

気候変動下における暑中コンクリート工事適用期間 の予測方法

松本, 侑也
大成建設株式会社

小山, 智幸
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

小山田, 英弘
北九州市立大学

<https://doi.org/10.15017/1462170>

出版情報 : 都市・建築学研究. 24, pp.117-122, 2013-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン :
権利関係 :

気候変動下における暑中コンクリート工事適用期間の予測方法

Estimation on Applied Period of Hot Weather Concreting under Global Warming

松本侑也*, 小山智幸**, 小山田英弘***

Yuya MATSUMOTO, Tomoyuki KOYAMA and Hidehiro KOYAMADA

On hot weather concreting, for the proper execution planning to prevent many problems on concrete quality, it is important to estimate the length and severity of hot weather ambience. In this study, the methods were discussed using the data opened to the public by Japan Meteorological Agency. The method described in JASS5 tends to estimate the period shorter due to the effect of recent global warming. The presented method using the mean value of ambient temperature at the nearest ten years could estimate better than the traditional one using the normal values. Additionally, it was shown that the length and severity of hot weather ambience were correlated well.

Keywords : Hot weather ambience, Global warming, Hot weather concreting, Applied period, Estimating method

暑中環境, 地球温暖化, 暑中コンクリート工事, 適用期間, 予測方法

1. はじめに

建築生産は、他の工業生産が工場などの屋内でなされるのと異なり、環境要因の影響を受けやすい施工現場で行われる。近年、気候変動に伴い夏期の高温期間が過酷化かつ長期化の一途を辿っており、施工の品質への悪影響の拡大が懸念される。一方、コンクリート材料も時代とともに変化しており、例えばセメントは、普通ポルトランドセメントにおいてもセメント強度、とくに初期強度が高くなる傾向にある。また使用されるコンクリートも年々高強度化している¹⁾。これらは、水和発熱の増大に繋がり、暑中環境の過酷化と相まってコンクリート温度を上昇させることになる。これにより、施工性の低下、長期強度増進の鈍化、ひび割れ発生や硬化体組織の密実性低下による耐久性への悪影響といった暑中コンクリートの物理的・化学的「わるさ」がより顕在化する方向にあると考えられる。他方で、高温化は過酷な施工現場で作業を行う生物としての人間に対して生理的、心理的な負荷を増大させ、熱中症をはじめとする労働災害の発生を助長させる。また高温による疲労や集中力の低下による施工品質への悪影響は労働災害の発生よりも頻度が

高いと推察され、看過できない問題である。これらに対して適切な対策を実施するためには、実施工よりも早い段階でこれらを考慮した施工計画を立案し、対応に要する種々のコスト²⁾を予算面にも反映させておくことが不可欠であるが、そのためには暑中環境が上記のような悪影響を及ぼすと考えられる期間、およびその程度を的確に予測する必要がある。多くの標準仕様書、共通仕様書や規準等においては、この期間を気温の平年値から予測する方法が示されているが、この方法は上記の気候変動の影響で現状と乖離する可能性があることが指摘されている³⁾。暑中コンクリート工事を適用すべき期間にそれがなされなかった場合、構造体コンクリート強度の補正値($_{28}S_{91}$)を 6N/mm^2 とすべきところが 3N/mm^2 となり構造体強度が低くなる場合がある、材料や調合の仕様が通常期のもとなり高温に対応できない可能性がある、などの問題が生じる。一方、過酷さの程度の予測に関しては全く示されていないのが現状である。本研究はコンクリート工事において暑中対策が必要となる期間およびその程度を合理的に予測する方法を確立することを目的とし、検討を行ったものである。未だ課題は残っているが、本稿では現時点までに得られた成果を報告する。なお、高温がコンクリートに及ぼす影響に関しては、既報³⁾等で発表している。

