

土木学会平成18年度全国大会
研究討論会 研-10 資料

トンネル技術の継承と伝承 —さらなる発展のために—

座長 話題提供者	赤木 寛一	早稲田大学
	須賀 武	大豊建設(株)
	小山 幸則	(財)地域地盤環境研究所
	蔣 宇静	長崎大学
	服部 修一	鉄道運輸機構
	松尾 勝弥	飛島建設(株)
	斉藤 正幸	日本シビックコンサルタント(株)
	森 正彦	前田建設工業(株)
	土門 剛	首都大学東京

日 時 平成18年9月22日(金) 14:50~16:20
場 所 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス
プリズムハウス P202

トンネル工学委員会

【研 10】 トンネル技術の継承と伝承—さらなる発展のために—

トンネル工学委員会技術小委員会トンネル技術史部会
部会長 赤木寛一（早稲田大学）

1. まえがき

日本におけるトンネル技術は、未だ解決すべき問題は抱えながらも技術的にはほぼ成熟の域に到達したと言っても過言ではありません。その一方で、昨今の社会情勢の急激な変革の煽りを受けて、トンネル現場の減少、世代間コミュニケーションギャップなどのためにその技術を次の世代に伝えていくことが極めて難しくなったとも言われています。

トンネル工学委員会では、この時機をとらえて技術小委員会にトンネル技術史部会を設置し、先達たちの肉声を記録し、日本における近代トンネル技術発展のプロセスを集約するために、戦後の日本におけるトンネル技術を担ってきた先達たちへのインタビューをもとにして、近代日本トンネル技術史編纂、出版を行う予定です。

具体的には、トンネル技術を山岳トンネルとシールドトンネルに大別し、それぞれ下記のような技術項目ごとに各分野での経験を豊富に持つ先輩各氏へのインタビューを実施しています。その結果をもとに編集とりまとめを行って、日本近代トンネル技術史として出版することによって、トンネル技術の継承、伝承に貢献しようと考えています。

2. 技術史内容構成案と研究討論会のねらい

トンネル技術はきわめて幅広く、従来、職人、マエストロの匂いが強い分野で、跡を継ぐものは現場における経験を通して親方から技術を自ら学び取ってその技術が伝えられてきたように思われます。このため、その構成はきわめて広範囲にわたり、技術的に集約することは難しいように思われますが、たとえば下記のような技術項目をもとに技術史をまとめてはどうかと考えてます。

山岳トンネル：支保，地山分類，地下水対策，NATM，施工法，設計法，指針類

シールドトンネル：シールドマシン，要素技術，裏込め，補助工法，セグメント，地盤挙動，設計法，指針類

本研究討論会は、上記のような問題意識を共有するトンネル技術史部会と技術交流部会が共同して開催することといたしました。研究討論会前半では、現在のトンネル技術がどのようなプロセスを経て発展してきたのかを資料に基づいて興味深いエピソードを交えながら紹介をいただきます。

1)山岳トンネル：山岳工法から、NATM 工法への変遷とその技術の要点と背景、適用範囲

2)シールドトンネル：開放型から、密閉型への変遷とその技術の要点と背景、適用範囲

後半では、これからのトンネル技術の維持、発展のために

1)技術継承，伝承が不足していて困った事例？

2)どのように経験やノウハウを伝えていけばよいか？

3)今後取り組むべき課題やその解決策とは何か？

などについて話題提供者の紹介事例に基づいて総合的な討論を展開いたします。

【研 10】 トンネル技術の継承と伝承 ーさらなる発展のためにー

山岳工法から NATM への変遷(NATM 導入期の山岳トンネル技術)

須賀 武 (大豊建設)

1. 従来の矢板工法における地山の緩みとグラウンドアーチアクション

- (1) 矢板工法における施工法
- (2) 緩み荷重とグラウンドアーチアクション
- (3) 覆工背面の裏込め注入

2. 矢板工法での NATM の萌芽

- (1) 青函トンネルでの吹付けコンクリート
- (2) 青函トンネルの膨張性地山への全面接着型ロックボルト
- (3) 山陽新幹線でのシステムロックボルトの施工
- (4) 上越新幹線中山トンネル中山工区の膨張性地山
 - ・中山工区の膨張性は地山の応力再配分が原因 (地山強度比)
 - ・側壁導坑でのロックボルト試験工事 (1976 年)

3. 中山トンネル膨張性地山での NATM 本格導入

- (1) 上司からの論文の提供 (岡行俊氏の「薄肉覆工の理論」)
- (2) オーストリアのトンネル工事現場視察と発注者・施工者双方の NATM への熱意
- (3) 本坑での NATM 本格導入 (1977 年～)
- (4) 数多くのトンネル技術者の現場来訪

