

論文 目視情報に基づく実 RC 建造物の はく落予測ツールの開発

角野 拓真¹・轟 俊太朗²・松下 将士³・田所 敏弥⁴

¹正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail:kadono.takuma.52@rtri.or.jp

²正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail:todoroki.shuntaro.73@rtri.or.jp

³正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: matsushita.masashi.25@rtri.or.jp

⁴正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail:tadokoro.toshiya.07@rtri.or.jp

鉄筋コンクリート建造物を効率的に維持管理するためのはく離・はく落の定量的な予測手法として、目視によるはく離・はく落範囲に一致する鉄筋腐食速度を推定し、その鉄筋腐食速度により予測を行う手法を提案してきた。本手法では、かぶり等の情報入力や鉄筋腐食環境に応じた予測範囲の設定が重要となる。

本研究では、日射や苔等の目視情報により区分した予測範囲および限られた計測点から推定したかぶりをを用いてはく落予測を行うことにより、かぶりコンクリートのはく離・はく落の発生傾向を概ね再現することが可能であることを確認した。これらの検証結果を踏まえ、近年導入が進んでいる携帯型タブレット端末を活用して、目視により得られる情報に基づくはく落予測ツールの開発を行った。

Key Words: RC in service, deterioration prediction, rebar corrosion rate, visual clue, spalling of cover concrete

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以降、RC）建造物の維持管理では、経験を積んだ技術者による目視や詳細な調査により定量的、あるいは半定量的に建造物の健全度を評価する。半定量的な健全度評価には、維持管理に精通した熟練技術者が必要であり、次世代技術者への技術伝承が必須となる。一方で、少子高齢化に伴う技術者の減少により、限られたリソースで、RC 建造物を維持管理する必要がある。そのため、より効率的に維持管理するには、予防保全やアセットマネジメントの観点から、鉄筋腐食により生じる変状の発生時期や構造性能の低下を定量的に予測することが重要となる。鉄道建造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート建造物¹⁾（以降、維持管理標準）では、RC 建造物の劣化指標の一つである鉄筋腐食を対象とした変状予測モデル（以降、変状予測モデル）を記載している。この変状予測モデルは、実建造物で発生する変状の状態のばらつきが大きいことを考慮して、定期的な調査による適切な予測の修正を前提とし

て構築されている。適切な予測の修正方法として、目視から得られるはく離・はく落範囲に基づき推定した鉄筋腐食速度を用いて、はく離・はく落予測を行う手法（以降、提案法）を提案している²⁾。提案法を用いる場合、鉄筋位置直上にメッシュを設定し、そのメッシュ内にかぶりや中性化等の情報を入力し、鉄筋腐食速度を逆解析する必要がある。これらの作業は、実務者への負担が多く、実用化のためには本手法の簡素化が求められる。また、予測精度を高めるためには、コンクリートの乾湿状態など鉄筋腐食環境の違いを適切に評価し、予測することが重要となる。

本研究では、提案法を用いたはく離・はく落予測ツールを開発し、主に中性化と初期塩化物イオンによる複合劣化（以降、複合劣化）によりかぶりコンクリートがはく離・はく落した経年 45 年の鉄道 RC ボックスカルバートの調査結果から、コンクリート表面の日射や苔等の目視情報により区分した鉄筋腐食速度を推定するための算出範囲およびかぶりの計測点数が、はく落予測結果に

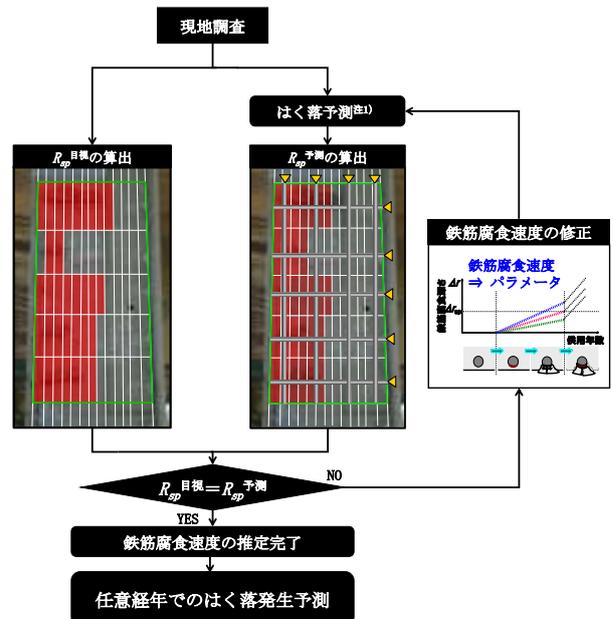
及ぼす影響を検証し、実用化に向けた取り組みを行った。

2. 予測ツールの開発

(1) 目視に基づくはく落予測手法

提案法²⁾は、供用中の RC 構造物を対象として、目視により得られるはく離・はく落範囲からはく離・はく落発生率を定義し、その範囲内で目視と予測によるはく離・はく落発生率が一致するように平均的な鉄筋腐食速度を推定し、推定した鉄筋腐食速度を用いてはく離・はく落予測を行う手法（以降、はく落予測）である。図-1 に提案法によるはく落予測フロー、図-2 に提案法によるはく落予測作業プロセスを示す。まず、はく離・はく落発生率算出範囲を鉄筋腐食環境に応じて定義し、鉄筋上を約 50mm のメッシュ単位で区分し、目視調査で得られたはく落面積からはく離・はく落発生率を算出する ($R_p^{\text{目視}}$)。次に、変状予測モデルを用いて、上記と同一のメッシュ単位ではく落予測を行い、はく離・はく落発生率を算出する ($R_p^{\text{予測}}$)。なお、メッシュ毎に、はく落予測に必要なかぶり、中性化深さおよび塩化物イオン濃度等を入力する。最後に、はく落予測によるはく離・はく落発生率と目視によるはく離・はく落発生率が一致する鉄筋腐食速度を算出する。こうして推定した鉄筋腐食速度は、設定したはく離・はく落発生率算出範囲内でのかぶりの傾斜や中性化深さのばらつきから生じるマクロセル腐食等を考慮した平均的な値であり、はく落予測は、この鉄筋腐食速度を用いて任意経年で行うものである。提案法は、従来の個別検査時の一般的な調査項目である目視調査、鉄筋かぶり計測、中性化深さの測定および塩化物イオン濃度分析等の結果を用いることで、コンクリートのはつり出しによる鉄筋腐食深さの計測等の特別な調査を要さず、材料、施工、環境の影響を含む、実態に即した鉄筋腐食速度により、将来的なはく離・はく落を予測できることが最大の特長である。

