

[2072] 曲げを受ける RC 梁の被りコンクリート圧壊後の耐荷力と
韌性に及ぼす圧縮鉄筋の影響

矢代秀雄^{*1}・花井重孝^{*2}

1. まえがき

鉄筋コンクリート梁（RC 梁）の曲げ実験を、筆者らは単純支持 2 点集中荷重で行ってきた。複筋梁で引張鉄筋比が釣合鉄筋比以下のとき、荷重を加えるとモーメント（M）－たわみ（δ）関係は図-1 のようになる [1]。A 点で初めにスパン中央の梁下端にひび割れが発生して剛性が低下し、B 点で引張鉄筋が降伏してたわみ曲線は急に折れ曲がり（部材降伏）、ほとんど水平に近くなる。その後耐荷力はわずかではあるが上がり C 点で最大耐力に達する。それから耐荷力が少し落ちたところ D 点で圧縮側の被りコンクリートが圧壊し始める。続いて E 点で圧縮鉄筋が座屈すると耐荷力が急に低下し、図-1 の（I）の状態となる [2]。しかし、ここで圧縮コンクリートを横補強筋（あばら筋など）によって拘束するとともに、圧縮鉄筋の圧縮応力が座屈によって低下しないようにしておけば、図-1 の（II）、（III）、（IV）のように耐荷力の低下は防げる。図-1 の（II）の状態は E 点で被りコンクリートが剥落するが、E 点から F 点まで、圧縮鉄筋の圧縮応力が座屈によって低下しないので、ほぼ一定の耐荷力を保ち、F 点で圧縮鉄筋が座屈し耐荷力が低下している場合である。図-1 の（III）の状態は E 点で被りコンクリートが剥落するが、E 点から G 点まで（II）と同様ほぼ一定の耐荷力を保ち、G 点で引張鉄筋がひずみ硬化に入り耐荷力はわずか上がり H 点で圧縮鉄筋が座屈し耐荷力が低下している場合である。図-1 の（IV）の状態は E 点で被りコンクリートが剥落するが、E 点から G 点まで（II）と同様ほぼ一定の耐荷力を保ち、G 点で引張鉄筋がひずみ硬化に入り耐荷力はわずかづつ上がり、I 点で圧縮鉄筋がひずみ硬化に入り耐荷力は更にわずかづつ上がり、J 点で圧縮鉄筋が座屈し耐荷力が低下している場合である。

本論では曲げを受ける RC 梁の被りコンクリート圧壊後の耐荷力と韌性に及ぼす圧縮鉄筋の影響を検討するために、既往の引張鉄筋は一定にして、圧縮鉄筋を変えた試験体の実験の他に、圧縮鉄筋は一定にして、引張鉄筋を変えた試験体の実験を行った。

2. 加力方法と試験体形状

梁の曲げ実験は、単純支持で 2 点集中荷重

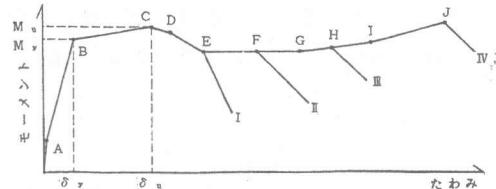


図-1 RC 梁のモーメントーたわみ関係

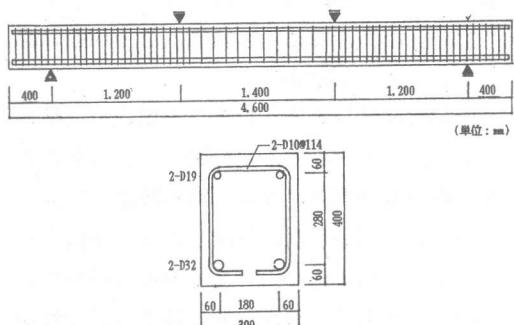


図-2 試験体形状

*1 五洋建設顧問 技術研究所、工博（正会員）

*2 日本大学専任講師 生産工学部建築工学科、（正会員）

を加えて行った。

実験した試験体の形状は、 $b \times D = 30\text{cm} \times 40\text{cm}$ 、 $d = 34\text{cm}$ 、 $d_c = d_t = 6\text{cm}$ とし、純曲げ区間を 140cm 、せん断スパンを 120cm とした(図-2)。

