

[討議・回答]

富田充宏
梶川康男 共著
久野和敬

「鉄筋腐食により劣化したRCばかりの剛体-ばねモデルによる非線形解析」への討議・回答

(土木学会論文集, No.584/I-42, 1998年1月掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

松島 学 (東電設計)
Manabu MATSUSHIMA

筆者らは、繰り返し力を受けた腐食したコンクリート部材を剛体-ばねモデルによりその挙動をシミュレーションしており、既往の研究にない有用な研究であると信じている。論文中で用いられている剛体-ばねモデルによる解析手法は、本実験のように腐食した鉄筋の付着挙動を表すのに、有効であることは本論文からわかる。

しかし、付着ひび割れ面での付着強度を同じくぶりで同じ鉄筋の腐食での腐食させた鉄筋の要素試験から求めているが、試験体では同様な挙動をする保証はないし、一般化した手法として本手法を利用できないと言う問題がある。従って、付着試験を行ったとしても、抜け出し量を指標にしているのでは、実際の挙動をモデルするのは難しいのではないか？付着耐力の低下は、ひび割れ幅の増大により指数的に低下することが言われている。ひび割れ幅を因子としたモデルを考える必要があるのではないか？

丸山ら^{1),2)}、武若ら³⁾は電食実験により要素試験からひび割れ幅と付着強度の関係を求めており、ひび割れ幅が大きくなると付着強度が低下している。図-1は既往の実験を整理し、せん断補強による拘束力がない場合の条件で、ひび割れ幅と付着強度の関係⁴⁾を示している。図にみられるように、ひび割れ幅が大きくなるにつれて、付着強度は指数的に低減することがみられる。柳ら⁵⁾は、せん断補強筋がある場合は、同じ強度を示しても付着によるひび割れ幅が拘束され半分になることも示している。このように、ひび割れ幅と付着強度等の関係から付着強度のモデルを考える必要があるのではないか？このようなモデルを考えることで、一般化したモデルになるのではないか？

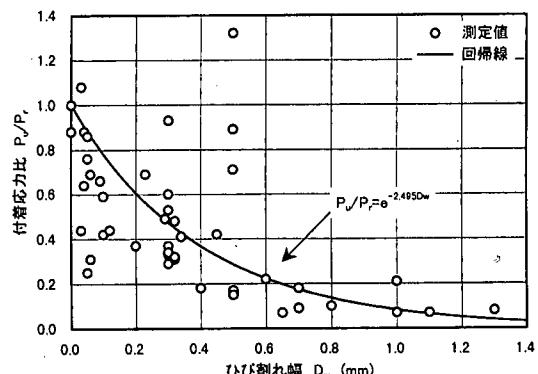


図-1 ひび割れ幅と付着強度の無次元量の関係

参考文献

- 1) 丸山久一, 石川和人, 酒谷弘行: 鉄筋の腐食による付着劣化が供試体に及ぼす影響, 土木学会第48回年次学術講演会概要集, pp. 242~243, 1993.
- 2) 田森清美, 丸山久一, 小田川昌史, 橋本親典: 鉄筋の発錆によるコンクリートのひび割れ性状に関する基礎研究, 第10回コンクリート工学年次論文報告集, 10-2, pp. 505~510, 1988.
- 3) 武若耕司, 松本進: コンクリート中の鉄筋腐食がRC部材の力学的性状に及ぼす影響, 第6回コンクリート工学年次論文報告集, V-6, pp. 177~180, 1984.
- 4) 堤知明: 海洋環境下における鉄筋コンクリート構造物の健全度診断に関する研究, 東京都立大学学位論文, 1997. 2.
- 5) 柳益夫, 丸山久一, 清水啓二: 鉄筋の腐食による付着劣化に及ぼすスターラップの影響, 土木学会第47回年次学術講演会概要集, pp. 410~411, 1992. 9.

