

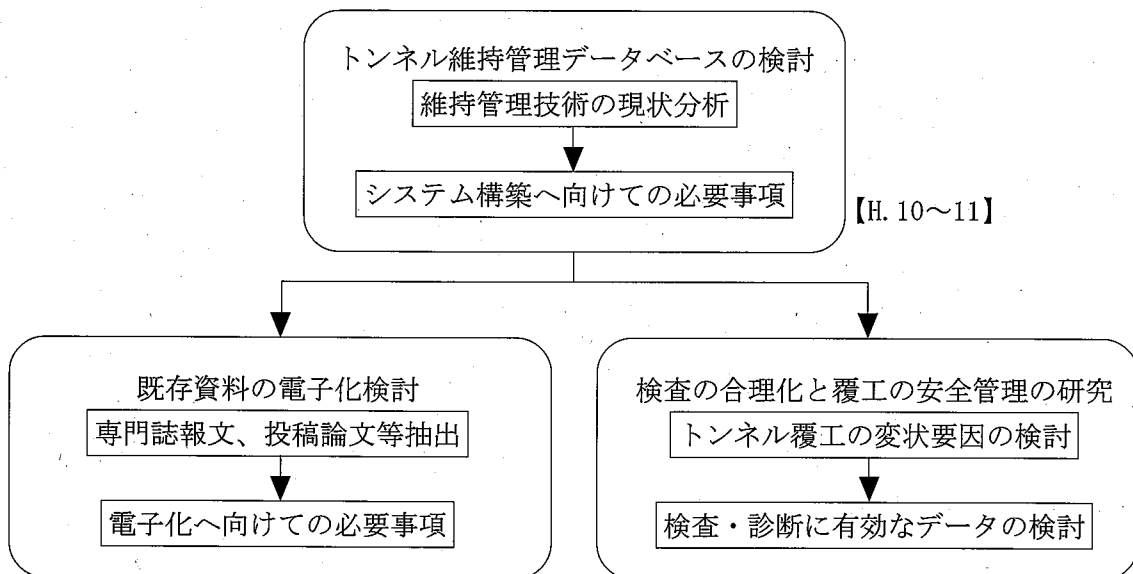
7. トンネルデータベースの作成に関する検討

7. 1 調査概要

7. 1. 1 調査の目的

トンネルは、道路交通網の中で、重要な役割を担っている構造物であることから、適切に維持管理することが、社会資本を長期間使用する上で必要不可欠である。維持管理を効率的に行うためには、種々のデータを一元管理し、適宜取出せる仕組みを作ることが必要であり、そのためのツールとして「データベース」は重要な役割を担う。

本調査では、このような維持管理のためのデータベース構築のあり方について提言するとともに、データとして必要性が高い既存資料の電子化についての検討および検査・診断に有効な評価データの選定について検討し、今後のトンネルの合理的な維持管理に資することを目的とする。本調査のフローは以下のとおりである。



図－7－1 調査の流れ

【H. 12】

7. 1. 2 調査経緯

- 1) トンネル維持管理データベースの検討（平成10～11年度）
 - ① 維持管理および点検・診断技術の現状分析
 - ② データベースシステム構築に向けての検討
- 2) トンネル既存資料の電子化の検討（平成12年度）
 - ① 北海道内のトンネルのリストアップ
 - ② 道内トンネルについての工事報告、投稿論文等の抽出
 - ③ 電子化へ向けての検討
- 3) トンネル検査の合理化と覆工の安全管理についての調査研究（平成12年度）
 - ① トンネル覆工の変状要因の検討
 - ② トンネル検査・診断手法の調査
 - ③ 検査・診断のための評価データ選定の検討

7. 2 トンネル維持管理データベースの検討

7. 2. 1 概 要

トンネルは供用後の改築が困難であることから、効率的な維持管理が必要不可欠となる。また、最近ではトンネルや高架橋からのコンクリートの剥離・落下という第三者に対する安全の問題が発生し、これまで以上に適切な保守管理が求められている。

有効な維持管理を行うためには、種々のデータを一元的に管理することが重要であり、そのためにはデータ・ベースを構築することが必要である。本研究では、このようなトンネルのデータベースに必要とされる要求事項や課題について検討したものである。

7. 2. 2 調査の内容

本研究で実施した調査項目を以下に列挙する。

- ① 維持管理および点検・診断技術の現状分析
(a) 文献・基準等の収集調査、(b) 関係機関へのヒヤリング調査、(c) 現状分析
- ② データベースシステムの検討
(a) 要求機能の決定、(b) データ項目の抽出、(c) アウトプットイメージの設計
(d) システム構成の検討

7. 2. 3 道路トンネルにおける維持管理の現状分析

(1) 道路トンネルの現状

鉄道トンネルや下水道管路に比較すると道路トンネルの歴史は浅く、本格的に道路トンネルが全国で建設されるようになったのは昭和30年代になってからである。道内においても、昭和30年代後半には5年間で総数66件の竣工というかつてない記録を残した。

1) 古いトンネルの覆工コンクリートの打設に関する聞き取り調査結果

当時トンネル建設に携わった技術者の方々に聞き取り調査を実施し、以下の結果を得た。

① 生コンの運搬方法と打込み

昭和30年代はトロック運搬と手打ちであり、アーチ頂部では材料分離やスランプ減少が生じやすかった。昭和40年代は、アジテータトラックとプレスクリートをを用い、型枠の奥から打設管を引抜く方式のため支保工背面へのコンクリートの充填が不十分になりやすかった。昭和50年代からは吹上げ方式が採用されこの問題は概ね解消されたと考えられる。

