

ラチスモデルを用いた複合材料のメゾレベル解析

三井共同建設コンサルタント 正会員 ○ 陶山 裕之
広島大学 正会員 有尾 一郎
広島大学 正会員 藤井 堅

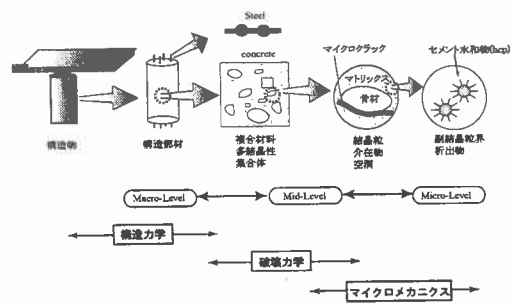


図- 1 力学的なアプローチに関するスケールの違い

1. はじめに

計算機能力及び有限要素法などの数値解析技術の発達に伴い、コンクリート材料、土などの準脆性材料を主体とする破壊性状の解析において、コンクリート供試体実験から得られる平均的な応力～平均ひずみ関係を構成則（モデル）として用いた有限要素解析法の開発が行われてきた。コンクリート材料は圧縮強度に対して引張強度が著しく小さい脆性材料であり、様々な形状と大きさを有する不均質な骨材と、これらを取り巻くモルタルマトリックスとの界面に発生する微細なクラック進展が原因となつて、構造全体が複雑な非線形挙動を示す。

コンクリートの破壊数値解析を視覚的なスケールで分類すると、図-1に示すように、巨視レベル、中間レベル、微小レベルとに大別されることができ、解析対象のレベルに応じた合理性の高い力学的アプローチを採用することが重要となる。本研究では、準脆性材料であるコンクリート材料の破壊に関して、材料の巨視的な軟化-不安定現象のひび割れ進展過程を数値解析を用いて追跡することを目的とする。

2. 2 軸応力解析

(1) 2 次元コンクリート平板解析モデル

2 軸応力場の解析モデルを図-2に示す。コンクリート断面のデジタル画像を、(150×150) pixels の画像に解像度を調節し、2 方向に 150×150 分割し

表- 1 Material properties

	Mortar	Aggregate	Interface
E(GPa)	20	60	20
A	1.0	1.0	1.0
ϵ_y	0.0001	-	0.00002

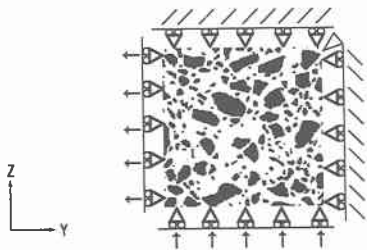


図- 2 Concrete Model on 2-D (150×150 meshes)

て、節点数 22,000、要素数 90,000、自由度 45,000、のモデルを作成した。図-2に示すように、一軸及び 2 軸圧縮（引張り）条件下において、ローラー支持された境界条件で行い、完全な平面ひずみ状態を想定した。また、荷重条件はその作用する面に、一様に変位するように制御している。

(2) 1 軸圧縮解析と 1 軸引張解析の強度比

図-3に 1 軸圧縮状態と 1 軸引張状態の条件のもとに解析を行った結果を示す。一般的に、多軸応力試験による 1 軸圧縮、1 軸引張状態の破壊応力比は 1/10～1/15 といわれており、本研究の解析結果においても、強度比が約 1/12 程度となったため、妥当な関係を得たといえる。構造全体の破壊状態を比較すると、1 軸引張条件の結果においては、図の上部の骨材が密集しているラインに、マクロクラックが確認できる。一方、1 軸圧縮条件では、モルタル本体部分に応力度の高い要素が分布しており、また、荷重方向に沿って骨材周りにマイクロクラックの存在が確認される。これらより、両者のモデル内部は全く異なった応力分布状態、あるいは破壊形式であることが表現されている。

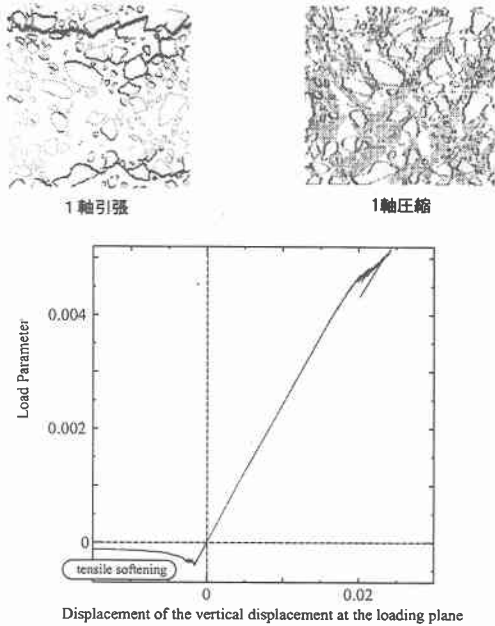


図-3 1軸圧縮及び1軸引張時の破壊強度比 ($\sigma_z = 1$ and $\sigma_z = -1$)