(1998. 6. 10受付)

まず、著者らの論文に対して貴重な討議をいただき、深く感謝します。

さて、討議の内容は、「付着試験による抜け出し量を指標にした付着モデルでは、一般化した手法として利用できず、ひび割れ幅と付着強度等の関係を因子としたモデルを考える必要があるのでは?」と推察します。以下に、著者らの考えを述べさせていただきます。

本研究で用いた剛体一ばねモデルの材料非線形解析は、要素間の境界に存在する垂直応力とせん断応力に抵抗する2種類の分布ばね K_n および K_s に材料特性を直接導入することにより、非線形性を表現できる。そこで、本研究ではコンクリート、鉄筋およびコンクリートと鉄筋の付着に材料試験や既往の研究結果を用いて、それぞれの履歴特性を決定した。

ご指摘のコンクリートと鉄筋の付着特性であるが、討議者も述べているように鉄筋の腐食による付着強度は、鉄筋の腐食量、ひび割れの進展域、ひび割れ幅、スターラップによる鉄筋拘束等の影響により大きく異なり、討議者が引用した参考文献には付着強度等に関する貴重な結果が報告されている。

しかし、本解析法はばねモデルであるため付着強度だけでなく、付着ばね K_s の剛性を評価する必要があり、本研究の載荷実験の供試体に対応するばね剛性を既往の研究結果から決定するには困難な現状である。また、非腐食ばかりと腐食ばかりとの両解析に共通した繰り返し載荷時における付着強度とすべり量の関係のモデル化が、両解析結果を比較するためには必要である。そのため、本研究では載荷実験の供試体と同様な劣化条件で引き抜き試験を行い、付着強度、付着ばねの剛性および付着強度とすべり量の関係を求めた。引き抜きによる付着試験とはりの中でのせん断力の作用下における付着特性は対応しないとの指摘もあるが¹⁾、付着の劣化を予測できる有効な試験方法であると考えている。

本研究の引き抜き試験により付着強度を求める場合、ご指摘のように一般化した手法としては問題がある。その解決法として引き抜き試験の逆解析を行い、付着強度とすべり量の関係を決定する手法が考えられる。健全なRCばかりのコンクリートと鉄筋の

付着特性に関する研究²⁾では一般的に行われており、腐食ばかりにおいても、橋ら³⁾がボンド・リンク要素を用いた有限要素法の逆解析により、付着強度とすべり量の関係を指指数型の曲線式で提案している。先にも述べたが、鉄筋の腐食による付着強度は鉄筋の腐食量、ひび割れ幅、スターラップによる鉄筋拘束等の影響を受けるため、それらをパラメーターとした引き抜き試験の逆解析の結果を整理することにより、腐食の程度に応じて一般化した付着強度とすべり量の関係式が提案できるものと考える。

討議者が述べているひび割れ幅を因子としたモデル化についてであるが、ひび割れがコンクリート表面まで進展しているか否かで付着強度が大きく変化し、ひび割れ幅がはりの破壊形式に大きな影響を与える縦ひび割れの進展状況に関係していること等を考えると、腐食の程度を示す因子の一つであり、ひび割れ幅と付着強度の関係は重要であると思われる。しかし、ひび割れ幅はコンクリート表面の値であり、鉄筋の周りのひび割れ幅が得られているわけではない。本解析法のような解析対象を要素分割する離散化モデルに、関連のない要素間の変形と応力の関係(コンクリート表面位置の要素の変形と付着ばねを連結した要素の応力の関係)を導入することは不可能である。つまり、本解析法においてひび割れ幅を因子としたモデル化では、載荷実験開始時点の付着強度を推定できるが、腐食ばかりの載荷時におけるコンクリートと鉄筋の付着状況の変化を推定できなくなる。以上のことより、ひび割れ幅を因子としたモデル化は、本解析法では必要ないと考える。

参考文献

- 1) Ferguson,P.M., Turpin,R.D. and Timpson,J.N.: Minimum Bar Spacing as a Function of Bond and Shear Strength, Journal of ACI, Vol.25, pp.869~897, 1954.
- 2) 野口博:有限要素法による鉄筋コンクリートの非線形解析, 日本建築学会論文報告集, 第258号, pp.27~37, 1977.
- 3) 橋吉宏, 梶川康男, 川村満紀:鉄筋腐食によって損傷を受けたRCばかりの挙動に関する考察, 土木学会論文集, No.402/V-10, pp.105~114, 1989.

(1999.1.11 受付)