

ひび割れ注入補修されたコンクリートはりの曲げ破壊解析

岐阜大学 正会員 ○国枝 稔, 鎌田 敏郎, 六郷 恵哲
カリフォルニア大学デービス校 John Bolander

1. はじめに

補修されたコンクリート構造物の現在あるいは将来の性能を数値解析的に予測することは有用であるが、ひび割れ注入により補修されたコンクリートを対象とした数値解析の例は少なく、特に補修されたひび割れ部分を適切にモデル化することが重要である。本研究では、ひび割れ注入補修を対象とした数値解析手法の開発ならびに補修供試体内におけるひび割れ発生のメカニズムの解明を目的とし、Rigid-Body-Spring Network¹⁾ (RBSN) による基礎的な検討を行なった。

2. 解析概要

RBSN は、川井により開発された RBSM²⁾ (剛体-ばねモデル) を改良した数値解析モデル (図-1 参照) であり、ひび割れの進展に伴って生じるコンクリートの破壊解析への適用性が確認されている¹⁾。本解析では、図-2 に示される寸法の供試体 (エポキシ注入幅: 約 3mm) を解析対象とした。コンクリート材料の特性値として実験値³⁾ (引張強度: $f_t = 2.5\text{MPa}$, ヤング係数: $E = 25.8\text{GPa}$, 破壊エネルギー: $G_f = 85\text{N/m}$) を使用することとし、軟化特性には 1/4 モデルを使用した。ひび割れの進展に影響を及ぼす粗骨材の影響を確認するために、切欠きの上部には直径 10mm の 2 個のインクルージョン (骨材モデル) を配置した (図-3 参照)。骨材モデルの強度のみコンクリートよりも高強度とし、骨材モデルを貫通するひび割れは発生しないと仮定したうえで、2 個の骨材モデル間の水平距離 L の変化が、補修供試体内におけるひび割れ性状に及ぼす影響について確認することとした。

まず、プレーンコンクリートを対象とした解析を行ない、補修用のひび割れをモデル化した (以後、初期载荷供試体と呼ぶ)。次に、最大荷重到達後の軟化領域において、最大荷重の約 10% まで低下した時点におけるひび割れ (0.05mm 以上) を補修の対象とし、このひび割れ部に相当するスプリングにエポキシの材料特性を組込むことで注入補修を再現し、再度解析を行なった (以後、補修供試体と呼ぶ)。エポキシのヤング係数は $E = 2.0\text{GPa}$ とし、解析上破断しないと仮定した。なお、供試体中央部におけるヴォロノイセル間の最小距離 h は 2mm (平均: 約 3mm) であることから、エポキシの注入によって再現される剛性の低下は実験結果³⁾ とほぼ同程度であると考えられる。

3. 解析結果

3.1 荷重-CMOD 曲線

骨材モデル間距離 L を変化した場合における、初期载荷供試体ならびに補修供試体の荷重-CMOD 曲線を図-4 に示す。補修供試体の初期剛性に関しては、エポキシの存在により初期载荷供試体のそれに比べて小さくなっている。最大荷重以降の靱性については、特に骨材モデル間距離 $L = 10\text{mm}$ の場合に特に増

