

論文 加熱・乾燥を受けるコンクリート部材の含水率分布の実測と解析的検討

酒井 正樹^{*1}・人見 尚^{*2}・平田 隆祥^{*2}・一瀬 賢一^{*2}

要旨: 長期にわたって加熱を受ける部材の健全性を評価するためには、加熱・乾燥を受けるコンクリート内部の温度、含水率の変化を把握する必要がある。本研究は一方向から加熱・乾燥を受ける模擬部材の含水率分布の実測と解析による検討を行ったものである。得られた結果を次に示す。(1)一般建築物の壁を想定した模擬部材の乾燥試験では、乾燥期間 882 日において模擬部材の中心部まで含水率の低下が見られた。(2)マスコンクリートを想定した模擬部材の片面加熱試験では、加熱面の水分境界条件の違いにより加熱面近傍の含水率勾配の違いが見られた。(3)水分移動モデルを構築し、試験結果との比較により解析精度の検証を行った。

キーワード: コンクリート, 加熱, 乾燥, 含水率分布, 数値解析

1. はじめに

長期にわたって 100°C未満の高温履歴を受けるマスコンクリート部材の力学性状は、温度および含水率の影響を受けることが既往の研究で報告されている¹⁾²⁾。このような部材の長期間にわたる健全性を評価するには、加熱や乾燥を受けるコンクリート内部の温度および含水率の時間的変化を把握する必要がある。

加熱を受けるコンクリート部材の含水率を測定した例として、U.Schneider³⁾, G.L.Engrand⁴⁾, H.P.Lien⁵⁾, 仕入⁶⁾らの研究がある。これらの研究は加熱終了後に、コンクリート部材から試料片を切り出し、その絶乾質量から部材内部の含水率を求めたものが多い。

本研究では、一般建築物の壁を想定した模擬部材の乾燥試験(シリーズ I)およびマスコンクリートを想定した模擬部材の片面加熱試験(シリーズ II)を行い、加熱・乾燥を受けるコンクリート模擬部材内部の含水率分布の変化を、試験によって測定することを目的とした。

加えて、コンクリート中の温度および含水率の長期間の時間的変化を予測するためには、数値解析による手法が有効であり、阪田⁷⁾, H.P.Lien⁹⁾, 柳⁸⁾, 丸山⁹⁾, 内海¹⁰⁾らなど国内外に関わらず数多くの研究報告がある。

本研究では、これらの既往の研究例を参考として、熱・液状水・水蒸気の三成分を連成させたコンクリート中の水分移動モデルを構築して、加熱・乾燥を受けるコンクリート部材内部の含水率分布の数値解析を実施し、実測結果との比較により解析結果の検証を行った。

2. 試験の概要

2.1 シリーズ I : 模擬部材の乾燥試験

試験の組合せを表-1 に示す。シリーズ I では、一般建築物の壁を想定して、部材厚が 200, 300, 400mm の 3

水準の模擬部材を作製し、材齢 7 日の脱型後から材齢 882 日まで恒温恒湿室及び屋内静置により乾燥試験を行った。

含水率の測定方法を表-2 に示す。含水率の測定は、電極法¹¹⁾により行った。電極の形状を図-1 に示す。電極値の測定はデータロガーとアダプタを用いて行い、較正曲線(電極値と体積含水率の関係)により体積含水率を算定した。較正曲線は、中心に電極を埋め込んだ供試体(φ75×150mm)を予め作製し、供試体の体積含水率を変化させた時の電極値を測定することにより作成した。測定時期は表に示す 8 材齢、測定位置は乾燥面からの距離を変えた 5 水準として、断面内の含水率分布を測定した。

表-1 試験の組合せ (シリーズ I)

項目	摘要	水準数
試験体寸法	1000mm × 1000mm × (壁厚)200, 300, 400mm	3
前養生	材齢7日まで封かん養生	1
乾燥条件	材齢7日: 乾燥開始 材齢7日~材齢367日: 20°C・60%R.H. 材齢368日~材齢882日 : 屋内静置 (20±5°C, 60±10%R.H.)	1
境界条件	乾燥面 : 壁の左右2面を外気に露出 側面4面 : アルミテープによるシール	1

表-2 含水率の測定方法 (シリーズ I)

