

○早稲田大学 学生員 石井 浩司
早稲田大学 正会員 関 博
オオバ 池川 史彦

1. まえがき

近年、腐食性の激しい環境下でのコンクリート構造物の被害例が数多く報告されており、耐久性を確保するための防食方法に関する研究、技術開発が各方面で進められている。コンクリート構造物の防食方法には多くの手法が考えられるが、本実験は防食性の向上を意図してGFRPを使用した。GFRPは既にPC鋼材の代替としての試験例があるが、本文では鉄筋コンクリートの鉄筋の代りにGFRPを使用した部材に関して力学的挙動を主に現象面からとらえることを試みた。

2. 実験方法

(1) 使用材料および試験体の製作

補強材として鉄筋(SD30, D10), GFRP(φ8 mm)を使用し、GFRPについてはガラス繊維として一方向のロービング剤(4450)、樹脂としてビニルエステルを使用した。また一部は付着性能を上げるため樹脂を含浸させる時に糸をコイル状に巻き表面突起をつけた。以下表面突起有、無をGF-De, Roとする。コンクリート材料は、早強ポルトランドセメント、骨材として川砂(大井川産)、玉砕(大井川産、最大粗骨材寸法20mm)とし、混和剤およびNaCl(5kg/m³)を混入した。設計基準強度を600 kg/cm²とし、示方配合を表-1に示す。供試体は、はり試験体(図-1、TYPE 1~3)および付着試験体(10×10×10 cm)である。

表-1 示方配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位粗骨 材容積 (m ³ /m ³)	W/C (%)	単	
					W(kg)	C(kg)
20	12±1	4.0	0.654	32.4	127	392

位 量			
S(kg)	G(kg)	マイテ-AE 150(kg)	マイテ-AE -03(cc)
839	1034	5.9	78.4

注：養生は室内養生とする

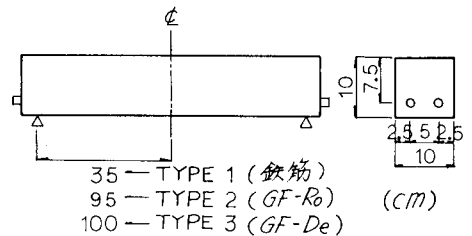


図-1 試験体

(2) 実験方法

GFRPの引張試験はJIS Z 2241と同様の方法の加工片(中心部φ3 mm)で破断強度を、無加工片でひずみを測定した。チャック部でのすべりをおさえるためガラス繊維に樹脂を含浸させ巻いた。JISに従い、鉄筋の引張試験を加工片(14A号)と無加工片について行った。コンクリートの管理供試体は、JISに従い、圧縮、引張、曲げ試験を行った。付着試験は、日本コンクリート工学協会試験方法(案)により行った。はり載荷試験は2点載荷で行い、載荷スパンは20 cmで、TYPE 1は100 kg、TYPE 2, 3は50 kgごとに荷重をかけ各荷重ごとのひずみ(図-2)、補強材端面での引込み量、中央点のたわみ量を測定した。

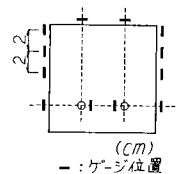


図-2 中央断面のゲージ位置

3. 使用材料の力学的特性

GF-Deの破断強度は13750 kg/cm² (V=1%)、GF-Roは13600 kg/cm² (V=7%)であり、弾性係数は5.40×10⁵ (V=2%)であった。鉄筋の場合、加工の有無により値が相違したが無加工片を実験値とした。降伏、破断強度は3600 kg/cm²

表-2 付着強度の相互比較

自由端 すべり量 mm	平均 付 着 応 力					
	鉄 筋		GF-De		GF-Ro	
	応力 kg/cm ²	応力比	応力 kg/cm ²	応力比	応力 kg/cm ²	応力比
0.05	118	1.00	154	1.31	6	0.05
0.10	127	1.00	174	1.37	6	0.05
評価	1.00		1.34 (良)		0.05 (不良)	

($V=2\%$)、 5230 kg/cm^2 ($V=1\%$)、弾性係数は 1.78×10^6 ($V=1\%$) であった。管理供試体は、圧縮、曲げ強度が 716 kg/cm^2 ($V=2\%$)、 50 kg/cm^2 ($V=10\%$)、弾性係数は 4.30×10^5 ($V=6\%$) であった。

