

画像解析を用いた水平模擬ひび割れを有する RC 梁の曲げ挙動に関する検討

Observation on the Flexural Behaviors of RC Beams with Artificial Horizontal Cracks by Image Analysis

| | | |
|-------------------|------|---------------------------|
| 北海道大学大学院工学院 | ○学生員 | 松江 晃太 (Kota Matsue) |
| (国研) 土木研究所寒地土木研究所 | 正員 | 角間 恒 (Ko Kakuma) |
| 北海道大学大学院工学研究院 | 正員 | 松本 高志 (Takashi Matsumoto) |
| (国研) 土木研究所寒地土木研究所 | 正員 | 西 弘明 (Hiroaki Nishi) |

1. まえがき

道路橋 RC 床版では、従来報告されてきた疲労による損傷に加えて、塩害や凍害、アルカリシリカ反応等によるものと考えられる損傷が報告されている。疲労の劣化損傷はよく知られているように、床版下面において一方向ひび割れ形成の後に二方向ひび割れが形成されて、最終的には梁状化した床版が押し抜きせん断破壊をする形態をたどる。また、塩害においては鉄筋腐食により局所的な水平方向のひび割れが発生するという形態を呈する。こうした床版の内部に生じる形態の劣化損傷については、劣化損傷の範囲・度合と構造性能との関係がまだ明らかでない点が多く、その解明が必要とされている。

本研究では、内部劣化が生じた床版の性能評価手法の確立に向けた基礎的段階として、劣化部を有する梁部材の静的載荷実験を実施する。本検討では、膨張剤とコンクリートの練混ぜ水との反応により発生する膨張圧を利用して人工的に水平方向の模擬ひび割れを導入したもの、さらにはその後補修を加えたものを対象とし、比較検討する。こうした RC 部材においては、載荷前に形成された模擬ひび割れ及び載荷に伴い形成されるひび割れ周りに複雑な変位が生じ、構造挙動・性能にも影響を及ぼすものと考えられる¹⁾²⁾。ここでは、既往の研究²⁾でも有性が示されている画像解析を用いて、面的な変位場を測することで最大及び最小主ひずみを算出し変形挙動特徴を捉えることを目的としている。

2. RC 梁の曲げ載荷実験

2.1 供試体

図-1に供試体の寸法及び配筋図を示す。曲げ載荷実験に用いた供試体は、長方形断面のRC梁(長さ1700mm 高さ200mm、幅100mm)である。供試体の支間長1400mm、せん断スパン500mm、曲げスパン400mm、せん断スパン比は3.3であり、せん断スパン内にはせん断補強筋が100mm間隔で配置されている。本供試体はせん断余裕度1.83の曲げ破壊型として設計されている。図-1に示す基準供試体(N)、導入ひび割れ位置の異なる補修を含まない供試体3種類(Lシリーズ)、さらにLシリーズにそれぞれ補修を加えた3種類(RLシリーズ)、計7種類の供試体を使用した。供試体の模擬劣化は上側鉄筋もしくは下側鉄筋の位置への膨張剤の散布により、局所的な水平方向のひび割れを導入している。模擬劣化部ではコンクリートのポップアウトやひび割れを載荷前に確認している。また、補修は供試体中央部から±100mm、

300mmの位置、計4ヶ所に上面から170mm(下側鉄筋位置)まで削孔し樹脂を注入した(図-1)。

2.2 載荷方法

載荷は4点曲げ載荷により行われた。荷重は、幅50mm、厚さ9mmの載荷板を介して供試体に作用させ、荷重が均一に伝わるように供試体と載荷板の間には石膏を設置する。載荷は、概ね曲げひび割れの発生までは荷重制御により、それ以降は変位制御で行った。計測項目は、画像解析に加えて、荷重、変位、表面ひずみ(コンタクトゲージ)としている。

3. 画像解析手法

3.1 画像撮影

画像撮影にはNikonのデジタルカメラD3100を使用した。画素数は4608×3072ピクセル(約1400万画素)である。撮影は供試体の側面を対象とした。まず載荷前(変形前)に撮影を行い、載荷開始後(変形後)として、降伏点までは約10kNごとに画像撮影を行い、降伏点以降は

