

論文 フレッシュコンクリートの温度測定に関する実験的検討

鈴木 澄江^{*1}・棚野 博之^{*2}・井上 和政^{*3}・中田 善久^{*4}

要旨：現在，国内にはフレッシュコンクリートの温度測定に関する規格はなく，海外規格としてASTM C1064-86などがある。これらを準用した場合，現場で測定用に用いられているペン型のアルコール温度計は使用できないことや，試料容器を別途用意する必要がある等，国内の建設現場においてフレッシュコンクリートの温度測定を行う場合には問題点が多い。本報告では，フレッシュコンクリートの温度測定に及ぼす温度計の種類，測定時間，試料の量，測定場所などの影響について検討した結果について述べるものである。

キーワード：コンクリート温度，温度計の種類，測定時間，試料の量，測定場所

1. はじめに

フレッシュコンクリートの練上がり温度や荷卸し時の温度が硬化後の強度発現性に影響を与えることは一般によく知られている^{1,2)}。そのため，関連学会の仕様書あるいは指針ではコンクリート温度の規定^{3,4)}が設けられており，コンクリートの打設が制限されている。

フレッシュコンクリートの温度測定方法に関しては，上記の指針⁵⁾の資料1に（コンクリート温度の測定方法）が記されているが，これは，ASTM C1064-86⁷⁾を翻訳したものである。そのため，これを準用して現場でフレッシュコンクリートの温度測定を行うと次のような問題点がある。

(1) “温度計の感温部を75mm以上浸漬し，そのままの状態温度を読みとる”と規定されているため，試料温度が20℃以下の場合，現場で一般的に使用されているペン型のアルコール温度計では読み取り部分が試料中に浸漬するため，測定が不可能である。

(2) ASTMに準ずれば，現在一般に測定対象とされているスランプ試験終了後の試料や

500cc程度のプラスチックビーカーに採取した試料は，規定外となり測定に使用できない。

(3) “温度計は，測定全範囲にわたって±0.5℃の精度を有するもの”と規定されているため，一般に使用されているアルコール温度計は，JISに規格がなく，精度が保証されないため使用できない。

(4) “最低2分以上または表示が安定するまで保持した後，温度を読み取る”と規定されているが，夏期や冬期など外気温とコンクリート温度が大きく異なる時期と標準期のように両方の温度差が比較的小さい時期とでは“表示が安定”するまでの時間は異なるが，“表示が安定”の確認方法または判定基準（目安）が記されていない。

その他，測定場所（屋外の日向・日陰，室内）の規定がないなど，コンクリートの正確な温度測定を行うためには建設現場の状況に即した詳細な検討が必要であるが，著者らが調査した範囲内では，前述のASTM C1064-86⁷⁾を除き，この種の検討や研究報告は見あたらない。

本報告は，フレッシュコンクリートの温度測

*1 (財) 建材試験センター 中央試験所 (正会員)

*2 (独) 建築研究所 材料研究グループ 工博 (正会員)

*3 (株) 竹中工務店 技術研究所 工博 (正会員)

*4 ものつくり大学 建設技能工芸学科 工博 (正会員)

定方法の要因として温度計の種類、測定時間、試料の量および測定場所などが測定結果に及ぼす影響を明らかにするために行ったものであり、ここでは3シーズン（標準期、夏期、冬期）において測定した結果からフレッシュコンクリートの温度測定方法の検討を行った。

2. 実験の概要

2.1 実験の要因と水準

温度測定試験の要因と水準を表-1に示す。

表-1 試験の要因と水準

要因	水準
温度計	4水準：アルコール温度計、バイメタル温度計、デジタル温度計、水銀温度計
測定時間	3水準：30秒、1分、3分
試料容量	2水準：約5リットル（スラング試験終了後の試料）、約30リットル（一輪車内試料）
測定場所	3水準：屋外（日向）、屋外（日陰）、室内

2.2 実験方法

実験は、5月下旬から12月下旬の約7ヶ月間に東京、神奈川、千葉、埼玉の1都3県、計5箇所の生コン工場および試験所の協力を得て、午前と午後の各1回ずつ、通常の製品出荷管理あるいは工程検査の試験時に並行して行った。測定状況の一例として、室内における一輪車での温度測定状況（写真左）と屋外（日向）における一輪車での温度測定状況（写真右）を写真-1に示す。

