

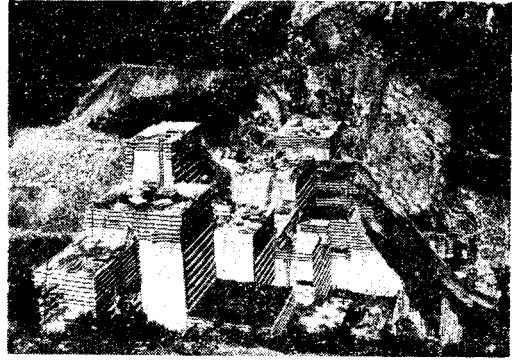
は 1 000 億円以上に達し、水害対策は重要な国策となり、河川の総合開発には必ず洪水調節を織込むべき必要が痛感された。すなわち一度改修されたこれ等大河川も破堤し、あるいは危険に晒される状況となり、その原因と目される水源山地の対策とともに、洪水量の増大に備えて従来の河川改修方式が再検討され、建設省の治水調査会の立案した 10 大河川、改訂改修計画にも上流部計画として多くの洪水調節用ダムが考慮され、いちじるしく立体的な治水方式が明示された。

かくして従来の河水統制計画にも再検討の必要が生じ治水目的を織込むこととなった。

元来河川すなわち水の利用の根幹をなすものは上流に設けられる貯水池であり、その基幹となるものはダムである。すなわち出水期の水を貯えて渇水期に平均に放出するので、その構造運用に工夫を加えるならばこれを治水にも利用できるのである。ここに治水、利水の一体性が発見されるのである。

表-7 は工事中及び計画中の多目的貯水池の概要である。これ等は治水、灌漑、水道、発電のいずれか 2 つ以上の目的を有するものである。いずれも 10 ケ年分の利益を考えてそれ等の合計が費用（利率及び運営費をも含む）を超過することを条件とし、さらに他の方法によつて目的を果すよりも安いことを第二の条件として立案されている。なお大部分は剰余利益が最大であるごとく計画の規模を決定しているが、なかには利益が最大であるごとく決定されたものもある。

写真-1 竣工近い北上川支流猿ヶ石川田瀬堰堤



以上において多目的貯水池の概要を述べたが、今後残された問題は

- (1) 少ない貯水池可能地点の利用方法
- (2) 少ない地点ゆえ、できるだけ大きくする方法—高堰堤技術
- (3) 貯溜放流を自由にしかも早くできるように有効に働く水門完備
- (4) 降雨、出水の予想の適確と通信施設の完備
- (5) 洪水の伝播を究明すること

等であり、これ等が究明され、実現せられたならば治水、利水の調整、水資源の利用はいよいよ全きを期することができる。さらにまた土砂堆積の問題は重大問題であり貯水池埋没対策、砂防の推進、堆積土砂の排出あるいは浚渫等も積極的に考えていかなければならない問題である。 (昭. 27. 9. 28)

UDC 624.131.433

真砂土の最適含水比附近の透水性について

正員 竹下 春 見*
准員 網 干 寿 夫**

ON THE PERMEABILITY ON "WEATHERED GRANITE" IN ITS OPTIMUM COMPACTION

(JSCF Feb. 1953)

Harumi Takeshita, C.E. Member, Hisao Aboshi, C.E. Assoc. Member

Synopsis From many experiments on the permeability of compacted "Weathered Granite", the relations between the coefficients of permeability and the void ratios were obtained, indicating that they were different in quality in the neighbourhood the optimum condition. The uniformity of soil structure increased by compaction was considered as the chief cause of the difference of permeability among soil samples of same void ratio. The change of permeability with the time and the relation between the permeability and the void ratio showed that the soil compacted at its optimum water content or slightly over that ratio was best in water proof constructions.

