

V-14 格子状FRPロッドを用いたスラブの局部せん断破壊に関する基礎実験

北海学園大学工学部 正員 高橋 義裕
 北海道大学工学部 正員 角田與史雄
 北海道大学大学院 学生員 佐藤 靖彦

1. はじめに

近年、鋼材のような腐食をおこさないコンクリート補強材として、高強度で軽量の炭素繊維、ガラス繊維あるいはアラミド繊維などの新素材を用いた、繊維強化プラスチック (Fiber Reinforced Plastics, 以下FRPと略す) の棒材の開発と応用に対する関心が高まっている。これらのFRPロッドをRCあるいはPCの主鉄筋として利用する研究が盛んに行われている。その内容としては、はり部材の静的荷重に対する曲げせん断性状および繰返し荷重に対する疲労性状に関するものが多く、その基本的な性状も明かにされつつあり、現在、FRPロッドの緊張材としての利用方法も検討されている。しかし、FRPロッドをスラブに用いた場合の研究はあまり行われておらず、その破壊性状等の解明が急がれるところである。

鉄筋で補強されたスラブの破壊としては、曲げ破壊とせん断破壊に大別される。さらにせん断破壊では、部材幅全長にわたって破壊が生ずるはり型せん断破壊と荷重直下のコンクリートが局部的に破壊する押抜きせん断破壊とに分けて考えることができる。本研究は、鉄筋の代わりに平面格子状FRPロッドで補強されたスラブ (以下FRPスラブと呼ぶ) の押抜きせん断破壊に着目し、その破壊性状を示すとともに、RCスラブとの比較においてどの程度の水準であるかも検討したので、その結果を示すものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

FRPスラブで使用した格子状FRPロッドはガラス繊維からなる連続繊維束をビニールエステル樹脂を含浸させながら10cmピッチの平面格子状に形成したもので、交差部では繊維束が交互に交差して何層にも重なり合うことになり、その結果格子交差部の強度が確保され、このことから直交筋によってコンクリートとの付着及び定着が確保されている。その特性値を表-1に示す。

コンクリートは水セメント比50%、単位水量170kg/m³、細骨材率45%で早強ポルトランドセメント、海砂及び川砂利を使用した。実験は材令7日で行い、その時のコンクリートの平均圧縮強度は330kgf/cm²であった。

2.2 実験供試体及び荷荷方法

本研究で用いた実験供試体は図-1に示す相対する二辺が支持、他の二辺が自由の長方形スラブでスパン $\mathbb{I}$ =100cm、幅B=140cm、スラブ厚h=10cmである。表-2に実験供試体一覧を示す。

荷重は、10cm×10cmの正方形鋼板を介し、スラブ中央点の表面に作用させた。

表-1 補強筋の力学特性

補強材の種類		公称断面積 (cm ²)	破断強度/ 降伏強度 (tf)	破断ひずみ %	弾性係数 (kgf/cm ²)
FRP	G10	0.855	4.85	1.83	0.313×10 ⁶
	G13	1.285	7.95	1.70	0.357×10 ⁶
鉄筋	D10	0.7133	3.92		2.1×10 ⁶
	D13	1.287	6.95		2.1×10 ⁶

以上のことより、各スラブの破壊荷重 P_{test} 、ひずみゲージによる補強筋のひずみの測定及び一部の実験供試体ではスラブ上面中心線に沿う変位の測定を行った。

3. 実験結果及び考察

3. 1 破壊性状

実験供試体6体は全て押抜きせん断で破壊し、FRPロッドの破断及び鉄筋の降伏は見られなかった。各供試体の破壊荷重 P_{test} を表-3に示す。同表よりFRPスラブの破壊荷重 P_{test} は全てRCスラブのそれよりかなり低めであった。

各荷重段階ごとのひびわれ発生状況は観察していないが、実験終了後のスラブ下面のひびわれスケッチを図-2に示す。同図より、ひびわれ面はほぼ格子間隔に沿って発生しており、格子交差部のコンクリートに応力が集中していることが分かる。また、主補強筋にG13を配力補強筋にG10を用いたNo.3の供試体においてはそのひびわれ面は自由面方向に少し伸びた形をしている。

FRPスラブの実験終了後、押抜けた部分のコンクリートを除去しその破壊状況を観察した。その結果破壊面は載荷周縁からおよそ30度前後の傾斜をもち円錐状に破壊していた。このことは、FRPロッドの弾性係数が小さいために初期ひびわれ発生後、ひびわれの進展とともに中立面が上昇し圧縮領域が非常に狭くなったためと思われる。