項目	摘要	水準数
測定項目	電極法による含水率	1
測定時期	乾燥前, 乾燥7日, 乾燥28日, 乾燥91日, 乾燥149日, 乾燥367日, 乾燥452日, 乾燥882日	8
測定位置	表面より30mm, 50mm, 100mm, 150mm, 200mm(壁厚の中心まで)	5

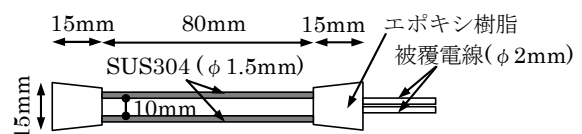


図-1 電極の形状

*1 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 修士(工学) (正会員)

*2 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 博士(工学) (正会員)

コンクリートの調合と基礎性状を表-3に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³)、細骨材は秩父産砕砂(表乾密度 2.67g/cm³, 吸水率 1.70%)と成田産陸砂(表乾密度 2.57g/cm³, 吸水率 1.76%)の混合砂、粗骨材は横瀬産砕石(表乾密度 2.70g/cm³, 吸水率 0.45%)と栃木産砕石(表乾密度 2.70g/cm³, 吸水率 0.66%)の混合砕石を使用した。

2.2 シリーズII：模擬部材の加熱試験

試験の組合せを表-4に示す。シリーズIIでは、図-2に示す W400×D400×H1000mm の模擬部材を作製し、材齢 91 日から 91 日間の片面加熱試験を行った。模擬部材の加熱は下面から行い、非加熱面である上面は外気に開放した。加熱温度は 90℃、非加熱面の開放条件は 20℃、60%R.H.とした。加熱時における水分の境界条件は、加熱面は、鋼板型枠を存置して水分逸散を防いだシール条件と鋼板型枠を脱型して加熱面からの水分逸散を許容したアンシール条件の2種類を設定した。側面4面は、鋼板型枠を存置して水分逸散を防いだシール条件とし、断熱材を巻いて一方向の熱・水分移動が生じるようにした。

含水率の測定方法を表-5に示す。含水率の測定は、シリーズIで実施した電極法による含水率に加えて、加熱91日で乾式コア(φ75×150mm)を採取し、105℃絶乾質量を測定する方法でも行った。電極法による含水率の測定は試験期間にわたって連続して行い、乾式コアによる含水率の測定は加熱前と加熱91日の2材齢で行った。含水率の測定位置は、図-2に示す加熱面からの距離を変えた6水準として、断面内の含水率分布を測定した。

コンクリートの調合と基礎性状を表-6に示す。コンクリートはレディミクストコンクリートを使用した。セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³)、細骨材は飯能産砕砂(表乾密度 2.63g/cm³, 吸水率 1.69%)と富津産陸砂(表乾密度 2.60g/cm³, 吸水率 1.70%)の混合砂、粗骨材は飯能産砕砂(表乾密度 2.65g/cm³, 吸水率 0.78%)と西多摩産砕石(表乾密度 2.67g/cm³, 吸水率 0.96%)の混合砕石を使用した。

3. 試験結果および考察

3.1 シリーズI：模擬部材の乾燥試験結果

(1) 乾燥時の含水率分布の実測結果

模擬部材の乾燥 882 日までの含水率分布の変化を図-3に示す。模擬部材は左右2面を外気に露出しているため、ここでは片側について部材厚の中心までの含水率分布を示した。なお、含水率の実測値は図中に点で示した。試験開始後より、全ての部材厚で表面から含水率の低下が始まり、乾燥材齢の経過に伴い内部の含水率も低下した。模擬部材の中心から表面にかけて生じた含水率勾配は、部材厚が薄いほど大きくなる傾向にあり、部材厚が

表-3 コンクリートの調合と基礎性状 (シリーズI)

W/C (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	単位量(kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
58	18	4.5	185	308	847	931
実測スランプ (cm)	実測空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (kN/mm ²)		
		封かん91日		封かん91日		
20.0	4.8	29.3		26.6		

表-4 試験の組合せ (シリーズII)

項目	摘要	水準数
試験体寸法	W400mm×D400mm×H1000mm	1
前養生	材齢91日まで封かん養生	1
加熱条件	加熱面: 加熱温度90℃ 非加熱面: 20℃・60%R.H.	1
加熱期間	91日間	1
水分境界条件	加熱面(下面): シール/アンシール	2
	側面 (4面): 鋼板によるシール	1
	非加熱面(上面): 外気開放	1

表-5 含水率の測定方法 (シリーズII)

