

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 13 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560567

研究課題名(和文) コンクリート構造物を対象としたひび割れ予測精度の向上と新たな簡易解析手法の提案

研究課題名(英文) Accuracy improvement of the crack prediction method of concrete and proposal of a simple analysis method of the crack prediction

研究代表者

中村 秀明 (Nakamura, Hideaki)

山口大学・理工学研究科・教授

研究者番号：20207905

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、コンクリート構造物を対象に体積変化を伴うひび割れ予測の精度向上と現場に容易に適用できる新たな簡易解析手法の提案を目的としている。CP法は、3次元解析を2次元的に行えるため現場等で普及しているひび割れ予測手法であるが、従来のCP法では、自己収縮や乾燥収縮、張材の効果等は考慮できなかった。そのためCP法の機能拡張を行い、これらが考慮できるようにした。

さらに、数値解析によらない計算手法として過去に蓄積された施工データから、機械学習の技術を使って数値計算を行うことなく、ひび割れが発生するかどうかを判定するシステムの構築を行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is "Accuracy improvement of the crack prediction method of concrete" and "Proposal of a simple analysis method of the crack prediction". The CP method is a popular crack prediction method. Because the CP method can treat three dimensional analyses by two dimensions. However, the previous CP method was not able to consider the autogeneous shrinkage, the drying shrinkage, and the effect of expansive materials. Therefore the CP method was improved, and a calculation including these was enabled. In addition, the system that predict the crack from the construction data that had been accumulated in the past was constructed.

研究分野：維持管理工学

キーワード：コンクリート 温度ひび割れ ひび割れ予測 CP法 外部拘束係数 機械学習 サポートベクターマシン

1. 研究開始当初の背景

コンクリートのひび割れは、耐久性の低下、漏水や美観などの点から、これまでコンクリートの永遠の課題として扱われてきた。近年は、劣化構造物の顕在化、コンクリートに対する品質確保の観点から、過去にも増して、コンクリート構造物のひび割れの抑制が重要になってきている。

このような背景の中、山口県では、発注者、設計者、施工者、生コン業者が密接に連携し、ひび割れ抑制の取り組みを行っている。山口県が発注する工事では、施工者は、コンクリートの材料や施工状況、施工後のひび割れ発生状況を詳細に記録した打設管理記録の提出が求められ、そのデータの蓄積が行われている。現在、その数は950件を越え、今後さらにデータの蓄積が行われる予定である。効果的なひび割れ抑制対策を実施するためには、設計者のみならず、発注者や実際に施工を行う施工者においてもひび割れ予測を行うことが望ましい。

体積変化に伴うひび割れ予測で考慮すべき項目は、水和反応に伴う温度上昇や温度降下に伴う熱ひずみ、自己乾燥に伴う自己収縮ひずみ、膨張材による膨張ひずみ、乾燥に伴う乾燥収縮ひずみである。解析で必要となる物性値や環境条件が正確に把握でき、さらにひび割れ予測で考慮すべき項目を正確に反映することができれば、ひび割れ予測の精度を高めることができる。

ひび割れ予測は、大きく分けて次の3つの方法に大別できる。

(1)一つめは、3次元有限要素法による解析で、ひび割れ予測で考慮すべき項目を網羅した3次元解析を「温度解析」、「湿気移動解析」、「応力解析」、「ひび割れ幅解析」について行うものである。

(2)二つめは、従来からの簡易解析法で、これらは現場を中心に普及しているが、解析精度の点で3次元有限要素法に劣り、応力解析はCP法をベースにしていることから、外部拘束係数が必要であり、適用範囲も平面保持の仮定が成立する範囲が基本となる。

(3)三つめは、知識情報処理技術による新たな簡易解析法で、例えばNeural Networkは、脳の処理機構を真似たもので、過去のデータを学習させることにより一定の法則、関数を発見し、新しい入力に対して予測を行うことが可能な方法である。その他にも知識情報処理の人工知能や機械学習の分野で有望な手法がある。これらの手法は、現状では解析の精度は未知であるが、現場への適用が容易で、データが蓄積されれば、今後期待される手法である。

