ネットワークを形成する地下インフラ設備における 補修優先度の評価手法に関する基礎的研究 FUNDAMENTAL STUDY ON ASSESSMENT OF REPAIR PRIORITY FOR UNDERGROUND INFRASTRUCTURES CONSISTING OF NETWORK

江森 吉洋1・竹内 信次1・金子 俊輔2・大塚 正博3 Yoshihiro Emori・Shinji TAKEUCHI・Syunsuke KANEKO・Masahiro OTSUKA

As for the Undergroud Infrastructure of the city, there are many things built in a highly economic period of growth. So the facilities, which deteriorated will increase rapidly the next several years later. For such a problem, it is necessary to do flatten of a budget by enforcement of the prevention maintenance by making the priority of facilities to repair clear. As for the priority of facilities to repair, it is common to put two standards of importance and the deterioration degree of facilities together from experience in the companies and local public entities. Therefore I took the tunnel of transmission of electricity for an example this time and developed method to demand expectation from a supply and trust probability. In this method, I demanded development of the deterioration degree by Markov process. And I found an approximation solution with Ford-Fullkerson's algorithm to easily calculate expectation in the pattern of a complicated network of transmission. I can decide a priority of the repair from quantity of fall of the expectation by the deterioration of the tunnel by this technique systematically.

Key Words :asset management, city tunnel, network model, tunnel maintenance

1. はじめに

都市部地下空間における道路,鉄道,上下水道,ガス,電力,通信などのインフラ設備は複数の系統で 構成され,災害で1つの系統に支障があっても,他系統での供給が可能となり,大規模な供給停止の発生 を抑制している.しかし停止箇所によっては1箇所のトラブルが広範囲の地域に影響を及ぼすこともあり, 設備の維持管理においては,個々のトラブルがネットワーク全体に与える影響を十分に把握しておく必要 がある.

また一方で都市部におけるインフラ設備は、昭和30~40年代の高度経済成長期に建設されたものが多く¹⁾, 今後数年間で劣化した設備が急増し、維持管理費が集中して必要となる恐れがある.このような課題に対 して、資金的にも人的にも限りがある今日においては、補修する設備の優先順位を明確にした上で、予防 保全の実施等により予算を均平化することが必要である.この優先順位の評価手法については、例えば青 森県²⁾、横浜市³などのすでにアセットマネジメントに取り組まれている自治体などにおいては、設備の 「重要度」と「劣化度」の異なる2つの尺度を同時に評価するために、経験的に重み付けを行っているのが 一般的であるが、これには数値的な根拠に不確定な要素を含んでいる.

そこで本研究では電力送電用トンネルを例に取り,能島ら⁴の地震時被災リスクの検討手法を参考にして, 供給量と信頼確率から送電量の期待値を求める手法を検討した.補修の優先度はこの期待値の低下量によ ってシステマチックに決めることができる.この検討にあたっては以下の2つのポイントを念頭に検討を進

キーワード:アセットマネジメント,都市トンネル,ネットワークモデル,トンネル保守

¹正会員 東京電力株式会社建設部

²正会員 東電設計株式会社 土木本部

³フェロー会員 工博 東京電力株式会社工務部

めた.

1) 「重要度」と「劣化度」の異なる2つの尺度を同時に評価できる新たな指標づくり

2) 複雑なネットワークにおいても簡便に上記1)の指標を計算できるシステムの開発

本論文の流れは,続く2章で上記1)に対応する新たな指標について概説し,簡単なモデルにより優先度評価手法を提案する.また3章で2)に対応するものとして本システムに適用するアルゴリズム等を説明し,計算システムのフローをまとめる.最後に4章で実際の電力系統データを使用して,補修・補強の優先度評価を実施した事例を紹介し,5章にて得られた知見や課題をまとめることとする.

2. トンネルの機能に着目した供給量の期待値による優先度評価

図-1に示すような電力送電用トンネルの機能は, 収容するケーブルによって所定の量の電力を供給す ることにある.そして,万一トンネルに劣化による 異常が生じれば,劣化の度合いにもよるが一部送電 を停止して対策を取るなど,供給に何らかの影響を 及ぼすことになる.よって電力送電用トンネルの性 能は,収容された送電線が供給する電力量とトンネ ルの劣化を考慮した信頼確率の積である「期待値」 で表現することができる.(1)式に期待値の定義を示 す.

$$E[x] = \sum_{i=1}^{k} x_i P\{x_i\}$$
(1)

