

橋梁コンクリートの表層領域に生じる劣化進行と初期欠陥に関する研究

西日本高速道路エンジニアリング四国(株) ○正会員 永易慎二, 正会員 橋本和明, 正会員 松田靖博
 香川高等専門学校 建設環境工学科 正会員 林 和彦
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 フェロー会員 石田哲也

1. はじめに

赤外線サーモグラフィ法による非破壊調査(以下赤外線調査という)は、コンクリート内部から劣化が進展する剥離ひび割れの把握が可能で、橋梁コンクリートの表層領域の劣化進行を評価する指標として有用である。著者らは、既往研究¹⁾において、赤外線調査結果を用いた分析を行い、橋種や部位別に浮き・剥離の発生リスクを定量化している。過去の点検履歴から四国地方の高速道路橋の劣化傾向を整理すると、空洞や豆板などの初期欠陥がきっかけとなって劣化が進行する事象が確認されている。そこで本研究では、赤外線調査の時系列データを用いて橋梁コンクリートの生存時間解析を行い、初期欠陥が橋梁コンクリートの劣化進行に与える影響について述べるものである。

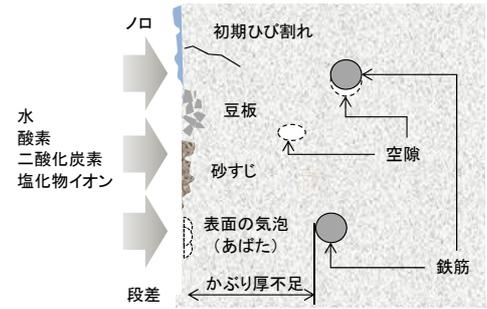


図-1 初期欠陥模式図

2. 初期欠陥の定義

コンクリート構造物には化学的作用や物理的作用により発現する変状以外に、施工由来の欠陥が存在する。図-1に初期欠陥の模式図を示す。コンクリート表面にひび割れや豆板等の初期欠陥があると、水や酸素、塩分などの劣化因子の侵入が容易となり鉄筋が腐食しやすくなる。細田らの研究²⁾によるとコンクリートの表層が緻密で、かぶり確保されていれば劣化因子の侵入が抑制され、コンクリート構造物の耐久性が向上するとされている。本研究では維持管理時点で確認された豆板、段差、ノロ、空洞、砂すじ、ひび割れを初期欠陥と定義する。この初期欠陥を橋梁径間毎に集計し、径間面積で除した値を初期欠陥率として算出し、初期欠陥率に応じて図中のとおり3つに分類した(図-2)。

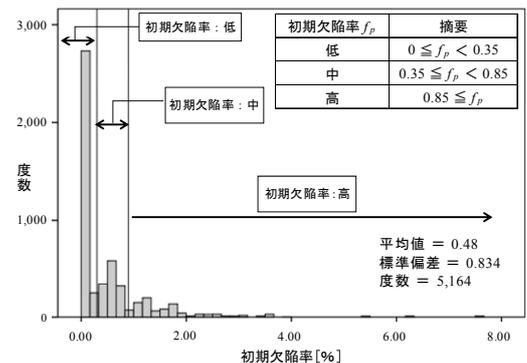


図-2 初期欠陥率別ヒストグラム

3. 分析データの概要

表-1に分析データの概要を示す。本研究に用いる分析データは四国地方の高速道路橋において実施した赤外線調査結果のうち、特異な温度差を検出した箇所総数5,164件である。分析に用いる変数は表-1に示す諸元に加え、損傷の大きさや表面状態、初期欠陥率などの変状箇所の特徴を示す項目、年間・季節別降雨量や凍結防止剤散布量などの環境条件について整理し、分析データを生成した。なお、四国地方の高速道路橋は最大でも30年経過に止まり、道路橋示方書の変遷に影響しないことから、設計かぶり厚の影響については考慮していない。