2. 研究の目的

本研究では、コンクリート構造物を対象に、体積変化に伴うひび割れ予測の精度向上と現場に容易に適用できる新たな簡易解析手法の提案を目的に研究を実施した。

(1)一つめは、3次元ひび割れ解析ソフトの精度向上や効率的な逆解析手法の提案、物性値・環境条件データベースの整備などである。
(2)二つめは、従来の簡易解析手法の精度向上や数値計算によらない新たな簡易解析手法の提案である。

3. 研究の方法

(1)研究代表者は、JCI マスコンクリートソフト作成委員会の委員として3次元有限要素を用いて、温度解析や湿気移動解析、応力解析、ひび割れ幅解析を行うことができるソフトウェアの開発に携わっている。このソフトウェアは十分実用的であるが、湿気移動解析のための湿気物性値の設定、コンクリート中の相対湿度と乾燥収縮ひずみとの関係、膨張材を考慮するための総エネルギー - 一定則における物性値の設定、計算高速化のためのさらなる工夫など、精度向上のための改良を行う。
(2)解析手法の精度が上がったとしても、入力する物性値に不確かさがあると、精度の良い解析結果を得ることはできない。そこで、入力物性値を計測結果から逆に同定する逆解析手法を提案した。研究代表者は群知能の一種である粒子群最適化 (Particle Swarm Optimization) による逆解析手法を提案しており、これをさらに改良した、実用性が高く、効率の良い逆解析手法についても研究を進める。

(3)精度の高い解析を行うためには、入力データの精度を向上させる必要がある。アメダス等の気象観測データを統計処理することにより、精度の良い外気温や外気湿度の設定方法を提案する。

(4)平面保持の仮定をもとに、3次元解析を2次元的に扱えるCP法等の簡易解析手法は、現場を中心に広く普及している。しかしながら、自己収縮や乾燥収縮は考慮できず、クリープについても有効弾性係数で評価するのみで、膨張材の効果も考慮できない。簡易計算法は、現場でのひび割れ予測では、非常に重要であり、その解析精度の向上が求められている。そこで、従来の簡易計算法の機能向上を図るとともに、外部拘束係数の再同定を行うなどして、簡易計算法の精度向上を図る。

4. 研究成果

(1)3次元ひび割れ解析の精度向上として、湿気移動解析のための湿気物性値の設定について検討を行った。具体的には透湿度と相対湿度との関係、湿気容量と相対湿度との関係、湿気伝達率と相対湿度との関係を岐阜大学で行われた実験結果の結果から新たに設定した。また、コンクリート中の相対湿度と乾燥収縮ひずみとの関係、膨張材を考慮するための総エネルギー - 一定則における物性値の設定、計算の高速化などを行った。さらに、解析手法の精度が上がったとしても、入力する物性値に不確かさがあると精度の良い解析結果を得ることはできない。そこで、解析

物性値を計測結果から逆に同定する手法として、群知能の一種である粒子群最適化 (Particle Swarm Optimization) による逆解析手法を、既存の3次元プログラムに組み込みこんだ。

PSOによる逆解析は、温度測定結果等の計測データがあれば、その計測データと解析結果との誤差が最小となるように、入力パラメータを同定するものである。従来の数学的手法でこの逆解析を行う場合は、偏微分が必要であり、解析プログラムも大幅な改変が必要となる。提案したPSOによる逆解析では、偏微分などの操作が必要なく、プログラムの改変も最小限でできることから、実用性が非常に高い。

