

PC 鋼材破断時の付着特性と残存プレストレス分布の数値解析的評価

中部大学 学生会員 ○遠藤 滉大
 中部大学 学生会員 小島 悠生
 中部大学 正会員 伊藤 睦

1. 研究背景と目的

ポストテンション式 PC 桁において、PC 鋼材の腐食や破断が報告されている。より合理的に PC 桁の力学性能を評価するには残存プレストレス量の評価が必要不可欠なため、PC 鋼材とグラウト間の付着特性を把握することが重要となる。そこで本研究では、数値解析的検討を通じて、PC 鋼材破断時の付着特性の評価と残存プレストレス分布の評価を目的とした。

2. PC 鋼材破断時の付着特性と残存プレストレス分布の評価方法と検討内容

前田らの PC 鋼材切断実験¹⁾を対象に数値解析手法の妥当性を評価するとともに、グラウト強度が付着特性や残存プレストレスに及ぼす影響を評価した。図-1、表-1に供試体諸元と材料特性値を示す。本研究では、PC 鋼材に SWPR7BL 7 本より 12.7mm を使用した実験を対象とした。実験では、供試体に設けた開口部で PC 鋼材を切断した際の部材軸方向のコンクリートひずみを計測することで、次式によりプレストレスの残存割合 r を求めている。

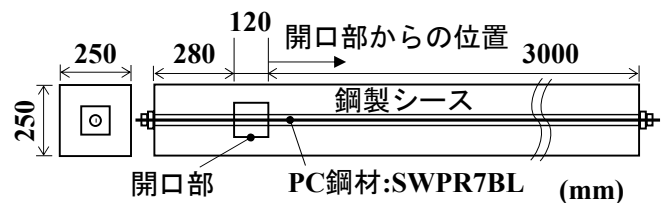
$$r = (\varepsilon_{pin} - \varepsilon_{pde}) / \varepsilon_{pin} \quad (1)$$

ここで、 ε_{pin} と ε_{pde} は、それぞれ緊張後のひずみおよび切断によるひずみ変化量である。

数値解析において、PC 鋼材とグラウト間の付着モデルには、図-2 に示す仮想仕事の原理から導いた付着剛性方程式を使用した。ここで、 $[Q]$ は、グラウト要素内仮想節点と PC 鋼材要素節点の変位から積分点でのすべり量の評価するマトリクスであり、本研究ではすべり量を、鋼材要素両端における両節点間の相対変位を線形補完することで評価した。鋼材要素軸方向の付着応力 τ - すべり S 関係には、式(2)に示すように島ら²⁾が提案する付着応力 - すべり - ひずみ関係に、かぶり厚や鋼材ふし形状の影響を簡易に導入する強度パラメータ α を乗じた。なお、強度パラメータ α は、実験結果と解析結果が整合するように決定した。鋼材要素軸直角方向の付着特性は、剛な弾性とした。

$$\tau = \alpha \times 0.73 f_g' (\ln(1 + 5s))^3 / (1 + \varepsilon \times 10^5) \quad s = 1000S/D \quad (2)$$

ここで、 f_g' : グラウト強度、 ε : PC 鋼材ひずみとし、 ε はグラウト後の切断に伴う PC 鋼材ひずみの変化量とした。解析的検討では、実験と同様に、アンボンド状態で緊張力を導入したのちに PC 鋼材とグラウト間の付着をモデル化し、PC 鋼材の切断は、切断する PC 鋼材要素の断面積をゼロとすることで表現した。本研究では、グラウト強度が付着特性やプレストレス減少範囲に及ぼす影響を解析的に評価した。

図-1 供試体諸元¹⁾表-1 材料特性値¹⁾

供試体	各種強度 (MPa)	グラウト強度 f_g' (MPa)	有効プレストレス力 (kN)
1-2	f_c' :53.6	30.3	107.6
1-3		48.8	113.5
1-4	f_{py} :1824	67.0	105.7