* 建設技官 建設省土木研究所

** 文部教官 広島大学工学部

要旨 真砂土を突固めた場合の透水性について数多くの実験を行い、その透水係数が間隙比とある一定の関係にあること、その関係が最適含水比前後で性質が異なっていること、突固めの度合いによっても透水係数が異なってくることを明らかにし、それが主として土の **uniformity** によるものであることを述べた。また透水係数の時間変化を測定してその特性を求め、さらに浸水膨脹試験を行つて、それが透水性と密接な関連があることを明らかにし、最適含水比突固めが透水性にも意義があることを述べた。

1. 土の透水係数の測定

土の透水試験については、理論的に取扱いやすいと云う性質から、古来多くの人びとによつて測定がなされている。特に砂については理論的解析と実験が土の他の試験に比較してきわめて良好な相関性をもっているため、多くの文献もあり、土の試験としては意味の明瞭なものとしてされている。しかし実際にやってみるとなかなか問題になる点も多く、ことに細粒の土になると測定結果に一様性がなく、信頼し得る値がえがたいために、かえつて土の試験のなかでもむづかしい試験であるとされているのである。これはもちろん、いろいろの原因によるものであるが、恐らく試料のつかたとか、間隙の一様性、あるいは残留した空気泡の影響、試験中の粒子の移動等が主なるものであると考えられる。

近年来土工においてその突固めと云うことが最も大きな問題となつている。従つて例えば土堰堤などの施工に際して、いかなる突固めを行えば水に対する性質がよくなるかと云うことはきわめて重要な問題なのである。また道路の路床路盤の施工にも大いに関連があると思われる。

筆者等は突固め試験と透水試験を結びつけることによつて上述の問題に対して一応の見とおしを得、従つて土の透水試験をもう少し明瞭なものにすることができないのではないかと考え、数多くの実験を行つた結果、かなり良好なデータを得たので、ここに報告する次第である。

2. 実験装置及び方法

実験に使用する土としては、中国地方で最も多く工事に使われるものの一つである真砂土を、広島市内比治山附近より採取し、2 mm の標準篩を通過したものをを用いた。その粒度分布は図-6のとおりで砂質ロームに属する。

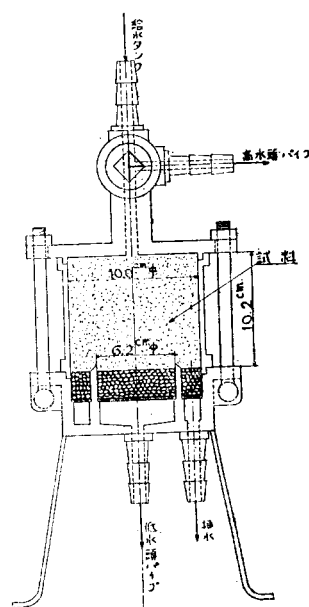
実験装置の透水試験器は図-1のような構造をした変水頭型式のものである。試料の入る部分のモールドは取りはずすと JIS の突固め試験用のモールドとして使用できる。ただし高さは 10.2 cm でやや低くなつて

いる。このモールドを突固め試験器にカラーとともに取りつけ、含水量を変えた試料を入れて JIS の規定のランマ (重量 2.5 kg, 落下高 30 cm) で 3 層に突固め、カラーをはずして整形し重量を測定する。含水比 w 、試料の正味重量 W 、モールド容積 V 、土の真比重 G 、水の単位重量 γ_w とすると、湿潤単位重量 γ_t 、乾燥単位重量 γ_d 、間隙比 e は次の式で表わされる。

$$\gamma_t = \frac{W}{V}, \quad \gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+w}, \quad e = \frac{G\gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

