壁構造物の多層打設における温度応力挙動の計測事例

株式会社熊谷組　土木事業本部　正会員　○濱　慶子
株式会社熊谷組　名古屋支店　中村　圭，藤田　昌宏，田中　悠介
株式会社熊谷組　土木事業本部　正会員　神﨑　恵三

１．はじめに

マスコンクリートの温度ひび割れ発生予測には、コンクリートの温度応力解析が広く用いられている。コンクリート標準示方書によると、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合、解析によって算出されるひび割れ指数(I_{cr})が、安全係数(γ_{cr})1.0 以上とする必要がある。(表１)そのため、コンクリート構造物の施工前には、I_{cr}が所要の γ_{cr}を満たすよう、対策を計画する必要がある。

表１　ひび割れ発生確率と安全係数

	ひび割れ発生確率	安全係数γcr
ひび割れを防止したい場合	5 (%)	1.85以上
ひび割れの発生をできる限り制限したい場合	15 (%)	1.40以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50 (%)	1.0 以上

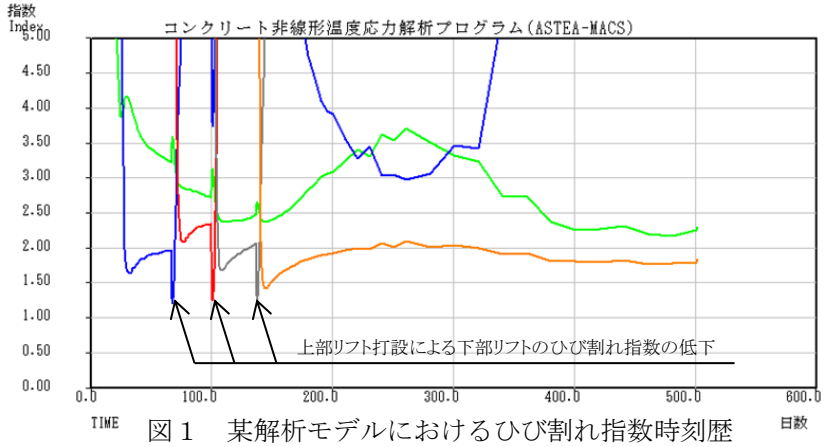


図１　某解析モデルにおけるひび割れ指数時刻歴

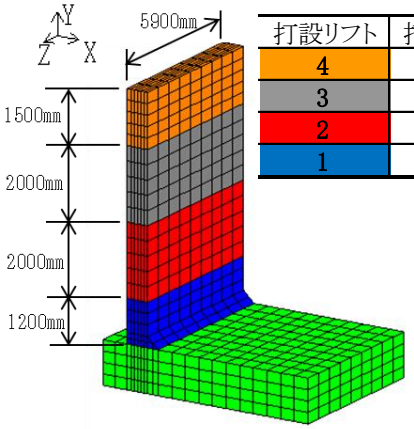
しかし、壁状構造物において多層リフトでコンクリート打設を行う場合、温度応力解析においては後行リフト打設により先行リフトに引張応力が生ずる挙動がみられる。これは、先行リフトが打設コンクリートの熱膨張を拘束することや、打設コンクリートの水和熱が伝導することにより先行リフト内で温度勾配が生じることが主な原因と考えられている。条件によってはこのような引張挙動が卓越し事前解析における最小ひび割れ指数を示す場合も多い。(図１)一方、実施工時においてこのような挙動による有害な変状が明確に確認されていないことを踏まえ、事業体によっては後行リフト打設時の挙動をひび割れ評価の対象としない場合もみられるが [1)]、一般的な評価手法が確立されているものではない。ここでは、多層リフトにより施工した壁構造物においてコンクリートの応力計測を行い、後行リフト打設による影響について得られた知見を報告する。

２．計測条件

応力計測には有効応力計を用いた。有効応力計は第１リフトに設置し、その設置位置は、水平方向は壁長の中央、鉛直方向は打設高さの中央とした。また、対象構造物近傍で外気温を計測し、解析に用いた。それぞれの計測は、１時間ごとの自動計測とした。

３．解析条件

図２に解析モデルを示す。対象は壁長 11.8m の壁状構造物で、1/2 モデルとした。コンクリート打込み温度は実測値とした。表２にコンクリートの配合を示す。



打設リフト	打込み温度
4	16℃
3	26℃
2	30℃
1	33℃

(実測値)

図２　解析モデル

キーワード　壁構造物，応力計測，ひび割れ，温度応力解析，ひび割れ指数
連絡先　〒162-8557　東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組 土木事業本部　ＴＥＬ03-3235-8622

4．計測結果と解析結果の比較

図３に第１リフトにおける壁長方向の発生応力（σ_z）の実測値と解析値の経時変化を示す。打設の直後は圧縮応力が発生しているが、温度の降下とともにすぐに引張側に転じる。また、実測値、解析値とも、外気温変化に追随した挙動を示している。なお、図３の緑色の曲線は引張強度（Ft）の解析値である。