なお、本論 3 章以降で用いた変状予測モデルは、対象部材に 1.2kg/m³ 以上の初期塩化物イオン濃度が含まれて

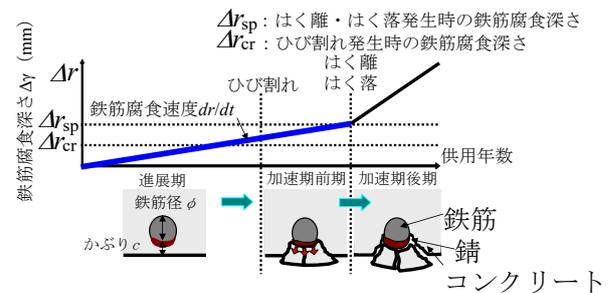


$R_p^{\text{目視}}$: 目視によるはく離・はく落発生率

$R_p^{\text{予測}}$: はく落発生予測によるはく離・はく落発生率

注1: 維持管理標準²⁾に示す劣化予測モデルを用いる。ただし、鉄筋腐食速度はパラメータとする。

(a) はく落予測フロー



各期終了時の鉄筋腐食深さ Δr (mm)		鉄筋腐食速度 dr/dt (mm/年)
潜伏期	初期塩化物イオン濃度 $\geq 1.2\text{kg/m}^3$	0
進展期	$\Delta r_{cr} = 13 (c/\phi) \times 10^{-3}$	α
加速期前期	$\Delta r_{sp} = 56 (c/\phi) \times 10^{-3}$	
加速期後期	性能項目の照査により判定	8×10^{-3}

(b) はく落予測に用いる劣化予測モデル

図-1 提案法によるはく落予測フロー

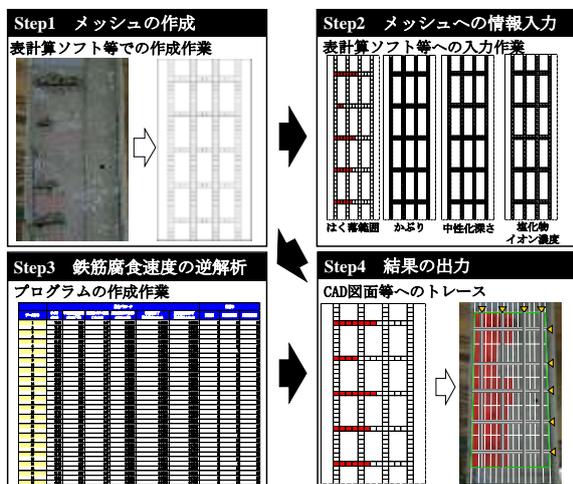


図-2 提案法によるはく落予測作業プロセス

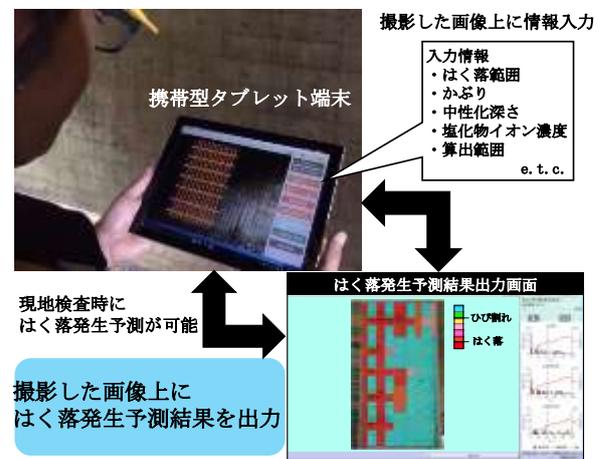


図-3 開発したはく落予測ツール

いるため、図-1(b)に示す維持管理標準¹⁾に記載の複合劣化のモデルを基本とするが、鉄筋腐食速度については、中性化深さに依存せず、はく落発生時まで同一速度で進行すると仮定して、上記提案法を用いて推定した。

(2) 携帯型タブレット端末を用いたツールの開発

提案法によるはく落予測は、現地調査により得られた結果を、図-2に示す作業プロセスを経ることにより行う。本作業プロセスは、現地調査実施後に現場野帳や写真などの情報を基に、事務所内で実施することとなり、実務者への負担が増えることが想定される。また、提案法により推定した鉄筋腐食速度は算出範囲内での平均的な値であるため、同一部材であっても水掛かりなどの影響により部位ごとに鉄筋腐食環境が異なる場合には、将来的なはく落・はく落の発生を精度よく再現するために、それぞれの鉄筋腐食環境ごとに算出範囲を定義することが必要となる。さらに、かぶりは、はく落予測を行う上で、非常に重要な指標であり³⁾、より精度よくはく落予測を行うには、可能な限り密に計測したかぶり情報をメッシュに入力する必要がある。実務において、これらの条件を満たして、精度よくはく落予測を行うためには、設定する算出範囲の数に応じて、図-2に示す作業プロセスを複数回繰り返す必要がある。

