

超高強度コンクリートのプレテンションウェブへの適用に関する基礎的研究

鹿島建設(株) 正会員 工修 ○一 宮 利 通
 鹿島建設(株) 正会員 工博 日紫喜 剛 啓
 鹿島建設(株) 正会員 工修 平 陽 兵
 鹿島建設(株) 工修 盛 田 行 彦

1. はじめに

一般に超高強度コンクリートは水結合材比が極めて小さいため大きな自己収縮が生じるが、プレストレストコンクリート(PC)構造物に適用する場合、プレストレスの低下や拘束によるひび割れが生じる可能性がある。そこで、著者らは収縮を低減した超高強度コンクリート(設計基準強度120N/mm²、実強度約150N/mm²)を開発し、PC構造物に適用可能な超高強度コンクリートとして提案している¹⁾。

現在、PC橋においては、ウェブの軽量化や施工の省力化に関する研究が盛んに行われており、その一つとしてプレテンション方式による鉛直プレストレスを導入したプレキャストウェブを有するPC桁が提案されている。この方式では工場生産による現場施工の省力化、鉛直プレストレスの導入によりウェブ厚が薄くなり軽量化が図れること、せん断に対する抵抗が期待できることといった利点が考えられる²⁾。さらに、このプレキャストウェブに超高強度コンクリートを適用することによって伝達長が小さくなること、有効プレストレスが大きくなることから、補強効率が高くなると考えられる。

そこで、本研究では、超高強度コンクリートを用いたプレテンションウェブ構造の基礎的な検討として、プレテンションウェブを模擬した試験体を製作し、伝達長および有効プレストレスを確認した。また、載荷実験を実施してせん断挙動に与える鉛直プレストレスの影響について検討を試みた。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの配合

表-1に本実験に用いた超高強度コンクリートの配合を示す。水結合材比を17%とすることにより150N/mm²程度の圧縮強度が得られ、収縮を低減しているためプレテンションのロスを小さくすることができる。自己収縮を低減する方法としては、人工軽量骨材と収縮低減剤を併用したものであり、自己収縮を低減しないものと比較して自己収縮ひずみは30~50%程度まで低減されている¹⁾。

2.2 試験体

実構造物のプレテンションウェブ部材には、ウェブ同士の鉛直継目あるいはウェブと上下床版の水平継目があるが、本実験では伝達長、有効プレストレスおよび鉛直プレストレスの影響を確認することを目的としているため、継目を設けない試験体を用いた。

表-2に実験ケースを示す。試験体の種類は鉛直有効プレストレスの有無を実験要因とし、各1体を製作した。図-1に試験体の形状寸法を示す。試験体の形状寸法は、部材幅150mm、部材高さ650mm、全長3,000mmの直方体である。せん断破壊が先行するように引張鋼材として異形PC鋼棒φ32mmを4本配置した。ただし、

表-1 超高強度コンクリートの配合

W/C (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					RA 剤 (C×%)	SP 剤 (C×%)
		W	C	S	G	JL		
17.0	1.5	155	912	622	638	113	0.5	1.2

C: シリカフェームを混入したセメント, S: 細骨材, G: 粗骨材, JL: 人工軽量骨材, RA: 収縮低減剤, SP: 高性能減水剤

表-2 実験ケース

試験体名	鉛直鋼材	鉛直有効プレストレス (N/mm ²)
PWB-0	異形PC鋼棒	0
PWB-6	φ23	6

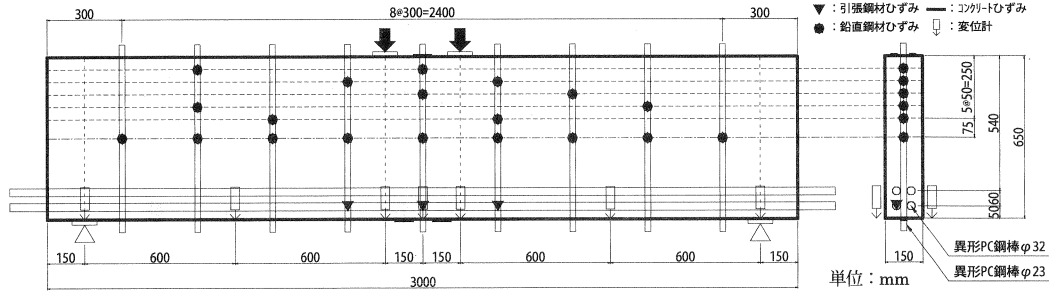


図-1 試験体の形状寸法

軸方向にはプレストレスは導入しなかった。

2. 3 鉛直プレストレスの導入

試験体 PWB-6 では、鉛直 PC 鋼材をプレストレスング中の許容値である 347kN/本 (有効プレストレス約 6N/mm²に相当) で緊張した状態でコンクリートを打設し、材齢 2 日で緊張力を解放してプレストレスを導入した。このとき、同じ部材高さ位置で 2箇所ずつ計測できるように各鋼材にひずみゲージを貼付しておき、伝達長を測定した。なお、ひずみゲージは 1箇所あたり表裏 2枚ずつ貼付した。プレストレス導入前後で鋼材のひずみを計測し、その後の経時変化も計測した。

