

研究



路床土の研究 (第1報)

永 富 勘 四 郎 譯

米國に於ても未舗装道路は尙數十萬哩に亙る有様であるが、最近活潑に此の土道の改良に着手し最新土質力學の理論に基き現場の天然材料を極度に利用して、經濟且能率的な土道の安定工法の完成に努力し研究及び實施をなしてゐる。以下は著者 C. H. Hogentolger 氏の研究を紹介したものである。

路床土の研究は米國各洲の道路局に於て道路の設計、施工及び維持に關連して極めて汎く行はれてゐる。聯邦政府道路局 (U. S. Bur. of Publ. Roads) は 1920 年土の研究を開始以來の經驗に依り、土に關する調査及び研究が顯著な經濟的價値を有する次の如き研究及び實施對象を設定した。

- (1) 路盤調査を行ひ夫に基き土を分類する事。
- (2) 安定土に依り道路の表層並に路床を設ける事。

(3) 道路盛土の築造。

路盤調査及び土の分類

路盤の調査は路線の設定、最適路面種類の選定及び舗装表層に有害作用を及ぼす条件を除去する上に有益な資料を提供するものである。

土をその自然の野外に於ける状態のもの、掘鑿或は切取のものとで試験する時には、其の試料採取の間隔は土の種別の決定が充分できる程度にとり、又その深度は多少とも土或は之に準ずる材料の不均等層を貫くに足る程度となすを要する。

路盤調査により採取した代表的な供試材は之を實驗室にて試験しその物理的性質を定める。路床土の分類に用ひた實驗室の主要決定は機械的分析で可塑性、収縮及び含水等量試験である。

之等の決定、及び土の調査並に試料採取方法は米國州道路技術官協會 (American Association of State Highway Officials) に依つて發表されてゐる。

路床土の物理的性質と粒度とにより暫定的に分類すれば次の諸類となる。

A—1 類 粒度細組の混濁が適度で結合材を適量に有し内部摩擦及び凝集力共に強く有害な収縮、膨脹、毛細管現象及び弾性を有せず。その含水量の如何に不拘軸荷重下に於て著しく安定のもの、粒度は 10 番篩に残留するもの 50% 以下。

10 番篩通過の土モルタルの成分は次の如くである。

粘土 5~10% 淤泥 10~20%

砂の全量 70~85% (内 40 番篩に残留の粗砂 35~50%)

有効径 0.01mm 均等係数 15 以上

液性限界 14~25 塑性指数 8 以下

収縮限界 14~20 速心力含水等量 15 以下

A-2 類 粒度の細、粗の混割合不適當なるか結合材の悪質のものである。内部摩擦と凝集力は一定条件下に於てのみ強大である。粘性に乏しきものと強いものとの各種あるが前者を安定せしむるには毛管壓力に依る凝集力を要する爲濕潤時に安定し早天續きの時には弛緩して埃を見る。

粘性の大なるものは晴天時安定し降雨又は防水層に依り毛管水分の滲出が妨げられる時軟化し易い。

粒度 土モルタル中、砂 55% 以上

液性限界 35 以下 塑性指数 (収縮限界ある場合) 0

() のない場合) 0~15

速心力含水等量 25 以下

A-3 類 粗粒のみより成り結合材を有せず。内部摩擦大にして凝集力に乏しく有害な毛管現象又は弾性無し。凍上、膨脹及び収縮せず。軸荷重下にて安定性を有しないが分布荷重に對し良好な支持層となる。

粒度 有効径 0.10mm 以上

液性限界 35 以下 塑性指数 0

収縮限界 無し 遠心力含水等量 12 以下

A—4 類 粗粒を含まぬ淤泥土より成り粘着性の膠質粘土を含有せぬ。内部摩擦は一定せず、凝集力は乏しいから相當程度迄のものとあり、弾性無し。毛細管現象著しく、凝集力に乏しいものは極めて容易に吸収するが乾燥に不拘便い路面状態を呈し寒季の凍上甚だしく従つて融解期に安定を消失する。

