

実構造物の計測結果を用いた温度応力解析の精度向上方法とその評価

鹿島建設(株) 正会員 ○関健吾 横関康祐 芦澤良一 坂井吾郎 山口留彦 関晴彦 今川将秀 フェロー 坂田昇
 横浜国立大学 正会員 細田暁

1. はじめに

2012年制定コンクリート標準示方書【施工編：施工標準】¹⁾では、温度ひび割れに対する照査方法として、施工前に照査条件を確認し、設計時の照査条件が実際の施工条件と異なる場合には、再度照査を行うこととしている。ここで、より確実に温度ひび割れを抑制するには、施工中においても、照査に用いた解析条件が適切であったかどうかを評価し、次ブロックを対象として、さらに精度の高い事前解析等を行うことが望ましい。そこで、建設中の実構造物を対象として、計測結果や試験結果を反映させることによる温度応力解析の精度向上方法の検討とその有効性について評価した。

2. 検討概要

検討フローを図1に示す。ここでは、設計時、施工前および施工中の各段階において、三次元FEM解析による温度応力解析に基づく照査を行うものとした。図中にて、設計時の照査(以下、レベルⅢ)は、詳細施工計画の定まっていない設計時に、コンクリート標準示方書【設計編】²⁾やメーカー技術資料に示される物性値等に基づいて実施される。施工前の照査(以下、レベルⅡ)は、詳細施工計画や計画配合などが決定した施工前に、施工編¹⁾に基づき実施される。ここまでは従来の照査と同様である。その後、1ブロック目のコンクリートの打込みを行う。本研究ではこの際に、実構造物の内部温度や応力を計測し、施工中の照査(以下、レベルⅠ)として取得した計測結果や使用するコンクリートの強度試験結果をその後の解析条件に反映させた。これにより、2ブロック目以降を対象とした解析の精度向上が図られ、より確実にひび割れを抑制できると考えられる。さらに、レベルⅠは実際の施工条件に近い解析を行えるため、要求性能を満足する中で、過不足のない、より合理的な対策を選定できると考えられる。本研究では、図2に示す寸法を有する壁状の実構造物を対象とし、各レベルの解析結果と実構造物の計測結果との比較を行った。図中には、計測内容および計測位置を併記した。各レベルの解析条件(表1)は、設計編、メーカー技術資料および試験練り結果等に基づいて設定した³⁾。

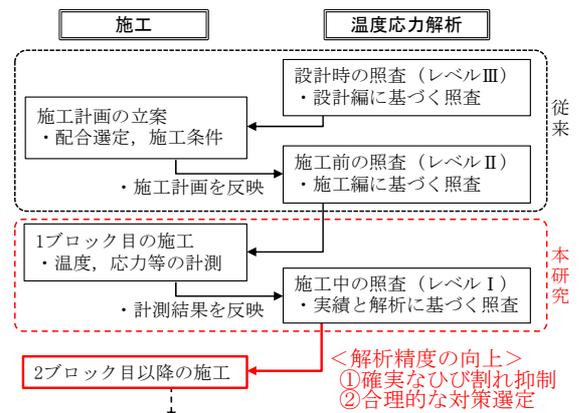


図1 解析精度の向上に関する検討フロー

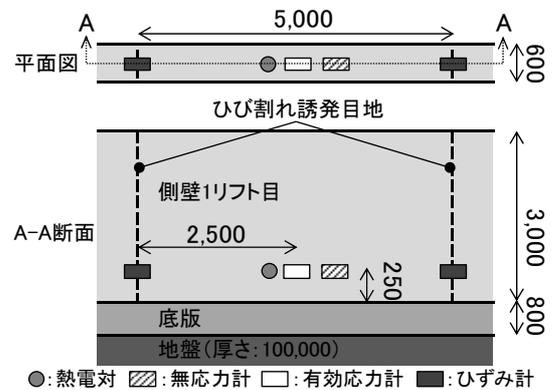


図2 対象構造物と計測位置(単位:mm)

3. 事前解析結果と計測結果の比較および事前解析精度の評価

1 ブロック目の施工を完了するまでに取得した情報を解析条件に

表1 解析条件一覧

解析レベル	照査の時期	打込み日		外気温(°C)	初期温度(°C)	セメント種類	単位セメント量(kg/m³)	終局断熱温度上昇量(°C)	温度上昇速度の係数	発熱開始材齢(日)	比熱(kJ/kg°C)	熱伝導率(W/m°C)	熱膨張係数(μ/°C)	強度推定式	自己収縮	
		底版	側壁													
レベルⅢ	設計時	7/15	8/15	気象庁月別平均(横浜市)	+5°C	MKC	317	38.0	0.72	0.14	1.15	2.70	12.0	設計編, 技術資料	技術資料	
レベルⅡ	施工前	2/3	3/29				297	36.4	0.69	0.20						1.01
レベルⅠ	施工中						現場実績									