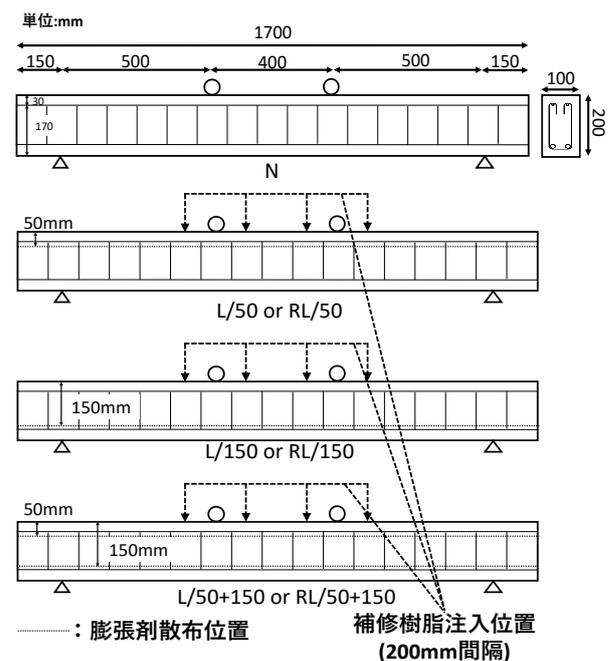


図-1 供試体概要

クトゲージは同じ面に設置とし、撮影範囲に含む。

3.2 画像相関

撮影した画像は二値化画像に変換している。二値化画像において、100ピクセル間隔で格子状に着目点を供試体側面に設定する。着目点は補修無では各スパンそれぞれ梁軸方向に51点、梁高さ方向に19点の合計969点とし、補修有では左右の範囲それぞれ梁軸方向に68点、梁高さ方向に19点の合計1292点とした。

変形前画像において、128×128ピクセルの正方形領域を二値化画像から切り出した。一方で、変形後画像からは256×650ピクセルの長方形領域を切り出した。長方形領域は、変形した着目点を含むように、変位方向に長辺を取っている。切り出した領域の外の値を0(黒)とし、それぞれ切り出した画像を含む700×700ピクセルの画像を作成した。

変形前後の着目領域画像について相互相関を求め、最大値を得る位置が変形後の着目点である。変形前後の着目点の位置により変位を求めることができる。

3.3 ひずみの算出

得られた変位量よりひずみを求める。格子状にある4つの着目点の水平方向変位と鉛直方向変位より、梁軸方向ひずみと梁高さ方向ひずみを経て、最大主ひずみ、最小主ひずみが求められる。

4. 結果

図-2に各供試体の荷重-変位曲線を示す。表-1に各供試体の降伏荷重と変位、図-2(b)との合致点を示す。Nと比較し、Lシリーズ及びRLシリーズの降伏荷重、最大荷重は低下した。供試体の破壊形態はいずれも曲げ破壊であった。

本論文では、主に降伏点直前のLシリーズ及びRLシリーズの供試体撮影画像について行った画像解析結果について述べる。図-3に載荷後のNの供試体表面の全ひび割れのスケッチを示す。図-4から図-6にはLシリーズ及びRLシリーズの降伏点直前の最大主ひずみと最小主ひずみの分布図及びベクトル図を示す。図中には、載荷後の各供試体裏面の導入ひび割れを含んだ全ひび割れのスケッチを透視図として重ねて表示する。

4.1 L/50 と RL/50

L/50 について、ひび割れスケッチでは、曲げひび割

れの発生位置や本数が N と同様であることが確認できる。また、N では曲げひび割れが圧縮縁近辺までひび割れが進展しているが、L/50 では水平ひび割れ位置より上方へ進展しづらくなる傾向があることがわかる。最大主ひずみでは曲げスパンで発生した曲げひび割れに対応する分布が見られ、曲げスパン中心部で大きな開口ひび割れに対応した分布が確認できる。これらは反対側側面のひび割れスケッチと概ね一致している。左側せん断スパンでは開口ひび割れの進行方向が水平ひび割れ位置で導入ひび割れ方向に変わったことが確認できる。最小主ひずみでは、曲げスパン圧縮縁での水平ひび割れ位置より上側で水平方向に潰れる圧縮方向の分布が見られる。また、ひずみベクトル図よりせん断スパンでの水平ひび割れの水平方向のずれが確認できる。

