

# 土木構造物の維持管理における検査の精度と頻度の影響に関する考察

岐阜大学工学部 正員 本城勇介 上木 淳

(株)計測リサーチコンサルタント 正員 スミトロ・スナリヨ 松井義昌 加登文士

## 1 背景と目的

現在，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。このため経済的に合理的な保守管理を行おうとするとき，コストに基づく評価は，今後様々な場面で求められることが予想される。

本研究はこのような背景を踏まえて，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，破壊）を記述するモデルを作成し，その中で特に検査 (inspection) の費用と精度に関する検討を行い，維持管理における検査の意義を考察し，保守計画の最適化を試みることを目的とする。また，本研究は既存の鉄筋コンクリート構造物を対象としている。

## 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。

はじめに，維持管理コスト  $C_{PM}$  はこの桁の耐用年数を 100 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。次に，検査コスト  $C_{INS}$  を求めるため，まず損傷率  $h$  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と仮定する。

$$h = \begin{cases} 0 & (0 \leq t \leq T_i) \\ \frac{D_{b0} - D_{b(t)}}{D_{b0}} & (T_i < t) \end{cases} \dots(1)$$

ここに，

$T_i$  : 腐食開始時間年)

$D_{b0}$  : 鉄筋の初期直径(cm)

$$D_{b(t)} = D_{b0} - 2n(t - T_i)$$

$n$  : 腐食進行速度cm/年)

$D_{b(t)}$  : ある時刻の鉄筋直径

次に，損傷が発見される確率，検出率  $d$  は損傷率に依存するため，次のように定義する。

$$d(h) = \begin{cases} 0 & (0 \leq h \leq h_{\min}) \\ f\left(\frac{h - h_{0.5}}{s}\right) & (h_{\min} < h \leq h_{\max}) \\ 1 & (h > h_{\max}) \end{cases} \dots(2)$$

ここに，

$h_{0.5}$  : 平均検出損傷率

$f$  : 累積標準正規分布関数

$e$  : 変動係数

$$s = eh_{0.5}$$

$$h_{\min} = h_{0.5} - 3.0s$$

$$h_{\max} = h_{0.5} + 3.0s$$

(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。

$$C_{ins} = a_{ins}(1 - h_{\min})^{20} \dots(3)$$

ここに，

$a_{ins}$  : 建設費用  $C_T$  の 7%

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

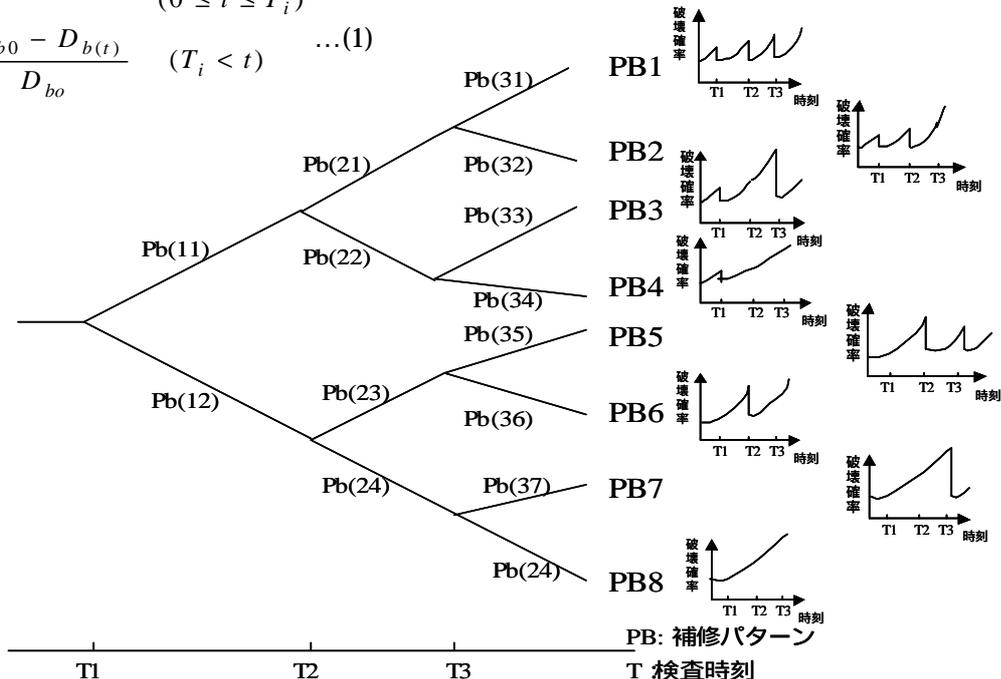


図 1 Event Tree

さらに、補修コスト  $C_{REP}$  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  $d$  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。これにより図1のような各イベントごとの生起確率  $PB$  が求まり、補修直前・直後の平均曲げ耐力より補修効果を求め、これと建設コスト  $C_T$  より補修コストが求まる。

