

通信用トンネルの効率的な維持管理に関する検討*

A study on an efficient maintenance of the Cable Tunnels*

堀江豊司**・上田孝行***・森地茂****

By Toyoji HORIE**・Takayuki UEDA***・Shigeru MORICHI****

1. はじめに

戦後、わが国では一貫して社会資本整備が進められ、その建設は1960年代から1970年代の高度経済成長期にピークを迎えた。この時期に建設された社会資本は既に30年以上が経過し、今後も加速度的に社会資本の高齢化が進むことが認識されている。しかし、社会資本を運営する事業主体の多くは、財源不足や技術者不足などの背景から、将来にわたる既存ストックの維持管理に不安を抱えているのが現状である。これは通信分野においても同じことが言える。世界でも類を見ない人口密集地域である東京都では、大正時代から通信用トンネルの構築が始まった。現在では、新設されるケースは少なくなっている一方で、既存ストックの老朽化が重大な問題となっている。

亀裂や剥離などの劣化は、道路トンネルなどでは走行性や安全性を低下させるため、一般的に補修の対象となる。しかし、通信用トンネルでは亀裂や剥離が直接通信ケーブルに及ぼす影響は小さく、トンネルの機能そのものの低下ととらえていないため、鉄筋が露出するまでは補修を行わないのが現行の維持管理基準である。こうした背景から、通信用トンネルでは他の土木構造物に比べると補修される機会が少なく、全体的に劣化が進行しているのが現状であると考えられる。

本研究では、通信用トンネルについて既に劣化が進行している状態である現在を時間軸の原点とし、かつ実測データを用いてライフサイクルコストの算出を行うことで、現実に近い劣化予測を行い、効率的な維持管理手法を検討することを目的とする。

*キーワード：通信用トンネル、維持管理計画、既存ストックの老朽化、予防保全

**非会員、工学、政策研究大学院大学/NTTインフラネット(株)
(東京都港区六本木7-22-1、E-mail:mjd08010@gr.ips.ac.jp)

***正会員、工博、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻
(東京都文京区本郷7-3-1)

****フェロー会員、工博、政策研究大学院大学
(東京都港区六本木7-22-1)

2. 既往の研究のレビュー

土木構造物のアセットマネジメントでは、将来にわたる劣化を予測し、最も経済的な維持管理計画を策定することが重要である。劣化予測の過程については大まかに、過去の目視検査結果に基づいた統計的な劣化予測モデル、力学的劣化メカニズムに着目した劣化予測モデルの2通りに分類できる。は多くの劣化サンプルから、劣化過程の背後にある規則性をモデル化する統計的手法である。これについては、小林ら¹⁾や貝戸ら²⁾などの研究が進んでいる。の劣化予測モデルは、個別の施設における具体的な損傷劣化を対象とし、力学的劣化メカニズムを解明して劣化過程を直接的にモデル化する物理的手法である。コンクリート構造物の分野においては、森永ら³⁾のほか、土木学会「コンクリート標準示方書〔維持管理編〕」⁴⁾においても基本的な考え方が示されており、多数の研究成果がある。また、実在するコンクリート構造物の劣化の実測データを用いた研究としては、嵩ら⁵⁾や川西ら⁶⁾のものがあるが、まだ十分な一般性を持つ研究が蓄積されているには至っていない。

一方、通信分野におけるアセットマネジメントでは、実在の通信用トンネルを対象とした木村ら⁷⁾の研究がある。これは、西日本の通信用トンネルの詳細点検データをもとに塩害の進行を予測し、構造物全体のライフサイクルコストの算出を行ったものである。しかし、その他のアセットマネジメントに関する研究は、通信分野ではほとんどなく、また中性化を劣化要因とする構造物を対象とした研究は見あたらない。

これらを踏まえ、本研究では通信用トンネルの目視点検データ全数を対象として傾向を把握し、その中で特徴的な事例について詳細点検による劣化予測を行い、将来にわたる維持管理のシナリオを検討する。

