

報告

[2053] 高強度せん断補強筋を用いたRC梁のせん断性状に関する実験研究

正会員 松崎 育弘 (東京理科大学工学部)
 正会員 中野 克彦 (東京理科大学工学部)
 正会員 ○ 磯 雅人 (東京理科大学大学院)
 渡辺 英義 (東京理科大学大学院)

1. はじめに

近年、高強度でかつ高品質の材料を用いた新しい鉄筋コンクリート造建築物(New RC)の開発が行われている。特に、RC造による高層建物や大空間の構造物などにより、高強度コンクリートの需要は、今後さらに増加する傾向にあり、その特性を有効に活用するために、鉄筋の高強度化が進められている。しかし、高強度の材料を用いた場合のRC部材の力学的性状は、基礎的なデータが十分でなく不明な点が多い。そこで本研究では、電炉により作製された高強度鉄筋UHY ($\sigma_y=7000\text{kgf/cm}^2$)をせん断補強筋に用いたRC梁についてせん断実験を行い、コンクリート強度とせん断補強筋の補強効果との関係、せん断終局耐力、破壊性状及び変形性状などについて検討を行うことを目的として研究を進めてきた。ここでは、その一部を報告する。

2. 実験概要

(1) 試験体及び使用材料 試験体要因一覧及び配筋図の一例を表-1、図-1に示す。試験体は、梁幅 $b=20(\text{cm})$ 、梁せい $D=40(\text{cm})$ 、せん断スパン比 $a/D=1.5$ 、主筋比 $p_t=p_c=2.88(\%)$ (5-D22)を共通事項とし、変動要因はせん断補強筋比(p_w)5水準、コンクリート強度(F_c)3水準、せん断補強筋の加工形状3水準とし、総数17体を計画した。尚、主筋にはせん断破壊を先行させるため焼入れ加工したものをを使用した。コンクリート及び鉄筋材料試験結果一覧を表-2、表-3に、鉄筋の $\sigma-\epsilon$ 曲線を図-2に示す。

(2) 加力および測定方法 加力模式図を図-3に示す。加力は、大野式逆対称モーメント形式で、一方向及び正負交番繰り返し載荷とした。

表-1 試験体要因一覧

シリーズ (F_c)	p_w (%)	鉄筋種	載荷履歴	スラップ 加工形状	鉄筋 の余長	折り曲げ 内のり直径
210	0.19, 0.40	D6	一方向	溶接閉鎖型	—	5d
	0.59, 0.89, 1.18	D10			—	3d
	0.19	D6		135°フック	6d	5d
				U字型	6d, *8d	5d
	1.18	D10		135°フック	6d	3d
				U字型	6d, *8d	3d
360	0.40	D6	正負	溶接閉鎖型	—	5d
	1.18	D10			—	3d
570	0.19	D6	一方向	溶接閉鎖型	—	4d
	0.89, 1.18	D10			—	4d
570	0.40	D6	一方向	溶接閉鎖型	—	5d
	0.59, 0.89	D10			—	3d

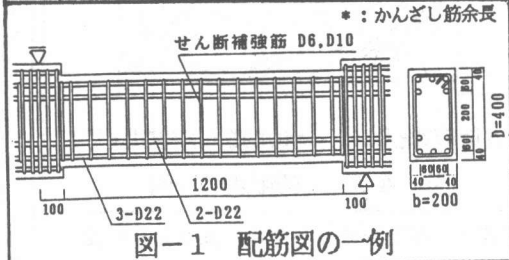


図-1 配筋図の一例

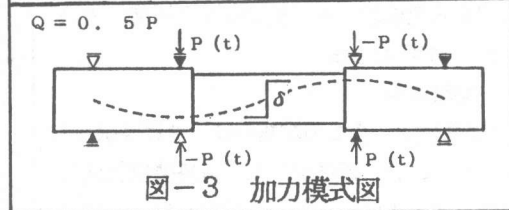


図-3 加力模式図

表-2 コンクリート材料試験結果一覧

シリーズ (F_c)	$c\sigma_B$ (kg/cm^2)	$c\sigma_t$ (kg/cm^2)
210	234	19.0
360	377	25.0
570	672	41.4

