

V-226 耐久性評価のためのコンクリート構造物の凍結融解時の温度分布関する検討

北見工業大学 正会員 桜井宏
 北見工業大学 正会員 鮎田耕一
 北見工業大学 正会員 佐渡公明
 北見工業大学 正会員 岡田包儀

1. はじめに

凍結融解作用を受ける寒冷地のコンクリート構造物の耐久性及び耐用年数と部材の形状寸法とは密接な関係がある。現行の基準等ではそれらの関係は詳細には扱われていない。示方書によると断面の厚さが20cm以下の構造物の部分に関してのみ水セメント比を一般の場合に比べ5%から10%程度小さくするように規定されている。最近、寒冷地の土木構造物等の耐用年数等の把握、維持管理のための計画や適切な配合設計等を行うためさらに詳細に検討する必要性が高まっている。従って、寒冷地のコンクリート構造物の内部温度分布や各深さの凍結融解回数を把握するために、基礎的なシミュレーションの方法を検討をすることが重要と考えられる。しかしコンクリート部材の凍結融解時は凍結と未凍結の2層が存在する。そのため、境界条件が時間共に移動する現象下での内部温度の検討を行う必要があり解析的にも難しい問題である。筆者らはこれらの検討をConventional法を用いて三次元の解析を試みた。¹⁾

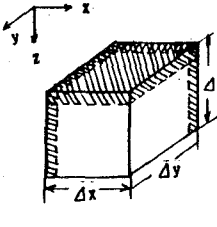
本研究では、柱部材のモデルを作成し三次元部材における解析の精度を実測値と比較して把握すると共にさらに柱部材に対する温度の三次元的な影響の範囲を明らかにする。

2. 検討方法

2.1 解析方法

解析方法はConventional法を用いその式と要素の考え方を表-1に示した。これは、供試体の表面温度を境界条件として入力し差分により供試体内部の温度を計算するものである。その解析条件を表-2に示す。なお、解析の際の要素は、縦、横、高さ各々6mmとして時間間隔を1秒とした。これは、三次元の差分式で誤差が発散しない安定条件を満たしている。

表-1 解析方法

ケース	説明及び要素図	誘導した式
3次元	3方向から凍結が進む時 x軸、y軸、z軸の方向から凍結界面が移動し、立体(x, y, z)要素中に3つの界面が存在する。 	$T_{x,y,z}^{p+1} = T_{x,y,z}^p + \frac{kg_1 \Delta t}{(\Delta x)^2} (T_{x-1,y,z}^p - 2T_{x,y,z}^p + T_{x+1,y,z}^p) + \frac{kg_1 \Delta t}{(\Delta y)^2} (T_{x,y-1,z}^p - 2T_{x,y,z}^p + T_{x,y+1,z}^p) + \frac{kg_1 \Delta t}{(\Delta z)^2} (T_{x,y,z-1}^p - 2T_{x,y,z}^p + T_{x,y,z+1}^p)$ $(i=1: T_{x,y,z}^p < T_f, i=2: T_{x,y,z}^p > T_f)$ $\Delta H^n = \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \{ \lambda_1 (T_{x,y,z}^p - T_{x-1,y,z}^p) + \lambda_2 (T_{x,y,z}^p - T_{x+1,y,z}^p) \} + \frac{\Delta t}{(\Delta y)^2} \{ \lambda_1 (T_{x,y,z}^p - T_{x,y-1,z}^p) + \lambda_2 (T_{x,y,z}^p - T_{x,y+1,z}^p) \} + \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} \{ \lambda_1 (T_{x,y,z}^p - T_{x,y,z-1}^p) + \lambda_2 (T_{x,y,z}^p - T_{x,y,z+1}^p) \}$ $T_{x,y,z}^{p+1} = T_{x,y,z}^p = T_f$

ここで、 T_f は、 n 番目の要素で時間ステップが p のときの温度

$\Sigma \Delta H^n = L$ のとき、 N 番目の要素は凍結を完了 (L は、凍結の潜熱)

2.2 実験方法

2.2.1 実験供試体

実験供試体の形状寸法を図-1に示す。実験供試体の配合を及びフレッシュコンクリートの性質を表-3に示す。

2.2.2 実験方法

測定方法は供試体表面及び内部に埋めこんだ銅コンスタンツ線の熱伝対を6分毎に記録計で測定した。実験ケースは氷点下から常温まで可変できる実験室で -30°C 一定の条件から凍結過程の 20°C から -30°C まで変化させるケースで行った。この時のコンクリート表面の温度を境界条件として解析に用いた。

表-2 解析条件

ケース	3次元	
層の条件	凍結	非凍結
熱伝導率: k (kcal/mhr $^{\circ}$ C)	2.979	2.743
比熱: c (kcal/kg $^{\circ}$ C)	*2	*2
熱拡散係数: kg (m 2 /hr)	0.00417	0.00384
密度: ρ (kg/m 3)	2300	
凍結潜熱*1: L (kcal/kg)	4.26	
凍結温度: T_f ($^{\circ}$ C)	-1.3	
含水率	R_v (%/vol)	13.5
	R (%/wt)	5.87