そこで、図-3に示す携帯型タブレット端末を用いて、現地検査時に撮影した画像上にタッチタップ操作によりかぶりや算出範囲等の情報を入力することにより、自動ではく落予測を行うツールを開発した。本開発ツールを用いることで、限定された計測点から部材全体のかぶりを推定し、鉄筋腐食環境に応じて設定した算出範囲ごとに提案法を用いてはく落予測を携帯型タブレット端末内で実施することができ、現地調査時に簡易にはく落予測が可能となる。

はく落予測ツールの開発に伴い、現地調査結果より、鉄筋腐食環境に応じた算出範囲の設定を行い、限られた計測点から推定したかぶりをを用いて、はく落予測を行うことによる予測結果への影響を検証した。検証結果は、4章、および5章に示す。

3. 調査概要

(1) 調査対象

調査対象部材は、高度経済成長期にあたる1972年にしゅん功した鉄道RCボックスカルバートの起点方の側壁内空面とした。調査時点での経年は、45年である。内空幅2.0m×内空高2.6mの人道用ボックスカルバートであり、鉄道の施工基面からの土被りは軌道中心位置で2.33mである。図-4に概略形状を示す。図-5に、設計図書に記載されている起点方の側壁内空面の配筋概略図を示す。なお、図-5には、中性化、塩化物イオン濃度およびかぶりの測定位置を併記した。軸方向鉄筋および配

力鉄筋は、異形鉄筋(D16)である。軸方向鉄筋間隔は300mm、配力鉄筋間隔は、上下端ではそれぞれ290mm、330mmであり、その他中央部では500mmである。設計図書からコンクリートの設計条件は、圧縮強度24N/mm²、水セメント比59%であった。ただし、配筋検査書類等の施工記録は現存していない。本研究では、検討の簡便を図るため、斜め方向に配筋された軸方向鉄筋を除いた図-5に示す鉄筋4~28の側壁範囲を対象とした。

図-6に、調査対象構造物の周辺状況を示す。起点を背にして左側は山であり、1:1.5程度の勾配の斜面である。右側には、田、道路および河川が位置しており、日射等を遮るような家屋はない。線路方向の方位は、北東である。また、対象構造物は、山間部に位置し離岸距離は1km以上であることから、飛来塩分の影響は小さいと考えられる。なお、対象構造物近傍での気象庁の過去30年間の日平均気温は16.9℃、年平均降水量は1,735.3mmである。

目視調査では、鉄筋腐食によるものと思われるひび割れやはく離が認められた。また、過年度には鉄筋腐食に

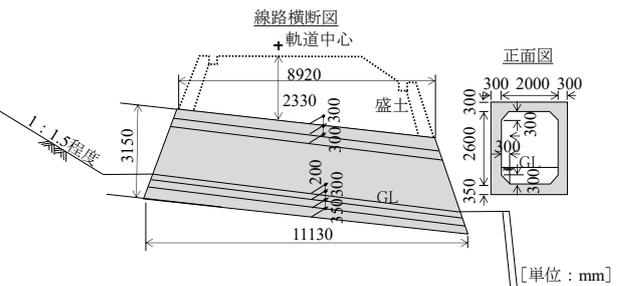


図-4 調査対象構造物の概略形状

測定位置

○:中性化 ×:中性化・塩化物イオン濃度 ●:かぶり

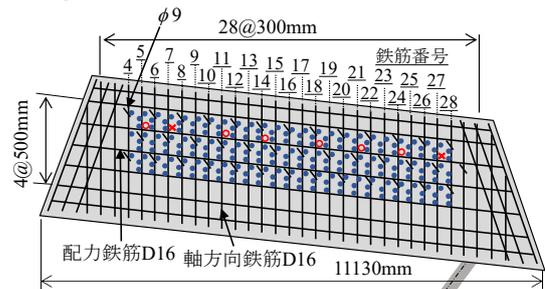


図-5 調査対象構造物の側壁内側の配筋概略図

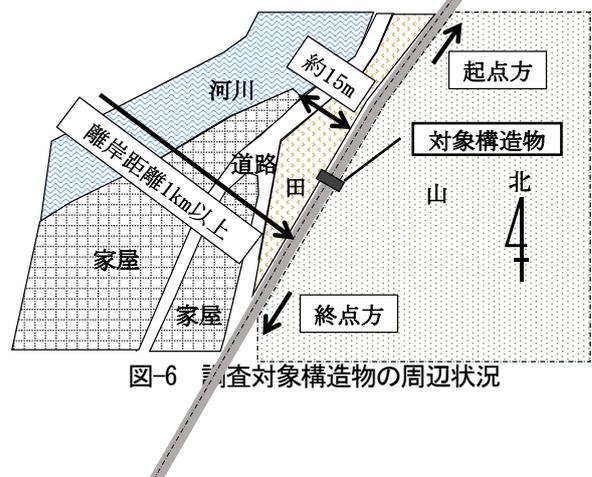


図-6 調査対象構造物の周辺状況

よるはく離・はく落部分を対象にポリマーセメント系モルタルを用いた部分断面修復が施工されている。対象構造物の初期塩化物イオン濃度は $1.2\text{kg/m}^3 \sim 1.7\text{kg/m}^3$ (データ数: 2箇所), 中性化深さは $31 \sim 62\text{mm}$ (データ数: 8箇所) であったことから, 変状要因は初期塩化物イオン濃度と中性化の複合劣化と推定した。なお, 初期塩化物イオン濃度とは, 海砂等の使用により, コンクリートの練り混ぜ時から混入した塩化物イオン濃度である。

