

路盤排水工法に関する調査研究

正 員 工学博士 谷 藤 正 三*

STUDIES OF SUBGRADE DRAINAGE

(JSCE. Feb. 1951)

Dr. Eng. Shozo Tanifuji, C.E. Member

Synopsis This report contains the principal point of the studies of the subgrade drainage among the various studies regarding to the subgrade on the view point of soil mechanics. In general, in the road construction methods in Japan, there is little consideration in the drainage construction. So that this paper declares the necessity of the perfect drainage construction and that reason.

要旨 本文は土質力学的観点に立つて路盤構築工法について行つた著者の実験研究の中、路盤排水に関する問題についてその大要を紹介するものである。主として路盤排水、地下排水中地下水位の低下、地下水流入路の遮断工法等について考察を加えている。

I. まえがき

道路築造において土の水分含有量は道路体の耐荷力を支配する。道路排水は路面排水、路盤排水、路床排水に分けられ最も重要且つ困難な問題は路床部の地下排水である。

一般に土の物理的性質は、その含水量により非常に変化する。含水量の増加につれて土粒子間の附着力、および摩擦抵抗が減少し、地耐力は急激に低下を示し粘土質系土のときは容易に流動および練上りを生じて、泥濘道路の出現を見るに至る。従つて路体の安全且つ十分な耐力を保つには、地表水と滲透水を出来るだけ速かに排除し、又凍結地方では毛管上昇水を阻止し、尙融雪期の泥濘化を防ぐには、地下水の低下を図る等、常に路体に必要以上の水を保たしめないようにすることが必要である。従つて路体の安定性を保つには次のことを考えなければならない。

(1) 土質、時にその滲透性と地層との関係、(2) 路面勾配、(3) 最大雨量、その回数、継続時間及び季節的特性、(4) 蒸発量、(5) 毛細管水及び重力水の特質並びに地下水位の高さ及び流水の状態、(6) 気象条件特に気温と凍結深さ。

これらの問題のうち、土の滲透性の大小と地層の厚さ、層の排列構成状態或いは地下水位的位置等により排水計画は根本的に変化する。適当な支持力を持ち、降雨によつて軟化、泥濘化もせず、乾期に砂塵を生じないし又、適当な透水性もあり、毛細管現象も少ない土としては大体砂質系を主として凝集性を附与する粘土質土

が若干混つているものがよく、粘土5~10%、シルト10~20%、砂の全量70~85% (内0.42mm以上の粗砂35~50%)の配合で有効径0.01mm、不均等係数15以上、液状限界14~25、塑性指数8以下、収縮限界14~20、速心含水当量15以下であるとされている。

道路のように交通荷重によつて圧密された現場における土では水の透水性は非常に複雑になる。天然地盤における透水性は一般に不透水土と考えられているものであつても、路体の砂利、砂、土の混合土の透水性に比較すると揃き固められた荒川砂の程度(10^{-3})の位数であつて比較にならない程透水的性質がすぐれている。それは組織、構造の差異および植物根等の影響によるものである。結局路体の安定は表面排水の迅速、路体滲透水の除去、地下水の低下に帰せられる。

II. 路面排水

降雨および融雪水の如き地表水は速かに排除し、土への滲透水量を出来るだけ減少させ、容易に乾燥状態に導いて常に支持力を保持させるようにしなければならない。交通安全という点からみると、路面勾配を大きくすることは望ましくないことであり、又路面材料によつては土粒子の大きさ、形状、比重等を考慮して路面材料が限界掃流力を越した水流に洗い流されないようにすることが必要である。掃流力の限界から安定勾配を求めると次の如くなる。