4. 土被りの小さい土砂地山への NATM 適用

- (1) トップの決断とオーストリアのゴルサー技師の招聘
 - ・第一平石、第一栗須、第二平石、第一広谷地トンネル (1978 年～)
- (2) ミューラー教授の講演「NATM 工法の失敗例」・「NATM 工法 22 の基本原理」

5. 都市 NATM の誕生

- ・鹿島線大貫トンネル、成田新幹線成田空港第 8 工区ほか (洪積砂層) (1979 年～)
- ・横浜市営地下鉄第 3 号線三ツ沢下町ほか (第三紀泥岩) (1981 年～)

6. 二次覆工コンクリートに発生するひび割れ防止対策

- ・福知山線第二名塩トンネルほか (1983 年)

7. トンネル安定を周辺地山の挙動の問題として理論解析

8. 土木学会トンネル標準示方書の改訂、NATM が標準工法 (1987 年)

山岳トンネル工法（矢板工法から NATM への変遷）

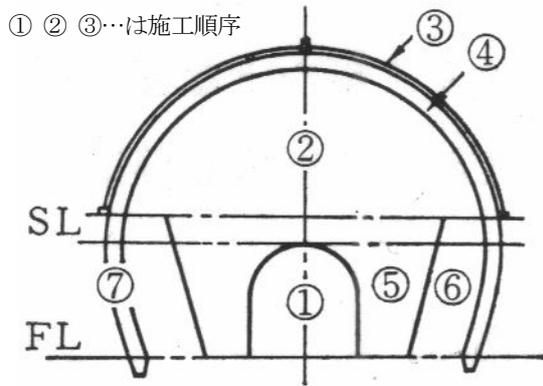


図-1 矢板工法の例（底設導坑先進工法）

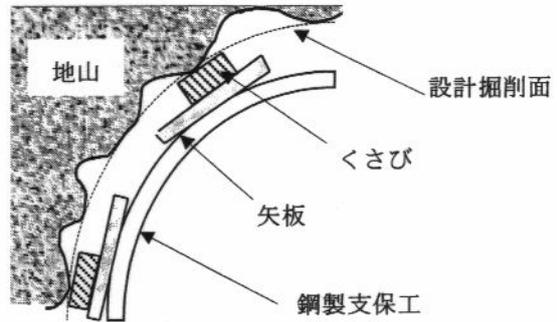


図-2 矢板工法における鋼製支保工と地山との関係

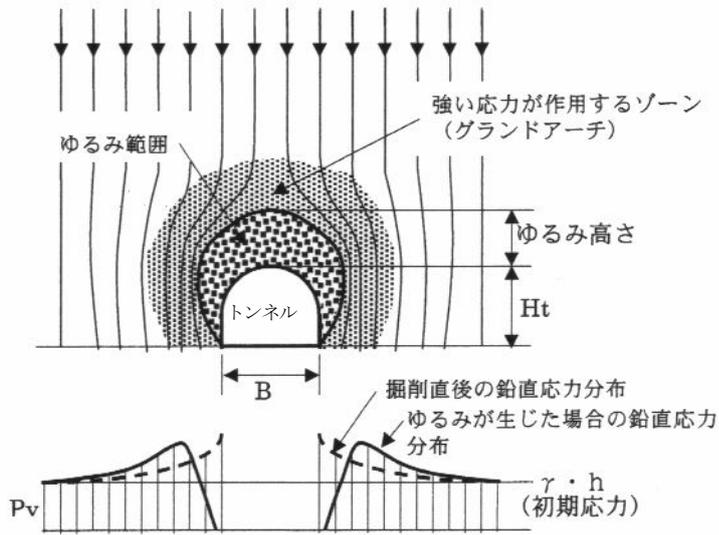


図-3 矢板工法におけるゆるみ土圧とグラウンドアーチ
ゆるみ範囲の外側にグラウンドアーチが形成される。

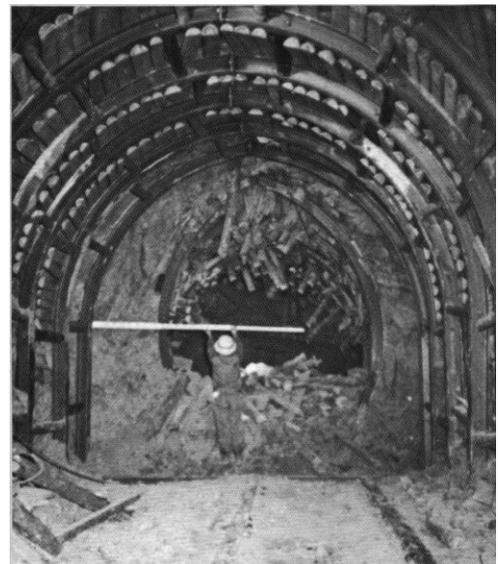


写真-1 中山工区側壁導坑の膨張性地山による変状
(ロックボルト施工前、断面が 1/3 に縮小、手前側が縫い返し施工済。変位収束に約 1 年。)

