

鋼材の腐食領域に着目した PC 梁部材の耐荷性能に関する数値解析

名古屋工業大学 学生会員 ○村田 明弘
 名古屋工業大学 正会員 武田 健太
 名古屋工業大学 フェロー 梅原 秀哲

1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の多くが老朽化に伴い、安全性や耐久性の低下が確認されている。適切な調査に基づき処置を施さなければならないが、特に PC 構造物の場合は内部鋼材の状態を正確に把握することが必要不可欠である。しかし、鋼材腐食の生じたコンクリート構造物の耐力低下に関する研究は、RC 構造に比べて PC 構造は少ないのが現状である。鋼材腐食の生じた PC 構造物の場合は、プレストレスの低下を適切に考慮する必要がある。そこで、本研究では鋼材の腐食領域をパラメータとして、PC 部材の耐荷性能に与える影響について、有限要素解析により確認した。

2. 解析対象部材の概要

本研究では、断面：100×150mm、支間長：2000mm のプレテンション PC 梁を解析対象とした。軸方向に φ2.9 の PC3 本より線を 4 本配置し、荷重条件に関しては等曲げ区間 300mm の 2 点集中荷重とした。表-1 に解析ケースと腐食範囲を示す。case A から case C では、鋼材の腐食領域がプレストレスの低下にもたらす影響に関して比較を行うため、鋼材の質量減少率と腐食範囲を変化させて解析を実施した。

表-1 解析ケースと腐食範囲

| case名 | 鋼材の質量減少率(%) | 備考 | |
|--------|-------------|----|------------------------|
| case 0 | - | 健全 | |
| case A | A-1 | 3 | 等曲げ区間のみ腐食 (全長の約15%) |
| | A-2 | 9 | |
| | A-3 | 15 | |
| case B | B-1 | 3 | せん断スパン中央まで腐食 (全長の約50%) |
| | B-2 | 9 | |
| | B-3 | 15 | |
| case C | C-1 | 3 | 全長にわたり腐食 |
| | C-2 | 9 | |
| | C-3 | 15 | |

※引張側に配置される鋼材 2 本を腐食対象

3. 解析方法及び解析結果

3-1. 解析方法

本研究における解析では、有限要素解析ソフトウェアの ATENA 3D を使用した。コンクリートの応力-ひずみ関係においては、圧縮側の上昇曲線は CEB-FIP Model code 1990 に準拠し、圧縮軟化は直線形状、引張軟化は指数関数とした。PC 鋼材の応力-ひずみ関係には、式(1)に示す陸らが提案した PC 鋼材の機械的性質と質量減少率の関係¹⁾を導入した。式(1)は、コンクリート中で腐食させたφ2.9のPC3本より線を、コンクリート中より取り出して行った引張試験結果の回帰式である。

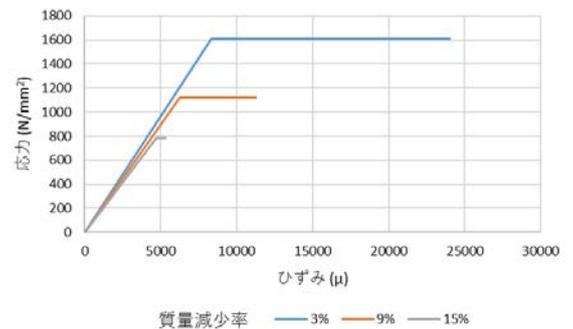


図-1 鋼材の応力-ひずみ関係

$$R_{pu} = e^{-6.467C}, R_{EA} = e^{-1.274C}, R_{py} = e^{-5.968C}, R_{ES} = e^{-12.57C} \quad (1)$$

ここに、 R_{pu} 、 R_{EA} 、 R_{py} 、 R_{ES} はそれぞれ引張強度、弾性係数、降伏強度、破断伸びの残存率、 C は質量減少率である。式(1)を用いて応力-ひずみ関係を描くと図-1のようになる。腐食の影響は応力-ひずみ関係で考慮し、PC 鋼材の断面積は健全時のものを用いた。また、コンクリートと PC 鋼材は完全付着とし、腐食による PC 鋼材の付着劣化は考慮しなかった。健全時の PC 鋼材のプレストレスは、使用状態の許容値である 1170N/mm²と仮定し、鋼材要素に初期ひずみを約 6000μ与えることによりプレストレスを導入した。なお、PC 鋼材に与えるひずみは、各ケースすべて同一量とすることで、腐食によるプレストレスの低下を考慮した。

