

応用要素法 (AEM) におけるせん断応力・ひずみの精度向上に関する検討

東京大学大学院 学生員 新倉 一郎
東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに

本研究は Meguro and Hatem が開発した新しい破壊解析法(応用要素法: AEM)¹⁾の精度向上を目標に、せん断応力とひずみに関する検討を行うものである。AEM の大きな魅力の一つである特別な仮定なしに進行性破壊を表現できるという点は、せん断破壊が支配的でない状態ではかなりの精度が期待できることは既往の研究でされている¹⁾。ところが、せん断力が卓越する状態に置いては、解決すべき問題がある。そこで本研究では、図1に示すようなせん断破壊が先行する梁を対象として、せん断破壊の精度向上を目指した。

2. 目的

図1に示される梁の解析結果において、実験で観測された破壊の決定的要因である斜めひび割れの突き抜けが起こる前に、斜めひび割れの進展途中で載荷板付近の圧縮破壊が先行し、ひび割れの進行が阻害されていることが確認された。また、コンクリートは引張・せん断に弱く、一度ひび割れが発生するとそこにひずみが集中し、他に応力が分散することなく斜めひび割れは唯の1本しか発生しないが、解析では複数のひび割れが発生している。これらには以下の2つの原因が考えられ、本研究ではそれらに修正を加え AEM の精度向上に貢献しようとした。以下、原因、修正、解析結果と考察の3項目について検討する。

2.1 原因

1) AEM では、並び合う要素の相対変位によりその要素間を繋ぐバネのひずみを求め、それに剛性を乗じることで応力を算出している。従来の研究から法線方向バネについては理論値・実験値を精度良く追跡出来ていることが確認されている¹⁾ものの、せん断方向については検討課題とされてきた。図1に示した梁の左支持板から 27.5cm 右に寄った断面のせん断ひずみ分布を図2に示すと、同一要素内でせん断ひずみが均一となり、階段状に平均化されていることが分かる。このため、斜めひび割れ先端付近よりも、載荷板付近の圧縮領域において先に破壊基準を越える応力状態が発生してしまう。また、同一要素・辺内で均一の応力状態になるため、応力・ひずみが集中することなく作用応力が分散され、同時に複数のひび割れが生じる。

2) 従来の AEM ではひび割れ発生後、引張力が働くバネに関しては、ひび割れ発生直後のステップでピーク荷重の半分に強制的に落とし、その後はほぼゼロの剛性で応力一定を保つようにしていた。ところが実際は載荷が進むに連れひび割れ幅が大きくなると、そのひび割れ面における接触面積は小さくなるので当然せん断伝達力は小さくなる。このことは実験的にも検証されている。つまり、現状ではひび割れ面でのせん断伝達力を過大評価しているということになる。

2.2 修正方法

1) 階段状になっている応力分布を要素辺中心位置にあるバネの応力同士を直線で結び、その間にあるバネの応力がその直線に乗るように修正する。これは直線近似は簡便法ではあるが、このような簡単なモデルである程度対処できれば非常に便利である。今回はこの修正によって解がどの程度向上されるのかを試算した。

2) Li らの接触密度関数に基づくコンクリートひび割れ面の応力伝達構成則²⁾を採用した。AEM においてはひび割れ幅、せん断ずれはひび割れ後のその箇所における法線、せ

ん断バネの変位から容易に求めることが出来るのでこのモデルは非常に便利である。

3. 解析結果と考察

1) 図3に荷重 - 変位関係の解析結果を修正前後で一緒に示す。修正前後を比較すると、ピーク荷重が上昇していることが確認される。今回の修正により、斜めひび割れ進展が妨害されることなく荷重が上昇し、ピーク後の荷重が急激に低下している。これはコンクリートの圧縮軟化のような粘性的な挙動とは対照的に、ひとたび1つのクラックが発生したらそこから一瞬にしてクラックが進展して崩壊する脆性的な挙動を示すコンクリートのせん断破壊の特性を良く表していると考えられる。また、図4は修正前と後のひび割れ図であり、明らかな斜めひび割れの延伸が確認される。これは供試体断面せん断応力を線形補完することで供試体端部のせん断応力が真値に近くなり、斜めひび割れ進展がコンクリートの圧壊に先行するという実験結果に近づいたものと考えられる。

