

腐食鉄筋の断面積のばらつきに関する一考察

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○大屋戸理明 正会員 飯島 亨
筑波大学 正会員 金久保利之 正会員 山本 泰彦

1. はじめに

鉄筋が腐食した場合のコンクリート構造物の安全性を評価する際、例えば質量減少率（鉄筋の腐食に伴う減少質量の元の質量に対する比）のような、鉄筋の腐食程度を表す評価指標が用いられる。しかし、腐食鉄筋の局所の断面積は一般に均一でなく、そのばらつきの程度を把握しておく必要がある。

この目的に対し筆者らは過去に、実構造物の調査結果に基づいた検討を実施した¹⁾。ここでは、山間部、都市部、沿岸部等において実際に30年以上供用された8つの実構造物と3つの試験体を調査対象とし、中性化あるいは塩害により腐食した鉄筋またはそのレプリカ（試験片と総称）を採取して、3Dスキャナにより軸方向に1mm間隔でその断面形状をデジタルデータ化し、断面積のばらつきを考察した。これによると、試験片の平均断面減少量 D_{ave} が大きくなっても局所断面減少量 D_{local} の標準偏差 σ_D はあまり変化せず、最大断面減少量 D_{max} を予測するためのパラメータとして標準偏差 σ_D の平均的な値を使用できることが確認された。しかし、標準偏差 σ_D の値は試験片毎に相違し、この要因については解明することができなかった。

そこで本報では、この検討¹⁾で直接示さなかった観点から調査結果を再整理し、標準偏差の相違の要因について考察するとともに、本課題に関する計測手法について検討し、今後の研究に資することを目的とする。

2. 公称直径と標準偏差の関係

腐食した鉄筋の局所断面積 A_{local} は、一般に腐食が進行するほど健全な場所と腐食した場所の差異が拡大すると考えられる。しかし上記の調査¹⁾では、ある特定の概ね50cm程度の範囲におけるばらつきに着目すると、標準偏差 σ_D は平均断面減少量 D_{ave} と有意な相関が確認できなかった。ここで、他の要因の有無を確認するため、鉄筋の（健全時の）公称直径 ϕ

と標準偏差 σ_D および平均断面減少量 D_{ave} の関係を整理した（図-1）。

図-1によると、公称直径 ϕ が大きい試験片の中に標準偏差 σ_D の大きいものが含まれているが、 $\phi=10\text{mm}$ の細い試験片でも標準偏差 σ_D が最大で 20mm^2 近くあり、逆に標準偏差 σ_D が 20mm^2 を下回る範囲については公称直径 ϕ の値に関係なく点が存在している。なお、標準偏差 σ_D が 20mm^2 を上回る試験片は、いずれもその公称直径 ϕ が 16mm を超えている。これより、標準偏差 σ_D が 20mm^2 程度以上の点はD16以上の太径となることを除けば、標準偏差 σ_D は公称直径 ϕ と相関がないと言える。また、図-1によれば、腐食要因（中性化と塩害）によって標準偏差 σ_D に明確な違いがないことが確認できる。

3. 変動係数

次に、標準偏差 σ_D に与えるスケールの影響を除くための1手段として、標準偏差 σ_D を平均断面減少量 D_{ave} により基準化した「変動係数(CV)」を用いてデータを検証した。

変動係数 CV を公称直径 ϕ と比較して図-2に示す。試みに回帰直線を示したが、決定係数は0.1を下回り、両軸の相関は明確でない。また、一部の試験片で極めて大きい変動係数 CV となっているが、これは平均断面減少量 D_{ave} が小さいために生じた値である。こ

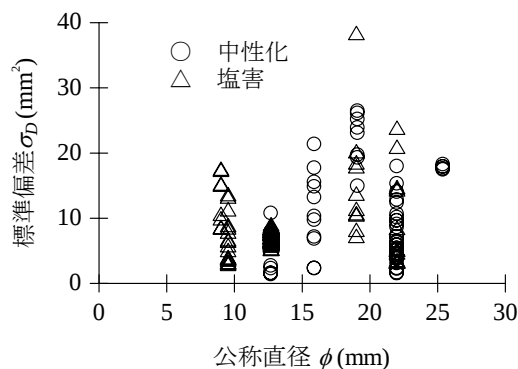


図-1 公称直径 ϕ と標準偏差 σ_D の関係

キーワード 鉄筋, 腐食, 断面減少量, 標準偏差

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 TEL: 042-573-7281

のように、変動係数 CV を用いても何らかの統計的傾向は見いだせず、またこれによる評価は、平均断面減少量 D_{ave} の影響を含むため適当でないことが分かる。また、過去の検討¹⁾でも述べたように、腐食の程度を直接表現できるのは断面減少量であり、この不均一性を論じる場合は標準偏差 σ_D を指標として用いるのがよいと考えられる。