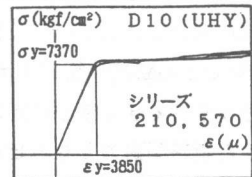
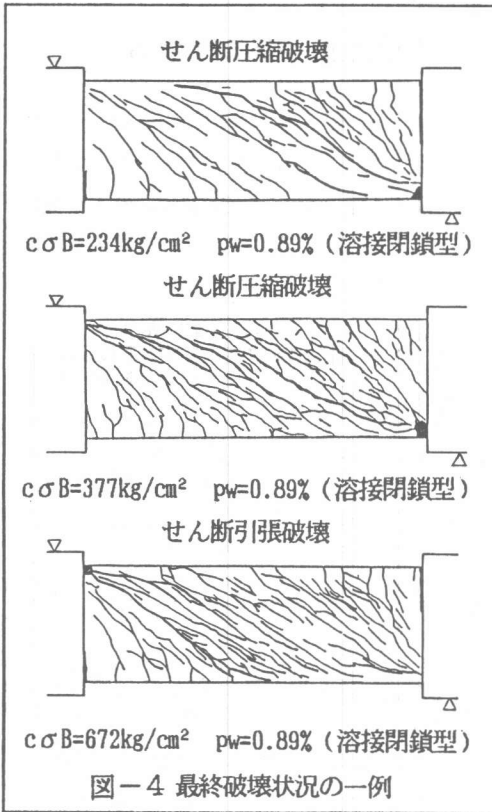


図-2 $\sigma-\epsilon$ 曲線

表-3 鉄筋材料試験結果一覧

シリーズ (F_c)	鉄筋の種類	$s\sigma_y$ (kg/cm^2)	$s\epsilon_y$ ($\times 10^{-6}$)	$s\sigma_{max}$ (kg/cm^2)	$s\epsilon \times 10^6$ (kg/cm^2)
210	主筋	D22	*10490	*7240	1.82
	補強筋	D6	(6970)	(4410)	1.78
		UHY	D10	7370	3850
360	主筋	D22	*9660	*7240	1.80
	補強筋	D6	(6930)	(3760)	1.81
		UHY	D10	7420	4000

* : 0.2%法による。
 () : G・Y・P法による。



測定は、荷重をロードセル、支点間相対変位を電気式変位計、主筋及びせん断補強筋の歪をf.s.gで行なった。

3. 実験結果

(1)破壊性状 全ての試験体は、曲げ降伏することなく、せん断破壊した。最終破壊状況の一例を図-4に示す。 $c\sigma B=234\text{kgf/cm}^2$ の試験体において、 p_w の小さな試験体($p_w=0.19, 0.40\%$)でせん断補強筋が降伏し、そのせん断補強筋を横切るせん断ひび割れが、大きく口開きせん断終局耐力となるせん断引張破壊を示したのに対し、 p_w が大きな試験体($p_w=0.59, 0.89, 1.18\%$)では、せん断補強筋が降伏することなく、圧縮部のコンクリートの圧壊でせん断終局耐力となる、せん断圧縮破壊を示した。 $c\sigma B=377\text{kgf/cm}^2$ の各試験体において、 $p_w=0.19\%$ では、せん断補強筋が降伏することによりせん断終局耐力を迎え、せん断引張破壊の様相を示したのに対し、 p_w が大きな試験体($p_w=0.89, 1.18\%$)では、せん断圧縮破壊となり、破壊性状の違いが見られた。また、 $c\sigma B=672\text{kgf/cm}^2$ の試験体は、全てせん断引張破壊を示した。次に、載荷方法の違いによる影響については、 $c\sigma B=234\text{kgf/cm}^2$, $p_w=1.18\%$ において一方向加力した試験体が、せん断圧縮破壊をしたのに対し、繰り返し載荷した試験体で

