

# 鉄筋コンクリート構造物の補修実施 の判定基準に関する研究

堤 知明<sup>1</sup>・中川貴之<sup>2</sup>・松島 学<sup>3</sup>・大賀宏行<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京電力株式会社電力技術研究所土木グループ主管研究員 (〒230-8510 横浜市鶴見区江ヶ崎4-1)

<sup>2</sup>正会員 東電設計株式会社技術開発本部コンクリート・材料チーム (〒110-0015 台東区東上野3-3-3)

<sup>3</sup>正会員 工博 東電設計株式会社技術開発本部コンクリート・材料チーム課長 (〒110-0015 台東区東上野3-3-3)

<sup>4</sup>正会員 工博 東京都立大学大学院助教授工学研究科土木工学専攻 (〒192-0364 八王子市南大沢1-1)

コンクリート構造物の管理の流れは、目視等の簡単な調査による保守点検に基づき劣化度を判定し、補修を必要とする可能性がある場合は詳細な補修点検を実施しているのが現状である。補修・補強が必要か否かの判断は、管理者独自の基準や各学協会の基準に基づき行われている。

本研究は、現場技術者が、今まで実際に構造物の管理を行ってきて問題なく運営してきているという実績を踏まえ、既往の実構造物の劣化レベルの調査データに基づいて、維持管理の現状について検討を加えるとともに、その平均的な値は最適値であると考え、塩害劣化の主要な因子である、ひび割れ、剥離・剥落から補修の実施の境界値を確率論的な手法を用いて逆算することで評価した。

**Key Words :** repair, allowable peeling off, allowable crack width, reliability theory, design

## 1. はじめに

コンクリート構造物は、一般に耐久性が優れているために、従来メンテナンスフリーと考えられ、維持管理のための配慮がなされない場合が多くあった。しかし、近年日本各地でコンクリート構造物の劣化、特に早期劣化現象が指摘されはじめ、コンクリート構造物が劣化していることが認識され、維持管理業務の重要性が再認識されている<sup>1), 2)</sup>。

コンクリート構造物の管理の流れは、目視等の簡単な調査による保守点検に基づき劣化度を判定し、劣化度が補修を必要とする場合は詳細な補修点検を実施している。補修・補強が必要か否かの判断は、管理者独自の基準や各学協会の基準に基づき行われている。構造物が劣化調査時に有している性能が、要求されている機能を満足できているかどうかを判断することで行う。劣化の判断の項目については、各種あるが耐荷力、耐久性、使用性、美観等が掲げられる。しかし、最もよく判断基準に考慮されるのは、部材の耐荷力と、鋼材に沿ったひび割れである。部材の耐荷力については、調査データを基に鋼材の腐食減量を考慮した構造計算を行えばよい。鋼材に沿ったひび割れの発生は、発生時の腐食量は極めて小さく、静的な耐荷力は低下しないが、大きな正負の交番の繰り返し荷重下などでは、付着性能の低下により耐荷力は減少する。また、その後、腐食速度が大きくなる。美観上では、腐食によるひび割れの発生あるいは錆汁等の流出などにより判断される。変形については、かぶりコンクリートの剥落による部材の剛性低下で判断される<sup>3)</sup>。目視による劣化の調査が一般的であることを考えるならば、塩分物イオン量の調査、中性化深さの調査、コンクリート非破壊試験等はかなり困難な調査項目であり、劣化判断後の詳細調査の項目と考えられる。コンクリート技術者のアンケート調査<sup>4)</sup>から得られた結果でも、補修の要否の判定に影響を及ぼす限界の状態は、コンクリートのひび割れ、浮き、剥離によって補修が必要と判断する場合が最も多く、次いで鉄筋の露出、腐食、錆汁、耐荷力の不足、漏水、美観の順となっている。各種指針でも、同様な項目で目視点検を行っており、たとえば、港湾では、鉄筋の腐食状況、ひび割れ、コンクリートの剥離・剥落の3つの項

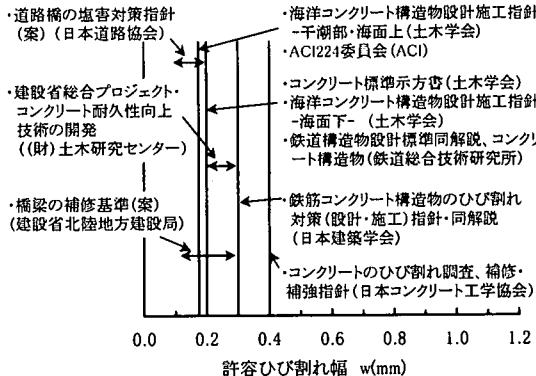


図-1 ひび割れ幅の制限値<sup>5)~15)</sup>

目で劣化レベルを判断している<sup>5)~15)</sup>。筆者等は、今までにも補修ひび割れ幅および剥離・剥落の制限値について検討してきた<sup>16)</sup>。また、宮本ら<sup>17)</sup>は、点検者のアンケート結果を基に、ニューヨーク・ファジィエキスパートシステムを用いてコンクリート橋の設備診断システムを提案している。本手法は、現場技術者が求めている、点検結果の評価および費用対効果を考慮した補修時期の設定が可能であり、今後の保守管理業務にきわめて有用なものと考えられる。しかしながら、現状では、現場の劣化データが少ないためシステムの精度向上には劣化データの収集が不可欠である。