3. 引張鉄筋は一定で、圧縮鉄筋を変えた場合の実験 [3]

引張鉄筋は $2-D 32$ ($\Sigma a_t = 15.88\text{cm}^2$: $\sigma_y = 3035\sim 3098\text{kgf/cm}^2$)に一定にし、圧縮鉄筋は $2-D 13$ ($\Sigma a_c = 2.54\text{cm}^2$: $\sigma_y = 3811\text{kgf/cm}^2$)、 $2-D 19$ ($\Sigma a_c = 5.74\text{cm}^2$: $\sigma_y = 3711\text{kgf/cm}^2$)、 $2-D 25$ ($\Sigma a_c = 10.14\text{cm}^2$: $\sigma_y = 3274\sim 3284\text{kgf/cm}^2$)と変えた(図-3)。

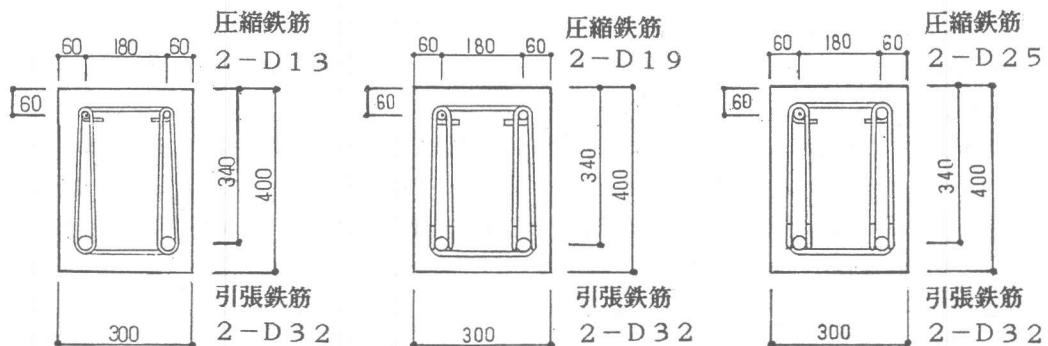


図-3 試験体断面

横補強筋は $D 10$ を使用した。各々の試験体の純曲げ区間内の横補強筋間隔は、圧縮鉄筋の公称直径(d_{cs})の約6倍、8倍、10倍とした。

圧縮鉄筋に $D 13$ 、 $D 19$ 、 $D 25$ を用いた試験体の正側繰り返し荷重を加えたときの加力方法・たわみ測定位置を図-4に、モーメント-たわみ曲線(包絡線)をそれぞれ図-5、6、7に示す。

圧縮鉄筋に $D 13$ 、 $D 19$ を用いた試験体のモーメント-たわみ曲線図-5、6をみると、横補強筋間隔が $6 d_{cs}$ の試験体(1306:1906)は、引張鉄筋が降伏した後、降伏たわみ(δ_y)の4倍くらいまで耐荷力がわずかではあるが上がり最大耐力に達する。それから $5 \delta_y$ 付近で耐荷力が少し落ちたところで圧縮側の被りコンクリートが圧壊し始め、耐荷力は少し低下する。この耐荷力の低下は、圧縮鉄筋に $D 13$ を用いた試験体(1306)の方が少しきい。その後、 $10 \delta_y$ 付近まで耐荷力を保持している。横補強筋間隔が、 $8 d_{cs}$ 、 $10 d_{cs}$

