

論文 実態調査に基づくコンクリートの打込み温度と外気温との関係に関する一考察

鬼頭 直希*1・溝渕 利明*2・小島 正朗*3・寺本 篤史*4

要旨：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 では、コンクリートの打込み温度は、打込み日の平均気温に一律 5℃を加えた値として設定している。一方で、現場では比較的頻繁に計測される外気温とコンクリート温度との実測値の関係を整理した資料が少ない。そこで、マスコンクリートのひび割れに関する調査委員会の検討の一環として、全国のプラントを対象に、出荷時と荷卸時のコンクリート温度と外気温のほか、呼び強度、セメント種別、運搬時間等について調査を行い、その実態の把握を行った。それらの調査結果から、本報文ではコンクリートの打込み温度と外気温の関係性を整理し、より実態に近い関係式を提案した。

キーワード：コンクリートの打込み温度、温度測定、運搬時間、温度上昇、外気温

1. はじめに

マスコンクリートの温度解析を行うにあたって、マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016¹⁾では、条文に、「温度解析に用いる境界条件、ならびに初期温度条件は対象とする構造物の環境条件、ならびに施工条件に基づき適切に選定しなければならない」と示され、解説には、「コンクリートの打込み温度は、練混ぜや運搬時の温度上昇を考慮し、打込み日の平均気温に 5℃を加えた値とする」と示されている。すなわち、コンクリートの打込み温度は、外気温が高いもしくは低いに関わらず、外気温に対して一律 5℃加えた値として設定している。

一方、日本建築学会マスコンクリートの温度ひび割れ制御指針・施工指針（案）・同解説²⁾では、文献³⁾を参考に、コンクリート温度と外気温の関係を示した図が掲載されている。その図からは、温度計の種類に関わらず、外気温が低い場合には、コンクリート温度は外気温に比べ高く、外気温が 25℃程度以上では、コンクリート温度と外気温がほぼ同じになっている。また、文献⁴⁾では、運搬時間 30 分の現場に荷卸したコンクリート温度測定結果が示されており、外気温が 15℃以下の場合、コンクリート温度は外気温よりも 3℃程度高く、外気温が 25℃を超えた範囲では、コンクリート温度は外気温よりも 1℃程度高く、外気温が高くなるほど打込み温度との差異が小さくなっている。

運搬中のコンクリートの温度上昇については、土木学会コンクリート標準示方書⁵⁾に、寒中および暑中コンクリートに関して示されている。寒中コンクリートの場合、打込み終了時のコンクリート温度は、運搬、打込み過程を経るにつれ、練り混ぜ時の温度よりも低下し、通常、運搬および打込み時間 1 時間につき、コンクリート温度

と周囲の気温との差は 15%としている。また、コンクリート標準示方書の改訂資料⁶⁾には、出荷時および荷卸時のコンクリート温度と運搬時間の関係が示されている。その図からは、高性能 AE 減水剤系を使用したコンクリートは、運搬時間に関わらずコンクリート温度はほぼ一定となっている。

このように、外気温とコンクリート温度の関係は、現場では比較的良く計測されているものの、日本全国を対象としたデータを整理した資料は少なく、実態を反映した指標が乏しい。一方で、初期温度であるコンクリートの打込み温度は、コンクリートのひび割れの解析結果に大きく影響を与えるため、重要な設計用値の一つといえる。そこで、地域、セメント種別、コンクリート強度、運搬時間などがコンクリートの打込み温度と外気温の关系到及ぼす影響を明らかにするとともに、これをコンクリートの温度ひび割れを検討する際の物性値の設定に適用されることを目的に、2016 年 10 月から 2019 年 9 月の期間を対象に、日本全国の各地域で使用されたコンクリートの打込み温度と外気温等の実態調査を行った。

