

V-548

炭素繊維シートとコンクリートの界面剥離破壊エネルギー

茨城大学 工学部 正員 福沢 公夫

茨城大学 工学部 正員 呉 智深

茨城大学 工学部 田名部 菊次郎

○東燃（株） 正員 吉澤 弘之

1. はじめに

近年、RC建造物の梁やスラブ、高架橋の橋脚等の補修、補強に炭素繊維シートが用いられている。炭素繊維シートの補強効果はコンクリートと炭素繊維シートが接着し、応力を伝達することによって発揮される。炭素繊維シートで補強されたコンクリート梁の最終破壊は炭素繊維シートとコンクリートの界面で生じることがあり、この場合には図1に示すようにコンクリートに生じたき裂近傍の炭素繊維シートとコンクリートの界面が剥離を生じ、このき裂が端部まで進展するか、もしくは炭素繊維シート端部から新たな界面剥離が生じこれが進展し最終破壊となる。

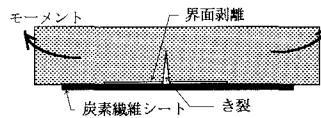


図1 モーメント作用時の界面剥離

炭素繊維シートとコンクリートのせん断剥離破壊は、平均せん断強度で整理し設計を行っている。しかし、実際の剥離挙動はモードII型の剥離進展である。この破壊は鉄筋とコンクリートの付着破壊メカニズムと大きく異なる界面の剥離進展による脆性的な破壊で、コンクリートと炭素繊維シート界面の局所的な応力状態、付着の状態等により急激に剥離が進展する可能性がある。

炭素繊維シート補強による建造物の補強設計では、シートの剥離を正しく算定できる合理的な設計法の確立が重要である。そこで本研究ではその基本的なパラメータとして炭素繊維シートとコンクリート界面のせん断剥離エネルギーに関して検討した。

2. 試験方法に関して

せん断剥離き裂の進展に対する実験方法は種々あるが、本研究では図2に示す予き裂入りのせん断試験片を用いた。アルミ板とフォームAに対してこの方法で行われた試験<sup>1)</sup>では最大荷重、すべりせん断破壊による界面剥離破壊によるエネルギー開放率がばらつき無く、安定的に得られている。この試験でのエネルギー開放率の算出の考え方は、脆性的な剥離進展を開始する最大荷重時までに試験体（図2ではコンクリート部）に蓄えられるせん断変形によるエネルギーが全てき裂の進展に使われると考え、コンクリートのせん断変形は微小で線形を仮定している。なお、エネルギー開放率の算出に必要なデータは最大剥離荷重、コンクリートのせん断弾性率である。

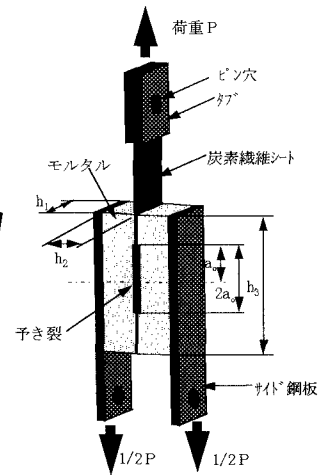


図2 試験体概要

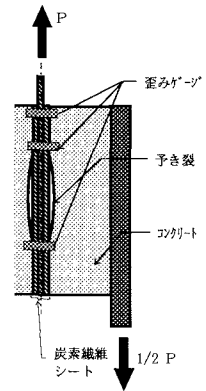


図3 試験体拡大図

3. 試験概要

図2に示す炭素繊維シートとコンクリートの界面に離型フィルムにより長さ $2a_0$ の予き裂を入れたせん断試験片を用い試験を行った。炭素繊維シートはサンダーゲルを行ったコンクリート表面にポキシ樹脂で接着した。炭素繊維シート上部に設けたタフよりピンチャックで荷重を荷重制御で負荷した。試験片の両サイドは鋼板により変位を拘束した。試験体の寸法は $h_1$ :50mm、 $h_2$ :25mm、 $h_3$ :150mm、 $2a_0$ :62.5, 75, 100mmとした。

表1 材料諸物性

|            | 圧縮、破断強度<br>kgf/cm <sup>2</sup>            | 弾性率<br>10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> | ポアソン比 |
|------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
| コンクリート     | $\sigma_c$ (圧縮)<br>=510                   | 0.224                                      | 0.159 |
| 高強度炭素繊維シート | $\sigma_t$ (引張)=46,300<br>(spec. >35,500) | 2.35                                       | 0.30  |

炭素繊維シート：目付 200g/m<sup>2</sup>  
設計厚さ 0.0111cm

#### 4. 試験結果

表2にき裂長さと最大荷重等を示す。破壊モードは炭素繊維シートとコンクリート界面の滑りせん断破壊を示すものと、予き裂先端より約45度方向のコンクリート内部にき裂が進展し界面に進展しないものの2種類となった。き裂先端からコンクリート内部にき裂が進展したものの（破壊モード×の試験体）は平均値を求める際には除外した。

破壊がき裂先端から開始するかどうかの確認試験を、図3のようにひび割れ先端と炭素繊維シートの付け根の部分に通常のゲージをクラックゲージの替わりに使用し行った。コンクリートと炭素繊維シートとの界面で滑りせん断破壊を示すモードでは、図4に示すように、破壊は予き裂先端より進展した。

