目視点検結果に基づいた腐食 RC はり部材の FEM 解析

山梨大学大学院　正会員　○高橋　良輔
新日本製鐵（株）　正会員　菅野　浩樹
新日本製鐵（株）　正会員　赤司　有三
山梨大学大学院　正会員　斉藤　成彦

１．本研究の目的

本研究は，供用期間が約 37 年の架構式構造物から切出した 2 体の RC はり部材の点検・載荷実験と，点検結果に基づきモデル化した非線形 FEM 解析を行い，点検レベルと解析結果の精度についての検討を行うものである．本稿では，目視レベルの点検結果に対して，異なる劣化程度を設定してモデル化した解析による検討結果を報告する．

２．対象構造部材

本検討の対象とする構造部材の寸法および目視点検結果を**図-1** に示す．鉄筋は設計上の曲げモーメントが最大となる位置で引張側に 4 本，圧縮側に 2 本となるよう D19 の折曲げ鉄筋が配置されている．なお引張側，部材中央付近では重ね継手を有していた．せん断補強筋はϕ9 で，露出した一部で破断がみられた．目視点検では劣化状況のスケッチと，打音検査，露出鉄筋径の計測を実施した．コンクリートおよび鉄筋の力学性能は，同一構造物の他の部材よりコアおよび鉄筋片を採取して測定した．点検で得た材料特性値を**表-1** から**表-3** に示す．外観状の損傷程度は E56 はりの方が激しく，部材の片側側面および引張側のほとんどの領域がかぶりの浮き領域であった．また鉄筋質量減少率も E56 はりの方が大きい結果となった．

３．載荷試験・解析概要

点検した部材に対し，2 点曲げ載荷試験により構造性能を調べた．載荷方法の例を**図-2** に示す．供試体 2 体の長さが異なるが，これらの供試体間では等曲げモーメント区間を同一とした．

載荷試験に先立ち，点検結果を基に FEM 解析モデルを作成して解析による性能評価を行った．露出鉄筋以外の損傷状況が不明なため，安全側にモデル化した劣化大，腐食ひび割れが確認できないことから露出鉄筋以外を健全とした劣化小，および全て健全とした 3 ケースを解析した．解析プログラムは自作のものを用いた．鉄筋はトラスによりモデル化し，鉄筋とコンクリート要素間には付着バネ要素を挿入することで，鉄筋の断面減少および付着劣化を直接考慮した．コンクリートには多方向固定ひび割れモデル，鉄筋にはトリリニアモデル，付着には付着強度

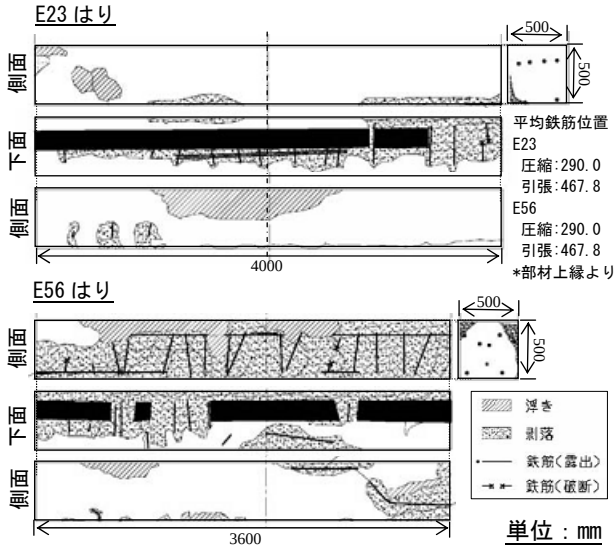

図-1　部材寸法及び劣化状況

表-1　コンクリート物性値

f_c' N/mm^2	f_t N/mm^2	E_c kN/mm^2
32.0	2.93	24.1

表-3　鉄筋質量減少率(%)

	平均	最大
E23 はり	8.4	17.0
E56 はり	27.6	38.0

表-2　鉄筋材料特性値

	呼び径	f_y N/mm^2	f_u N/mm^2	ε_u %
主　　筋	D19	338.0	467.2	23.2
せん断補強筋	ϕ9	348.9	537.3	25.8

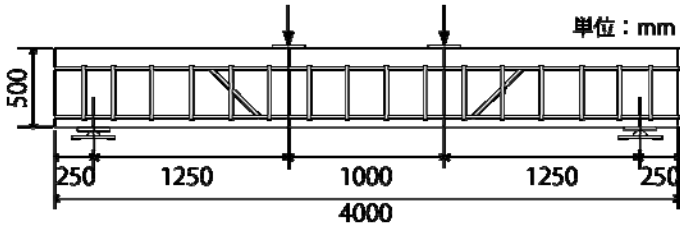

図-2　載荷方法

キーワード　鉄筋腐食，劣化構造物，目視点検，曲げ，FEM 解析，はり，性能評価
連絡先　〒400-8511　山梨県甲府市武田 4－3－11　山梨大学工学部土木環境工学科　TEL　055-220-8530

