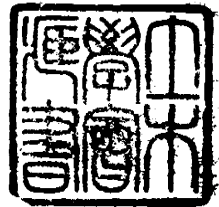


贈
呈

昭和32年度・講習会テキスト

土質安定工法の概要

その原理と実際



九 州 大 学

助教授 山 内 豊 聰

土質安定工法の概要

その原理と実際

九州大学助教授 山内 豊聰

ま え が き

何らかの方法で土の性質を改良しようとする技術の起源は、古く古代ローマ時代にさかのぼらなければならないが、最近のいわゆる土質安定は低コスト道の築造から発達したものであった。(表-1) しかし道路に対する交通荷重や天候・気象に対する道路の安定性の要求がますます高まるとともに、高価舗装道であると安価舗装道路であるとを問わず、基礎の安定性はいちじるしく重視されることになり、基礎のため土質安定は土質工学の進歩を背景として発達し、土工学にわたる一つの分野を形成するようになった。また新しい化学的材料の発達も土質安定の研究を刺激するところも大きかった。しかし今日においても、軽交通の地方道においては、そのまま路面工に応用して十分な方法もあるのみならず、しばしば交通の要求に応じ得る路面の急速

表-1 道路における土質安定工法の発達

古代ギリシャ時代	街路の築造に骨材をランマで締固めた。
3,500 B.C.	メソポタミアで道路築造に石膏材を使用した。
3,000~1,100 B.C.	ギリシャクリートで道路舗装に粘土石膏モルタルを使用した。
3,000 B.C.	同地で細粒両骨材の混合物を玉石のフロアに使用した。
150 B.C.	Puzzeoliでいわゆるポゾランが天然の火山土から発見された。
ローマ時代	粒度調整道をつくった。締固めを行った。礫コンクリートを使用した。
古代インド時代	石膏材を煉瓦舗装のジョイントに用いた。
1800~	フランス、ついでロンドンでアスファルト舗装を行った。
1840	アメリカで歩道にアスファルトを使用した。
1889	Puckner が土の貫入抵抗が最大の含水量があることを発見した。
1906	ジョージア州で舗装材料に粒度調整を行った。
1908	シカゴでモラス結合材を道路に用いた。

- 1917 ワシントンで道路築造材料の標準化及び示方書を議した。
ソイルセメントの特許が *Amies* により "*Soil Amies*"
としてとられた。
- 1920 道路・飛行場の安定処理の研究が始まる。
- 1921 カリフォルニア州でソイルセメントの試験舗装が行われた。
- 1929 *Hogentogler* 等がソイルビッチエーメンの研究を発表した。
- 1930 熱処理工法があらわれた。
- 1933 *Proctor* が最適含水比に関して発表した。
- 1933 サウスカロライナ州でソイルセメントの試験舗装が行われ
た。
- 1934 珪酸ソーダ処理道路をオハイオ州で試みた。
- 1935 アメリカ ポルトランド セメント 協会がソイルセメント
の研究を始めた。
- 1936 リグニン結合材が道路に試みられた。
- 1943 ロジン処理法が発表された。
- 1944 アビエチン酸樹脂処理法が発表された。
- 1947 アニリン・フルフルアル樹脂法が発表された。
- 1948 アクリル酸カルシウム法が発表された。
- 1952 石灰、フライアッシュ工法が発表された。

処理の必要があるため、土質安定は依然として路面工法として価値も失って
いない。

さて土質安定 (*Soil stabilization*) とはなにか意味において、土の強
度を増加または維持し、あるいは圧縮性と透水性を減少して荷重に対し、変
形と変化に抵抗させるような自然的及び人工方法を言っている。これらの抵
抗力はまた自然の風化作用に対しても強く維持されるものでなければならな
い。

このため示方書の要求するところによって、在来廃棄せざるを得なかった
膨大な親地の土が、土質安定処理によって道路の経済的な築造材料として使
用できるようになった。このように土質安定の発達 はより堅固であるとともに、
より経済的な道路を築造する方向に進んでいる。図-1 は最も近代的な
道路の基礎における土質安定の一例である。

土質安定工法では土そのものに直接人工的处理を加えるという共通の性格
のため、最近では注入工法や電氣的処理などもまた一緒に包含されるように
なったが、ここでは範圍を制限して、これらを省略することにした。

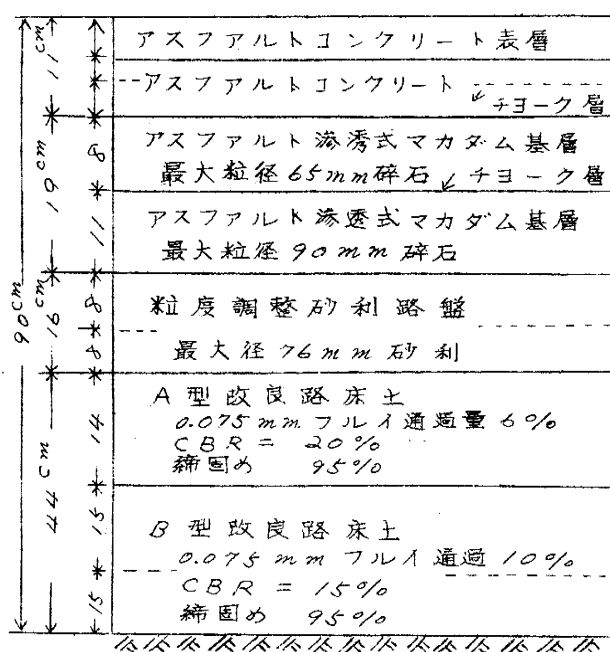


図-1 New Jersey ターンパイクの断面

われると、載荷面の下から土が側方に流動したり、しぼり出されたりする。道路の基礎について考えるとその破壊は図-2のようにいくつかの形式がある。

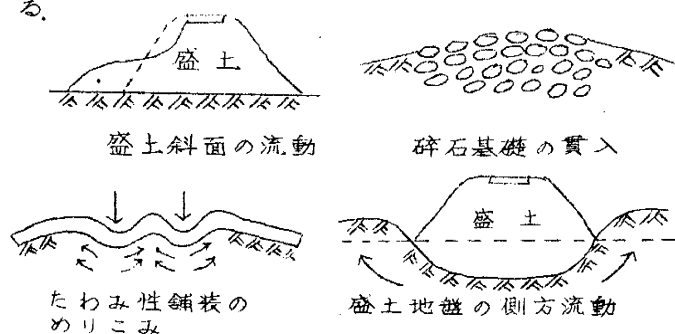


図-2 セン断による土の移動

分に隣接した部分の地表面の重量が、クサビ(I)の圧入による表面のフクレ出し(Ⅱ)に十分抵抗し得るものでなければならない。

以上のべたように、土質安定はおもに道路、したがってまた飛行場を対象としているが、アースダム、河川堤防、広場、建築物の基礎にも広く応用することができる。

I. 土質安定の一般原理

土の安定性は多くの要素によつて影響され、安定処理にも多くの複雑な方法があるが、要は安定した盛土、路床、表層及び基層あるいは路盤をつくることができればよい。土質構造物において安定性が失

連続した基礎によつて土の表面に荷重が加つておさる破壊は図-3のように土の移動によるものであるから、荷重によつて沈下しないためには、土のせん断抵抗が大きく各せん断面がスベリ出しに対し十分耐え得るか、さもなければは載荷部分

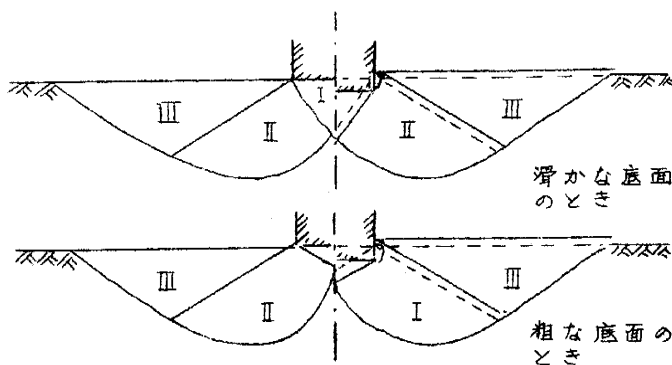


図-3 連続基礎による地盤の塑性破壊

しかるに土のせん断強度は土の内部摩擦角と粘着力の組合せであるから、高い内部摩擦角を持つ砂と、高い粘着力を持つ粘土を組合わせてせん断強度の大きい材料とすることができ、(表-2) 摩擦

力と粘着力を組合わせることは、水硬性セメントや圧青材による安定をはじめ多くの土質安定に対しても基本的な原理がある。

表-2 土の種類と支持力

土の種類	粘着力 (kg/cm^2)	内部摩擦角 (度)	限界支持力 (kg/cm^2)
流動状の粘土	0.5	0	4
極く軟い粘土	1.0	2	9
軟い粘土	2.0	4	18
相当に硬い粘土	5.0	6	49
極めて硬い粘土	10.0	12	130
乾燥した砂	0	34	1
安定処理した砂と礫	5.0	34	345

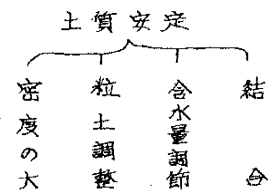
但し土の単位重量 $= 1.6 \text{ t/m}^3$ 、半径 20 cm の円形載荷として計算

は、排水と締固めとがあるが、道路の路床土より深い部分については、もっぱら締固めである。締固めは土の密度を直接増大するから、土の摩擦力及び粘着力を増加し、圧縮性及び透水性は減少する。締固めは実際においては他の基本的方法を組合せて実施される。たとえば含水量の調節は締固めの重要な一部分である。

B. 粒度調整 (Gradation)

粒度調整の目的は、細粗両質材と粘着性の土を混ぜ合わせるものであるから、必然的に空隙が減少する。また細かい粒子の持つ附着力を粗粒子の持つ

次に土質安定における基本的な手段を便宜的に分類すると次のようになる。



A 密度の増大 (Densification)

土の密度を増大すれば、透水性を減少し、強度を増大し、また圧縮性を減少する。密度を増大する方法に

内部摩擦力と合成して土に安定性をあたえることができる。このような粒度調整と締固めを組合わせて土質改良する方法は、機械的土質安定 (Mechanical Soil Stabilization) あるいは粒状式土質安定 (Granular Soil Stabilization) といわれる。

C. 含水量調節 (Moisture Control)

土質安定における含水量の調節では、一般の排水によるのみならず、添加物によって行われる。一般に粘土質では、過剰の水分は土を不安定にし、これと反対に砂質土においては乾燥しすぎても安定性が失われる。含水量を調節するための材料としては、防水剤として圧青材や樹脂化合物があり、またこれと反対に保水剤としては塩化カルシウムのような潮解性物質がある。圧青材の防水効果は結合剤としての効果と重複して作用する。土の粘着力は粒子の水膜によって生じるものであるから、これを維持する問題は、単に圧縮強度やせん断強度あるいは土の物理的性質を満足させるのみならず、日々または季節的な含水量と温度の変化及びバクテリアの活動といった、連続的に働く外的作用に対しても保護されるような機構があたえられなくてはならない。バクテリアの働きは、添加剤として有機及び無機の材料が用いられるとき当然考慮されるべきである。

D. 粒子の結合 (Cementation)

土粒子を結合する程度は方法によって相違する。土質安定においては土粒子の接点において結合され、一種のマトリックスを形成するものから、土の空隙を完全に充填するものまで、各種各様である。土質安定における結合材は土がこれによって固められたのちに水に溶けないことが必要で、また収縮や膨潤にも抵抗できるものでなければならない。また寒地においては凍結・融解のくりがえし作用にも抵抗できるものでなければならない。土質安定における結合材はポルトランドセメント、圧青材の外、最近非常に多くの種類の有機、無機の材料が実用に供せられるようになった。これらの結合材はみなある程度の防水の効果をもっている。土質安定を分類し且つ各方法の基本的な作用を示したのが表-3である。

表-3. 土質安定工法と基本的な作用

方 法	基本的な作用
1. 粒度調整法	粒度調整 締 固 め
2. 水和セメントによる方法	粒度調整 締 固 め 結 合 含水量調節
3. 圧青材による方法	粒度調整 締 固 め 含水量調節 結 合
4. 化学的材料による方法	粒度調整 締 固 め 含水量調節 結 合

Ⅱ 土の締固め

土の締固めは、自然の土地を機械的な方法で締固めて密度を人工的に増大することであるが、土質安定の工法では最も経済的で且つ他の安定処理方法と関連して必要欠くべからざるものである。

§7. 土の締固めに及ぼすおもな要素

締固められる土の密度は、土の含水量、締固め仕事の量と種類及び土の性質によって相違する。また土に添加材料のあるときはその影響も少なくない。

(1) 土の含水量

締固めの実施においては、最小の締固め仕事で最高の密度を得ることが求められる。1933に Proctor によって提唱されたように、一定の締固め仕事についてはある最適量の土の含水量 (Optimum moisture Content) があり、この含水量において最大の乾燥密度が得られることは今日土質技術者の常識となっている。このような締固め密度に対する含水比の影響を説明するには次のように2, 3の方法がある。

(a) 潤滑説 (Proctor)

最適含水比以下の低い水量では、土は堅く圧縮が困難であり、この結果高率の空気の量を残し、低い乾燥密度しか得られない。水が最適含水比に増加されると、土は軟くなりもっとウオーカブルになり、締固めにより低い空気量と高い密度が得られる。さらに水量が増加されると空隙中の水分を圧縮することになるから、ふたたび空隙は大きくなり、密度は低くなる。

(b) 水膜説 (Hogentogler)

含水比の変化は粒子の水膜を変えることになり、その結果、土粒子間の附着力は変化する。最適含水比では、水膜は適度の厚さを持ち、締固めの効果が最大である。この説は潤滑説を支持している。

(c) 表面張力説

最適含水比において表面張力が最も発達して最大締固め効果をあたえるという説明であるが、この説は疑わしい。

吸水性は空気空隙の大小によって変り、締固めの際、適当な含水量調節をすれば、水の毛管移動は拘束され、土は吸水しがたくなり凍上の量は制限される。

土の密度を変えるのは天候と交通機関である。土の含水量は季節的に変化するので、粘着性の土に対しては、毛管水に対し平衡状態にある含水当量で

締固めることが望ましいわけである。その近似的な値は一般の土で $P.L. + 1\%$ 程度である。

(2) 締固め仕事

土の単位容積あたりの締固め回数を増加して締固め仕事 (Compaction effort) を増大すると、図-4, 5 のように飽和曲線に沿って最大乾燥密度の位置は増大し、最適含水比は減少する。装置を変え締固め仕事を増大するときも傾向は全く同じである。表-4 は各種の試験用締固め装置の仕事量を示している。

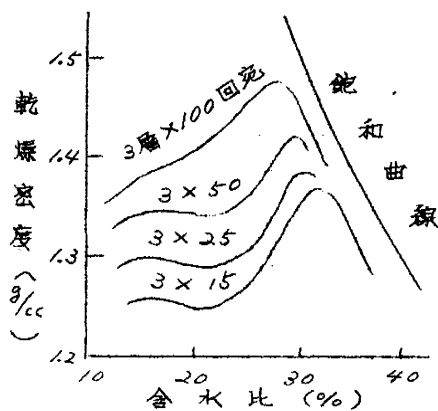
表-4 突固め試験方法の仕事の比較

	標準プロクター A.S.T.M. A.A.S.H.O	日本工業規格 (JIS)	改訂 A.A.S.H.O	CBR 試験用
ランマー重量	5.5 lb	2.5 Kg (5.5 lb)	10 lb	10 lb
ランマー底面直径	2 in	5 cm (1.97 in)	2 in	2 in
自由落下高	12 in	30 cm (11.80 in)	18 in	18 in
締固め層数	3	3	5	5
各層当り締固め回数	25	25	25	55
モールドの内径	4 in	10 cm (3.94 in)	4 in	6 in
モールドの高さ	4.59 in	12.7 cm (5.00 in)	4.59 in	5 in
モールドの容積	$1/30 \text{ ft}^3$	$1000 \text{ cm}^3 (1/28.4 \text{ ft}^3)$	$1/30 \text{ ft}^3$	$1/12.2 \text{ ft}^3$
※単位体積当りの 締固め仕事	12300 ft lb/ft^3	5625 Kg cm/cm^3 ($1/1500 \text{ ft lb/ft}^3$)	56200 ft lb/ft^3	50300 ft lb/ft^3

※ 突固め仕事 = ランマーの重さ × 落下高 × 突固め回数 × 層の数 ÷ 容積の容積

図-4

突固めにおける
仕事量の影響



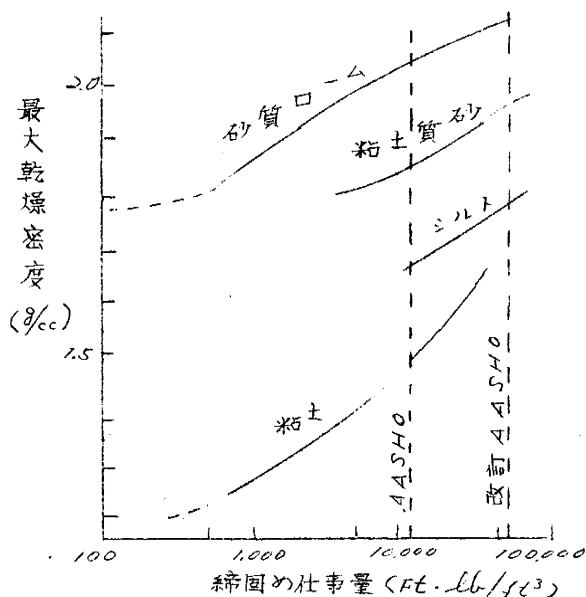


図-5 密度と締固め仕事との関係 (H. R. B.)

