

川流のエネルギー方程式といふことができよう。

このエネルギー方程式は Vitols<sup>5)</sup> のいう Psammo-hydraulics を包含し、Cook<sup>6)</sup> のいう沖積地河川流の6種のエネルギーを網羅し、Rubey<sup>4)</sup> 又は Knapp<sup>7)</sup> の土砂の理論と同様なものを含む。簡略化して水流のみとすれば Bernoulli, の定理となり、一般化すれば沖積地河川流のあらゆる要項を有しているものと考えている。

#### 4. むすび

運動方程式の応用として水流のみの場合は既に著者が学会誌に発表した。<sup>8)</sup> それはいわば乱流の粘性係数の解析であつた。又、エネルギー方程式の水流のみの場合は Bernoulli の定理と一致して多くの研究がなされているので、ここで説明する迄もなからう。

このようにして、沖積地の河川流の問題、例えば、等速流として、純水流、濁濁水流、掃流砂流、伏流

不等速流として、湧出、滲透、堆積、捲上、表面波の変化

を解くための基本式が (11) 又は (16), (17) 式で与えられれば、それらの方程式こそ Psammo-hydraulics の基本であると信ずるものである。

参考文献 (主なるもの)

- (1) O.Reynolds, "On the dynamical theory of incompressible fluid and the determination of the criterion", Phil. Trans. A.Vol. 186, 1894. p.535. (2) 浜田徳—"河口不等流に於ける乱れの粘性係数の一例" 土木学会論文集, 第4巻, 59頁 (3) A.Vitols, "Eine verallgemeinerte Hydraulik als Werkzeug für Lösung des Problemes der Geschiebebewegung und andere Probleme der Gemenge-Hydraulik (Psammo-Hydraulik)", Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 1939, S.122. (4) W.Rubey, "Equilibrium conditions in debris-laden streams", Trans. Am. Geo. Union, 1933, p.497. (5) 藤本武助, "応用流体力学" 374頁等. (6) H.L.Cook, "Outline of the energetics of stream-transportation of solid", Trans. Am. Geo. Union, 1935, p.456. (7) R. T. Knapp, "Energy-balance in stream-flows carrying suspended load", Ditto, 1937, p.501. (8) 久宝保 "開水路における乱流の縦平均流速分布について" 土木学会誌, 第35巻7号9頁 (昭. 25.12.19)

UDC 625.814.084:[624.131.37/.38:624.131.437]

## 電気伝導度に依る輾圧効果の迅速判定法

准員 渡 辺 隆\*

### THE RAPID AND EASY METHOD FOR DETERMINING THE DEGREE OF THE COMPACTNESS OF SOIL BY THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY

(JSCE May 1951)

Takashi Watanabe, C.E. Assoc. Member

**Synopsis** In case of compacting the soil by rollers, the numbers of tampings are determined ordinarily by measuring the apparent density at the field.

But it is considered necessary to find some more rapid, more exact, and simpler method, because the ordinary method requires longer time, more labours, and moreover in some cases we must expect that the results obtained are not exact.

Utilizing the properties that the electrical conductivity of soil is proportional to the apparent density under constant moisture content, we propose a new method.

We have got good results applying this method at some fields.

要旨 ローラーに依る輾圧の際輾圧回数決定は現場輾圧試験に依り行い、見掛比重を測定して輾圧効果を知る方法を採用している。而しこの様な場合に見掛比重を測定することは相当な手間と時間を要し又正確を期し難いので、他に適当な方法を見出し現場で施行しながら簡単に測定出来る方法を考える必要があると思われる。吾々は土の電気伝導度が含水量一定ならば見掛比重に比例するという性質を利用して輾圧効果を測

