



セメントによる路床土の安定

川 畑 健 雄 譯

北米合衆國 Highway Research Board の第17 次 (1937年) の年會には、ポルトランド・セメント同業會をはじめ數州の道路局等から道路用土壌・セメント混合物に關する多くの研究報告が提出された。次いで South Carolina 州道路局の試験擔任技師 W. H. Mills 氏は、これらの研究報告を一括要約して之に首題の如き題名を附し、同氏の名を以て之を同じ Highway Research Board の土壌研究部會内に設けられた路床土安定委員會に提出した。

Mills 氏によるこの報文は、米國に於けるこの種の研究に關する最近の消息を簡單に而も要領よく叙述せるものと認められたので、之を Highway Research Board の第17 次年會の議事報告書より譯出して、ここに紹介することとした。なほ報文の詳細は同議事報告書の別冊として發行されてゐるから、それを參照して戴くとよい思ふ。

セメントによる路床土の安定工法に關しては、數州の道路局によつてそれぞれ實施された試験道路の築造工事に關する

報告とポルトランド・セメント同業會に於て引續き行はれてゐた實驗研究の結果とがあり、これらは何れも1937年度の年會に於て發表された。以下に記述する報文は、これらの研究に直接相携つた次の諸氏の手になる報告から採録せるものである。

M. D. Catton 氏、ポルトランド・セメント同業會、研究部

V. L. Glover 氏、工専材料係技師、Illinois 州土木建築局

T. R. Perry 氏、瀝青材料係技師、Iowa 州道路委員會

M. D. Ven Wagoner 氏、州道路委員、及び

W. S. Housel 氏、研究調査委員、Michigan 州道路局

F. V. Reagel 氏、工専材料係技師、Missouri 州道路委員會

Guy H. Larson 氏、工専材料係技師、Wisconsin 州道路委員會

W. H. Mills 氏、試驗擔任技師、South Carolina 州道路局

上記諸氏の報告を各別に記載する前に、先づ其の概要を梗概する。

ポルトランド・セメント同業會が幾多の實驗研究を行つて、其の結果に基いて創案した土蟻・セメント混合物に關する試験方法は、土蟻に混ぜせしむべきセメントの所要量を決定する上に於て極めて重要な豫備的試験をなすものと認められたので、少數の例外を除き殆んど大部分の州道路局では、工事に當つて本試験方法を採用し、之によつてセメントの使用量を決定した。

路床の處理厚は概ね 4~6 in の範圍であつたが、6 in と定めた所が最も多くあつた。處理工法としては、disc harrow (圓盤形耙機) 及び quack grass digger (除草機械の 1 種) 其他各種の土工機械類を用ひて混合作業をなす所謂、路上混合式 (mixed-in-place method) を採用した所が多かつたが、Missouri 州及び South Carolina 州に於ては一部の工事に自動推進式混合装置 (traveling mixing plant) によつて混合を行ふ所謂、プラント混合式による工法を實施した。路床の締固めは、混合物が最適水量を示すときに行ふのを原則とし、主としてシー・フラス・ト・ローラー (Sheepfoot roller: 多數の鐵製小突起を有する締固め用ローラー) を使用した。最後には、路面の不陸を均し勾配を補正し、鐵輪ローラー或は空氣入チム輪ローラーを以て輾壓して仕上げを行つた。完成した路床の密度は、ブロンクラー試験方法に準據して實驗室で測定した密度から比較判斷した。

一般には、何らかの方法によつて完成せる路床の養生を行つたのであるが、South Carolina 州に於ける工事及び Illinois 州に於ける一部の工事では、工事終了後に架更路床中に水分を殘存せしむる如き手段乃至は新たに水分を補給する如き方法を採らなかつた。尙一般には濡れた土砂、濡れた糞、特殊の養生用紙乃至は瀝青質材料等を用ひて行ふ養生法が採用された。大體に於て養生を充分に行つたのであつたが、乾燥に伴つて起る收縮に基く龜裂の發生した箇所も可成り多いやうであつた。殆んど大部分の試験道路に於ては、路床完成後間もなく、瀝青質材料を用ひて表面處理を施し、交通による路面の磨耗を防いだ。

これら試験道路の全般的成績を見るに、1933 年 12 月に施工した South Carolina 州に於ける延長 500 ft の試験道路は、この種の道路工法としては最初のものであつたが、現在に於ても尙頗る良好なる路面状態を保持して居り、又 1934 年