2.3 使用した温度計

実験に使用した温度計は、アルコール温度計、バイメタル温度計、デジタル温度計および水銀温度計の4種類である。

(1) アルコール温度計

アルコール温度計は、測定範囲-20℃～105℃、長さ30cmのアルコール封入ガラス製温度計とした。

(2) バイメタル温度計

バイメタル温度計は、JIS B 7542（工業用バ

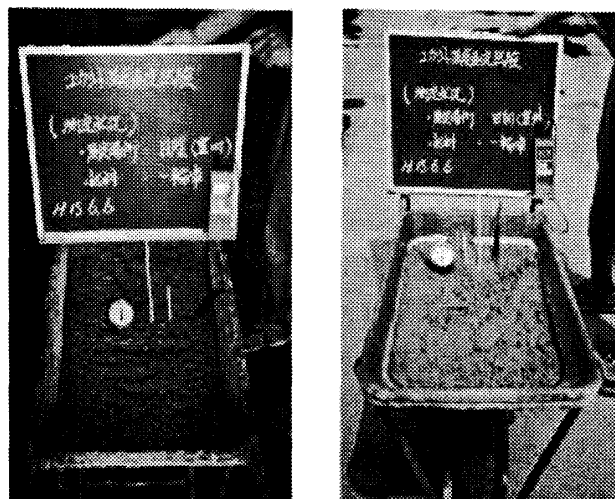


写真-1 測定状況の一例

イメタル式温度計）に規定される、精度（1目の読み）が0.5deg、表示部の直径100mm、感温部長さ100mmのバイメタル式温度計とした。

(3) デジタル温度計

デジタル温度計は、分解能0.1℃の抵抗温度計とした。

(4) 水銀温度計

水銀温度計は、JIS B 7411（一般用ガラス製棒状温度計）に規定される、精度（1目の読み）が1degの水銀封入ガラス製温度計とした。

なお、アルコール温度計以外の温度計については、温度校正を行ったものを使用した。

3. 実験結果及び考察

3.1 温度計の種類による影響

図-1に一輪車内の試料で測定した各温度計の測定結果（測定時間3分）および外気温の変化を試料番号順（測定日順）に示した。測定期間中の外気温は、1℃～36℃であった。温度計の種類によって測定結果に差はあるものの、フレッシュコンクリートの温度と外気温は比較的高いことが確認された。なお、本測定期間中の外気温についての特徴は、昨年までの同期間中の平均気温と比較すると、夏期の測定期間が例年になく冷夏であったものの、6月中は平均気温より1.2℃程度高く、7～8月中旬は3℃程度低く、9月中旬になって再び1.2℃高くなっ

た。なお、同期間中に35℃を超えたのは1日だけであった。

図-2に、アルコール温度計、バイメタル温度計および水銀温度計とデジタル温度計との温度差を試料番号順に示した。ここでデジタル温度計を基準としたのは、分解能が最も高く(0.1℃)、かつ時定数が小さく平衡温度に達するまでの測定時間が最も短いからである。同図より、アルコール温度計はデジタル温度計を含めた他の温度計よりも測定値が低く、約70%以上が0.5℃以上、13%以上が1.0℃以上、平均で0.92℃低くなることが確認された。

一方、水銀温度計の場合では測定数の約86%が±0.5℃以内となっており、ほぼデジタル温度計と同じ温度を示すことが確認された。バイメタル温度計の場合は、-0.5℃よりも低くなる場合が約12.5%あるが、測定数の約86%は±0.5℃の範囲内にあり、水銀温度計と同様、ほぼデジタル温度計と同じ温度を示すことが確認された。

以上のことから、デジタル温度計、水銀温度計およびバイメタル温度計の3種類は機器固有の分解能や読取り精度等の関係から±0.5℃程度の測定差はあるものの、十分に測定時間を取ればほぼ同じ温度の測定が可能であると考えられる。一方、アルコール温度計については、JIS等の製品規格もないこと、他の温度計と比較すると読取り値で約1℃低くなることから、その使用については注意が必要である。

3.2 測定時間の影響

図-3に測定時間30秒と3分の温度差および1分と3分の温度差を測定場所別(室内、屋外(日向))ならびに温度計ごとに示した。

アルコール温度計については、測定時間30秒と3分を比較すると温度差0.5℃を超える場合が約3%あったが1分以降3分までの変化はほぼ全ての測定で±0.5℃以内であった。