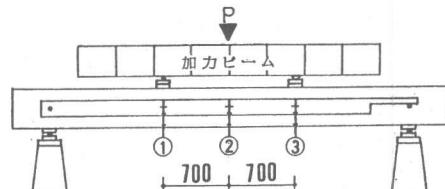


図-4 加力方法・たわみ測定位置

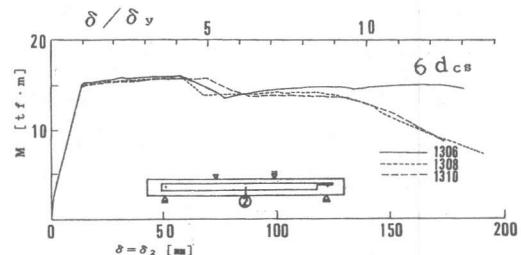


図-5 モーメント-たわみ曲線
(圧縮鉄筋 D13の場合: $\gamma_e = 0.20$)

の試験体（1308、1310：1908、1910）は、引張鉄筋が降伏した後、 $6 d_{cs}$ の試験体（1306：1906）と同じように $4 \sim 5 \delta_y$ くらいまで耐荷力は上昇し、 $5 \sim 6 \delta_y$ くらいで圧縮側の被りコンクリートが圧壊し始め、耐荷力は少し低下する。その後、 $8 \sim 9 \delta_y$ まで耐荷力を保持しているが、 $10 \delta_y$ 付近で $6 d_{cs}$ の試験体に比べ、耐荷力は大きく低下する。圧縮鉄筋の座屈によるもので、低下割合は圧縮鉄筋にD13を用いた試験体の方が大きい。

圧縮鉄筋にD25を用いた試験体のモーメントーたわみ曲線図-7をみると、横補強筋間隔が $6 d_{cs}$ 、 $8 d_{cs}$ 、 $10 d_{cs}$ の各試験体（2506、2508、2510）とも同じような曲線で、 $4 \sim 5 \delta_y$ くらいで最大耐力に達し、 $5 \sim 6 \delta_y$ くらいで被りコンクリートで圧壊するが耐荷力の低下はあまりみられないで、 $8 \delta_y$ くらいから耐荷力はわずかながら上がり $10 \delta_y$ で最大耐力と同じ値になっている。引張鉄筋のひずみ硬化と思われる。その後 $15 \delta_y$ を越して耐荷力は少しづつ上がっている。

圧縮鉄筋にD13、D19、D25を用いた試験体の複筋比($r = \sum a_c / \sum a_t$)は、それぞれ0.16、0.36、0.64で、有効複筋比($r_e = \sum a_c \cdot \sigma_y / \sum a_t \cdot \sigma_y$)は、それぞれ0.20、0.44、0.67である。なお、コンクリート圧縮強度(σ_B)は288~330kgf/cm²である。

次に圧縮鉄筋にD13、D19、D25を用いた試験体で横補強筋を $6 d_{cs}$ としたときのモーメントーたわみ曲線をみると、引張鉄筋が降伏したときの耐荷力(M_y)及び降伏たわみは、ほとんど変わらない。また、その後耐荷力がわずかずつ上がる様子もほとんどかわらないが、圧縮側の被りコンクリートが圧壊し始めてからの様子が異なる。すなわち圧縮鉄筋がD25では耐荷力がほとんど低下しないで、引張鉄筋がやがてひずみ硬化に入り耐荷力は被りコンクリート圧壊前の最大耐力より上がる。これに対して圧縮鉄筋がD19、13となるにつれて、耐荷力が低下する。これはD25の場合は被りコンクリートが圧壊したときD25はまだ降伏していないがD13の場合は降伏しているから耐荷力が低下する。しかし、横補強筋が $6 d_{cs}$ なので圧縮鉄筋は座屈による耐荷力が低下せず梁の耐荷力は一定の値を保っている。（図-8）

圧縮鉄筋にD13、D19、D25を用いた試験体で横補強筋を $8 d_{cs}$ 、 $10 d_{cs}$ としたとき

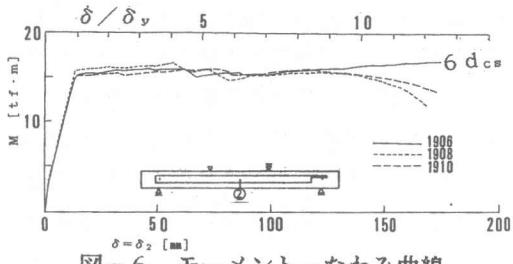


図-6 モーメントーたわみ曲線

(圧縮鉄筋 D19の場合 : $r_e = 0.44$)

