

道路築造工法に関する最近の調査研究とその応用

谷 藤 正 三*

1. 緒 言

道路工学という名において、日本の国立大学では正式の座席も与えられないが、最近のように、生産性の向上運動のまきぞえで、輸送費が国民経済に対して占める影響の調査がすすみ、目のふれるところ道路という字の見あたらないときがないくらい、騒がれつつ役割が大きくなつてきている。内省的に道路工学をみると、最近の道路技術の急激な進歩が、自分自身を分裂の状態に導いた事実を認識しなければならない。土圧論から現在の土質力学に導いたのは、道路の路盤改良をいかにするかという努力からであるが、最近土質力学に道路土工は引きずりまわされている状態である。舗装問題も、舗装コンクリートはコンクリート工学のワクの中に入るべきであり、アスファルトは応力化学の部門へ、土の安定処理もまた応力化学者の領分である。かろうじて残るのは交通工学の分野、関連して道路経済の分野で、これは今後の道路技術者の、主力問題に変わつてゆくであろう。交通工学については三野氏がすでに論じている¹⁾ので道路技術者自身、今後いかにすべきかという過渡期における若干の問題を提起しつつ最近の傾向を述べたいと思う。

2. 土工および路盤工

土性の基礎的研究がこの40年間に道路の路床、路盤の土の良否の判定、施工方法の確立に寄与し、それがまた土質力学の急速な発展を促して、土質工学という一独立分野を確保してしまつた。特に第一次大戦後の建設の機械化が、第二次大戦中に大きな飛躍をなし、それがまた復興建設に大活躍をしたために、建設事業の機械化施工は一般化し、ひいては工事の質の均一化に大きな役割をはたし、必需装備となつている。ただいつも遭遇する困難な問題は日本の気象条件が非常に悪く、しかも土質が火山灰質のものが多く、水田・湖沼・地帯でなくとも、土が悪質で含水量が多く、その調節は不可能な場合が多い。従つて一般的な西欧の示方書をまねることは、失敗を招く結果になるおそれがある。いいかえれば、機械化施工の場合でも、わが国はわが国なりの土工基準とそれに応じた機械化施工法でなければならない。例えば、東北、北海道における年間作業日数は100日程度が普通で、しかもその100日の中には前日降雨があつて相

当以上に含水量の多い土を処理しなければならない場合がほとんどの日数を占めている。降雨がなくとも現場土の野外含水量はきわめて大きく、普通の最適含水量をはるかに上廻っているのが一般だと考えるのが正しい。作業日数のさらに多い太平洋岸地域にしても同じ悩みから解放されることはまずないといつてよい。従つてどんな快適な場合でも、最適含水量で最大の密度の締固め効果をうる機会はほとんどないと思わねばならない。岩手火山灰、関東ローム、瀬戸内海の真砂、熊本のヨナ、鹿児島島のシラス、佐賀や児島湾の軟弱地盤などの、この小さな島国が種々雑多な特性をもっている事実をよく認識して、土の調査には万全を期してもらわなければならない²⁾。土工に当つてはどんな締固め機械を利用するにしても、それぞれの特性に応じて最大密度は最適含水量とはちがつて決められてくるので、(路盤+舗装)の設計に当つてもこの注意を忘れてはならない。

昨年土工指針³⁾が発表され、一応の目安が明らかにされたことは今後の道路土工の施工方針について大きな役割を演ずるものと考えられるが、標準を示すことがやつとできる程度で、その地区地区であまりに激変する土質条件と気象条件を克服するには長い努力と経験に待つ以外に方法はない。以前日本における道路土性図をつくる大望をもつて建設省の研究補助金をもらい、各大学の先生方の御協力を得て青森から奈良まで太平洋のみ完成したが、十分な理解が得られないまま中止していることはまことに残念である。

最近の土工機械の進歩はめざましいほどで、今年は振動締め機械類が国産化し、さらに土質安定処理機械も現われている。基礎学門、土質調査法の進歩は施工様式を変え、それがまた次の基礎調査の発展をうながしている。しかし基礎部門といつてもその多くの資料は目下実験室に備えられている立派な多くの土質試験機よりは、むしろきわめて単純な器具類によつて得られた多くの資料の蓄積が非常な強みになつている。例えば一般測量トランシットなどと同じく、ソイルオーガー、貫入試験機や含水量測定器具を持参するだけで、特殊な土にあわなにかぎり、ほぼ正確に舗装厚さの概算設計までできるよつになつてきた。例えば、含水量では、100ccのメッシュリンダーと薬用の携帯ハカリを用意するだけで大体5%程度の誤差で測定できる⁴⁾。また砂糖濃度計⁵⁾を用いるともつと簡単にできる。含水量がわかれば現場密度の簡単

* 正員 工博 建設省関東地方建設局, 建設専門官

図-1 K値—打撃回数との関係

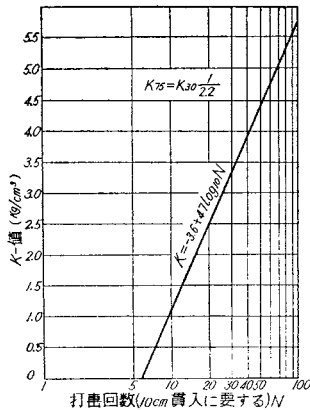


図-2

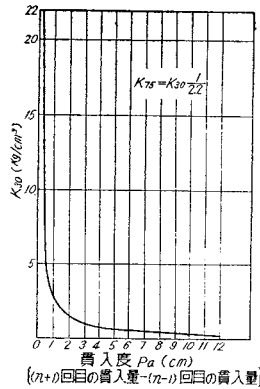


図-3

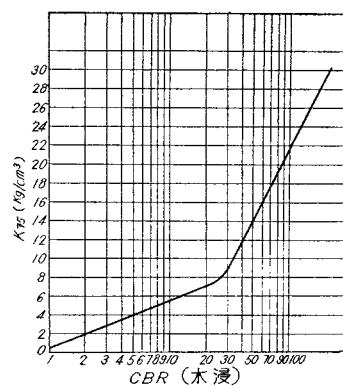
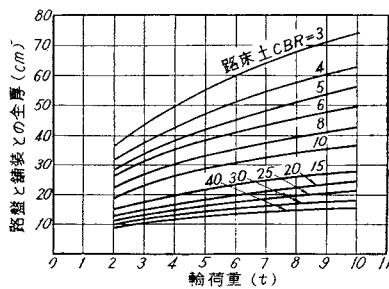


図-4



な測定法は JIS に定められているとおりにすればよい。

路床支持力の判定には最も簡単には貫入試験機¹⁾²⁾を使用すればよい。それは実験的に図-1.2 のようにしてきめられる。CBR 値は図-3 より決まり、路盤と舗装との全厚は経験的に図-4 より決定される。

