性と粘塑性であって材料に要求される力学的性質は単純なものではないという。滑止め一つを考えてみても、深みのある内容をもっている。単なる機械的凹凸だけではほんとうの滑止めではない。表面の薄い層でエネルギーを吸収することである。潤滑剤の逆である<sup>9)</sup>。

弾性のあるものは滑らないといわれる。これもエネルギー吸収の考えと一致する。弾性の少ないテフロンは滑り、弾性のあるポリウレタンは滑らない。これらは究極は分子構造の問題に帰着されよう。

さて滑止めに限らず、以上のような複雑な応力に耐えるものにとの見地になって、これに適する材料を求めらば、われわれは今後無機物よりは有機物の中により満足な物質を見出さうのではないかと予想される。ここで引用したいその根拠の一例として、当所森政弘氏の研究<sup>10)</sup>である。これは有機高分子物質を用い、その化学的環境を変化させることによって機械力を引き出し、または押し込む、いわゆるメカノケミカルシステムを作り上げたことに関するものである。交通の場合はこれとは逆で、外部からの機械力が加わって、それに対して材料成分が変形し、この変形が化学的物質の変化、変質とみちびくこともあろう。このような例を見るにつけ、交通応力に耐える適当な材料とは有機物の中に見出さうのではないかと予想せしめるものがある。

### 工業的条件

与えられた材料が原料が豊富で継続安定した供給が可能であり、その材料が適当な価格であることである。これは説明の要もない、工業材料としては自明の原則である。特に道路材のようなものは何十万 t、何百万 t にも及ぶ大量である。新規独創性の材料でもこの平凡な条件に屈服するものが大部分なのが実状である。たとえばアスファルトを年間 1600 万 t を使用する米国では BPR (Bureau of Public Road) の契約として 1 t の土の処理剤として 2~2.5 ドル以内と明示されているという。

この材料の供給と価格について、さらに加わることは、

その国の材料処理の工業機械力である。製造や施工を迅速にできる機械力が存在することである。その国の処理能力に適するものでなければならぬ。つまり一国の舗設機械の処理力が定まっているときは、これに合致するような材料を選ぶことも起こりうる。

以上の材料の供給力、経済性、機械処理力を含めて工業的条件としよう。

### 総括と結論

新しい道路材はなにか、それが生まれ出る条件としてわれわれは自然的条件、交通条件、工業的条件に分類した。このような 3 条件をパスするものは、そうめったには出てこないことが了解される。米国 Wyton 社が近年売り出したと伝えられるカラー舗装料の如きも舗装の厚みが 1~1.5 cm が経済的限界とされ、強度剥離などの点で若干疑問視されるものがある。このような道路標識的とでもいった特殊舗装は別として、通常の舗装は人間が 5000 年来使ってきたセメントかアスファルト舗装をつづけることになる。特にアスファルト舗装に落ちつく傾向にある。変化があるとすれば、科学的方法を用いたそれらの改良である。製造法・施工法・組成変化によるアスファルトそのものの力学的性質の改良などである。

この方面で新しい舗装材として近年現われたカチオン系アスファルト乳剤は使用上便利なものがある。これは多雨多湿の日本の国土の舗装材として適当である。詳細は本誌 1962 年の 11 月と 12 月号を見られたい。

カチオン系アスファルトエマルジョンは、すぐれた製品ではあるが、水を 45% も含み輸送には難点がある。加熱式でもなく、エマルジョンでもないとなれば、勢いカッターバック式アスファルトの研究で、多雨多湿の国でも使用可能な舗装材が望ましくなる。Shell の Dutrex はこれに近いものだともいわれている。その他アスファルトにゴムを加えたもの、また石炭や、合成樹脂、可塑物と合致させて新しい舗装材としての性質をもたせ得よう。

そのほかに天然地盤そのものの安定処理も無視できない。特に日本では火山灰による微細な粘土質ほこりが、すこぶる多い。これを簡単に砂状化する薬剤はないものであろうか。薬剤を使わない電気浸透性による土質処理法もあるが、これは時間がかかり、広範囲の応用には適しないであろう。薬剤処理・機械的処理・電気的処理いずれにしても天然地盤を簡易にそのまま固めて交通に開放できればこれは理想的方法とならう。しかしこれを望むことは現在むずかしい。

以上述べたことは、大部分筆者の専門外のことであり、なら確たる結論結果を出しているわけではない。よせ集めの感があるが、今後新しい道路材を開拓するにあたっての予備概念として、なんらかの役に立てば幸いと思う次第である。(1963 年 1 月 4 日受理)

### 文 献

- 1) 板倉忠三: 石油学会誌 4, 756 (1961)
- 2) 朝日新聞報道: 昭 37. 9. 18, 朝日 27545 号
- 3) 野崎, 田中ほか: 生産研究 14, 349 (1962)
- 4) 三木五三郎, 山内豊聡: 土質安定の理論と実際, オーム社 (1959)
- 5) R.C. Mainfort: Soil stabilization with Resins and Chemicals High Way Research Board Bulletin 108, 112 (1955)
- 6) 鈴木秀明: 土木用合成樹脂, 山海堂 (1962)
- 7) 野口弥吉, 福田仁志: 土壌物理学, 朝倉書店 (1950)
- 8) 竹下春見, 岩間滋: 道路舗装の設計, オーム社 (1960)
- 9) 武田文七: (日本ゼオン技師) の私信による
- 10) 森政弘: 自動制御の化学的方法, 自動制御 7, 217 (1960) 歌体機械, 日本機械学会誌 66, 275 (1962)