

舗装路床土の一つの新しい含水状態推定法について

正員 植 下 協*

ON A NEW ESTIMATING METHOD OF MOISTURE CONDITION OF PAVED SUBGRADE

By Dr. Eng., Kano Ueshita, C.E. Member

Synopsis: Up to this time, we used to estimate the moisture conditions of paved subgrade by only empirical methods or theoretical ones containing incomplete assumptions. The author, who could not be satisfied with the old estimating methods, devised a new method which used many measurable boundary conditions, i.e. ground water level, width of pavement, moisture condition at pavement edges and others. By applying this method to a real paved subgrade, the author knew that its estimating result could agree better with the real condition in paved subgrade than the results by old methods.

要 旨 従来の舗装路床土の含水状態推定法は、単に経験的であったり、不十分な仮定をふくむ理論的取扱であったが、著者は舗装の巾員、気象条件、地下水位、地質状態を考慮に入れた推定法を提案した。この推定法を実在舗装路床土による実測結果と比較した結果、推定値はかなりよく実測値と合致しこの推定法の実用性をたしかめることができた。

1. 緒 言

今日の発達した自動車交通の下では、道路は高級舗装をもたずして満足な機能をはたすことができないことは日頃痛感させられているところである。ところで建設費の高い高級舗装を耐久적であらしめるためには、どうしても健全な基礎の上に舗装を設けねばならない。道路舗装が破壊する原因として舗装部分が悪い場合もあるが、それより路盤、路床の部分に原因する場合が多いようである。後者の原因で破壊するときの路床土は始めからその道路構造で不満足であるほど弱かった場合もあろうが、道路舗装後に弱くなった場合もかなりあると考えられる。

道路建設後、路床土が弱くなる原因として、路床含水状態の変化が考えられるが、含水比変化による支持力変化が必要舗装厚にどのようにあらわれるかは、**図一1**の説明図¹⁾によって理解できると思う。

ゆえに耐久的な舗装道路を建設するためには、路床土の舗装後の含水状態の変化をあらかじめ知ることがきわめて大切な問題となる。

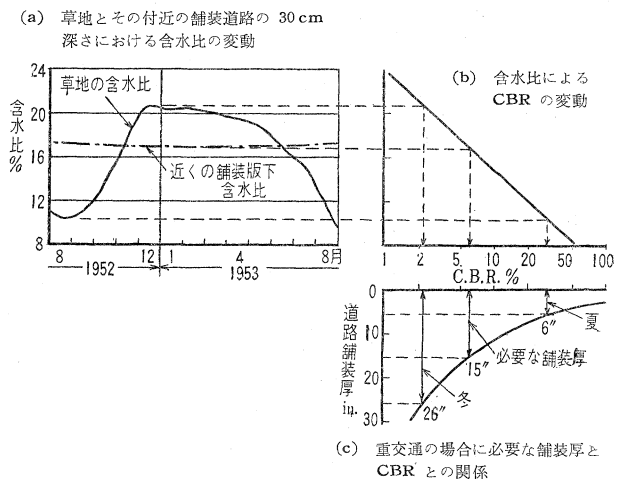
路床土は道路が舗装されるまでは、地表面からの水分の出入があるが、舗装後はその出入が絶たれるので一般にある一定の含水状態になると考えられている。その将来落ち着くべき舗装路床土含水状態の推定法が最近研究されてきているが^{2), 3)}、それらの方法ではまだ不十分と思われる点があったので、著者はさらに正確な推定法の研究を行ない、一応の目的を果たしたので以下に報告する次第である。

2. 従来の舗装路床土含水状態推定法

(1) 地下 1 m ぐらいの含水比による推定法

地下水位がかなり深く、土質が深さ方向

図一1 シルト質土の含水比の季節的変動とそれが重交通道路の必要舗装厚の推定値におよぼす影響¹⁾



* 京大工博 京都大学助教授, 工学部土木工学教室

に一樣なところでは、地表面より 1 m ぐら以下の気象の影響をあまり受けない所の含水比をもって平衡含水比とすればよいという考え方が⁴⁾ある。この考え方は上述の 2 つの条件が成立する箇所に限定され、そうでない場合、たとえばわが国のように地下水水位が比較的高い場合は、舗装路床土の平衡含水状態より、かなり湿潤側になることが多いと考えられる。

