

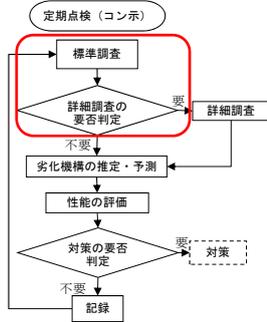
ひび割れ点検結果を利用した 劣化コンクリート構造物の 詳細調査要否の判定手法



京都大学大学院工学研究科
社会基盤工学専攻
准教授 山本 貴士

1. 鋼材腐食RC部材の腐食ひび割れ幅を利用した概略性能評価
2. ASR劣化PC部材のひび割れ密度を利用した概略性能評価

鋼材腐食RC部材の腐食ひび割れ幅を利用した概略性能評価



腐食ひび割れ幅情報からの推定腐食量
 ⇕
 概略性能評価
 ↓
 詳細調査の必要な腐食量の目安

構造物の外観上のグレード	劣化過程	安全性
グレードI	潜伏期	—
グレードII	進展期	—
グレードIII-1 (腐食ひび割れ発生)	加速期前期	—
グレードIII-2 (腐食ひび割れの幅や長さが進展)	加速期後期	耐力やじん性の低下 ・鋼材の断面減少 ・鋼材とコンクリートの付着力低下 ・剥落等によるコンクリート断面の減少
グレードIV	劣化期	—

健全性の診断における判定区分

区分	内容
I 健全	構造物の機能に支障が生じていない状態
II (C1) 予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
III (C2) 早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
IV 緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、または生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

地方自治体(京都府)の現状

- ・橋長数m~15mのRC上部工, RC橋脚への対応(管理橋梁数: 5880(2m~15m), 1199(15m~))
- ・市町村直営の点検を可能に
- ・C1, C2(今後5年で対策の要否)の判定内で優先度を付けたい

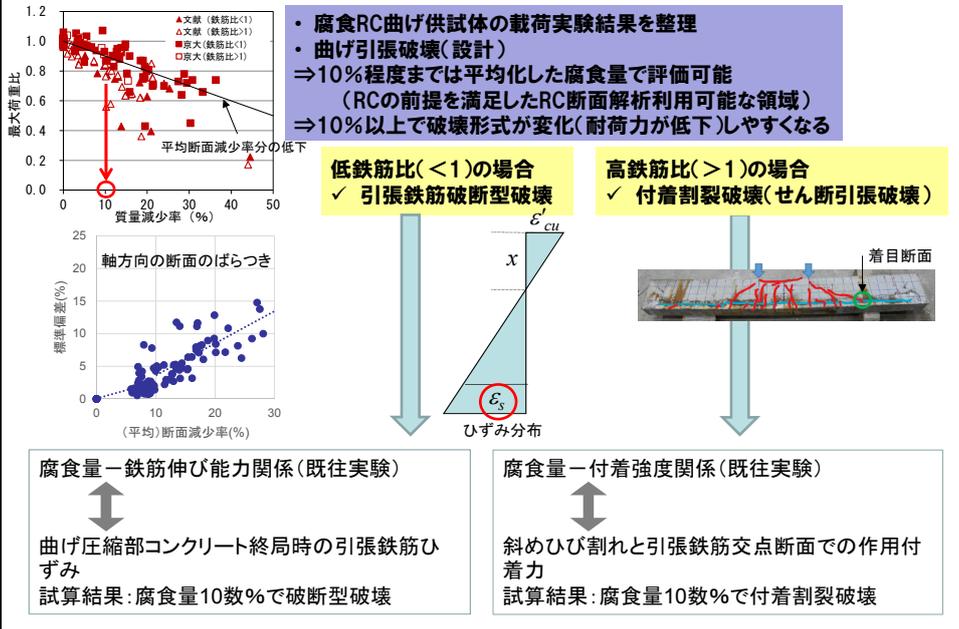
腐食ひび割れ幅利用の流れ

外観上のグレード	劣化過程	耐力・じん性	区分	内容
グレードI	潜伏期	—	I 健全	構造物の機能に支障が生じていない状態
グレードII	進展期	—	II 予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
グレードIII-1 (腐食ひび割れ発生)	加速期前期	—	III 早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
グレードIII-2 (腐食ひび割れの幅や長さが進展)	加速期後期	耐力やじん性の低下 ・鋼材の断面減少 ・鋼材とコンクリートの付着力低下 ・剥落等によるコンクリート断面の減少	IV 緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、または生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態
グレードIV	劣化期	—		