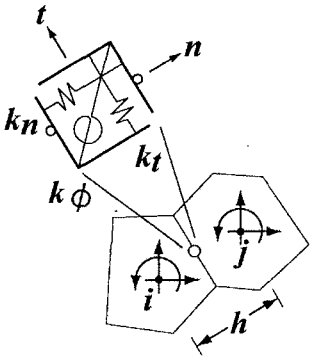


図-1 セルモデル

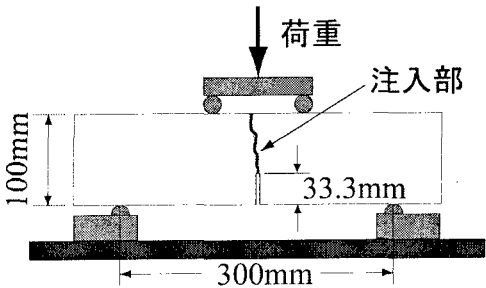


図-2 ひび割れ注入供試体

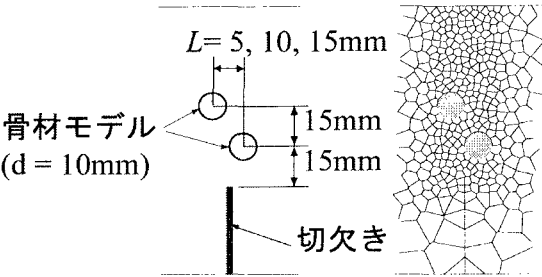


図-3 骨材モデル

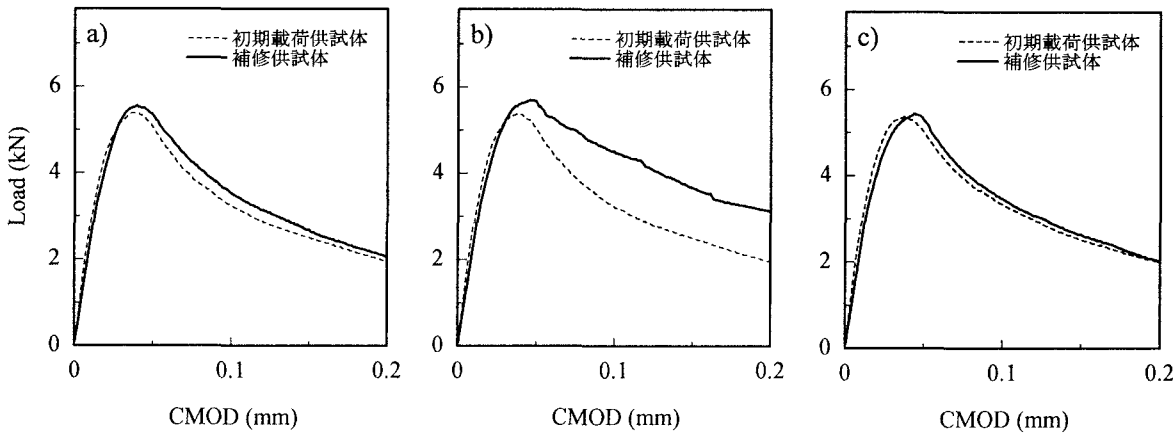


図-4 荷重-CMOD 関係; a) $L=5\text{mm}$, b) $L=10\text{mm}$, c) $L=15\text{mm}$

大する結果となった。

3.2 ひび割れ性状

図-5 に初期荷重供試体ならびに補修供試体の解析における主ひび割れ (0.05mm 以上) を示す。ここでは骨材モデル間距離 L の違い (初期荷重供試体のひび割れ性状) に対応した 3 種類の補修供試体のひび割れ性状が確認された。 $L = 5\text{mm}$ の場合、補修供試体におけるひび割れは 2 個の骨材モデルの外側を迂回するように進展した。このことは最大荷重が初期荷重供試体のそれに比べてやや大きくなった理由の 1 つと考えられる。 $L = 10\text{mm}$ の場合、2 個の骨材モデル付近まで一旦ひび割れが進展したが、2 個の骨材モデルを連結する

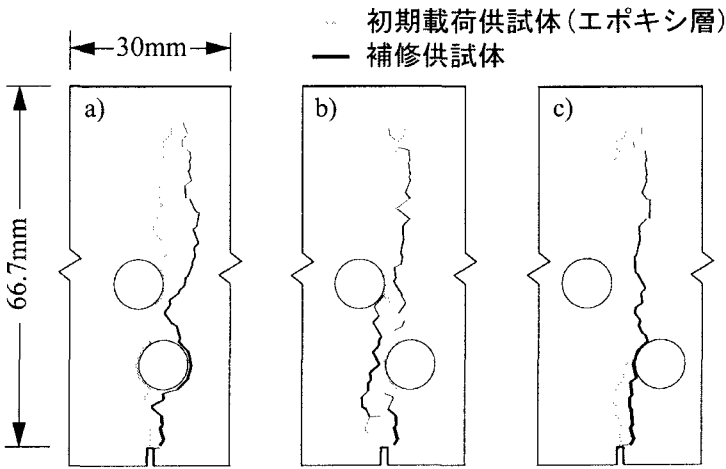


図-5 ひび割れ性状; a) $L=5\text{mm}$, b) $L=10\text{mm}$, c) $L=15\text{mm}$

エポキシ層によりひび割れの進展が阻止され、さらにエポキシ層の反対側にひび割れが生じるという結果となった。この間にも、エポキシは引張力に抵抗しており、荷重-CMOD 曲線にみられる靱性の向上につながったものと考えられる。本解析では、エポキシ層は破断しないと仮定したが、今後は、エポキシの破壊に関する特性値 (引張強度など) を適切に把握し、解析に組込む必要がある。 $L = 15\text{mm}$ の場合、初期荷重供試体ならびに補修供試体のひび割れは、それぞれ 2 個の骨材モデルの間を進展しているが、それらは互いに干渉することなく進展しており、荷重-CMOD 曲線においてもほとんど変化が見られなかった理由と考えられる。

4. おわりに

ひび割れ注入によるプレーンコンクリートはりの補修を解析により再現する手法を提案し、特に切欠き先端に配置された 2 個の骨材モデルの相互距離に着目した解析により、補修供試体内におけるひび割れ進展のメカニズムの一部が確認された。今後、より実現象に即した解を得るための 3 次元モデルの開発が望まれる。

参考文献

- 1) J. Bolander and S. Saito: Fracture Analysis using Spring Networks with Random Geometry, *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 61, No. 5-6, pp. 569-591, 1998.
- 2) 川井忠彦, 竹内則雄: 離散化極限解析プログラミング-コンピュータによる極限解析法シリーズ 2, 培風館, 1990.
- 3) 国枝稔, 川瀬貴行, 鎌田敏郎, 六郷恵哲: ひび割れ注入材の曲げ付着特性の評価に関する破壊力学的検討, 土木学会論文集, 2001. (掲載予定)