② コンクリートの打継

打設機械のトラブル等で長時間打設が中断すると、局部的に不連続面が発生する可能性があった（コールドジョイント）。また、逆巻工法のせめ部については、下げねこの部分に硬練りコンクリートを充填し、表面をモルタル仕上げるのが標準的であった。これにより、完成後ひび割れや漏水の原因となっていることが多い。

③ コンクリート打設中の処理

打設に際し木矢板は外さなかった。このため矢板の腐食による空隙の発生や巻厚不足の例が報告されている。湧水が著しい場合、波型鉄板、防水シート、時には水抜管を埋込むことがあり、この場合降雨的状况の中打設されたことも想定され、品質低下の原因になっ

たとも言える。掘削時余掘が多く発生した箇所では、板材、丸太等でサンドルを組んだり、ブリやエアモルタルを充填していた。これらの対策は、恒久的なものとは言い難く、このような箇所は調査上の留意点となる。

2) 維持管理に向けての留意点

以上から、トンネル覆工の老朽化の促進要因として、以下の点を挙げることができる。

- ①生コンの運搬方法、②打設方法、③コンクリートの打継目位置、④矢板の処理方法、⑤湧水の処理方法

当時の施工状況では不可抗力的な面も認められるが、上記要因により巻厚不足、空洞、品質低下、強度・材質の不連続、異物混入等の発生の可能性を否定することはできない。

(2) 道路トンネルの維持管理の現状

1) トンネルにおける検査・診断の特徴

トンネルの検査については、①狭く暗い空間内での作業となる。②供用中の限られた検査時間内で行う。③長大で連続した壁面を対象とする。④背面が見えない状態で行う。という極めて過酷な条件下において人力で行うのが現状である。

一方、変状トンネルでは、変状原因とともに、作用する外力の程度を推定することが健全度判定と対策工の設計において必須である。一般に、

①地形地質等の環境条件、②ひび割れパターンや内空変位等の変状現象・進行性、③覆工構造を総合的に勘案し、外力を推定する

ことになるが、これを適切に行うためには十分な経験と技術に基づいた診断が必要となる。

2) 検査の現状

一般に、トンネルの検査は、一次検査と二次検査に分けられる。一次検査においては、全長を対象として、用途に応じて数年おきに定期的に行うもので、比較的簡易に実施できる検査手段（例えば壁面の目視観察、打音検査、撮影など）を用いて、問題となる区間を確実に抽出することに主眼が置かれる。

一次検査により抽出された問題区間においては、次の段階で、補修時期の判定や対策設計に必要な詳細な情報を得るための二次検査が実施される。これには、出来る限り定量的なデータを得るための検査手段（例えば変位計測、覆工背面の調査など）が用いられる。

しかしながら、トンネルの構造的な安定は、周辺地山の状態や土被り、気象条件、経年、建設方法等により異なるので、対策工の要否の判断やその設計を定量的に行うことは難しいのが現状である。また、措置を講じた後も効果判定のための検査診断を一定期間密に継続する必要がある。このような状況から、この段階における診断は、他の構造物に比較して専門家に頼る比率が高い。

7. 2. 4 データベースシステムの検討

(1) 用途

「トンネル維持管理データベースシステム（仮称）」の用途は以下のとおりと考えられる。

- ① トンネル・覆道構造物本体および付帯施設の点検・診断への支援
- ② 補修・補強・改築などの時期の判定

- ③ 維持管理や点検の効率化への支援
- ④ 災害発生時の支援

これらの用途に合致したものを、既存データや既存システムを有効活用し作成することが重要である。

(2) 既存データ

トンネル設計時の調査データや設計図書、および施工時の地質データや計測データ、ならびに竣功後の各種点検データ等、既存のものとしては以下のものがある。

- ① Michiデータ
- ② 北海道の道路トンネル第1、2集
- ③ 設計図書
- ④ 施工時のデータ
- ⑤ 各種調査（地質、環境、防災etc）
- ⑥ 各種の点検表
- ⑦ トンネル台帳

(3) 必要データの種類

既存データの内、システムに必要なデータを抽出し、調査項目別に分類した。

- ① 諸元（トンネル名、路線名、延長、地質、着工日、竣功日、幅員構成、内空断面積、掘削工法、トンネル等級、平面線形、縦断勾配）
- ② 地質調査データ（地質報告書）
- ③ 詳細構造（設計報告書、構造計算書、本体工設計図、数量計算書）
- ④ 付帯設備（付帯設備計算書、設計図）
- ⑤ 施工時調査データ（水平ボーリング、切羽観察、計測データ）
- ⑥ 施工記録（施工計画書、工事誌、投稿論文、文献）
- ⑦ 立地条件調査データ（騒音、振動、地盤沈下、植生）
- ⑧ 防災調査データ（落石、なだれ、土石流、斜面崩壊、地すべり、空中写真）
- ⑨ 変状調査データ（トンネル内クラック、漏水、盤ぶくれ、はく落、押し出し、落下、施工継目の開き、路面・側溝の変状、石灰等の析出、材料劣化、覆工背面の状況、コールドジョイント）
- ⑩ 点検表（震災点検、防災点検、緊急点検）
- ⑪ 災害履歴（災害種、時期、規模、災害箇所、被害状況、原因、対処方法）
- ⑫ 補修履歴（補修の種類、時期、規模、数量、補修材料の種類、付帯設備の補修）

