

論文 コンクリート床板の水分気化が表面温度におよぼす影響

伊藤憲雄^{*1}・三橋博三^{*2}・平井和喜^{*3}

要旨：従来の凍害危険度は外気温を基に算定されているが、コンクリートの表面から水分が蒸発することによって表面温度の低下が顕著になる現象に着目し実験的に検討したものである。凍害を考慮した温度範囲は、 0°C 未満と 0°C に近い正側の温度での確認が重要となるが、本文では、その基礎的実験として水セメント比が40・60%の試験体に熱電対を埋め込んだものを用い、常温時で測定される試験体の水分の気化による表面の温度降下を検討した。その結果、試験体の表面温度は、断続的な散水があること、また風速が大きいことにより温度降下が大きくなることを明らかにしている。

キーワード：気化，風速，表面温度，コンクリート床板，凍害

1. はじめに

コンクリートの凍害に関する研究成果のうち、凍害におよぼす外的要因とわが国の凍害危険度は、長谷川等[1]によって提案されている。また、冨板等はコンクリートの温度を気象要素から推定し、凍結融解回数と耐久性指数が60に至るまでの所要日数をマップで提案した[2]。しかし、積雪寒冷地と云われている地域でのコンクリート構造物には特に耐久性設計として耐凍害性は重要な課題であり、充分配慮されて設計、施工が行われていると思われるが、現在でも凍害による劣化現象が確認されていることは憂慮すべき点である。そこで筆者らはコンクリート構造物に凍害が発生する過程で、複数の関連要因のうち、特に外的要因としての気候要素が重要であると云う立場から検討を重ねてきた。

本研究ではコンクリート構造物を水平なコンクリート床板にモデル化して、冬季間に屋外に曝露したコンクリート床板が示す温度を測定し、その結果外気温が約 $5 \sim -5^{\circ}\text{C}$ の範囲でコンクリート床板の表面温度が、外気温より最大で 7.8°C ほど低くなることを確認している[3]。この温度変化は測定時刻前の気象を条件としてコンクリート床板に降雪や降雨による水分供給があり、若干の風を伴っていることなどから、コンクリート床板が含水した水分の気化と放射冷却による影響であると判断された。

本研究では既に予備実験[4]として実施した結果に基づき、常温下におけるコンクリート床板（以下、試験体と云う）への水分供給と風速の作用が伴う水分気化による表面温度の降下におよぼす影響を検討した。

2. 研究計画

2.1 研究の範囲

本研究では、コンクリート構造物の部位は水平な屋上スラブや庇などを想定する。試験体はコ

*1 宮城工業高等専門学校助教授 建築学科、(正会員)

*2 東北大学教授 工学部建築学科、工博(正会員)

*3 東北大学教授 工学部建築学科、工博(正会員)

ンクリートの種類を配慮して水セメント比を40%、60%の2種類とする。また、実験に際しての温度環境を常温とする。なお試験体の平面形状やその大きさが温度変化におよぼす影響については検討の対象から除外する。

2.2 コンクリートの構成材料とその調合

セメントは普通ポルトランドセメント（比重：3.15）、細骨材（表乾比重：2.54、吸水率：2.90%、粗粒率：2.67）は宮城県阿武隈川流域産、粗骨材（表乾比重：2.88、吸水率：0.50%、粗粒率：6.74）は福島県相馬市山土地内産、混和剤は高性能AE減水剤、練り混ぜ水は水道水を使用した。コンクリートの調合条件は、水セメント比が40%と60%とし、スランプは18cmとした。コンクリートの調合は表-1のとおりである。

表-1 コンクリートの調合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメ ント比 (%)	細 骨 材 率 (%)	空気量 (%)	単 位 量 (Kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
15	40	38.5	0.5	182	456	620	1119	6.8
15	60	42.8	1.6	183	304	740	1119	4.6

2.3 試験体とその養生

試験体の寸法は40×40×6cmとし、各水セメント比ごとに一体ずつ作製した。実験時の試験体は、コンクリートの打込み面以外を厚さ50mmの断熱材で被覆して、一面からの水分と風速の影響を検討した。試験体の周囲を断熱材で被覆することによりコンクリートの寸法が限りなく大きく、コンクリートの打込み面のみからの放熱を観察できることになる。なお、コンクリートの試験体は作製後、4週間標準養生とする。