(2) 調査方法および結果

a) 中性化深さ

中性化深さは, 維持管理標準¹⁾に示すドリル削孔粉を用いた中性化深さの測定方法により測定した。測定は, 地表面より高さ約 1.2m の位置で長手方向の測定間隔は, 概ね 1.2m で測定した。なお, 塩化物イオン濃度分析用の試料採取箇所においても, フェノールフタレイン 1% 溶液を噴霧して, コンクリート表面から発色点までの距離を測定した。図-7 に, 起点面での中性化深さの測定結果を示す。図中には, 設計で用いる乾湿状況やブリーディング等の影響を考慮した中性化深さの推定式³⁾により, 設計図書に示される水セメント比である 59% を用いて算出した値を示した。特に鉄筋 4~7 の中性化深さが 62.3mm と大きく, 推定式⁴⁾により算出した値の 2 倍以上であった。

b) かぶり

鉄筋のかぶりは, 電磁誘導法を用いて測定した。軸方向鉄筋のかぶりは, 配力鉄筋間の高さ方向に 2 側線のかぶり測定を実施した。測定箇所以外の軸方向鉄筋のかぶりは, 線形補間または補外により算出した。図-8 に塩化物イオン濃度測定試料の採取箇所付近である軸方向鉄筋 8, 9, 27 および 28 のかぶり測定結果を示す。

配力鉄筋のかぶりは, 軸方向鉄筋間の横方向に 1 側線のかぶり測定を実施した。測定箇所以外の配力鉄筋のかぶりは線形補間または補外により算出した。なお, 軸方向鉄筋との交差箇所の配力鉄筋のかぶりは, 軸方向鉄筋と配力鉄筋が接していると仮定し, 16mm を加えた値とした。設計かぶりは, 軸方向鉄筋が 60mm , 配力鉄筋が

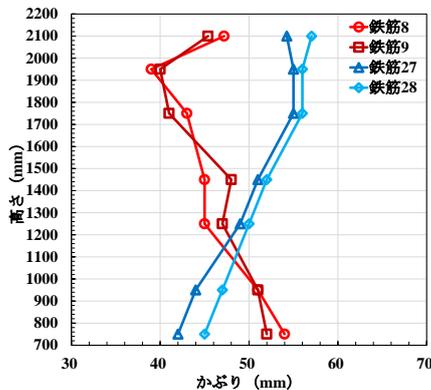


図-8 鉄筋かぶりの測定結果 (軸方向鉄筋)

76mm である。せん断補強鉄筋は, 組立て鉄筋程度であり, 丸鋼 $\phi 9\text{mm}$ で水平 600mm , 鉛直 500mm の間隔で軸方向鉄筋と配力鉄筋の交点に設置されている。

c) 塩化物イオン濃度

塩化物イオン濃度は, ドリル法により採取した削孔粉を JIS A 1154 の電位差滴定法を用いて測定した。試料採取位置は, 地盤面より高さ約 1.2m の位置とし, 起点面では鉄筋 8~9 付近および鉄筋 27~28 付近の 2 箇所とした。深さ方向の塩化物イオン濃度の分布を確認するため, 深さ方向の測定間隔を 10mm から 20mm とした。図-9 に塩化物イオン濃度の測定結果を示す。なお, 図中には, 図-7 に示す鉄筋位置 8~9 および鉄筋位置 27~28 に示す中性化深さの値とかぶり測定で得られた最大値と最小値を併記した。塩化物イオン濃度は, 中性化による塩分濃縮の影響を受け, 中性化深さの約 1.8 倍の位置で, 初期塩化物イオン濃度の約 2 倍の濃度に達することが報告されており⁵⁾, 対象構造物も同様の傾向を示している。そのため, コンクリート表面からの深さ $120\text{mm} \sim 140\text{mm}$ 位置での塩化物イオン濃度の平均値である 1.41kg/m^3 を初期塩化物イオン濃度とした。

d) 目視および打音調査

目視および打音調査では, 構造物の変状やその範囲に加えて, コンクリート表面の水掛かりや湿潤状況, さらに日射等の有無を抽出することとした。図-10 に起点方の側壁内空面の目視調査により得られた情報を示す。主な変状としては, ひび割れおよびかぶりコンクリート

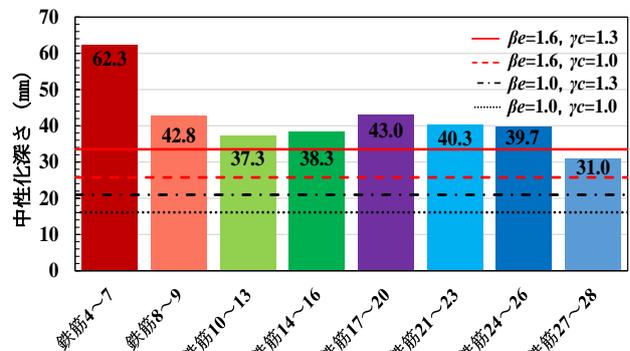


図-7 中性化深さの測定結果 (起点面)