(4) データベースの用途と必要データの種類

(1) において示したデータベースの用途と、(3) で述べた必要データの種類との間には次表のような関係がある。従って、それぞれの目的に応じてトンネルデータを使い分けるのが効率的である。

表－７－１ データベースの用途と必要データとの関連表

データ種類 DBの用途	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
本体・付帯施設の点検・診断	○		○	○					○	○	○	○
補修・補強時期	○			○				○	○	○	○	○
維持管理・点検の効率化	○					○	○	○	○	○	○	○
災害発生時の対応	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○

注) 上表の①～⑫は(3)で述べたトンネルデータの種類を表す。

(5) アウトプットイメージ

アウトプットのイメージ図を以下に示す。

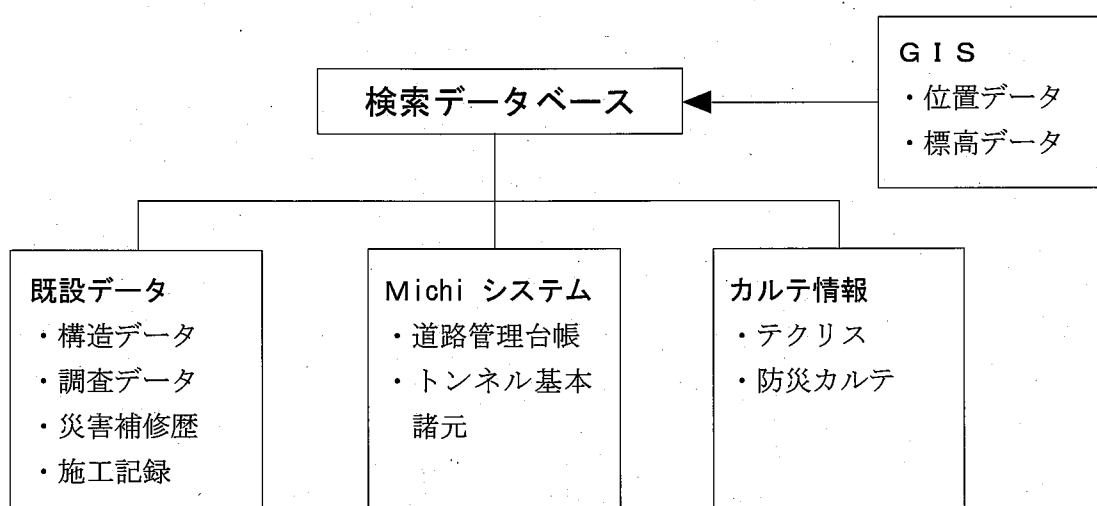


図7-2 アウトプットイメージ

7. 2. 5 データベース構築に際し考慮すべき事項

合理的な道路トンネルの維持管理を行うためのデータベースを構築する際、考慮すべき点を列挙すれば以下のとおりである。

- ① 既存資料（ほとんどがペーパー）の電子化を進め、データを有効活用すること。
トンネルは比較的、設置数が少ないことから、一般図、設計図、地質報告書などの設計図書を電子化することは容易と考えられる。また合わせて、専門誌、各種文献などに投稿されている論文・報文も各トンネル毎に収集・電子化し、すぐ検索・活用できるようにしておくことも必要である。
- ② 掘削工法、覆工打設工法、トラブル対策など施工時の実績・記録を収集し反映させる。

変状原因の解明や対策工の検討に際し、建設時採用・実施された掘削工法、コンクリート打設方法、トラブル対策等についての情報が決め手となる場合がある。また構造物としてのトンネルの健全度を評価する際にもそれらのデータは非常に役立つものと考

えられる。

- ③ データベースの使用目的や用途に応じ、データを適切に取捨選択し、システムの機動性を高める。

データベースは様々な場面で用いられることが想定される。主な用途は7. 2. 4 (1) で示した4つに集約されることが考えられるが、全ての用途を満足するデータベースを構築することは、システム自体が重くなり現状では操作性・経済性などの点において、デメリットが多い。したがって用いる用途に応じて7. 2. 4 (4) で示したようにデータを取捨選択し、実用的なシステムを心がけることが必要と考える。

- ④ MICH I システム等、既存データベースとの有機的結合を図る。

全国的に統一された「MICH I システム」および「トンネル台帳システム」などの既存のデータベースシステムと、リンクできるようにしておき、互いにデータの互換性を図ることが、全体の効率性の上からも重要である。また、GISを用いて地図情報とマッチングさせ、将来の建設CALS/ECでの完全電子化への対応も考えておく必要がある。

7. 2. 6 まとめ

本研究では、関係機関の点検保守に関する基準等の文献調査や建設技術者への聞き取り調査を行い、道路トンネルの維持管理や点検技術に関する現状について把握した。次に、データベースシステムに関して、用途や要求機能ならびに必要なデータ項目を抽出し、望ましいシステムのあり方について整理した。

従来の維持および補修はどちらかというに変状や破損への対応が中心であったと考えられる。しかしながら今後は、種々の情報を活用して合理的に補修時期や補修箇所を予測したり、維持管理費用も含めたライフサイクルコストの観点から企画的に施設の更新を行うなど、計画的で効率の良い維持管理が社会的に求められることとなる。

