

6. 実工事を対象とした積算温度によるコンクリート強度の推定

Estimation of Compressive Strength of Concrete by Accumulated Temperature for Actual Structures

劉 翠平* 松寄達弘** 牛島 栄*** 信岡靖久**** 寺内将貴*

—概要—

国土交通省では社会全体の生産性向上につながる取り組みの加速化に総力を挙げている。取り組みの一環として積算温度を用いたコンクリート強度の推定方法に対する機運も高まってきており、本研究では標準期および夏期施工となる実構造物を対象とし、積算温度を用いたコンクリート強度の推定方法の精度を検討することとした。コンクリートの温度履歴と周囲温湿度を計測し、積算温度を用いた方法と、構造物本体の強度管理および型枠解体時期判定用の供試体を用いた試験結果との比較を行い、既存の強度推定式の精度を確認した。本報で実施した強度確認の流れおよびその応用方法に関してひとつの事例として提示した。

—技術的な特長—

標準期(図1)および夏季施工(図2)のRC造マンション新築工事を対象とし、型枠と支保工の解体時期を決定するため、積算温度によるコンクリート強度の推定と応用例を検討した。まず、建物Aに代表的な部材の被りおよびコンクリートの表面に計測点を設置し、温度履歴や表面温度と被り温度との差などを確認した。そして、建物Bに代表的な部材の被りおよび中心部に計測点を設け、温度履歴の変化を確認した。次に、積算温度による推定強度と試験結果との比較を行い、標準養生と異なる施工環境において強度推定式の精度を確認した(図3)。さらに、積算温度による強度推定の流れ(図4)および適用結果を示し、実務に有益な情報を提示した。本報で修得した技術を今後の工事に反映することにより、保有技術の活用による工事の確実性を向上させることが期待できる。

工事概要

建築場所：大阪市西区
 主要用途：共同住宅と店舗
 構造種別：RC造
 規模：地上10階
 建築面積：164.57 m²
 施工床面積：1603.52 m²
 計測階高：2,850mm(8F~10F)

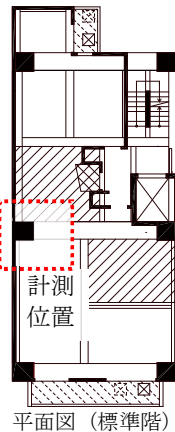


図1 計測対象(建物A)

工事概要

建築場所：東京都千代田区
 主要用途：共同住宅
 構造種別：RC造
 規模：地上9階
 建築面積：115.59 m²
 施工床面積：1040.21 m²
 計測階高：2,810mm(5F)

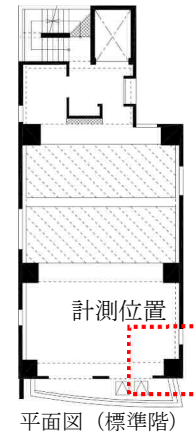


図2 計測対象(建物B)

