

論文 鉄筋コンクリート造柱梁部材のせん断に対する修正短期許容応力度設計法の提案

松橋 信哉*1・杉本 訓祥*2・津田 和明*3

要旨：筆者らは、鉄筋コンクリート造柱梁部材の短期許容せん断力算定法の研究を進めておりトラス理論に基づいた算定法を提案している。既提案の算定法は既往設計法と比較しても同等以上の算定精度を有する。本研究では、既提案手法におけるせん断ひび割れの発生を前提としトラス理論を用いて評価していることや軸力の有無の考慮を行っていないなどの改善点を踏まえ、算定精度向上を行った。新たな提案手法ではせん断ひび割れ強度式を用いた最小せん断補強筋量の設定やバネに軸力を考慮することとし、その結果、算定精度が向上することが分かった。

キーワード：短期許容せん断力、トラス理論、柱、梁、軸力

1. はじめに

現在、鉄筋コンクリート造柱梁部材の短期許容せん断力は日本建築学会の「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2018」¹⁾に示されている算定法（以下、RC 規準式と称す）が用いられている。これは梁のせん断終局強度の実験式を簡略化し導かれたものである。また、RC 規準式は第一項がコンクリート、第二項がせん断補強筋の負担せん断力として分けて考えられており、実際のせん断抵抗機構とは異なる。

筆者らはトラス剛性に基づく柱梁の短期許容せん断力算定法を提案しており、現行の設計式である RC 規準式よりも良い算定精度を有することを報告²⁾している。しかし、この算定法はせん断ひび割れの発生を前提としトラス理論を用いて評価していることやトラス機構を構成するバネに軸力の影響についての考慮がされていないなどの改善点が挙げられる。そこで本研究では、これらの改善点を踏まえ、せん断ひび割れ強度式を用いた最小せん断補強筋量の設定、軸力を考慮したバネを考案する。

2. 提案手法の概要

既報²⁾で提案した柱梁部材の短期許容せん断力算定法の概要を以下に示す。筆者らの短期許容せん断力算定法、せん断終局強度算定法²⁻⁵⁾におけるせん断抵抗機構として、図-1 に示すトラス機構を仮定する。これは、コンクリートによる斜め圧縮バネ、柱梁主筋による鉛直引張バネ、せん断補強筋と仮想水平抵抗領域の曲げ抵抗による水平引張バネにより構成される。そして、鉛直引張バネを除く、斜め圧縮バネと水平引張バネのいずれかが短期許容応力に達した時を柱梁の短期許容せん断力とする。

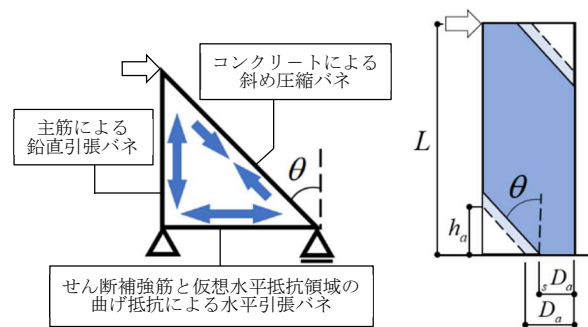


図-1 せん断抵抗機構

図-2 各部記号

筆者らによる短期許容せん断力算定法を式(1)に示す。以下、式中の単位は SI 単位系であり、力は N、距離は mm である。

$$Q_A = \min(Q_{cc}, Q_{vy}) \quad (1)$$

上式中、 Q_{cc} はコンクリートの斜め圧縮バネの強度で決定される短期許容せん断力であり、式(2)に示す。また、コンクリートの圧縮強度有効係数 (ν) は既報²⁻⁶⁾と同様に、Nielsen の下限式と CEB 式を用いて、式(3)によって算出する。

$$Q_{cc} = \frac{\nu_s f_c \sin 2\theta}{2} b_s D_a \quad (2)$$

$$\nu = \begin{cases} 0.7 - \frac{\sigma_B}{200} & \sigma_B \leq 45 \text{ N/mm}^2 \\ 1.698 \sigma_B^{-0.333} & \sigma_B > 45 \text{ N/mm}^2 \end{cases} \quad (3)$$

