

研究



路床土の研究 (第2報)

永富勘四郎 譯

粒度を定めた混合物に依る路面及び路床安定工

本工の根本的特徴は材料の適正な混合、搗き固め及び瀝青混合物の場合に於ては更に水分の調節と言ふ事と關係を有してゐる。道路の仕上り時に於ける塑性指數の相違範圍が3以内の程度の均等性を以て混合物(粒度を定めた)を作り得る事が、道路混合物作製法に依り明らかになされた。塑性が更に大なる土の場合には殆んど餘分な費用を要せずして之と同一程度の均等度をプラント混合に依り得る事ができる。道路混合 (road-mix) では材料を乾燥せしめておくこと混合が容易であるが、適切な搗固めは8~12%の水分を以て化學的に處理した混合物に於て之をなす。

路面の密度は築造後の交通に依り増大するものとしてよい。表層を路床築造後直ちに交通に併せねばならぬ時には工事

中路床を高度に搗固める様に努めねばならぬ。搗固めた材料の立方呎當りの乾燥重量は、瀝青路面處理を施す前に最低130 封度なければならぬ様に思はれる。

道路を新しく設ける時には先づ充分な幅の路床を、現場で得られる材料を用ひて築造する。緊りのない砂質路床は土結合材を混和して改良し、軟弱不安定な路床は粒状物を加えて改良せねばならぬ。添加した材料は路床中へ充分よく細で混合し、其後路床を攪均し (blading) や輾壓に依り所定の線形及び勾配となす。表層の結合材として適する殘餘の路床土は路床を作る間路肩にて掻寄せておく。

既存の道路を改良する場合に於ては材料は所要の幅員、勾配及び線形を作る爲に之を添加したり除去したりする。土結合材或は粒状材は安定混合物を作る爲充分の量を添加し、細均らし或は攪均し作業に依つて路床中へよく混入する。

所要の混合物を作るには2つの方法——フランクソン混合及び路上混合——がある。

フランクソン混合 フランクソン混合に必要なのは主として使用粗骨材と共に満足な結合材の充分ある事、結合材の乾燥及び粉碎設備、配合割合を適當になす爲の結合材及び骨材量測定器具並びに混漚せる材料の混合設備等である。

混合場の理想的位置は層地皮 (overburden) が満足な結合材としての性質を備へた粘土から成つてゐる様な場所の附近である。此の層地皮は充分に乾燥してローラーで粉碎する爲に剝離して掻き寄せて堆めて置く。できた混合物が規格に適ふ如き配合割合で粘土は適當な粒度の骨材と混漚せねばならぬ。而して捏土機 (pug mill) 或は回轉混合機で充分混合する。

或フランクソン混合の場合では、山砂利及び現場所在の層地皮を使用し、過大粒度の材料を除く爲混漚材を廻轉篩又はゾリ

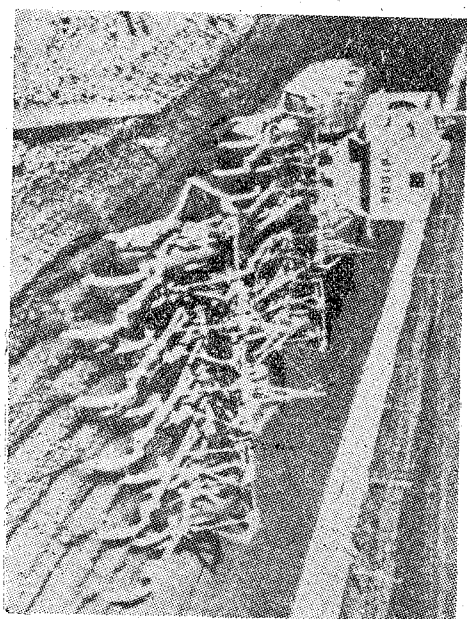
ル (grill) にかけて乾燥及び粉砕の仕事を省略した事もあつた。

混合物は道路に運搬して之を撒布、撒水、成形 (shaping) してローラーをかける。フロント混合法の主たる利點は結合材及び骨材が充分混合される點に在る。

路上混合 (road mixing) 路上混合に於ける所要混合設備はトラクター牽引式又は自動式ブレード築路機 (blade grader)、攪土機、耙並に其他混合、撒水、撒布並びに路床及び表層用材の搗固め用器具等である。

