

インド鉄道・損傷PCマクラギの 構造性能評価と外観目視点検手法



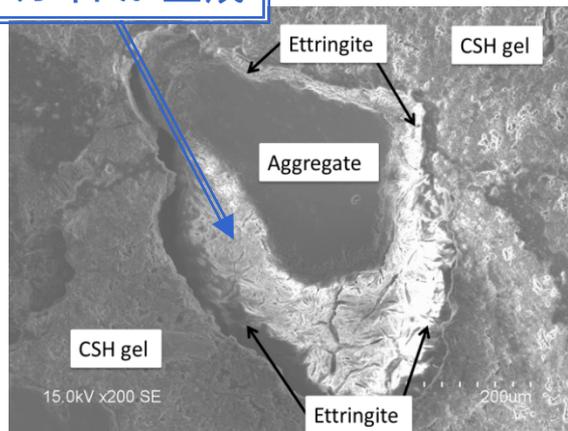
北海道大学工学研究院
土木工学部門 維持管理システム工学研究室
松本 浩嗣

遅延エトリンタイト生成(DEF)



→内部の膨張圧によりひび割れが発生

ギャップ部にエトリンタイトが生成

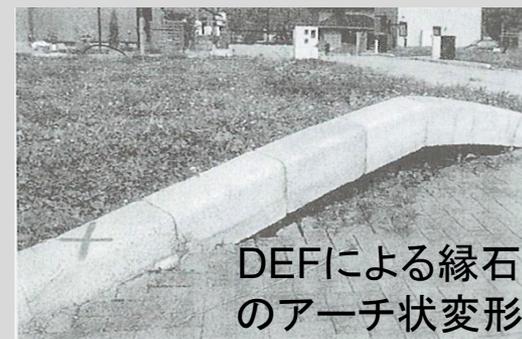


DEFが生じたコンクリート内部のSEM画像

JCIマスコン指針2016では、DEFに関する記述が追加された。

⇒DEF発生の防止を目的とするもの

DEFが発生した既設構造物の維持管理には対応できない。

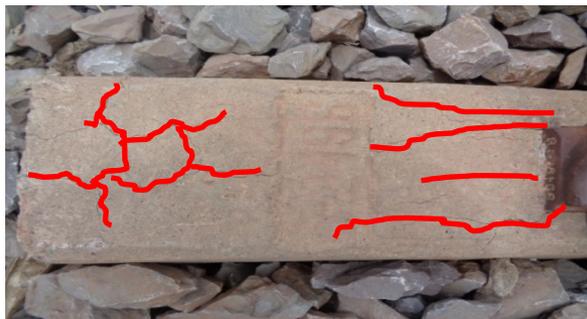


DEFによる縁石のアーチ状変形

既設構造物の維持管理を可能とするためには、**点検手法の提案**とともに、**構造レベルでの検討**が必要

→インド鉄道のPCマクラギを例に検討

インド鉄道・PCマクラギの損傷状況



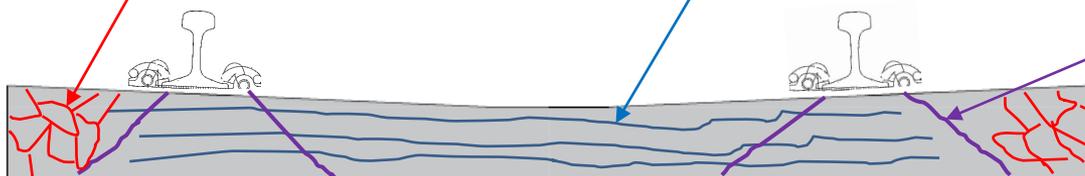
端部: 亀甲状のひび割れ



中央部: 軸方向のひび割れ

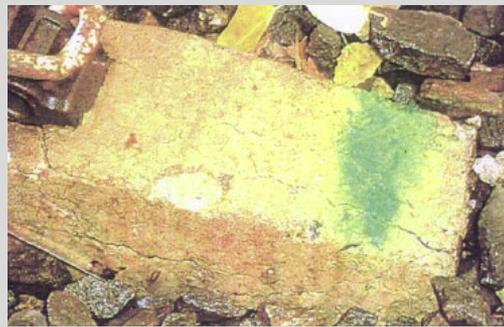
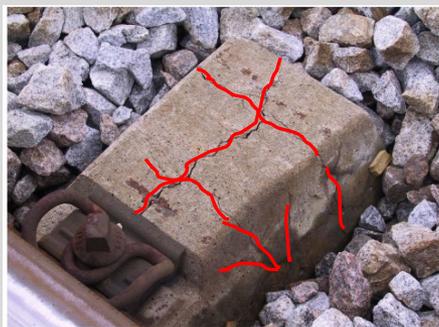


