

関西大学大学院理工学研究科 学生員○高橋 和也 関西大学環境都市工学部 三宅智輝
関西大学大学院理工学研究科 学生員 木野村宏昭 パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 藤井久也
関西大学総合情報学部 正会員 古田 均 関西大学環境都市工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

わが国には、今日、老朽化が進んだ社会基盤施設が多く存在し、さまざまな問題が起こりつつある。このことを踏まえれば、構造物の性能を十分に把握し、合理的に維持管理することが重要である。

本研究は、大阪府枚方市を通り、PC 桁形式の長ヶ嶽橋を参考に、PC 鋼棒の腐食状態をさまざまに仮定したのち、損傷レベルに応じた PC 桁の曲げ性能を弾塑性有限要素解析によって明らかにする。また、劣化過程下にある PC 桁の現有性能に対応した維持管理のあり方について言及する。

2. 解析対象のPC桁と数値解析法

(1) PC 桁の解析モデルと荷重系

塩害によって腐食した PC 桁の解析モデルに橋長 27.5m の長ヶ嶽橋を選び、図-1 に示す断面とした。その PC 桁に死荷重、プレストレスト力とスパン中央に一台の車輛に相当する集中荷重を作用させた。この集中荷重を桁が崩壊するまで漸増的に载荷し、荷重と変形の関係を求めた。

(2) 材料諸元

PC 桁を構成するコンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係を図-2 のように、断面の欠損による応力-ひずみの関係を明らかにした上原子らの研究¹⁾を参考に PC 鋼棒のそれを図-3 のように仮定した。

(3) 数値解析法

上述の PC 桁を汎用有限要素解析プログラム“Marc2012.1.0”で弾塑性曲げ解析した。この場合、コンクリート部分をソリッド要素、鉄筋と PC 鋼棒部分をトラス要素でモデル化した。コンクリートと鉄筋、PC 鋼棒は要素間で節点を共有させ、完全付着状態とした。桁の断面内の要素分割は図-2 のようで、その支間を 30 分割した。

コンクリート部分と鉄筋・PC 鋼棒部分の降伏を Mohr-Coulomb の降伏条件式と von Mises の等価応力でそれぞれ判定した。増分系の非線形代数方程式を Newton-Raphson 法で解き、表-1 のようなさまざまな劣化過程下にある PC 桁の変形と曲げ強度を明らかにした。

3.劣化過程下のPC桁の維持管理のあり方

(1) PC 鋼棒の断面残存率の推定

PC 鋼棒の腐食による断面の欠損が PC 桁の力学特性に及ぼす影響を明らかにするため、表-1 に示すように PC 桁

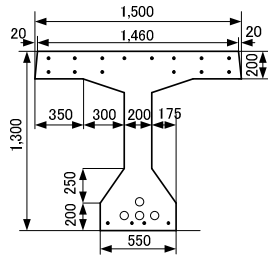


図-1 主桁の断面図

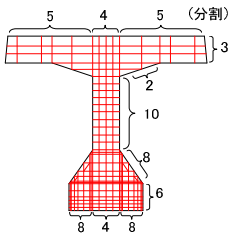
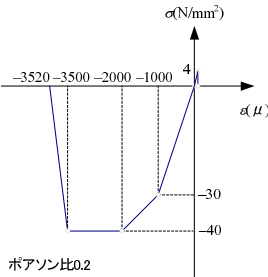
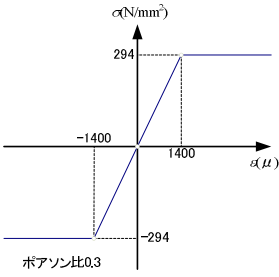


図-4 桁断面の要素分割



(a)コンクリート



(b)鉄筋

図-2 コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ曲線

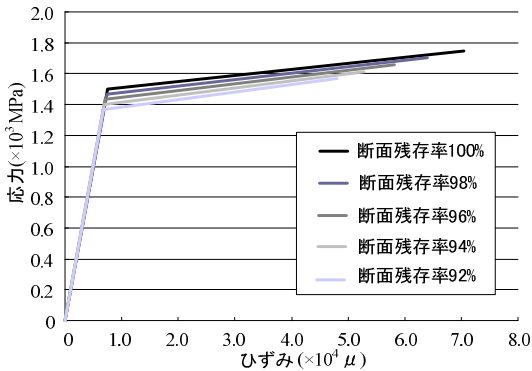


図-3 PC 鋼棒の応力-ひずみ曲線¹⁾

表-1 仮定されたPC鋼棒の断面残存率とPC力

解析ケース	PC鋼棒の断面残存率(%)	PC鋼棒断面積(mm²)	鉄筋断面積(mm²)	導入プレストレス(kN)	PC鋼棒に作用する引張応力(MPa)
Case1	100	1115.1	198.6	1366	1225
Case2	98	1092.8	194.6		1250
Case3	96	1070.5	190.7		1276
Case4	94	1048.2	186.7		1303
Case5	92	1025.9	182.7		1332

