

京都大学 学生会員 ○大西慶典 正会員 服部篤史 フェロー会員 宮川豊章

1. はじめに

本研究では、連続繊維シートの材料特性の違いおよび硫酸浸漬が曲げ補強効果に与える影響を検討した。

2. 実験概要

セメント強さ試験(JIS R 5201)用モルタル供試体(40×40×160 mm)の打設側面に連続繊維シートを軸方向に1層貼付けた。使用した材料特性を表1に示す。促進劣化供試体は、連続繊維シート貼付け面に20℃の10%硫酸水溶液に浸漬した。試験項目は以下の通りである。①観察および分析：目視・SEMによる断面の観察、フェノールフタレイン溶液による中性化深さの測定、EPMAによる硫黄元素Sの線分析を行った。②超音波パルス伝播速度：軸方向で測定した。③曲げ試験：荷重状況を図1に示す。単調または繰返し荷重を行い、荷重、FRP層表面ひずみおよびAEを測定した。AEではリングダウン計数法を用い、フェリシティー比($FR=P_{AE}/P_{1ST}$, P_{1ST} :先行荷重, P_{AE} :次回の荷重でAEが頻発し始めた荷重)の算出や位置評定などを行った。

表1 連続繊維シートとエポキシ樹脂の特性

	高強度(HS) 炭素繊維シート	高弾性率(IM) 炭素繊維シート	普通(N) 樹脂	耐酸(A) 樹脂	柔軟(F) 樹脂
引張荷重(N/mm ²)	4900	4200	42.7	25.0	20.6
弾性率(kN/mm ²)	230	436	2.2	0.98	0.88
伸び(%)	2.1	1.0	3.0	8.0	20

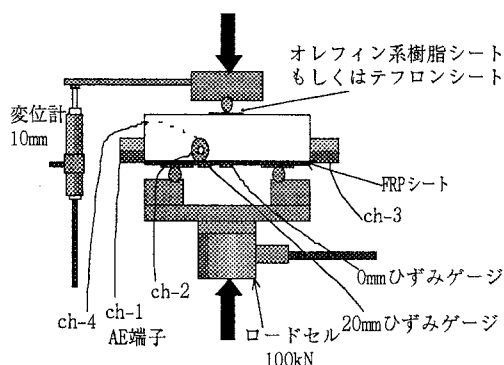


図1 曲げ試験状況

3. 結果および考察

①観察および分析

浸漬1ヶ月では中性化深さは全て0mmでありモルタルは影響を受けていない。SEMによる観察でも変質した部分は見つからず、FRP層にもひび割れ等の可視的な変化はなかった。しかし線分析によるSの浸入深さは非浸漬から明確に増加しており、環境液の浸入とその影響範囲の目安になると考えられる。浸入深さは耐酸樹脂では小さく、柔軟樹脂では炭素繊維シートの繊維束の表面付近まで進んでいた。樹脂の架橋密度が大きいほど(A>N>F)遮断性能が優れており、また同じ樹脂で行った浸漬後の引張強度低下の大小と対応していた。

②超音波パルス伝播速度

図2に示すように、FRP層の材料の組合わせによって明確な違いが生じ、シートの影響が大きい。また発・受振子がFRP層に近いほど速度が大きくなった。連続繊維シートの弾性率の高さから推定できる自身の伝播速度の速さや補剛効果、樹脂によるモルタルの空隙への充填の影響と考えられる。浸漬1ヶ月ではいずれも若干減少しており、樹脂表層の劣化による弾性率の低下を表していると考えられる。

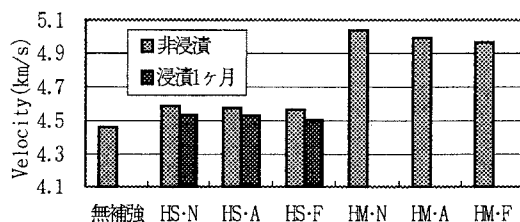


図2 超音波パルス伝播速度

③曲げ試験

中央付近に曲げひび割れが発生した後、これを挟んで斜め引張応力によるひび割れが発生し、FRP層の界面まで進展して剥離ひび割れとなって破壊最大荷重した。曲げひび割れ発生荷重と最大荷重の無補強供試体との比を、シートの引張剛性に対してそれぞれ図3、4に示す。高弾性率では曲げひび割れ発生荷重は高いが最大荷重は低い。弾性率が高いため同じひずみでの応力が大きく、ひび割れに対する抑制効果が大き