(2)解析結果の精度は、入力値の精度に大きく影響を受ける。解析手法が優れていても、入力値に不確かさがあると、精度の良い解析結果は得られない。そのため、今回の研究では、温度解析や湿気移動解析で重要となる外気温や外気湿度の設定方法について提案を行った。温度解析に必要な環境条件として外気温があるが、研究代表者らは従来より全国各地の外気温を緯度と標高から簡便に求めることができるモデルを構築している。しかしながら、既存モデルは、モデル構築の際に用いたデータが現在では古くなっており、観測点数も154地点と少なく、精度も決して高いとは言えない。地域、季節によっては、気温の変動がひび割れ発生を左右する場合も多く、特に熱伝達面の多い壁状構造物などでは外気温の影響は大きいと思われる。

そこで、今回の研究では、25年分の最新のアメダス気象データ(離島を除いた717観測所のデータ)を用いて、実測データの分析や、煩わしい計算を行わなくても、緯度や経度、標高を入力することによって全国各地の外気温の年平均値を簡便にかつ的確に表すモデルの構築を行い、外気温算定モデルの高精度化を行った。

また、湿気移動解析に必要な環境条件として外気相対湿度があるが、これについても同様に気象庁の地上気象観測所のデータ(離島を除いた133観測所のデータ)を用いて緯度や経度、標高を入力することによって全国各地の外気相対湿度の年平均値を的確に表すモデルの構築を試みた。しかしながら相対湿度は、水蒸気圧を飽和水蒸気圧で除した値であり、飽和水蒸気圧は外気温の影響を大きく受けることから、直接に外気の相対湿度を精度良く求めるモデルの構築には至らなかった。そのため、日々の変動が比較的少ない水蒸気圧を精度良く求めるモデルの構築を行った。気象データの分析より、水蒸気圧の日変動は比較的少なく、また、水蒸気圧は日最低気温と非常に相関の高いことがわかった。そこでまずはじめに全国各地の日最低気温を緯度と経度と標高から算定するモデルの構築を行い、次に日最低気温から水蒸気圧を算定するモデルの構築を行った。算定されたモデル

は、20年間の水蒸気圧の年平均値と非常に良く一致しており、外気温と同様に緯度と経度と標高から、水蒸気圧を精度良く算定するモデルが構築できた。これにより、温度解析や湿気移動解析の入力値の精度向上が図れた。

(3)従来のCP法では、自己収縮や膨張材の効果等は考慮できなかったが自己収縮や膨張材の効果を検討できる新たなCP法を提案し、現場で広く普及している簡易解析手法の精度向上を行った。また、2次元解析では、これまでコンクリート中の水分移動を計算する湿気移動解析モジュールがなかったため、乾燥収縮を考慮できなかった。そのため2次元の湿気移動解モジュールを新たに追加するとともに2次元の温度応力解析の機能拡張を行い、乾燥収縮等が考慮できるようにした。さらに、CP法では地盤や既設スラブなどの拘束体が新設コンクリートなどの被拘束体を拘束する程度を表す外部拘束係数が重要となる。そのため、3次元解析結果との比較から外部拘束係数の再同定を行い精度の向上を図った。その他、ひび割れの発生予測だけではなく、ひび割れが発生した際に、発生したひび割れの幅がどの程度なのかが解析できるCPひび割れ幅法についても機能拡張を行い、自己収縮や乾燥収縮、膨張材の効果も考慮できるようにした。

(4)数値解析によらない計算手法として過去に蓄積された施工データから、機械学習の教師あり学習を用いるパターン認識モデルの一つであるサポートベクターマシンを用いて、施工データを入力することにより、数値計算を行うことなく、ひび割れが発生するかどうかを判定するシステムの構築を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2件)

中村明彦、國近光生、亀谷英樹、中村秀明、覆工コンクリートの初期ひびわれ予測における熱特性値の同定とひびわれ解析、土木学会論文集 F1, Vol.70, No.3, 2014, I_1-I_16(査読有り)

中村秀明、中村明彦、河村 圭、マスコンクリートの温度応力解析のための外気温モデルの精度向上に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.35, No.1, 2013, 1273-1278 (査読有り)

〔学会発表〕(計 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 秀明 (NAKAMURA, Hideaki)
山口大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：20207905

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし