

格子型ランダム粒子モデルによるセメント系複合材料の破壊シミュレーション

九州大学 学生員 小橋 保仁

九州大学 正 員 John Bolander Jr.

九州大学 正 員 彦坂 熙

1. 緒言

コンクリート構造物の大規模化、コンクリートの高強度化、あるいは有限要素法等によるコンクリート構造物の数値解析手法の発展を背景に、コンクリートのひびわれ挙動をより合理的に把握することが求められている¹⁾。本研究は、破壊部に格子型ランダム粒子モデル²⁾を用い、その破壊挙動を有限要素法により解析したものである。

2. 粒子モデルについて

骨材の分布はひびわれの進行に強い影響を及ぼすため、骨材の配置をより現実になづけることが重要である。そこで、乱数を使用して3次元的に骨材を配置し、任意断面における骨材分布を解析に使用した。さらに、コンクリートを3つの成分(骨材・セメントマトリックス・骨材とセメントマトリックスの付着要素)からなる複合材料とし、破壊部の3成分をそれぞれ剛性と引張強度の異なるはり要素でモデル化した。すなわち、図-1に示すように骨材内の要素は図中aで、セメントマトリックスと骨材の付着にあたる要素をbで、セメントマトリックス内の要素をcで表し、表-1に各要素のヤング率Eと引張強度 σ_t を示す。

表-1 要素の材料特性²⁾

	E(GPa)	σ_t (MPa)
a	70	10
b	25	1.25
c	25	5

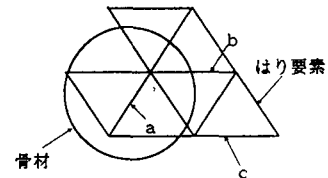


図-1 粒子モデル

3. 解析モデル

解析には、図-2に示すコンクリート供試体³⁾を対象に行った。コンクリートの骨材分布を表-2に示す。但し、正三角形格子モデルのはり要素のサイズが約2.4mmであるので直径が2.5mm以下の骨材はモデル化していない。非破壊部にはアイソパラメトリック4節点要素を使用した。

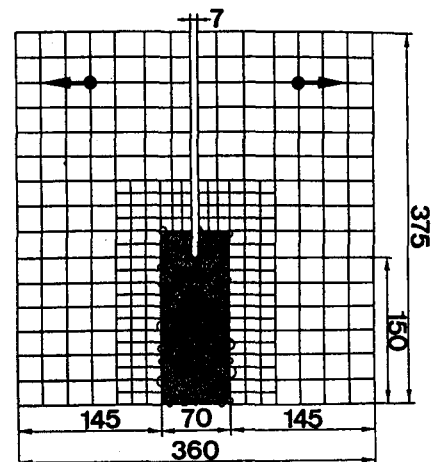
変位増分法により解析を行い、各ステップではり要素の有効応力 σ を算出して、その中の最大値が次の破壊条件

$$\sigma = \alpha \left(\frac{F}{A} + \beta \frac{M}{W} \right) > \sigma_t$$

を満たすとその要素を取り除く。ここに、F:軸力、M:はり両端に作用する曲げモーメントの絶対値の最大値、A:断面積、W:断面係数、 α :各要素の有効応力を全体的な応力のスケールに合わせるためのパラメータ、 β :軸力による応力と曲げモーメントによる応力の割合を表すパラメータ。その後再び剛性マトリックスを組直して同様の計算を繰り返す。

表-2 骨材の分布表³⁾

骨材の直径(mm)	単位体積重量(kgf/m ³)
0 - 3	608
3 - 8	635
8 - 16	676



はり節点数: 2580個 はり要素数: 7295個

図-2 解析モデル

4. 解析結果

解析により得られた最終破壊状態を図-3に示す。図-3は、実際のひびわれパターンを良く表現しており、巨視的に完全に開口しているひびわれが、骨材の分布に影響されながら進行している様子を見ることができる。

