

大成建設 正会員 ○中西 誉
山口大学工学部 正会員 宮本 文穂

1.はじめに コンクリート構造物の補修・補強に使用されるCFRP(カーボン繊維補強材)の含浸接着樹脂材の選定に関しては、樹脂材の種々の機能を主に評価する材料学的観点からのみ検討される場合が多く、力学的観点からの検討はほとんどなされていない現状にあり、今後、界面における付着特性(応力集中量)などの改善に関する力学的指標の確立が要求される。本研究ではモルタル母材の曲げひびわれを補強する意味で母材引張側にCF(カーボンシート)を一層塗布した供試体(図1参照)を用い、界面における力学的挙動を指標面積 A_T [1]で、また母材のき裂進展を応力拡大係数により定量的に評価した。そして、樹脂材弾性係数によるパラメータ解析を行い、先の二つの指標により最適含浸接着樹脂材の材料設計を行うものである。

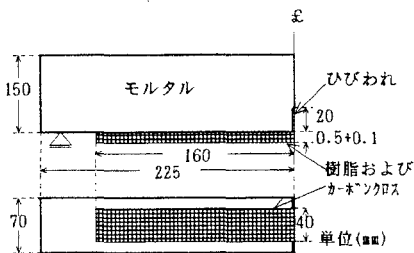


図1 供試体

2.界面およびき裂先端部の力学的挙動の評価

層間およびき裂近傍の力学的挙動を評価するにあたり、2次元弾塑性FEM解析を用い、その界面の付着特性のモデル化にはBond-link要素を導入した。実験で得られた層間のひずみとFEM解析により得られた同じ位置でのひずみの分布形状が一致するように層間せん断ばね定数を同定し、表1を得た。また、圧縮試験および樹脂材とCFの引張試験より表2の弾性係数を得た。表1のばね定数と弾性係数の間には式(1)に示す一次の相関があることを確認した。

表1 層間せん断ばね定数

供試体種別	層間せん断ばね定数 (kgf/cm ²)
H C	178,000
M C	58,000
S C	23,500

表2 材料定数

材料種別	弾性係数 (kgf/cm ²)
モルタル	202,000
H	18,110
M	4,800
S	1,420
C F	321,000

$K=9.2E+11979$ (K : 層間せん断ばね定数, E : 樹脂材の弾性係数) (1)

本実験ケースを解析した層間せん断応力分布を図2に示す。これより応力集中はひびわれ近傍で起こっており、硬い樹脂HでCFを塗布した供試体ほど応力集中程度も大きくなっている。

次に、き裂先端部の応力場、変位場は応力拡大係数に対してすべて相似になり、応力拡大係数が求まれば一意的に決まる。上記理由により応力拡大係数は破壊力学のパラメータとなり、破壊現象を定量的に評価する際によく用いられている。応力拡大係数には3つの破壊モードが考えられるが、本研究では2次元の解析を用いており、適用部位がき裂先端であることより、

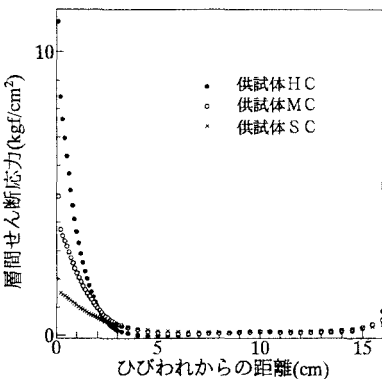


図2 層間せん断応力分布

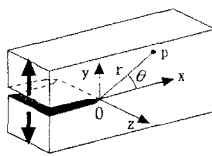


図3 破壊モード

Homare NAKANISHI, Ayaho MIYAMOTO

面内せん断型のモード I (図3参照)のみを考慮する。このときの応力拡大係数は式(2)で表される。

$$K_I = \sigma \sqrt{2\pi r} \quad (2)$$

実際には式(3)に示す外挿法を用いて応力拡大係数を求める[2]。

$$K_I = \lim [\sqrt{2\pi r} (\sigma)_{\theta=0}] \quad (3)$$

この外挿法により求めた応力拡大係数 K_I と先の層間せん断応力分布より求めた指標面積 $A\tau$ (層間せん断応力分布図において座標軸と分布が囲む面積)の値を表3に示す。これより、界面破壊(界面ではがれる)が発生しにくいのは柔らかい樹脂SでCFを塗布した供試体であり、き裂進展をより効果的に抑制するのは硬い樹脂HでCFを塗布した供試体である。

