曲げ破壊靭性確保を目的としたRC部材の主鉄筋の破断防止設計法

東京理科大学院　学生員　○広瀬　泰之　東京理科大学　正会員　辻　正哲
鉄道総合技術研究所　正会員　岡本　大　東京理科大学院　学生員　三田　勝也
東京理科大学院　学生員　佐々木　彬　東京理科大学　中島　祥吾

１．はじめに

一般に，RC部材の靭性は，鉄筋の降伏によって確保できるように設計されている．しかし，引張主鉄筋が破断するともはや耐荷力を失うこととなる．一方，急速にその使用が広まっている高強度 RC 部材では，ひび割れ断面からの主鉄筋の抜出し量が少なく，また，鉄筋がコンクリート中にめり込もうとする時の抵抗力も大きくなり，引張鉄筋が破断しやすく，十分な曲げ破壊靭性を確保できなくなる可能性がある．このような懸念に対して，これまで同一鉄筋比であっても，ある一定以上の直径の主鉄筋を用いて,鉄筋をコンクリート中にめり込ませることで破断を防止し，高い曲げ破壊靭性を確保するという新しい方法[1)]を提案してきた．

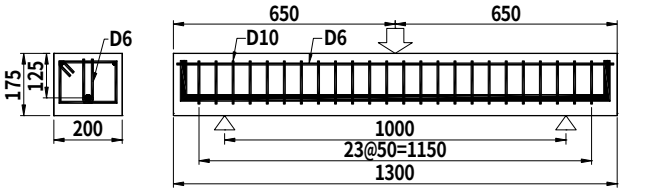
本研究では，まず，高強度鉄筋を用いたRC梁の載荷試験を実施し,本方法への有効高さの影響を検討する．そして，本載荷試験とこれまでに行ってきた RC 部材の載荷試験の結果，および主鉄筋の破断を防止するための設計法の検討[2)3)4)]を統合し，材料強度，部材寸法特に有効高さを問わず全ての RC 部材に適用できる曲げ破壊靭性確保を目的とした主鉄筋の破断防止設計法を提案する．

２．高強度鉄筋を配筋したRC梁に関する実験

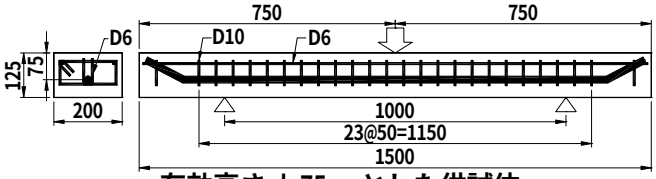
表-1および**図-1**に示した供試体について，二等分点載荷による一方向単調曲げ試験を行った．なお，すべてV_{yd}/V_{mu}が2以上となるように配筋した．

３．主鉄筋の破断防止のための設計方法

これまでに，普通強度鉄筋を配筋した供試体の塑性ヒンジ部における変形後の鉄筋とコンクリートとの鉄筋表面における釣合い条件から，鉄筋がコアコンクリートに押付けられる最大の応力(以下，支圧応力)，式(1)を考案[3)]した．本研究では，さらに，高強度鉄筋にも適用できるよう，鉄筋強度が大きくなり鉄筋の伸びが小さくなることで，主鉄筋の抜出し量も小さくなると考え，その影響が鉄筋の伸びの 2 乗に比例すると仮定し，新たに支圧応力，式(2)を提案した．



有効高さ d=100 および 125 ㎜とした供試体



有効高さ d=75 ㎜とした供試体

図-1　供試体寸法

表-1　供試体一覧および破断時たわみ

番号	記号	有効高さ d(mm)	コンクリート実圧縮強度 f'_c(N/mm²)	引張主鉄筋 種類	引張主鉄筋 本数	鉄筋比 P_t(%)	破断時のたわみ δ_{snap}(mm)
①	80N-D22(USD685)*1-75	75	75.5	D22 USD685	1	2.58	-
②	80N-D22(USD685)*1-100	100	81.6			1.94	75.6
③	80N-D22(USD685)*1-125	125	81.6			1.55	63.4
④	80N-D22(USD685)*1-150	150	84.6			1.29	57.0

$$\sigma'_a = 2T_u \cdot \sin(\theta/2)/(\phi \cdot dx) = T_u \cdot (\theta/2)/(\phi \cdot dx)$$
$$= (f_u \pi \phi^2/4) \cdot \{(\varepsilon_{su} + \varepsilon'_{cu} + k\varepsilon_{su}^2 \phi^2) dx/d\}/(\phi \cdot dx)$$
$$= f_u \pi \phi (\varepsilon_{su} + \varepsilon'_{cu} + k\phi^2)/4d \quad (1)$$
$$\sigma'_a = f_u \pi \phi (\varepsilon_{su} + \varepsilon'_{cu} + k\varepsilon_{su}^2 \phi^2)/4d \quad (2)$$

ここに，σ'_a:鉄筋がコアコンクリートに押し付けられる最大の応力(支圧応力)(N/㎟)，T_u:鉄筋の引張耐力(N)，θ:RC部材の曲率，f_u:鉄筋の引張強度(N/㎟)，φ:鉄筋径(㎜)，ε_{su}:鉄筋の伸び，d:有効高さ(㎜)，ε'_{cu}:コンクリートの終局ひずみ，k:鉄筋の抜出しを考慮する係数である．