ここに, E[x]は電力供給量の期待値(MW), x_i はiのケースにおける供給量(MW), $P\{x_i\}$ はiのケースが発生する信頼確率で、

$$\sum_{i=1}^{k} P\{x_i\} = 1$$
 (2)

となる. ここで電力の供給量については,その大小 で設備の重要性を決める最も大きな要因となること から,1章で記述した「重要度」に相当するものであ る.また電力送電用トンネルにおける信頼確率とは, 収容するケーブルで送電が可能である確率であり, トンネルの健全性を示している.この健全性は1章で 記述した「劣化度」の逆数であり,1-劣化度=信 頼確率と表現できる.このように期待値を使用する ことで「重要度」と「劣化度」の異なる指標を同時 に評価することが可能となり,経験に基づく重み付 けをすることは不要となる.

この期待値計算の例を図-2に示す簡単なネットワ ークモデルで説明する.このモデルは5本の洞道(ト ンネル)から成り,Node1が供給点,Node3とNode4が 需要点となるモデルである.各洞道の信頼確率は表-



図-3 洞道②が停止した場合の供給量低下

1内の「現在の信頼確率」であり、5本全ての 洞道が供給できるケースの期待値はNode3,4 の供給量の合計とそれぞれの洞道の信頼確率 の積を掛け合わせた

(5+5)×0.8×0.9×0.9×0.7×0.8=3.63 になる.また図-3のように洞道②が停止とな るケースの期待値は

(3+4)×0.8×(1-0.9)×0.9×0.7×0.8=0.28 となる.これは洞道②の停止により,Node4の 供給量は洞道①,④の容量に制限され,Node3 の供給量は洞道③の容量に制限されるためで ある.

このネットワークモデルは5本の洞道から構 成されるため,連結パターンは2の5乗である 32ケースとなり,それぞれのケースの期待値 を計算し,合計した「8.75」がこのネットワ ークモデルの期待値総和となる.

ここで本手法を利用して補修の優先度を評価する手法を説明する.表-1のように現在の 信頼確率が1年後の劣化により,洞道②,③の 信頼確率が低下する状況を考察する.特徴と しては洞道②の方が③に比べ重要度が高く

(容量が大きく),洞道③の方が劣化進展が 早い点にある.仮に予算の制限によりどちら か一方のみの補修を行う場合,それぞれ補修 を行う2つのシナリオの期待値を計算すること で,両者の優位性を図ることができる.

具体的には、補修を行うと元の信頼確率0.9 まで回復すると仮定した場合、②を補修した 場合の期待値(③の信頼確率は0.7で計算)は 8.1となり、③を補修した場合(②の信頼確率 は0.8で計算)8.4となる.よって洞道③の補 修優先度が高いということが数値で示すこと ができる.この手法によって補修の優先度を 定量的に評価することができ、アセットマネ ジメントの特徴の1つである説明責任を果たす という点において、これに資する技術である と思われる.

さて上記の検討において、容量は送電線の それをそのまま使用すればよいが、信頼確率 を単純な数値で示すことは困難である.そこ で東京電力のトンネル点検における劣化度を 例に、信頼確率を算出する方法を例示する.





表-2 Ford-Fullkerson's Algorithmによる図-1モデルの試算結果

| 管路番号(① |)~(5)) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 最大電力供給量 F _{max} (S ^k) |
|--------|--------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | 2 | × | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | 3 | 0 | × | 0 | 0 | 0 | 7 |
| | 4 | 0 | 0 | × | 0 | 0 | 8 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | × | 0 | 9 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | 9 |
| | 7 | × | × | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | 8 | × | 0 | × | 0 | 0 | 5 |
| | 9 | × | 0 | 0 | × | 0 | 9 |
| | 10 | × | 0 | 0 | 0 | × | 9 |
| | 11 | 0 | × | × | 0 | 0 | 3 |
| | 12 | 0 | × | 0 | × | 0 | 4 |
| | 13 | 0 | × | 0 | 0 | × | 7 |
| | 14 | 0 | 0 | × | × | 0 | 5 |
| | 15 | 0 | 0 | × | 0 | × | 5 |
| 連結パターン | 16 | 0 | 0 | 0 | × | × | 9 |
| ×送電不可能 | 17 | × | × | × | 0 | 0 | 0 |
| | 18 | × | × | 0 | × | 0 | 4 |
| | 19 | × | × | 0 | 0 | × | 4 |
| | 20 | 0 | × | × | × | 0 | 0 |
| | 21 | 0 | × | × | 0 | × | 3 |
| | 22 | 0 | 0 | × | × | × | 5 |
| | 23 | × | 0 | × | × | 0 | 5 |
| | 24 | × | 0 | × | 0 | × | 5 |
| | 25 | 0 | × | 0 | × | × | 4 |
| | 26 | × | 0 | 0 | × | × | 9 |
| | 27 | × | × | × | × | 0 | 0 |
| | 28 | 0 | × | × | × | × | 0 |
| | 29 | × | 0 | × | × | × | 5 |
| | 30 | × | × | 0 | × | × | 4 |
| | 31 | × | × | × | 0 | × | 0 |
| | 32 | × | × | × | × | × | 0 |