2.4 測定項目と実験方法

実験では試作の風洞を用い、各実験条件に関して重量変化と試験体の温度変化を測定した。実験条件は各試験体の含水状態は表乾状態を基本とし、散水の有無と風速を3～4水準とした組み合わせとした。水分の総蒸発量は各試験体について実験実施の前後の重量を測定し、断続的な散水を行った試験体は散水量を加えて、水分の変化量を確認した。また試験体の温

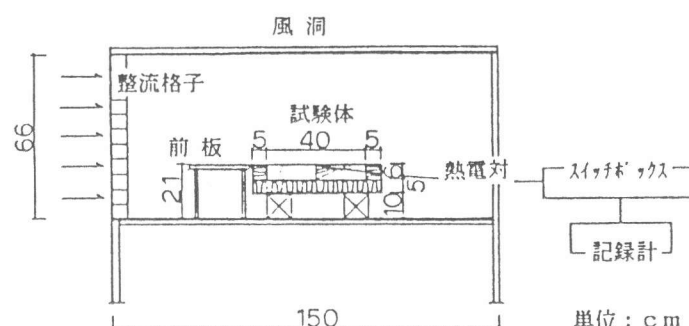


図1 実験装置と試験体の概要

度測定は試験体中央部分の表面から0、0.5、1、2、4、6cmの位置で行うため治具を用い、各実験条件が表面温度変化におよぼす影響を検討した。試験体の温度測定では、熱電対（銅-コンスタンタン）をセンサーとし、先端部分はバーナーで溶融し直径が約1mmの球状とした後、

熱電対の先端部分を被覆し、約1分間隔を基準として温度変化を確認しながら万能デジタル測定器で記録した。なお、熱電対の位置で0 cmではコンクリートが沈下した後、型枠の上端に合わせて同調合のモルタルを置き先端部分が限りなく隠れるようにした。さらに、試験体への風速は散水を行わない場合では1.5、2.5、4.5 m/sの3水準、断続的な散水を行う場合では1.5、2.5、3.5、4.5 m/sの4水準とした。なお、試験体への断続的な散水はスプレーを用い、その散水量は0.9 g/回とした。風はファンにより再現し、試験体に対する風の乱れは整流格子と試験体の表面と同じ高さに設置した前板で制御した。風速は各試験体の中心部分の値とする。実験に関する試験体ならびに実験装置の概要は図1に示すとおりである。

3. 結果および考察

3.1 コンクリート床板の温度変化

本実験を行った恒温室の環境は、室温が19.8~21.4℃、湿度が62~65%の範囲内であった。コンクリート床板の各位置で測定された温度変化のうち、最も顕著な温度低下は風速が4.5 m/sの場合に確認された。概ね、風速の変化に伴い各試験体共、温度の低下が大きくなる傾向が得られた。また、散水の有無による温度変化のうち、その低下量の大きい試験体は断続的な散水が行われた場合で、散水が行われない場合は比較的少なく特に水セメント比が40%の試験体では最も温度の低下量が少なかった。図2~3は試験体の各測定点のうち、表面から0、2、4、6 cm