項目	摘要	水準数
測定項目	電極法による含水率	2
	乾式コアによる乾燥質量法含水率	
測定時期	(電極法)加熱開始より連続計測 (乾燥質量法)加熱前, 加熱91日	2
測定位置	加熱面より50mm, 200mm, 350mm, 500mm, 700mm, 900mm	6

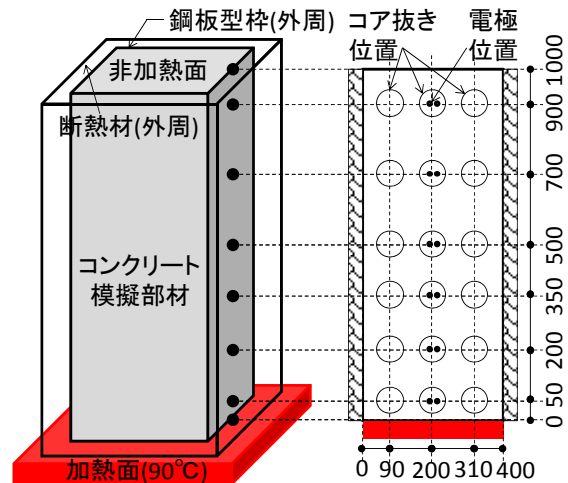


図-2 加熱試験方法と含水率測定位置 (シリーズII)

表-6 コンクリートの調合と基礎性状 (シリーズII)

W/C (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	単位量(kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
60	18	4.5	182	303	900	894
実測スランプ (cm)	実測空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (kN/mm ²)		
		封かん91日		封かん91日		
19.0	5.5	33.9		25.9		

厚い（300mm, 400mm）ものでは、中心部分で含水率勾配がほとんど生じずに、全断面での乾燥が進行した。乾燥 882 日の模擬部材内部の含水率分布は、部材厚の違いに関わらず、5～8vol%程度まで低下した。本試験条件（20℃・60%R.H.）における、一般建築物の壁を想定した模擬部材の乾燥試験では、乾燥面近傍だけではなく、部材の中心まで含水率が低下することを確認した。

(2) 既報の乾燥試験結果との比較

椎名¹²⁾、長尾ら¹⁰⁾の行った乾燥試験結果を図-4に示す。いずれの試験結果も、図-3と同様に部材の片側について、部材厚の中心までの含水率分布を示した。

なお、椎名らの研究では、水分量の変化を相対湿度により実測しており、既往の研究¹³⁾を参考にして、式(1)により相対湿度 M(%R.H.)を体積含水率 W(vol%)に換算し、本試験結果との比較を行った。

$$W = 1.1033 \times e^{(0.0246 \times M)} \quad (R^2=0.94) \quad (1)$$

椎名らの試験結果（部材厚 250mm, 400mm）と本試験結果を比較する。両者の含水率分布には概ね相関が認められたが、椎名らの部材厚 250mm・乾燥期間 880 日の結果では、含水率の低下が大きくなった。この理由については、乾燥 610 日以降に試験体の暴露環境を変えたため乾燥面付近の含水率が著しく下がったと報告されていることから、試験条件の違いによるものと説明できる。

長尾らの試験結果（部材厚 200mm, 600mm）と本試験結果を比較する。長尾らの試験結果とは、乾燥開始時での含水率の絶対量が異なるため、本試験結果と直接的な数値の比較はできないが、長期間の乾燥材齢経過後に、乾燥初期に生じた部材の中心から表面にかけて生じる含水率勾配が小さくなり、乾燥面近傍だけではなく、部材

の中心まで含水率が低下することなど、本試験結果と同様の傾向が認められた。

以上より、既報の乾燥試験結果との比較検討により、本試験による含水率分布の実測結果の妥当性を確認した。

3.2 シリーズⅡ：模擬部材の加熱試験結果

(1) 加熱時の温度分布の実測結果

模擬部材加熱時の温度分布の変化を図-5に示す。なお、温度の実測値は図中に点で示した。

模擬部材内部の温度は、加熱面のシール条件に関わらず加熱 7 日以降に定常状態となり、加熱面から 50mm の位置で 75～80℃程度、加熱面から離れるにつれて温度が低下し、加熱面から 900mm の位置で 30℃程度となった。