レール部: 斜めひび割れ



マクラギの側面図

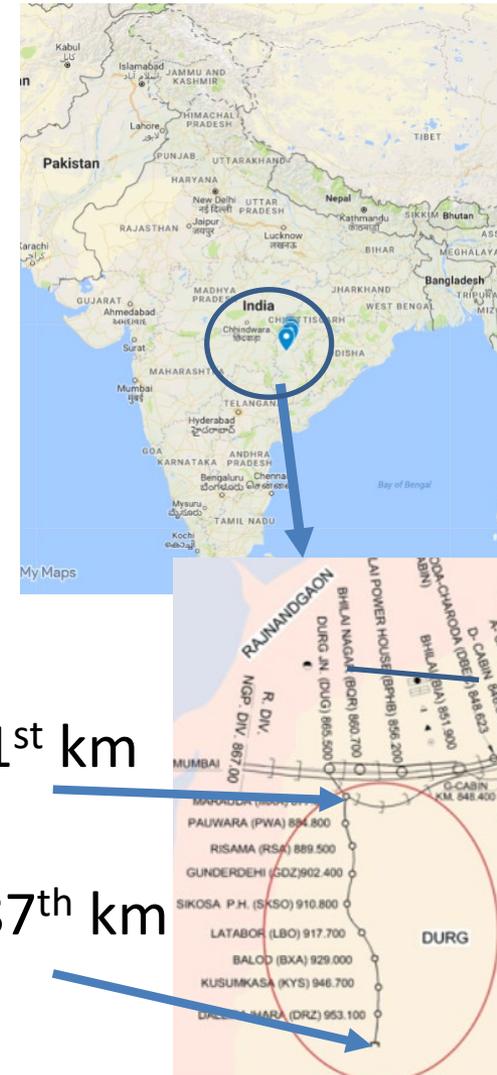
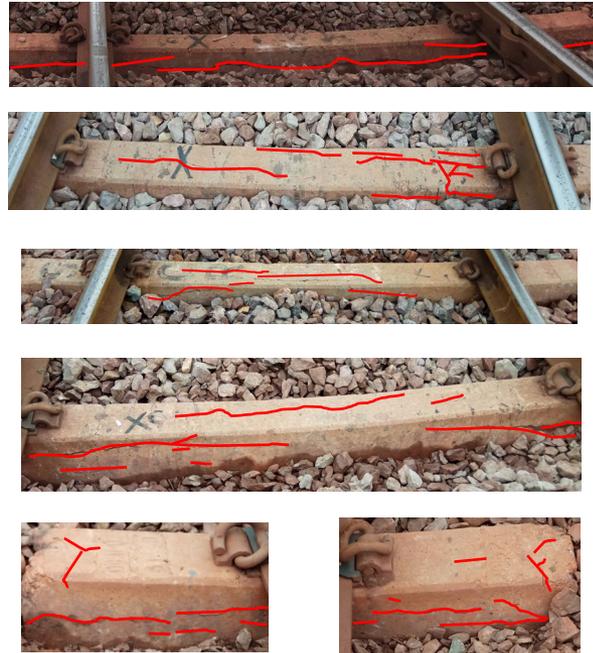
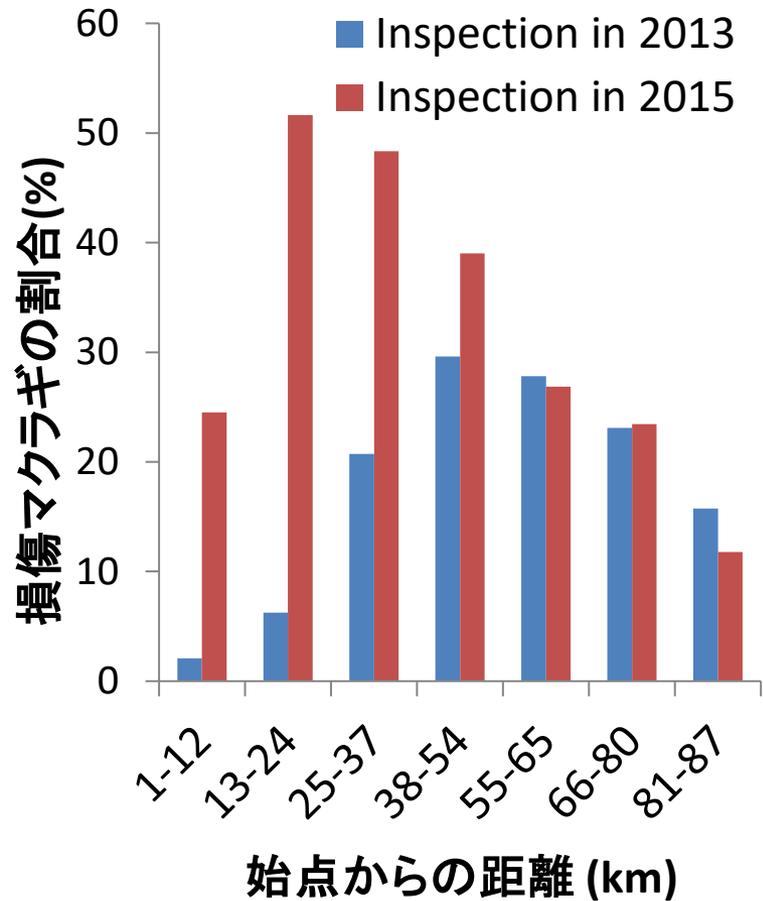
製造後、約6～9年でひび割れが生じた。



