

2次元格子状連続繊維補強材で補強した
コンクリートスラブの押し抜きせん断耐力

九州大学工学部 学生会員○長濱 貴志
九州大学工学部 正 会 員 黒田 一郎 日野 伸一
九州大学工学部 正 会 員 太田 俊昭 柴田 博之

1 まえがき

コンクリート構造物の補強材として CFRP (炭素繊維) などが注目されている。本研究では、2次元格子状連続繊維補強材である CFRP ネットをスラブ補強に用いた(以下、CF スラブと略称する)ときの力学性状について考察するものである。本報では、既報¹⁾の曲げ破壊型のケースに引続き、破壊形態として押し抜きせん断破壊を対象とし、補強筋比(約 $p=0.45, 1.00, 1.60\%$)による影響を、従来の RC スラブの耐力評価式の適用性の可否とともに検討する。

2 実験概要

2.1 使用材料

CFRP ネットの材料特性を表-1²⁾に示す。コンクリートは早強ポルトランドセメントを用い、粗骨材の最大寸法 20mm、単位水量 164 または 175kg/m³、水セメント比 55 または 33%である。CFRP は、補強材断面積の異なる 3 種類を用いた。なお、ネットの補強材間隔は 50mm で一定である。鉄筋には、SD295 の D6,D10 を用いた。

表-1 CFRPネットの材料特性表²⁾

補強材の種類	保証値			
	断面積 Acf (mm ²)	引張力 fcf (kgf/cm ²)	複合材ヤング係数 Ecf (kgf/cm ²)	繊維混入率 Vcf
C6	17.5	12000	1.0×10^6	0.36~0.38
C10	39.2	12000	1.0×10^6	
C13	65.0	12000	1.0×10^6	

2.2 供試体及び載荷方法

実験を行った 6 種類 14 体のスラブは、辺長 1150mm × 1150mm(スパン 1000mm × 1000mm)、スラブ厚 100mm、有効高さ d=80mm とした。実験変数として補強筋比 $p(=A_i/l \cdot d)$ を約 0.50, 1.00, 1.60% の 3 種類、コンクリート強度を $f_c'=300, 450\text{kgf/cm}^2$ の 2 種類とした。表-2 に供試体諸元の一覧を示す。このうち、上部の 3 体は比較用の RC スラブである。支持方法は、四辺単純支持とし、全てスラブ中央点に一点集中載荷とし、載荷板 100mm × 100mm を介して載荷した。測定は、ひずみゲージ(CFRP ネット:FLK-1-11-5L,鉄筋:FLK-2-11-5L)による補強筋のひずみ、スラブ下面の変位およびひび割れ分布について行った。

表-2 供試体諸元

供試体名	補強材-間隔 (*-mm)	補強筋比 p (%)	圧縮強度 f_c' (kgf/cm ²)
RC-0.45	D6-90	0.47	284
RC-1.0	D10-90	1.06	284
RC-1.6	D10-55	1.63	271
CF-0.45 A,B	C6-50	0.44	327
CF-1.00 A,B	C10-50	0.98	324
CF-1.60 A,B	C13-50	1.63	281
CF-0.45 C,D	C6-50	0.44	428
CF-1.00 C	C10-50	0.98	460
CF-1.60 C,D	C13-50	1.63	406

※ CF-0.45~CF-1.6 は同種 A,B または C, D の 2 体ずつ

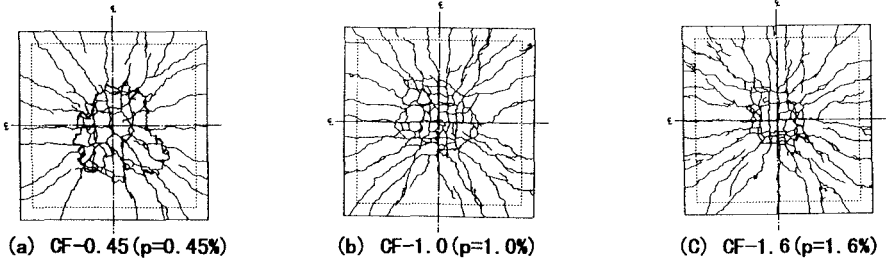


図-1 破壊後のスラブ下面のひび割れ分布

3 実験結果及び考察

3.1 ひびわれおよび破壊性状

全供試体とも押し抜きせん断破壊によって破壊した。破壊後のスラブ下面のひび割れ性状を図-1 に示す。補強筋比の増加とともにひび割れ間隔とコンクリートの押し抜け部分の領域が減少していることがわかる。

3.2 荷重-変形性状

図-2に、RC,CF スラブの中央における荷重-たわみ曲線を示す。いずれの補強筋比でも CF スラブは RC スラブに比較し、特にひび割れ発生後の曲げ剛性および耐力低下が顕著である。

補強筋比の影響については補強筋比 $p=0.45\%$ と $p=1.0\%$ の間には剛性の顕著な差が認められるが、補強筋比 $p=1.6\%$ と $p=1.0\%$ の間には顕著な差は認められない。

図-3に、CF スラブ中央点の荷重-ひずみ関係を示す。いずれの場合に対しても、ひび割れ発生後の CFRP のひずみ挙動をコンクリート引張無視を仮定した FEM 弾性解析値がよくとらえている。