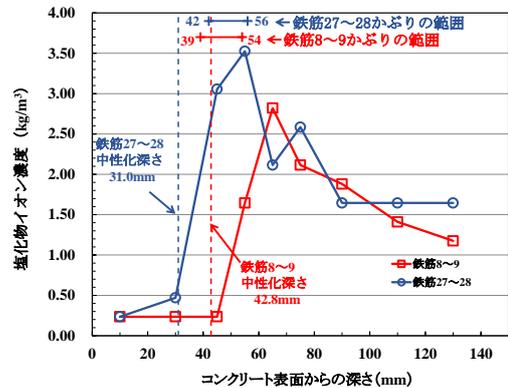


図-9 塩化物イオン濃度の測定結果

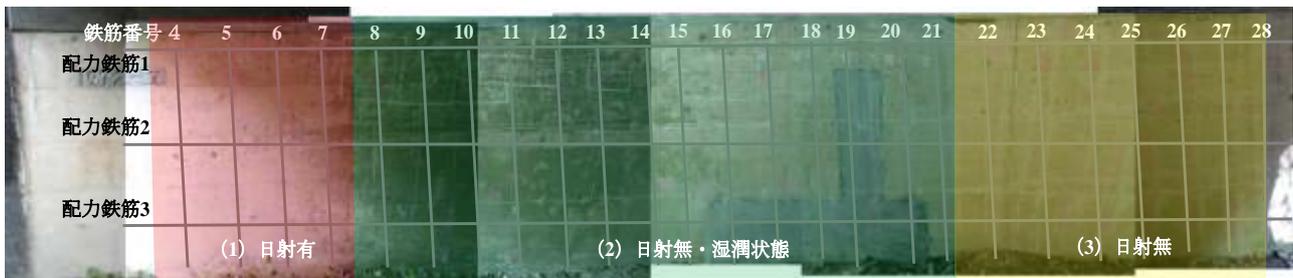


図-10 目視により得られる情報による部位の設定

のはく離であった。また、はく離・はく落部分を対象にポリマーセメント系モルタルを用いた部分断面修復が施工されていた。目視により得られる情報として、鉄筋 4～7 付近は、対象構造物の縁端付近であり調査時にはコンクリート表面に日射があるのを確認した。一方で、鉄筋 7～28 は、日射が当たらず調査時のコンクリート表面は鉄筋 4～7 付近と比較して暗い状態であった。また、鉄筋 7～21 付近は苔が繁茂していたことから、鉄筋 4～7、22～28 と比べて湿潤状態にあると考えられる。これらの目視により得られる情報により、対象とした側壁面を図-10 に示すように3つの部位に区分した。

4. 設定する算出範囲が予測結果に及ぼす影響

(1) 概要

提案法は、材料、施工、環境の影響を含んだ鉄筋腐食速度の推定が可能となる。一方で、推定された鉄筋腐食速度は算出範囲内で平均化されるため、同一部材であっても、部位によって水掛かりや乾湿の繰り返し等の条件により鉄筋腐食速度が異なることが想定される。そのため、部材全体を対象としてはく落予測を行う場合、必ずしも目視により得られるはく離・はく落範囲と一致しない可能性がある。より精度よくはく落予測を行うためには、鉄筋腐食環境に応じて算出範囲を設定することが重要となる。

本研究では、目視により得られる情報として、コンクリート表面の日射の有無や苔の繁茂等の湿潤状態に着目して設定した算出範囲を用いてはく落予測を行い、目視により得られる情報により設定した算出範囲がはく落予測結果に及ぼす影響を検証した。

(2) 目視情報による算出範囲の設定

図-11 に、対象としたボックスカルバートの起点方の側壁内空面のかぶりと中性化残りに対する変状発生傾向の関係について示す。なお、図中に示すかぶりは図-5 に示す実測値を用い、中性化残りは、かぶりを計測した箇所のもっとも近傍で測定した中性化深さをを用いてかぶりから中性化深さを差し引いた値とした。複合劣化は、中性化の進行が変状の発生やその進行の一要因であると考えられているが¹⁵⁾、図-11 から(1)日射有と(2)日射無・湿潤状態を比べると、(1)は、(2)よりも中性化残りが小さい

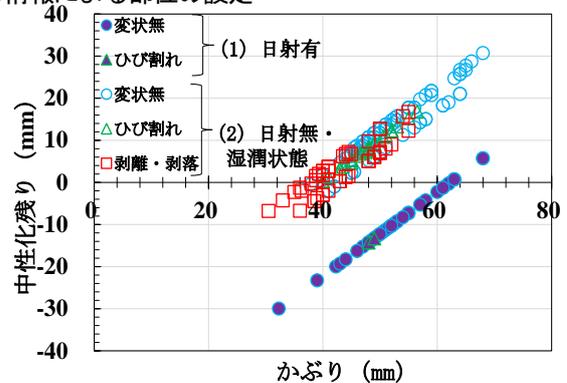


図-11 かぶり・中性化残りの変状発生傾向の関係

にも関わらず、変状が発生していない。これは、中性化が進行していても、(1)のように、日射が有り、水が供給されにくく、常時乾燥状態に近い部位では鉄筋腐食が進行しにくく、(2)のように、日射が無く、苔等の繁茂が観察され、湿潤状態に保たれるような部位では鉄筋腐食が進行しやすいためであると考えられる。そのため、これらコンクリートの乾湿状態などに応じて鉄筋腐食速度の算出範囲を定める必要がある。

本研究では、図-10 に示した目視により得られる情報から、(1)日射有、(2)日射無・湿潤状態および(3)日射無の3つの部位に区分し、その範囲ごとに鉄筋腐食速度を推定し、はく落予測を行うこととした。

(3) はく落予測結果に与える影響

目視により得られる情報により設定した算出範囲ごとにはく落予測を行い、設定する算出範囲がはく落予測に与える影響について検証した。図-12 に目視および打音調査により得られたはく落範囲を示す。図-13 に側壁全体を算出範囲として実施したはく落予測の結果を示す。図-14 に目視情報により算出範囲を区分して実施したはく落予測の結果を示す。なお、部分断面修復箇所は、はく離・はく落と分類した。

$R_{sp}^{目視}$ が 15.8% に対して、図-13 の場合の $R_{sp}^{予測}$ は 16.2% であり、図-14 の場合の $R_{sp}^{予測}$ は 16.1% であった。いずれの場合も $R_{sp}^{予測}$ の誤差は、 $R_{sp}^{目視}$ を基準として 0.5% 以内であった。図-12 に示すはく離・はく落の判定メッシュと同一箇所のメッシュが、はく落予測時においてもはく離・はく落判定となっているか否かに着目し、その一致率を集計することで得られるメッシュの適合率（以降、適合率）を算定すると、図-13 の場合は 55.6%、