表-1 分析データの概要

| 項目 | データ概要 |
|---------|-------------------------------------|
| 赤外線調査期間 | 2009年 — 2015年 |
| 橋梁種別 | 鋼橋(コンクリート床版), RC橋, PC橋, PC箱桁橋 |
| 部材種別 | 床版・桁, 床版・桁端, 張出部, 壁高欄, 水切部 |
| 橋梁サンプル数 | 鋼橋 63橋, RC橋 107橋, PC橋 85橋, PC箱桁橋 4橋 |
| 所在地 | 四国4県 (徳島, 香川, 愛媛, 高知) |

表-2 Cox 回帰分析結果

| | Wald統計量 | 有意確率 | ハザード比 |
|------------|---------|-------|-------|
| 部位区分 | 20.490 | 0.000 | |
| 床版・桁端, 水切部 | 20.400 | 0.000 | 2.470 |
| 床版・桁 | 15.155 | 0.000 | 2.062 |
| 橋種区分 | 6.366 | 0.041 | |
| 鋼橋 | 5.595 | 0.018 | 0.594 |
| PC橋+PC箱桁橋 | 0.159 | 0.690 | 1.044 |
| 春期降水量 | 9.132 | 0.003 | 1.004 |
| 夏期降水量 | 47.184 | 0.000 | 0.990 |
| 冬期降水量 | 120.600 | 0.000 | 1.036 |
| 初期欠陥率 | 247.857 | 0.000 | 1.701 |

4. Cox回帰分析を用いた橋梁劣化因子の推定

山崎らは生存時間解析を東北地方の橋梁にて適用した研究³⁾をキーワード 生存時間解析, 初期欠陥, 予防保全, 赤外線サーモグラフィ法

連絡先 〒760-0072 高松市花園町三丁目1番1号 TEL 087-834-1121 FAX 087-834-0150

行っており、 Kaplan-Meier法及び Cox 回帰分析を用いた劣化因子の定量的な評価手法を示している。本分析における目的変数は、赤外線調査にて検出した時点の変状箇所を1サンプルとし、被験対象の死亡は、「浮き・剥離」の変状が確認された時点とした。打音点検結果のうち、「浮き・剥離」以外の変状を生存として定義した。Cox 回帰分析の結果を表-2 に示す。この結果から、ハザード比の高い部位区分と、Wald 統計量の値が大きい初期欠陥率が劣化因子として強く関与していると思われる。よって、この2つの説明変数を用いて Kaplan-Meier法による生存曲線推定を行う。

5. Kaplan-Meier法を用いた生存曲線推定

橋梁コンクリートが浮き・剥離に至るまでの発生(生存)時間の特定を目的とし、本事象の発生に起因する劣化因子の影響について検証するため、 Kaplan-Meier法による生存曲線の推定を行った。初期欠陥グレード毎の部位別生存曲線を図-3 に、カテゴリ別の分類毎生存確率を表-3 に示す。本結果から、初期欠陥率が低い場合、橋齢が30年を超過しても、「浮き・剥離」の発生リスクはどの部位においても小さい。しかし、初期欠陥率が中及び高の場合、橋齢が25年を超過すると「浮き・剥離」の発生リスクが増大し、特に床版・桁端、水切部では他の部位に比べて生存率が低くなる。また、初期欠陥率が高いと水の影響を受けにくい床版・桁であっても30年後の生存率は4割まで低下する。以上、本推定結果から初期欠陥率は劣化進行に大きな影響を与えることが明らかとなった。

6. まとめ

- (1) 豆板, 段差, ノロ, 空洞, 砂すじ, ひび割れを径間毎に集計し, 径間面積で徐した値を初期欠陥率として設定することで, 劣化定量分析が可能になることを示した。
- (2) 初期欠陥率が低いと部位にかかわらず, 浮き・剥離の発生リスクが低く, 初期欠陥率が中程度になると, 25年経過後に著しく発生リスクが増大する結果を得た。
- (3) 初期欠陥率が高いと, 床版よりかぶり厚の大きい壁高欄においても25年経過後の生存率が6割を下回る。
- (4) 今後, 初期欠陥率とコンクリート表層部の物質移動抵抗性の関係について整理していきたい。