の断面残存率を種々変化させ弾塑性曲げ解析した。得られたスパン中央での荷重とたわみの関係を図-5 に示す。

PC 鋼棒の劣化状態を把握する目的でたわみの計測を点検業務時に行うことを考える。そのため、図-5 の弾性域内における荷重-たわみの解析曲線と PC 鋼棒の断面減少の関係に着目する。図-5 の弾性域内を拡大し、それぞれの曲線を線形回帰で近似すれば、図-6 のような結果を得る。たとえば、点検時に用いられた車輛重量が図-6 の縦軸に示した計測値、そのたわみが図の横軸に示された計測値であったとすれば、弾性の計測たわみから鋼材の断面残存率が推定できる。

(2) 断面残存率によって推定される PC 桁の曲げ耐力

一方、鋼材の断面残存率と終局曲げ強度との関係を描けば曲げ強度の変化が分かる。この図を強度保有率

$$\text{強度保有率} = \frac{\text{鋼材腐食時の崩壊荷重(MN)}}{\text{鋼材健全時の崩壊荷重(MN)}} \quad (1)$$

と断面残存率との関係で示せば、図-7 を得る。図の横軸に点検時に得られたたわみから推定された鋼材の断面残存率をプロットすれば、現有の耐力が推定できる。

(3) 断面残存率と曲げ耐力の維持管理への適用

上述のようにして得られた断面残存率と曲げ耐力を表-2 に示すコンクリート構造の劣化過程に合わせ、劣化期を推定する。その結果を表-3 に示す PC 桁の劣化状態に適した補修・補強工法に照らし合わせ、期待する効果や管理自治体の経済状況に応じて維持管理する。

4. あとがき

得られた結果をまとめれば、つぎのようである。

- 1) 腐食過程下の PC 桁の変形と強度を汎用有限要素解析プログラム“Marc2012.1.0”によって明らかにした。
- 2) 弾塑性曲げ解析の結果から算出した回帰直線と点検時に計測された支間中央のたわみから PC 桁の耐荷性能を推定する手法を考えた。
- 3) 推定された断面残存率と強度保有率の関係から PC 桁の劣化過程が推定され、それに対応する補修・補強工法を選定するプロセスを提案した。

参考文献

- 1) 上原子晶久・岩城一郎・鈴木基行：著しい塩害を受けて劣化した道路橋 PC 上部工の鋼材腐食を考慮した構造解析，土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造)，Vol.67, No.3, pp.333-350, 2011.

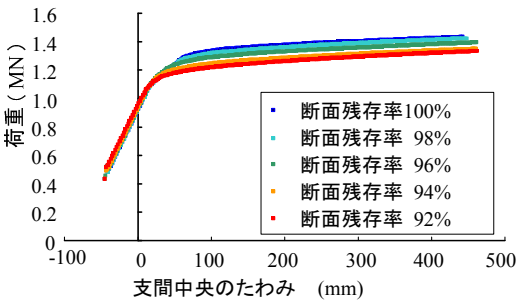


図-5 PC 鋼棒の断面欠損による桁中央の荷重-たわみ曲線

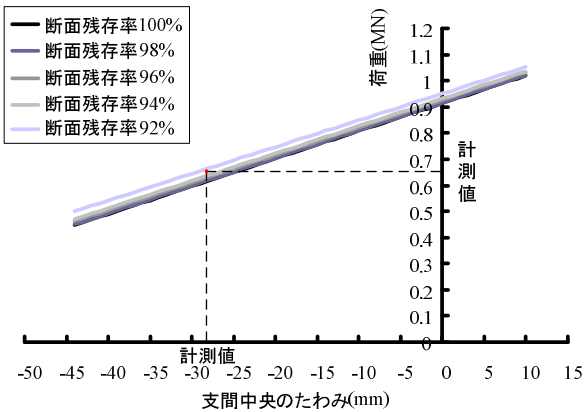


図-6 数値解析結果と計測値

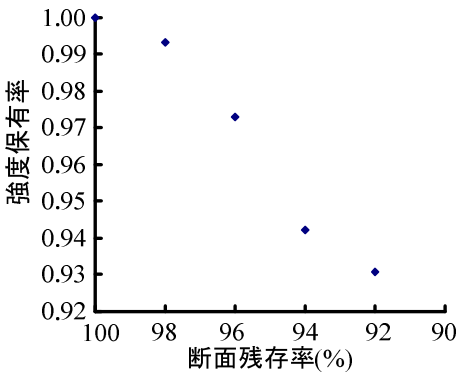


図-7 PC 鋼棒の断面残存率と強度保有率の関係

表-2 劣化過程の定義

劣化期	定義
潜伏期	塩化物イオン濃度が1.2kg/m³に達するまでの期間
進展期	鋼材の体積減少が始まるまでの期間
加速期	PC鋼材の体積減少率が5%に至るまでの期間
劣化期	PC鋼材の体積減少率が5%以上となる期間

表-3 劣化過程を意識した補修・補強工法の分類

潜伏期	進展期	加速期	劣化期
グラウト再注入			
橋面防水			
表面保護			
ひび割れ補修			
電気防食			
電気化学的脱塩			
外ケーブル補強			
FRP接着工法			
増厚工法			