欧州におけるDEFによるPCマクラギの損傷例 (Hakan et al., 2006)

➡ インド鉄道での損傷も、主にDEFによるものと推察される。

インド鉄道・PCマクラギの損傷状況



129,000本のマクラギのうち、45,000本に損傷あり

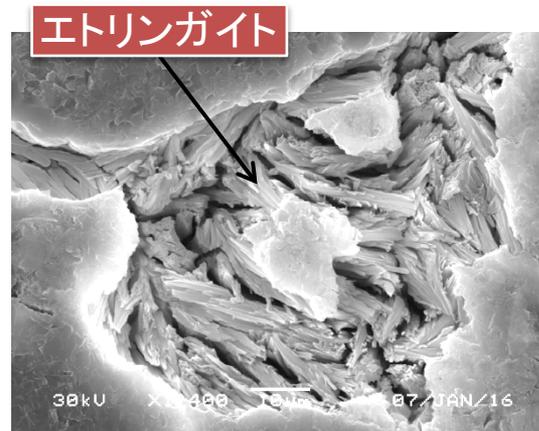
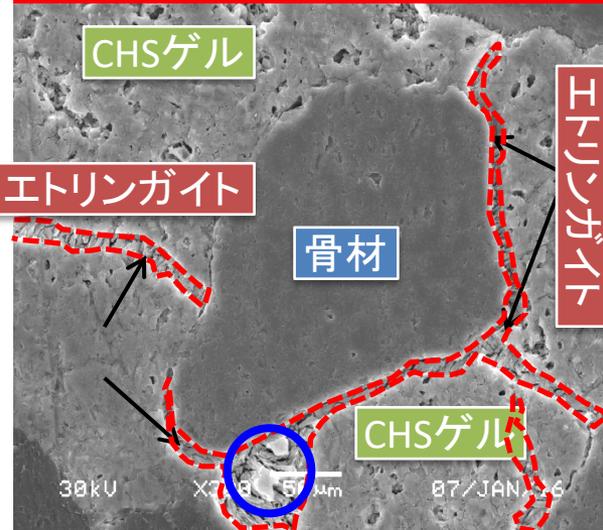
既設マクラギの保全(取替の優先順位付け)が喫緊の課題

SEMによる観察



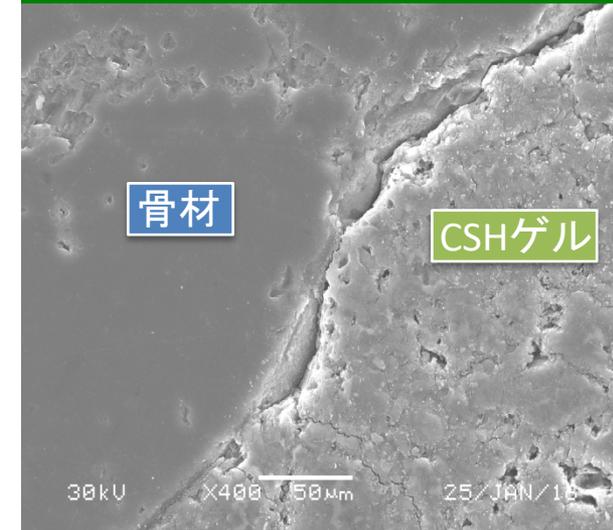
重度の損傷(12年目) 中度の損傷(9年目) 損傷なし(21年目)
計40個のサンプルを採取して分析