東京電力の劣化度はコンクリートのひび割れや鉄筋腐食の状況を基に「異常なし」,「軽微」,「小」, 「中」,「大」の5段階の劣化度を定めている⁵⁾.この各劣化度における「機能」確率と「機能停止」確率 を仮定し,1区間のトンネルにおける各劣化度の分布と「機能停止」の確率を掛け合わせ,合計することで 損傷発生確率が定義できる.例えば図-4は一区間の劣化度分布が異常なしが0.4,軽微が0.3,小が0.15, 中が0.1,大が0.05であるトンネルにおいて,異常なしの劣化は99%が機能し,1%が機能停止する(その他の劣化は図-4の通り)と仮定した場合の損傷発生確率の算出例である.機能停止の5項目の合計は0.08となり,信頼確率は1-0.08=0.92となる.このように定性的な劣化度やトンネル縦断方向に異なる劣化度分布である構造物においても信頼確率を数値で示すことができる.なお劣化度と機能停止確率はあくまでも仮定したものであり,明確な根拠に基づくものではない.

一方,補修の優先度評価においては,表-1のように将来の劣化予測が必要になる.現在,劣化予測には 塩害の劣化予測のような力学的モデルを使用した予測手法と,マルコフ過程のような確率論的予測手法⁶が あるが,トンネルの劣化要因を特定することは困難であることや実際のトンネル点検データが豊富にある ことから,本研究においては実際の点検データを使用したマルコフ過程による予測を採用している.

マルコフ過程による劣化予測は、式(3)に示したように、建設後 n 年後の定期点検データにもとづいて作成した劣化状態を表す劣化ベクトル $\{S_n\}$ に、劣化の進展度合いを規定する遷移マトリックス [T] を m 回 乗ずることで、 (n+m)年後の劣化状態を表す劣化ベクトル $\{S_{n+m}\}$ を推定する方法である.

$$\left\{S_{n+m}\right\} = \left[T\right]^m \left\{S_n\right\} \tag{3}$$

ここで,劣化状態を表す劣化ベクトル {S_n} は、前述の東京電力の劣化度(大、中、小、軽微、変状な し)に合わせると式(4)となる.同式は,建設n年後に行った定期点検データで劣化状態を表したもので, 変状の程度「大」が0%,「中」が5%,「小」が10%,「軽微」が35%,「異常なし」が50%であることを示し ている.

劣化進展を規定する遷移マトリックス [T] は、次のような手順で推定できる.例えば、式(4)に示した 劣化状態が建設 10 年後に行われた定期点検データから作成されたものとする.また、建設時は、式(5)の ように、劣化がまったく発生していないとする.両式から式(6)が成り立つことから、同式中のマトリック ス [T] を逆解析的に求めることができる.この計算の具体例は4章で後述する.

複雑なネットワークにおける期待値計算シ ステム

図-2のような簡易なモデルであれば手計算により 全ての連結パターンにおける供給量を算出すること は可能であるが、実際のネットワークは複雑な連結 になっており、全てのケースを表計算ソフト等で計 算することはたいへんな労力と時間を要する.この ため本研究では以下の2つのアルゴリズムを利用する ことで計算の簡略化を図っている.

(1) Ford-Fullkerson's Algorithm⁷⁾

図-3のようにある系統が停止したケースでの供給 量を求める場合において,複雑なネットワークでも 迂回経路を考慮した最大供給量の計算が可能な同ア ルゴリズムを使用する.図-2の簡易なモデルに適用 し,Ford-Fullkerson's Algorithmを用いたシステムの検 証を行った.結果を表-2に示す.結果は全て手計算 によるものと同一であった.

