

III-234 砂質地山におけるトンネル切羽の安定性に関する一考察

清水建設㈱ 正会員 国見 宏
清水建設㈱ 正会員 河田 孝志
岡山大学 正会員 河野 伊一郎
岡山大学 正会員 西垣 誠

1. はじめに

近年、首都圏を中心に、砂質地山において、NATMで施工されるトンネルが増加している。NATMは従来、砂質地山で採用されてきたシールド工法に比べて、経済的にすぐれた工法といえるが、切羽の自立性が不可欠であり、そのための補助工法として、薬液注入工法、圧気工法などの止水工法と、ディープウェル、ウェルポイントによる地下水位低下工法が用いられてきた。

この中でも、地下水位低下工法を用いることが最も一般的であるが、切羽の安定をはかるために地下水位を下げすぎて、切羽を乾燥させすぎても切羽の安定が得られないことが知られている。これは、切羽の安定が地山のせん断強度に左右されるが、地山のせん断強度が含水比によって変化し、最大せん断強度を発揮する最適な含水比が存在することによって考えられる。そのため、本論文は、地下水位低下工法を採用したトンネルにおける地下水位の変動ならびに切羽面の含水比の変化を、準三次元の地下水解析ならびに鉛直2次元飽和-不飽和浸透解析により求めた。さらに、不飽和砂の3軸試験を行い、含水比と粘着力、内部摩擦角の関係を求め、切羽の安定について考察を加えた。対象としたトンネルは、千葉県国分川分水路トンネル¹⁾である。

2. 成田砂層の物理的性質

試験に用いたのは、首都圏に広く分布する洪積世の成田砂である。首都圏に施工された砂地山のトンネルの大部分は、この成田砂層におけるものである。

成田砂の物理試験結果を表-1に示す。また、飽和-不飽和浸透解析を行うにあたり必要となるPFと体積含水率の関係（水分保持曲線）を、土柱法および改良型加圧法²⁾によって求めた。その結果を、図-1に示す。不飽和透水係数は、加圧型透水試験³⁾による透水試験結果と、Van-Genuchtenの方法によって求めた。図-2に間隙比0.74の結果を示す。

3. 地下水挙動

トンネル周辺の地下水挙動を解析するため、広域地下水の準三次元浸透解析⁴⁾を行った。不圧帯水層および被圧帯水層を網羅した準三次元地下水流の基礎方程式は、Dupuit-Forchheimerの仮定により、次のように書き表わされる。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[T_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right] = S(h) \frac{\partial h}{\partial t} + q \quad (i, j=1, 2) \quad (1)$$

この基礎方程式を基にした本解析手法の最大の特徴は、透水量係数および貯留係数が、水頭の関数として示される準三次元的解析であるとい

表-1 成田砂の物理定数

試試験項目		試験値
粒 度 特 性	礫分%	2.0
	砂分%	94.0
	シルト分%	3.0
	粘土分%	2.0
均等係数 D_{60}/D_{10}		2.50
比 重		2.67
間 隙 比		0.849~1.448

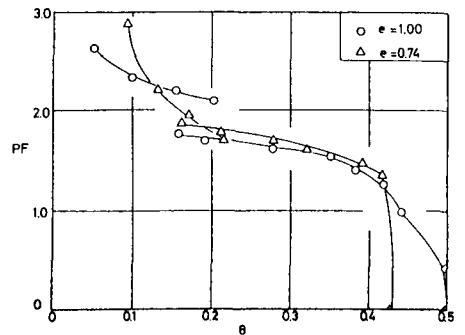


図-1 水分保持曲線

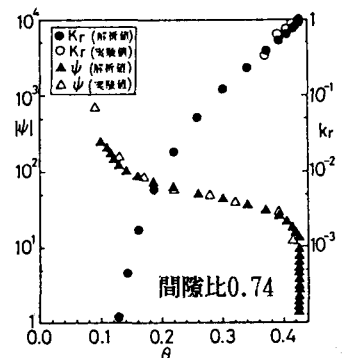


図-2 不飽和透水係数

う点である。

解析領域は、南北に1000m、東西に800mの範囲で、西側に坂川、江戸川を、東側を国分川に囲まれている。

図-3に施工前の観測井および民家の井戸の水位観測結果より作成した地下水位分布図を、図-4にB点における地下水位の経時変化を実測値との比較で示した。初期水位の解析値が低いのは、解析に用いた初期条件に設定した日時以前に揚水試験を行っており、その影響が表われているものと考えられる。しかし、全体的には解析結果は、実測値とよく一致している。