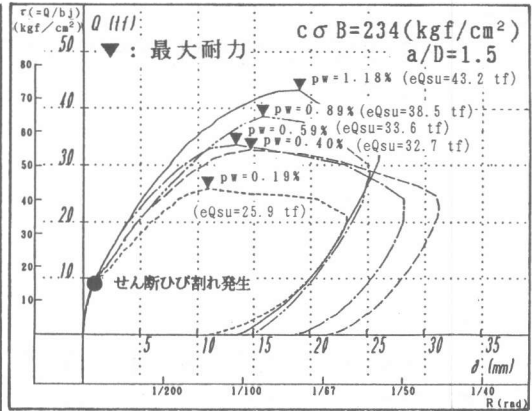


図-5 Q-δ関係(共通要因: $F_c=210\text{kgf/cm}^2$)

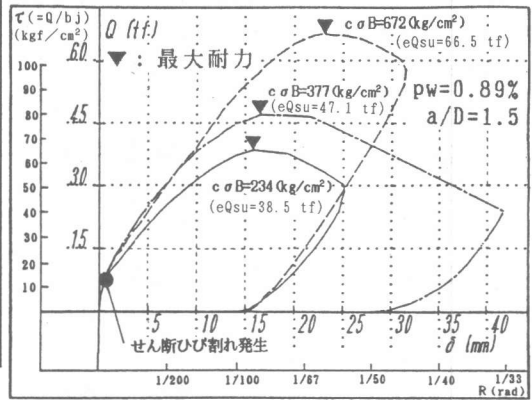


図-6 Q-δ関係(共通要因: $p_w=0.89\%$)

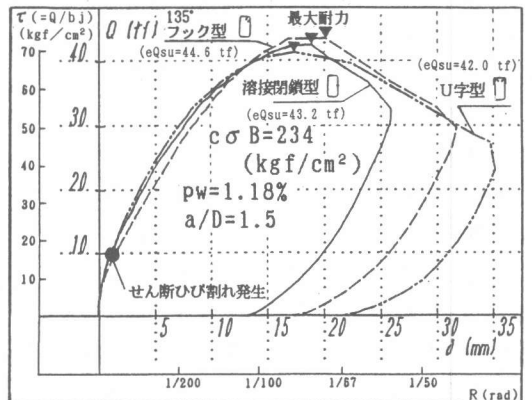


図-7 Q-δ関係(共通要因: $p_w=1.18\%$)

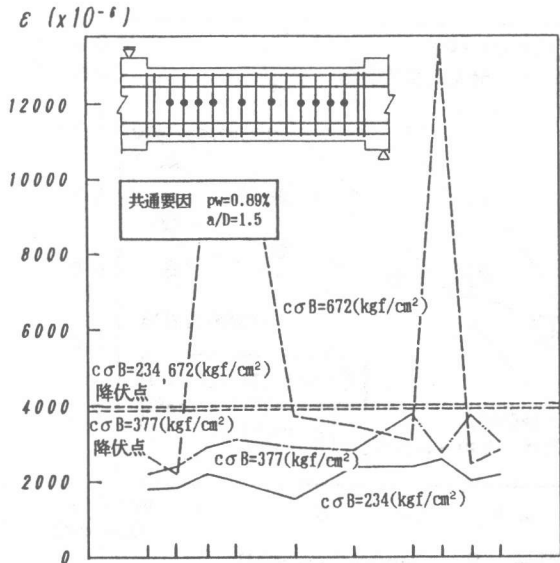


図-8 最大耐力時における補強筋の歪分布

は、付着割裂破壊をしており載荷方法の影響がみられた。また、フックの加工形状の違いによる破壊性状の影響は見られなかった。

(2)変形性状 せん断力(Q)-支点間相対変位(δ)関係を図-5~図-7に示す。初期剛性は、せん断補強筋比、コンクリート強度による影響はみられなかった。また、せん断ひび割れ発生以後の剛性及び最大耐力時の変形は、せん断補強筋比の増加とともに、増す傾向がみられた。フックの加工形状による影響については、加工形状による影響は無く、ほぼ同様な性状を示した。