3. 通信用トンネルの維持管理の現状

NTTビルから出発する通信ケーブルは、まず通信用トンネル(通信分野では「とう道」と呼ぶ。以下、どちらも併用する。)を通過し、一般管路、マンホール、ハンドホールなどを経由して、ユーザのもとへ到達する。

つまり、通信用トンネルは大動脈であり、最重要インフラ設備として位置づけられる。NTT東日本が所有するとう道の総延長は、平成17年4月現在で約370kmであり、東京都内にはその7割強にあたる約261kmが集中している。現場打ちコンクリートによる開削とう道の総延長は約110kmであり、そのうち1980年までの建設延長は約98kmである。つまり、2010年度には都内の開削とう道の約9割が建設後の経過年数が30年以上となる。

NTTにおけるとう道の維持管理基準では、図1のように、コンクリートの亀裂、浮き、剥離段階では経過の観察が、鉄筋露出に至った段階では補修が必要と判定される。また、2001年までは定期点検を行っていなかったが、亀裂や鉄筋露出が頻発するようになったことで、2002年にはとう道全延長を対象に鉄筋露出調査を実施し、その結果を受けて翌年から補修工事を実施している。また、継続的に不良を把握するため、翌2003年より定期点検を開始し、点検データを蓄積している。なお、定期点検は3年間で1巡するため、2008年度末において、2巡目の点検を完了した。

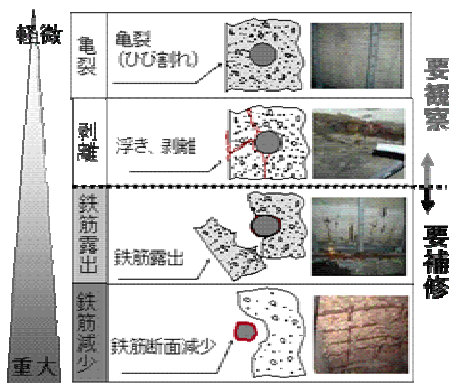


図1 とう道維持管理基準

4. 実測データに基づく劣化予測

(1) 全数を対象とした不良発生傾向の把握

不良の発生傾向を調べるため、都内の開削とう道を建設年度について5年毎にグルーピングし、亀裂および鉄筋露出の発生延長を集計する。その結果を表1に示す。ここに発生率とは、各年度のとう道総延長に対する不良延長の割合である。なお、これは1巡目の点検結果を集計したものである。

この表より、亀裂の発生率は概ね年代が古いものに多い傾向が見てとれるが、鉄筋露出の発生率は別の傾向があるように思われる。そこで、鉄筋露出の発生率をグラフにしたものが図2である。この図より、1966~70年代に建設されたとう道の鉄筋露出発生率が極端に高いことが見てとれる。このことから、次節以降ではこの年代に建設されたとう道の代表例をピックアップして、劣化の

詳細を分析していく。また、最も建設延長の大きい1971~75年代のとう道についても代表例をピックアップして比較検討を行う。

表1 建設年度毎の不良発生延長集計

建設年度	とう道総延長 (km)	亀裂		鉄筋露出	
		延長 (km)	発生率 (%)	延長 (km)	発生率 (%)
~1960	6.5	2.2	34.1	0.2	2.6
1961~65	18.0	5.0	27.8	0.3	1.8
1966~70	22.8	6.3	27.7	1.7	7.5
1971~75	35.6	6.8	19.1	1.4	4.0
1976~80	14.9	3.3	22.0	0.4	2.5
1981~	12.3	2.7	21.8	0.4	3.2
総計	110.0	26.3	23.9	4.4	4.0

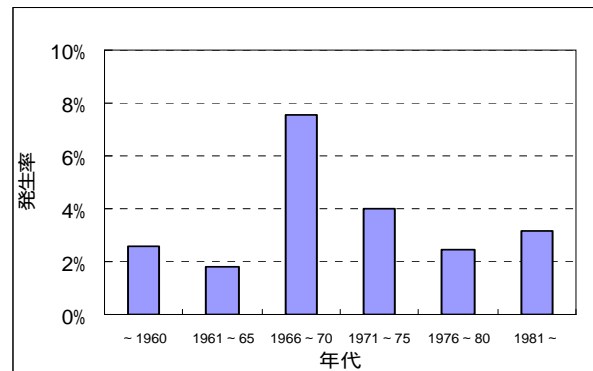


図2 建設年度毎の鉄筋露出発生率

(2) 個票による不良発生傾向

建設年度が1966~70年のとう道の代表例としてAとう道を、その他の一般的な例として1971~75年の中からBとう道をそれぞれ選定した。本節ではそれぞれの個票を用いて、亀裂と鉄筋露出の発生傾向および相関関係を調べてみる。