このようなことを踏まえ、トンネルの維持管理とデータベースに関し今後の課題と考えられることを以下に列挙する。

- ① 山岳トンネルの特性を考慮した各種データの選定と診断（評価）システムの確立
- ② 検査（点検）の自動化・省力化
- ③ 補修・補強工法の体系化

7. 3 トンネル既存資料の電子化の検討

7. 3. 1 概 要

7. 2において記述したとおり、平成11年度、道路トンネルの維持管理について現状分析を行い維持管理に役立つデータベースのあり方について提言を行った。その結果、収集・電子化すべきデータとして設計図などの設計図書のほか、地山や湧水の状況、掘削時の変状状況など施工段階での種々の記録も必要であることが分かった。

これは、山岳トンネルは他の土木構造物と異なり、

- ・補修・補強・改築などの適切な判定
- ・災害発生時の支援

などデータベースを活用すべき場面において、それら施工過程の既存資料が重要な判断材料となると考えられるからである。

そこで平成12年度、調査・設計・施工の各段階での設計図書、施工報告、計測報告、投稿論文など北海道内のトンネルに関する既存資料について洗い出すとともに、それらの電子化に向けた検討を実施した。

7. 3. 2 調査の内容

トンネルの維持管理や点検を効率的に行うため、既存資料の有効的な活用が不可欠となる。既存の文献が種々あるのでそれを電子化し、キーワードも整理し検索可能にする。

以下の項目毎に各文献を整理した。

- ① 北海道内の供用中のトンネルのリストアップ
- ② 道内トンネルについての工事報告、投稿論文等の抽出
- ③ 難工事トンネル、完成後変状・補修・補強トンネル等問題トンネルの抽出

7. 3. 3 調査結果概要

北海道内の供用中のトンネルについては「北海道の道路トンネル第1集（北海道土木技術会トンネル研究委員会編）」および「同 第2集」からリストアップした。また道内トンネルについての工事報告、投稿論文等については「トンネルと地下（社団法人日本トンネル技術協会会誌）」、「トンネル研究委員会会報」、「トンネル技術の特別講演と技術研究発表会論文集（北海道土木技術会トンネル研究委員会）」などから抽出し、文献集としてとりまとめた。

道内トンネルについて収集した資料の一例を次ページに示す。

北海道土木技術会 トンネル研究委員会 会報

No.	トンネル名	路線名	出典	年月	タイトル	著者(所属)	キーワード	備考
A-1	和利トンネル	道道	NO. 1	1986.03	道東地の真只中「和利」から	松本平恒美(鹿島・伊藤・岩倉JV)	・軟化腐食作用 ・酸性地山 ・掘削工事 ・集塊岩 ・環境交通確保	
A-2	か'ツマイ トンネル	一般国道228号	NO. 2	1986.09	か'ツマイトンネルの施工	山崎紀寿(伊藤組土建)	・土砂トンネル ・土被り最大35m ・掘削断面横 100m ² ・ベンチカット工法	
A-3	旭川トンネル	一般国道12号			住宅地を静かに潜行「旭川」トンネル	葛山真(大林・荒井・石山・札幌JV)	・土砂トンネル ・土被り最大35m ・掘削断面横 100m ² ・ベンチカット工法	
A-4	美唄トンネル	道央自動車道			断層・炭層・充てん・感地 —美唄トンネル工事を振り返って—	松岡祐史(間組・大日本土木JV)	・機械掘削 ・泥岩、頁岩 ・断層 ・流動化 ・粘土鉱物	
A-5	送毛トンネル	一般国道231号	NO. 3	1987.03	送毛トンネル補強工事の設計	永山勝(札幌開建)	・内空壁位置最大300mm ・角閃石安山岩 ・モンロイト ・グラウト・アッカー	
A-6	福山トンネル	一般国道274号			福山トンネル施工報告	棚田勲(宮開開建)	・インバート打設 ・粘板岩 ・旧地すべり地形 ・940t工法(70m) ・NATM(707m)	
A-7	名母トンネル	道道 名寄連絡線			最北地名寄峠の貫通をめざして	坂井康孝(伊藤・北野・米田JV) 野崎千秋(伊藤・北野・米田JV)	・集塊岩 ・粘土化 ・在来工法 ・940t・上半工法	
A-8	嵐山トンネル	道央自動車道	NO. 4	1987.09	道央自動車道嵐山トンネルの施工	手塚洋(大成・三井JV)	・神居古潭成帯 ・蛇紋岩(全体の1/4) ・NATM(ショート・ベンチカット) ・双段トンネル ・在来工法(上半) ・940t(下半)	
A-9	峠の岬トンネル	一般国道229号			自然があたえてくれた観光地 峠の岬トンネルの掘削について	菊池賢司(松本・伊藤・佐藤JV)		
A-10	豊志内トンネル	一般国道12号			神居古潭成帯—蛇紋岩を貫くトンネル掘削中— —豊志内トンネル—			
A-11	マカ峠トンネル	一般国道231号	NO. 5	1988.03	成帯における			

図-7-3 収集資料(文献集)の一例

7. 3. 4 電子化に際し考慮すべき事項

北海道内の道路トンネルに関し、施工報告、計測報告、投稿論文など公表された既存資料について洗い出し、出典、キーワード、コピーなどをとりまとめた。今後これらの資料を電子化するにあたり留意する点は以下のとおりである。