上式中、 f_c はコンクリートの短期許容圧縮応力度、 b は部材幅、 $s D_a$ は有効長さ、 σ_B はコンクリートの圧縮強度である。 θ は主圧縮方向角度（部材軸となす角度で反時計回りを正とする）であり、その算定法は後述する。

*1 大成建設株式会社（元 横浜国立大学大学院）（正会員）

*2 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 教授 博士（工学）（正会員）

*3 近畿大学 産業理工学部 建築・デザイン学科 教授 博士（工学）（正会員）

有効長さ(sD_a)は式(4)によって算定する。 h_a は図-2に示す通りで、式(5)によって算定する。また、 β は最大耐力前は最大耐力時に比べ、圧縮ストラット幅が減少することを考慮した圧縮ストラット幅減少係数であり、この係数の詳細に関しては既報⁶⁾を参照願いたい。

$$sD_a = \beta D_a = \frac{3}{4}(D - h_a \tan \theta) \quad (4)$$

$$h_a = \frac{K_2 \cos \theta \sin^3 \theta}{2K_x} \leq \frac{L}{2.7} \quad (5)$$

上式中、 L は柱梁の内法高さ、 D は柱梁のせいである。

また、 K_2 はせん断終局強度時の割線剛性としてコンクリートの応力度-ひずみ関係上の斜め圧縮方向バネの剛性であり、式(6)により算定する。この式の妥当性は津田により報告²⁾されている。

$$K_2 = 0.168 \sigma_B^{0.38} E_c \frac{1}{0.01 \sigma_B + 0.8} \quad (6)$$

上式中、 E_c はコンクリートのヤング係数である。

次に、 Q_{wy} は水平引張バネによって決定する短期許容せん断力であり、式(7)によって算定する。

$$Q_{wy} = \frac{w_f K_x}{E_{ws} \tan \theta} b j \quad (7)$$

上式中、 E_{ws} はせん断補強筋のヤング係数、 w_f はせん断補強筋の短期許容引張応力度、 j は応力中心間距離である。

主圧縮方向角度 (θ) は式(8)により算定する。

$$\left(\frac{1}{K_x} - \frac{1}{K_y} \right) \cos^4 \theta - 2 \left(\frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_x} \right) \cos^2 \theta + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_x} = 0 \quad (8)$$

上式は最小ポテンシャルエネルギーの原理に従って主圧縮方向角度を求める式で、この式によって求める角度の妥当性についても津田が報告²⁾している。

上式中、 K_x は水平方向の引張バネ剛性、 K_y は鉛直方向の引張バネ剛性であり、それぞれ式(9)~(11)、(12)により算定する。

$$K_x = K_{fv} + \frac{1}{\frac{1}{p_w E_{ws}} + \frac{1}{K_{fh}}} \quad (9)$$

$$K_{fv} = \frac{360 E_c I_{cv} (D - \alpha_v D)}{b L^4} \quad (10)$$

$$K_{fh} = \frac{360 E_c I_{ch} (D - \alpha_h D)}{L b_s^4} \quad (11)$$

$$K_y = p_g E_{ts} \quad (12)$$

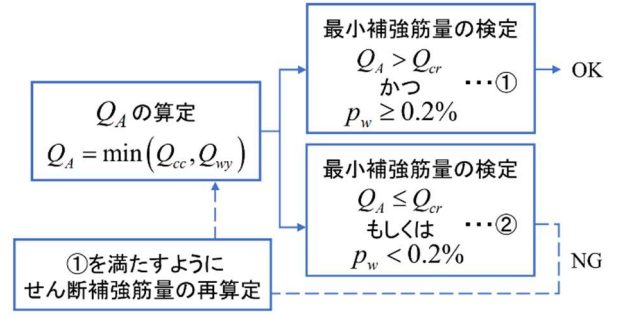


図-3 最小せん断補強筋量設計フロー

式(9)~(12)中、 K_{fv} は部材長方向の拘束効果による水平バネ剛性、 K_{fh} は断面幅方向の拘束効果による水平バネ剛性、 p_w はせん断補強筋比、 I_{cv} は部材長方向の拘束領域の断面二次モーメント、 I_{ch} は断面幅方向の拘束領域の断面二次モーメント、 α_v は部材長方向の拘束領域係数、 α_h は断面幅方向の拘束領域係数、 b_s は中子筋の本数を考慮した主筋中心間距離、 p_g は全主筋比、 E_{ts} は主筋のヤング係数とする。その他の記号や算出方法の詳細については既報⁵⁾⁶⁾を参照願いたい。

