

AI によるコンクリート温度ひび割れの推定に係わる基礎的研究

株式会社熊谷組 正会員 ○神崎 恵三 正会員 山口 哲司 正会員 神田 裕史 高倉 健太
ギリア株式会社 林 亜希 河田 諒介

1. 背景

コンクリートの温度ひび割れは、コンクリートに有害な影響を及ぼすため対策が不可欠であるが、発生の予測は、多様な条件の組み合わせで決まるため非常に難しく、技術者の長年の経験によって判断されることが多い。また、市販の2次元もしくは3次元のコンクリート温度応力解析ソフトを使用して事前にひび割れ発生確率を把握する例も数多くあるが、コストや専門的知識が必要なため、万人がいつでも簡単に利用できるとはいえないのが現状である。

今回の研究は、コンクリートの温度ひび割れの発生が予測は難しいものの、施工条件や発生位置などに一定の傾向があることが事例より実証されていることに着目し、過去のデータを収集し、AI技術を活用することで、比較的簡単に、かつ精度良くひび割れ発生の推定ができるのではと考えた。施工情報（構造寸法・材料・コンクリート温度・打設間隔など）とそれに対するひび割れ発生状況のデータを多数集めて教師データとして学習させる。これより、新規の施工物件に対して、施工情報を入力することで、温度ひび割れ発生の予測ができるようなシステムを構築することを目指す。

2. 教師データ

今回教師データとして使用したのは、山口県が2007年に構築したひび割れ抑制システムにより蓄積した約1,800個のコンクリート施工記録データである。山口県建設技術センターのHPから閲覧できる(図-1)。このデータのうち、コンクリートの温度履歴データとひび割れ状況図が存在する約900個のデータを用いることとした。

3. 温度ひび割れ推定方法

温度ひび割れを推定するアプローチ方法を示す(図-2)。
コンクリート施工情報(表-1)を入力し、AI解析により最高温度(温度上昇量)を求めてから、計算式により、ひび割れ指数を算出する。

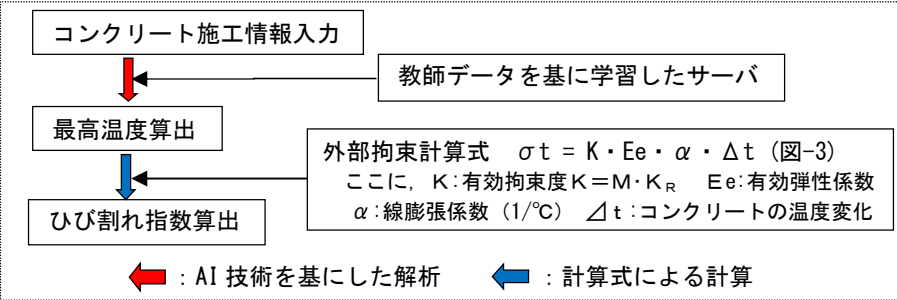


図-2 温度ひび割れ推定フロー

AIにより、コンクリートの最高温度を求めることで、温度変化量がわかり、外部拘束による応力 σ_t が求まる。外部拘束応力 σ_t とコンクリートの引張強度の比から、ひび割れ指数が算出できる。

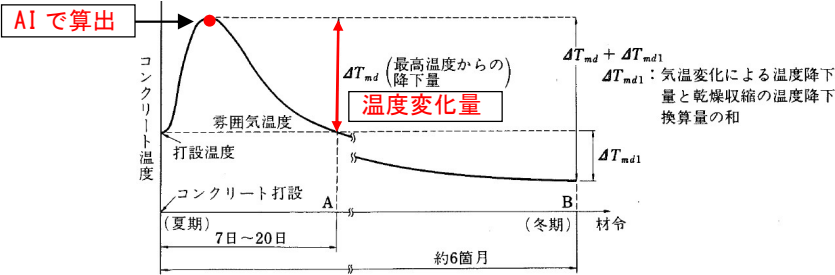


図-3 マスコンクリートの構造物の温度の経時変化図



図-1 山口県建設技術センターHP

表-1 コンクリート施工情報一覧

1	打設時期
2	コンクリート温度(℃)
3	構造物(種類)
4	部位
5	リフト高(m)
6	厚さ(m)
7	幅(m)
8	目地間隔(m)
9	セメント種類
10	混和剤
11	混和材
12	補強材料
13	打継間隔
14	呼び強度
15	単位セメント量
16	水セメント比
17	スランプ
18	打設時外気温(℃)
19	鉄筋比