(2) 既設舗装道路から推定する方法

問題とする舗装道路と条件がほぼ等しい既設舗装道路が付近にあるとき、その既設舗装路床土の含水比によって平衡含水比を知ればよいという考え方が⁴⁾ある。しかし道路建設予定地の付近で、同じ環境の舗装道路がなければ推定できず、しかも既設舗装を一部破壊しなければならないから、わが国ではこの方法も利用しがたいと考えられる。

(3) 舗装が無限に広いと仮定し、土のサクシオンを利用する方法

路床土の平衡含水比を求めるために、Croney ら²⁾は道路の舗装が無限に広いと仮定し、かつ土のサクシオンという数値を利用して含水比を求める方法を提案した。土のサクシオンとは土が水分を保持する力を意味するが、Croney らによって次のように定義されている。

「地下水面より上にある土の小試料を攪乱を与えず、含水比変化を起こさせないように取り出して、外力をおよぼさない状態でその間げき水圧を測れば大気圧以下の値がえられる。その間げき水圧と大気圧との差をサクシオンとして定義する。」

推定したい路床土についてのサクシオン—含水比関係を実験的に求めておけば、次式により算出される路床土のサクシオンから含水比を推定することができる。

$$S = -u + \alpha p \dots\dots\dots (1)$$

ここに S : 土のサクシオン (g/cm^2), u : 間げき水圧 (g/cm^2), p : 上載荷重 (g/cm^2), α : 上載荷重がサクシオンに影響する率 (砂では 0, 飽和粘土では 1)

実際の道路は巾員が 10 m 内外で路肩を通しての水分の出入りがあるから、上述のような仮定に立脚するこの推定法では適合しないことがしばしば起こると考えられる。

(4) わが国の舗装道路の実態調査にもとづく方法

森 麟氏は東京付近の種々の環境と土質の既設舗装道路の路床土のサクシオンを測定し、平衡含水量に対応するサクシオンがどの程度のものかを調査した。その結果から、多少の安全率を考えてサクシオン 100 g/cm^2 に対応する含水比を設計含水比とすればよいと提案した³⁾。しかしその後の調査から、路床土が十分よく締まっている場合にはサクシオン 100 g/cm^2 よりかなり大きくなるから、必ずしも 100 g/cm^2 を標準にする必要はないと補足した⁵⁾。

しかしこのように道路の実態調査にもとづくとしても、一かいにサクシオンを 100 g/cm^2 またはそれ以上と考えるのは、個々の地下水水位や舗装巾の条件を入れていない点で不安がある。したがって 3. に述べるような、舗装巾、路肩の条件、地下水位などを考慮した含水状態の推定法が必要となってくる。

3. 舗装巾、地下水位、路肩の水分条件などを考慮した舗装路床土含水状態の推定法

ここに述べる舗装路床土含水状態の推定法は Croney らの方法²⁾を拡張して、さらに舗装巾、路肩の水分条件 (気象などによる条件) などを考慮に入れるようにしたものである。

舗装路床土の含水状態を正確に知るためには、舗装条件、地下水条件、路肩をとおしてうける気象条件、地質の条件などを考慮に入れて土中水流の基礎式を路床土について解かなければならない。土中水流の基礎式は連続方程式と運動方程式とから次のように導ける。

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_d \cdot w) = \rho \cdot (r_w \cdot K \cdot \nabla \phi) \dots\dots\dots (2)$$

ここに r_d : 土の乾燥密度, w : 土の含水比, r_w : 土中水の密度, K : 土の透水性係数, ϕ : 圧力水頭と高度水頭の和 (総水頭), である。

路床土の一般の含水状態に対しては、(2)式を境界条件にあわせて解かなければならないが、この式を厳密に解くには、透水性係数 K が含水比、土質、土の密度などによって変化するので、現在の段階で正面から解くことはきわめて困難である。しかし、われわれが知りたいと考えている舗装路床土の含水状態を時間の観念をぬいて極限值だけで知りうればよいとすれば、透水性係数が一様で、かつ定常状態であると仮定して解けば一応の目的を達することができる。そのような立場に立てば、(2)式は

$$r^2\phi=0\cdots\cdots(3)$$

となり、この式を問題とする舗装路床土において、路肩の乾期または雨期の平均的境界条件と地下水位の条件にあわせて解けばよいこととなる。

(3)式による路床土含水状態の推定法を具体例によって説明してゆく。

道路の舗装巾が7m、舗装重量が50g/cm²、地下水位がG.L.-2.00mであるとし、路肩付近はたえず湿潤状態(路肩における土中水負圧が0g/cm²、道路として一応考えられる最悪の路肩条件)であると仮定する。

