

試験条件の異なる簡易断熱温度上昇試験の熱伝達係数に関する検討

富山県立大学 学生会員 田治愛里 正会員 伊藤 始

1. はじめに

熱伝導解析において境界条件は解析結果に大きな影響を及ぼすことから、適切に設定する必要がある。その中でも熱伝達係数は重要な物性値である。熱伝達係数は、部材表面部のコンクリート温度に大きな影響を及ぼし、部材厚が小さい場合は内部の温度変化にも影響を及ぼす¹⁾。

解析の参考値として用いられる土木学会示方書の熱伝達係数は限られたデータを基に設定されているため、実際の状況と精度良く一致しない場合も考えられる²⁾。また、熱伝達係数は型枠の有無や種類とその存置期間、養生の方法や期間、表面の風速や乾湿の状態など様々な要因に左右される。そのため、精度の高い解析結果を得るためには、解析の試験条件に合わせて熱伝達係数を算定することが望ましい。

本研究では、条件ごとに算定した熱伝達係数を熱伝導解析に用いることで、解析の精度向上を目指している。今回は、簡易断熱温度上昇試験(以下、簡易試験)の試験条件が熱伝達係数に与える影響を検討した。

2. 熱伝達係数の算定方法

図-1 にコンクリートの温度勾配モデルを示す。熱伝達係数はコンクリートから外気への伝達を対象として推定した。コンクリート温度 T_1 、 T_2 、 T_3 に放物線を仮定し、コンクリートの境界面温度 T_4 を推定した。熱伝達係数 η ($\text{W/m}^2\text{°C}$) は式 (1) より、 T_3 と T_4 間の微小立方体における熱の収支を用いて求めた。

$$q = \eta(T_4 - T_{\text{air}}) \quad (1)$$

3. 熱伝達係数の算定

(1) 算定ケース

算定ケースを表-1 に、配合を表-2 に示す。簡易断熱温度上昇試験装置(以下、簡易装置)の形状、設置温度等を変えた 12 ケースで簡易試験を行い、熱伝達係数を算定した。セメント種類は普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメント B 種(BB)、高炉スラグ微粉末(BFS)、フライアッシュ(FA)である。BFS は結合材量に対して 42%置換とし、FA は 15%置換としている。

簡易試験では図-2 のように発泡スチロールで作製した保温型枠にコンクリートを打ち込み、熱電対を用いてコンクリート内部、空気層、および外気の温度を計測した。

(2) 試験結果

図-3 に D-Out-3 と E-20-5 の簡易試験の温度履歴を示す。 T_1 、 T_2 、 T_3 は図-2 で示した計測点に対応する。D-Out-3 はコンクリート内部に 4 点の計測点があるが、中心 2 点は距離が近く温度も同じような履歴を示したため、3 点を用いて推定した。E-20-5 は 2 点から放物線を仮定することで推定した。

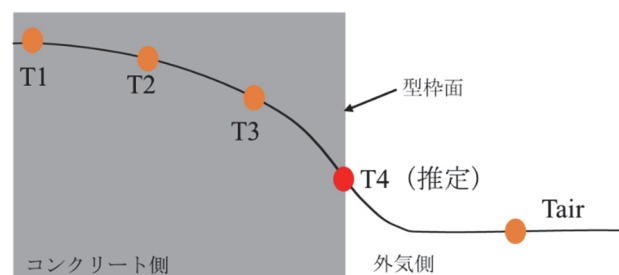


図-1 温度勾配モデル

表-1 算定ケース

ケース名	簡易装置	設置温度(°C)	配合	セメント種類
A-20-1	A	20	1	N
B-20-1	B			
C-20-2	C		2	
C-40-2		40		
C-In-2		実験室内温度		
D-Out-3	D	外気温	3	FA
D-Out-4			4	BB
E-20-5	E	20	5	N
E-20-6			6	BB
E-20-7			7	BFS
E-20-8			8	FA
E-20-9			9	

表-2 配合

配合名	水セメント比 (%)	単位量 (kg/m³)					
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 FA	BFS
1	52.0	153	294	701	1120	-	-
2	52.2	157	301	695	1114		
3	54.5	151	235	723	1118	42	
4	51.9	160	308	692	1100	-	123
5	54.5	159	292	831	1044		
6	53.9	158	293	821	1050		
7	54.5	159	169	831	1044	41	-
8	58.5	158	229	850	1035		
9	54.5	157	245	828	1044	43	-

(3) 算定結果

図-4 に D-Out-3 と E-20-5 の熱伝達係数の算定結果を示す。推定は2時間ごとに行った。今回の試験では、コンクリート内部から外部への放熱を正の値としているため、外部から内部への熱伝達である材齢初期の負の値を除いて整理した。また、大きく値が外れている $10\text{W/m}^2\text{C}$ 以上の値も今回の推定では除いた。

両ケースとも、温度変化の大きい材齢1日目までは値がばらついたが、その後はD-Out-3では約 $2\text{W/m}^2\text{C}$ 、E-20-5では約 $0.5\text{W/m}^2\text{C}$ と安定した値となった。材齢1日以降において、D-Out-3の熱伝達係数が高く温度が伝わりやすかった。D-Out-3の値が材齢6日以降でばらついているのは、材齢6日で型枠の脱型があったためと考える。