定する方法を考えた。この方法で二、三の現場測定を行い比較的良い結果を得たので報告する。

#### 1. 土の電気伝導度と見掛比重の関係

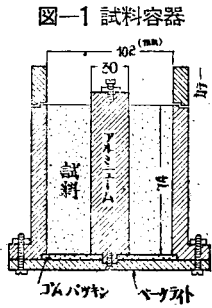
周知の如く土は固体、液体、気体を含んでいる。これらのうち固体即ち土粒子そのものの電気伝導度は非常に小さく、又気体も殆ど絶縁体と考えられるから、土の電気伝導度は主として土中の液体に依つて支配される。然らば土の電気伝導度と見掛比重には如何なる関係があるかを考えると、吾々が締固めに用いる土は一般に相当量の水分及び空気を含み締固めに依つて空

\* 東京大学講師, 工学部土木教室

気を追出して密度大なる土を得ているのであるから、締固めの場合には見掛比重の増大と共に土の単位容積中の水分量は増大する。それ故電気伝導度も締固めに依つて増加するであろうと想像される。ところで電気伝導度と見掛比重の関係が具体的に如何なるものかを知る為実験を行つた。以下この実験に関して述べる。

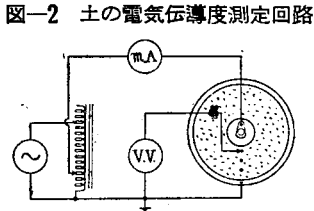
a) 実験装置及び実験方法

実験装置は図-1に示す如く、アルミ製円筒形容器



の底にベークライトの板を張り、その中心に電極として用いたアルミ丸棒を止めたものである。この容器にカラーを付けて土を3層に分け一定の方法で突固め、側壁上面で土を削り取り、一定体積の土を取ることが出来る。見掛比重を変えるには突固め回数を変えれば良い。

電気伝導度の測定は図-2の如く中心の丸棒と側壁とを電極として交流 50 サイクルを流し、この電流と試料表面上半径方向の点と側壁との電位差を横河製 APE 型真空管電圧計を用いて測定して算出した。



この様な測定方法

を用いた理由は、一般に土と電極部分との間の接触抵抗が非常に大きい故、この影響を除くために土の表面で半径方向の電位を内部抵抗の非常に大きな真空管電圧計で測定したのである。尚電圧を測定する際には針を約 5mm の深さ迄垂直に差し、その位置を中心から測定した。この方法に依ると土から針を通つて電圧計に流れる電流は殆ど無視出来、最も悪い条件でもその為の誤差は 1%以内と考えられる。

一定の半径方向に数点、上述の方法で電位差を測定した。この様な場合に、土が齊等な電気的性質を有するものと仮定すれば、半径の対数と、電位とは直線の関係にあることが知られている。それ故測定した電位差と半径の対数とを画くと、図-3の如く大体直線であることがわかつた。又中央電極付近で電位が不連続なのは接触抵抗の影響と思われる。測定は 120° 間隔に 3つの半径方向に沿つて行つたが、それらを比較すると或る方向に沿つては一本の直線であるが方向が違えば直線が少しづれている。これは中心の電極の位置

が少々偏心している為の影響と考えられ、計算にはこれらの平均値を用いた。又測定値から土の比伝導度を計算する際には、前述した如く、土を齊等な電気的性質を有するものと考え次式を用いた。

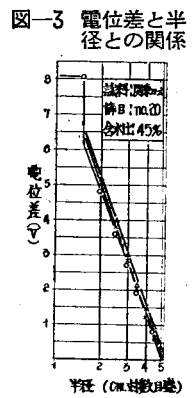
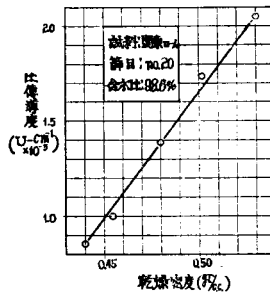
$$\lambda = \frac{1}{2\pi h} \frac{1}{\log_e \frac{r_2}{r_1}} \frac{I}{(V_1 - V_2)} \dots\dots\dots(1)$$