3. 指標に基づく材料設計

上述の二つの指標を同じ基準の上で比較検討することができれば、最適樹脂材の選定が可能であると考え。まず、両指標の支配パラメータと考えられる樹脂材の弾性係数を用いたパラメータ解析を行い、両指標と弾性係数の相関をとり、得られた結果を図4、図5に示す。両図は式(4)(5)で対数回帰できる。

$$\ln(A\tau) = 0.313 \ln(E) - 0.697 \quad (4)$$

$$\ln(K_I) = -0.031 \ln(E) - 0.447 \quad (5)$$

ここで、コンクリート構造物を補強する場合、ひびわれは開口しにくい方がよく、界面においてははがれにくい方がよい、さらに、ひびわれ近傍界面における破壊とき裂進展は補強構造物の破壊を引き起こす従属的要因と考え、それぞれの指標の重みを等価のものとして取り扱う。そこで、図4、図5のそれぞれの縦軸を正規化し、その値を0～1に変換し両図を重ね合わせて比較したものを図6に示す。両指標 $A\tau'$ 、 K_I' は共に値が小さいほど適した材料であるので、その交点を最適樹脂材と考え、その弾性係数を求めると約24,000kgf/cm²の結果を得る。

4. まとめ ①樹脂材弾性係数と層間せん断ばね定数は線形関係にある。②界面破壊を起こしにくいのは柔らかい樹脂でCFを塗布した場合であり、き裂進展を効果的に抑制するのは硬い樹脂でCFを塗布した場合である。③き裂進展と界面破壊を同等の重みで評価した場合、最適含浸接着樹脂材の弾性係数は約24,000kgf/cm²である。

【参考文献】[1]中西誉、他：有限要素法による補修用積層化樹脂材の界面特性評価と材料設計、土木学会関西支部年次学術講演概要、V-33-1～2、1994.5.、[2]結城良治：界面の力学、培風館、PP.85～105、1992.7.

表3 指標面積と応力拡大係数

供試体	$A\tau$ (kgf/cm)	K_I (kgf/mm ^{3/2})
H C	10.80	1.17
M C	7.35	1.25
S C	5.13	1.30

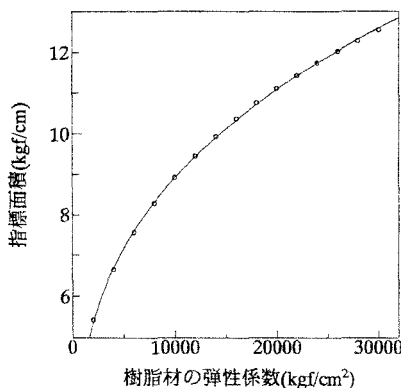


図4 $A\tau$ と E の相関

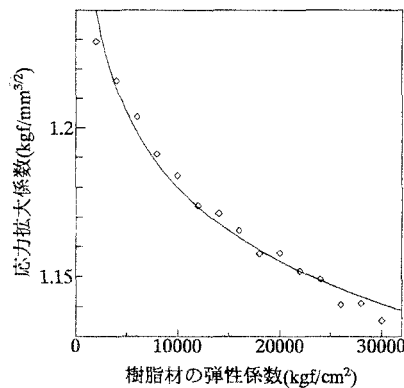


図5 K_I と E の相関

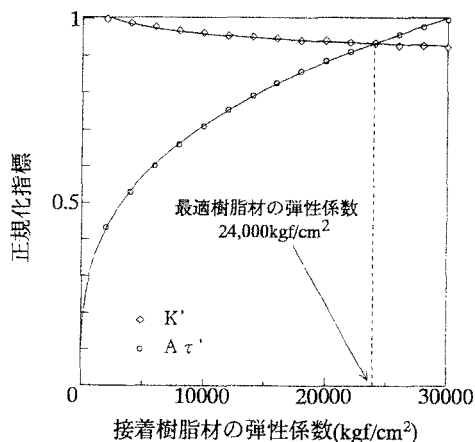


図6 材料選定図