最近普及しつつあるハーバード (Harvard) 式小型突固め装置では、スプリングタンパーによって試料を加圧するもので、突固めの層とノ層当りの回数を適当に設定することによって現場の締固めの曲線を再現することが容易である (図-6)。また労力と材料の節減し得るのが大きな特徴である。モールドの容積は突固めた試料の正確重量が、そのまま lb/ft^3 で表示されるように設計されている。

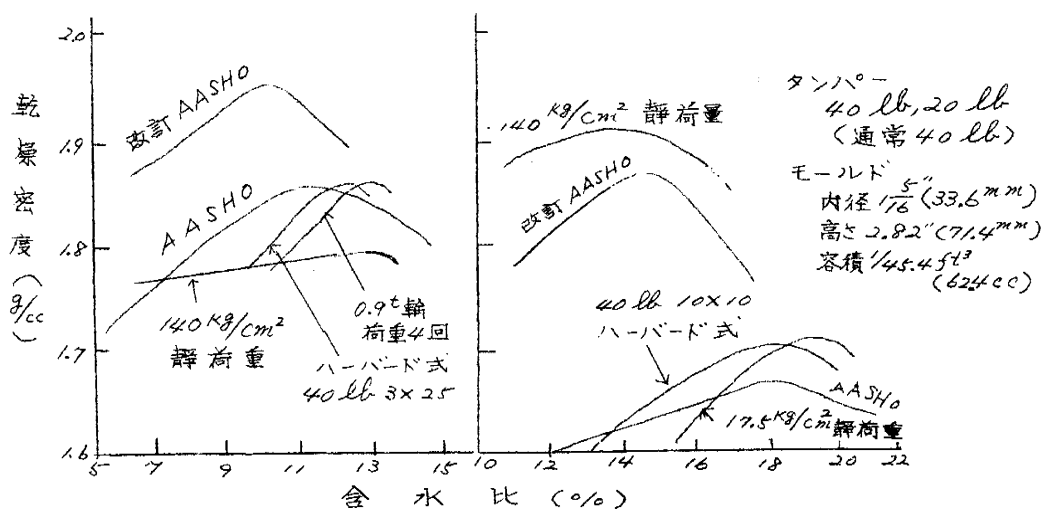


図-6 ハーバード式小型突固めの比較 (Wilson)

(3) 土の種類

ある一定の締固め仕事のもとで、土の種類は最大乾燥密度と最適含水比に大きい影響を持っている。その傾向は図-7に示すように土が配合のよい粗粒であるほど高い乾燥密度と低い最適含水比を示し、細粒の土ではこの反対

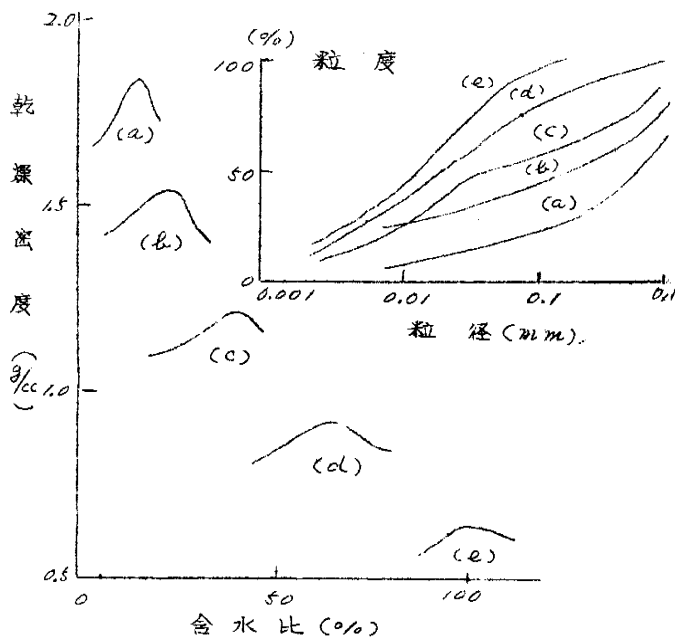


図-7 粒度分布と突固めの関係

である。また粗粒の上ほど曲線のピークが明らかとなる。JIS による突固め最大乾燥密度と最適含水比は土の粒度及び収縮係数と $P.I.$ を用いて次の式から推定できる。

$$\text{最大乾燥密度 (g/cc)} = \frac{100K_s}{S.L. \left(\frac{B}{A} - 1 \right) + \frac{100}{S.R.}}$$

$$\text{最適含水比 (\%)} = S.L. \cdot \frac{B}{A} + K_2$$

$S.L.$ = 収縮限界 (%)

$S.R.$ = 収縮比

表-5 粘土の種類と突固めの効果 (山内, 藤本)

粒度鉱物		比重	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cc)	粘土鉱物		比重	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cc)
主成分	副成分				主成分	副成分			
S		2.82	2.1	2.05	M	I, K, Q	2.68	31.1	1.36
K	H, M, D	2.77	17.9	1.74	K		2.61	28.6	1.33
H		2.81	7.3	1.74	K	H, M, Q	2.65	32.0	1.33
M	H, I, Q	2.66	19.8	1.61	H		2.59	35.1	1.24
H (HH)	M, I, D	2.72	21.3	1.60	M	H, I, Q	2.66	19.8	1.61
H (HH)	I, M, Q	2.72	20.5	1.58	M		2.46	33.5	1.14
H, A	I, M, Q	2.74	24.0	1.53	A	H, K	2.72	69.0	0.88
K	H, I, Q	2.55	29.1	1.39	A	M, Q	2.68	72.7	0.84
K	I, Q	2.65	32.8	1.37					

記号 A = アロフエン, H = ハロイサイト, Q = 石英, D = 珪藻

K = カオリナイト, H, H = 加水ハロサイト, M, Q = マスコバイト

P_{III} = 1次鉱物, M = モンモリロナイト, I = イライト,

S = セリサイト, C = クロライト

註 突固め材料は < 2.0 mm

$A = 5 \text{ mm}$ フルイ通過の量(%)

$B = 0.42 \text{ mm}$ フルイ通過の量(%)

$$K_1 = \frac{104 - 0.67 \text{ P.I.}}{100}$$

$$K_2 = 0.33 \text{ P.I.} - 4$$

また粘土の種類は表-5に示すよう締固めの最大乾燥密度と最適含水比に大きい影響を持っている。しかしこのうち、火山灰質土の最大乾燥密度がいちじるしく低いのは、アロフエンという粘土の種類そのものの影響ではなくて、その含有する多量の有機物が締固めの効果を妨げるからである。(図-8)

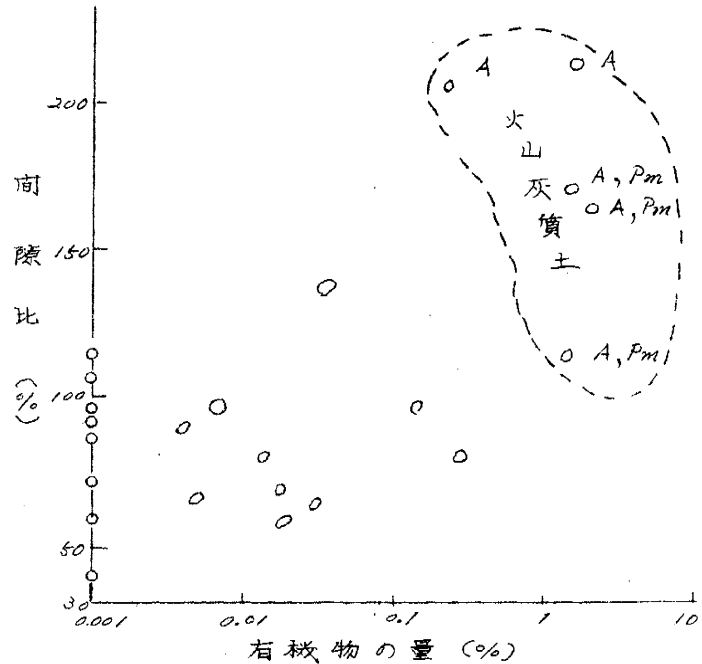


図-8 実固め材料の最小空隙比と有機物の量との関係(山内)

5.2. 振動締固め

振動式締固めは元来、この方法が土の種類に適応するドイツで発達したが、最近わが国の土にも適するような輾圧と組合わせた形式の締固め機械が使われるようになってきた。そのおもなる形式は次の二つである。(表-6)

- (a) 振動機付きコンパクター。フレートのうえに起振機をそなえるもの。
- (b) 振動機付きローラー。ローラーに振動機をそなえるもの

表-6 振動式締固め機の性能の一例

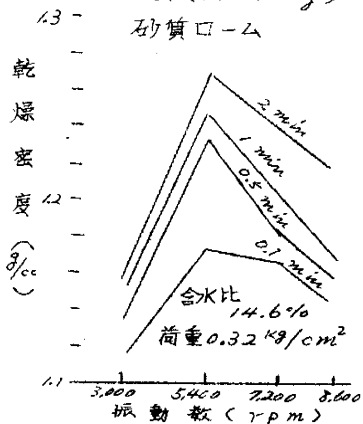
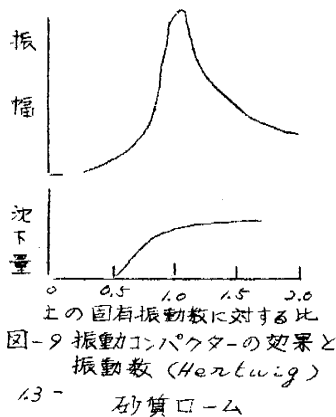
型 式	バイフレートینگ コンパクター(新和)	バイフレートینگ ローラー(ダイハツ)
全 重	1.6 t	1.6 t
全 長	1570 mm (ハンドルを除く)	3700 mm
全 高	1445 mm	1370 mm

全 幅	1000 mm	1315 mm
底 板	1000 × 1000 mm	
ロ-ラー		幅900 mm, 直径750 mm
原 動 機	10 HP	7.5 HP
振 動 数	1000 rpm (標準)	1500 rpm
前進速度	10 m/min	15 ~ 30 m/min
後進速度	10 m/min	15 ~ 30 m/min

砂や礫は、ある程度以上の加速度の振動をうけると、粒子間の圧力が週期的に変化し、土粒子が相互に位置を変えやすくなり、このためせん断強度は急激に減少する。このため静荷重に加えて適当な振動を行うとき有効な輾圧が行われ、数倍の自重のロ-ラーに相当する効果を発揮することになる。その振動数は共振を起すように、土の固有振動数の $\pm 10\%$ 以上に近づける必要がある(図-9、10) 土の固有振動数は表-7のように土の種類によって異なる。

表-7 土の固有振動数 (Lorenz)

土 の 種 類	固有振動数 サイクル/sec
弛い盛土	19.7
密な人工のシンター盛土	21.3
相当密な中位の砂	24.1
非常に密な混合粒度の砂	26.7
密な豆砂利	29.1



§ 3. 分散剤によって締固め密度を増大する試み

天然の土粒子は一般に團粒状にあるから、これにいわゆる分散剤を混合して土粒子を分散状態にし、容易に滑動できる状態にして締固めを行うときは、分散剤を混合しないときとくらべて低い含水比で最適含水比が得られる。したがって最大乾燥密度は零空気曲線にそうて上昇することになり、より高い乾燥密度が得られる。(図-11) これ

が分散剤によって密度を増大する試みの原理であるが、分散剤としてはコンクリートにおいて用いられている分散剤や多価磷酸ソーダ、その外亜硫酸パ

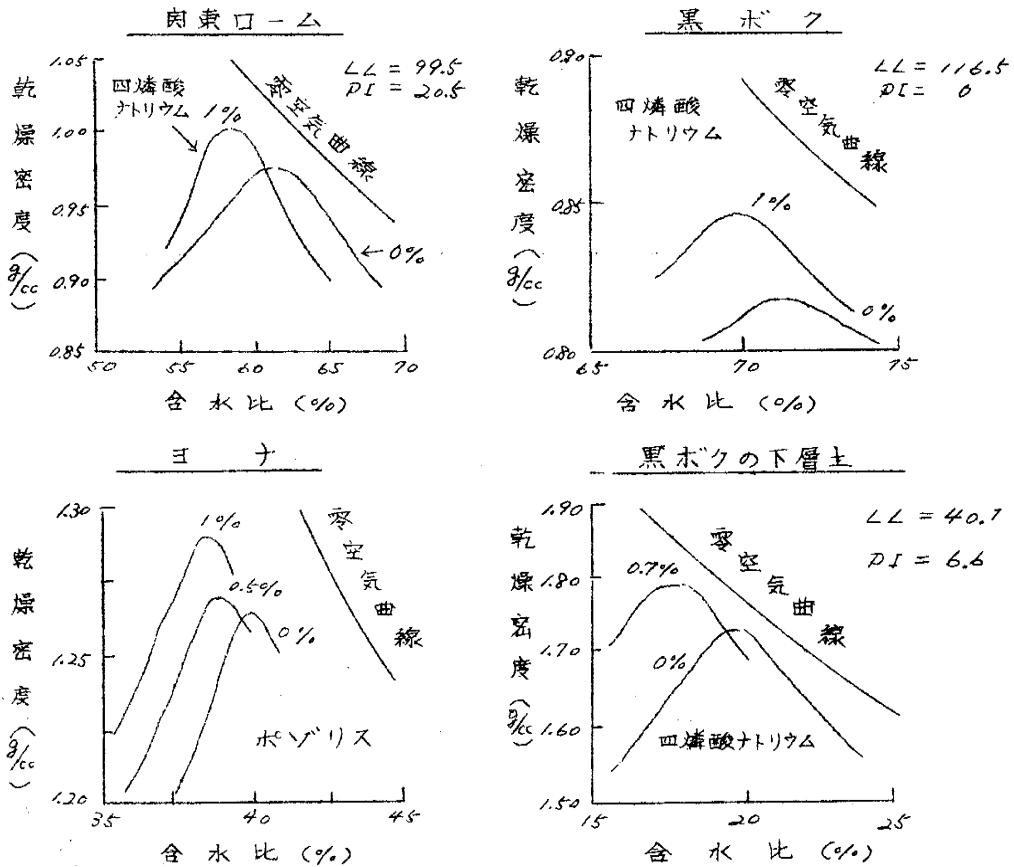


図-11 分散剤による締固め密度の増大 (山内)

表-8 分散剤の種類

ルア廃液またはその抽出物がある(表-8)分散剤は単なるイオン置換ばかりでなく界面活性剤としての効果があるから、その機構は複雑である。

§4 締固めた土の強度

締固めた密度の高い土

は沈下を少なくし支持力を増大し、毛管水や滲透あるいは保水性といった水の移動や容積変化に対する抵抗性が与えられる。締固めによって土の乾燥密度

種類	品名
電解質塩類	Na_3PO_4 , $Na_6P_4O_{13}$, $Na_5P_3O_{10}$, $Na_4P_2O_7$, $10H_2O$ 等
アニオン性活性剤系	Lignosol, Daxad, Pozzololith 等
非イオン性活性剤系	Lissapol, チューポール 等
カチオン性活性剤系	現在適当なものがない。

が増加すると、粘着力と内部摩擦角が増大し、せん断強度は増大する、密度と強度との関係は、それぞれのピークにわづかの相違があるが、吸水性を考えると締固めは最適含水比で行ったがよい。(図-12, 13)

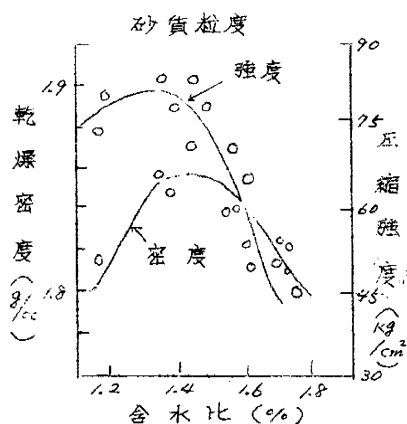


図-12 密度と強度との関係

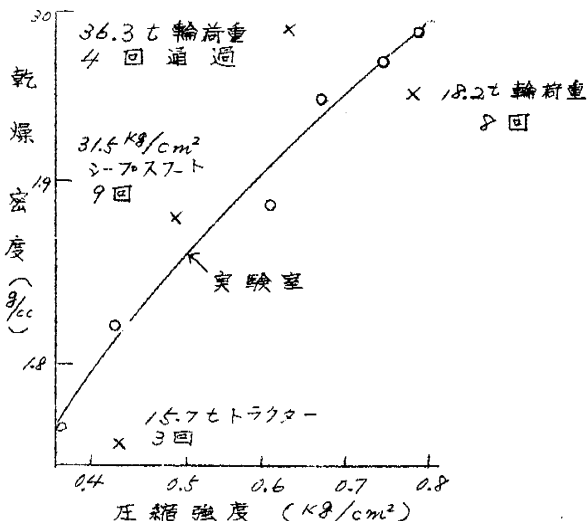


図-13 締固め密度と圧縮強度 (C.O.E)

しかし含水比の高いある種の土を締固める場合、締固め仕事量の増加とともに密度は高まるが、圧縮強度は反対に低下することがある。(図-14, 15) これは過度転圧の現象であり、現場において十分注意しなければならない。

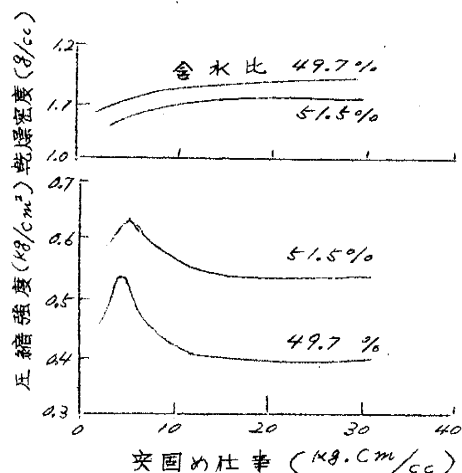
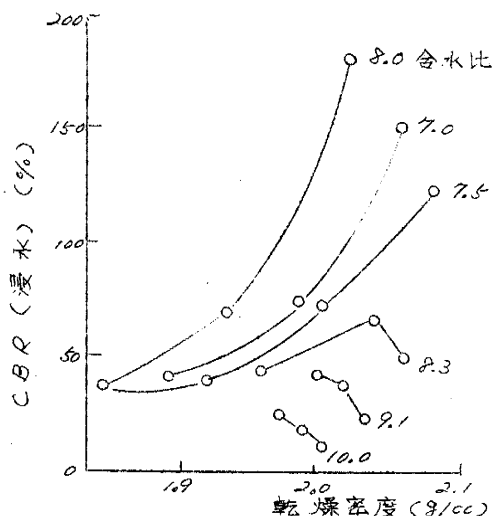


図-14 密度と強度との関係 (河上氏) 図-15 密度とCBRの関係 (C.O.E)



3.5. 実験室の試験

締固めに関する室内試験は零空気曲線及び乾燥密度・含水比関係曲線の決

定と関連して行われる。

A. 零空気曲線の決定

零空気曲線 (Zero air void line) または飽和曲線は次の関係から決定される。

$$1 = \frac{W_s}{\gamma_s V} + \frac{W_w}{\gamma_w V} + \frac{V_a}{100}$$
$$\therefore \frac{1}{\gamma_d} = \frac{1}{\gamma_s} + \frac{M}{100 \gamma_w}$$

W_s = 容積 V 中の土粒子部分の重量

W_w = 容積 V 中の水の重量

γ_d = 土の乾燥密度

M = 含水比 (%)

γ_s = 土粒子の比重

γ_w = 水の単位重量

V_a = 全容積に対する空気の百分率

B. 乾燥密度-含水比関係の決定

この関係を決定するおもな方法は標準の Proctor 試験と改定された

AASHTO の突固め試験とである。

その他 California 式静的荷重締固め試験が路床上支持力比 (CBR) 試験と関連して発達し、また見掛けの密度を得るための Dieter 試験を得るためがある。