このモールドを透水試験器に取りつけ、ボルトでしっかりとめつける。

図-1 透水試験器モールド断面図
Permeameter

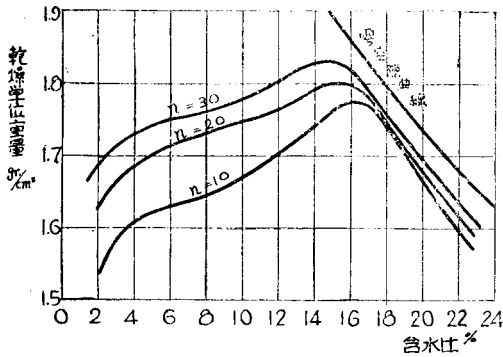


いろいろ実験の結果残留空気の影響が大きいことが明らかとなつたので、それを避けるため、まづ試験器の低水頭部分に head を与えて試料の中央下部及び排水部両方から水を上方に滲出せしめ、できるだけ飽和度を高くして空気を上方に逃がすようにする。試料を通過した水が高水頭部分にまで上つてくれば、今度は空気が入らないように接続を切換えて普通のと通りの透水試験にうつるわけである。時間 t_1, t_2 の時の高低両水頭部の読みの差をそれぞれ h_1, h_2 、試料の有効面積 A 、高さ L 、パイプの断面積を a とすると、透水係数 k は次式で表わされる。

$$k = 2.30 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

求められた透水係数は連続 10 回の測定値中、棄却限界¹⁾内の値の平均値である。

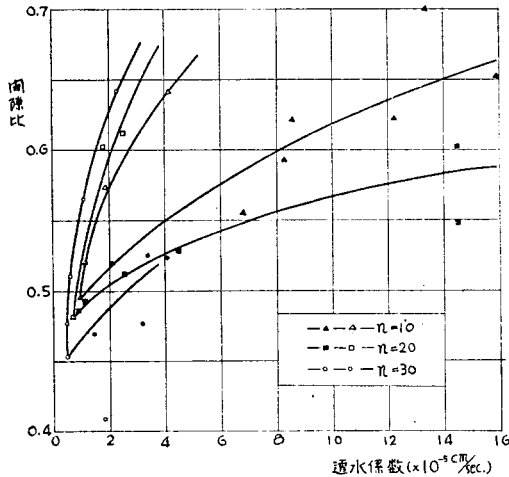
図-2 突固め曲線
Compaction Curve



3. compaction と permeability の関係

突固め回数を10, 15, 20, 25, 30……と云うように変えていくと、含水比の変化とともに試料の単位重量がそれぞれある一定の曲線上を変化していく。これを図示すると図-2 のようになることはよく知られたとおりである。この章の透水試験の結果は代表として突固め回数 $n=10, 20, 30$ の場合だけについて図示してある。

図-3 間隙比と透水係数の関係(1)
Relation between Permeability and Void Ratio (1)



個々の場合について透水係数を前述のようにして測定し、試料の間隙比によつて整理すると図-3 のようになる。図中の黒点は最適含水比以前のもの、白点はそれを越えた含水比において突固めたものに対する測定値であつて、同じ間隙比(あるいは同じ乾燥密度)であつても最適含水比の前と後のものでは全然異なつたところにきている。また突固め回数が変つても k の値が変つてくるようである。そして一般的に云つて n が大きくなるほど同じ e に対する k は小さくなる傾向があり、また最適含水比突固め時の k (図中の各曲線

の先端のもの)も小さくなつていくと思われる。 n を大きくすると optimum における k が小となることは、よく突固めるほど全体としてよくしまり e が小なる。すなわち全体としての水の通るすき間が小さくなることから考えてみても当然のことであるが、 n を大きくすると同じ間隙比の時でも k が小となると云うのは、全体としての間隙の量は同じでもよく突固めたものほど間隙が一様に分布して平均に水が流れ、 n が小さいものは間隙に不平等ができて水みちが生じ、 k が大きくするものと考えられる。

最適含水比の前後で $k-e$ 曲線の性質が異なつてゐるがこれを対数目盛にとつてみると図-4 のようにきわめて明瞭な関係を得る。すなわち optimum を越えたところでは $k-e$ 曲線は直線

$$e = a \log k + b$$

の形で表わされるが optimum 前では明らかに直線ではない。細粒土の場合 $\log k-e$ が直線になることは

図-4 間隙比と透水係数の関係(2)
Relation between Permeability and Void Ratio (2)