(3)補強筋の歪分布 最大耐力時における補強筋の歪分布を図-8に示す。せん断補強筋比(pw)=0.89%の試験体と比較した場合、cσB=234kgf/cm²の試験体においては補強筋の降伏はみられず、平均的に歪む傾向がみられ、歪の値は、2000μ程度であった。それに対してcσB=377kgf/cm²の試験体の歪分布は、平均的に歪み、歪の値は3000μ~4000μであり、降伏直前であった。また、cσB=672kgf/cm²の試験体では、両端の補強筋の歪が降伏歪に達しておりせん断引張破壊を示した。この事よりコンクリート強度を上昇させることにより、高強度鉄筋のもつ高い降伏強度を有効に利用できることが確認できた。

(4)既往の計算式との比較 本実験において、繰り返

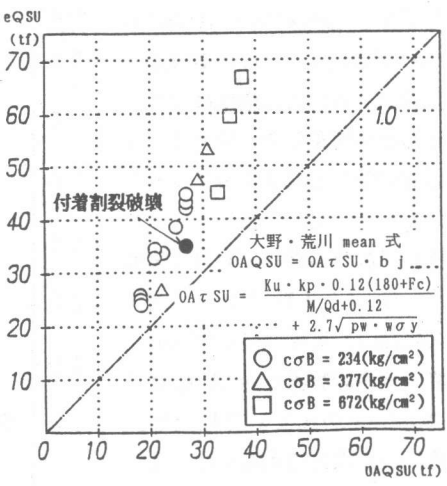


図-9 eQsu-OAQsu 関係

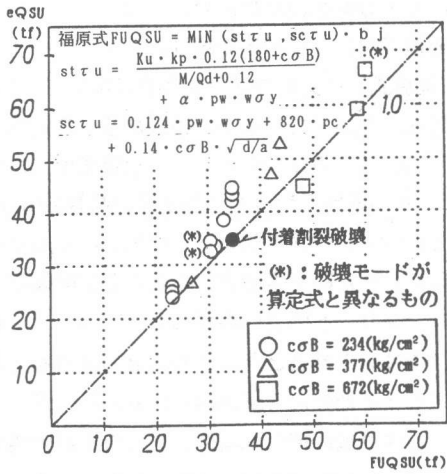


図-10 eQsu-FUQsu 関係

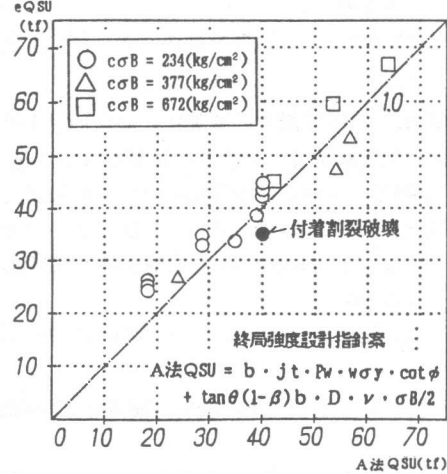


図-11 eQsu-A法Qsu 関係

し載荷した試験体 ($c\sigma B=234\text{kgf/cm}^2$, $p_w=1.18\%$) では付着破壊したが、その他の試験体は全て、せん断破壊をした。参考までに付着破壊した試験体もプロットしておく。図-9~図-11にそれぞれせん断終局耐力の実験値 (eQ_{su}) と大野・荒川mean式¹⁾ (CAQ_{su})、福原式²⁾ (FUQ_{su})、終局強度設計指針案 (A法)式³⁾ ($A法Q_{su}$) の比較を示す。大野・荒川mean式との比較では、全ての試験体で実験値は計算値を上回り十分安全側に評価でき、比較値で1.21~1.78倍であった。

