

V-477

高靱性繊維補強 RC 梁のせん断試験の解析的研究

○ 東京大学 学生員 竹内 進也
 東京大学 正 員 カベレ ペトル
 東京大学 正 員 堀井 秀之

1. はじめに

セメント系高靱性繊維補強材料として研究されているものに ECC(=Engineered cementitious composite) がある。この材料は引張り応力下で局所化したひび割れが形成され軟化挙動を示す前に、複数のひび割れが分散して発生し硬化挙動を示すよう機能設計されている¹⁾。その引張りに対する大きな靱性と優れたエネルギー吸収能を活かし、耐震材等に用いることが期待されている。構造部材の耐震性能を決定する要因として、用いる材料のせん断応力下での力学的性質が挙げられるが、本研究では ECC で作られた梁のせん断試験において、局所化したひび割れが生成したところに着目し、ひび割れの引張り特性やせん断特性が全体の挙動に与える影響を有限要素解析した。

2. 解析概要

梁のせん断試験²⁾は図 1 のように、加力ビームの中央部に鉛直力を加え、梁がせん断変形を受けるよう载荷、支持して行なわれた。梁の上部と下部には主鉄筋が配筋されており、十分に曲げ補強してせん断破壊が先行するよう設計されている。実験では変位が 2.0mm を越えた辺りから剛性がほとんどゼロに近くなったが、水平耐力を保持し大きな変形能力を有した(図 4, exp.)。ひび割れは梁の中央部で複数ひび割れが分散して生成し、载荷点と支持点を結ぶ対角線上に局所化したひび割れが生成した。

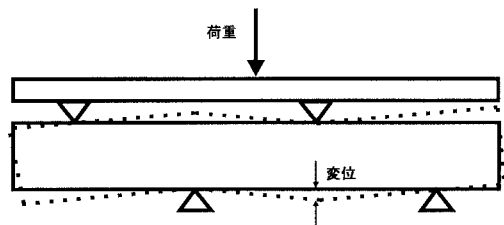


図 1 梁のせん断試験の概略図

解析においては、実験結果の観察より局所化したひび割れが生成したところに(図 2 太線部)、ひび割れを表す要素(以下インターフェース要素)を導入した。この要素は引張り応力 σ_n がある引張り強度に達すると、開口変位 δ_n の増加とともに引張り応力が減少するように、またせん断応力 τ があるせん断強度に達すると、すべり量 δ_t の増加とともにせん断応力が減少するように設定されている(図 3 参照)。鉄筋及びセメントの要素は線形的に弾性変形するとし、上端に変位制御で単調载荷し、荷重と下端の鉛直変位の関係を求めた。

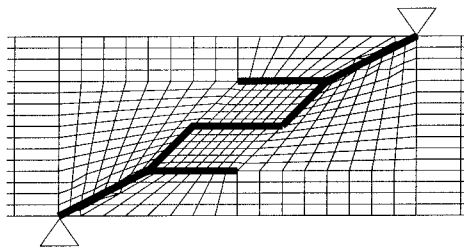


図 2 有限要素解析メッシュ

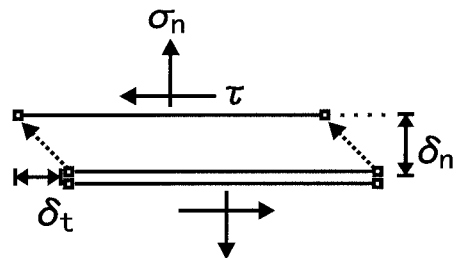


図 3 インターフェース要素の概要

3. 結果

インターフェース要素に対して、最初に一軸引張り試験の結果より引張り特性を(引張り強度 2.6MPa 、軟化勾配 0.43MPa/mm)、一軸圧縮試験の結果よりせん断特性を(せん断強度 6.0MPa 、軟化勾配 0.9MPa/mm)、決定して解

キーワード：高靱性繊維補強材料, せん断試験, 有限要素解析

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL:03-3812-2111 FAX:03-3812-4977