(2) MonteCarlo $\mathcal{P} \in \mathcal{P} \cup \mathcal{P} = \mathcal{P}$

乱数の発生に汎用される同シミュレーションによ り近似解を求め、試行回数を重ねることにより理論 解に近づける手法を検討した.表-3は図-2のモデル において試行回数を増やして計算結果を比較したも のである.結果として500回以上で理論解と整合する こととなった.一方、これよりやや複雑な75本の管 路モデルにおける試行結果を表-4に示す.こちらの モデルでは5,000回程度で計算結果が収束していると

判断できる.洞道5本の場合, $2^5 = 32$ ケースであり, 試行回数500回はこれを上回っているが,洞道75本の 場合, $2^{75} = 3.8 \times 10^{22}$ ケースであり,試行回数5,000

回での解の取得は大きな省力化になっている.この ため複雑なモデル解析ではMonteCarloシミュレーシ ョンが有効となる.

(3) 期待値計算システムフロー

複雑なネットワークモデルにおいては、上記2つの アルゴリズムの適用により、期待値の近似解を求め ることとする.この期待値近似解の計算の式(7)を下記に定義する.

$$G(N) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} F_{\max}\left(S_{j}\right)$$
(7)

ここに、G(N)はネットワークによる総供給量の期待値近似解、N は MonteCarlo シミュレーションによる試行 回数、 S_j は j 番目の試行における連結パターン、 F_{max} (S_j) は連結パターン S_j での最大供給量である.ま

表-3 MonteCarloシミュレーションによる解析結果

| 試行回数 | 期待値 |
|------|-----|
| 10 | 8.7 |
| 50 | 8.8 |
| 100 | 8.8 |
| 200 | 8.7 |
| 300 | 8.7 |
| 400 | 8.7 |
| 500 | 8.8 |
| 600 | 8.8 |
| 700 | 8.8 |
| 800 | 8.8 |
| 900 | 8.8 |
| 1000 | 8.8 |
| 理論解 | 8.8 |

| 表−4 75本の洞道モデルにおける計算結身 | 長 |
|-----------------------|---|
|-----------------------|---|

| 試行回数N | 電力供給量の期待値 |
|-------|-----------|
| 1000 | 3,592 |
| 3000 | 3,591 |
| 5000 | 3,600 |
| 8000 | 3,603 |
| 10000 | 3,601 |
| 20000 | 3,599 |



図-5 期待値計算システムフロー

実際の電力ネットワークデータ を使用した補修優先度評価の試 行

(1) 電力ネットワークの概要

前述した補修優先度評価手法を実際の ネットワークモデルに適用し,課題の抽 出を行った.図-6に検討に使用した電力 ネットワークモデルを簡略化して示す. これは東京電力のある地域の1つのネッ

トワークであり、5つの「電源変電所」(発電所から直 接供給を受ける変電所)と28の「配電変電所」(ここか ら電圧の低い送電線により、お客様へ供給する変電所), 多数のお客様が洞道,管路(ケーブルを収容する埋設 管),架空線(鉄塔などによる架空送電線)により、複 雑な連係が取られている.なお図-6は簡略化して記載し ているため、上記の数量と整合していないことを注記す る.

実際には電源変電所は発電所からのインプットがあ るが、モデルを簡素化するため、便宜上変電所にて所 定の電力量を発電していることとした. 同様の理由に より、配電変電所にて所定の電力量を消費しているこ ととした.

(2) 現在の状態における期待値の計算

期待値を計算するために、まず至近の点検データに より、損傷発生確率を求めた.今回の試算ではトンネル の補修優先度を評価するため、管路および架空線は対象 外(損傷発生確率を0)とした.図-4に示した手法によ り、6つの洞道の損傷発生確率を求めた結果を表-5に示 す.

次に各送電線に容量を定義し、図-5のフローに基づい て期待値の計算を行った.計算の結果,期待値は1,446 MWとなった.

この計算の際に注意すべきことは、電力消費量は設備 の最大容量ではなく、ある瞬間値のように実際に流れて いる量で評価することである。例えば図-7のように消費 量を最大で見積もった場合には、ある箇所で送電量がマ イナスになり、これ以降送電されていない結果となる。

このように送電していない洞道は停止の影響が0となり,重要度が過小評価されることになる.なお本検討 は夏期の最大出力となる瞬間値により計算を行った.

