Ｖ－51　塑性理論によるＲＣ部材のせん断耐力評価

東北大学　学生員 ○ 姜　錫和
東北大学　正会員　　鈴木基行
東北大学　正会員　　尾坂芳夫

１．はじめに

現行のせん断設計法では，せん断耐力をせん断補強筋の受け持つせん断耐力とそれ以外の部材断面自身の受け持つせん断耐力との和で表す方法が用いられている．しかし，部材断面自身の受け持つせん断耐力は，多くの実験データから回帰分析手法によって求めているため，力学的意味が必ずしも明確でなく，従来考えられていた適用範囲を越えるような場合には，対応できなくなる欠点がある．したがって，せん断設計法は曲げ設計法のように，世界的に広く認められた共通の設計手法がなく，過去の経験や研究の進展状況などの違いにより，国や機関によって種々異なった設計基準が定められているのが現状である．

本研究では，曲げモーメントとせん断力とを同時に受けるＲＣ部材のせん断耐力および斜めひびわれの角度を，理論的に評価することを目的としたものであり，せん断耐力は，塑性理論の上界定理に基づいた手法の一種である終局つり合い法に基づいて，力とモーメントのつり合い条件を考慮して理論的に導いた．

２．せん断耐力評価式の誘導

一般に，実験的観測によると，ＲＣ部材に斜めひびわれが生じた場合，引張主鉄筋には通常の曲げ理論による計算値を上回る応力が発生することが知られている[1]．この引張主鉄筋の応力増加は，斜めひびわれの形成によって引張主鉄筋の着目断面が変化するためであり，引張主鉄筋の設計においては，外力として与えられる曲げモーメントのみでなく，それにせん断力によるモーメントを加えたモーメント（引張主鉄筋に対する有効モーメントとも呼ばれる）に対して行わなければならない．

図-1において，断面Ⅱ－Ⅱでのモーメントのつり合いを考える．外力によるモーメント（M_{ext}）は，曲げによるモーメント（M_u）とせん断力によるモーメント（$V_u(d-d_p)\cot\alpha$）との和で表される．よって

$$M_{ext}=M_u+V_u(d-d_p)\cot\alpha \tag{1}$$

一方，断面Ⅱ－Ⅱの中立軸（終局状態における）において，外力に抵抗する内部抵抗モーメント（M_{int}）は，引張主鉄筋による抵抗モーメントM_{us}，せん断補強筋による抵抗モーメントM_{uv}，圧縮域のコンクリートによる抵抗モーメントM_{uc}の和として表される．

$$M_{int}=M_{us}+M_{uv}+M_{uc} \tag{2}$$

式（2）の右辺の各項は次のように表される．

$$M_{us}=A_s f_{sy}(d-d_p) \tag{3}$$

$$M_{uv}=\frac{A_v f_{vy}(d-d_p)^2\cot^2\alpha}{2s} \tag{4}$$

$$M_{uc}=b d_p^2 f_{ck} k_1/2 \tag{5}$$

モーメントのつり合い条件によって

$$M_{ext}=M_{int} \tag{6}$$

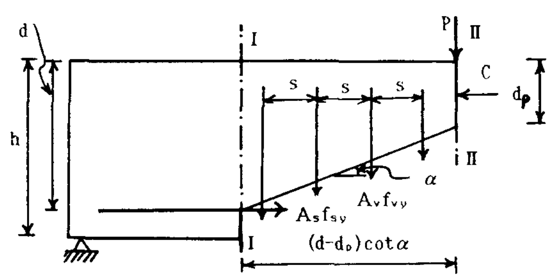

図-1　斜めひびわれを1本の直線でモデル化

であるから，式(1)，(2)から

$$M_u+V_u(d-d_p)\cot\alpha=A_s f_{sy}(d-d_p)+\frac{A_v f_{vy}(d-d_p)^2\cot^2\alpha}{2s}+b d_p^2 f_{ck} k_1/2 \tag{7}$$