路盤と舗装厚との関係、舗装工種の選択については、地方材料の値段、入手の安易さ、所有する建設機械の性能および組合せの程度などによって変化する。

3. 防塵、安定処理工法

日本は火山列島であるため、土質は非常に変化が多く、かつまた工学的には悪質土が多い。しかも、多雨、多湿で、場所によつてははなはだしい凍上を起す地域もある。しかしまた見方を変えると、夏季には 20 t 荷重のトラックを通す従来の砂利道もまた多くあるという現実を直視する必要がある。季節的影響に対して力学的に安定な路盤構造をつくることは最小限の要求である。

従来わが国では住宅地、小交通量の地域にのみ簡易舗装が行われているが、重車両に対する支持力を考えずに砂利道の上に簡単に横断勾配を直す程度の路盤工をしてそのままカバリングをするという考えであつたので交通車両が重く、かつ大きくなるとすぐ破壊してしまつた。表層のカバーは防塵、あるいは不透水性材料の被覆と考えて、中身の路盤工に十分に費用をかけたとしたら 20 t の車両でも破壊はしないであろう。もちろん交通量が非

常に増えてくれば、被覆が 1~2 cm の厚さでは表層がはげてくるから、もつと高級にしなければなるまいが、200~500 (台/日、車線) くらいでは十分に維持できるはずである。

アメリカにおける最近の研究成果は、Massachusetts Institute of Technology から発表⁶⁾されている。日本においてもいままでいろいろ研究されており、特にソイルセメント系統のものは昭和の初期から第二次大戦の戦時研究にかけて相当研究されている⁷⁾が、応用面との連繫が悪くほとんど途中で挫折してしまつた。ある土または土と骨材との混合物の物理的性質(ある場合にはせん断強度であり、他の場合は変形に対する抵抗であり、あるいは耐水性である)を改良するには改良前の土の自然状態における性質、改良後の土に要求される性質、改良後の環境と使用状態を考慮しておかなければならない。

たいていの土に水を加えると粘着力が減少し、体積を膨脹し、支持力が低下する。土構造物の安定を考える場合には、まず、土に対する水の影響をコントロールすることが大きな目的になる場合が多い。

一般的に最も経済的なものは土の粘度組成を粗いものから細かいものまでなめらかな曲線になるようにすることであるが、場所によつては粗粒材の運搬費が高くつくために、他の化学材料、例えば石灰、歴青材、セメントなどを用いた化学安定工法が有利な場合も少くない。ただ化学安定処理を合理的に行う場合には、粘土鉱物の種類、界面の物理化学的および電気化学的諸性質、イオン置換その他のやや土木技術者の領域外の問題を考えなければならなくなる。

(1) ソイルセメント系処理

ソイルセメントは普通は土が粉碎容易な場合に用いられ、アメリカでは砂質土の所で路盤としてさかんに使用されている。粘土質土の土では粉碎しにくいので、不経済になるおそれがある。ただし、岩手火山灰などで土の含水比が大きく、粒度の細かいシルト質土でアスファルト系処理のみでは困難な場合などはセメント系統のもの

が都合のよいときもある。

セメント所要量は ASTM の乾湿および凍結融解の標準試験方法(12 サイクル)によつてきめられる(表-1)。

表-1 乾湿および凍結融解試験によるソイルセメント供試体のはく離量

土の種類 (PRA 分類)	供試体のはく離量 (%)
A-1, A-2, A-3	14
A-4, A-5	10
A-6, A-7	8

この程度になるように処理すると、大きな強度と耐久性を生じ、粘土質の土の塑性指数もほとんど0にすることができるし、体積変化も非常に少なくなるので、不良地盤の路床路盤の改良あるいは凍上地区の路床路盤の改良に非常に効果的である。土の種類とセメントの所要量は最も経済的な限界にとどめてよい(表-2)。

表-2 セメント所要量

土の種類	セメント所要量(体積百分率)
A-1, A-2	8 ~ 10 %
A-3, (海砂)	12 ~ 14 %
A-4, A-5	10 ~ 12 %
A-6, A-7	12 ~ 16 %

Sheets および Catton が行つた実験結果⁸⁾では、砂質土(A-2, A-3)では土の乾燥重量に対して、6%程度のセメントを加えたものが最もよい結果を示し、またシルト質土(A-4)はセメントを10%加えて多少硬化される程度で、A-5~A-7の粘土分の多い土ではなかなか決つた関係が得られず試験によらなければならない。すなわち粘土含有量は、粘土そのものの性質が鋭敏に影響するので、コロイド化学の研究に入らなければならなくなる。一般に液性限界 50 以下、塑性指数 25 以下、粘土含有量 35 以下が最も扱いやすいようである。

土とセメントの関係に影響を与えるものは、土粒子の表面積、有機物含有量、水素イオン濃度、液性限界、塑性指数、最適含水量と締固め密度、圧縮強度などの多くの因子が考えられるが、支持力に重点をおいて考えればよい。ただ凍上対策工法としては毛管性について十分検討しておく必要がある。たいていの土は大体 10^{-7} のくらいにすることができる。

岩手火山灰(関東ロームに比して自然含水比が60%くらいであるにもかかわらず、いちじるしく粘着性が大きく、粉砕もむずかしい)について実験した結果では、液性限界 64、塑性指数 31 の原土がセメント 10% 重量加えると 2 週間後には塑性指数が 19.7 にさがっている。実験はセメント、塩化カルシウム、フライ アッシュ、炭酸カルシウム、四価磷酸ナトリウム、セメントと塩化カルシウム、フライ アッシュと炭酸カルシウム、セメントと四価磷酸ナトリウムなどが混合されたが、締固め試験の結果では、セメントだけ使用したとき $1.22 \sim 1.28 \text{ t/m}^3$

のものがセメント塩化カルシウムを用いると $1.30 \sim 1.36 \text{ t/m}^3$ になつた。

一軸圧縮強度(7日)はセメントのみ混合した場合には10%で 8.23 kg/cm^2 、15%で 16.30 kg/cm^2 を示し、さらに塩化カルシウムを2%同時に混ぜるとそれぞれ 9.60 および 30.60 kg/cm^2 となる。CBR 試験結果も塩化カルシウムを2%ぐらい加えるとセメント5%で35.5、10%で78.2となり、これだけで、不良岩手火山灰が路盤上面の CBR 80 まで改良可能なことを示している。吸水膨脹試験結果は原土 0.034%、セメントのみ10%のとき0.021%、セメントと塩化カルシウムのとき、0.020%であり変化はあらわれない。乾湿くり返し試験結果では損失量はセメント10%で4.0%、15%で0%となり、さらに塩化カルシウムを2%加えたものはそれぞれ5%で22.5%、10%で3.2%となつていますが最適含水量の供試体では塩化カルシウムを入れたものが損失量が多くなつているので、もう少し研究の余地はあるように思われる。アメリカにおける損失量基準8%、イギリスの一軸圧縮強度基準7日で 17.5 kg/cm^2 以上とあるを参考にすれば、岩手火山灰のような天下の悪土質もセメント量を重量で10%程度さらに塩化カルシウム2%添加くらいで処理すれば路盤として十分利用できることがわかつた。これは関東ロームの処理はさらに容易なことを意味するものである。

