

第V部門

非線形解析による腐食 PC 鋼材の付着劣化を考慮したプレストレスの伝達領域の評価

神戸大学 学生会員 ○橋詰 彩人
神戸大学 正会員 三木 朋広

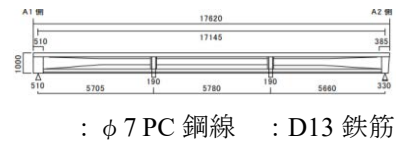
1. 研究背景と目的

PC 橋を健全に供用していくためには、設計で想定したプレストレスやコンクリートと PC 鋼材の間の付着が確保されていることが重要となる。しかし、PC 鋼材の付着劣化の度合いによって変化する PC 桁の力学特性や PC 鋼材の性能変化については十分に明らかにされているとは言い難い。本研究では、実 PC 桁に対して、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、鋼材破断の影響範囲について明らかにすることを目的とした。

2. 解析概要

2.1 解析対象と解析モデル

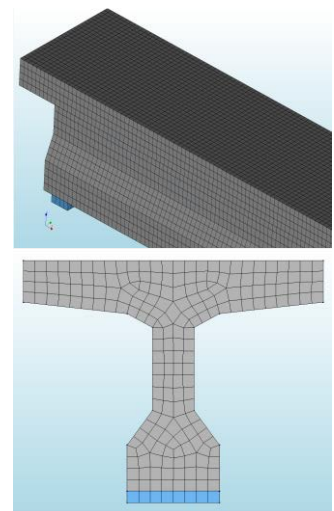
解析対象は既往研究における PC 桁¹⁾とした。図 1 に示すように、PC 鋼線を 5 本、D13 鉄筋を 26 本使用した。支間中央から両側 1000mm の位置で 2 点载荷を行った。図 1 断面図に示す PC 鋼材において、鋼材腐食は全域で生じたと仮定し、さらに支間中央 100mm で C1、C3、C4 が破断した場合と破断しなかった場合の解析を行った。解析ではプレストレス導入段階と、载荷段階に分けたフェーズ解析とした。まず、PC 鋼材の破断が生じていない状態で鋼材初期応力として 856N/mm^2 を導入した。このとき、付着状態はアンボンドとした。鋼材破断は、プレストレス導入後、载荷直前に 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。解析モデルは図 2 に示すように、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。



：φ7 PC 鋼線 ：D13 鉄筋

単位：mm

図 1 PC 桁の側面図と断面図



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基準とした。この関係は、 $a=1$ 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、最大付着応力ー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、鋼材の腐食の程度が大きくなると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。繰返し計算には Newton-Raphson 法を用いた。

3. 解析結果と考察

3.1 荷重－変位関係

荷重－変位関係を図 3 に示す。変位は支間中央のたわみ量である。プレストレスの導入による支間中央のたわみはおよそ -20mm、解析終了後の支間中央のたわみはおよそ 20mm である。図 3(a)では、ひび割れ発生荷重はおよ

そ 175kN, 図 3(b)では, ひび割れ発生荷重はおよそ 190kN であった. ひび割れ発生時のたわみ量には違いが見られなかったが, ひび割れ発生荷重は高くなる結果が得られた. したがって, 鋼材破断の有無が PC 桁の変形挙動に影響を与えることがわかった.

3.2 付着応力-変位関係

PC 鋼材の付着応力と桁の支間中央のたわみ量の関係を図 4 に示す. 凡例の数値は鋼材破断有りの方は破断位置からの距離, 鋼材破断無しの方は支間中央からの距離を表す. 図 4(a)では, 破断位置から 900 mm 離れた位置で付着応力がほとんど生じていないことがわかる. したがって, 破断位置から 900 mm 以上離れると腐食の影響を受けず, PC 鋼材とコンクリートの間の付着が十分確保されることがわかった. また, 図 4(a)を見ると, PC 鋼材が腐食により破断した位置から離れるほど付着応力が低減することがわかる. さらに, 支間中央のたわみが大きくなると, 付着応力が増大することがわかる. また, 図 4(b)を見ると, 付着応力はほとんど生じていないことがわかる. また, 支間中央に近づくほど, 付着応力の大きさはさらに小さくなることがわかる. したがって, 腐食の程度が軽微で鋼材破断が生じない場合は PC 鋼材とコンクリートの間の付着が十分確保されることがわかった. また, 支間中央に近づくほど, 完全付着に限りなく近づくことがわかった. このことから, PC 鋼材とコンクリートの間の付着は鋼材破断の有無が大きく影響すると言える.