注: *1: コンクリートの単位重量あたりに換算

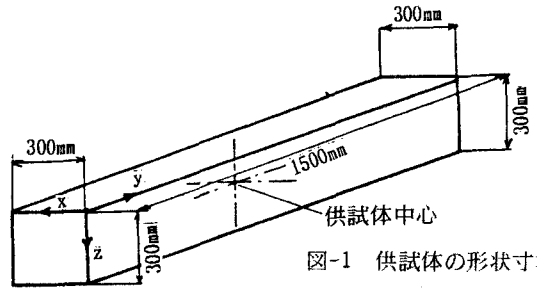
*2: コンクリート標準示方書より $C_s = 715/\rho$ とした。

図-1 供試体の形状寸法

表-3 実験供試体の配合及びフレッシュコンクリートの性質

ケース	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m 3)					スランプ (cm)	空気量 (%)
			水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤 (cc)		
3次元	53.6	33	138	257	656	1269	51.4	4.0	3.8

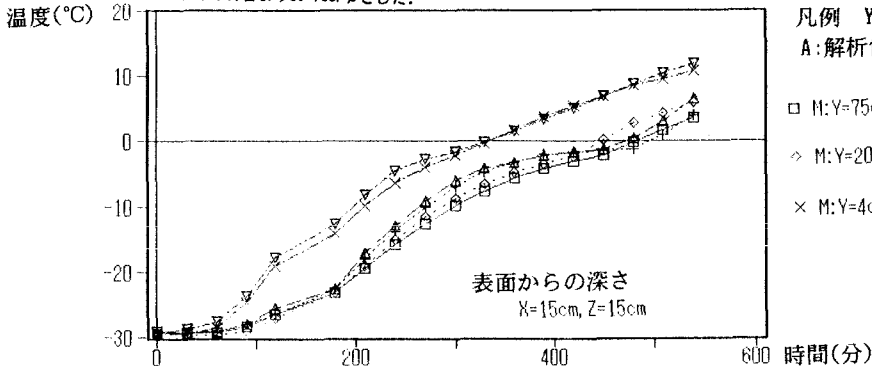


図-2 解析結果及び実験結果（供試体中心及び軸方向）

3. 検討結果及び考察

3.1 検討結果

解析結果と実測値を比較し解析値の精度を確かめるため供試体中心 ($X=15\text{cm}$, $Y=75\text{cm}$, $Z=15\text{cm}$) の解析値及び実験結果を比較し図-2に示した。また供試体軸方向の端面からの温度の影響を検討するために中心軸の端面から4cm, 20cmの位置の解析値と実測値の関係も図-2に示す。これによると供試体中心の温度差は最大で解析値が2.8 $^{\circ}$ C高い値を示した。また供試体軸方向の端面からの温度の影響は端面から4cmの断面の中心では解析値及び実測値とも同じ時間では供試体中心と比べ最大で10 $^{\circ}$ C程度も差があるが端部から20cmの断面の中心では解析値及び実測値とも供試体中心と比べ最大で1 $^{\circ}$ C程度の差である。

3.2 考察

3.2.1 解析の精度について

供試体中心の解析値と実測値の温度差は解析の際の物理定数をさらに詳細に検討することにより小さくすることが可能と考えられる。特に供試体の含水状態の適切な把握が重要である。

解析値と実測値の-1.3 $^{\circ}$ C付近の傾が一致していないのは解析の際、仮定した凍結温度で全ての水分が凍るとして解析しているが実際は水の存在する気泡径が幅広い分布をしているので凍結温度に幅を持つため実測値はこの付近では不連続にならずに緩い曲線になるものと思われる。

3.2.2 軸方向の温度分布の三次元的な影響について

端面からの温度の影響が端面から20cm程度でかなり小さくなっているため、これより端面から距離が増すと殆ど三次元的な影響を考慮しなくて良いと考えられる。

4. まとめ

凍結融解を受けるコンクリートの内部温度分布をConventional法による解析結果と柱部材のモデルを作成した三次元部材における測定結果と比較した結果、軸方向の温度分布の三次元的な影響は端部から20cm断面の中心では解析値及び実測値とも供試体中心と比べ最大で1 $^{\circ}$ C程度の差であった。

謝辞：本研究に際し、御指導を頂いた北海道大学藤田嘉夫教授、佐伯昇助教授、北見工業大学林正道学長、御協力を頂いた北見工業大学卒論生の齊藤祐一君、柴田君、小沢コンクリート工業(株)に感謝いたします。また、本研究に対して平成元年度土木学会吉田研究奨励金Bの助成を感謝致します。

参考文献

- 1) 桜井宏, 鮎田耕一, 佐渡公明: 寒冷地コンクリート構造物の温度分布シミュレーション手法の研究, 第43回セメント技術大会講演集, pp.614-619, 1989