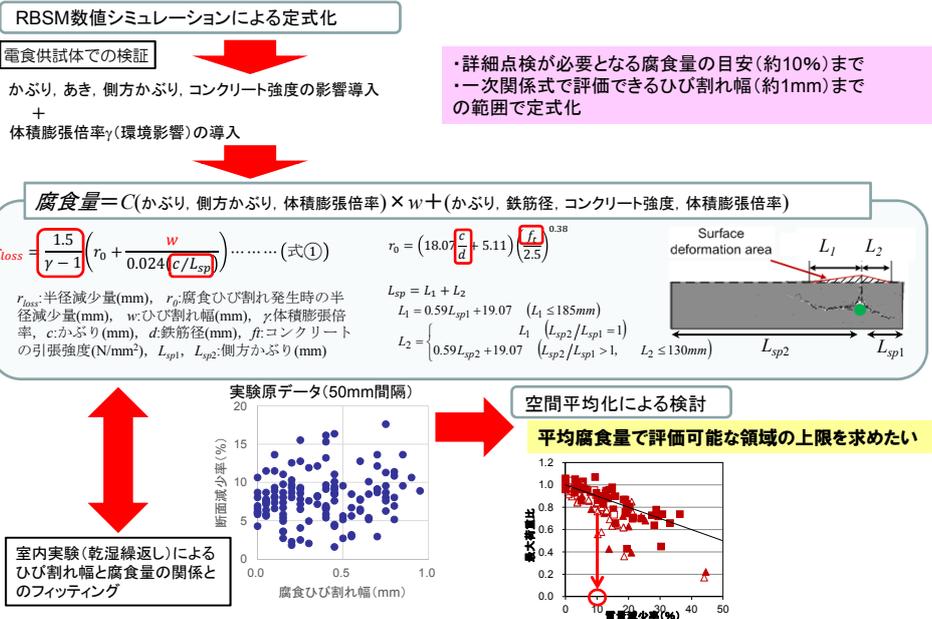
技術者の経験、鎌度への依存大



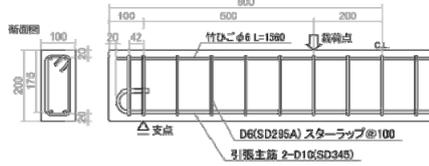
曲げ耐力を指標とした詳細調査要否判定のための腐食量



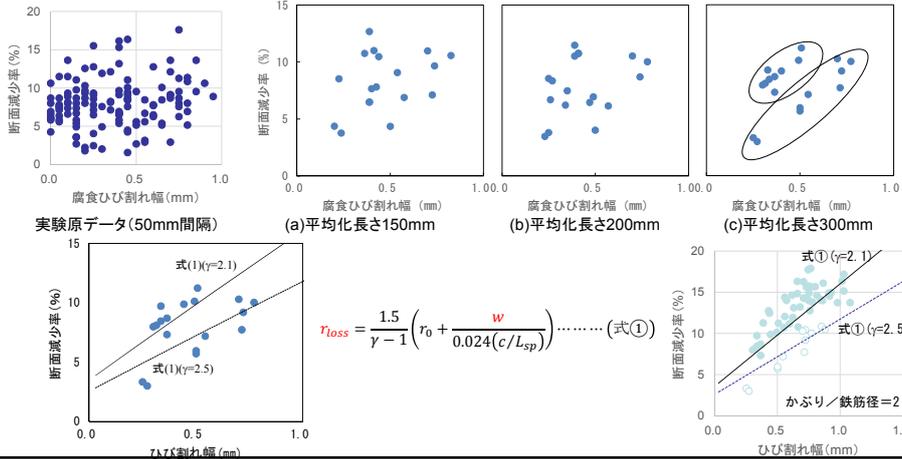
鉄筋の腐食量推定に用いるための腐食ひび割れ幅—腐食量関係



領域平均化した腐食ひび割れ幅－腐食量関係



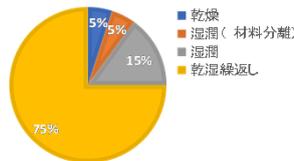
- RCはり供試体
 ✓ 乾湿繰返し(塩水散布)環境下
 ✓ かぶりc=20mm
 ✓ 主鉄筋2-D10
 ✓ 軸方向50mm間隔で鉄筋径, 腐食ひび割れ測定



実構造物での腐食生成物と環境条件の関係

チェックシート	
構造物名	(記入: 例〇〇高架橋)
部位	(記入例: 床版下面)
検査所在地	(記入例: ○〇都心△△町)
水濡り	多い 普通 少ない (該当するものに○をつけて下さい)
日当たり	良好 普通 悪い (該当するものに○をつけて下さい)
風通し	良好 普通 悪い (該当するものに○をつけて下さい)
さびの状態	A1 A2 A3 (明細を参照し該当するものに○をつけてください)

京都市での(2016年10月～)実構造物の腐食環境分類調査結果



環境条件	さびの状態	腐食速度	体積膨張倍率
湿潤	・鉄筋表面に薄い黒さび層が形成 (一部赤さびが混じることもある)	小さい	2.5倍程度
湿潤 (初期欠陥)	・生成した赤さびが溶出する ・孔食が生じることがある	大きい	溶出
乾燥	・鉄筋表面に薄い赤さび層が形成	小さい	3.1倍程度
乾湿繰返し	・黒さび層状さびが形成 (さび層表面には赤さびが生成していることも多い)	大きい	2.1倍程度