2) 図5に荷重 - 変位関係の解析結果を修正前後一緒に示す。斜めひび割れ発生後剛性が落ちていくことが分かるが、これは斜めひび割れ面における滑りの効果であり、意図したものが得られたと考えられる。また、図6のひび割れ図から斜めひび割れが修正前よりは減り、最初に発生したひび割れにひずみが集中して他にひび割れの発生する余地を与えていないことが分かった。これはひび割れ面におけるせん断伝達応力を低下させたことの効果と思われる。実験では幅の広いひび割れが唯の1本発生したことから、より現実的になっていることが分かる。

4. 追加解析

以上のことから最初に提案した修正は両方とも適切であったことが確認されたため、2つの修正をした上で解析を試みた。図7と8はその結果である。荷重変位関係では2つの効果が相殺したような結果であるが、ひび割れ図に関しては、離散と延伸共に確認でき実験により近づいたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、簡便法ながら要素内でせん断ひずみ・応力が均一となることを解消し、斜めひび割れの延伸に成功した。また、ひび割れ面の接触面積に基づくせん断伝達力構成則を採用することで、離散した斜めひび割れを表現することにも成功した。

参考文献

- 1) Meguro K. and Tagel-Din H.: A new technique for fracture analysis of structures, Bulletin of Earthquake Resistant structure, IIS, University of Tokyo, No.30, pp.103-116.1997.
- 2) 岡村 甫, 前川 宏一; 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則、技報堂出版、1990