バイメタル温度計については、測定時間30秒以降3分までに0.5℃以上変化する場合が6%あり、測定時間1分以降でも約3%が1度以上変化

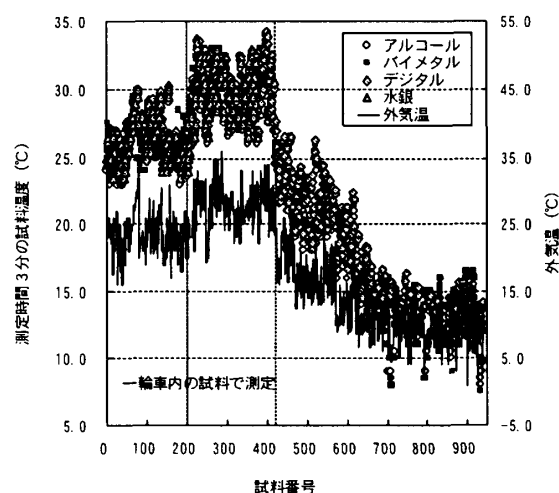


図-1 コンクリート温度と外気温の関係

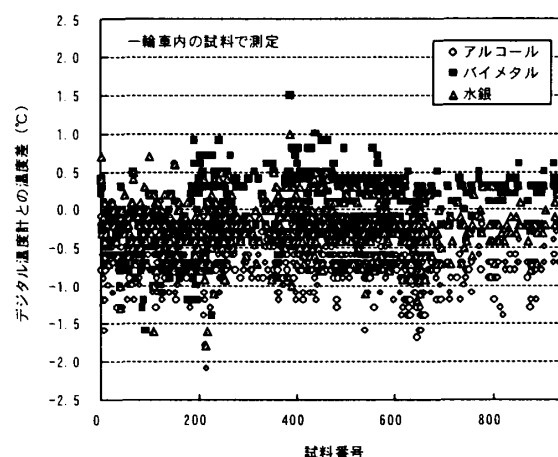


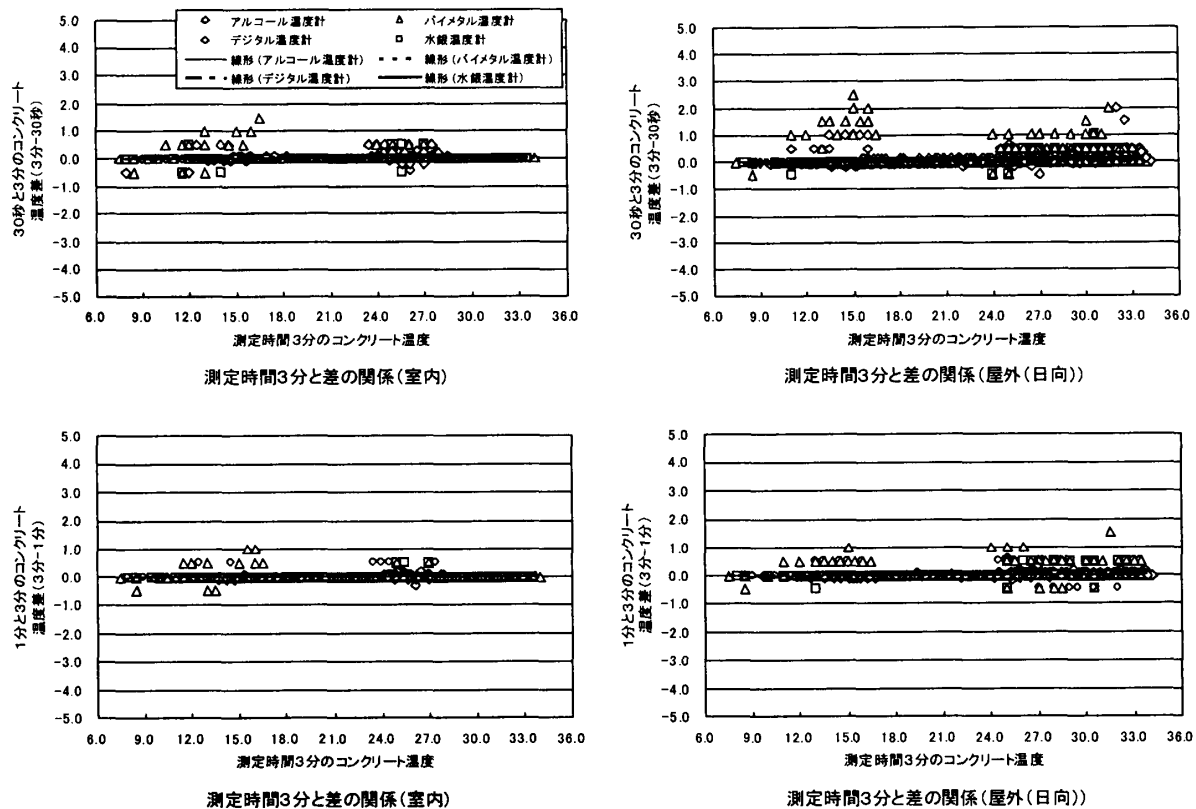
図-2 各種温度計とデジタル温度計との温度差

する場合があった。

デジタル温度計については、30秒以降3分までの温度の変化は全て±1℃以内であった。また、1分以降3分までの温度変化は、全て±0.5℃以内であり、87%が温度差0℃であった。

水銀温度計についても、30秒以降3分までの温度の変化はほぼ全て±1℃以内であり1分以降3分までに温度変化は±0.5℃以内であり、95%が温度差0℃であった。

本実験結果の範囲によれば、ASTM C1064-86に規定されている温度計の精度±0.5℃に相当する測定精度を得るための測定時間としてはアルコール温度計は1分以上、バイメタル温度計は3分、デジタル温度計および水銀温度計は30秒以上が適当であると考えられる。



図－3 測定場所別の測定時間と温度差の関係

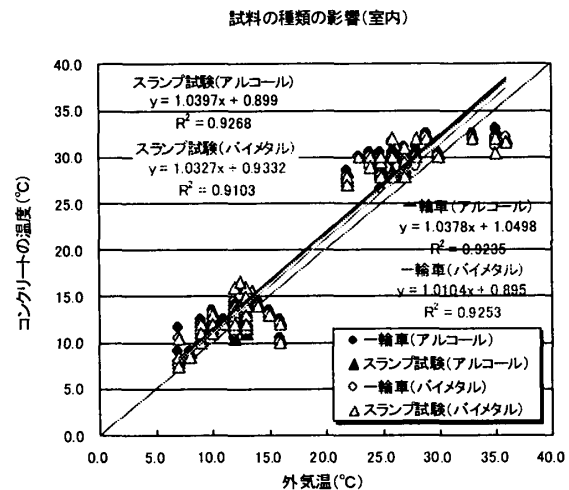
3.3 試料容量による影響

図－4 に容量約30リットルの試料（一輪車内の試料）と容量約5リットルの試料（スランプ試験終了後の試料）を使用し、アルコール温度計とバイメタル温度計で3分測定した場合の測定温度差を外気温との関係を示した。