図-12 目視および打音調査により得られたはく落範囲

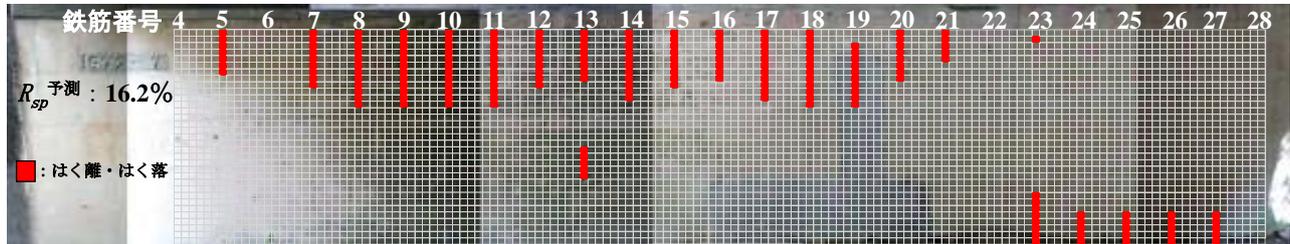


図-13 側壁全体を算出範囲とした場合はく落予測結果

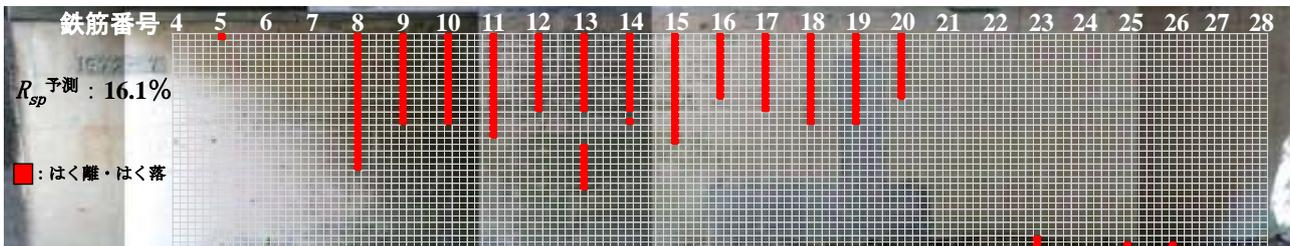


図-14 目視情報により算出範囲を区分した場合のはく落予測結果

図-14 の場合は 57.8%であった。また、はく離・はく落の発生傾向を比較すると、図-14 の方が図-12 に示すはく離・はく落の発生傾向を捉えていることが分かる。このことから、目視情報により算出範囲を区分し、はく落予測を実施した予測結果の方が適合率も高く、部位ごとの変状の発生傾向を概ね再現していることが分かる。ただし、鉄筋 16 から鉄筋 20 付近の下部に位置する補修部分の傾向を再現できなかった。これは、目視や中性化深さから環境区分を 3 区分としたが、下部は地表面に近いことから、水の吸い上げ・吸湿により、水が供給され、鉄筋腐食速度が上部に比べて速いことが原因である可能性が考えられる。ただし、目視調査からコンクリート表面の苔等の状態は地表面とそれ以外で変わらなかったこと、また調査対象とした起点方の内空面側壁ではないが、終点方の内空面側壁で地表面から 0.5m で測定した中性化深さが 29.1mm、地表面から 1.2m で測定した中性化深さが 33.7mm と、地表面とそれ以外で中性化深さはほぼ同一であったことから、本研究では地表面とそれ以外で環境を区分しなかった。地表面に近いコンクリートの乾湿状態を判断する方法については今後の課題である。

5. かぶりの計測点数が予測結果に及ぼす影響

(1) 概要

かぶりは、鉄筋表面からコンクリート表面までのコンクリートの厚さであり、腐食因子から鉄筋を保護する機能を有するとともに、鉄筋の腐食膨張圧によるかぶりコ

ンクリートの変状発生に対して、力学的に抵抗する機能を有する。そのため、より精度よくはく落予測を行うためには、可能な限り詳細に計測したかぶり情報をメッシュに入力する必要がある。しかし、比較的容易に精度よくかぶりを計測することが可能な電磁誘導法等の非破壊検査を用いても、膨大な構造物・部材中の全てのかぶりを計測することは容易ではない。

本研究では、現地調査で電磁誘導法により測定した部材全体のかぶりとその部材全体のかぶりを限られた計測点から推定した値を用いて、はく落予測を行い、限られた計測点から推定したかぶりの値がはく落予測結果に及ぼす影響を検証した。

(2) 部材全体のかぶりの推定

図-15 に限られた計測点から部材全体のかぶりを推定する手順を示す。まず、軸方向鉄筋を左右端部および中間部で 3 本選定し、軸方向鉄筋 1 本につき、上中下 3 点の計 9 点のかぶりの計測値より部材全体のかぶりを推定する。選定したそれぞれの軸方向鉄筋の形状を 2 次補間式により推定する。次に、推定した 3 本の軸方向鉄筋のかぶりの値から配力鉄筋の形状を 2 次補間式により推定する。最後に、推定した配力鉄筋のかぶりの値から、初めに選定した 3 本以外の軸方向鉄筋の形状を最小二乗法を用いた 1 次式を用いて推定する。なお、本推定手順は、軸方向鉄筋と配力鉄筋がそれぞれ独立ではなく、一体となって鉄筋の形状を成すという特徴を踏まえた推定手順である。本研究では、図-5 に示す鉄筋 4、15 および 28

