



性能設計による新しい鉄道トンネル設計標準 と土質力学

早稲田大学 理工学術院 教授 赤木 寛一
AKAGI Hirokazu

性能設計とは、構造物の要求性能を明らかにしたうえで、その目標性能を満たすように設計を行い、さらにその達成性能を照査する一連の技術的プロセスを指す。新しい鉄道トンネル設計標準は、この性能設計のプロセスにしたがって、総論また各論として開削トンネル、シールドトンネル、山岳トンネルを対象としてとりまとめられたものである。準備会から考えると8年余、まずもって事務局としてこの困難な作業を遂行された鉄道総合技術研究所の関係各位の努力を多としたい。

さて、「トンネル」である。筆者が学部の特選科目として担当する「トンネル地盤工学」の授業は、トンネルはトンネル本体構造に相当する覆工と周辺地盤で構成されていることの説明から始めることにしている。すなわち、トンネルの性能や建設可能な施工法は、地盤材料の特性や地盤と構造物の相互作用に依存している。この意味でこの科目の名称を通常の「トンネル工学」ではなく、「トンネル地盤工学」としている。

したがって、トンネルの計画、調査、設計、施工、維持管理の一連のプロセスの実施にあたって、筆者は土質力学、地盤工学の正しい理解が必要不可欠なものと考えている。この巻頭言では、シールドトンネルを対象にしてその調査、設計、施工において、土質力学、地盤工学が果たす役割の重要性について考察することとしたい。

シールドトンネルの調査、設計で通常、地盤が考慮されるのは、トンネル覆工セグメントの設計で必要となる作用外力に相当するいわゆる「トンネル土圧」の設定である。ここでトンネル設計標準に登場するのが、近代土質力学の祖とされるテルツァギー先生のゆるみ土圧と側方土圧係数であり、「土水分離」または「土水一体」という用語である。この二つの用語で表される土圧は、土質力学では「有効応力」または「全応力」に対応していて、一般に砂地盤では「土水分離」、粘土地盤では「土水一体」とされているが物理的には同じ外力である。また、地盤内の動水勾配のもとでその透水係数に応じた水の移動に要する時間を考慮すると、土圧設計期間を長期とするか短期とするかによって単純に砂や粘土という地盤種別で決まるものではないことに思いを致すことが重要である。さらに「土水分離」、「土水一体」という直観的な用語が用いられていることによって、初学者に混乱をきたす恐れが危惧されるので、土質力学として合理的な考察によって適切に運用されることが望まれる。

残念ながらここ2、3年都市部で建設されているシールドトンネル工事現場で各種の不具合事例が報告されている。これらの不具合事例を詳細に点検してみると、主要な要因がシールドトンネル切羽面の安定が保たれていないことにあるのは明らかである。シールドトンネル切羽面の安定保持の重要性については、1969年国際土質基礎工学会メキシコ会議におけるテルツァギー先生の一番弟子ベック先生の軟質地盤における深い掘削とトンネル工事に関する著名な技術現況報告でも力説されている。

近年、都市部のシールドトンネル工事は従来経験したことのない大深度、大断面で行われる例が増えている。従来の浅深度、小断面のシールドトンネル工事では、さほど性能設計上、切羽面安定の要求性能が明確にされなくても、結果的に良好な施工が可能であったと言える。しかしながら、大深度、大断面では切羽面安定の要求性能を明確に把握しないと十分な性能が達成されないことが明らかになったものと考えている。

さらに、大深度、大断面であることから、地盤の材料特性的には硬質粘土や密な砂地盤などで安定上は有利となるが、強大な地下水圧を有効に抑えることが重要となってくる。したがって、シールドトンネル掘削における切羽面安定の要求性能を支配するのは、地下水圧を抑える性能を決めるチャンバー内の泥水性状であり、土砂性状である。具体的には、泥水式では泥水密度、粘性、土圧式ではその密度、含水状態で決まる流動性に関するテーブルフロー値やスランプ値が管理上の鍵である。

過去のトンネル工事における不具合事例では、しばしば特殊な地盤条件が指摘されてきたが、実は特殊な土や地盤というのは存在しない。その地域性、深度などによって堆積、形成された土や地盤が自然に存在するだけである。筆者らは、昨年7月に土木学会トンネル工学委員会において「土質力学に基づくシールド工法における地盤掘削プロセス管理検討部会」を設置し、国内関係機関の30名余のメンバーの協力を得て検討を開始したところである。土や地盤の特殊性にリスクヘッジを負わせないために、土質力学に基づく合理的なシールド工法における地盤掘削プロセス管理について検討している。その成果は、2026年に予定されている土木学会トンネル標準示方書の改訂内容を踏まえて、土木学会トンネルライブラリーに収録されるので、どうぞ期待である。