粒度 砂 55% 以下

液性限界 20~40 塑性指数 17 以下

収縮限界 25 以下 遠心力含水等量 12~50

A—5 類 A—4 類に類似せるも顯著なる弾性を有し乾燥時にも之を減じない。荷重下に急變形を來し、荷重撤去後の弾復性大である。此の性質はマカダム式基礎の壓縮作業を妨げその結合を困難にする。

粒度 砂 55% 以下

液性限界 35 以上 遠心力含水等量 12 以上 (9~10 多し)

収縮限界 30 以上 (悪質のものは 50 以上)

A—6 類 粘土より成り内部摩擦小で含水量低き時凝集力大、弾性なく膨脹及び収縮が著しい。塑性状態のものには混捏に依つてのみ更に吸水する故マダカムの間隙に滲入し盛土の滑動を起す。緊硬度大なる場合に限りマダカムを適用し得る。

變形緩慢で荷重除去に依る弾復性極めて小である。野外に於ける交互に乾燥に依り著しく容積變化を來す。

粒度 稀に粘度 30% 以下の事がある。

液性限界 35 以上 塑性指數 20 以上

收縮限界 15 以上

A—7 類 A—6 類に類似するも或含水量にて弾性的となり荷重の除去に依り急激に變形又は弾復す。A—6 類に比し容積變化一層著大にしてコンクリート鋪裝の龜裂破損を招き易し。

粒度 稀に粘土 30% 以下の事あり。

液性限界 35 以上

A—8 類 極めて軟質の泥炭質粘土と腐植質粘土より成り内部摩擦、凝集力共に小にして有害な毛細管現象と弾性を有し特に安定法を施さねば路面を支持しえない。

斯種のものには全面的に良土の盛土を必要とする。

A—5, A—6, A—7 及び A—8 類の細目

A—5, A—6, A—7 及び A—8 類の如き諸部類は、總て表層或は路床には不適當である。此等の部類の土壤中、液性限界 45 或は以下のものは、調節状態の下では路床及び盛土として適するが 45 以上 65 以下のものは好ましくなく、含水量及び固固めを嚴密に調節した状態の下に於て始めて使用すべきものである。而して 65 以上のものは路床土及び盛土には全く不適當である。

安定せる路面及び路床

安定土に依る土道路の築造は米國に於ては既に數千哩に及ぶが、其の成績良好にして此種の工法の將來の約束されて居る事を示してゐる。

其の現場に利用せんとする土の安定工法はその地方で得られる材料を基としてゐる。或地方、例へば米國南部地方の如きは砂質粘土の沈澱物及び表層土は土道或は基礎に對し最良の粒度及び性質を有つたものである。

又他の地方に於て得られる結合材の土塵及び骨材は最良自然土の性質を有つ混合物を作り得る。又現場で得られる土材料は道路に必要な粒度のものであるが、結合材としての品質の不良な事がある。更に又他の地方では適當な粒度の混合物を得るに必要な骨材が缺乏してゐる事がある。

最良の天然土に關する研究に依れば安定な土混合物を作るに必要條件は次の如くである。

(1) 骨材の硬度及び耐久性は風化、交通による磨耗、及び破碎に抵抗するに充分な程度でなければならぬ。適當の粒度に破碎した砂利、石材、鑛滓或は夫等の混合物の粒子又は細片が適當である事が明らかにならねばならぬ。或種の泥岩及び類似の材料で交互に凍結と融解、或は濕潤と乾燥を行ふと急激に破壊及び風化を起すものは使用してはならぬ。

(2) 粉末物として知られてゐる土結合材は毛細管現象と粘着性とが適當にバランスがとれ、而して有害な容積變化の危険ない、粒度を定めた混合物を作るに好適した性質を有してゐなければならぬ。此の粉末物が水分の爲に膨脹して粘土が結合材とならずして潤滑材にならぬ事が特に重要である。

(3) 現場で材料が得られて骨材及び土結合材の配合を適當になしえても、天然粘土が高度安定の路面に必要な結合力を有しておかない時には、數多の混和物を單獨に又は組合せて使用する事ができる。即ちその材料には先づ鹽類即ち鹽化石灰、鹽化曹達及び鹽化マグネシウム、次に工業廢棄物即ち木材パルプ製造より出るサルファイト廢物、製糖工業よりの糖液廢物、及び碎石工業よりの碎石屑之である。