本研究は、今まで実際に現場技術者が構造物の管理を行ってきて劣化に起因する発電停止等のトラブルは皆無であるという実績を踏まえ、現場の劣化レベルの調査データに基づいて、現場技術者の数多くの判断の平均的値は最適値であると考え、塩害劣化の主要な因子、ひび割れ、剥離・剥落の補修の要否の境界値を逆算により求め検討したものである。

## 2. 現行の基準の制限値

各機関での補修時期やひび割れ幅の制限値の考え方には相違が認められる。ひび割れ幅の制限値について言及していない基準もある。これは、ひび割れ幅が鉄筋腐食に対して密接な関係にあるという意見と、両者には密接な関係がないという意見があり、現状ではその判断は、ついていないためであると考えられる。ひび割れ幅の制限値は、設計時のものと補修時に適用するものの2つに分けられ、設計のひび割れ幅の許容値は補修時より小さく設定されている<sup>3)</sup>。各機関のひび割れ幅の制限値をまとめて図-1に示す<sup>5)~15)</sup>。記述されている劣化判定基準および筆者らの劣化調査の

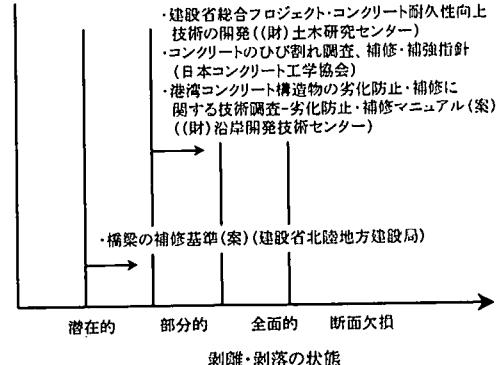


図-2 補修が必要な剥離・剥落の状態<sup>5)~15)</sup>

経験を踏まえ工学的判断により決めた。対象とするかぶりや環境は、棧橋等を対象に飛沫帯と仮定して決めた。図に見られるようにひび割れ幅の制限値は、0.2~0.4mmの範囲となっている<sup>5)</sup>。

補修が必要な剥離・剥落の状態を図-2にまとめて示す。図中に示してあるのは、補修を必要とする剥離・剥落の状態を各基準の記述から示したものである。剥離・剥落の状態は、大部分の基準では、部分的に剥離・剥落が発生すると補修を必要とするとしている。中には、その兆候が見られる程度でも、補修を必要としているものもある。橋梁のように、第3者障害が考えられるものでは、安全側に、このような処置がとられていると思われる。

## 3. コンクリート構造物の補修の判断

コンクリート構造物の維持管理を適切に行うには、対象構造物の劣化レベルを評価する必要がある。各研究機関でも劣化判定の基準があるが、その健全度判定は、対象となる構造物の特徴を反映している。代表的なものとしては、(財)沿岸開発技術研究センターの「港湾コンクリート構造物の劣化防止・補修に関する調査技術」<sup>13)</sup>、鉄道総合研究所の「建造物保守管理の基準・同解説」<sup>14)</sup>、阪神高速道路公団の「道路構造物の点検基準」<sup>15)</sup>などがあり、コンクリートのひび割れ、剥離・剥落、鉄筋の錆汁等を目視により判断し、劣化レベルを決めている。この劣化レベルが決められると、実現場での補修の判断は①構造物（部材）の重要度、②外観調査の結果および③予算により要否が決められる。このうち、③については人為的なもので、社会的状況により変化する。①、②は普遍的な項目であり、次のように考えられる。