セメント安定処理は、硬化に時間を要すること、養生期間中含水量のコントロールを要すること、粘着性土は現場処理が容易でないこと、土の中に含まれる有機物は好ましくない影響を与えること、摩耗に対する抵抗が弱いこと、収縮キレツを生ずることなどのためにいろいろ問題点を含んでいるが、セメントは豊富に国産品として得られる点などから、将来のローコスト・ロードとしての利用価値はきわめて大きいものと思われる。

(2) 歴青系安定処理

歴青材による土の安定処理工法は土粒子を歴青材で被覆してこれによつて耐水性を一定に保つようにし、ひいてはせん断抵抗の変化を最小にとどめようとする目的で行われてきた。この処理工法はソイルセメント工法のように化学変化はともなわず、主として物理的に被膜作用によつて行われるものである。砂質土では歴青材の練り混ぜは容易であるが、粘土質土では土粒子の表面積が非常に大きいために均一な薄膜を形成することがむづかしく、施工も困難であつたが、Seaman Mixer, wood や P&H の土の粉砕混合機械ができたために比較的工事も容易に行われるようになった。

いままで日本であまり使用されていなかったのは温暖な気候で、粘性土の含水量が一年中相当高く、歴青材の形でさらに液体歴青材を加えることは、支持力を削減することになるおそれがあることなどによるが、山陰、北

陸、その他の砂丘地帯などで土砂の含水量が低く、あるいは砂質土の盛土で将来の含水量増加のおそれのない道路などの場合にはローコスト・ロードの母体として利用価値は大きい。特に最近のように国内で石油精製が行われ、二次的とはいえ、必然的に歴青生産量が増してくれば、ローコスト・ロードの路盤改良のみならず、コンクリート、また歴青高級舗装の路床、路盤の防水と安定を保つために、あるいはまた、凍上地帯の完全毛管遮断層としての効用はきわめて大きいものと思われる。

路盤工として歴青安定処理を考える場合には、非粘着性の砂を安定させるためには、砂の粒子を最適量の歴青膜でおほつて、粒子間の摩擦抵抗を破壊せずに、粘着抵抗を生ずるにすることであり、粘性土では小さな土塊も含むが最適の有効径に粉碎された土の材料に、毛細管現象を遮断するに十分なしかも土塊中の含水量の変化を防ぎ、また土塊と土粒子とのまわりに有効な防水被膜をつくるに十分な量を必要とする。ただし土塊および土粒子を個々に完全に防水することではなくてある程度は自然の土粒子自身の粘着力にも依存しているのである。つまり土粒子の単粒子構造ではなく多分子集団構造にしておくようにする。従つていたづらに粉碎度をたかめると所要歴青量が多量になつて完全混合の形態になるが、歴青材が結合材としてよりは潤滑材として働くために安定を失うことがあるから注意が必要である。このことは実験的には練り混ぜ時間を長くすれば、吸水膨脹がかえつて増加してくる事実によつて明らかにすることができる。土と歴青材の混合を容易にするためには、歴青材と含水量とを合計して含液量と考え、最適含液比を求める方法で得られた歴青量をもとにして、設計される。フィルムの厚さは大体 0.1 μ くらいになつていようである。設計に対して所要量をきめるには、7 日吸水試験、膨脹試験、強度または安定度試験が行われるが、供試体は歴青乳剤のときは養生して、カットバック・アスファルトのときは養生をせずに試験する。

歴青材は普通 MC-2,3, SC-2,3 が多く使用され、所要歴青量は、混合土の粒度、最大寸法、0.074 mm 以下の量によつて異なるが最大寸法が 40 mm を通る混合物では、所要最小歴青量は乾燥気候のときは 1%、降雨の多い気候の所では 2% とされ、最大寸法 20 mm になると最小所要量はそれぞれ 2% および 3% になる。

歴青乳剤は針入度 100 程度のアスファルトを用いた緩硬性のものが使用され、サンド・ビチューメンの場合には所要乳剤量は普通 5~10% であり、大体次式で示される。

$$P = 0.75(0.05A + 0.10B + 0.50C)$$

ここで A : 2 mm フルイにとどまる砂の量 (%)

B : 2~0.074 mm の砂の量 (%)

C : 0.074 mm 以下の量 (%)

P : 砂の重量に対する歴青乳剤の量 (%)

一般にはハバード・テストでは養生締固め後 25°C で 540 kg、養生締固めで吸水膨脹試験後 180~225 kg 以上の安定度をもつようにしている。また吸水膨脹は 5% 以下になるようになければならない。カットバック・アスファルトを使用するときは普通イギリスでは 5~7.5%、アメリカでは 4~7% くらいを使用している。イギリスでは多湿であるため 7~10% を加えることはむしろ悪いとされている。アメリカでは最良の結果を得られる粒度範囲は、最大粒径は締固め厚さの 1/3 より大きくなく、5, 0.42, 0.074 mm フルイ通過量はそれぞれ 50% 以上、35~100% 以上および 10~50% 以上で 0.42 mm フルイを通る土粒子については LL 40 以下、PL 18 以下を適当であるといつている。

炭化物および酸化物はそれぞれ疎水性であるから、それらと歴青材の付着は長くつづくことができるが、歴青材と親水性の土とでは、とくに塑性指数が 40 以上の土では付着が非常に悪くなる。このような土に対しては歴青材にアニリン・フルフラールのような活性剤を少量（一般には約 1%）を加えてやるとよく付着するようになる⁹⁾。混合直前の歴青材に加えても、またむしろ歴青材を加える直前に土に加えて、表面の電気的性質をかえて両者の親和力を増すようにする。また歴青材を加えるまえに、乾燥土に石灰やセメントを加えたりして土の水に対する界面親和力を減ずることも行われる。