4. 計測間隔に関する考察

過去の検討¹⁾では、標準偏差 σ_D に影響を与える因子を特定することはできず、今後の研究にゆだねられた。ところで、断面分布の影響因子を検討するにあたり、あらかじめ計測手法をある程度統一することが必要となると考えられる。このため、計測仕様の一つとして鉄筋軸方向の計測間隔を取り上げ、この大小が計測結果に及ぼす影響について調査した。各試験片の局所断面積 A_{local} の軸方向分布計測結果を間引くことで計測間隔を広くしたデータを生成し、その間隔を 1mm から 20mm まで変動させて、局所断面積 A_{local} 、平均断面積 A_{ave} 、平均断面減少量 D_{ave} および標準偏差 σ_D を試験片毎に再計算した。

計測間隔を変動因子として横軸にとり、縦軸（右軸）に全試験片の標準偏差 σ_D の平均値をとって図-3（×点）に示す。これによると、標準偏差 σ_D は概ね $7.5 \sim 9.0 \text{ mm}^2$ の範囲内であって、その変動範囲は図-1等で示した検討範囲 $0 \sim 40 \text{ mm}^2$ に比べて小さく、計測間隔との明確な相関も確認できないことが分かる。

一方、縦軸（左軸）に最大断面減少量と平均断面減少量の比 D_{max}/D_{ave} （全試験片の平均値）をとって、計測間隔との関係を調べた結果（図-3 の○◎点）によると、 D_{max}/D_{ave} は、計測間隔を小さくするほど大きくなっていることが確認できる。これは、計測間隔を小さくすることで、局部的に生じている D_{max} を正確に検出できるためであると考えられる。なお、図-3に示す傾向から判断すると、計測間隔を 1mm よりもさらに小さくした場合、 D_{max} はより大きい値が観測されることが考えられる。しかし、間隔を限りなく 0 に近づけた場合においても、 D_{max}/D_{ave} の値は図-3に示した回帰直線の y 切片（ $D_{max}/D_{ave}=11.4$ 、ただし回帰の対象は概ね直線関係となる◎点とした）に漸近すると考えられ、計測間隔 1mm の場合（ $D_{max}/D_{ave}=11.2$ ）と比べた差は 2%程度に留まる。

このように、各試験片の最大断面減少量 D_{max} は計

測間隔との間に明かな相関が確認されたので、今後の研究において最大断面減少量を検討する場合、計測作業の実用性を損なわない範囲でできるだけ計測間隔を小さくすべきであり、これを 1mm として測定した既往の計測結果¹⁾は概ね信頼できるものと考えられる。

5. まとめ

腐食鉄筋の断面積のばらつきについて、実構造物の調査データを既往の検討¹⁾で示していない視点から整理した結果、塩害によるものと中性化によるものとで局所断面積の標準偏差に大きな差はないこと、変動係数による評価は平均断面減少量の影響を含み適当でないこと、ならびに局所断面積の調査間隔はできるだけ小さくするのがよく、計測作業の実用上これを 1mm としても概ね問題ないことを確認した。なお、局所断面積の標準偏差への影響因子については、引き続き今後の課題である。

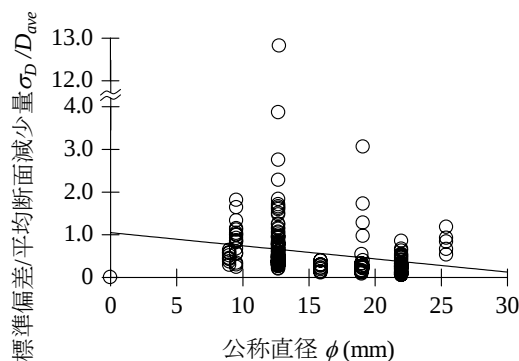


図-2 公称直径 ϕ と変動係数 CV の関係

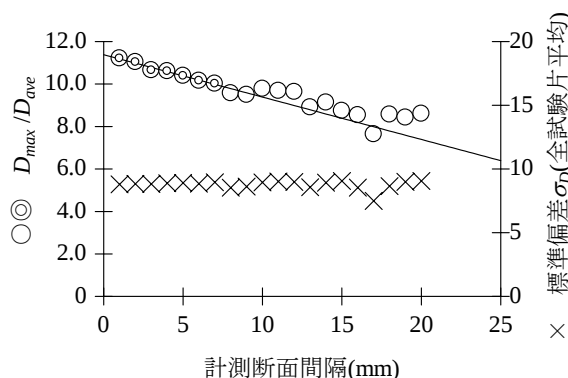


図-3 断面間隔による結果への影響

参考文献

- 1) 大屋戸理明, 金久保利之, 山本泰彦, 飯島亨: 実構造物の調査結果に基づく腐食鉄筋の力学性状の評価, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.1, pp.143-155, 2007.
- 2) 大屋戸理明, 金久保利之, 山本泰彦, 佐藤勉: 鉄筋の腐食性状が鉄筋コンクリート部材の曲げ性状に与える影響, 土木学会論文集 E, Vol.62, No.3, pp.542-554, 2006.