* 大成建設株式会社

** 都市・建築学部門

*** 北九州市立大学

2. 暑中コンクリート工事の適用期間の予測方法

2.1 現行 JASS5 による方法

日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS5 鉄筋コンクリート工事（以下 JASS5）においては、「施工者は、コンクリート工事開始のかなり前に、（中略）高温の影響が最小となるように十分な検討を行って施工計画書を作成し、工事管理者の承認を受ける」²⁾ こととなっている。同会暑中コンクリートの施工指針⁴⁾ ではその時期として、実施設計段階を推奨している。その際、適切な暑中対策を立案するためには、暑中環境の期間と程度を予測することが重要となる。しかし、実施設計段階と実際に施工を行う時期とは最低でも数ヶ月程度離れており、大規模工事では工期が数年にわたることも多いため、実施設計段階での予測は困難を伴う。したがって、通常、適用期間については、JASS5 で特記のない場合の「日平均気温の平年値が 25℃を超える期間を基準にして定める」に従うことがほとんどである。JASS5 の解説には、全国の主要都市について、気象庁が発表する日平均気温が上記 25℃以上となる期間の始期と終期を示した表が掲載されている。ここで、平年値は暦年の 10 年ごとに更新されており、例えば現在の平年値は、1981 年から 2010 年の 30 年間の観測値から求められたものである。一方、JASS5 も 10 年ごとに改定され、現行は 2009 年版となっている。したがって、これら更新および改定時期の関係から、現行 JASS5 には 1971 年から 2000 年の 30 年間の観測値による旧平年値を用いた適用期間が掲載されており、この期間が次の改定時期である 2019 年頃まで適用されることとなるため、暑中コンクリートの適用期間の設定においては最大で半世紀近い過去の気象データの影響を受けることとなる。先に述べたように近年の気候変動は顕著であり、適用期間を的確に予測するためには、従来の平年値による以外の合理的な方法を確立する必要がある。そこで本稿では、まず、気象庁が公表している「過去の気象データ検索」⁹⁾ を用いて、従来の方法である、日平均気温の平年値から算定された暑中コンクリート工事の

適用期間の予測値と、各年に当該地域で実際に適用すべきであった期間（以下、実際の期間）を求め、両者の比較を行った。ここでの実際の期間とは、それぞれの年および地域において日平均気温が実際に 25℃を超えた期間であるが、通常、日平均気温は図 1 に示すような数日サイクルの短期変動を生じるため、その影響を除外するため、同図のように、KZ フィルター⁶⁾ をかけてスムージングを行って求めた期間である。KZ フィルターは気象庁が平年値を算定する際に用いる方法であり、例えば 8 月 1 日から 9 日までの 9 日間の平均値を 8 月 5 日の値とし、これを対象となる期間内で順次移動しながら複数回繰り返すものである。ここでも平年値と同様に、9 日間移動平均を 3 回繰り返している。

図 2 に JASS5 に示される平年値による適用期間（階段状の実線、本方法は 1985 年版 JASS5 より規定）と、実際の暑中期間の日数（細い実線）の変化を比較している。一例として東京、大阪、福岡について示しているが、近年における実際の暑中期間の増加が著しく、平年値による方法との差が 1990 年代以降次第に大きくなっている。