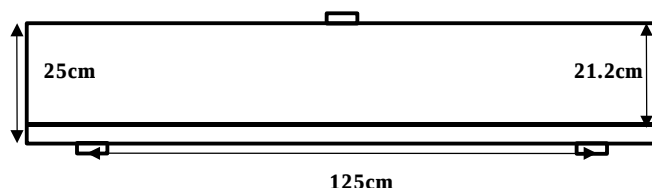


図1 解析対象構造物関係

キーワード：応用要素法、せん断ひずみ・応力、せん断伝達力、破壊解析、破壊実験

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 B棟 目黒研究室 Tel03-5452-6437

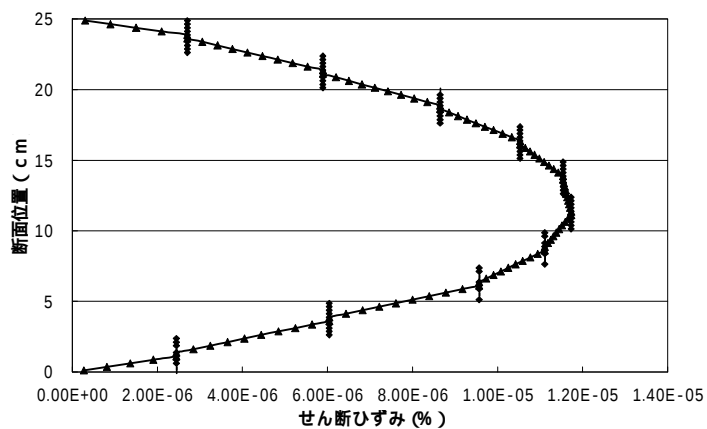


図2 断面せん断ひずみ分布

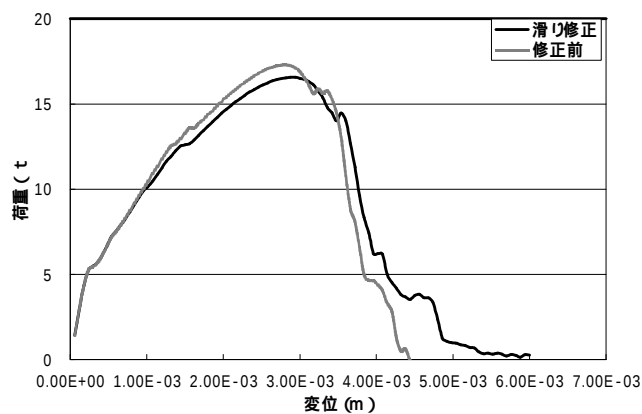


図5 修正前後の荷重 - 変位

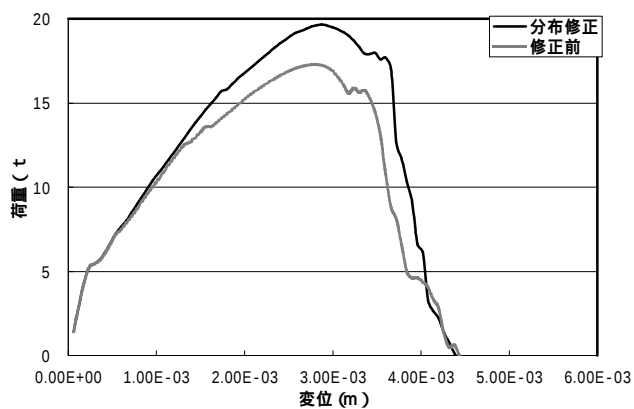


図3 修正前と後の荷重変位関係

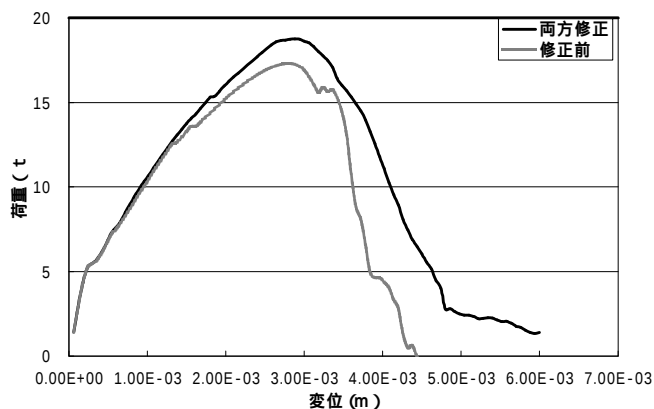


図7 2つの修正前と後の荷

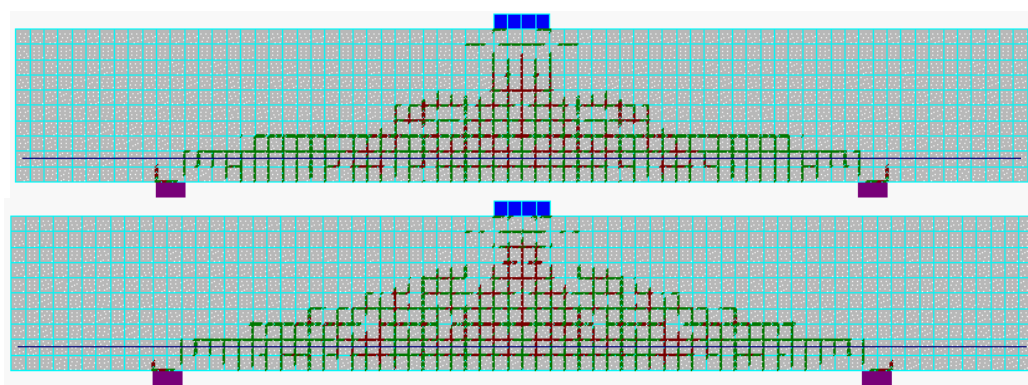


図4 直線近似をする前(上)とした後(下)のひび割れ図

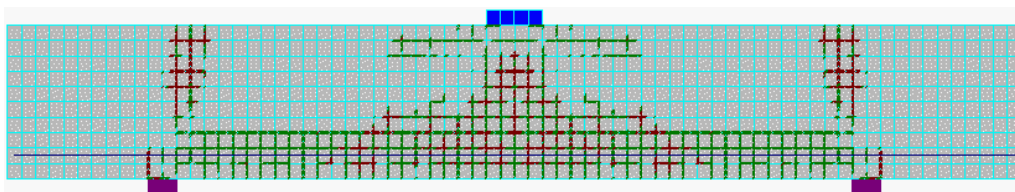


図6 せん断ずれを考慮した後のひび割れ図

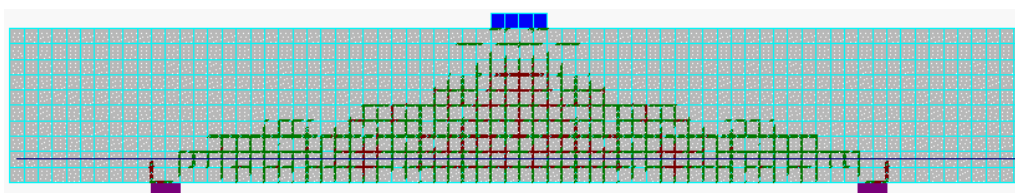


図8 直線近似とせん断ずれの考慮の修正をした後のひび割れ図