

圧縮軸力を受ける RC はりのせん断耐荷機構に関する解析的研究

北海学園大学大学院建設工学専攻 学生会員 ○永井遥奈
北海学園大学工学部社会環境工学科 正会員 金澤 健

1. はじめに

圧縮軸力がせん断耐力を増加させることは広く知られているが、耐荷機構を実験的検討のみで明らかにすることは難しい。本研究では、極限解析の上界定理と下界定理を組み合わせた上下界混合解析¹⁾(図-1)を圧縮軸力を受ける場合に拡張し、各せん断抵抗成分を定量化する。本研究で使用する記号を表-1に示す。

2. 解析モデルの定式化

極限解析では、変形の適合と降伏条件を満たす解を上界の解、変形の適合の代わりに力のつり合いを満たす解を下界の解と呼ぶ。真の解(実験結果)は、上界の解を上限、下界の解を下限とした範囲に存在する。本研究では、最小の上界の解と最大の下界の解の性質を合わせ持つ解を最適化計算によって求める。そのために以下の仮定を設ける。

- ・解析対象のはりは、平面応力状態である。
- ・コンクリートは図-2 左に示すような剛塑性体とする。
- ・鉄筋は図-2 右に示すような弾塑性体とする。
- ・鉄筋とコンクリート間の付着は完全とする。

式(1)~(3)は図-3の自由物体図から定式化したもので、それぞれ、鉛直方向・水平方向・モーメントのつり合い式である。つり合い式を構成する力の変数は式(4)のように定義される。なお、実際のコンクリートのひずみエネルギーと剛塑性体のそれを等価にするため、圧縮強度に有効係数 $v_c = 3.2/\sqrt{f'_c}$ ²⁾を導入した。式(1)が本研究の目的関数であり、圧縮軸力の大きさを表す n の値は実験条件から与えられるため、5つの力の変数 $(\sigma_{s1}, \sigma_{s2}, \tau_c, \tau_s, \bar{f})$ と3つの幾何変数 (α, β, γ) について式(1)の v を最適化する問題を考える。幾何変数とは、図-3において破壊時の形状を決める無次元量である。まず、式(5)の範囲で幾何変数を変動させ、つり合い式(1)および式(2)を満たす下界の解のうち最大のものを求める。続いて、最大の解を与える力の変数の組み合わせ(値の範囲は式(6)を参照)に対して、幾何変数について最小化した上界の解を求めれば、これが図-1の停留点に

表-1 記号一覧

f'_c	コンクリート圧縮強度	F_d	引張主鉄筋のダウエル作用
V	せん断力	F_{s1}, F_{s2}	引張主鉄筋, 圧縮主鉄筋の内力
N	圧縮軸力	α	A点におけるひび割れ高さを総高さで除した値
V_c	ひび割れの無いコンクリートせん断抵抗	β	B点でのひび割れの勾配
f	単位面積当たりの骨材かみ合わせ作用	γ	支点とB点間の距離をせん断スパンで除した値
b	はり幅	λ	せん断スパン比
d_1	有効高さ	f_{s1}, f'_{s2}	降伏強度(引張主鉄筋, 圧縮主鉄筋)
h	総高さ	A_{s1}, A_{s2}	断面積(引張主鉄筋, 圧縮主鉄筋)
μ	有効高さを総高さで除した値	$\varphi_{s1}, \varphi_{s2}$	鉄筋係数(引張主鉄筋, 圧縮主鉄筋)

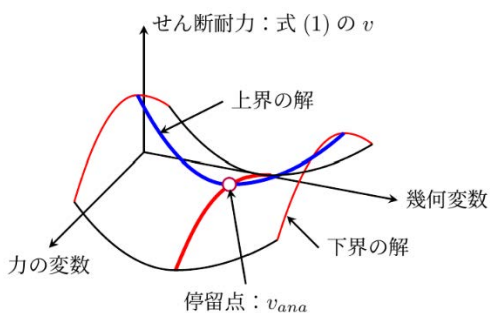


図-1 混合解析の概略図

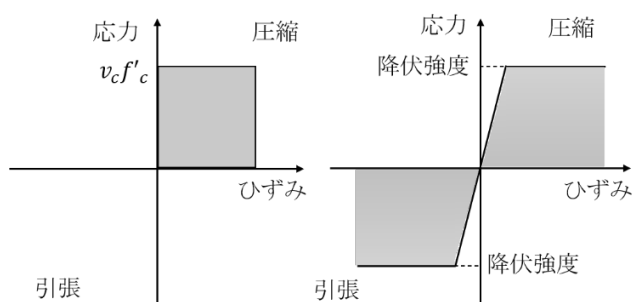


図-2 コンクリート(左)および鉄筋(右)の構成則

キーワード 圧縮軸力, せん断耐力, 極限解析, RC はり

連絡先 〒064-0926 北海道札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 1-1 TEL011-841-1161

対応する。なお、計算過程において、von Mises の降伏条件 ($3\tau_s^2 + \sigma_{s1}^2 = 1$) を常に制約条件として課した。

3. せん断耐荷機構の評価

圧縮軸力下でせん断破壊を示す 27 体の RC はり³⁾ について、本解析結果と実験結果を比較した結果、27 誤差の平均は 8% (変動係数 0.17) であった⁴⁾。本解析の精度が確認できたため、式(1)の右辺を構成する各せん断抵抗成分 (τ_c, τ_s, \bar{f}) について検討する。