参考文献

- 1) 橋爪謙治, 橋本和明, 松田靖博, 石田哲也, 高谷哲: 赤外線サーモグラフィ法を用いた四国地方における橋梁コンクリートに発生する剥離領域の劣化定量分析, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.16, pp.9-14, 2016.11
- 2) 細田暁, 二宮純, 田村隆弘, 林和彦: ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.70, No.4, pp. 336-355, 2014
- 3) 山崎崇央, 石田哲也: 生存時間解析を用いた東北地方における橋梁コンクリート部材の劣化定量分析, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol.71, No.4, pp.1_11-1_22, 2015

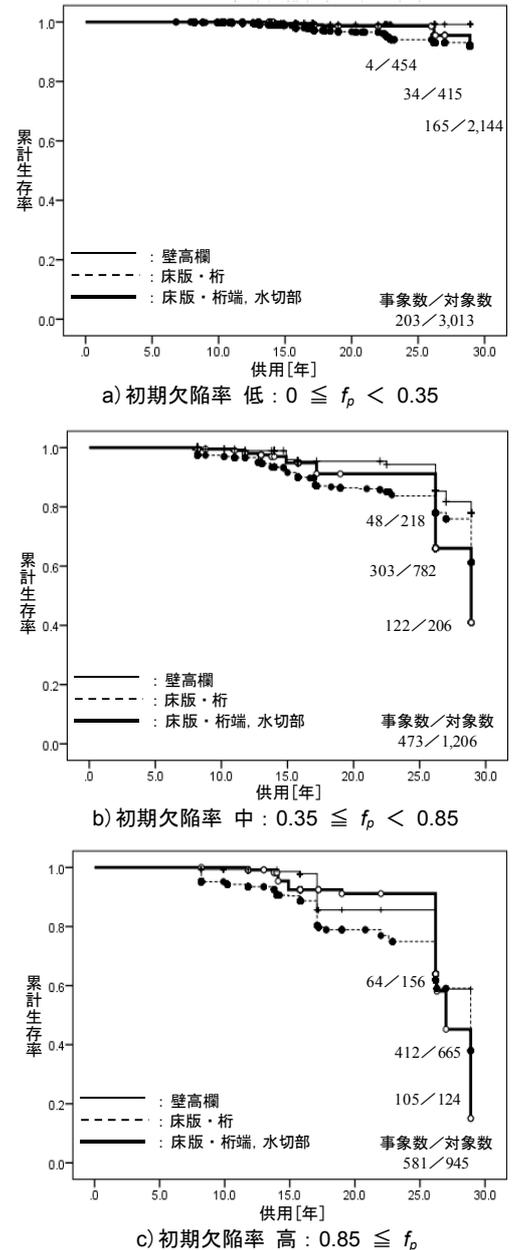


図-3 初期欠陥グレード毎の部位別生存曲線

表-3 カテゴリ別の分類毎生存確率

| 初期欠陥率 | 部位区分 | 累計生存率 | | | | |
|-------|------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | 10年 | 15年 | 20年 | 25年 | 30年 |
| 低 | 壁高欄 | 100.0% | 99.7% | 99.2% | 99.2% | 99.2% |
| | 床版・桁 | 99.8% | 98.8% | 96.7% | 94.1% | 92.3% |
| | 床版・桁端, 水切部 | 100.0% | 99.3% | 98.6% | 98.6% | 91.8% |
| 中 | 壁高欄 | 99.5% | 96.0% | 95.4% | 94.3% | 77.9% |
| | 床版・桁 | 97.4% | 92.5% | 86.4% | 83.7% | 61.2% |
| | 床版・桁端, 水切部 | 99.5% | 94.9% | 91.1% | 91.1% | 41.0% |
| 高 | 壁高欄 | 99.4% | 98.6% | 85.6% | 58.9% | 58.9% |
| | 床版・桁 | 95.2% | 90.3% | 78.9% | 74.9% | 38.0% |
| | 床版・桁端, 水切部 | 100.0% | 92.5% | 91.1% | 91.1% | 15.1% |