2. 4 載荷実験

載荷は、試験体を単純支持し、2点載荷で単調に荷重を増加して実施した。計測項目は、載荷荷重、鉛直変位、コンクリートひずみ、引張鋼材のひずみおよび鉛直 PC 鋼材のひずみ (図-1 参照) とした。また、ひび割れ発生状況や破壊状況を随時観察した。

3. 実験結果および考察

3. 1 伝達長

表-3 に現場封緘養生した供試体の圧縮強度を示す。プレストレスを導入した材齢 2 日において圧縮強度は 60N/mm² 程度、ヤング係数は 30kN/mm² 程度であった。

表-3 圧縮強度の試験結果 (養生:現場封緘)

試験体名	PWB-0		PWB-6	
	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²
材齢 2日	61.1	31.1	66.8	32.6
載荷実験時 (30日)	143.9	42.7	147.3	42.9

図-2 にプレストレス導入直前および直後における鉛直 PC 鋼材のひずみ分布を示す。なお、ひずみの値は同じ部材高さ位置で計測した 2箇所または 9箇所のひずみの値を平均したものである。図-2 より、鉛直 PC 鋼材のひずみが一定となるまでの距離は、試験体端部から 250mm であった。したがって、伝達長は公称直径の約 11 倍 (250/23≒10.8) であった。このことは、著者らの既往の研究³⁾において推定した伝達長 (公称直径の 10~12 倍) と一致する結果であった。また、図-2 にはひずみ分布の近似曲線を示す。文献³⁾では 3次曲線で近似しているが、本実験で得られた曲線は 2次曲線に近い分布となっていた。

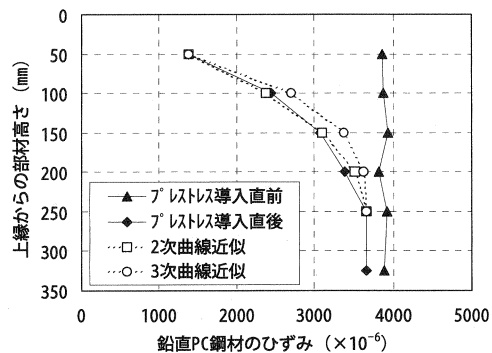


図-2 鉛直 PC 鋼材のひずみ分布

3. 2 有効プレストレス

図-3 に有効プレストレス分布を示す。有効プレストレスは鋼材ひずみの変化量からコンクリートに作用する応力を算定して求めた。また、図中には文献3)で提案されている方法に従い、コンクリートの弾性変形、クリープおよび収縮(自己収縮と乾燥収縮を含む)、異形PC鋼材のリラクゼーションの影響を考慮して算定した結果も併せて示す。コンクリートの弾性変形を算定する際のヤング係数および収縮は実測値を用い、PC鋼材のリラクゼーション率は3%と仮定した。コンクリートのクリープは文献3)と同様、土木学会コンクリート標準示方書⁴⁾(以後、示方書)を用いて算定した。なお、示方書のクリープ算定式は超高強度コンクリートにも適用できることを確認している³⁾。

有効プレストレスは、試験体端部より250mm以上ではプレストレス導入後17日で6.4 N/mm²程度の有効プレストレスが導入されていた。上記の方法で算出した有効プレストレスは6.2N/mm²程度で測定結果とほぼ同程度であり、本実験では材齢は短い、文献3)の算定方法の妥当性を裏付ける結果であった。

3. 3 載荷実験

載荷実験時(材齢30日)において圧縮強度は145 N/mm²程度、ヤング係数は42kN/mm²程度であった(表-3)。図-4に載荷荷重と試験体中央の鉛直変位の関係を示す。また、表-4に載荷途中および実験終了後におけるひび割れ発生状況を示す。

鉛直プレストレスを導入していない試験体PWB-0では荷重150kNで載荷点下縁近傍に曲げひび割れが発生し、荷重の増加とともに曲げひび割れが進展した。その後、荷重400kN程度で支承部から載荷点部に向かって斜めひび割れが発生した。さらに最大荷重1385kNで支承部付近におけるせん断引張破壊が生じ、荷重が急激に低下した。最大荷重時におけるせん断補強鋼材ひずみの最大値は斜めひび割れが横断する位置で約 3000×10^{-6} であり、降伏ひずみ 4650×10^{-6} には至らなかった。