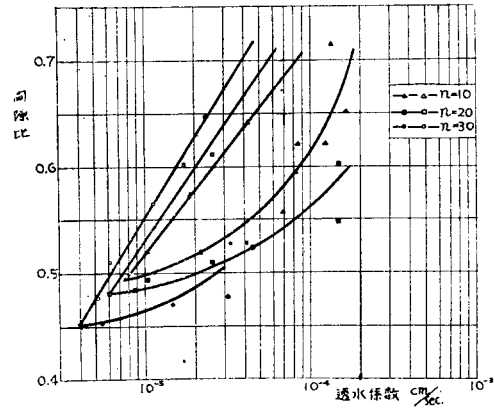
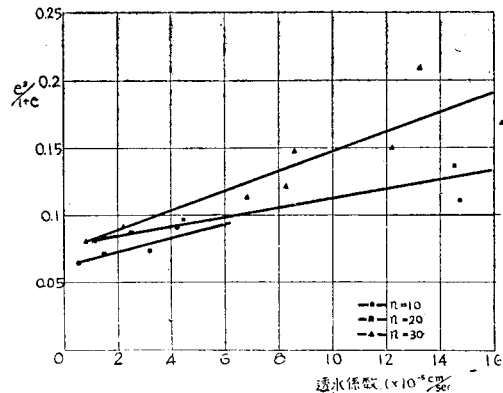


図-5 間隙比と透水係数の関係(3)
Relation between Permeability and Void Ratio (3)



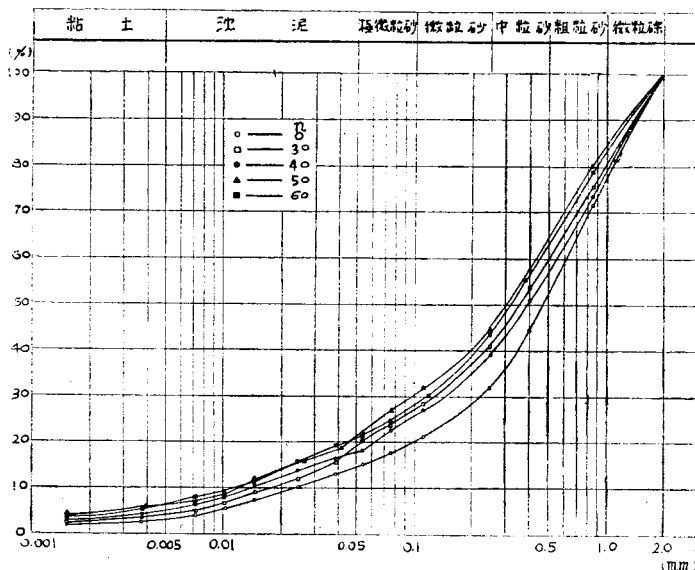
Taylor の教科書²⁾にも少し述べているが、もちろん compaction の影響についてはかいてない。なおこの場合 n が大きくなるほど a が大となるように思われるが、これは n の大なるほど水みちができにくいと云うことと関係があるものと想像される。

図-5 に optimum 前の部分の k と $e^{2n}/(1+e)$ の関係を図示してあるが、これがほぼ直線をなすものと考えられる。これは W.F. Hiltner²⁾ が理論的に導き、砂の場合について実験的に検証したものと同一形である。

これ等のことから考えると実験に使用した真砂土は砂と細粒土の中間的存在であつて optimum 以前の水の少ないところで突固めると砂の性質を表わしよくしまらず、不平等が多くて水みちがしやすい。一方 optimum を越えたところでは比較的一様によくしまつて細粒土の性質を表わすものと思われる。前者が散らばりが多く、後者は比較的好く直線についでいることもこの考え方を裏づけているように思われる。

n の回数が 30 を越えると、かえつて k の値が比較的大きくなる場合がある。いま突固めを数多く行つた試料について沈降法により粒度分布を調べてみると図-6 のようになつて $n=30\sim 40$ あたりで極微粒砂以下の粒子が相当くだけていることが明らかである。従つてその附近の突固めで一時粒子構造の再組織のために間隙に不平等が生じ、そのため k が大きくなることであるのではないかと想像されるのであるがこれについてはさらに研究を要する。