但し、λ: 土の比伝導度 (u<sub>cm</sub><sup>-1</sup>)  
 h: 試料の高さ (cm), r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>: 電圧測定点の中心よりの距離, I: 土中を流れる全電流 (Amp.), V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>: 中心より距離, r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub> の点の電圧 (Volt)。

b) 実験結果

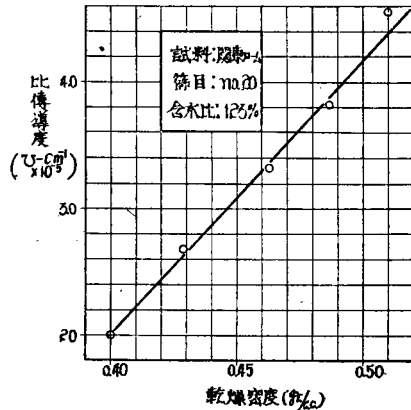
含水量一定の土に関し、突固め回数のみを変えて実験したので、乾燥密度と見掛比重とは常数を掛けただけの差があるのみであるから、何れを用いて図を画いても傾向は同じこととなる。

図-4 土の比重伝導度と乾燥密度との関係



今電気伝導度と乾燥密度との関係を示すと図-4、図-5の如く直線的な関係があることが判明した。即ち図-4は理工研構内にて採取せる関東ロームを含水比 98.6% 迄室内乾燥せしめ、20番篩を通した試料に関する

図-5 同上



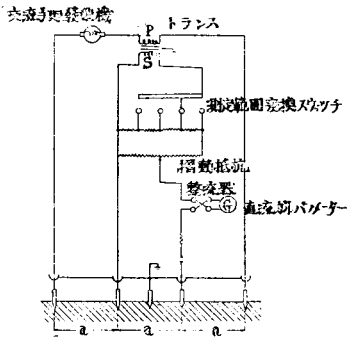
ものであり、図-5は同様に含水比 123%迄乾燥せしめたものである。

2. 現場に於ける測定

a) 現場に於ける測定装置及び測定方法

現場測定は比抵抗法に依る電気地下探査の装置及び方法を応用した。吾々は4極法と同様の電極配置を用い、測定装置には横河製 L-10 型メガーを用いた。比抵抗測定の原理は周知の如く2本の極棒から大地に電流を流して電場を作り、或る2点の電位差を電位差測定回路には電流を流さずに測定し、電極の配置から比抵抗を算出するのである。この様な方法で電位差を測定する理由は前述した接触抵抗の影響を除く為である。L-10 メガーでは手廻交流発電機に依り大地中に電場を作り、電場と逆の電圧を電圧電極に与え、検流計に依り電圧測定回路の電流を零ならしめて電圧を測定する様になっている。電極の配置は図-6 の如く4本の電極を等間隔 a に配置し(吾々の場合には深い処の影響を少なくするためなるべく a を小さくした)外側の2本を発電機につないで電場を作り、内側の2本で電圧降下を測定した。中央の電極は装置の接地に用い

図-6 L-10 メガー結線図



る。この様にして測定すると、電極が点電極と仮定出来、土が半無限に一樣な電気的性質を有するものであれば、土の比抵抗は次式<sup>2)</sup>で算出出来る。

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} = 2\pi a R \dots\dots\dots(2)$$

$\rho$ :比抵抗 ( $\Omega\text{-cm}$ ),  $a$ :電極間隔 (cm),  $V$ :電圧電極間の電圧降下 (Volt),  $I$ :電流電極間を流れる電流 (Amp.),  $R=V/I_0$

比伝導度は  $\rho$  の逆数を取れば良いのであるが吾々の場合は測定装置がメガーであるため  $V/I=R$  が直読出来、 $a$  を一定にしておけば  $\rho$  と  $R$  は比例するから便宜上  $R$  を測定した。

ローラーの効果はせいぜい 50~60cm の深さ迄しか及ばぬと考えられるから、測定にもこの点の考慮を要することは前述した通りである。即ち極棒の間隔をなるべく近づけ深い部分の影響を少なくする必要があり、吾々は  $a=30\text{cm}$  以下で測定を行つた。又電極を打込む深さは  $a/20$  迄を点電極と考えられる深さと云われ

