

統計的手法を用いたレジンコンクリートの 剛性・強度評価手法に関する研究

大阪大学 ○倉敷哲生, 大阪大学[院] 大野嵩明 大阪大学 座古勝

A Study on Estimation of Stiffness and Strength of Resin Concrete Based on Statistical Method

Tetsusei KURASHIKI, Takaaki OHNO, and Masaru ZAKO

1 緒 言

レジンコンクリート配管は、コア材にレジンコンクリート、表面材に主としてFRPが用いられている。通常のセメントコンクリート配管と比較し、軽量で強度と変形能に優れている。また、良好な成形性を有することから、今後の更なる需要増大が望まれる材料である。レジンコンクリート配管の破壊強度は、コア材料であるレジンコンクリートの強度に強い影響を受けるため、設計には多くのデータが必要となっているのが現状である。そこで、数値解析を用いたレジンコンクリートの強度推定が考えられるが、形状の異なる骨材を混入するため、マイクロ構造は複雑であり、そのような構造を考慮して強度評価を行うことは非常に困難である。そこで、統計的手法を併用したレジンコンクリートのマイクロ構造のモデル化手法を提案し力学的挙動の評価を行ったので、その結果について報告する。

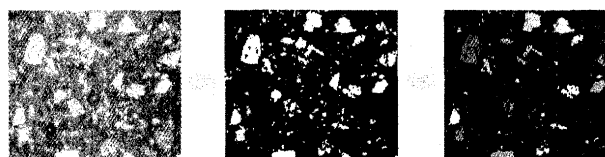
2 レジンコンクリートの粒度分布推定

2.1 骨材組成比 レジンコンクリートは骨材と樹脂で形成される。骨材の組成比が同一であっても骨材の配合によってレジンコンクリートの強度が異なる。本研究で用いたレジンコンクリートの骨材と樹脂の体積比をTable 1に示す。ただし、これらはカタログ値であり、篩を用いて骨材を区分けしたものである。これらの寸法は骨材の代表値として正確なものではない点に注目する必要がある。また、レジンコンクリート内には直径0.21mm以下の細骨材と1.19~3.36mmの粗骨材が混入されているが、径のばらつきが大きい。そこで、画像処理と統計的手法を用いて、以下の2種類の方法により骨材の粒度分布を推定する。

2.2 閾値設定手法 (2D モデル) CCDにより計測したレジンコンクリート断面画像をFig.1(a)に示す。2値化(Fig.1(b))、ラベリング処理(Fig. 1(c))を行い、個々の骨材の断面積を算出する。得られた個々の骨材の断面積から直径を算出し、確率紙に表示した結果をFig.2に示す。図より、直径0.18mm, 1.56mmで分布特性が変化していることが分かる。このことから、これらの値を閾値として3つのグループに分け、各グループの中に存在する最大値を代表直径とする。すなわち、グループ内で分布する径は代表直径の球を任意の場所で切断して発生するものと考えた。グループ内のデータ数と代表径からグループ内の球の体積の総和を求め、グループ間の体積比により粒度分布を推定する。

Table 1 Composition of resin concrete

Material	Resin +CaCO ₃	Aggregate (diameter: mm)		
		Fine (0.1~0.2)	Coarse 1 (1.2~2.4)	Coarse 2 (1.2~3.4)
Volume [%]	36	16	32	16



(a) Initial image (b) Binary processing (c) Labeling

Fig.1 Procedure of image processing

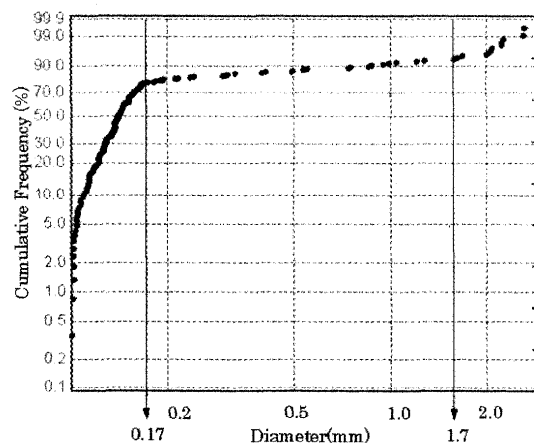


Fig.2 Distribution of diameter of aggregates (2D model)

2.3 3次元分布推定手法 (3D モデル) 前述の手法は2次元の骨材断面分布のみから骨材のモデルを作成するものであった。これに対し、2次元の骨材断面分布から、

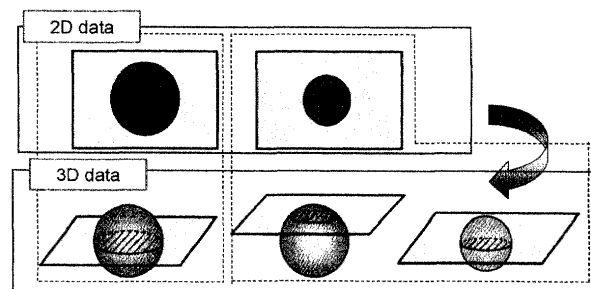


Fig.3 Conversion of 3D data

確率を用いて奥行き方向の骨材の情報を取得し、粒度分布の推定を行う。具体的には、Fig.3に示すように2次元の面がある骨材を任意半径の位置にて切断する確率を計算する。

