

# PC鋼材の破断に伴う 鋼材周境界面挙動の分析と耐荷機構への影響評価

千々和伸浩

東京科学大学  
環境・社会理工学院 土木・環境工学系

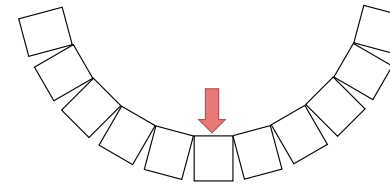


大成学術財団 2024年度研究成果発表会 2024年10月24日

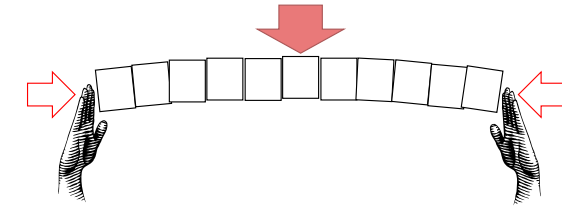
# プレストレストコンクリート(PC)



コンクリートは引張に弱い



そのまま持ち上げると  
下縁の引張力で壊れる

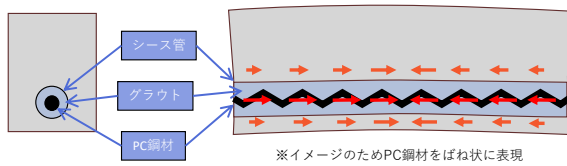


軸力を入れた後(pre-stressed)であれば、  
壊れず持ち上げられる

# プレストレストコンクリート(PC)



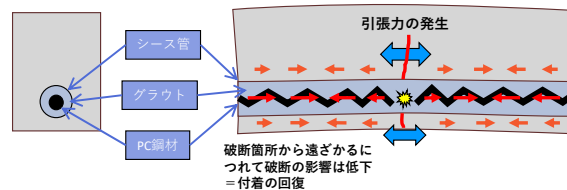
健全状態のPC



施工時に引き伸ばされたPC鋼材が縮もうとする作用が、グラウト・シース管を介して周囲のコンクリートを圧縮する

※イメージのためPC鋼材をばね状に表現

破断後のPC



破断が生じると、破断箇所からPC鋼材が元の長さに戻ろうとするため、周囲のコンクリートは引張られる。

PC鋼材の破断は単純な鋼材断面の減少だけではなく、初期導入緊張力が負の作用となって構造物にダメージを与える

破断によって解放された緊張力は設計で想定した耐荷機構を攪乱するが、どの範囲で引張力が生じるかは付着が回復するまでの距離次第。そしてこの距離はよくわかっていない。

# PC鋼材が破断した部材の残存構造性能

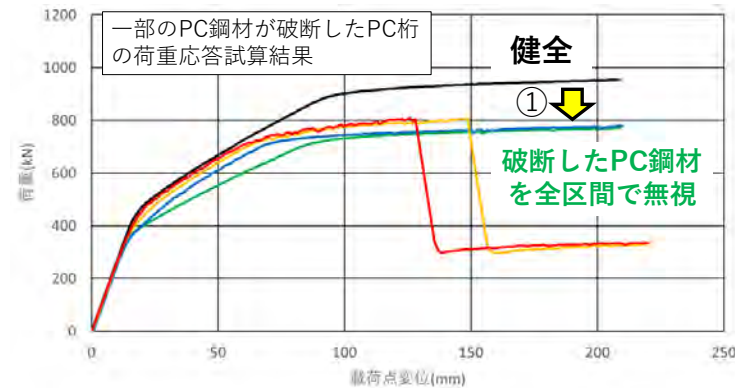


プレストレストコンクリート(PC)橋

・経年劣化によるPC鋼材腐食と破断の可能性  
→残存性能を知る必要→試算を実施



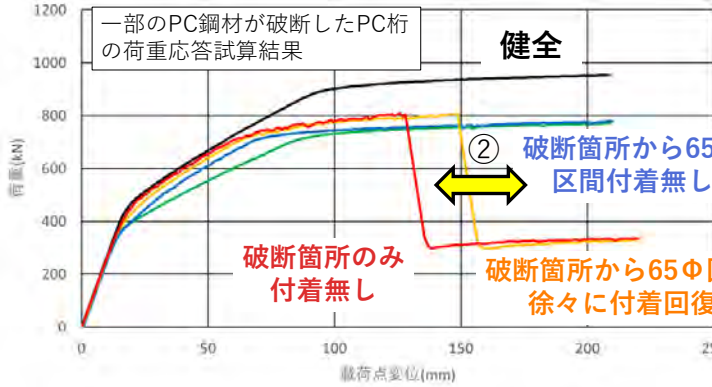
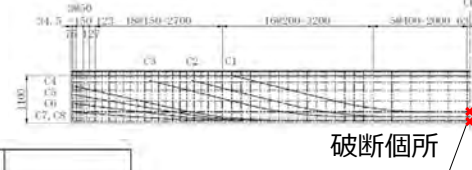
破断箇所



- ①破断本数に比例して耐力が低下
- ②破断に伴う付着状況によって「靱性」が変化。安全側評価のつもりで鉄筋を無視すると、危険側評価になる可能性も

# PC鋼材が破断した部材の残存構造性能

プレストレストコンクリート(PC)橋  
 ・経年劣化によるPC鋼材腐食と破断の可能性  
