

マスコンクリートの FEM シミュレーションと ひび割れ発生確率

武蔵工業大学 学生会員 會田 八重

武蔵工業大学 正会員 吉川 弘道

トータル・インフォメーション・サービス 正会員 金刀 督純

1. はじめに

コンクリートは本来、空間的なばらつき、施工的なばらつきを有する。また、ひび割れは確率的事象であることから、確率論的な方法で評価するのが適切であると考えられる。本研究ではこの材料非均質性をモデル化し、FEM モンテカルロシミュレーションを行うことにより、ひび割れ発生を確率的に扱うものである。

2. ばらつきと距離相関を考慮した力学特性

本研究では 2 次元 FEM 非定常熱伝導解析、及び温度応力解析を行うが、その際、力学特性のみを確率量として扱う。圧縮強度にばらつきを与え、引張強度と弾性係数はいずれも圧縮強度の関数となっているため、これらもばらつきを持つこととなる。

さらに、各有限要素間の相関はその相対距離に依存し、変化することとする。このような特性を有した圧縮強度を各要素に割り当てるため、距離相関係数 $\rho(i, j)$ を導入した。この $\rho(i, j)$ は 2 つの要素 i, j の長さ方向の相対距離 Δx 、幅方向の相対距離 Δy 及び相関強度係数 A, B を用いて、以下に示すような 2 次元の Exponential 関数により求めることとした¹⁾。

$$\rho(i, j) = \exp \left[- \sqrt{ \left(\frac{\Delta x}{A} \right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{B} \right)^2 } \right]$$

この $\rho(i, j)$ は相対距離 ($L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$) と A, B (ここでは等方性を仮定し $A=B$ とした) により決定され、相対距離が短くなるほど、また、 A, B が大きいほど 1 に近づき、相関が強くなることを示す。

次に実際に有限要素解析を行う場合、各要素に圧縮強度がどのように配置されているかの 1 例(乱数.1)を図-1 (L_c : コンクリート長手方向, H : コ

ンクリート高さ)に示す。同図から近い要素同士では圧縮強度の値に極端な差は見られず、遠方の要素同士ではその差が大きくなっていることが見てとれ、相関性は相対距離に依存して変化していることは大略確認される。

3. 数値計算例

解析モデル: 図-2 に示すように地盤上に打設さ

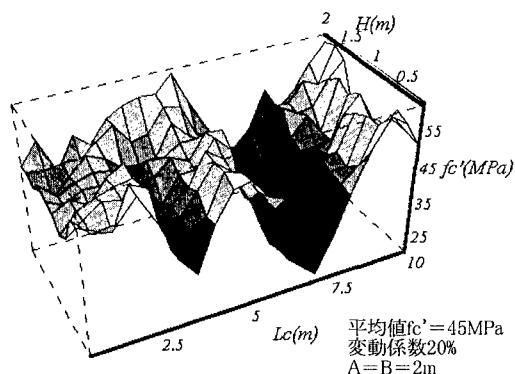


図-1 圧縮強度の分布図

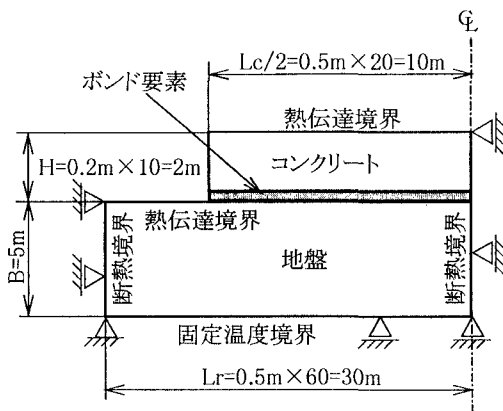


図-2 解析モデル

キーワード: マスコンクリート, FEM 解析, ひび割れ発生確率, モンテカルロシミュレーション, 相関係数
連絡先: 〒158 世田谷区玉堤 1-28-1, Tel: 03-3703-3111(ext.3241), Fax: 03-5707-2125, e-mail: aida@shear.civil.musashi-tech.ac.jp)

れた無筋のマット基礎コンクリートを用いて、材令50日までのFEM解析を行った。また、コンクリートと地盤との間には、すべりを考慮するためのボンド要素を挿入した。この同一モデルに対し異なる乱数を用い、材令91日の圧縮強度の平均値を45MPa、変動係数20%、 $A=B=2\text{m}$ として計算を行った。