① 定期的な資料の収集とデータベース化

他の多くの土木構造物と異なり、山岳トンネルは地山を主要な材料とする構造物である。建設時に困難を生じた地山のトンネルは、完成後も問題を起こすことが多いことは経験上良く知られるところである。地山は時間とともに変化する材料であり、建設時あるいは現時点で問題がなくとも、将来問題が発生する可能性を全く否定することは出来ない。したがって施工時の記録を定期的、体系的に収集し順次データを蓄積してゆく仕組みを作ることが必要と考えられる。

② 既存のデータベースとの有機的結合を図り、利用しやすい環境を整える。

「M I C H I システム」や「トンネル台帳(北海道開発局平成11年度構築)」などの既存データベースシステムとリンクできるようにしておき、データの互換性を図ることが全体の効率性の上からも重要である。また、GISを用いて地図情報とマッチングさせ、将来の建設C A L S / E Cでの完全電子化への対応も考えておく必要がある。

③ 用途に応じ機動性に富んだシステムとする。

データベースは様々な場面で用いられることが予想される。しかし、全ての場面で全ての用途を満足するようデータベースを構築することは、システム自体が重くなり、現状では操作性、経済性などの点においてデメリットが多い。従って、用いる用途に応じてデータを取捨選択し、実用的なシステムを構築することが望まれる。

7. 4 トンネル検査の合理化と覆工の安全管理についての調査研究

7. 4. 1 概 要

7. 2において記述したとおり、平成11年度維持管理データベースの検討を行った。検討を通じ、トンネルの健全度を評価するためには、トンネルの安全管理に有効で適切な評価データを効率よく収集することが重要であることが分かった。しかしながら、一般に山岳トンネルには、地圧の作用の他、湧水や水位変動、地震などの環境変化など、寿命を縮める要因が数多く存在する。このような要因を、検査によつて的確に見出すことが必要であるが、トンネルの検査は通常極めて過酷な条件下において人力で行われることから評価の決め手となるデータが十分に収集されている環境が整っているとは言い難い。そのため、最近では、非破壊検査をはじめとする、検査技術の省力化、効率化などが求められている。

このような背景を踏まえ、本テーマではトンネルの寿命を縮める各種の劣化要因について抽出した後、合理的な検査技術や診断手法を調査し、トンネル覆工の安全管理に役立つ評価データの方向性について示す。

7. 4. 2 調査の内容

- ① トンネル覆工の変状要因の検討
- ② トンネル検査・診断手法の調査
- ③ 合理的検査・診断のための評価データ選定に際し考慮すべき事項の抽出

7. 4. 3 トンネル覆工の変状要因の検討

(1) トンネル覆工の機能

山岳工法におけるトンネル覆工コンクリートの機能としては、一般に以下の事項が要求される。

- ① 漏水の少ない水密性の良い構造物とする。
- ② 供用中の点検、保守等の作業性を高める。
- ③ トンネル内の照明、防災、換気等の施設を保持する。

一般にNATMの場合、覆工コンクリートには力学的機能を付加させないが、覆工コンクリートの強度特性として以下の事項が要求される。

- ④ 地質の不均一性、支保工の品質のばらつき、ロックボルトの腐食等の不確定要素を考慮し、構造物としての安全率を増加させる。
- ⑤ 使用開始後の外力変化や地山・支保材料の劣化に対し、構造物としての耐久性を向上させる。

さらに、荷重の作用を前提にした特殊なトンネルや、トンネル掘削後の変位が収束せずにやむを得ず覆工コンクリートを打設せざるを得ないようなケースにおいては、覆工コンクリートに力学的機能を付加させ、その荷重に応じた覆工コンクリートを設計することとなる。

(2) トンネル覆工の品質

上記のような機能を満足するのに必要な覆工コンクリート設計については、不明な点多

く確立された手法がないのが現状である。よって、山岳工法トンネルの多くは、覆工の設計として経験と実績に基づく標準設計巻厚を設定することにより設計を行っている。このことは、施工事例等から所定の品質で標準設計巻厚が確保できれば、覆工コンクリートは上記の要求を満足するという考えが背景になっていると考えられる。

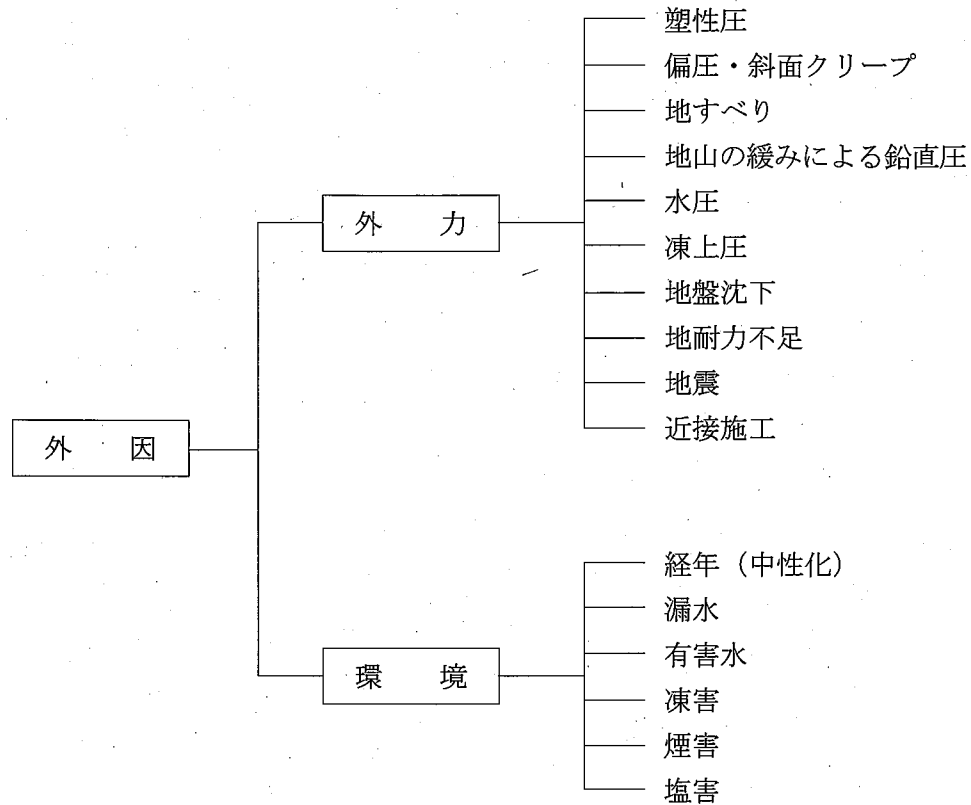
しかしながら、様々な原因により適切な施工ができなかった場合や完成後の外的条件の変化等により、覆工コンクリートには、ひび割れ、巻厚不足、漏水、表面仕上り不良、コールドジョイント等の不具合が発生することとなる。したがって、入念な施工を講じたとしても、これらの不具合については、これを完全に除去することは難しかったと推察される。この理由としては、以下の点が考えられる。