 →残存性能を知る必要→試算を実施



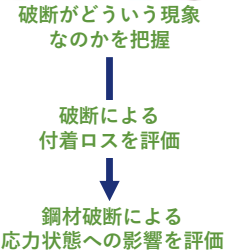
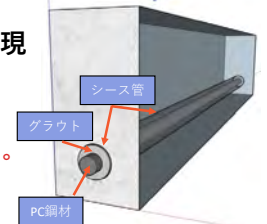
- ①破断本数に比例して耐力が低下
- ②破断に伴う付着状況によって「靱性」が変化。安全側評価のつもりで鉄筋を無視すると、危険側評価になる可能性も

→詳細な検討へ

# PC鋼材が破断した部材の残存構造性能

PC鋼材の破断はグラウト充填されたシース管内で生じる動的な現象で、破断の際に何が起きているのか外部から観察できない。

→模擬実験と数値解析を組み合わせることで事象を可視化し、正確な理解に基づくFEM解析によって、付着ロス区間の定量評価や構造性能への影響を分析する。



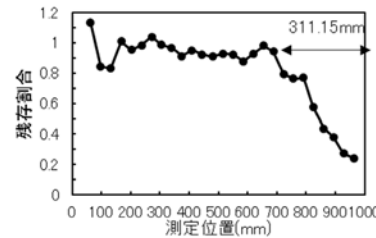
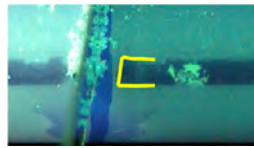
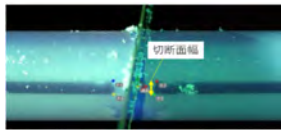
[実施した内容]

- ①ゴム棒を用いた模擬実験によるPC鋼材破断時の付着・すべり挙動の分析  
→シース管で内部で起きていると思われる状況を初めて可視化。
- ②PCより線破断時に生じる素線間相互作用に関する解析的検討  
→より線ケーブルの素線が順に破断していく状況を数値解析によって可視化して把握。
- ③2軸拘束応力下におけるPC鋼材の滑り挙動の再現  
→数マイクロ秒で生じる破断という動的現象を分析するため、要素実験に基づいて材料モデルを構築し、破断後の付着機構を分析。
- ④鋼材に沿ったひび割れが付着に与える影響の評価  
→腐食ひび割れによる破断箇所からの滑り距離の変化を分析。
- ⑤PC鋼材破断時の周辺鋼材への応力転嫁に関する評価  
→PC鋼材破断時によって初期応力がどこに流れるのかを分析。

## ①ゴム棒を用いた模擬実験によるPC鋼材破断時の付着・すべり挙動の分析

シース管内で起きていることを知りたいが直接観察できない。

→模擬実験でまず観察(透明アクリル管内で、ゴム棒を緊張し、寒天を充填)。



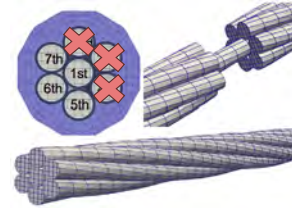
破断後、先端がくさび形状になることで滑りが途中で停止し、そこから付着が回復することが確認できた