解析結果：図-3にばらつきを考慮した場合（乱数.1）と、ばらつきを考慮しない場合（平均値）のコンクリートに発生する引張応力を示す。同図よりばらつきを考慮しても全体的な応力発生パターンに、差はほとんど生じないことがわかる。また図-4は、3例のシミュレーション結果におけるひび割れ図である。同図よりひび割れ発生時期や位置、幅は乱数によって異なることがわかる。これらより、弾性係数については構造鈍感であり、引張強度については構造敏感であるといえる。

4. 温度ひび割れ指数 I_{cr} とひび割れ発生確率

上記のモデルを用いて E_c/E_r (E_c ：コンクリートの弾性係数、 E_r ：地盤の弾性係数) をパラメータとした7例について、各100回のFEMモンテカルロシミュレーションを行った。シミュレーションにより得られた I_{cr} とひび割れ発生の有無、及び、ひび割れ発生確率との関係を図-5に示した。ここでのひび割れ発生の有無、ひび割れ発生確率は、構造物全体におけるひび割れではなく、外部拘束によるひび割れを対象としたものである。

5. まとめ

本解析結果により得られた I_{cr} とひび割れ発生確率の関係は、各材料特性値の変動係数が15%程度に相当している現行の関係²⁾より小さくなった。これは外部拘束によるひび割れのみを対象としたひび割れ発生確率であるためと考えられる。また、この関係は変動係数 V と相関強度係数 A, B の設定により変化するものと考えられる。

参考文献

- 1) 小川 保ほか：ACIによる地盤物性値の空間分布に関する確率モデル選定，第27回土質工学研究発表会，C-7，pp.133-134，1992.6.
- 2) 土木学会：コンクリート技術シリーズ No.8 マスコンクリート技術の現状と動向，p66，1994.10.

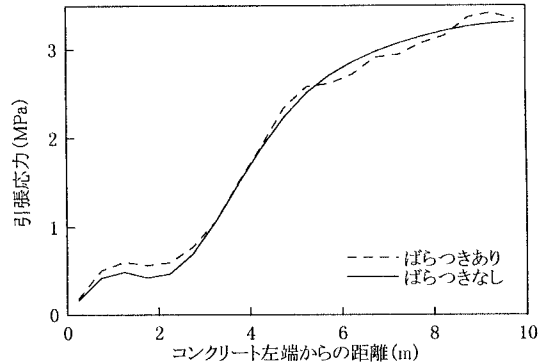


図-3 応力図（材令40日：non-crack解析）

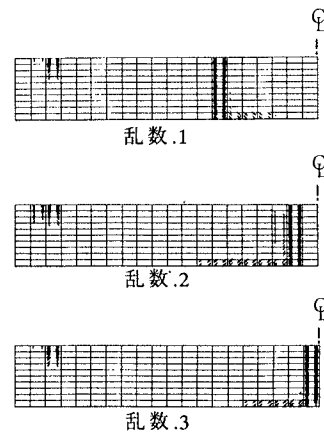


図-4 ひび割れ図（材令40日：crack解析）

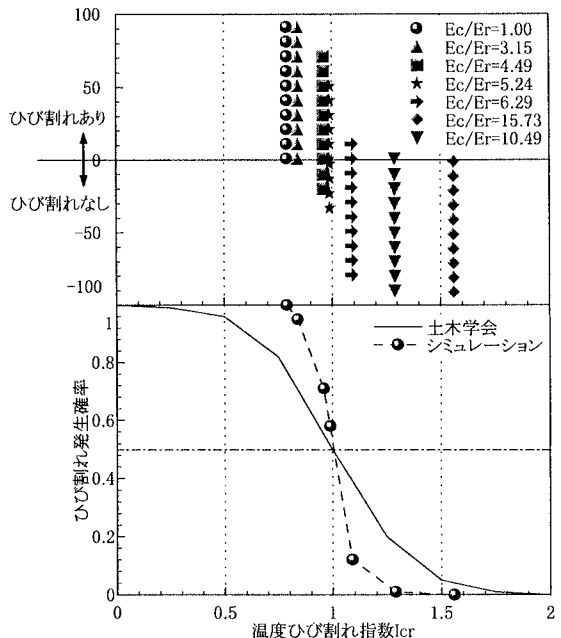


図-5 I_{cr} とひび割れ発生頻度と発生確率