(2) 加熱時の含水率分布の実測結果

加熱時の含水率分布の変化を図-6に示す。なお、含水率の実測値は図中に点で示した。

加熱面がシールの条件では、加熱面から 50mm の位置の含水率が 13vol%程度まで低下したが、加熱面から 200mm 以上離れた位置の含水率はほぼ変化しなかった。

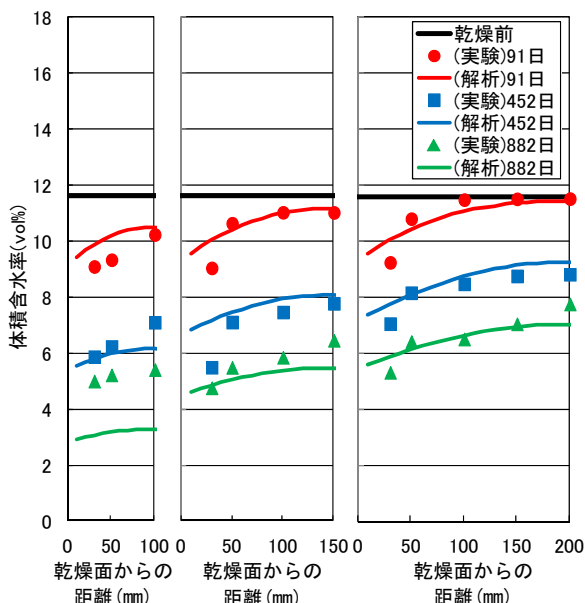
一方、加熱面がアンシールの条件では、加熱面から 50mm の位置の含水率が絶乾状態に近い 3vol%程度まで低下し、加熱面近傍で大きな含水率勾配が生じた。

なお、電極法による含水率は乾式コアの絶乾質量による含水率と比較して高くなった。電極法による含水率の測定は、得られた電極抵抗値から校正曲線により算出したため、誤差が生じたものと推察される。

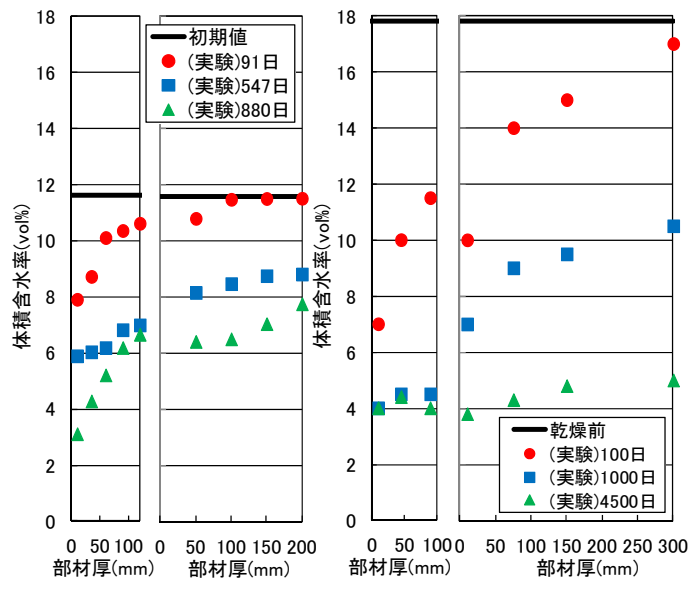
(3) 既報の加熱試験結果との比較

H.P.Lien⁹⁾、仕入⁹⁾、G.L.England⁴⁾らの行った加熱試験結果を図-7に示す。

H.P.Lien らの試験結果（高炉セメント+フライアッシュ、W/C45%、部材厚 800mm、加熱前養生：20℃封かん



(a)部材厚 200 mm (b)部材厚 300 mm (c)部材厚 400 mm
図-3 模擬部材乾燥時の含水率分布の変化



(a)椎名らの試験結果 (b)長尾らの試験結果
図-4 既報の乾燥試験結果と本研究の解析結果の比較

91日、加熱条件 120℃・91日、加熱面：鋼板ライナーによるシール)では、加熱面近傍の100~200mmの位置において、水分の押出しにより局所的に高含水率となる部分が見られたが、本試験では加熱面近傍でこのような現象は認められなかった。この理由として、本試験での加熱温度は90℃とH.P.Lienらの試験と比較して30℃低く、高温部における水分移動速度が遅くなったことが考えられる。また、H.P.Lienらの試験では、部材厚さが本試験よりも200mm小さいが、加熱面近傍でのみ含水率勾配が生じ、加熱面から200mm以上離れると含水率はほぼ変化しておらず、本試験と同様の傾向が認められた。