- ・ 環境条件 (チェックシート) をもとに腐食速度の推定
- ・ 現場技術者が判断した環境条件と腐食生成物の正答率は7割程度. 技術者講習により向上.
- ・ 腐食速度が推定できることにより, 対策の優先度, 補修工法・材料の選定が可能
- ・ マニュアルに, 環境条件例示およびさび見本を示す

腐食速度の概略推定(概略劣化予測)

>塩化物イオン供給環境
 >初期欠陥(豆板, 空洞等)

チェックシート	
橋梁名	(記入例: 例〇〇高架橋)
部位	(記入例: 床版下面)
橋梁所在地	(記入例: 〇〇都△△町)
水掛り	多い 普通 少ない (該当するものに○をつけて下さい)
日当たり	良好 普通 悪い (該当するものに○をつけて下さい)
風通し	良好 普通 悪い (該当するものに○をつけて下さい)
さびの状態	A1 A2 B C (別紙を参照に該当するものに○をつけて下さい)

腐食速度: 大
 入手不可能な場合
 さび見本
 さびサンプル入手可能な場合

解説表4.2 環境チェックシート項目と環境の対応

		日当たり・風通し	
		良好	悪い
水掛り	多い	乾湿繰返し環境 特に南向きで風を遮る建物や樹木がない場合は腐食速度が大きい	湿潤環境 腐食速度は小さい場合が多い
	少ない	乾燥環境 中性化は進行しやすいが、腐食速度は小さい場合が多い	乾湿繰返し環境 桁高が低く、橋梁下に草木などが生えている場合には、湿潤環境となる

必要に応じてさびの採取

環境条件	腐食速度	体積膨張倍率
湿潤	小さい	2.5倍程度
乾燥	小さい	3.1倍程度
乾湿繰返し	大きい	2.1倍程度

腐食ひび割れ調査結果を用いた診断マニュアル試案

1.適用範囲
本マニュアルは、定期点検において確認された、腐食の疑われるRCT桁およびRC橋脚を対象とする。
【解説】・対象となるRCT桁橋のリスト表示・腐食ひび割れを疑うひび割れの形態の提示