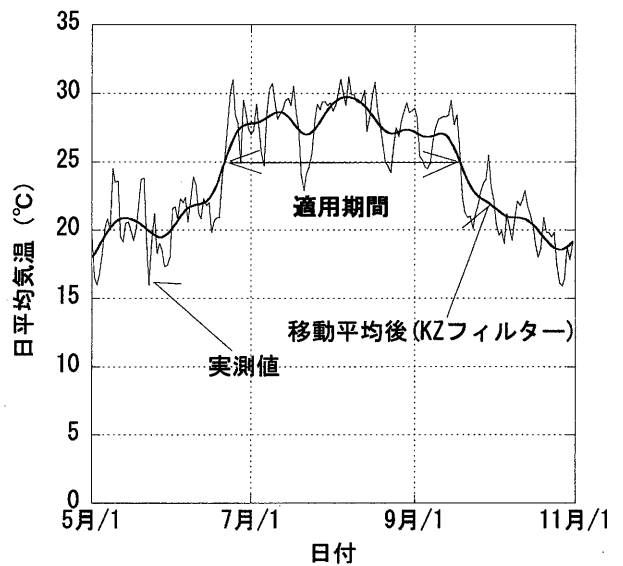


図1 「暑中コンクリート工事を実際に適用すべき期間」の算定方法

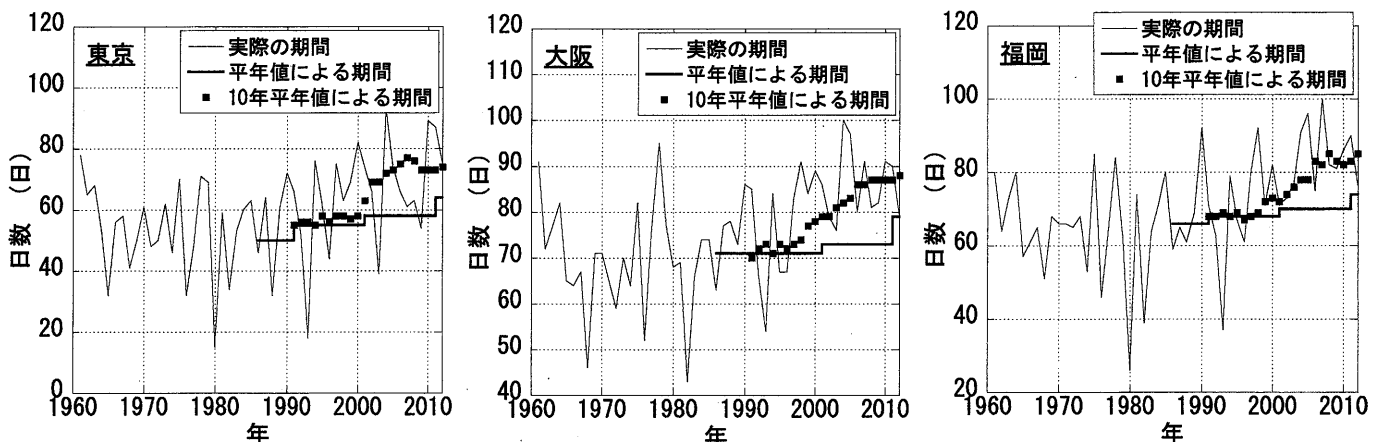


図2 平年値から求めた適用期間と実際の期間の関係

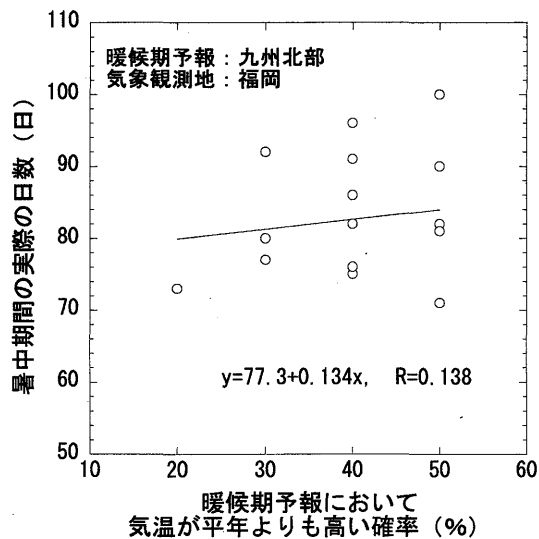


図3 暖候期予報と実際の暑中期間の日数

2. 2 暖候期予報による方法

気象庁が発表する長期予報のうち、最も早い予報は、各管区气象台が発表する暖候期予報である。例えば九州地方の場合は、九州北部地方（山口県を含む）と九州南部地方、奄美地方を対象に、2月頃にく予想される夏（6月から8月）の天候が発表される。その中で、「夏（6月から8月）の出現の可能性が最も大きい天候と、特徴のある気温、降水量等の確率」が示される。2012年の例では、平均気温の階級の確率は、平年並または高い確率ともに40%、低い確率は20%であった。本予報は、各都市ではなく九州の場合は南北で二分するレベルの広範囲な地域を対象とすること、最長でも6か月程度前の予報であること、「平年並み」あるいはこれより高いか低いかの3段階の予報であること等、本研究で対象とする予報の内容に必ずしも合致したものではないが、公式データであること、3か月予報、1か月予報と順次修正発表がなされる等の利点がある。