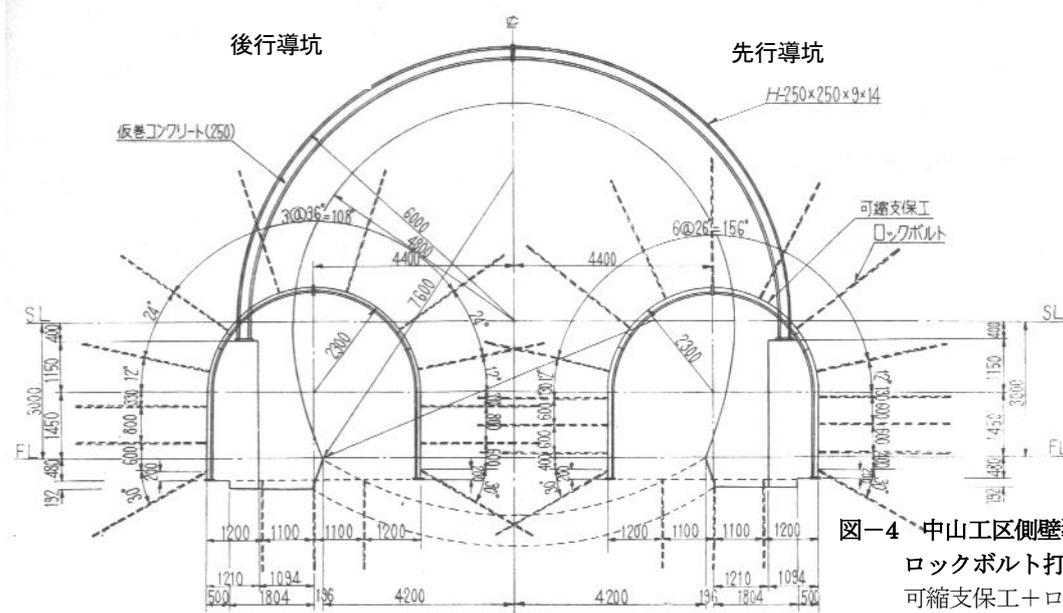


図-4 中山工区側壁導坑における
ロックボルト打設試験
可縮支保工+ロックボルト 3m

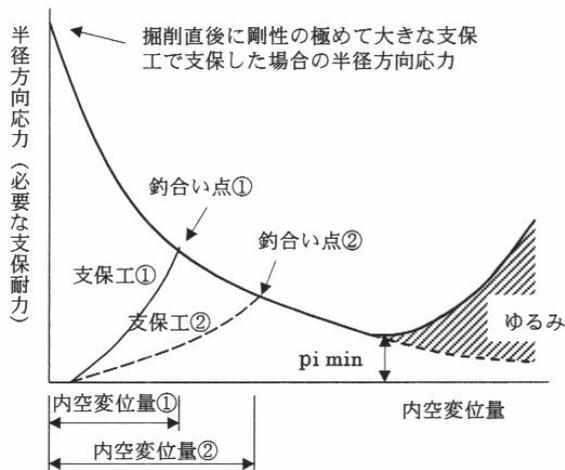


図-5 地山特性曲線

実際の施工に際して、どの程度の地山変位を許すと、支保耐力を最小にできるのか判断が難しい。結局、地山の物性と、内空変位量との関係で、必要な支保耐力を推定するしかない。

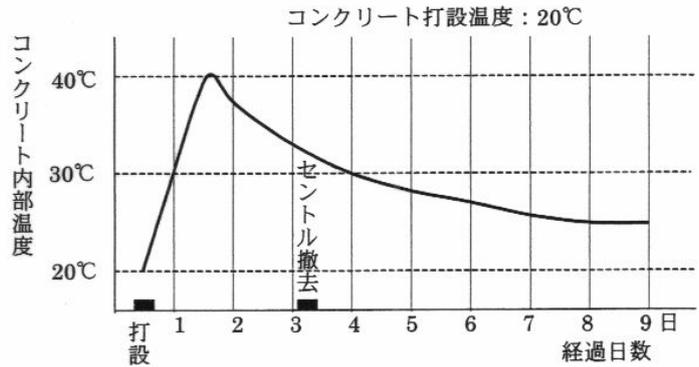


図-6 二次覆工コンクリート内部温度の経時変化

(福知山線・第二名塩トンネル 1983年)

