

非破壊試験結果を活用したFEMによる鉄筋コンクリートはり部材の力学性能評価に関する基礎研究

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○峯澤 博行, 正会員 鎌田 敏郎, 正会員 大西 弘志, 学生員 内田 慎哉
金沢工業大学環境土木工学科 正会員 宮里 心一, 防衛大学校建設環境工学科 正会員 黒田 一郎

1. はじめに

コンクリート構造物の点検は、本来、構造物の現有性能を把握するために行うものである。しかしながら実際は点検データから耐荷力などの性能を直接的に評価することは難しく、ひび割れの目視観察結果、あるいは鉄筋腐食程度などの非破壊試験結果から間接的に性能確認を行っているのが現状である。そのため、点検データから、構造物の性能を、直接、しかも定量的に評価する方法が確立されれば、維持管理の一層の合理化が図られるものと思われる。

そこで本研究では、電食試験により人工的に鉄筋を腐食させた RC はり供試体を対象として各種非破壊試験を行い、その結果を劣化損傷度マップとして描いた後、これをインプットした FEM により部材の力学性能を評価するための手法について検討した。本手法の妥当性を検証するため、作製した供試体に対して载荷試験を行い、この結果と FEM の結果とを比較した。本研究のフローを図-1に示す。

2. RC 梁供試体および電食試験概要

供試体概要を図-2に示す。コンクリート強度は 40.5N/mm^2 であった。電食試験を行うにあたり、供試体は水槽底板部に金属網を敷いた上に設置した。続いて、腐食

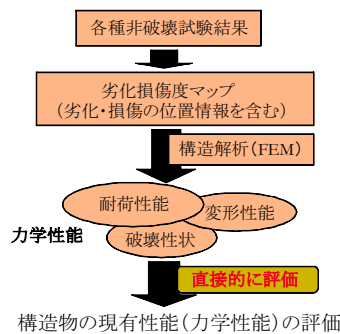


図-1 評価手法のフロー

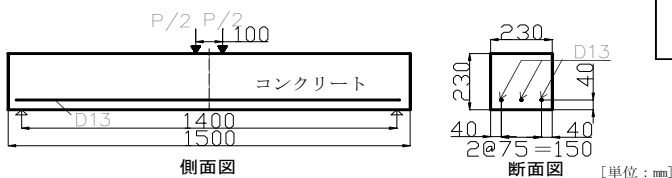


図-2 供試体概要

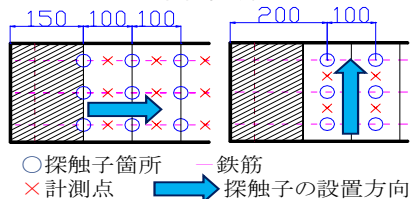


図-3 超音波伝播速度の計測位置

を促進させるため、水槽内部に 3%食塩水を満たし、鉄筋を陽極、金属網を陰極とした回路を形成させた上で、1A の直流定電流を通電させた。通電期間は、14 および 28 日間の 2 パターンとした。なお、解析および载荷試験において力学性能を比較するため、健全供試体も併せて作製した。本研究で用いた供試体は、通電を行わないもの（供試体 A）、通電期間を 14 日としたもの（供試体 B）、そして 28 日間通電したもの（供試体 C）の合計 3 種類とした。

3. 非破壊試験の実施と劣化損傷度マップの作成

3. 1 非破壊試験

電食試験前後において、自然電位法により鉄筋の腐食の可能性を評価するとともに、分極抵抗法を用いて腐食に伴う鉄筋の断面欠損量を算出した。これらの試験は鉄筋の直上を 100mm 間隔で実施した。さらに鉄筋とコンクリートとの付着状況を把握するため、超音波伝播速度の計測を実施した。速度の計測位置を図-3に示す。また、電食試験終了後は、目視によるひび割れ観察を行った。

3. 2 損傷度マップ

図-4に電食試験後の自然電位法による損傷度マップを示す。図より通電期間によらず鉄筋が腐食していると考え

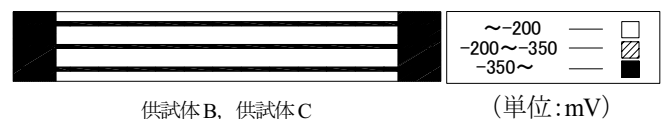


図-4 損傷度マップ (自然電位)

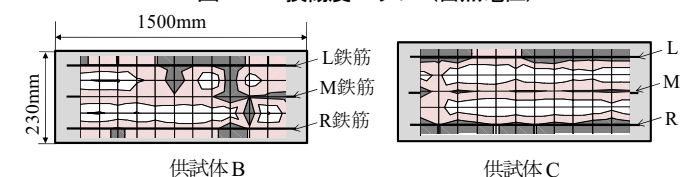


図-5 損傷度マップ (超音波伝播速度比)

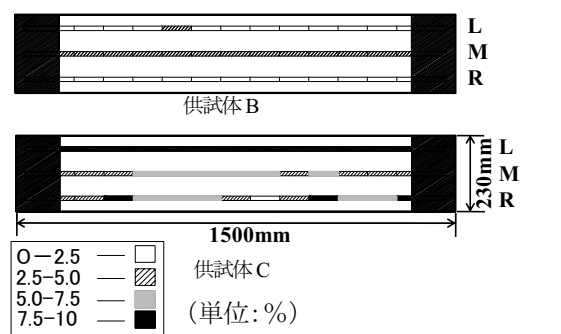


図-6 損傷度マップ (鉄筋の腐食減量)

