

精度を向上した温度応力解析によるひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係

鹿島建設（株） 正会員 ○関 健吾 横関 康祐 藤岡 彩永佳

1. はじめに

マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008¹⁾（以下、マスコン指針）では、3次元有限要素法による温度応力解析に基づいて温度ひび割れを照査することを原則としており、評価にはひび割れ発生確率曲線を用いる。これは、2012年制定コンクリート標準示方書【設計編】²⁾（以下、示方書）も同様である。ここで、ひび割れ発生確率曲線について、ひび割れ発生確率は実構造物での調査結果に基づいていることから、実現象を精度良く表しているものと考えられる。一方、ひび割れ指数は、施工条件に基づいてマスコン指針に示される解析条件を用いて算出している。したがって、解析の精度がマスコン指針と異なる場合には、ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係も異なる可能性がある。

著者らはこれまでに、実構造物での計測結果を解析の入力値に順次反映させることで、解析精度を向上できることを報告している³⁾。そこで、本研究では、精度を向上した温度応力解析に基づいて算出したひび割れ指数と、施工後に実構造物で調査したひび割れ発生確率を整理し、その関係について考察した。

2. 検討概要

2. 1 ひび割れ指数の算出

検討対象として、A工事およびB工事の壁状構造物を選定した。A工事、B工事について実施した温度応力解析の解析条件を表1および表2に示す。A工事は、マスコン指針に示される手法に従って3次元温度応力解析（以下、マスコン指針：3次元）を行い、ひび割れ指数を算出

した。その後、既往の研究³⁾に示すように、実構造物の施工中に測定した熱膨張係数や、生コンプラントで取得した圧縮強度と引張強度の関係および打込み温度の実測値を解析条件に反映させることで解析精度を向上させた温度応力解析（以下、精度向上解析 A：3次元）を実施し、ひび割れ指数を算出した。

B工事は、壁厚が0.35～0.80mであり、適用対象範囲外ではあるものの、マスコン指針に示される簡易評価式（以下、マスコン指針：簡易評価）を用い、ひび割れ指数を算出した。その後、A工事と同様に、実構造物の施工中に測定した熱膨張係数や、生コンプラントで取得した圧縮強度、打込み温度の実測値、実際に打ち込んだコンクリートの配合に基づいて実施した断熱温度上昇試験結果を解析条件に反映させ、解析精度を向上させた温度応力解析（以下、精度向上解析 B：3次元）を実施し、ひび割れ指数を算出した。

2. 2 ひび割れ発生確率の算出

実構造物の施工後にひび割れの有無を調査し、ひび割れ発生確率を算出した。ひび割れ発生確率は、ひび割れ誘発目地で区切られた区画を1区画とし、施工後にひび割れが生じた区画数を計上した。その後、式(1)により、ひび割れ発生確率を算出し、評価に用いた。

ひび割れ発生確率(%) =
$$\frac{\text{ひび割れが生じた区画数}}{\text{全区画数}} \times 100 \cdots (1)$$

各工事の区画総数、ひび割れが発生した区画数および算出したひび割れ発生確率を表3に示す。なお、B工事については、精度向上解析による最小ひび割れ指数につい

表 1 解析条件の概要（3次元温度応力解析）

工事	分類	打設日	外気温	打込み 温度	断熱温度 上昇特性	自己 収縮	熱膨張係数 (μ/℃)	強度 推定式	表面熱 伝達率
A	指針：3次元	実際の 打込み日	月別平 均気温	外気+5℃	マスコン指針	マスコン 指針	12.0	マスコン指針	マスコン 指針
	精度向上解析 A:3次元			実測値 ³⁾	メカ技術資料 ³⁾		10.6	試験結果 ³⁾	
B	精度向上解析 B:3次元				試験結果		9.4		

表 2 解析条件の概要（簡易評価式）

工事	分類	打設日	外気温	打込み温度	断熱温度上昇特性	E _C /E _R	壁厚(m)	L/H	表面熱伝達率
B	マスコン指針:簡易評価	実際の打込み日	月別平均気温	外気+5℃	マスコン指針		0.35~0.80	実構造物の寸法	マスコン指針

キーワード 温度応力解析, ひび割れ指数, ひび割れ発生確率, ワイブル分布

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設（株） 技術研究所 TEL.042-489-6761

表 3 最小ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係

No	精度向上解析による最小ひび割れ指数	区画総数	ひび割れ発生区画数	ひび割れ発生確率(%)
A 工事	2.2~3.1	398	11	2.8
	1.1~1.2	1	0	0.0
B 工事	1.0~1.1	5	1	20.0
	0.9~1.0	3	2	66.7
	0.8~0.9	3	3	100.0

