

深層学習を用いた鉄筋コンクリート部材の地震損傷計測技術に関する研究

はじめに

近年、RC構造物の損傷量評価において、判定士の作業量を軽減しながら信頼性のある結果が期待できる点から、画像処理技術や人工知能を用いた損傷量評価の研究が進められている。2007年には、画像計測に最適な撮影条件が提案されているが、カメラの解像度の向上やUAVによる無人撮影など撮影技術の発達、および深層学習を用いた画像処理技術の発達した現代においては、撮影環境条件をアップデートする必要があると考えられる。

⇒ 現代技術に適したカメラ解像度、撮影距離、明るさなどの撮影環境条件を明確にすることを目的に考察を行った。

損傷量評価における深層学習

Semantic Segmentation

本研究では深層学習の中でもSemantic Segmentationという、大量の学習データからそれぞれの特徴を自動で認識し、画像内の物体をピクセルレベルで推定することができる技術を、画像計測手法として適用した。

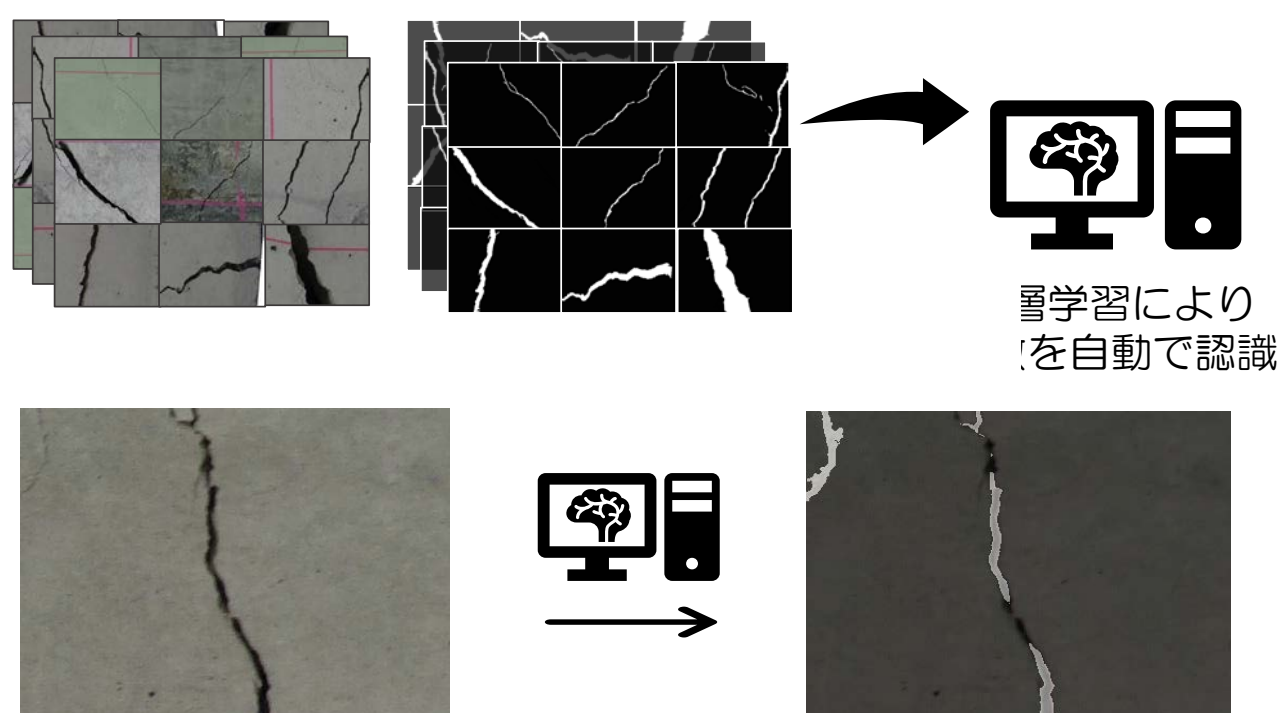
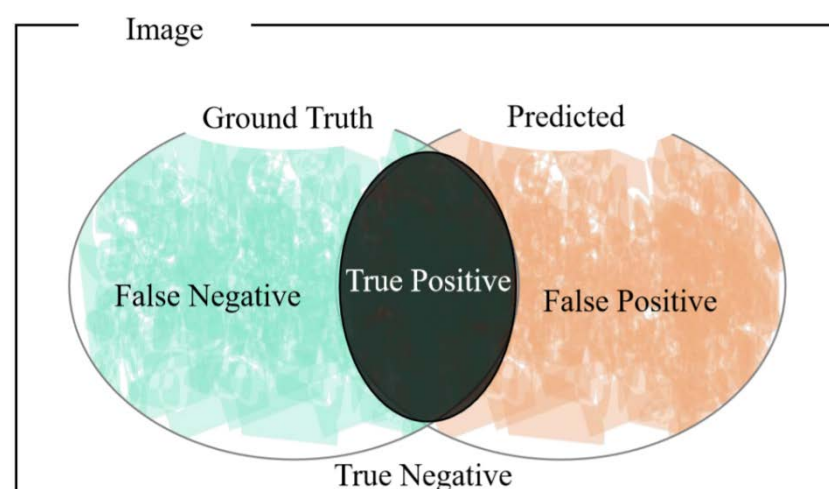