析した。はじめに梁の中心部(図5,c-d)でせん断強度に達し、つづいて梁の上部、下部(図5,b-g,e-h)、載荷点、支持点を結ぶ対角線上の要素(図5,a-b-c,f-e-d)でせん断強度に達し、荷重-変位曲線が緩やかにカーブしていった(図4,Case1)。そして変位が2.5mmに達すると、梁の中心部(図5,o点)で引張り強度に達し、梁の載荷点、支持点の方へ進展しながら(図5,o-c-b-a,o-d-e-f)、荷重-変位曲線が水平になっていった。実験結果と比べ2倍以上の最大荷重を示したが、これはインターフェース要素のせん断特性を一軸圧縮試験の結果より決定したためと考えられる。一軸圧縮試験においてはひび割れ面に対して垂直な方向に圧縮応力が作用しているのに対し、今回のせん断試験では引張り応力が作用している。これより、応力状態によって局所化したひび割れの発生する条件が変わると考えられる。次にインターフェース要素のせん断強度を1.0MPaに下げて解析した(図4,Case2)。今回も梁の中心部(図5,c-d)でせん断強度に達した後、変位1.5mm程度で引張り強度に達して(図5,o点)、荷重-変位曲線がほぼ水平になっていった。そして荷重の漸増とともに載荷点と支持点を結ぶ対角線上の全てで引張り強度に達し(図5,a-b-c-o-d-e-f)、荷重-変位曲線が軟化していった。Case1,Case2ではセメント要素は線形的に弾性変形するとしたが、実験結果では、梁の中央部に複数のひび割れが分散して生成していた。この複数ひび割れの影響について調べるために、Case2において一軸引張り試験の結果よりセメント要素が引張り強度1.7MPaに達すると、ひずみの増加とともに応力が漸増するようにして解析した(図4,Case3)。まず複数ひび割れが梁の上端、下端(図5,i,j点)で生成し、つづいて梁の中央部に分散して生じた。インターフェース要素は梁の中心部(図5,c-d)でせん断強度に達した後、変位2.0mm程度で引張り強度に達した(図5,o点)。引張り破壊は梁の中心部から載荷点、支持点の方へと進展していったが、載荷点、支持点付近では引張り強度に達せず、荷重-変位曲線は軟化せず水平耐力を保持した。これは複数ひび割れが生成することにより、局所化したひび割れの破壊の進行が抑えられたと考えられる。

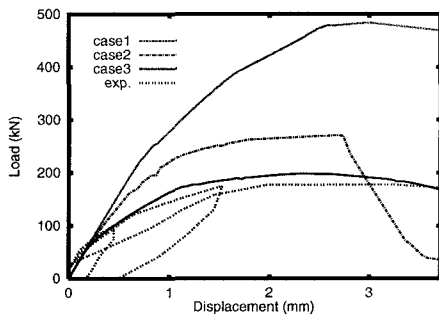


図4 荷重-変位曲線

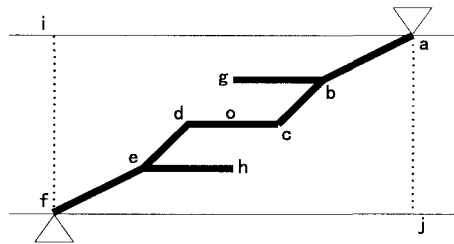


図5 局所化したひび割れの図

4. おわりに

今回の解析では、梁のせん断試験結果より局所化したひび割れが生成したところにひび割れを表すインターフェース要素を導入し、ひび割れの引張り特性及びせん断特性の影響を有限要素解析した。梁はまずせん断強度に達して、荷重-変位曲線が緩やかにカーブし、引張り強度に達するとほぼ水平になり、載荷点と支持点を結ぶ対角線上の全てが引張り強度に達すると軟化した。また複数ひび割れは梁の中央部に分布して生成し、局所化したひび割れの進展を抑えて変形性能に大きく寄与することが分かった。複雑な応力下における局所化したひび割れの発生条件をどうモデル化するかが今後の課題である。

参考文献

- 1) Petr KABERE and Hideyuki HORII, ANALYTICAL MODEL FOR FRACTURE BEHAVIORS OF PSEUDO STRAIN-HARDENING CEMENTITIOUS COMPOSITES, J. Materials, Conc. Struct, Pavements No.532/V-30, 209-219, 1995
- 2) 関田 徹志, Personal communication.