の3本を選定し、図-15に示す推定手順により限られた計測点から部材全体のかぶりを推定した。なお、かぶりの推定間隔は、推定したかぶりを用いてはく落予測を行うことを想定し、軸方向鉄筋および配力鉄筋とも、概ね50mm間隔とした。図-16に推定したかぶりの3次元分布を示すとともに、図-17および図-18に、軸方向鉄筋および配力鉄筋のかぶりの推定誤差を示す。ここで示す推定誤差は、3.(2)b)に示す現地調査により得られた測定結果をかぶりの推定に用いた間隔と同一間隔で、線形補間または補外により求めたかぶり分布からの偏差である。

軸方向鉄筋は、最大で22mmの誤差が生じているものの、軸方向鉄筋および配力鉄筋とも±10mm程度で部材全体のかぶりを推定できていることが分かる。

(3) はく落予測結果に与える影響

推定したかぶり分布を用いて提案法によるはく落予測を行い、限られた計測点により推定したかぶりか、はく落予測結果に与える影響について検証した。また、限られた計測点から推定したかぶりを用いて、目視により得られる情報により算出範囲を設定した場合のはく落予測結果への影響についても検証した。なお、メッシュに与

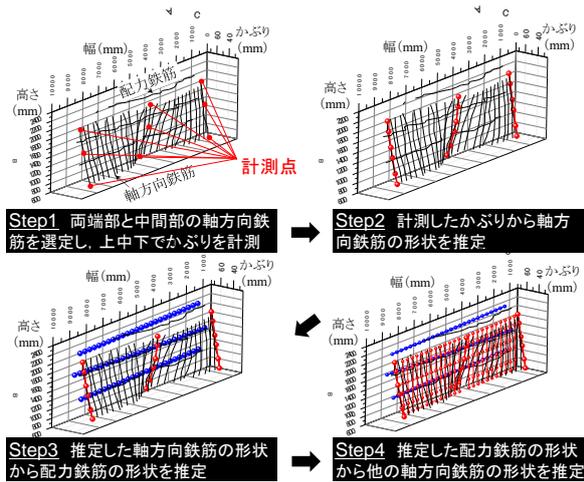


図-15 限られた計測点からのかぶりの推定

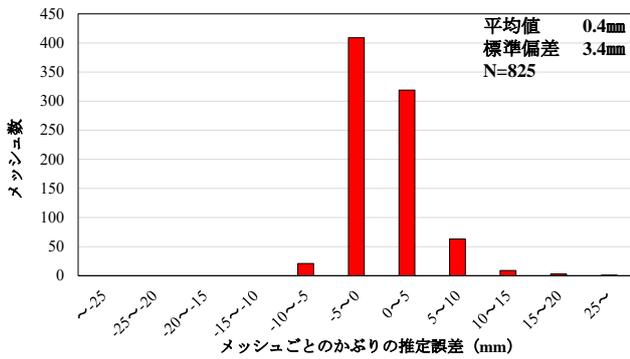


図-17 かぶりの推定誤差（側壁の軸方向鉄筋）

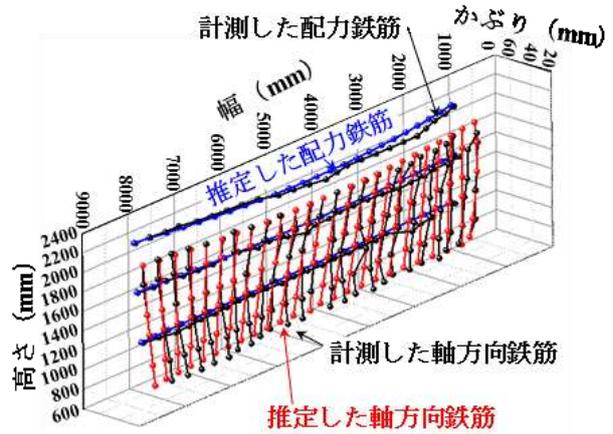


図-16 推定したかぶりの3次元分布

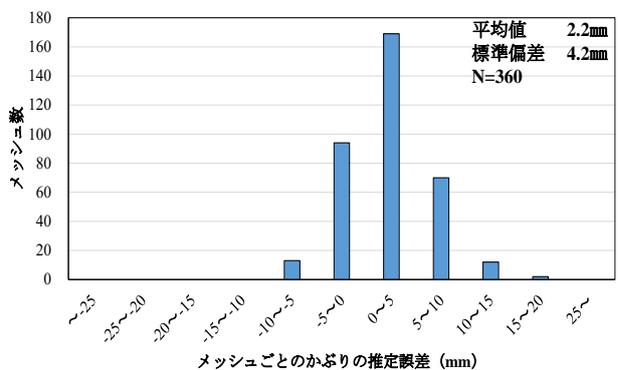


図-18 かぶりの推定誤差（側壁の配力鉄筋）

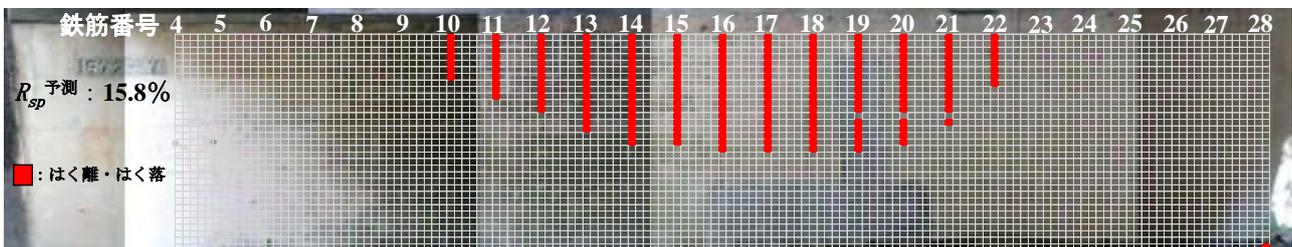


図-19 推定したかぶりを用いて側壁全体を算出範囲とした場合のはく落発生予測結果

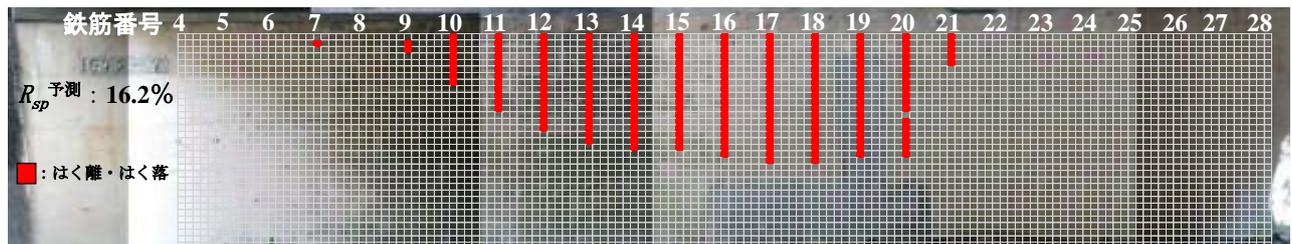


図-20 推定かぶりを用いて目視情報により算出範囲を設定した場合のはく落予測結果

える条件は4章と同様とした。

図-19 に推定したかぶり分布を用いて部材全体を算出範囲として実施したはく落予測結果を示す。図-20 に推定したかぶりを用いて目視情報により算出範囲を区分して実施したはく落予測の結果を示す。 $R_{\text{目視}}$ が15.8%に対して、推定したかぶりを用いて側壁全体を算出範囲とした場合の $R_{\text{目視}}$ は15.8%であり、目視情報により算出範囲を区分して実施した $R_{\text{予測}}$ は16.2%であった。いずれの場合も $R_{\text{予測}}$ の誤差は、 $R_{\text{目視}}$ を基準として0.5%以内であった。また、目視および打音調査により得られたはく離・はく落の判定メッシュとの適合率は、それぞれ39.6%および43.3%であった。図-13 や図-14 に示す部材全体のかぶりを測定して実施したはく落予測の適合率と比較すると約20%適合率が低下していることが分かる。これは、図-16 に示すように推定した鉄筋のかぶりと計測したかぶりの分布の相違によるものであり、推定したかぶり分布を用いることで、予測精度が低下することが分かった。予測精度は低下するものの、はく離・はく落が発生している部位は概ね再現していると考えられる。すなわち、限られた計測点から推定したかぶりを用いてはく落予測を行う場合、予測精度は低下するものの、将来的にはく離・はく落が発生する部位を概ね予測することは可能であり、これらの情報は次回検査時の重点調査箇所の抽出や断面修復などの補修範囲の設定に寄与するものであると考えられる。

そのため、本研究で検証した手法により限られた計測点のかぶりから部材全体のかぶりを推定し、はく落予測を行うことが可能となるシステムとした。

6. まとめ

本研究では、提案法を用いたはく落予測ツールを開発し、コンクリート表面の日射や苔の繁茂等の目視情報により区分したはく落予測を行うための算出範囲およびかぶりの計測点数が、はく落予測結果に及ぼす影響を検証した。本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 開発したはく落予測ツールを用いることにより、現地調査時に簡易操作ではく落予測を行うことが可能となる。