関東ロームに歴青材（カットバック・アスファルト）を 0~8% を 2% おきに混ぜて養生時間を変えている試験を行つてみたが、歴青材の量にかかわらず一般に吸水膨脹は混ぜないときよりも大きく、強度も安定度も悪くなるような異常な傾向を示したが、これにダラコト、脂肪アミン、ノーストリップなどの商品名の表面活性剤 1% や石灰 2% を混ぜた場合は、混ぜない場合にして、はるかに良好な安定度を示した。

歴青乳剤とセメントと同時に用いる工法¹⁰⁾もある。このための特に遅硬性の乳剤は細粒土と混合しても、しばらく分解しないので、土全体に早く乳剤がゆきわたるようになっていよう。これにつづいて混和するセメントは乳剤の分解を起させ、土中の余分な自由水を水和によつて吸収し、また締固めた後の土の強度を増すためのものである。この工法では乳剤を 5~7.5%、セメントを 3~5% くらいで、できたものはソイル・セメントとソイル・ビチューメンの中間の性質を呈することになる。すなわち多少の剛性とかなりの防水性をもつことになるもので、日本のような気象条件では大いに利用できるのではないかと思われる。

細土、細骨材を多量に含む砂利道の組成に歴青材を混ぜるには、歴青材のコンシステンシーは MC あるいは SC 型のものでなければならない。しかも施工の初期においては砂利道材料の含水量にさらに液体歴青材を加え

るので、合計の液体含有量において、練り混ぜ、締固め、仕上げが容易でなければならない。竣工後あるいは液体歴青材中、蒸発成分が蒸発した後においては、高温時に軟化、流動しない範囲で、歴青量の多いことは望ましいが、施工時の合計液体含有量の多すぎるとは、締固め効果を減少させる欠点を持つので、日本のように高温、多雨多湿の国では5~7% くらいが適当のようである。

歴青材は三菱石油研究部と協同で、精製のエキストラクトとワフラ・アスファルトを71:29の割合で混合したもの、あるいはエキストラクトのみを使用して、配合割合を変えて、練り混ぜ試験、養生試験、圧縮試験、吸水試験、膨脹試験、ハバート試験、CBR試験などを行った結果は、パラフィン系材料でも十分に利用できることを明かにしている。一般乳剤を使用する安定処理舗装はすでに大阪府で実施成功をおさめている¹¹⁾。

従来歴青舗装における特殊工法として考えられていた、マルト工法、クリート工法などは溶かしたアスファルトに特許薬品のマルトあるいはクリートを混入して、骨材混合を容易にできるようにし、従つて被覆厚を薄くできる工法であるが、砂利道のように表面積の大きい細土分を多く含有する材料に歴青材料を混合するのに利用すれば効果がある。また最近オーキ・スタビライザーという乳剤製品がつくられ、砂利道の構成材料に5~10%ほどの水分を加え、これに石灰およびオーキ・スタビライザーを加えて混合舗設するものもある。後者は7日間大気養生した供試体のハバート試験結果は500kg以上で1000kgに達するものがあり、浸水供試体も強度はほとんど低下しないという良成績を示し、路盤安定材として十分な成績をあげている。

このほか砂丘地帯に対しては、骨材のある種の薬品で処理して、高濃度乳剤で歴青混合物をつくり、サンド・ミックスとする工法もある。また地方的な材料としては、新潟地区の精製に用いられないような濃厚原油、新潟、秋田のロック・アスファルト、オイルサンド等もその利用によつて防塵、安定用材料として十分に利用価値があるものである。

将来交通が増加し、特に重車両の増加に対してはこれらはただちに路盤となるものであり、多少の手直しと表層のみを舗設すれば、重交通に耐える舗装となるのである。表層工種の選定は将来にわたる数年間を区切り、経済効果を高度に上げる範囲において、やや高価な舗装工種に転移すればよい。歴青系舗装の特徴は、より高価な工種が無数にあるという点であり、交通量に応じ、地方材料の有無に応じ、施工設備に応じ、いろいろ変えてより高価な舗装を、在来舗装を基層として施工できるといふことである。階段式工法の真価を発揮できるといふよう。

4. セメントコンクリート系舗装

最近10年間のコンクリート舗装の厚さの変換を追つてみると表-3のようになっている。

表-3 コンクリート舗装厚(%)

年次	舗装厚						
	15 cm 以下	16~17 cm	18~19 cm	20 cm	21~22 cm	23~24 cm	25 cm
1934	32	36	22	9	1	—	—
1952	—	4	20	76	—	—	—
1953	—	1	6	92	1	—	—
1954	—	—	1	93	2	3	1

しかし実際には普通の路盤支持力係数7kg/cm³程度をもつ路盤で、20t荷重車が卓越する道路では25~28cmを必要とする計算になつてきている。13t荷重車が卓越する場合でもタイヤ、スリップバーを入れても23cmを必要とするのである。しかしこれらの設計には許容破壊曲げ強度に対して安全率は2程度である。くり返し活荷重応力に対しては破壊強度の約55%より有効にならないという実験結果を考えれば、安全率は1の設計を行つていることになり、他のコンクリート構造物では考えられないことである。このような設計条件において、しかもきわめて表面積の広い、気象的影響を受けやすいコンクリート舗装を完全に施工することは決して容易な業ではない。材料の選択、練り混ぜ、舗設作業において、さらにその日の天候、風雨の影響で、多くの不確定条件を含むことを知りながら、路盤という支持体(これも多くの不確定性を含む)上につくられるという、精神的安定感で支えられて安全率1の構造物をつくるということは、道路技術者に与えられた責務はあまりに酷である。国家財政が乏しいがゆえにあえて施工し、不確定条件が幸いにして相反する性質で、互いに消去すれば耐用年数をもちこたえ、不幸にして相重なれば、3~5年にして破壊が始まり、耐用年数の15~20年は夢となり、再び掘起し、路盤直し、再舗設と二重の費用をかけなければならない破目になる。最近のように交通荷重の変化が激しくは、後者に追いつかれる機会の方が多くなりつつあるのである。

舗装コンクリートのように単位水量が普通130kg、AEコンクリートで120kg、ポゾリスを用いて115kg くらいの超硬練りを使うのでは、まともなコンクリートの研究資料もほとんどなく、まだ不明の点は多々ある。いままでの実験結果から曲げ強度と他の強度との関係、容積変化などが非常に改善されているようであるが、弾性係数もまた非常に大きくなつているため、荷重によつて生ずる応力は従来の仮定した弾性係数の場合より大きくなる結果を生じている。従つてコンクリート舗装版については材料、施工、設計のいずれの面からもまだまだ研究を必要とするものと思われる。