7月に施工した別の4箇所の試験道路も其の一部が別種の工事のために取除かれた以外には、大體に於て故障も起らず、依然として良好なる路面を保ち交通に供せられてゐる。

尙 1935年の秋には、土壤の締固めに關するプロクター氏の理論が、Johnsonville 附近に於ける延長1.5哩の試験道路の工事に初めて應用された。

ポルトランド・セメント同業會の實驗

ポルトランド・セメント同業會の研究部では、土壤・セメント混合物に關する基本的原則を確立せんがため、1935年に之に對する大規模の實驗研究を開始した。本實驗に供した土壤試料は國內16州の各地から蒐集したもので、其の種類は砂質土壤から粘土質土壤に至る間で種々あり、之を米國公道局制定の土壤分類法に従つて分類すれば、A—2類乃至 A—8類の範圍に收まるものであつた。

先づ、原土壤及び土壤・セメント混合物に就て密度—含水量の關係を測定した。次いで土壤・セメント混合物の耐久性及び安定度に關する測定試験を行つた。耐久性試験及び安定度試験の供試體は、セメント混合量の種々異つた土壤・セメント混合物をつくり、之を最適水量の下に於て壓縮成形し、更に7日間室溫に於て乾燥せしめたものである。尙供試體の乾燥に當り、湿度の大なる空氣中に供試體を靜置せしむれば、工事現場の狀態とよく類似せる供試體を作製し得ることが分つた。

耐久性試験は交互に繰返して行ふ濕潤—乾燥處理及び同様にして行ふ凍結—融解處理との2處理よりなる。濕潤—乾燥

處理にあつては、先づ供試體を 160°F (71°C) の空氣中にて42時間乾燥し、次いで之を水中に5時間浸漬せしむるを以て1週回の操作とする。又凍結—融解處理にあつては、毛細管作用によつて充分吸水せしめた供試體を、先づ -15°F (-26°C) に保つた冷凍機に收めて20時間凍結せしめ、次に之を取出して、水を以て濕したフェルトの上に載せて濕氣のある器内に24時間靜置して融解せしむるを以て1週回の操作とする。これらの操作を反覆することによつて起る供試體の重量減乃至は容積變化、含水量の變化等を測定し、双方の操作から得た測定結果を綜合判斷して混合物の耐久性を推定する。以上の如き耐久性試験を實施した結果から、國內16州より蒐めた前記の土壤は、之を土壤・セメント混合物として取扱ふ場合には、次の3種類に區別して差支へないものであることが明かになつた。

- 第1類：** 4~6%のセメントを混合することにより充分硬化し、且つ其の混合物に對して濕潤—乾燥處理及び凍結—融解處理をそれぞれ12回反復せる場合、輕微なる重量減を示すに過ぎず又容積變化及び含水量變化の極少ななる土壤。
- 第2類：** 6~8%のセメントを混合することにより充分硬化し、且つ其の混合物の耐久性試験に於ては比較的少ななる重量減を示すとともに容積變化及び含水量變化の僅少ななる土壤。

第3類： 比較的多量の粘土を含有する土壤であつて、之に約10%のセメントを混合すれば概ね完全に硬化し、其の混合物の耐久性試験に於ては重量減比較的少く且つ容積變化の比較的少ななるもの。

混合物の耐久性試験に於ては特殊の不良土壤に就ても試験を行つたが、之は上記3種類の中に含まれるものではない。尚以上の外に、局部的に産出する特殊の不良土壤に就ても試験を行つたが、之は上記3種類の中に含まれるものではない。

次に土壤の液性限界、塑性限界及び粘土含有量等と混合物の耐久性ととの關係に就て試験を行つたが、之に對する結論と

して Catton 氏の發表せる報告の一部を其の儘次に引用することとした。

「現在までに行つた試験の範圍では、種々なる性質を有する土壌と其の各に對應せしめ得べきセメント處理工法との關係に就ては未だ斷定的な結論を下す迄には立至つてゐない。然し乍ら上記の第 1 類及び第 2 類に屬する土壌に就ては、其の性質を律するに足る次の如き概括的結論を求むることが出来た。即ち

