

PC 鋼材の腐食履歴を考慮したプレストレストコンクリート桁の力学性能評価

豊田工業高等専門学校 正会員 川西直樹

名古屋工業大学 正会員 後藤芳顯

名古屋工業大学 学生員 近藤祐司

1. まえがき 既存構造物の維持管理において、構造物の長期間の力学性能を定量的に正確に評価することは重要である。鋼を使用した構造物の長期使用を考えた場合、その鋼材の腐食は構造物の力学性能に重要な影響を及ぼし、さらにこのような腐食は一般に構造物に死荷重などによる応力や変形が存在した状態において進行するため、力学性能の評価のためには腐食履歴を考慮する必要がある。既に、著者らは鋼構造物の腐食履歴を正確に考慮するための新たな解析手法を提案している¹⁾。プレストレストコンクリート（PC）桁の長期使用を考えた場合、コンクリートのひび割れなどの要因によりその桁内に配置されたPC鋼材が腐食する可能性が考えられる。PC桁では常に死荷重以外にもプレストレスによる初期応力が存在しており、PC鋼材の腐食によりこれらの値が変化し、応力再配分が生じる。このため、PC鋼材腐食時の力学性能を正確に評価するためには、死荷重およびプレストレス下での腐食過程を追跡し、応力再配分を正確に評価する必要がある。ここでは、桁内に配置されたPC鋼材の腐食履歴を正確に追跡した解析を行い、PC鋼材の腐食がその力学性能へ及ぼす影響について検討を行う。

2. 腐食履歴を考慮した解析 腐食過程を考慮するために、構造解析ソフトABAQUSを用いて検討を行う。これを用いた腐食過程の追跡方法としては、文献1)に示されるような腐食などによる体積変化過程を連続的に取り扱うため特別に考慮した要素をユーザーエレメントとして導入する方法と、簡易的にABAQUSの要素休止機能を用いて、腐食過程に対応する解析ステップ上で腐食する要素の機能を停止させる方法が考えられる。ここでは簡単のため、後者の方法を用いて腐食過程の追跡を行う。

3. 解析モデルおよび解析ケース 図-1にはここで検討対象としたポストテンション方式のPC桁の諸元を示す。このPC桁のモデル化には、図-2のようにコンクリートおよびPC鋼材をそれぞれはり要素(B21)で別々に表現し、それぞれ橋軸方向に100分割する。コンクリートの構成則はABAQUSに用意されているものを用い、コンクリートの圧縮強度を 3.0×10^7 (N/m²)とし、引張時のひび割れを考慮したものである。また、PC鋼材の構成則は降伏 ($\sigma_y = 1260$ (MPa)) 後のE/100の剛性をもつBi-Linear

型とする。コンクリートとPC鋼材の接触を考慮するため、剛体はり要素をT型に10本配置し、接触位置を模擬する。接触位置は、PC鋼材のシース孔の半径を考慮し、0.0225mとする。なお、接触後におけるせん断力

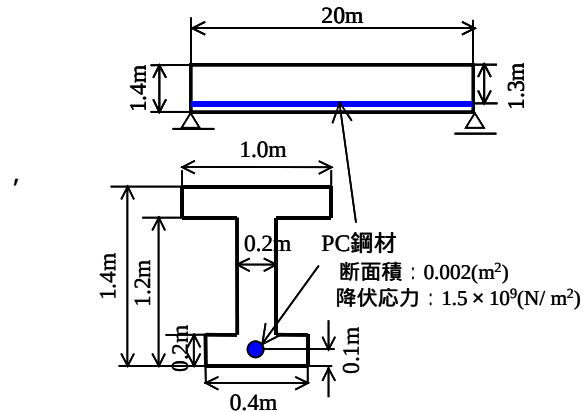


図-1 PC 桁の諸元

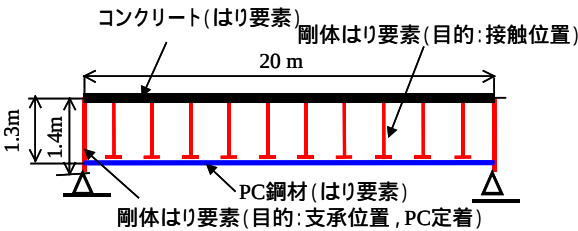


図-2 PC 桁のモデル化

表-1 解析と解析ステップの関係

	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	備考
Case1	前死荷重 q=12(KN/m)	プレスト レス導入	後死荷重 q=8(KN/m)	活荷重載荷		(初期PC鋼材断面積) = (設計値)
Case2	前死荷重 q=12(KN/m)	プレスト レス導入	後死荷重 q=8(KN/m)	PC鋼材の腐 食欠損過程	活荷重 載荷	(初期PC鋼材断面積) = (設計値)
Case3	前死荷重 q=12(KN/m)	プレスト レス導入	後死荷重 q=8(KN/m)	活荷重載荷		(初期PC鋼材断面積) = (腐食欠損後の断面積)