舗装は富配合として厚さを減ずる場合と貧配合として

厚さを増す場合といずれが経済的かを検討してみた結果では、普通の支持力をもつ路盤上ではセメント量を増しても節約にならず、むしろできるだけセメント量を節約して、必要あれば多少厚さを増した方が経済的であるという結果¹²⁾を得た。この点は路盤が悪いほど舗装版の厚い方が破壊率は低くなるという、従来の調査からもある程度結論もでている。ともかく現在のコンクリート舗装が十分にその寿命を完了しても、経験上 15~20 年である。いまの情勢で交通状況が変化してゆけば、とてもそれだけの寿命も期待し得ない。

われわれが道路の舗装計画を予定どおり遂行するためには、少くとも 30 年くらいは再舗装を行わずに維持補修費で間にあうような舗装工種を設計施工しなければならない。

現在のようなコンクリート舗装工法では、舗装が破壊して、再舗装を行うようになるときには、平常の維持補修の不良のために、おそらく路盤工も再施工して新舗装を行わねばならないであろう。その前に旧舗装の取壊し、後片付けの費用も負荷されるのである。これをどのように計画し、施工すれば、現在の計画を新しい交通情勢に対応しながら、どうか遂行できるかという点を真剣に考えなければならないのである。舗装の目的は 1 年を通じて交通車両が安全に、確実に、迅速に、愉快地、経済的に走行できるようにすることである。どんなに高価な舗装でも、デコボコだらけに破壊した路面では、砂利道にも劣る。舗装が力学的にはある程度破壊したと認められてもそれが舗装としての目的に相当の効果をあげておれば使用に供しておいてよい。いいかえれば、交通の安全走行に対する舗装の残存価値が大きい構造を考える必要がある。つまりコンクリート舗装にクラックが入つても、いままでのようにデコボコができ、こわれた版ががたつき、走行が非常に危険になるということのないようにするために、鉄網 (250 円/m² 程度) を入れるなどの処置を講ずると、鉄網が腐食するまでは、外観はみつともなくとも任務をはたすことができる。もしもヒビワレがかなりに発達して、はなはだしく外観が悪くなり、あるいは雨水などにより路盤が軟化したり、舗装中の金網が腐食により切れるおそれがあるようになったら、これをホワイト・ベースにして、アスファルト・カバリングをすればさらに 10~15 年の耐用年数は増加する。このカバリングに要する費用は基層のコンクリート版が鉄網版で安定だから、厚さも 3.5~5 cm で十分であろうから 450~650 円/m² で施工できると思われる。路盤条件が比較的経済的に設計のできる 7 kg/cm³ の支持力係数を持つようにするのに相当高価な路盤工を行わなければならない場合、あるいは現在相当の支持力があつても、橋梁袖部の大きな盛土、暗キヨなどの両側部などで、永年沈下によるわづかの沈下量のために舗装が破壊されるおそ

れある場合などには、鉄網舗装¹²⁾は非常に有利になるのである。

路盤が悪質で高価な路床置換えを必要とし、しかもなお、十分な支持力を期待できない場合も相当ある。特に軟弱地盤地帯を通る道路、地下水の非常に高い場所あるいは悪質火山灰系統の土質でその置き換えによつてもなお支持力は 3~4.5 kg/cm³ 程度より期待できない場合には、鉄網程度ではとても条件を満たすことができないので、ここで始めて弾性床上の版としての鉄筋コンクリート版の存在が経済的に妥当性があるかどうか問題になつてくるのである。

これらの問題に対して、昭和 30 年度には埼玉県春日部と箱根とに鉄筋コンクリート舗装¹²⁾を試験的に施工した。この 2 地区は一方は支持力 $k_{rs}=7$ であり、他方は $k_{rs}=2.5$ という悪質土を代表させた。築造費は在来の無筋コンクリート舗装版とはほぼ同一になるという条件の下に春日部では想定 20 t 仮定に対して、厚さ 17 cm, 13 t 荷重に対して 15 cm とし、箱根では厚さ 20 cm とした。膨脹目地間隔は 50 m, 中央に 1 本めくら目地を設けた。ちょうど 1 カ年使用した現在まだびびわれは現われていない。

今年度には鉄筋およびコンクリート強度をさらに安全率を少なくして計算した結果表-4 で十分計算上安全と思われるので、そのうち数種について試験舗装を行うことになつている。表-4 をみればわかるようにやや力学的に計算精度をあげれば、従来使用した鉄網を少し補強した程度であることが認められよう (31 年度に実施した光弾性実験結果からも検討を行つている)。すなわち、従来単にヒビワレ防止用と考へた鉄網も、力学的にはかなり重要な役割をはたしていたわけである。戦後の舗装が壊れているのにかつて鉄網を挿入したコンクリート舗装が、すでに 25 年近くの年数を経ているにもかかわらず、方々に現存し重車両に耐えていることは、あらためて見直す必要があると思う。さらに高速自動車道の進展にともない、この問題はまもなくプレストレスト コンクリート舗装へとなつてゆくであろう。

最近真空コンクリート舗装の施工¹²⁾が実施され始めたことは、道路施工法における進歩であつて、特に補修工事では、硬化後における収縮により平坦性をそこなう心配はなく、1 日強度で 180~200 kg/cm²、になるので 1 日養生でコアの採取ができ、交通開始が早められるので、交通量の多い道路ではコンクリート舗装の補修用として極めて効果を上げていることは注目してもよいと思う。