突固め試験では、含水量を変える方法として試料を乾燥ながら行う場合と、水を加えて行う

場合とがあるが、その結果はいちじるしく異なる。(図-16) また突固める毎に試料を新しくする場合とも結果が相違するので、これらのうち実際の施工と関連した方法で試験しなければならない。

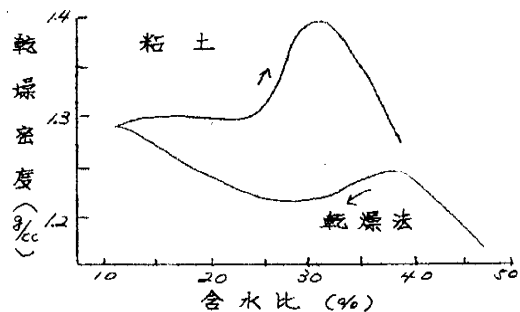


図-16 水量を変える方法の突固めに及ぼす影響 (河上氏)

§ 6. 現場の締固め機械

締固めのため土にエネルギーをあたえるには輾圧法、衝撃法、振動法の3つの方法があり、機械のタイクとしては次のようなものがある。

(a) 平滑輪輾圧機……碎石、砂利や砂に適する。

(b) 空気タイヤ式輾圧機……塑性限界に近い含水量の細粒土や密な砂に適

する。

(c) 羊蹄輾圧機 …… 塑性限界以下 $\gamma_w/2\%$ の含水比の細粒土に対し適する。

(d) ラ ン マ

(e) 振 動 機 …… 非粘着性の土、とくに砂や砂礫に適する。

(f) そ の 他

Multiple sand-pile Driver

Multiple Vibro-Flotator

爆 発 法

運 搬 機 関

§ 7. 現場締固めの施工調整

現場の締固め作業を管理する方法として次のようなものがある

(a) 締固めた土の密度の最低限を、安固めにおける最大密度のたとえば95%と規定し、締固め密度-含水比曲線がこの限界をこえる範囲に入るように、施工時の現場含水比を調節する。密度は乾燥密度で制限したがよい(図-17)

(b) 予め仕事量を変えて、いくつかの締固め密度-含水比の関係を求め、さらに現場で経済的に実施し得る含水比及び締固めの密度の範囲を定めて、この範囲内にある試料のせん断試験から求めた土のせん断強度が設計条件を満足するように、密度と含水比の上下の限界を規定する。

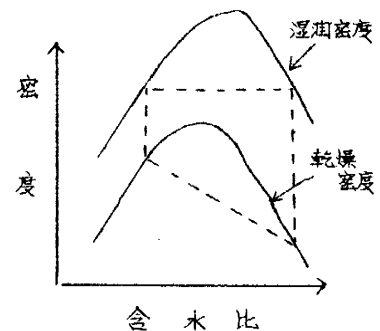


図-17 密度の制限の方法の相違

(c) 締固めた後に飽和しても、圧密を生じな

い現場含水比の乾燥側の限界を予想される荷重について圧密試験によって定め、また同じく圧密試験を行って設計上許し得る間隙水圧から湿潤側の含水比の限界を定めて制限する。

しかしわが国の自然含水比は一般に非常に高く、示方書において大幅に制限を加えることは経済上不可能であり、定めた含水量の下限は勿論上限さえも問題にならないことが多く、高含水量の土の締固めについては今後の研究にまっところが極めて大きい。

現場において土の乾燥密度を測定するには、コアー切取り法、砂置換え法、容積計法、あるいはゴム風せん法がある。現場調整試験におけるすべての測定は注意して行い、またいくつかの平均値から決定する必要がある。しかし締固めの示方書においては、細粒度について 0.8 g/cc

(t/m^3)の偏差を、粗粒土については $0.15 g/cc$ (t/m^3)の偏差を許すのが普通である。

土の含水比を迅速に決定するには、*Proctor needle* の方法があり、細粒度の粘着性では相当正確である。密度の計算のため直接含水比を決定するには、小さい容器に土を入れて電気扇風機と電気ヒーターを用いて熱風を送る方法や、蒸発皿の中で試料をアルコールで浸したのち点火して乾かす方法、あるいは土中の水量によって発生するアセチレンガス圧を測定するカルシウムカーバイド法がある。この外、比重瓶法は、類似した多数の試料の含水量を迅速に決定するのに用いられる。

現場における締固めの効率を比較するため次のような式を用いることがある。

$$\text{締固め効率(\%)} = \frac{\text{現場乾燥密度} - \text{弛い乾燥密度}}{\text{実固め試験から得られる最大乾燥密度} - \text{弛い乾燥密度}} \times 100$$

この式は締固め比 (*Compaction ratio*) といわれるものと同じである。

Ⅲ 粒度調整による土質安定

粒度調整法は次の3種の材料を正確に配合して次に締固めるものである。

粗骨材： 砂利、碎石、スラック

細骨材： 石または碎石、砂

結合材： シルトあるいは粘土

粒度調整は道路の基礎や地方道の表面に用いられ、その効果は見掛けの密度と内部摩擦力を増大するとともにシルトや粘土の高い比表面積によって結合力や粘着力が与えられる。

§1. 粒度調整処理土の性質

粒度調整処理土のおもな物理的性質は摩擦力と粘着力であり、摩擦力はおもに粗粒子と関係があり、一方粘着力、圧縮性、膨潤及び収縮は細い粘土粒子と関係がある。その外粒度調整によって処理した土の性質に影響する要素は、骨材の機械的強度、材料の鉱物的組成、土の中の水の性質、締固めの程度である。骨材の破壊強度は $550 kg/cm^2$ の程度のものがよいとされている。

鉱物の面からは、風化作用に抵抗するものが骨材として適当で、天然の岩石、砂利、砂、スラック、焼成頁岩及び石灰岩がよい。土の粒度がよければ、密度は高くなり、またせん断強度は増大する。

最大密度を得るための理想的な粒度分布として Talbot 曲線式がある、

$$P = \left(\frac{d}{D} \right)^n \times 100$$

P = そのフルイを通過する量 (%)

d = 任意のフルイの大きさ

D = 材料中の最大径

ここに $n = 0.25 \sim 0.35$ の範囲をよいとしている、

Fuller は $n = 0.5$ とした、

しかし実際にはそれよりも 0.075 mm フルイ通過の材料の比率が少し多い方がよい (図-18)。

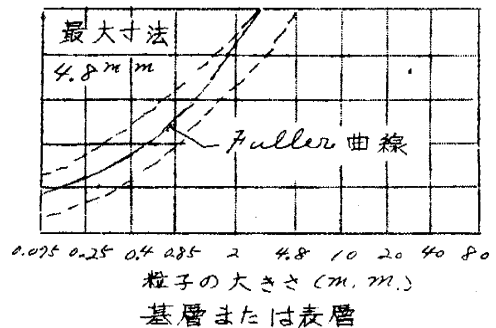
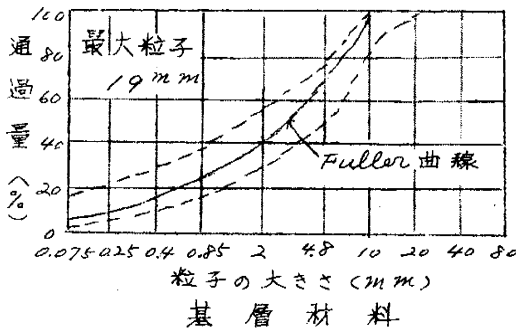
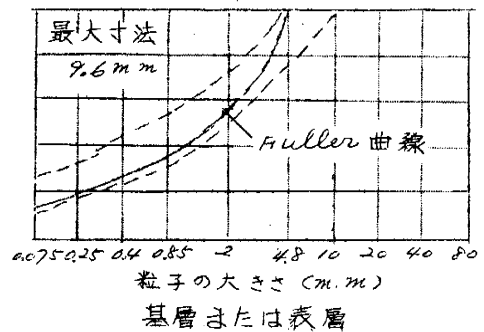
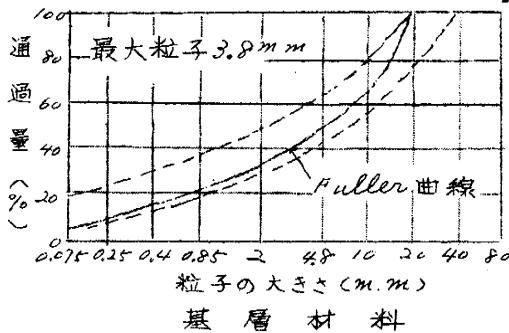
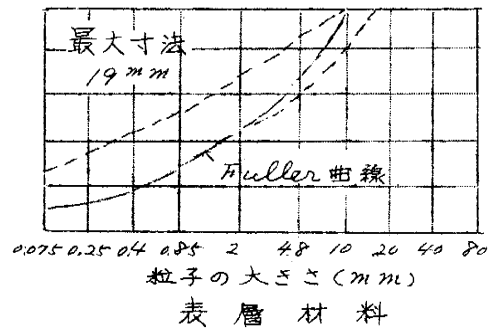
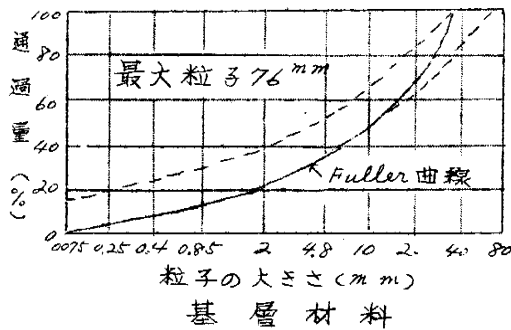


図-18 ASTMによる表層及基層のための粒度分布

細粒土の性質として $L.L.$ 、 $P.I.$ は吸着膜と毛管水を保持する能力をしらべるため必要な要素である。 $L.L.$ が高すぎると、細粒土の結合材としての効きは不安定であり、また $P.I.$ が低すぎるならば粘着力が小さく、

	$P.I.$	$L.L.$
基層	6%まで	25%まで
表層	4~9%まで	35%まで

これに反して高い $P.I.$ の土は含水量の増加とともに不安定である。このため次のような値が適当とされる

混合物のごく近似的な配合の割合は次のとおりである。

粗骨材 45~70%

細骨材 20~35%

結合材 10~20% (0.053 mm 以下)

§.2 材料の配合

2種またはそれ以上の材料を配合して適当な表層、基層あるいは路盤材料とする方法はいろいろ考察されている。それらの方法を大別すると、(a)トライアル法と(b)計算法とになる。

(1) トライアル法

トライアルに混合して、満足な配合が得られるまでくりかえす方法で、まず所望の $P.I.$ の混合物にしてから粒度をしらべるものと、まず所望の粒度を得てから、次に $L.L.$ 、 $P.I.$ が満足されているかどうかをしらべるものがある。いずれにせよ経験が必要である。

(2) 計算法

(a) Michigan州道路局の方法

混合材料の $P.I.$ を予想し、

次の式によって結合材の割合 p (%)を計算する。

$$P = k R M$$

k = 結合材、原料材及び求めようとする混合材料の $P.I.$ によって変化する係数で表にして示されている。(表は省略する。)

$$R = 1 + \frac{0.4 \text{ mm フルイにとどまる結合材の量}(\%) }{0.4 \text{ mm フルイを通過する結合材の量}(\%)}$$

$$M = 0.4 \text{ mm フルイを通過する原材料の量}(\%)$$

(b) Rothfuchs の方法

図解法で所望の粒度分布の範囲内にあるように混合材料の割合を定め、次に L, L と P, I をしらべる方法である。

図-19に示したように混合すべきA, B両材料と必要な粒度分布を記入したのち A, Bの両曲線と近似的な直線を引く。このとき面積をほぼ等しくするようにする。次に両直線の反対側の端PとQを結び、所望の粒度分布の線との交点をMとすれば、混合すべきA, B両材料の比率はM点の縦軸の読みから定まる。

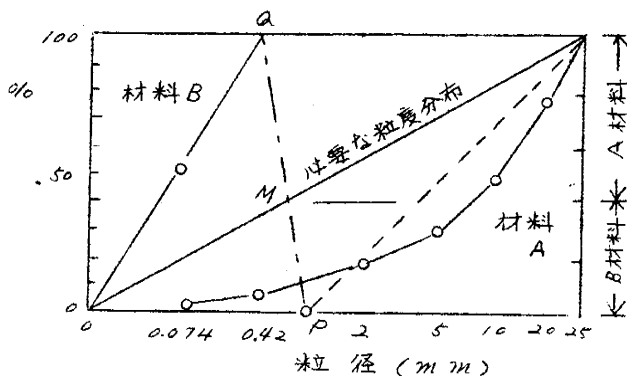


図-19 Rothfuchs の図解法

(c) D'riscoll の方法

図-20のような坐標をつくり、まず材料A, Bの粒度分布を同一のフルイに対する通過量で結んであらわす。

次に所望の粒度分布によってそれらの線を通過量の横線との交点を求め、これらの点を結べば混合物中の材料A, Bのそれぞれの上限及び下限の配合の範囲が求められる。しかし場合によってはどのように縦線をひいても

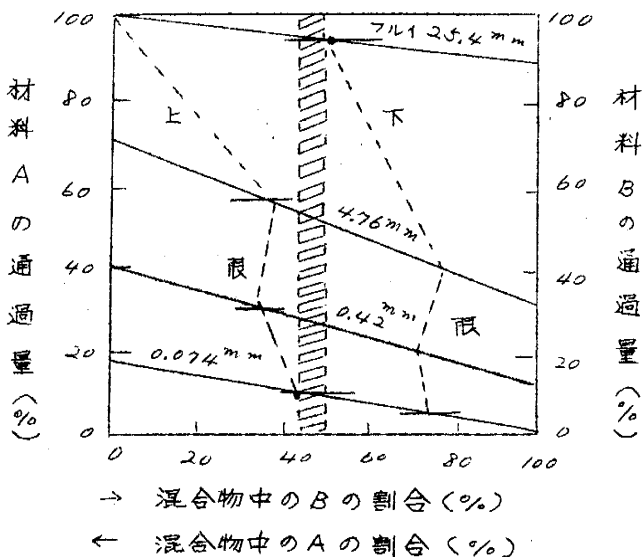


図-20 D'riscoll の図解法

絶対に上限または下限の間に入り得ないことがある。この場合はさらに
ノ種の材料をとり、3種の材料によって配合を試みなければならない。

(d) P.R.A.の
方法

前項と同じ
方法で材料A、
Bの粒度分布
をあらわし、
別に図のよう
なスライド尺
をつくり、こ
れを図の上で
左右に動かし、
スライドの
各フルイの範
囲内にそれぞ
れの斜線が入
るような位置
を求め、この

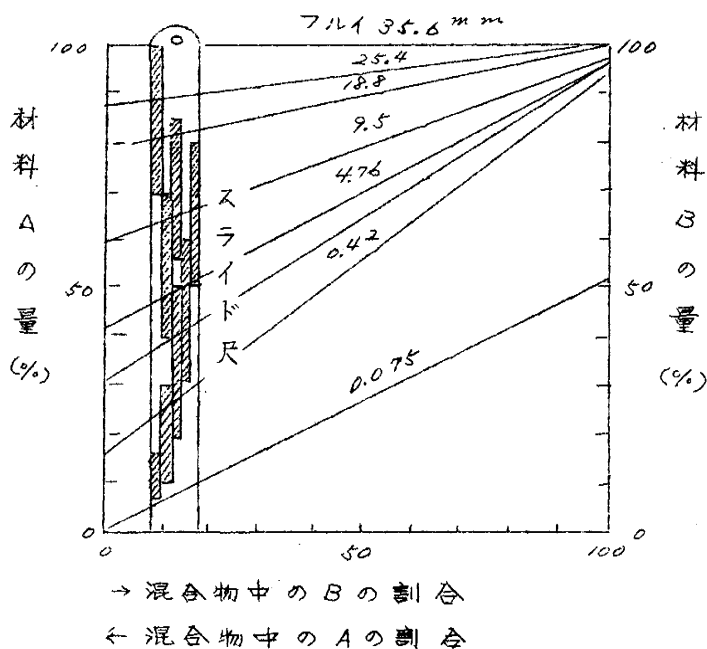


図-21 P.R.A.の図解法

位置でスライドの左側の示す横軸の目盛を読めば、これが混合物中のB
またはAの材料の割合を示している。(図-21)

(e) 三角坐標によって3つの材料を混合
する方法 (Indiana州道路委員会)

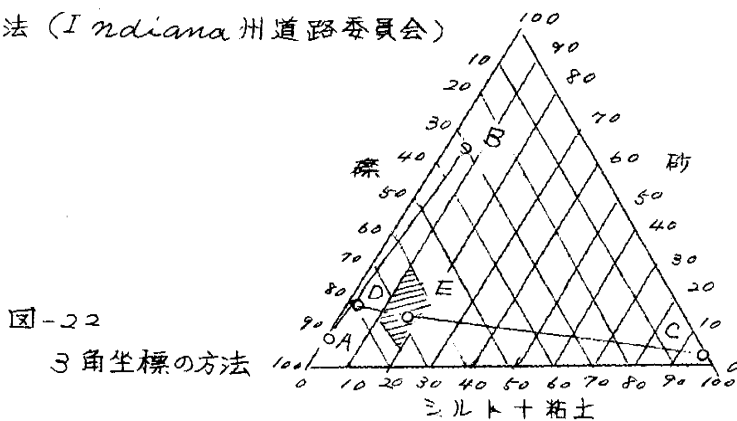


図-22

三角坐標の方法

A, B, C, 3材料の粒度は三角座標の上では、図-22のようにA, B, Cの3点であらわされ、又示方書に示す範囲は図中に斜線を施した範囲である。この中心をEとし、CとEを結ぶA, Bとの交点をDとすれば、

$$A(\%) = \frac{EC}{DC} \times \frac{DB}{AB}$$

$$B(\%) = \frac{EC}{DC} \times \frac{AD}{AB}$$

$$C(\%) = \frac{DE}{DC}$$

但し各辺長は図上において実際に物差で測った長さ

また以上の方法で P. I. $\angle$ を計算によつて推定するには次の式を用いる。

$$P.I.(\%) = \frac{X S_1 P_1 + Y S_2 P_2 + Z S_3 P_3}{X S_1 + Y S_2 + Z S_3}$$

P_1, P_2, P_3 = それぞれ A, B, C 材料の P. I.
但し、0 のときは 1 とする。

X, Y, Z = それぞれ A, B, C 材料の混合物の量(%)

S_1, S_2, S_3 = それぞれ A, B, C 材料の 0.4 mm 通過の%

§. 3. 粒度調整処理における添加剤の使用

(1) 潮解性材料

潮解性材料を粒度調整土に混合すれば締固めを助けるとともに、その吸湿性のため乾燥地にあつて土の含水量を保持し、防塵効果があり、したがつてまた路面の波(corrugation)を防ぐことができる。寒地にあつては凍上防止の効果がある。潮解性材料としては、塩化カルシウム($CaCl_2$)や塩化マグネシウム($MgCl_2$)である。その必要