攪土機は特殊構造の4輪車上に積載するか又は鞭壓機に取付ける事もできる。圓耙 (disk harrow) は路床を餘分に切取らぬ様な設計のものでなくてはならぬ。又スプリング或は釘齒耙も齒の入る深さをよく調節でき効果的に使用しうる。混合及び成形用としては軸距 16 ft 以上の牽引式ブレード築路機が良好である。

既存道路の表面はその凹凸の不均等部分を除去して路床築設の爲に改造をなすに先立ち、充分な深に攪土せねばならぬ。而して攪土した材料を路床に成形した後表層を均一な深に攪土せねばならぬが、若し必要ならば攪土して抛んだ表層上に新規の材料を厚約 3 in の搗固めた層ができる程度に撒布する。表層厚を更に幾分増大せんとするには追加層を設ける



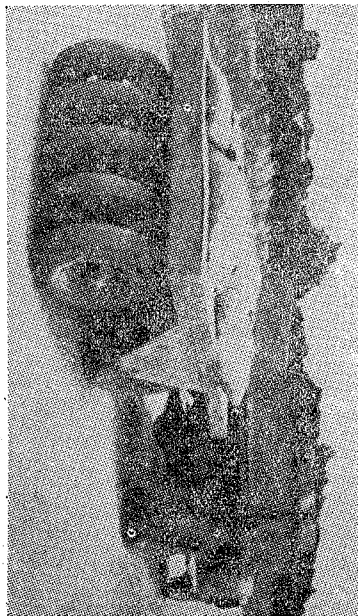
第 1 圖 Spring tooth harrow

のである。

材料はブローパ踏床築造機で平均し及び上下轉換作業に依り、充分均等になる迄よく混合せねばならぬ。表面の含水量を適度にするに必要な水は次の方法に依り之を供給する。即ち乾燥せる結合材及び砂利材料を先づ路肩に掻き堆めねばならぬ。次いで露出せる路床を適當な撒水器を以て均等に潤し次いで路肩の堆積材料の約 1/4 を濕つた路床上及び路床中に直接に被覆して掻き均らす。新に散布した土は次いで前と同様に均一に濕し原の掻き堆め材料の 1/4 を以て前の如く被覆する。斯くて最後の 1/4 の材料を散布する迄同じ操作を繰返し行ふ。

適當な荷重をかける方法は如何なるものでも——平輪輓壓機、無限軌道付トラクター、トラツク築路機、其他のトラツク又は車輛の交通によるものであらうが——粒度を定めた混合物の搗固めに有效である。成形と最初の搗固め作業がすむと仕上げの撒水をなし再び搗固めを行ふ。

最後の搗固めの時路均機或はブローパ築路機に依り弛い材料を路面に散布しなければならぬ。振均し作業に依り造られる道路の横断面形は、雨水の流出を速やかならしめ、路面に水溜りを造らぬ様にせねばならぬ。路面に凹み (pitting) ができるのは横断勾配が餘り小さすぎる事を示すものである。



第 2 圖 安定土面輓壓用ニューテライツク・マ
イター・ローラー

。 化學藥品混和材 フラント混合に於ては一般にフラントで混合物に鹽化カルシュームを混和する。路上混合に於ては鹽化カルシュームの混和は次の方法に依り行ふ。

即ち新舊の土材を充分な厚を以て築造した路床上に撒布した後、此の上に平方碼當り 2 封度を限度として通常厚 1 in につき 1/2 lb/in² の片狀鹽化カルシュームを被覆する。使用すべき撒布機は此の材料を均一に且つ所定通りに撒布しうるものでなくてはならぬ。次いで鹽化カルシュームは耙均し及び掻土作業に依つて土中に限なく充分に處置して混和せしめる。斯くして出きた路面中への撒布及び成形は既述した非處理道路の場合と同一方法で行ふ。