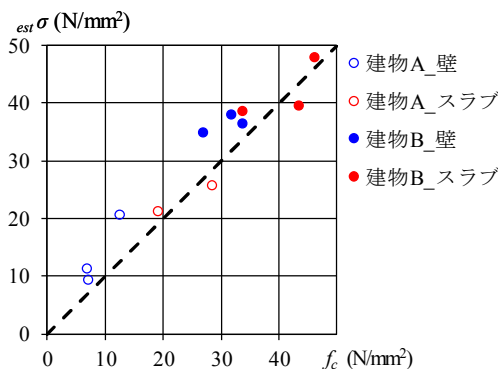


図3 推定強度と圧縮強度の関係

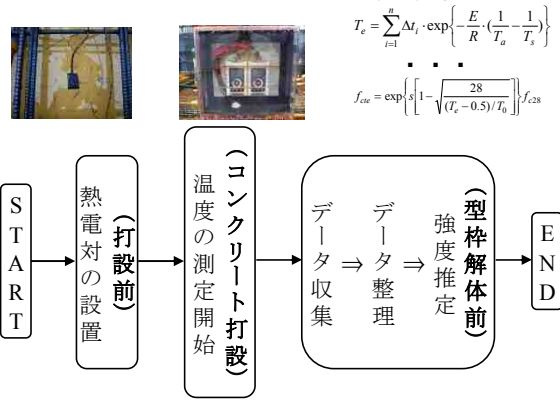


図4 積算温度を用いた方法の流れの例

*技術研究所建築研究室 **高松建設(株)技術研究所 ***執行役員技術研究所長 ****技術研究副所長

実工事を対象とした積算温度によるコンクリート強度の推定

Estimation of Compressive Strength of Concrete by Accumulated Temperature for Actual Structures

○劉 翠平* 松寄 達弘** 牛島 栄*** 信岡 靖久**** 寺内 将貴*
Suihei RYU Tatsuhiro MATSUZAKI Sakae USHIJIMA Yasuhisa NOBUOKA Masaki TERAUCHI

ABSTRACT Estimation method for the compressive strength of concrete based on accumulated temperature will contribute to the acceleration of productivity improvement proposed by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport. In this paper, the precision of accumulated temperature based on estimation of compressive strength of concrete was investigated for actual structures built in normal period and in the summer time, respectively. The temperature history of the concrete, the humidity and the temperature around the concrete were measured and considered in accumulation temperature method. The results of accumulation temperature method were compared with the test results using concrete test pieces that designed for the strength management of actual structures and for the justification of demolition time for form timbering. The precision of the estimation equation was also evaluated. A procedure for strength confirmation and its application were given in the present work.

Keywords: コンクリート, 圧縮強度, 積算温度, 材齢, 実工事, 品質管理

Concrete, Compressive strength, Accumulated temperature, Material age, Actual structures, Quality control

1. はじめに

国土交通省は、コンクリートの圧縮強度に関する告示案と型枠や支柱の取り外しに関する告示案を2016年1月16日に公表した。コンクリートの圧縮強度に関しては、従来の基準 JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法) - 2012 に加え、セメントの種類や養生期間中の平均気温などに応じて設計基準強度を補正する新しい方法を追加した¹⁾。また、型枠や支柱の取り外しに関しては、コンクリートの表面温度の積算値をもとに圧縮強度を計算する方法を追加した。すなわち、実際のコンクリートの表面温度履歴によってコンクリートの強度を推定すれば、従来よりも型枠の存置期間を短縮できると考えられる。

コンクリートの圧縮強度と表面温度の積算値との間に相関関係があることは、既往の研究にて検証され、積算温度によって強度の推定式も提案

されている²⁻⁶⁾。告示案では、計測した表面温度から圧縮強度を計算し、それが規準値を超えていれば型枠と支保工を取り外すことができるとされているが、具体的な計測方法は提示していない。これまでに実験室において標準養生と近い状態での前述した温度測定や積算温度と圧縮強度の検証の例は多いが、実構造物において測定した事例がまだ少ない。

そこで、本研究では建設時期が標準期および夏季となる RC 造マンション新築工事を対象とし、コンクリートの温度履歴と周囲温湿度を計測し、表面温度の積算値によって推定した強度 (以下、推定強度) と、構造体の強度管理および型枠解体用の試験結果との比較を行って、施工環境において既存の強度推定式の精度を確認した。さらに、現場の建築技術者に参考となるよう、本研究で実施した強度確認の流れおよびその応用方法に関

*技術研究所 建築研究室
***執行役員 技術研究所長

**高松建設(株)技術研究所
****技術研究副所長

して例として提示した。

2. 測定概要

2.1 対象建物

計測対象を図1～図2に示す。表1に示すように計測階の打設時期より、建物Aおよび建物Bの方はそれぞれ標準期および夏季として施工を行う²⁻³⁾。透水性の小さいせき板で被覆により湿潤養生を行い、所定の圧縮強度に達した後、せき板を取り外す。