$$I = \frac{f(1-p)(\omega - \omega_0)\lambda \cdot dm}{\omega_0 l f}$$

こゝに I : 安定勾配 ω : 土の単位重量

f : 摩擦係数 ω_0 : 水の単位重量

p : 土の間隙率 dm : 土の平均粒径

λ : dm が運動を始めようとする土の層厚より小さいときの層数

上式は等速流の場合の水の重量の流れの方向の分力

1) 谷藤「土壌混合物の透水性に関する研究」内務省土木試験所蔵報 第24号 附22.10

* 建設省土木研究所技官

即ち掃流力と路面の摩擦抵抗とが釣合を保つ限界条件から導いたものである。

薄層流については従来殆んど本格的な研究が行われて居らず、久野博士は chezy 型の公式 $v=C\sqrt{HI}$ を工藤技師は L. Gurard が路面排水に対して実験的に与えた $v=C\sqrt{HI}$ を用いて路面排水を論じている。石原博士は水深 $H=0.4\sim 1.2\text{cm}$ 、勾配 $I=1/100\sim 1/1000$ の範囲の薄層流について基本的実験を行い、指数公式 $v=CH^\alpha I^\beta$ の C, α, β を実験的に検討した。これに Fortier 及び Scobey 両氏の実測値を利用し、又 Etcheverry が土層に応じて、許容平均流速を定めたものに、適用してみると土砂道が $1/25$ 程度とされているのは大体妥当であることが明かになった。

III. 路盤排水

毛細管上昇水或いは一般の重力水のために含有された水分により、路盤或いは路床が常時如何なる影響をうけているか、又いかにしてその被害を除去するかについては設計上あまり考慮されて来ていない。

滲透水の流動に抵抗する力は路盤構成粒子の表面の摩擦力和その中の空気の影響で、後者はとくにその影響が著しい。例えば水が連続して滲透する場合には、その層の下にある空気の抜道がないと、圧力は著しく高まつてくる。粒子の粗い土では、上から水が滲透するに従つて空気はその附近で最も大きい隙間に押し込められ、次第に圧力が増し、滲透圧力と平衡状態に達する。それがため路盤内には滲透がとまつて細かな間隙において毛細管力の大きいものだけ、毛細管的滲透を流行する。若し大きい間隙に集積した空気の圧力が遂に大気圧に等しくなるか、或いは交通荷重による衝撃力のために平衡を破る圧力が伝達されると噴出することも起り得る。急激に降雨のあつた場合、砂利道或いは土砂道路面に一時滯留水を生じ、遂次滲透してゆく状態はこれを示す。こうして路盤及び路床土は遂次飽和状態を増してゆき路盤、路床土の膨脹、軟化が起る。いづれにしてもこの土中の水分及び間隙空気は、有害な性質を有するものであるから普通の土道においては、排水溝の工作に対しては、空気抜管を考慮しておくことが必要である。

長期に亘つて路盤および路床土が乾燥状態を続け、吸着水膜の被膜が破れそうになつたときには被害はとくに大きい。更に安定工法を施した路盤においても、路床が透水不良の土質より成るときは、路盤と路床と

の透水性の相違により、いろいろの現象があらわれて来る。若し路床の滲透速度が路盤のそれより小さいときは、路盤内の滲透水は側方流動を始める。それに対して側方流動抵抗が大きいと、路床面に滯留し、路床土を弛め、支持力を失わせて、路盤の耐力も低下し、遂には交通荷重に対して、道路破壊を招くに到る。今砂利道で降雨により 30mm の水頭を生じた場合を考えてみる。路床は転圧仕上げをしたために不透水層を構成していたとし、路盤の厚さを平均 15cm、透水係数を $1.83 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$ とすると、滲透水量は Darcy の公式により、

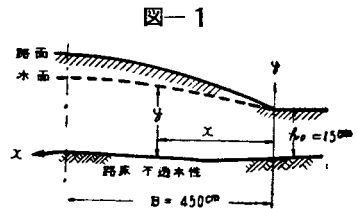
$$q_0 = k \frac{Db}{\rho} = 1.83 \times 10^{-3} \times \frac{3}{15} = 3.66 \times 10^{-5}\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$$

この水量は路面全体から滲透して路床面に達するが、溝工法で構築されて、路床部分の排水が不能場合には漸次滯留し、路盤は飽水状態になる。これを速かに除去する工法を見出すことが重要であるが、今これを排水するために、路肩部分の土砂が十分排水良好な材料からなる処置を講じたとすると、任意点 x には路頭部からその点までの全滲透水が集まつて来るものと考えると水面勾配は (図-1)