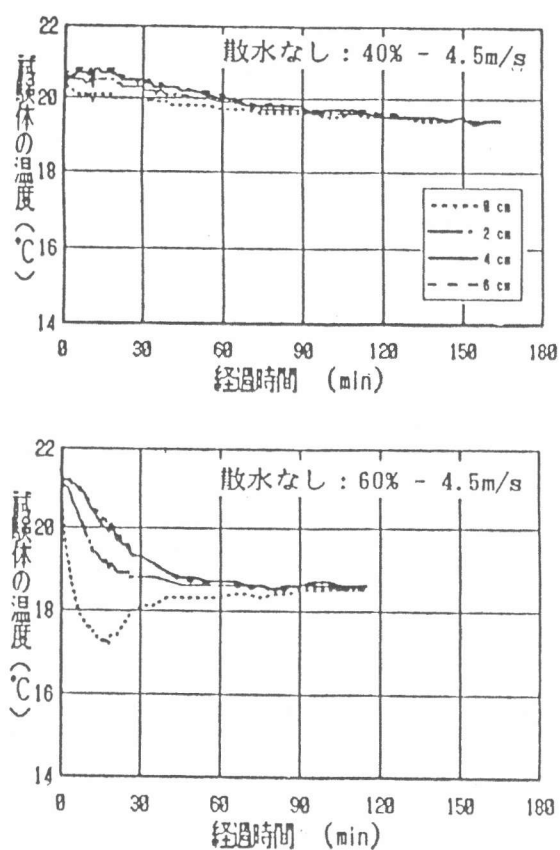


図2 経過時間と試験体の温度変化

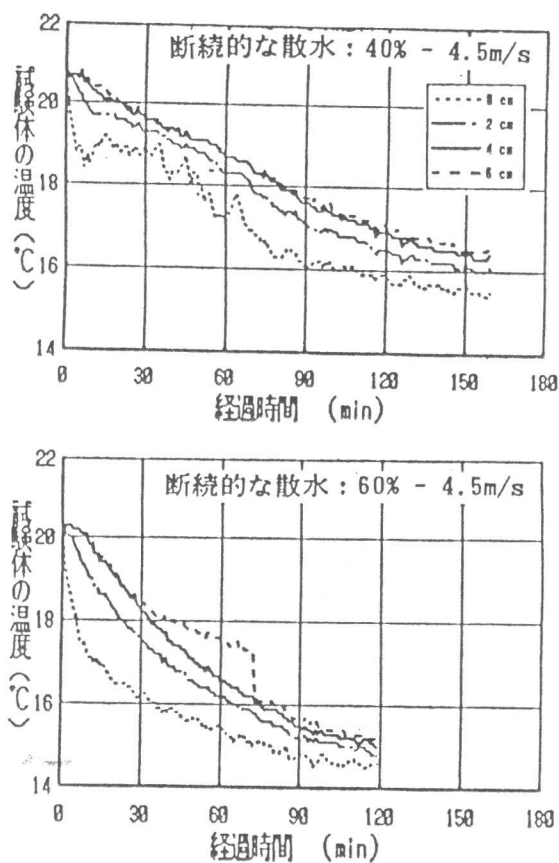


図3 経過時間と試験体の温度変化

の位置で測定された温度変化を散水の有無と各水セメント比ごとに図示したものである。

3.2 コンクリート床板の表面温度

各試験体が示す表面温度の変化は、散水の有無と各水セメント比ごとに図示すると図4～5のとおりである。また、表-2に温度低下量、実験実施から最低温度に至るまでの時間、試験体の水分の総蒸発量および散水量の結果を示す。

表-2 温度低下量と水分の総蒸発量に関する一覧表

W/C (%)	風速 (m/s)	散水なし			断続的な散水			
		温度低下量 (°C)	時間 (min)	総蒸発量 (Kgr)	温度低下量 (°C)	時間 (min)	総蒸発量 (Kgr)	散水量 (Kgr)
40	1.5	0.2	2	0.00	3.5	137	0.04	0.0278
	2.5	1.0	146	0.02	4.1	149	0.10	0.0639
	3.5	-	-	-	4.3	167	0.08	0.0743
	4.5	1.1	134	0.02	5.1	156	0.08	0.0503
60	1.5	2.5	38	0.02	4.2	132	0.08	0.0357
	2.5	3.0	41	0.02	4.2	133	0.10	0.0558
	3.5	-	-	-	4.4	93	0.08	0.0347
	4.5	3.6	16	0.01	5.6	105	0.08	0.0469