表-1 目視による評価基準（腐食性環境下の場合）<sup>18)</sup>

| 管理項目         | 健全度  |   |                                     |
|--------------|--|---|-------------------------------------|
|              | II   | III   | IV                                  |
| (1)ひび割れ幅     | 構造上・機能上問題 <sup>*</sup> とならないひび割れパターンである。<br>構造上・機能上問題となるひび割れであって、ひび割れ幅 <sup>**</sup> が $w < 0.005 \text{Cmm}$ である。 | 構造上・機能上問題となるひび割れパターンであって、ひび割れ幅が $w > 0.005 \text{Cmm}$ または、 $w < 0.005 \text{Cmm}$ でも進行しているものである。 | 耐荷力を失うほどのひび割れ幅である。                  |
| (2)浮き・剥離の大きさ | 直径(50cm)未満かつ深さ(2.5cm)未満の浮き・剥離である。  | 直径(50cm)以上かつ深さ(2.5cm)以上の浮き・剥離である。   | 耐荷力を損なうほど著しい浮き・剥離である。               |
| (3)骨材の露出状況   | 粗骨材の表面が見える程度である。   | 粗骨材が脱落しているか、脱落しそうな状態である。  | 耐荷力を損なうほど著しい骨材の露出状況である。             |
| (4)錆汁        | 散在した錆汁がある。   | 広範囲に発生した錆汁である。  | —                                   |
| (5)鉄筋等の露出    | 構造上必要でない鉄筋等が露出している。  | 構造上必要な鉄筋等が露出している。   | 耐荷力を損なうほど著しく広範囲に構造上問題となる鉄筋等が露出している。 |

\*1) 構造上問題とならないひび割れとは、主鉄筋に平行なひび割れ、あるいは乾燥・収縮によるひび割れであり、曲げ・せん断等の構造上のひび割れではない。

\*2) 純かぶり  $t$  から計算される。一般に、純かぶり  $t$  とひび割れ幅の関係は次の通りである。

|                |      |      |      |
|----------------|------|------|------|
| 純かぶり $t$ (mm)  | 30   | 50   | 70   |
| ひび割れ幅 $w_{cr}$ | 0.10 | 0.20 | 0.35 |

コンクリート構造物の重要度あるいは構造部材の機能により、補修の要否は影響される。たとえば、構造部材の機能を考えると、a)柱(特に重要)、b)梁(重要)、c)版(壁、床板等)(要)、d)その他付帯設備の順に構造物の機能損失の影響を考え、重要度が決められる。外観の調査の診断基準は主に、a)ひび割れ幅、b)コンクリートの剥離・剥落、c)鉄筋の錆汁、d)鉄筋の露出、e)骨材の露出等の評価項目に対して決められている。これらの項目の内、塩害劣化の現象に限れば、a)ひび割れ、b)剥離・剥落が主要な評価対象であり、c)、d)、e)は従属な対象である。このことは、定期的な補修の診断データからの分析結果からも言える<sup>17)</sup>。

腐食性環境下での目視による評価基準の一例を表-1に示す<sup>18)</sup>。これによると劣化レベルは、I:劣化がなし、II:若干の劣化有り、III:劣化が顕著、IV:厳しい劣化に分類している<sup>18)</sup>。劣化レベルIIIになると補修が必要とされ、劣化レベルIIとIIIの境界が、補修の要否の境界になる。その境界は、基本的にはひび割れ幅や剥離・剥落等の大きさで判断されるが、実際は構造物の重要度、劣化発生箇所等を総合的に判断して補修が行われている。

#### 4. 逆解析による劣化レベルの基準の区分

具体的なひび割れ幅の例を取って逆算手法を説明する。はじめに、コンクリート構造物をa)柱、b)梁、c)壁、d)版の4つに区分する。図-3に既往の東京湾岸に設置された鉄筋コンクリート構造物の劣化調査から求められた壁の劣化レベルIIとIIIと判断された構造部

材のひび割れ幅の頻度分布の例を比較して示す。図に見られるように、その区分はあいまいではあるが、劣化レベルIIとIIIの分布には差がある。また、これらのデータは、部材にひび割れのみが生じており、剥離・剥落が認められないもので、両方の複合した評価をしなくて良いものである。

ひび割れ幅の劣化レベルIIおよびIIIのデータを用いて、各劣化レベルごとに分布関数を設定する。図に見られるようにその分布形状は、平均値を中心に左右対称とはならず、対数正規分布に近似できると考えられる。式(1)、(2)に劣化レベルIIおよび劣化レベルIIIの確率分布  $f_2(w)$ 、 $f_3(w)$  の対数正規分布の場合のモデルを示す<sup>19)</sup>。

$$f_2(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta_2 w} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln w - \lambda_2}{\zeta_2}\right)^2\right] \quad (1)$$

$$f_3(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta_3 w} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln w - \lambda_3}{\zeta_3}\right)^2\right] \quad (2)$$

ここで、 $\lambda_L$ 、 $\zeta_L$  は対数正規分布の係数で、 $\lambda_L = \ln \mu_L - 1/2$   $\zeta_L^2 = \ln(1 + \sigma_L^2 / \mu_L^2)$  で表される。 $\mu_L$ 、 $\sigma_L$  は、劣化レベル L のひび割れ幅の平均値及び標準偏差を示す。添字 2, 3 は劣化レベル II, III を意味する。表-2に、これらの式を用いて各劣化レベル区分の平均値と標準偏差を示す。表中の( )内の値は、得られたデータ数である。