## ②PCより線破断時に生じる素線間相互作用に関する解析的検討

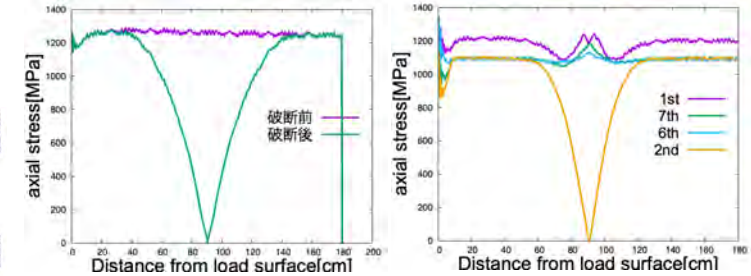
PCより線の場合、破断は素線単位での破断が徐々に連鎖していく

→破断順序で応力の再配分に変化が起きるのか、また破断の連鎖が生じるのかを確認するために、PCより線とグラウトを高精度にモデル化して数値解析で評価。

数値解析による分析



7本よりPCケーブル

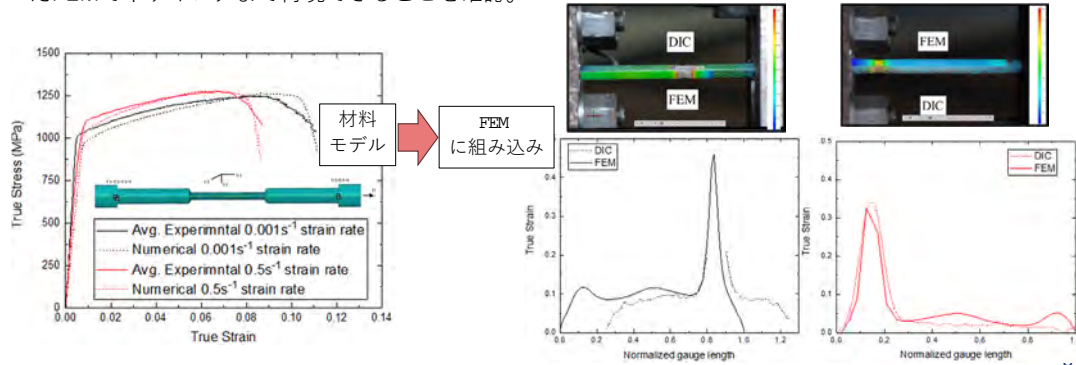


破断素線に隣接する素線に応力が転嫁され、連鎖が生じる

### ③2 軸拘束応力下におけるPC 鋼材の滑り挙動の再現 ~鋼材破断モデルの構築とパラメータの同定

破断時には瞬時に応力が解放されるため、鋼材も動的に再定着される。

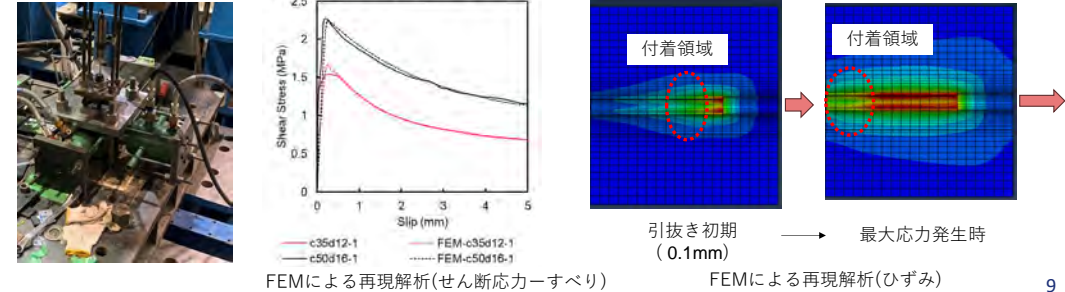
- ・破断時の材料モデルをひずみ速度への依存性を考慮した形に修正。
- 1軸引張試験データを元に、Johnson-Cookモデルを修正する形で材料モデルを構成し、それを用いたFEMでネッキングまで再現できることを確認。