5. 歴 青 舗 装

従来アスファルトはほとんど輸入品であつたが最近のように燃料消費量が増加してくると日本の精油所で二次製品としてでてくる残カスが、消化しきれなくなつてき

表-4

K-値 (kg/cm ³)	σ_s (kg/cm ²)	後輪荷重が版の隅角部にあつた場合										後輪荷重が版の中央部にあつた場合											
		σ_c (kg/cm ²)	全荷重 (t)	後輪荷重 (t)	モーメント (kg·cm)	制限がない場合		制限した場合		鉄筋の 所要量 (cm ²)	全荷重 (t)	後輪荷重 (t)	モーメント (kg·cm)	制限しない場合		制限した場合		鉄筋の 所要量 (cm ²)					
						有効高被覆厚 (cm)	全厚 (cm)	有効高被覆厚 (cm)	全厚 (cm)					有効高被覆厚 (cm)	全厚 (cm)	有効高被覆厚 (cm)	全厚 (cm)						
2 600	22.5	13	5.2	-1 072	29.4	2.6	32	1.5	12	3	15	232.9	13	5.2	905	27.0	3.0	30	1.3	12	3	15	86.1
		20	8	-1 437	34.0	3.0	37	1.7	12	3	15	—	20	8	1 273	32.0	3.0	35	1.6	12	3	15	—
	25	13	5.2	-1 072	26.7	3.3	30	1.6	12	3	15	136.6	13	5.2	905	24.0	3.0	27	1.5	12	3	15	46.0
	20	8	-1 437	31.0	3.0	34	1.9	12	3	15	—	20	8	1 273	29.0	3.0	32	1.8	12	3	15	—	
	65	13	5.2	-1 072	11.6	3.4	15	3.9	12	3	15	3.9	13	5.2	905	10.6	3.4	14	3.6	12	3	15	3.2
	20	8	-1 437	13.4	2.6	16	4.5	12	3	15	7.5	20	8	1 273	12.6	2.4	15	4.3	12	3	15	5.1	
	80	13	5.2	-1 072	9.8	3.2	13	4.7	12	3	15	3.9	13	5.2	905	8.9	3.1	12	4.35	12	3	15	3.2
	20	8	-1 437	11.3	2.7	14	5.5	12	3	15	5.1	20	8	1 273	10.6	3.4	14	5.1	12	3	15	4.3	
	100	13	5.2	-1 072	8.2	2.8	11	5.7	12	3	15	3.9	13	5.2	905	7.5	3.5	11	5.3	12	3	15	3.2
	20	8	-1 437	9.4	3.6	13	6.6	12	3	15	5.1	20	8	1 273	8.9	3.1	12	6.2	12	3	15	4.3	
3 000	25	13	5.2	-1 255	8.8	3.2	12	6.2	17	3	20	3.0	13	5.2	1 013	8	3	11	5.6	17	3	20	2.4
	20	8	-1 746	10.4	2.6	13	7.2	17	3	20	4.3	20	8	1 451	9.5	2.5	12	6.7	17	3	20	3.7	
	25	13	5.2	-1 072	31.3	2.7	34	1.2	12	3	15	232.9	13	5.2	905	28.7	3.3	32	1.1	12	3	15	86.1
	20	8	-1 437	36.1	2.9	39	1.4	12	3	15	—	20	8	1 273	34.0	3.0	37	1.3	12	3	15	—	
	25	13	5.2	-1 072	28.4	2.6	31	1.3	12	3	15	136.6	12	5.2	905	26.0	3.0	39	1.2	12	3	15	46.0
	20	8	-1 437	32.8	3.2	36	1.5	12	3	15	—	20	8	1 273	31.0	3.0	34	1.4	12	3	15	—	
	65	13	5.2	-1 072	12.1	2.9	15	3.2	12	3	15	3.2	13	5.2	905	11.1	2.9	14	2.95	12	3	15	2.7
	20	8	-1 437	14.0	3.0	17	3.7	12	3	15	7.5	20	8	1 273	13.2	2.8	16	3.5	12	3	15	5.1	
	80	13	5.2	-1 072	10.2	2.8	13	3.77	12	3	15	3.2	13	5.2	905	9.3	2.7	12	3.45	12	3	15	2.7
	20	8	-1 437	11.8	3.2	15	4.36	12	3	15	4.3	20	8	1 273	11.1	2.9	14	4.1	12	3	15	3.8	
3 200	100	13	5.2	-1 072	8.5	3.5	12	4.8	12	3	15	3.2	13	5.2	905	7.0	3.2	11	4.4	12	3	15	2.7
	20	8	-1 437	9.8	3.2	13	5.5	12	3	15	4.3	20	8	1 273	9.2	2.8	12	5.2	12	3	15	3.8	
	22.5	13	5.2	-1 072	32.2	2.8	35	1.1	12	3	15	232.9	13	5.2	905	29.5	2.5	32	1.0	12	3	15	86.1
	20	8	-1 437	37.2	2.8	40	1.2	12	3	15	—	20	8	1 273	34.9	3.1	38	1.2	12	3	15	—	
	25	13	5.2	-1 072	29.0	3.0	32	1.2	12	3	15	136.6	13	5.2	906	26.7	3.3	30	1.1	12	3	15	46.0
	20	8	-1 437	33.7	3.3	37	1.4	12	3	15	—	20	8	1 273	31.6	2.4	34	1.3	12	3	15	—	
	65	13	5.2	-1 072	12.4	2.6	15	2.9	12	3	15	2.9	13	5.2	905	11.1	2.9	14	2.6	12	3	15	2.5
	20	8	-1 437	14.3	2.7	17	3.4	12	3	15	7.5	20	8	1 273	13.5	2.5	16	3.2	12	3	15	5.1	
	80	13	5.2	-1 072	10.3	2.7	13	3.5	12	3	15	3.0	13	5.2	905	9.5	2.5	12	3.2	12	3	15	2.5
	20	8	-1 437	12.0	3.0	15	4.1	12	3	15	4.1	20	8	1 273	11.2	2.8	14	3.85	12	3	15	3.6	
100	12	5.2	-1 072	8.7	3.3	12	4.3	12	3	15	3.0	13	5.2	905	8	3.0	11	4.0	12	3	15	2.5	
20	8	-1 437	10	3.0	13	5.0	12	3	15	4.1	20	8	1 273	9.4	2.6	12	4.7	12	3	15	3.6		

ている。ただ最近の原油は従来のカリフォルニア原油と異なり、東南アジア、中東アジア産で、ミックスト基あるいはパラフィン基で舗装材料としては問題を含んでいる。アスファルトとして市場に出すにはアスファルト基原油と混ぜて精製するとかいろいろ工夫したり、あるいは重油として自己燃料に消費している状態である。

現在わが国で生産されるアスファルト類似の材料をあげると表-5 のようになる。表中アスファルト生産量のうちパラフィン系という欄を一部空欄にしたのは、これらの材料はいわゆるアスファルト材料として不適とされてきたため一般に製品として生産されていないで燃料などとして処理されていたので、生産量が0としたが、もし利用されるとすれば、どの程度の量となるかを示したのが31年度以降の記載した数字である。

表-5 アスファルト生産量の実績および見込みアスファルト生産量

年度	国内産		輸入	合計	
	ナフテン系	パラフィン系	ナフテン系	ナフテン系	パラフィン系
昭和23	(10)t 17 444	t	t 7 611	t 25 055	t
24	(10) 25 526		22 752	48 218	
25	(10) 98 713		0	98 713	
26	(10) 109 241		0	109 241	
27	(16) 96 819		0	96 819	
28	(20) 134 166		0	134 166	
29	(25) 161 918		0	161 918	
30	(25) 192 375		0	192 375	
31	(25) 220 288	(6) 575 871	0	220 288	575 871
32	(25) 250 263	(6) 616 797	0	250 263	616 797
33	(25) 300 600	(6) 673 056	0	300 600	673 056
34	(25) 353 713	(6) 705 489	0	353 713	705 489
35	(25) 411 588	(6) 736 839	0	411 588	736 839