3 有限要素モデル化とマルチスケール解析

推定した骨材の粒度分布と、Table 1の樹脂部の材料組成を基に、仮想立方体領域内部にレジコンクリートの有限要素モデルを作成した。レジコンクリート内のマイクロ構造は複雑であり、マイクロ構造がマクロ構造の強度に及ぼす影響を評価する必要がある。そのため、Fig.4に示すように骨材や樹脂などのマイクロ構造を考慮したローカルモデルと、3点曲げを模擬したグローバルモデルを作成し、2つのスケールの相互関係を考慮した解析を行うマルチスケール解析手法を適用した。

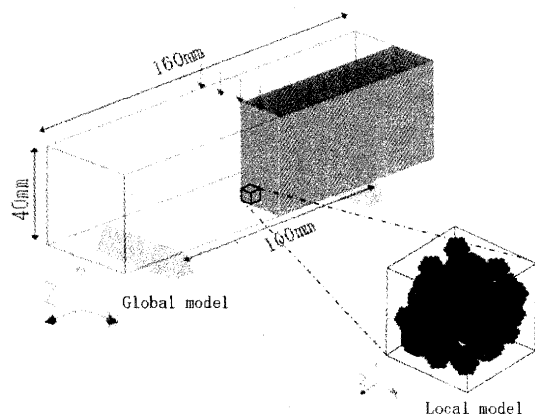


Fig.4 Three-point bending with mesh-superposition method

4 解析結果

レジコンクリートの3点曲げ試験結果より取得した曲げ弾性係数とグローバルモデルの解析結果から取得した曲げ弾性係数をFig.5に示す。なお、3点曲げ試験は計3本実施した。また、FEM解析では、マイクロ構造の不確定性を考慮すべく2D、3Dモデルについて、各々の粒度分布に基づき骨材の位置をランダムに発生させた複数のローカルモデルを作成し解析を複数回実施した。Fig.5には各々のモデルでの解析結果の最大値・最小値も併せて示す。解析により算出される曲げ弾性係数は試験結果とも良く一致している。2Dモデル、3Dモデルの曲げ弾性係数は実験値ほどばらつくことはなく、2Dモデルは20.8GPa、モデルBは20.5GPaと近い値を取り、骨材のモデル化による違いは現れない。したがって、曲げ弾性係数の評価においては、粒度分布の評価が簡便であるモデルAの手法が有効であると考えられる。

Fig.6に強度値の比較を示す。解析によって算出されるグローバルモデルの強度は、モデルA、Bともに試験結果とも良く一致している。特に、モデルBの方が、実験結果とのばらつきと良い傾向を示している。したがって、強度評価にはモデルAよりBの手法の方が好ましいと考える。

また、Fig.7に11.3kNの荷重を負荷した際の3Dモデル

での損傷状態を示す。ローカルモデルの下部に多く損傷があり、特に粗骨材と樹脂の界面の部分から発生している。比較のために、CCDにより初期損傷が発生した試験片下部の破断面の観察を行った。粗骨材自体の破壊はほとんど見られず、樹脂と粗骨材の界面の破壊が多く見られており、粗骨材をモデル化したローカルモデルの粗骨材表面の要素が損傷している傾向と良い一致を示している。

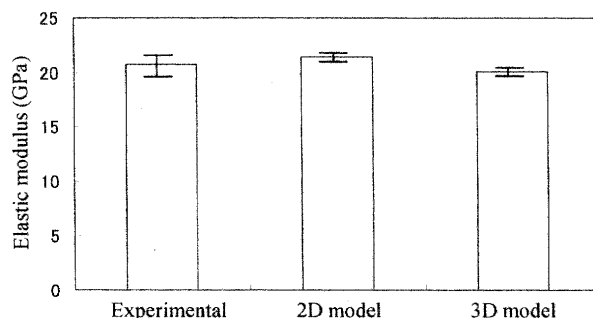


Fig.5 Results of bending elastic modulus

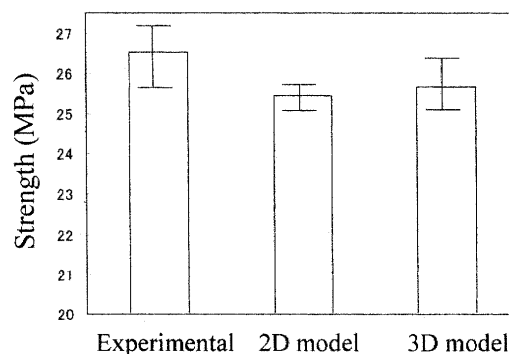


Fig.6 Results of strength

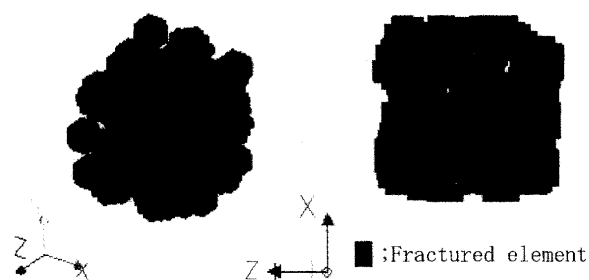


Fig.7 Damage state of 3D model

5 結 言

統計的手法を用いてレジコンクリートの骨材の粒度分布を2種類の手法を用いて推定し、有限要素モデルの作成ならびにマルチスケール損傷進展解析を実施した。3点曲げ試験との比較の結果、剛性は2D、3Dモデルともに試験結果とも良く一致した。強度値については骨材の分布を詳細にモデル化した3Dモデルでは、骨材の配置の影響によるばらつきが現れ、損傷箇所も実験と同様の傾向が確認できた。以上の結果より、本手法はレジコンクリート設計に有用であると考えられる。