重度の損傷



○部の拡大写真

損傷なし



骨材周囲のギャップにエトリンガイトが生成⇒既往の知見と一致

マクラギ製造工場の調査

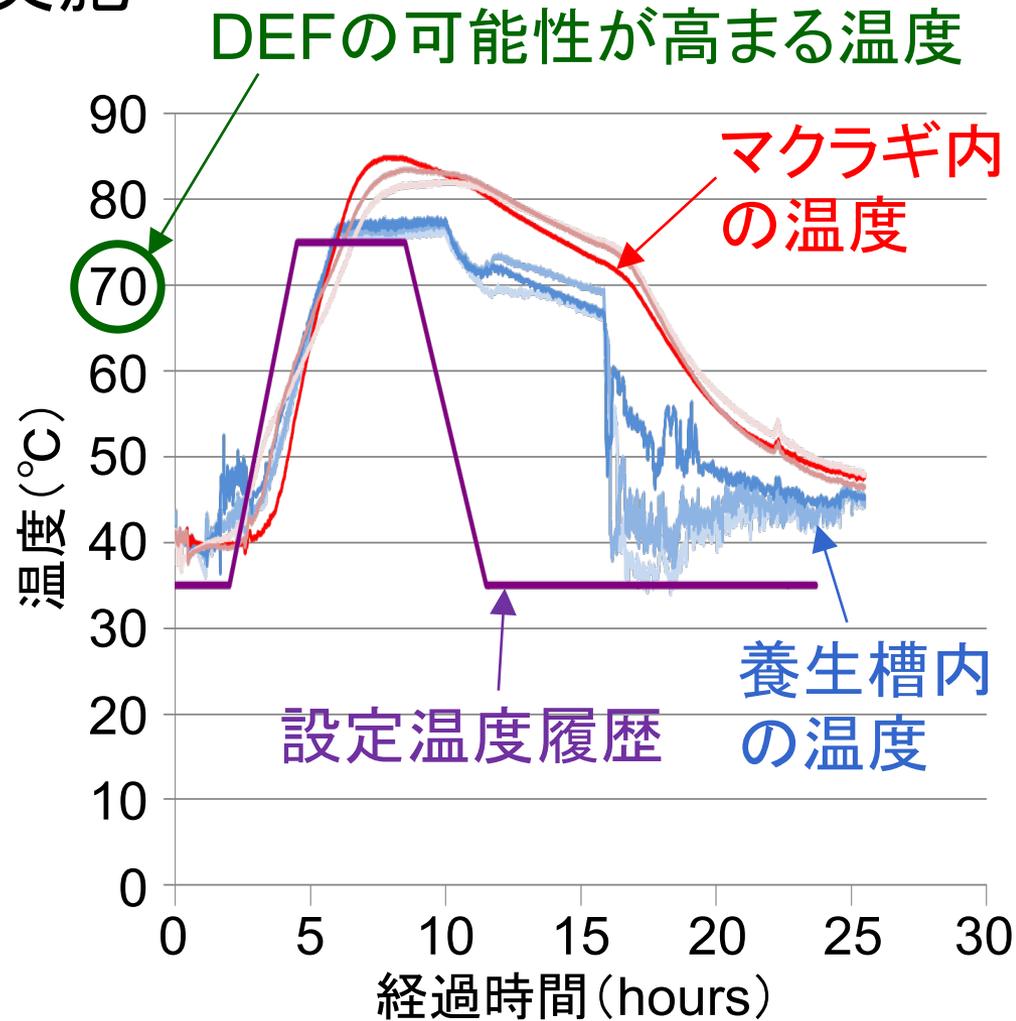
蒸気養生時の温度測定を実施



蒸気養生槽



熱電対とデータロガー



養生時の温度からも、DEFの発生が疑われる。

外観目視による劣化度判定

ざっくりと、表面のひび割れ性状からグレーディング

区分	呼び	ひび割れ幅と本数
I	損傷なし	ひび割れなし
		
II	軽度の損傷	最大幅1mm未満
		
III	中度の損傷	最大幅1mm以上2mm未満または1本のみ
		
IV	重度の損傷	最大幅2mm以上かつ複数本
		

内部のひび割れ状況(Ⅳ. 重度の損傷)

断面(1)

断面(2)

断面(3)



断面(1)



断面(2)

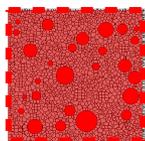


断面(3)

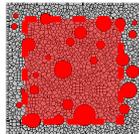
コア部にはマクロなひび割れが確認されず
→コア部のみに膨張ひずみが発生した可能性がある。

数値解析によるひび割れ機構の検討

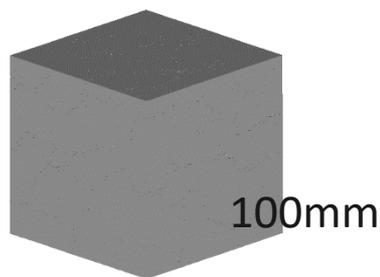
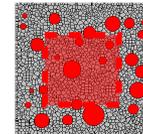
膨張箇所
全体