キーワード

腐食, PC桁, 耐荷力, 性能照査型設計, 弾塑性有限変位解析

連絡先

愛知県豊田市栄生町 2 - 1 ・ 0565-36-5883 ・ 0565-36-5927

の伝達はないものと仮定する．解析ケースは表-1に示す3ケースの検討を行う．表中の活荷重は満載時のB活荷重であり，これを比例載荷する．Case1は腐食のない場合，Case2はPC鋼材の腐食過程を厳密に考慮した場合である．Case3は解析初期の段階で腐食欠損をPC鋼材に考慮したもので，腐食履歴を無視した簡易的な力学特性の評価法であり，Case2の比較ケースとなる．各ケースにおけるPC鋼材の引張力の導入は，死荷重下で設計において想定しているプレストレス導入時の応力(800MPa)になるように温度荷重を調整して与える．PC鋼材の腐食パターンは，橋軸方向に一樣に腐食させた場合，桁中央部の0.16m幅のPC鋼材を局部的に腐食させた場合および桁端部の0.16m幅のPC鋼材を局部的に腐食させた場合の3パターンについて考える．また，各腐食パターンにおけるPC鋼材の断面減少率 β （腐食したPC鋼材の断面積/初期のPC鋼材の断面積）を0.3, 0.5 および 0.8 と変化させる．

4. 解析結果・考察 図-3には，腐食パターンを橋軸方向に一樣に腐食させた場合について，各ケースの荷重-変位曲線を示す．この図の縦軸は鉛直荷重の合計値，横軸は支間中央の鉛直変位を示す．この図より，断面減少が生じた場合についてCase2とCase3を比較すると，両者の経路に相違が生じている．経路の差は前死荷重載荷完了時において既に生じており，初めからPC鋼材の断面減少を見込んで解析したCase3ではPC鋼材の張力不足に起因して，前死荷重の段階からコンクリート断面において引張り領域が広がり，曲げ剛性がCase2に比べ不足するためと考えられる．また，活荷重載荷時において腐食の履歴特性を無視した簡易的な解析法(Case3)による結果が腐食履歴を考慮した解析法(Case2)の結果に比べて荷重値が小さくなっている．これはCase2のPC鋼材の腐食過程において，PC鋼材の腐食量の増加にともない，PC鋼材自体の応力が徐々に増加し，最終腐食状態でCase2のPC鋼材の張力は，プレストレス導入時のCase3の張力よりも大きくなり，桁の耐荷性能を向上させたものと考えられる．この腐食過程におけるPC鋼材の応力増加の要因は，腐食の進行とともに桁の断面二次モーメントが減少するためと考えられる．

図-4には，PC鋼材の腐食パターンを局部的に桁中央部および桁端部にした場合のCase2についての荷重-変位曲線を示す． $\beta=0.3, 0.5$ および 0.8 のいずれも腐食パターンの違いによる経路の差は認められず，両者ともほぼ同様な経路を辿っている．また，断面減少率の増加に伴って，耐荷力は減少している．PC鋼材腐食後のPC鋼材の張力は両腐食パターンでほぼ一致しており，コンクリートの応力分布もほぼ一致している．これらより，今回解析対象とした桁の耐力はPC鋼材の張力とコンクリート自体の断面性能に支配されており，PC鋼材の局部腐食の場合にはその位置の違いによる影響はほとんどないといえる．

5. あとがき PC桁のPC鋼材に腐食が生じる場合についての力学特性を評価し，PC鋼材の腐食履歴を考慮した場合(Case2)とそうでない場合(Case3)では力学特性が異なり，簡易的な手法(Case3)ではPC桁の耐力を安全側に評価していることが分かった．なお，長期間のPC桁の力学特性には腐食以外にもコンクリートのクリープやPC鋼材のリラクゼーションなどもその履歴特性の影響があるものと考えられる．今後はこれらについても腐食と併せて考慮し，検討を行う予定である．

参考文献 1) 後藤 芳顕・川西直樹；腐食や補修の履歴を考慮した長期間の力学性能評価のための構造解析法の開発、土木学会論文集、NO.689/I-57, p.85-100, 2001.10.

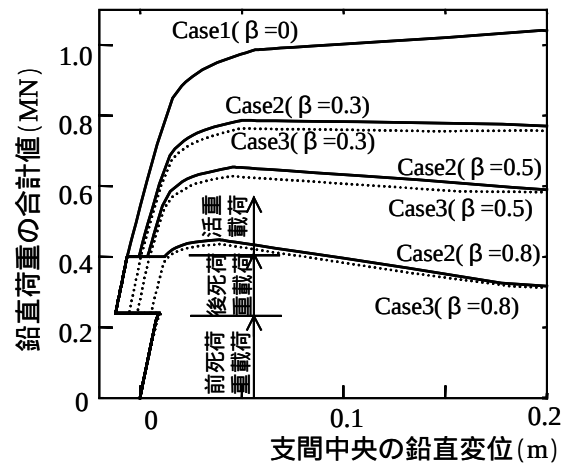


図-3 PC鋼材が一樣腐食した場合の荷重-変位曲線

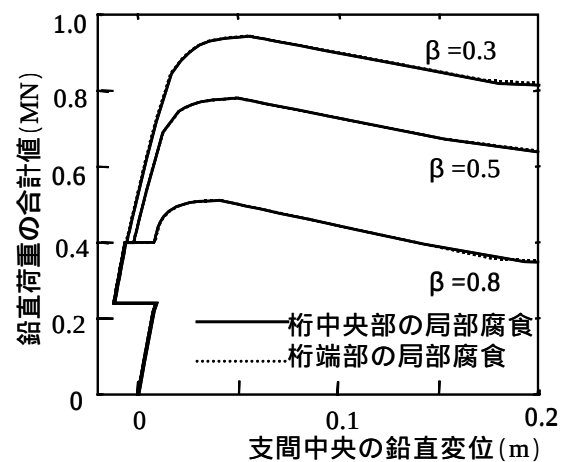


図-4 PC桁中央部と桁端部のPC鋼材が局部的に腐食した場合の荷重-変位曲線