

# 鉄筋腐食させたRC梁の残存曲げ耐荷特性のFEMによる検討

防衛大学校 学生員 村上将也, 正会員 山本佳士, 黒田一郎, 古屋信明

## 1. 序論

鉄筋が腐食した鉄筋コンクリート構造物の耐久性の評価として、腐食後の残存耐荷性能の定量的な把握は重要な側面をなす。その残存耐荷性能を、FEMのような解析的手法で検討するためには、構造物の劣化性状を入力データとして適切に数値化する手法が求められるが、これについての研究はまだ充分なされていない状況にある。そこで、本研究は、鉄筋を電食させたRC梁供試体を対象として、破壊試験によって実測された残存鉄筋径、ならびに非破壊試験によって推定された残存鉄筋径を入力データとしたFEM解析を行ない、載荷実験結果との比較を通して、これら入力データが解析結果に与える影響について検討した。

## 2. 実験概要

梁供試体の概要を図-1に、供試体の一覧を表-1に示す。主鉄筋としてD13鉄筋を1本持つRC梁であり、主鉄筋に直流電流を通電させることによって電食させた。その際の目標腐食率は0%(電食無し)、10%および30%の3段階である。電食後、スパン1260mm、等曲げ区間長280mmの2点対称単純支持の支持条件で静的に載荷を行なった。コンク

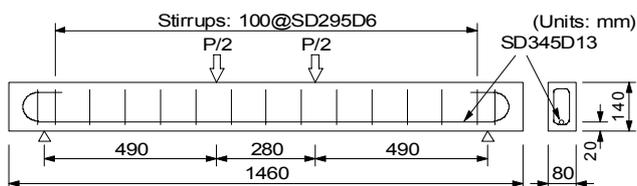


図-1 供試体概要

表-1 供試体一覧

供試体番号	目標腐食率(%)	電食後腐食率(%)		最大耐力(kN)	破壊モード
		鉄筋全長	等曲げ区間		
5	10	14.2	15.8	21.1	圧壊
6		13.9	19.0	20.5	圧壊
7		13.4	12.0	19.6	鉄筋破断
9	30	25.3	24.0	16.4	鉄筋破断
10		26.1	28.2	15.0	鉄筋破断
11		31.6	30.3	10.6	鉄筋破断
12	0	---	---	22.5	圧壊

\* 電食後腐食率は、載荷後に鉄筋の重量から算出。  
\* 破壊モード圧壊は、いずれも鉄筋降伏後に発生。

リートの圧縮強度は載荷実験時において32.8~35.5N/mm<sup>2</sup>、引張強度は2.6~2.7N/mm<sup>2</sup>であった。載荷実験後、コンクリート中の鉄筋を取り出し腐食生成物を取り除いた後、ノギスによって残存鉄筋径(破壊試験)を測定した。非破壊試験はJCI基準に準拠した超音波伝播速度試験を行なった。電食前後の比から超音波伝播速度比を求めている。破壊試験による鉄筋径計測は鉄筋に沿って50mm間隔で、超音波伝播速度の計測は100mm間隔で行なった。

## 3. 実験結果

図-2(a), (b)に残存鉄筋径の破壊試験値を示す。計測箇所はグラフ横軸の番号で表わされているが、13番が梁スパンの中央である。目標腐食率10%の供試体よりも30%の方が残存鉄筋径のばらつきが顕著である。

図-3に超音波伝播速度比と、超音波伝播速度比を計測した位置における残存鉄筋径比(破壊試験によって得られた残存鉄筋径と公称径との比)の関係を示す。両者の間には

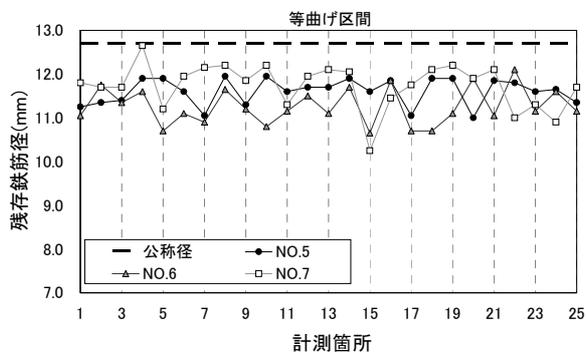


図-2(a) 残存鉄筋径の破壊試験地(目標腐食率 10%)

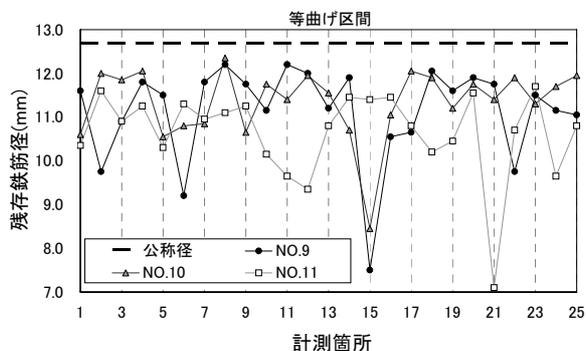


図-2(b) 残存鉄筋径の破壊試験地(目標腐食率 30%)

キーワード 鉄筋腐食, 残存鉄筋径, 残存耐荷特性, 非破壊試験, FEM 解析

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 電話 046-841-3810

相関関係が認められた。そこで、これらの直線回帰式(図-3中に示す)を用いて超音波伝播速度比 $X$ から、非破壊試験による残存鉄筋径比推定値 $Y_n$ を算出することとした。