工事概要

建築場所：大阪市西区
 主要用途：共同住宅と店舗
 構造種別：RC造
 規模：地上10階
 建築面積：164.57 m²
 施工床面積：1603.52 m²
 計測階高：2,850mm(8F～10F)

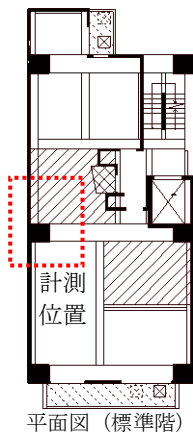


図1 計測対象（建物A）

工事概要

建築場所：東京都千代田区
 主要用途：共同住宅
 構造種別：RC造
 規模：地上9階
 建築面積：115.59 m²
 施工床面積：1040.21 m²
 計測階高：2,810mm(5F)
 2,760mm(6F～7F)

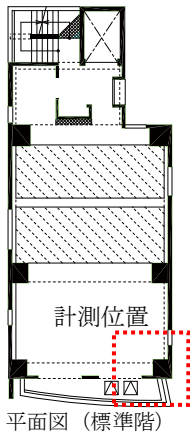


図2 計測対象（建物B）

表1 コンクリートの打設環境（外気温）

計測階	打設日	外気温 (°C)			
		日平均	日最高	日最低	
建物A	8F	2016/4/4	15.9	20.3	11.8
	9F	2016/4/19			
	10F	2016/5/12	21.5	27.0	16.9
建物B	5F	2016/7/12	26.2	30.1	17.6
	6F	2016/7/25			
	7F	2016/8/5	26.7	30.5	17.9

計測対象のコンクリート打設方法は片押し打ちである。また、上下階のコンクリート打設は約

2週間程度をあけるため、先行打設の下階は上階の温度上昇に与える影響がほぼない。

2.2 使用材料

表2～表5にコンクリートの配合、使用材料および配合強度などをそれぞれまとめた。

セメントは普通セメントN種を用いたコンクリート、呼び強度は30～47N/mm²、水セメント比が約50%であり、建物Aと建物Bは強度発現の程度はそれほど大きな違いがないと考えられる。

表2 コンクリートの配合

計測階	W/C (%)	細骨材率 (%)	単体量 (kg/m ³)					
			W	C	S	G	混和剤	
建物A	8F;9F	47.0	50.0	180	383	850	857	2.99
	10F	50.0	50.8	180	360	874	852	2.92
建物B	5F	40.7	50.6	170	418	887	891	4.18
	6F	39.0	48.4	174	446	813	891	4.01
	7F	40.0	46.5	179	448	764	919	46.5

表3 使用材料（建物A）

使用材料	種類	物性成分
セメントC	普通N 太平洋セメント(株)	密度：3.16g/cm ³
細骨材S	混合砕砂：赤穂：津久見 7:3（質量比）混合品	表乾比重：2.60g/cm ³
粗骨材G	砕石：兵庫県相生産	表乾比重：2.62g/cm ³
混和剤	高性能AE減水剤	
水	水道水	

表-4(a) 使用材料（建物B, 5F～6F）

使用材料	種類	物性成分
セメントC	普通N 太平洋セメント(株)	密度：3.16g/cm ³
細骨材S	陸砂：千葉県君津市市宿 砕砂：栃木県佐野市	表乾比重：2.56g/cm ³ 2.65g/cm ³
粗骨材G	砕石：栃木県佐野市	表乾比重：2.70g/cm ³
混和剤	高性能AE減水剤	
水	水道水	

表-4(b) 使用材料（建物B, 7F）

使用材料	種類	物性成分
セメントC	普通N (株)トクヤマ	密度：3.16 g/cm ³
細骨材S	山砂：千葉県君津市吉野	表乾比重：2.59 g/cm ³
粗骨材G	砕石：栃木県佐野市仙波町	表乾比重：2.71 g/cm ³
混和剤	高性能AE減水剤	
水	水道水	