3. 提案手法の再検討

3.1 提案手法における最小せん断補強筋量 (手法1)

筆者らが提案した短期許容せん断力算定法は、せん断ひび割れの発生を前提としたトラス理論を用いて評価している。しかし、既提案手法において、短期許容せん断力時にせん断ひび割れが発生せず、トラス理論を用いた評価が前提と矛盾する可能性がある。また、せん断ひび割れ強度が許容せん断力を超える場合、せん断ひび割れ発生後に、急激な耐力の低下を起す可能性があり危険である。

そこで本検討では、現行の仕様規定 ($p_w = 0.2\%$ 以上)に加え、せん断ひび割れ強度式を用いた最小せん断補強筋量の設定方法の提案を行う。本提案は、せん断ひび割れ発生の有無による実験データの選別及び脆性破壊の防止を目的として設定した。

本提案手法における最小せん断補強筋量設計フローを図-3に示す。図中における Q_{cr} は主応力度式によるせん断ひび割れ強度式であり、式(13)によって算定する。

$$Q_{cr} = \phi \left(\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_T \cdot \sigma_0} \right) b D / \kappa \quad (13)$$

上式中の σ_T はコンクリートの引張強度 ($=0.33\sqrt{\sigma_B}$)、 σ_0 は軸応力度 (圧縮: 正)、 κ は応力度法による断面形状係数 (矩形断面の場合 $\kappa=1.5$) である。

また、本検討ではせん断ひび割れ強度式における耐力係数 (ϕ) は、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説」⁷⁾に記載されている非超過率 95%となる $\phi=0.51$ とした。

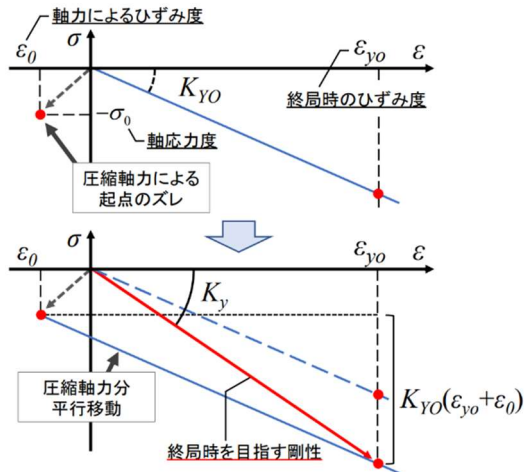


図-4 軸力を考慮した鉛直バネの概念図

3.2 軸力を考慮した鉛直引張バネの検討 (手法 2)

圧縮軸力を考慮した鉛直引張バネ剛性の概念図を図-4 に示す。本手法では圧縮軸力作用時は主筋に圧縮ひずみが生じるため軸方向ひずみ度の起点がずれると考える。また、軸剛性に基づき、軸力分平行移動すると考え、鉛直方向の引張バネ剛性は最終的に達する最大耐力時の点と原点の割線剛性として定義した。

軸力を考慮した鉛直引張バネ剛性は式(14)~(18)により算定する。

$$K_y = \frac{\sigma_0 + K_{YO}(\epsilon_{yo} - \epsilon_0)}{\epsilon_{yo}} \quad (14)$$

$$K_{YO} = p_g E_{is} \quad (15)$$

$$\sigma_0 = \frac{N}{A_e} \quad (16)$$

$$\epsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E_c} \quad (17)$$

$$\epsilon_{yo} = \epsilon_y \cdot \min\left(1.0, \frac{V_{su}}{V_{mu}}\right) \quad (18)$$

上式中、 K_{YO} は主筋のみを考慮した鉛直方向のバネ剛性、 ϵ_0 は軸力による軸方向ひずみ度、 ϵ_{yo} は最大耐力時のひずみ度、 N は軸力 (圧縮: 正)、 A_e は主筋を考慮した等価断面積、 ϵ_y は降伏ひずみ度である。ただし、引張軸力作用時は $\eta = 0$ として算定する。本検討では ϵ_{yo} を算出する際のせん断終局強度 (V_{su}) は中尾らによって提案された手法³⁾⁻⁵⁾、曲げ終局強度 (V_{mu}) は「建築物の構造関係技術基準解説書」⁸⁾による曲げ終局強度略算式を用いた。