試料の容量30リットルの方が5リットルの場合より若干温度が高くなる傾向も認められるが同図からは、試料容量による明確な影響は確認できなかった。

図－5 に容量約5リットルの試料を使用し、3種類の温度計（アルコール温度計、バイメタル温度計、水銀温度計）で3分測定した場合の屋外（日向）と室内との温度差（屋外（日向）での測定値－室内での測定値）と外気温との関係を示した。

また、図－6 には、容量約30リットルの試料を使用した場合の屋外（日向）および屋外（日陰）と室内との温度差を示した。スランプ試験終了後の試料を使用した場合には、外気温が高



図－4 試料容量の違いによるコンクリートの温度と外気温の関係

くなると屋外（日向）で測定した場合に、室内より1℃以上温度が高くなるものがバイメタル温度計で若干認められたが、一輪車内の試料を使用した場合には、屋外（日向）では室内よりも1℃以上高くなる場合が温度計の種類にかかわらず約11%（最大はアルコール温度計の14.5

%), 更に0.5℃以上高くなる場合が約55%以上あった(最大は, アルコール温度計の70%)。

これらの実験結果より, フレッシュコンクリートの温度測定には, 試料容量と測定場所の相互関係が影響を及ぼすものと考えられる。

3.4 測定場所の影響

図-7に測定場所別のコンクリート温度と外気温の関係を温度計の種類別に示した。いずれの温度計を用いて測定した場合でも, 屋外(日向)での測定結果は, 室内での測定結果より平均で0.4℃, 読み取り値で0.5℃高くなる可能性が確認された。また, 図-3に示したように測定場所と時間を複合して見ると, 一輪車の試料を用いて試験を行った場合には, 室内の測定時間1分以上でほとんど全ての温度計の測定値が平衡状態になるといえる。

