

V-111 FRPケーブルを緊張材に用いたプレテンションPC部材の曲げ耐荷力特性

建設省土木研究所 正会員 西川 和廣  
 国土庁地方振興局 正会員 箕作 光一  
 建設省土木研究所 正会員 杉山 純  
 同 正会員○内田 賢一

1. まえがき FRPケーブルは、その特性として応力ひずみ関係が破断まで直線的であるために、通常のPC鋼材を用いたPC部材と異なった曲げ耐荷特性を示すものと考えられる。本研究では、FRPケーブルの種類、配置量、配置段数、緊張力の大きさ等が曲げ耐荷力特性に与える影響を明らかにするために、その要因を考慮したプレテンションはり供試体を製作し、これらの静的曲げ載荷試験を行った。以下にその結果の概要について述べる。なお、本研究は(株)大林組、オリエンタル建設(株)、五洋建設(株)、清水建設(株)、住友建設(株)、(株)竹中工務店、(株)竹中土木、日本鋼弦コンクリート(株)、(株)ピー・エス、三井建設(株)と共同で行ったものである。

2. 試験方法 供試体の諸元および形状寸法をそれぞれ表-1および図-1に示す。供試体は、35×25×330cmのはり状の供試体に各FRPケーブルをプレテンション方式で配置した。コンクリートの圧縮強度は396~648kgf/cm<sup>2</sup>である。試験水準としては、FRPケーブルを4水準(炭素繊維(CRBN IおよびCRBN II)、アラミド繊維(ARMD IおよびARMD II)(表-1参照)、有効緊張力を2水準(0.4Pu、0.6Pu(Pu:メーカー保証引張強度)、破壊形態を2水準(緊張材破断先行型、コンクリート圧壊先行型)、ケーブルの配置段数を2水準(1段配置、2段配置)とした。供試体数は、これらの水準の組合せた供試体16体と、比較のため、形状・寸法が同じでケーブルとしてPC鋼材を用いた供試体2体の合計18体とした。

載荷試験は、供試体を支間300cmで単純支持し、中央からそれぞれ25cmの2点に静的に荷重を加えた。

3. 試験結果 曲げひびわれ発生荷重および曲げ破壊荷重の計算値と実測値を表-2に示す。ここで、曲げひびわれ発生荷重計算値の算出は、コンクリートの引張強度としてコンクリート円柱供試体の割

裂引張強度を用いた。また、曲げ破壊荷重の計算値は、最も曲げ引張側にあるPC鋼材またはFRPケーブルのひずみが破断ひずみに達した時、または、けた上面のコンクリートの圧縮ひずみが終局ひずみ(0.0035)に達した時の値とした。なお、PC鋼材やFRPケーブルの破断ひずみには引張試験での結果(平均値)を用いている。

曲げひびわれ発生荷重についてはいずれの供試体とも計算値と実測値がほぼ一致しており、各供試体には供試体の設計で考慮した有効プレストレス力が作用していることが理解される。

1段配置の場合と2段配置の場合の各供試体の曲げひび割れ発生荷重付近の荷重と曲げひび割れ幅の関係をそれぞれ図-2および図-3に示す。ひび割れ幅に及ぼす使用緊張材の影響については、ひび割れ発生後のひび割れ幅の増加がPC鋼材、CRBN IおよびCRBN IIは比較的緩やかであるのに対し、ARMD IおよびARMD IIはひび割れの発生が比較的急激であることが理解される。これは、ARMD IおよびAR