仕入らの試験結果(フライアッシュB種セメント、W/C55%、部材厚1500mm、加熱前養生：20℃封かん120日、加熱条件110℃・91日、加熱面：鋼板型枠によるシール)、G.L.Englandらの試験結果(普通ポルトランドセメント、W/C60%、部材厚1500mm、加熱前養生：20℃封かん180日、加熱条件：125℃・887日、加熱面：鋼製容器によるシール)と本試験結果を比較する。加熱面から50mmの位置の含水率は、本試験では13vol%程度となったが、仕入ら、G.L.Englandらの結果では絶乾状態に近い含水率となった。また、この結果はH.P.Lienらの結果とも異なっている。仕入ら、G.L.Englandらの試験条件では、本試験よりも部材厚が500mm大きく、本試験結果と直接的な数値の比較はできないが、本試験の加熱面アンシール条件の結果に類似しており、100℃を超えた高温部で確実に水分をシールすることは難しいことを考えると、加熱試験中に気密性が低下した可能性も推察される。

以上より、既報の加熱試験結果との比較検討により、試験条件による違いはあるが、本試験結果はH.P.Lienらの試験結果と同様の傾向であることを確認した。

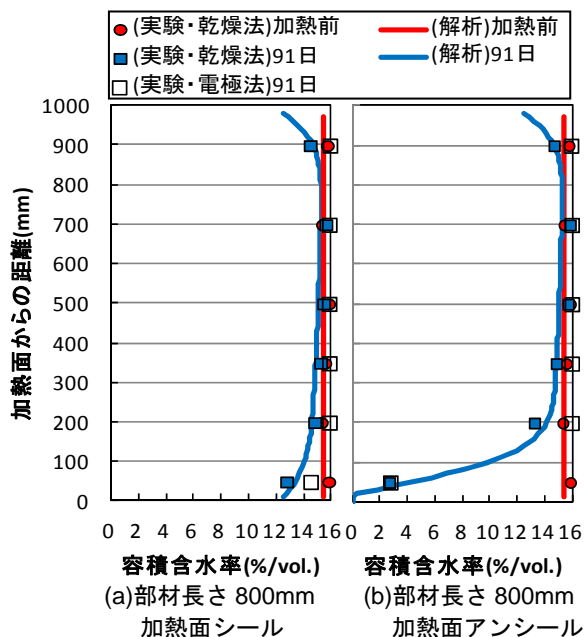


図-6 模擬部材加熱時の含水率分布の変化

4. 解析的検討

4.1 水分移動解析の概要

(1) 水分移動解析モデル

加熱・乾燥試験により実測した含水率分布に対して、数値解析により加熱・乾燥後の含水率分布を予測を行い、両者の比較検討を行った。

コンクリート中の水は温度勾配に、コンクリート中の温度は水の比熱や相変化に伴う潜熱などの影響により変化するため、解析精度を上げるためには、温度・液状水・水蒸気の相互依存性を考慮する必要がある。本検討では、温度、液状水、水蒸気の三成分をモデル化して連成解析する水分移動解析モデルを構築した。なお、これらの三成分は全て拡散体と考え、拡散方程式に従うものとした。

