大規模底版コンクリートの温度解析方法に関する一考察

清水建設（株）　正会員　○戸田　晶
清水建設（株）　正会員　根本　浩史

１．はじめに

LNG 地下タンク底版コンクリートのような部材厚が非常に大きいマスコンクリートでは、セメント水和熱による温度変化を有限要素法により解析した場合に、実施工における温度計測結果が温度解析結果よりも高くなる傾向があることが知られている。

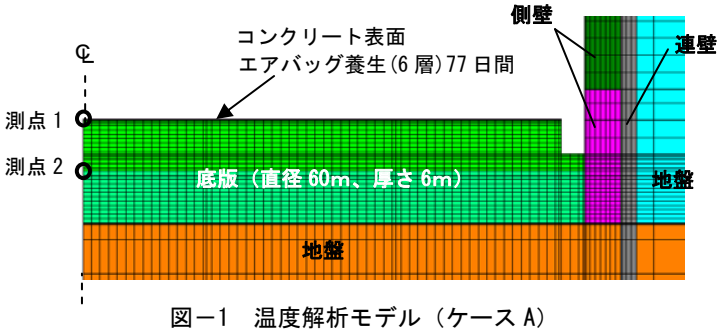
本報告は、ケース A、B の大規模底版コンクリートの温度実測結果に対して温度同定解析を行った結果より、より精度の高い温度解析を行うための解析方法として、①断熱温度上昇特性の設定方法、②日射による給熱の影響を考慮した保温養生の評価方法、について検証した結果について報告するものである。

２．温度同定解析事例その１（ケース A）

LNG 地下タンクの底版コンクリートを対象として温度同定解析を行なった事例を以下に示す。

2.1　温度解析方法の概要

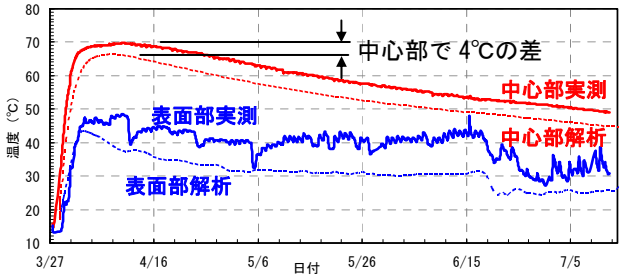
温度解析は、2 次元軸対称回転体モデルを用いた有限要素法による非定常熱伝導解析を実施した。ケース A の解析モデルを**図－1** に示す。温度解析は土木学会コンクリート標準示方書に示される方法を適用した。温度解析条件を**表－1** に示す。ケース A では内部拘束による温度ひび割れを制御するために、コンクリート表面に保温養生材としてエアバッグ（ポリエチレン製気泡シート）6 枚を重ねて敷設し、表面をブルーシートで覆った。養生材はコンクリート打設 77 日後に撤去した。



図－1　温度解析モデル（ケース A）

表－1　温度解析条件

項目		ケースA	ケースB
配合条件	セメント種類	高炉セメントB種	三成分系セメント
	水セメント比(%)	55	55
	単位ｾﾒﾝﾄ量(kg/m³)	296	271
熱的定数(ｺﾝｸﾘｰﾄ)	熱伝導率(W/m℃)	2.7	
	比熱(KJ/kg℃)	1.15	
	断熱温度上昇特性	Q(t)=Q∞[1-exp(-rt)]	
		Q∞=50.8 r=0.52	Q∞=27.6 r=0.58



図－2　同定解析ｽﾃｯﾌﾟ 0（初期の解析条件による）

2.2　実施工における温度計測結果と解析結果の比較

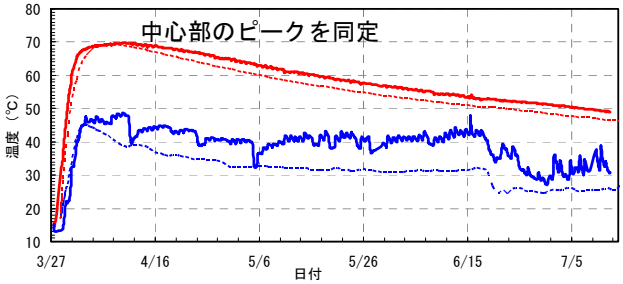
実施工における温度計測結果と解析結果を**図－2** に示す。解析結果は中心部の最高温度で計測値よりも約 4℃低い結果となった。

2.3　温度計測結果への同定

以下に示す 2 種類の方法により、温度解析結果の温度計測結果への同定を行った。

①断熱温度上昇特性の設定方法

本事例のような部材厚の大きい構造物において、測点 2 のような中心部分では、断熱に近い状態となると考えられる。最高温度が 4℃程度異なる原因としては、断熱温度上昇特性



図－3　同定解析ｽﾃｯﾌﾟ 1（終局断熱温度上昇量＋4℃）

キーワード　温度解析、断熱温度上昇特性、日射の影響
連絡先　〒105-8007　東京都港区芝浦 1－2－3 シーバンス S 館　TEL 03-5441-0559　FAX　03-5441-0512

における終局断熱温度上昇量が室内試験の値よりも大きいことが原因と推定される。従って、中心部分の温度を同定するため、終局温度上昇量を室内試験の結果より4℃高い値を入力値とし解析した。解析結果を**図－3**に示す。

②日射による給熱の影響を考慮した保温養生の評価方法

終局断熱温度上昇量の入力値を高く設定することで中心部の最高温度を同定することができたが、表面の温度は実測値と比較して解析値が低い結果となっている。この原因として、養生材の熱伝達率には日射による給熱の影響が考慮されていないためであると推定した。日射による影響はそれを等価の外気温に換算する方法を採用することとした。日射量の温度換算値は、次式のように表すことが出来る[1)]。