膨張箇所
内部75x75x75mm

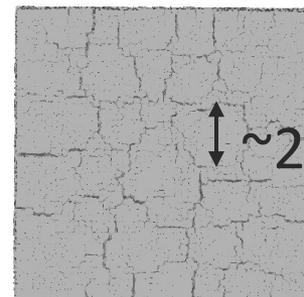
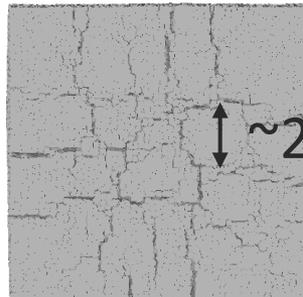
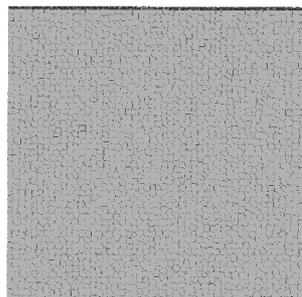


膨張箇所
内部50x50x50mm

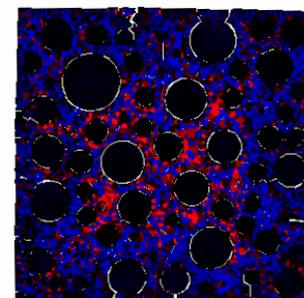
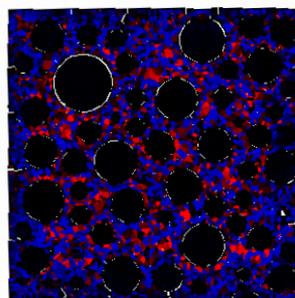
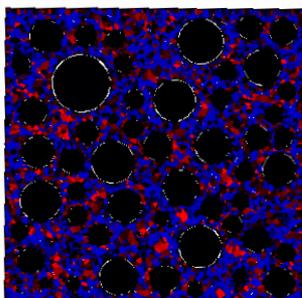
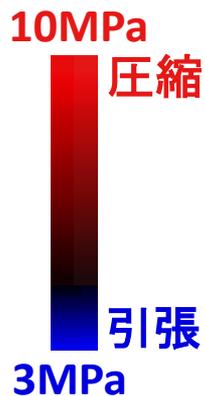


100mm 100mm

解析モデル



表面のひび割れパターン

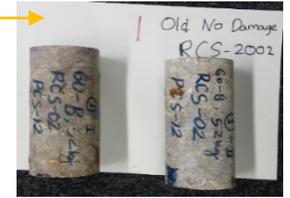


断面のひび割れパターンと応力分布

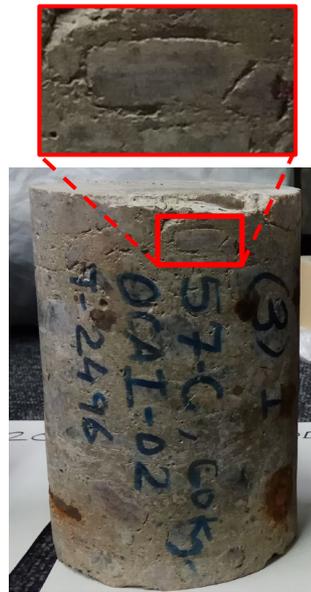
内部が膨張すると、実際のひび割れパターンに近くなる傾向

コア試験体の圧縮試験

I. 損傷なし
(2002年製造)

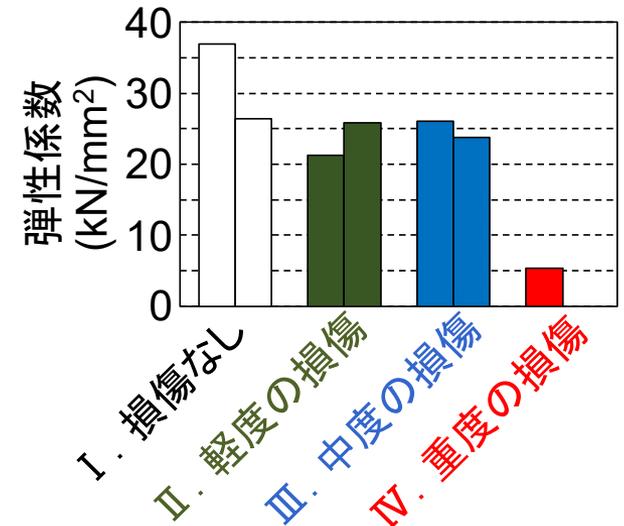
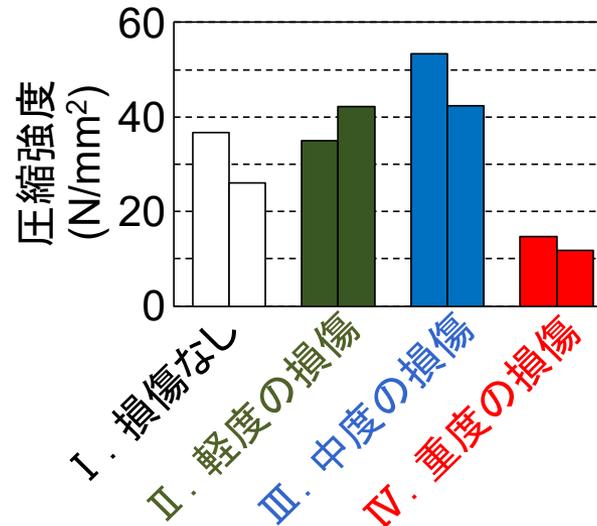


