

リニア学習会資料（2022年6月16日、大阪大学名誉教授谷本親伯）

1. NATM とシールド工法：

NATM は「山岳トンネル」に対し、そして、シールド工法は「都市トンネル」で採用されてきた工法である。大深度法では、地下 40m 以深となるため、都市トンネルと山岳トンネルの境界領域となる。両者の違いは、NATM では、自然に逆らわず、地山の挙動に合わせて、自然力 7 割、人為力 3 割程度で地山を安定させようとし、シールド工法は、地山が何であれすべて人為力 100% で成し遂げようとする考えが根底にある。極言すれば、シールドは、地盤条件が一定で堆積地盤を前提とするものであるから、切羽が見えなくとも掘れるが、山岳トンネルでは、切羽の変化を刻々観察しつつ掘る。したがって、シールド工法では、切羽前面にわたって機械で掘進するので、地質が変化した場合の対応が困難となるが、そうでない場合は、効率よく掘れ、しかも安全である。ただし、機械設備やセグメントなどすべてが高価である。NATM は、地質変化に対し、あるいは掘削断面を任意に変えることが出来るので、柔軟な対応が可能となる。しかし、切羽近傍では不安定な部分が存在し、常に危険が伴う。トンネル工費は、シールド工法では、NATM の 5 倍以上となる。

2. 土圧と地圧：

「土圧」というのは、土質地盤の中の圧力をいう。気圧換算が分かりやすいので、気圧単位で考えよう。地下の比較的浅部（地下 20～30m 以内）では、土圧は、3.6～5.4 気圧程度まで。地圧は、土圧を含み、地下深部までを対象としている。たとえば、大清水・関越トンネルなどの長大トンネルでは、地下 1 キロ以深を掘った。地圧は、300 気圧を超える。それでもトンネルが掘れた。なぜか。自然に逆らわず、自然力に合わせて、少しだけの人為力を使って掘ったからである。したがって、都市部において大深度法が適用される場合、少なくとも 7～8 気圧以上の地圧に対抗できるシールド機でなければならない。また、大深度になると、地質条件の変化も多くなり、これに合わせた対応能力も要求される。こういったトンネル掘進上の見極め（＝判断）は、「切羽の自立性」にある。シールド工法では、掘削機が常に切羽面に密着していることを前提としているため、切羽の自立性に関わらず掘進できた。地質の変化が著しくなると、掘削機の掘削刃（カッターという）の摩耗や損傷が増し、メンテ作業が必要となる。土質と岩質の中間域での施工は、まだまだ未知の領域であり、長大トンネルの施工にあたっては、未解決問題が多々残されている。特に、掘削機の地質変化への対応性能がカギとなる。

3. 東京外環道陥没事故発生の原因：

主因は、土圧式シールド工法ではなく、流動化剤に問題がある。特に、気泡剤を使用

する場合、切羽面近傍の圧力と地表面との間に大きな圧力差があり、切羽面に発生した気泡は、急速に上方に移動し、体積を急増する。地表では、5倍となる。中学校の化学で習ったボイル・シャルルの法則を思い浮かべてもらいたい。これは、地下よりも地表に近い部分で、地盤を5倍緩めていることを意味する。切羽部分から気体流が上方に向かって急速に上昇し、家屋の基礎部あるいは道路舗装面直下での抵抗により、横方向に進路を変えて、勢いを失った地点で停止した。陥没地点直下の煙突状の竪穴と水平方向に見られる3か所の空洞の発生も気体流の移動により説明できる。

事業者が「特殊地層」と説明しているが、地層が特殊であったのではなく、気泡剤を使うという「特殊な行為」をしたために発生した事故であり、事業者が「地層が特殊」というならば、なぜそれを考慮した工法を採用しなかったのか。自らの対応能力が不足していたことを物語っている。

したがって、大深度に対し、さらに大口径のシールド機を採用した処に問題があった。巨大事業に採用する場合、更なる事前検討が必要であったにもかかわらず、いきなり本格的な工事に着手し、未解決問題が次々に露呈した。したがって、事前調査不足と施工ミスが重なった事故であり、基本から再検討されなければならない事態と言えよう。改善策の提示や工事の再開にこれだけ時間を要しているということは事前検討が不十分である証拠である。

一方的に非難するのではない。試験施工やモニタリングを尽くす。未知なる地層に対しては、導坑を先行させるなど策は存在する。抜き差しならぬ大口径シールドを一挙に持ち込んだところに敗因がある。これだけ工事が中断し、莫大な損失を発生させるならば、拙速ではなく慎重さが求められていた。事業者にもゼネコンにも当てはまることである。