鹽化カルシュームの處理は寒季及び濕潤時には禁物で、路面に處理すべき最好機は表層を適當の平坦さに截均らした後の降雨直後の晴天時である。その時期の道路の含水量は混和材の溶解及び滲透を促進するものである。降雨のない時に於ては空氣濕度が比較的高い早朝に之を處理する事が好ましい。降雨の直前に處理したのでは鹽化カルシュームは恐らく流し去られ、従つてその効果は僅少となるか又は全然なくなると思はれる。又鹽化カルシューム處理道路に掻土作業が必要な場合は、降雨後或は雨の止み際に行ふ様にせねばならぬ。他の時期では路面が硬きに過ぎるのである。路面の凹みの補修には粒度を定めた土の 1 立方碼當り鹽化カルシューム 100~150 封度を混和するがよい。

晴天時に安定土道路面を大補修するの要ある時は、鹽化カルシュームを幾回にも輕度に處理して定期的に維持工を施す事に依つて、晴天時での大作業を最低限に止めるか又は全然止める事が出来る。

鹽化カルシュームを防塵劑として使用する場合には、同劑の有効期間は砂質填充材を有する砂利道の場合に比すれば、粘土結合材の砂利道の方が遙かに長い事は以前より知られてゐる所である。又弛緩せる砂利が在ると此の防塵處理效果の

壽命は短縮される傾向のある事も明らかにされてゐる。道路の交通や維持工作に依る此の弛緩せる砂利の運動は、新表面を空氣に曝露せしめて水分の蒸發を促進せしむるものである。

ソヂューム・クロライドもグラント混合としてグラントで、又道路混合として路上で混合物に混和しうるものである。普通には岩鹽を使用するが、市販の純粹鹽や鹹水も適當である。道路安定工法には粒度の粗い岩鹽の方が好適してゐるが、之は粒度の細かいものより流出滲透が自由で且撒布が均等に行へるからである。而して細粒のものは道路側に掻き堆めてある時に水分及び砂塵 (cake) を吸收するのである。鹽の純粹ソヂューム・クロライド含有量は 98% 以下であつてはならない。

ソヂューム・クロライドを鹹水の形で應用する時は、鹽の溶解前の事は重要ではないから如何なる粒度の鹽でも使用しうる。鹽が全部溶解すれば安定せる混合物はより永く塑性を保つてゐるが、斯くて長時に互り軋壓及び搗固めを行ふ事ができ、終局の搗固め度を大にならしめ得る。而してその場合土を塑性限界より幾分上に潤ぼすだけの水量を必要とする。水は普通壓力撒水機、撒水車、又は重カタンク・トラツクに依り之を行ふ。撒水は施工區間を數回往復運轉して毎回輕く撒水するが好い。斯くすれば水分が充分中へ浸透する機會が與へられ、表面がビヂャービヂャーの状態にならなくてすむ。鹽の使用量は米國各州に依つて一定してゐないが、普通道路の施工厚 3-in, 平方碼當り約 2 封度である。

晴天が永く續くと細骨材は、ソヂューム・クロライド處理路面から磨耗、消散して粒度大なる骨材の粒子を露出させる。然し乍ら此の状態を補正するには約 100 lbs/yd² のソヂューム・クロライドを含有する、配合適度な土混合物を以て約 1/2-in 深に路面を被覆すればよい。而して之を濕潤にすると混合物は路面の撒土を行はずとも、能く舊い磨耗した路