2. 実態調査の概要

2.1 調査項目

実態調査にあたっては、日本全国の生コンプラントにご協力いただき、以下の項目について調査を実施した。

①対象期間：2016 年 10 月～2019 年 9 月

②呼び強度：21・24・27・30・33・36・40・42N/mm²

③セメント種別：N・BB

④コンクリート温度：出荷時、荷卸時、筒先のコンクリート温度（℃）

⑤外気温：コンクリート温度測定時の外気温（℃）

*1 東海旅客鉄道株式会社 建設工事部（正会員）

*2 法政大学 デザイン工学部都市環境デザイン工学科（正会員）

*3 竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部 建設材料 G（正会員）

*4 広島大学大学院 工学研究科（正会員）

⑥温度計の種類：ガラス製棒状温度計・抵抗温度計・熱電温度計・バイメタル温度計・その他から選択

⑦試験時刻：コンクリート温度の計測時刻

⑧運搬時間：出荷から荷卸しまでの運搬時間

⑨地域：都道府県，市町村

⑩対策の有無：夏季，冬季の打設において，コンクリート温度の対策の有無

2.2 地域、強度、温度計の種類の回答件数

表-1 に，都道府県別の回答件数を示す。21 都道府県から計 2432 件の回答が得られた。大阪府のデータが最も多くっており，九州地区，沖縄県からのデータは入手できていないが，全国的に広い地域のデータを集約することができた。

表-2 に，呼び強度およびセメント種別ごとの回答件数を示す。呼び強度は 21～42N/mm² の範囲で，大きな偏りなく回答が得られた。セメント種別は，普通セメント（以下，N）の使用が 8 割程度を占めており，高炉セメント B 種（以下，BB）の使用が 2 割程度である。

表-3 に，コンクリート温度および外気温測定に用いた温度計の種類を出荷時，荷卸時および筒先別に示す。コンクリート温度および外気温ともに，温度計の種類はガラス製棒状温度計の使用頻度が最も高く，全体の約 7 割以上であった。抵抗温度計および熱電温度計の回答があるが，使用されているのは一部の地域のプラントのみであり，全国的にはあまり使用されていないのが現状である。なお，筒先でのコンクリート温度および外気温を測定した回答結果は数件しか得られておらず，後述する分析には使用していない。

2.3 運搬時間と出荷時間帯

図-1，2 に，運搬時間別と出荷時間帯別の回答件数を示す。運搬時間は，16～30 分が最も多く半数を超えており，運搬時間が 60 分を超えるような場合の回答は，ほとんどなかった。また，出荷時間帯は午前 7 時台，8 時台の回答が多く，次いで午後 12 時台が多かった。出荷時間帯を調査した理由は，日中の温度変化が時間帯ごとに異なると考え，運搬時間におけるコンクリート温度の変化を出荷時間帯ごとに検証する目的で調査した。

3. コンクリート温度と外気温の関係

3.1 実態調査の概要

図-3 に，全データを対象とした出荷時と荷卸時のコンクリートの温度と外気温の関係を示す。出荷時，荷卸時ともに，コンクリート温度と外気温には線形的な相関関係となった。また，コンクリート温度は外気温に比べ，高い傾向を示した。ただし，マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016¹⁾では，「コンクリート温度は外気温に関わらず，外気温から一律+5℃」と記述されているも

表-1 都道府県別の回答

地方	都道府県	件数	件数	地方	都道府県	件数	件数
北海道	北海道	33	33	近畿	三重県	34	1391
東北	岩手県	10	117		滋賀県	6	
	宮城県	3			京都府	8	
	福島県	104			大阪府	1051	
関東	群馬県	64	341		兵庫県	201	
	千葉県	16			奈良県	4	
	東京都	232		和歌山県	87		
	神奈川県	29		中国	広島県	32	32
中部	福井県	35	470	四国	香川県	36	48
	静岡県	15		愛媛県	12		
		愛知県		420		計	21

表-2 呼び強度別の回答

呼び強度	セメント種別	件数	呼び強度	セメント種別	件数
21	N	78	33	N	279
	BB	130		BB	43
24	N	314	36	N	232
	BB	99		BB	18
27	N	411	40	N	148
	BB	66		BB	8
30	N	466	42	N	55
	BB	70		BB	12

表-3 温度測定に使用した温度計の種類

温度計の種類	出荷時		荷卸時		筒先	
	Co	外気温	Co	外気温	Co	外気温
ガラス製棒状温度計	1840	1420	1798	1700	0	0
抵抗温度計	505	579	455	7	0	0
熱電温度計	87	40	87	8	8	8
バイメタル温度計	0	0	0	0	0	0
その他	0	138	44	8	0	0
計	2432	2177	2384	1723	8	8