今 $h_0 = 15\text{cm}$,

$$y^2 = h_0^2 + \frac{q_0}{k} (2B - x)x$$

$B = 4.5\text{m}$ として砂利道路体から測方流動で水を流出さ



せるとすれば道路中央部に必要な水頭は、 $y = 201.8\text{cm}$ 。故に路床土が不透水性であれば路肩の排水は非常に少いわけであるから、路盤が間もなく飽水状態になつてしまう。今路盤と路床の間に十分つき固められた砂層 ($k = 8.09 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$) を敷いたとすると、路床部 58.5cm、路肩部 50cm、の砂層を舗設すれば排水は良好となる。山砂利の如き排水良く、耐荷力の大きいものを用いると、更に薄い層の施工で十分となる。徒らに路盤又は路床面を転圧することが必ずしも効果あるわけではなく、水との連関性を十分考慮して路盤工を構築することが必要であり、表面的に工費がかさんでも維持補修を考えて原価償却を計算すれば決して高価なものとなるとはかぎらない。盛土の場合においても多相の地層断面を通過するときの盛土部分は粘土質の如き不透水性土はなるべく築堤下部におき、上部程透水性土を置くようにすれば滲透水に対しては上部からの滲透水の排けを良くし、毛管上昇水に対して不透

2) 久野博士『路面流体力学』土木学会誌 Vol. 22 No. 11 昭・11
 3) 工藤久夫『路面縦断勾配の路面排水に及ぼす効果について』Vol. 22 No.1 昭和 11 年
 4) 石原博士『薄層流に関する研究』土木学会誌 Vol. 35. No.5
 5) 物部博士『水理学』

水性の粘土が水の上昇を阻止してくれるので路体安定上極めて有効である。

しかし地方によつては置換材料が容易に安価に入手出来ない地方もある。このときには路床部に横断盲暗渠を設けることは、排水のみならず、寒冷地では毛細管上昇水を阻止する上からも極めて効果的である。唯この方法で注意すべき点は次の如き点である。

(1) 不等沈下 (2) 土の微粒子による濾過材の空隙の閉塞 (3) 冬期濾過材内での流入水の凍結

つめる濾過材には硬質、耐久性ある石質からなる碎石、砂利、鉦箆等を用いることが必要で、粒度は吸収率の良い支持力の大きいものを選択しなければならない。暗渠の中は滲透量と透水速度から計算して滞水の無いよう、十分大きく採るべきである。今暗渠の単位長さに対する流入量を Q とすると、暗渠巾 b 、埋設管の深さ h の間には大体次の関係が成立つ

$$b = \frac{Ql}{p\alpha d^2 h}$$

l : 濾過材の平均厚 p : 濾過材の空隙率

d : 土粒子の有効径 α : $\frac{\mu}{\eta} \cdot \frac{p^3}{(1-p)^2}$

μ : 温度および粒子の形による係数、水の比重 1 とすれば $\mu=0.0084$

η : 水の粘性係数、20°C において 0.0101 (C.G.S)

今 $d=1\text{mm}$, $p=0.25$ の程度に濾過材の間隙が塞つたときを考えると $S=3.5$ となり $l=1.3h$ とすると最大流入量 1m^3 のときには b は約 40cm を要することになる。地下水位が高く、自由水面が路縁附近に接近しているとき、或いはシルト質土のように、毛管上昇力が強く絶えず過剰水分を含むとき、或いは路床土自体がかなりの透水性をもつていて下層に不透水性層があるとき等では置換工法や路床面の浅い盲暗渠排水では十分な路床排水は出来ない。路体全体の過剰水分を出来るだけ速かに除くことを考えねばならぬ。