註：(1) 昭和29年度までは実績，昭和30年は推定，昭和31年以降は計画を示す(通産省調査統計部石油統計資料および昭和31~35年度石油製品需給計画による)。

(2) アスファルト生産量で国内産には輸入原油より生産したものを含む，輸入とはアスファルト製品を輸入したものである。

原油は一般にパラフィン基，ナフテン基および混合基の3種類に分類される。現在まで発見された原油のうち85%までがこれら3種の基に分類することができる。しかし原油は無数の炭化水素の混合物であり，その組成は純精なパラフィンやナフテンからできているものではない。ある原油は3種の基のうち，いずれかの基が優位性を示しているというだけである。

パラフィン基原油はガソリンの収量は大であるが，そのオクタン価は比較的低く，潤滑油の収量は多くて，粘度指数も高い。またロウ分に富むものが多いので，一般に原油の凝固点は高い。

それに反してナフテン基原油は芳香族炭化水素，アスファルト化合物，硫黄分を比較的多量に含み，ガソリン収量は少く，そのオクタン価は比較的高いが，潤滑油の

収量は少く，その粘度指数も低い。両原油の特性をあげると表-6⁽³⁾ のように混合基原油はこれらの中間の性状をもっている。

表-6

種 別	パラフィン基	ナフテン基
A. P. I (比 量)	大(小)	小(大)
直留ガソリン収量	多	比較的小
ガソリンのオクタン価	低	高
潤滑油収量	多	少
潤滑油の粘度指数	高	低
ロウ分含量	比較的多	ほとんどなし
臭気	わずかな芳香	刺激性の異い
硫黄分	比較的少	多
色	比較的明るい	暗色

国内原油の大半を占めているのは八橋油田であるが主な原油の性状を示すと表-7 のようになる。

一般に秋田，山形原油はナフテン基，新潟，北海道は混合基の原油である。

輸入原油の製品収量を総括すると表-8 のようになる。

パラフィン基原油の残留油の利用についてはいままで，放置されてきたために明らかにされている点はほとんどない。優良な石油アスファルトに固形パラフィンを加えたものと，元来固形パラフィンを同量だけ含んだ石油アスファルトの性状を比較してみると，同じではなくこれはアスファルト自身の性質も固形パラフィンの性質も同じものではないということによるようである。一般にパラフィンを含有すると特に針入度が大きくなり，伸度が小さくなり，粘着力が減るなどの舗装材料として好ましくない影響があるので，普通は3%以下としている場合が多い。伸度について歴青材を比較した例を示すと表-9 のようである。良質アスファルトを得たいために，燃料製品取得率の小さい原油を増すことは国家的に経済的ではないから，舗装表層用として必要なアスファルト量をうる範囲にして，他はパラフィン含有量の多い残留油を活用する方法を考える方が有利である。

目下われわれはパラフィン含有の残留油について，性状調査，耐久性試験などを行つてならぬ結論を見出すように努力している。実験数が少ないので確定的なことはいえないが，アスファルト材料にフライアッシュ，セメントを加えると，その混和量が増すとともに次第に針入度，伸度は減少し，軟化点は上り，粘度も大きくなる。

針入度，軟化点，粘度，伸度の変化はフライアッシュとセメントでは異なり，セメントの方はやや変化にむらがあつて，歴青材ごとに試験する方がよいように思われる。フライアッシュは変化が直線的である程度感温比を小さくできることが確かめられた。さらに骨材粒度を嚴重にして，多少かみ合せ条件を重んずる配合にすれば，パラフィン系歴青材でも，舗装材料として十分利用できる確信をもっている。さらにまた，石炭工業の発展にと

表-7

原油名	地方	比重 15/4°C	粘度 (RW) @50°C	凝固点 °C	硫黄分 wt%	ロウ分 wt%	残留炭素 wt%	泥水分 wt%	製品取得率 Vol %						残留油
									ガソリン	ケロシン	ガス油	潤滑油			
												軽質	中質	重質	
西	山	0.863	29	<-15	0.70	0.9	0.5	0.2	42.3	19.6	8.8	—	—	—	28.3
東	山	0.901	43	<-15	0.70	0.8	3.5	2.9	24.2	18.6	6.7	—	—	—	49.5
新	津	0.946	174	<-20	0.38	0.8	5.0	11.3	—	—	20.0	30.0	10.0	18.5	20.5
石	坂	0.950	224	<-20	1.27	0.7	6.6	15.0	—	10.0	10.0	20.0	10.0	22.0	27.0
院	内	0.947	208	<-32	—	—	7.0	20.0	—	12.0	13.0	20.0	25.0	7.0	21.0
八	橋	0.860	34	<-20	0.31	2.2	1.0	2.5	26.0	20.0	8.0	18.0	18		8.0
八	森	0.950	213	<-20	0.84	0.1	4.6	22.5	—	—	20.0	20.0	30.0	10.0	18.0
石	狩	0.825	282	<-15	0.07	1.0	0.9	2.0	45.0	25.0	10.0	—	—	—	19.0

表-8

原油名	所在	比重	粘度 (SSU) 100°F	凝固点 °C	硫黄分 wt%	ロウ分 wt%	残留炭素 wt%	泥水分 wt%	製品取得率 Vol %						残留油
									ガソリン	ケロシン	ガス油	潤滑油			
												軽質	中質	重質	
Abqaiq	Saudi Arabia	0.851	45.0	-39	1.56	3.2	2.9	0.3	32.1	12.2	10.1	15.7	13.0	7.0	10.0
Burgan	Kuwait	0.869	63.8	-40	2.50	2.4	—	0.7	28.0	7.9	10.0	14.9	9.2	11.6	18.0
Zubair	Iraq	0.852	47.0	-22	1.97	2.7	—	—	32.0	6.5	9.6	—	—	—	29.2
Iran	Iran	0.854	—	-30	1.45	3.2	5.6	—	27.2	8.3	13.0	8.4	6.6	0.2	32.1
Wafra	Neutral zone	0.915	215.8	-20	3.28	4.8	3.4	0.3	14.3	6.7	10.1	16.9	13.0	11.6	27.4
Seria	Borneo	0.833	34.0	7	0.11	6.2	0.2	0.5	39.8	20.5	15.0	—	—	—	24.7
Jarkan	Borneo	0.948	—	-25	—	—	2.2	1.1	1.5	7.0	10.0	31.0			50.5
Minus	Sumatra	0.841	158.0	28	0.07	15.0	2.5	0.2	16.7	8.0	10.3	26.0	11.6	4.4	22.0
Klamono	Newguinia	0.942	292.0	-10	1.16	0.3	5.7	1.0	9.5		21.1	—	—	—	69.4
Wasian	Newguinia	0.800	34.1	7	0.60	4.4	0.67	0.2	41.6	12.8	16.7	—	—	—	28.9
ElkHills	U.S.A	0.934	—	<-10	0.93	0.52	5.3	0.1	11.0	12.0	2.5	18.0	11.0	11.0	33.0
Placerita	U.S.A	0.937	—	-10	1.23	—	6.7	1.9	17.6	10.0	5.3	—	—	—	66.0