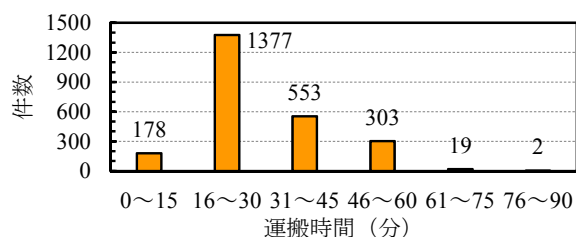


図-1 運搬時間ごとの回答件数

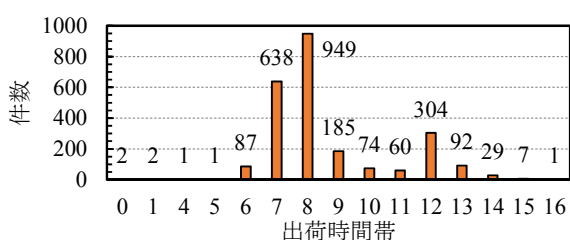


図-2 出荷時間帯ごとの回答件数

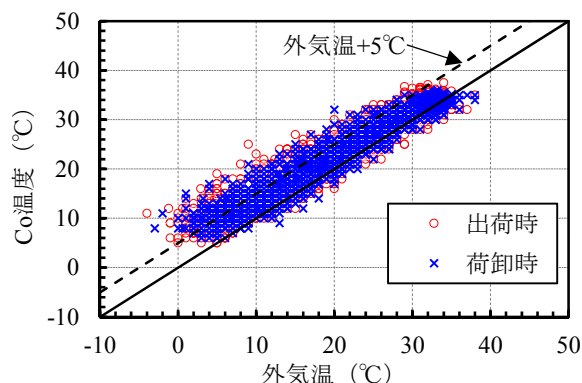


図-3 コンクリート温度と外気温の関係（全体）

の、本アンケート結果では出荷時、荷卸時ともに、外気温が低い場合、コンクリート温度は外気温に比べ高く、外気温が高くなるほど、コンクリート温度は外気温に近づく傾向となった。そこで、以降の分析では出荷時と荷卸時のコンクリート温度と外気温の関係について、地域、セメント、呼び強度およびコンクリート温度対策の有無の категорияに分けて検討することとした。

3.2 地域ごとの分析と考察

図-4 に、地方別のコンクリート温度と外気温の関係を、出荷時および荷卸時ごとに示す。図の縦軸は、コンクリート温度と外気温の差を示している。なお、北海道地区のデータについては、外気温の計測値が得られていなかったため、除外している。全ての地域において、外気温が高くなるほど、コンクリート温度と外気温の差は小さくなっており、地域に関わらず傾向が一致していることがわかる。また、出荷時と荷卸時で比較した場合、外気温が高いほど、コンクリート温度と外気温の差が小さくなる傾向は同じであるものの、東北、中部、近畿、中国四国地方では、外気温が低い場合において、出荷時のコンクリート温度が荷卸時に比べやや高い傾向にあった。これは、運搬により荷卸時のコンクリート温度が外気温に近づいたためと考えられる。したがって、コンクリートの打込み温度を外気温から設定する場合、荷卸時で得られたコンクリート温度と外気温との関係から算定した方がより実態に近い温度設定になると思われる。

3.3 セメント種別ごとの分析と考察

図-5 に、セメント種別ごとのコンクリート温度と外気温の関係を示す。図の縦軸は、図-4 と同様にコンクリート温度と外気温の差である。図-5 から、セメント種別に関わらず、外気温が高いほど、コンクリート温度と外気温の差が小さくなる傾向となった。また、出荷時と荷卸時では外気温が低い場合に、出荷時のコンクリート温度が荷卸時に比べやや高い傾向を示した。一方、コンクリートの打込み温度を外気温の近似式として算出した場合、例えば外気温が 30℃ の場合、荷卸時のコンクリート温度は N が 31.2℃、BB が 30.0℃ となり、その差が 1.2℃ となる。これは、コンクリートの温度応力ひび割れの解析結果に影響を与える可能性があると考えられる。

