

土木構造物の維持管理における検査の頻度と精度の影響評価

|               |    |       |
|---------------|----|-------|
| 岐阜大学工学部       | 学生 | 上木 淳  |
|               | 正員 | 本城 勇介 |
| 川鉄エンジニアリング    | 正員 | 富永 眞生 |
| 計測リサーチコンサルタント | 正員 | 加登 文士 |

1 研究目的

わが国において社会基盤施設は、建設の時代から維持管理の時代に入った。このため、経済的で、保守管理を行おうとするとき、コストに基づく評価は、今後さまざまな場面で求められることが予想される。本研究の目的は土木構造物のライフサイクル（建設、検査、補修、劣化、維持管理）を記述するモデルを作成し、その中で特に検査(inspection)の意義を考察することである。

2 研究の方法

本研究では、土木構造物のライフサイクルを記述するモデルとして、Frangopol 他(1997)の提起したモデルを改良して用いる。この研究は、鉄筋コンクリート橋桁構造物を対象にして、維持管理費用  $C_{PM}$ 、補修費用  $C_{REP}$ 、検査費用  $C_{INS}$ 、破壊費用  $C_F$  を求め、これらのトータルコスト  $C_{ET}$  を損傷率  $\eta_{0.5}$ 、腐食率  $\nu$  の関数とし、また、検査期間を変化させることにより、これを最適化したものである。

まず維持管理費用  $C_{PM}$  はこの桁の耐用年数を 75 年として維持管理を 2 年に 1 回実施すると仮定し、この 1 回にかかる費用については建設費用をパラメータとして求め、これに割引率を考慮して計算する。

また、検査費用  $C_{INS}$  を求めるため、まず損傷率  $\eta$  を(1)式のように定義する。また、本研究では鉄筋の腐食は、いったん腐食が始まると鉄筋の断面積はある割合で時間とともに減少し、鉄筋の両側から腐食する。

$$\eta = \begin{cases} 0 & (0 \leq t \leq T_i) \\ \frac{D_{b0} - D_{b(t)}}{D_{b0}} & (T_i < t) \end{cases} \cdots (1) \quad \left( \begin{array}{l} D_{b0} : \text{鉄筋の初期直径 (mm)} \\ T_i : \text{腐食開始時間(年)} \\ D_{b(t)} = D_{b0} - 2\nu(t - T_i) \end{array} \right)$$

次に損傷が発見される確率、検出率  $d(\eta)$  は、損傷率に依存すると考えられ、次のように定義する。

$$d(\eta) = \begin{cases} 0 & (0 \leq \eta \leq \eta_{\min}) \\ \phi\left(\frac{\eta - \eta_{0.5}}{\sigma}\right) & (\eta_{\min} < \eta \leq \eta_{\max}) \\ 1 & (\eta > \eta_{\max}) \end{cases} \cdots (2) \quad \left( \begin{array}{l} \eta_{0.5} : \text{検出率が0.5の時の損傷率} \\ \phi : \text{累積標準正分布} \\ \sigma = 0.1\eta_{0.5} \end{array} \right)$$

(1),(2)式より、1 回における検査費用  $C_{ins}$  は次のように定義する。

$$C_{ins} = \alpha_{ins} (1 - \eta_{\min})^{20} \quad (\alpha_{ins} : \text{建設費用 } C_T \text{ の } 7\%)$$

この式に割引率を考慮して合計すると検査費用  $C_{INS}$  となる。

次に、補修費用  $C_{REP}$  については、本研究では検査時に補修を要する損傷が検出されれば、必ず補修を行うとしている。すなわち、(2)式の検出率  $d(\eta)$  は補修を行う確率も表しており、補修の要否は検査精度のみに依存するとした。このことから、まず、すべてのイベントを設定し、この中で検査を実施した時に構造物が補修される確率を求め、次に補修後の損傷率を求め、鉄筋の平均曲げ強度は、損傷率の 2 乗に比例すると仮定し、補修直前、直後の平均曲げ強度を用いることにより補修効果  $e_{rep}$

は次のように求まる。

$$e_{rep} = (M_{r,a} - M_{r,b}) / M_{r,0} \quad \left( \begin{array}{l} M_{r,a} : \text{補修後の平均曲げ強度} \quad M_{r,0} : \text{初期の平均曲げ強度} \\ M_{r,b} : \text{補修前の平均曲げ強度} \end{array} \right)$$