RL/50 について、ひび割れスケッチでは、ひび割れ発生範囲および進展傾向は L/50 と同様に水平ひび割れ位置より上方へ進展しづらい傾向にあることがわかる。最大主ひずみでも L/50 と同様の曲げひび割れによる分布が見られ、右側せん断スパンで下方からのひび割れ進展が水平ひび割れにつながる挙動がみられる。最小主ひずみでは、右側せん断支間の水平ひび割れでは、載荷点と支点を結ぶ斜め方向の局所的な圧縮ひずみ分布が確認でき、水平ひび割れが閉口方向に潰されながらずれていることがわかる。また、曲げスパン圧縮縁での圧縮ひずみ分布範囲及び傾向は L/50 と同様であった。

以上から、中立軸が水平ひび割れ位置近辺にあると推察される。また、せん断スパンにおいて水平ひび割れのずれが確認できた。

表-1 降伏荷重と変位

| 供試体 | 降伏荷重 (kN) | 変位 (mm) | 図-2(b)との合致点 |
|-----------|-----------|---------|-------------|
| N | 64.4 | 5.67 | — |
| L/50 | 55.9 | 6.23 | (1) |
| RL/50 | 54.1 | 5.58 | (2) |
| L150 | 58.8 | 5.32 | (3) |
| RL/150 | 53.3 | 5.93 | (4) |
| L/50+150 | 53.7 | 6.58 | (5) |
| RL/50+150 | 53.4 | 6.45 | (6) |

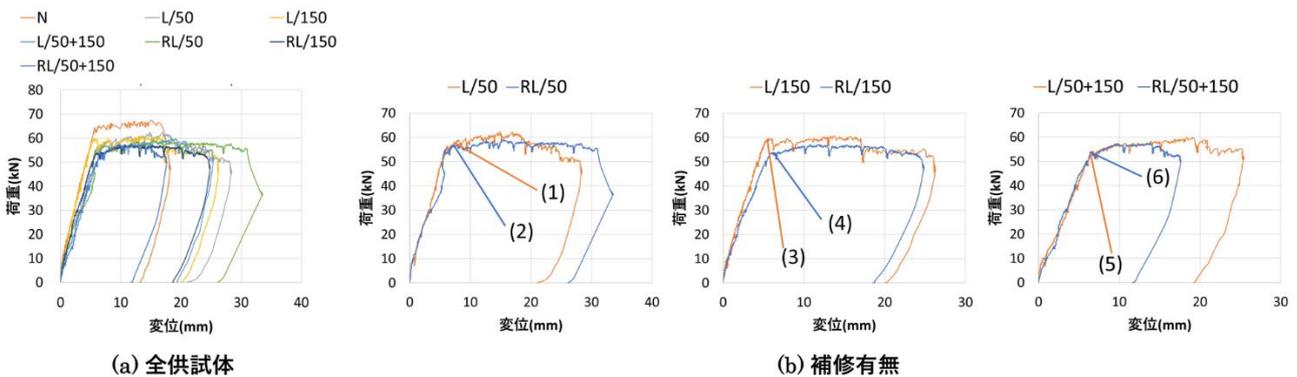


図-2 荷重-変位曲線

4.2 L/150 と RL/150

L/150 について、ひび割れスケッチから水平ひび割れとつながるせん断ひび割れの発生が確認できる。また、N と比較してひび割れ発生範囲は曲げスパン側にやや縮小傾向にあるが、曲げひび割れ進展の程度はNと同様であった。最大主ひずみでは水平ひび割れに沿った局所的

なひずみ分布がみられ、開口しながらずれが生じている。下縁側では曲げひび割れが水平ひび割れ位置で屈曲して進展している。最小主ひずみでは、載荷板近傍を中心とした梁高さ方向の局所的な圧縮ひずみがみられ、曲げスパン圧縮縁での圧縮ひずみは L/50 と比べて小さく、幅も小さいことがわかる。