(3) 2軸応力状態における破壊強度関係と巨視的な軟化特性(ソフトニング)

1軸及び2軸圧縮解析の結果を図-4に示す。1軸圧縮解析では、 $\sigma_z/f_c = 0.4$ 付近で軟化し始め、最終的に $\sigma_z/f_c = 1.0$ で荷重パラメータが落ち、マクロクラックの発生と共に破壊に至る応力-ひずみ関係が得られている。それに対し、2軸圧縮解析では、1軸圧縮の終局耐力と同程度の荷重レベル($\sigma_z/f_c = 1$)で軟化を示しているものの、それ以降の荷重パラメータの低下はみられず、上昇していく結果となった。このことから、コンクリート材料(準脆性材料)の2軸破壊現象は、幾何学的に引張られる領域が存在しない限り、破壊し得ないことが考えられる。

2軸引張-引張状解析で得られた結果を図-6にプロットすると、Kupferらの実験に基づく理論値と同等かそれ以上の強度比を示す結果となった。既往の研究において、青柳・山田モデルの包絡曲線や微視的クラックモデルを用いた解析結果等では、実験曲線よりも内側に破壊強度が収まっている。これは2軸で引張った場合に最もコンクリート材料は強度的に弱いことを意味するが、本研究における2次元平面問題を想定した解析モデルにおいては、1軸引張りよりも2軸引張りが強度的に少なくとも同等か、それを上回る結果となった。

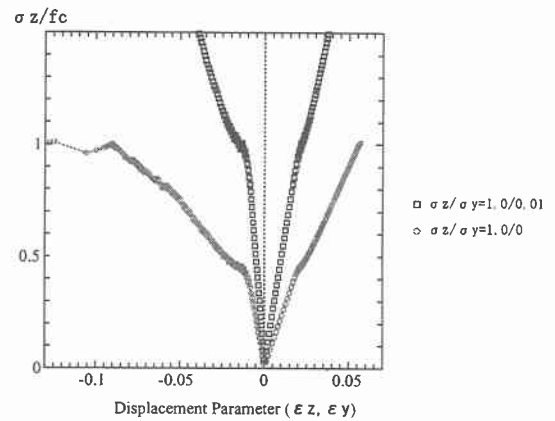


図-4 2軸圧縮-圧縮

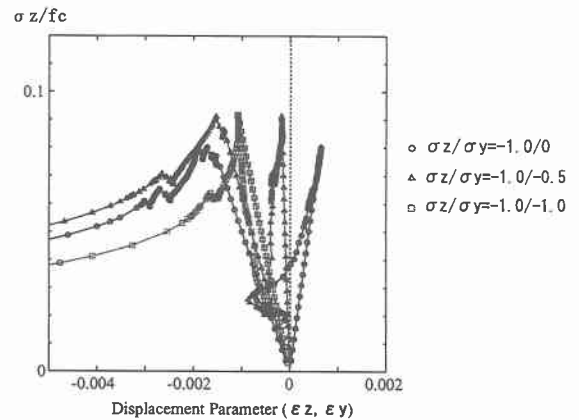


図-5 2軸引張-引張

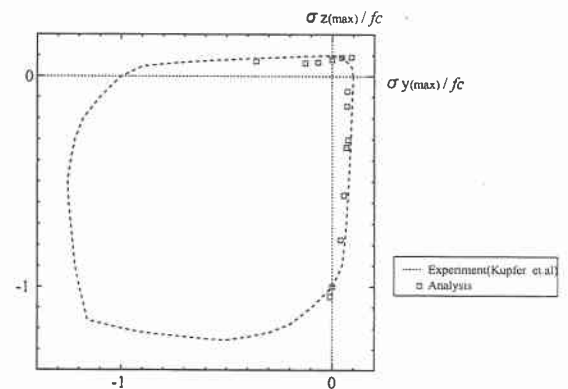


図-6 2軸破壊強度の解析結果

謝辞：本研究をまとめるにあたり、東北大学池田清宏・浅井光輝氏にご協力・ご尽力を戴いた。

参考文献

- 1) Bažant, Z.P., Tabbara, M.R., Kazami, M.T. and Cobat, G.R. : Random Particle Model for Fracture of Aggregate or Fiber Composites, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, 116(8), pp.1686-1705, 1990.
- 2) 北川智弘, 有尾一郎, 浅井光輝, 池田清宏: ラチスモデルによる材料のせん断破壊シミュレーション, 応用力学論文集, Vol. 4, 2001.9.