4. 付着モデルによるプレストレスの伝達区間

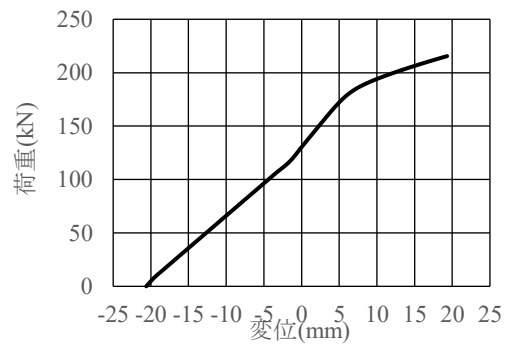
道路橋示方書では, PC 鋼材の付着長を $65\phi^3$ と定めている. 本解析では 12 本分の断面積を持つ 1 本の PC 鋼線と仮定したことから, 道路橋示方書による付着長は, $65\phi=1575\text{ mm}$ と算出される. 以下では, この付着長について検討する. 図 4(a)より, 付着低減係数 $a=0.3$ のときは, 破断位置から 900 mm 離れた位置で付着応力がほとんど生じていないことがわかる. このことから, 道路橋示方書で定められる付着長は, 付着低減係数 $a=0.3$ のときは 1.75 倍大きく評価しており, 安全側の評価を行っていることがわかる.

5. まとめ

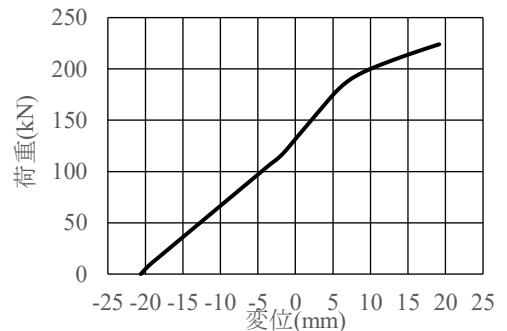
鋼材破断の有無が PC 桁の耐荷性能に大きく影響することが明らかとなった. また, 腐食が軽微なときは道路橋示方書で定める付着長が 1.75 倍大きく評価していることがわかった.

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.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編, 2017.11.

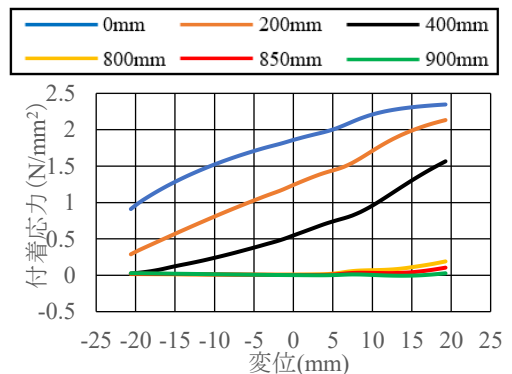


(a) 付着低減係数 $a = 0.1$ 鋼材破断有り

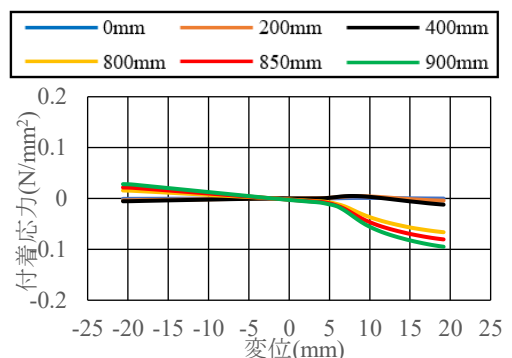


(b) 付着低減係数 $a = 0.1$ 鋼材破断無し

図 3 荷重-変位関係



(a) 付着低減係数 $a = 0.3$ 鋼材破断有り



(b) 付着低減係数 $a = 0.3$ 鋼材破断無し

図 4 付着応力-変位関係