

東洋大 (正) 矢島幸一
(株)日さく 吉田 誠

はじめに

最近の新幹線建設工事において、新幹線のもつ高速性ゆえに山岳地においては、どうしても地下トンネルに頼らざるを得ない。しかしながら、そのトンネル掘削工事において、しばしば大湧水に見舞われ難工事をせねばならぬ例も多い。またトンネル掘削に伴い、上部地下水の水を引き込み、周辺地域が濁水を起こすという社会的な問題も発生させている。最も典型的な例は東海道本線の丹那トンネル(延長7,904m)で、大正7年に工事を開始したが、掘削が進むにつれて坑内湧水量が増大し、最大湧水時には100 m³/minもの量が湧出した。トンネル完成は昭和9年で実に16年もの工期を費している。最近の例では、現在工事中である上越新幹線、大清水トンネルの坑内湧水に伴い、付近の水上温泉の湧量が減少するという現象が発生している。このような背景をもとに、以下に本研究の目的を述べる。

目的

帯水層内にトンネルを掘削した場合、それまでダルシー則に従って層状流で流れていた地下水は、トンネルへの集水が起こることによって、その流速分布に影響を受けることが予想される。不圧地下水の帯水層を掘削した場合は集水暗渠と同様で、水面形変化や影響範囲等は水理学的に公式化されている。ここでは、被圧地下水の帯水層を掘削した時に、それに伴い浅層(不圧)、深層(被圧)地下水の流速分布にどのような変化が現われるか。また、トンネル掘削に伴う浅層地下水への影響は、浅部帯水層と深部帯水層との間に介在する不透水層からの漏水という現象を通して及ぶものと考えられ、この漏水量、またその分布状況を明らかにすることを本研究の目的とする。

方法

上述の目的を達成するために、有限要素法を用いて断面2次元のシミュレーション解析を行った。まず図-1のように3層(浅部帯水層、深部帯水層、その中間の不透水層)別に要素分割し、特に影響が大まないと予想される深部帯水層のトンネル付近は細分した。ここで、中央の逆三角形の要素がトンネルに相当する。この断面2次元要素においてラプラス方程式を解いた。

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad k_x, k_y: \text{それぞれ} x \text{ 方向, } y \text{ 方向の透水係数}$$

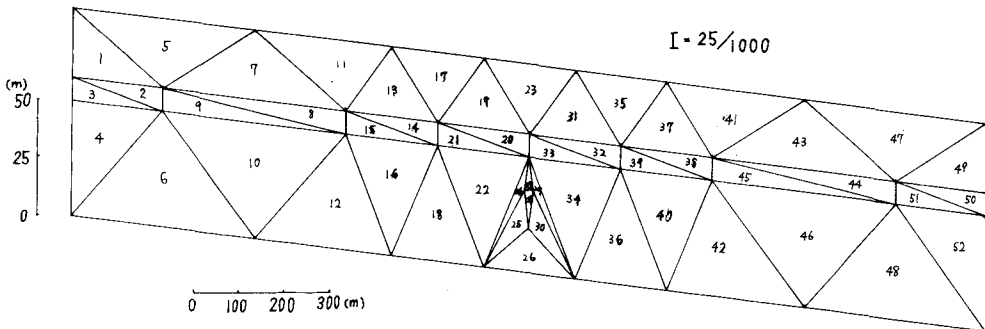


図-1 要素の分割図

境界条件は最上流、最下流の要素に流入、流出する地下水の流速を一定にした(透水層のみで上流 8.46×10^{-7} m/sec、下流 1.54×10^{-7} m/sec)。また透水係数は透水層を 1×10^{-5} m/sec、難透水層を 1×10^{-7} m/secとした。このような条件のもとに、トンネル湧水量 Q を与え、それに伴う流速分布の変化、漏水の状態を調べた(入力 Q は流速 Q を与え、正三角形近似したトンネルの各辺から一様に湧出していると仮定した)。

結果

Q が 8.89×10^{-7} m/sec と 8.89×10^{-6} m/sec の2通りの場合を計算した結果が図-2及び図-3である。図-2はトンネル湧水速度(トンネル内に湧出直前の流速を仮にこう呼ぶ)が 8.89×10^{-7} m/sec (流量に換算すると単位中あたり 2.8 l/min)の時の計算結果であるが、この場合はトンネルの上流側で下流に比べてかなり流速が大きくなっている。地下水を直接抜いている深層ばかりでなく、浅層でもこの現象を示しているのは興味ある結果である。漏水はトンネル直上部でややある程度である。また流線方向は、流速に大小の差はあれ、全天下流方向を示している。これはトンネル湧水量が小さいため、水位低下による地下水面の凹部は形成されていらないことを示していると考えられる。これに対し、図-3の湧水量が10倍の 28 l/minに行くと、前述のものとは非常に異なった結果が得られた。すなわち、上流側で流速が増大し下流側でもトンネルへ向って流れ込んでいる。これはトンネル直上付近の極度の水位低下によるものと考えられる。湧水量もトンネルを中心に増大し、トンネル直上部No.33の要素からは単位中あたり約 2.4 l/minとトンネル湧水量の10倍の水量が漏水している。このようにトンネル湧水量が多量の場合、かなりの量が浅層地下水からの漏水が期待されるような結果が得られた。

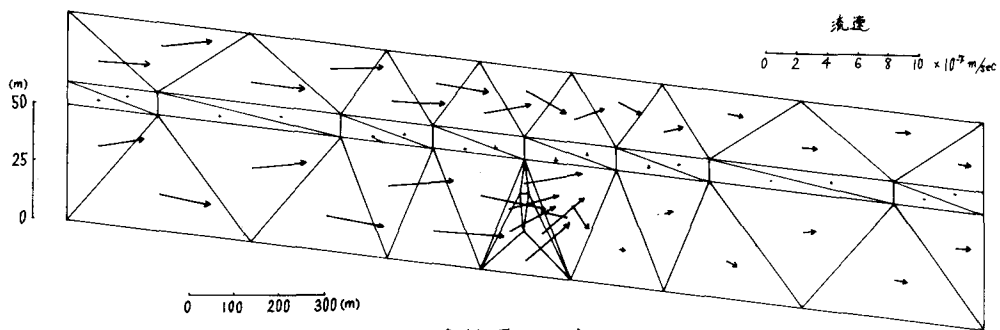


図-2 計算結果(その1)

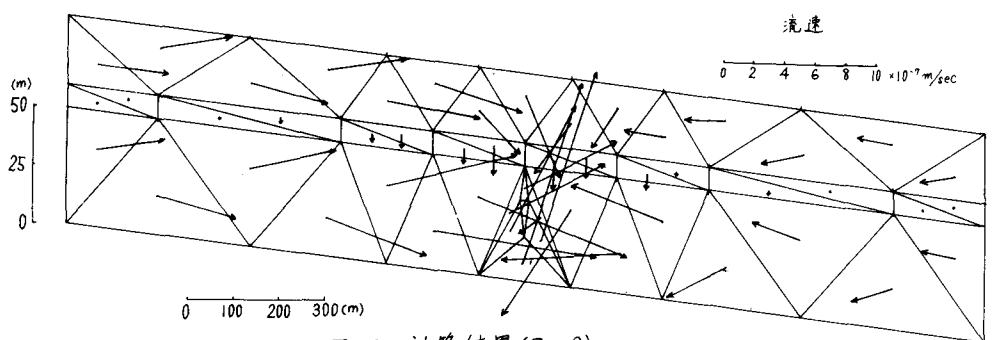


図-3 計算結果(その2)