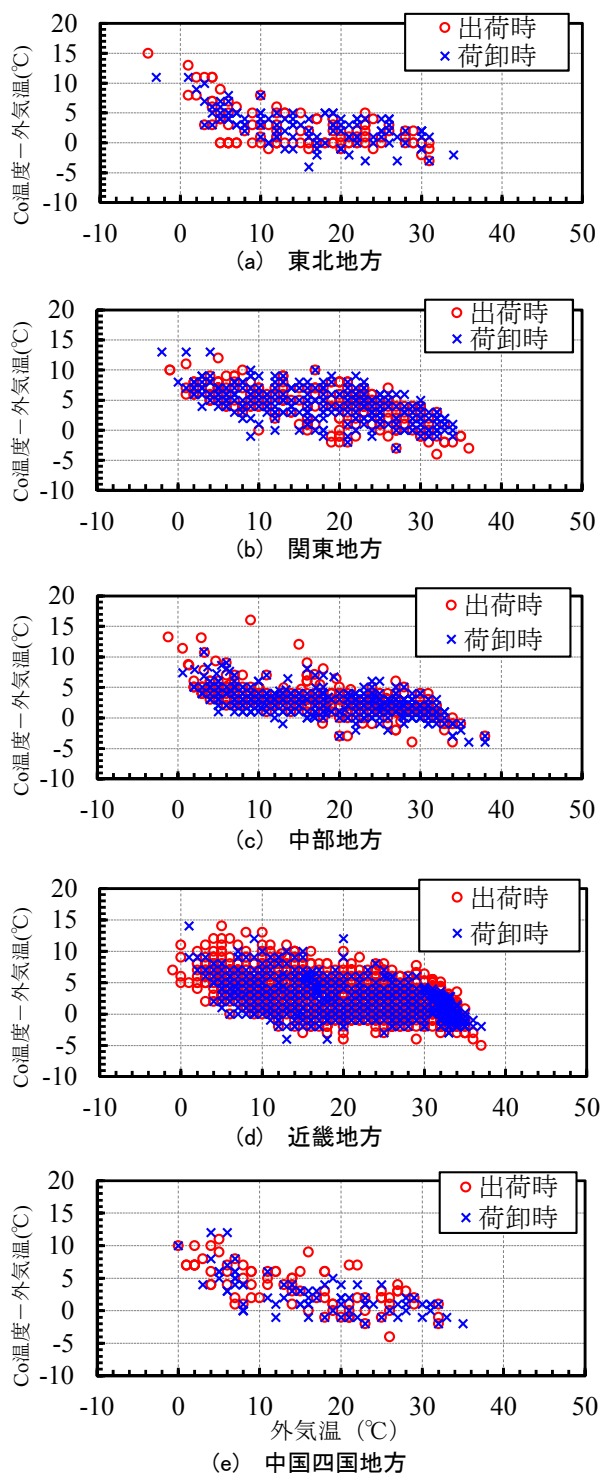


図-4 地方別の分析（コンクリート温度と外気温の差）

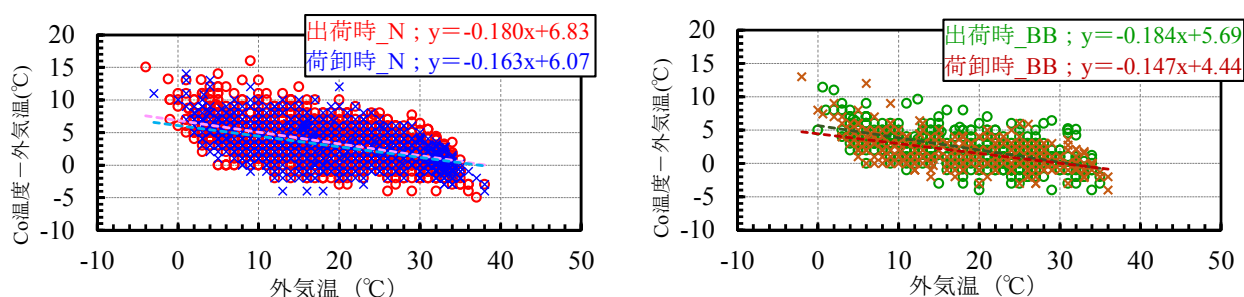


図-5 セメント種別の分析（コンクリート温度と外気温の差）

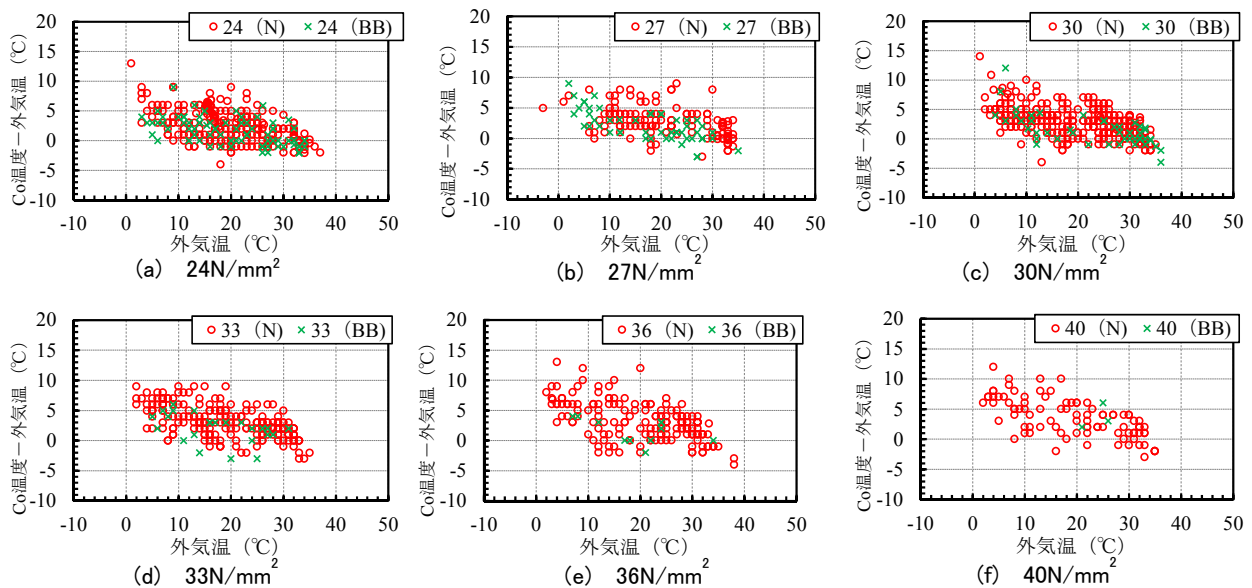


図-6 呼び強度別の分析（荷卸時のコンクリート温度と外気温の関係）

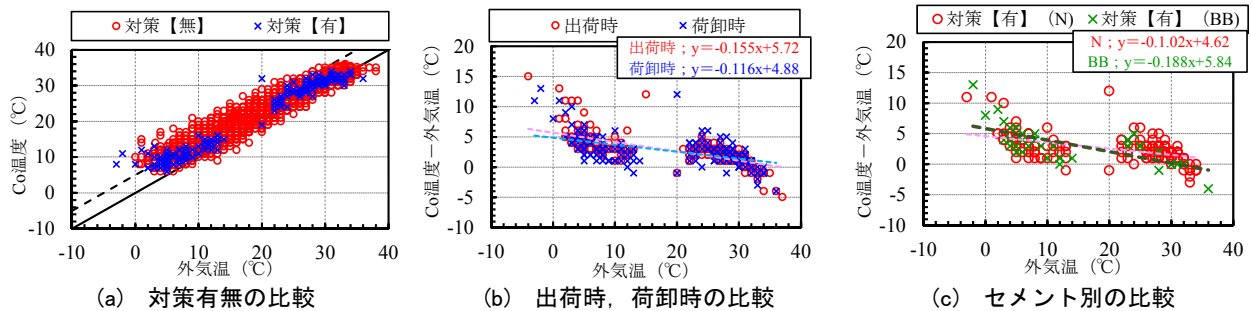


図-7 コンクリート温度対策の有無の分析（荷卸時のコンクリート温度と外気温の関係）

したがって、今回のアンケート結果からではあるが、コンクリートの打込み温度を外気温から設定する場合、より詳細に検討するためには、セメント種類ごとに分けて設定することも視野に入れた検討を今後行っていく必要があると思われる。

3.4 呼び強度別の分析と考察

図-6 に、呼び強度別のコンクリート温度と外気温の関係を示す。コンクリート温度と外気温は、荷卸時に計測された結果である。また、3.3 においてセメント種別でのコンクリート温度と外気温の差が異なった結果となったことから、セメントごとに示すこととした。呼び強度別のコンクリート温度と外気温の関係は、呼び強度に関わらず、外気温が高いほどコンクリート温度と外気温の差が小さくなる傾向を示した。また、セメント種別でみると、N に比べ BB の方が、コンクリート温度が低く、外気温との差が小さくなる傾向にある。なお、図には、呼び強度 21N/mm² および 42N/mm² の結果を省略しているが、全て同様の傾向であった。

