

網目状ひび割れの発生パターンに関する解析的研究

その2 膨張型ひび割れの発生パターン

213-163 和田山祐矢

1. はじめに

本研究は、網目状ひび割れの発生パターンを、弾性バネネットワークモデルにより解析的に検討する。その2では、膨張型のひび割れパターンを検討する。

2. 解析対象となる膨張型ひび割れの概要

鉄筋コンクリート構造物では、凍害とアルカリシリカ反応によって発生した網目状ひび割れが、膨張ひずみを主因とした膨張型のひび割れパターンとなる。

それで、その1で示した弾性バネ要素の3次元ネットワークモデルを適用して、凍害とアルカリシリカ反応に起因する膨張型ひび割れを解析対象とする。

3. 凍害での膨張型ひび割れの検討

3.1 凍害による膨張型ひび割れの概要

図1に凍害による膨張型ひび割れの概要を示す。構造物表層に浸透した水分が氷になったとき、その体積膨張圧で、表層に微細ひび割れが多数発生し、網目状ひび割れパターンを形成したり、ポップアウトや浮き、剥離が生じたり、表層部の微細ひび割れが連結成長することで表層部が削られていく表層スケーリングが生じる。

ここでは、解析モデルの表層部に膨張ひずみを導入して、網目状ひび割れや表層スケーリングの発生パターンを解析的に検討する。



a) 網目状ひび割れ

b) ポップアウト



c) 表層スケーリング(表層部の浮き)

図1) 水分凍結膨張に起因する凍害でのひび割れ状況の調査結果

3.2 凍害の解析条件の設定

凍害の解析対象モデルは、 x,y,z 方向で $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 10\text{mm}$ の3次元平板とし、 $z=0$ の x,y 平面が表面で、 $z=10\text{mm}$ の x,y 平面を裏面とする。

また、せん断バネの弾性係数は、構造バネの弾性係数の $1/2$ とした。

表1に凍害のひび割れ発生パターン解析条件を示す。

拘束条件は、裏面のみ拘束した1面拘束、裏面と周囲側面を拘束した5面拘束の2種類とした。

空隙条件は、その1と同様に、乱数発生抽出によるバネ弾性係数0配置を、空隙率と合致させることとして、5%と20%の2種類とし、また、同じ空隙率でも乱数発生状況を a タイプと b タイプの2種類に変えた。

図2に凍害の5面拘束の解析で導入した膨張ひずみを示す。解析ステップ1~3にて、凍害の表面膨張を想定し、表面側の膨張ひずみを多く導入した。

表1: 解析条件

解析	拘束条件	空隙条件
A	1面拘束	5%
B	5面拘束	5%A
C	5面拘束	5%B
D	5面拘束	20%

Aは1面拘束。B,Cは5面拘束で空隙率が5%、空隙配置を変えている。Dは5面拘束で空隙率を20%にしている。

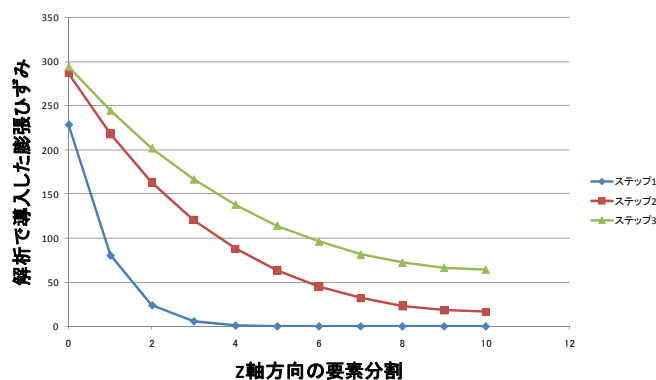


図2 凍害の5面拘束の解析で導入した膨張ひずみ

3.3 凍害の解析結果及び考察

図3に表層部膨張ひび割れの形成過程の解析結果を示す。解析Aの1面拘束した膨張変形の解析結果と、解析Bの5面拘束でのステップ1~3のひび割れ発生過程を示す。解析Aの1面拘束での導入膨張ひずみは、自由膨張変形の様子を検討するため、5面拘束で導入した膨張ひずみの $1/3$ とした。表面部が自由膨張しているのがわかる。

解析Bのステップ1~3で膨張ひずみの導入を大きくしていくと、微細ひび割れの発生後に、幾つかの微細ひび割れが局所化して網目状ひび割れパターンも形成していく様子が解析できた。

図4に空隙状況の違いによる解析結果を示す。ここで

は、図3の解析Bの空隙率5%と同じ空隙率で空隙配置が異なる解析Cと、空隙率20%とした解析Dを比較する。まず、空隙率が同じで空隙配置が異なっても同じような微細ひび割れと局所化した網目状ひび割れパターンが解析できた。空隙率が大きくなると、局所化した網目状ひび割れがぼやけて平面に対して全体的な破壊になっていることがわかる。これらは、実際の凍害で発生するひび割れと類似している。