量はノコの土について45Kg程度である。

しかし、わが国の大部分の土地にあっては、溶脱して長期間持続されがたい欠点がある。

(2) 塩化ナトリウム

塩化ナトリウム ($NaCl$) すなわち食塩や岩塩は、土中の水分を保持し、また土中の間隙では表面張力を増加する。潮解性がないが、溶脱しやすい点は潮解性材料と同様である。塩化ナトリウムの必要量は、 $1m^2$ 当り14Kg程度である。

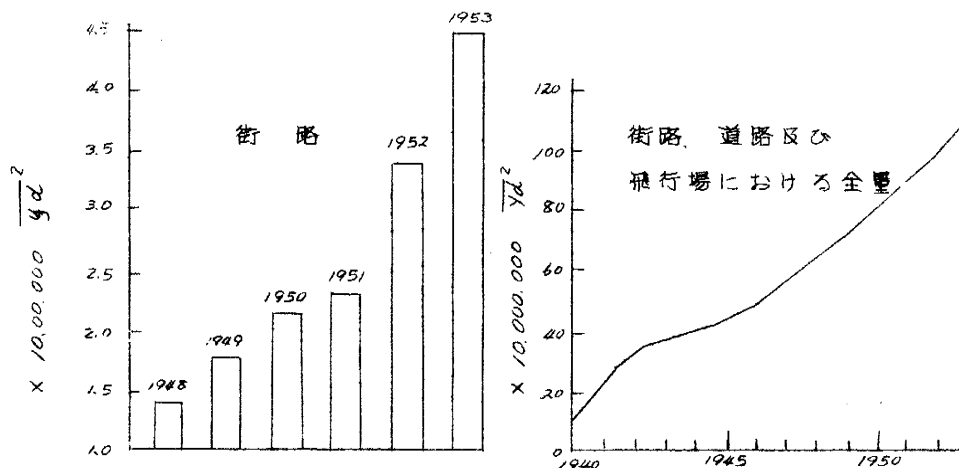
Ⅳ. 水和セメントによる安定処理

水和セメントによる土の安定はソイルセメント (Soil cement) 法といわれ、通常5~15%のポルトランドセメントを土に加えて混合し、その凝固試験から得られる最適含水比で締め固め、1週間以上なるべく湿った状態のもとで養生するものである。

その効果は粘着性の土では粘着力を永久的にし、砂質土においてはその具備しない粘着力を供給することである。これによって水、凍結及び交通荷重による分解作用に対して抵抗力があたえられる。

ソイルセメントは軽交通に対しては、そのまま道路舗装としても適するが一般には表面処理を必要とする。今日最も価値を発揮しているのは基層の築造である。(図~23)

ソイルセメントは所要の結合力をセメントに求める場合と、少量のセメントによって土の性質の改良を目的とするセメント添加土 (Cement, modified soil) の場合とがある。



図~23 米国における基層のためのソイルセメントの使用 (P. C. A)

§1. ソイルセメントの性質

ソイルセメント性質に関する要素は土の種類、セメントの量、含水量、締め固めの程度、混合の方法及び養生の期間と方法とである。

(1) 土の種類

土の種類では粒度分布と化学的組成がおもな要素である。ソイルセメン

トではセメントが十分に土と混合される必要があり、このため逐漸的に安定処理のできる土の粒度及び稠度は次のとおりである。

粒子の最大の大きさ

4.76 mm フルイ通過量 50 %

0.42 mm フルイ通過量 15 %

0.074 mm フルイ通過量 50 % 以下

L. L < 40 %

P. I < 18 %

表～9は土の種類によるソイルセメントの効果の基準である。

表～9 土の種類によるソイルセメントの効果

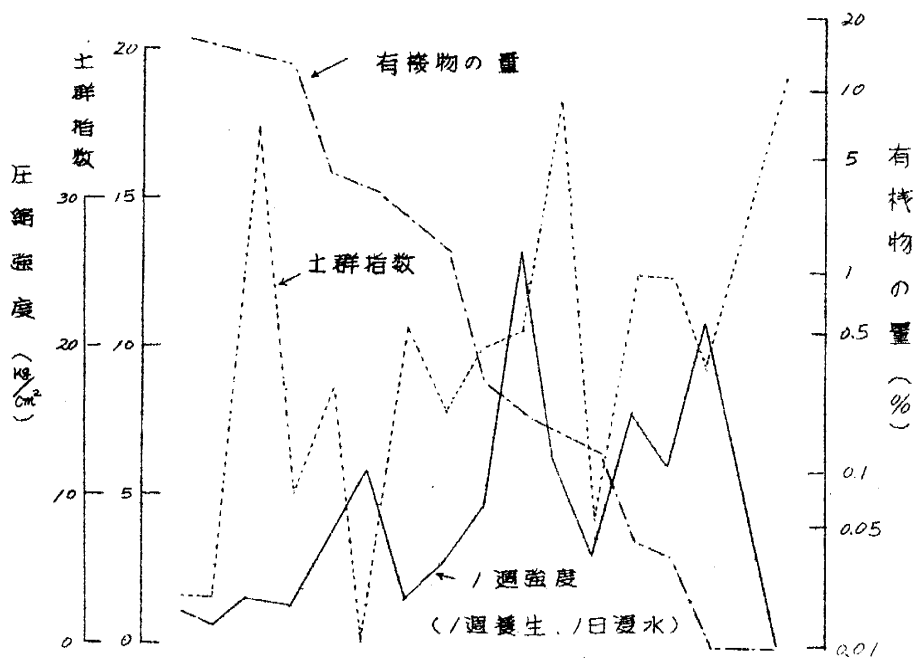
土の種類	P R 法	A-2, A-3	A-4, A-5	A-6, A-7のあるもの	A-6, A-7のあるもの、A-8
	改訂PR 法	A-1-a, A-1-b A-3, A-2~4 A-2~5	A-2~6, A-2~7, A-4 A-5	A-6, A-7-5 A-7-6	-
	A C 法	GF, SF, GW SW, GP, SP	ML, CI, CL MH	ML, CI, CL CH	PE, OH, OL CH
	構成	砂利質土、 砂質土	シルト質土	粘土質土	泥炭土、有機質土、重粘土
セメントの効果		極めて悪い	悪い	かなり	すくない
最小許容圧縮強度		17.5 kg/cm ²	17.5 kg/cm ²	17.5 kg/cm ²	-
耐久試験(乾湿凍結融解)における最大許容積変化		2 %	2 %	2 %	-
耐久試験(乾湿凍結融解)における最大許容損失量		14 %	10 %	7 %	-
普通の使用セメント量		6~10 %	8~12 %	10~14 %	-

英国においては粘土量 30 % までの土が 12 ~ 15 % のセメントによりまた砂と粘土の混合物が 5 ~ 8 % のセメントによって有効に安定された。粒状であるかまたは少しばかり粘着性の土に対して最もよい結果が得られる。しかし L. L = 75 % までの土は少量の石灰を加えて成功する。石切りの

ときの粉やある種の頁岩も有利である。

土の含有有機物はセメントのCaイオンと結びつくから有害であるが、他の条件がよければ大体2%まで許容できる。他の条件がわるければ0.5%でもセメントが効かない。このような場合に急硬剤として1%の塩化カルシウムまたは2%の石灰の添加が行われる。

図～24は、わが国の各種の路床土に10%のセメントを加えた場合の強度を含有有機物の量と土群指数との関係を示したものである。わが国の火山灰質土は有機物の量が高く、ソイルセメントによる方法にまだ問題があることが判る。

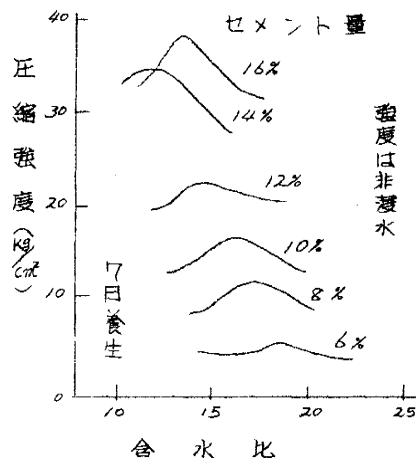


図～24 有機物及び土群指数と10%ソイルセメントの強度の関係 (山内)

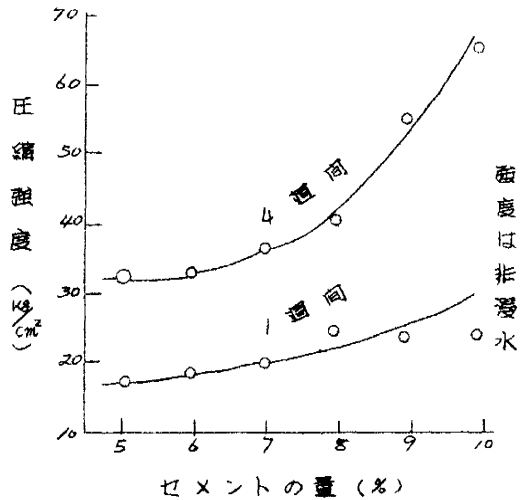
土の化学的組成は有害な塩が存在する場合にのみ問題となる。硫酸塩は極めて有害で、むしろ破壊作用をあたえるが、わが国の路床土にはその存在は一般に希である。

(2) セメント量

セメントの必要量を決定するには普通、標準試験法による試料の圧縮強度による(図～25, 26)



図～25 ヨナのソイルセメント強度
(内田氏等)



図～26 シラスに対するソイルセメント
(松尾氏等)

(3) 含 水 量

ソイルセメントの場合は、コンクリートにおけるような水、セメント比の考え方を必要としない、セメントの水和についての最適含水比についてはまだ明確な結論がないが、普通の土では ρ_L から1~2%低い含水比が最も効果的と云われ、締固めは最適含水比より少し高い含水比を行ふべきだといわれている。

(4) 締固め

締固め試料の乾燥密度の減少は圧縮強度を減少し、また耐久性を相当に低下するから、乾燥密度を高くするようにしなければならない(図～35 参照)

(5) 混 合

ある研究によれば、最小の仕事によって最大の均一性を得るには、最適含水比よりわずかに低い水量で混合するのがよい。

現場の混合は実験室におけるように実施できないので、現場の強度は実験室の場合の40~60%程度である。最も良好な現場混合でさえ、80%程度である。混合についてはⅧにおいてのべる。

(6) 時 間 と 養 生

養生は表面の過早の乾燥を防ぎ、水和を進行させるために必要であり、養生法が適当であれば、その時間とともに強度は増大する。普通養生期間

は7日である。

§ 2. 室内試験

室内試験の目的はセメントで安定するため土の適応性をきめることであり、次の試験がこの目的のために行われる。

- (a) 土の分類試験
- (b) 締固め試験
- (c) 圧縮強度試験

この外特別の場合に次の試験が必要である。

- (d) 耐久試験
- (e) 有機物量の決定
- (f) 硫酸塩量の決定

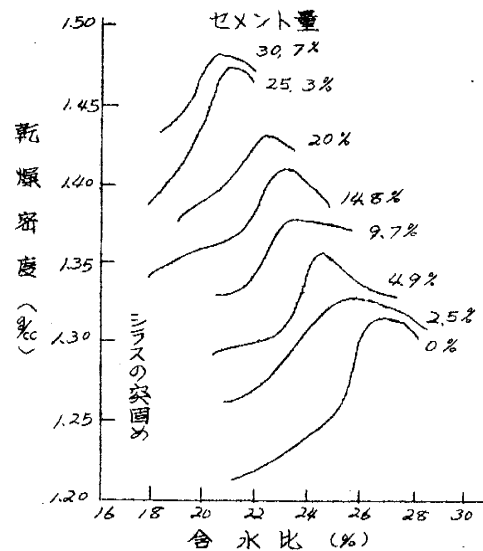
(1) 土の分類試験

分類試験では粒度分析と稠度試験が行われる。土の種類はさきによつて土質図のうちにあらわされてある。

(2) 締固め試験

締固め試験では、最適含水比と野外の締固めのための最小の乾燥密度及び圧縮試験の試料をつくるための含水比を求めることを目的とする。

(図～27)



図～27 シラスによるソイルセメントの突固め試験(松尾氏等)

(3) 圧縮強度試験

圧縮強度試験のためのモールド試料の大きさは、次のとおりである。

粒 度		供 試 体 の 寸 法	
細 粒 土	2.4 mm 通過量 > 80 %	2" φ (5.1 cm)	高さ 4" (10.2 cm)
中 粒 土	2.0 mm 通過量 > 80 %	4" φ (10.4 cm)	" 8" (20.3 cm)
粗 粒 土	3.8 mm 通過量 > 80 %	6" φ (15.2 cm)	" 12" (30.5 cm)

試料は締固め試験で求めた最適含水比でつくられ、7日間湿室養生ののち圧縮試験が行われる。その所要圧縮強度はまちまちであり、氷英でも州や

局によってそれぞれの判断によってきめている。

英 国	17.5 kg/cm^2
カリフォルニア州	21.0 "
ワシントン市	45.5 "

わが国では夏雨の気候を考へて、1週間温室養生後さらに1日の完全浸水を行ってからの圧縮強度が17.5 kg/cm^2 以上である必要があると考へられる。

(4) 耐久性の試験

耐久性試験には次の2種がある。

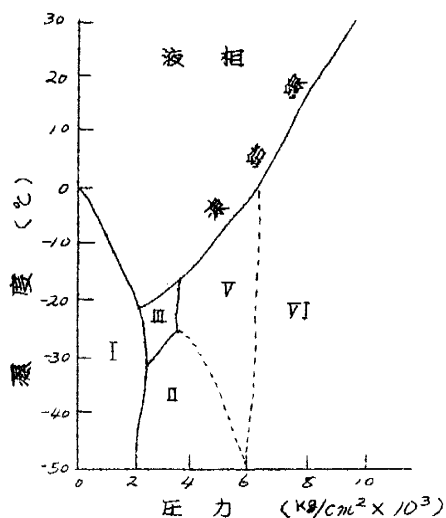
(a) 乾燥、浸水試験

(b) 凍結、融解試験

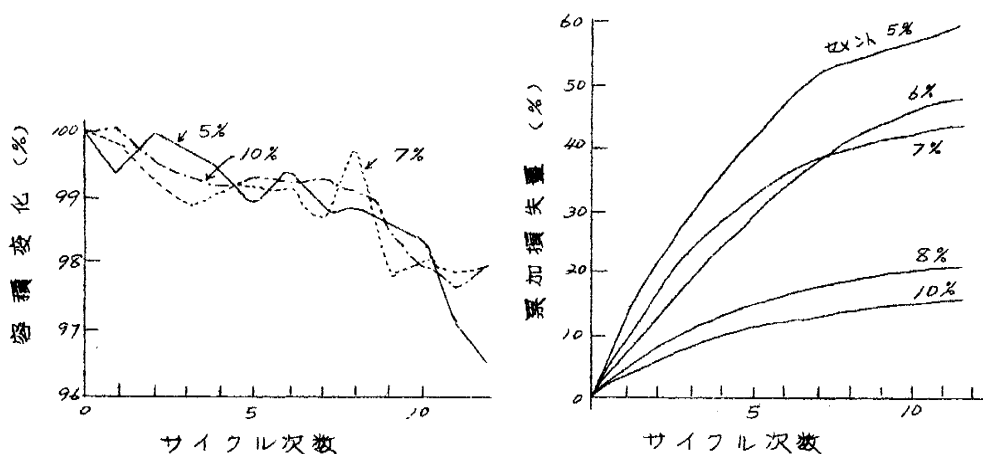
A S T Mの標準方法では、7日養生後の試料について上記の操作を12 サイクル行うものでそれぞれ2ヶの試料を準備し各サイクルののち、1ヶについて容積変化と含水比の変化を、他の1ヶについてはワイヤスラシが行い、摩耗減量をしらべるものである。(図～

29) とともに1サイクル48時間を要する。乾燥のためには71°Cの炉乾燥を、また凍結のためには-23°Cの冷蔵庫が必要である。凍結の温度は圧力と水の凍結点の関係から、最低の凍結が-23°C附近にあることから定められたものである。(図～28) とくに締固めた土の吸着水は高い圧力のもとにあることを知られている。

上述の耐久試験は自然の気象作用に相應するものとして最も適当なものであるが、多大の労力と時間が必要であるのと、これらの耐久性が重粘土質土やある種の頁岩土を除いて大体圧縮強度に比例するので、英国等ではあまり実行されていない。



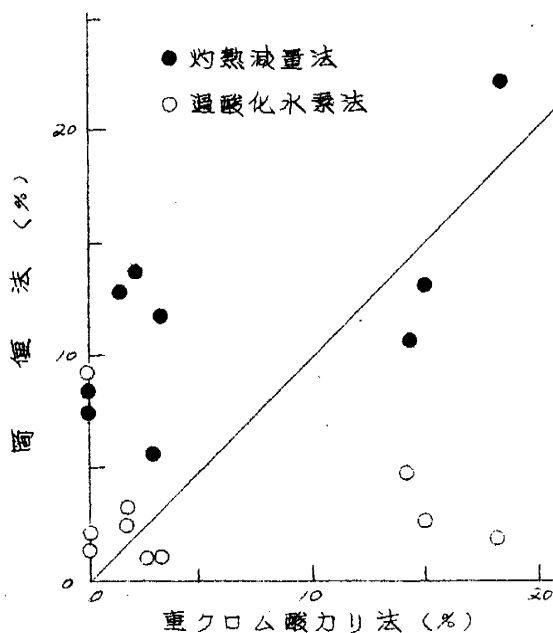
図～28 水における圧力と凍結点との関係



図～29 シラスによるソイルセメントの乾、湿試験(松尾氏等)

(5) 有機物の定量

土の有機物を定量するには、重クロム酸カリで酸化し硫酸アンモニヤ鉄で還元する方法が最も多くの土に適当な方法であるが、ヤン面倒であるため、しばしば過酸化水素処理や灼熱減量によって推定することが行われる。過酸化水素法はその6%溶液を試料に加え、十分有機物と作用させたのち60°Cの温度で温める。次に濾紙で溶解成分を除去し、残る試料の乾燥重量を測り、減量を求めて有機的量とするものである。灼熱減量を求めるには、白金るつぼ、または、ニッケルるつぼによって試料をカスバーナーで灼熱して求められる。しかしこれらの簡便法は重クロム酸カリ法に比べると一応の目安しか求められない(図～30)



図～30 有機物の定量法の比較
(山内)

§ 3 簡略試験法

必要なセメント量を決定する標準方法は少くも6週間の時間と約50kgの土を使用するので、統計的試験にもとづいて、次のような簡略法が米国のセメント協会で考案されている。

