

(7) 有限要素解析によるプレストレストコンクリートはりのせん断耐荷性状に関する研究

北海道大学工学部 正会員 ○佐藤 靖彦
 北海道大学工学部 正会員 上田 多門
 北海道大学工学部 正会員 角田與史雄

1. はじめに

プレストレストコンクリートはり(以下、PCはりと言う)のせん断に関する研究は、鉄筋コンクリートはり(以下、RCはりと言う)に比べ非常に少なく、実験的な検討により基本的なせん断特性は把握されているものの、精度良くせん断耐力を評価できるまでには至っていない。一般に、プレストレス力が大きくなるにつれはりのせん断耐力は増加し、現在のコンクリート標準示方書¹⁾では、PCはりのせん断耐力式を基準としデコンプレッションモーメントを考慮することによりその耐力を求めるものとしている。しかし、この考え方では、プレストレス導入時のはり断面内の応力分布によらず、はり最下縁のプレストレスが等しければ、せん断耐力は等しくなる。しかし、実際には、せん断補強筋を持たないPCはりのせん断耐力は、プレストレス力導入時の断面内の応力分布により大きな影響を受けることが報告されている^{2) 3)}。そこで本研究は、プレストレス力の大きさ及び作用位置が異なることにより、せん断補強筋を有するPCはりのせん断性状にどのような違いが現われるものであるか、非線形有限要素解析による解析的な検討を行う。

2. 解析の概要

2. 1 有限要素解析プログラム

本研究で用いた有限要素解析プログラムは、鉄筋コンクリートはり部材のせん断問題に対して開発されたものである⁴⁾。本プログラムは、ひび割れの影響を平均的に捉え連続体に置き換えられるよう鉄筋コンクリート要素の平均応力-平均ひずみ関係を採用した分散ひび割れモデルを用いている。

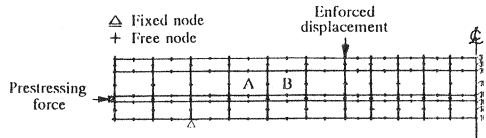


図1 解析供試体

2. 2 解析供試体及び解析方法

本研究において、1体のRCはりとはり3体のPCはりの解析を行った。解析供試体の要素分割の一例を図1に示す。また、4体の解析供試体の諸元を表1に示す。

表1 解析供試体の諸元

Specimen	P_{er} (kN)	f_c' (MPa)	e (mm)	Reinforcement ratio		Tendon	Ultimate strength(kN)	
				tensile(%)	shear(%)		FEM	Experiment
PR-00-S	0	28	-	2.1	0.42	-	90.0	97.5
PR-30-S	123	28	40	1.6	0.42	ϕ 13	96.7	102.9
PC-1	123	28	86	1.6	0.42	ϕ 13	106.0	-
PC-2	191	28	40	1.6	0.42	ϕ 13	104.0	-

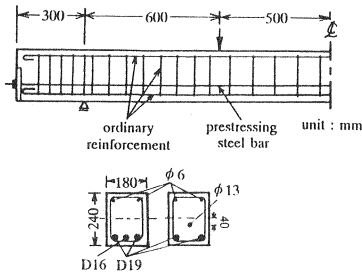


図2 実験供試体

供試体PR-00-Sと供試体PS-30-Sは、六車らにより行われた実験供試体⁵⁾

(図2参照)であり、本研究では、これらの供試体を参考として、せん断耐荷性状に及ぼすプレストレスの大きさ及びプレストレスの作用位置の影響を比較できる2体のPCはりを新たに選定した。供試体PC-1は、供試体PR-30-Sとプレストレスの大きさが等しく作用位置のみが異なるものである。供試体PC-2は、供試体PR-30-Sとプレストレスの作用位置は等しく、プレストレスの大きさのみ異なるものである。図3に各供試体のプレストレス力導入時の部材断面内の応力分布を示す。

解析は、載荷点に強制変位を与えることにより行った。また、プレストレス力は図2中の斜線部で示される鋼要素を介して外力として作用させた。

3. せん断耐荷性状の比較

3.1 荷重—変位関係

図4は、実験及び解析より得られた供試体PR-00-S及び供試体PR-30-Sのspan中央部における荷重—変位曲線を示す。本解析は幾分剛性を高めに評価しているが、全体の傾向を概ね評価できているものと思われる。また、表1に示すように、本解析は終局耐力をも精度良く予測できている。実験において両供試体は、曲げ破壊を起こすものであった。本解析では、等曲げ区間の圧縮域でのコンクリートが軟化を起こしており、実際の破壊形式と一致しているものと考えられる。