#### 4. FEM解析概要と解析結果

FEM解析は、2次元8節点4辺形要素でコンクリートをモデル化して行なった。材料非線形性の導入は、鉄筋の応力-ひずみ関係をbi-linearで評価し、コンクリートの主応力が引張強度に達したら応力を解放するという極めて単純なモデルで行なっている。

図-4, 5に目標腐食率10%および30%供試体の荷重-変位関係の一例をそれぞれ示す。マーカは実験値、黒い実線と点線はノギスによる破壊試験で得られた残存鉄筋比を入力データとして採用した解析値である。その内、黒い実線は、等曲げ区間の残存鉄筋径比の平均値を鉄筋全長にわたって一様に適用したものであり、鉄筋位置による鉄筋径比のばらつきを考慮していない。破線は、50mm間隔で計測した位置毎の残存鉄筋径比を入力したものである。さらに、灰色実線は、等曲げ区間における超音波伝播速度比 $X$ を基に図-3中の直線回帰式を用いて残存鉄筋比推定値 $Y_n$ を求め、これを鉄筋全長に一様に適用したものである。

まず、残存鉄筋径比の位置によるばらつきの影響を検討する。目標腐食率10%(図-4)では、残存鉄筋径を鉄筋全長に一様とした解析結果(黒い実線)と、位置毎の残存鉄筋比を入力した解析結果(破線)の間に差が無いのに対して、目標腐食率30%(図-5)では両者に差が生じている。これは、目標腐食率10%の供試体は図-2(a)に示すように残存鉄筋径の場所による変動が小さかったのに対して、30%では、図-2(b)に示すように極端に残存鉄筋径が小さい部位が目立ち、ばらつきが大きかったことが原因である。すなわち、腐食の初期段階で残存鉄筋比のばらつきが小さい段階(本実験では目標腐食率10%)では、等曲げ区間の残存鉄筋径比を鉄筋全長に適用できるが、腐食が進行して鉄筋位置毎の残存鉄筋径比にばらつきが顕著となった後(本実験では30%)では、位置毎の詳細な残存鉄筋径比が inputData として必要になってくると言えよう。

次に、非破壊試験結果から残存鉄筋径比を推定した場合について考察する。図-4, 5において、目標腐食率10%, 30%のいずれの場合も、破壊試験によって得られた残存鉄筋径比を用いた解析結果(黒い実線)よりも、非破壊試験による残存鉄筋径比推定値を入力とした解析結果(灰色実線)の方が実験結果(図中のマーカ)からの乖離が大きくなっている。つまり、梁を破壊して実測した破壊試験データを、非破壊試験データで代用した結果として、解析結果の精度が低減することとなる。コンクリート構造物の劣化性状の

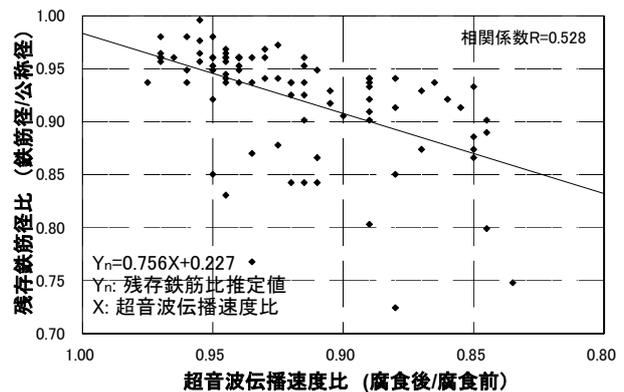


図-3 超音波伝播速度比と残存鉄筋径比の関係

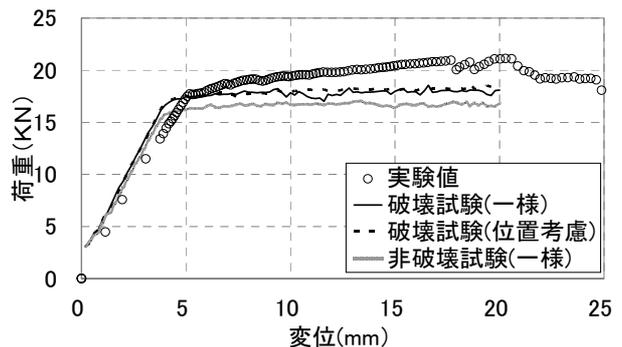


図-4 荷重-変位関係(目標腐食率 10%)

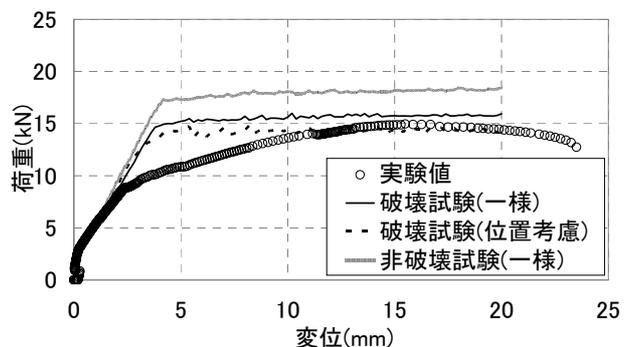


図-5 荷重-変位関係(目標腐食率 30%)

把握手段として非破壊試験の適用が今後一層期待されるが、FEM等の解析の入力データとして試験データを適用する際には、ここで示されたような解析精度の低減を考慮に入れる必要性が指摘できるが、非破壊試験の種類や得られたデータ密度が解析精度にどの程度の影響を及ぼすかについては今後検討を積み重ねていく必要がある。

謝辞

本研究の実験に際しては、土木学会コンクリート委員会「材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能小委員会」(委員長: 下村匠長岡技術科学大学准教授)の委員諸氏に多大な御協力、御尽力を頂きました。ここに記して謝意を表します。