(4) 細粒又は粒度の不良な材料しか得られぬ場合はタール、及びボルドラント・セメント結合材を用ひて安定踏床を設けて之に瀝青表層を施す事もできる。材料が單獨の場合では餘々に移動のできる特殊構造の加熱爐によつて粘土を加熱してゆく方法による。

粒度を定めた土混合物

10 番篩殘留骨材の篩分析 (10 番以上の諸篩による) 及び 10 番篩通過の粉末物の比重計分析とに依り (A. A. S. H. O. の Method T—88) 混合物の適應度を決定し、40 番篩通過の粉末物に就いては可塑性試験 (A. A. S. H. O. の Method T—89 ~91) を行つたが、出來上つた混合物が安定せる表層及び踏床の要求と合致する様な量に材料を組合せる工夫が行はれた。

Amer. Assoc. of State Highway Officials の表層及び路盤材に對する規格案には次の如き主要要件が含まれてゐる。

1. A 種一砂質粘土モルタル

1—in. 篩通過 100%

10 番篩通過.....65~100
 10 番篩通過のものは次の粒度を有せねばならぬ。

	重量%
10 番篩通過.....	100
20 " ".....	55~90
40 " ".....	35~70
200 " ".....	8~25

B 種—粗骨材

重量%

1—in. 篩通過.....	100
3/4 " ".....	85~100
3/8 " ".....	65~100
4 番篩通過.....	55~85
10 " ".....	40~70
40 " ".....	25~45
200 " ".....	10~25

C 種—碎石材

重量%

3/4—in. 篩通過.....	100
4 番篩通過.....	70~100

56 56

10	"	.....	35~80
40	"	.....	25~50
200	"	.....	8~25

A, B 及び C 種の 200 番篩を通過する表層用材は 40 番篩を通過するものと 2/3 より少量でなければならぬ。而して 40 番篩通過のものは液性限界 35 を超えざる事及びその塑性指數は 4 より小、9 より大ならざる事を要す。

2. 路床

A 種—砂質粘土

			重量%
10	番篩通過	.....	100
20	"	.....	55~90
40	"	.....	35~70
200	"	.....	8~25

A—1種及び B—2種 粗骨材 (第1表参照)

第 1 表 路床用骨材の粒度 (B—1 及び B—2種)

		B—1 最大粒度 1—1in (重量%)	B—2 最大粒度 2—1in (重量%)
2—in.	篩通過	100	100
1 1/2 in.	"		70~100
1—in.	"	100	55~85

3/4	"	70~100	50~80
3/8	"	50~80	40~70
4 番 篩 通 過	"	35~65	35~60
10	"	25~50	20~50
40	"	15~30	10~30
200	"	5~15	2~15

200 番篩通過の A, B 及び C の路床土用材料の粉末は 40 番篩通過のもの、1/2 より少なくなければならぬ。而して 40 番篩通過のものは液性限界 25 を、塑性指數は 6 を超えざること。

〇種一碎石

	重量%
3/4—1 1/2 篩通過.....	100
4 番篩通過.....	70~100
10 "	35~80
40 "	25~50
200 "	8~25

土の密度標準試験法

粉末土をポルトランド・セメント又は瀝青材によつて安定せしむるには夫を壓縮して高度の密度を得せしめねばなら

ぬ。而して之は各混合物に對する一定の含水量即ち最適水量に於て最もよく目的を達しうるものであるが、この最適の水分を定める試験は即ち密度試験と言ふもので次の如くである。

1. 試験器具 之には次のものを要する：(a) 密度或は Proctor シリンダーで知られてゐる圓筒金屬型、徑約4-in, 高4 1/2-in, 容量 1/30-ft³ のものである。此の型には取外しのできる底板及び高約 2 1/2-in の取外しのできる凸起部を取付ける。