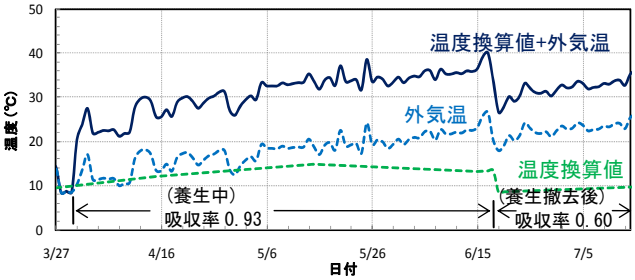
$t_s = A_{su} \cdot J / \alpha_0$　　ここで、t_s：温度換算値（℃）　　α_0：養生材表面の熱伝達率　14（W/m²℃）

A_{su}：太陽光吸収率　0.93(ブルーシート)、0.60(明るい色のコンクリート)[2)]（W/m²）

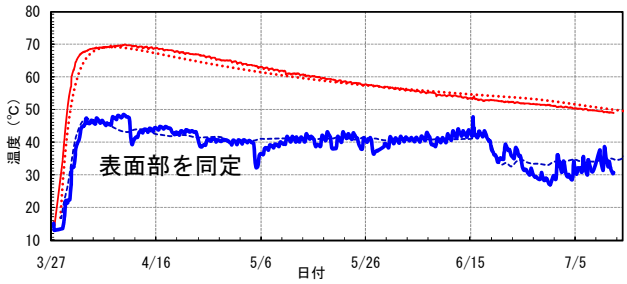
J：全天日射量（MJ/m²）気象庁データより

コンクリート表面の熱伝達境界条件は、エアバッグ6枚敷きでの熱伝達率を2.59W/m²℃とし[3)]、外気温は、ブルーシートの太陽光吸収率を0.93とした場合の日射による給熱の影響を温度に換算し、その値を外気温に足し合わせることで、日射の影響を考慮した(**図－4**参照)。

①及び②の方法により、**図－5**に示すように、温度解析結果を温度計測結果へほぼ同定することが出来た。



図－4　日射による給熱の影響を考慮した外気温

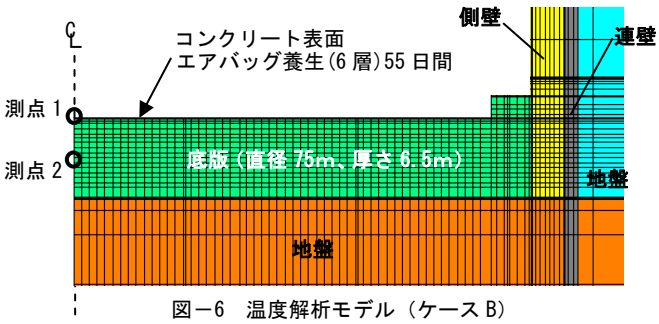


図－5　同定解析ｽﾃｯﾌﾟ2(終局断熱温度上昇量＋4℃、及び、日射の影響を考慮)

3．温度同定解析事例その２（ケースB）

ケースB（**図－6**参照）のLNG地下タンク底版の温度同定解析を行なった事例を以下に示す。同定解析の結果、初期の解析条件では、解析結果は中心部の最高温度で計測値よりも約5℃低い結果となった。

終局温度上昇量を室内試験の結果よりも5℃高い値を入力値とし、ケースAと同様に日射の影響を考慮して解析を行なった結果、**図－7**に示すように、温度解析結果を温度計測結果へほぼ同定することができた。



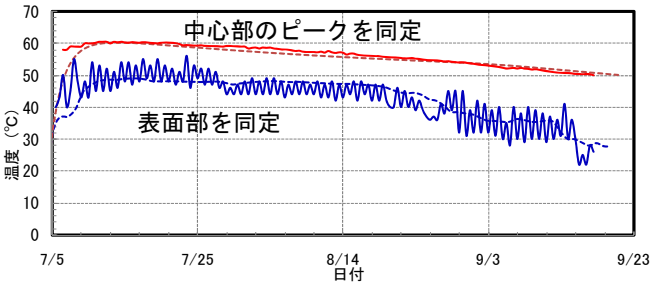
図－6　温度解析モデル（ケースB）

4．まとめ

LNG地下タンクの底版コンクリートのような大規模な底版コンクリートの温度解析方法として、ケースA、Bにおける検証結果より、以下の解析方法を取り入れることで、精度良く同定することが出来た。

① 熱温度上昇特性の設定方法として、コンクリートの終局断熱温度上昇量は、既往のLNG地下タンク実績で得られている通り1.1～1.2倍程度高く設定する[4)]。

② 日射による給熱の影響を考慮した保温養生の評価方法として、日射量を温度置換し、外気温に上乗せする。



図－7　ケース B 解析結果(終局断熱温度上昇量＋5℃、及び、日射の影響を考慮)

今後、同様な大規模なマスコンクリートにおける、より精度の高い温度解析を行うための温度解析方法として適用できるものと考えられる。

【参考文献】

1）建築学体系8、靖国社、p.209～275、1969
2）日本建築学会編 建築設計資料集成1環境、丸善、p.122、1978
3）江渡正満他、マスコンクリートの保温養生に用いる保温養生材の効果に関する実験的検討、土木学会第53回年次学術講演会
4）福井英大他、高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートの火力発電所土木設備への適用について（その6）、土木学会第55回年次学術講演会