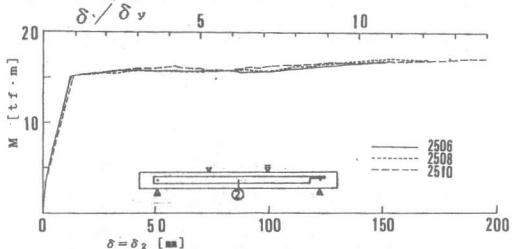


図-7 モーメントーたわみ曲線

(圧縮鉄筋 D25の場合 : $r_e = 0.67$)

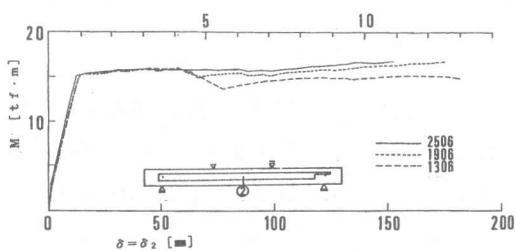


図-8 モーメントーたわみ曲線

($6 d_{cs}$ の場合)

のモーメントーたわみ曲線図-9、10を見ると、図-8と同様に圧縮側の被りコンクリートが圧壊し始めてからの様子が異なる。

すなわち圧縮鉄筋がD 25では図-8と変わらないが、D 13、D 19では被りコンクリートが圧壊してから耐荷力は少し低下するが一定の値をしばらく保っている。しかしやがて圧縮鉄筋の耐荷力が座屈により低下し、梁の耐荷力が急に低下する。低下の割合は圧縮鉄筋D 13の方がD 19より大きいし、10

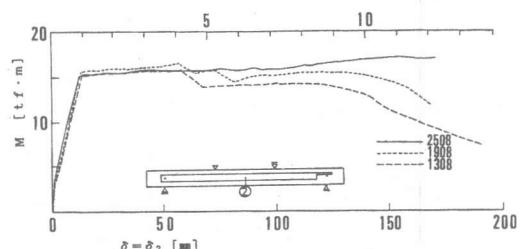


図-9 モーメントーたわみ曲線
($8 d_{cs}$ の場合)

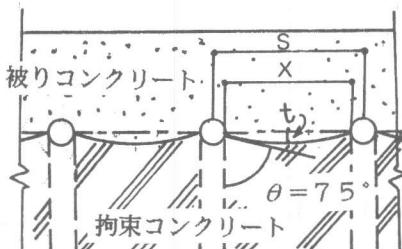


図-11 被りと拘束コンクリート
の境界(仮定)

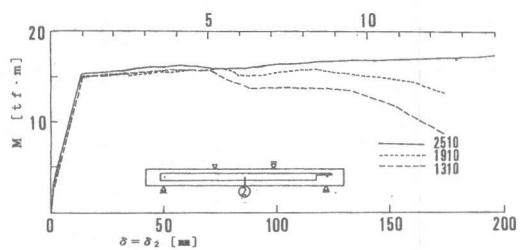


図-10 モーメントーたわみ曲線
($10 d_{cs}$ の場合)

d_{cs} の方が $8 d_{cs}$ より大きい。

なお、圧縮鉄筋D 13、D 19、D 25によって被りコンクリートが多少異なる。これについて被りコンクリートと拘束コンクリートの境界を筆者らは図-11のように仮定した。
[4]。角度75°は実験の破壊形状より仮定した。この実験ではかぶりの影響はあまりないものと考えている。