しかし, 前述の3.3項で記したとおり試料の量によっても変化することから, 更に詳細な実験検討が必要である。

4. まとめ

温度計の種類, 測定時間, 試料の量および測定場所についてフレッシュコンクリートの温度測定に影響を及ぼすと考えられる諸要因について実験検討した結果, 以下のことが確認された。

(1) 測定時間が十分な場合, バイメタル温度計, 水銀温度計, デジタル温度計はほぼ同じ測定結果が得られる。アルコール温度計については, 他の温度計と比べ約1℃低くなるなど, その使用については注意が必要である。なお, バイメタル温度計については感温部が長いため, 感温部がコンクリート中にきちんと埋設されていない場合, 温度にばらつきが生じる可能性があることが確認された。

(2) 本実験の範囲では, $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 相当の測定精度を得る為の測定時間は, アルコール温度計で1分以上, バイメタル温度計で3分, デジタル温度計および水銀温度計で30秒以上が適当であると考えられる。

(3) 本実験結果の範囲では, 室内で測定する

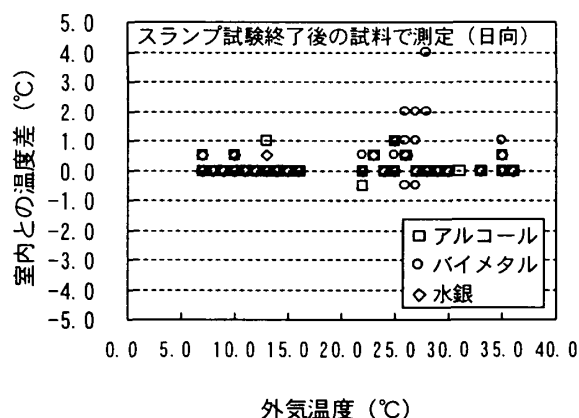


図-5 スラブ試験試料使用時の室内との温度差と外気温の関係

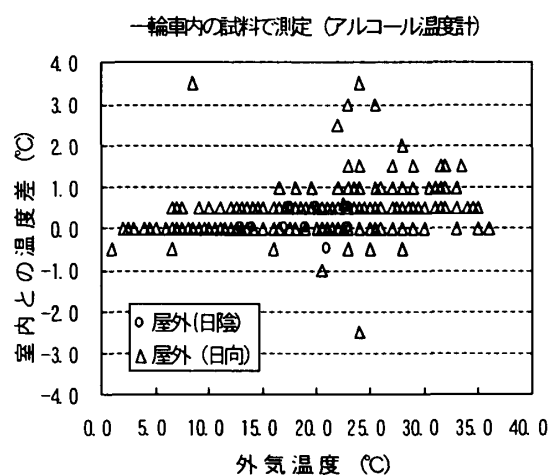


図-6 容量30ℓ試料使用時の室内との温度差と外気温の関係

場合, 測定時間が1分以上あれば温度計の種類にかかわらず, ほぼ平衡状態といえる温度が測定できると考えられる。

(4) フレッシュコンクリートの温度測定においては, 試料容量と測定場所が相互に関係するため, 更に詳細な検討が必要である。

なお, 本実験・調査は, (社)日本コンクリート工学協会に設置されたコンクリート試験方法JIS改正原案作成委員会(委員長: 福澤公夫 茨城大学教授)における2003年度新規JIS制定原案作成作業の一貫として実施しているものであり, 一部温度計については同協会から貸与して頂いた。