ているが、吾々の実験に依れば  $a/10$  位迄は実用上点電極と考えて差支へないと思われ、又  $R$  のみを問題とするならば、打込み深さと電極間隔を一定にしておけば  $\rho$  を計算する際の常数が変わるのみであるから差支えない。

尚土の比抵抗が非常に大きく電極間隔がこの程度の大きさでは装置の関係で測定不可能の場合に、電極間隔を拡げることは前述の理由で面白くないので、次の様な方法を取れば良い。即ち図-6 の電圧電極のうち何れか1本を遊ばせて、アース用電極と他の電圧電極との間の電圧降下を測定する。この場合は測定する電圧降下は前の場合の半分になるから比抵抗<sup>3)</sup>は

$$\rho = 4\pi a R \dots\dots\dots(3)$$

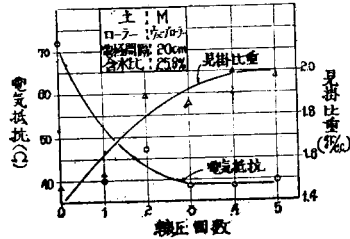
となる。但し文字は(2)式と同じである。

測定可能な  $R$  は L-10 では最大 300 $\Omega$  であるから  $a$  が同じであればこの方法に依り前述の方法の2倍の  $\rho$  迄測定可能になる。又比抵抗の計算は少し複雑になるが電圧電極を近づけて測定することも出来る。吾々の場合の如く  $\rho$  の絶対値を問題とせず、その変化を問題とする場合には前述の如く電極の配置を一定にしておけば良い。この意味から電流電極を深めに打込むことも考えられるが、この方法は測定に要する時間及び手間を増すことになるから感心出来ない。

b) 現場に於ける測定結果

上述の方法に依り現場測定を行つて、図-7、図-8、図-9 の如き結果が得られた。即ちこれらは何れも見

図-7 現場に於ける測定結果



掛比重及び電気抵抗 ( $R$ ) と軋圧回数との関係であるが、何れの場合も見掛比重の変化と電気抵抗の変化と

図-8 同上

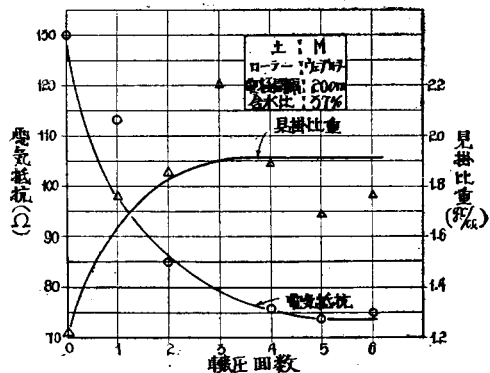
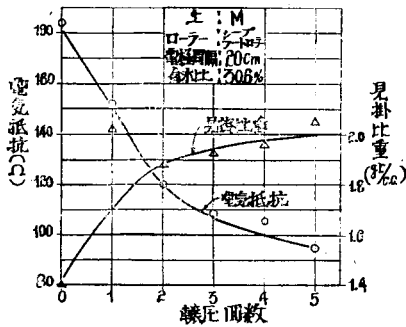


