積算温度によるマスコンクリートの圧縮強度推定に関する実務的考察

青木あすなろ建設（株）　正会員　○劉　翠平
非会員　坂本繁一　小川輝幸
土木学会フェロー　牛島　栄

1．はじめに

寒中コンクリート工事の工程管理において，型枠・支保工の取り外し時期の推定，構造体コンクリート強度発現の状況を把握することが，非常に大きなメリットがある[1]ため，積算温度方式によるコンクリートの圧縮強度推定する場合が多い．しかし，これまでは実験室で行われた研究事例が多く報告されているが，土木の大型建設工事に適用した実例報告がほとんど見当たらない．

本報告では，従来のコンクリートの強度管理を管理用供試体の強度に加え，積算温度による圧縮強度の推定を行い，実務分野に応用するため，実際の圧縮強度の推定を得る測定方法を検討した．用いた圧縮強度推定式の精度を明らかにするとともに，対象となるコンクリートの配合に関して指数関数推定式を提示した．

2．配合条件

図 1 に対象となる土木の大型建設工事の底版平面図を示す．底版の広がりが大きく底版厚は 3.0m である．底版本体の打設時期は 2015 年 12 月下旬～2016 年 2 月中旬であり，寒中マスコンクリートとして養生および工程管理を行う[2,3]．

表 1 に底版コンクリートの使用材料および配合をまとめる．高炉セメント B 種を用いたコンクリート，呼び強度は 33N/mm^2，水セメント比は 42.5%である．

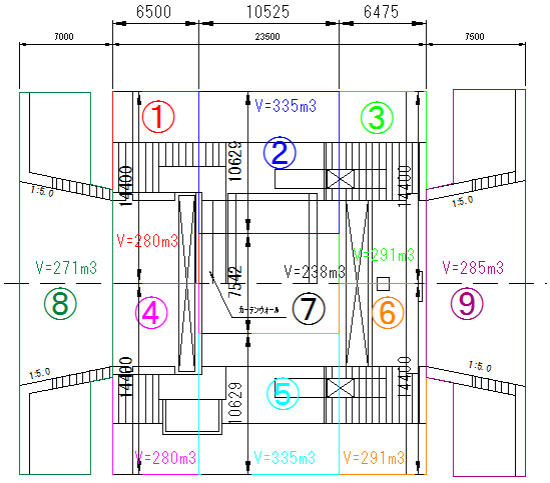

図 1　底版平面図

表 1　使用材料および配合

使用材料	種類	配合（kg/m^3）	
セメント	高炉セメント BB	358	
細骨材	山砂	282	714
	砕砂	219	
	陸砂	213	
粗骨材	砕石 40	446	1115
	砕石 20	446	
	砕石 13	223	
水	－	152	
混和材	AE 減水剤	3.94	

注：水セメント比：42.5%，細骨材率：40.0%

3．温度測定方法および養生方法

図 2 に示すように温湿度計および底版ブロック①，④，⑦および②の中心位置の被りに熱電対を設置し，養生の環境温度履歴および構造体コンクリートの表面温度履歴をそれぞれ測定する．

コンクリートの圧縮強度は 5.0N/mm^2 以上になれば底版鉛直部分の型枠を取り外すが，底版の鉛直部分はエアバック 3 重巻き，水平部は湿潤・保温マット（**図 3**）によって 28 日までに養生する．そのため，型枠の解体時期だけではなく，養生終了までに構造体のコンクリートの強度発現にも関心が高まる．

(a) 養生の環境温湿度測定　(b) 表面温度測定（熱電対）

図 2　温度測定の方法

(a) 養生全景　(b) 内部の様子

図 3　シート養生の様子

キーワード　積算温度，マスコンクリート，推定強度，材齢，熱電対
連絡先　〒300-2622　茨城県つくば市要 36-1　青木あすなろ建設（株）技術研究所　ＴＥＬ 029-877-1137