表-1 供試体の諸元

供試体名	緊張材の種類	緊張材の形状	緊張力(t f)	緊張材の配置
CRBN I 0.6-T-1	炭素 I	より線	28.1	3φ12.5-1段
CRBN I 0.4-T-1	炭素 I	より線	17.4	3φ12.5-1段
CRBN I 0.6-T-2	炭素 I	より線	28.1	3φ12.5-2段
CRBN I 0.6-C-1	炭素 I	より線	52.2	6φ12.5-1段
CRBN II 0.6-T-1	炭素 II	異形化	25.2	6φ6-1段
CRBN II 0.4-T-1	炭素 II	異形化	16.8	6φ6-1段
CRBN II 0.6-T-2	炭素 II	異形化	25.2	6φ6-2段
CRBN II 0.6-C-1	炭素 II	異形化	25.2	6φ6-1段
ARMD I 0.6-T-1	アラミド I	細紐状	13.8	2φ12-1段
ARMD I 0.4-T-1	アラミド I	細紐状	9.2	2φ12-1段
ARMD I 0.6-T-2	アラミド I	細紐状	20.8	3φ12-2段
ARMD I 0.6-C-1	アラミド I	細紐状	41.5	6φ12-1段
ARMD II 0.6-T-1	アラミド II	異形化	12.2	4φ6-1段
ARMD II 0.4-T-1	アラミド II	異形化	8.2	4φ6-1段
ARMD II 0.6-T-2	アラミド II	異形化	18.4	6φ6-2段
ARMD II 0.6-C-1	アラミド II	異形化	36.7	12(4φ3)-1段
PCW 0.6-Y-1	PCより線	より線	29.3	3φ12.4-1段
PCW 0.6-Y-2	PCより線	より線	29.3	3φ12.4-2段

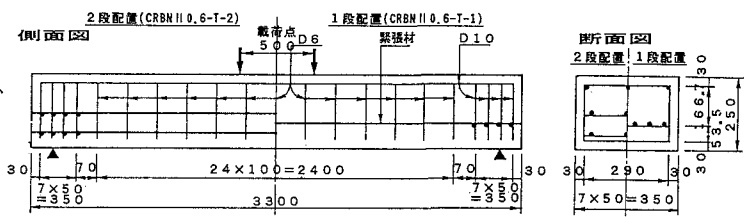


図-1 供試体の形状・寸法の例(CRBN II 0.6-T-1、2)

MD IIの弾性係数がPC鋼材、CRBNIおよびCAB N II (14000~20000 kg/mm<sup>2</sup>) に比べて半分程度 (5400~6500 kg/mm<sup>2</sup>) と小さいためと考えられる。

曲げ破壊荷重については、計算値に対する実測値の比がCRBNI供試体で1.04~1.10, CRBNI II供試体で1.13~1.30, ARMD I供試体で1.08~1.59およびARMD II供試体で1.21~1.32であり、FRPケーブルを用いた供試体についてはいずれも同比が1.0以上となっている。なお、PC鋼材を用いた供試体では2体とも同比が0.96となっているが、これはいずれの供試体についてもコンクリートの圧壊が先行しており、シリンダーによる圧縮強度と供試体の圧縮強度との差によって生じたものと推定される。

曲げ破壊荷重に及ぼすケーブル配置段数の影響については、1段配置の供試体および2段配置の供試体の計算値に対する実測値の比がそれぞれCRBNI供試体で1.08と1.10, CRBNI II供試体で1.13と1.17, ARMD I供試体で1.54と1.59およびARMD II供試体で1.21と1.26であり、いずれも2段配置の場合に同比が若干大きくなっており、配置段数が大きい場合に今回の曲げ破壊耐力の計算方法が安全側の値を与えることが理解される。

曲げ破壊荷重に及ぼす有効引張力の影響については、0.4Puの供試体および0.6Puの供試体の計算値に対する実測値の比がそれぞれCRBNI供試体で1.06と1.08, CRBNI II供試体で1.13と1.13, ARMD I供試体で1.53と1.54およびARMD II供試体で1.24と1.21であり、今回の曲げ破壊耐力の計算方法を用いる場合にはそれほど考慮する必要がないことが理解される。

曲げ破壊耐力に及ぼす破壊形態の影響については、緊張材破断先行型の供試体およびコンクリート圧壊先行型の供試体の計算値に対する実測値の比がそれぞれCRBNI供試体で1.08と1.04, CRBNI II供試体で1.13と1.30, ARMD I供試体で1.54と1.08およびARMD II供試体で1.21と1.32でFRPケーブルの種類によって同比の大小関係が異なっており、有意な差は認められなかった。

なお、例としてCRBNIおよびPC鋼材を用いたプレテンションはり供試体の荷重変位曲線を図-4に示す。FRPケーブルを緊張材に用いた供試体では、PC鋼材を緊張材に用いた供試体のような降伏現象は見られないが、破壊時までにはりのたわみ変形量( $\delta/L=0.012\sim0.020$ )がかなりあることが理解される。

