

京都大学 学生会員○福田 貴志 正会員 山本 貴士
正会員 服部 篤史 フェロー 宮川 豊章

1. 研究目的

本研究では、電食により鉄筋腐食をモデル化した RC 一軸圧縮供試体と、これに対して連続繊維シート巻立て補強を適用した供試体について、一軸圧縮試験を実施し、鉄筋腐食とこれにともなう腐食ひび割れが横拘束コンクリートの応力-ひずみ関係に与える影響を検討した。

2. 実験概要

供試体は、直径 15cm、高さ 30cm の円柱供試体とし、軸筋に異形鉄筋(SD295A, D10)をかぶり 15mm で 4 本(鉄筋比 $p=1.61\%$)配置した。コンクリートの目標配合強度は $f_{cc}=30\text{N/mm}^2$ とした。載荷は、単調一軸圧縮試験とし、荷重と供試体高さ中央部 20cm の区間の軸方向変形量を測定した。供試体一覧を表 1 に示す。

表 1: 供試体一覧及び試験結果

供試体名	要因	腐食ひび割れ幅 平均 (mm)	鉄筋腐食量(4本 平均) (%)	コン クリート強 度 f_{cc} (N/mm^2)	ヤング係数 E_{cc} ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	最大応 力 f_{cc}/f_{cc} (N/mm^2)	f_{cc}/f_{cc}	破壊 形式
C-SP					3.25	32.8	1.37	①
C-SS	スパイラル筋				4.92	32.7	1.36	①
C-SC1	CF 1層				3.37	36.8	1.53	③
C-SC2	CF 2層				3.31	37.5	1.56	③
C-SA	AF 1層				3.34	36.2	1.51	③
C-AP	腐食 ひび 割れ 有り	0.35	6.08		1.79	29.2	0.73	②
C-AS	スパイラル筋	0.07	2.13		2.32	38.5	0.96	①
C-AC1	CF 1層	0.21	4.89		2.38	37.3	0.93	③
C-AC2	CF 2層	0.27	5.53		2.35	39.7	0.99	③
C-AA	AF 1層	0.37	8.94		3.07	35.1	0.88	③

破壊形式 ①圧潰 ②脆性的に圧潰 ③シート破断

2.1 腐食ひび割れ 腐食は電食によりモデル化(積算電流量:鉄筋表面積あたり $1.0\text{A}\cdot\text{hour}$)し、健全供試体と軸鉄筋方向の腐食ひび割れが平均 0.26mm (質量減少率: 平均 5.8%)のものとした。

2.2 横拘束筋 横拘束筋は、既存部横拘束筋を想定した丸鋼スパイラル筋(SR235, $\phi 6\text{mm}$)を横拘束筋体積比 $\rho_v=1.0\%$ で用いたものと、既存部横拘束筋は配筋せず、巻立て補強を想定して炭素繊維シート(200g/m^2 , $f_u=3430\text{N/mm}^2$, $E_f=2.30\text{kN/mm}^2$)を横拘束筋体積比 $\rho_v=0.3(1\text{層})$, $0.6\%(2\text{層})$ で巻き立てたもの、およびアラミド繊維シート(280g/m^2 , $f_u=2060\text{N/mm}^2$, $E_f=1.18\text{kN/mm}^2$)を $\rho_v=0.5\%(1\text{層})$ で巻き立てたものとした。

3. 実験結果および考察

腐食ひび割れ幅、鉄筋の質量減少率の測定結果および載荷試験結果を表 1 にあわせて示す。

3.1 ヤング係数 腐食ひび割れ幅とヤング係数 E_{cc} の関係を図 1 に示す。腐食供試体の方が健全よりもコンクリート強度が大きいのにもかかわらず、いずれの要因でもヤング係数が健全より低下する傾向にある。供試体内にあらかじめ存在する腐食ひび割れによってコンクリートが軟化していると考えられる。また、スパイラル筋とアラミド 1 層を除いて、ひび割れ幅とヤング係数に、横拘束筋によらない比例関係が見られる。最大応力の $1/3$ をこえない領域では、いずれの横拘束筋においても、まだ有効な横拘束力がはたらいおらず、同程度の低下率になったと考えられる。

3.2 最大応力 最大応力 f_{cc} は、それぞれの供試体のコンクリート強度 f_{cc} で無次元化した最大応力比 f_{cc}/f_{cc} を指標として検討した。なお、連続繊維シートを巻き立てた供試体は、初期勾配から変曲点を經由

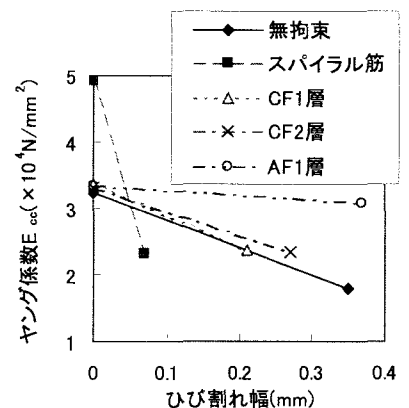


図 1: ひび割れ幅とヤング係数の関係

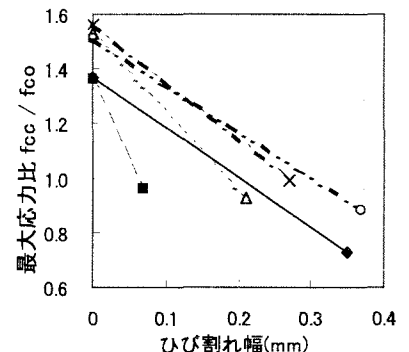


図 2 ひび割れ幅と最大応力比の関係

し、その後も応力が上昇しつづけ、連続繊維シートの破断により終局に至る応力-ひずみ関係となったことから、既往の研究¹⁾を参考に、初期勾配から二次勾配への変曲点を最大応力点とした。

腐食ひび割れ幅と最大応力比の関係を図2に示す。いずれの横拘束筋においても、腐食によって最大応力比が低下した。特に、スパイラル筋の低下率は、軸筋の腐食ひび割れ部分がコアコンクリートとなる連続繊維シート横拘束コンクリートよりも大きくなった。スパイラル筋の腐食による拘束力の低下と、軸筋とスパイラル筋による腐食ひび割れのコアコンクリート内部への進展が、耐荷性状に影響を与えたと考えられる。

3.3 応力-ひずみ関係 横拘束筋にスパイラル筋を用いた供試体を対象として、横拘束コンクリートに関する既往のモデル式²⁾を用いて、鉄筋腐食が応力-ひずみ関係に与える影響の考慮方法について検討した。

既往式では、有効に拘束されるコアコンクリートの最小有効断面積 A_e とスパイラル筋で囲まれる領域の断面積 A_{cc} の比である有効拘束係数 k_e を、横拘束の効果を表す係数として用いている。このとき、最小有効拘束断面積は、図3のように横拘束筋直下の接線角を 45° と仮定した放物線により表しているが、3.2から軸筋と横拘束筋の腐食により、コアコンクリートがあらかじめ損傷を受けており、有効に拘束されるコアコンクリート領域が小さくなっている可能性が示された。そこで、横拘束筋直下の接線角を $(\theta \leq 45^\circ)$ とおき、次式(1)のように有効拘束係数 k_e の低下を表現した。

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} = \frac{\left(1 - \frac{s'}{2d_s} \tan \theta\right)^2}{1 - \rho_{cc}} \quad \rho_{cc}: \text{軸方向鉄筋比} \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

結果を図4に示す。 $\theta=45^\circ$ として横拘束筋の腐食(鉄筋断面積の減少)のみを考慮した場合、健全モデルからの低下はほとんど見られなかった。次に、横拘束筋の腐食に加え、有効拘束係数の低下を考慮した場合、実験結果に近い関係が得られた。このときの角度 θ は 25° であった。載荷終了後の供試体は損傷が大きく、試験後の観察によってこの角度を確認することはできなかったが、腐食ひび割れによるコアコンクリートの損傷を、有効拘束係数 k_e の低減という形で取り入れることによって、鉄筋腐食を生じた横拘束コンクリートの応力-ひずみ関係をモデル化できる可能性がある。

4. 結論

(1) いずれの横拘束筋においても、腐食ひび割れを有する方が、健全に比べてヤング係数および最大応力比 f_{cc}/f_{co} が低下した。特に、軸筋とスパイラル筋が腐食したものでは、最大応力比の低下が大きく、スパイラル筋の腐食による拘束力の低下と、軸筋とスパイラル筋による腐食ひび割れのコアコンクリート内部への進展が、耐荷性状に影響を与えたと考えられる。

(2) 腐食ひび割れによるコアコンクリートの損傷を、既存の応力-ひずみ関係に有効拘束係数 k_e の低減という形で取り入れることによって、鉄筋腐食を生じた横拘束コンクリートの応力-ひずみ関係をモデル化できる可能性がある。

参考文献

- 1) 細谷 学, 川島一彦, 星隈順一: 炭素繊維シートで横拘束したコンクリート柱の応力度-ひずみ関係の定式化, 土木学会論文集, No.592/V-39, pp.37-52, 1998.5.
- 2) J.B.Mander, M.J.N.Priestley, and R.Park: Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, Journal of Structural Engineering, Vol.114, No.8, pp.1804-1826, August. 1988.

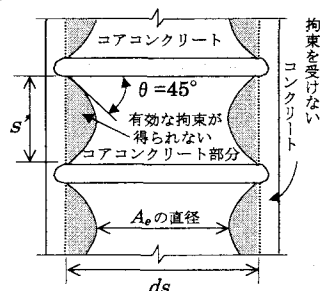


図3 有効拘束領域概略図

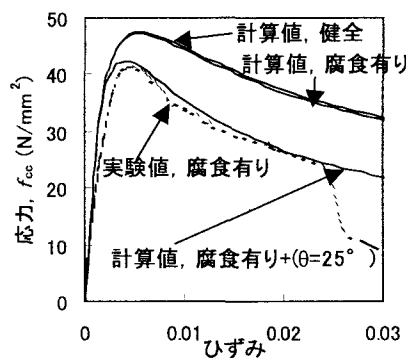


図4 応力-ひずみ関係