4. 南アルプスでのトンネル掘削：

まず、技術的な問題は、「山はね」と「地下水対策」に尽きるであろう。後者は、静岡県大井川水量問題が典型例であるし、東京都西部の外環道・リニアでの地下水問題とも共通している。地下水は、きわめて微妙な均衡を、きわめて広大な範囲で保っている。太平洋上のたった1度の温度差が、日本にも及ぶと同様に、トンネル掘進による地下水への影響は慎重に且丁寧に考察されなければならない。労を尽くしても正解が得られない難しい分野である。数値解析で説明できるならば、福島の水処理の問題はとっくに解決していなければならない。それが実情である。黒四ダム大町ルートで遭遇したような大出水も想定されなければならない。

「山はね」対策をどのように講じるか。山岳トンネル技術者の知見に掛かっている。過去のトンネル施工でも経験済みであるが、大規模の発生がある場合も想定し、現実的な対策が必要である。中国のトンネル技術者も、現在ヒマラヤトンネル直下のトンネルで苦勞している。意見交換が必要になるであろう。



外環道陥没 責任ぼかすな

谷本 親伯 大阪大名義教授

東京都調布市の外環道工事に伴う陥没事故から1年7カ月が過ぎた。専門家の一人として推移を見守ってきたが、事業者（ネクスコ東日本など）は現場の事実在即した被災住民の訴えに具体的に答えていない。「特殊な地盤」を強調し、リスクの一般論を語って素人向けに善くような説明であり、極めて不誠実な印象を受ける。

私が知る限り、地質・構造・地盤・トンネル・事故鑑定など各分野の、十指に余る専門家が事業者

の説明に違和感を抱いている。大深度法（地下開発の根拠法。2001年施行）の立法に関わったある識者は「（事業者の）このような低レベルの説明は聞くに忍びない」とまで言っている。

事業者は自前の有識者委員会を設けているが、運営は透明性を欠く。国土交通省も事業者も外部の専門家の異議に耳を貸さず、被災者と向き合おうとしない。ここに最大の問題があると思う。

外環道・調布のケースと似たト

ンネル陥没事故として、英ヒースロー空港で起きた事例（1994年10月）と、博多駅前の地下鉄工事現場で起きた事例（16年11月）が挙げられる。

3者を比較すると、陥没の規模は、ヒースロー＝3000立方メートル、博多＝9000立方メートル、調布＝17万6000立方メートル以上。調布は博多の20倍以上、ヒースローの60倍以上にも達する。

事故の損失額を比べると、ヒースロー＝720億円（公表最終金

額）▽博多＝10億円以上（新聞報道）に対し、調布は筆者の推計で5000億円から数兆円。陥没の規模でも、損失額でも、調布の事故はケタ違いに大きい。

原因究明と責任者の処罰をめぐる日英の違いを指摘したい。

ヒースローの場合、政府の安全衛生庁（HSE）が直接、調査に乗り出し、原因が特定されるまで、他の現場も含めて同種の工法（吹き付けコンクリート工法）による工事を全部止めた。

英国の検察は責任者を起訴。中立の識者が改めて調査し、公判で証言した。裁判所は、施工業者と施工管理コンサルタントが「情報の共有を怠り、大衆を危険にさらした」責任を認めた。予防原則を重視し、業者に合計3億円の罰金の支払いを命じた。

日本の場合、ネクスコの有識者委が報告書をまとめたものの、説得力は乏しい。トンネル掘削に伴う廃土の管理について詳しく論じているが、工事の地表への影響を確認するモニタリングがどうなっていたか……という最も重要な部分の検証が抜け落ちている。日本の警察が動く気配もない。

ヒースローでは陥没の数日前か

ら前兆が表れていた。博多は2日前。調布は10日も前から激しい家屋の振動などの兆候があった。工事の影響をチェックするモニタリングが適切に機能していれば、事故は防げたと思われる。

外環道の事故は「地表には影響を与えず、安全」という大深度法の大前提が崩れたことを意味している。こっそり処理して済む問題ではない。モニタリングが不十分だった経緯の解明、責任の明確化がないままの工事継続は新たな重大事故を招くだろう。

たにもと・ちかおさ 京大院修了。ゼネコン勤務を経て京大助教。授、阪大教授（トンネル工学）。