

鉄筋コンクリート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 山田 克祐  
正員 本城 勇介  
正員 鎌田 敏郎

1 研究目的

現在、多くの先進国では土木構造物の大量、大規模開発は終焉を迎え、資源を有効に使い建設から維持管理に焦点が動いている。そこで経済的で、保守管理を行うときコストの評価は必要となる。これらを、ライフサイクルコスト(以下 **LCC** と記述)を通して得る。そのため、モデルを構築し、特に検査について考察する。

2 既存の研究

本城ら(2001)は、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た。鉄筋コンクリート橋桁構造物を対象とし、建設費用  $C_I$ 、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、これらを足し合わせた **LCC** ( $C_{ET}$ ) と損傷率、腐食率の関数にし、検査スキームを変化させることにより検査と補修スキームの最適化を行った。

解析結果を以下に示す。

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     | $\eta_{0.5}=0.15$ | 1.819 |
| 不定期検査 | 40,60,80 年 | $\eta_{0.5}=0.15$ | 1.804 |

表 1,2 より、建設後に検査を頻繁に行うより経過年数が経ってから実施するほうがより効果的で、定期検査スキームより不定期検査スキームのほうが効率がよく、**LCC** が結果的に低くなる。また、検査の精度をある程度上げると **LCC** は減少するが、それ以上検査精度を上げてほとんど変化しないことが分かった。

3 研究内容

上記の研究の問題点は、用いられたモデルがかなり単純化されたものである。本研究では、現状を考慮してより現実化した劣化モデル、検査モデル、補修モデルを用い、**LCC**、検査スキームの最適化を行う。

3. 1 劣化モデル

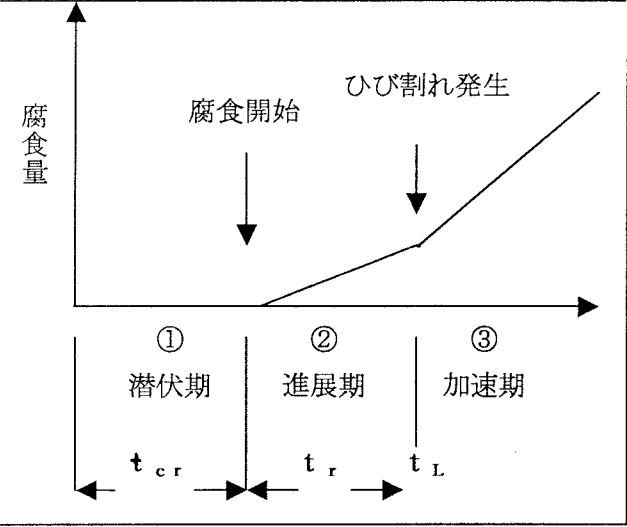


図. 1 劣化モデル

本研究では、塩害を受ける部材の劣化モデルを提起した。(松島、2001)このモデルは、①潜伏期、②進展期、③加速期の区分を考え、3直線で表した。つまり、コンクリート表面から塩化物イオンが浸透し、鉄筋の腐食を開始させ、鉄筋腐食膨張圧により鉄筋軸方向にひび割れが発生、その後さらに鉄筋の腐食速度が加速されるモデルである。

①潜伏期のモデル

塩害環境下での部材の劣化は、塩化物イオンの浸透による鉄筋の不動態皮膜破壊が発端とされ、式(1)の **Fick** の一次拡散式で表せる。

$$C_c(X_t,t)=C_o\left\{1,0-erf\left(\frac{X_t}{2\sqrt{D_c\cdot t}}\right)\right\}\cdots(1)$$

$C_c(X_t,t)$ : 塩化物イオン量

$C_o$ : 表面塩化物イオン濃度

$erf(\ )$ : 誤差関数

$D_c$ : 等価拡散係数

そして、コンクリートに進入する塩化物イオン量が限界値を越えた時を鉄筋の腐食開始とする。

②進展期のモデル

酸素の拡散より鉄筋の腐食が進行し、その鉄筋腐食膨張圧によりひび割れが生じ、かぶり部のコンクリートの平均引張応力 $\sigma_m$  式(2)を計算し、これがコンクリートの引張強度を超えると腐食ひび割れが発生する。

$$\sigma_m = \frac{1}{\alpha_0 \{(2 X_t + \phi)/\phi - 1\}} q_1 \cdots (2)$$

$q_1$ : 腐食鉄筋による膨張圧

$\phi$ : 鉄筋径(cm)

$\alpha_0$ : 誤差を修正するための係数

$X_t$ : 鉄筋のかぶり(cm)

ここで、ひび割れ発生前の腐食速度 $\Delta_1$ の平均値は0.17%/yrと仮定した。

③加速期のモデル

経過年数と断面減少率の関係より、ひび割れ発生後の腐食速度 $\Delta_2$ は平均0.35%/yrとする。

以上のことより、経過時間と鉄筋の腐食率の関係をみる。

3. 2 検査モデル

構造物の維持管理を行う上で、検査は状況を知るため重要性がある。本研究では外観の変状、塩化物イオン濃度の測定、鋼材の腐食具合を取り上げる。これら3つの方法をパターン化する。

|                                     |
|-------------------------------------|
| A：1つだけ→大切な診断。安全のためには一番高い方法を行う。      |
| B：2つを組み合わせる→より明確に診断。ある程度よい補修方法を選べる。 |
| C：3つを組み合わせる→高度な診断。より最適な補修方法を選べる。    |

以上のことより検査方法の最適化を行う。

3. 3 補修モデル

補修に関しても、より現実的に考えたい。そのため、塩害によって劣化した土木構造物に対する補修工法は、表面処理、断面修復、電気化学的脱塩を取り上げる。それぞれの補修工法に期待される効果について、以下に示す。

| 補修工法    | 補修効果                                                 | コスト  |
|---------|------------------------------------------------------|------|
| 表面処理    | ひび割れを補修。補修すると平均10年間鉄筋腐食は止まるが、その後再び補修を行わないと鉄筋腐食は開始する。 | 低い   |
| 断面修復    | 劣化したコンクリートや腐食した鉄筋の補修。構造物は初期状態に戻るがそこから再び劣化が始まる。       | やや高い |
| 電気化学的脱塩 | コンクリート内の塩分を除去。潜伏期の期間 $t_{cr}$ の分だけ長くなる。              | 高い   |

3つをパターン化し、検査と同様、補修方法の最適化を行う。

以上3つのモデルと、既存のモデルを組み合わせ新しいLCCのモデルを構築する。それより、検査スキームの最適化を行い、検査とLCCの関係について考察する。

4 むすび

現在、各々のモデルの構築、最適化の結果と評価は発表時に譲る。

参考文献

本城ほか(2001)「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」第56回年次学術講演集  
松島 学(2001)「コンクリート構造物の塩害劣化とライフサイクルコスト」コンクリート研究討論会論文報告集  
土木学会(2001)「コンクリート標準示方書維持管理編」