1. 液性限界 50 以下
2. 塑性係數 25 以下
3. 粘土含有量 35 以下
4. 最大密度に壓縮せる場合の固形物質含有量 60% 以上
5. 正常なる含水量—密度曲線を示す土壌であること。

以上の諸條件をよく満足する性質の土壌であれば、適當量のセメントを混合すれば充分硬化することが明かにされた。尙同一種類に屬し略同様な性質を有する土壌は、何れも同程度の量のセメントを混合することにより、硬化するものであることが明かになつた。

現在までに行つた多くの實驗結果は、土壌・セメント混合物に關する基本的原則を確立する上に於て極めて有効適切な役割をなすものであつた。而して實際工事に於て、これらの諸原則を實地に應用し、極めて合理的な而も豫知的な好結果を擧げ得た例も數多くあつた。又實驗室に於て作製した土壌・セメント混合物の供試體は、之を耐久性試験に供したる場合、常に信頼するに足る耐久性を現示するものであることが明かにされた。」

Illinois 州の試験

Illinois 州の試験道路は Winnebago 郡の Rockford 附近に設けられ、其の延長は 6,000 ft、幅員 18 ft、處理厚 6 in である。容積百分率にて 10% のセメントを使用した。この程度の量のセメントを含有する土壌混合物は、其の耐久性試験に於て、極めて輕少な重量減を示すに過ぎなかつた。

工事は、延長 500~900 ft を以て 1 試験區間とし、全區域を 8 試験區間に分割して施行した。本工事に於て、セメントの散布及び混合、混捏水の添加、混合物の締固め、表面仕上げ等に要した平均所要時間は 100 ft 當り 2 時間であつた。荷原土の掘鑿及び粉碎作業等は、現行の安定工事が開始される前に既に終了して居たので、上記の所要時間には加へなかつたが、これらの作業に要した時間及び養生、掘鑿土塊の敷戻し、その他の附帯工事に要した時間をすべて合算すれば、實際の所要時間は遙かに増加する。セメントの混合作業は disc harrow によつて行ひ、blader を併用した。撒水は、路床の處理厚に應じ 2 回に分けて行つた。混合物の締固めは、最適水量に於てシープフット・ローラーを使用して行つた。

最後の試験區間 700 ft の部分に於ては、1 平方碼當り 25 所の豆砂利を加へて締固めた。而して後、水を以て表面を僅かに潤し、トラクターを用ひて締固め、續いて 8 噸ローラーを以て輾壓した。輾壓せる後の路面には、少量の豆砂利が、完全に輾壓せられずして殘留せる所もあつた。

以上の試験工事に關し Glover 氏は次の如く述べてゐる。

「最初の2箇の試験區間に於ては、工事終了後2日以内に、道路の表面に毛髮狀龜裂の發生せるのが認められた。而して之は、急激にして過度の乾燥によるものと思惟せられ、養生方法の缺陷に基くものであることが察知された。それ故、其の後に施工したすべての試験區間では、必ず7日間養生を行ふこととした。それにも拘らず、この區間に於ては工事終了後3日に於て、横龜裂及び毛髮狀龜裂等の發生が認められた。

工事終了後3箇月を経過した1936年12月に路面の状態を検査したが、その結果によると、豆砂利を添加せざる試験區間に發生した横龜裂は其の相互間隔が約15ftであり、豆砂利を添加した區間の横龜裂はその間隔が約30ftであつて、後者の方が結果が良好であつた。これと同時に、8試験區間中唯一つの區間には、縦龜裂の發生してゐるのが見受けられた。この龜裂は、その區間の全延長800ftに亘り道路の中心線に沿つて長く連續した1本の縦龜裂であつた。

その後1937年4月に再調査したが、この時には部分的剝離及び輪窪等の發生せるのが見受けられた。大體に於て表面が變分粗面化した以外には、概ね良好なる路面状態を持續するものゝ如く觀察された。尙1937年8月には、400ftの區間のみを残し他の全區間に對して、路面を保護し且つ車輛交通の圓滑を圖る目的を以て、瀝青質材料を用ひて表面處理を施した。

本試験道路の工費は、セメントの費用を除き、1平方碼當り0.281弗であつた。

Glover氏は以上の試験工事に關し、次の如き結論を與へてゐる。

「(a) 土質の性質を熟知することは、工事示方書を擬定する上に於て極めて重要な事柄に屬す。従つて試験せんとする土質は切取、盛土等の路床準備工事が全く終了してから採取すべきである。