上記の手法は、杉本によって提案された鉄筋コンクリート造柱・梁部材の復元力特性の評価法を準用したものであり、算出方法の詳細については文献⁹⁾を参照願いたい。

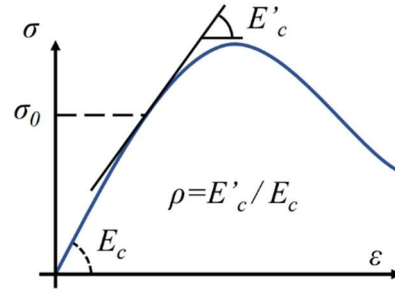


図-5 斜め圧縮バネに軸力を考慮するためのコンクリート剛性

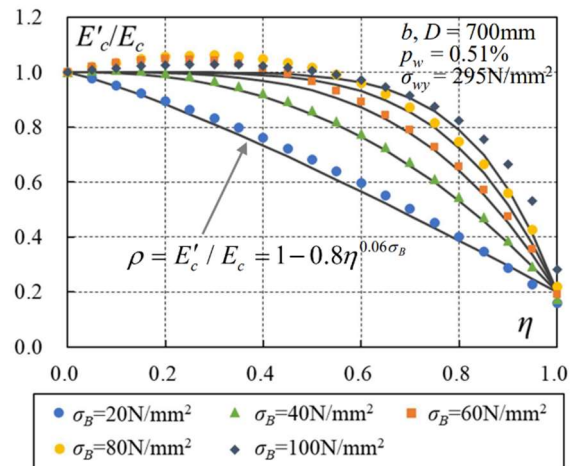


図-6 E'_c / E_c 算定結果の一例

3.3 軸力を考慮した斜め圧縮バネの検討 (手法 3)

圧縮軸力を考慮した斜め圧縮バネ剛性の概念図を図-5 に示す。本手法では圧縮軸力作用時のコンクリートの剛性 (接線剛性 E'_c) が初期剛性より低下することをふまえて、斜め圧縮バネ剛性を算出する。軸圧縮応力度に応じた接線剛性とヤング係数の比 (E'_c / E_c) を、コンクリートの圧縮強度が 20~100N/mm² に対して算定した結果を図-6 に示す。同図中にはこの比 ($\rho = E'_c / E_c$) と σ_B 、 η の関係を平均的に表せるように導いた式も併せて示す。このときのコンクリートの応力度-ひずみ度関係は崎野ら¹⁰⁾によって提案された拘束されたコンクリートの応力度-ひずみ度関係を用いた。

軸力に応じた初期剛性を式(19)、軸力を考慮した斜め圧縮バネ剛性は式(20)により算定する。

$$E'_c = \rho E_c = (1 - 0.8\eta^{0.06\sigma_B}) E_c \quad (19)$$

$$K_2 = 0.168\sigma_B^{0.38} E'_c \frac{1}{0.01\sigma_B + 0.8} \quad (20)$$

$$= 0.168\sigma_B^{0.38} (1 - 0.8\eta^{0.06\sigma_B}) E_c \frac{1}{0.01\sigma_B + 0.8}$$

上式中、 η は軸力比とする。ただし、引張軸力作用時は $\eta = 0$ として算定する。

3.4 圧縮力負担面積の変動傾向分析

ここでは、各手法による計算値の軸力に応じた変動傾向を分析し、手法の妥当性を検討する。せん断強度に及ぼす軸力の影響に関する既往の研究では、軸圧縮力が加わることで圧縮力負担面積が増大することが日比野ら¹¹⁾により指摘されている。そこでここでは、本提案手法による算定式を構成する変数のひとつである圧縮力負担面積 (sD_a : 有効長さ× b : 部材幅) の変動傾向分析を行う。後述する精度検証のために収集した既往実験のうち、軸力を変動因子とした実験シリーズを対象に、耐力の変動傾向と、本提案手法により耐力および圧縮領域の変動傾向を検証する。変動傾向分析結果の一例(試験体: 付表-1, No.50, SS-0 シリーズ)を図-7に示す。図中には、縦軸に各手法の有効長さ (sD_a) と短期許容せん断力算定値、横軸は軸力比 (η) とし、バネ修正前, 手法2, 手法