図3は、暖候期予報において気温が平年より高いと予報された確率と、暑中期間の実際の出現日数との関係を、一例として福岡について示す。なお、同図で対象とするのは、暖候期予報が現在の形になった1997年から2012年までの16年間としている。現時点では両者の相関はあまり高くない。

2. 3 提案法

別の方法として、表1の下段に過去10年間の日平均気温平年値から求めた暑中期間の予測値を示す。上段には

表1 主な都市の実際の日数と予測値

調査年	暑中期間の実際の日数（日）											
	札幌	秋田	仙台	新潟	東京	名古屋	大阪	松江	広島	高知	福岡	鹿児島
1991	0	0	0	31	66	82	85	41	72	81	71	89
1992	0	13	0	46	52	60	66	52	62	60	63	75
1993	0	0	0	0	18	24	54	0	54	55	37	66
1994	17	45	36	59	76	78	84	68	81	81	79	83
1995	0	8	35	39	62	60	67	52	64	69	67	77
1996	0	14	0	37	44	49	67	40	67	64	61	98
1997	0	16	9	42	75	77	83	50	83	86	80	86
1998	0	13	0	36	63	84	91	58	90	91	92	108
1999	24	40	34	55	69	79	84	51	78	78	71	108
2000	0	42	24	66	82	82	89	69	81	81	82	94
2001	0	9	11	52	74	75	86	55	75	79	71	98
2002	0	24	17	54	66	71	79	64	73	75	73	86
2003	0	0	0	9	39	51	76	37	55	76	77	90
2004	10	19	20	39	93	92	100	62	89	94	91	105
2005	0	26	11	50	74	92	97	65	95	95	96	109
2006	8	24	5	34	66	73	80	49	67	78	75	94
2007	0	16	20	49	61	76	91	59	83	92	100	114
2008	0	0	0	47	63	76	81	48	79	82	82	93
2009	0	0	0	14	54	74	82	32	64	70	81	105
2010	6	50	52	63	89	88	91	65	84	90	86	94
2011	3	41	28	73	87	91	90	82	88	88	90	92
2012	9	53	51	66	75	76	79	68	74	78	76	82

調査年	10年平年値予測（日）											
	札幌	秋田	仙台	新潟	東京	名古屋	大阪	松江	広島	高知	福岡	鹿児島
1991	0	18	0	44	55	60	70	48	60	65	68	87
1992	0	17	0	44	56	62	72	47	62	67	68	86
1993	0	17	0	46	56	65	73	50	64	68	69	86
1994	0	8	0	43	55	62	71	48	63	68	68	85
1995	0	13	0	45	58	65	73	49	68	71	69	85
1996	0	0	0	44	56	64	72	48	67	70	67	82
1997	0	5	0	44	58	64	73	48	68	71	68	84
1998	0	3	0	43	58	65	74	47	70	71	69	85
1999	0	5	0	42	57	67	77	48	72	73	72	87
2000	0	7	0	43	58	67	78	48	73	74	73	89
2001	0	19	0	43	63	70	79	49	74	75	72	89
2002	0	26	0	45	69	71	79	50	74	76	74	90
2003	0	23	0	45	69	71	81	51	76	78	76	91
2004	0	25	0	46	72	74	82	52	77	78	78	92
2005	0	18	0	44	73	75	83	51	77	79	78	94
2006	0	20	0	45	75	79	86	51	80	82	83	96
2007	0	22	0	46	77	79	86	54	79	83	82	96
2008	0	22	0	47	76	81	87	53	81	85	85	98
2009	0	21	0	49	73	80	87	55	80	84	83	98
2010	0	15	0	46	73	79	87	57	78	83	82	98
2011	0	15	0	48	73	81	87	57	78	84	83	98
2012	0	16	8	50	74	82	88	59	79	85	85	97