2.目的
RCT桁及びRC橋脚において発生した腐食に対し、立地環境、腐食生成物、ひび割れ幅から内部鉄筋の腐食量及び腐食速度を推定することにより、構造物の概略性能を評価し、対策区分の判定(詳細調査の要否の判断)を行う。

3.調査頻度
定期点検にあわせて実施することを原則とする。

4.調査方法
近接目視点検において、腐食(剥離、ひび割れ、さび汁)が確認された場合は、環境条件調査を行い、鋼材腐食に伴うひび割れの可能性がある場合は、ひび割れ幅調査を行う。
【解説】・点検の手順(フロー)

```

    graph TD
        A[近接目視] --> B{ひび割れ発生}
        B -- 無 --> END[END]
        B -- 有 --> C[環境条件調査(チェックシート)]
        C --> D{鋼材腐食の可能性}
        D -- 無 --> E[通常点検へ]
        D -- 有 --> F{浮き・剥離}
        F -- 無 --> G[ひび割れ幅調査]
        F -- 有 --> H[たたき落とし→直接測定]
        H --> I[腐食量の推定]
        G --> I
        I --> J[腐食速度の推定]
        J --> K[概略性能の評価  
詳細調査の要否判定]
    
```

● ひび割れ幅測定点 @50
 凡例 ~ : ひび割れ
 ○ : さび汁

解説図2.1 腐食ひび割れ幅の測定位置の例 (RCT桁)
※具体的な台帳で腐食の疑われる変状を有する例を取り出して示す。

腐食ひび割れ調査結果を用いた診断マニュアル試案

5. 概略性能の評価および対策区分判定(詳細調査の要否判定)

- (1) 限界の腐食量に達していないことは、4.で測定した**腐食ひび割れ幅の代表値**が、限界の腐食量の場合に部材表面に現れる**限界ひび割れ幅以下**であることを照査することで行う。
- (2) 腐食ひび割れ幅の代表値が、限界ひび割れ幅を超えている場合は、「健全性診断の判定区分」の「III 早期措置段階」にある可能性を考慮し、詳細点検および補修などの対策を検討しなければならない。4.で、浮き・剥離・剥落の存在が確認された場合も、「III 早期措置段階」の可能性を考慮して、同様に詳細点検および補修などの対策を検討する。
- (3) 腐食速度の概略推定は、4.の環境チェックシートの入力項目を元に行う。

概略性能評価

腐食ひび割れ幅の代表値(mm) ≤ 限界ひび割れ幅(mm) (式3.1)

環境(γ), 配筋位置ごとに作成

解説表5.1 限界ひび割れ幅(限界腐食量相当の腐食ひび割れ幅)

鉄筋 B	配筋径d									
	D10	D13	D16	D19	D22	D25	D29	D32	D35	D38
15	0.10	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.55	0.60	0.65
20	0.15	0.20	0.30	0.40	0.45	0.55	0.65	0.70	0.80	0.85
25	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.80	0.90	0.95	
30	0.15	0.30	0.40	0.55	0.65	0.80	0.95			
35	0.15	0.30	0.50	0.60	0.75	0.90				
40	0.35	0.50	0.70	0.85						
45	0.35	0.55	0.75	0.95						
50	0.35	0.60	0.80							
55		0.65	0.90							
60		0.65	0.95							
65		ひび割れが 表面に現れ	0.65							1.00mm以上 もしくは、浮き・剥離が先行
70		ない(内部 進展型)	0.70							
75			0.70							
80			0.70							

概略予測

チェックシート

さび見本の表示
(さびが採取できる場合)

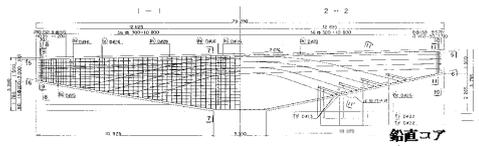
解説表5.2 環境条件と腐食速度の関係

環境条件	腐食速度
① 湿潤	小さい
② 乾燥	小さい
③ 乾湿繰返し	大きい

ひび割れをみの場合(立地条件からの概略判断)