表-4 解析ケース

ケース	モデル化概要
健　全	全て健全としてモデル化
劣化大	・かぶり剥落部の断面欠損考慮 ・かぶり剥落/浮き部の付着 0 ・全鉄筋の腐食率は測定値の最大質量減少率
劣化小	・かぶり剥落部の断面欠損考慮 ・露出した鉄筋のみ付着なし ・露出していない鉄筋は健全

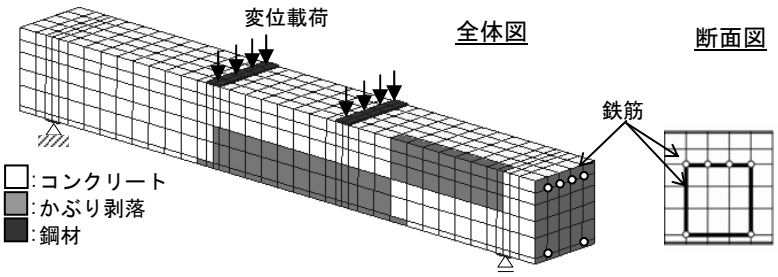

図-3 解析メッシュの例（E23 はり）

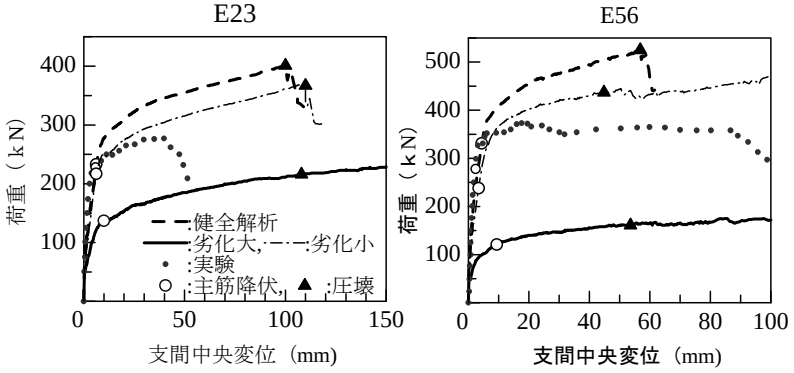

図-4 荷重変位関係

表－5 実験・解析荷重(kN)

			降伏荷重	終局荷重
E23	実　験		228	277
	解析	健　全	228（1.00）	401（1.45）
		劣化大	137（0.60）	284（1.03）
		劣化小	221（0.97）	301（1.09）
E56	実　験		278	374
	解析	健　全	331（0.68）	525（1.40）
		劣化大	121（0.44）	211（0.56）
		劣化小	271（0.97）	437（1.17）

*(　)内の数字は実験との比を表す

を 0.4 倍に低減した島のモデルを適用した．構成則の詳細は文献 1)を参照されたい．

５．解析ケースおよび劣化のモデル化

解析ケースとその概要を**表-4** に，解析メッシュの例を**図-3** に示す．劣化ケースでは，かぶり剥落による断面減少を直接考慮するため，その部分を剛性が極めて小さい弾性材料とした．劣化大では安全側のモデル化とするため，点検結果のうち主筋，せん断補強筋それぞれ最大の質量減少率を全鉄筋に適用した．また付着は質量減少率に基づき付着強度を低減 [1]させ，かぶり剥落部，浮き部では付着を無しとした．ただし E56 では浮き部まで付着無しとすると，鉄筋定着不足のためコンクリートひび割れにより破壊に至ることが予備解析で確認されたため，E56 の剥離・浮き部は鉄筋腐食量に従い付着強度を低下させた．劣化小では腐食ひび割れや錆汁の発生状況から，露出していない鉄筋は腐食していないとして断面減少率を 0%とし，付着も健全とした．

６．解析結果および載荷試験結果

実験・解析結果を**表-5** に，荷重変位関係を**図-4** に示す．大変位でも荷重低下が見られなかった解析結果は，ひずみによる終局判定を行った [2]．解析は劣化のモデル化により結果が大きく変動した．実験はこのうち劣化小にほぼ一致する結果となり，鉄筋がほとんど露出していない等曲げ区間では，鉄筋はほとんど腐食していないと考えられる．一方，安全側に見積もった劣化大では降伏荷重が実験の 40～56%も低下し，等曲げ区間など構造力学上重要な位置の劣化程度の評価（情報量およびモデル化）が構造性能の評価に大きく影響することがわかる．

７．まとめ

目視点検結果に基づく劣化情報を用いた解析では確かに安全側の評価となるが，特に等曲げ区間など構造力学上重要な位置の鉄筋腐食状況が不明な場合には，かなりの過小評価となる可能性があることがわかった．したがって，劣化程度に関する情報の不確実性が高い場合には，構造上重要な部分に対してより詳細な点検のを実施することにより，FEM 解析を利用した劣化構造物の維持管理をより適切に行い得る可能性がある．

参考文献

1)高橋良輔ほか：塩害により鉄筋が腐食した RC 床版の押抜きせん断挙動，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 8 巻, pp.391- pp.398, 2008.10

2)土木学会：非線形解析によるコンクリート構造物の性能照査-手順と検証例・照査例-，コンクリート技術シリーズ 66，2005