(3) マルコフ過程による劣化予測



図-6 検討対象としたネットワークデータ(簡略化して表記)

| Ŧ | 長-5 各 | 洞道の損傷発生確率 | š | | |
|---|-------|-----------|---|--|--|
| | 洞道名称 | 現在の損傷発生確率 | | | |
| | O洞道 | 0.099 | | | |
| | M洞道 | 0.059 | | | |
| | N洞道 | 0.042 | | | |
| | S洞道 | 0.025 | | | |
| | Y洞道 | 0.022 | | | |
| | H洞道 | 0.014 | l | | |
| #費量 Souther States Souther State | | | | | |

図-7 最大容量による計算例

表-6 0洞道における点検データを 使用した損傷発生確率の設定

| 劣化 程度 | 劣化 単位数(a) | 劣化割合 (b) | 各劣化程度の 機能停止確率(c) | 洞道における 機能停止確率 (d)=(b)×(c) |
|----------|--------------|-------------|---------------------|---------------------------------|
| 大 | 9 | 0.030 | 0.50 | 0.015 |
| 中 | 77 | 0.257 | 0.20 | 0.051 |
| 小 | 66 | 0.220 | 0.10 | 0.022 |
| 軽微 | 44 | 0.147 | 0.05 | 0.007 |
| なし | 104 | 0.347 | 0.01 | 0.003 |
| 計 | 300 | 1.000 | 1.00 | 0.099 |

表-7 0洞道の遷移マトリックス

| 役 の前近の運動、ドラフランパ | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|--|
| / | 劣化なし | 軽微 | 小 | П | 大 | |
| 劣化なし | 0.943 | - | - | - | - | |
| 軽微 | 0.057 | 0.818 | - | - | - | |
| 小 | - | 0.182 | 0.874 | - | - | |
| 中 | 1 | - | 0.126 | 0.979 | - | |
| 大 | - | - | - | 0.021 | 1.000 | |

1つの洞道を例にマルコフ過程による劣化予測を示す. 表-6は建設後18年時の0洞道の点検データを示しており, 劣化単位数(a)の数量は洞道の全体延長が300単位(1単 位は5m)のうち,例えば劣化程度「大」の区間が9単位 あることを示している.劣化単位数(a)を割合で示すこ とで劣化割合(b)が求められ,また図-4と同様に各劣化 の損傷発生確率(c)を仮定することで,0洞道の損傷発生 確率を「0.099」と定めることができる.

| | 0.030 | | $\left[0 \right]$ | | |
|---|-------|--------------|--------------------|---|-----|
| | 0.257 | | 0 | | |
| < | 0.220 | $= [T]^{18}$ | 0 | > | (7) |
| | 0.147 | | 0 | | |
| | 0.347 | | 1 | | |



式(7)に示すようにこの建設後18年の点検データと,新設直後は100%健全とする仮定により,表-7の遷 移マトリックス [T] が求められ,図-8のグラフを得ることができる.0洞道は最新点検時に経年18年であ り,それぞれの変状割合が表-6の劣化割合(b)の通り大が0.030,中が0.257,小が0.220,軽微が0.147,変 状なしが0.347であるが,例えば10年後には劣化進展により,大が0.104,中が0.441,小が0.175,軽微が 0.087,変状なしが0.192と分布が変化する.

(4) 10年後の期

待値算定と補修 優先度評価

各洞道の劣化 予測を行うこと で,将来の本ネ ットワークの期 待値が計算でき る.表-8に現率 の損傷発生確率 表-8 現在と10年後の損傷発生確率の比較

| | (| a) 現在の | の損傷発生確率 | _ | (b |) 10年後 | の損傷発生確率 |
|---|----|--------|-----------|---|----|--------|-------------|
| | 順位 | 洞道名称 | 現在の損傷発生確率 | | 順位 | 洞道名称 | 10年後の損傷発生確率 |
| Ľ | 1 | O洞道 | 0.099 | | 1 | M洞道 | 0.172 |
| - | 2 | M洞道 | 0.059 | | 2 | O洞道 | 0.164 |
| R | 3 | N洞道 | 0.042 | | 3 | N洞道 | 0.154 |
| 玥 | 4 | S洞道 | 0.025 | | 4 | Y洞道 | 0.045 |
| ŧ | 5 | Y洞道 | 0.022 | | 5 | S洞道 | 0.035 |
| Ē | 6 | H洞道 | 0.014 | | 6 | H洞道 | 0.019 |
| | | | | - | | | |

と10年後の損傷発生確率の比較を示す.劣化の進展により,全ての洞道で損傷発生確率は高くなるが,劣 化進展のスピードの差異により,値の増加には大きな差異が生じ,順位が入れ替わっていることがわかる. この将来における損傷発生確率をもとに期待値を計算した結果,1,419MWとなり,現状の1,446MWから▲ 27MWの低下となった.