(b). 工事示方書を設定する上に於て重要な役割をもつ土壤試料を採取するに當つては、特に深甚なる注意を拂はねばならぬ。殊に試料採取場所に就て充分考慮し、工事現場に存在するすべての種類の土壤を代表するに足る數量の試料を選ばねばならぬ。

Iowa 州の試験

Iowa 州道路委員會は 1937 年の夏、州内 Wayne 郡の第 40 號路線の一部に延長 1.6 哩に亘る試験道路を施工した。本工事は、州内に於ける代表的道路として廣大なる面積を占めてゐる砂利道の路線を選んで行はれた。その路床土は、約 15% の粘土を含む土壤と砂利との混合物より成るものであつた。

本試験道路は幅員 26 ft、處理厚 4 m であつて、セメントの使用量は 10% と規定せられた。尙このセメント使用量は、土壤・セメント混合物に就て行つた密度、強度、耐久性、吸水量及び支持力等の諸試験の綜合結果に基き決定せるものである。セメントは、トラクターによつて牽引された Buckeye 撒布機を使用して、粉砕せる土壤の上部に 2 層に分けて撒布した。其の他の作業方法は、この種の工事に於て一般に採用されてゐるものと全く同様であつた。

最後の仕上げに際し、乾燥不十分な路面を鏟輸ローラーで輾壓すると、やゝもすると混合物がローラーの鏟輸に粘着して路面から剝ぎ取られることがあるから、輾壓の時即ち混合物の乾燥程度に就て充分な考慮を拂ふ必要がある。

工事終了の翌朝、完成した路面にタームを薄く塗布して養生を行つた。工事期間中の氣温は最低 91°F (33°C)、最高 102°F (39°C) であつた。本工事では、1 日の作業時間を 14 時間とし、1 日當り延長 1,100 ft を施工した。路床工事終了

後直ちに瀝青質材料を以て表面處理を施した。

本試験道路の工費は、養生に要した諸費用を含め1平方碼當り0.393弗であつた。

工事の監督に當つた Frank L. Davis 氏は本試験工事に關し以下の如く述べて居る：—quack grass digger を用ひる混合方法によつて極めて優秀な成績を擧げることが出来た；特殊の機械裝置を以てすれば袋入のセメントを用ひずともセメントの均等なる撒布が可能である；水を均等に添加するには適當なる機械裝置による必要がある；締固め作業に際し、やゝもすると必要以上の水分が蒸發してしまふために最過水量に於て締固め作業を行ひ得ぬ場合があるが、2臺のツープラスフト・ローラーを使用すれば容易に所期の目的を達し得る；ツープラスフト・ローラーを牽引せしむべきトラクターとしては、軌道式のものゝ適當であつて、空氣入ゴム輪を有するものは路面を不均齊ならしむる懼があるから適當でない；締固め作業の終り頃に、やゝもすると平か過ぎる面の出來ることがあるが、之は細い齒を備へた肥機で搔均して修理するとよるしい；完成せる路床には、養生用瀝青質材料の塗布を行ふ5時間程前に、適當量の水を撒布すべきである。

Michigan 州の試験

Michigan 州から提出された報告は、實驗室で行つた試験研究と Cheboygan 附近に築造した試験道路に於ける現場試験の結果とから成つてゐる。

土壤試料に就て行つた豫備的試験の結果から、工事現場に存在する土壤を約10種類に分類した。尙引續いて行つた試験によつて、これらの土壤は4種類に分けても差支へないことが明かになつた。Michigan 州道路局で實施した試験と

ルトランド・セメント同業會で制定した試験とを比較すると、其の試験方法は一部の點で異つてゐるが、本質的には其の目的を全く一つにせるものと思はれる。土壌試料の有する密度を、之が最大密度を示す時の理想的粒度と比較することによつて、土壌の密度の相違は粒度曲線から斷定し得ることが明かになつた。例へて云ふと、粒度の不良なる土壌は、如何に之を締固めるとも結局、低い密度を有するに過ぎないものである。以上の如き試験の結果から、次の結論が求められる。即ち、土壌の組成及び粒度に於ける相違は締固めた土壌の密度に對して最も適確に影響するもので、一般に行はれてゐる密度試験から求められる結果は、この意味からいへば安定混合物を設計する上に於て最も實際的な基準となし得るであらう。混合物は絶対容積率で配合せられ、又セメント含有量は土壌とセメントとの混合物の絶対容積百分率を以て表された。土壌・セメント混合物の空隙率は、安定せる混合物の性質特に其の耐久性と直接重大なる關係があり、混合物設計上の實際的基準を決定するために必要なので、常にその測定を行つた。