IV. 地下排水

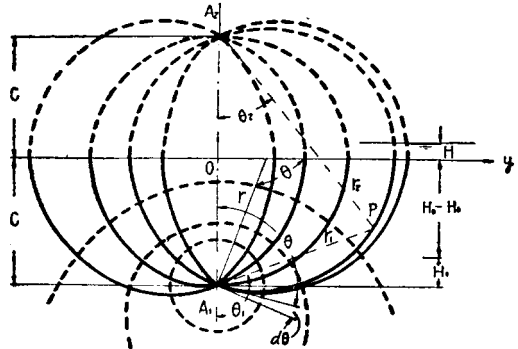
地下水は不透水層の勾配によつて溜り、或いは流動する。しかし流れているとしても個々の土粒子が極めて大きい抵抗作用をするから、その速度は非常に小さく 1 日数 cm という程度に過ぎない場合が多い。

路体内の地下水帯の水位変化は、土質の差異に応じて附近に大豪雨があつても、直ちに影響してくるとは限らず、非常に長時日の後に反応を起す場合も珍しくない。地層の傾斜の変化に伴つて路体内に溜地が生じて居たような場合には、暗渠埋設時には大量の流出を生ずるが、一旦吸水線迄低下すると、これからさきは水量は急に減少して、大豪雨があつても元の地下水位に戻ることは殆んどない。

丘陵地帯を通過する路線では地層傾斜が起伏に富んでいるから施工に際し滞水層を調査して対策を建てなければならぬ。層状地下水帯を横切つて施工する場合には、流入前に捕水溝を設けるとか、盲暗渠を構築して湧水を遮断してから、一般排水を強化すべきものである。暗渠に吸収される水分量を知るためには、予め暗渠を布設する箇所の土質、地質、地層の関係を考え、土粒の大きさ、地層の硬さ、及び土の透水係数を充分調査する必要がある。

暗渠間隔: 多雪地帯に於て融雪季長期にわたつて行われる融雪水又は雨季に滲透を続行する雨水について考える。道路面を縦断的に切断したときの断面を図-2 の如く座標系を定める。 A_1 点を排水管の位置とすれば図の様な仮想流出点 A_2 に対する流入点に当り、

図-2



路体内の流線及び等ポテンシャル線は次の写像函数で与えられる。

$$\omega = -m \log \frac{z-c}{z+c}$$

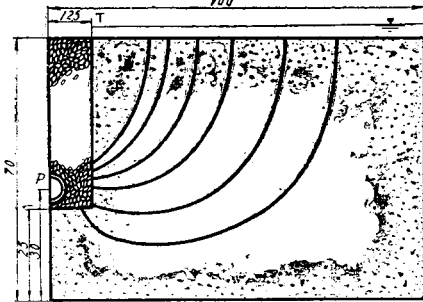
m : 流出点の強さ >0 , c : 排水管中心迄の距離,

水底面即ち y 面上の点 $(y, 0)$ の流速を $\theta/2$ と考え、有効水幅を $2B$, 即ち点 O の両側各々 B とすれば、排水管の単位長に流入する流量 q は

$$q = k \cdot H_0 \int_0^{\theta(B)} \frac{\tan \theta/2}{\theta} \cdot d\theta$$

著者が $k=0.155\text{cm/sec}$ の砂層を用いて行つた実測値の平均は $\theta=267\text{cc/sec}$ で計算値は 254cc/sec となり誤差は約 5% であつた。更に実際に暗渠を敷設した場合を考えて図-3 の如くするとそのときの θ は 658cc/sec となり (a) のときの約 2.6 倍となつた。これから考えて排水暗渠を砂利等の粗粒材中に埋め込むことは、細粒による排水管への流入孔の堵塞防止の出来る上に、排水効果を更に高め得るものである。砂層中の曲線は methylviolet B の水溶液を流して求めた透過水流の流線である。切取部或いは片切盛土地区には時々地山から湧水が見られる。夏季は消失している場