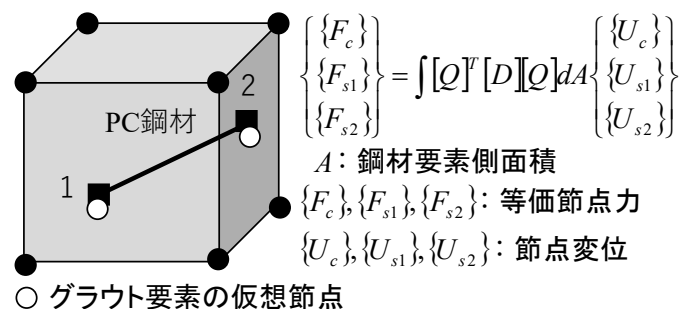


図-2 付着剛性方程式の定式化

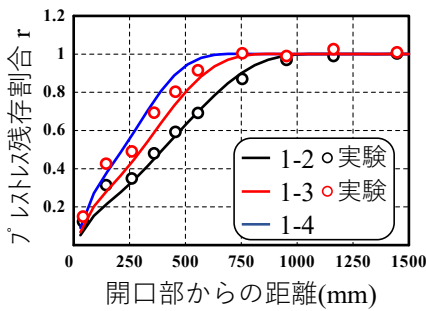


図-3 プレストレス残存割合分布

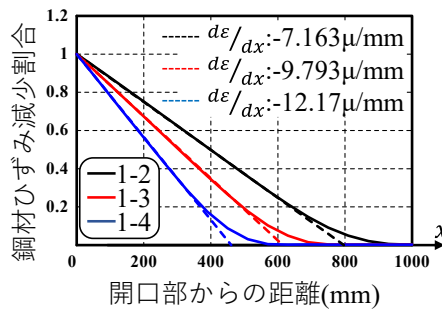


図-4 鋼材ひずみ分布

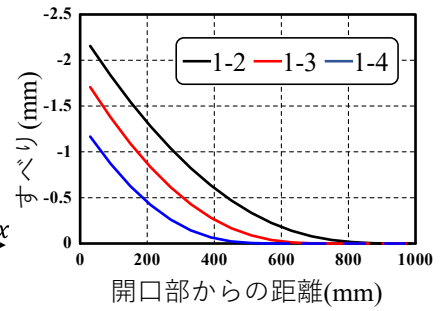


図-5 すべり分布

3. 解析結果

図-3 から図-6 に解析で得られた PC 鋼材切断時のプレストレス残存割合, PC 鋼材ひずみ減少割合および PC 鋼材のすべりと付着応力分布を示す。なお, 図-3 に示す実験値と解析値との比較から, 本研究では式(2)中の α を 0.3 とした。図より, プレストレス残存割合は PC 鋼材切断位置から線形的に変化し, この分布は PC 鋼材のひずみ分布と同様である。すべり分布は, 図-4 中に破線で示す鋼材ひずみが線形的に変化する領域の近似直線が横軸と交わる位置ではほぼゼロとなり, 付着応力は, 鋼材ひずみが線形的に変化する領域で一定となった。これは, 鋼材ひずみの直線分布はその領域で鋼材ひずみの変化率 $d\varepsilon/dx$ が一定であり, 微小区間でプレストレス力の減少量が一定であるためである。なお, 減少プレストレス力が付着力と釣り合うとして, 図-3 中に示す $d\varepsilon/dx$ を用いて付着応力を算出した結果, 1-2 から 1-4 に対してそれぞれ $-3.38, -4.63, -5.75 \text{ N/mm}^2$ となり, これらの値は, 図-6 中の矢印区間の平均付着応力と比して 1 割程度の差異で一致した。これらから, 式(2)の ε を切断に伴う PC 鋼材ひずみの変化量とすることは問題ないと考えられる。

図-7 と図-8 に, グラウト強度と緊張力を変数として, 図-6 中の平均付着応力と図-3 中のプレストレス残存割合が 1.0 になるまでの距離を評価した。図より, 平均付着応力は緊張力によらず, グラウト強度の 2/3 乗に比例し, 減少範囲は緊張力に依存した。

4. まとめ

数値解析的に PC 鋼材破断時の付着特性および残存プレストレス分布を評価した。その結果, プレストレス減少区間では平均付着応力はほぼ一定となり, その大きさは緊張力によらず, グラウト強度の 2/3 乗に比例すること, プレストレス減少範囲は, グラウト強度と緊張力の大きさに依存する結果が得られた。

謝辞: 本研究は科研費 JP22K04292 および (一財) 名古屋高速道路協会の助成を受けた。

参考文献

- 1) 前田友章, 徳永光宏, 田所敏弥, 谷村幸裕: 鋼材破断時の付着特性に着目した PC 梁の曲げ耐力に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.529-534, 2010.
- 2) 島 弘, 周 礼良, 岡村 甫: マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係, 土木学会論文集, Vol.378/V-6, pp.165-174, 1987.

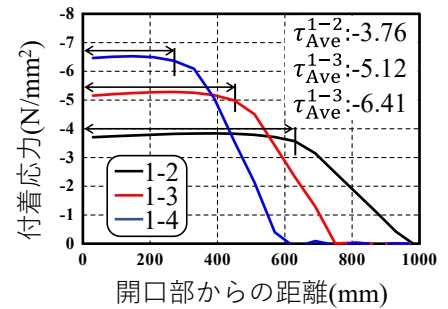


図-6 付着応力分布

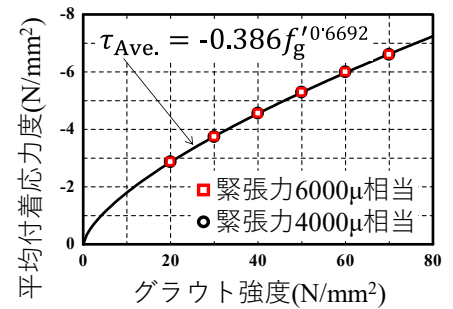


図-7 プレストレス減少区間の付着応力度-グラウト強度関係

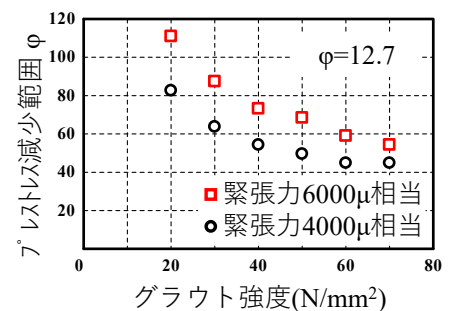


図-8 プレストレス減少範囲