次に補修の優先度を検討する. 仮定する補修シナリオとしては

・ 補修できる洞道は1つ.

・ 補修した場合,その洞道の信頼度は新設時である1.0まで回復する.

とした.この補修シナリオを各洞道1つ1つに適用し,期待値の最上位となる洞道を補修優先度最上位とする.

表-9に補修優先度の結果と補修前からの期待値の回 復量を示す.最上位の0洞道は補修をすることで 1,436MWとなり,補修前より+17MWの回復となる.

以上の検討により得られた内容を表-10にまとめる. 同表は左から対象洞道を停止させたときの期待値減分 (=重要度),重要度と劣化度を考慮した補修の優先

度,10年後における損傷発生確率(=劣化度)の順位

表-9 補修優先度評価結果

| 順位 | 洞道名 | 電力供給量の期待値 (MW) | 補修前からの回復量 (MW) |
|----|-----|-------------------|-------------------|
| 1 | O洞道 | 1,436 | 17 |
| 2 | Y洞道 | 1,434 | 15 |
| 3 | M洞道 | 1,429 | 10 |
| 4 | S洞道 | 1,421 | 2 |
| 5 | H洞道 | 1,420 | 1 |
| 6 | N洞道 | 1,420 | 1 |



を示している.今回,補修優先度が最上位となった0洞道は重要度は3番目であり,劣化度は2番目となっている.これはどちらか一方の尺度に偏らない結果となり,従来では判定の困難であった重要度と劣化度の2つの尺度による補修の優先度評価において,本手法を利用することで総合的に評価していると判断できる.

現状における補修の優先度は対症療法的な考えが根強く存在するため、点検データに基づいた劣化度に 重きをおいて判定される傾向にあるが、劣化度とともに重要度を考慮して総合的に評価すると、優先度は 異なったものになることが計算結果に表れている.予算の均平化を目的とした今後の予防保全による構造 物の維持管理においては、本手法のような総合的な評価を取り入れることが有効である.

5. まとめと今後の課題

本研究は都市部インフラ設備の補修優先度評価を定量的な判断にて行うため、供給量の期待値という新 しい指標を提案し、期待値低下量により補修の優先度を決定する手法を開発した.また複雑なネットワー クにおける期待値計算を実現するために、Ford-Fullkerson's AlgorithmとMonteCalroシミュレーションを 使用することで、理論解に近い近似解を求めるシステムを開発した.このシステムを実際の電力系統に適 用し、補修の優先度評価を行うことができた.

今回の検討は電力送電用トンネルを例に取ったが、他のインフラ設備においてもそれぞれの供給量と劣 化状態を定義することで十分に適用が可能であると考える.ただしこの場合には、供給量は需給バランス の取れた値で計算する必要があるため、正確なデータ取得が重要となる.

一方,本研究での課題としては,

- 劣化状態と損傷発生確率の関連性
- ② コストを考慮した補修計画の提案

が残されている.①については,各劣化状態と構造物の力学特性(残存耐力)を明確にすることが必要と なり,②については各劣化状態と最適な補修工法の選定とコスト評価,また補修後の健全度評価と再劣化 に関する劣化速度の把握が必要である.この課題についてはアセットマネジメントを適用する上で各事業 者の共通の課題と思われるため,学会レベルでの研究に注視するとともに,自らにおいても継続的に上記 課題について検討を進めたいと考える.

参考文献

- 1) 土木学会:トンネル・ライブラリー第14号 トンネルの維持管理, pp. 14-23, 2005.
- 2) 青森県県土整備部道路課:青森県橋梁アセットマネジメント基本計画~ふるさと青森の未来を支える社会資本の新た な維持管理~ 2004.11.
- 3) 横浜市道路局:横浜市長期保全更新計画検討報告書 2004.3.

4) 能島暢呂,山中敏裕:道路ネットワークの地震時機能信頼性解析に基づく施設改善の重要度評価,第 10 回日本地震 工学シンポジム論文集, pp. 3205-3210, 1998.11.

- 5) 土木学会:トンネル・ライブラリー第14号 トンネルの維持管理, pp. 70, 2005.
- 6) 例えば、山田浩幸、木村定雄、岡嶋正樹、重清浩司:山岳トンネルの劣化予測と合理的な維持管理に関する一考察、 地下空間シンポジウム論文・報告集,第14巻, pp. 24-25, 2009.1.
- 7) Dolan, A. and Aldous, J: Network and Alroriths, An Introductory Approach, Jon Wiley & Sons, 1993.