目視点検結果から亀裂と鉄筋露出の分布をプロットしたものを図3に示す。どちらのとう道も亀裂と鉄筋露出の発生箇所は必ずしも一致しておらず、相関関係はあまり見られない。そこで、3年後に実施した2巡目点検結果の不良発生増分を重ねたものを図4に示す。この図から、2巡目で鉄筋露出が進行している箇所は、1巡目点検時に不良が顕在化していなかったことが見てとれる。つまり、1巡目から2巡目までの3年間に、急速に鉄筋露出まで進行したということである。これらの関連性を定量化するため、相関係数を求めたものを表2に示す。結果としては、いずれの数値も低いため、ここからは相関関係があるとは言えず、目視点検結果から劣化予測を行うことは困難であると考えられる。そこで、次節においてはそれぞれの詳細点検結果を用いて、力学的劣化に着目して劣化予測を試みる。

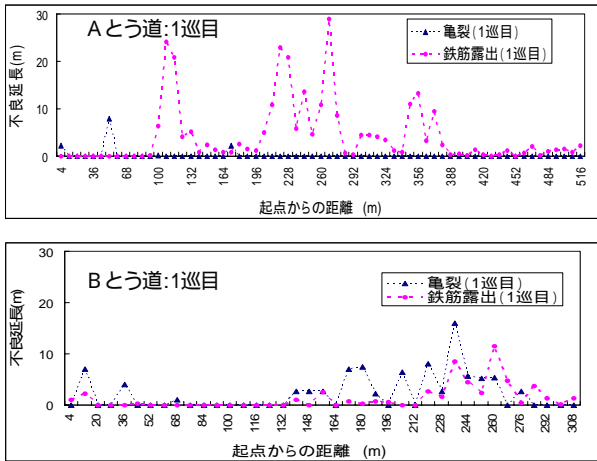


図 3 不良分布状況(点検1巡目)

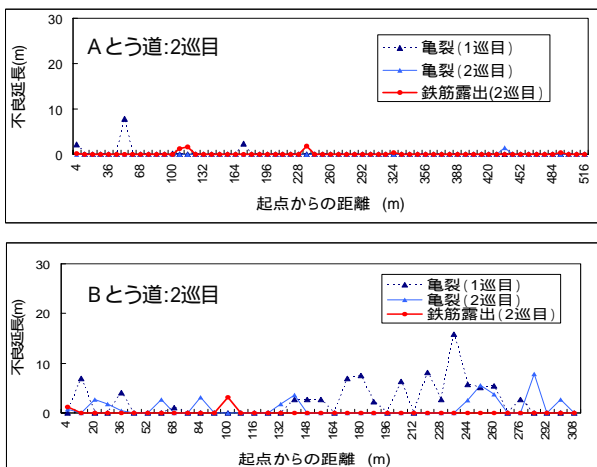


図 4 不良分布状況(点検2巡目)

表 2 亀裂と鉄筋露出の相関係数

相関係数	Aとう道				Bとう道			
	1巡目		2巡目		1巡目		2巡目	
	亀裂	鉄筋	亀裂	鉄筋	亀裂	鉄筋	亀裂	鉄筋
1巡目	亀裂	1			1			
	鉄筋	-0.115	1		0.551	1		
2巡目	亀裂	-0.023	-0.074	1	-0.061	0.294	1	
	鉄筋	-0.037	0.371	-0.031	1	-0.140	-0.095	-0.093