図 Semantic Segmentation 概念図

損傷の検出精度

Semantic Segmentationによる出力結果は、4つの領域に分けられる。



True Positive: 実際に生じているひび割れを正確に検出出来た領域

True Negative: 背景部分(ひび割れ以外の部分)を正確に背景であると判断した領域

False Positive: 背景であるにもかかわらずひび割れだと判断してしまった(誤検出した)領域

False Negative: 実際にひび割れが生じているにもかかわらず検出出来なかった(検出漏れした)領域

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \left\{ \begin{array}{l} TP: \text{正確に検出できたピクセル数} \\ FN: \text{検出漏れしたピクセル数} \end{array} \right.$$

損傷量を危険側(実際より少なく)評価する検出漏れ(True Positive)は避けるべきであるが、誤検出(False Negative)は損傷量を安全側(見落としなく多めに)評価することからある程度許容できる。

➤ 本研究では、検出精度を表す指標として検出漏れのみに依存するRecallを採用した。



人間の判断

AIの判断

検出の正誤画像

検討方法

損傷画像の撮影

RC梁試験体の曲げ試験を実施し、撮影環境を変化させながら破壊した試験体の撮影を繰り返した。この時、変更する撮影環境パラメータは既往の基準をもとに解像度・撮影距離・照度とし、計40種類の損傷画像を取得した。また、画角は標準状態で一定とし、撮影角度をつける必要がないことから、部材に対して正対の状態での撮影を行った。



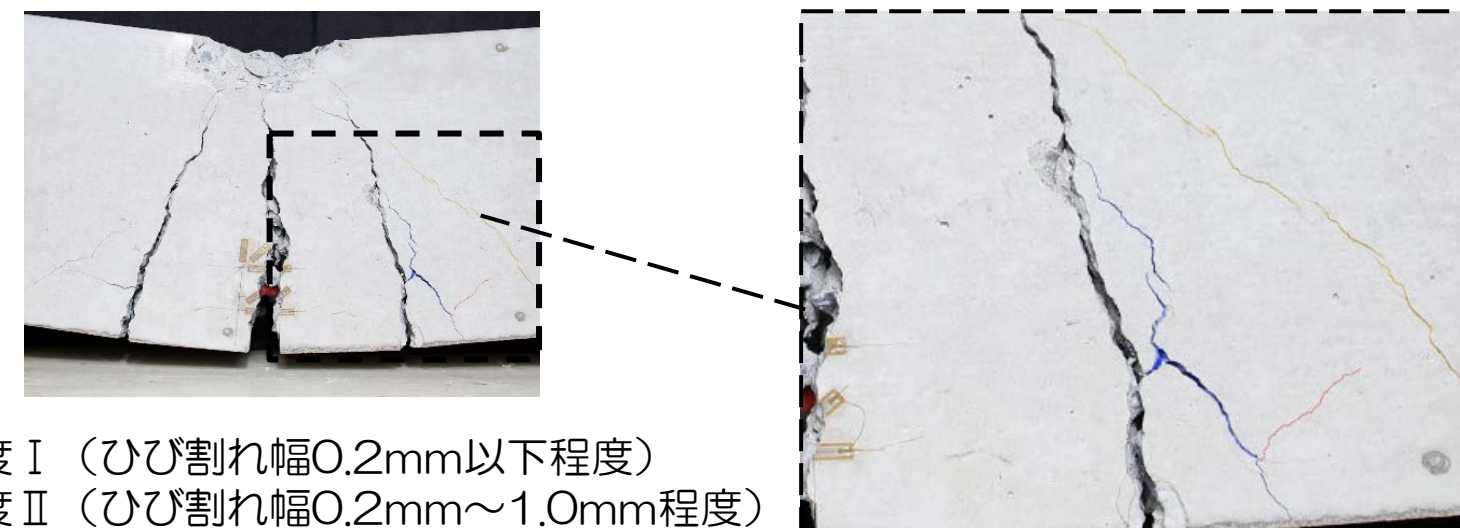
図 撮影状況

表 検証パラメータ

		照度 (lx)							
		75	100	200	300	500	750	1000	1500
撮影距離 (mm)	500	○	○	○	○	○	○	○	○
	1000	○	○	○	○	○	-	-	-
	1500	○	○	○	○	-	-	-	-
	2000	○	○	○	○	-	-	-	-
	2500	○	○	○	-	-	-	-	-