この条件で(3)式をとくと、レラクゼーション法⁶⁾、または電氣的相似実験法⁷⁾によって、路床土の地下水位を基準とした総水頭分布が図-2のように求められる。次にこの総水頭分布から各位置における位置の水頭を差し引けば、図-3のように土中水負圧分布を得ることができる。この土中水の負圧分布自体が路床土の含水状態をあらわす一つの表現法であるが、これを土の支持力と直接関係の深い含水比によって表現するには、次のようにすればよい。含水比を推定すべき位置で、土中水の負圧と上載圧力がわかれば、Croneyらによる関係式

$$S = -u + \alpha p$$

によって、土のサクションSを計算する。土のサクションと含水比との関係は実験的に容易に求められるから⁸⁾、その実験的關係を用いてサクション値を含水比に換算すればよい。サクション含水比関係曲線の一例を図-4に示す。ここで砂は $\alpha=0$ 、砂質ロームは $\alpha=0.5$ 、粘土は $\alpha=1$ とすれば、図-3の負圧分布図から、それぞれの土に対する等サクション線図が図-5のように画ける。舗装を雨期に行なったとすれば、舗装板下では乾燥過程をたどって平衡含水比状態となるの

図-5 舗装巾7m、地下水位G.L.-2m、路肩の土中水負圧0g/cm²の条件における $\alpha=0$ 、 $\alpha=0.5$ 、 $\alpha=1$ の3種の路床土に対する等サクション線図(舗装重量50g/cm²、土の見掛密度1.5g/cm³)

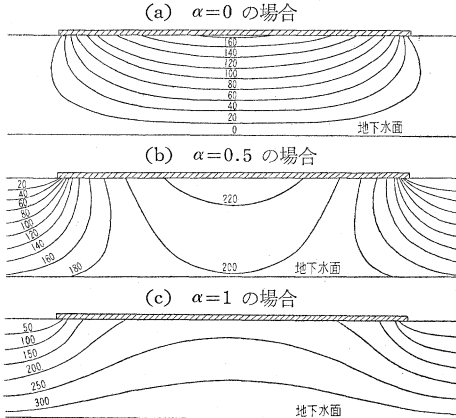


図-2 舗装巾7m、地下水位G.L.-2m、路肩の土中水負圧0g/cm²のときの路床土における地下水面を基準とした総水頭分布図

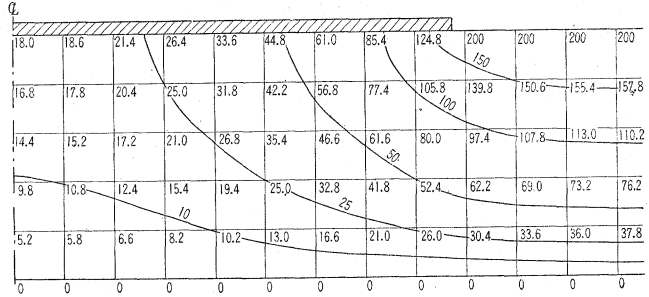


図-3 舗装巾7m、地下水位G.L.-2m、路肩の土中水負圧0g/cm²のときの路床土における土中水負圧分布図

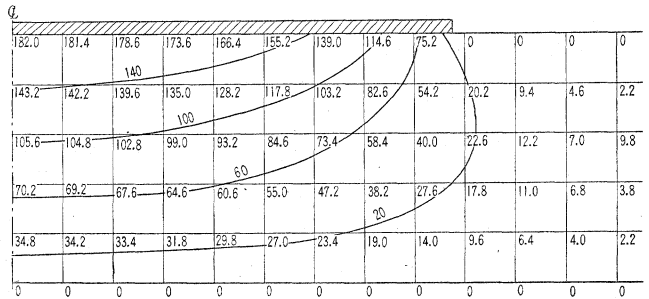


図-4 含水比分布の推定に利用するサクション-含水比関係曲線(砂、砂質ローム、粘土の代表的例)