$f_2(w)$  と  $f_3(w)$  の2つのモデルの関係を壁を例にとって図-4に示す。図に見られるように、ひび割れ幅が小さい場合は、劣化レベルIIと判断され、大きくなる

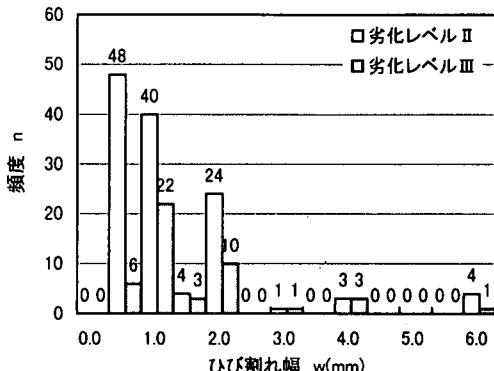


図-3 劣化レベルIIおよびIIIのひび割れ幅(壁)

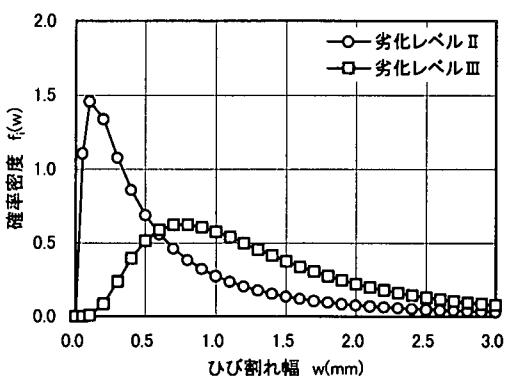


図-4  $f_2(w)$  と  $f_3(w)$  の2つのモデルの関係(壁)

と劣化レベルIIIと判断され、その間には判断できないグレーゾーンが存在する。

補修の要否のひび割れ幅を  $w_{cr}$  とすると、劣化レベルIIなのに劣化レベルIIIと判断する確率は、式(3)で表される。

$$C_2(w_{cr}) = \int_{w_{cr}}^{+\infty} f_2(w) dw \quad (3)$$

同様に、劣化レベルIIIなのに劣化レベルIIと判断する確率は、式(4)で表される。

$$C_3(w_{cr}) = \int_0^{w_{cr}} f_3(w) dw \quad (4)$$

従って、以下に示すような式(3)、(4)を足し合わせた値  $C_T(w_{cr})$  が最小時の  $w_{cr}$  が、最も補修の要否を判断する可能性が高いひび割れ幅となる。

$$\begin{aligned} C_T(w_{cr}) &= C_2(w_{cr}) + C_3(w_{cr}) \\ &= \int_{w_{cr}}^{+\infty} f_2(w) dw + \int_0^{w_{cr}} f_3(w) dw \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)から  $C_T(w_{cr})$  が最小となる場合に分布が最大となるように式を変換すると、補修の要否のひび割れ幅の

表-2 各劣化レベル区分の平均値と標準偏差

| 項目      | 部材 | 劣化レベルII  |      | 劣化レベルIII  |      |
|---------|----|----------|------|-----------|------|
|         |    | 平均値      | 標準偏差 | 平均値       | 標準偏差 |
| ひび割れ幅   | 柱  | 0.50(14) | 1.23 | 2.77(21)  | 2.21 |
|         | 梁  | 0.75(22) | 0.68 | 3.39(54)  | 2.37 |
|         | 版  | 0.00(3)  | 0.0  | 10.44(24) | 5.97 |
|         | 壁  | 0.89(74) | 1.24 | 1.49(47)  | 1.12 |
| 剥離・剥落面積 | 柱  | 0.40(16) | 0.16 | 1.54(9)   | 0.67 |
|         | 梁  | 0.33(17) | 0.16 | 0.49(3)   | 0.00 |
|         | 版  | 0.05(12) | 0.04 | 0.87(7)   | 0.35 |
|         | 壁  | 0.41(57) | 0.63 | 3.26(9)   | 1.48 |

注: ( )内は、データ数を示す。

確からしさの分布  $f_{w_{cr}}(w_{cr})$  は、式(6)で表される。

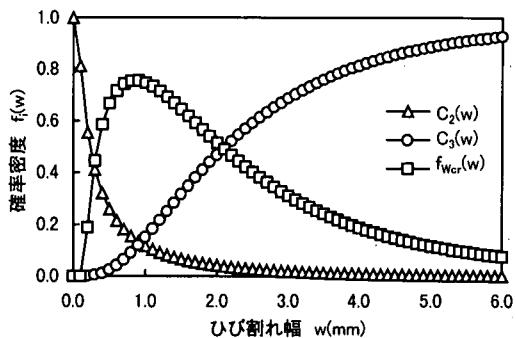
$$f_{w_{cr}}(w_{cr}) = 1.0 - C_T(w_{cr}) \quad (6)$$