IV. 重度の損傷
(2002年製造)



「IV. 重度の損傷」でも
マクロなひび割れ無し
(ただしギャップが発生)

試験結果



「IV. 重度の損傷」は圧縮強度, 弾性係数
ともに大幅に低下している。

マクラギの曲げ載荷試験



マクラギ工場で実施(ライプルから車で約3時間)

PCマクラギ製造施設



曲げ試験の様子
(普段は品質管理
に使用)

マクラギの曲げ載荷試験

載荷前



支点

既存のひび割れ

$P=100\text{ kN}$



載荷によるひび割れ

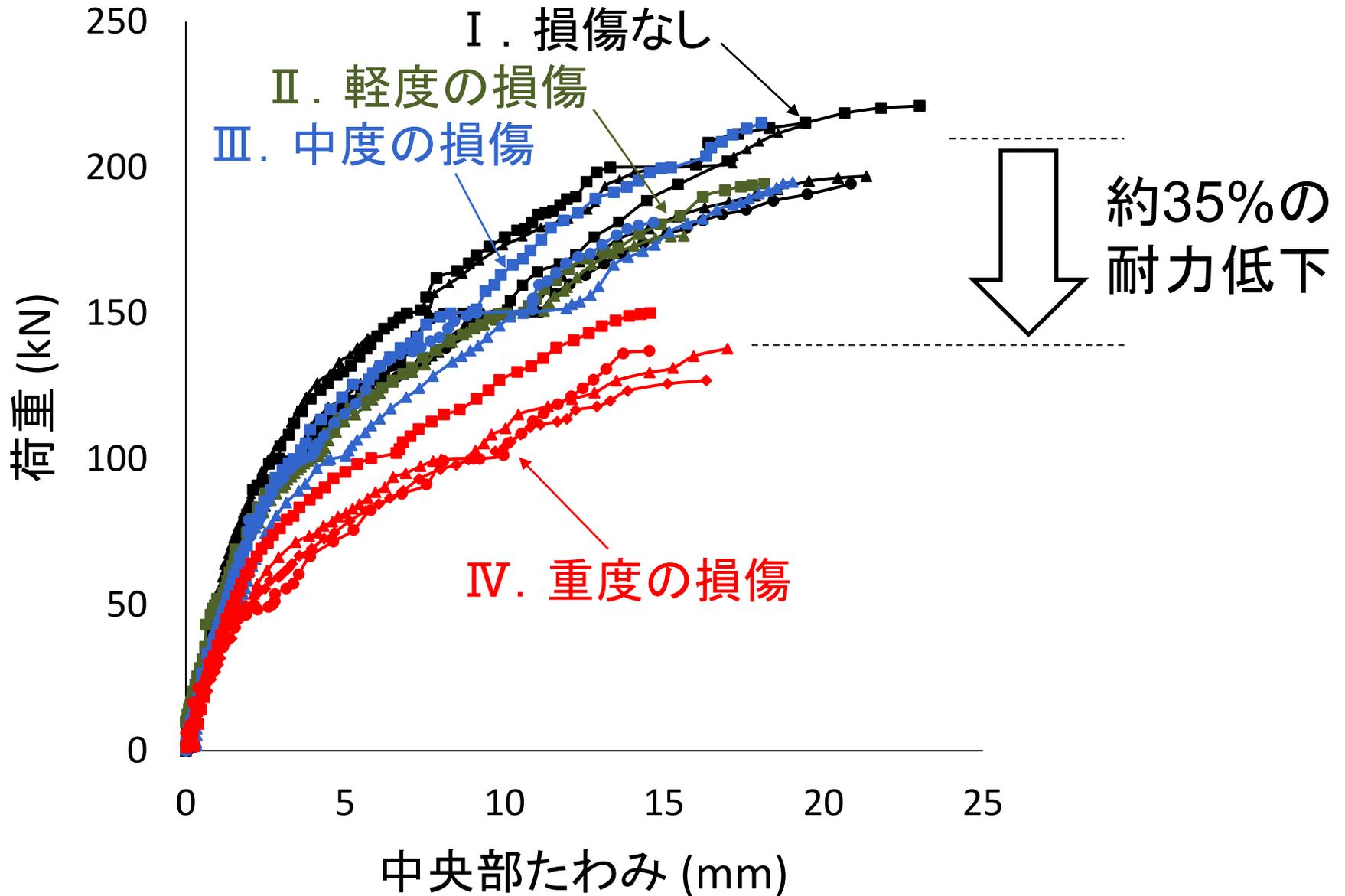
ピーク荷重後



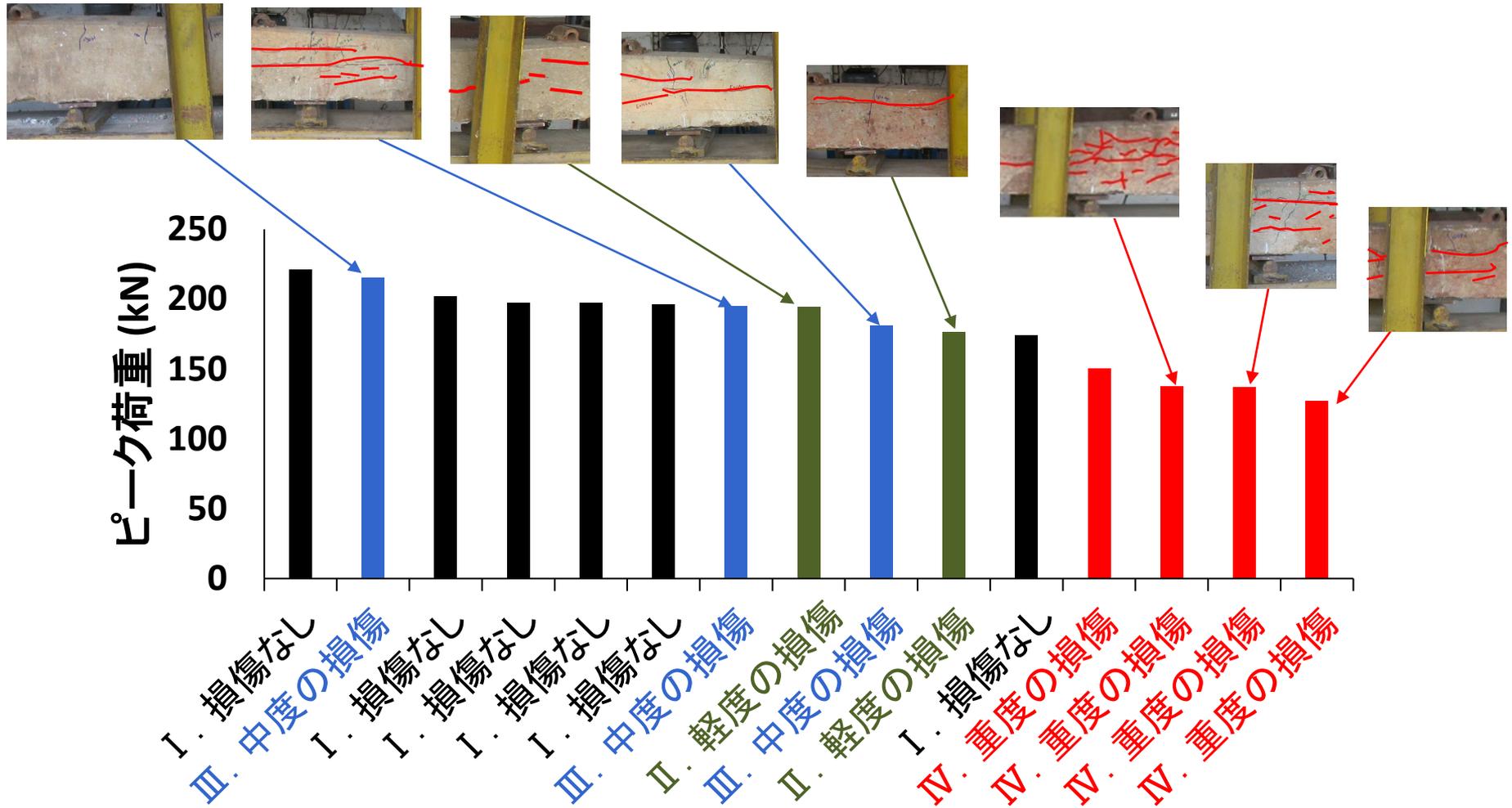