- (2) 目視により得られる情報により、はく落予測の算出範囲を区分することで、かぶりコンクリートのはく離・はく落を概ね再現することができる。
- (3) ボックスカルバートの側壁において、対象とする部材の端部および中央部において、鉛直方向の上中下3点の軸方向鉄筋のかぶりの測定結果から、2次補間式あるいは、最小二乗法を用いた1次式により推定したかぶり分布を用いて、目視により得られる日射等の情報に着目し、はく落予測を行う算出範囲を区分することで、はく離・はく落の発生部位を概ね再現することができる。

参考文献

- 1) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物，pp.222-233，丸善出版，2007.1
- 2) 轟俊太郎，渡辺 健，鬼頭直希，笠裕一郎：現地調査データを用いた鉄筋腐食速度への影響因子に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.920-924，2015
- 3) 曾我部正道，谷村幸裕，松橋宏治，宇野匡和：鉄道高架橋のRC高欄の変状調査とその劣化予測，コンクリート工学，Vol.47，No.8，pp.16-24.2009.8
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書，pp.145-148，2012
- 5) 鳥取誠一，宮川豊章：中性化と初期塩化物イオンの複合的影響を受ける場合の鉄筋腐食に関する劣化予測，土木学会論文集，No.802，V-69，pp.181-196，2005.11
- 6) 山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会：山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会報告書，2007.7
- 7) 松田芳範：コンクリートの劣化・損傷に及ぼす水の影響について，コンクリート工学，Vol.51，No.10，pp.814-818，2013

(2018.4.6 受付)

DEVELOPMENT OF SPALLING-OFF PREDICTION TOOLS BASED ON VISUAL CLUE FOR RC STRUCTURES IN SERVICE

Takuma KADONO, Shuntaro TODOROKI, Masashi MATSUSHITA
and Toshiya TADOKORO

Authors have proposed the method of predicting the concrete cover spalling-off, using the evaluation of rebar corrosion rate based on visual clue on the surface of reinforced concrete(RC) structures, in order to maintain RC structures in service more efficiency. In this method, the information :e.g. cover concrete depths and the prediction area of spalling on environment of rebar corrosion, is important.

This research have showed that it is possible to predict the cover concrete spalling-off by using the area visualized as insolation or wet surface of RC structures and evaluating cover concrete depths based on limited measurement points on the new method. Based on these verified results, we have developed spalling-off prediction tools based on visual clue, using mobile tablet devices increased to the field in recent years.