### ③2 軸拘束応力下におけるPC 鋼材の滑り挙動の再現 ~モルタル中に埋設された丸棒の側圧と引抜き速度を考慮した 付着-すべり挙動の実験と数値解析による検討

破断時には瞬時に応力が解放されるため、鋼材も動的に再定着される。

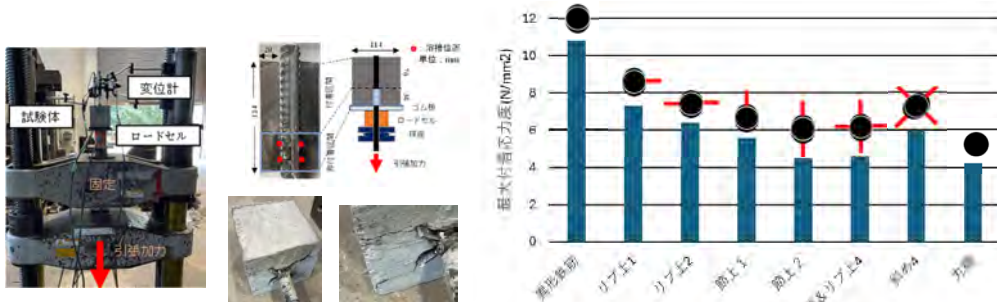
- ・埋め込み鋼材が鋼材軸に垂直な方向に2軸圧縮力を受けた状態で、鋼材が引抜かれるとき、どのような挙動を示すのかを実験と解析から評価する。
- 引抜け端から徐々に付着領域が切れて、主たる付着領域は徐々に奥に移行していく。
- ※引抜きではなく、初期緊張状態から破断ですべるケースについての検討はこれから。



### ④ 鋼材に沿ったひび割れが付着に与える影響の評価

鋼材腐食によって鉄筋に沿ったひび割れが形成された場合、鋼材と鉄筋の一体性(付着)がどの程度低下するのか?

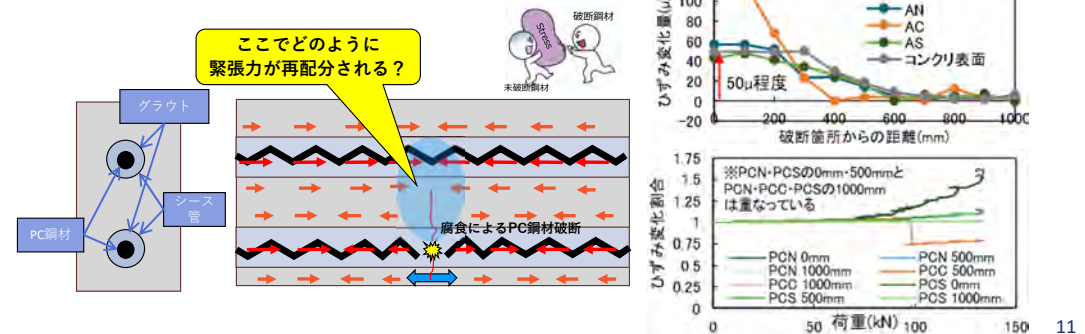
- ・純粋に亀裂があることの影響を平面ひび割れを導入することで分析。
- 節周辺にひび割れがある場合、付着強度が大きく低下する。かみ合わせが付着に大きく寄与。
- 亀裂の数よりも亀裂がどこにあるかが影響する



### ⑤ PC 鋼材破断時の周辺鋼材への応力再配分に関する評価

部材中のPC鋼材の1部が破断したとき、周囲のPC鋼材にはどの程度の応力が再配分されるのか?連鎖的破断が発生するのか?

- 緊張 & グラウト注入後、PC鋼材の1本を切断し、その前後での周囲のPC鋼材の応力変化を確認。
- 実験では破断前後の周囲の鋼材のひずみ変化は50μ程度のみ。ただし荷重加载中にもすべりが発生し、更に周囲の鋼材の負担が増加。



## まとめ

- 模擬実験と数値解析によってシース管内での破断現象と再定着がどのように起きるかを可視化できた。
- 破断現象の正確な理解のもと、速度依存性を考慮した材料モデルを構築した。この材料モデルを組み込んだFEM解析によって、鋼材の引拔けを再現し、付着ロスの推移を分析した。
- 鋼材に沿って生じた腐食ひび割れは鋼材の付着を低下させるが、その影響度はどこを起点にひび割れが生じたかによる。
- PC鋼材の破断が生じた場合、直後には50  $\mu$  程度の応力再配分しか生じないが、外力が作用するにつれて滑りが生じ、更に応力は増加する。

研究助成を賜りまして、どうもありがとうございました。