キーワード 温度ひび割れ, 温度応力解析, 解析精度

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

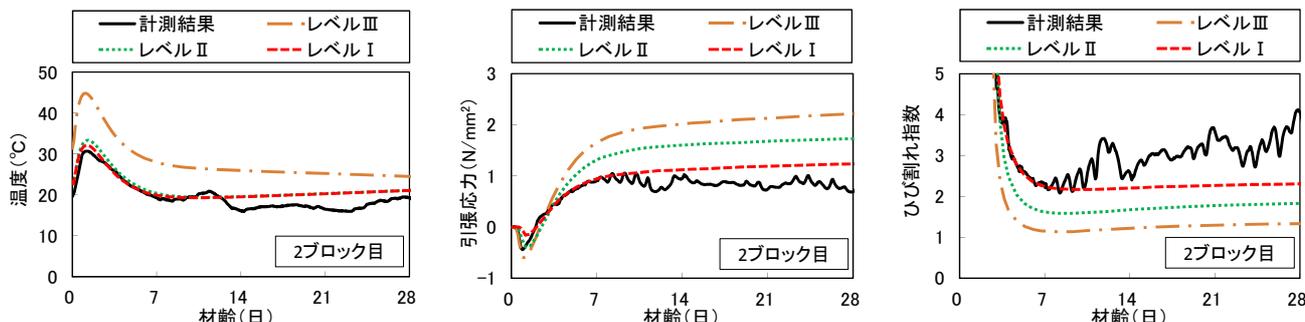


図 4 2ブロック目の事前解析結果 (左: コンクリート温度, 中: 引張応力, 右: ひび割れ指数)

反映し、2ブロック目を対象とした事前解析を実施した。2ブロック目の事前解析結果と計測結果の比較を図4に示す。温度について、レベルIIIは計測結果と乖離した。これは、施工工程や単位セメント量の違いに起因する。レベルIIは、レベルIIIと比較して解析精度が向上したものの若材齢で僅かながら差異がある。これは、実際の施工日や単位セメント量を考慮したことで乖離が抑制された一方で、コンクリート初期温度、比熱および熱伝導率の設定で実構造物と解析入力値に差異が生じたためと考えられる。レベルIは、さらに計測結果との差が減少した。レベルIIの条件に加え、表1に示すとおり、当該現場の実績に基づきコンクリート初期温度を設定したこと、骨材の岩種を考慮して比熱および熱伝導率を設定したことによると考えられる。

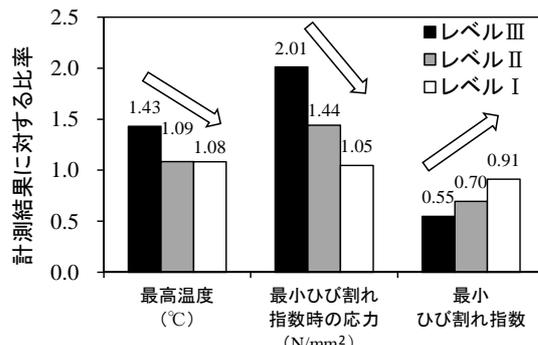


図 3 解析精度の比較 (3ブロックを対象)

コンクリート応力について、レベルIIIは計測結果と乖離した。前述のとおり温度解析結果が計測結果と乖離したことに加え、実構造物の条件と比較して、熱膨張係数の入力値が大きかったことなどによると考えられる。レベルIIは、レベルIIIと比較すると計測結果との差が減少したものの、乖離が認められる。レベルIIは、熱膨張係数の入力値が実構造物よりも小さかった一方で、圧縮強度の発現は実際に使用したコンクリートよりも早く、圧縮強度に対するヤング係数の値も大きかった。これらにより、引張応力が過大な評価となったものと考えられる。レベルIは、計測結果とほぼ同等の結果となった。これは、温度を高い精度で予測できていることに加え、実際に使用したコンクリートの熱膨張係数およびヤング係数を測定して、解析条件に反映させたことによると推察される。

ひび割れ指数について、レベルIIIは実測値と乖離した。これは、温度および応力の解析結果からも明らかである。レベルIIは、実構造物と比較して小さい結果となった。前述のように、引張応力を過大に評価しているためと考えられる。一方で、レベルIは、実構造物とほぼ同等の結果であった。温度および応力を精度良く予測できているためと考えられる。

次に、各レベルの解析精度を評価するため、側壁1リフト目の打込み日が3/29、5/11および10/13と異なる3ブロックを対象として事前解析結果と計測結果の比較を行った。計測結果に対する解析結果の比率を図3に示す。図より、最高温度は、レベルIII、レベルIIおよびレベルIで、それぞれ計測結果に対して43%、9%および8%の差であった。一方で、最小ひび割れ指数時の応力は、101%、44%および5%の差であった。同様に、最小ひび割れ指数は、45%、30%および9%の差であった。このように、最小ひび割れ指数の比率は、レベルIII→レベルII→レベルIとなるにつれて1.0に近づいていることから、解析精度は順次向上していることが分かる。

4. まとめ

本研究における解析手法を用いることで、解析精度の向上を図ることができ、より確実にひび割れを抑制できると考えられる。解析精度が向上することにより、過不足のない、より合理的な対策を選定できるようになると考えられる。

参考文献

1) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書【施工編】，pp.171-176, 2013.3
 2) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，pp.91-98, pp.303-318, 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, 2013.