

非線形解析による腐食 PC 鋼材の付着劣化を考慮した PC 橋の構造性能評価

市民工学専攻 橋詰 彩人
指導教員 三木 朋広

1. 序論

本研究では、実 PC 桁および実 PC 橋に対して、PC 鋼材の腐食が生じた場合の付着劣化を考慮した非線形解析を行った。その際、PC 鋼材の破断の有無、および腐食損傷度によって変化する付着低減係数をパラメータとして、プレストレスの伝達領域ならびに鋼材破断の影響範囲について明らかにした。

2. 解析手法

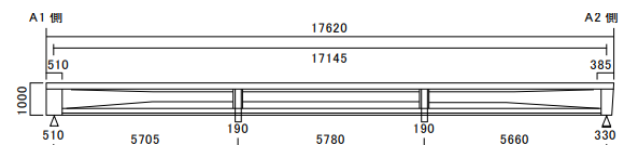
2.1 解析対象と解析モデル

解析対象は既往研究¹⁾における PC 桁および PC 橋とした。図-1 に PC 桁の側面図と断面図、図-2 に PC 橋のメッシュ後の断面図を示す。図-1 に示すように、PC 鋼線を 5 本、D13 鉄筋を 26 本使用した。支間中央から両側 1000mm で 2 点载荷を行った。図-1 の断面図に示す PC 鋼材において、鋼材腐食は全域で生じたと仮定し、さらに支間中央 100mm で鋼材破断した場合と定着部 100mm で鋼材破断した場合の解析を行った。解析では、プレストレス導入段階と、载荷段階に分けたフェーズ解析とした。鋼材初期応力として $n \times 171.2 \text{ N/mm}^2$ (n は破断していない本数) を導入した。このとき、付着状態はアンボンドとした。鋼材破断は、プレストレス導入後、载荷直前に PC 鋼材の要素を取り除く処理を行うことで模擬した。荷重は 1 ステップあたり 1mm の変位が生じるように変位制御で载荷した。解析モデルは、コンクリートは 8 節点ソリッド要素を用い、要素長は 50mm とした。PC 橋は図-1 の PC 桁を 200mm 間隔で配置した 10 径間のプレテンション方式単純 PCT 桁とした。

2.2 付着モデル

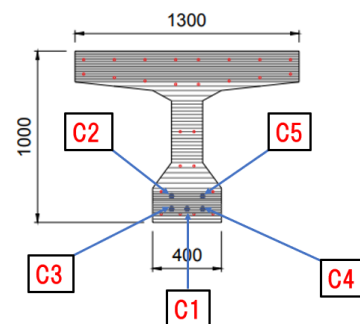
鉄筋には埋込み鉄筋要素、PC 鋼線には付着すべり埋込み鉄筋要素を用いた。付着挙動は島らによる付着すべり関数を用いる場合と FIB Model Code 2010 を用いる場合を考えた。島らによる付着すべり関数は $a = 1$ のとき、異形鉄筋の付着応力を表現するように定式化されている。ここで、最大付着応力-鋼材種別関係の既往研究²⁾より、PC 鋼材では最大付着応力が異形鉄筋の約 0.3 倍であったことを参考にして、この

モデルにおいて $a = 0.3$ とした。また、腐食の程度が大きくなると腐食生成物等により付着応力が低減すると仮定して、そのとき $a = 0.1$ とした。なお、島らによる付着すべり関数における初期剛性は計算上無限大であるが、剛性を解析に導入するために原点と $\Delta u_t = 0.001 \text{ mm}$ 間の勾配を仮定し、それをせん断方向の剛性とした。また、法線方向の剛性は剛であることを表現するためにせん断方向の 1000 倍を仮定した。FIB Model Code 2010 は線形初期すべり区間 s_0 、相対すべり区間 s_1, s_2, s_3 、最大付着応力 τ_{max} 、終局時の付着応力 τ_f のパラメータで構成される。それぞれ、 $s_0 = 0.02 \text{ mm}$ 、 $s_1 = 0.04 \text{ mm}$ 、 $s_2 = 0.06 \text{ mm}$ 、 $s_3 = 0.08 \text{ mm}$ 、 $\tau_{max} = 2.0 \text{ N/mm}^2$ 、 $\tau_f = 0.8 \text{ N/mm}^2$ とした。各境界となるすべり量および初期剛性は島らによる付着すべり関数を参考にした。繰返し計算には Newton Raphson 法を用いた。



(a) 側面図

●: PC 鋼線 12 φ 7 ●: D13 鉄筋



(b) 断面図

図-1 PC 桁の構造図

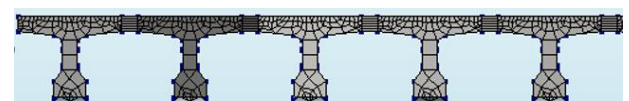


図-2 PC 橋の断面図 (一部)

3. 支間中央で鋼材破断した腐食 PC 桁のせん断挙動に関する解析

島モデル(付着低減係数 $a = 0.3$)を導入したときと島モデル(付着低減係数 $a = 0.1$)を導入したときのコンクリート表面増加ひずみを図-3, 図-4 に示す. それぞれの4束破断時を比較すると, $a = 0.3$ のときは鋼材破断の影響範囲が $\pm 1000\text{mm}$, $a = 0.1$ のときは $\pm 1500\text{mm}$ 程度であることがわかる. また, 道路橋示方書による付着長は $65\phi = 1575\text{mm}$ であるが, それぞれ計算値よりも小さい値が得られたことから, 安全側の評価をしていたことがわかる.