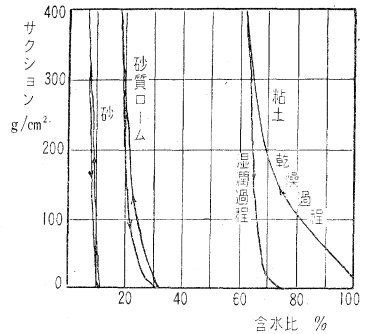
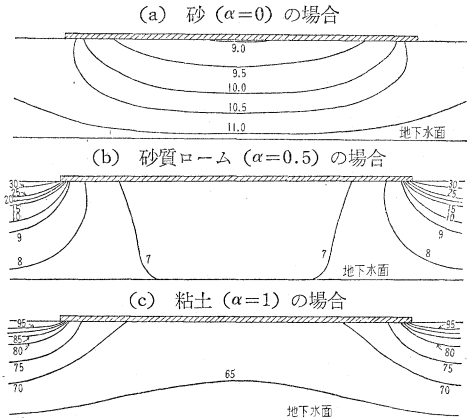


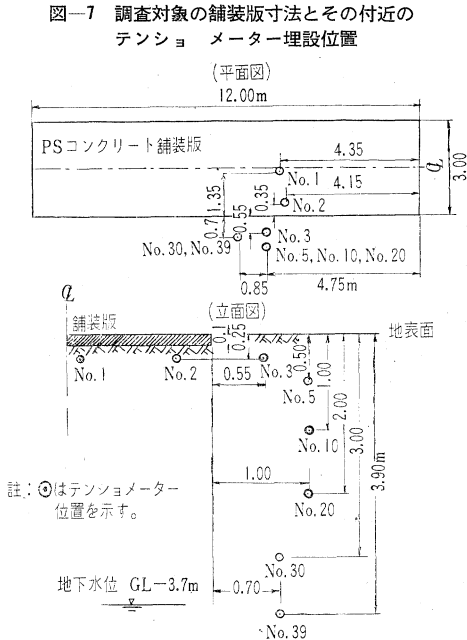
図-6 舗装巾7m、地下水位G.L.-2m、路肩の土中水負圧0g/cm²の条件における砂($\alpha=0$)、砂質ローム($\alpha=0.5$)、粘土($\alpha=1$)の3種の路床土に対する等含水比線図(図-4の乾燥過程を利用)



で、図-4 の乾燥過程における関係曲線を用いて含水比に換算すれば、それぞれの土に対して 図-6 の等含水比線図を得ることとなる。

4. 本推定法と実測値の比較

本推定法を京都大学構内に設けられた PS コンクリート試験舗装版を利用して検討した。対象とした試験舗装版の寸法を 図-7 に示した。図-7 には、路肩の条件ならびに実際の舗装路床土中水圧状態を調査する目的で埋設したテンショメーターの位置も記入しておいた。この付近の地質状態は 図-8 のごとく、地表から 2.25 m まで砂礫層、2.25 m から 3.30 m までローム層、3.30 m から 3.50 m まで砂礫層、3.50 m から 4.10 m まで粘土層、4.10 m から下が細砂層となっている。このような地質の場合、地表から地下 2.25 m



まで埋設したテンショメーターの位置も記入しておいた。この付近の地質状態は 図-8 のごとく、地表から 2.25 m まで砂礫層、2.25 m から 3.30 m までローム層、3.30 m から 3.50 m まで砂礫層、3.50 m から 4.10 m まで粘土層、4.10 m から下が細砂層となっている。このような地質の場合、地表から地下 2.25 m

図-8 調査地点の地質状態

深度m	土質名	テンショメーター設置深度
1.00	砂	← No. 3
		← No. 5
		← No. 10
2.00	礫混り粗砂 (仮地下水面)	← No. 20
		2.25
3.00	砂質ローム	← No. 30
	砂礫	
4.00	粘土	← No. 39
	細砂	

までは、ほぼ一様の透水係数と考えられるが、2.25 m から急に透水係数の小さい粘土ロームとなるために、実際の地下水位は深度 3.7 m にあるにもかかわらず、地表からの透水の問題では、深度 2.25 m に仮の地下水面があると考えなければならない。このことは土質調査時に 2.25 m から出現した粘土ロームの含水比がきわめて高かったことによって裏づけられる。この推定では、この付近の気象条件（路肩における水分環境条件）を考慮に入れるため、まず舗装のない裸地で深さ方向の土中水圧の変動状況を調べたところ、図-9 のようであった。