主な都市における暑中期間の実際の日数を示している。ここで用いた平年値を準用した値（以下、10年平年値）は、例えば2008年の場合は2007年から1998年というように、直近10年間の日平均気温に通常の平年値と同様にKZフィルターを適用して算出している。両者の関係を

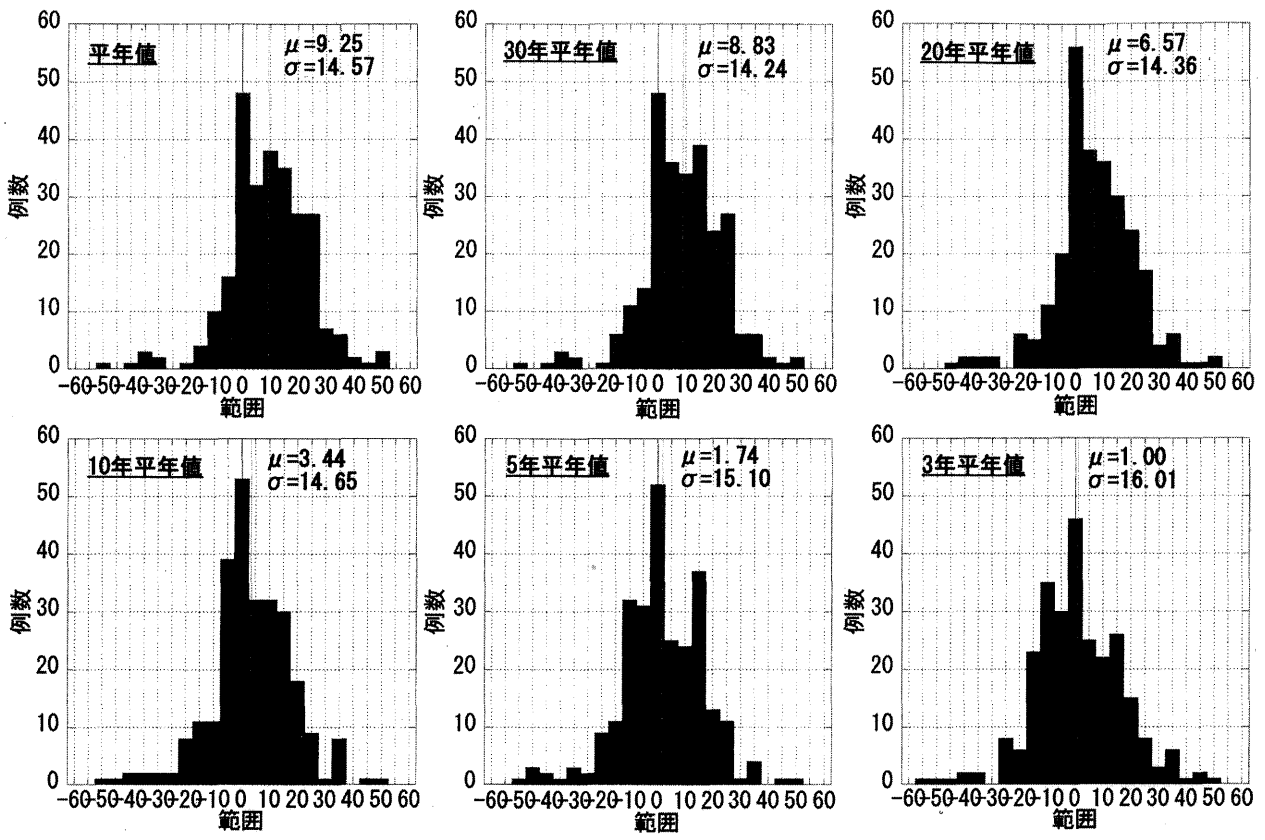


図4 提案した方法による適用期間の精度

みるために、表1に示している全ての都市および調査年を対象として、上段と下段の差をとってヒストグラムにしたものが、図4である。図4では比較のため2010年に更新された平年値と、10年平年値と同様にして求めた30年、20年、5年、3年平年値を示している。なおここでいう30年平年値と一般の平年値の違いは、後者が10年間更新されないのに対し、前者は毎年値が変わることである。図中の平均値 μ が0に近いほど予測値が全体として実際の適用期間に近いことを意味する。例えば通常行われる平年値での予測では、実際の適用期間を平均して9.25日少なく見積もることになり、暑中コンクリート工事の適用を受けるべき期間であるにもかかわらず、必要な措置が施されない期間が9日以上生じることなる。これは適用期間全体の1割以上に相当する。そこで、予測において平年値算定対象年

数を短くした場合、平均値の差がゼロに近づき、10年平年値では3.44日、3年平年値では1.00日と通常の平年値を用いるよりも平均値を実態に近づけることができる。一方、図中の標準偏差 σ は予測値と実際の適用期間の差の変動を表し、平均値が0に近くて標準偏差が小さい場合に、予測値の精度が高いことになる。図4で明らかなように標準偏差は平年値算定対象年数を短くするにつれて大きくなり、通常の平年値の場合14.57であるが、5年平年値で15.10、3年平年値では16.01となる。これらを総合すると、適用期間の予測におい