図-5(a)～(d)、図-6(a)～(d)に本研究で仮定したひび割れ幅および剥離・剥落の確からしさの分布  $f_{w_{cr}}(w)$ 、 $f_{A_{cr}}(A)$  を  $C_2(w)$ 、 $C_3(w)$ 、 $C_2(A)$ 、 $C_3(A)$  とともに示す。

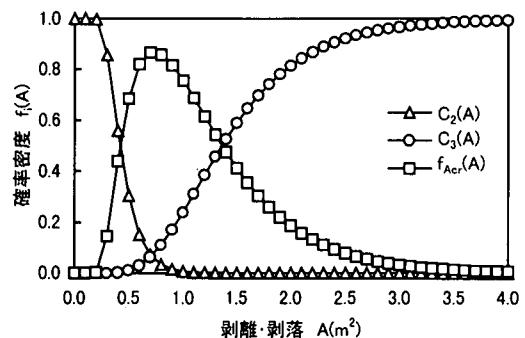
## 5. 補修の要否の区分

本研究で仮定した確からしさの分布の最頻値が、ひび割れ、あるいは剥離・剥落の補修を実施する境界値を表している。以上の検討で得られた確からしさの最頻値を表-3に示す。ただし、ひび割れ幅では、版のデータの数が、剥離・剥落では、梁のデータの数が少ないことから、評価の対象から外す。表に見られるように、ひび割れ幅は、0.6～1.2mm程度になっており、コンクリート標準示方書で示されている0.2mm(環境:特に厳しい腐食性環境 かぶり:7cm)と比較してかなり大きな値になっている。本来、0.2mmの値は、設計時の許容ひび割れを考慮するための値であり、厳しい安全側の値になっている。JCI「コンクリートのひび割れ調査・補修・補強指針<sup>10)</sup>」によると、補修が必要なひび割れ幅は、0.4mmとなっており、ばらつきを考慮しても小さな値である。剥離・剥落の結果も表に見られるように、柱と壁の値は、1.0m<sup>2</sup>前後の値を取るのにも関わらず、版は0.3m<sup>2</sup>前後となっている。しかし、版のデータは、図-6(c)に見られるように、補修をしない場合のデータがほとんどゼロに近いデータしかなく信頼度に問題があると思われる。そのため、最頻値は片寄ったものと思われる。従って、剥離・剥落の版の結果も以降の解析では参考値とする。

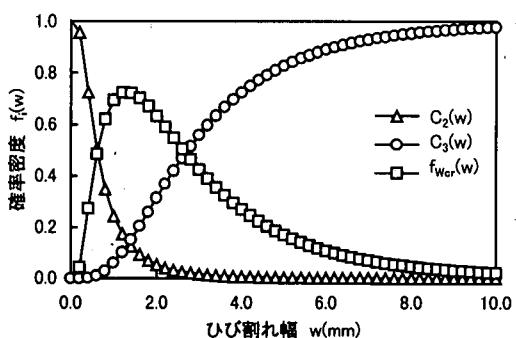
次に、ばらつきを考慮した場合の補修の実施の区分の考え方を示す。補修の要否の確からしさの分布は、式(6)で表される。従って、式(6)の分布の全積分値を