図-9 現場に於ける測定結果



は良く対応し、見掛比重に輾圧に依る変化が少なくなった（輾圧効果が減少した）場合には電気抵抗の変化も減少している。逆に電気抵抗の変化が無くなれば輾圧効果も無くなつたと考えても良いものと思われる。これらの結果は何れも昭和 25 年 8 月岩手県山王海に於ける農林省の灌漑用土壌現場に於て測定したものである。この測定に於て見掛比重は土中に約 10cm 程度の深さの小さな孔を掘り、その中の土の重量及び乾燥砂に依りその容積を測定して算出し、電気抵抗は前述した装置に依り図-6 の電極配置で  $a=20\text{cm}$  として測定したものである。比抵抗又は比伝導度を用いない理由は、土質及び含水量等に依り比抵抗等の絶対値は違ふ故、これを計算しても大して意味が無く、前述した如く吾々は輾圧に依る変化のみを問題としたからである。又電気抵抗の測定は輾圧面上の同一点で、ローラーの足に依る凹凸部を巾約 40cm 程度削り取つた後行い、10cm 程度電極棒の位置を動かして少くとも 2 回の測定を行つてそれらの平均値を採つた。尙この実験に用いたローラーは図-7、図-8 は齋藤式 Wave-Roller、図-9 は鹿島式 Sheep-Foot-Roller であり、それらは表-1 に示してある。

表-1 現場実験に使用せるローラー

	名 称	齋藤式 Wave-Roller	鹿島式 Sheep's Roller
胴	直 径 (cm)	120	100
	長 さ (cm)	40×3	120
	容 量 (m <sup>3</sup> )	0.45×3	0.85
脚	長 さ (cm)	6	10
	接地面積 (cm <sup>2</sup> )	5×12=60	5×12=60
	本 数 (本)	32×3	84
重 量	自 重 (t)	1.0×3	1.5
	附加荷重 (t)	1.2	1.7
	計 (t)	4.2	3.2
接地圧力(kg/cm <sup>2</sup> )		7.8	7.6

c) 現場測定結果に対する考察

前掲の図-7、図-8、図-9 に明らかな如く、山王海附近の土は、土取場の相違その他で、その比抵抗の絶対値は相当違つている。而し輾圧に依る見掛比重の変化と電気抵抗（又は比抵抗）の変化とは良く対応しているから、輾圧に依る電気抵抗の変化を知れば輾圧効果の有無は直に判定し得る。然らばこの方法で見掛比重の絶対値を推定することが出来ないかと云うと、比抵抗又は比伝導度の絶対値に依つて推定することは前述した理由即ち土質、含水量等に依りそれが大きく変ることを考えれば不可能に近いと思われる。而し前掲の現場測定の結果を見ると、土の見掛比重推定に有効と思われる次の如き傾向が見られる。

この実験に用いた土は何れも盛土直後の見掛比重は 1.2~1.4 で輾圧を 5~6 回行つた後には 1.9~2.0 となつて変化は殆ど無くなる。これに対し電気抵抗の減少（電極間隔  $a$  が一定なる故又比抵抗の減少とも考えられる）は大体最初の 55% 程度であつて大体一定している。即ち見掛比重の変化も殆ど一定しているに対し、電気抵抗の変化の割合も殆ど一定している。この傾向は筆者等が先に神奈川県相模原の水道用貯水池現場で測定した結果にも現われた。これらの結果から考えると或る程度データの数が無ければ断言出来ぬことではあるが、電気抵抗の変化の割合から見掛比重を推定することが出来るのではないかとと思われる。

3. 結 論

以上述べたことをまとめ、吾々の方法と見掛比重を現場で直接測定する方法との得失を比較して見る。

電気伝導度（又は電気抵抗）を用いる方法の利点

i) 測定が短時間に行えること

予め絶縁板等に一定の電極間隔の孔を空け、この孔に電極棒を差込む様にすれば、1 回の測定は 1 分以内で出来る。又測定と同時に輾圧効果の有無が判明する。これに対し見掛比重の測定には相当の時間を要す。

ii) この方法に依れば或る範囲の平均値が出ること  
電流の流れる部分はすべて測定値に効いてくるわけであるが、実際には電流密度の大きい電極附近の土の電気的性質の平均値が効いて来ることになる。これに対し見掛比重の測定は限られた小さな場処（孔を掘つた場処）の値しか分らず、このため石等の混入に依り大きく影響される。

iii) 電気伝導度（又は電気抵抗）の変化の割合が見掛比重（又は乾燥密度）の変化の割合より大きいこと  
土質に依りその大小はあるが大體この傾向は正しい様である。それ故測定が容易になる。