面と接合する。

降雨時安定道の 1/8~1/4 in 厚が塑性を帯びて来たならば、碎石骨材を埋當り約 50~70% の割合で路面に添加處理せねばならぬ。此の骨材は最大粒度約 1/2 in、塵埃や砂を交へぬものとし之を路面に撒布して路面が濕潤な間に擾均らす。

斯くすれば粉末材の薄い表層は添加した粗骨材に對して結合材となるが、之に依り満足な路面を造り道路には若干の厚みを加え、道路の沈下部分を填充し而して壘孔形成の傾向を減少せしめる。

セメントに依る路床の安定工法

本工法は最近南カロライナ州に實驗されたもので之を要約すれば次の如くである。

1. 土の粉碎 道路上の土は齒形屠土機 (tooth scarifier) を以て所要深度效果的に之を掘上し、次いで圓耙を以て粉碎したが、乾燥せる硬い土塊のあつた處では羊蹄型軋壓機 (sheepsfoot roller) を使用した。

2. セメントの撒布 セメントは砂撒布機に依つて撒布した。同機は秤量したセメントを積んだダンプ・トラツクに取付けられ之に依り牽引された。トラツクのセメントを全部空けて撒布するには相當の時間を要したが、すぐ引續き此の撒布機を取外して次のセメント積載のトラツクに連結した。土の含水量が高いとセメントが球狀になるから、搗き固めに必要な最適水量以下にせねばならぬ。

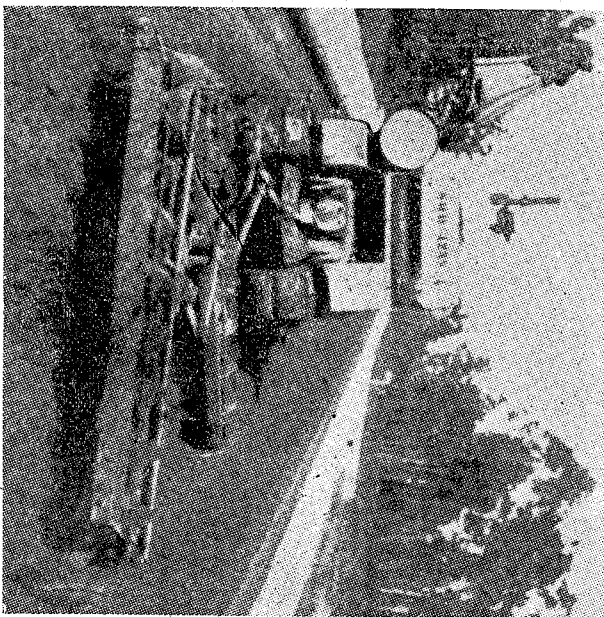
3. セメントと乾燥土との混合作業 圓耙を先づ撒布したのでセメント上に徐々に運轉し弛い土と一部分混合した。セメントは圓刃に依つて切開かれた畝溝中に流れこんだ。而して處理すべき深さ以上に切取る時はセメントは畝溝底に流れ

こみ、他の混合機具は無い路盤中に切込まぬ爲セメントは無駄に失はれて了ふ。混合は道路工用機械及び復元ドラック (multiple-bladeodrag) を同時に使用して完了した。此のドラックは道路工用機械の後に従ひ道路工用機械の刃が廻りかへした捲土を混合した。

混合は斯くして先づ道路の縁の方を完了し次いで中央部を仕上げたが、乾燥土の混合には各機を12回運轉せねばならなかつた。

4. 水の湿和 水の添加は容量1,000ガロンのアスファルト散布機に依り行つたが、路面上に一回で均等に散布し又、散布機の給水は施工區間の端で給水ドラックに依り行つた。

5. 混合 水を散布した後材料は20inの圓耙に依つて部分的に混合するが、此の圓耙は75 H.P. の crawler tread トラツクカーにより全速力を以て牽引した。最も効果的な混合をなす爲には圓耙を高速度で運轉して圓又 (disk) が材料を唯單にその中に切込むだけでなく、材料を投げ飛ばす様にすることがよいと言ふ事が分つた。断面厚6inの區間では路肩上に乾燥混合物の約1/3を貯留しおき、基層上に殘