(b) 徑2-in, 重量 5 1/2 封度の衝擊面を有する金屬製タンパー

(c) 感度 1/100 lb の 25 lb 秤

(d) 感度 1/100 gr の 100 gr 天秤

(e) 適當な乾燥爐

(f) 含水量測定用の陶皿、ピーカー其他の種々の器具設備

2. 試料 僅かに水分を含む程度に空氣乾燥せし試料 6 lb を 4 番篩を通過せる材料の一部から採取する。

3. 試験法 試料を充分に混合し、次いで圓筒中に之を 3 段の層にタンパーで搗固める。各層にはタンパーを土から 1 ft の高より 25 回落下する。次に土を圓筒型と同面に削除して重量を測定しその小試料を取り含水量測定の高爐で乾燥せしめる。圓筒型から取出した土は 4 番篩を通過する程度に粉碎し水を添加して上記の操作を繰返し行ふ。此の決定は土が著しく濕潤となり搗固めた土の濕潤重量が著しく減少する迄繼續して行ふ。

4 計算 水分は次の公式により計算せねばならぬ。

$$\text{含水百分率} = \frac{\text{水の重量}}{\text{乾燥土の重量}} \times 100$$

乾燥重量は次式に依り求むること。

$$\text{乾燥重量} = \frac{\text{濕潤重量 lb/ft}^3}{\text{含水百分率} + 100} \times 100$$

搗固め試験の結果は水分重量に對して修正し

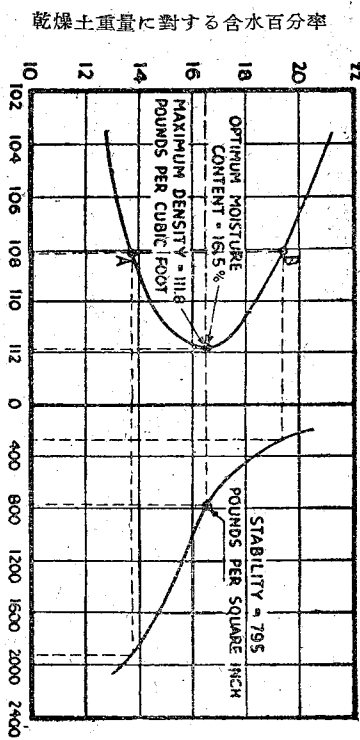
乾燥土の立方呎當りの封度にて表はして、その

結果の夫々の含水量に對する値の點を求め、その求めた點を結び曲線を引く。而してその曲線の最高點が上記の搗固めの一定材料に對する最大密度を表すものである。密度の最大となる含水百分率が最適水量と言はれる。

ポルトランド・セメントに依る土安定工法

土壌 本工法に用ふる土は道路計畫に示されてゐる路線、勾配及び斷面内に於ける路床の材料より成るを普通とす。

而して土は前記 A. A. S. H. O. の T-86~94 の方法の要求する所に従ひ試料を採り試験を行ふ。粉碎及びセメントとの混合の著しく困難な土壌は除去し道路計畫に示された土取場の適當な土を之に代える。



立方呎當り乾燥土の重量 第1圖 密度、含水量と安定度との關係 安定度 (lb/in²)

土及びセメント混合物の配合決定 搗固めた乾燥土の容積に基くセメントの混合割合は任意の混合割合を數種作り之によりセメント及び土を混合して定める。(大部分の種類の上にはセメント4.6~8%の割合が適合してゐた)

各混合物に對する最適含水量及び最大密度は土の密度標準試驗法に依つて求むる。而して各混合物に對する含水量が求められると夫から各4個の供試材を Proctor シリンダーに作る。此の供試材中2個は交互に濕潤及び乾燥に、他の2個も亦交互に凍結及び融解を行ふ。

濕潤及び乾燥操作の一循環は室溫にて8時間浸漬し、300°Fにて15時間乾燥せしめ室溫にて1時間冷却するのである。又凍結及び融解操作の一循環を説明すれば室溫にて8時間浸漬し、20°F或は夫以下にて16時間凍結せしめ、室溫にて8時間融解、300°Fにて15時間乾燥し終りに室溫にて1時間冷却する。

濕潤及び乾燥或は凍結及び融解操作の各循環後には1供試材は之に針金ブラシをかけて眼に見える表面の弛緩した粒子を除去し他の1個はそのままにして置く。

供試材は凡てその重量及び大きさを上記處置の各回毎に記録し、而して各供試材の容積變化を計算して記録しておく。供試材はその容積を50%消失すれば之を以て損壞點と見る。濕潤及び乾燥15回以下、凍結及び融解處理10回以内で破壊するは路床用土—セメント混合物は失敗と見做しうる標準となる。