その手順は次のとおりである。

- (1) 粒度分析を行いグループⅠとグループⅡのいずれに属するかを決める。

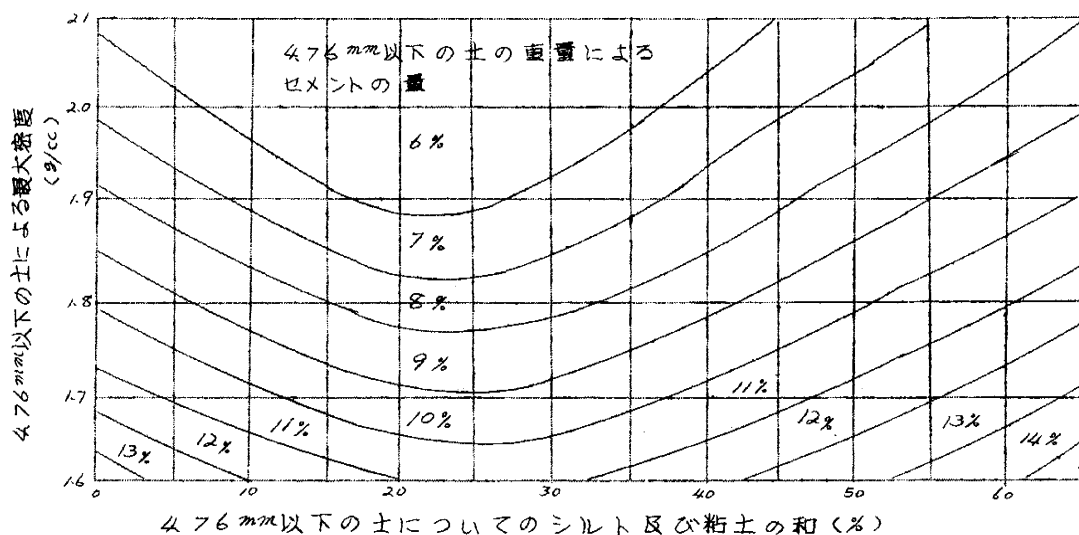
グループⅠ 0.05mm以下<20% , 2.0mm以上<25% , あるいは0.05mm以下=20~50%

グループⅡ 0.05mm以下<20% , 2.0mm以上>25%

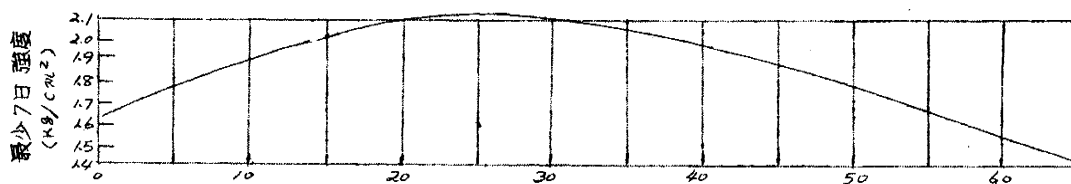
- (2) グループⅠ

- (i) 図~31からセメント量を求める。

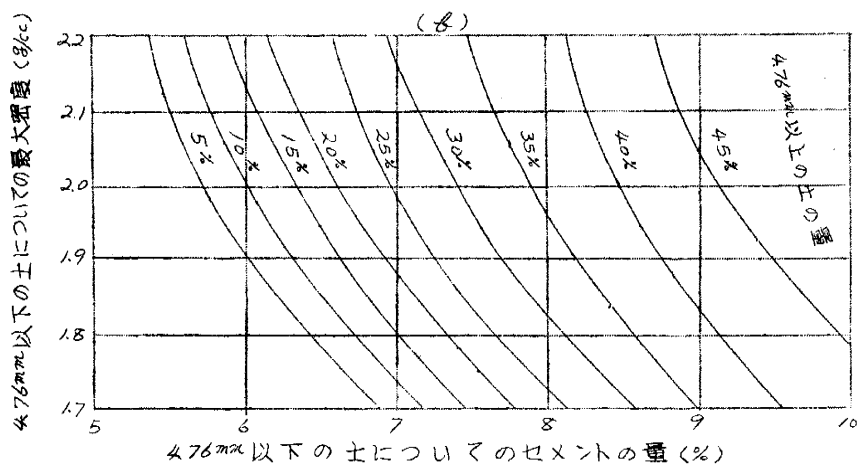
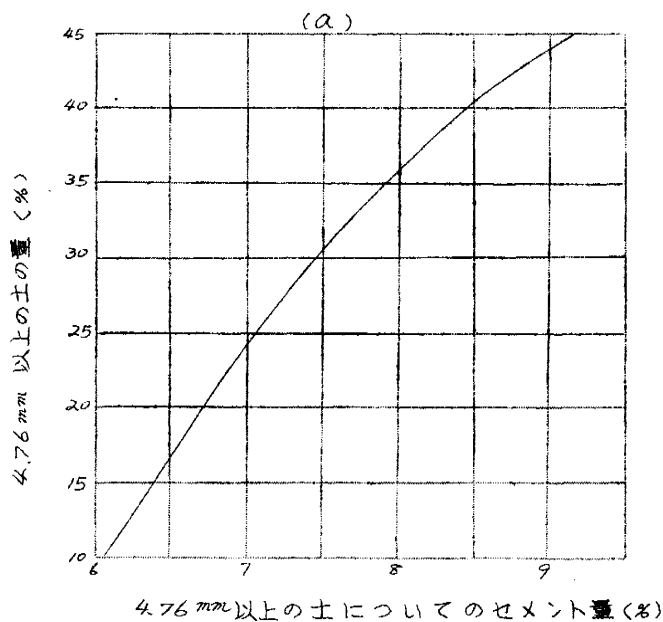
- (ii) 476mm以下の土と図から求めたセメントの混合物について突固め試験を行い、最大密度と最適水比を決定する。



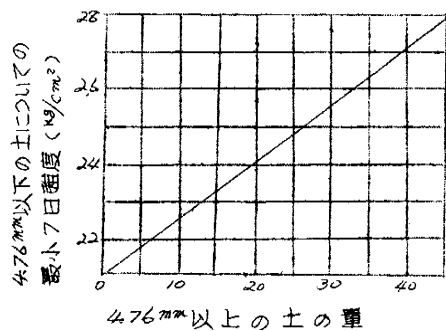
図~31 グループⅠの土におけるセメントの必要量



図~32 グループⅠの土における必要な最小7日強度



図~33 グループIIの土におけるセメント量



図~34 グループIIの土における最小圧縮強度

(iii) 476mm以下の土によって、最大密度のモールド試料を3ケつくり、7日間蒸気養生する。

(iv) 養生後圧縮強度を求め、図～32に示す値と比較する。

(3) グループII

(i) 図～33(a)によってセメント量を求める。

(ii) グループIの場合と同じ。

(iii) 突固め試験から得られた最大密度によって図～33(b)からセメント量を決定する。

(iv) 476mm以下の土と前項で求めたセメントの混合物によって最大密度のモールド試料を3ケつくり、7日間蒸気養生する。

(v) グループIの場合に同じ、但し圧縮強度は図～34による。

§ 4. ソイルセメントにおける添加剤

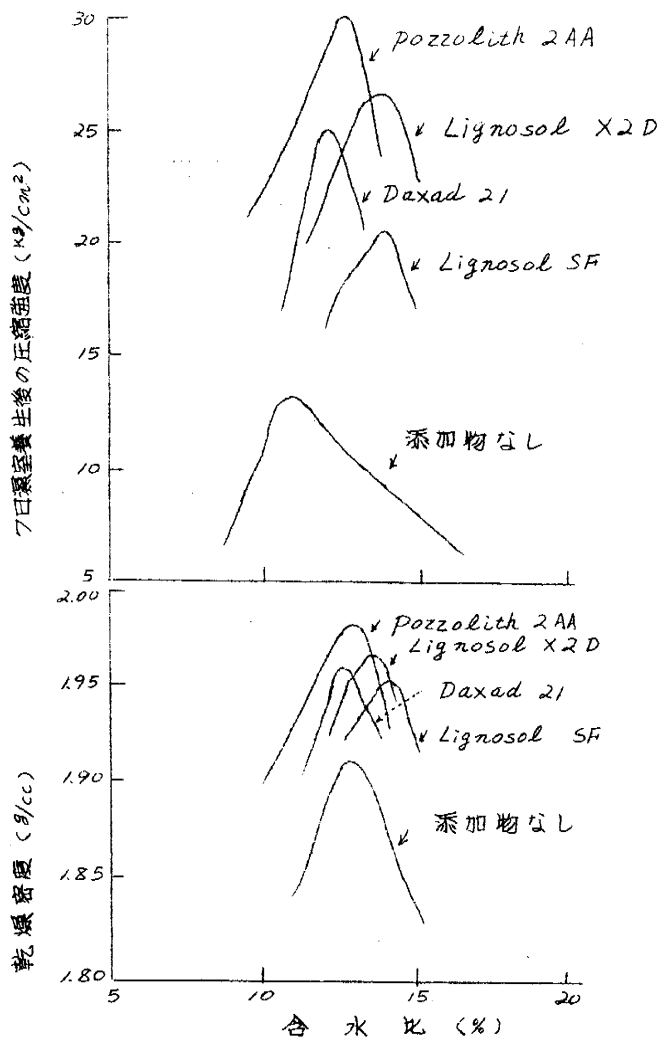
ソイルセメントに化学的添加剤を加えて、強度その他の性質を改良する試みは、添加剤がセメントの水和を妨け、あるいは破壊することが多いので注意が肝要である。

ホルラン系の枝料や塩化カルシウムについては無害であることがわかっているが、有機物系の枝料及び樹脂系の防火剤はすべてセメントの水和に害をとまうと考えてよい。しかし現在有効な新しい試みとして次のようなものがある。(表～10、図～35)

表～10 ソイルセメントの化学的改良 (Lambe 等)

	ソイルセメント	混合ソイルセメント		
圧 縮 強 度 (kg/cm ²)	21	21	21	21
枝 料	セメント 12%	セメント 5% 炭酸ナトリウム 0.5%	セメント 5% 水酸化ナトリウム 1%	セメント 5% 硫酸ナトリウム 1%
コスト 比 (米 国)	100	59%	66%	72%

※ 養生後 / 昼夜浸水



図～35 分散剤によるソイルセメントの改良 (山内)

§ 5. 水硬性材料による安定処理

ポルトランドセメントの外水硬性を持つ材料はソイルセメントの方法に準じて使用できる。しかしその硬化が遅いので、長期の養生が必要である。とくに水硬の進まないうちに浸水すると容易に崩解する事に注意が必要である。一般に強度のための結合材としてよりも、*L.L.*, *P.I*等の土性を改良するのに有効である。

(1) 石灰

土に石灰を加えて土の稠度は改良されるが、土の種類によって効果の乏し

しいものがある。

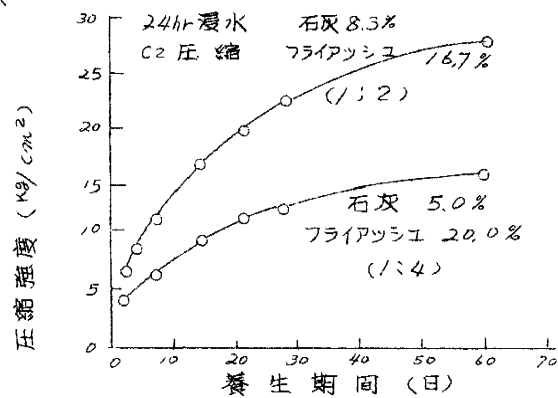
表～11 石灰による稠度の改良

石灰の量(%)	平均のL.L	平均のP.I	平均のS.L
0	80	52	25
4	56	20	13
8	49	12	8

(2) 石灰、フライアッシュ

フライアッシュはすぐれたポツランであり、石灰とともに適量を土に混合して使用される。しかし短期強度はあまり出ない。またフライアッシュのみでは強度はほとんど得られない

(図～36.)



図～36 石灰、フライアッシュ法と強度
(Davidson)

(3) 水 さい

土の稠度を改良する効果がある。石灰を併用すれば石灰、フライアッシュに類似したものになる。

§7 現場における調整試験

次の事項について施工土の品質をしらべる。

- 土及びソイルセメントの含水比の決定。
- 圧縮強度試験。締固めの前にソイルセメントのサンプルについて行う。
- 現場乾燥密度の決定。
- セメント混合量の決定、施工の良否をしらべるもので普通には行われ
ない。その方法は塩酸によって試料を溶解し Ca量を定量するものであ
る。

V. 証青材による土質安定

道路や飛行場の基礎や表面処理のためアスファルト、マールあるいは証青乳剤を土に加えて土に安定性を与える方法を証青材による土質安定 (*Bituminous Soil Stabilization*) という。粘着性の土は、含水比が低ければ相当の支持力があるので、低い含水量を維持するために証青材を加えることが考えられる。また非粘着性の土に対しては証青材は結合材として作用する。しかし一般的に言つて、湿った気候のところでは、粘着性の土に対しては証青材のような液体よりもむしろポルトランドセメントとか石灰といった粉状のものを加えた方が好ましい。それは湿った気候の土は既に含水比が相当に高いので、これに液体を加えると土をさらに塑性状にして強度を失うからである。もし始めに土が最適含水比以下の含水比であつて、証青材を加えることによつて最適含水比に近づけることができるような場合には好都合である。

§1. 一般原理

証青土質安定の原理は要するに次のとおりである。

- (1) 第一の目的は気象作用に対し防水効果をあたえることである。
- (2) 第二の目的は証青材の性質である粘着性によつて骨材の安定性が増大されること。
- (3) 乳剤は、土を塑性限界にするため必要であり、またこれによつて最大の締固め効果が得られる。

証青材は結合材であるとともに防水剤として働くことは次の実験から明らかである。(図-37)

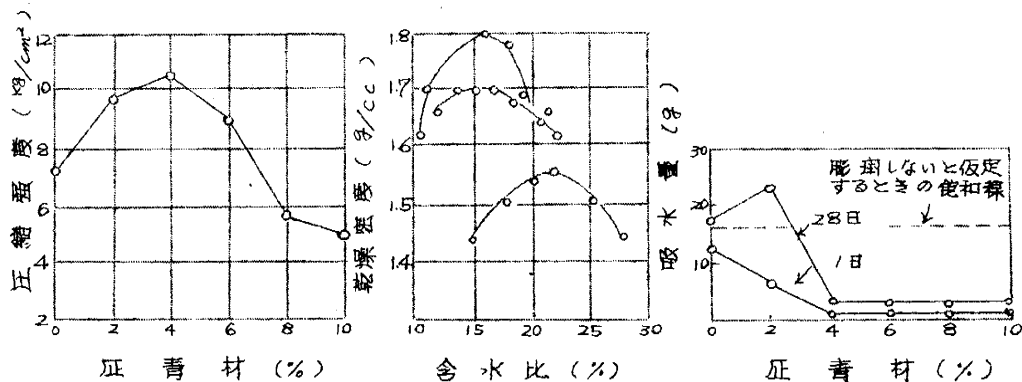


図-37 砂質粘土に対するカットバック証青材の効果 (R.R.L.)

突固め試験の示すところは次のとおりである。

(a) 証青材の混合により高い最適含水比を持たせる。

(b) 証青材の量を増加すると、最大乾燥密度は減少する。

また、証青材の量を過度に増加すると潤滑の効果が過ぎて土をプラスチックにし締固めを妨げ密度を低下し、このため強度は低下する。しかし吸水量は減少する。

証青材による土の安定処理では、証青材と粒子間の結合力の性質が問題となる。証青材で被膜された骨材の剥離に対する抵抗は、次の性質によつて相違する。

(a) 鉱物の表面化学的性質。

(b) 証青材の化学的性質。

(c) 証青材と鉱物間の接触の時間と条件。

アスファルトの化学的組成はほとんど判つていない。しかしアスファルト中に鉱物によつて選択的に吸着されるような成分が十分にあれば、よい附着力が得られることが判つている。おそらく水と油と鉱物の組成による不溶性の化合物をつくるのであろう。

§2. 安定処理の種類

証青材による土質安定には普通証青材を用いる目的の相違によつて次の4つに分類される。

(a) ソイルビチューメン (Soil bitumen)

粘着性の上に防水すなわち土の親水性を低下させる目的で行う。

(b) サンドビチューメン (Sand bitumen)

浜砂及び河砂に対し結合力をあたえるもの。

(c) 防水性機械的安定処理 (Waterproofed mechanical stabilization)

細粒適当な粒度配合を持つた土に少量の証青材を均一に加えて防水性をもたせるもの。

(d) 油処理土 (Oiled earth)

土質道の表面に、幾まらば中位養生の道路油を用いて水及び摩耗に対する抵抗力をあたえたもの。土と証青材との基本的作用はまだ部分的にしき判つていないのであるから、実際に証青質による土質安定の設計をするにあつては、少くとも類似の土について実験をしてみなければならぬ。

A. ソイルビチューメン

1. 証青材の必要量

ソイルビチューメンにおける圧青材の必要量は、土の親水性と必要とされる防水性の程度によつて相違するか、普通土の乾燥重量に対し4〜7%である。確実な量は実験室で試験を行つて圧青材と水との最適の比率を見出して定める。必要な圧青材の量は、土の親水性により、一般に次のような要素に關係している。

- (a) 土中の細かい粒子すなわち粘土やコロイドの量、親水性はこれらの量によつて増加する。
- (b) 粘土鉱物の大きさ、形及び化学的性質。
- (c) 粘土の塩基置換容量、置換容量の高いものほど圧青材による安定が容易である。
- (d) 土中の有機物質、酸性有機物は有害であるが、中性及び塩基性の有機物は有害でない。

2. 適応した土

H.R.B.では適応した土の粒度及び稠度を次のように示している。

- (i) 最大粒径が締固めた厚さの $\frac{1}{3}$ より大きくないこと、または締固めるときまき出し厚さと同じであること。

(ii) 粒 度

4.76 mm	75 μ 通過量	50%以上
0.42 mm	"	35 ~ 100 %
0.075 mm	"	10 ~ 50 %

(iii) 稠 度

L.L	40%以下
P.I	18%以下

上記の粒度は粒度調整を意味するのであるが、しかし理想的でない粒度の土や、さらに粘土やシルト分の多い土にも圧青材で有効に安定処理されるのかこの方法の特徴である。

3. 設 計

ソイルビチューメンの設計のためには多くの試験方法があり、H.R.B.によつて次のように分類されている。(図-37参照)

- (a) 種々の割合で処理した試験片を準備する。
- (b) 養生したものとしけないものについて、水分吸収量と容積変化率を決定する。この試験では毛細管によるものと、浸水によるものとの両方を適用する。
- (c) 種々の混合物の相対的安定性を比べるため若干の力学的試験を行う。