第3圖 トラツクカー牽引 disk harrow

築川十一巻

築川器

築盤の改良

二四

留せる部分に水を混和し、次いでこの貯留材料を路肩から持ち來つて混合するを要した。混合物を道路の縁で有効に潤ぼす爲、堆めて置いた材料を路肩から持込む時之と共に路縁近くの幅約3 ft 部分の混合物を道路の中心に持込んだ。水が此の材料と混合した後、壓縮作業を始める前に混合物を縁の方に散布した。次いで全區間を圓錐を以て路床迄攪上し土を弛緩せしめたが爲羊蹄型輾壓機を以て路床の搗き固めを始める事ができた。

6. 搗き固め作業 本作業に用ひた羊蹄型ローラーはトラクターで牽引したが、トラクターはローラーの跡が混合物を容易に通し、材料を底から上層迄搗き固めうる様最初の數回は徐々に運轉した。次いで高速度で運轉して搗き固めにダイナミックな力を利用した。長800 ft の區間にローラー一臺を運轉して作業を行ふには約3 1/2時間を要した。處理される土及び路肩の土の含水量は充分な搗き固めができる爲には最適含水量或は夫以下でなければならぬ。軟弱路床上に羊蹄型ローラーをかける時、搗き固めた表面全體に互り微細龜裂が無數に發生する。羊蹄型ローラーが最高度に混合物を搗き固めた時には普通約1 in の弛緩せる材料が表面に殘留したが、此の材料は道路工専用機械にて正しい斷面に成形し、載荷トラックで輾壓した。

7 路面仕上げ作業 本作業は表面を手動式道路工専用機械にて正しい勾配及び横斷面に搗き均らす事である。而して同作業は路面性状を決定するものであるが、極めて巧妙な工手により之を行つた。又本作業は搗き固めの間に一部分之を行つたがトラックが表面輾壓を終了する前に完了した。道路工専用機械の又は固まつた路床表面を路床築造の翌日にはよく切取り得ないと思はれる故、搗き固め後は成可く早く表面は仕上げの成形をなさねばならぬ事が分つた。

タールに依る路床安定工法

米國南カロライナ州の實驗道路に於ては安定材としてタールを使用した、その概要は次の如くである。

本工法に於て使用する土は實際上凡て10番篩通過のもので淤泥約16%、粘土28%（水銀に依る）を含有す。其他の特性は概略次の如きものである。液性限界 28、塑性指數 13、現場含水相當量 19、收縮限界 15、比重 2.57 及び容積變化 23 等である。

タール使用總量は携き固めての厚 6 in の路床平方碼當り 3.73 ガロンであつた。此の總量の中 1.48 ガロンは粘性 (Engler) 4~8 のもので、残りは 26~36 のものであつた。而して輕タールを先づ處理して土と充分混合し、後重タールを使用す。

粘土の小塊は夫が非浸透性材料にて包まれ、交通から護られておれば差支へないものと分つた。

粘性の低いタールのみと混合せる土は水分を極めてよく反撥したので降雨があつても掻き混ぜてある混合物は 2~9 日間に 1/4 in 以上は浸透されなかつた程である。而して低粘性タールと混合した時には相異なる 3 區間の含水率は夫々 29%、75% 及び 58% であつた。含水率 75% の區間では混合時その色調は寧ろ淡灰色を呈しておたが、之に對し 29% の含水率の區間では暗黒色であつた。而して更に前者の區間では交通に供した際、外見がかさかさ油氣を失つた様に見える埃りっぽくなつてきた。此の兩區間の外見及び性状の相異は上記區間中の第 2 のものは含水量大なるが爲タールは土や殊に土塊を第 1 區間に比し餘計浸透した事に起因するは明らかである。