キーワード 鉄筋コンクリート, FEM, 鉄筋腐食, 力学性能, 非破壊試験

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL06-6879-7618

られる。図-5に電食前後の超音波伝播速度の比を示す。主に鉄筋の直上において大きく低下している。これは、鉄筋-コンクリート間においては離が生じたためと考えられる。続いて、図-6に分極抵抗の計測値から推定した断面欠損程度のマップを示す。通電期間が長くなることにより、腐食に伴う鉄筋の断面欠損量がより大きくなっていることが伺える。

4. 曲げ載荷試験および損傷度マップを用いたFEM

4.1 載荷概要

図-2に示される載荷点に荷重を与え、4点曲げにより曲げ載荷試験を実施した。載荷点および支点においてたわみを計測した。

4.2 解析概要

図-7に解析モデルを示す。解析は平面応力状態を仮定した2次元解析とした。また、解析にインプットするデータとしては、鉄筋-コンクリート間の付着状況(図-5)および鉄筋の断面欠損量(図-6)をそれぞれ用いた。

4.3 結果と考察

図-8に実験および解析で測定されたひび割れ発生状況を示す。また、実験および解析により得られた荷重-変位曲線を図-9および図-10にそれぞれ示す。

図-8に示す載荷によって発生したひび割れの状況から、供試体Aでは圧縮縁近傍でひび割れが斜めに傾いているものの、最終的には上面が圧壊する典型的な曲げ破壊を呈したと考察できる。また、供試体Bでは、曲げ破壊が進行した後、終局状態では電食試験により発生した側面の腐食ひび割れに沿ってひび割れが急激に進展し、定着せん断破壊へと移行していることがわかる。一方、供試体Cにおける供試体では、曲げひび割れが進展する途中で脆性的な定着破壊が生じた。

図-9に示す荷重-変位曲線から、電食により最大荷重が健全のそれよりも低下していることがわかる。図-6に示すとおり、鉄筋の腐食減量は供試体Bで最大5%程度、供試体Cで最大10%程度と推定されていたことを考慮すると、最大荷重の低下率は供試体Bについてはほぼ想定通りであったが、供試体Cでは予想を上回り大きく低下している。これは曲げひび割れの発生本数から推測される鉄筋-コンクリート間の付着力の低下や、側面に発生した水平ひび割れにより、破壊のモードが大きく変化したものと思われる。

図-8に示す解析によって推定されたひび割れ発生状況を載荷によるひび割れ発生状況と比較すると、供試体Aについては良く一致していた。しかし、供試体Bでは、鉄筋のすべりが発生しせん断ひび割れが進展する点までは良く対応しているものの、最終的な破壊モードの変化までは再現できていない。また、供試体Cは定着部において完全に

鉄筋がすべり脆性的な破壊を呈したが、図-9および図-10の荷重-変位曲線を比較すると、終局耐力には差が生じた。これは、解析モデルにおける鉄筋とコンクリートとの付着状況の設定が、実際のものを十分再現できていなかったことによるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、非破壊試験を実施することにより供試体の腐食状況に応じた損傷度マップを作成した。この損傷度マップをFEMのモデルに反映し、力学性能をおおよそ評価できることが明らかとなった。しかしながら、耐荷力の相違や破壊モードの変化については課題を残した。今後は超音波伝播速度と付着強度との関係や、腐食ひび割れを解析に反映することにより、現有力学性能を評価する手法についてさらに詳細に検討を行う予定である。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(基礎研究(B)18360207)を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表する。

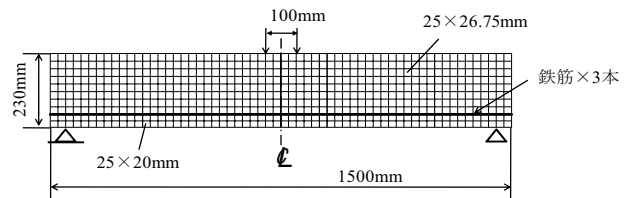


図-7 解析モデル

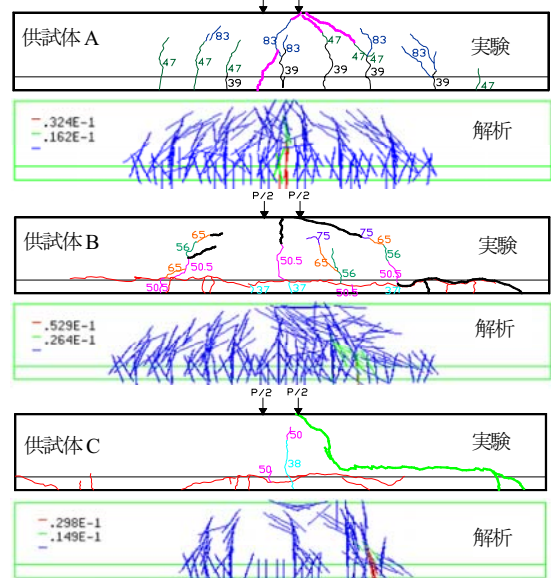


図-8 ひび割れ状況(実験および解析)

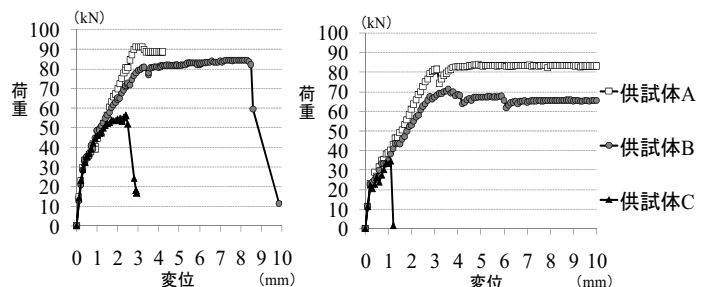


図-9 荷重-変位曲線(実験) 図-10 荷重-変位曲線(解析)