4. 施工法

普通ソイルビチューメンの厚さは基層について $10 \sim 20 \text{ cm}$ である。土は自然のままのこともあれば、これに粗粒土を加えることもある。混合するには、現物混合、移動機械による方法及び固定機械によるものと 3つの方式がある。

B. サンドビチューメン

証青材の必要量は、砂の乾燥重量に対し $4 \sim 10 \%$ または処理土 1 インチ (2.5 cm) 厚さについて $1.7 \sim 6.0 \text{ lb/m}^2$ である。粒度調整された砂がのぞましいが、広い範囲の砂にも適用できる。英国の例では 0.075 mm フライ通過量が 5% 以上のものについては、混合物がスポンジ状になって締固めが困難であつた。また米国ではより暖い土地で 0.075 mm フライ通過量が 12% までの砂について施工が可能で、また別の報告では砂丘の砂について 0.075 mm フライ通過の量が 25% まで可能であつた。

証青材の種類としては次のものが用いられる。

カットバックアスファルト (RC-1, 2, 3)

タール (RT-6, 7, 8)

アスファルト乳剤 (適当な品質)

0.075 mm フライ通過量が少量であれば上記のものより粒度の高いものが結合材として用いられる。

H.R.B. の規定によればカットバックによる場合、砂の乾燥重量に対し 4.5% の量のアスファルトを混合して、これを 1 インチ (2.5 cm) の緩かな層にして 38°C (100°F) の釜の中に 16 時間さらしたのち、 25°C の温度でモールドで締固めその試験体がハバード安定度 (Hubbard field stability) で 550 Kg 以下であつてはならないと定めている。またタール処理の砂では、フロリダ支持力値 (Florida bearing value) が 1.8 Kg/cm^2 以下でないことを必要とし、アスファルト乳剤処理の砂では、砂の乾燥重量に対し $13/4\%$ の量に水を混ぜてフロリダ支持力値が 2.1 Kg/cm^2 以下でないことを要求している。サンドビチューメンにセメントを混ぜることがあるが、その目的は乳剤の破壊、土中の過剰の水分の除去及び強度の附与である。英国では、サンドビチューメンを砂の含水量の大小によつて湿式混合と乾式混合に分けている。湿式ではまず粒子の被膜を助けるため $1 \sim 2\%$ の消石灰を加えてから、 $4 \sim 10\%$ のカットバックを加える方法が第二次大戦中飛行場建設のため行われた。サンドビチューメンの築造方法は一般にソイルビチューメンの方法に似ている。証青材の割合は 2.3 lb/m^2 を超えてはならない。

設計された圧青材の必要量は逐次に加えて混合される。

C. 防水処理の機械的安定処理

よく粒度調整した土に1〜3%の適当な圧青材を加えて防水処理したものである。この防水材としてはH.R.B.、次のようなものを推奨している。

タール (RT-4)

アスファルト乳剤 (SS-1, SS-2)

カットバックアスファルト (RC-1)

粗骨材式のものでは圧青材の量は1〜2%で、細骨材式のものでは、やや多く2〜3%である。混合物の含水比は5.5〜7%で、最適含水比の±0.5%の範囲内にあるべきである。施工の方法はソイルビチューメンあるいはサンドビチューメンの場合に似ている。締固めた厚さは普通12.5〜20 cmで一層2インチ(5 cm)である。この方法では摩耗層が必要である。

D. 油処理土

道路表面を油あるいは他の低粘性の圧青材で処理したものである。この方法は元来防塵を目的とするものであつたが、単なる土質道より経済的であることが知られている。必要な液体圧青材の量は 1.36 g/m^2 または $9.6 \sim 16.4 \text{ g/m}^2$ である。浸透させる深さは、土の種類によつて異なるが一例として1インチ(2.5 cm)程度である。使用の場合の温度は約 71°C で、カットバックあるいは低粘性のタールが約 1.36 g/m^2 以下の量をえられる。ダンプトラックから圧力散布器を用いて1〜3回散布している。

このように必要な材料の量と装置は他の方法に比較して少量且つ簡単であるが、その安定効果も大きくない。施工速度は一例として $840 \text{ m}^2/\pm \text{hr}$ が程度である。

5.3 各方法の比較

方 法	必 要 な 装 置	6インチ(15 cm)処 理に要する圧青 材の量 (kg/m^2)	6インチ(15.2 cm) 施工に要する時 間 $\text{hr}/1000 \times \frac{\text{ft}^2}{840 \text{ m}^2}$	相 対 的 効 率 (3 - 最良)
ソ イ ル ビチューメン	混 合 布 散 固 め	10 ~ 13	8	2
サ ン ド ビチューメン	混 合 布 散 固 め	12 ~ 15	8	2

防水処理 の機械的 安定処理	運 混 拌 締 固 め	撒 合 布 の	2 ~ 4	8	3
油処理土	撒 布	3 ~ 6 (1インチ (2.5cm)浸透)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1

各作業は次のような装置によつて行われる。

混合：ディスクハロー（Discharrow）、グレーダ（Grader）及びテイラー（Tiller）等。

撒布：ダンプトラック等。

締固め：滑輪ローラー、シープスフートローラー等。

運搬：ダンプトラック、掘さく機、キヤリオール等。

§ 4. 実験室における試験

証青質土質安定のための実験室試験のおもな目的は締固め特性、処理土の防水に関する安定性及び一軸圧縮強度の決定の3つである。

A. 締固め試験

必要量の証青質安定材の、種々の水量を加えてJ.I.S.に準じて行われ、含水比—乾燥密度の曲線を求め最適含水比を見出す。

B. 安定性の試験

最も普通に行われる安定性の試験は、次の4つである。

(1) 改訂ハーバード野外試験

(2) 円錐貫入試験

(3) フロリダ支持力値試験

(4) カリフォルニア支持力比（C.B.R.）試験

これらはすべて実験的のもので、土の貫入抵抗を測定して安定性の一つの指数をあたえるものである。

C. 防水性の試験

防水材料の効果を試験するには、毛管吸水試験が行われる。（Institute of petroleum の標準方法を英国の道路研究所が改良したもの。）安定材 1 ~ 6 % の範囲の含水比—乾燥密度曲線と 90 % 飽和曲線との交点に相当する乾燥密度と含水比の試験片をつくり、これをパラフィンワックスで被覆し 3 日間養生したのち、パラフィンワックスを頭部と底部のみはぎとつて各試料

を2mmの深さの水槽に立て底部から自由に水を吸収させる。吸収した水の重量を1,3,7,14日及び28日の間隔で測定する。この水の重量は28日の後に径2インチ(5.1cm)、高さ3インチ(7.6cm)の試料について6grをこえないことが必要である。

D. 一軸圧縮試験

この試験は、珪青質乳剤とポルトランドセメントを添加して安定処理した試料に対し最もよく用いられる方法である。土の乾燥重量について若干の試料は乳剤による防水効果をしらべるため浸水される珪青材の量は普通1~5%でセメントは3~15%である。英国においてはセメント及び珪青質乳剤処理の試料について浸水後の強度が最小10.5 kg/cm²であることを要求している。

§ 5 現場施工調整試験

施工期間を通じて次のような施工調整試験を行わねばならない。

- (a) 安定材処理の前後の含水量の測定。
- (b) 混合後の珪青材の量の決定。
- (c) 締固め後の混合物の乾燥密度の測定。

A. 含水量の測定

珪青質乳剤について含水量は、普通の110°C 炉乾燥方法が用いられるが、この温度をこえてはならない。土と珪青質安定材の混合物中の含水量の決定では、溶媒蒸溜法(Solvent distillation method)が用いられる。その要点をのべると、混合土50~100grをとりその重量を測り、これに脱水アルコールを約10ml 加え、アルコールを煮沸し、追い出した水分を凝縮器に集めて行うものである。

B. 珪青材の量の決定

安定処理された土の珪青材の量を決定するには次の方法がある。これらの方法は純化学的なものである。

- (1) 低温抽出法
- (2) 高温抽出法

タールの量の決定では別の方法が必要である。

C. 乾燥密度の測定

砂置換え法あるいはコアー切取り法によつて決定する。

VI 新しい材料による安定処理

II ～ V においてのべた方法は、在来からある材料として知られているが、今次大戦以来数多くの新しい安定材料が発達した。そのいちじるしい特徴は最近の化学工業、とくに合成化学の発達にともなう樹脂 (Resin) 系の材料である。

しかしここでは実用性のある 2, 3 の方法を紹介するにとどめることにする。

5/1. 樹脂結合材による安定

天然及び合成樹脂工業の発達にともない、樹脂を土粒子の結合材として応用する研究が各国において盛んになり、それらのうち土質安定材として有用なものが見出され、二三のものは既に実用の域に達している。結合効果は使用量とともに増大する。しかし最大使用量は大概の場合、土の重量に対し 10 % 程度である。樹脂結合材は在来の方法にくらべてまだコストが高いので、局部的または特殊の場合に使用が制限される。

(1) アニリン・フルフラル樹脂

アニリン (Aniline) 及びフルフラル (Furfural) は無色透明の液体として供給される。これを 3 : 2 あるいは 1 : 1 の割合で、土の乾燥重量に対し 2 % を標準として混合使用するものであるが、両者が互に接触して反応を始めるので、土に別々に加えた方がよい。また混合した土は一度空気にさらして樹脂化 (Resinification) 容易にすることがおもしろい。養生がよければポルトランドセメントを多量使用した場合より高い強度が得られ砂質土をはじめ各種の土に広い適応性を持っている。最近では結合材として単独に使用するよりも、圧青材に混合して混合物の防水性を改良するため使用する傾向にある。

(2) アクリル酸カルシウム樹脂

アクリル酸カルシウム (Calcium acrylate) は通常白色の粉末として供給され、水溶性である。これにある種の触媒を加えると重合して堅くなるので、この性質を利用して、たやみ性の土をつくることのできる。普通土の乾燥重量に対し 10 % 程度のアクリル酸カルシウムを使用し、同時に触媒として過硫酸アンモニウムとチオ硫酸ナトリウムを 1 : 1 の割合で混合する。その全量を全触媒と言い、所望の固化時間にしたがって調節する (図-38)。触媒のうち過硫酸アンモニウムは酸化剤として作用し、またチオ硫酸ナトリ

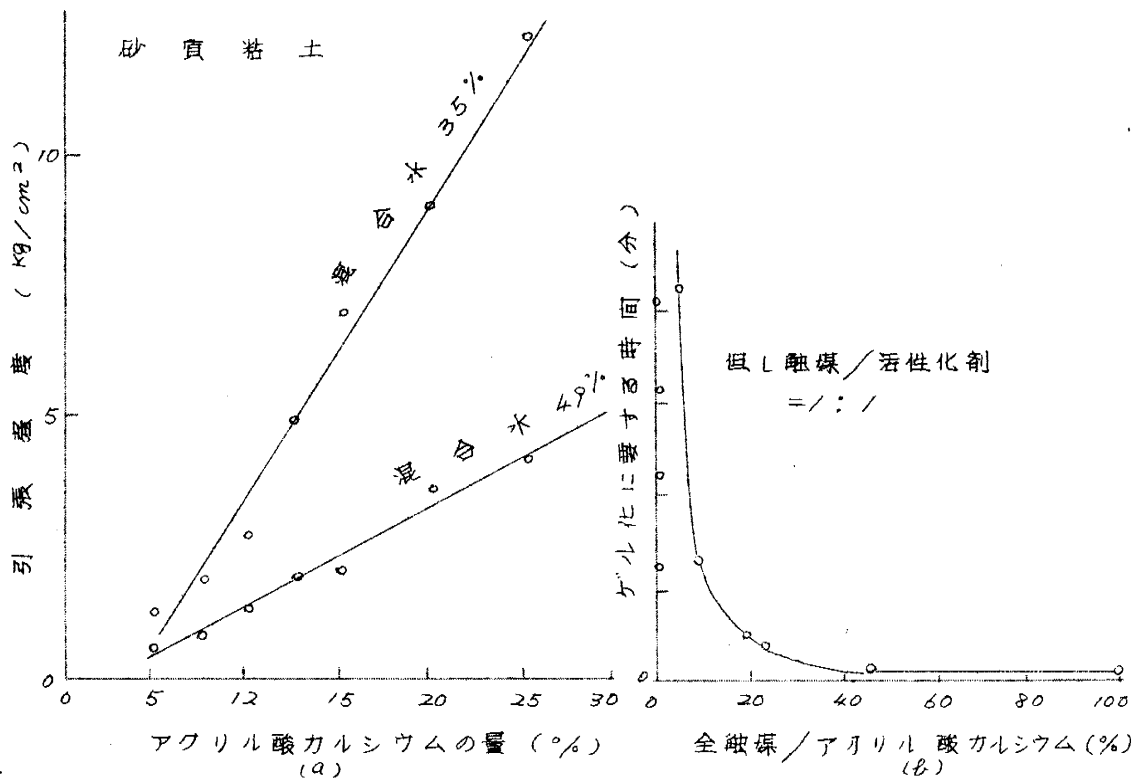


図-38 アクリル酸カルシウムの効果 (M.I.T.)

ウムは還元剤として作用するから、酸化還元法 (Redox system) と名づけられている。またこの場合チオ硫酸ナトリウムは、正確には活性化材 (Activator) と名づけて融媒と区別される。アクリル酸カルシウムの方法は広い範囲の土について適応性があるが、土の種類によつて次のような効果の相違がある。

(a) 砂及びシルト

混合が容易、低い引張強度、極めて高いたわみ性。

(b) 粘土質シルトないしシルト質粘土

混合が容易、高い引張強度、中位のたわみ性。

(c) 高い塑性の土

極めて混合困難、高い引張強度、種々のたわみ性。

アクリル酸カルシウムの使用量が増すほど引張強度及びたわみ性が増加する。また水量の減少とともに引張強度は増大し、たわみ性は減少する。乾燥の後に水にひたすときは、ある量の水を吸収するが、その量はアクリル酸カ

ルシウムの量と土の種類によつて異なる。

§ 2. クローム・リグニンによる安定

亜硫酸法によるパルプ工場から大量に凝出されるいわゆる亜硫酸パルプ廃液中のリグニンが持っている、微粒子を粘着する性質を利用するものである。しかし廃液は乾燥後も極めて水溶性のものであるから、これに何かの物質を加えて不溶性とする必要がある。従来石灰の添加によつていくらかの効果が得られていたが、最近クロームリグニン (chrome lignin 18) と称し、重クローム酸塩 (重クロム酸カリまたは重クロム酸ナトリウム) を添加

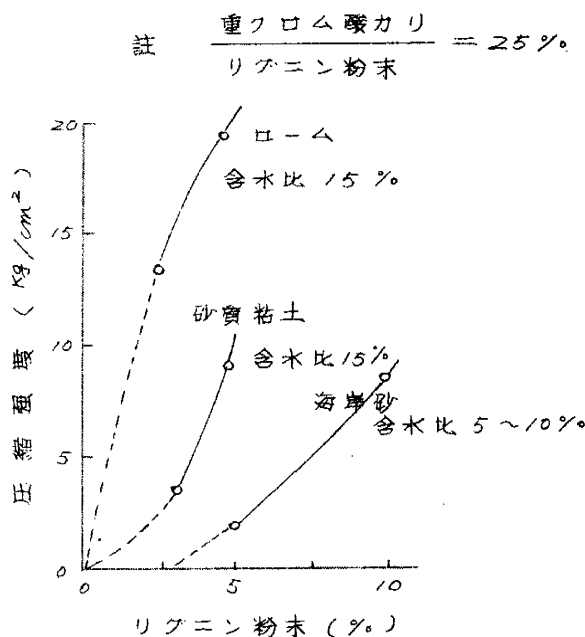


図-39 リグニンの量と強度の関係
(Cornel 大学)

し重合する方法が発見され、その耐水性が相当に改良されるようになった。
(図-39, 40)

普通廃液は固形分を50%程度 (ボーメ30°程度) 以下に濃縮したものを使用するが、加工処理して粉末として市販されているものもある。重クロム酸塩の使用量は、廃液の固形分に対し15~25%が適当であり、また廃液の必要量は固形分について土の乾燥重量に対し3~10%である。

註 2々時間養生、2々時間浸水

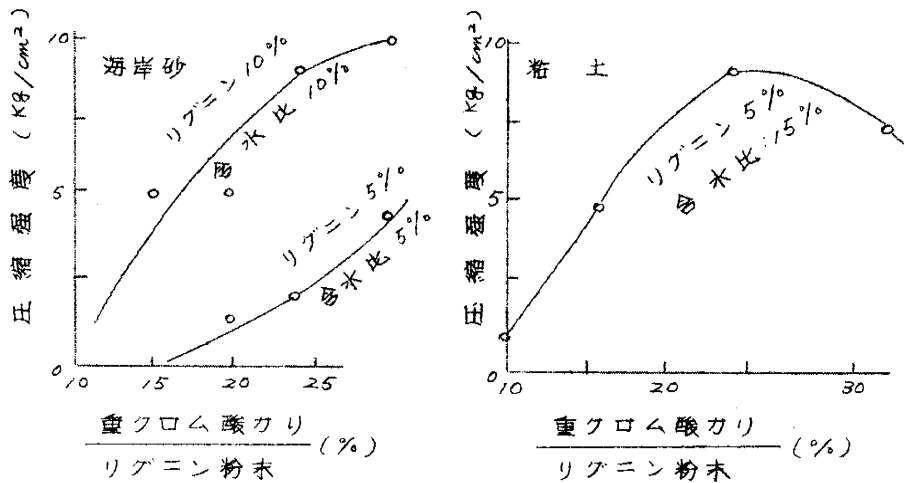


図-40 重クロム酸カリの量と強度の関係 (Cornell 大学)

5.3. 防水剤

土の安定性に最も影響を及ぼすのは水の働きであるから、土の吸水量を減少もしくは防止する作用のある添加剤は利用度が高い。土の防水作用が十分ならば、従来使用に堪えなかつた各種の土をもつて各種の土質構造物を築造することができる。現在防水剤 (water proofer) として適当なものは樹脂防水剤とシリコーンである。

(a) 樹脂防水剤

天然、合成両樹脂とも、防水剤として応用される。普通土の乾燥重量に対し、2%またはそれ以下の量をもつて目的を達する。(図-41、表-12) 前述のアニリン・フルフラル樹脂は結合材であるとともにすぐれた防水剤である。この外市販されている防水剤には次のようなものがある。

Stabinol (ポルトランドセメント80%, 複雑な樹脂化合物20%)

レジソ 321 (松脂の25%を中和したもの)

Vinsol (松脂の蒸留残渣物より製造されたもの)

NVX (Vinsolを中和したもの)

(b) シリコーン

揮発性シリコーンが防水材料として使用されるが、混合後一度ある程度乾燥しなければ効果をあらわさない。必要使用量は土の乾燥重量に対し、1%ぐらいであるが、多くの場合それ以下でも効果がある。

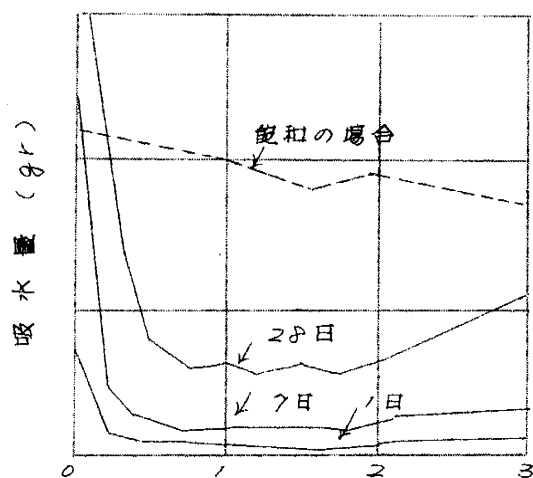


図-41 Vinisol 樹脂の量 (R.R.L.)