3の3パターンに分けて示す。手法2, 手法3ともに、軸力の増加に伴う圧縮力負担面積の増加傾向がみられるとともに、実験における耐力の変動傾向が計算によっても再現できており、本手法の妥当性を示すものと判断できる。ただし、軸力を変動因子とした既往の限られた実験に対する対応の検証にとどまるため、実挙動との対応などのさらなる検証が望まれるが、今後の課題としたい。

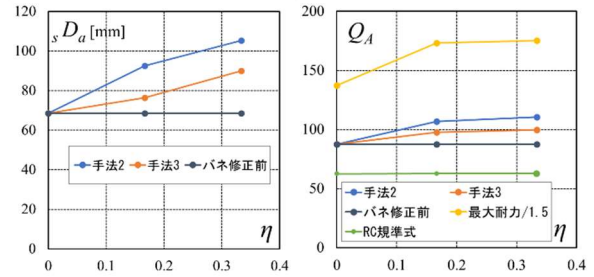


図-7 圧縮力負担面積の変動傾向

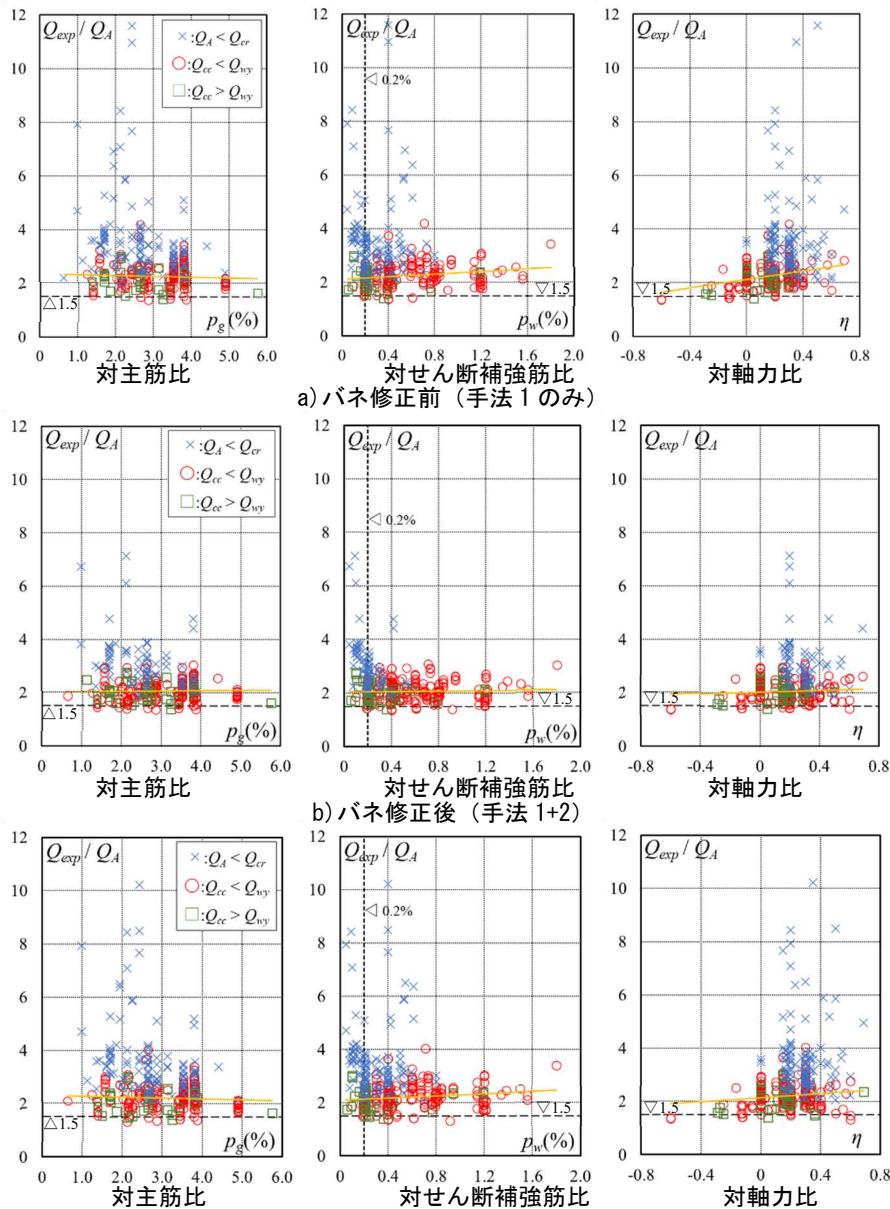


図-8 提案手法の精度検証結果

表-1 平均値と変動係数

	平均値	変動係数
バネ修正前 (手法1)	2.26 [2.28]	0.20 [0.20]
バネ修正後 (手法1+2)	2.06 [2.07]	0.17 [0.17]
バネ修正後 (手法1+3)	2.21 [2.23]	0.20 [0.20]