3.3 終局耐力

表-3に押し抜きせん断耐力の実験値(V)、コンクリート標準示方書による設計式(Vcal1)、CFRP 材料特性を考慮し、補強筋断面積を鉄筋に換算したときの算定式(Vcal2)、および Vcal1 に補強筋ヤング係数比で補正した算定式(Vcal3)による計算値を示した。示方書式(Vcal1)では、補強筋比が増大すると CF スラブの耐力を危険側に見積もることになる。しかし、Vcal2,Vcal3 式によれば、いずれも安全側に評価できる。

【参考文献】

- 1) 長濱貴志,日野伸一,黒田一郎:2 次元格子状連続繊維補強材を用いた一方向スラブの曲げ性状,土木学会第51回年次学術講演会概要集第5部門,pp.926-927,1996.9
- 2) Nefcom Corporation, NEFMAC-Technical Leaflet 1(undated).

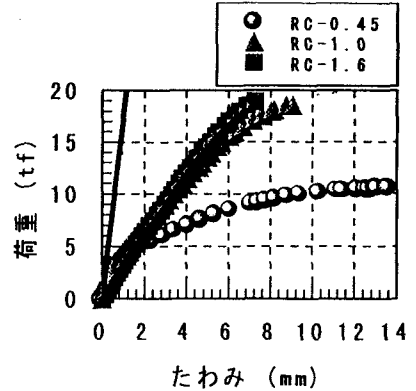
表-3 押し抜きせん断耐力

供試体名	実験値 V (tf)	示方書式 Vcal1 (tf)	V	換算断面積 Vcal2** (tf)	V	ヤング係数比 Vcal3*** (tf)	V
RC-0.45	11.0	9.78	1.12	9.78	1.12	9.78	1.12
RC-1.0	18.6	12.85	1.45	12.85	1.45	12.85	1.45
RC-1.6	18.9	14.49	1.30	14.49	1.30	14.49	1.30
CF-0.45A	11.9	10.28	1.16	8.03	1.46	8.54	1.39
CF-0.45B	11.0	10.28	1.07	8.03	1.37	8.54	1.29
CF-1.0A	14.5	13.39	1.08	10.45	1.39	11.12	1.30
CF-1.0B	13.6	13.39	1.02	10.45	1.30	11.12	1.22
CF-1.6A	12.7	14.76	0.86	11.52	1.10	12.26	1.04
CF-1.6B	11.8	14.76	0.80	11.52	1.02	12.26	0.96
CF-0.45C	12.5	11.76	1.06	9.19	1.36	9.77	1.28
CF-0.45D	13.4	11.76	1.14	9.19	1.46	9.77	1.37
CF-1.0C	17.6	15.95	1.10	12.46	1.41	13.25	1.33
CF-1.6C	16.5	17.74	0.93	13.85	1.19	14.74	1.12
CF-1.6D	18.8	17.74	1.06	13.85	1.36	14.74	1.26
RCスラブ	平均	1.29		平均	1.29	平均	1.29
	分散	0.05		分散	0.05	分散	0.05
CFスラブ	平均	1.03		平均	1.31	平均	1.23
	分散	0.13		分散	0.22	分散	0.19

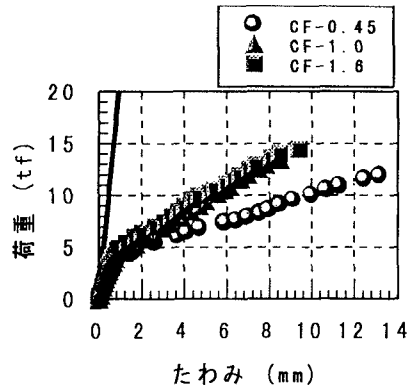
* $V_{cal1} = (100/d)^{1/4} \cdot (100p)^{1/3} \cdot \{1 + 1/(1 + 0.25u/d)\} \cdot 0.6fc^{1/2} \cdot 4(u+d) \cdot d$

** $V_{cal2} = (100/d)^{1/4} \cdot (100Acf \cdot Ecf/E_s)^{1/3} \cdot \{1 + 1/(1 + 0.25u/d)\} \cdot 0.6fc^{1/2} \cdot 4(u+d) \cdot d$

*** $V_{cal3} = [(100/d)^{1/4} \cdot (100p)^{1/3} \cdot \{1 + 1/(1 + 0.25u/d)\} \cdot 0.6fc^{1/2} \cdot 4(u+d) \cdot d] \cdot (Ecf/E_s)^{1/4}$



(a) RCスラブ



(b) CFスラブ

図-2 荷重-たわみ曲線

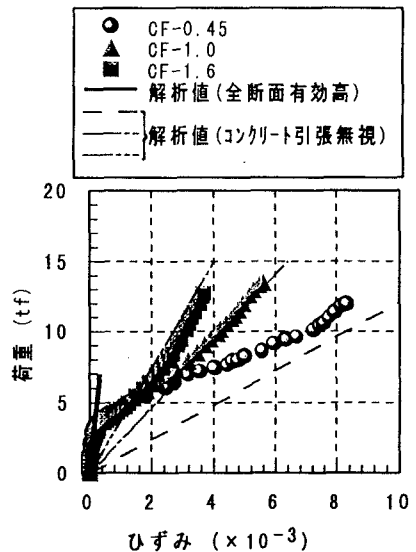


図-3 荷重-CFRPのひずみ関係