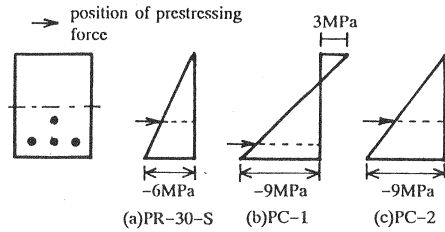
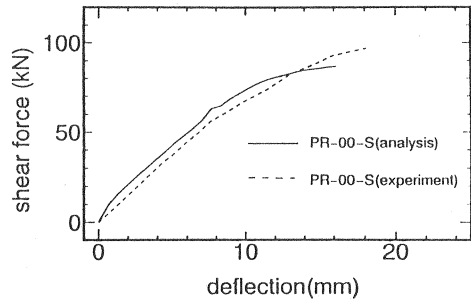
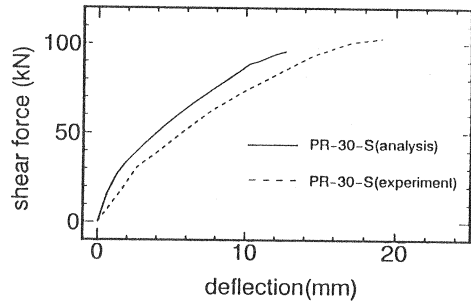


図3 断面内の応力分布



(a) PR-00-S



(b) PR-30-S

図3 荷重—変位曲線

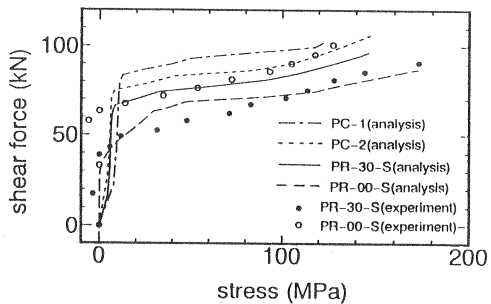


図4 荷重—せん断補強筋応力曲線

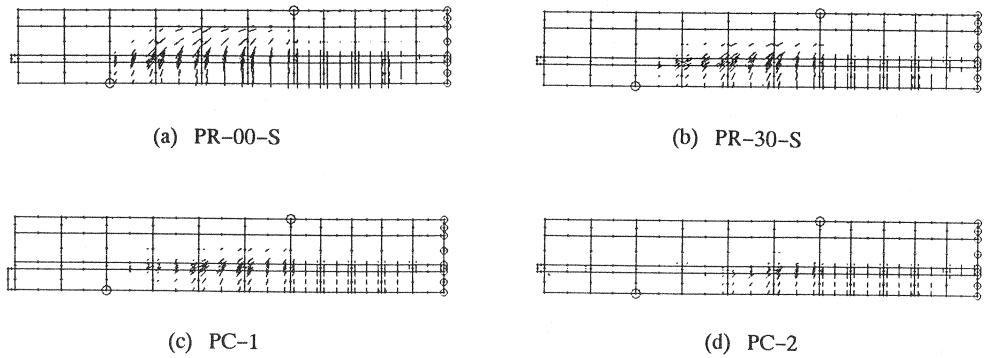


図6 ひび割れ性状

3. 2 せん断補強筋の応力

図5は、解析より得られた供試体PR-00-Sと供試体PS-30-Sの荷重とせん断補強筋の応力との関係を示す。実験におけるせん断補強筋の応力は、斜めひび割れを横切るせん断補強筋の引張応力の平均値である。また、解析におけるせん断補強筋の応力は、せん断スパン内の隣接する2つの要素（図1中の要素A、B）でのせん断補強筋の応力の平均値である。荷重—せん断補強筋応力曲線において、せん断補強筋の応力が急激に増加する荷重を斜めひび割れ発生荷重と考えると、本解析は、斜めひび割れ発生荷重及び斜めひび割れ発生後のせん断補強筋の応力を的確に予測できていることが明らかである。

また、先に示した図5には、供試体PC-1とPC-2の荷重せん断補強筋応力曲線をも示してある。供試体PC-1及びPC-2における斜めひび割れ発生以後の勾配は、供試体PR-00-S及びPR-30-Sの場合と概ね等しいことが明らかである。すなわち、プレストレス導入時のはり断面内の応力分布によらず、斜めひび割れ発生以後のせん断補強筋の補強効果が等しいと言える。

3. 3 斜めひび割れ発生荷重

ここで、4体の解析供試体の斜めひび割れ発生荷重の大きさの比較を行う。ここで言う斜めひび割れは、荷重—せん断補強筋応力曲線においてせん断補強筋応力が急激に増加する荷重を言う。解析より得られた斜めひび割れ発生荷重は、供試体PR-00-S、PR-30-S、PC-1、PC-2の順に、42、62、76、85 kNである。斜めひび割れ発生荷重は、プレストレス力が作用することにより大きくなる（供試体PR-00-SとPR-30-Sの比較）。プレストレス力が等しくても、プレストレス導入時のはり最下縁の圧縮応力が大きい（デコンプレッションモーメントが大きい）ほど、斜めひび割れ発生荷重は大きい（供試体PR-30-SとPC-1の比較）。さらに、はり最下縁の圧縮応力が等しくても平均プレストレスが大きいものほど斜めひび割れ発生荷重は大きい（供試体PC-1とPC-2の比較）。