表-9

伸度	25°C	中東油からの残留油 針入度 60~100	
		アスファルト基原油 よりのアスファルト 針入度 60~100	針入度 60~100
100+	100+	100+	100+
15°C	100+	50	50
10°C	100+	20	20

なつて発生するタールの生産量も次第に増加してきている。イギリス、ドイツなどのようにタールを利用する舗装工法もつと発展してよい時代がきている。いまのところ日本の生産品はむらが多いために嫌われてきたが、高級舗装だけでなく安定処理工法も考ればタールの研究は今後大きな問題を投げかけていると思われる。さらに今後の舗装は従来のようにコンクリートとか、アスファルトとかにしぼる必要はない。最近の化学工業の急速な進歩は新しい舗装の息吹きを身近かに感じさせている。

6. むすび

最近の道路築造工法の傾向について、二、三の目立つたものだけについてのべてきたが、むしろ混乱期にある道路工学の端にふれた結果に終わったかも知れない。つまり従来道路技術者として存在したものは、交通工学（道路経済を含めて）、道路の築造工学の2つに大きく分れ、後者はさらに土質部門、コンクリートおよびアスファルトの材料部門（応用化学者の強力な協力を必要とする）、

などに分割されてゆく過渡期に立っている。日本の道路が科学的に築造される日までには技術者自身の頭脳が内部崩壊を起し、さらに各分野の総力を集めて再建されなければならないと思われる。古い道路技術者ではいかんともしがたいことを痛感せざるを得ない。

この論文を草するにあたって基礎となつた資料は土木研究所の諸官、特に田中、松野各技官、関東地建の伊東専門官、および過去数年にわたる日本大学の卒業生諸君の、卒業論文として苦勞してくれた未発表の貴重な調査実験結果が含まれている。これらの労苦に対して厚く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 三野 定：“近代道路における幾何学的設計” 土木学会誌 41-9
- 2) 谷藤：“応用土質試験法とその解説” 理工図書
- 3) 道路協会：“道路土工指針”
- 4) 谷藤・座親：“簡易濃度計による含水量の急速測定について” 土研報告 93号
- 5) 谷藤：“貫入試験機による地盤支持力の測定” 土研報告 83号、竹下春見：“土質による路床支持力の推定” 第2回道路会議論文報告集
- 6) MIT：“Proc. of the Conference of Soil Stabilization” 1952
- 7) この報告は主として「道路」および「大東亜道路会議論文報告集」に発表されている。
- 8) F.T. Sheets & M.D. Cattin：“Basic Principle of Soil Cement Mixture” E.N.R. June 23, 1938
- 9) Tschbotarioff, G.P. & Winterkorn H.R.：“Testing of Submerged bitumen-sand Mixtures by slow repetitional loading” H.R.B. 27, 1947
- 10) Soil Mechanics for Road Engineers
- 11) 芳内：“シーマンミキサを使用した乳剤による安定処理の設計ならびに施工の1例” 道路 7月号 1956年
- 12) 谷藤：“最近の試験舗装について” 道路 9月号 1956年
- 13) 加藤安之：“原油の性状” 三菱石油研究部研究資料 Vol. 5 No. 2, 1955

紙を螺旋状に巻きエンドレスパイプとした我国最初の新製品です。

規格表

(特許申請中)

内径(%)	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
内厚(%)	2.5	3.5	3.5	5.0	6.0	8.0	10.0	10.0	10.0	11.0	11.0	12.0

フジチューブ

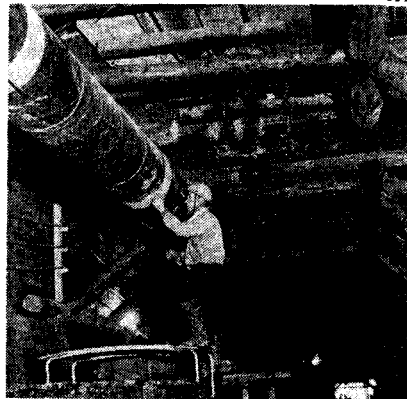
建築・土木の円柱建造に最適のもので
す。フジチューブを立てその中にコン
クリートを流し込むだけで正確な円柱
が簡単に建造することが出来ます。

フジボイド

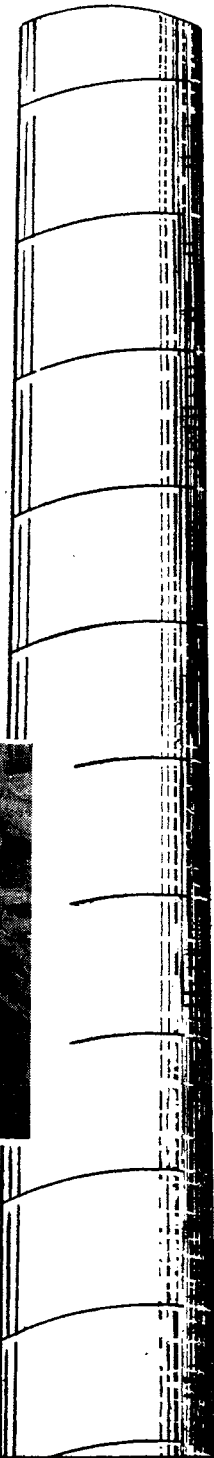
スラブの軽量化に使用されます。
スラブ又は壁体のコンクリート打ちの
際、フジボイドをせき板とせき板の中
間に排列し、その周囲にコンクリート
を流し込み、いわば継目なしのコンク
リートブロックを現場にて作成出来る
副期的な製品です。

フジエアダクト

従来より隧道用の空気調整用パイプは、鉄板製の
ものが用いられていますが、非常に重く且つチョ
イントに多大の手間
を要しますが、フジ
エアダクトを使用
すれば軽量で取扱い
易く、而も価格が極
めて低廉であります。



隧道用エアーダクト施工の実況
(福島県只見線滝沢隧道工事)
鹿島建設施工



藤森建材株式会社

東京・東京都中央区日本橋通1の5(中内ビル) TEL (28) 6271~2
大阪・大阪市西区土佐堀通1の1(大同ビル) TEL (44) 0225・7569

(カタログ・見本進呈)