て、0.1 ごとに 4 つに分類した上で評価に用いた。

3. ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係

表 3に示した、精度向上解析による最小ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係を図 1に示す。図より、A 工事のひび割れ指数について、マスコン指針（3 次元）による解析では 1.5~1.6 の範囲であったが、精度向上解析（3 次元）では 2.2~3.1 となった。これは、マスコン指針では 12.0μ/℃と設定していた熱膨張係数が、実際には 10.6μ/℃であったことや、外気温+5℃と設定していた打込み温度が、実際には異なっていたこと等の影響が大きい（表 1）。次に、B 工事のひび割れ指数は、マスコン指針の簡易評価式に基づく評価では 1.0~1.5、精度向上解析（3 次元）では 0.8~1.2 であり、A 工事と異なり精度向上解析によるひび割れ指数の方が小さい結果となった。

次に、ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係について、本研究の精度向上解析で得られたプロットを図 2に示す。図中には、マスコン指針に示されるワイブル分布およびワイブル分布の算出根拠であるプロットを併記した。図より、精度向上解析で得られたプロットは、ワイブル分布とは異なる傾きであった。また、ワイブル分布の根拠となったプロットと比較すると、精度向上解析のプロットは、ひび割れ指数 1.0 程度を境界として、ひび割れ発生確率が 100%から 0%へと急変する結果であった。これは、温度応力解析の精度が向上したことにより、実構造物のひび割れ指数を精度良く再現できたことによるものと考えられる。このように、照査に用いる温度応力解析の精度がマスコン指針と異なる場合、照査に最適なひび割れ発生曲線も異なる可能性が示された。

さらに、図 2に基づき、ひび割れ発生確率 5%、15%および 50%に相当するひび割れ指数を求めた（表 4）。表より、ひび割れ発生確率 5%に相当するひび割れ指数について、示方書は 1.85 以上であるのに対し、本研究の結果は 1.15 以上であった。

4. おわりに

以上のように、実構造物の計測結果を反映させるなどして、より精度の高い温度応力解析に基づいて照査する

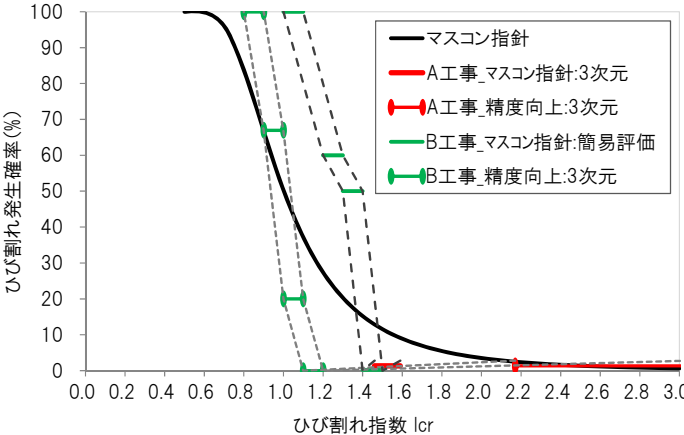


図 1 ひび割れ指数とひび割れ発生確率との関係

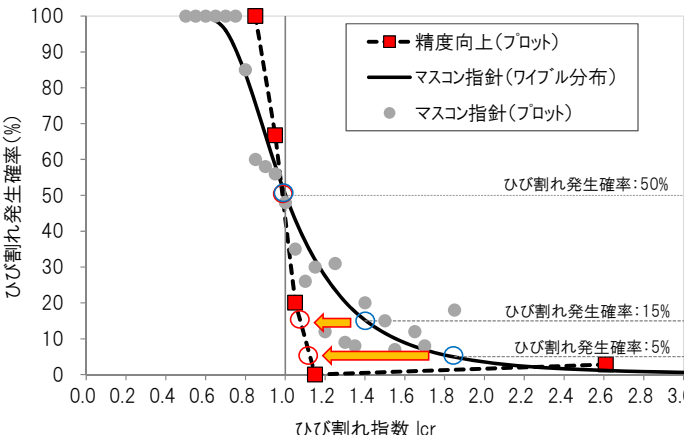


図 2 解析手法ごとのひび割れ発生曲線の比較

表 4 ひび割れ発生確率に応じたひび割れ指数の比較

ひび割れ発生確率(%)	ひび割れ指数	
	2012 年制定 示方書 ²⁾	本研究
5	1.85 以上	1.15 以上
15	1.40 以上	1.10 以上
50	1.00 以上	1.00 以上

場合、評価に適したひび割れ発生確率曲線も異なることが分かった。ただし、本研究は限られた工事のデータに基づいて検討しているため、今後さらにデータを蓄積し、検証を重ねる必要がある。

参考文献

1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, pp.41-66, pp.119-125, 2008.11
2) 土木学会：2012 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，pp.304-318, 2013.3
3) 関健吾ほか：実構造物の計測結果に基づく温度応力解析の精度向上方法，コンクリート工学年次論文集，Vol.36, No.1, pp.1492-1497, 2014.7