図6は、作用せん断力が80 kN時の解析より得られたひび割れ性状を示す。この図より斜めひび割れの進展性状の相違を比較することができる。斜めひび割れ発生荷重が大きなものほど、斜めひび割れの上部への進展が遅いことが観察される。また、プレストレス力が大きなものほど斜めひび割れの発生領域が小さくなることが明らかである。

3. 4 せん断スパン内のコンクリートの応力

図7は、作用せん断力が80 kN時の解析より得られたコンクリートの主応力を示す。せん断スパン中央部の圧縮応力は、どの供試体においても概ね等しく、その値は14 MPa程度である。一方、主応力の角度は、供試体PR-00-S及びPR-30-Sでは約30°、供試体PC-1及びPC-2では約20°となっており、斜めひび割れ発生荷重が大きなものほど主応力角度が緩やかになる傾向にある。

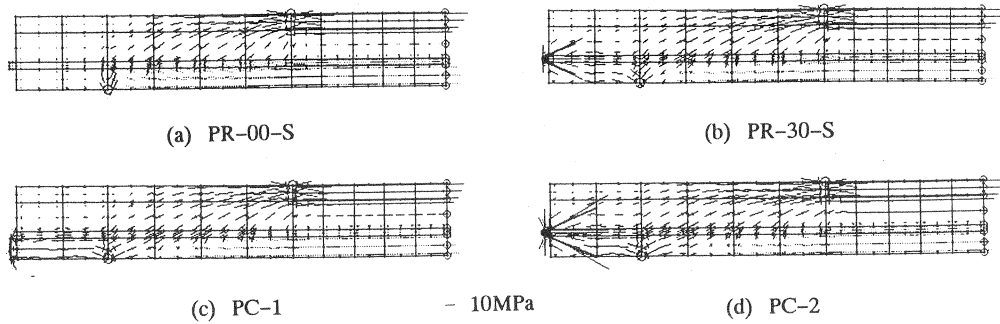


図7 せん断スパン内のコンクリートの主応力

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 本解析は、せん断補強筋を有する鉄筋コンクリートはり及びプレストレストコンクリートはりの変形及びせん断補強筋の応力を的確に予測できる。
- (2) プレストレスが作用することにより斜めひび割れ発生荷重が大きくなり、引張縁のプレストレスが同じ場合は、平均プレストレスが大きいほど、平均プレストレスが同じ場合は、引張縁のプレストレスが大きいほど斜めひび割れ発生荷重が大きくなる。また、斜めひび割れ発生荷重が大きいものほど、斜めひび割れの上部への進展は遅い。
- (3) プレストレス力の大きさ及び作用位置によらず、せん断補強筋の補強効果は概ね等しい。従って、プレストレスによる斜めひび割れ発生荷重の増加が大きいほどせん断補強筋の降伏荷重は大きくなる。
- (4) せん断スパン中央部におけるコンクリートの主圧縮応力の大きさは、プレストレス力の大きさ及び作用位置によらず概ね等しい。また、主応力角度は、斜めひび割れ発生荷重が大きいものほど小さくなる傾向にある。

解析を行った4体のはり供試体は、すべて曲げ破壊するものであり、せん断耐力に関する検討を行うことができなかったが、今後検討を行う予定である。

謝辞：本解析プログラムは、NARES PANTARATORN博士により開発されたものである。また、本論文をとりまとめるにあたり、北海道大学大学院 今野克幸氏に多くの助力を得た。ここに深く感謝の意を表す。さらに、本研究の一部は、斉藤記念プレストレスト・コンクリート技術研究奨励基金の助成を受けて行ったものであり、ここに深く謝意を表す。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書(平成3年版)設計編、土木学会、1991年9月
- 2) 堀部 慶次、上田 多門：鉄筋コンクリートはりのせん断挙動に与える軸圧縮力の影響、第40回土木学会年次学術講演会講演概要集、第5部門、pp. 319-320
- 3) 鳥取 誠一、涌井 一：プレストレストコンクリートはりのせん断耐力、プレストレストコンクリート技術協会第3回シンポジウム論文集、pp. 5-8、1992年11月
- 4) ナレス パンタラトーン：鉄筋コンクリートはりにおけるせん断抵抗機構の有限要素解析(博士論文)、1991年3月
- 5) 六車 熙、渡辺 忠夫、藤井 正則：プレストレスト鉄筋コンクリートはりのせん断抵抗挙動に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文報告集、pp. 453-456、1983年6月