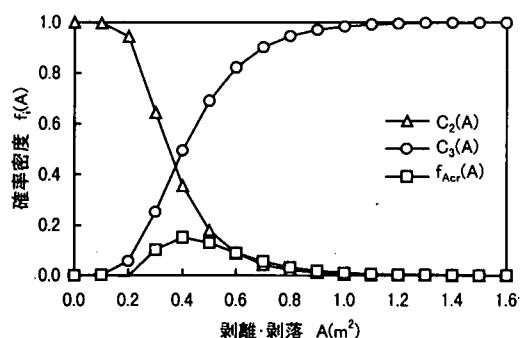
(a) 柱



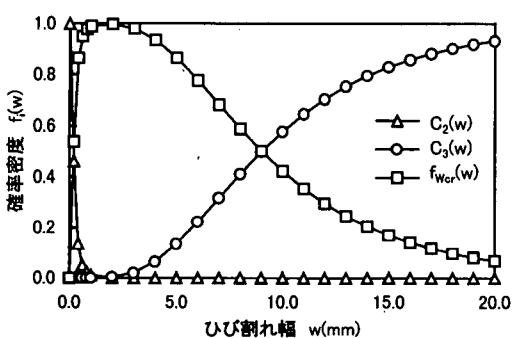
(a) 柱



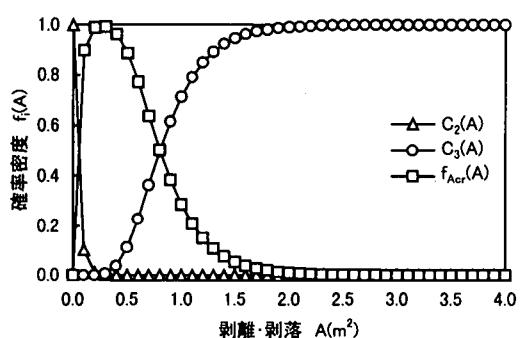
(b) 梁



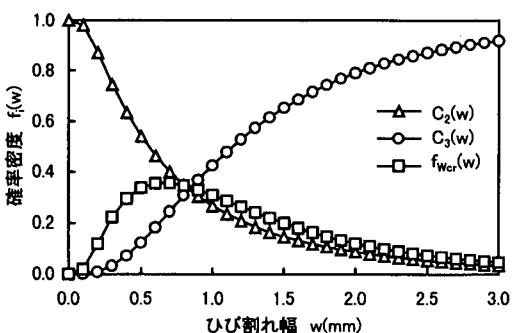
(b) 梁



(c) 版

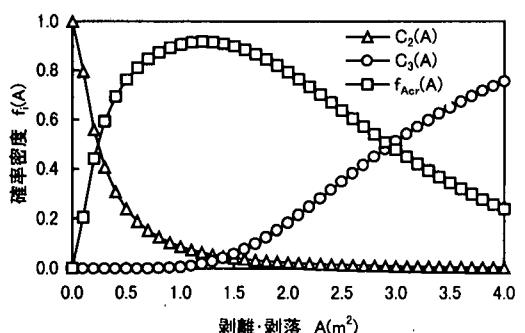


(c) 版



(d) 壁

図-5 ひび割れ幅の確からしさの分布



(d) 壁

図-6 剥離・剥落の確からしさの分布

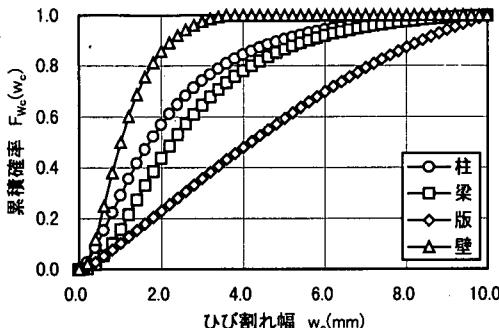


図-7 ひび割れ幅と  $F_{w_c}(w_c)$  の関係

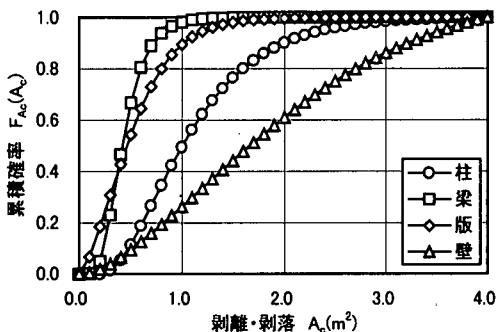


図-8 剥離・剥落面積と  $F_{A_c}(A_c)$  の関係

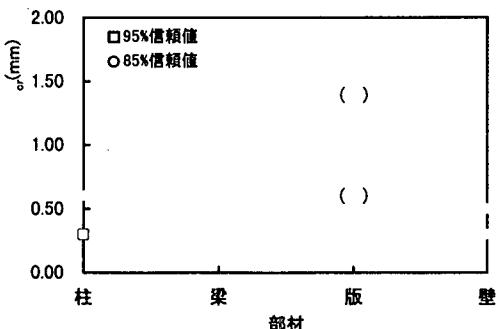
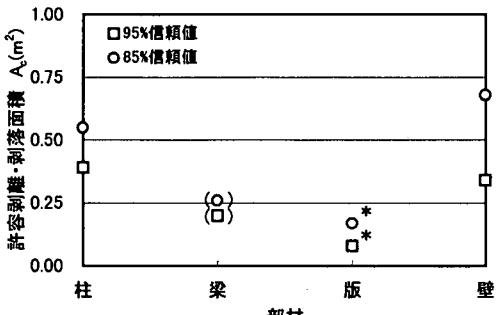