すべりせん断破壊によるエネルギー開放率  $G_{IIc}$ 、平均せん断応力  $\tau_{mean}$  は以下の式で求めた。

$$G_{IIc} = \frac{F_d^2 h_2}{4G_c h_1^2 (h_3 - 2a_0)^2}$$

$$= \tau_{mean}^2 \frac{h_2}{G_c}$$

ここで

$$\tau_{mean} = \frac{F_d}{2h_1(h_3 - 2a_0)}$$

$F_d$ : 最大剥離荷重 kgf

$G_c$ : 94900 kgf/cm<sup>2</sup>

なお、コンクリートのせん断変形量が小さく、変形を精度良く測定できなかったため、コンクリートのせん断弾性率  $G_c$  はコンクリートの圧縮試験で求めたヤング率とポアソン比を用いて算出した。せん断弾性率  $G_c$  は今後無き裂試験体を用い実測する予定である。

上式より求めたエネルギー開放率  $G_{IIc}$  とき裂長さの関係を図5に示す。き裂長さが長くなると  $G_{IIc}$  は本実験では若干の増加傾向を示すが、平均すると約 6.0 J/m<sup>2</sup> となる。平均せん断応力  $\tau_{mean}$  は図6に示すように炭素繊維シートの付着長さが長くなると減少する。この傾向は通常の炭素繊維シートの付着試験<sup>2)</sup>と同様である。

#### 5. 結び

今後すべりせん断破壊によるエネルギー開放率の寸法効果等を検討し、コンクリートと炭素繊維シートの付着に関して更に詳しく検討する予定である。また、有限要素法を用いて、剥離破壊エネルギーを考慮した構造物の剥離破壊解析を行いたいと考えている。なお、この研究はCCA協議会の協力を得て実施した。

#### 参考文献

- 1) T.C.Triantafillou,  
L.J.Gibson, "Debonding in form-core sandwich panels." Materials and Structures 1989, 22, 64-69
- 2) 吉澤他 「炭素繊維シートとコンクリートの定着挙動」土木学会第50回学術講演 V-201（平成7年）

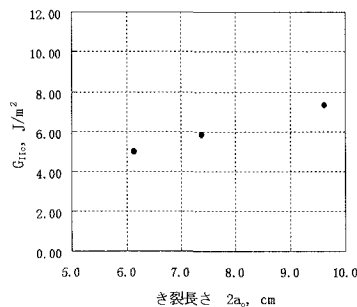


図5 き裂長さと  $G_{IIc}$  の関係

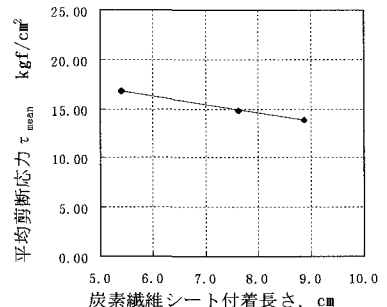


図6 接着長さと  $\tau_{mean}$  の関係

表2 試験結果

| き裂長さ<br>$2a_0$<br>mm | 試片<br>No. | 最大<br>剥離<br>荷重<br>$P_d$<br>kgf | 平均<br>せん断<br>応力<br>$\tau_{mean}$<br>kgf/cm <sup>2</sup> | せん断剥離<br>エネルギー<br>開放率<br>$G_{IIc}$<br>J/m <sup>2</sup> | 破壊<br>モード<br>判定 |
|----------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------|
| 62.5                 | 1         | 1255                           | 14.26                                                   | 5.25                                                   | ○               |
|                      | 2         | 1295                           | 14.80                                                   | 5.66                                                   | ○               |
|                      | 3         | 1200                           | 13.70                                                   | 4.85                                                   | ○               |
|                      | 4         | 1188                           | 12.57                                                   | 4.24                                                   | ○               |
|                      | 5         | 1210                           | 12.87                                                   | 4.28                                                   | ×               |
|                      | av.       | 1235                           | 13.81                                                   | 5.0                                                    |                 |
| 75                   | 1         | 1195                           | 15.22                                                   | 6.05                                                   | ×               |
|                      | 2         | 1110                           | 14.36                                                   | 5.47                                                   | ○               |
|                      | 3         | 1125                           | 14.75                                                   | 5.89                                                   | ○               |
|                      | 4         | 1215                           | 15.45                                                   | 6.39                                                   | ○               |
|                      | 5         | 1152                           | 14.67                                                   | 5.71                                                   | ○               |
|                      | av.       | 1151                           | 14.8                                                    | 5.9                                                    |                 |
| 100                  | 1         | 1038                           | 18.57                                                   | 9.45                                                   | ×               |
|                      | 2         | 975                            | 17.61                                                   | 8.11                                                   | ×               |
|                      | 3         | 975                            | 18.75                                                   | 9.19                                                   | ×               |
|                      | 4         | 1007                           | 16.99                                                   | 7.57                                                   | ○               |
|                      | 5         | 894                            | 16.50                                                   | 7.12                                                   | ○               |
|                      | av.       | 951                            | 16.7                                                    | 7.3                                                    |                 |

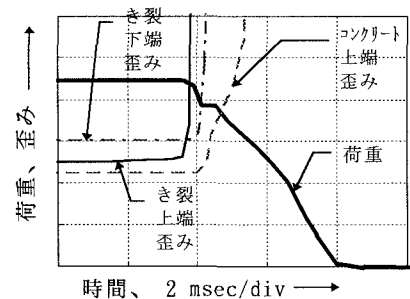


図4 き裂進展状況