- ① 覆工コンクリートの材料としては、設計基準強度 18N/mm^2 または 21N/mm^2 のコンクリートが使用されるが、無筋であることから引張応力等に弱い部材である。
- ② 2車線道路トンネル断面での覆工コンクリートの構造は、周方向に22m程度のアーチ構造で、設計巻厚は30～60cmの一定厚のため、温度変化や乾燥収縮に対し弱い構造となっている。
- ③ コンクリートの型枠はスライド式のセントルであり、下から打設することから、アーチ天端付近を完全に充填することは難しい。また、天端部にはブリーディングによる余剰水が発生することとなるが、完全に処理できないだけでなく、その状況を確認することもできない。

このような状況が、覆工コンクリートにおける種々の不具合、すなわち、ひび割れ、巻厚不足、漏水、表面仕上り不良、コールドジョイント等の発生に繋がり易かったものと考えられる。

(3) トンネル覆工の変状要因

トンネルの変状要因は、下表に示すように外因（外力や環境の外的な要因）と、内因（材料や設計、施工等に起因する構造的な要因）に大別される。



図－７－４ 外因の分類（文献４）を一部修正加筆）

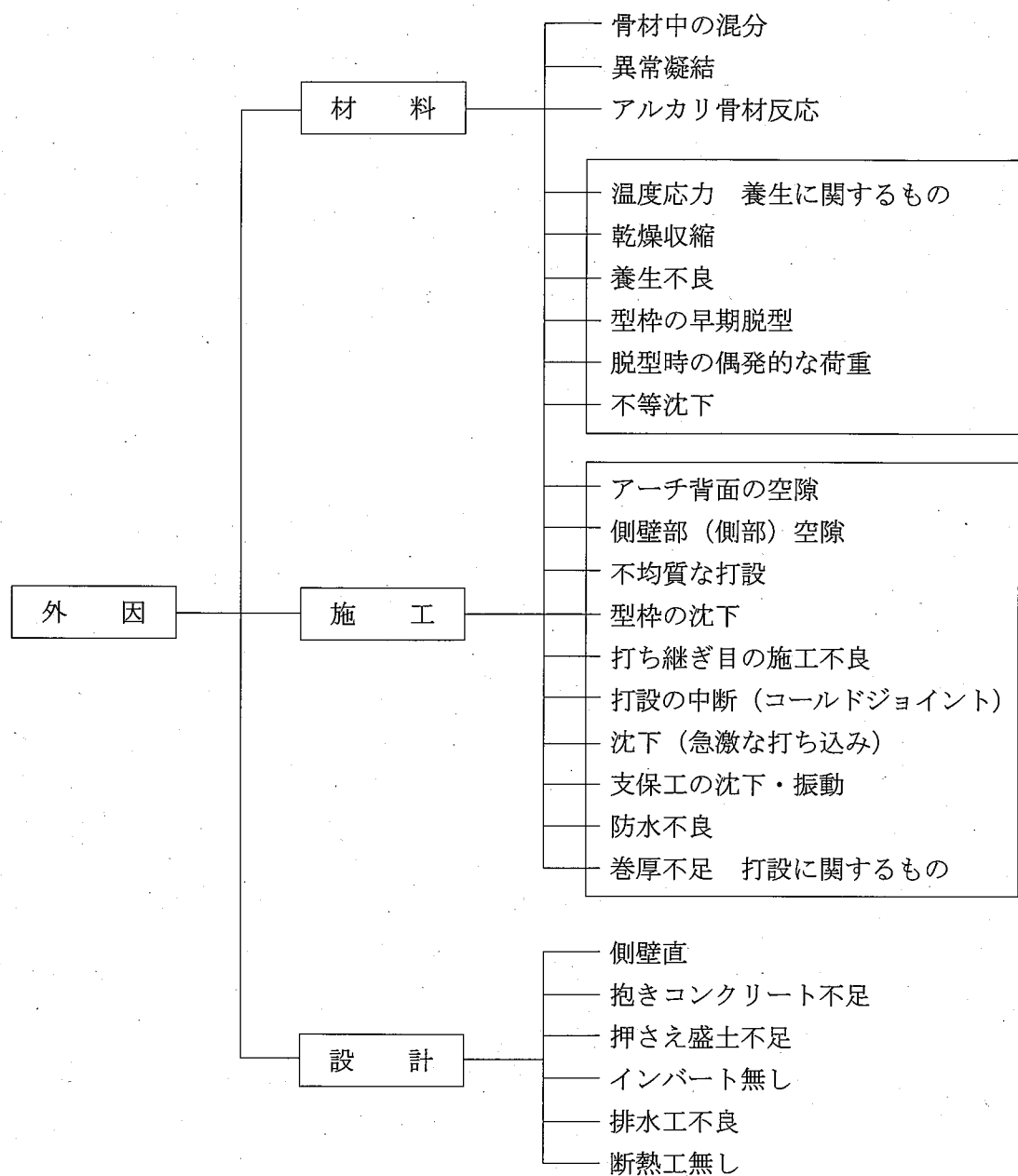


図 7－5 内因の分類（文献 4）を一部修正加筆）

これらの変状要因が単独で、あるいは複合して影響し、トンネル覆工に生じる変状現象としては以下のものがある。

- 1) ひび割れ（目地切れ、食い違い、剥離・剥落含む）
- 2) 変 形
- 3) 側壁沈下
- 4) 漏 水
- 5) つらら・側氷
- 6) 材料の劣化

表 7-2 主な変状原因と、それにより促進される変状現象（文献4）を一部修正加筆）

変 状 原 因	促 進 さ れ る 変 状 現 象
アーチ背面の空隙	・ トンネル幅の縮小 ・ 側壁、SL付近・アーチ肩部のひび割れ ・ アーチ頂部の圧ざ ・ トンネル高さの縮小 ・ アーチ頂部の水平ひび割れ、目地切れ } 水平地圧が作用した場合 目地切れ、食い違い 鉛直地圧が作用した場合 (裏込注入工無しまたは不足の場合)
側壁部（側部）空隙	・ トンネル高さの縮小 ・ アーチ頂部の水平ひび割れ・目地切れ（裏型枠、レンガ、ブロック）
巻厚不足	・ アーチ部頂部の水平ひび割れ（頂部の巻厚不足の場合） ・ 不定形のひび割れ、浮き、剥離（その他の部分の巻厚不足の場合）
逆巻迫め部の不良	・ 迫め部の食い違い、漏水、土砂流入 ・ 側壁の倒れ込み、トンネル幅の縮小
材質不良	・ 不定形のひび割れ、剥離、剥落、ジャンカ
防水不良	・ 漏水、つらら

7. 4. 4 トンネル検査・診断手法の調査

(1) トンネル検査法

トンネル覆工には、外力や施工状況の様々な要因により、ひび割れ、巻厚不足、漏水、表面仕上り不良、コールドジョイント等の不具合が発生することとなる。そこでトンネルの健全度を評価するためには、これら不具合の現象を正確に把握するとともに、進行性についても定量的に測定する必要がある。また、トンネル建設時の地山施工条件も詳細に調査する必要がある。