図-9 許容ひび割れ幅



注) ( )の結果は、データ数が少なく、参考値とする。  
\*の結果は、劣化レベルⅡのデータのほとんどがゼロに近いので参考値とする。

図-10 許容剥離・剥落面積

表-3 確からしさの最頻値

| 項目 | ひび割れ幅<br>$w_c$ (mm) | 剥離・剥落<br>$A_c$ ( $m^2$ ) |
|----|---------------------|--------------------------|
| 柱  | 0.8                 | 0.7                      |
| 梁  | 1.2                 | (0.4)                    |
| 版  | (2.0)*              | 0.3*                     |
| 壁  | 0.6                 | 1.3                      |

注) ( )の結果は、データ数が少なく、参考値とする。

\*の結果は、劣化レベルⅡのデータのほとんどがゼロに近いので参考値とする。

1.0と設定すると、補修の要否のひび割れ幅の危険確率  $F_{w_c}(w_c)$  は、式(7)で表される。

$$F_{w_c}(w_c) = \int_0^{w_c} f_{w_{cr}}(w_{cr}) dw \quad (7)$$

ここで、 $w_c$  は、危険確率を考慮した境界値である。

図-7(a)～(d)に、ひび割れ幅  $w_c$  と危険確率  $F_{w_c}(w_c)$  の関係を、図-8(a)～(d)に剥離・剥落面積  $A_c$  と危険確率  $F_{A_c}(A_c)$  の関係を示す。ただし、積分するに当たり、ひび割れ幅では、図-3を参考に 10.0mm で、剥離・剥落面積では、4.0  $m^2$  で 1.0 になるように調整した。このようにしたことで、補修の要否の確からしさの分布を打ち切り分布として取り扱うことになる。実際、数学的には無限大まで分布を考えることができるが、実際の現象は頭打ちがあることから、経験的に上述の値を上限値として設定した。式(7)の意味は、ゼロの時は完全に補修が不要であることを、1.0 の時は補修が完全に必要であることを意味し、その値は補修をする必要な確信度を表している。各図を見ると、例えば図-7 の壁と梁のように累積確率密度関数が急激に 1.0 に達する場合と、緩やかに 1.0 に漸近する場合が認められる（版はデータが少ないため検討から除く）。両者の違いは、図-5に示した劣化レベルⅡ及びⅢの確からしさの分布の広がりの差によるものである。すなわち、累積密度関数が急激に 1.0 に達する場合は、2つの確からしさの分布の広がりが大きいため、両者の重なりが大きく補修の要否の境界が曖昧であるのに対し、緩やかに 1.0 に漸近する場合は、確からしさの分布の広がりが小さいため、補修の要否の境界が明確であることを示している。

次に、ひび割れ幅および剥離・剥落の危険確率を考慮した境界値を求める。ある事象がまれにしか起こらないことを確率論的に表現する場合は、通常 5%あるいは 1%を用いている<sup>20)</sup>。これらの値は、人間の感覚に照らし合わせて妥当と考えられている<sup>20)</sup>。コンクリート標準示方書でも、材料の特性値を正規分布として 5% の危険率、すなわち 95% 信頼値を考えている。本研究で

もこれに準拠し 95%信頼値を採用した。一方、この信頼値は耐荷力のような、その損傷が直ちに重大な問題に直面する場合であり、コンクリートの塩害のように進行速度が比較的緩やかで、腐食ひび割れの発生が直ちに構造物の耐荷力に重大な影響を与えるものではない場合は、危険確率を大きく取ることが可能と考えられる。このような場合の危険確率をどの程度であるべきかは議論の余地があるが、本研究では 15%危険確率の 85%信頼値も採用した。

ひび割れ幅の境界値は、図-7を用いて求めたものを図-9に、剥離・剥落面積の境界値は、図-8を用いて求めたものを図-10に示す。ひび割れ幅は、95%信頼値で 0.3~0.6mm となり、境界値は概ね基準類(0.2~0.4mm)と一致していると言える。このことは、補修に関する基準類が、構造物の設計時点での劣化を考慮して作られたものであり、そこには安全側の考え方を取り入れられており、標準示方書と同程度の危険確率となったものと考えられる。

85%信頼値ではひび割れ幅は、0.5~1.0mm となり、既往の基準類より大きく、表-3に示した現行の補修実績に基づいた確からしさの最頻値(0.8~1.0mm)に概ね一致する。補修実績が構造物の運営上特に問題が生じていないことを考慮すると、現行の補修基準の制限値をゆるめ、劣化がある程度まで進んでから補修を行うと言った維持管理のあり方も考えられる。

剥離・剥落面積は、95%信頼値では 0.4m<sup>2</sup> であり、85%信頼値では 0.6~0.7m<sup>2</sup> である。この値は、表-1での補修が必要とされる劣化レベルⅢとⅡの境界値 0.5m<sup>2</sup> と比較して、大きな差は見られなかった。