耐久試験はポルトランド・セメント同業會の規定した方法に準據して行つた。本報告の著者は、耐久試験の結果に於て次の如く述べてゐる。即ち、耐久性試験を行つてみた結果、現在要求されてゐる程度の耐久性を有する土壌・セメント混合物を調製するには、そのセメント—空隙比を15%とすればよいことが分つたと云つてゐる。

工事現場に於て締固めた試料の密度は、豫備的試験のため採取した試料の密度に對してよりも、寧ろ實際の路面の密度とその結果がよく一致する。有機質物質を含有する甚しく砂質の土壌に對して一定量の粘土を添加すると、其の混合物の耐久性は著しく改善せられる。斯くの如く耐久性が改善せられるのは、粘土の如き微粒物質を添加せるに因るのは勿論であるが、添加せられた粘土が混合物の密度を大ならしむるに役立つた爲めであるか、或は之が土壌の酸性を補正せしむる

に有效であつた爲めか、其の何れであるかは明白に断定し得なかつた。

最終の輾壓作業に當り、普通型式の蒸氣ローラーを以て輾壓すると、表層以下 1 in 程までの部分の混合物が移動を惹起することがあつたが、このやうな現象は將來に於て路面の剝離又は破壊の原因となるものと認められた。

次の記事は Housel 氏の報告から引用したものである。

「工事終了後にも、本試験道路は實際の車輛交通を許さず、1 箇年間は氣象的作用のみに曝露せしめた。その間、數多の調査を行ひ又現に引續き諸般の觀察を實施してゐる。或る區間に於ては極めて満足すべき路面状態を保持せるに拘らず、他の區間に於ては著しき剝離及び破壊の徴候が認められた。」

結論：— 實際上の經驗に従へば、土壤・セメント混合物の設計に應用し得る如き土壤の空際的特性を基礎とするより以上明確なる一定關係の存在するのは明白である。而してセメント—空際は耐久性の大なる安定混合物を調製するための重要缺くべからざる支配的因子をなすものと思はれる。土壤の化學的組成例へば水素イオン濃度の如き化學的因子の影響するところを知るためには、土壤の物理化學的性質を深く研究する必要がある。

土壤に對する精密な調査研究は、道路の築造工事に先立つて必ず行はなければならない仕事であるが、耐久性試験等は其の試験の性質上、可成り長時間を要するから、一般の築造工事に於ては實用的價值の少ないものゝやうに思はれ、之に代ふるに短時間で行ひ得る何か適當な試験を規定する必要があるやうに考へられる。それには、含水量—密度の關係の測定試験などが適當ではないかと思はれる。之は極めて短時間で結果の求められる試験であり、その上之に壓縮試験或は他の適當な試験を追加すれば、尙更正體を得た結果を求め得るものと考へられる。工事現場に存在するすべての種類の土壤を

代表せしむるやうな試料を採取することは比較的困難な仕事に屬す。それ故に、土塊の締固めに對する監督は、日々の作業に關聯して現場に於て實施される現場試験によつてなされるのが適當ではないかと思はれる。

Missouri 州の試験

Missouri 州道路局に於ては、3 區間よりなる試験道路を築造した。

第 1 の試験道路は、1936 年の秋 Montean 郡内に築造せられ、其の延長は 1.5 哩であつた。工事現場の土塊は、A—4 類に屬するローム質、A—6 類に屬する粘土質及び A—7 類に屬する粘土ローム質等から成つてゐた。この土塊に對し、ポルトランド・セメント同業會では、締固め容積率にて 12% のセメントを使用すべきことを推薦し來つた。尙試験道路は幅員 22 尺、厚さ 6 in を有するものであつた。

粉砕した土塊には Sisal クラフト紙を覆つて雨を防いだ。セメントは袋入の儘で道路に沿つて一定間隔に並べてから、袋を破つて撒布した。完成した路面を藁で覆つて、其の凍結を防ぎ且つ含有水分の散逸を防いだ。