いこと、またそのために大きな付着力が必要となり樹脂への負担が大きく、早期に剥離ひび割れが発生したと考えられる。浸漬 1 ヶ月ではひび割れ発生荷重が柔軟樹脂で最大 15% 程度減少しており、表層樹脂の劣化が考えられた。FRP 層表面ひずみは、斜めひび割れ発生前後から中央よりも 20 mm の位置でひずみが大きくなる傾向があり、ひび割れの進展状況に影響されている。しかし、高弾性率のものは高強度の約半分となっていること、柔軟樹脂ではひずみが小さくなることが明確であった。柔軟樹脂では広い範囲ですべりが生じたことが推察される。一方、浸漬 1 ヶ月ではひずみの減少は顕著ではなく、樹脂の特性の違いほどの劣化ではなく、またすべりに影響を与える程度の劣化でもないことが分かる。

図 5 に示すようにフェリシティー比は先行荷重の増加につれて低下しており、供試体が不安定な状態になっている。浸漬 1 ヶ月では $P_{1st}/P_{cr}=1$ のとき、樹脂の種類によって差があるもののいずれも低下が認められ、フェリシティー比が劣化推定に有効であることが分かる。また、 $P_{1st}/P_{cr}=2$ のとき、浸漬供試体では減少しない傾向があり、 $P_{1st}/P_{cr}=1$ の時点でフェリシティー比を大きく減少させる劣化が発生したものと考えられる。一次元位置評定では、図 6 に示すように曲げひび割れ発生時にスパン中央付近で顕著な AE が発生ししばらくは頻度が小さくなるが、荷重の増加とともに発生領域が広がる傾向を示した。このことから AE によりひび割れの発生・進展や FRP 層の剥離などを捕らえたと考えられ、モニタリング手法としての可能性があると考えられた。しかし材料の種類や浸漬の影響は顕著ではなかった。

4. 結論

- ① S の線分析で FRP 層の樹脂の硫酸劣化を把握できる。
- ② 40×40 mm の断面間の超音波伝播速度は FRP 層の材料の影響を受ける。
- ③ 連続繊維シート of 引張剛性が大きいほど曲げひび割れ発生荷重は大きくなるが最大荷重は小さくなる。樹脂の影響は明確でないが、1 ヶ月間の 10% 硫酸水溶液の浸漬に対して表層樹脂の劣化が起こっているものと考えられ、ひび割れ発生荷重が柔軟樹脂で最大 15% 低下した。
- ④ フェリシティー比が供試体の劣化推定に有効であり、また AE 法でひび割れや FRP 層の剥離モニタリング手法としての可能性がある。

また今後の課題としては、さらに長期にわたる耐久性の把握、AE 法による破壊メカニズムの検討、破壊過程をモデル化した解析による破壊の予測などが挙げられる。

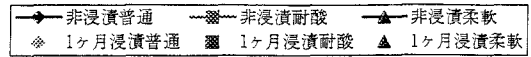


図 3 曲げひび割れ発生荷重比

図 4 最大荷重比

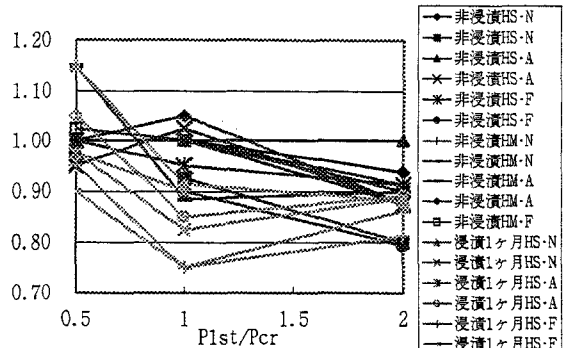


図 5 フェリシティー比

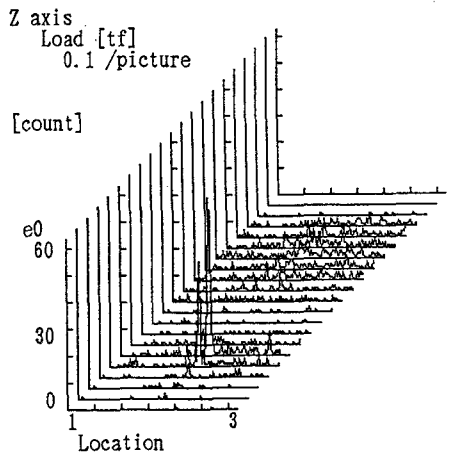


図 6 一次元位置評定 (浸漬 1 ヶ月、HS・N)