RL/150について、最大主ひずみではL/150同様に水平ひび割れ位置での局所的な分布が確認でき、ひび割れスケッチからもひび割れの発生範囲及び進展傾向が類似していることがわかる。最小主ひずみでは載荷板近傍での強い分布は見られず、L シリーズでみられた程度の水平ひび割れ位置周辺での明瞭な差異も確認できなかった。



図-3 N ひび割れ性状

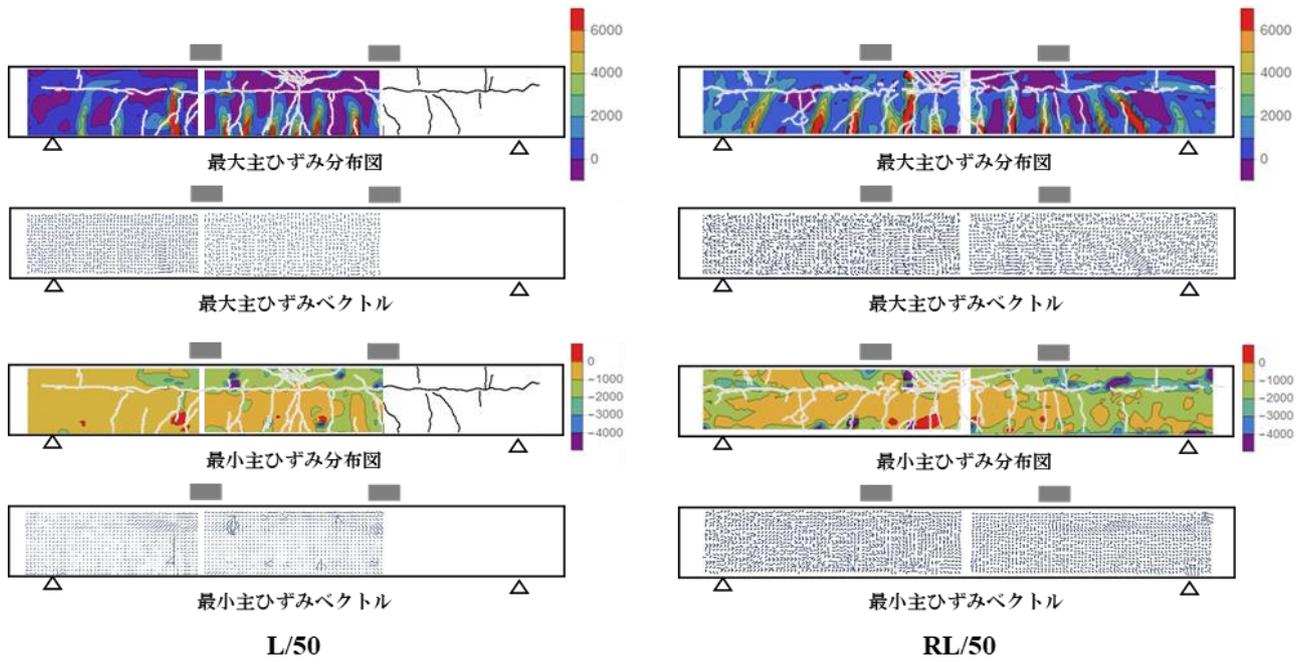


図-4 L/50 と RL/50 最大主ひずみ及び最小主ひずみ

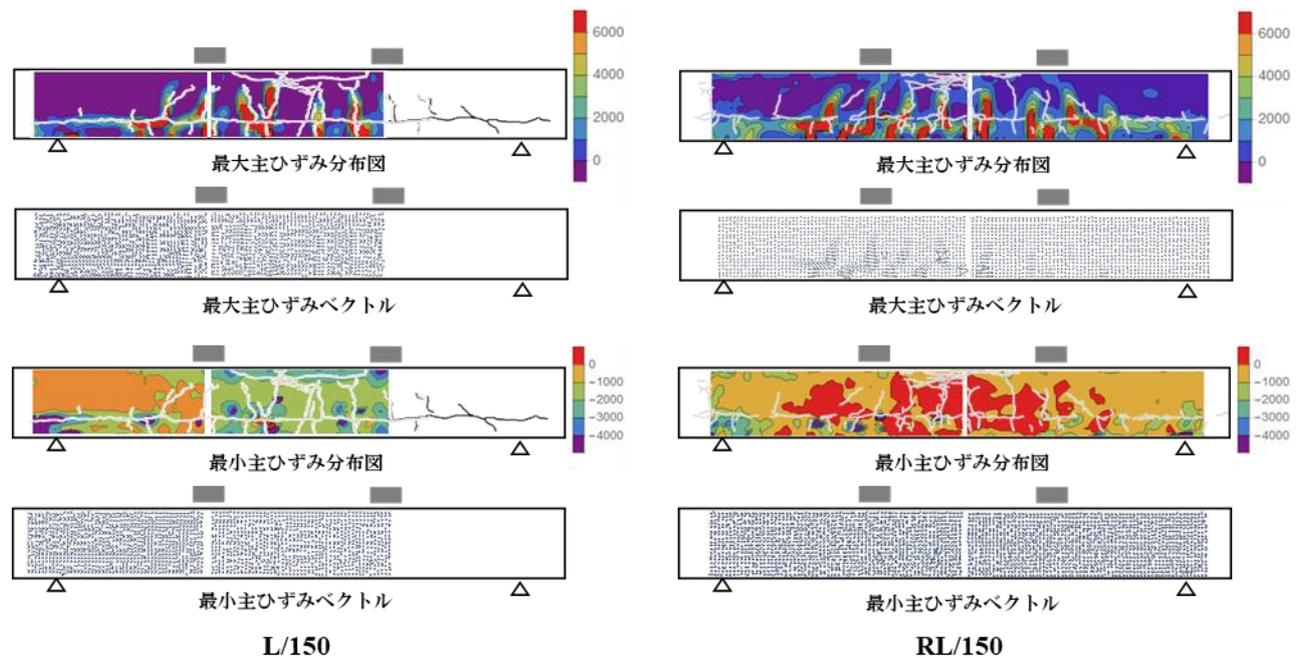


図-5 /150 と RL/150 最大主ひずみ及び最小主ひずみ

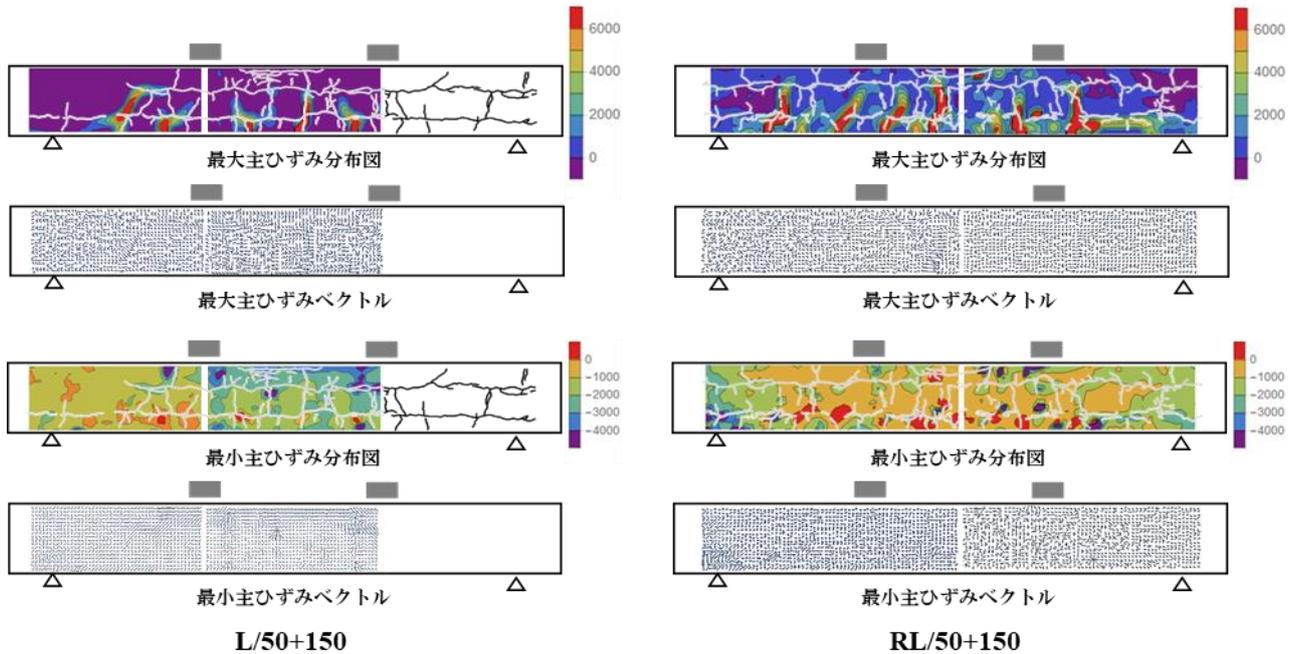


図-6 L/50+150 と RL/50+150 最大主ひずみ及び最小主ひずみ

また、ベクトル図から水平ひび割れが開口しながらずれが生じていることが左右のせん断スパンそれぞれで確認できる。

以上から、下縁側で発生する曲げひび割れが水平ひび割れ位置で屈曲して進展する傾向がみられる。また、水平ひび割れが開口しながらずれが生じる挙動が確認できた。

4.3 L/50+150 と RL/50+150

