山岳トンネルの劣化予測曲線の評価に関する一考察

㈱鴻池組　土木技術部　　正会員　○山田　浩幸
パシフィックコンサルタンツ㈱　交通技術本部　　正会員　岡嶋　正樹
㈱ドーコン構造部　　正会員　重清　浩司

1．はじめに

今後の地下構造物の維持管理を効率的に進めていく中で，山岳トンネルを対象に考えると，**図－1** のように一般の道路トンネルでは，設計時の基準 50 年以上経過したものが全体の約 20%（540km）を占め，今後急激に増える事は確実である．これまでは不具合箇所（変状や漏水等）に関して対処療法的に対応してきたものの，近年の覆工コンクリートはく落事故や地震被害を契機にその信頼性が疑問視されトンネル自体の維持管理・更新への関心が高まっている．

一方，公共投資が抑制される中で，新規建設による更新は難しく，おのずと合理的・効果的な維持管理が大きな課題である．本研究では，実トンネルに基づくモデルトンネルの健全度評価結果より得られた劣化予測曲線の評価に関する考察を行った。

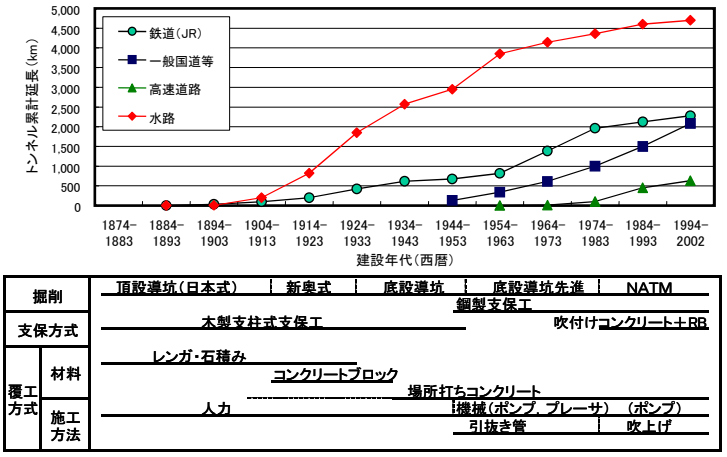

図-1　山岳トンネル建設の歴史と資産推移 [1)]

2．劣化予測曲線と長寿命化技術

山岳トンネルの長寿命化を実現するシナリオとしては**表－1** に示す 5 つの分類が考えられる。

これまでの道路トンネルのシナリオとしては，イニシャルコストに着目した経済設計によりトンネルを建設し，供用後に生じる不具合に対して対症療法的に補修・補強対策が実施されてきた．しかしながら，前述のとおり，数多くのトンネル構造物が老朽化し，一時期に集中して補修・補強対策が必要とされている現状の社会背景を踏まえ，今後は50年を超えるようなトンネルの長寿命化を図る目的で，適切な劣化予測を行い，建設時から維持管理に配慮した設計を行っていくことが重要になってくる．現況の研究レベルではトンネルの劣化予測手法として以下の手法がある．

(1) 周辺地山の地圧増大の時間依存性を考慮した変状解析手法 [2)]

(2) 確率論（マルコフ過程）を用いた劣化予測 [2)]

(3) 点検履歴から確率過程を用いた劣化予測手法 [2)]

表-1　トンネル長寿命化のシナリオと対策工 [2)]

技術分類	長寿命化のシナリオ	具体的な対策工
分類Ⅰ	従来型の補修・補強技術で，施工不良に起因する不具合や覆工のひび割れ等に対して行われる**対症療法的な対策**を実施する	・裏込め注入工 ・ひび割れ注入工 ・面導水，先導水等
分類Ⅱ	将来的な劣化に対する補修を不要とするために，トンネル**建設時から性能を上げておく**ことで長寿命化が期待できる．	・繊維補強覆工コンクリート ・インバート設置工等
分類Ⅲ	分類Ⅰに属する一般的な補修対策と比べて，**外力による変状や材質劣化の進行を遅らせる**ことで長寿命化が期待できる．	・地山注入工 ・コンクリート改質材塗布工等
分類Ⅳ	分類Ⅰに属する一般的な補修対策と比べて，**トンネルの健全度を高度に回復・補強する**ことにより，長寿命化が期待できる．	・プレキャスト覆工 ・薄肉鋼板内巻き工等
分類Ⅴ	社会的なニーズの変化から**建築限界を拡大**したり，**地震に対する耐力を増加**させる等もともとの要求性能が向上させることで長寿命化が期待できる．	・トンネル断面拡幅工（改築） ・耐荷工等