となる．式(7)に破壊面の中立軸での力のつり合い条件と$M_u／V_u=a$の関係を代入して整理すると，

$$V_u=\frac{1}{a+(d-d_p)\cot\alpha}\left\{A_s f_{sy}(d-d_p/2)+\frac{A_v f_{vy}(d-d_p)^2\cot^2\alpha}{2s}\right\} \tag{8}$$

が導かれる．そして，内部せん断抵抗力が最小になるように斜めひびわれの角度を定めるために，せん断抵抗力を斜めひびわれ角度αで微分し，0とおくと，

$$\frac{dV_u}{d\alpha} = 0 \tag{9}$$

となる．この式を整理し，cotαに関する2次式を解くと次式が得られる．

$$\cot\alpha = \frac{-a}{d-d_p} + \sqrt{\left(\frac{-a}{d-d_p}\right)^2 + \frac{2s(d-d_p/2)A_s f_{sy}}{(d-d_p)^2 A_v f_{vy}}} \tag{10}$$

式(10)はせん断抵抗力を最小にする斜めひびわれの角度αを与える式であり，その時のせん断抵抗力，すなわち，せん断耐力V_uは次式のように与えられる．

$$V_u = \frac{A_v f_{vy}}{s}\left\{\sqrt{a^2 + \frac{2s(d-d_p/2)A_s f_{sy}}{A_v f_{vy}}} - a\right\} \tag{11}$$

3．下界定理によるせん断耐力

本論文において導かれたせん断耐力評価式は，塑性理論での上界値であるが，さらに，その解を塑性理論による下界値と比較し検討を行った．下界値の検討においては，曲げとせん断が同時に作用するＲＣ部材に対して，力のつり合い条件のみによってせん断耐力を求めているThürlimannのトラスモデル[2)]を用いた．Thürlimannのトラスモデルにおいては，斜めひびわれと斜めひびわれに挟まれた腹部のコンクリートが上弦材と下弦材に影響を及ぼすと考えて，水平方向および鉛直方向に対する力のつり合い条件から，式(12)のようにせん断耐力V_{ut}を求めている．

$$V_{ut} = \frac{A_v f_{vy}}{s}\left\{\sqrt{a^2 + \frac{2sd_t A_s f_{sy}}{A_v f_{vy}}} - a\right\} \tag{12}$$

式（12）と本提案式（式(11)）とを比較すると，Thürlimannのトラス機構における上弦材と下弦材との距離（d_t）と本提案式におけるモーメント腕の長さ（$d-d_p/2$)とが同じであると仮定すれば，提案されたせん断耐力V_u（上界値）と下界定理から求められた耐力式V_{ut}（下界値）は一致し，V_u（上界値）は正解といえる．

4．曲げとせん断との相関関係

曲げとせん断との相関関係は，部材に実際に作用する外力状態を示すものではなく，設計諸量が算定されている部材が持っている耐力を表しているもので，部材の耐力は，その設計諸量に対する相関曲線上の一点で表せる．

曲げとせん断との相関関係式は，式(11)から式(13)のようになり，それを図示すると図-2のようになる．

$$M_u + \frac{V_u^2 s}{2A_v f_{vy}} = A_s f_{sy}(d-d_p/2) \tag{13}$$

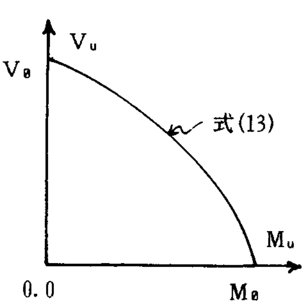

図-2　曲げとせん断との相関関係図

5．まとめ

曲げモーメントとせん断力とが同時に作用するＲＣ部材を対象として，終局時のせん断耐力，斜めひびわれの角度の評価式および曲げとせん断との相関関係式を解析的に誘導した．

（参考文献）

1) Leonhardt, F.:Shear in concrete structure, CEB Bulletin D'Information, No.126, pp.67-124, 1978.
2) Thürlimann, B.: Shear strength of reinforced and prestressed concrete beams, CEB Bulletin D'Information, No.126, pp.17-38, 1978.