L/50+150 について、曲げひび割れの本数、発生範囲が L/150 と同様であり、N と比較すると曲げスパン方向にやや縮小傾向にある。最大主ひずみでは導入ひび割れ周辺で顕著なひずみ分布はなく、左側せん断スパンでの上下の水平ひび割れをつなぐせん断ひび割れの発生が特徴的である。上側水平ひび割れ位置では L/50 同様に、水平ひび割れ位置より上方にひび割れ進展しづらい傾向にあり、下側水平ひび割れ位置では L/150 同様に、曲げひび割れが水平ひび割れ位置で屈曲して進展する。これらの傾向はひび割れスケッチからも確認できる。最小主ひずみでは L/150 と同様に、曲げスパン内の上側水平ひび割れ位置より上方で水平方向圧縮ひずみの分布が確認できる。ベクトル図より、せん断スパンにおける上下の水平ひび割れそれぞれで水平方向のずれが見られる。

RL/50+150 について、曲げひび割れの発生範囲及び進展傾向は L/50+150 と同様である。最大主ひずみでは開口ひび割れの発生範囲がややせん断方向に広がっており、L/50+150 でも見られた上下水平ひび割れをつなぐせん断ひび割れの発生が、左右のせん断スパンそれぞれで確認でき、水平ひび割れのずれが水平方向に生じている。最小主ひずみは水平ひび割れ位置より上方での圧縮ひずみ分布は見られず、水平ひび割れと関連した分布は確認できなかった。

以上より、水平ひび割れを二本導入した場合、上下の