図-4 および図-5 の縦軸は、中立軸上部のコンクリートのせん断抵抗 (τ_c) と骨材のかみ合わせ作用 (\bar{f}) を解析結果 v_{ana} で除したものである。すなわち、 v_{ana}

$$v = (1 - \alpha)\tau_c + \varphi_{s1}\tau_s + \frac{\alpha}{\mu}\bar{f} \quad (1) \quad \frac{1 - \alpha}{\mu} - \varphi_{s1}\sigma_{s1} + \varphi_{s2}\sigma_{s2} - n + \lambda(1 - \gamma)\bar{f} = 0 \quad (2)$$

$$\left[\gamma + \frac{(1 - \mu)(\alpha - 1 - \mu)}{\alpha\beta\lambda\mu} + (1 - \gamma)\left(\frac{1 - \mu}{\alpha}\right)^2 \right] \varphi_{s1}\tau_s + \frac{1}{\lambda\mu} + [(1 - \mu)\varphi_{s1}\sigma_{s2} - (1 - \delta\mu)\varphi_{s2}\sigma_{s2}] \quad (3)$$

$$+ (1 - \alpha)\tau_c + \frac{1}{2\lambda\mu^2}[\mu n - (1 - \alpha^2)] + \frac{\alpha}{3\mu}\left(4\gamma - 1 + \frac{1}{2\alpha\beta\lambda}\right)\bar{f} = 0$$

$$v = \frac{V}{bd_1f'_c}, \sigma_{s1} = \frac{F_{s1}}{A_{s1}f_{s1}}, \sigma_{s2} = \frac{F'_{s2}}{A_{s2}f'_{s2}}, n = \frac{N}{bd_1f'_c}, \bar{f} = \frac{f}{f'_c}, \tau_c = \frac{V_c}{bd_1f'_c(1 - \alpha)}, \tau_s = \frac{F_d}{A_{s1}f_{s1}} \quad (4)$$

$$1 - \mu \leq \alpha \leq 1, \frac{\alpha h}{a(1 - \gamma)} \leq \beta \leq \infty, 0 \leq \gamma \leq 1 \quad (5)$$

$$0 \leq \sigma_{s1} \leq 1, 0 \leq \sigma_{s2} \leq 1, 0 \leq \tau_c \leq \infty, 0 \leq \tau_s \leq \infty, 0 \leq \bar{f} \leq \infty \quad (6)$$

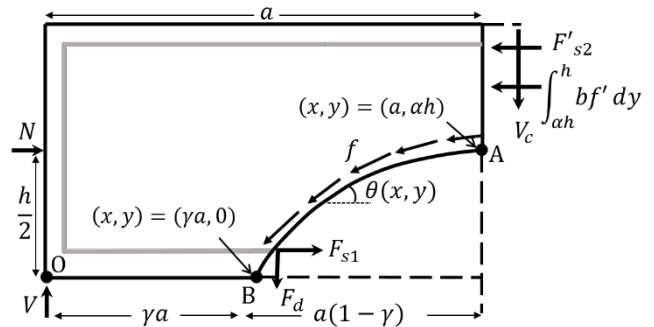


図-3 自由物体図

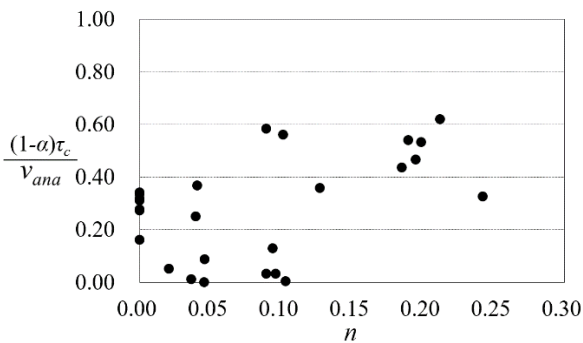


図-4 圧縮軸力下における圧縮域コンクリートの抵抗

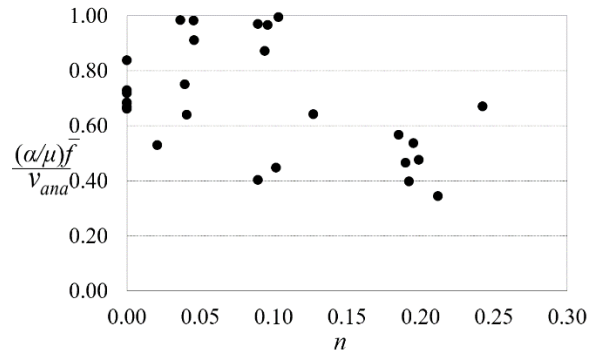


図-5 圧縮軸力下の骨材かみ合わせ作用

に対する各せん断抵抗成分の割合が図-4 および図-5 に示されている。大きなばらつきは見られるが、圧縮域コンクリートの抵抗は、圧縮軸力により増加する傾向であり、骨材かみ合わせ作用の貢献は減少傾向である。なお、本研究の範囲では、ダウエル力の貢献はほとんどの供試体で 0% であった。

4. まとめ

本研究では、上下界混合解析により、圧縮軸力が各せん断抵抗成分に及ぼす影響を示すことができた。このような定量化は実験では極めて難しく、せん断抵抗機構の解明に資するところが大きいと考えられる。

参考文献

- 1) Tan, K. H., Hasegawa, A. and Nishino, F.: A Combined Upper and Lower Bound Analysis and Its Applications, Journal of JSCE, No. 350, pp. 125-133, 1984
- 2) Exner, H.: On the effectiveness factor in plastic analysis of concrete. In Plasticity in reinforced concrete (IABSE Colloquium), Zurich, Switzerland, pp.35-42, 1979
- 3) 山谷敦, 檜貝勇, 中村光: 軸方向圧縮を受ける RC 梁のせん断挙動に関する実験的研究, 土木学会論文集, No. 697, pp. 143-160, 2002
- 4) Nagai, H. and Kanazawa, T.: Analytical investigation of the shear-carrying mechanism of reinforced concrete beams under axial compression, IABMAS2022 (accepted)