表5 設計基準強度および配合強度

階		設計基準強度 (N/mm ²)	呼び強度 (N/mm ²)	配合強度 (N/mm ²)
建物A	8F	30	33	39.1
	9F	27	30	36.4
	10F			
建物B	5F	39	47	57.2
	6F	36	42	52.0
	7F			49.8

2.3 計測点および計測方法

温度計測点の設置図を図3～図4に示す。スラブ、梁、柱及び壁の断面寸法や解体時期は異なるため、各部材ごとに計測点を設け、温度履歴を計測する。

表面温度はコンクリート表面から直接に温度を測定することが望ましいが、施工の便宜上に鉄筋被り位置に設置する場合が多い。そこで、建物Aにコンクリートの表面(写真1(a))および鉄筋被り位置にそれぞれ計測点を設置し、表面と被りに生じた温度差を把握する。一方、夏季に外気温の影響を確認するため、建物Bに代表的な部材の表面および中心部にそれぞれ計測点を設置した。なお、建物Aおよび建物Bの鉄筋被りは50mmである。

温度測定の方法は文献2)に示す熱伝達を用いて物理的接触させ、T種類、素線径0.65mmの熱電対を用いて写真1(b)に示すように60秒ピッチで測定する。また、おんどとりを用いて施工環境における環境温湿度(以下、周囲温度および周囲湿度)を測定した。

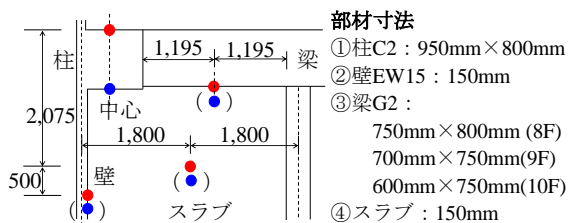


図3 計測点の設置図(建物A)

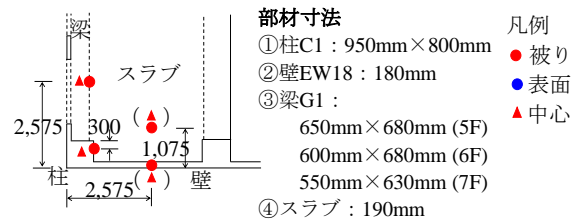


図4 計測点の設置図(建物B)



(a) 熱電対の設置



(b) 温度測定の様子

写真1 熱電対の設置および温度測定の様子

3. 結果の考察および応用

3.1 供試体の試験結果

図5にコンクリートの強度管理用供試体の圧縮強度 f_c と材齢 T の関係曲線を示す。供試体の養生方法は1日に現場空中養生、2日以降に現場水中養生である。

建物Aについては、材齢7日以内において、圧縮強度のバラツキがあるものの、配合によらず強度の発現はほぼ同程度であった。建物Bについては、6階および7階は建物Aと似たような傾向が見られた。