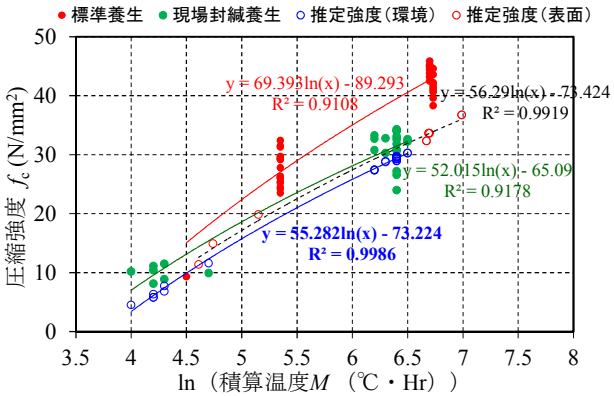

図 4　積算温度と推定強度の関係

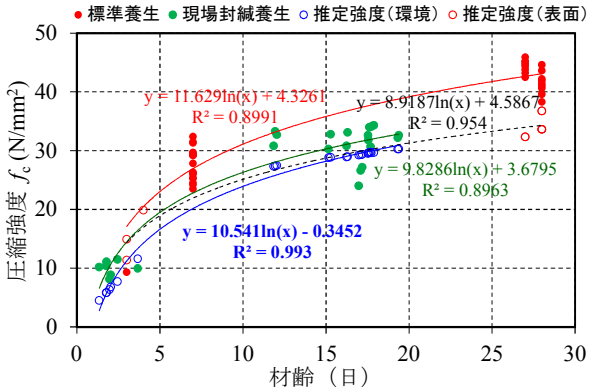

図 5　相当材齢と推定強度の関係

4．コンクリート強度の推定

(1) 積算温度および相当材齢の算出法 [1)]

マチュリティ説によって積算温度 M は次式によって算定する．

$$M = \sum_0^t (\theta + A) \cdot \Delta t \qquad (1)$$

ここに，M は積算温度（℃・Hr または℃・日），θ は Δt 時間中のコンクリートの養生温度（℃），A は定数で一般には 10℃，Δt は時間（Hr または日）である．

Arrhenius 式を応用して基準温度の材齢に対する相当材齢 T_e を次のように示し，相当材齢と実際の強度との関係を検討する．

$$T_e = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i \cdot \exp\left\{-\frac{E}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s}\right)\right\} \qquad (2)$$

ここに，E は活性化エネルギー（kJ/mol），R は気体定数（=8.314 J/mol），T_a は養生温度（°K），T_s は基準温度（293°K）である．

(2)　コンクリート強度推定式

下記に示す式を用いて推定強度 f_{cte} を算出する．

$$f_{cte} = \exp\left\{s\left[1 - \sqrt{\frac{28}{(T_e - 0.5)/T_0}}\right]\right\} f_{c28} \qquad (3)$$

ここに，f_{c28} はコンクリートの 28 日圧縮強度(N/mm^2)，s はセメントの種類に応じて決まる数値（高炉セメント B 種：0.54），T_0 は 1℃である．

(3) コンクリート強度推定の結果

図 4 に積算温度と標準養生の圧縮強度，環境温度によって算定した積算温度と現場封緘養生供試体の実際の圧縮強度値との関係を示す．図中に，表面温度によって算定した積算温度と推定強度値，環境温度によって算定した積算温度と推定強度値の関係を重ねて示す．また，それぞれの近似曲線（指数関数式）を求め，残差の平方和 R^2 を示す．

同積算温度に対して，現場封緘養生供試体の実際の圧縮強度は標準養生の圧縮強度より低くなっているが，その積算温度と実際の圧縮強度とはよい相関性が見られた．また，表面温度は環境温度よりやや高いため，推定強度もわずかに高くなっているが，構造体のコンクリート強度に近似していると考える．逆に，構造体コンクリートの強度管理は環境温度を用いて強度を推定すれば，安全側となる．

同様に，図 5 に相当材齢と圧縮強度の関係およびそれぞれの近似曲線を重ねて示す．Arrhenius 法によって算定した相当材齢と圧縮強度との関係は，積算温度方式によって計算した場合と同様に強い相関性が示されており，発現強度の増進性状をうまく捉えていると言える．求めた指数関数式によって，コンクリートの実際の圧縮強度に近い値が推定できると考える．

5．まとめ

土木の大型建設工事の底版を対象とし，積算温度による圧縮強度の推定に関する考察を行った．環境温度は表面温度よりやや低く，積算温度によって推定した強度は安全側となった．圧縮供試体による管理と同様に型枠の取り外しや養生の終了時期を決定することを目的に，指数関数推定式を提示した．

今後，さらに実務に供するには異なるセメントおよび配合条件に関するデータの蓄積が必要である．

参考文献

1)友澤史紀，牛島　栄：最近の積算温度方式の発展とその応用，セメント・コンクリート，No.527，Jan.1991
2)（公）日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，2012.6.15（1 版 3 刷）
3)（社）土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書「施工編」，2014.9（第 2 刷）