4. 付着性能について

荷重-すべり量曲線(図-3)付着強度の相互比較(表-2)の結果では、GF-Deは鉄筋と同じ程度に十分に付着が確保されているがGF-Roでは不十分であった。

5. はり部材としての力学的挙動

断面のひずみ分布を直線と仮定すると相関係数は 0.85 以上であり十分に平面保持は成立していると思われる。コンクリートの $\sigma-\epsilon$ 曲線にHognestadの式を用い($\epsilon_0 = 0.28\%$)、断面のモーメントを求めると(図-4)圧縮側が大きな値となった。たわみの理論値はBranson の式を用いた(図-5)。TYPE 1, 3は理論値に近い。しかし、TYPE 1とTYPE 2, 3を比べると終局時に後者はかなり過大なたわみを生じている。ひびわれ発生モーメント(M_{cr})、破壊モーメント(M_u)を表-3に示す。 M_{cr} についてはコンクリートの曲げ強度を用いた。TYPE 1, 2, 3とも実験値と理論値にはさほど差はない。 M_u についてはTYPE 1, 3は理論値が安全側であるがTYPE 2は危険側であり両者に差がある。破壊時の挙動については、はりは曲げ破壊するように設計したがTYPE 3は斜引張破壊に近い急激な破壊であり(図-6, 図-7)、ひびわれ開口部における補強材のたばき作用によるコンクリートの剝離と同時に圧壊が生じた。TYPE 2は無筋コンクリートに近い破壊であり、TYPE 1は曲げ引張破壊となった。

6. あとがき

GFRPの曲げや付着の概略の傾向をとらえることができた。今後、GFRPの付着性能の向上や曲げ加工の工夫などが必要となろう。なお本実験にあたり大日本硝子工業技術グループの方、早稲田大学の伊藤俊雄君の研究室の方々に御協力を賜りました。深く感謝する次第です。

参考文献

- 1) 強化プラスチック技術協会 : FRP設計便覧
- 2) 岡村 甫 : コンクリートの限界状態設計法 共立出版

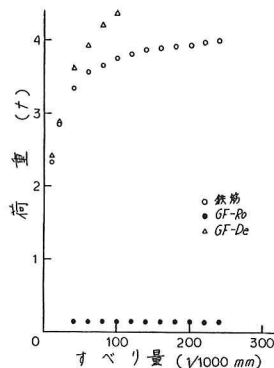


図-3 荷重-すべり量線図

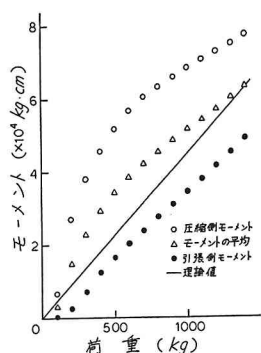


図-4 荷重-モーメント図 (TYPE 3)

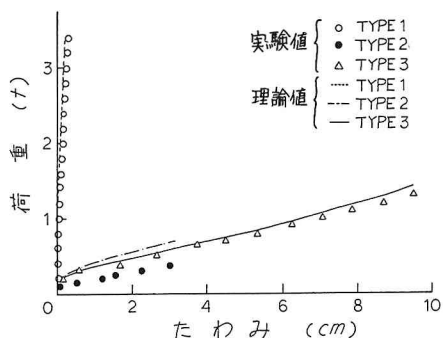


図-5 荷重-たわみ線図

表-3 M_{cr} , M_u の実験値, 理論値

TYPE	1 (鉄筋)		2 (GF-Ro)		3 (GF-De)	
モ-メント	M_{cr} (kg/cm^2)	M_u (kg/cm^2)	M_{cr} (kg/cm^2)	M_u (kg/cm^2)	M_{cr} (kg/cm^2)	M_u (kg/cm^2)
実験値	6880	40380	4680	15730	6750	66150
理論値	8130	36250	8510	51560	8510	51560

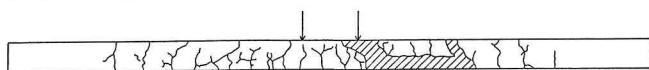


図-6 ひびわれ状況図 (TYPE 3, GF-De)

剝離部

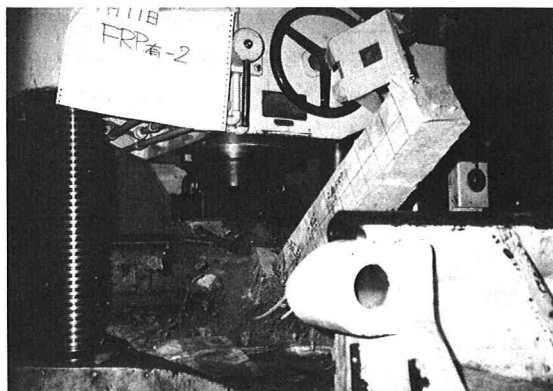


図-7 破壊の瞬間 (TYPE 3, GF-De)