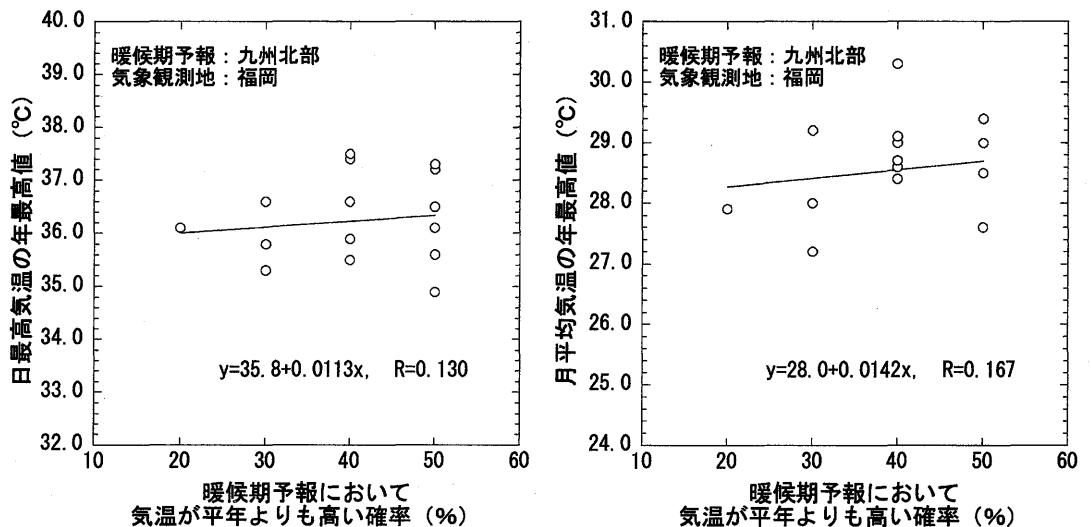


図5 暖候期予報と日最高気温および月平均気温の年最高値

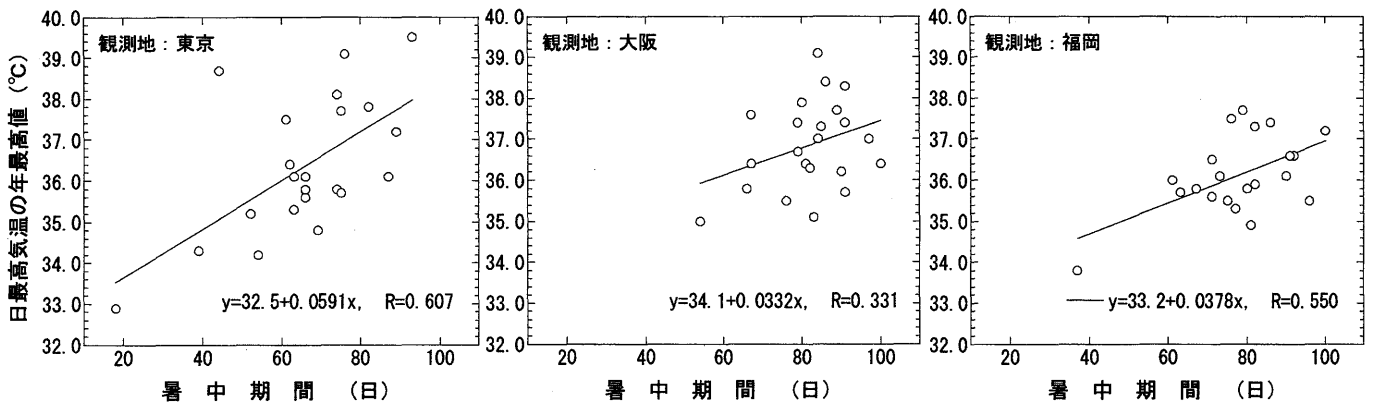


図6 暑中期間の実際の日数と日最高気温の最高値の関係

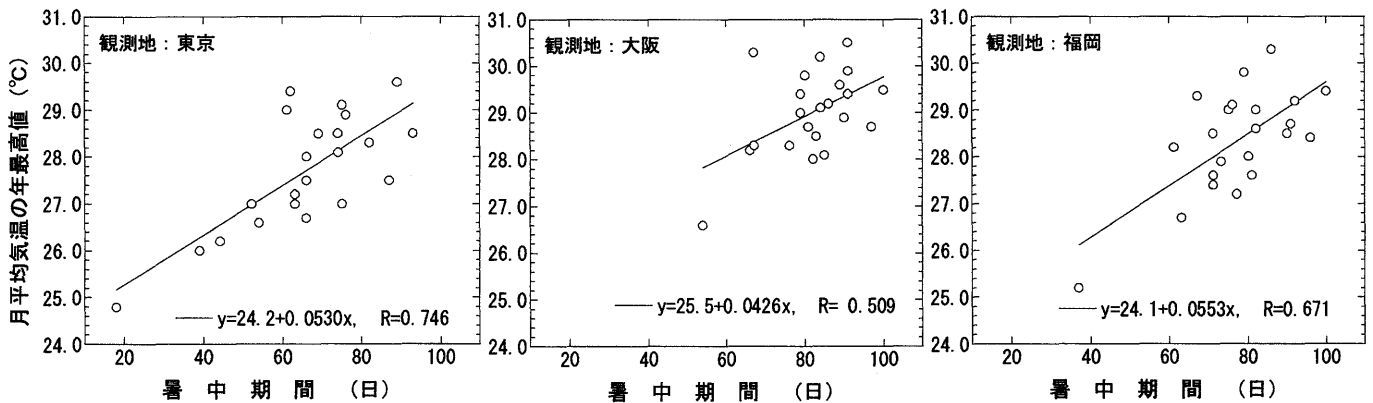


図7 暑中期間の実際の日数と月平均気温の最高値の関係

ては、平均値の誤差が小さく、標準偏差も通常の平年値を用いた場合と同程度である、10年平年値あたりを使用することが適当であると考えられる。先の図2に10年平年値による予測も併記している。本方法の有効性が明らかである。ただし、表1において札幌、仙台のような寒冷地でも暑中期間として適用すべき期間が生じているが、10年平年値を用いた方法ではほとんどの年で0日になっており、この点に関しては更なる検討が必要であると考えている。

3. 暑中環境の程度予測

3.1 暖候期予測による方法

冒頭で述べたように、暑中環境の過酷さの予測に関しては現状では、ほとんど検討がなされていない。そこで試みとして、図5に、暑中環境の短期的な過酷さの指標の一つである各年の日最高気温の最高値と、対応する年の2月に発表された暖候期予測において気温が平年より高いと予測された確率との関係を、一例として福岡について示している。日最高気温の最高値は、年によって異なるが7月から9月に出現し、全体として、8月に出現することが多いが、2000年以前では7月に出現する傾向が2000年以降よりも強く見られた。また同図に、同じく