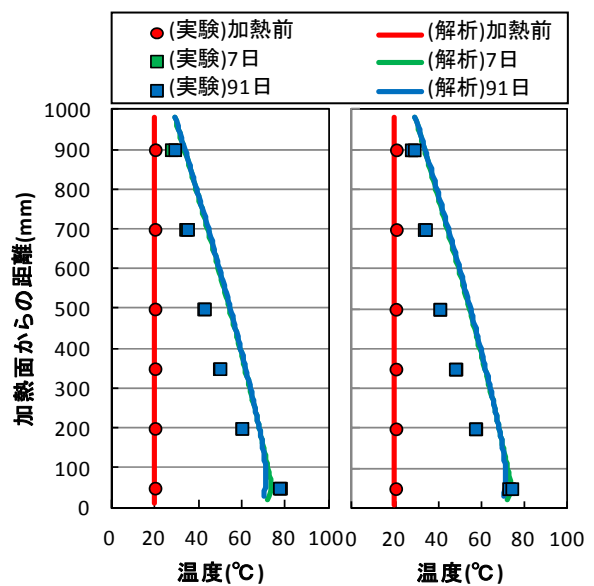


図-5 模擬部材加熱時の温度分布の変化

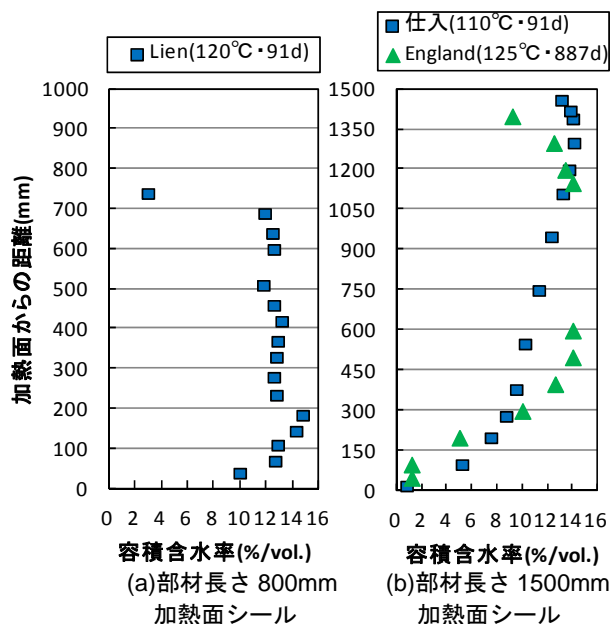


図-7 既報の加熱試験結果と本研究の解析結果の比較

三成分の拡散係数は、コンクリートの材料や調合により変化すると考えられる。そのため、同一の材料・調合条件下における試験結果を再現できる値を、フィッティングによって設定することとした。

液状水の拡散係数 $D(m^2/s)$ は、丸山ら⁹⁾の検討結果に従い、温度の上昇に伴い大きくなるとし、コンクリート中の温度を $T(^{\circ}C)$ 、基準となる非加熱面の温度を $T_0(^{\circ}C)$ とし、式(2)で定義されるとした。基準となる温度での拡散係数 $D_0(m^2/s)$ 、拡散係数の増大割合に関する定数 $a(-)$ は、実測値とのフィッティングにより設定される値とした。

$$D = D_0 \cdot e^{a \left(\frac{T - T_0}{T_0} \right)} \quad (2)$$

水蒸気の拡散係数は、空気中における水蒸気の拡散係数が温度の関数として指数関数的に増加する¹⁴⁾とされていることから、コンクリート中においても、式(2)と同様の形式を与えることとした。

熱の拡散係数は、含水率の変化などにより変わるものと考えられるが、ここでは一定の値を用いることとした。

(2) 熱・液状水・水蒸気の3連成移動解析の概要

相変化に伴う各成分間の熱の収支として、液状水は蒸発に伴い気化熱として要素から熱を奪い、水蒸気は液化に伴い凝縮熱として要素に熱を与える設定とした。

1(kg)の液状水の気化熱(水蒸気の凝縮熱)は $2.267 \times 10^6(J/kg)$ であるため、 $\rho(kg)$ の液状水の気化(水蒸気の液化)に要する気化熱(凝縮熱) $Q(J)$ は、これらの積で求められ、要素に与えられる(奪われる)。コンクリートの比熱を $C=1.05(kJ/kg/^{\circ}C)$ とし、要素の質量を $m(kg)$ とすると、これらの熱による温度変化 $\Delta T(^{\circ}C)$ は、式(3)となる。

$$\Delta T = \frac{Q}{mC} = 2.16 \times 10^3 \cdot \frac{\rho}{m} \quad (3)$$

上記の熱収支式に基づいて、各要素へ熱を振り分け、各成分への再分配を行うことで、高温部で液状水が気化して水蒸気となり、低温部に拡散して、温度の低下に伴い液化するという過程を経た水分移動を模式した。

相変化に伴う各成分間の振り分け規則を以下に示す。

空隙中の水蒸気量は、液状水がある状態では常に飽和水蒸気量で平衡状態となると仮定した。そこで、まず任意の時刻から時間増分だけ進めた時刻の全ての要素における水蒸気量 $\rho_v(kg/m^3)$ を求める。また、全ての要素の飽和水蒸気量 $\rho_s(kg/m^3)$ を求め、 ρ_v との差を ρ_{diff} とする。この ρ_{diff} を以下に示す場合に応じて、各要素の液状水量 $w(kg/m^3)$ と水蒸気量 $v(kg/m^3)$ を求める。