		照度 (lx)							
		75	100	200	300	500	750	1000	1500
解像度 (× 10^6画素)	5060	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)
	2000	○	○	○	○	○	○	○	○
	1200	○	○	○	○	○	○	○	○

Semantic Segmentationの適用



- 損傷度 I (ひび割れ幅0.2mm以下程度)
- 損傷度 II (ひび割れ幅0.2mm～1.0mm程度)

図 損傷検出の対象とするひび割れの抽出

それぞれの画像から損傷度 I、損傷度 II のひび割れを抽出し、Semantic Segmentationを適用させた。この時、Recallが大きいものの対象のひび割れを正しく認識していない場合は無効な検出と設定し、検出結果に反映させた。

適切な画像計測のための撮影環境条件の推定

検出結果

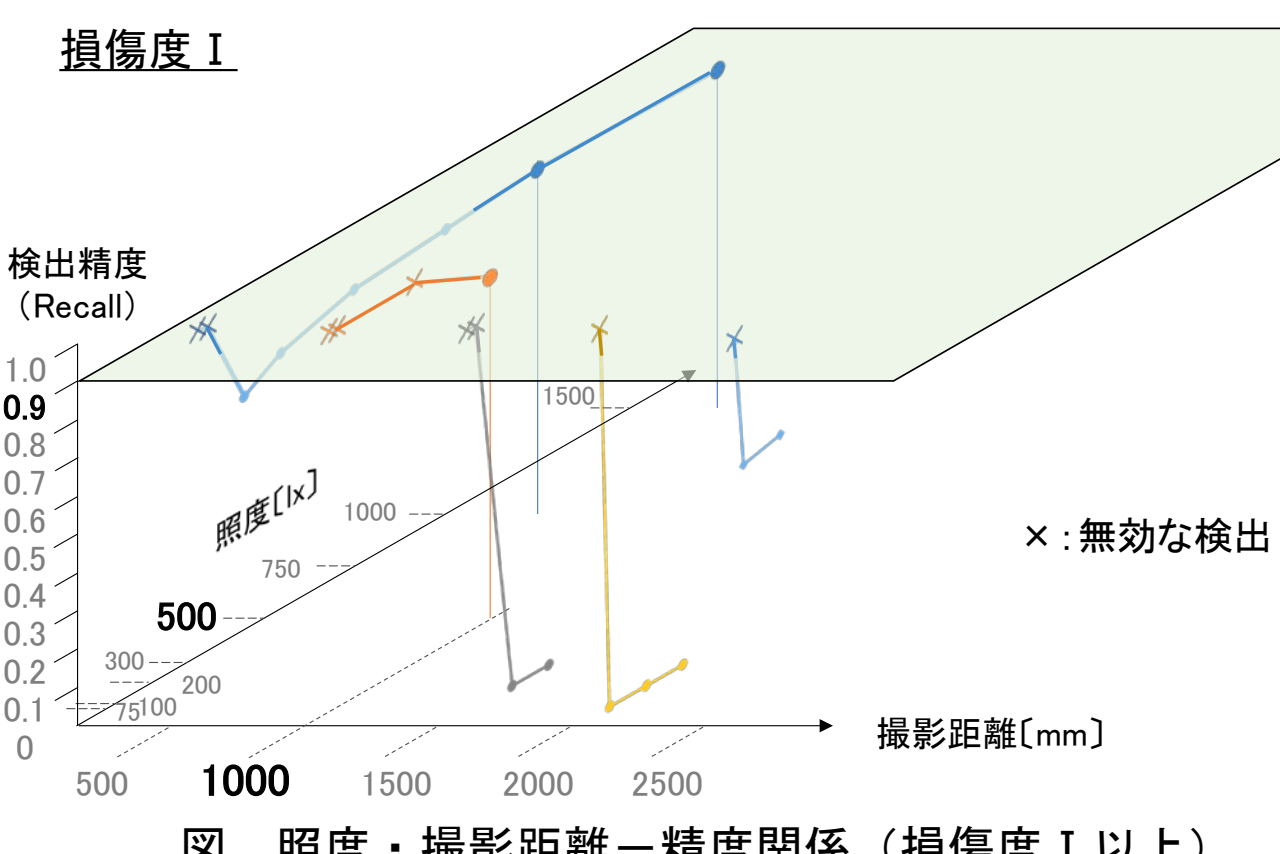


図 照度・撮影距離—精度関係 (損傷度 I 以上)