本作業に供した設備は圓耙、トラクター及びブレード・グレーダー、retread machine、壓力撒布機及びトラクタであった。

作業を終へた後直ちに重タールを平方碼當り0.26ガロンの割合で表面に處理し、砂を披覆した。斯くて竣工後2年になるが其後別に他の表層披覆は行なはなかつた。

乳劑に依る路床安定工

瀝青乳劑混和物に依る土表面の安定工は次の如くである。即ち實驗室で研究に依り、天然日乾陳瓦の様な粘土は55%アスファルト乳劑約3ガロンの量を以て3in深に之を安定させうる事が示された。粘土1に石屑2を混和すると平方碼當り1ガロンの乳劑で安定せしめ得るが、工法は次の如くである。

先づ石屑を粘土の路床上に弛く1 $\frac{1}{4}$ in厚に均等に撒布し天然粘土中へ攪き入れする。而してなきた弛い混合物は厚4 $\frac{1}{2}$ inであつたが、粘土と石屑とを耙によつてよく混合した。次に此の土混合物に平方碼當り約2ガロンの水を撒布し耙で充分混合する。アスファルト乳劑は4の割合の水で稀釋して用ふるのであるが、之は次の6段に處理するのである。即ち第1段の處理後混合物は耙で均らして、混合物の表層の1 $\frac{1}{2}$ in厚を兩側に掻き寄せた。而して此等の作業は次の第2段の處理後繰返して行つた。さて次に土混合物は兩側の2個處に掻き堆め各回到稀釋アスファルト乳劑を施として道路上に再び3回に撒布して戻した。混合を充分になす爲土—乳劑混合物は再度掻き堆めて次いで再び前に戻して層になし終りに所要の斷面に成形するのである。而して混合機を牽引するトラクターは此の間によく路面の掻き固めを行つてゐたので

ある。

平方碼當り乳劑は1ガロン、水は土を豫め潤ぼすに用ひた分をも含め6.2ガロンである。之で土の安定工は完成したが残るは只表面處理のみである。

表面處理には平方碼當り乳劑約1/4ガロンを施した。乳劑は同量の水で稀釋して撒布し之の上に直接1/2~1/4inの碎石、平方碼當り40封度を以て被覆した。次いで表面軋壓を行ひ碎石を安定せる土混合物中に敷き込んだ。仕上げに稀釋せざるアスファルト乳劑を平方碼當り0.64ガロン撒布し此の上に1/4in~10番篩通過の碎石、平方碼當り15封度を被覆し掃で掃き均らし軋壓を行った。

カット・パツク及びアスファルト・オイルに依る安定工

Missouri州 Jackson郡の安定工の實驗道路は交通に依り締め固められた。安定劑として使用した瀝青材は特殊構造の路床注油器(sub-oiler)に依り弛い道路混合物下の所要の深に迄施した。此の装置は本質的には一つの齒付搔土機(tooth-carrier)で各齒の後に給油線(oil-line)が取付けてあり、此の方法の基礎理論は水分が上部の土から蒸發する時、水蒸は液状アスファルトと代る事である。重い粘着性の粘土又はガンボ一型(Gumbo type; Mississippi 溪谷の漂石粘土の成層部分を言ふ)の土より成る道路は此の處理方法に依り耐水性となり雨に作用されない。

アスファルトを土に膠着せしむる他の方法は1935年 Missouri州で試みられた。即ち粘土路面を搔土して弛み上つた土材料を掻き寄せ移動式混合プラントに依り適當量の瀝青材料と混合した。

粗骨材を種々の割合で土と混和し斯種材料を使用する場合の物理的並に經濟的效果の資料を得んとした。而して之に依りて得た結論は骨材の混和率(量)は、その骨材及び瀝青質材料の相對的費用に依存する經濟を保持する爲に種々に變るものであるが、之は 40 番篩通過以上の材料を混和すると油混和率(量)が減少できるからである。