[]内は $p_w=0.2\%$ 未満の試験体を除いた場合の値

表-2 検証試験体の範囲

部材幅 [mm]	$150 \leq b \leq 700$
部材せい [mm]	$180 \leq D \leq 700$
せん断スパン [mm]	$260 \leq a \leq 600$
コンクリート強度 [N/mm ²]	$11.1 \leq \sigma_B \leq 165.0$
全主筋比 [%]	$0.63 \leq p_g \leq 5.75$
主筋降伏強度 [N/mm ²]	$317.8 \leq \sigma_y \leq 1024.7$
せん断補強筋比 [%]	$0.047 \leq p_w \leq 1.8$
せん断補強筋強度 [N/mm ²]	$209.1 \leq \sigma_{vy} \leq 1506.0$
軸力比	$-0.60 \leq \eta \leq 0.69$

4. 検討手法の精度検証

ここでは、既往実験結果を用いた提案手法の因子別検証について述べる。精度検証結果を図-8、表-1に示す。ここではせん断ひび割れ強度式を用いた最小せん断補強筋量の検定のみを行ったもの(手法1のみ)、それに加え軸力を考慮した鉛直引張バネを用いたもの(手法1+2)、また斜め圧縮バネに軸力を考慮したもの(手法1+3)の3パターンに分けて示す。対象とした実験データは既報⁶⁾で用いた柱の既往実験結果に加え、付表-1に示す文献の実験結果を用いた(破壊モードは「せん断破壊」と論文に記載、計346体)。また、用いた試験体のパラメータ範囲(本設計手法の適用範囲とする)を表-2に示す。

検証因子は全主筋比(p_g)、せん断補強筋比(p_w)、軸力比(η)である。縦軸に実験最大耐力と各算定法による短期許容せん断力の比、横軸を検証因子とした。提案手法では短期許容せん断力の決定要因別に記号を分け(○: Q_{cc} で決定、□: Q_{wy} で決定)、せん断ひび割れ強度式を用いた最小せん断補強筋量の検定(手法1)において対象外となる試験体を×で示した($Q_{cc} \leq Q_{wy}$, $Q_{cc} \geq Q_{wy}$ の区別せず)。また、本検討では精度分析のため、現行の仕様規定のみ満たさない試験体($p_w < 0.2\%$ かつ $Q_A > Q_{cr}$)は検討対象とする。

図中には最小二乗法による回帰直線を橙の実線、強度比1.5を黒の横点線で示した。強度比1.5に示した線は、短期許容せん断力は最大耐力と比較して一定の安全率が必要と考えたためであり、その安全率は柱梁の破壊はコンクリートに圧縮力によって生じる損傷の影響が大きいことから、コンクリートの短期許容圧縮応力度の材料安全率を用いた。また、図中の回帰直線は手法1により対象外となった試験体を除いて求めたものを示した。

まず、手法1+2の算定法の精度検証結果について述べる。耐力比の平均値は2.06、変動係数は0.17であった。バネ修正前(手法1のみ)は圧縮軸力の増加に伴い耐力比が大きくなる傾向があることにに対し、手法1+2を用いることで回帰直線の傾きが小さくなることが分かった。また、対主筋比、対せん断補強筋比においてもバネ修正前(手法1のみ)に比べ回帰直線の傾きが小さくなり、変動因子によらず算定精度が向上することが分かった。

次に手法1+3の算定法の精度検証結果について述べる。耐力比の平均値は2.21、変動係数は0.20であった。手法1+3においても同様に主筋比、せん断補強筋比、軸力比に対して回帰直線の傾きが小さくなり、変動因子によらず算定精度が向上することが分かった。

また、手法1+2と手法1+3を比較すると算定精度の改善効果は鉛直引張バネ剛性に軸力を考慮した手法1+2のほうが大きい。一方で手法2は ε_{yo} を算出する際に許容応力度設計段階においてもせん断終局強度及び曲げ終局強