4. 圧縮鉄筋は一定で、引張鉄筋を変えた場合

圧縮鉄筋は2-D 19 ($\Sigma a_c = 5.74 \text{cm}^2$: $\sigma_y = 4077 \text{kgf/cm}^2$) に一定にし、引張鉄筋は2-D 22 ($\Sigma a_t = 7.74 \text{cm}^2$: $\sigma_y = 3695 \text{kgf/cm}^2$)、2-D 25 ($\Sigma a_t = 10.14 \text{cm}^2$: $\sigma_y = 4103 \text{kgf/cm}^2$)、2-D 32 ($\Sigma a_t = 15.88 \text{cm}^2$: $\sigma_y = 3904 \text{kgf/cm}^2$)と変えた。引張鉄筋は2-D 22、2-D 25、2-D 32を用いた試験体の複筋比(r)は、0.7、0.57、0.36で、引張鉄筋2-D 32の有効複筋比は、0.82、0.56、0.38である。横補強筋(あばら筋)は、

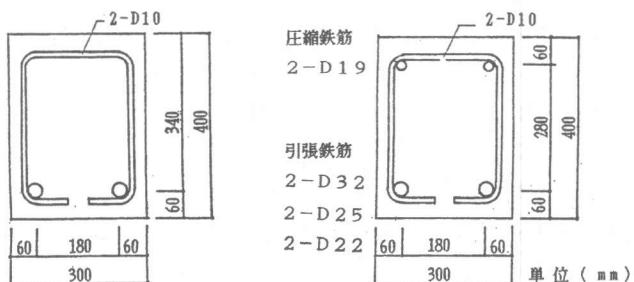


図-12 試験体断面

D10を使用した。純曲げ区間の横補強筋間隔は有効複筋比0.38の試験体(496,498,4910,4920)の場合圧縮鉄筋(D19)の公称直径(d_{cs})の6倍(11.4cm),8倍(15.2cm),10倍(19.0cm)、20倍(38.0cm)とし、有効複筋比0.56の試験体(6910,6920)の場合は同様に10倍、20倍とし、有効鉄筋比0.82の試験体(7920)の場合は同様に20倍とした。なお、引張鉄筋に2-D32を用い圧縮鉄筋のない試験体(096,0910,0920)の場合は横補強筋間隔を11.4cm、19.0cm、38.0cmとした。

圧縮鉄筋なしで引張鉄筋に2-D32を用いた試験体(096,0910,0920)のモーメント-たわみ曲線図-13をみると、引張鉄筋降伏時のモーメントは、圧縮鉄筋に2-D19引張鉄筋に2-D32を用いた試験体(496,498,4910,4920)の図-14とほとんど同じであるが、試験体(096,0910,0920)は $3\delta_y$ で最大耐力に達し、その後被りコンクリートが圧壊し、耐荷力が急に低下している。試験体(469,498,4910,4920)では $4\delta_y$ くらいで最大耐力に達し、その後被りコンクリートが圧壊し、試験体4920は圧縮鉄筋が座屈し耐荷力が急に低下している。試験体4910,498は被りコンクリートが圧壊した後も圧縮鉄筋の圧縮応力が座屈により低下しないのでほぼ一定の耐荷力を保ち、それぞれ $8\delta_y$ 、 $9\delta_y$ くらいで圧縮鉄筋が座屈し耐荷力が急に低下している。試験体496は被りコンクリート圧壊後 $8\delta_y$ くらいまで一定の耐荷力を保ち、その後引張鉄筋のひずみ硬化により耐荷力は $15\delta_y$ 過ぎまで少しづつ上がっている。

引張鉄筋に2-D25を用いた試験体6910,6920の図-15は $6\delta_y$ で最大耐力に達し、試験体6920は $9\delta_y$ まで一定の耐荷力を保ち、その後圧縮鉄筋が座屈し耐荷力が急に低下しているが、試験体6910は $12\delta_y$ まで一定の耐荷力を保ち、その後圧縮鉄筋が座屈し耐荷力が急に低下している。