(3) 詳細点検データを用いた劣化予測

上述の2つのとう道について実施した詳細点検結果を表3に示す。いずれもcl含有量が低いことから塩害の影響は考えにくく、劣化要因は中性化であると判断できる。このデータを用いて劣化予測を行った結果を図5に示す。なお、中性化による劣化予測の考え方は文献4)を用い、鳥取ら⁸⁾の研究により適宜補完した。

表 3 各とう道の詳細点検結果

	経年	鉄筋かぶり(mm)		中性化深さ(mm)		cl含有量(kg/m ³)
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	
Aとう道	34	31.0	10.3	17.2	9.2	0.063
Bとう道	30	34.2	10.4	15.1	8.6	0.098

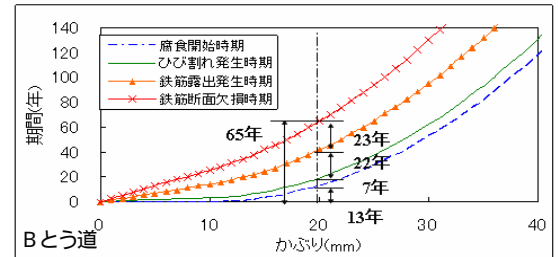
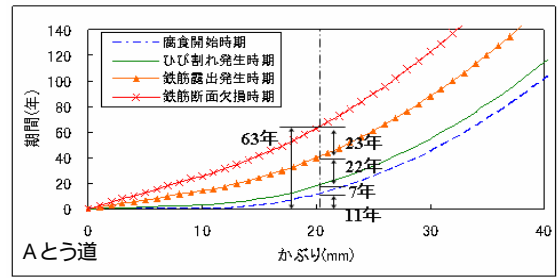


図 5 劣化予測結果

5. 効率的な維持管理の検討

(1) 想定したシナリオの概要

鉄筋コンクリートの健全度は、健全な状態を100%、耐荷力を失った状態を0%とすると、図6のように表せる。

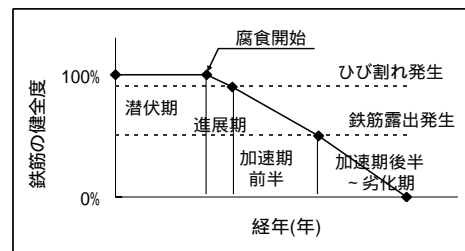


図 6 鉄筋コンクリートの健全度イメージ

従来の維持管理基準では、鉄筋露出発生時が補修のトリガーなので加速期後半~劣化期にあたるが、健全度としてはかなり低い状態であることが、この図から見てとれる。これをふまえ、本研究においては3つのパターンのシナリオを想定した。シナリオは、従来通り鉄筋露出を発見した場合のみ補修を行う「運転保全型」である。シナリオは従来の定期点検(目視)を続けるが、補修のレベルをひび割れ発生時、すなわち加速期前半に設定する「予防的運転保全型」である。シナリオは目視では異常が見られない箇所に対しても、中性化抑制塗布剤により処置を行う「予防保全型」である。つまり、補修レベルを潜伏期および進展期に設定するということになる。実際のとう道内には左右の側壁に通信ケーブルが数段にわたって設置されているため、補修を行う際には移設が必要となる。シナリオおよびについては、補修箇所のみが移設の対象となるが、については全面塗布

なので、全延長を左右2回移設する必要がある。このため、劣化が顕在化していない場合でも、一度の補修に大きな費用がかかることになる。なお、シナリオの検討期間を100年、社会的割引率を4%で共通とする。

(2) シナリオ算出結果

前節で設定した3パターンのシナリオを算出した結果を図7に示す。なお、図中の費用は、比較のため単位延長(km)あたりに換算している。また、各シナリオでの経過年数と費用の大小関係を示した表を表4に示す。いずれのとう道も初期段階ではシナリオ③が最も安価であるが、長いスパンで見るとAとう道では7年後以降、Bとう道では16年後以降に、シナリオ①の予防保全型が最も経済的となることが見てとれる。なお、Bとう道でシナリオ①と②に大きな差異が生まれないのは、基準年における亀裂延長の合計がAとう道に比較的多く発生していたことと、鉄筋露出長が比較的少なかったことが関係すると考えられる。