3. 2 荷重-たわみ関係

FRPスラブ供試体 (No. 1, No. 2, No. 3) とRCスラブ供試体 (No. 6) の載荷点直下のたわみと荷重の関係を図-3に示す。同図より、ひびわれ発生後から破壊に至るまで、荷重の増加に従ってたわみはほぼ直線状に増加することが認められた。また、ひびわれ発生後においては、FRPスラブとほぼ同程度の鉄筋量を有するRCスラブのたわみを上回っている。これは、格子状FRPロッドではコンクリートへの力の伝達が主に格子各点部でなされるといった鉄筋と異なる付着性状を示すことと、FRPロッドの弾性係数が鉄筋に比べて小さいことによるものと考えられる。ちなみに、FRPスラブのたわみは、ほぼ同程度の鉄筋比を有するRCスラブの約5倍程度であった。

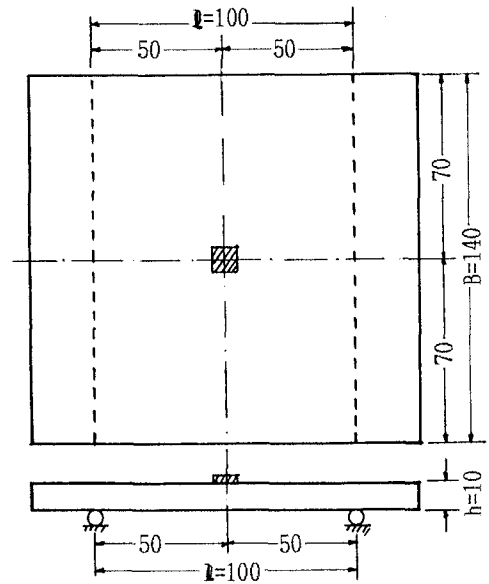


図-1 実験供試体

[単位: cm]

表-2 実験供試体一覧

	No	有効厚 d (cm)	使用補強筋	主筋比: 配力筋比 $P_1\% : P_2\%$	平均補強筋比 $P\%$
FRP	1	8.5	G10-G10	0.93 : 1.10	1.01
	2	8.5	G13-G13	1.40 : 1.66	1.53
	3	8.5	G13-G10	1.40 : 1.10	1.25
鉄筋	4	8.0	D10-D10	0.81 : 0.98	0.90
	5	8.0	D13-D13	1.47 : 1.74	1.61
	6	8.0	D13-D10	1.47 : 0.98	1.23

表-3 実験結果

No	圧縮強度 f'_c (kgf/cm ²)	破壊荷重 P_{test} (tf)
1	295	9.0
2	314	10.5
3	328	10.0
4	317	11.5
5	395	18.5
6	305	17.0

3. 3 FRPロッドのひずみ

図-4に、荷重と荷重点直下のFRPロッドのひずみの関係を示す。また、同図中にはRCスラブにおける荷重点直下の主鉄筋ひずみも示されている。ひびわれ発生から破壊近傍に至るまで、荷重の増加に従ってFRPロッドのひずみは、ほぼ直線的に増加している。やはり、RCスラブにおけるたわみと同様にFRPロッドのひずみは大きくでている。これも鉄筋に比べてFRPロッドの弾性係数が小さいため大きくでているものとおもわれる。

3. 4 破壊耐力の評価

ここでは、コンクリート標準示方書¹⁾の面部材の押抜きせん断耐力式を用いてFRPスラブの耐力を評価する。コンクリート標準示方書の面部材の押抜きせん断耐力式（以下示方書式と呼ぶ）は次の用に示される。

$$V = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b$$

ここに

$$f_{pcd} = 0.6 \cdot \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{100/d}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p}$$

$$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25 u / d)$$

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度

u : 載荷周長

u_p : 設計断面の周長 ($= 4r + \pi d$)

γ_b : 部材係数 ($= 1.0$)

ここで上記示方書式は、補強筋の影響を β_p により評価しているが、この式では補強筋の材料特性によらず補強筋比 p が同じであれば、耐力は同等に評価することになる。しかし、FRPロッドの弾性係数が小さいため中立面位置が上昇してひびわれ幅が増大することにより、コンクリートの負担するせん断力、骨材のかみ合わせ効果、及びFRPロッドのダウエル作用等がそれぞれ減少することによりその耐力は、RCスラブに較べて低い値となっているものとおもわれる。