1) $\rho_{diff} > 0, w > \rho_{diff}$ (水蒸気量が飽和でなく、飽和まで蒸発できる十分な液状水がある) の場合

液状水から ρ_{diff} 相当分を差し引き、水蒸気に ρ_{diff} を加え、飽和水蒸気量、すなわち ρ_s に水蒸気量を再

定義する。この場合は気化であるため、気化相当分の熱を温度から差し引く。

2) $\rho_{diff} > 0, w < \rho_{diff}$ (水蒸気量が飽和でなく、飽和水蒸気量相当分まで蒸発できる液状水がない) の場合

液状水の全てを水蒸気に変化させる。すなわち対象となる要素の液状水量は0とし、相当分を水蒸気に加える。気化相当分の熱を温度から差し引く。

3) $\rho_{diff} < 0, w > \rho_{diff}$ (水蒸気量が飽和を超えている) の場合

水蒸気は飽和水蒸気量に設定する。液状水は水蒸気量から飽和水蒸気量分を差引いた値を加える。液化となるので、相当分の熱を温度に加え上昇させる。

(3) 数値解析の手法

数値解析法は、格子ボルツマン法(Lattice Boltzmann Method : LBM)¹⁵⁾を用いた。LBMは流体解析に加え、拡散解析を扱うことができる。本研究では、拡散解析機能を用いた。LBMの支配方程式を、式(4)に示す。

$$f_i(x + c\Delta t, t + \Delta t) - f_i(x, t) = \Omega(f_i(x, t)) \quad (4)$$

式(4)における $f_i(x, t)$ は分布関数、 $c(-)$ は単位速度、 $\Delta t(-)$ は時間刻み、 $c\Delta t(-)$ は隣接格子間隔で、 $\Omega(-)$ は拡散効果の項を示す。インデックス $i(-)$ は方向を表す。LBMでは無次元化された長さや時間を用いており、式(3)に示すように、格子点の情報量が隣接する格子点へと随時伝播させることで現象を模擬している。

また、境界条件として、加熱側および非加熱側の表面温度と水分逸散条件が必要となる。ここでは、境界において各物性を一定の割合で除去する工学的流出境界条件を用い、除去する割合については、実測値とのフィッティングにより設定した。

4.2 実測結果と解析結果の比較

コンクリート中の液状水、水蒸気、熱の拡散係数および境界面からのそれぞれの除去割合の値はわかっていないため、本検討では、試験結果を再現できる物性値をフィッティングにより設定することとした。得られた物性値を表-7(シリーズI)、表-8(シリーズII)に示す。

表-7 フィッティングで設定した物性値(シリーズI)

	水	水蒸気	熱
基準温度の拡散係数(m^2/s)	6.0×10^{-8}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-4}
乾燥側の除去割合	0.0001	0.01	0.3

表-8 フィッティングで設定した物性値(シリーズII)

【加熱面シール】	水	水蒸気	熱
基準温度の拡散係数(m^2/s)	6.0×10^{-8}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-4}
加熱側の除去割合	0.00005	0.01	0
非加熱側の除去割合	0.0001	0.01	0.3
【加熱面アンシール】	水	水蒸気	熱
基準温度の拡散係数(m^2/s)	6.0×10^{-8}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-4}
加熱側の除去割合	0.02	0.01	0
非加熱側の除去割合	0.0001	0.01	0.3

フィッティングにより設定した物性値について、液状水および水蒸気の、基準となる温度(本試験では非加熱面の20°C)での拡散係数は、既報の値(液状水¹⁰⁾: $1.0 \times 10^{-10} \sim 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ 、水蒸気⁸⁾: $1.0 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$)と比較して、若干大きいものの概ね妥当な値となった。一方、熱の拡散係数は文献の値(熱¹⁶⁾: $1.0 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)と比較して約100倍となっており、熱収支に関するメカニズムの検討などの課題があることを確認した。

模擬部材の乾燥試験(シリーズI)の条件により解析した含水率分布の結果を、図-3中に実線で示す。

実測結果と解析結果の比較により、部材厚の違いに関わらず、乾燥882日までの模擬部材内部の含水率分布の実測結果を、解析により概ね再現することができることを確認した。しかしながら、薄い部材の長期乾燥後(部材厚200mm、乾燥882日)の含水率は、解析結果が実測結果と比較して2vol%程度小さくなった。また、乾燥面から30mmの位置の含水率は、解析結果が実測結果と比較して若干大きくなり、乾燥面近傍の含水率勾配がうまく再現されなかった。現状においては、これらの解析精度向上のための課題があることを確認した。