表-2 曲げひびわれ発生荷重及び曲げ破壊荷重

供試体	ひび割れ荷重 (tf)		曲げ破壊荷重 (tf)			曲げ破壊状態	
	計算値	実測値	計算値	実測値	実測値		
CRBNI 0.4-T-1	3.81	4.00	1.05	11.96	12.62	1.06	破断
CRBNI 0.6-T-1	5.52	3.20	0.58	11.71	12.60	1.08	破断
CRBNI 0.6-T-2	5.41	5.80	1.07	11.18	12.26	1.10	破断
CRBNI 0.6-C-1	8.27	8.20	0.99	17.04	17.80	1.04	圧壊
CRBNI II 0.4-T-1	4.30	3.40	0.79	13.11	14.82	1.13	破断
CRBNI II 0.6-T-1	5.50	6.00	1.09	13.14	14.86	1.13	破断
CRBNI II 0.6-T-2	5.41	5.60	1.04	11.67	13.70	1.17	破断
CRBNI II 0.6-C-1	1.66	1.80	1.08	4.01	5.20	1.30	圧壊
ARMD I 0.4-T-1	2.75	2.60	0.95	4.90	7.50	1.53	破断
ARMD I 0.6-T-1	3.73	3.20	0.86	4.67	7.20	1.54	破断
ARMD I 0.6-T-2	4.88	4.62	0.95	6.66	10.57	1.59	破断
ARMD I 0.6-C-1	7.15	6.40	0.90	14.47	15.60	1.08	圧壊
ARMD II 0.4-T-1	3.79	4.20	1.11	6.40	7.95	1.24	破断
ARMD II 0.6-T-1	4.40	4.80	1.09	6.41	7.76	1.21	破断
ARMD II 0.6-T-2	5.81	5.80	1.00	8.44	10.60	1.26	破断
ARMD II 0.6-C-1	6.71	8.60	1.28	13.53	17.86	1.32	圧壊
PCWO, 6-Y-1	5.52	5.50	1.00	13.15	12.65	0.96	圧壊
PCWO, 6-Y-2	5.78	6.40	1.11	12.96	12.40	0.96	圧壊

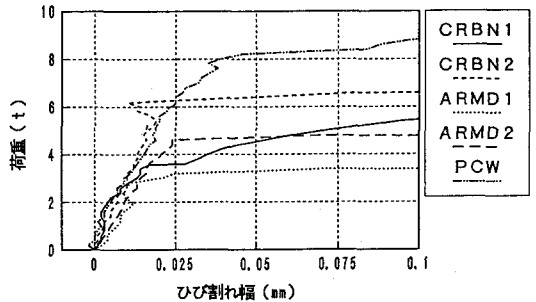


図-2 荷重-ひび割れ幅関係(1段配置)

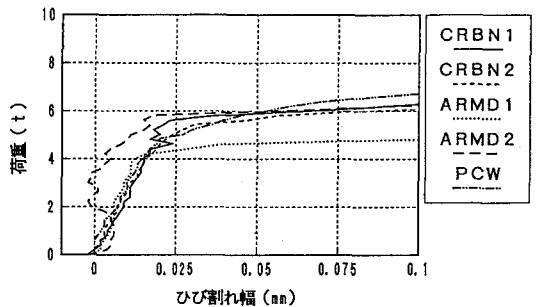


図-3 荷重-ひび割れ幅関係(2段配置)

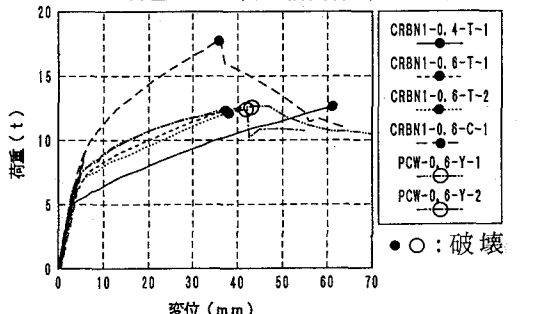


図-4 荷重-変位関係の例(CRBNI、PC)