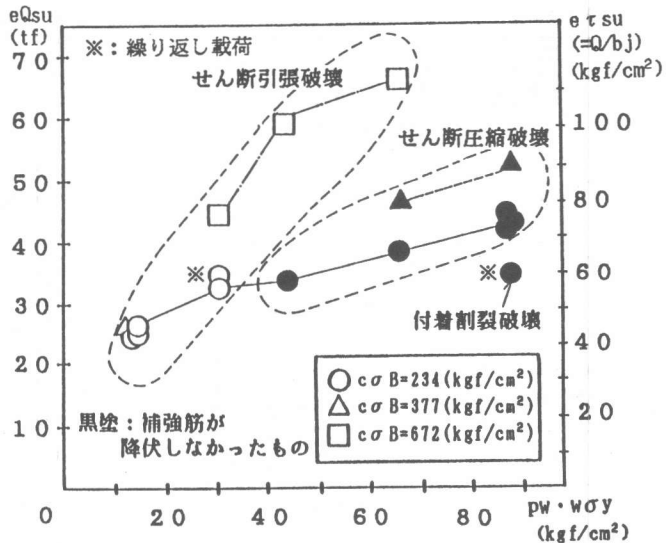


図-12 $eQ_{su}-p_w \cdot w \cdot \sigma_y$ 関係

福原式との比較では、比較値は0.93~1.29倍となり一番よい適合性を示したが、破壊モードが算定式と対応していないものがあり、算定式の表現に矛盾が生じた。次に、終局強度設計指針案 (A法)式との比較を示すが、比較値は、0.87~1.42倍となった。

(5)せん断終局耐力とせん断補強筋量の関係 せん断終局耐力実験値 (eQ_{su}) とせん断補強筋量 ($p_w \cdot w \cdot \sigma_y$) 関係を図-12に示す。せん断補強筋量の増加にともない、せん断終局耐力は上昇するが、せん断引張破壊からせん断圧縮破壊に移行すると上昇の割合が緩慢になる傾向がみられた。コンクリート強度の影響については、せん断補強筋量が同じ試験体で比較した場合、コンクリート強度の上昇とともにせん断終局耐力も上昇する傾向が見られた。また、繰り返し載荷した試験体 ($c\sigma B=234\text{kgf/cm}^2$, $p_w=1.18\%$) の耐力が、一方方向単調載荷の耐力に比べ低くなっている。これは、一方方向単調載荷の試験体がせん断圧縮破壊で破壊に至っているのに対し、繰り返し載荷した試験体は、付着割裂破壊で破壊に至り、破壊性状の違いがみられ、その影響によるものと考えられる。

4. まとめ

(1)コンクリート強度を高めると、高強度鉄筋のもつ高い降伏強度を有効に利用できることが確認できた。

(2)せん断補強筋量の増加にともないせん断終局耐力は上昇する傾向にあり、せん断引張破壊からせん断圧縮破壊に破壊モードが移行すると、上昇の割合は変化する傾向が認められた。

【謝辞】 本研究は高強度鉄筋UHYの研究開発に関する研究委員会 (委員長 小倉弘一郎 明大教授) の研究活動の一環として行われた。また、本研究を行うにあたり御協力頂いた平成元年度卒研 加藤 賢一君、並びに鉄筋を提供して頂いた北越メタル株式会社に深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) 荒川 卓: 鉄筋コンクリートはりの許容せん断応力度とせん断補強について:
コンクリートジャーナル, Vol. 8, No. 7, 1970
- 2) 福原 正志, 杉浦光義他: 高強度せん断補強筋を用いた梁のせん断終局強度算定式の検討:
日本建築学会大会学術講演梗概集, 1989, 10, PP. 707~708
- 3) 渡辺 史夫: 鉄筋コンクリート部材のせん断強度と変形性能:
コンクリート工学年次論文報告集, 10-1, 1988, PP. 105~114