さらに、期待破壊コスト  $C_F$  に関しては信頼性解析を用いて破壊確率を求め、これと生起確率によって求まる。

以上より、これらを足し合わせたライフサイクルコスト  $C_{ET}$  (LCC) を検査精度(平均検出損傷率  $h_{0.5}$ 、検出率の変動係数  $e$ )の関数とし、また検査スキームを変化させることにより、これを最適化する。

3 解析結果

本研究の解析事例は、次の3つのように設定する。

- (1) 完全情報状態における解析:完全情報状態とは検査コストがかからず、常に損傷率が分かると仮定することによって任意の時点で構造物の状態が完全にモニタリングできる状態である。本研究では5年と10年に1回定期的に検査を行い、LCCが最小となる補修パターンを求める。また解析結果は表1に示す。
- (2) 定期的検査スキームにおける解析:ここでは検査間隔を10年で設定し、検査精度の最適化を行う。また解析結果は表2に示す。
- (3) 不定期検査スキームにおける解析:不定期検査スキームとは、検査を不定期に行うことであり、ここでは検査スキームを10年ごとに変化させスキームを設定し、検査精度の最適化を行う。また解析結果は表2に示す。

また、図2,3は定期・不定期検査スキームにおけるLCCの推移を表す。

表1 完全情報状態における解析結果

解析事例	検査スキーム	最適補修パターン
完全情報状態	5年間隔	40,55,70,85年
	10年間隔	40,50,60,70,80年

表2 定期・不定期検査スキームにおける解析結果( $e=0.05$ )

解析事例	検査スキーム	最適平均検出損傷率	LCC
定期検査	10年間隔	$h_{0.5}=0.15$	1.819
不定期検査	40,60,80年	$h_{0.5}=0.15$	1.804

(建設コスト  $C_T=1.0$ )

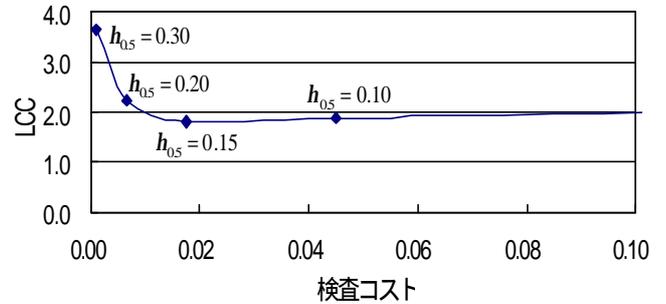


図2 定期検査における検査コストとLCCの比較 (変動係数 $e=0.05$ )

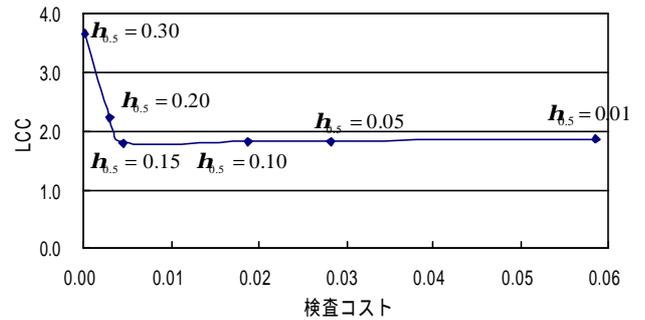


図3 不定期検査における検査コストとLCCの比較 (変動係数 $e=0.05$ )

4 結論

主な研究結果は以下に示す。

- 1) 表1, 2より最適検査スキームは完全情報状態で求めた最適補修パターンに近似し、建設後はじめの頃に検査を頻繁に実施するより経過年数が経ってから実施する方が効果的である。また、定期検査スキームより不定期検査スキームの方が効率が良い、LCCが結果的に低くなる。
- 2) 図2,3より検査精度をある程度まであげればLCCは減少する。しかし、それ以上検査精度を高めてもLCCはほとんど変化しないことが分かる。
- 3) 検査コスト関数(式(3))は平均検出損傷率  $h_{0.5}$  と変動係数  $e$  の関数で表すため、コストを考えたときこれらを同時に比較することができなかった。今後この検査コスト関数を検討する必要がある。
- 4) 今後は、構造物の経年劣化現象を分析することにより、具体的なモデルと値の検証が必要となる。また、対象構造物に関しても実際の対象構造物を取り扱うことが必要となる。

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.1390-1401
- 2) 赤石沢 総光、吉田 郁政、安田 登、宮本幸始(2001): 性能設計を活用したRC構造物の保守頻度・時期の最適化に関する研究、構造工学論文集, Vol.47A
- 3) Mori, Y., and Elingwood, B.R.: Maintaining Reliability of Concrete Structures. I: Role of Inspection/Repair, J. of Struct. Engrg., ASCE