暑中環境の長期的な過酷さの指標の一つである、各年の月平均気温の年最高値と、対応する年の暖候期予測において気温が平年より高いと予測された確率との関係を、一例として福岡について示している。日最高気温の最高値は、年によって異なるが、8月に出現することが多く、次いで7月に多く出現、今回調査を行った限りでは9月には出現していない。なお、両図で対象とするのは、暖候期予測が現在の形になった1997年から2012年までの16年間としている。暖候期予測において気温が平年より高い確率と、日平均気温、および月平均気温の年最高値には相関があり、前者が高くなるとともに両最高値も高くなる傾向が若干みられるが、相関係数はあまり高くない結果となった。

3.2 適用期間による方法

図6に、日最高気温の各年の最高値と、その年の暑中環境の実際の継続期間の関係を、一例として東京、大阪、福岡について示している。なお同図では表1とおなじ1991年から2012年までの22年間の気象データを用いている。図6に示した各都市とも、全体として暑中期間が長くなると日最高気温の最高値も高くなる傾向が見られるが、相関の強さは都市によって異なり、3都市中で最も相関係数の大きい東京の場合で0.6程度であった。図

7に、月平均気温の各年の最高値と、その年の暑中環境の実際の継続期間の関係を、一例として東京、大阪、福岡について示している。図6と同様に1991年から2012年までの気象データを用いている。全体として暑中期間が長くなると月平均気温の最高値も高くなる傾向が見られる。また、相関の強さも都市によって異なるが、日最高気温よりも相関が強く、3都市中で最も相関係数の大きい東京の場合に0.75、最も小さい大阪で0.5程度であった。以上のように暑中期間の長さや暑中環境の過酷さの間には相関がみられるが、比較的相関の強い月平均気温の場合でも都市によっては低い相関係数となる場合がみられた。適用期間の予測方法と合わせて更なる検討が必要である。

4. まとめ

本研究は、近年の暑中環境の気候特性を反映し、暑中コンクリート工事の適用期間の予測方法ならびに適用期間中の暑中環境の過酷さの予測方法について、気象庁のデータを用いて考察を行った。得られた知見をまとめて以下に示す。

- 1) 現行JASS5による、平年値を基準とする適用期間では、日平均気温が25℃を超える日数を少なく見積もる傾向にあり、暑中期間であるにもかかわらず、対策が講じられない期間が生じる可能性がある。
- 2) 適用期間の設定に用いる気温データを気象庁の平年値ではなく、例えば直近の10年間のデータから平年値に準じて算定した値を用いることによって、より現状に近い予測が可能となる。

- 3) 適用期間の長さや暑中環境の過酷さの指標である月平均気温の年最高値にはある程度の相関がみられたが、都市によっては相関係数が低くなる場合もあった。

〈謝辞〉

検討に際して、福岡管区気象台の皆様にご親切な助言、およびデータの提供を頂いた。また気象庁ホームページからは多くのデータを使用させていただいた。ここに敬意と謝意を表します。

〈参考文献〉

- 1) 梶田佳寛, 良好な鉄筋コンクリート造建築物を造るために, セメントジャーナル社, 2013.4
- 2) 日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009
- 3) 小山智幸, 小山田英弘, 伊藤是清, 暑中コンクリートの現状と対策, コンクリート工学, Vol.50, No.3, pp.239-244, 2012.3
- 4) 暑中コンクリートの施工指針・同解説, 日本建築学会, 2000.9
- 5) 気象庁ホームページ, 「過去の気象データ検索」(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>), 2012年より抜粋または同データを用いて作成
- 6) 気象庁ホームページ, 「気象統計観測の解説」(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/index.htm>), 2012年

(受理：平成25年5月23日)