図３の実測値と解析値を比較すると、材齢約 60 日で上部リフトを打設した時、解析値での応力は大きく引張側に振れているが、実測値ではそのような現象は生じていないことが確認できた。

I_{cr} の時刻歴を図４に示す。解析値においては、上部リフト（２リフト）の打設時に、著しい引張応力の発生によって I_{cr} が最小値となっている。一方、実測値については、I_{cr} の発生は上部リフトの影響を受けず、打設後初期に最小値となった。それぞれの I_{cr} の最小値と、I_{cr} から算出される最大ひび割れ幅 w(mm)の予測値を表３に示す。コンクリート標準示方書より、w(mm)と I_{cr} との関係は、以下の式で表される。ここで、p は鉄筋比(%)。

$$w=\left(\frac{-0.071}{p}\right)\times\left(I_{cr}-2.04\right) \quad \cdots\cdots(式１)$$

表２　コンクリートの配合

セメント種類	呼び強度 (N/mm^2)	スランプ (cm)	W/C (%)	S/a (%)
BB	24	12	53.0	44.1

単位量 (kg/m^3)				
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材
158	299	798	1029	2.39

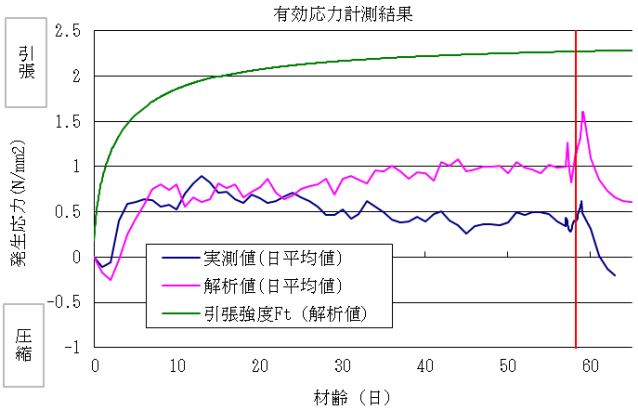


図３　第１リフトにおける発生応力

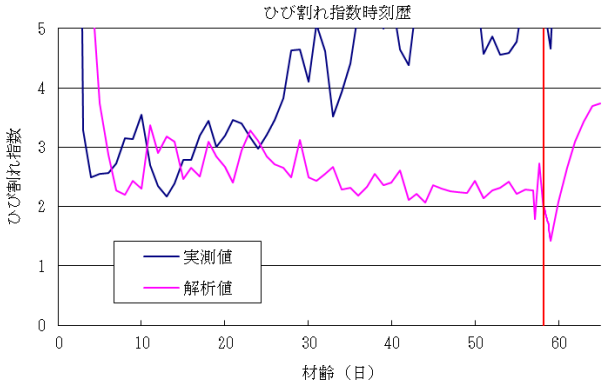


図４　第１リフトにおけるひび割れ指数時刻歴

表３　最小ひび割れ指数と最大ひび割れ幅の予測値

	2リフト打設時	2リフト打設以前
解析値 Icr	1.42	2.07
最大ひび割れ幅 (mm)	0.176	0.000
実測値 Icr	－	2.17
最大ひび割れ幅 (mm)	－	0.000

5．まとめ

図３から、打設後 25～30 日程度までは解析によって算出される発生応力は実測値とほぼ同程度であることが確認できた。

図３における発生応力は、外気温変化に追随した挙動を示しているが、実測値、解析値ともに外気温変化に伴う一日の変動量は概ね 0.2～0.3(N/mm^2)程度であった。一方、上部リフトの打設日に着目すると、実測値においては 0.3(N/mm^2)の変動があったものの、外気温変化に伴う変動とほぼ同程度の値であったのに対し、解析値においては 0.8(N/mm^2)の明確な変動があった。

実測値では、解析で算出されるような大きな引張応力は発生していないことが確認できたことから、事前の温度応力解析によるマスコンクリートの温度ひび割れ発生予測では、上部リフト打設による引張応力の影響を考慮すると、過大なひび割れ防止対策が必要となる可能性がある。

コンクリート構造物におけるひび割れは、セメントの水和に起因するひび割れのみではなく、乾燥収縮・自己収縮等のコンクリートの収縮に伴うひび割れも挙げられ、条件によってはこれらが複合してひび割れが生ずることもある。そのため、ひび割れ指数のみでひび割れの発生や進展を予測することは困難である。今後も実際の構造物内での発生応力の計測を継続し、ひび割れの発生との関連性を蓄積していく必要があると考える。

参考文献

1) 九州地区における土木コンクリート構造物設計・施工指針（案）平成 25 年 7 月　国土交通省　九州地方整備局