解析時に取り除かれた要素を破壊したとみなし、図-4に破壊要素数-変位曲線を、図-6に荷重-変位曲線を示す。破壊要素の数が急激に増加する所では、荷重が極端に減少していることがわかる。これらの箇所は、A E (ACOUSTIC EMISSION) 試験⁴⁾のカウンツ数が急激に増加している所によく一致すると思われる。本解析により得られた荷重-変位曲線は、実際の荷重-変位曲線と幾分異なっている²⁾。これは、解析を2次元で行ったことによると考えられる。

図-6の荷重-変位曲線の各ポイントにおける破壊状況を図-5に示した。図-5によればひびわれの進行による破壊挙動をシミュレートされており、また、完全に開口しているひびわれの先端に微細なひびわれが累積した破壊進行領域と呼ばれる非線形領域の存在を見ることができる。

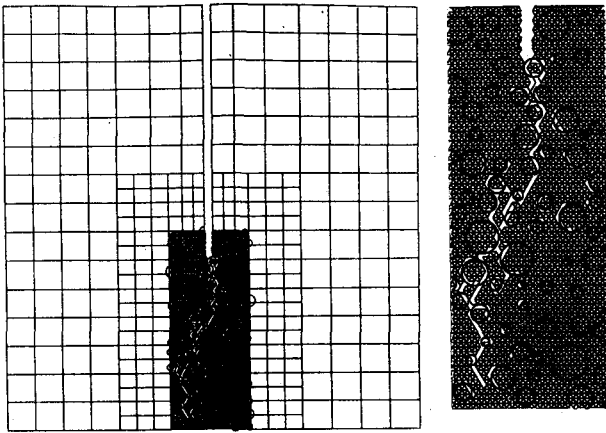


図-3 最終破壊状態図

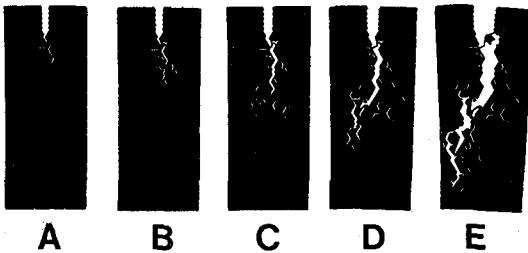


図-5 破壊進展状況図

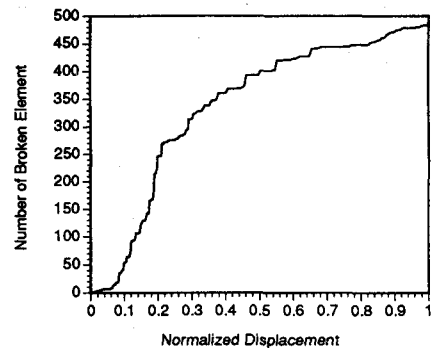


図-4 破壊要素数-変位曲線

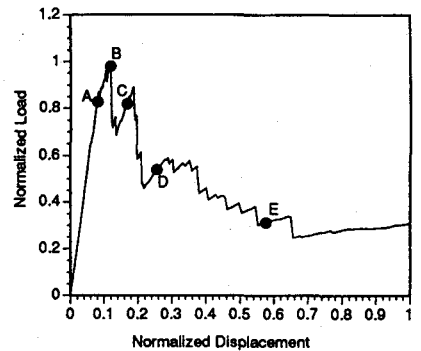


図-6 荷重-変位曲線

<参考文献>

- 1) 三橋 博三, 白井 伸明, 六郷 恵哲 : コンクリート構造への破壊力学の応用, コンクリート工学, Vol.30, No.6, 1992.6
- 2) E. SCHLANGEN, J.G.M. VAN MIER : Fracture Mechanics of Concrete Structures, ed. Z.P. Bazant, pp. 671-676, 1992
- 3) F.H. WITTMAN, H. MIHASHI and N. NOMURA : Engineering Fracture Mechanics, Vol.35, No.1/2/3, pp. 107-115, 1990
- 4) Progress In Acoustic Emission VI, eds. T. KISHI, K. TAKAHASHI, M. OHTSU, 1992