3.5 温度対策を実施したコンクリートの分析と考察

夏季もしくは冬季のコンクリート打設において、温度対策を実施したコンクリートは、全 2432 件中 245 件であ

った。対策内容は主に、練り混ぜ水温調整（冷却水、温水使用を含む）、混和剤使用量による調整、ドラム遮断塗装などであった。図-7 (a) に、温度対策の有無について、コンクリート温度と外気温の関係を示す。温度対策を実施したコンクリートは、外気温が 10℃以下もしくは 25℃以上の場合に多い結果となった。図-7 (b) に、温度対策を実施したコンクリート温度と外気温の差を縦軸とし、出荷時と荷卸時ごとに外気温との関係を示す。温度対策を実施した場合も、外気温が高いほどコンクリート温度と外気温の差が小さくなる傾向を示した。ただし、出荷時と荷卸時では、両者に顕著な差はみられなかった。図-7 (c) に、温度対策を実施したコンクリート温度と外気温の差を縦軸に、セメント別に外気温との関係を示す。セメント別に分類しても、気温が高いほど、コンクリート温度と外気温の差が小さくなる結果となった。ただし、N に比べ BB の方がコンクリート温度が低くなるという傾向は顕著にはみられなかった。これは、セメント種別に関わらず、水温調整、混和剤使用量による調整、ドラム遮断熱などのコンクリート温度対策により、コンクリート温度が適切に管理されているためではないかと思われる。

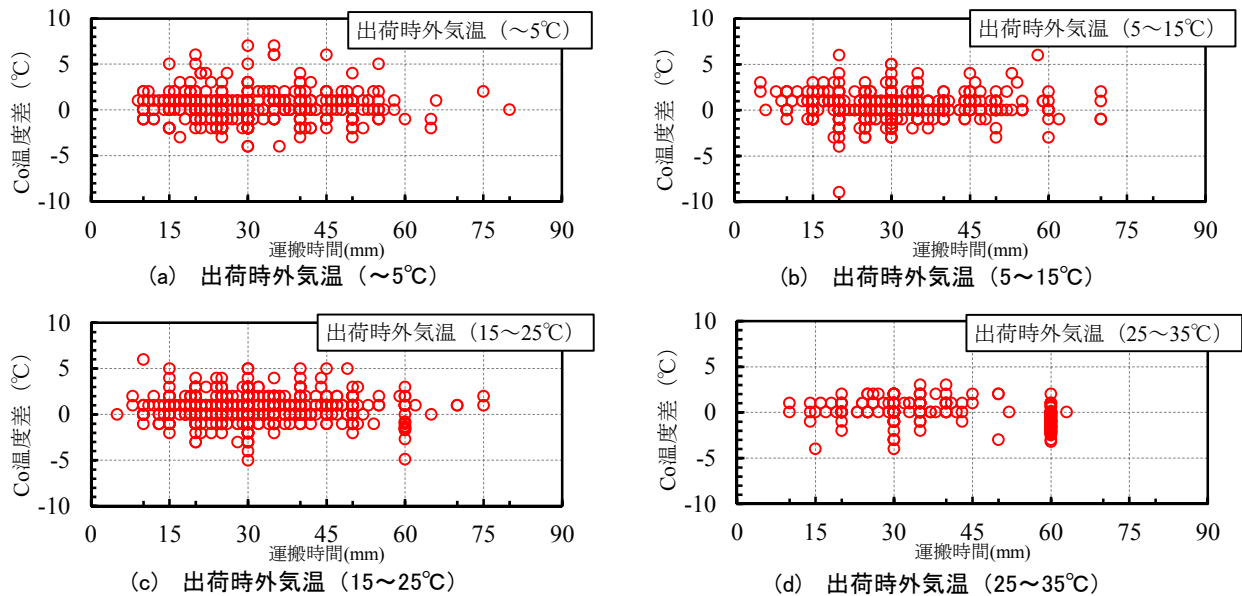


図-8 運搬時間によるコンクリート温度変化

4. 運搬時間によるコンクリート温度への影響

4.1 外気温ごとの分析と考察

土木学会コンクリート標準示方書⁵⁾では、寒中・暑中コンクリートにて、運搬時間等を考慮した打込み終了時のコンクリート温度の算定式が示されている。また、建築工事標準仕様書 JASS 5⁷⁾の暑中コンクリートでは、運搬中のコンクリート温度の変化量が、外気温とコンクリート温度との差に比例すると仮定し、荷卸時のコンクリート温度の算定式が示されている。そこで、調査結果を外気温別に分類し、分析を行った。