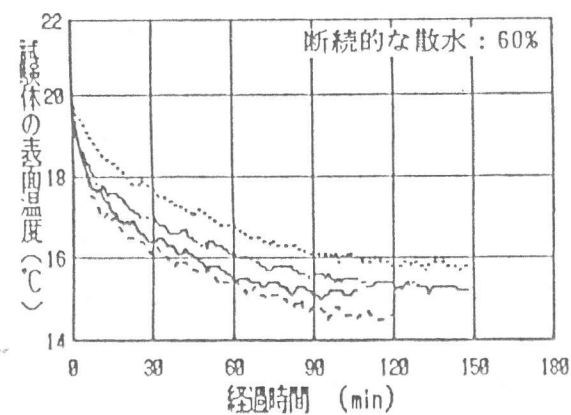
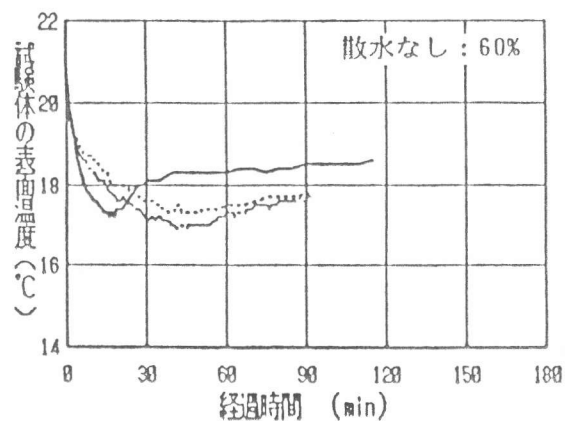
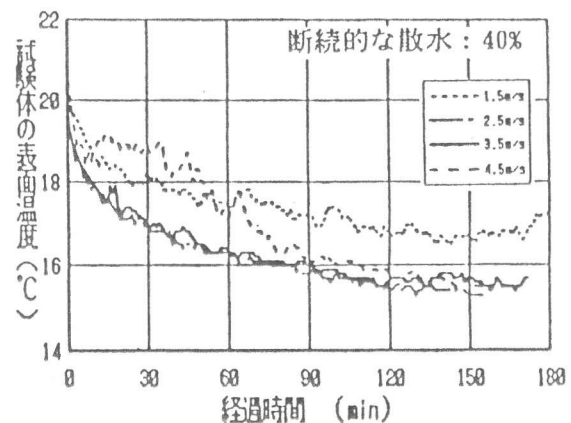
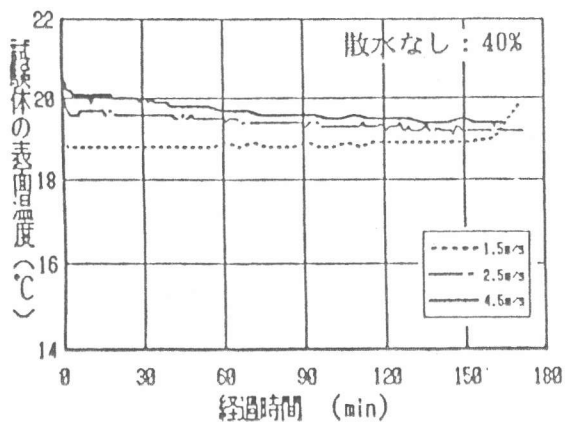


図4 各風速による表面温度の変化

図5 各風速による表面温度の変化

表中の名総蒸発量は、実験開始前と終了時の重量変化量及び散水量が最低温度に至るまでの時間を用い比例配分した値を示した。

図4は散水を行わない場合の温度変化を示したものである。試験体の表面温度の低下は相対的に小さく、水セメント比が40%の試験体では最大 1.1℃のみであった。

散水を行わない試験体では、一度吸水された水分のみが表面から風の作用を受け、徐々に気化して温度低下に影響を及ぼすと考えられる。水セメント比の相違による試験体の表面温度への影響については、40%の試験体における空気量が極めて少なく0.5%であったことが試験体の吸水量を減らし、気化されるべき水量が少なかったため、60%の試験体に比べて温度の低下が小さくなったと考えられる。試験体の温度低下量と水分の総蒸発量に関連性が認められる。

図5は断続的な散水を試みた場合の試験体表面の温度変化を示したものである。試験体の温度低下の傾向は図4の場合と異なり、経過時間と共に表面温度が風速の違いによって低下している。その温度低下量は水セメント比が40%で3.5~5.1℃まで風速の変化と共に増し、水セメント比が60%でも4.2~5.6℃と大きい。本実験の範囲内では、表面温度低下量と水分の総蒸発量との間に強い関連性は認められなかった。なお、表面温度の低下率は低下量を実験開始前の温度との比率として求めると、風速の変化に伴い散水なしの場合では水セメント比40%で1.1~5.4%、水セメント比が60%で12.6~17.3%、断続的な散水の場合では前者が17.5~24.9%、後者が21.1~27.9%であった。

3.3 コンクリート床板の水分気化に及ぼす風速と水セメント比の影響

各試験体の温度は、前節までに示した試験体の温度低下量とその重量減少量から、試験体の含水分が風の作用によって気化が助長され、その結果試験体の表面温度を低下させたものであると判断される。各試験体の表面温度の低下に及ぼす風速と水セメント比の影響は分散分析を2元配置法によって計算した結果、断続的な散水を行った試験体では風速に5%、散水を行わない場合では水セメント比に1%の有意差が認められ、試験体の表面温度に影響を及ぼしていることが明らかとなった。そこで、風速と試験体の表面温度の低下量との関係を図6に示す。図示の如く、各試験体毎に両者間でいずれも相関係数が0.8以上が算出され強い相関性が認められた。