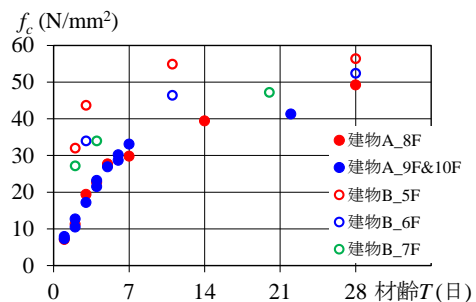


図5 圧縮試験結果

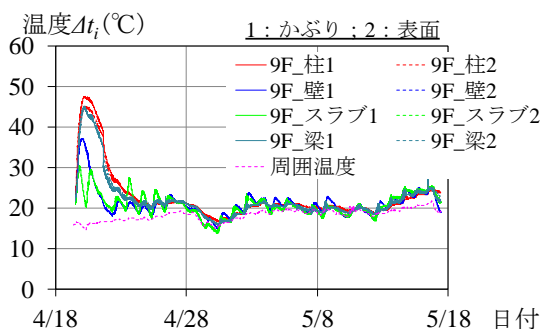
3.2 温度測定の結果

(1) 温度履歴

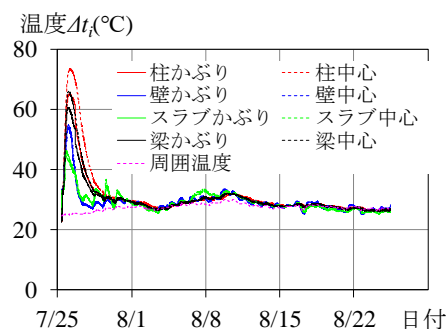
例として、計測したコンクリートの温度履歴曲線を建物 A の 9F および建物 B の 6F について図 6 示す。なお、周囲温度も同図に重ねて示す。

図 6(a)に示すように、柱を除き、被り温度と表面温度履歴は大きいな差は見られなかったため、圧縮強度推定には被り温度の測定でもよいと考えられる。

いずれの計測階においても柱、梁、壁およびスラブは異なる温度履歴となった。これは、断面形状によって発熱が異なることが主な原因の一つであると考えられる。柱および梁の断面は厚いため、最高温度は高かった。また、部材厚の薄い壁とスラブは外気に接している面積も広いため、外気に影響されやすく、図 6(b)に示すように建物 B においては中心および表面温度はほぼ同程度であったことを確認した。



(a) 建物 A (9F ; かぶり温度と表面温度)



(b) 建物 B (6F ; かぶり温度と中心温度)

図 6 温度履歴

(2) 推定強度

型枠の解体について推定強度 σ_{est} と圧縮強度 f_c との比較を図 7 に行い、推定精度について考察し

た。ただし、推定強度は次のように算出される²⁻⁶⁾。

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

ここに、 f_{c28} は配合強度 (N/mm²)、 s はセメントの種類に応じて決まる数値 (普通セメント N 種: 0.31)、 T_e は有効材齢、 T_0 は 1 日である。

壁の推定強度は試験結果より約 6 割高く、スラブは推定強度より約 1 割低いケースがあった。これは、工事現場での養生温度以外に、構造体の部材形状と供試体との相違、構造体の養生条件 (型枠による湿潤養生) と標準養生との相違、強度推定式は限定的な条件で提案されたものによるものと考えられる。ただし、標準養生時の強度が得られるような適当な安全係数を考慮すれば、工程応用において強度の発現を安全側に見積もることができる。

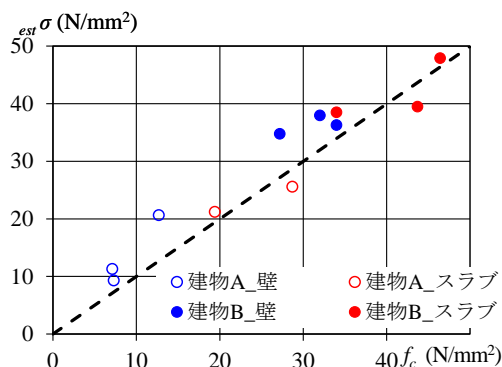


図 7 推定強度と圧縮強度の関係

3.3 応用例

本研究で実施した積算温度による強度推定の流れを図 8 に示す。この方法は、必要な測定精度を得た上で、経済的かつ手間のかからないメリットがある。収集データより強度の推定を行い、コンクリートの強度発現を把握し、現場で型枠 (支柱) 解体の判断ができる。なお、この一連の作業については関係部署と事前調整を行った上、工程の実施状況 (コンクリート工事や型枠工事など) に合わせて行わなければならない。