4. 切羽における土中水分の解析

切羽周辺の土中水分の経時的変化を把握するため、飽和-不飽和鉛直二次元浸透解析を行った。支配する基礎方程式は次式で表わされる。

$$\rho \{ C(\Psi) + \beta \cdot S_s \} \frac{\partial \Psi}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho k_{ij} \frac{\partial \Psi}{\partial x_j} + \rho k_{i3} \right) = 0 \quad (2)$$

初期条件は、3.で求めた準三次元解析結果の80日の解析結果とした。図-5に解析結果に基づく切羽面における含水比の経時的変化を示す。図-5より、含水比は、0.14~0.4の間で変化している。

5. 不飽和土の含水比と粘着力、内部摩擦角の関係

不飽和土のせん断強度は、含水比によって変化する。特に、粘着力は、不飽和土になるとサクションが見かけの粘着力として作用するため、せん断強度が増加する。地下水位低下工法を用いたトンネル切羽において、地下水位を最適な含水比になるように管理しているのはこのためであり、ここでは不飽和土の3軸試験を行い、含水比と粘着力、内部摩擦角の関係を求めた。図-6に試験結果を示す。図-6より、最適な含水比は、 $\theta = 0.15$ 程度の所であり、切羽の含水率をこの程度にするように管理すれば、最適な状態が得られる。このときの粘着力は、0.18 kgf/cm²である。

参考文献

- 1) 藤森富雄 他2名；都市部の帯水砂層をNATMで挑む、トンネルと地下、第15巻12号、1984
- 2) 河野伊一郎、西垣誠 他2名；不飽和土の力学的性質に関する実験的研究、第39回土木学会年次学術講演会講演概要集、PP.33~34、1984
- 3) 河野伊一郎、西垣誠；室内透水試験法に関する2、3の考察、土質工学会論文報告集、Vol.22, No.4, PP.181~190、1982
- 4) 河野伊一郎、西垣誠；有限要素法による広域地下水の準三次元浸透解析、岡山大学工学部土木工学教室、1983

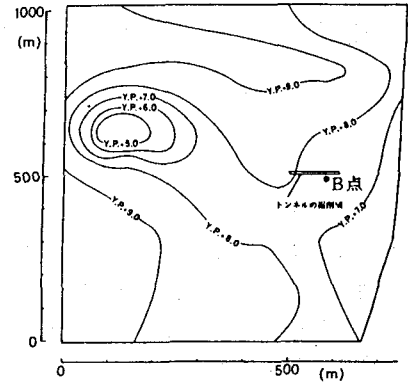


図-3 初期地下水位分布図

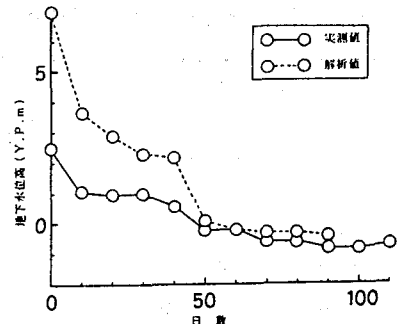


図-4 地下水位経時変化図 (B点)

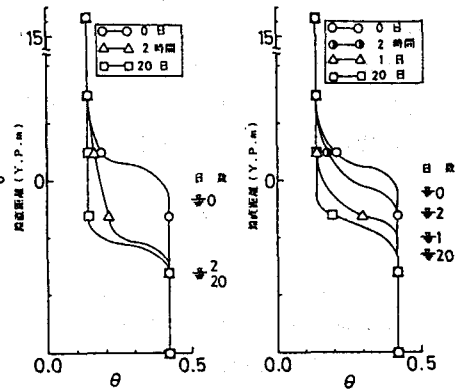


図-5 含水比の経時的変化

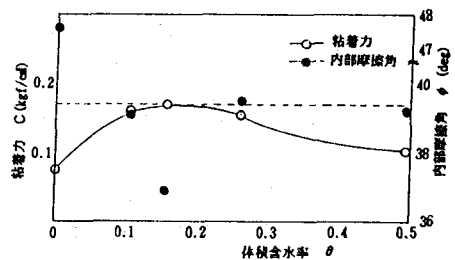


図-6 体積含水率と粘着力、内部摩擦角の関係