圧壊

「IV. 重度の損傷」 → 曲げ圧縮破壊により終局

マクラギの曲げ载荷試験



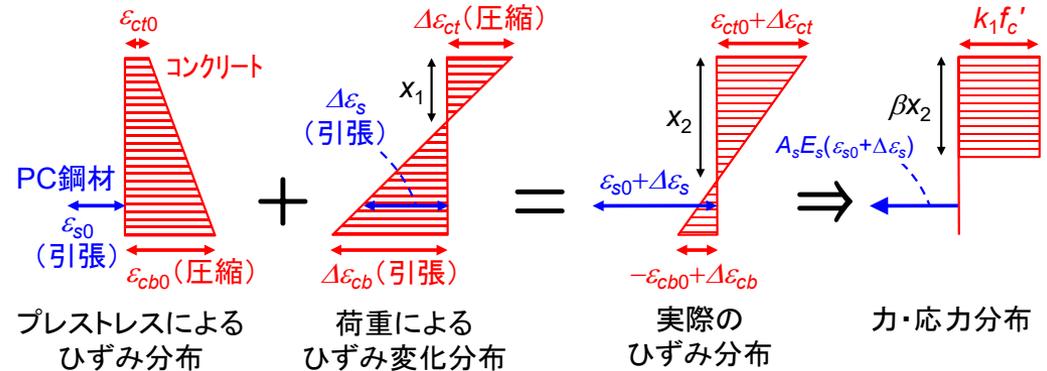
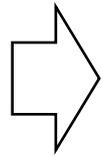
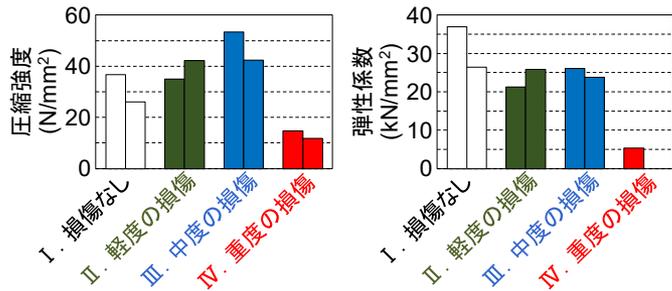
マクラギの曲げ载荷試験



軸方向ひび割れの本数が多いほど、耐力が低下する傾向
ひび割れが多い⇔膨張量が大きい⇔耐力低下

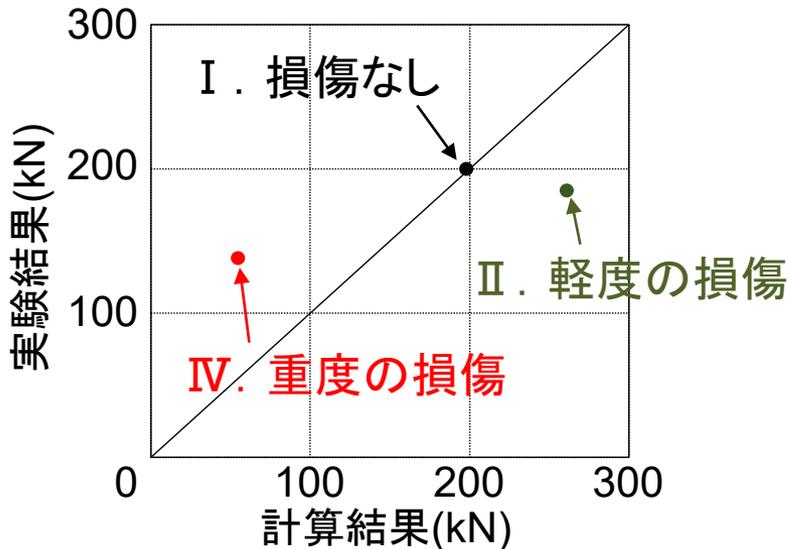
マクロ式による計算結果との比較

コア試験体の圧縮試験結果を用いた曲げ耐力計算を実施



プレストレストコンクリートの曲げ計算

※ 膨張ひずみや付着劣化によるプレストレス量の変動は無視



「IV. 重度の損傷」に対して、計算結果は過小評価する傾向にある。
 (マクロなひび割れを含まないコア部の強度で計算しているにもかかわらず)

まとめ

1. 内部ひび割れの調査結果から、インド鉄道のPCマクラギには、DEFによる膨張ひずみがコア部のみに発生したと考えられる。
2. マクロひび割れがないコア部のコンクリートも、DEFにより強度および弾性係数が低下する。
3. 外面のひび割れ状況に応じて、DEFが発生したPCマクラギの曲げ耐力は低下する。
4. ひび割れ幅と本数に基づく外観目視点検手法により、インド鉄道の損傷PCマクラギの取替え優先度を評価できると考えられる。

ご清聴ありがとうございました。