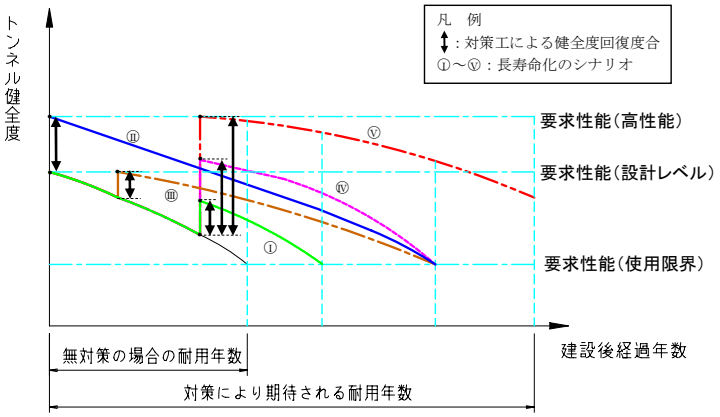

図-2　トンネル長寿命化のシナリオ劣化予測曲線 [2)]

キーワード　山岳トンネル，維持管理，長寿命化技術，劣化予測曲線，マルコフ過程
連絡先　　〒541-0057　大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1　㈱鴻池組大阪本店土木技術部　ＴＥＬ06-6244-3684

３．モデルトンネルにおける劣化予測事例
（マルコフ過程による劣化予測）

モデルトンネルは，NATM で施工され実際に変状を生じ，その調査結果が判明している A トンネル（21 スパン）をもとに設定した． 点検調査は，平成 12 年と平成 16 年の２回実施している。 トンネル専門技術者による全 21 スパンの平均と最大変状スパンの劣化度を**表－2** に示す。

なお，判定区分Ⅰは，浮き・はく離に代表される，「利用者被害を誘発する変状」，判定区分Ⅱは，外力による変状等による「構造的な変状」である。劣化度の目安は，**表－3** に示すとおりで最大 50 とした。

まず，全スパン平均の判定区分Ⅰに対し劣化予測を行った。築4年(H12)での劣化度10.8と築8年(H16)での劣化度19.9から，パラメータを推定すれば，その組み合わせの一つとして，Ni=2, Pi=0.62が得られる。ここで， Piは変状が次の判定区分に進行する移行確率であり，Niはそれを判定する経年である．同様に，判定区分Ⅱに対してパラメータを推定すれば，Ni=2, P_1＝0.81, $P_{2\sim4}$＝0.91が得られ，これらから劣化度曲線を示せば**図－3**のとおりとなる。同図からは，判定区分Ⅰは完成当時劣化度がないものの，早い段階で劣化が進行し，築およそ10年で劣化度が25，すなわち健全度が1/2程度になることがわかる。

判定区分Ⅱは，完成当時から初期値として劣化があるモデルとなっているが，判定区分Ⅰと比較し，劣化進行は緩やかで，築40年程度で健全度が1/2となる。同様に推定した最大変状スパンでの劣化度曲線を**図－3**に示す。利用者被害に対する判定区分Ⅰでは，築5年以降急激に要補修・対策区間が増えるのに対し，構造的な変状である判定区分Ⅱは緩やかであり，築30年でおよそ20%の範囲で対策が必要となる。

今回の試算は比較的単純な手法で点検結果を用いて劣化予測を行ったものであるが，移行確率や部材・変状の種類や位置によって重み付け係数（パラメータ）を設定する等工夫すれば，トンネル毎の劣化曲線の推定を行うことができる．