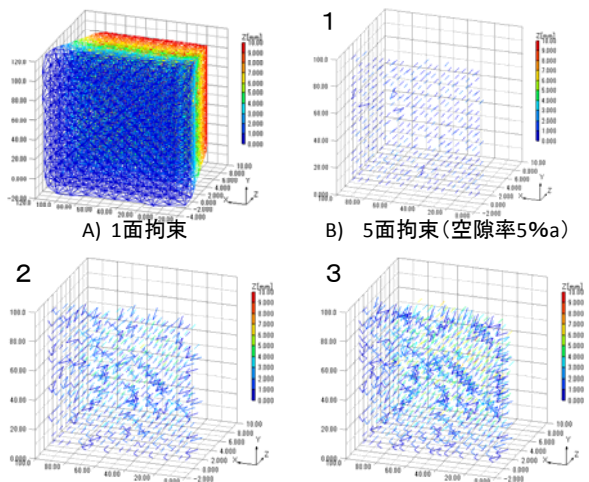


図3 表層部膨張ひび割れの形成過程による解析結果

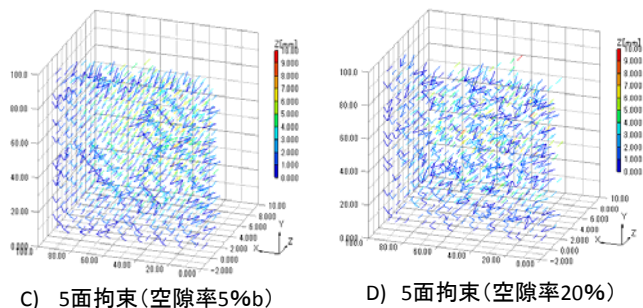


図4 空隙状況の違いによる解析結果

4. アルカリシリカ反応での膨張型ひび割れの検討

4.1.1 アルカリシリカ反応による膨張型ひび割れの概要

図5にアルカリシリカ反応による膨張型ひび割れの概要を示す。コンクリート中の骨材が、水分とコンクリート中のアルカリ成分によって化学反応して膨張し、その体積膨張圧で構造物に網目状のひび割れを発生させる。ひび割れ間隔の比較的大きい網目状ひび割れパターンを表面から内部にかけて形成したり、ポップアウトや浮き、剥離が生じる。

ここでは、解析モデルの全体に膨張ひずみを導入して、網目状ひび割れの発生パターンを解析的に検討する。

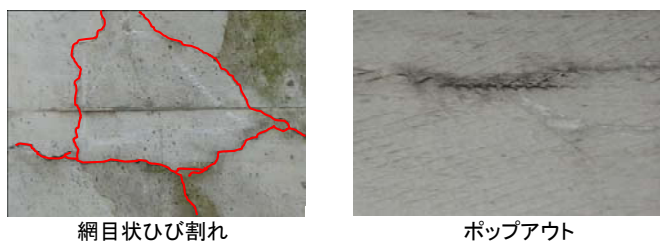


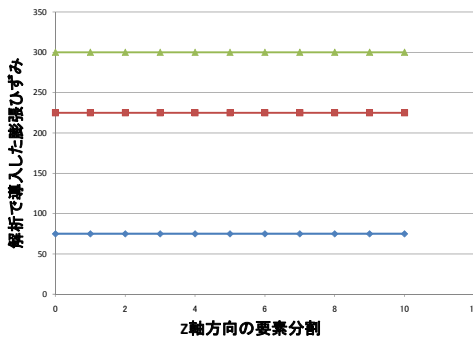
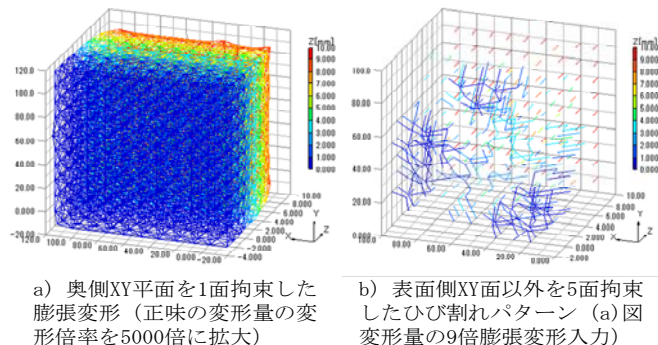
図5 アルカリシリカ反応による膨張型ひび割れの概要

4.1.2 アルカリシリカ反応の解析条件の設定

アルカリシリカ反応に必要な水分を常時受ける領域を想定して、かぶり表面100mm×100mm×10mmとした平板を対象に、Z軸寸法が0mmの表面側から10mmの奥側まで同一の膨張変形を与え、骨材膨張をモデル化した。

4.2 アルカリシリカ反応の解析結果及び考察

図6に全体膨張を与えた5面拘束の解析結果を示す。解析結果は、アルカリシリカ反応のひび割れパターンの結果と同じポップアウトが主体の網目状ひび割れが形成したひび割れパターンを得た。



アルカリシリカ反応の5面拘束の解析で導入した膨張ひずみ

図6 全体膨張を与えた5面拘束の解析結果

5. まとめ

本研究その2では、弾性バネネットワークモデルによる網目状ひび割れの発生パターンの膨張型を検討した。その結果、次が示された。1) 表層部の膨張と空隙モデルの組み合わせで、凍害のひび割れと類似する網目状ひび割れパターンが解析できた。2) 全体の膨張と空隙モデルの組み合わせで、アルカリシリカ反応のひび割れと類似する網目状ひび割れパターンが解析できた。

(中村研究室)