降雨は明かに工事を遲滞せしむる原因となつた。そして 14 試験區間の中、第 12 區間の工事が終了した頃には、夜間氣温が降下して往々氷點以下に達した。

試験道路には表面處理を施さず、其の儘で 1937 年の夏の中頃まで放置した。この期間内には路床が軟弱化するやうな特別の故障は起らなかつた。然し乍ら、特殊の箇所殊に掘鑿土塊の敷戻し部分等に於ける凹部に相接して可成り激しい表面剝離が発生した。これらの破損箇所は、土塊・セメント混合物を撒布して簡単に手直しすることが出來た。この種の簡

單な表面處理工によるのみでは、道路の表面に現れた異状を完全に補修するには効果が薄く、車輛交通を圓滑ならしむる爲めには、瀝青質材料による表面處理を施す必要があつた。

1637年に Franklin 郡に築造した延長2哩の土塵・セメント混合物による試験道路には、土塵安定工法に關する廣範圍の研究問題が附隨してゐた。この路床は殆んど大部分が A-4 類に屬するユニオン淤泥質ロームの土塵から成つてゐた。試験道路の凡そ半分の區間に於ては路上混合式を採用し、他の半分の區間に於ては自動推進式混合装置を使用して工事を行つた。セメントの混合量は、締固め容積率にて 6~8% の範圍と定めた。

路上混合式による試験區間では、大體 1 日當り 1/4 哩の部分を施工した。延長 150 呎の區間では、Sisal クラフト紙で路面を覆つて養生を行ひ、他の區間に於ては工事終了の翌日にタールを塗布して養生を行つた。

自動推進式混合装置を以て混合作業を行ふ豫定の區間では、先づ最初に在來の路床を掘鑿し之を更に充分粉碎して置く。粉碎した土塵は道路の中央に畝積みとなし、Sisal クラフト紙を以て之を覆ひ、雨共の他の不良なる氣象的影響を防いだ。次にセメントを、畝積みにした土塵の上層に撒布する。續いて之を混合機に送り、混合機に於て水を加へてよく攪拌混合するのであるが、この場合に加へる水は最適量を幾分超ゆる程度とした。混合物は、直ちに混合機から撒布機に送られ、道路に均等に撒布される。

路面仕上げの直後には、シープスノート・ローラーが隨行し、混合物の敷均しの了つた路面を小區間宛、締固める。最後にグレーダーを以て路面の勾配を押し、次いで 7 噸ローラーを以て輾壓して仕上げた。

養生にはキョークリート (Curcrete; 養生用の瀝青乳劑) を用ひたが、一部では試験的に糞を用ひて養生を行つた。

然し乍ら暑さと重量交通とのために、凍による養生はあまり効果が無いやうであつた。キユアークリートを用ひた區間では、明かに早期龜裂の發生が僅かですんだが、數週間經過せる後の路面状態から見ると、兩區間の間には何等相違するところがないやうに思はれた。

この試験區間に於ては、ソール・コートを施工する前に、早くも路面の破壊を來す徵候が見え、手直しが必要となつた。又車輛の通過せる面には、小區間宛締固めを行つたことを原因とする波狀の發生を見た。

延長 5 哩の別の試験道路は、1937 年 9 月 18 日より 10 月 15 日の間に、請負工事により St. Clair 郡内に築造せられた。この土壌は、A-2 類に屬して粘土 14% を含有するものから、A-6 類に屬して粘土 28% を含むものゝ間で種々あつた。1 日の作業で完成した道路の延長は、最大 1,600 ft、平均 1,313 ft であつた。試験區間の 1 部には、破損した既設の油處理道があつて、其の混合物は完全に取除かれずして路床土中に殘存し、又 1 部には既設の瀝青處理道もあつたが、これらの混合物は何れも其の儘粉砕して路床用材料に供した。本工事には 14 in の gang plow (機械鋤) を使用したが、この機械は路床土の掘鑿及び粉砕、土壌とセメントとの混合等に對し極めて有利であることが證明された。

本試験道路の工費は、セメントの費用を除き、セメント使用量 1% に就き 1 平方碼當り平均 0.025 弗であり、又各試験區間別のセメントを含む 1 平方碼當りの工費は次に記す如くであつた。