本文では、常温時の場合について述べたが、既に報告[3]した屋外に曝露したコンクリート床板の温度変化から、外気温が0℃以下の場合でも表面温度の低下が確認されて居り、実験条件の温度設定を低くしても同様の傾向が得られると考えられる。

したがって、今後は外気温が0℃を境に、正及び負側での水分の気化・昇華と凝固熱がコンクリートの表面温度に及ぼす影響と放射冷却による影響を形態係数を配慮しながら、屋外曝露試験を試みて温度変化と併せて検討することによって、両者の影響が明らかになると考えられる。即ち、冬季間におけるコンクリート構造物への気象条件が及ぼす影響がより明確に考察できるよう

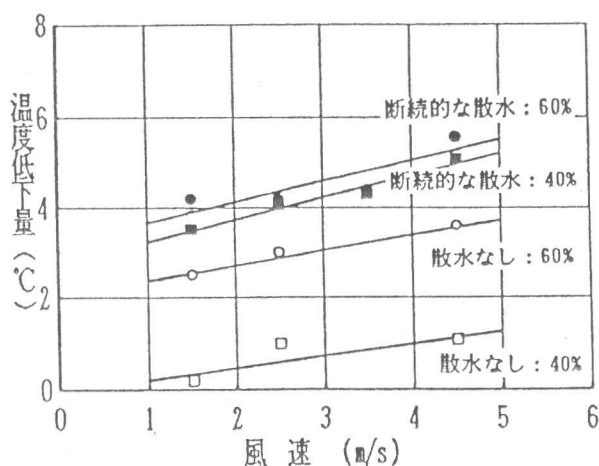


図6 風速と表面温度の低下量との関係

になると推察される。

4. まとめ

含水状態にあるコンクリート床板が風の作用によって気化が助長されて、コンクリート床板の温度を低下させる物理現象を実験的に検証するために、水セメント比が40%と60%の試験体について、散水の有無と風速を作用させた場合に確認された試験体の温度変化への影響は、本実験の範囲内で次のとおりまとめることができる。

- (1) 各試験体の重量減少量から、本実験条件の範囲内で確認された温度低下は試験体の含有水分が風速の作用によって気化する際に生じたものであることが分かった。
- (2) 試験体への散水の有無が温度低下量に及ぼす影響は、各試験体で断続的な散水を行った水セメント比が60%の試験体で温度低下量に顕著な傾向が確認された。その温度低下量の最大値は5.6°Cであった。
- (3) 風速が試験体の温度低下に及ぼす影響は、風速が大きいほど温度低下に寄与していることが確認された。風速と試験体の温度低下量との相関係数は、何れも 0.8以上が算出された。
- (4) 本実験の範囲内で、試験体の温度低下量に影響を及ぼした要因は、分散分析の結果、散水のない場合では水セメント比に1%の有意差が、断続的な散水では風速に5%の有意差が認められた。

以上が本実験の範囲内で明かとなった。本実験では常温での試みであったが、更に実験的検討を重ねる必要があると思われる。

【謝辞】

本実験を実施するに当たり、東北工業大学建築学科 四戸英男教授には実験環境について、ご配慮頂きました。また、宮城工業高等専門学校建築学科 内海康雄助教授には貴重なご意見を頂きました。さらに、本実験では東北工業大学建築学科 沼田 修助手、村上武志助手、本校建築学科 森 弘則技官に作業の一部をお手伝い頂きました。実験の補助は東北工業大学建築学科 三浦麻里（平成6年度卒業研究生）さん、宮城工業高等専門学校建築学科 杉山久恵（平成6年度卒業研究生）さんにお手伝い頂きました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 長谷川寿夫、洪 悦郎：コンクリートの凍害に及ぼす外的要因の影響とわが国の凍害危険度、北海道大学 工学部研究報告 第92号、昭和54年1月
- 2) 富板 崇、浜 幸雄、田畑雅幸、鎌田英治：コンクリートの凍害を対象とした気象環境評価の一提案、自然環境とコンクリート性能に関するシンポジウム論文集、1993.5
- 3) 伊藤憲雄、平井和喜、成田 健：冬季に暴露したコンクリート板の温度変化に及ぼす気候要素の影響、第5回雪工学シンポジウム、pp.259-266、1989.1
- 4) 伊藤憲雄、平井和喜：凍害発生要因に関する水分気化とコンクリート板の温度降下、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、pp.57-58、1990.10