損傷を受けた RC はり部材の補修後の力学挙動に関する解析的研究

名古屋大学 河合 真樹 名古屋大学大学院 正会員 上田 尚史,中村 光,国枝 稔

1. はじめに

地震や経時劣化による損傷を受けた RC 構造物の補修・補強後の性能評価手法が確立されれば,LCC を考慮した性能設計体系の高度化を可能にするとともに、補修材料に要求される力学性能を明確にすることができると考えられる.そこで本研究では、曲げ破壊する RC 部材の圧縮損傷領域の簡易な推定方法を検討し、さらに、圧縮損傷領域の断面修復後の力学挙動の評価を解析的に行った.

2. 解析手法

本研究では、8節点アイソパラメトリック要素を用いた非線形3次元有限要素解析を行った. RC構成則には、 格子等価連続体モデルを用いた. 圧縮を受けるコンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮強度まで2次曲線で応 力が上昇し、その後のひずみ軟化域は、応力が直線的に減少するものとした. なお、軟化領域には圧縮破壊エネ ルギーを考慮した.

3. 断面修復後の応力ーひずみ関係の記述

損傷を受けた部位を注入・修復などで補修した後に載荷する場合と、無損傷状態から載荷する場合との相違点 は、損傷部の既存材料は載荷による初期(残留)ひずみを有しているが、補修材料には初期ひずみが存在しない ことである.この効果を適切に評価するために、本研究では、Solidification Conceptに基づき応力を算定する手 法を適用した.具体的には、図-1に示すように、既設部において(1)点までひずみ履歴を受けたのち、除荷後(2) 点で補修する場合を考える.このとき、補修を行わずに再載荷される場合は、一般には点線の挙動を呈するが、

補修した場合には,式(1)および図-1 に示すように,初 期ひずみのない補修材料と損傷を受けた既設材料の応力 -ひずみ関係の重ね合わせにより,補修部の応力-ひず み関係を算定する手法である.なお,それぞれの部材に は補修効率を表す重みを wi で考えている.

$$\sigma_G(\varepsilon) = w_1 \sigma_1(\varepsilon) + w_2 \sigma_2(\varepsilon - \varepsilon_1) \tag{1}$$

4. 平均化ひずみによる損傷領域の評価

有限要素解析では,終局域において,ひずみの局所化 が生じ,解析上のひずみ分布やひずみの絶対値が実挙動 と大きく異なるという問題が存在する.したがって,補 修後の力学挙動を評価するためには,まず,実挙動と同 様に損傷領域を評価し,補修領域を解析上決定する必要 がある.そこで本研究では,図-2 に示す局所ひずみを, 要素寸法とは別の寸法により領域平均して算定される平 均化ひずみを用いる方法により損傷領域を評価した¹⁾. なお平均化領域は,既往の研究を参考にして,軸方向に 長軸 250mm,高さ方向に短軸 50mm の楕円を仮定した.

5. 供試体概要および解析概要

解析の対象とした実験供試体の諸元を図-3に示す. 供試体は中部大学で行われた曲げ破壊する RC はりであ



る²⁾. 解析に用いた材料特性は、コンクリートの圧縮強度 34.1MPa、鉄筋の降伏強度は、引張鉄筋 360.0MPa、圧 縮鉄筋 353.1MPa、スターラップ 290.2MPa であり、断面修復材は、弾性係数 5720MPa、ポアソン比 0.34の弾性 材料とした. 解析モデルは奥行き方向は一要素とし、載荷点近傍の圧縮領域の要素寸法は $15 \times 25 \times 120$ mm とし た. 要素数は 448 である.また、鉄筋は分散鉄筋モデルによりモデル化した.実験は、供試体変位 23mm まで載 荷後、除荷を行い、圧縮損傷領域のコンクリートがらをハンマー等で取り除いた後、断面修復を行っており、解 析も同様の載荷履歴、補修手順で行った.なお、コンクリートがらが取り除かれたことから、式(1)の補修効率と しては、既設材料は w₁=0、補修材料は w₂=1 とした.

6. 解析結果

6.1 損傷領域

図-4 に補修直前での,実験供試体の圧縮損傷領域の概略図と,解析より得られた軸方向局所ひずみおよび軸方向 平均化ひずみの分布を示す.ただし,供試体の圧縮損傷領 域およびひずみ分布は,等曲げ区間近傍の供試体上半分の みを示した.また,ひずみ分布は2000 μを超える圧縮ひ ずみのみを表示した.局所ひずみ分布は,部分的なひずみ の局所化領域が存在し,実験結果の損傷状況を捉えられな いことが分かる.また局所化した位置では,10000 μ以上 の非常に大きな圧縮ひずみ値が存在する.一方,平均化ひ ずみの分布は,載荷点近傍の損傷領域の広がりを妥当に表 しており,平均化ひずみを用いれば,損傷領域を評価でき ることが分かる.

6.2 補修後の力学挙動

図-5 に実験結果および解析より得られた荷重-変位関係を示す. 図中,○印は実験値を,点線は解析における無補修の場合,実線は軸方向圧縮ひずみが2000µ,一点鎖線は3500µを超える領域を断面修復した場合の結果を表している.実験結果の特徴としては,補修後耐荷力が増加



図-4 供試体の損傷およびひずみ分布



することである. 図-5より,補修前の挙動については,精度良く捉えていることが分かる.補修後においてはい ずれのケースにおいても,無補修の場合に比べ荷重ならびに変形能が増加する挙動を示し,補修の効果を表すこ とが出来ている.補修領域の相違については,圧縮ひずみが2000μ以上の部分を補修した場合は,3500μ以上の 部分を補修した場合より荷重が大きくなり,実験から得られた荷重-変位関係により近い挙動を呈した.

7. 結論

解析における補修領域を,損傷領域を平均化ひずみにより算定し,平均化軸方向圧縮ひずみが2000 μを超える 領域とすることで,損傷領域の拡がりおよび補修後の荷重-変位関係を妥当に評価できることが分かった.本研 究では圧縮領域の断面補修のみを対象としたが,実験における補修ではひび割れ注入も行っているため,今後ひ び割れ補修についても検討していく予定である.さらに,より実験結果に近い挙動を再現するため,補修材の構 成則の検討が必要であると考えられる.

参考文献

- 1) 上田尚史・権庸吉・中村光・高木康宏・国枝稔:非線形有限要素解析による曲げ破壊する RC 部材の損傷指標 の検討,構造工学論文集, Vol.52A, 2006
- 2) 伊藤睦・水野英二・小林孝一:曲げ破壊する RC はり部材の復旧性能評価に関する実験的研究,コンクリート 工学年次論文集, Vol.28, No.2, 2006