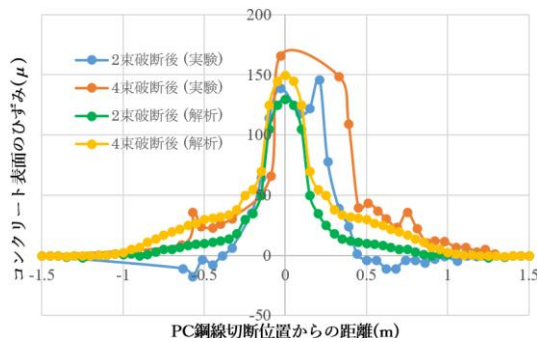


図-3 コンクリート表面増加ひずみ ($a = 0.3$)

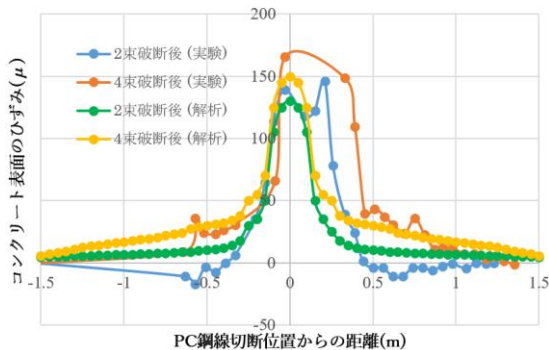


図-4 コンクリート表面増加ひずみ ($a = 0.1$)

4. 定着部で鋼材破断した腐食 PC 桁のせん断挙動に関する解析

島モデル(付着低減係数 $a = 0.3$)を導入したときと島モデル(付着低減係数 $a = 0.1$)を導入したときのPC鋼材ひずみを図-5, 図-6 に示す. いずれも破断位置からの距離が大きくなると, 2束破断解析では 35μ , 4束破断解析では 103μ 付近を一定に推移した. しかし, $a = 0.3$ の場合は破断位置から 1050mm 程度, $a = 0.1$ の場合は破断位置から 1150mm 程度でこれらの値に達しており, 付着低減係数の影響が見られる.

5. 鋼材破断した腐食 PC 橋のせん断挙動に関する解析

島モデル(付着低減係数 $a = 0.1$)を導入したときの荷重-変位関係を図-7 に示す. 変位は桁中央のたわみ量である. 鋼材破断は支間中央 100mm で4束破断しているものとする. PC桁の解析結果と比較すると, 耐力の上昇程度が 20kN 程度小さいことがわかった.

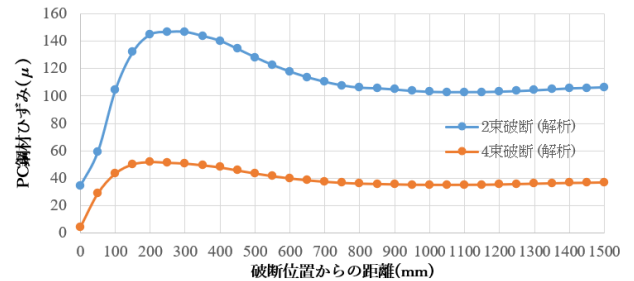


図-5 PC 鋼材ひずみ ($a = 0.3$)

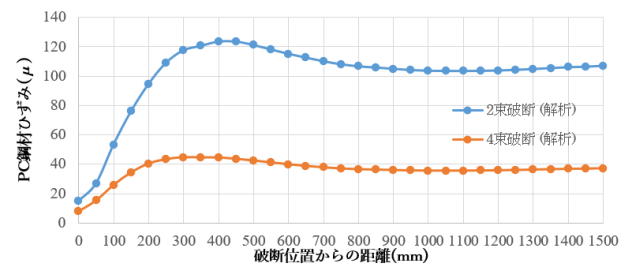


図-6 PC 鋼材ひずみ ($a = 0.1$)

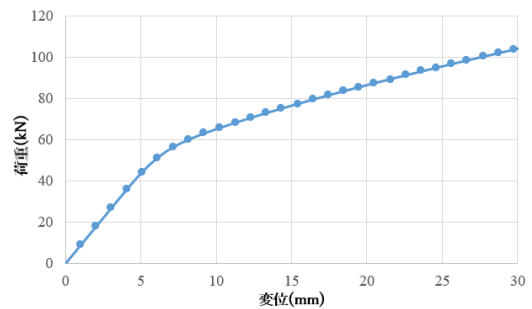


図-7 荷重-変位関係

6. まとめ

PC橋とPC桁の支間中央 100mm が鋼材破断した場合, 荷重-変位関係やPC鋼材ひずみを比較することで, PC橋の方が耐荷性能は小さいことがわかった.

参考文献

- 1) 青木圭一, 渡邊晋也, 三加 崇, 宮永憲一, 睦好宏史: 供用後40年経過したPC桁の性状から推定されるPC橋の性能評価, 土木学会論文集E2, Vol.71, No.3, pp.283-302, 2015.
- 2) 徳永光宏, 前田友章, 田所敏弥, 谷村幸裕: PC鋼材の付着特性に及ぼす鋼材種別の影響, 土木学会第63回年次学術講演会, 5-593, pp.1185-1186, 2008.9.