混合せる材料に立方碼當り水約 35 ガロンを加えて捏土機中の混合を容易にした。乾燥する時間が路面凍結前にあつた區間では殆んど損壞の様子もなく、交通を許した處が、表面が海面又はゴム質の作用をなす形跡が若干認められ、將來更に凝固めの必要あるを暗示してゐた。

要 約

米國に於ては路床の研究は次の様な方法で應用されて居る。

1. 路床の調査及び其の部類別は路線の選定、設計及び特に a) 凍上の防止、b) 鋪裝の甚だしい損壞及び失敗の防止に應用された。

2. 先に記述した試験法は安定道路の表層及び路床の設計並に施工に使用されたのであるが、夫等の表層や路床は a) 粒度を定めた型と b) ポートランド・セメントや瀝青材の如き粘着材を使用する細粒型のと 2 種ある。

3. 又前述せし密使試験は填充材の選定及び調節に用ふ。

4. 基礎問題に就て種々の研究調査が行はれた。

5. 瀝青材に依る路面處理の爲の安定路床築造に関する問題は Missouri 州道路局に依り廣く研究されたが

之は機械的安定工（粘土—骨材安定工）、ポートルランド・セメント、瀝青材に依る安定工及び瀝青質材料に依る安定工と機械的安定工とを組合せたものを包含してゐた。

(a) 本工法に用ひた方法は凡て好結果を収めたが、種々の工法の相對的經濟は當該工事の地方的條件に依存するものである事が示された。機械的安定工法は骨材供給の充分なる事を前提とし、又セメントに依る安定工法は經濟上その應用は比較的少量のセメントで済む種類の土に限られてゐるが故に、その他の場合では瀝青材に依る處理が一般により經濟的にして適應性があると言へる。

(b) 瀝青材に依る安定工に於ては3處理方法——機械混合、路床注油 (sub-oiling) 及び道路混合——は凡て満足な成果をあげた。道路混合に依る施工區間は他の區間と之を全面的に比較するには未だ日尙淺く、現在迄の成績では何等の缺點も認められない。

(c) Missouri 州の行つた如き機械混合の處理方法は全く普及して来た。混合物中に於ける粉末物の存在は粘土乳劑の生成を促進したのであるが、之は捏土機より出る材料の外見と作用とに依つて分るのである。特殊の場合に於てはターム處理材は斯る作用を示さなかつたが擴布及び被覆は完全である様に見うけられた。

(d) アスファルト乳劑は路床材を浸透して擴布する性能あるが爲め、路床注油作業と組合すれば最も有利である。然し乍ら緩硬性の安價な道路油は路床注油機に依り油を施して後、積極的に混合して之を分散させた時には好成績であつた。

(e) ポートルランド・セメントの所要量は凍結及び融解並びに交互に濕潤及び乾燥による耐久試験と共に Proctor 密度試験に依り決定する事ができる。

(f) 瀝青処理の場合には處理材使用量の範圍に明らかにかに多少の融通性がある。此の量の範圍は重量で粉未土の約 6~10% である。性狀に依り判斷するに今述べた範圍の上部限界近くの混合物は下部限界近くのものに比し危險である様に見受けられた。而して處理瀝青量を殆んど過少にした區間に於ては別に甚だしい失敗は見られなかつたが、之に反して瀝青が過剰である時は直ちに塑性を生じ安定を失つたのである。

(g) 工事に採用せる條件下及び交通に供せし期間では之を觀察した處では使用瀝青材を異にしてその安定度又は耐久性には明確な差違は認められなかつた。今後曝露期間が永くなる事に依り耐久性又は性狀の點に於て差違を生じなければ、恐らくは處理材料費が材料選定に際しての支配的因子となるであらう。

(h) 研究工事を計畫し之を遂行した結果、厚々の設計の基礎となるべき基本的資料が殆んどないと言ふ事が分つた。

(終)