或る一定のセメント—土混合物の含水量—搗固め曲線は、必要水分及び搗固めを施す爲に工事中之を用ふ。

瀝青質結合材に依る土の安定

路床に用ふる粉末土又は粒度の不良な土を安定する瀝青質結合材は次の3類に分つ事ができる。(1) 乳劑、(2) タール及び(3) 道路用オイル及びカッツ・パツク。

土一乳劑混合物 現場から採つた土の試料は乾燥、粉碎して1/4-in 篩にかける。而して之を通過した材料は分割して塑性限界、液性限界及び粒度を決定する。混合物は任意の割合の乳劑を用ひて作る。土は稀釋せる安定劑と混合するか又は最初は水と、次いで安定材と混合すると終にアスファルトが均等に分布され混合物が塑性及び液性限界との間の稠度となるに至る。

混合土は成型できる稠度になる迄乾燥せしめて長4 in の2 in 金屬型に打込む。更に乾燥せしめて尙水分を幾分保持する程度にし次いで通常100 lb/in² の荷重で壓縮し、型から壓出し約140°F で乾燥爐又は室で重量一定となる迄乾燥する。混合は手又は適當な器具でなし打込み及び搗固め方法の細部は重要な事ではない。之は終局の搗固め密度は乾燥時の收縮によつて得られからである。

吸水試験 作製して乾燥した供試材に次いで毛細管吸水試験を行ふ。

此の試験は締め切つた小室内で行ひ、その中には皿を備へ之には先づ Ottawa 標準砂膏を、次に硅藻土をおき上に吸取紙を被ひ、給水装置を施して水面が丁度吸取紙の下側にくる様にする。

小室内の湿度は水が絶えず蒸發してゐる爲極めて大であるが、供試材は側面をセロファンで被覆し、頂部には徑が供試材より少し大きい淺いアルミニウム・コップを被せる。之は毛細管現象にて吸收せる水の消失を防ぐがこの状態は實際の現場の安定土路床の場合の状況と類似してゐるものと信じられてゐる。即ち現場での安定せる土の一部分を例へて説明

すれば、その下側は水に曝され水分蒸發は周りの安定土に依り妨げられ、又上表面よりの蒸發は表面に依り制限されてゐる供試材は日々の秤量の爲に通常之をとり出すが、試験期間は7~90日とする。安定せる土の毛細管現象は著しく低いが爲吸水は初日以後は急激に減少して行く事が分る。

供試材を吸取紙から取る時には吸取紙に幾分附着して供試材の重量が損失せぬ様充分注意が肝要である。處理せぬ供試材の場合には速やかに水を吸収して軟かくなり、粘着性を失ふものであるが、その場合特に此事は重要である。吸取紙に附着殘留した部分は一之を取つて毎回の秤量に當り供試材の底部におかねばならぬ。此の方法を避けようと思へば、供試材を始めて吸取紙上に置く時圓盤形濾過紙を供試材の下に敷き、毎回此の濾過紙と共に秤量する様にすればよい。飽和濾過紙の重量は勿論乾燥供試材の初めの重量に加えねばならぬが、此の重量は又セロファン及びカツアの重量を包含してゐる。安定度試験用器具は内徑2 1/6-in 及び高4-in (又は夫以上の) 重い圓筒より成る。之は底に双物鋼の穿孔板を備へその孔の總面積は正確に1-in²にして、切口から下方へ斜に開けられてゐる。

此の他、徑2-in のフランジヤー及び支持棒を要し之でこの試験器具が揃ふ事となる。

扱て試験を行ふには圓筒中へ、その孔をつめて供試材を入れる。此の型を壓縮機にて總荷重約3,000 lbs. をかけて供試材が圓筒の側壁や穿孔板面によく接觸する様壓縮する。次いで孔の詰めをとり、フランジヤーに1/2-in 間隔に標線を入れ、次にフランジヤーが毎分1/2-in 移動する程度に荷重をかける。1/2-in の標線に達する毎に荷重を読み、順々に進めて行く。

