

せん断補強鉄筋比が PC はりの耐力と圧縮応力分布に及ぼす影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○本田 翔平, 渡辺 健, 岡本 大

1. はじめに

既往の研究¹⁾では、プレストレスコンクリート（以下、PC）はりの簡便で合理的な耐力評価方法が提案されている。これは、PC はりの破壊をコンクリートの圧縮卓越型破壊として捉え、モデル化し、算出したものである。本研究では、PC はりの破壊形式に影響する要因を明らかにするために、非線形有限要素法を用いて、載荷中に PC はりに発生する応力分布を把握し、特に圧縮応力が卓越して発生する領域の幅（以下、圧縮応力幅）の変化について明らかにした。

2. 解析概要

表-1 に解析の対象とした既往の実験データ²⁾の概要を、図-1 に既往実験の試験体形状を示す。また、圧縮応力幅を把握するため、試験体の諸元を変数とした解析を行った。表-2 に解析において変数とした諸元、図-2 に試験体形状を示す。変数はせん断補強鉄筋比 p_w 、コンクリートの圧縮強度 f_c' 、せん断スパン有効高さ比 a/d 、断面下縁のプレストレスの有無である。プレストレスの導入の際には、有効プレスト

レスが断面下縁で 5 N/mm^2 、断面上縁で 0 N/mm^2 となるよう導入した。

解析では非線形有限要素解析プログラム DIANA (Ver.9.4.4) を使用し、試験体がスパン中央で対称を考慮して $1/2$ をモデル化した。コンクリートは 2 次元のソリッド要素、PC 鋼材および鉄筋には埋込み鉄筋要素を用いた。コンクリートの圧縮側には Thorenfelt ら、引張軟化には Hordijk らの提案した関係式を用いた。PC 鋼材および鉄筋には von mises の降伏基準を用い、ひび割れは固定ひび割れモデルを用いて再現した。

図-3 に、評価に用いたガウス点の位置を示す。かぶりから有効高さ $d \times 0.2$ 区間を対象とした。図-4 に荷重が最大値 $V_{\max}$ の 90% に達した際に得られた、鉛直方向の圧縮応力 σ_y の分布の例を示す。なお、それぞれの高さにおける最大値 $\sigma_{yi-\max}$ に対する割合 $\Delta_{yi} (= \sigma_{yi} / \sigma_{yi-\max})$ で示している。圧縮応力が卓越して発生した領域の幅は $\Delta_{yi} \geq 0.3$ 領域として算出し¹⁾、検討に用いた圧縮応力幅はこれらの平均値を用いた。

表-1 検討に用いた実験データの概要と結果

試験体 No.	a/d	幅 (mm)	PC鋼材		軸方向鉄筋		せん断補強鉄筋比 (%)	プレストレス (N/mm ²)		コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	荷重	
			公称径 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	公称径 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)		上縁	下縁		実験 (kN)	解析 (kN)
4-10	2.7	150	32	1020	19	382	-	-1.6	4.8	40.9	100	81
4-14							0.11	-3.2	9.6	40.4	172	146

表-2 解析に用いた変数（合計 32 ケース）

a/d	幅 (mm)	PC鋼材		軸方向鉄筋		せん断補強鉄筋比 (%)	プレストレス (N/mm ²)		コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)
		公称断面面積 (mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	公称断面面積 (mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)		上縁	下縁	
2.5	200	1018	930	-	-	0.0	0	0	40
						0.21	0	0	40
						0.48	0	5	80
						0.84	0	5	80

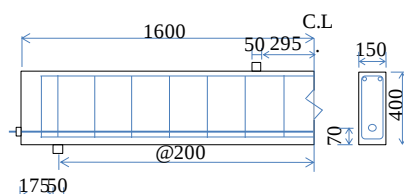


図-1 試験体の形状（実験）（単位:mm）

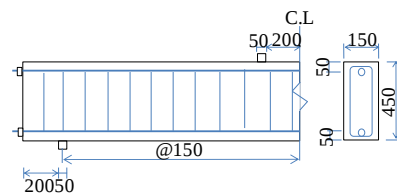


図-2 解析対象の形状（Parametric Study）（単位:mm）

キーワード プレストレスコンクリートはり, 鉄筋コンクリートはり, 圧縮応力幅, 耐力, せん断補強鉄筋比
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-36 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7281