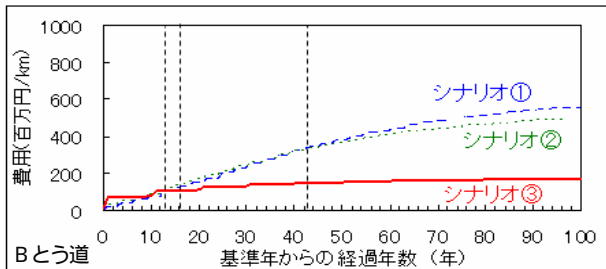
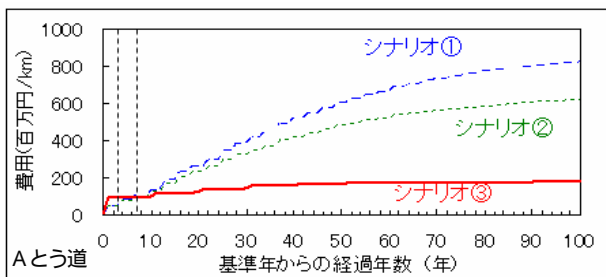


図7 シナリオ算出結果

表4 経過年数と費用の大小関係

Aとう道	経年(年)			Bとう道	経年(年)			
	0~3	3~7	7~		0~13	13~16	16~43	43~
費用	高	中	低	費用	高	中	低	
	低	高	中		高	中	低	

6. 本研究のまとめと今後の課題

本研究は、とう道の目視定期点検および詳細点検の実測データを基に、今後の維持管理のシナリオを描くことを試みたものである。まず、目視による定期点検データ全体を俯瞰し、1966~70年代に建設されたとう道で鉄筋

露出率が突出していることを確認した。そこで、特徴的な事例として該当する年代からAとう道を選定した。また、代表的な事例として最も多くのとう道が建設された時期である1971~75年代の中からBとう道を選定し、個票データの分析を行った。しかし、亀裂から鉄筋露出への状態間推移は見られず、相関関係も低いという結果であった。そこで、中性化深さや鉄筋かぶりを調査した詳細点検のデータに着目して力学的アプローチによる劣化予測を行った。この予測をもとに3つのパターンのシナリオ算出を行った。結果として、いずれのとう道も初めの数年間は現状どおりの維持管理が安価だが、長期的には予防保全型に移行することが極めて経済的であるとえられる。

目視による定期点検は2009年3月で2巡目を完了しているが、本研究では時期的にデータ取得が間に合わず、全体を俯瞰し傾向をつかんだだけとなった。今後はこのデータを活かして統計学的なアプローチも可能であると考えている。これにより、本研究の力学的アプローチとの比較やモデル化が実現できれば、より実状に近いアセットマネジメントが可能になると思われ、今後の課題の一つとして挙げておく。

最後に、本研究にあたり鉄筋コンクリートの中性化による劣化について貴重なご助言をいただいた東京大学石田准教授に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 小林潔司, 上田孝行: インフラストラクチャ・マネジメント研究の課題と展望, 土木学会論文集 No.744/-61, pp. 15-27, 2003.
- 2) 貝戸清之, 阿部允, 藤野陽三: 実測データに基づく構造物の劣化予測, 土木学会論文集 No.744/ -61, 29-38, 2003.
- 3) 森永繁: 鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究, 東京大学学位論文, 1986
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書〔維持管理編〕, 2001.
- 5) 高英雄, 和泉意登志: 既存RC構造物におけるコンクリートの中性化と鉄筋腐食について(その1~3), 日本建築学会学術講演梗概集, 1983.
- 6) 川西泰一郎, 濱崎仁, 榎田佳寛: 実建物に基づくコンクリートの中性化進行に関する分析, 日本建築学会構造系論文集, 第608号, 9-14, 2006.
- 7) 土木学会: 材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能, コンクリート技術シリーズ71, pp.178-191, 2006.
- 8) 鳥取誠一, 宮川豊章: 中性化の影響を受ける場合の鉄筋腐食に関する劣化予測, 土木学会論文集, No.767/ -64, 35-46, 2004.