安定度試験を行ふ場合の最大荷重は通常約2,500 lbs で(約8,000 lbs/in²)あるが試験器具が荷重に耐えうる様に設計さ

れてゐる時には約 40,000 lbs. に達增大できる。此の試験はプラスチック・フローに依る變位に對する抵抗を測定せんとするもので 8,000 lbs./in² の荷重下に於ける變位に耐える供試材は悉らく強固であり斯く見てもよい。此の限界外の試験値は塑性指數としては通常大して重要性を有してゐない。

土タール混合物 種々の土の安定に用ふるタール量決定試験は未だ展開の途上に在るもので、此の方面の最も重要な参考資料は實驗道路區間での研究によつて提供されてゐる現状である。密度試験は此の種混合物に要する水量の決定に汎く用ひられてゐる。

道路油及びカット・パツク 路床土安定に必要な瀝青質油及びカット・パツクの量は主として Missouri 州での巨大な埋敷に亘る實驗道路による實驗結果によつて定められてゐる。

道 路 の 盛 土

Amer. Assoc. of State Highway Officials に提示された盛土用土の規格は次の如き主要要件を包含着てゐる。

第 1 類 : 盛土は高 10ft を超えぬもので、急勾配基礎上に設けられておなく且長期に亘る洪水を受けぬ。

液性限界 65 より大ならざる事。

液性限界 65 より小なる土に對してはその塑性指數は公式 $0.6 \times \text{液性限界} - 0.9$ に依り定められるものより少なからざる事。

土の最大乾燥重量は第 2 表に示した。

第 2 表 第 1 類の土の最大乾燥重量級別

最大乾燥重量 (lb./ft ³)	分 類 (Bur. of. Publ.) (Roads に依る)	等 級	現場の所要最小構固め程度 (最大乾燥重量の百) (分率にて表はす)
89.9 及以下	A-5, A-8	最 悪	%
90.0~99.9	A-5, A-8	不 良	95
100.0~109.9	A-6, A-7	良	95
110.0~119.9	A-4	不 可	90
120.0~129.9	A-3, A-2	可	90
130.0 及以上	A-1	優 良	90

第 2 類 : 盛土の高 10ft 以上のもの、急勾基礎上に設け、又は長期の洪水を被るもの。

液性限界 50 より大ならざる事を要す。

此の種に用ひる土は第 3 表にその乾燥重量に就き細別をなした。

第 3 表 第 2 類の土の最大乾燥重量級別

最大乾燥重量 (lb./ft ³)	分 類 (Bur. of Publ.) (Roads に依る)	等 級	現場の所要最小構固め程度 (最大乾燥重量) (%にて表はす)
99.9 及以下	A-5, A-8	最 悪	%
100.0~109.9	A-6, A-7	不 良	100
110.0~119.9	A-4	不 可	95

120.0~129.9	A-3, A-2	可	90
130.0 及以上	A-1	良	90

施工の主要特性

路床 土工にて掘鑿する異つた材料を區別して、良い材料が鋪裝の次に來る様に盛土中に之を配置する事が經濟的である事が分つた。而して斯くすれば淤泥泥濘粘土の凍上及び粘土の容積變化を減少せしむる上にも有效である事が知られた。主として米國北部に著しい霜による有害な土の凍上を防止するに採つた有效な方法の一つには、凍上を起す土を、摺定した粒狀の材料と置換へる事によるものがあつた。

凝集性や含水力を著しく缺く極く細粒の砂や淤泥は通常良い性質の土と取換へねばならぬが、斯んな土は路床調査の時に眼で見ても容易に識別のできるものである。

土工の時に淤泥土は深3ftも掘下げて取去り、之に普通現場で得られる選別した材料を詰め込んだ。又置換へた土が飽水せぬ様適當な排水なす事が必要と見られた。

米國各州の中若干のものは盛土及び路床用としては劣等な A-5, A-6, A-7 及び A-8 類の土は路床に用ふる時は良土で被覆するを要するとなしてゐる。通常、深さは最少限 1ft 必要で、大抵の場合 18 in から 2ft の間であつた。

又或場合では可塑性路床用土は表層を散くる以前に水分を調節して搗固めた。

(未完)