キーワード：温度ひび割れ，AI，3次元FEM温度応力解析

連絡先：住所：〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 TEL:03-3235-8649

4. 解析手法と精度照査

A I 解析は、4 つの手法 (XGBoost, LightGBM, NGBoost, Neural Network) を用いて精度検証を実施した。精度検証方法は、表-1 のコンクリート施工情報 (19 項目) を組合わせて (最大 101 次元) 解析を実施し、解析結果の最高温度と実測データの最高温度の差が 5℃以内となるものを正として評価した。結果を示す (表-2) 。これより、XGBoost (決定木モデル) の 13 次元が 75.5% で最も精度が良いことがわかった。

表-2 各手法による精度検証結果

手 法	12次元	13次元	19次元	22次元	101次元
XGBoost	73.6%	75.5%	73.3%	72.5%	71.2%
LightGBM	74.9%	75.1%	73.0%	73.8%	72.1%
NGBoost	73.0%	73.1%	72.0%	70.8%	70.9%
Neutral Network	69.6%	69.1%	68.4%	69.3%	67.9%

13 次元の内訳は、①打設時期、②コンクリート温度、③構造物 (種類) 、④部位、⑤リフト高 (m) 、⑥厚さ (m) 、⑦幅 (m) 、⑧セメント種類、⑨呼び強度、⑩単位セメント量 (kg/m³) 、⑪水セメント比、⑫打設時外気温 (℃) 、⑬sin_打設時期、である。

5. 温度ひび割れ推定デモンストレーション

3 つの異なる構造物に対し、XGBoost を用いて解析を行い、同時に 3 次元 FEM 温度応力解析も実施して両者の解析結果を比較した (図-4) 。比較は側壁部 (青色着色部) で、Case1, 2 に関しては、最高温度の誤差 3℃以内で、それにとまう最小ひび割れ指数も 3 次元 FEM 解析結果と近い値になっている。一方、Case3 に関しては、最高温度の誤差が 10℃以上となり、最小ひび割れ指数も 3 次元 FEM 解析結果と誤差が大きく生じることが判明した。

誤差の理由の一つとして、収集した教師データのひび割れ対象となる構造物の厚さが 1.0m 前後のものが多かったため、Case1, 2 のような構造物の場合は精度が高まるが、Case3 のように壁厚が 1.7m と大きい構造物は教師データが少なかったため、精度が低くなったのではないかと推定される。

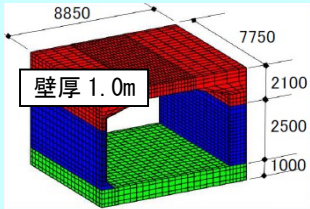
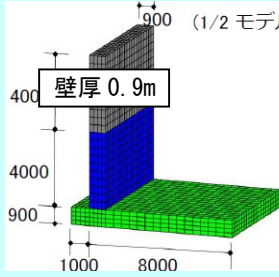
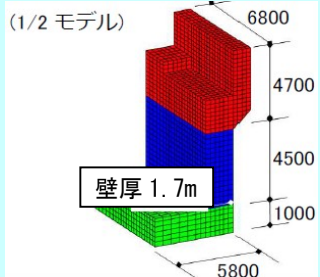
	CASE1 Boxカルバート	CASE2 逆T擁壁	CASE3 橋 台
相関図			
AI推論	最高温度 60.8℃	最高温度 65.7℃	最高温度 65.9℃
	最小ひび割れ指数 0.56	最小ひび割れ指数 0.51	最小ひび割れ指数 0.73
FEM解析	最高温度 58.1℃	最高温度 64.1℃	最高温度 76.7℃
	最小ひび割れ指数 0.65	最小ひび割れ指数 0.53	最小ひび割れ指数 0.58

図-4 温度ひび割れ比較図

6. まとめ

今回は山口県のデータを活用してA I 解析を実施したが、今後は各方面からデータを収集して教師データの数を増やすことで、精度を高め、推定できる工種も広げていきたいと考える。

謝辞

本研究を実施するにあたり、山口県土木建築部技術管理課、及び (一財) 山口県建設技術センターの方々にはご指導、助言を賜りました。ここにお礼を申し上げます。