一方で，実験結果より圧縮強度が高くなるとコンクリートの破壊形式が圧縮型から割裂引張型へ移行すると考え，コンクリートの引張強度 f_t に比例すると仮定した支圧強度 f'_a，式(3)を提案[3)]してきた．

$$f'_a = (A/A_a)^{1/2} \cdot 13.5 f_t = 27.0 f_t = 6.21 f'^{2/3}_c$$

ここに，f'_c:コンクリートの圧縮強度(N/㎟)，A:コンクリート面の支圧分布面積(㎟)，A_a:支圧を受ける面積(㎟)
f_t：コンクリートの引張強度(N/㎟)であり，また，コンクリートの支圧強度f'_aは支圧を受ける面積A_aが小さいとか

キーワード　靭性設計，曲げ破壊，高強度材料，鉄筋径，破断
連絡先　〒278-8510　千葉県野田市山崎2641　ＴＥＬ04-7124-1501（内線4054）　E-mail：saori@rs．noda．tus．ac．jp

らf'aをコンクリートの圧縮強度f'cの2倍とした．

そして，今回提案した支圧応力，式(2)が，支圧強度，式(3)以上となり，その比σ'a/f'aが1以上となれば主鉄筋がコアコンクリートにめり込み破断しないと仮定し，これまでに実施してきた一連の研究[2)3)4)]のRC梁の載荷試験の結果から逆算により　　鉄筋の抜け出し量の影響を考慮する係数kを0.1と求め，支圧応力と支圧強度の比σ'a/f'aを計算した．

図-2は，これまでに行ってきた一連の実験の供試体[2)3)4)]についての計算結果と各供試体における主鉄筋破断の有無の関係を示したものである．σ'a/f'aが1以上となった供試体では，鉄筋がめり込み，破断しないという実験結果となっており，材料強度，有効高さを問わず適用可能な主鉄筋破断防止のための設計手法を提示できたと考えている．

4．まとめ

主鉄筋破断を防止することは，高強度鉄筋，高強度コンクリートを用いたRC部材においても有効であることが明らかとなった．また，鉄筋強度によらず適用可能な支圧応力算定式を提案し，RC部材の主鉄筋破断の有無を推定する方法を提案できた．

参考文献

1) 角直樹，辻正哲：鉄筋径の相違がRC部材の曲げ靭性に及ぼす影響，第33回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，Ⅴ-010

2) 広瀬泰之，辻正哲：RC部材の曲げ破壊靭性確保に必要となる最小主鉄筋径の算定方法の検討，第62回土木学会年次学術講演会講演概要集，V-313

3) 広瀬泰之，辻正哲：高強度高靭性RC部材に必要となる最小主鉄筋径とコンクリート強度の関係，第63回土木学会年次学術講演会講演概要集，V-552

4) 田口哲平，辻正哲：コンクリートおよび主鉄筋強度が曲げ破壊靭性に及ぼす影響，第36回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集

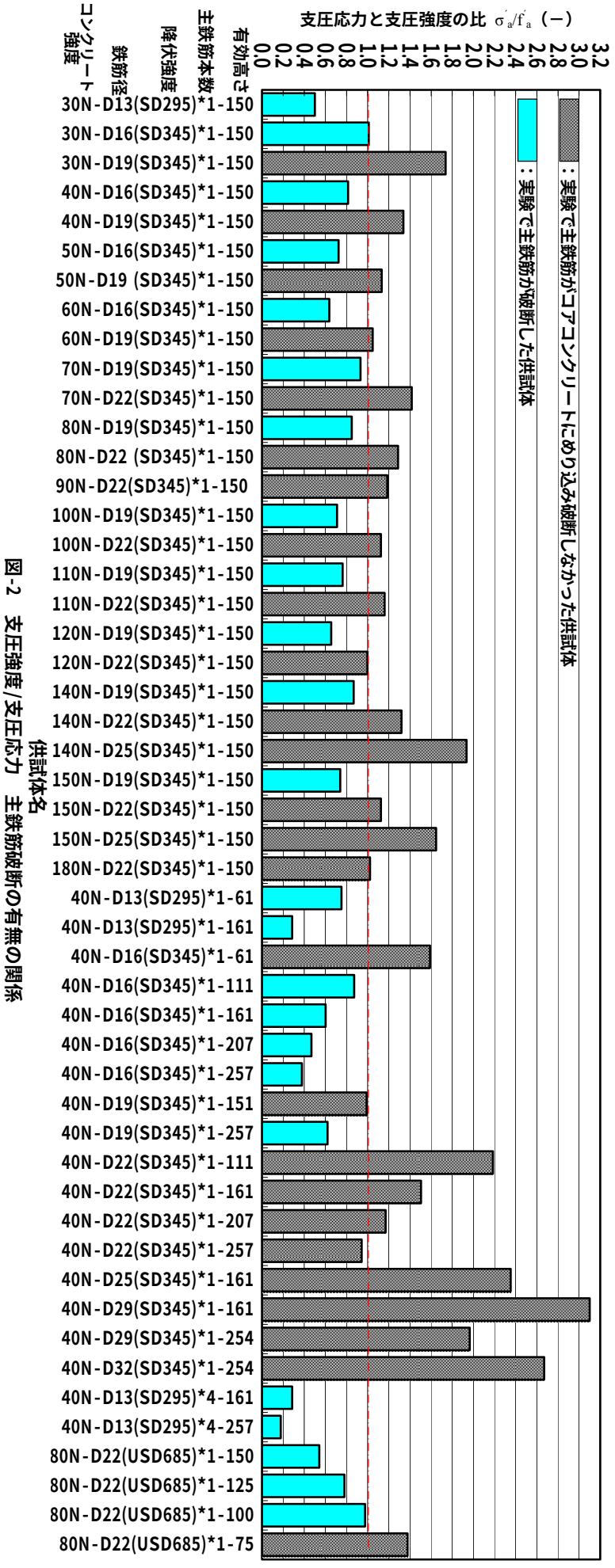


図-2　支圧強度/支圧応力　主鉄筋破断の有無の関係