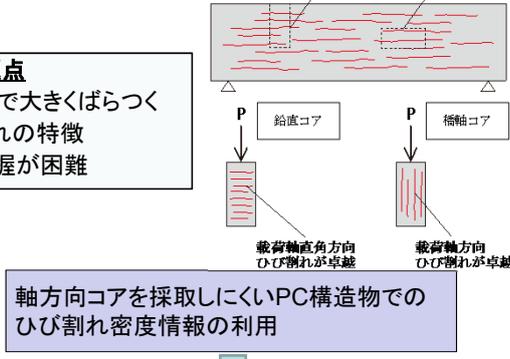
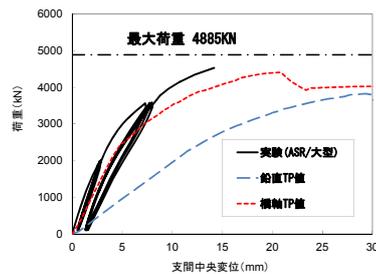
水掛り	日当たり・風通し	
	良好	悪い
多い	②乾湿繰返し環境 特に南向きで風を遮る建物や樹木がない場合は腐食速度が大きい	①湿潤環境 腐食速度は小さい場合が多い
少ない	②乾燥環境 中性化は進行しやすいが、腐食速度は小さい場合が多い	③乾湿繰返し環境 腐食速度が大きい場合が多い。ただし、桁高が低く、橋梁下に鉄木などが生えている場合には、湿潤環境となる

ASR劣化PC部材のひび割れ密度を利用した概略性能評価



ASR劣化したPC構造の性能評価の問題点

- ASRIによる劣化は、構造物や部材内で大きくばらつく
- PC構造物のASR劣化に伴うひび割れの特徴
- コアによるコンクリート力学特性の把握が困難



詳細調査の要否判定に用いる概略評価

ひび割れ密度を利用したコンクリート力学特性の把握

○自由膨張量とコンクリートの力学特性の関係

○PC部材のASRひび割れは通常のひび割れ密度(調査面積あたりのひび割れの延長)では, ある時期から飽和する傾向

⇒ひび割れ面積密度法(B法)

調査面積あたりのひび割れ長さ×ひび割れ幅を用いたひび割れ密度($m \cdot mm/m^2$)

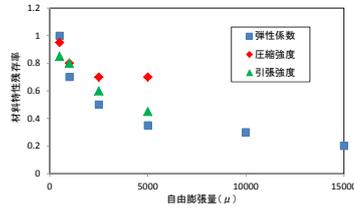


図 自由膨張量と材料特性残存率

ひび割れ面積密度法(B法)とコンクリートの力学特性残存率の関係を構築

⇒ ひび割れ点検結果を用いてコンクリートの力学特性を推定

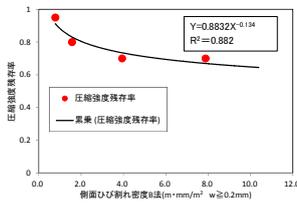


図 ひび割れ密度B法と f_c 残存率

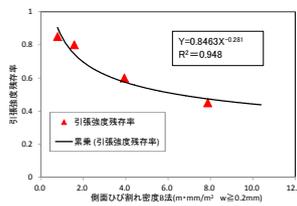


図 ひび割れ密度B法と σ_t 残存率

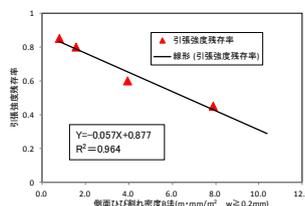


図 ひび割れ密度B法と E_c 残存率

軸方向のコンクリート力学特性の推定

ひび割れ面積密度法(B法)から求めたコンクリート力学特性

⇒軸直角方向(自由膨張)の力学特性

⇒PC部材の耐荷挙動解析に必要なプレストレス方向(軸方向)の力学特性を推定

軸方向のコンクリート力学特性推定値

= 軸方向変換係数 × ひび割れ面積密度法(B法)から求めたコンクリート力学特性
(自由膨張に近い軸直角方向(通常のコア採取方向)のコアの力学特性)