表-12 樹脂処理による粘着性土の防水効果の一例
(H.F. Winterkorn 等)

土	粒 土			レジン32/ (%)	膨 張 率 (%)	C. B. R. (%)
	砂	シルト	粘土			
I	77	12	11	0	0.33	21
				0.2	0.07	71
				0.5	0.12	56
II	67	11	22	0	0.84	41
				0.2	0.12	154
				0.5	0.10	157
III	55	28	17	0	1.03	27
				0.2	0.57	68
				0.5	0.41	106
IV	50	32	18	0	0.43	70
				0.2	0.24	230
				0.5	0.27	246
V	45	30	25	0	2.30	15
				0.2	0.56	61
				0.5	0.80	82

VI	39	41	20	0	2.44	10
				0.2	1.27	55
				0.5	0.67	92
VII	34	21	45	0	3.75	14
				0.2	1.67	73
				0.5	1.43	87

§ 4. 化学的材料の実用性

化学的材料はコストの点から通常の目的にはまだ実用となりがたいものが多いが、土の種類によつては水和セメントや圧青材による処理が有効に効か

表 - 13 結合材の安定効果の比較 (山内、日高)

群 指 数	特 別 な 土 の 名 称	有 機 物 %	17.5 Kg/cm ² の浸水圧縮強度を 得るに要する結合材の量 %		
			ポルトランド セメント	クローム・ リグニン	アクリル 酸 カルシウム
HA 0		2.81	12.6	9.1	12.0
1	ヨナ	0	9.2	7.5	X
APm 2	黒ボク (宮崎)	15.98	X	15.1	X
APm 2	黒ボク (鹿児島)	18.24	X	X	X
K 3		0.11	X	8.3	11.0
3	シラス	0	11.8	24.4	X
APm 5	黒ボク (鹿児島)	12.08	X	9.8	X
K 7		1.28	25.7	10.0	17.7
H 9		0	8.8	7.6	15.0
M 10		0.27	7.6	19.4	X
K 11		0.16	<10.0	<10.0	X
A 11	関東ローム	1.91	X	28.5	X
A 13	関東ローム	0.03	X	19.1	X
H 13		0.04	10.2	X	X
H 14	ハロイサイト	0	19.1	31.1	10.6
A 18	関東ローム	14.98	X	X	X
H 19		0.14	13.5	13.2	X
S 19	セリサイト	0	20.0	17.3	X
I.M. 20	ヘドロ	3.3	18.8	X	15.6
K 20	カオリナイト	0	X	X	11.8
C 20	クロライト	0	X	X	X
M 20	モンモリロナイト	0	X	X	X

註 X 非実用的に多量の結合材を必要とするもの、または到底 17.5 Kg/cm² の強度に達し得ないもの。リグニンは固形分 58.6 g/g のもの。

ない場合にその利用価値が高い。殊にやが国の火山灰質土はシラスを例外として、多量の有機物を含み、ポルトランドセメントの水和を妨げるので、有機物の存在に影響されないような化学的方法に期待が持たれる。各種の路床土について、 17.5 kg/cm^2 の浸水圧縮強度をあたえるに必要なアクリル酸カルシウム及びフローム・リグニンの量をポルトランドセメントの場合とくらべた結果、ソイルセメントで処理できない土がしばしば道路の基礎として使用できるようになることがわかった（表-13）。このうちフローム・リグニンはセメントに比べて単位重量当りの材料費が22:1ぐらいであるので、同じ安定性を得るため必要なセメント量がその比以上であるような土に対しては確実に採算がとれるわけである。

アクリル酸カルシウムやアニリン・フルフラルは現在では高価（ 1 kg/1,000 円程度）のため、特殊の場合の外大量に使用することは困難である。しかし海浜、泥濘路等を陸揚げ操作や、軍用車輛の通行等に遇するよう、数時間以内に堅固な地表をつくる場合に独特の効果を発揮する。

表-14 シルト質ロームに対する各種結合材の効果
及び費用の比較の一例（Davidson 等）

結 合 材		養 生 法	圧縮強度 (24 hr 水浸)	※ 費用 (円) 但し厚さ15 cm, 1 m^2 に23
種 類	量 (%)			
な し			0	
ポルトランドセメント	15	7日湿室 (27°C)	1,780	302
カットバックアスファルト (RC-1)	10	7日空気乾燥	220	504
消石灰	6	7日湿室 (27°C)	250	137
石灰フライアッシュ (1:2)	18	"	485	180
アニリンフルフラル (2:1)	5	7日空気乾燥	1,100	2,027

※ 密度 = 1.76 g/cc として計算

防水剤をはじめ土の性質の改良を目的とするものは、単独で使用するものと、既に述べたような他の材料を併用するものとを問わず、化学的材料は微量で効果を発揮するならばコストの上から実用的である。その量は一般に土の重量に対し1%以下である。結合材と併用して実用的なよい一例は表-14に示した。また防水剤の必要量のコストは大体ポルトランドセメントの10%に相当する。

Ⅶ. 土質安定の施工法

安定処理した土を準備する方式には次の3つがある。

- (1) 現場混合方式
- (2) 移動機械方式
- (3) 固定機械方式

一般に鋪装または路床の土質安定のおもな作業は次のとおりである。

- (1) 土の完全な破壊または粉碎。
- (2) 正確な量の添加材料を土に完全に加えること。
- (3) 混合物に正確な量の水を確実に加えること。
- (4) 混合物の完全な締固め。
- (5) 安定処理された土の表面を適当に保護して必要な時間養生すること。

§ 1. 安定材料の混合

土に対する安定材料の混合の良否は、混合物の安定性に影響し、安定性は土と安定材の混合が均一になるほど増大する。しかし適度の混合は、エネルギーの消費の点から不経済があり、且つ混合物の種類によってはその化学的反応が打込み以前に進行することになることがあるから、必要にして十分な混合を実施するようにしなければならない。しかし、シルト質又は粘土質土に添加材料を完全に混合することは、現在の施工機械では實際上非常に困難である。このため微量の化学薬品を加えて混合を容易にすることが考えられる。これは混合助成剤 (*Mixing help agent*) とも言うべきもので、さきにのべた分散剤はこの目的にかなっている。

土の添加剤との混合の程度をあらわす方法として、次のようなものがある。

- (a) 混合物からいくつか同量のサンプルを採取し、それらについて添加材料の濃度を測定し、濃度の範囲の最大及び最小を示す方法。
- (b) 前項のような各濃度の平均値を求め、これと各サンプルの濃度との偏差の平均値、すなわち平均偏差を示す方法。
- (c) 標準偏差による方法

$$\text{標準偏差} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C - C_m)^2}{n}} \quad (1)$$

または

$$\text{百分率標準偏差} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C - C^m)^2}{n}}}{C^m} \times 100$$

ただし C = 個々のサンプルの添加剤の濃度

C^m = 平均濃度

n = サンプルの数

また次のような均等指数 (Uniformity index) を用いることがある。

$$\text{均等指数 (I)} = \frac{\text{混合時向もにおける標準偏差}}{\text{無混合における標準偏差}}$$

この指数の利点とするところは、無混合の場合の 1 から完全混合の場合の 0 にまでその値が変化することである。無混合における標準偏差は次のようにして求められる。

n_1 = 添加剤から採取したサンプルの数。

n_2 = 土から採取したサンプルの数

とすれば

$$n = n_1 + n_2$$

$$\frac{n_1}{n} = C^m, \quad \frac{n_2}{n} = 1 - C^m$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{標準偏差} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (1 - C^m)^2 + \sum_{i=1}^n (C^m - 0)^2}{n}} \\ &= \sqrt{\frac{n_1 (1 - 2C^m + C^{m2}) + n_2 C^{m2}}{n}} \\ &= \sqrt{C^m (1 - 2C^m + C^{m2}) + C^{m2} (1 - C^m)} \\ &= \sqrt{C^m (1 - C^m)} \quad \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

(1) ÷ (2) によつて

$$\text{均等指数 (I)} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C - C^m)^2}{n}}}{\sqrt{C^m (1 - C^m) C^m}}$$

サンプルから添加剤の濃度を判定する方法は、添加剤の種類によって異なるが、たとえば予め色素を添加剤に完全に混合しておき、これを溶

液によってサンプルから抽出して比色濃度計にかけてくわべたり、あるいは放射能物質を利用することが行われる。しかし現在ではまだ現場でしらべた実例はない。

図-42はソイルセメントの圧縮強度と均斉指数との関係の一例である。この実験ではセメントの濃度はコバルト60の粉末を利用してしらべている。

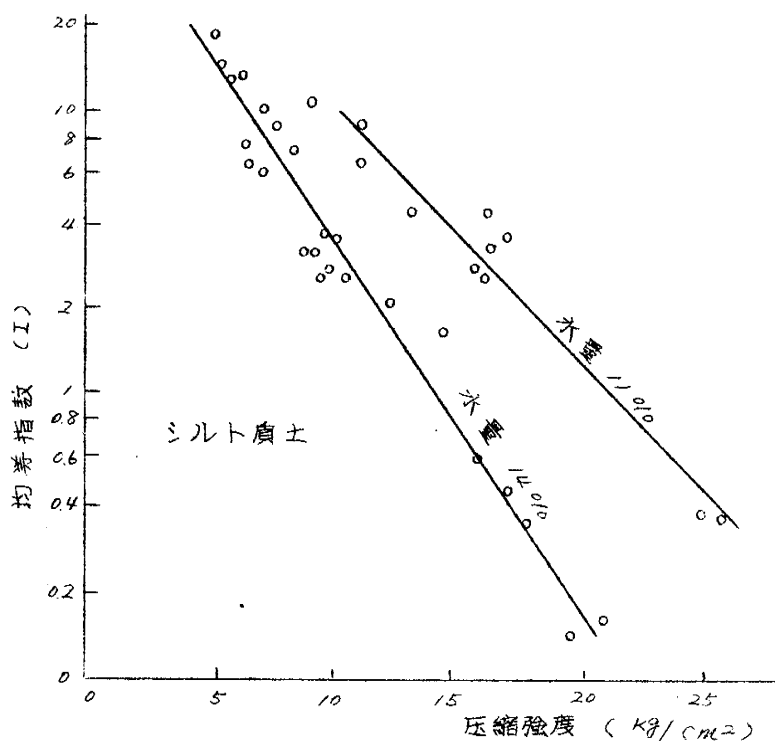


図-24 ソイルセメントの強度に及ぼす混合の影響 (Baker)

§ 2. 各方式における施工法

(1) 現場混合方式

土はまず破壊してのちリッパ、カルテベイター、ロータリーテイラーあるいは、オフセットディスクハロなどで粉碎する。さらにスラウまたはスカリファイヤーで粉碎を均一にする。この深さは、約15cmである。

次に直接の安定処理にうつるが、その順序は、添加材料の散布、締固め及び養生である。

1. 必要量の安定材料を加える。
2. 粉碎した土に安定材料を混合する。

3. 必要な量の水を加え、混合物と一緒に混合する。
4. 密度を均一にするため、シーフ・スフートルローラー、あるいは他のタイプのローラーで混合物を締固める。
5. 成形して必要な勾配をつくる。
6. 表面をかきみだす。
7. 空気タイヤローラー、ついで平滑面ローラーあるいは振動機械で最後の締固めを行い、正しく勾配をつくる。
8. 締固めた土の表面から蒸気の発生を防ぐ必要があるときは、適当なカバーをする。

現場混合機械には次のような種類がある。

最近の混合機は前進速度に比しローターの回転速度がはやくなり、粘土の混合にも適するようになってきた。

例

Multiple-pass (図-43)

- (a) Rotary tiller tractor attachment.
- (b) Howard multi-pass machine.
- (c) Pedestrian-controlled agricultural rotary tiller.
- (d) Seaman pulvi-mixer (牽引型)
- (e) Seaman Trave-L-plant.

Single-pass (図-44)

- (a) Howard single-pass machine.
- (b) P&H single-pass machine (3ローター型)
- (c) P&H single-pass machine (4ローター型)
- (d) Strabag single-pass machine.
- (e) Voegelé single-pass machine.

(2) 移動機械方式

一つまたは二つの機械も使って施工する。

その細部はそれぞれの機械のタイプによって異なる。

例

- (a) Barber-Greene travelling plant.
- (b) Gardner mixer.
- (c) Hetherington & Berner moto-paver.
- (d) Madsen road mg.

- (e) Wood's roadmixer (牽引型)
 (f) Wood's roadmixer (自走式) (図-45)

(3) 固定式機械方式

主な2つのタイプは連続ミキサーとバッチミキサーとである。

1. 連続ミキサー

移動機械方式と同じ原理のもので材料の運搬がエレベーター式のリフターやコンベアを使用して行われ、混合物はトラックに放出される。

例. Barber-Greene Mixer.

2. バッチミキサー

コンクリートミキサーの方法で行われ、小さい工事のとき行われる。土を有効に粉碎するには、double-paddle mixer, pug-millerあるいはroller pan type machineが用いられる。

例. Small batch-type asphalt mixer

Liner cumflow pan-type mixer (図-45)

混合材料はトラックによって現場に運ばれ、約15cmの厚さになるように層にして締固められる。

(4) その他の機械 (図-47)

Wood's scarifier & pulverizer

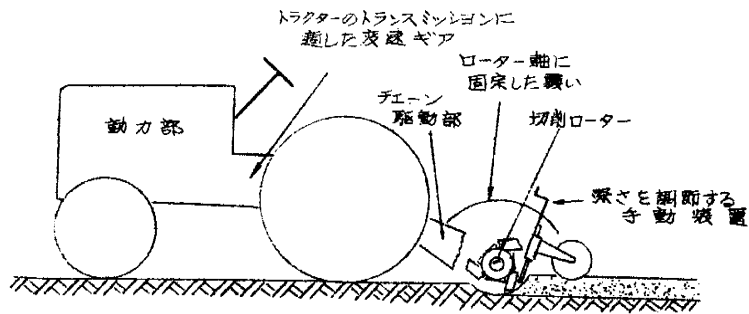
Hercules cement spreader

Smith cement spreader.

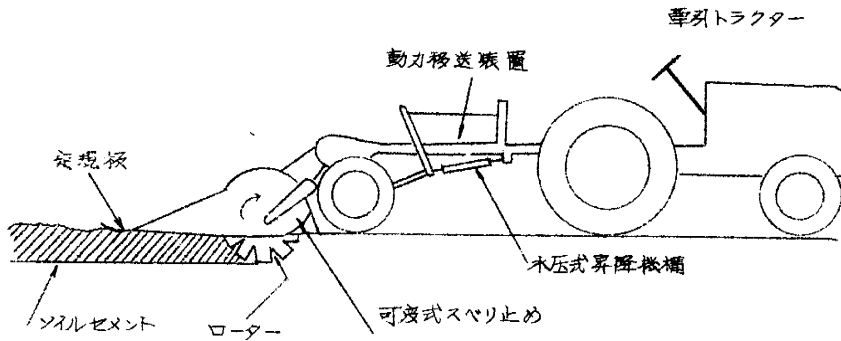
(5) 各方式の比較

3つの方式はそれぞれ長所と短所があるが、次に示すのは英国の例である。(ただし6インチ(15cm)厚さ、10時間作業)

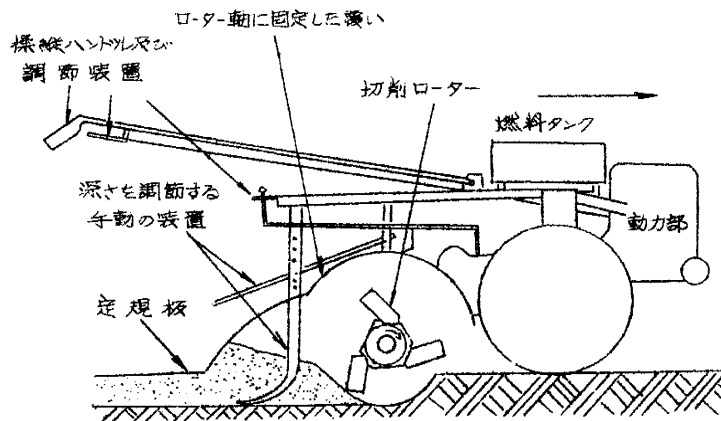
方 法	平均/日の工事量 (m ²)	最大の/日の工事量 (m ²)
現場機械方式	1,600 ~ 6,500	11,000
移動機械方式	1,600 ~ 25,000 (但し、10cm厚)	50,000
固定機械方式	400 ~ 1,600	—