NATM 導入初期には、特に硬岩トンネル等において、二次覆工に在来工法では見られなかったような亀甲状の多数のひび割れが覆工コンクリートに発生し、問題となった。コンクリートが硬化する過程でのコンクリート温度変化により、吹付けコンクリートとの背面拘束が生じることが主原因であることが判明。対策法が検討された。

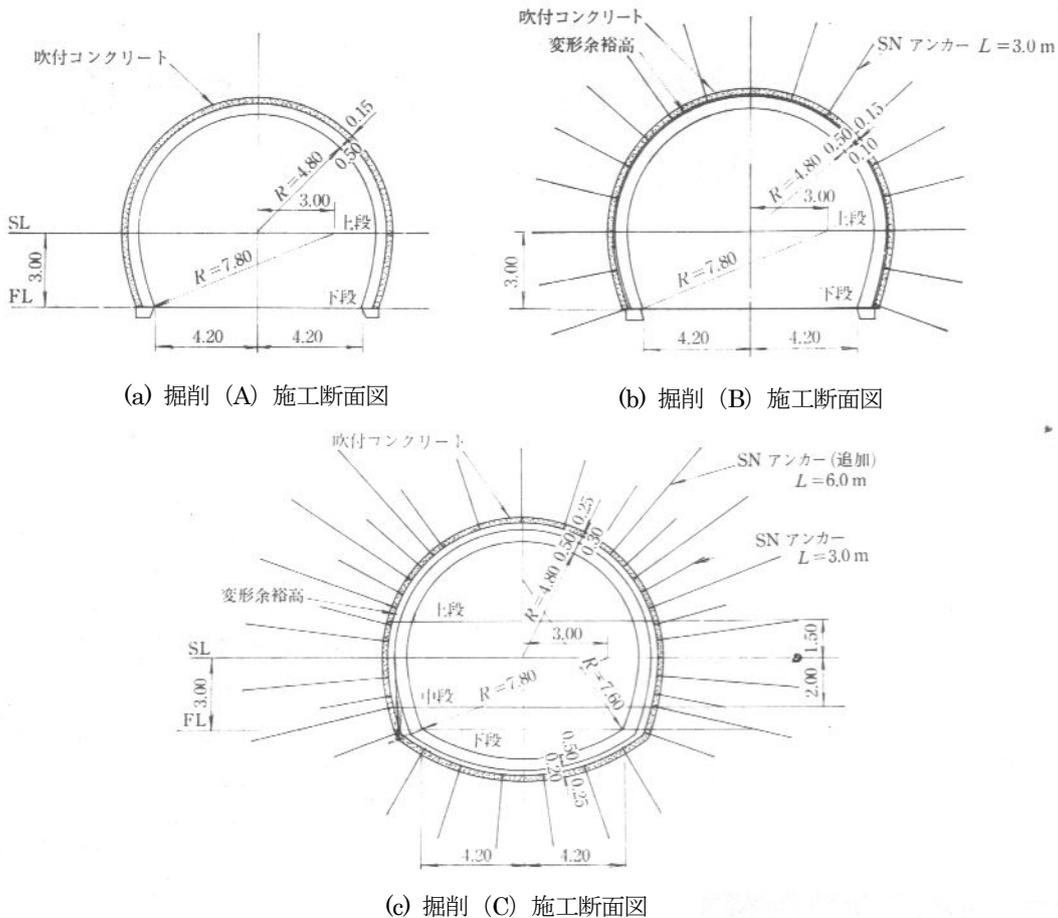


図-7 中山工区 本坑 (新潟方) の NATM の設計 (施工延長 800m)

地質・土被り、すなわち地山強度比により 3 段階の設計とし、内空変位量に応じて使い分けをした。

【研 10】 トンネル技術の継承と伝承 ーさらなる発展のためにー
シールド技術のルーツ

小山幸則（地域地盤環境研究所）

1. 切羽安定

- (1) 折渡トンネルから関門鉄道トンネル
シールドの形状，フェイスジャッキ，圧気併用
- (2) 泥水式シールドと土圧式シールド
面板，切羽保持のメカニズム

2. テールシール

- (1) 開放型シールド
麻布，鋼板補強ゴム
- (2) 初期泥水式シールド

3. 掘進管理システム

- (1) 関門鉄道トンネル
- (2) 初期泥水式シールド

4. セグメントの組立

- (1) テールクリアランス
折渡トンネルから関門鉄道トンネル
- (2) 形状保持装置
関門鉄道トンネル，覚王山シールド
- (3) 千鳥組み

5. セグメントの止水

- (1) コーキング
- (2) ボルト孔パッキン
麻輪，グラメット，水膨張ゴム
- (3) シール
ブチルゴム，天然ゴム，水膨張シールまで

6. 裏込め注入

- (1) 折渡トンネルから関門鉄道トンネル
- (2) 開放型シールド
- (3) 密閉型シールド

【研 10】 トンネル技術の継承と伝承 ーさらなる発展のためにー

世代間／技術者間ギャップを解消する試み ー技術交流部会ー

トンネル工学委員会運営小委員会技術交流部会
部会長 蔣 宇静 (長崎大学)
幹事長 土門 剛 (首都大学東京)