## 電気伝導度に依る方法の欠点

## 1) 見掛比重の絶対値がはつきりわからぬこと

これは前述した如く変化の割合をとらえれば或る程度の推定は可能と思われる。而しデータが足りず現在は余りはつきりと結論を出せぬのが残念である。

以上の如き長所及び短所を持つているが、手軽に測定出来、又輾圧効果をすぐその場で判定出来る点が大きな特長である。尙輾圧に依り土中の空気が無くなり土粒子間が水で飽和した状態になつても、電気伝導度の変化は殆んど無くなる。而し実際問題としてこの様な土を締固めることは意味が無いが、この様な場合にも電気伝導度に輾圧に依る変化が無くなれば輾圧効果は無くなつたと判定して差支えない。又ローラーに依る輾圧のみでなく、すべて土の見掛比重或いは乾燥密

度が変わるものであれば、それがゴムタイヤ等に依るものでもこの方法で測定出来る。

末筆ながら終始御指導をたまわつた最上教授始め現場測定の際非常に御世話になつた山王海関係の方々ならびに相模原関係の方々へ厚く御礼申し上げます。

尙本研究は文部省科学研究費に依るものゝ一部である。

## 註

- 1) Frank, Wenner: Bulletin of the Bureau of Standard; Vol.12, July, 1915.
- 2) William, R.Perret; "Electrical Resistivity Exploration" Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, U. S. Army, Bulletin No.33, Sept. 1949.

(昭. 26.1.8)

UDC 627.35:621.869.6

## 唐津港石炭積出施設工事報告

正員 佐田悦二\*

REPORT OF THE CONSTRUCTION WORK OF COAL  
LOADING FACILITIES AT KARATSU PORT

(JSCE May 1951)

Etsuji Sada, C.E.Member

**Synopsis** This report is about the plan and execution for coal loading facilities at Karatsu port, following to

1. Plan of the coal loading facilities.
2. Design of Quay wall & coal loading equipment.
3. Construction works and expenses.

緒言 唐津港は九州西北部の要港で大陸に最も近く古くから大陸交易の基地としてその名“唐の津”として歴史上幾多の伝説や古蹟に富んでいるが、又風光明媚の観光地としても有名である。本港は背後に唐津、杵島両炭田を有し、石炭積出港としては明治初期以来相当古い歴史を有しているが、僻地であるため炭田の開発が遅れ従つて港灣施設も何等近代的なものはなく徒らに今日迄放任せられていたのである。然るに戦後政府の経済復興5ヶ年計画が実施せられ石炭増産政策の強行されるに及び、これが輸送に伴う港灣部門における所要施設の整備強化が必要となつたため本港に於ても昭和23年度より産業施設整備工事の名称の下に全額国庫をもつて改良工事に着手したのである。本文は昭和23, 24両年度工費約14,000万円をもつて差当り3,000t岸壁1バース及び石炭荷役機械を完成したのでこれが工事概要につき報告せんとするものである。

## 1. 整備計画の概要

整備計画は政府の経済復興5ヶ年計画の最終年度である昭和28年度の出炭目標に対する港頭積出量を推定し、これに要する一切の総合施設をなさんとするのである。即ち、

出炭目標を220万t、港頭積出目標120万tとなし、これが輸送の船種別区分は汽船積80万t、機帆船積40万tとする。このうち汽船接岸荷役は60万tとなし、沖荷役を20万tと推定した。

接岸施設としては3,000t級汽船2バース、延長220m 300t級機帆船6バース延長300mを造成するものとする。

荷役機械の所要設備能力としては3,000t岸壁に200t/hの能力を有するトランスポータークレン2基を据付け48万tを荷役せしめる外1,000t岸壁にラフエングクレン1基を据付けて12万t計60万tの汽船接岸機械荷役をなさしめる。機帆船用としては在来護岸にベルトコンベア2基、トリッパー4基を取付けて

\* 運輸省唐津港工事事務所長