度の算定が必要である。この点において手法2は煩雑であり、各終局強度算定法の精度に本手法の精度が左右されると言える。それに対し手法3は設計におけるの簡便性が高く、手法2と比較しても同等の有用性を有すると言える。

せん断ひび割れ強度式を用いた最小せん断補強筋量の設定(手法1)はせん断ひび割れが発生していないと考えられる試験体を選別し、耐力比が過剰に評価されていた試験体が除かれることで算定精度が向上するとともに、より安全な設計を可能とする可能性を示した。

5. まとめ

本報では、軸力を考慮した鉄筋コンクリート造柱梁部材の短期許容せん断力算定法及び最小せん断補強筋量の提案を行った。既往実験結果を用いた精度検証を行った結果、以下のことが言える。

- 1) せん断ひび割れ強度式を用いた最小せん断補強量を設計フローに追加することでせん断ひび割れが発生していないと考えられる試験体を選別し、耐力比が過剰に評価されていた試験体が除かれることで算定精度が向上した。
- 2) 鉛直引張バネに軸力を考慮することで、主筋比、せん断補強筋比、軸力比に対する回帰直線の傾きは修正前と比べ小さくなり、算定精度が向上した。
- 3) 斜め圧縮バネに軸力を考慮する手法は算定精度の改善効果は小さいものの簡便性が高く、鉛直引張バネに軸力を考慮する手法と比較しても同等の有用性を有することが分かった。

今後、更に詳細な検討が行われることが望まれるとともに、損傷制御設計への拡張も期待できる。

付表-1 実験結果引用文献一覧

No.	著者	発表年	掲載誌	ページ	軸力比範囲 (試験体数)
1	櫛部 他	1993	AIJ	219~220	0.16~0.33(4)
2	奥田 他	2004	JCI	283~288	0.15~0.23(2)
3	小室 他	2002	JCI	277~282	0.33(2)
4	桑田 他	1995	JCI	857~862	-0.16~0.33(4)
5	古川 他	1999	AIJ	833~834	0.30(1)
6	桑田 他	1994	JCI	521~526	0.16~0.33(2)
7	桑田 他	1993	JCI	473~478	0.16~0.33(8)
8	中江 他	1990	JCI	357~362	0.16~0.33(6)
9	塚本 他	1990	JCI	369~374	-0.6~0.5(25)
10	金子 他	2010	JCI	1009~1014	0.20(1)
11	城 他	1998	JCI	1195~1200	0(1)
12	石渡 他	1999	JCI	1405~1410	0.20(1)
13	河合 他	2003	JCI	265~270	0~0.5(3)
14	大塚 他	2016	AIJ	1063~1068	0.20(1)
15	山川 他	2001	AIJ 論文集	111~117	0.20~0.35(2)

付表-1 実験結果引用文献一覧(つづき)