表-2　Ａトンネルの劣化度

		全スパン平均	最大変状スパン
判定区分Ⅰ	初回点検（H12）	10.8	10.6
	２回目点検（H16）	19.9	25.0
判定区分Ⅱ	初回点検（H12）	9.0	8.8
	２回目点検（H16）	11.8	15.6

表-3　劣化度の目安 [2)]

点検要領による判定	劣化段階	劣化段階の状態	対策方針	劣化度	健全度
A	Ⅴ	劣化が著しく進行しており，もし，2年以内に対策がなされないと，必要な機能が確保できなくなるか，利用者等に危険が及ぶ恐れがある。	補強	50	0
	Ⅳ	劣化や変状が広範囲に確認でき，劣化，変状がさらに進行すると予想され，もし5年以内に対策行われないと，必要な機能が確保できなくなるか，利用者等に危険が及ぶ可能性がある。	補修	40	10
B	Ⅲ	劣化や変状が一部見られ，このまま進行すると予想される。もし適切な時期に対策がなされないと，必要な機能が確保できなくなるか，利用者等に危険が及ぶ可能性がある。	予防保全	30	20
S	Ⅱ	軽微な劣化や変状が見られる。現状では利用者等に影響はなく機能低下も見られないが，断続的な監視を必要とする。	継続監視	20	30
	Ⅰ	健全で機能的にも問題ない。	対策なし	10	40
				0	50

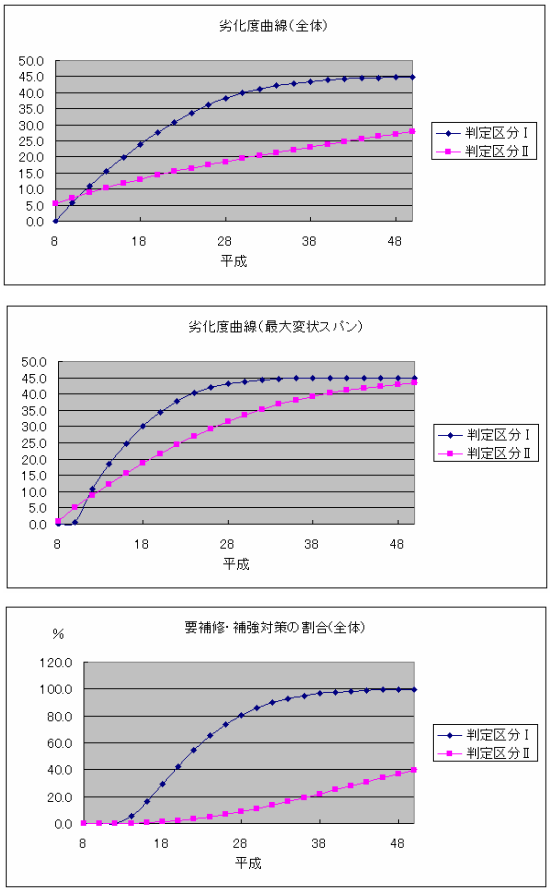

図-3　Ａトンネル劣化度曲線と補修・補強割合

４．まとめ

本研究は土木学会地下空間研究委員会維持管理部会における成果の一部を紹介したものであるが，劣化予測手法が実用レベルにある鋼構造物，鉄筋コンクリート構造物，アスファルト舗装等に比較すると山岳トンネル分野においては他の構造物に見られない特殊性を有しており，合理的な劣化予測手法の研究が始まった段階である．

今後は，専門技術者による経験的判断，実際のトンネル劣化状況と対策工の効果などを参考にして劣化予測手法の検討を進め，道路構造物の一部であるトンネル構造物の保全技術の向上に貢献できるよう努める所存である。

参考文献

1)（社）土木学会 岩盤力学委員会,トンネルの変状メカニズム,p20,2003.

2)（財）道路保全技術センター,道路構造物保全研究会,平成 18 年度報告書,2007.