軸方向変換係数

・圧縮強度: 1.4, 引張強度: $f_c/24$, 弾性係数 E_c : 1.7

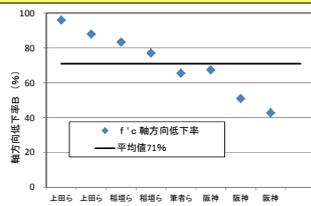


図 圧縮強度の軸方向低下率

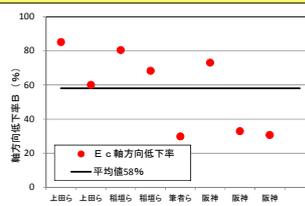
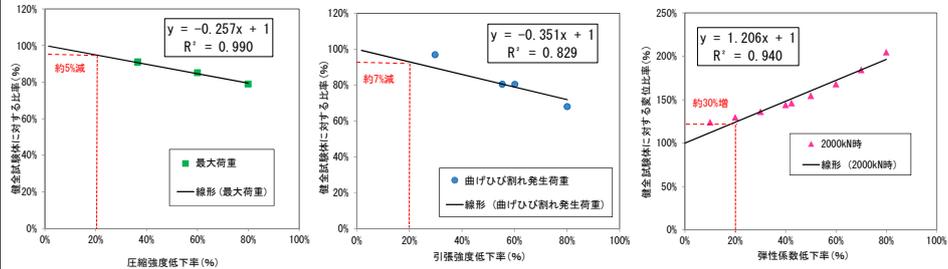


図 弾性係数の軸方向低下率

ASR劣化PC部材の曲げ耐荷性能試算によるコンクリート力学特性の低下限界値の検討

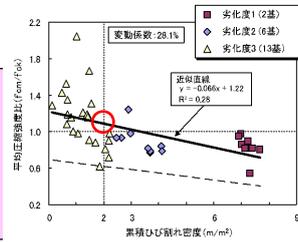


力学特性の低下率20%までであれば設計で想定する曲げ耐荷性能を大きく下回らない

↓ ひび割れ密度との関係

【設計時の性能を保持できる限界値】

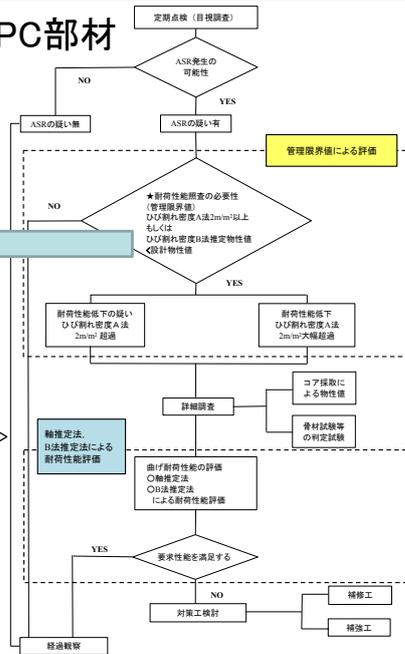
- ひび割れ密度(通常法) 2m/m²未満かつ,
- ひび割れ面積密度法(B法)での推定値 > 設計値



ひび割れ情報を用いたASR劣化PC部材の曲げ耐荷性能評価フロー

設計時の性能を保持できる限界値を用いた詳細調査要否のスクリーニング

★耐荷性能照査のための詳細調査が必要
○ひび割れ密度(通常法) 2m/m²以上
or
○ひび割れ面積密度法(B法)での推定値 < 設計値



おわりに

ひび割れ点検結果の性能評価への利用

・RC構造の腐食ひび割れ
・PC構造のASRひび割れ
を対象例として紹介

- 熟練技術者不足への対応
- 維持管理予算に配慮した優先順位付け
- ✓ AI技術によるひび割れのパターン認識技術の発展
- ✓ ひび割れ点検技術の向上

(あくまでも)

- ◆ 概略性能評価
- ◆ 詳細調査の要否の判断