3. では、この気象条件を路肩付近が常に飽水している状態（土中水負圧が 0 g/cm² の状態）であると簡単に仮定したのであるが、ここでは現実の状態を正確に解析するために、舗装前に測定可能な土中水圧変動限界を条件として入れることとした。図-9 の土中水圧分布は地表付近を除けば、破線で示した直線 I、直線 II の両限界線で近似的に示すことができる。これにより、2.25 m の仮地下水面を基準とした各深度の総水頭分布は、湿潤限界と乾燥限界の場合に対して 図-10 の直線 I、直線 II のように近似できることとなる。これによると地表における仮想限界気象条件を、湿潤時には総水頭 211 cm（負圧 14 g/cm²）、乾燥時には総水頭 119 cm（負圧 106 g/cm²）として路床土内部における

図-9 自然地盤における土中水負圧変動の限界

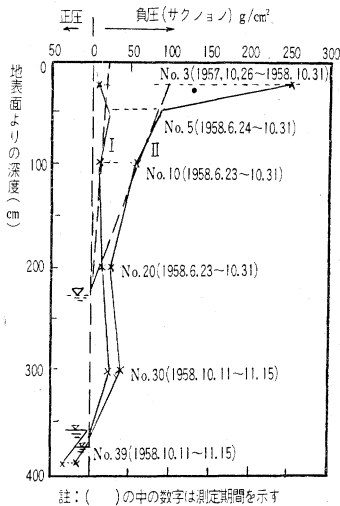
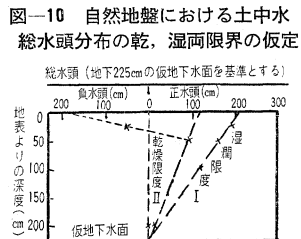


図-10 自然地盤における土中水総水頭分布の乾、湿潤限界の仮定



註：() 中の数字は測定期間を示す

図-11 湿潤限界における総水頭分布と等水頭線および流線

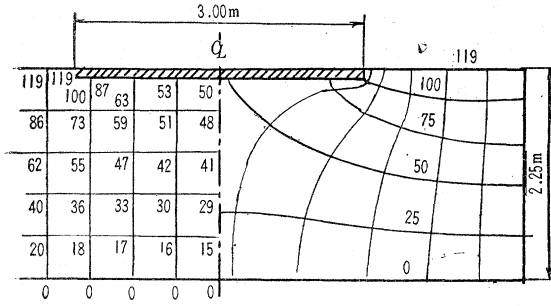


図-12 乾燥限界における総水頭分布と等水頭線および流線

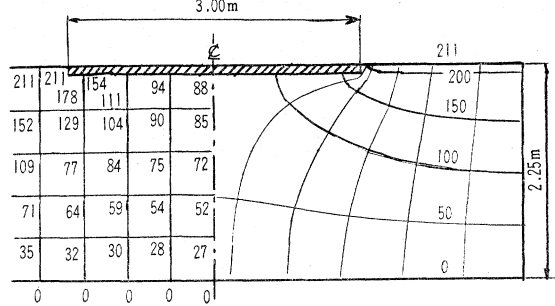


図-13 湿潤限界における負圧(サクション)分布と等負圧(サクション)線

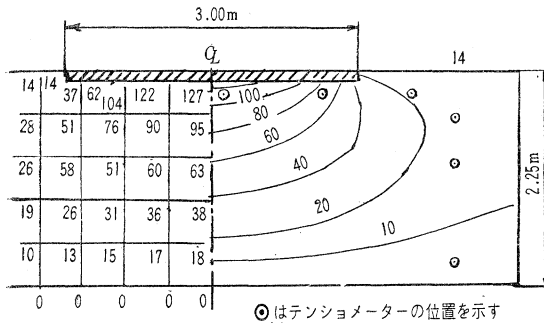
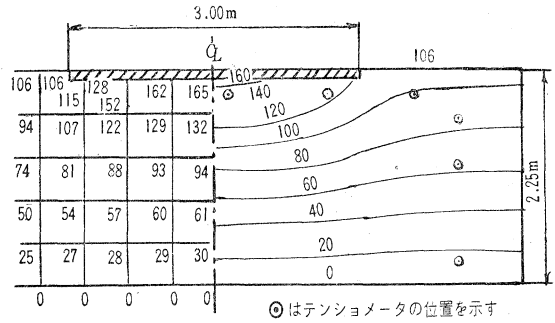
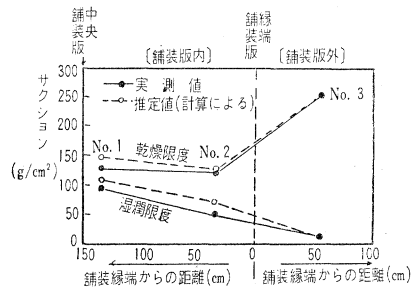