模擬部材の加熱試験(シリーズII)の条件により解析した温度分布の結果を図-5中に実線で示す。また、含水率分布の解析結果を図-6中に実線で示す。

実測結果と解析結果を比較すると、温度の解析結果は、模擬部材の中央で実測結果よりも5~8°C大きくなっており、熱の拡散係数の設定、熱収支に関するモデル化方法に課題があることを確認した。また、含水率の解析結果では、加熱面がシール条件、アンシール条件ともに実測結果を概ね再現できることを確認した。

5. まとめ

本研究では、一般建築物の壁を想定した厚さ200, 300, 400mmの模擬部材の乾燥試験、マスコンクリートを想定した模擬部材の加熱試験を行い、含水率分布の実測と解析的検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 模擬部材の乾燥試験では、乾燥882日における含水率分布は、部材厚に関わらず5~8vol%まで低下し、部材の中心まで含水率が低下することを確認した。
- (2) 模擬部材の片面加熱試験では、加熱91日における含水率分布は、加熱面がシールの条件では、加熱面近傍のみでわずかに低下し、加熱面がアンシールの条件では、加熱面近傍で絶乾状態に近くなり大きな含水率勾配が生じた。
- (3) 熱・液状水・水蒸気の三成分を連成させた水分移動モデルを構築し、加熱・乾燥を受ける模擬部材内部の含水率分布を数値解析により算定した。その結果、実測結果を概ね再現できたものの、部材厚が薄い場合や乾

燥面近傍における水分の解析精度、熱収支に関するメカニズムなどに課題があることを確認した。

参考文献

- 1) 嵩英雄ほか：高温にさらされたコンクリートの性状変化に関する研究，コンクリート工学年次講演論文集，pp25-28，1979.5
- 2) 酒井正樹ほか：強度・含水状態の異なるコンクリートの100°C未満加熱時における力学性状の変化，コンクリート工学年次論文集，vol.32，pp.293-298，2010
- 3) U.Schneider: コンクリートの熱的性質，技報堂出版，1983.12
- 4) G.L.England : Effects of moisture migration on shrinkage, porepressure and other properties, Trans. 4th Int. Conf. SMIFT Vol.H, 1977
- 5) H.P.Lien : Mass transfer in inhomogeneous porous media under thermal gradients, Nuclear engineering and design, Vol179, pp.179-189,1998
- 6) 仕入豊和ほか：一面加熱を受けるマスコンクリート部材中の強度性状に関する実験研究，日本建築学会構造系論文集，第387号，pp.8-14，1988.5
- 7) 阪田憲次ほか：乾燥に伴うコンクリート中の水分の逸散と乾燥収縮に関する研究，土木学会論文報告集，No.316，pp.145-152，1981
- 8) 柳博文ほか：不飽和コンクリート中の水蒸気移動特性と水蒸気拡散係数，コンクリート工学論文集，Vol.12，No.3，pp.61-68，2001
- 9) 丸山一平ほか：水熱連成移動解析に基づく高強度マスコンクリート中の温度及び湿度分布の予測，日本建築学会構造系論文集，Vol.609，pp.1-8，2006
- 10) 内海秀幸：新たな水蒸気吸着等温関係式に基づくセメント硬化体内水分の拡散係数に対する数理表現式，コンクリート工学論文集，Vol.20，pp.39-49，2009
- 11) 長尾覚博ほか：竣工後13年を経過した構造体コンクリートの含水率の変化，大林組技術研究所報，No.50，pp.65-70，1998
- 12) 椎名国雄ほか：コンクリートの内部湿度と変形，コンクリートジャーナル，Vol.7，No.6，pp.1-11，1969
- 13) 酒井正樹ほか：乾燥を受けた模擬壁部材の含水率と相対湿度の関係，日本建築学会学術講演梗概集，材料施工A，pp.485-486，2012.9
- 14) E.L.Cussler: Diffusion, 3rd Edition, pp.118-119,2009
- 15) 人見尚ほか：格子ボルツマン法(LBM)を用いたコンクリートの溶脱解析，コンクリート工学年次論文集，Vol.20，No.1，pp.619-624，2005
土木学会：コンクリート標準示方書，設計編，pp.62，2010