これより、補修費用は次のように求まる。また、構造物の平均曲げ強度は1年ごとに0.4%減少する。

$$C_{rep} = \alpha_{rep} \cdot e^{\gamma_{rep}} \quad \left( \begin{array}{l} \gamma : \text{パラメータ} \gamma \text{は} 0.5 \text{とする} \\ PB_i : \text{各イベントが起きる確率} \end{array} \right)$$

$$C_{REP} = \sum_{i=1}^{2^m} C_{rep,i} \cdot PB_i$$

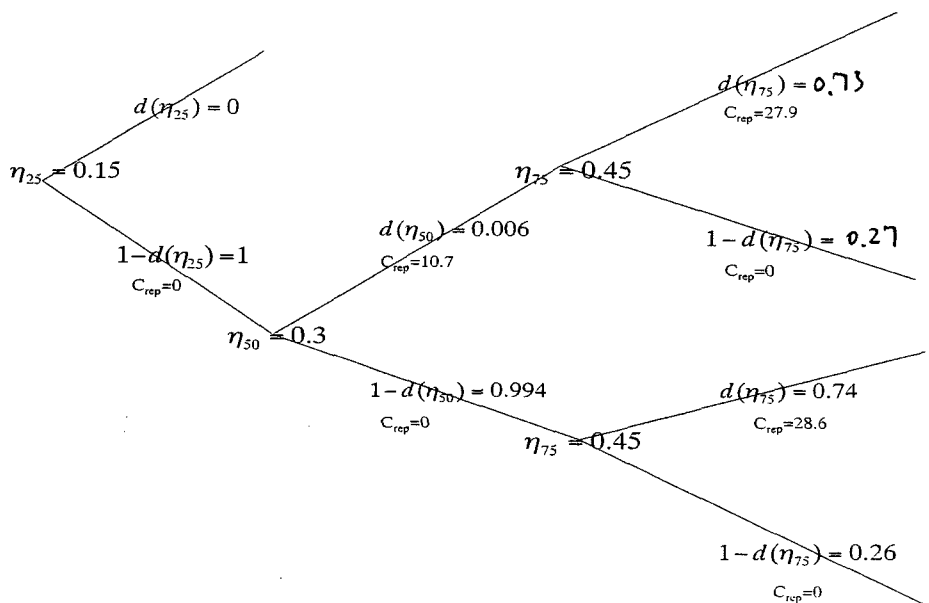
また、破壊費用  $C_F$  については、破壊というのは実用上算定が困難であるため、 $C_F$  をコンクリートコストの 50000 倍とし、これに各イベントでの最大破壊確率を考慮することで求めている。以上より、トータルコストは次のように求まる。

$$C_{ET} = C_T + C_{PM} + C_{INS} + C_{REP} + C_F \quad (C_T \text{ は建設費用})$$

以上より、トータルコストを最小とする損傷率  $\eta_{0.5}$ 、腐食率  $v$ 、最適検査回数  $m$ 、最適検査期間が求まる。

### 3 計算結果

ここで、破壊費用を考慮せず、最も簡単な場合の解析を例として行う。入力データとしては、建設費用  $C_t=90$ 、割引率  $r=0$ 、損傷率  $\eta_{0.5}=0.4$ 、腐食率  $v=0.3(\text{cm/年})$ 、腐食開始時間  $T_i=5(\text{年})$ 、初期直径  $D_{b0}=100$ 、検査回数  $m=3(\text{回})$  でイベントごとに計算すると、次のようになる。



上図より、補修費用  $C_{REP}=41.66$  となり、維持管理費用  $C_{PM}=3.33$ 、検査費用  $C_{INS}=0.03$  となる。以上より、トータルコスト  $C_{ET}=135.02$  となる。

### 4 むすび

現在、モデルの改良、パラメトリックスタディーを継続しており、結果の評価は発表時に譲る。

### 参考文献

- (1) Frangopol, D.M., Lin, K.Y. and Estes, A.C. (1997): life-cycle cost design of deteriorating structures, J of Structural Eng. (ASCE), Vol.123, No. 10, P.P1390-1401, 1997