図-14 乾燥限界における負圧(サクション)分布と等負圧(サクション)線



湿潤,乾燥両限界の含水状態を推定することとなる。以上のような路肩における仮想気象条件をもち,地下2.25mに仮地下水面をもつ自然地盤に,巾員3.00mの舗装を行なった場合について,レラクゼーション法を利用して,湿潤限界と乾燥限界に対して,土中水の総水頭分布を(3)式の関係でとくと,図-11,12に示すような総水頭分布,等水頭線,および流線の図が得られる。これらの図より両限界の舗装路床土の負圧状態を示せば 図-13,14に示すような負圧分布および等負圧線の図が得られる。ここで問題にしている路床土は砂質土で $\alpha=0$ と考えられるから,図-13,14はそのまま乾・湿両限界のサクション分布,等サクション線の図を示すこととなる。これらの結果から舗装版下2箇所に埋設したテンショメータ No. 1, No. 2 (図-7 参照)位置の負圧(サクション)の両限界値を推定し,実測値の両限界値(1957年10月26日より1958年10月31日までの限界値)と比較してみると 図-15に示すようになった。実測値の方が低い目の値となっているのは舗装版直下に5cmの厚さで設けられた砂利路盤を無視して解いたためと考えられるが,この程度の誤差はあっても,従来の方法では困難であった推定が,かなり正確にできたと考えられる。

図-15 推定限界サクションと実測限界サクションの比較



5. 結 言

以上,舗装路床土の将来の含水状態を推定するために著者の試みた一つの新しい方法について述べた。すなわち従来の舗装路床土含水状態推定法は単に経験的であったり,不十分な仮定をふくむ理論的取扱であったので,著者は舗装の巾員,気象条件,地下水位,地質状態を考慮に入れた推定法を提案した。この推定法を実在舗装路床土による実測結果と比較したが,従来の方法よりすぐれた推定ができた。気象条件をこの推定法に正確にとり入れるためには,道路をつくるまでの相当期間,道路建設地点で地中深さ方向の土中水圧分布状態を調べて,路肩における仮想限界気象条件を求めなければいけませんが,そのような調査が困難なときは,路肩付近では飽水しているという状態を道路が遭遇する最悪条件として舗装路床土の含水状態を求めておけば十分な設計ができると考えられる。

なおこの報文は京都大学審査学位論文「路床土の含水状態とその支持力に関する研究」の一部で、終始御指導をいただいた京都大学教授 村山朔郎博士に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Lee, A.R. : Recent research on some problem in the construction and maintenance of roads. Road and Road Construction Vol. 36. No. 423 pp. 77~84. (1958)
- 2) Croney, D. and J.D. Coleman : Soil moisture suction properties and their bearing on the moisture distribution in soils. Proc. 3rd Int. Conf. of S.M.F.E. Vol. 1, pp. 13~18. (1953)
- 3) 森 麟：舗装道路路床のサクシオンと含水量の実態調査，土と基礎，No. 15, pp. 28~31. (1956)
- 4) Road Research Laboratory (Dept. Sci. & Ind. Research) Soil Mechanics for Road Engineers. Her Majesty's Stationery Office, London, p. 385, (1952)
- 5) 森 麟：道路路床の設計支持力について（第2報），土木学会第12回年次学術講演会講演概要，p. 137 (1957)
- 6) 村山朔郎・赤井浩一：レラクゼーション法の滲透流の解法への応用，土木技術（昭和29年8月号），(1954)
- 7) 丹羽義次：滲透水流の電氣的計測について，土木学会誌 35 卷7号，pp. 310~312 (1950)
- 8) Croney, D., J.D. Coleman and P.M. Bridge : The suction of moisture held in soil and other porous materials. Dept. of Sci. & Ind. Research, Road Research Technical Paper No. 24, London. (1952)

(原稿受付：昭.35.1.22)