1 平方碼當り

第 5 號路線	Monteau 郡	0.34 弗
第 100 號路線	Franklin 郡	

路上混合式	0.15 弗
フランク混合式	0.27 弗
第 13 號路線 St. Clair 郡	0.20 弗

次に記す結論は Reagel 氏の報告から引用せるものである。

「定められた工費は決して無理な額で無かつたと同時に、之を低廉なる道路として取扱ふ場合には信頼するに足る路床として支拂するも差支へなき範圍の工費であつた。

道路を交通に供するに先立ち、之に何れかの方法によつて表面處理を施し、磨耗層を形成する必要がある。

こゝに得た結果のみからは、フランク混合式の工費の低廉ならざるを正當なりとする理由は見出し得なかつた。

工事に當つて、特別の注意を拂ひ完全な準備をなせば、掘鑿土壌の敷戻の際に發生する有害なる状態を消去せしむるのも決して困難ではない。工法上に於ける一段の進歩と認められたのは、gang plow を採用したことであつて、之によれば Orchard 自動耕起機を使用するよりも遙かに完全な土壌の掘鑿及び混合を行ひ得るといふに、均等なる混合物を容易に調製し得ることが明かになつた。

完全なる工事組織を以てすれば、作業員及び機械類の運用を完全ならしめ、之により 1 日當り平均 1/4 哩の工事を完了するのも比較的容易であらうと思はれる。」

wisconsin 州の試験

Wisconsin 州の試験道路は Adams 郡内に於ける延長 3.3 哩の區間であつて、その約半分は 1936 年の秋に築造せられ、残りの半分は 1937 年の初夏に築造せられた。

この試験道路の土壌は甚しく砂質で、而もその粒子の大きさが割合に揃つてゐた。耐久性及試験及び強度試験の結果から判断すると、この種の土壌を充分安定せしむるためには、少くとも 20% のセメントを必要とするものゝ如くであつた。尙その理由としては、土壌中の微細物質の不足と有機質物質の存在との 2 つが考へられた。この種の土壌に粘土を添加すると顯著なる安定効果を生ずるもので、粘土 20% を混合することにより、1936 年に施工した試験道路の土壌に對しては乾燥重量にて 10% のセメントを混合するのみで、又 1937 年施工の亦に對してはセメント 8% を混合するのみで、何れも充分なる安定効果を擧げ得ることが明かになつた。

工事に當つては、先づ所要量の粘土を掘鑿土壌の上部に散布し、之をよく粉砕して土壌と充分混合せしめる。次に土壌の上部にセメントを散布して混合する。混合作業は quack grass digger を以て行ひ、混合物は最適水量に於てシート・ローラーを用ひて締固めた。この種の甚しく脆い土壌にあつては、必ず適確なる含水量の下にて混合物の締固めを行はねばならない。即ち含水量 9.3% では混合物が甚しく乾燥し且つ脆弱であつて其の締固めは殆んど不可能であり含水量 10.0~11.5% に於て初めて完全なる締固めが可能となり、12.3% を超ゆる場合には混合物が海綿狀を呈し、其の表皮が鋭がれ易くなつてローラーの鏝輪に粘着する傾向を帯びてくる。

試験道路の極めて短い區間には、上記と同量のセメントを混合し、粘土を添加せざる箇所を設けたが、この箇所ではシート・ローラーを用ひて締固めを行ふのが困難であつて、他の輕量なる機械類を以て作業するの外なかつた。

路面の仕上げ作業に於て、過高部分を削り取つて餘つた土壌を廢棄する方法は、低い部分を填充して仕上げる方法よりも結果のよいことが明かにされた。

完成せる路面の養生としては、濡砂を 1 in 厚に撒布し、7~10 日後に之を除去する方法を採つた。

1 日の施工高は、1936 年の試験區間では 513 ft、1937 年の區間では 728 ft であつた。

次に記載するのは Larson 氏の報告の 1 部である。

「最終の縮固め作業の終つた後に、路面は幾分收縮を來せる如く見受けられた。それは養生用砂を取除いた後の路面に、約 25 ft 宛の間隔を有する收縮性龜裂の發生せる點から見て間違ひない事實であつた。次に剝離又は脱落等を來した箇所も見受けられたが、これらは仕上げの不完全なる箇所又は手直しを行つた凹部等に多く發生せるものと認められた。手近にあつた機械類を用ひるのみでは、粘土塊を完全に粉碎することが出来ず、従つて粘土の小塊は其の儘で完成路面の表面にも露出してゐた。この様な場合には、車輛交通による磨耗を防ぐために瀝青質材料を用ひて表面處理を施すのが得策と考へられた。1936 年に築造した試験區間は、築造後既に一冬を經過したのであるが、依然良好なる路面状態を保つてゐる。尙これらの試験道路の實際的價值如何を判定するには、未だ時期尙早のやうに思はれた。