従って、鉄筋に比べて弾性係数が小さいFRPロッドを補強筋として用いたFRPスラブの押抜きせ

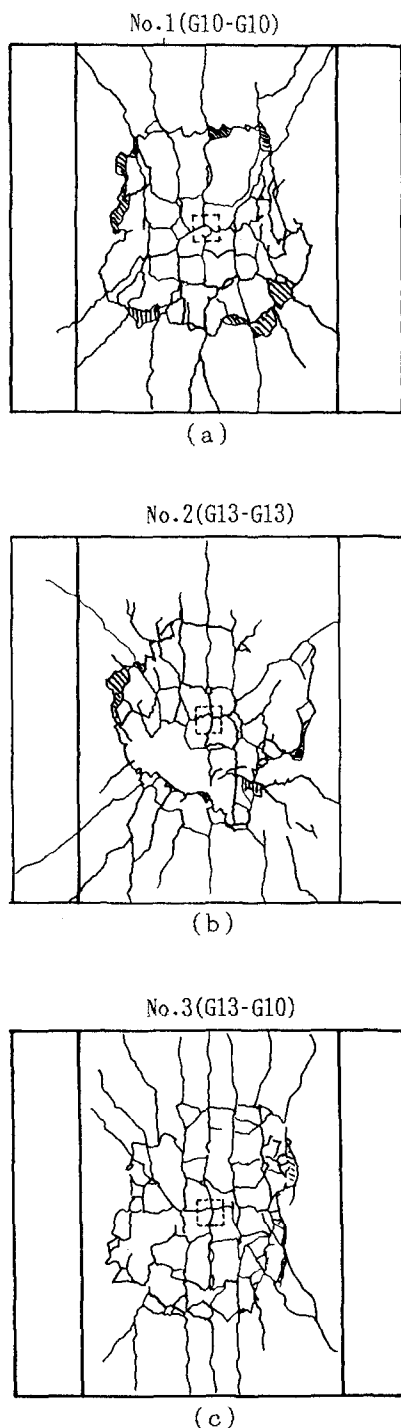


図-2 FRPスラブ下面ひびわれ状況

ん断耐力を計算する際には、補強筋の弾性係数を考慮する必要がある。そこで示方書式の鉄筋比 p をFRPロッドと鉄筋の弾性係数の比を乗じた換算補強筋比とした $p \cdot E_f / E_s$ (E_f : FRPロッドの弾性係数, E_s : 鉄筋の弾性係数) として計算した。その結果を表-4に示す。実験値と計算値とは比較的良い対応を示している。これらの事より、はり部材と同様に格子状FRPロッドを補強筋として用いたFRPスラブの押抜きせん断耐力の評価は、FRPロッドと鉄筋の弾性係数比を考慮することによりできるようである。

4. まとめ

本研究は、格子状FRPロッドで補強したFRPスラブの局部せん断破壊に関し、実験的に調べたものであり、今後さらに解明すべき点が多く残されているが、本研究で得られた結果を列記すれば次の通りである。

- 1) 破壊時のFRPロッドのひずみはFRPロッド破断時のひずみのかなり低い範囲にあった。このことからFRPロッドのひずみの低いレベルにおいて中立面の位置がかなり上昇しコンクリートの圧縮領域がかなり狭くなり耐力を失なったものと思われる。
- 2) 破壊までたわみは直線的に増加し、最終的には脆性的に破壊した。しかし、終局時におけるたわみはRCスラブの場合に比べて約5倍程度の大きさを示すものであった。
- 3) 示方書式によりFRPスラブの耐力を評価するとき、補強筋比にFRPロッドと鉄筋との弾性係数比を乗じた換算補強筋比を用いることにより実験値と計算値とは比較的良い対応をしめた。

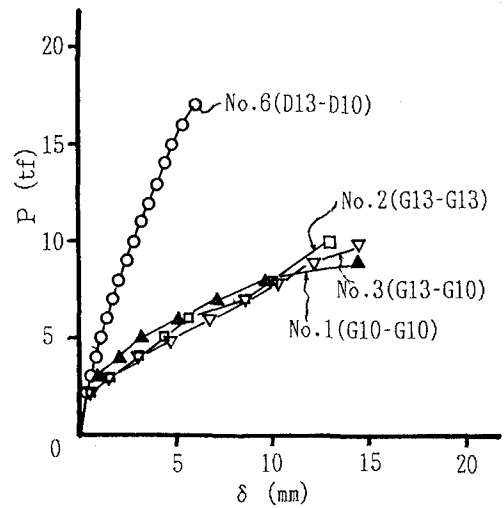


図-3 荷重-たわみ関係

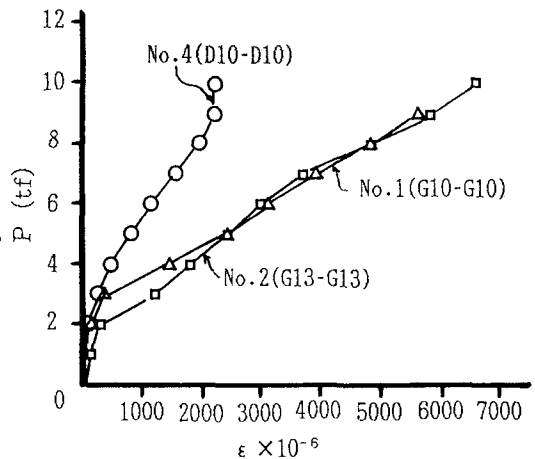


図-4 荷重-ひずみ関係

表-4 耐力評価計算結果一覧

No	実験値 P_{test} (tf)	計算値 P_{cal} (tf)	P_{test}/P_{cal}
1	9.0	8.41	1.07
2	10.5	10.40	1.01
3	10.0	9.72	1.03
4	11.5	14.61	0.79
5	18.5	19.75	0.94
6	17.0	17.36	0.98

参考文献

- [1] コンクリート標準示方書【平成3年度】
設計編, 1991