3-2. 解析結果

各解析ケースの荷重—中央変位関係を図-2 に示す。case 0 (健全) との比較より、鋼材の質量減少率の増大に伴い、ひび割れ発生荷重や最大荷重、変形性能が低下していることがわかる。ただし、case A~C それぞれに着目すると、鋼材の腐食領域によらず、両荷重はほぼ同等となっている。このことから、鋼材の腐食領域が両荷重に与える影響は小さいと考えられる。

case 0 および case C における最大荷重時の最大主ひずみ分布・ひび割れ図を図-3 に示す。ひび割れの進展状況に着目すると、質量減少率が 3% までは部材上縁にひび割れが到達し、部材上縁のコンクリートの圧縮破壊を呈した。一方、質量減少率が 9% を超えると、ひび割れは部材上縁に到達せず、鋼材破断で終局に至った。

ここで、最大荷重比—質量減少率関係における解析値および計算値の比較を図-4 に示す。計算値は、鋼材の降伏強度および弾性係数を式(1)により算定し、はり理論より求めたものである。これより、質量減少率が 3% までは、最大荷重比の推移に差はあまり見られないが、その後は質量減少率の増加に伴い、計算値よりも解析値の方が、最大荷重は低下した。これは、解析において鋼材の破断を考慮しているためである。特に小径の PC 鋼材が用いられている場合には、わずかな腐食量でも力学特性の変動が顕著に現れやすいので、腐食に伴う材料劣化のモデル化が解析評価精度を大きく左右すると考えられる。さらに本解析では、コンクリートと PC 鋼材を完全付着として取り扱っており、実際は腐食に伴い付着劣化が生じるため、付着が耐荷性能に与える影響について検討する必要がある。この検討については今後の課題としたい。

4. まとめ

本研究では、鋼材の腐食領域が PC 部材に与える影響を有限要素解析により確認することを目的とした。その結果、鋼材腐食が部材の構造性能に大きく影響を与えるものの、腐食領域による明確な耐力低下の違いは確認されなかった。以上を踏まえ、等曲げ区間内において腐食範囲を変更した場合や鋼材の付着劣化の影響などを考慮した場合に、部材の挙動に与える影響について今後更なる検討を進めていく。

5. 参考文献

- 1) 陸ら：腐食した PC より線の機械的性質とプレテンション PC 梁の残存耐力の評価，プレストレストコンクリート工学会，第 21 回シンポジウム論文集，pp.211-216，2012.10

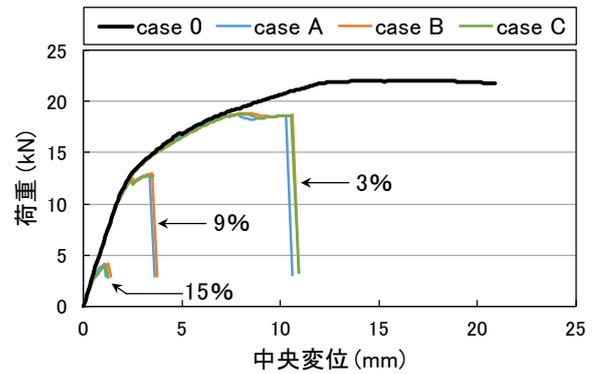


図-2 荷重—中央変位関係

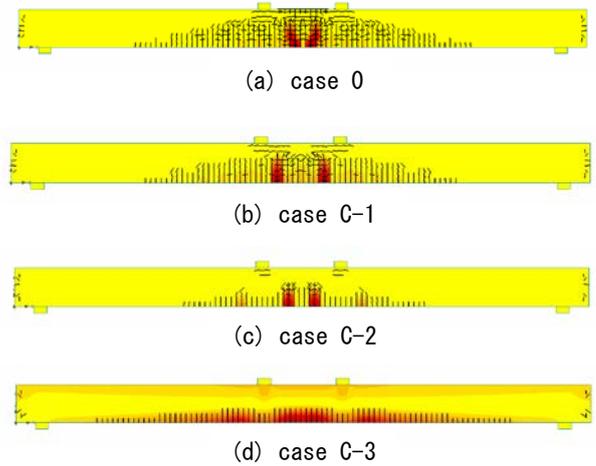


図-3 最大荷重時の最大主ひずみ分布・ひび割れ図 (case 0, case C)

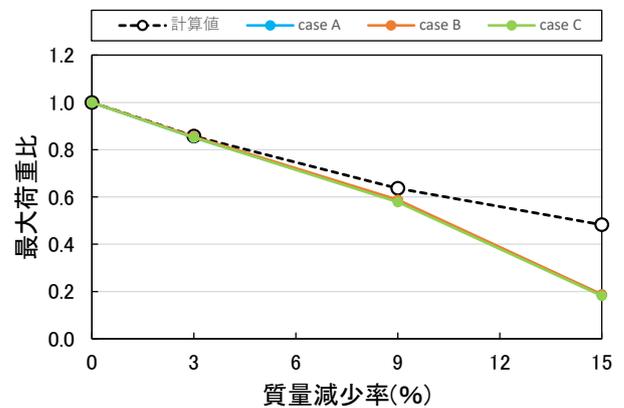


図-4 質量減少率—最大荷重比関係