図-6 粒度加積曲線に対する突固めの影響
Grain-size Distribution Curves of Compacted Soil



4. permeability の時間変化について

透水係数が時間とともにある程度変化することはすでに知られていることである。この原因は明らかでないが、微小粒子の移動のため水みちができたりつまつたりすることや、残留した空気泡が水に溶けたり再びできたりすること等が主な原因と考えられている。突固められた試料について長時間継続的に k を測定してその変化状態を調べてみると二、三の興味ある結果が得られた。

図-7 突固め曲線
Compaction Curve

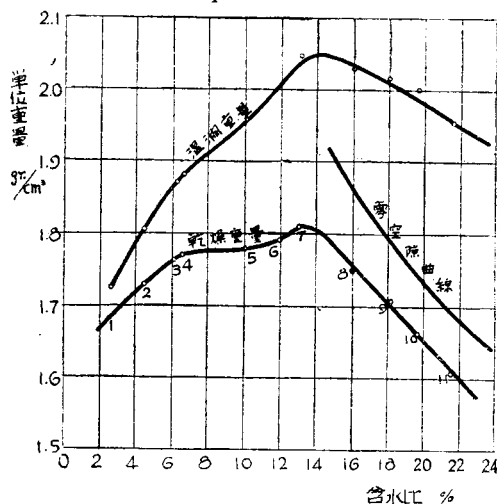


図-7 は 3 層、各層 25 回突固めの場合の compaction curve である。図中の番号を附した各点について k の時間変化を plot したものが図-8 である。両図の試料番号は共通であつて、図-8 の黒丸の curve は optimum 以前、三角点は optimum、白丸は optimum 以後のもの curve である。この3つの場合について変化状態にそれぞれ特徴があるように思われる。すなわち optimum 以前のは、最初の数時間は水みちができたりつまつたりして小さく変動しながらある程度 k は減少し、その後次第に増加している。optimum においては変動は少なくほとんど一定値を保っている。optimum を過ぎると逆にわずかではあるが k が減少する傾向がある。これは optimum の前では前述のように砂の間隙に不平等が多く、永い時間の内には次第に水み

図-8 透水係数の時間変化 (1)
Change of Permeability
with the Time (1)

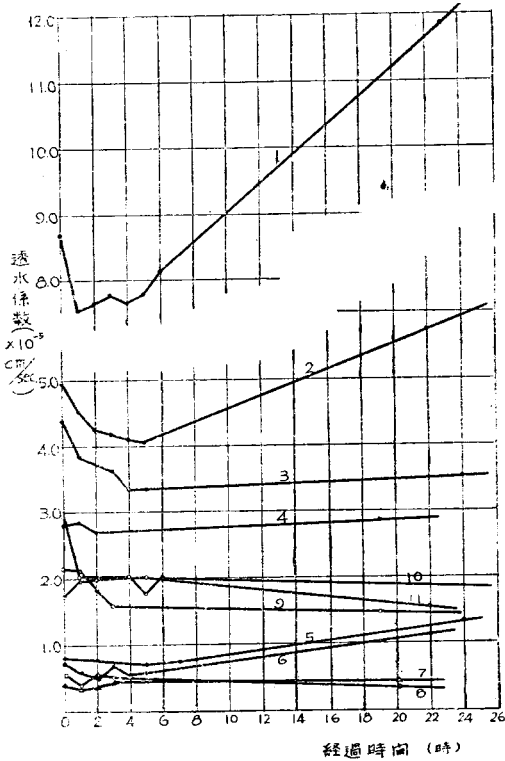
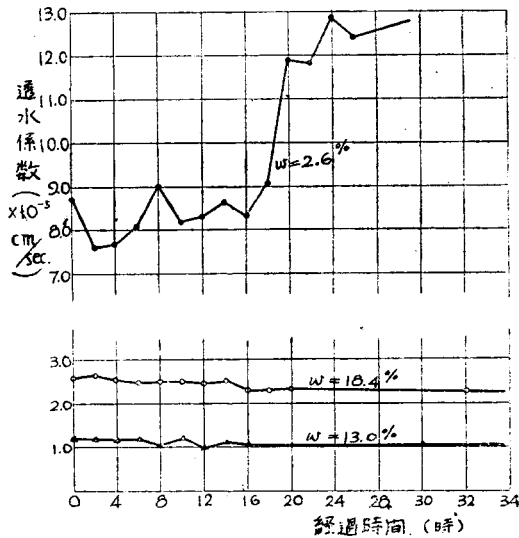