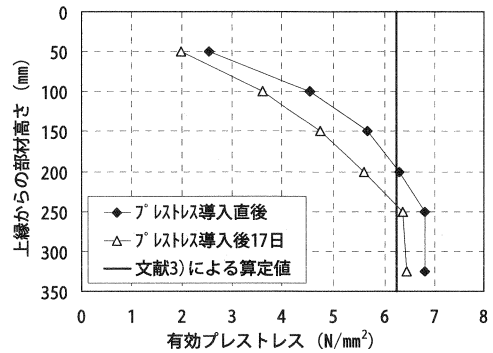


図-3 有効プレストレス分布

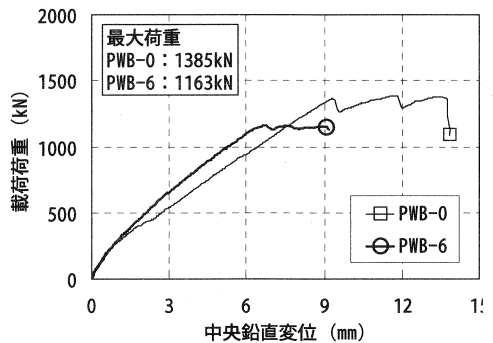


図-4 載荷荷重と中央鉛直変位の関係

表-4 ひび割れ発生状況

荷重 (kN)	PWB-0	PWB-6
450(PWB-0) 500(PWB-6)		
実験 終了後		

鉛直プレストレスを導入した PWB-6 では、荷重 130kN で載荷点下縁近傍に曲げひび割れが発生し、荷重の増加とともに曲げひび割れが進展した。部材軸とひび割れのなす角度は PWB-0 に比べて明らかに大きく、荷重 500kN においても明確な斜めひび割れは確認されなかった。これは、鉛直プレスト

表-5 せん断耐力の比較

試験体名		PWB-0	PWB-6
最大荷重 P_{exp} (kN)		1,385	1,163
せん断耐力の 計算値 (kN)	V_c	160	162
	V_s	434	492
	$V_{cal}=V_c+V_s$	594	654
実験値 / 計算値 ($P_{exp}/2V_{cal}$)		1.17	0.89

レスによって斜めひび割れの発生が抑制されたためであると考えられる。また、荷重 1100kN 程度までの荷重-変位曲線の勾配が PWB-0 に比べて大きかったが、これは、斜めひび割れが生じなかったことにより剛性が大きくなったことによるものと考えられる。その後、最大荷重 1163kN で載荷点から支承部に向かって斜めせん断ひび割れが発生し荷重が急激に低下した。斜めひび割れが横断する位置におけるせん断補強鋼材のひずみは載荷前で約 3400×10^{-6} であり、載荷に伴うひずみの変化は最大荷重に達するまでほとんどなかった。

表-5 に、示方書⁴⁾に準拠して算定したせん断耐力 (V_{cal}) を示す。ただし、せん断補強鋼材により受け持たれるせん断耐力 V_s の算定には、せん断補強鋼材の降伏強度ではなく PWB-0 ではひずみ 3000×10^{-6} 、PWB-6 ではひずみ 3400×10^{-6} に相当する応力度を用いた。また、安全係数はすべて 1.0 として算定した。

表-5 より、PWB-6 および PWB-0 ともに斜めひび割れが横断する位置で計測された最大ひずみを用いて概ねせん断耐力を算定可能であるが、プレストレスを導入した PWB-6 の実験値の方が小さくなっている。これは、PWB-6 では鉛直プレストレスを導入していたためひび割れ角度が大きくなり、異形 PC 鋼棒のせん断補強鋼材としての効果が PWB-0 に比べて小さくなったためと考えられる。実構造物では軸方向にもプレストレスが導入されるため、影響は少なくなると考えられるが、今後詳細な検討が必要である。また、実構造物では桁高が高くなるためせん断補強鋼材の定着長を確保できると考えられるが、定着長がどの程度必要か、また、定着長の区間が桁全体のせん断耐力にどのような影響を及ぼすかについても検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

本実験結果の範囲内で得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 圧縮強度が 150N/mm² 程度の超高強度コンクリートと異形 PC 鋼棒を用いた場合の伝達長は、公称直径の約 11 倍であった。
- (2) コンクリートの弾性変形、クリープおよび収縮、PC 鋼材のリラクゼーションを適切に評価することで、超高強度コンクリートの有効プレストレスを評価することができた。
- (3) 鉛直プレストレスを導入することによって、斜めひび割れ発生が抑制される効果が確認された。
- (4) 試験体の中央部で実測されたせん断補強鋼材の最大ひずみを用いて概ねせん断耐力を評価可能であったが、鉛直プレストレスによってひび割れ角度が大きくなり、せん断補強鋼材の効果が小さくなる。

<参考文献>

- 1) 日紫喜剛啓, 高田和法, 大野俊夫, 一宮利通, 盛田行彦: 自己収縮を低減した 150N/mm² 級超高強度コンクリートに関する実験的検討, 土木学会論文集, No. 781/V-66, pp. 101-112, 2005. 2
- 2) 三宅淳一郎, 林 和彦, 池田尚治: プレテンションウェブを有する PC 桁のせん断耐荷性能に関する実験的研究, プレストレストコンクリート, vol. 45, No. 2, pp. 126-133, 2003
- 3) 日紫喜剛啓, 一宮利通, 大野俊夫, 高田和法, 平 陽兵, 藤井秀樹: 超高強度コンクリートのプレテンション部材への適用性に関する実験的研究, 材料学会, vol. 53, No. 6, pp. 678-685, 2004
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書 [2002 年制定] 構造性能照査編, 2002