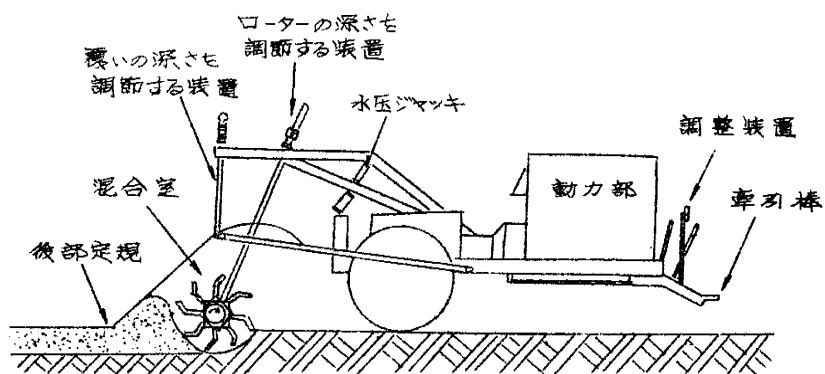
(a) Rotary tiller tractor attachment



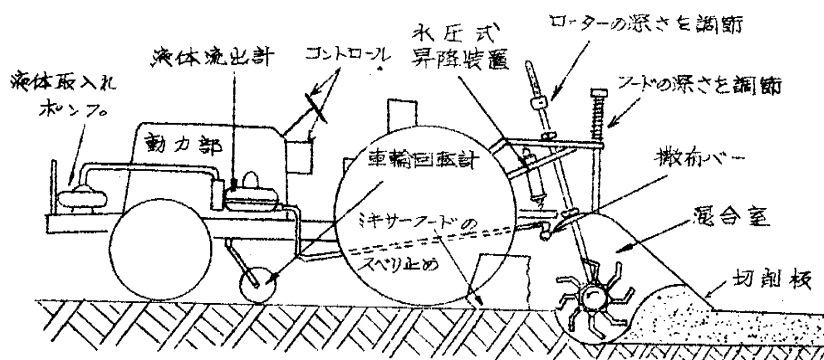
(b) Howard multi-pass machine



(c) Pedestrian-controlled agricultural rotary tiller

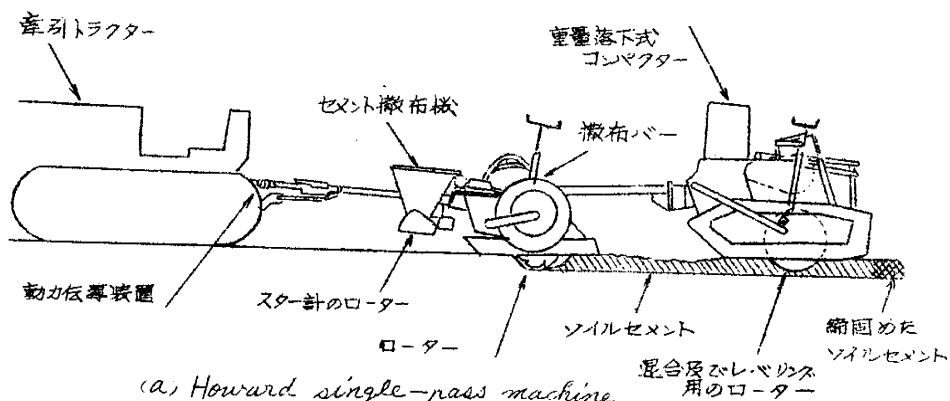


(d) Seaman Pulvi-mixer (towed-type)

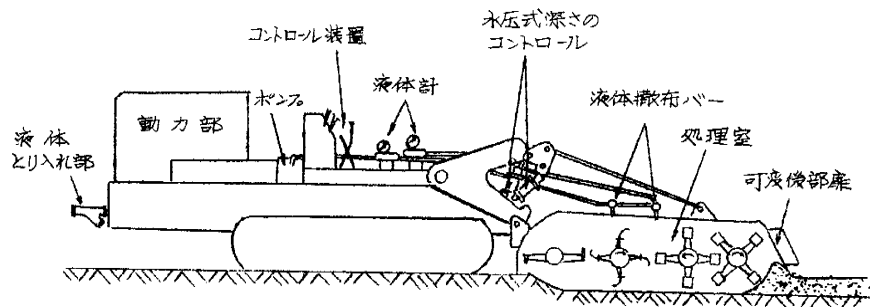


(e) Seaman Trav-L-Plant (自走式)

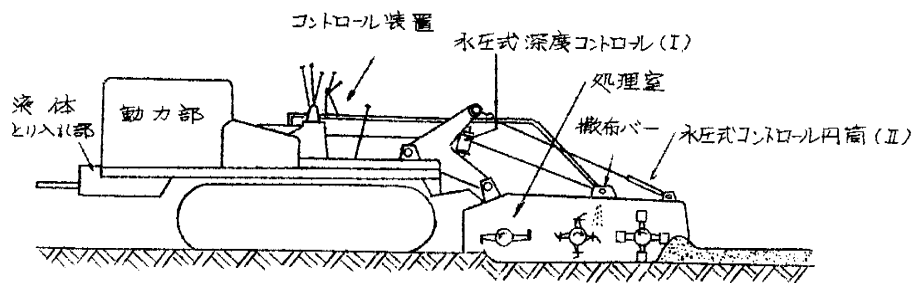
図-43 Multi-pass式 現場混合機械



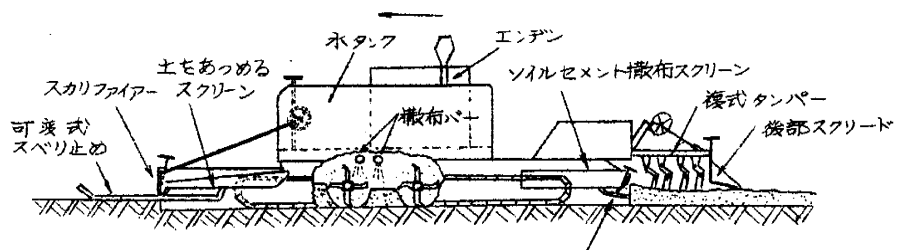
(a) Howard single-pass machine



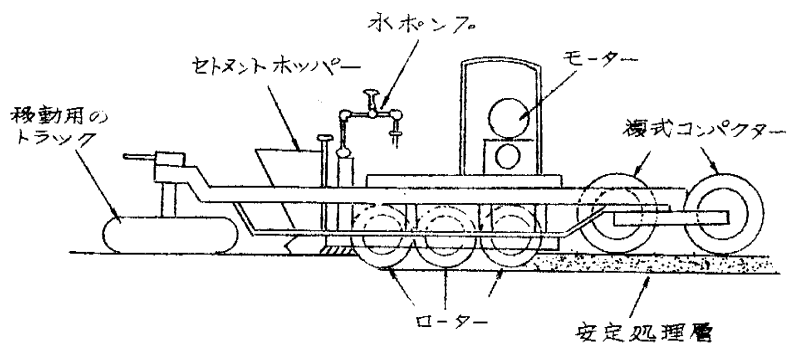
(b) P&H single-pass machine (3 rotor type)



(c) P&H single-pass machine (4 rotor type)

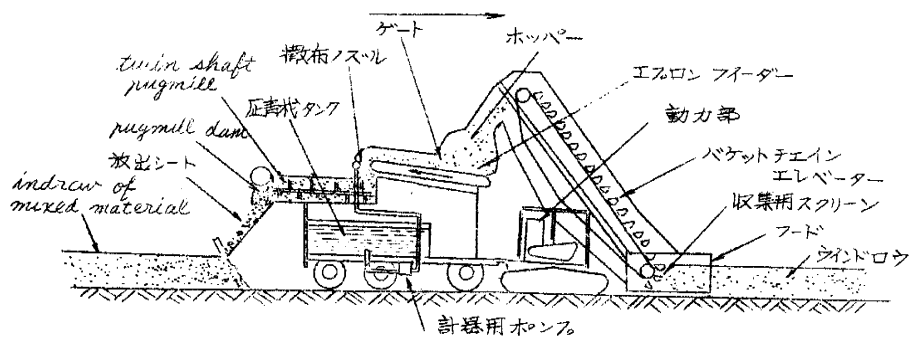


(d) Strabag single-pass machine

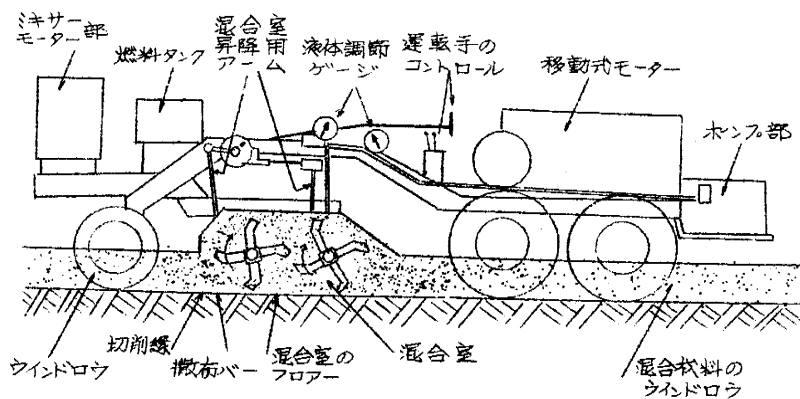


(c) Vogele single-pass machine

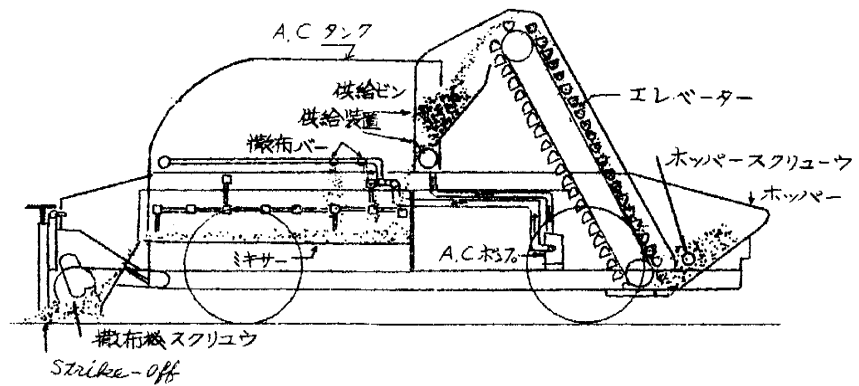
図-44 Single-pass式現場混合機械



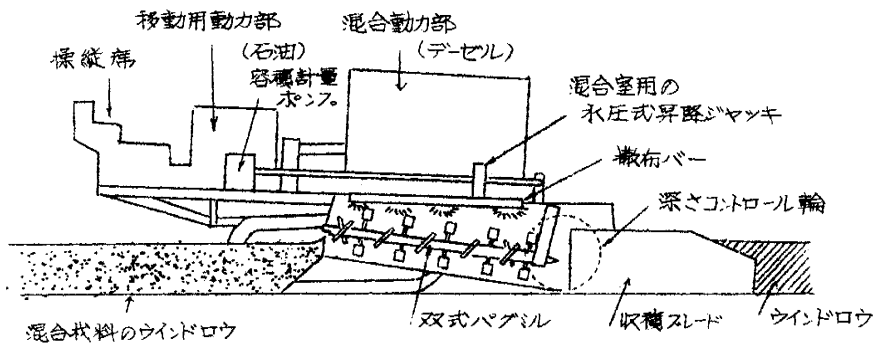
(a) Barber-Greene Travelling plant



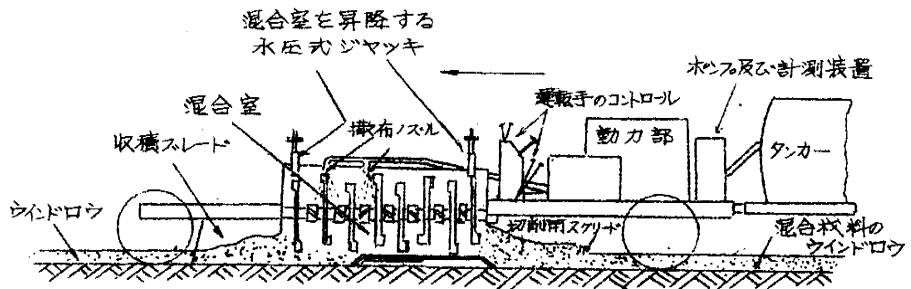
(b) Gardner mixer



(c) Hetherington & Berner motor-paver



(d) Madsen road puz



(e) Wood's roadmixer (towed type)

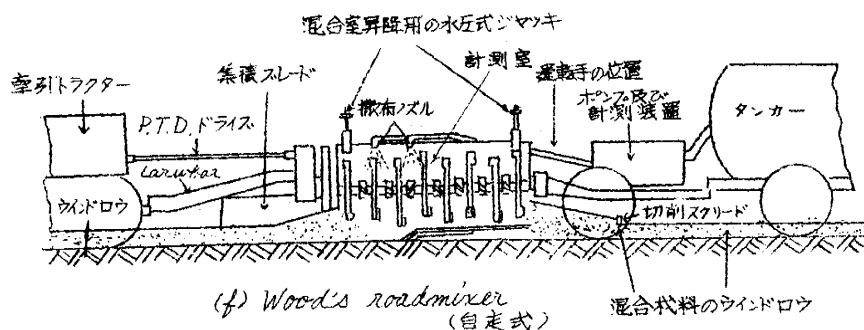


図-45 移動式機械

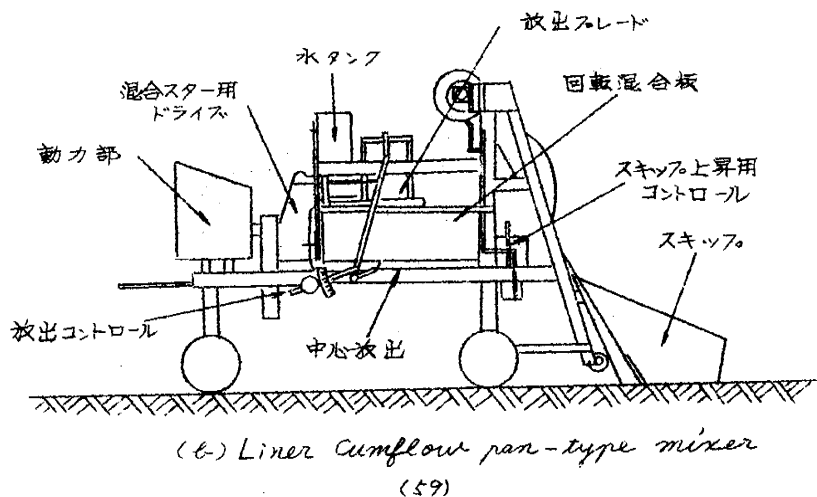
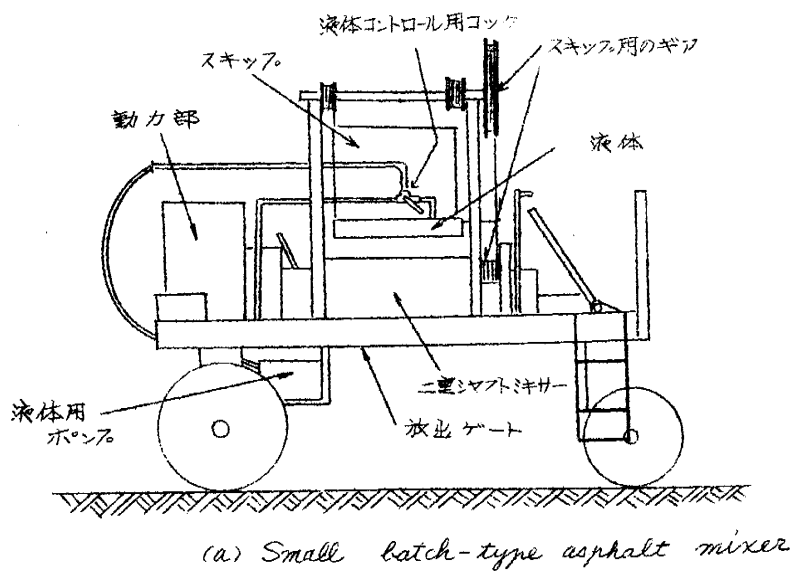
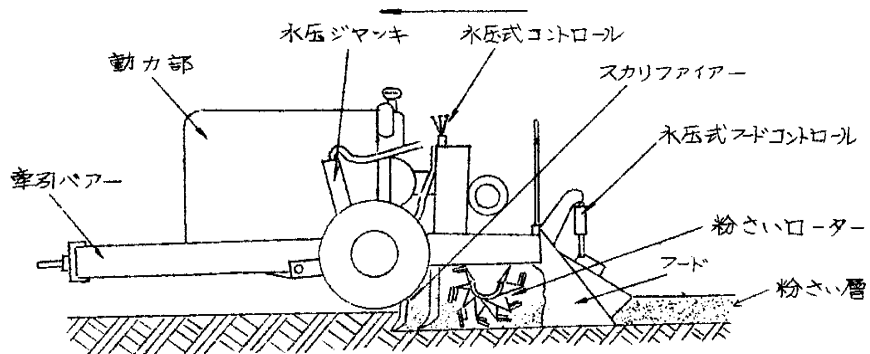
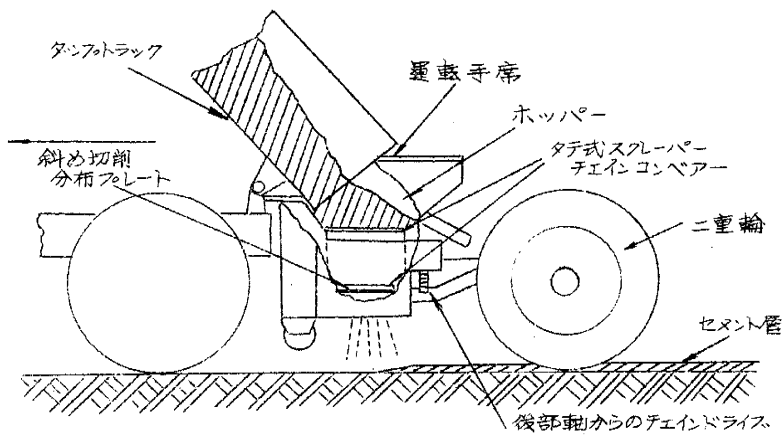


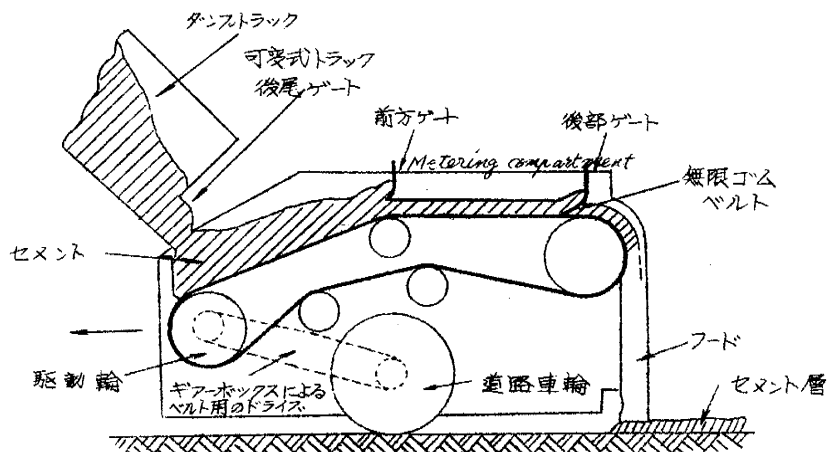
図-46 固定式混合機械



(a) Wood's scarifier & pulverizer



(b) Hercules cement spreader



(c) Smith cement spreader

§ 3. 現場における施工調整試験

土質安定において現場で施工調整のため必要な試験は次の3つの量をしらべることがある。

- (1) 添加材料の適当な百分率
- (2) 正確な含水量
- (3) 正確な密度

現場における施工調整の試験は工事中次の事項について行われる。

- (1) 粉碎の程度(現場混合)
- (2) 含水量(すべての方式)
- (3) 乾燥密度-含水量の関係(すべての方式)
- (4) ウインドロウの断面積(移動式)
- (5) 処理あるいは撒布の深さ(すべての方式)
- (6) 混合した材料の品質(すべての方式)
- (7) 締固めた層の乾燥密度(すべての方式)
- (8) 安定材料の量(すべての方式)