図-3
(b) 小砂利を用いた場合



所でも、融雪期或いは雨期には再び現われて、路体を軟化させ、交通障害を起させる場合が多い。土中の地下水水面の位置はソイルオーガーで土質調査を行えば容易に発見出来る。毛細管上昇力の極端に多い場合を除いては路体内における地下水水面の位置を低下させておくことにより、路体破壊の原因の主力を除去することが出来るが従来この様な場合に対する対応構法は殆んど行われていない。しかしこうした一時的工費の増大も年々の維持費の投入率から考えると極めて合理的且つ経済的な方法であることは論を俟たない。遮断暗渠は底部を不透水層に達することが出来れば最も合理的であるが、不透水層の深さにより工費上不可能な場合が多いのでかゝるときでも路面に対して毛管上昇水の影響が被害を及ぼさない程度に下げることが必要である。普通の土壌では路面下1.5~2.0m以上に地下水水面を下げておくことが出来れば大体大丈夫である。

Hopf 及び Freffty の理論によれば暗渠の上流及び下流側における地下水の上面が夫々流線 $\phi_1=Q_1$, $\phi_2=Q_2$ のとき暗渠より排出される水量 Q_1-Q_2 は

$$\frac{Q_1-Q_2}{Q_1} = \frac{H}{h_1}$$

となる。(図-4) これより路体の低下予定線に対して暗渠の深さ、位置を如何にすべきかが決定される。

土の種類によつて毛細管上昇高は極端に異なるので毛細管上昇限以上に暗渠だけで地下水水位を下げることは経済的に不可能な場合も多い。かゝる場合は置換材料を用いる工法と併用することを考えなければならない。地下水帯の深さが2m程度を限界点とするのが適当であろうと思われる。図-5は二、三の配置例を示す。

排水管の構造は、従来のように空手にしてそこから

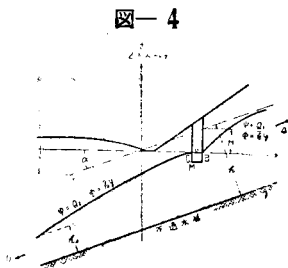
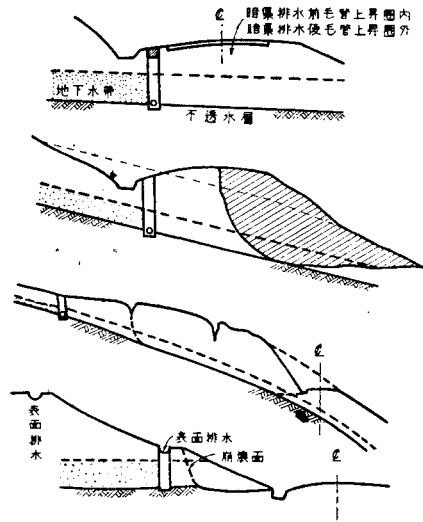


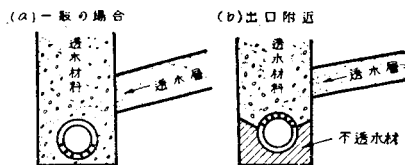
図-4

図-5



流入させることは好ましくない。透水材料を透過して来た水は出来るだけ均等に分布して管に入るようにし1箇所に集中して流速を増し、シルト、細粒砂等を流入させることは、極力避けなければならない。均一な流入には孔を持つ管を使用するがその孔の位置は配置場所によつて変える必要がある。図-6(a)は一般の場合で図-6(b)は出口付近で漏水等のため安定を害するのを防ぐための処置である。

図-6



V. 結語

農業排水については従来多くの理論的研究も行われているが、道路に適用するには土質構成の根本的相異によつてそのまま応用出来ないうらみがある。本文では主として現場的観察に基いて理論的検討を加えた。しかし結論は土質調査の完備ということにつきる。道路工事の良否は路盤の良否であり、それは又排水の完否で決まる。工費に制限されると眼につかぬ排水工事はとかく軽視される。その結果は我々の良く知る通りである。今後の工事は補修限界を決めた上で総合判定すべきである。

本研究に対しては松村所長の理解ある御指導と京大武井教授、近藤教授、石原教授の御激励を賜わつた。こゝに深く謝意を表する次第である。(昭.25.10.24)

6) Hopf, L und Freffty, E "Zeit Angw. Math. u. Mech, Bd. 1, S 290, 1921 Mushat;" p292 1937.