16	小田 他	1993	JCI	755~760	0(1)
17	村上 他	2015	JCI	469~474	0.20(3)
18	片山 他	2015	JCI	157~162	0.20(3)
19	中村 他	2007	AIJ 論文集	141~148	0.20(3)
20	片岡 他	1996	JCI	1463~1468	0.2(2)
21	津村 他	1998	JCI	463~468	0.36(1)
22	飯星 他	1999	JCI	1471~1476	0.15(2)
23	荒川 他	1987	JCI	299~304	0.10~0.11(2)
24	細矢 他	2001	AIJ 論文集	117~124	0.3(2)
25	中田 他	1995	JCI	261~266	0.2(1)
26	鈴木 他	1989	JCI	455~460	0.3(1)
27	日比 他	1992	JCI	307~312	0.15~0.5(4)
28	中澤 他	2012	AIJ	405~406	0~0.3(9)
29	山下 他	2012	AIJ	409~410	0(4)
30	藤井 他	2015	JCI	163~168	0~0.3(5)
31	中村 他	2014	JCI	91~96	0.3~0.6(3)
32	磯 他	1989	JCI	465~470	0.2~0.4(4)
33	笠原 他	2000	JCI	385~390	0.2(2)
34	中村	2013	AIJ	513~514	0.3(1)
35	中村 他	2014	AIJ 論文集	987~994	0.16~0.18(6)
36	高稲 他	2003	AIJ 論文集	153~160	0.20~0.35(5)
37	田中 他	2003	JCI	1225~1230	0.20(1)
38	鈴木 他	1999	JCI	577~582	0.15(1)
39	小室 他	1997	AIJ	37~38	0.23(1)
40	向井 他	2015	AIJ 論文集	637~645	0.17(1)
41	堀 他	2002	AIJ	415~418	0.3(2)
42	村上 他	2008	JCI	211~216	0.36(3)
43	柏瀬 他	2003	AIJ	141~142	0~0.3(7)
44	山崎 他	2006	JCI	181~186	0.18~0.21(4)
45	杉本	2005	AIJ 論文集	637~645	0.15(4)
46	石神 他	2003	AIJ	215~215	0.20~0.35(5)
47	岩橋 他	1996	JCI	1499~1504	0.30(1)
48	大野 他	1998	JCI	493~498	0.30(3)
49	金子 他	2004	JCI	241~246	0.3(2)
50	柴田 他	1983	JCI	377~380	0~0.33(3)
51	佐藤 他	2016	JCI	931~936	0.20(1)
52	宮内 他	2014	JCI	1273~1278	0.20(1)
53	横尾 他	1998	JCI	475~480	-0.28~0.48(2)
54	小野 他	1989	JCI	495~500	0.6(1)
55	荒川 他	1989	JCI	471~476	-0.27~0.44(5)
56	河野 他	2013	JCI	163~168	0.27~0.33(2)
57	池沼 他	2012	AIJ	411~412	0.15(3)
58	田川 他	2000	JCI	1639~1644	0.20(2)
59	島崎	2009	AIJ 論文集	537~542	0.15~0.21(8)
60	石田 他	2015	JCI	169~174	0~0.40(7)
61	張 他	2016	JCI	739~744	0.20(1)
62	村上 他	1984	AIJ 工学	143~152	0.07(1)
63	小林 他	1992	JCI	475~480	0.10(1)
64	筏井 他	1999	JCI	805~810	0.05(1)
65	中村 他	2009	AIJ 工学	369~376	0.17(5)
66	日比 他	1991	JCI	427~432	0.42(1)

付表-1 実験結果引用文献一覧(つづき)

67	瀬尾 他	1995	JCI	399~404	0~0.60(20)
68	中澤 他	1999	JCI	397~402	0.10~0.50(32)
69	山田 他	2003	JCI	217~222	0.29(3)
70	藤田 他	1999	AIJ	797~798	0.55(1)

掲載誌凡例 AIJ：日本建築学会大会学術講演梗概集，
JCI：コンクリート工学年次大会論文集，AIJ 論文集：日本建築学会構造系論文集，AIJ 工学：日本建築学会構造工学論文集

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2018
- 2) 津田和明：鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断強度算定法に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第74巻，第645号，pp.2069~2075，2009.1
- 3) 中尾駿一，津田和明：鉄筋コンクリート造柱・梁のせん断終局強度算定法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.205~210，2015.7
- 4) 中尾駿一，津田和明：鉄筋コンクリート造柱・梁の曲げ降伏しない場合のせん断挙動算定法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.2，pp.127~132，2016.7
- 5) 中尾駿一，津田和明：鉄筋コンクリート造柱・梁の曲げ降伏しない場合のせん断挙動算定法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.121~126，2017.7
- 6) 松橋信哉，津田和明，杉本訓祥：鉄筋コンクリート造柱梁部材のせん断に対する短期許容応力度設計法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.2，pp.1~6，2022.7
- 7) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999
- 8) 国土交通省：2020年版建築物の構造関係技術基準解説書，2020
- 9) 杉本訓祥：鉄筋コンクリート造柱・梁部材の復元力特性の評価法 せん断非線形性状に着目した包絡線の評価，日本建築学会構造系論文集，第578号，pp.123~130，2004.4
- 10) 崎野健治，孫玉平：直線型横補強筋により拘束されたコンクリートの応力-ひずみ関係，日本建築学会構造系論文集，第461号，pp.95~104，1994.7
- 11) 日比野陽，久田昌典，篠原保二，林静雄：横補強筋量が少ない鉄筋コンクリート柱部材の圧縮ストラット形状の変化とせん断終局強度，日本建築学会構造系論文集，第677号，pp.1113~1122，2012.7