トンネル業界では、世代間ギャップだけでなく、シールド屋と山岳屋とのギャップに代表されるような技術者間ギャップもある。当初、若手トンネル技術者の交流の場として約8年前に「トンネル工学若手技術者の会」が設立されたが、これを発展的に解散し、土木学会トンネル工学委員会の一部会として、昨年「技術交流部会」が発足した。

これは若手だけに限らず広くトンネル技術者に参加を呼びかけ、様々な情報交換の場を提供する者である。最後に、その設立主旨や活動実績などを紹介する。

1) 設立主旨 (抜粋)

…経験豊富な技術者から若手技術者への技術や経験の継承がしにくくなった。…コスト削減を背景に、大変厳しい条件がトンネル工学にも要求されるようになり、それに対処するため複雑かつ広範多岐な技術革新を図らなければならない…。もはや、個人や少人数でのグループさらには各企業体ですらこうした流れに対応しきれなくなっている。

…現存の委員会活動や研究発表会では極限られた技術者／研究者しか情報に接することができず、トンネル工学に関する横断的および縦断的な交流を図ることはできない。…

……

この技術交流部会では、トンネル工学に携わる若手だけでなく対象を中堅技術者／研究者にまで拡大し、今後の展開につながるトンネルの最新技術や先進的な研究に関する技術交流と情報交換を推進するための場を提供することを主目的とする。具体的には、学位取得者による講演会、現場見学会、トンネル工学分野における国内外の著名な方を招いての特別講演会などを企画し実施するものとする。加えて、山岳トンネル、都市トンネルおよびそれ以外の特殊トンネルといった分野の枠を取り払い、それぞれの技術者／研究者間交流の促進も図るものとする。

2) 活動実績

- ①技術交流部会 (2005.09.07) ……昨年、JSCE 全国大会 2 日目に実施
- ②トンネル工学セミナー2006 (2006.01.16)
 - ・東京電力(株) 吉本正浩氏
「シールドトンネルへの性能照査型設計法の適用に関する研究」
 - ・(株)大林組 木梨秀雄氏
「不良地山対応の長尺鏡ボルト工法の開発とその作用効果」