図-16は試験体496,6910,7920を比較したものである。被りコンクリート圧壊後の耐荷力と韌性は有効複筋比0.38と小さい試験体496では横補強筋間隔 $6d_{cs}$ でないとよくないが、有効複筋比0.82と大きい試験体7920では横補強筋間隔 $20d_{cs}$ でもよい結果が出て

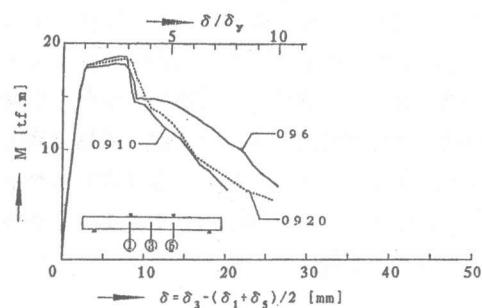


図-13 モーメント-たわみ曲線
(圧縮鉄筋なしで、引張鉄筋 2-D32の場合)

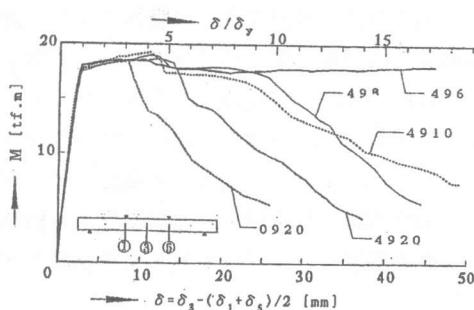


図-14 モーメント-たわみ曲線
(引張鉄筋 2-D32の場合)

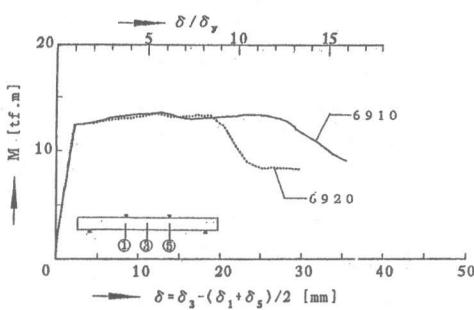


図-15 モーメント-たわみ曲線
(引張鉄筋 2-D25の場合)

いる。なお、コンクリート圧縮強度 (σ_B) は258~285kgf/cm²である。

5.まとめ

引張鉄筋が一定で圧縮鉄筋を変えた場合も、圧縮鉄筋が一定で引張鉄筋を変えた場合も有効複筋比と横補強筋間隔が耐荷力に関係することがわかった。すなわち、曲げを受けるRC梁の被りコンクリート圧壊後の耐荷力と韌性は、有効複筋比が大きければ、横補強筋間隔が大きくてよいことと、有効複筋比が小さいときは、横補強筋間隔を小さくする必要があることが解った。

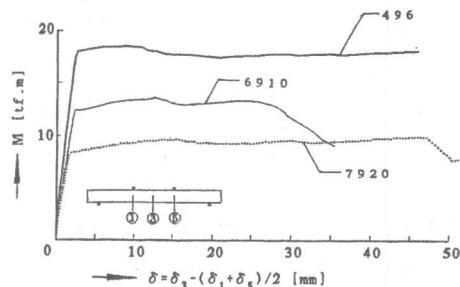


図-16 モーメント-たわみ曲線

参考文献

- 1) 矢代秀雄・清水庸介・中野初子・芦 恵文：RCばかりのじん性に及ぼす横補強筋の効果と引張鉄筋比の影響、第6回コンクリート工学年次講演会論文集。pp. 569-572、1984.5
- 2) 若林 實著：耐震建築の設計、p. 108、彰国社
- 3) 矢代秀雄・清水庸介：曲げを受けるはりの圧縮鉄筋の補強効果に関する実験的研究、第4回コンクリート工学年次講演会論文集、pp. 349-352、1982.4
- 4) 矢代秀雄・清水庸介・諸橋憲貴・村田義行：RCばかりの終局曲げ耐力に及ぼす圧縮側コンクリートの影響、コンクリート工学年次論文報告集、VOL. 10、No. 3 pp. 669-674、1988.6