(4) 全ケースの算定結果

図-5 は全ケースの熱伝達係数の算定結果である。 $10\text{W/m}^2\text{C}$ 以上と負の値を除いた材齢7日までの熱伝達係数の平均値を示す。

設置温度の異なるCシリーズを比較すると、同じ装置を用いても設置温度により熱伝達係数が異なることが分かった。設置温度を 40C としたC-40-2はコンクリート内部の温度と設置温度の差が小さいため、熱伝達係数は大きくなる。簡易装置は完全断熱ではないため設置温度の影響を受け、設置温度がコンクリート温度と近いほど熱伝達係数は大きくなる。

簡易装置の厚さが300mmのEシリーズの熱伝達係数は、他のケースの値に比べ小さくなった。これは、発泡スチロールの幅が他のケースに比べて厚く、熱が逃げにくいためであると考えられる。

4. まとめ

設置温度がコンクリート温度と近いほど熱伝達係数は大きくなり、簡易装置の厚さが厚いほど熱伝達係数は小さくなる。このように、試験条件の異なる簡易試験において、各ケースの特徴を捉えることができた。
謝辞 本研究の実施にあたり、金沢工業大学の宮里心一教授に試験データをご提供いただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 社団法人日本コンクリート工学協会:マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008、pp58-59、2008
- 2) 土木学会:2017 年制定コンクリート標準示方書[施工編:施工標準]、pp326-327、2017

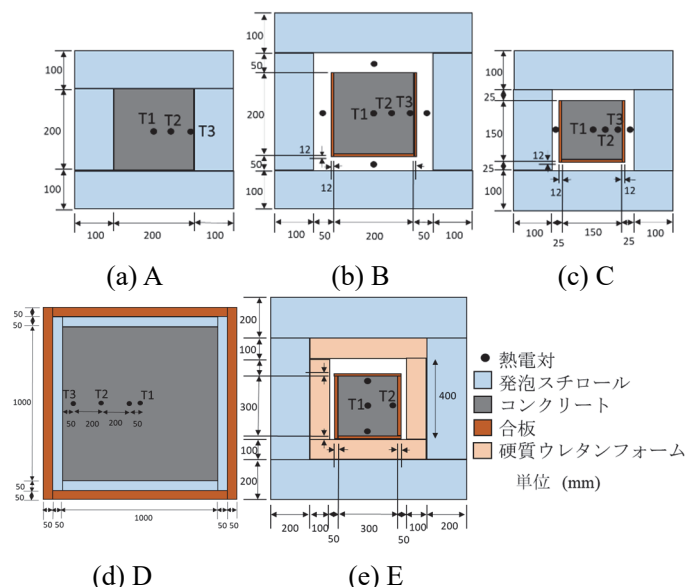


図-2 簡易断熱温度上昇試験装置

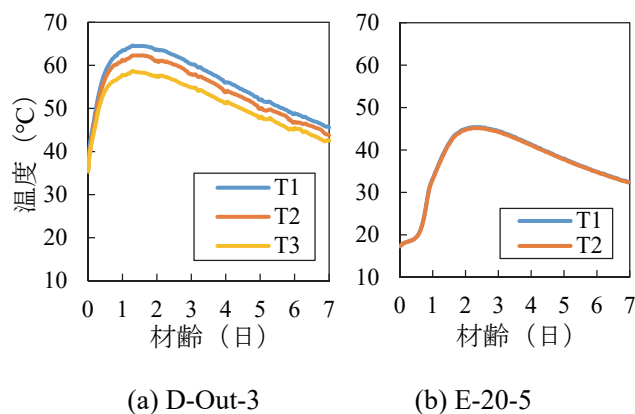


図-3 試験の温度履歴

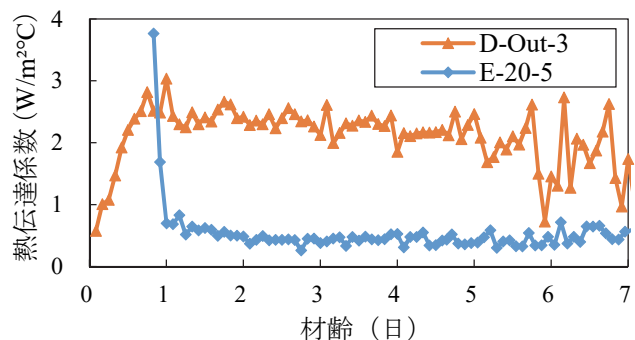


図-4 熱伝達係数の履歴

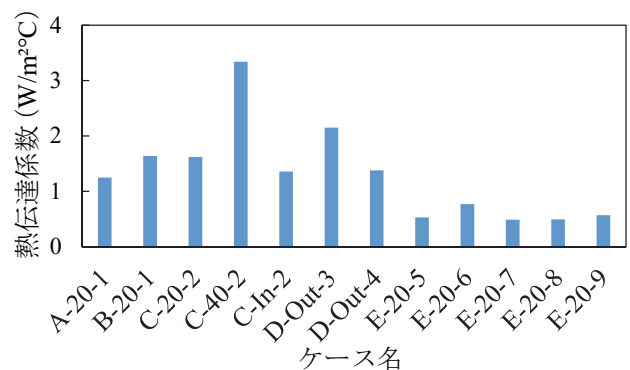


図-5 熱伝達係数の算定結果