

鋼板接着補強 RC 床版の疲労損傷過程に関する 2 次元 FEM シミュレーション

京都大学 正会員 〇服部篤史

東京電力ホールディングス 正会員 玉手鶴丸

阪神高速道路 正会員 茅野 茂

京都大学名誉教授 正会員 河野広隆

1. はじめに

鋼板接着補強 RC 床版は、補強後にさらに疲労によって破壊に至る損傷過程に未解明な部分が多いため、適切な維持管理手法が確立されていない。

本研究では、2次元 FEM 解析を実施し、別途実施した実橋切出し鋼板接着補強 RC 床版への輪荷重走行試験との間で荷重—たわみ関係をその傾き K を用いて比較し、損傷過程について検討した。

2. 輪荷重走行試験

実橋切出し鋼板接着補強 RC 床版を、載荷装置の都合で新設コンクリートで囲んで成形し、輪荷重走行試験を行った。載荷荷重 157kN から輪荷重走行 4 万回ごとに 19.6kN 増加する形式で行い、各荷重での走行前にその荷重で静的載荷も行った。図 1 に各静的載荷荷重と床版中央たわみ δ をプロットし連結して示す。輪荷重走行によって剛性（原点と各プロットを結ぶ傾き）が低下しているが、同図中に示した初期条件を用いた 3次元 FEM 解析では、疲労の影響による剛性低下を表すことはできない。

なお、235kN を超えると破壊したと判断された。

3. 2次元 FEM 解析

剛性低下は、疲労によりコンクリートの損傷（見かけのヤング率の低下）、鋼板剥離、水平ひび割れが生じたためと考えた。そこで、これらの個別損傷を様々な考慮した静的 FEM 解析を、まずは簡易な 2次元で行い、個別損傷が剛性に与える影響を検討することとした。

(1) 解析モデル概要と検討ケース

図 2 に 2次元モデルの模式図を示す。輪荷重走行試験に供した床版の中央部の主鉄筋方向（主鉄筋の配筋状況から幅を 200mm とする）を対象に、上端主鉄筋の上端（int-0：図 2 に示す高さの水平線、以下同様）、下端主鉄筋の下端（int-4）、鋼板接着境界（int-5）に区切りを想定した。今回は int-0 は考慮

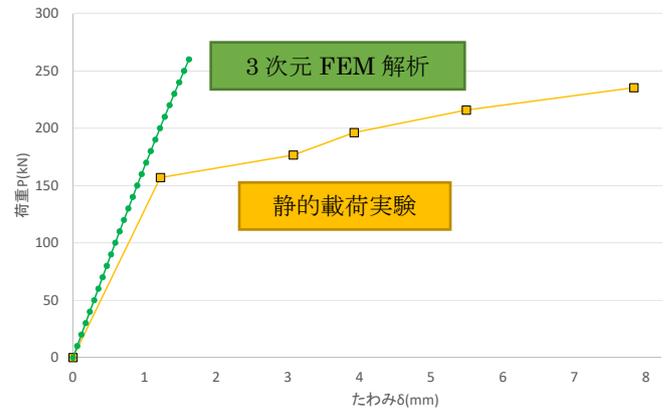


図 1 荷重と床版中央たわみ

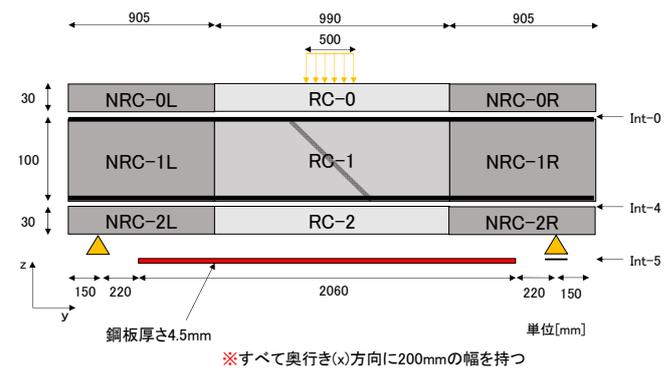


図 2 2次元 FEM モデル

※RC-n は切出し床版，NRC-nL/R は成型用新設コンクリート

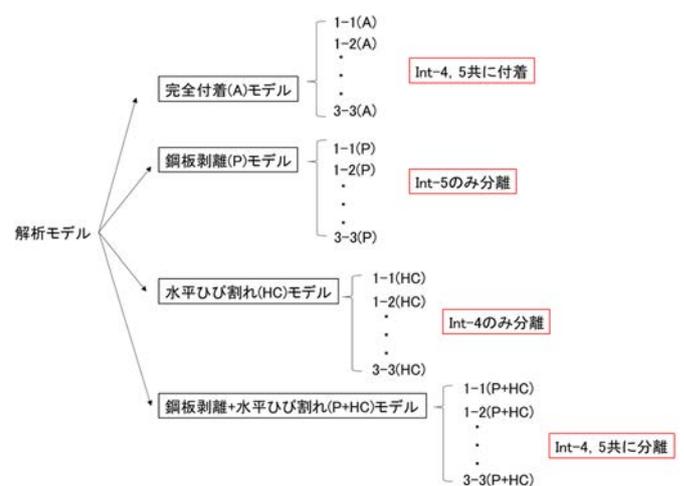


図 3 検討ケース (36 ケース)

キーワード 鋼板接着補強, RC 床版, 損傷過程, 輪荷重走行試験, 2次元 FEM 解析

連絡先 〒915-8540 京都市西京区京都大学桂 C3 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL075-383-7523