図-9 透水係数の時間変化 (2)
Change of permeability
with the Time (2)



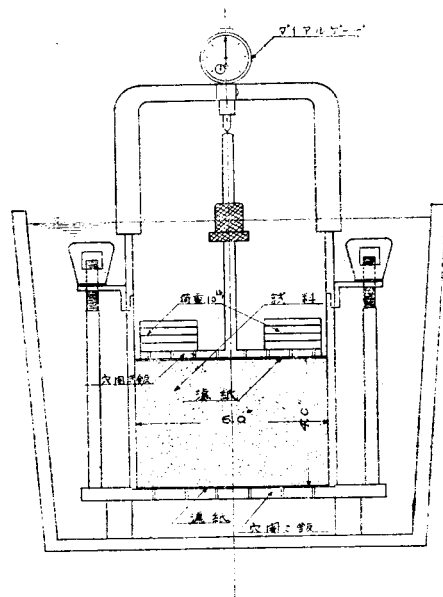
ちができてくるためと思われる。optimum を離れるほど増加の割合が大きくなっているのもこのためである。optimum を越えると k が減少する傾向がある

ため図-8の7と8のcurveを比較してわかるように、最初はもちろん optimum 7の方が k が少し小であるが、時間がたつと8の curve が下つてきてかえつて8の方の k が小となる。従つて不透水性の施工をするためにはむしろ optimum を少し過ぎたところで行つた方がよい結果をもたらすように思われる。以上の3つの場合の特性をより明瞭にするため3つの場合の各一例について連続的にくわしく測定したものが図-9であつておのおのの特性を大体示しているようである。図-8の k の値を各時間について図-4と同じように plot してみると、optimum 以前では24時間後の値が、optimum 以後のものでは4時間程度経過した時のものが最も曲線からの偏差が少ないようである。これは残留空気泡の問題とも関連があると思われるが、透水試験による k の値として何時測定したものを採れば合理的であるかと云ふことの一つの目安になると思われ、さらに将来の研究にまつところが多い。

5. 真砂土の吸水膨張について

土の吸水膨張性とその場合の強度を調べるのにC.B.R. 試験がある。この吸水膨張性は前述の透水についての特性とある関連があると考えられるので、同じ試料についてC.B.R. 試験にのつとつて膨張性を測定した。

図-10 C.B.R. 試験器断面図
C.B.R. Tester



測定に使用した装置は図-10のとおりで試料はモールドのなかで5層、各層55回突固められ、鋪装版に相当するものとして10lbの荷重をのせたまま大きな器に入れられ、水を加えると同時にその膨張をグイ

ヤルゲージで読みとる。この場合の compaction-curve が 図-11 であるが、この各点について時間一変位を plot してみると 図-12 のようになる。