3) 期待される成果

具体的な成果物は想定していないが、技術交流や情報交換を通じて新しい発想やアイデアが生まれ、トンネル工学の新たな進展につながるものと期待される。

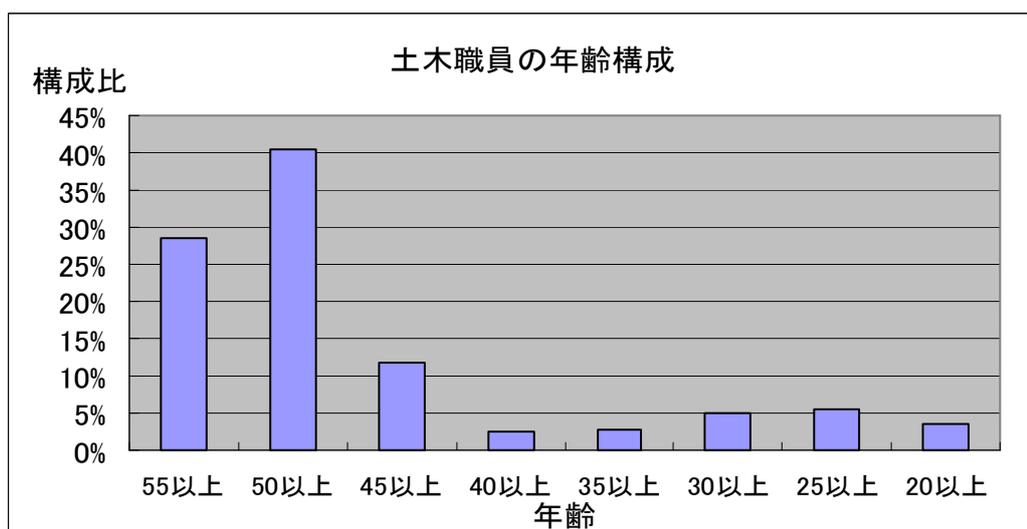
【研 10】 トンネル技術の継承と伝承 ーさらなる発展のためにー

鉄道・運輸機構におけるトンネル技術の伝承の取組み

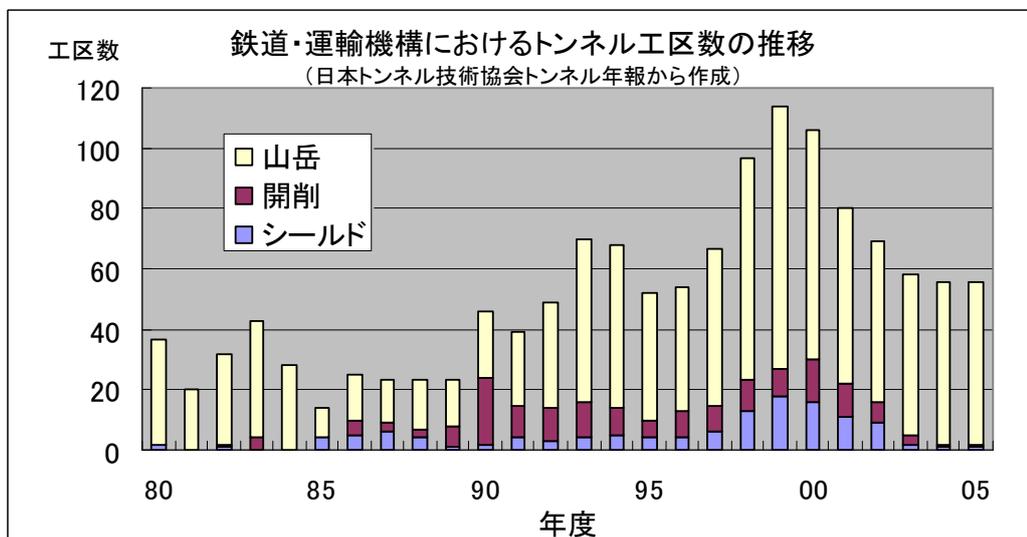
服部修一（鉄道・運輸機構）

1 問題点

(1) 土木職員の年齢構成の極端なアンバランス



(2) 工事量の波動の激しさ



(3) 近頃の若者は・・・

- ① 「土木計画学」志向 ② デジタル思考 ③ シミュレーション嗜好

2 取組み

- (1) On the Job Training から 組織的教育 ⇒ 本社主導による施工監理講習の実施
 (2) 職員 OB の活用 ⇒ 施工監理講習のテキスト作成、講師として参加
 (3) 失敗情報の共有化

【研 10】 トンネル技術の継承と伝承 —さらなる発展のために—

—トンネル現場管理上、技術力不足で困る事例—

トンネル工学委員会 職域委員
松尾勝弥（飛島建設株）

1. はじめに

先般、約 10 年前に施工したトンネルにおいて、覆工コンクリートの補強鉄筋の被りが広い範囲にわたって確保されておらず（ひどいところは数ミルしか被りが無い）、補強鉄筋が錆びて、コンクリートを浮かせると同時に、一部でコンクリート薄片が散らばるといった事態を引き起こし、企業者に対し多大なる迷惑をかけてしまいました。一方、このことは、致命的な信用の失墜に繋がることであり、また、その修復に極めて多大なる出費をしなければならないという深刻な事態を招きました。

かつて、同じく山岳トンネル工事で、被り不足から覆工コンクリート表面に、はっきりとした補強鉄筋の縞模様を出してしまい、新聞で、「耐久性に問題あり」と大きく取り上げられ、大変な思いをした経験を有しております。

山岳トンネル工事に従事する職員に取りまして、覆工コンクリートに補強鉄筋の縞が出るような状態には絶対にしてはならないといった感覚が、強く根付いていたことはまぎれもない事実です。なのに、かかる事態を招いてしまいました。

2. なぜこのような事態に

被り不足の区間は、10.5m のセントルで複数のスパンに及んでいました。コンクリートは、非常に充実で入念な（極めてかぶりの薄い箇所にも確実にコンクリートが廻っていました）施工がなされていました。

直接の原因は、担当職員が鉄筋の位置出しを間違えたことによるものと思います。しかし、セントルをセットすれば、直ちに被りが無いことが判明します。担当職員は当然として、作業員は被りが無いことはわかったはずですが、ただ、被り不足のスパン数からして、「アッ」と気付いたときには、すでに数スパンの鉄筋が組んであったに違いありません。