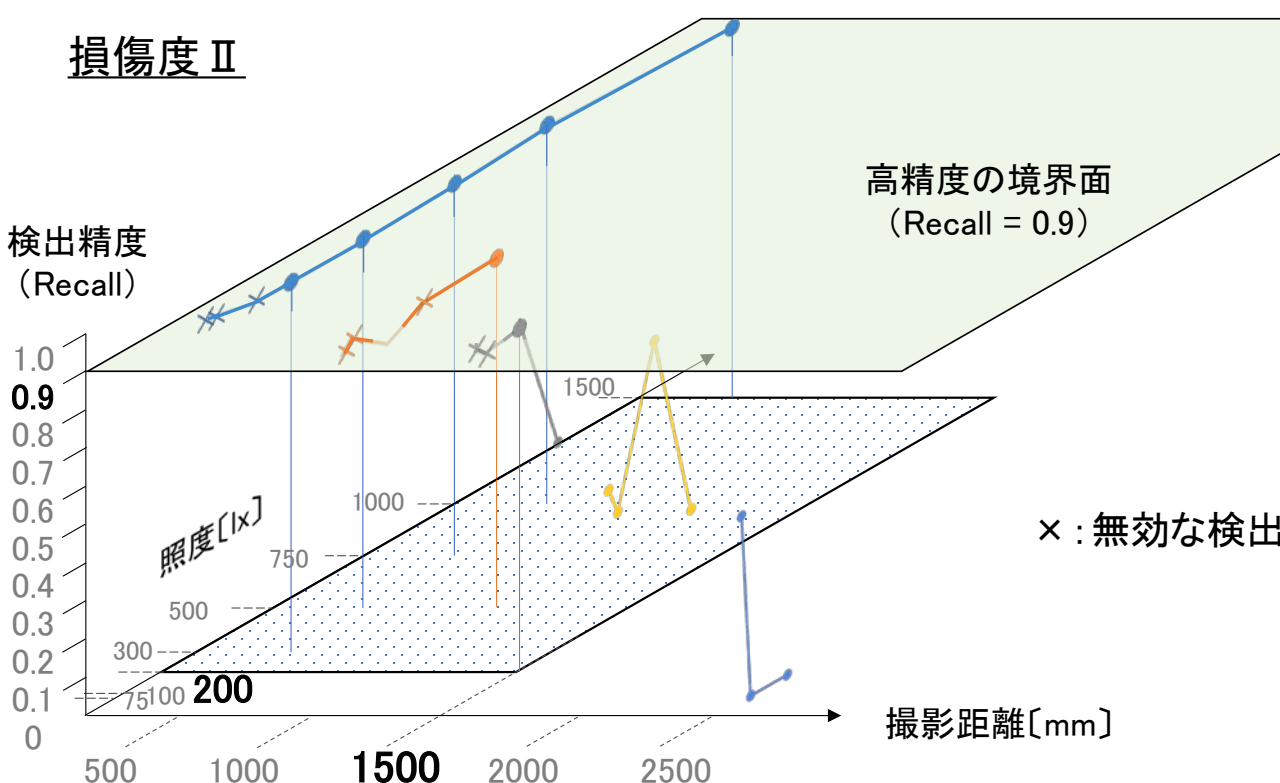


図 照度・撮影距離—精度関係 (損傷度 II 以上)

撮影環境条件の提案

表 損傷度 I 以上の場合の撮影環境条件

項目	留意点
カメラ	有効画素数約2000万画素以上
画角	広角レンズ(焦点距離24mm程度)の場合 0.55m×0.37m以内を確保する 標準レンズ(焦点距離50mm程度)の場合 0.55m×0.37m以内を確保する 望遠レンズ(焦点距離200mm程度)の場合 0.18m×0.12m以内を確保する
撮影距離	光学ズームを使用しない場合、距離を1m以内にすることで条件を満足する(広角レンズ使用時)
撮影角度	正対(撮影角度0°)を標準とする
明るさ(照度)	照度は500ルクス以上 フラッシュは使用しない

表 損傷度 II 以上の場合の撮影環境条件

項目	留意点
カメラ	有効画素数約1200万画素以上
画角	広角レンズ(焦点距離24mm程度)の場合 2.1×1.4m以内を確保する 標準レンズ(焦点距離50mm程度)の場合 1.08m×0.72m以内を確保する 望遠レンズ(焦点距離200mm程度)の場合 0.27m×0.18m以内を確保する
撮影距離	光学ズームを使用しない場合、距離を1.5m以内にすることで条件を満足する(広角レンズ使用時)
撮影角度	正対(撮影角度0°)を標準とする
明るさ(照度)	照度は200ルクス以上 フラッシュは使用しない

➤ 照度を変更して損傷部材を撮影した結果、損傷度 I 以上のひび割れに対しては、1000mm以内、500lx以上、損傷度 II 以上のひび割れに対しては1500mm以内、200lx以上が最適な環境であることが確認された。

➤ 解像度を変更した結果、スマートフォン相当の解像度(1200万画素程度)でも十分な検出が可能であったが、解像度が高くなるにつれて検出精度が向上する傾向が確認された。