図-11 突固め曲線
Compaction Curve

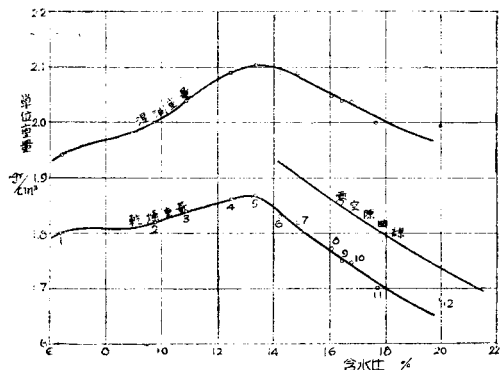
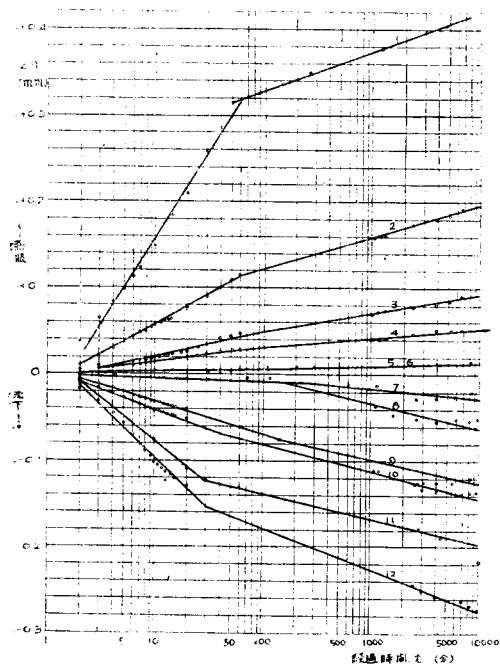


図-12 浸水膨脹-時間曲線
Expantion-Time Curve of Soaked Sample



これ等は明らかに対数目盛で直線をなすことを示している。またその直線がいずれも2段になつていて、その勾配は折れ曲つてからゆるやかになつていて、そして含水比の少ないところから、膨張の度合が次第に減つて大体 optimum 附近で膨張から沈下に変つていて、第1段の急勾配のところは水が内部まで一応浸入する間であると考えられる。縦軸の読みは浸水後1分の読みを零点とつてあるので、これ等の直線は当然原点を通るはずであるが、満水に要する時間とストップ

ブォッチを押す時間との関係で幾分ずれている。第1段は

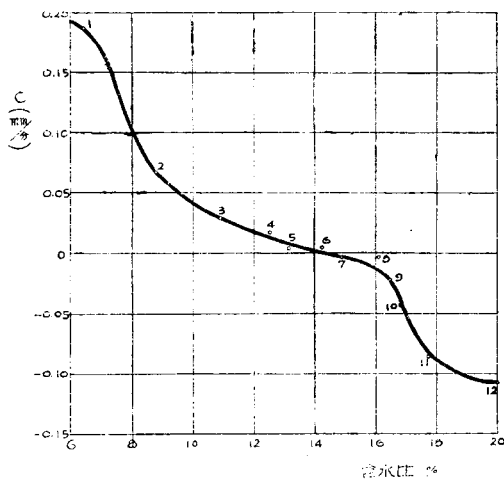
$$\Delta h = C \log t$$

で表わされ、この係数Cを最小自乗法によつて決定すれば表-1のようになり、これを含水比について plot してみると 図-13 のようになる。この直線の勾配は含水比 11~16% の間は直線的に変化している。そしてこれが零になる。すなわち膨張も沈下もしないのは optimum をわずか越えたところであるようである。つまりこの辺が施工上最もよい条件であると考えられるので、これは前述の透水係数最小の位置とはほぼ一致する。従つてここに何らかの関連があることが考えられるが目下引き続き研究中である。

表-1 C の 値
Value of C

| 試料番号 | C | 試料番号 | C |
|------|--------|------|---------|
| 1 | 0.1870 | 7 | -0.0032 |
| 2 | 0.0666 | 8 | -0.0023 |
| 3 | 0.0273 | 9 | -0.0217 |
| 4 | 0.0170 | 10 | -0.0433 |
| 5 | 0.0035 | 11 | -0.0876 |
| 6 | 0.0039 | 12 | -0.1099 |

図-13 C-W 曲線
C-W Curve



6. 結 言

以上真砂土について compaction と permeability の関係を大体明らかにすることができたようで、結局透水性に関しては optimum 附近、さらに厳密に云えば optimum をわずか過ぎた含水比で突固められたものが最もよい性質を示すものと思われる。また compaction による土組織の一樣化と云うことについて透水の方からの一つの説明を与えることができたように思う。なお上述の各一連の実験中温度変化は大体 ±1°C