また、その付近を通過する工事の関係者は、ちょっと注意を払えば、「なんか変だ」と気付いたはずですが。

多分、エンジニアとして誰もが、被り不足を修正したかったに違いありません。なのに、直すことができず、まるで隠蔽を図ったかのような事実が残っています。

誰もが、最初の一步の勇気を奮い出せなかったのではないのでしょうか！そして、事実から目をそむけたのではないのでしょうか？

3. 技術の伝承はされていないのか

今回の事例から、その原因を噛み砕くと、技術的な原因だけでなく、人的・組織的原因が浮かび上がってきます。そして、建設業界は勿論のこととして、社会全体の構造から来る要因にまでたどり着いてしまうような気がします。

ただ、実際に現場でトンネル工事に携わってきたものとして、反省も込めて、「技術の継承と伝承」がなされにくくなっているのか、上述の事実を中心に考えてみたいと思います。

【研 10】 トンネル技術の継承と伝承 ーさらなる発展のためにー

フェロー会員 齊藤正幸（日本シビックコンサルタント株式会社）

◆ コンサルタントにおけるトンネル技術と技術継承の難しさ

我が国におけるコンサルタントは発注者の設計補助からスタートし、長い経験に基づいて徐々に発注者や施工者、メーカーなどに技術的な提案や提言ができる力を身に付けてきたものであり、発注者と施工者の間に位置して第三者的な立場を確立した欧米のコンサルタントに近づきつつある発展途上の業種であると考えられます。

このような環境の中で、建設コンサルタントのコンサルタントとして、計画から施工までの幅広いトンネル技術に携わった経験を有する技術者は比較的少なく、その経験や知恵を若い技術者に継承することが難しい環境にあると言えます。さらに、橋梁などの上部構造に見られるように技術が熟成し、系統化することが可能な分野とは異なり、未だに解決すべき多くの問題を抱えながらも必要な事業を実施するために計画／設計を行っているため、その技術を系統立てて伝えることが難しい分野であるとも言えます。

◆ コンサルタントとして継承／伝承すべき技術とは

未解決な問題を抱えるトンネル技術において、トンネル構造物の計画／設計を実施するコンサルタントに求められる技術は、基準にはない問題や実績がない問題でも解決することができる『考え、創造し、検証する力！』と問題を解決したプロセスと結果を『説明し、説得する力！』ではないかと思います。つまり、過去や伝統をないがしろにしても、盲従しても本当の技術ではなく、過去の実績に基づいて策定されている基準類の行間を読み、適切な判断によって事業を実現する知恵と、その知恵を活用するためのコミュニケーション能力が求められていると感じます。

単に、技術の継承／伝承というと、「過去に培ってきた技術」を次世代へ継続することと思われがちですが、発展途上のコンサルタントにおいては、「困難な事業を実現する知恵」と「自ら導いた答えを的確に説明する能力」をいかに次世代へ発展させて引き継ぐかということが技術の継承であり伝承ではないかと思います。

◆ コンサルタントにおける技術者の継承／伝承のあり方

大変難しい問題であり、具体的にどのようにすれば高い効果が得られるかは判らない部分ではありますが、『知恵』を授けることが本当の技術の継承であり伝承であるという観点から見れば、常に問題意識と好奇心を持って物事に取り組んでいくことをしっかりと伝えることではないかと思います。経験は人に教わるものではなく自らが問題に取り組むことによって培われるものですが、一人の人間が実際に経験できることは限られています。しかし、経験を伝えることは難しく、受け取る側の心構えが最も求められる部分ではないでしょうか。

これはコンサルタントだけの問題ではないと思いますが、企業または企業人としての役割は、『本業を通じて社会に貢献すること！』だと考えられます。本来、建設業はこのためにあるような職業ですが、今日ではその形態が崩れ、若者が将来に夢をもてない職業では技術継承はできません。本来、建設業は日本という国の土台を作り、国民が安心して生活できる場を提供することによって国の発展に貢献する職業のはずです。建設業という職業に誇りを持って日々の仕事に取り組んでいくことによって若者に夢を与えることが大切なことではないでしょうか。

【研 10】 トンネル技術の継承と伝承 —さらなる発展のために— —トンネル設計部門、現場管理部門に潜む「トンネル技術の謎」—

森 正彦（前田建設工業株）

1. はじめに

「トンネル技術者たるもの、切羽と向かいあい、“ヤマ”と話をしながら仕事を進めろ！」
入社以来10数年、トンネル現場に従事する度に先輩技術者から言われ続けてきた言葉である。この飾り気のない言葉に込められた、トンネル工事の先達の思いは深くて重い。トンネル現場で幾度となく苦い経験をした結果、ようやくこの言葉の重要性、言い換えれば「ありがたさ」がわかってきたように感じる。トンネル工事に関する技術は、技術者の独りよがりでは全く機能しない。いかに“ヤマ”から発せられるメッセージを的確に捉えることができるか、いかに“ヤマ”にあった施工方法や支保構造を適切に選定できるか、これがトンネル技術者に求められる技術のすべてと言っても言い過ぎではない。