図-8 に、出荷時の外気温 5℃以下、5～15℃、15～25℃、25℃～35℃の別に、運搬時間と荷卸時および出荷時のコンクリート温度の差の関係を示す。ここで、図の縦軸は、荷卸時と出荷時のコンクリート温度の差であり、+側は、コンクリート温度が上昇、-側はコンクリート温度が下降したことを示している。

出荷時の気温に関わらず、また、運搬時間の長短に関わらず、コンクリート温度の変化は、概ね±5℃の範囲内であった。出荷時の外気温が 5℃以下の場合でも、コンクリート温度が運搬により顕著に下降するような傾向はみられなかった。また、出荷時外気温が 25～35℃の場合でも、コンクリート温度が運搬により顕著に上昇することはなかった。

4.2 出荷時間帯ごとの分析と考察

日中の温度変化は時間帯ごとに異なると考え、出荷時間帯ごとにコンクリート温度および外気温の出荷時と荷卸時の温度変化の分析を行った。図-9、10 に、最も件数が多かった午前8時台と午後12時台に出荷されたコンクリートの運搬時間ごとの温度変化を示す。図中には外気温の変化もあわせて示している。コンクリート温度の

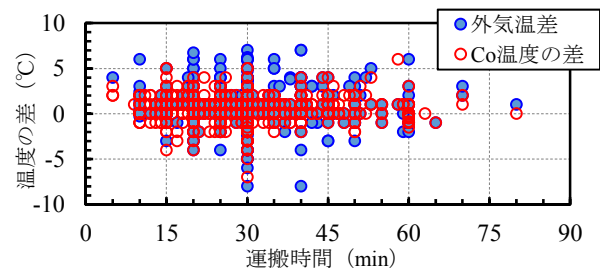


図-9 運搬によるコンクリート温度変化 (8 時台)

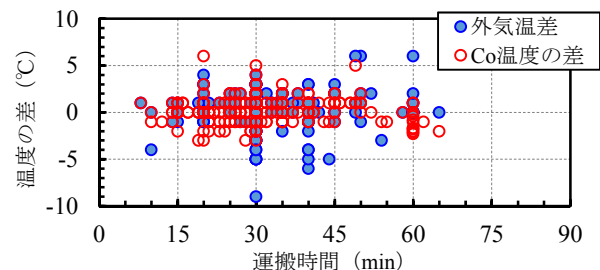


図-10 運搬によるコンクリート温度変化 (12 時台)

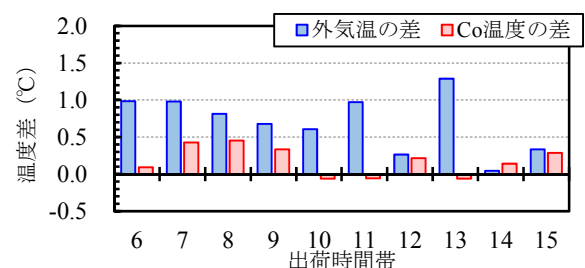


図-11 出荷時間帯ごとの温度変化の平均値

変化量は、出荷時間帯に関わらず概ね±5℃の範囲内であった。また、外気温の変化量は、コンクリート温度の変化に比べやや大きい傾向であった。図-11 に、出荷時間帯ごとの温度変化の平均値を示す。コンクリート温度は、出荷時間帯に関わらず小さいことがわかる。全時間帯の平均では、外気温の上昇量は 0.7℃/h、コンクリート温度

上昇は0.2℃/hであった。3時間毎の気温の変化の平均値は、気象庁の観測結果を参照すると午前6時～9時の場合概ね2～3℃程度であり、運搬時間が1時間以内であった今回の調査データと、外気温の上昇量の平均値は概ね一致している。よって、コンクリートの打込み温度を設定するにあたり、外気温は気象庁の過去の平均気温を用いることで設定可能であると考えられる。