水平ひび割れをつなぐひび割れの発生がみられた。上側の水平ひび割れ位置では中立軸が形成されていると推察できる。また、上下の水平ひび割れそれぞれで、ずれの発生が確認できた。

5. まとめ

本研究では、基準供試体 1 種類、膨張剤の散布により水平ひび割れを模擬的に導入した 3 種類とそれらに樹脂注入による補修を加えた 3 種類、計 7 種類の RC 梁供試体の曲げ載荷実験を行い、画像解析により変形挙動の比較を行った。

模擬劣化における導入ひび割れの影響とそれに対する補修の効果について、以下の点が確認された。

第一に、導入ひび割れ位置で曲げひび割れが直線的ではなく屈曲して進展する、もしくはせん断ひび割れがつながるような挙動が確認できたこと。

第二に、模擬ひび割れが圧縮鉄筋位置にある場合、中立軸が模擬ひび割れ位置周辺に形成されると推察できること。

第三に、せん断スパンにて水平ひび割れのずれが確認できたこと。

今回の報告は、撮影した画像の一部の解析に留まるため、今後各荷重段階の詳細な解析を進めていく予定である。

参考文献

- 1)角間恒、渡邊晋也、西弘明、松本高志：内部劣化を有する RC 部材の曲げ耐荷性能について、第 73 号土木学会北海道支部論文報告集、A-35、2017.
- 2)松江晃太、角間恒、松本高志：模擬劣化 RC 梁の曲げ挙動と補修の効果に関する画像解析、第 74 号土木学会北海道支部論文報告集、A-46、2018.