## 6.まとめ

本研究は、現場技術者が、今まで実際に構造物の管理を行って劣化に起因する発電停止等トラブルは皆無であるという実績を踏まえ、既往の劣化レベルの調査データに基づいて、その平均的な値は最適値であると考え、塩害劣化の主要な因子である、ひび割れ、剥離・剥落から補修の実施の境界値を確率論的な手法を用いて逆算した。以下に、本研究で得られた知見を示す。

- (1) 既往の調査データから、2つの劣化レベルの区分を表すために、確からしさの分布を定義し、確率論的なモデルを提案した。
- (2) 本手法を用いて、既往の調査データから補修が必要なひび割れ幅を求めた。95%信頼値では 0.3~0.6mm となり現行の基準類と概ね一致した。危険確率を緩めた 85%信頼値では 0.5~1.0mm となり、補修実績と概ね一

致した。このことは、現行の補修基準の制限値をゆるめ、劣化がある程度まで進んでから補修を行うといった維持管理のあり方も考えられる。

(3) 剥離・剥落面積は、95%信頼値では 0.4m<sup>2</sup> 程度であり、85%信頼値では 0.6~0.7m<sup>2</sup> である。この値は、表-2 の補修が必要とされる劣化レベルⅢとⅡの境界値 0.5m<sup>2</sup> と比較して、それほど変わらない。

## 参考文献

- 1) 大即信明、鈴木慎也：耐久性の優れたコンクリート構造物 -港湾-, 土木学会論文集, No. 327(V-5), pp. 29~39, 1986 年 8月.
- 2) 小林一輔：コンクリート構造物の耐久性、コンクリート工学, Vol. 23, No. 2, pp. 4~12, Feb., 1985.
- 3) 松島学、関博、金子雄一、松井邦人：コンクリート構造物の補修ひび割れ幅の評価、土木学会論文集, No. 420/V-13, pp. 201~209, 1990 年 8月.
- 4) 健全度診断技術に関するアンケート調査結果、電力中央研究所, 1992 年 10 月.
- 5) 道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、(社)日本道路協会, 1984 年 2 月.
- 6) 海洋コンクリート構造物設計施工指針(案)、(社)土木学会, 1977 年 3 月.
- 7) コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針、(社)日本コンクリート工学協会, 1987 年 2 月.
- 8) 建設省総合プロジェクト・コンクリート耐久性向上技術の開発、(財)土木研究センター, 1989 年 5 月.
- 9) 橋梁の補修基準(案)、建設省北陸地方建設局.
- 10) 鉄筋コンクリート造のひび割れ対策(設計・施工)指針案・同解説、日本建築学会, 1990.
- 11) 鉄道構造物等設計標準・同解説－コンクリート構造物－、鉄道総合研究所, 1992.
- 12) コンクリート標準示方書平成 8 年度制定 設計編、(社)土木学会, 1996. 3.
- 13) 港湾コンクリートの劣化防止・補修に関する技術調査-劣化防止・補修マニュアル-、(財)沿岸開発技術センター, 1987 年 9 月.
- 14) 建造物保守管理の基準・同解説、鉄道総合研究所, 1987 年 9 月.
- 15) 道路構造物の点検基準、阪神高速道路公団, 1985 年 9 月.
- 16) 宮本文穂、森川英典、木下和哉、竹内和美：コンクリート橋診断ニューロファジイエキスパートシステムの開発、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 2, pp. 771-776, 1993. 6.
- 17) 安田登、白木渡、松島学、堤知明：ニューラルネットワークに基づいた構造物点検技術者の思考過程の評価、土木学会論文集, No. 496/V-24, pp. 41-49, 1994. 8.
- 18) 保守管理規定－火力・原子力発電所土木関係設備－、東京

- 電力株式会社 1988 年 3 月.
- 19) H-S. Ang, H. Tang(訳:伊藤学, 龟田弘行): 土木・建築のための確率・統計の基礎 pp. 102~105, 1977 年 6 月.
- 20) 岡村甫: コンクリート構造の限界状態設計法, 共立出版, 1984.

(1997. 5. 12 受付)

## A STUDY ON ALLOWABLE BOUNDARY ON REPAIR

Tomoaki TSUTSUMI, Takayuki NAKAGAWA, Manabu MATSUSHIMA  
and Hiroyuki OHGA

In maintenance of RC structures, the deterioration level is judged by visual inspection based on maintenance manual. And after then, detail inspection is carried out in order to determine whether repair or reinforcing is needed. Decision making of repair and reinforcing is carried out by administration maintenance manual based on the criterion of JSCE, JCI and soon.

This study is to seek the boundary values of repair and reinforcing using the survey data in situ by considering the records of past decision making of repair and reinforcing on thermal power plant's RC structures. Crack width and area of peeling off are chosen as parameters of chloride induced damage. Allowable boundary values on repair are obtained by inverse analysis based on reliability theory.