South Carolina 州の試験

Highway Reseach Board の議事報告書第 16 卷(1936 年發行)に發表した試験道路の外に、其の後 South Carolina 州道路局に於ては、延長 18.4 哩に亘るセメントによる路床安定工事を實施した。この中、約 15.3 哩の區間は請負工事に

より、残りの 3.1 哩は直營工事によつて施工した。本試験道路の全區間に對しては、厚さ 1/2~3/4 in の瀝青質磨耗層を施した。

延長約 0.5 哩の區間に於ては、州内に巨大面積を占めてゐる代表的土壌たる赤色粘土を充分安定せしむるに要するセメントの最低量を定めるための試験工事を計畫した。これに關する實驗室の試験結果では、この赤色粘土を安定せしむるには、締固め容積率にて 9.5% のセメントを要することになつてゐたが、實際工事に於ては、其の使用量を減じて一部に於ては 7.5% とし、又他の一部では 6.5% として工事を行つた。この試験道路は交通開始後、既に 6 箇月を経過してゐるが未だ何らの異状も見受けられない。

1636 年の冬には、延長 10 哩の區間を請負工事によつて施工した。本工事では混合作業を自動推進式混合装置によつて行ひ、締固め及び仕上げ作業は一般的方法に従つて行つた。この區間の土壌は、殆んど純粹の細砂よりなるものから粘土 25% を含む粘土質ローマに至るものであつた。而して砂質土壌に對してはセメント 8% を、又粘土質土壌に對しては 10% を混合した。工事の入札價格は 1 平方碼當り、路床工が 0.495 弗、表面處理工が 0.18 弗であつた。

この試験道路の中、4 哩の區間には翌 1937 年の 3 月にタールを塗布したが、その後間もなく 23 箇所の多きに上る浮上りが發生した。この浮上りの中には、長さ凡そ 2 ft に亙つて路床全厚に達する龜裂及び破壊を來したのも 2, 3 あつたが、殆んど大部分のものは、表面から深さ約 2 in 迄の部分が被害を蒙つたに過ぎなかつた。路床の破損部分は、之を取除いて、新に土壌・セメント混合物を填めて手輕に修繕した。それから後は、この種の異状は全然起らず、勿論他の區間に於ても斯くの如き異状は發生しなかつた。不適當なる施工方法に基く異状は、延長 0.5 哩の試験區間に發生した。この區間

には既に表面處理を施し、短期間乍ら交通を許したのであつたが、路面の混合物が交通によつて移動し始めたのである。その原因と考へられるのは、セメントを以て安定した路床の1部が、表面から深さ1in程のところまで軟弱化してゐたことであつた。尙この種の原因に基いて起るやうな他の異狀の發生は見受けられず、不良箇所數平方碼を手直しせる程度にとどまつた。

最近、州道路局に於ては、路床の不良なる瀝青表面處理道延長凡そ1.8哩の區間の修繕工事を行つた。工事に當つては、先づ在來の瀝青表層を搗鑿して破碎し、之を其の塵路床材料として用ひ、セメントと混合して施工した。この試験工事は、若し之が成功すれば、廣大なる面積を有する瀝青表面處理道の修繕工事にこの方法を應用し得るものとして、多大の興味と期待を以て觀察されてゐる。

結 論

以上の各報告中に述べられた結論に従へば、土壌・セメント混合物は道路築造材料として既に其の眞實を保證せられたものと認められる。實驗室に於ける試験方法及び工事現場の施工方法を改善し且つ單純化するためには、實驗室に於ても將又工事現場に於ても、其の目的のために今後尙一層試験研究を繼續すべきである。

築造工事に先立つて實驗室で行はれる完全なる豫備的研究と築造工事に於てなされる積極的で而も適確なる監督との二つは、あらゆる意味からして最も重要である。