以内であるので温度変化の影響は無視した。

最後に有益な御指示を戴いた東京大学最上教授並びに多忙な公務のかたわら数多くの面倒な実験、計算を手伝つて戴いた中四地建材科試験室和気功、内山勇両君に厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 土木学会誌 36-8, p.29
- 2) D.W. Taylor; *Fundamentals of Soil Mechanics* p.116
- 3) 最上武雄: *土質力学* p.65 (昭.27.9.3)

U.D.C. 624.131.439.2:629.114.2.012.57

トラクタの履帯に関する研究

正 員 工学博士 村 山 朔 郎*
准 員 昌 昭 治 郎**

STUDY ON THE TRACK OF THE CRAWLER TRACTOR

(JSCE Feb. 1953)

Dr. Eng., Sakurō Murayama, C.E. Member Shōjirō Hata, C. E. Assoc. Member

Synopsis In order to make clear the relations between soil and the track-shoe of the crawler tractor, especially between the adhesion coefficient and the shape of the track-shoe. We made the fundamental experiments with several kinds of soils and various models.

要旨 本文はトラクタの履帯と土、特に履帯の形状と粘着係数との関係を明らかにするために、数種の土について模型を用いて行つた基礎実験を記したものである。

1. 緒 言

近時トラクタにおいて装軌式走行装置の進出が目ざましいが、なお装軌式すなわち無限軌道履帯の占める地位は非常に大きい。その理由としては接地面積大なるゆえ接地圧小にて牽引力大であり、軟弱地帯及び不齊地の通行に際し走行抵抗少なく、また小半径で転回し得ることなどが挙げられる。これに対し履帯は走行装置としての耐用年限が短かいこと、全車重に対して占める重量比がいちじるしく大であること、内部抵抗大なるゆえ履率の低いこと、また路面をいため走行時騒音の大なることなどの欠点がある。

かような装軌式走行装置の特長についてはなお改良の余地があるが、これに関する従来の研究は主として機構的なものが多く、履帯設計製作上最も根本的な事項の一つである対地性能に関してはあまり見当らない。ここでは履帯の粘着係数に及ぼす履帯突起の形状、寸法、土の性質、接地圧、走行速度等の影響を求め、よつて粘着係数大にして走行抵抗のなるべく小さい最も効率のよい履帯の条件を見出すことを目標とした。

2. 研究方法と実験装置

実物履帯をもつて実験を行うのが本筋ではあるが、

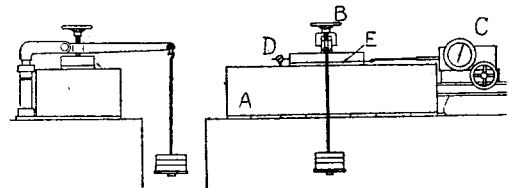
* 京都大学教授 工学部土木工学教室

** 京都大学大学院研究奨学生 " "

大規模な実験設備を要する上に個々の実験を同一条件のもとで行うことが困難であり、統一的な結果を得がたい。ゆえにまず形状を簡単化した種々の履帯模型を用いて室内実験を行い各種因子の影響をしらべた。後に実物実験と比較検討する予定である。

実験装置は図-1のごとく砂箱、載荷装置、粘着抵

図-1 実験装置



註: A:砂箱, B:載荷装置, C:粘着抵抗測定装置
D:ダイヤルゲージ, E:履帯模型

抗測定装置および滑り量測定用ダイヤルゲージよりなる。砂箱は長さ 800, 巾 300, 深さ 200 mm の木箱、載荷装置は図のようにレバーにて拡大して荷重を加えるもので、荷重範囲 40~130 kg の際に用い、それ以下においては履帯模型上に直接載荷した。粘着抵抗測定装置としては鉄道省型小型土質剪断抵抗試験機(容量 100 kg)を改造して用いた。履帯模型は木製板に鉄製歯を埋め込んだものでその形状寸法を図-2に示す。実験に使用した土は豊浦標準砂、乾燥自然土及び湿潤自然土でその剪断試験の結果は表-1のとおりである。土をできるだけ一様につめるため、豊浦標準砂及び乾燥自然土は一定の高さから撒布し、湿潤自然土については各実験ごとに上半分の土を入れかえて含水