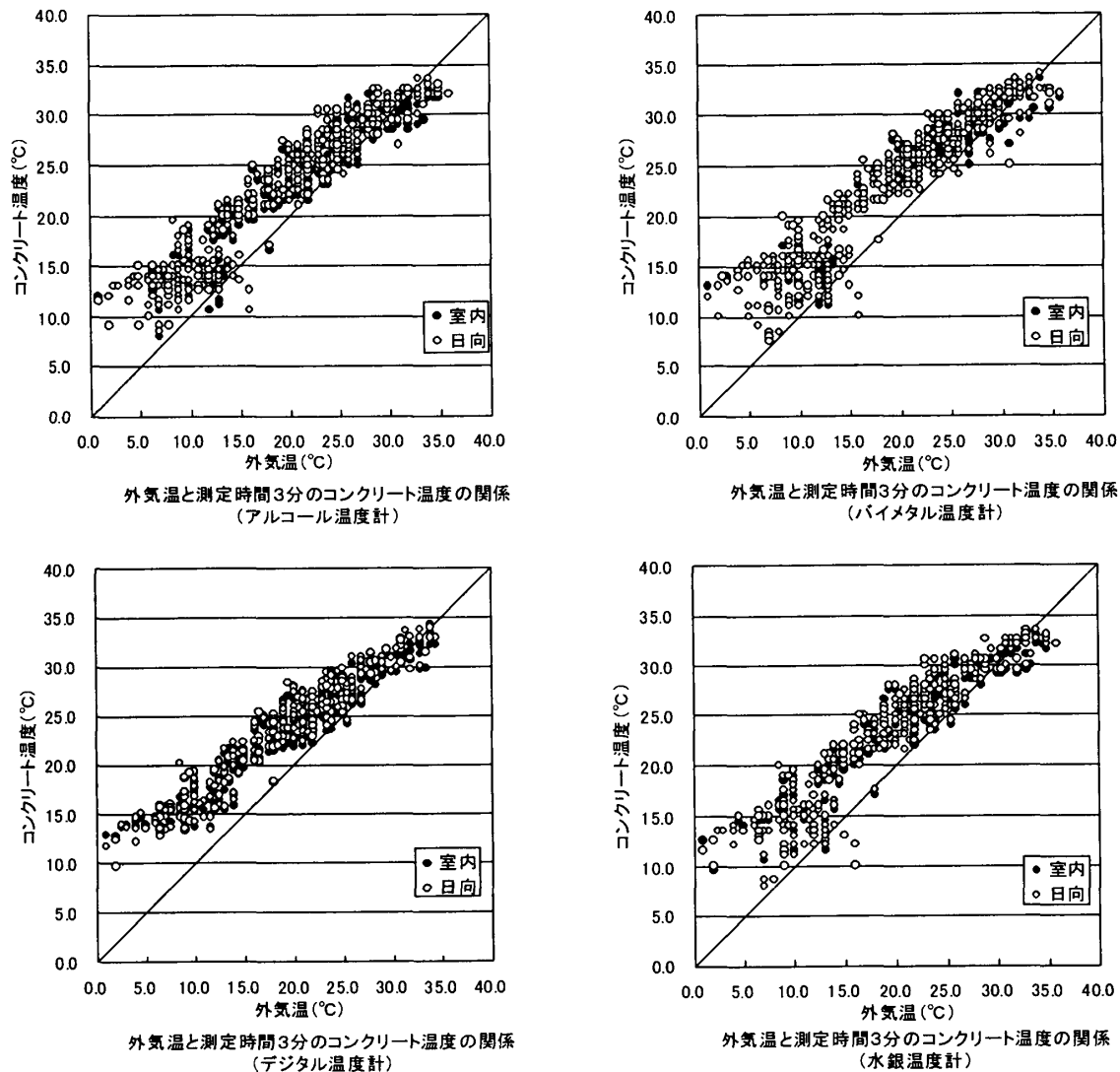


図-7 測定場所別のコンクリート温度と外気温の関係

謝辞

本実験を行うにあたり測定にご協力頂きました
 印旛菱光株式会社, 株式会社内山アドバンス,
 株式会社エバタ 三郷工場, 小山レミコン株式
 会社 埼玉工場および第一コンクリート株式
 会社の関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) Bureau of Reclamation: Concrete Material 8th ed., 1977
- 2) マスコンクリート技術の現状と動向: 土木学会, コンクリート技術シリーズ, No. 8, pp. 6~21, 1994
- 3) マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書: マスコンクリートの温度応力推定方法に関する既往の研究とその総括, 日本コンクリート工学協会, pp.1~46, 1985
- 4) 建築工事標準仕様書・同解説 5, 鉄筋コンクリート工事2003: 日本建築学会
- 5) 暑中コンクリートの施工指針(案)・同解説: 日本建築学会, 2000.9.15
- 6) 寒中コンクリート施工指針・同解説: 日本建築学会, 1998.2.5
- 7) ASTM C1064-86 (Reapproved 1993), standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland Cement Concrete