5. 打込み時のコンクリート温度の算定式の提案

実態調査によって得られたコンクリート温度と外気温のデータから、打込み時のコンクリート温度の算定式を提案する。コンクリート温度と外気温は、線形的な関係があることから、算定式は一次関数とし、セメント種別ごとに設定することとした。また、使用するコンクリート温度は荷卸時のデータとし、地域、呼び強度ごとには顕著な傾向が表れなかったことから分類していない。コンクリート温度の設定式を式(1)、(2)に示す。

$$T_c = T + (-0.163T + 6.07) \quad \cdots N \text{ の場合} \quad (1)$$

$$T_c = T + (-0.147T + 4.44) \quad \cdots BB \text{ の場合} \quad (2)$$

ここに、 T_c ：打込み時のコンクリート温度（℃）、 T ：外気温（℃）（-1℃～38℃）である。

図-12、13に、荷卸時のコンクリート温度と外気温のデータに、式(1)、(2)の推定値もあわせて示す。図-12、13から、推定値は外気温が高いほど、コンクリート温度と外気温の差が小さくなる結果となっている。

6. まとめ

マスコンクリートの温度解析を行うにあたり、全国各地で使用されたコンクリートの打込み温度と外気温等の実態調査を行った結果、以下のことが確認できた。

- (1)温度測定に使用された温度計は、ガラス製棒状温度計が全体の7割以上、コンクリートの運搬時間は、30分以下が約半数を占める結果であった。
- (2)コンクリート温度と外気温には線形関係があり、地域、セメント、呼び強度に関わらず、外気温が高いほどコンクリート温度と外気温の差は小さくなる傾向にあった。
- (3)コンクリート温度対策を実施する際の外気温は、10℃以下、もしくは25℃以上の場合に多く、対策後も外気温が高いほどコンクリート温度と外気温の差は小さくなる傾向にあった。
- (4)運搬時間によるコンクリート温度の変化は小さく、運搬時のコンクリート温度変化に対する対策が適切に行われていると推測される。また、出荷時間帯においても、コンクリート温度変化は小さく、上昇量の平均値は0.2℃/hであった。
- (5)打込み時のコンクリート温度の算定式を提案した。これにより、打込み日の平均気温を気象庁の観測データを

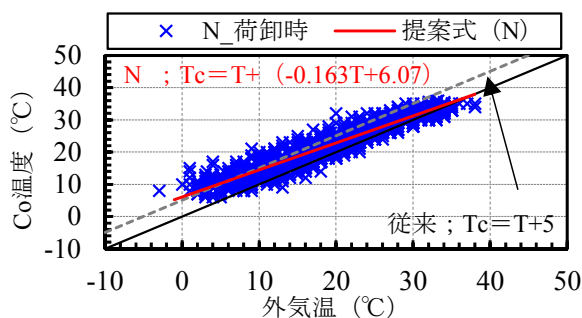


図-12 コンクリートの打込み温度の提案 (N)

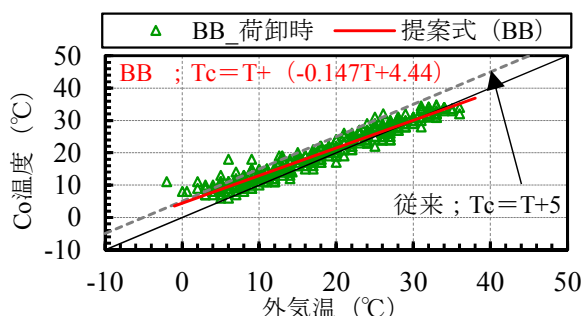


図-13 コンクリートの打込み温度の提案 (BB)

用いることで、コンクリートの打込み温度をより適切に設定できる可能性を見出した。

謝辞 本研究は、公益社団法人日本コンクリート工学・マスコンクリートのひび割れに関する調査委員会における「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016」¹⁾の改訂作業の一環として実施してものである。調査アンケートにご協力いただいた、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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 2016, 2016.11
- 2) 日本建築学会：マスコンクリートの温度ひび割れ制御指針・施工指針（案）・同解説, 2008
- 3) 棚野博之, 鈴木澄江, 中田善久, 井上和正, 米道修：フレッシュコンクリートの温度測定の現状とその影響に関する検討, 日本建築学会構造系論文集 第602号, pp.35-42, 2006.4
- 4) 溝渕利明：温度変化, コンクリート工学, Vol.43, No.5, p.40, 2005.5
- 5) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】, 2018.3
- 6) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書改訂資料, 基本原則編・設計編・施工編, p.350, 2013.5
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説, JASS5, 鉄筋コンクリート工事, p.441, 2018.7