せず, int-4 の上下でのコンクリート損傷の違い, int-4 における水平ひび割れを念頭に置いた分離の有無, int-5 における鋼板剥離を念頭に置いた分離の有無, を解析パラメータにした。

図3に検討ケースの一覧を示す。1-1, 1-2, …, 3-3 は, RC-0 および RC-1 と, RC-2 において, 数字 1, 2, 3 に対応してそれぞれの見かけのヤング率を1倍, 2/3倍, 1/3倍に下げて設定することを示す。

(2) 荷重—たわみ曲線の傾き K の算出

静的解析から荷重—たわみ曲線を得るとともに, 各ケースで実験の静的荷重 (157kN～) に近い荷重とその時のたわみついて原点との間で傾き K を得た。図4に, K の解析値を実験値とともに示す。

なお, K の実験値は, 各静的荷重とそのときのたわみについて原点との間で得ることとした。残留たわみとの間ではないのは, 疲労の影響が残留たわみの増加と静的載荷荷重による剛性の低下の両者から構成されていると考えたためである。

(3) 想定される損傷過程

K の実験値に近い値が得られた解析ケースが, その静的荷重段階での損傷状態と想定することとした。例えば図4で, K の実験値 129 に近い 136 が得られた解析ケース, すなわち完全付着(A)状態かつコンクリートのヤング率は 2-2 (RC-0 および RC-1 が 2/3倍, RC-2 が 2/3倍) の損傷状態 (2-2(A)と表記) と想定する。

同様に, 実験の静的荷重 177, 196, 216 および 235kN でも損傷状態を想定した。各静的荷重で想定される損傷状態を健全状態とともに並べると, 図5が得られる。これは, 健全状態から破壊直前の 235kN に至るまでの想定される損傷過程を示している。

図5から, 鋼板剥離(P)が生じ損傷が進行し終局に至る損傷過程と, 水平ひび割れ(HC)が進展して終局に至る損傷過程が想定された。

鋼板剥離(P)が生じる損傷過程の場合, 破壊直前の 235kN で 3-2(P)に遷移し床版上部のコンクリートが大幅に劣化して終局する損傷過程と, 2-2(P+HC)に遷移し水平ひび割れの発生による更なる床版の多層化によって終局する損傷過程が想定された。

一方, 水平ひび割れ(HC)が進行する損傷過程の場合, 左の 2-2(A)から 1-2(HC)へ遷移するのはコンクリートの損傷の回復を意味し不適であるため, 解析

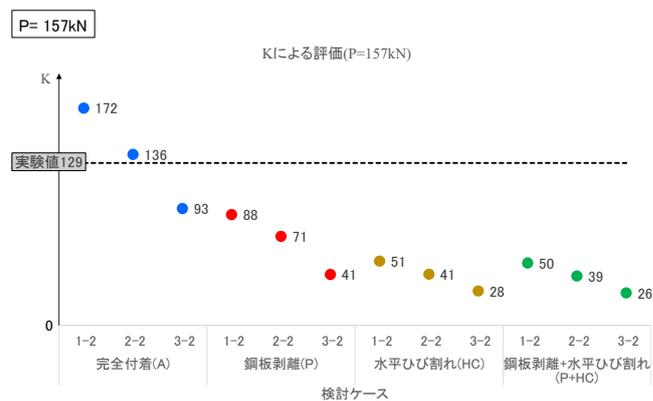


図4 静的荷重 157kN での K の解析値と実験値
※RC-2 は影響小のため 2/3 倍固定の 12 ケースを示す

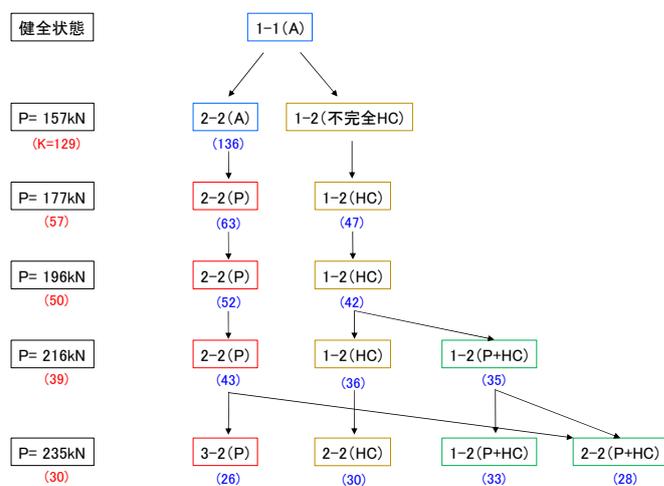


図5 想定される損傷過程

は行っていないが水平ひび割れが部分的に生じている状態 (不完全 HC) を盛り込んだ。このとき, 水平ひび割れが徐々に進行し (A→不完全 HC→HC), 上層コンクリートが損傷 (2-2(HC)) し終局する損傷過程や, 加えて鋼板が剥離 (2-2(P+HC)) し終局する損傷過程も想定された。

4. まとめ

- 1) 荷重—たわみ関係の傾き K は, コンクリートの損傷 (見かけのヤング率の低下), 鋼板剥離, 水平ひび割れの発生の影響で変化することが分かった。
- 2) 鋼板接着補強 RC 床版に対する輪荷重走行試験中の静的載荷実験および 2 次元 FEM 解析から得られる K を比較することで, RC 床版の損傷過程の仮説を提示することができた。

今後, 上記の水平ひび割れの不完全状態, 鋼板のアンカーボルトの効果, 3 次元 FEM 解析による検証などが求められる。