トンネルの検査手法を、検査項目別に分類すると表－7－3のようになる。

表 7－3 山岳トンネルにおける検査手法一覧

検 査 法 \ 検 査 項 目	ひび割れ	ひび割れ深度	覆工巻厚	覆工背面空洞	覆工圧縮強度・材質検査	内空断面・内空変位	鉄筋位置・間隔	劣化診断	鉄筋腐食	覆工背面地山	中性化試験
赤外線サーモトレーサ	○										
壁面画像撮影処理	○										
打診音解析	○										
レーダー探査			○	○			○				
超音波亀裂深度測定		○									
伝達関数法			○	○							
超音波コンクリート厚測定			○								
打音検査				○				○			
シュミットハンマー					○						
超音波（バンジット）					○						
鉄筋腐食度検査（ポテンシャルホイール）							○				
レーザーによる形状測定						○					
鉄筋探査							○				
X線撮影							○				
（プロフォメーター）							○				
弾性波（超音波）測定								○			
ボーリング検査			○	○							
ボアホールカメラ				○						○	
（コンキット）										○	○

最近は、特に覆工コンクリートの剥落が話題となっており、その調査にあたっては非破壊検査が多用されている。非破壊検査手法を表7-4に示す。

表7-4 覆工コンクリート非破壊検査法とその評価⁶⁾

検査対象物 検査法		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		コンクリート					鉄筋			覆行表面のひび割れ		覆工コンクリートの浮き・空洞	覆工厚さ	覆工背面空洞
		圧縮強度	配合推定	アルカリ骨材反応	中性化深さ	塩化物量	位置・かぶり	径	腐食	深さ	長さ・幅			
非破壊検査	①目視検査			○				○		●	○			
	②反発硬度法	○												
	③超音波法	△					△			△		△	△	△
	④電磁波法						●	△				○	○	○
	⑤電磁誘導法						●	○						
	⑥レーザー法										●			
	⑦写真画像による方法										○			
	⑧赤外線法										△	◎		△
	⑨打撃法・打診法	○										△	△	△
局部破壊検査	⑩アンカー引き抜け法	○												
	⑪自然電位法								○					
	⑫分極抵抗法								○					
	⑬ハンマードリルによる試料採取法					◎								
	⑭コア採取による方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●