表 6 に試験強度 f_c と推定強度 σ_{est} との比較を行い、建物 A へ適用した結果をまとめた。推定強度と試験強度との比 σ_{est}/f_c を安全率と定義し、

その値とその判定結果も同表に示す。推定強度 $est\sigma$ は壁、梁およびスラブに計測したそれぞれの温度履歴を用いて脱型や支柱解体の時期によって推定し、各部材強度発現に追隨しているものであると考えられる。

表6に示すように、型枠（支柱）解体作業については、推定強度が確認強度以上となり、試験強度と同様に型枠（支柱）解体の時期を判定できることを確認した。また、3.2章(2)に述べたとおりで、標準養生と異なる養生条件であるため、スラブの推定強度は試験強度より約1割程度低いケースが見られた。よって、部材が薄く外気に接する面積が大きい版状部材には前述した安全率を見込んで、解体するかどうか判断する必要がある。

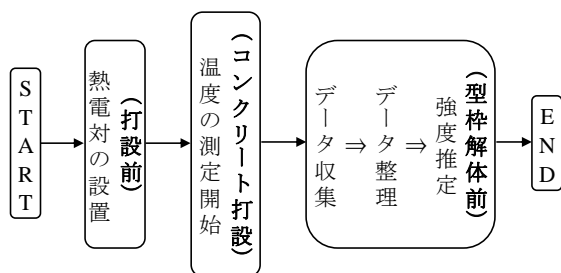


図8 積算温度による強度推定の流れ

4. まとめ

建設時期が標準期および夏季となるRC造マンション新築工事を対象とし、型枠と支保工の解体

時期を決定するため、積算温度によるコンクリート強度の推定と応用例を検討した。まず、建物Aに代表的な部材の被りおよびコンクリートの表面に計測点を設置し、温度履歴や表面温度と被り温度との差などを確認した。建物Bに代表的な部材の被りおよび中心部に計測点を設け、温度履歴の変化を確認した。次に、積算温度による推定強度と試験結果との比較を行い、標準養生と異なる施工環境において強度推定式の精度を確認した。さらに、積算温度による強度推定の流れおよび適用結果を示し、実務に有益な情報を提示した。

参考文献

- 1) 基本建築基準法関係法令集 2018年版, 国土交通省住宅局建築指導課・建築技術研究会, 2017.11.18
- 2) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2015, 社団法人日本建築学会, 2015.7.25
- 3) 型枠の設計・施工指針 (第2版第1刷), 日本建築学会, 2011.2.15
- 4) マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針 (案)・同解説, 社団法人日本建築学会, 2008.6.25 (第2刷)
- 5) マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 公益社団法人日本コンクリート工学会, 2012.6.15 (第1版3刷)
- 6) 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, pp.66-74, 1991.1

表6 推定強度の応用例

計測階	材齢 (日)	型枠 (支柱) 解体 ¹⁾	試験強度 f_c (N/mm ²)	確認強度 ²⁾ $prov\sigma$ (N/mm ²)	推定強度 $est\sigma$ (N/mm ²)	$est\sigma / test\sigma$	判定 ³⁾
8F	1	8W	7.13	5.0	11.30	1.58	YES
	3	9G	19.40	16.0	25.65	1.32	YES
		9S		16.0	21.21	1.09	YES
9F	1	9W	7.30	5.0	9.30	1.27	YES
	6	10G	28.70	16.0	30.58	1.07	YES
		10S		16.0	25.59	0.89	YES
10F	2	10W	12.70	5.0	20.62	1.62	YES
	5	11G	26.90	16.0	30.26	1.12	YES

注: 1) W, G および S はそれぞれ壁、梁およびスラブの型枠 (支柱) の解体を表す。
 2) 基準値あるいは採用した型枠解体工法によって実施した型枠の取り外しや支柱解体の確認強度である。
 3) 推定強度 \geq 確認強度なら、解体できると判断し、「YES」で表す。