では、“ヤマ”との対話とは一体何なのか、どのようにすれば合理的なトンネル工事を実現できるのか。若手技術者にとって、トンネル技術に関わる「謎」は多く、未だよくわからないまま日々の仕事に追われている者も少なくないだろう。

2. 若手技術者が抱く「トンネル技術の謎」

トンネル工事に関する技術のうち、若手技術者が抱く「謎」の例をいくつかあげてみよう。

- ①トンネル支保設計の基本である「地山のゆるみ」について
 - ・「ゆるみ」の定義（「ゆるみ」とは？）
 - ・「ゆるみ」の作用とその進行（「ゆるみ」と「それ以外」による挙動の差異って？）
- ②トンネルの「支保構造」について
 - ・「標準支保パターン」の存在感（位置づけ）
 - ・吹付けコンクリートの「効果」と「役割」（特に弱材齢時）
 - ・ロックボルトの「機能」と「構造」 等々
- ③トンネルの挙動を把握する「計測工」について
 - ・「初期値」と「初期変位」の定義
 - ・切羽観察や支保部材の観察に基づく「地山評価」とその「活用方法」 等々
- ④トンネルの「覆工コンクリート」について
 - ・二次覆工の「役割」と求められる「機能」
 - ・二次覆工に作用する「外力」（地山の残留変位によるものや地震時等）の取扱い
 - ・一般的な構造物とは異なる、コンクリートの「打設」や「養生」技術 等々
- ⑤その他「施工環境」等について
 - ・トンネル工事に関わる騒音・振動（発破とその影響低減技術）
 - ・肌落ち、落盤災害の防止技術 等々

3. “ヤマ”との対話で「謎」を解く

トンネル技術は、ともすると職人的な技量と誤解されがちである。しかし、実際のところは日々直面する地山に関心を持ち、観察、推測、検証の地道な実践により得られる「所見」と「感性」の融合がトンネル技術である。そして、この地道な作業こそが“ヤマ”との対話である。「トンネル技術に潜む謎」とは、“ヤマ”から課せられた我々若手技術者への宿題なのかもしれない。

【研10】 トンネル技術の継承と伝承 —さらなる発展のために—

トンネル先駆者達の労苦を伝え経験則を活用する

土門 剛 (首都大学東京)

1. はじめに

次代を担う学生や技術者がトンネルに興味を持ってもらう手段として、トンネルの歴史を紐解いてトンネル先駆者である偉人達の労苦を伝えることもひとつにあらう。「失敗に失敗を重ねてようやくトンネルを完成させた・・・」、「命懸けでプロジェクトを完遂した・・・」など、先達の労苦に思いを馳せそして感動するのは、分野を問わずいつの時代も変わることはない。

先達の労苦、そこから生まれた経験則。こうした経験則が数多く見出され、今もなお受け継がれている例が多いのもトンネル分野の大きな特徴である。経験則の中にはその根拠が不明であるにもかかわらず、理論的に引き出された解釈よりも時には的を射ており、困難な施工の克服や危険回避に役立つこともあると聞く。それらを分かりやすくまとめて後世に伝えていくのも興味深くまた先達の経験則を活用していくことも今後もお重要であると考え。

こうした観点から、トンネル先駆者達の労苦や受け継がれてきた経験則等を、エピソードをまじえながら紹介し、また、フロアからもこれらに関わる様々な情報を引き出したい。

2. わが国のトンネル偉人伝

私の管見から知り得た情報のみで恐縮だが、偉人達の功績、足跡、エピソードを時間の許す限り紹介する。

- 江戸時代にいた？トンネル技術者
- 「トンネル」という言葉をはじめて日本に紹介したのは、
- 田邊朔郎先生の著作「とんねる」から。
- トンネル工学委員会設立者—加納俣二氏
- …など。

3. トンネルに欠かせない「経験則」いろいろ

失敗学で有名な畑村氏はその著作で、経験に基づく「暗黙知」やその道の真のベテランの「山勘」といった経験則は、失敗を防ぐ上で非常に重要な役割を果たす、としている。その上で、「暗黙知」や「山勘」を「形式知」に変え、それをみんなで共有し活用することが大切だと説く。

そこで、トンネルにおける「暗黙知」や「山勘」といった様々な経験則をいくつか紹介し、それらが現在どのような場面で活用されているか、あるいはその経験則の持つ意味や根拠といったものをフロアとディスカッションしたい。また、フロアから様々な経験則を引き出したい。

- トンネル十訓、特訓
- 山を見れば地質がわかる
- …など。