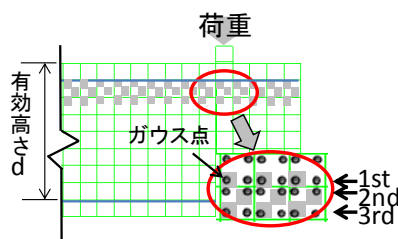


図-3 評価位置

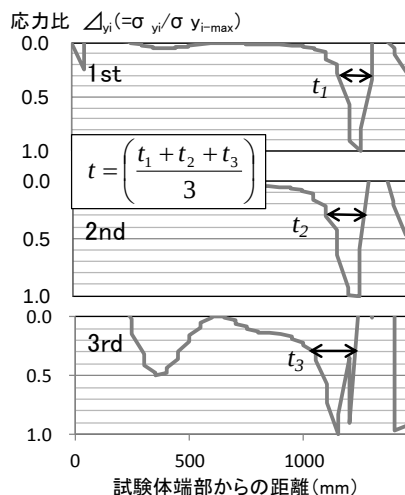
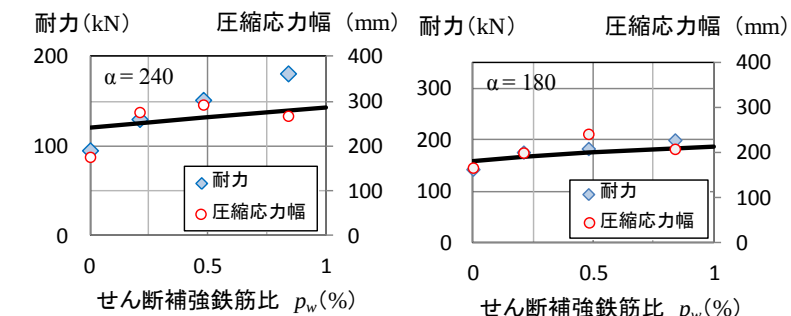


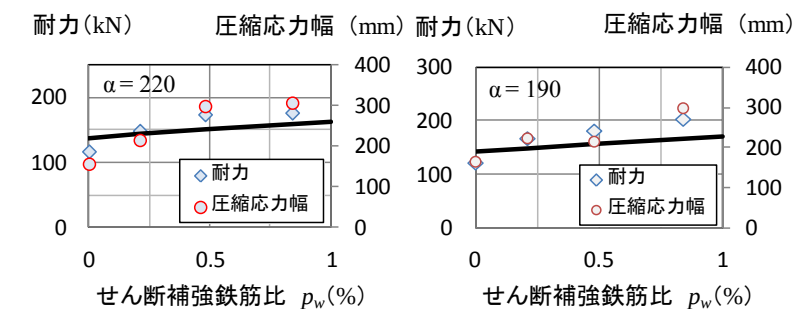
図-4 圧縮応力分布の例



(a) プレストレスなし

(a/d=2.5, $f_c'=40\text{N/mm}^2$)

(b) プレストレスあり

(a/d=2.5, $f_c'=40\text{N/mm}^2$)

(c) プレストレスなし

(a/d=4.5, $f_c'=80\text{N/mm}^2$)

(d) プレストレスあり

(a/d=4.5, $f_c'=80\text{N/mm}^2$)

図-5 圧縮応力幅

3. 解析結果

表-1 に、本研究で行った解析と既往の実験結果¹⁾の最大荷重の比を示す。いずれのケースも解析結果が実験結果を概ね再現していることを確認した。実験結果と解析結果が概ね一致したことから、同モデルを用いて、パラメータスタディを行った。

図-5 に、せん断補強鉄筋比に対する PC はりの耐力を第一軸に、圧縮応力幅を第 2 軸に示す。いずれもせん断補強鉄筋比の増加に伴い耐力が増加したとともに、圧縮応力幅も増加する傾向が見られた。この圧縮応力幅の増加は、 p_w の増加に伴いひび割れ進展を抑制したことで荷重を負担できる領域が拡大したためと考えられる。この傾向は、格子モデルを用いて実験結果をもとに算出した圧縮ストラットの幅が増加した³⁾ ことと同様の結果である。

また、図-5 に併記した 2 つの指標は、せん断補強鉄筋比の増加に対してほぼ同様の増加傾向を示したことから、2 つの指標には関連が有り、耐力には圧縮応力幅が寄与していることが考えられる。一方、この増加について a/d , f_c' , プレストレスの有無に依存した傾向は確認されなかった。そこで、この圧縮応力幅を、せん断補強鉄筋比 ($p_w=A_w/(b_w \cdot s)$) の関

数として表すと式(1)となった。図-5 中の実線は式(1)を用いた圧縮応力幅の近似曲線である。なお、係数 α の評価については、今後検討を行う。

$$t_1 = \alpha \cdot \left(1 + \frac{A_w}{b_w \cdot s}\right)^{1/4} \quad (1)$$

ここに、 A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積(mm^2), b_w : 腹部の幅(mm), s : せん断補強鉄筋の配置間隔(mm)である。

4. まとめ

せん断補強鉄筋比が、圧縮応力卓越領域の幅に影響することを明らかにした。一方、せん断スパン有効高さ比、コンクリート圧縮強度、プレストレスの有無が圧縮応力分布幅に及ぼす影響は小さいことを確認した。

参考文献

- 1) M, Lertsamattiyakul., Niwa, J., Tamura, S., Hamada, Y.: Simplified Truss Model For Prestressed Concrete Slender Beams, JSCE, No.767 V-64, pp.313-325, 2004.
- 2) 佐藤勉, 石橋忠良, 山下裕章, 高田三郎: プレストレストコンクリートはりのせん断耐力と破壊性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.9, No.2, pp.323-328, 1987.
- 3) 中田裕喜, 渡辺健, 谷村幸裕, 渡邊忠朋, 阿部淳一: 実験に基づく高氏モデルの離散化手法に関する検討, 土木学会年次学術講演会, V-256, p p. 511-512, 2013