評価基準

● : 高精度で実用レベルに達している方法

◎ : 高能率で実用レベルに達している方法

○ : 実用レベルに達している方法

△ : 原理的には適用可能だが、精度、効率、費用などに問題がある方法

無記入 : 適用できない方法

(2) トンネル診断の手法

点検およびトンネル検査結果を調査箇所、変状の種類ごとに、変状の状態、進行状況を考慮した判定基準を設定して、診断を行うことが求められる。建設省が設置した道路トンネル耐久性検討委員会によって制定された「道路トンネル定期点検要領（案）」には、次のような覆工に対する判定基準が示されている。

表 7-5 定期点検結果の判定基準一覧表⁵⁾

点検箇所	変状の種類	判定区分 A	判定区分 B
覆 工	ひび割れ	急激にひび割れが進行しており、ブロック化して落下する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合	アーチの天端や肩部で幅 3 mm 以上、延長方向に 5 m 以上の規模を有する場合、または、ひび割れが多い場合
	う き 剥 離 剥 落	コンクリートの剥離、剥落が発見された場合、あるいは、うきの部分が剥落する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合	今後、剥落に結びつく、うき（圧ざ）が発見された場合
	打継目の 目地切れ ・段差	目地のずれ、開き、段差などにより止水板や、目地モルタルが落下し、引き続きその可能性があり交通の支障となるおそれがある場合	左記の場合で交通に支障のない場合
	漏 水 つらら 側 氷	大規模な漏水、つらら、側氷で交通に支障がある場合	左記の場合で交通に支障のない場合
	不適切な 施工に起 因する変 状（コー ルドジョ イント、 豆 板 な ど）	コールドジョイント、豆板の周囲で剥離、剥落が発見された場合、あるいはうきの部分が剥落する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合	左記の場合で交通に支障のない場合
	補修材の うき、剥 離、剥落	補修された箇所で、補修材やその周囲で剥離、剥落が発見された場合、あるいはうきの部分が剥落する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合	左記の場合で交通に支障ない場合

判定区分が A または B となった場合は、詳細調査を実施し、補修・補強対策が終わるまでの期間、日常点検で監視する。

7. 4. 5 合理的検査・診断のための評価データ選定に際し考慮すべき事項

我が国の道路トンネルは、「道路統計年報1999」によれば、1997年度現在で7,706箇所、延長にして5,543kmの道路トンネルが供用されている。このうち供用後25年以上経過したトンネル数が60%を占めており、老朽化とともに補修・補強対策を必要とする道路トンネルが今後さらに増加することが予想される。また、最近覆工コンクリート片等の落下によって、利用者に被害を与える事故もあり、トンネルの安全性確保に対する社会的な要求も高い。

このため、点検補修システムを構築し、効果的な補修・補強を実施することによって、トンネルの安全性・耐久性を確保することが必要となっている。

以上の背景を踏まえ、まずトンネル覆工の変状要因を抽出するとともにトンネル検査に関し現状の国内の技術について調査した。それらの調査結果を踏まえ、データベースに盛り込むべき評価データを選定するための方策について検討した。その結果を要約すると以下のとおりである。

① トンネル検査手法に関する技術開発の推進

覆工のひび割れの進展、空洞の有無や規模のデータが変状要因の分析や評価に不可欠であると考えられる。現在、目視点検や打音検査が広く行われているが、個人差が生じ易く、労力と時間面で非効率的である。このため、覆工コンクリート面の変状等を速やかに把握できるシステムおよびセンサー類の開発や、覆工内部や背面空洞等を検査する技術の導入を進めることが必要である。その中でレーザー法による覆工表面のひび割れ測定、電磁波法による空洞調査は実用の域に達しており今後道路トンネルにおいても有効な手法と考えられる。

② トンネル点検記録様式の標準化と電子データ化

点検の標準様式を電子化し、道路管理者間におけるデータの共有化、検索性の向上、データ保存状況の改善を図ることが必要である。

③ 自動診断システムの開発

効率的な維持管理を実現するため、トンネルの検査から健全度の判定、変状原因の推定までを一貫して行う、いわゆる自動検査システムの開発が必要と考えられる。

④ トンネル点検に関する専門技術者の育成

トンネル点検の精度を向上させるため、トンネルに関する専門的知識を有する技術者を育成し、点検員の資格を与えることが必要と考えられる。現在、国土交通省では登録制度を検討中である。

⑤ 補修・補強対策工法の充実

最近、新しい炭素繊維材料や高分子材料を用いた工法等トンネル保守技術がめざましく進展している。これらの補修・補強効果、施工性、耐久性、経済性などの適用性の評価を適切に行うことが重要である。

文 献

- 1) 小島芳之・青木俊朗・内川栄蔵・松村卓郎：地下構造物を対象とした検査・診断技術に関する現状分析、土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集、第4巻、pp.167-174、1999.1.
- 2) 平井光之・藤原康政・粕谷太郎・山田和男：地下構造物の維持管理上の要件とライフサイクル設計、土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集、第4巻、pp.175-182、1999.1.
- 3) 小島芳之・青木俊朗・内川栄蔵・松村卓郎：地下構造物の維持管理上の要件とライフサイクル設計、土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集、第4巻、pp.167-174、1999.1.
- 4) トンネル保守マニュアル（案）、財団法人鉄道総合技術研究所、2000.5.
- 5) 社団法人日本トンネル技術協会保守管理委員会編：トンネルの新しい検査手法（1）、トンネルと地下、第27巻8号、pp.57-65、1996.8.
- 6) 変状・トンネル対策設計マニュアル、財団法人鉄道総合技術研究所、1998.2.