

論文 電気抵抗式含水率計による既存 RC 構造物のコンクリート内部の含水率調査

多賀 紀晃^{*1}・今本 啓一^{*2}・清原 千鶴^{*3}

要旨：既存鉄筋コンクリート造構造物の耐久性を示す指標の一つに、鉄筋腐食が挙げられる。近年中性化が鉄筋に到達した箇所においても質量含水率が低い箇所では鉄筋腐食の進行が抑えられている調査結果が多く報告されている。現在、コンクリートの質量含水率は主に乾式コアの採取により測定が行われているが、コアの採取が困難なケースもある。そこで、本研究では電気抵抗式含水率計を用いて既存の実構造物を中心に測定を行い、簡易的に微破壊でコンクリート内部の質量含水率を把握する方法の有用性について検討を行った。結果、普通ポルトランドセメントが用いられたコンクリートであれば比較的問題なく測定が行えることがわかった。

キーワード：鉄筋腐食、電気抵抗式含水率計、質量含水率

1. はじめに

既存の鉄筋コンクリート造（以下 RC 造）の構造物の劣化を示す指標として、鉄筋腐食が挙げられる。既存 RC 造建築物の劣化調査においては、雨掛かりなどによる水分供給がある箇所において、かぶりコンクリートの剥離・剥落が顕著になることが報告されている¹⁾。これは、水分と酸素の供給が多い条件ほど、鉄筋の腐食が速くなることが影響していると考えられる。また、既往の研究²⁾では、雨かかりのある場合、コンクリート表面から深さ 30mm までは降雨の影響が顕著であったが、深さ 50mm 以上であれば、水分分布の変動は極めて小さいことが示されている。このように雨掛かりのある箇所ではコンクリートの表層と内部では含水率が異なることが考えられる。つまり、雨掛かりの有無などの環境条件、かぶり厚さおよびかぶりコンクリートの品質により、コンクリート中の含水率分布が異なり、鉄筋腐食のしにくさも変化すると考えられる。そのためかぶりコンクリートの含水率の分布を把握することは鉄筋腐食が進行しにくい環境かどうかを判断するための重要な要因の 1 つである。

現在、かぶりコンクリートの含水率は乾式コアによって得られた測定値が真値とされている。しかしながら、文化財などの建造物においては必ずしもコア採取による測定ができるとは限らない。そこで、非破壊あるいは微破壊によるさまざまな方法でかぶりコンクリートの含水率の評価が行われている³⁾。本研究は、微破壊を伴うが、電極挿入型含水率計（以下、含水率計）によって簡易的にコンクリート内部の含水率分布を測定する方法の有用性を、既存 RC 構造物の調査データを中心として集積し明らかにすることとした。

2. 電極挿入型電気抵抗式含水率計による測定の検討

本研究で用いた K 社製の電極挿入型電気抵抗式含水率計（写真-1）は図-1 に示すように、振動ドリルなどにより $\phi 6.5\text{mm}$ の孔を 3cm 間隔で 2 つ設け、その中にブラシ電極を差し込みこの間の電気抵抗を計測するものである。既往の研究⁴⁾では 3cm の正三角形になるように 3 か所孔を設けることで、骨材の影響などによるバラつきを検討できることが示されている。本研究ではできるだけ構造物への損傷を最小限として測定することを目的としているため 2 か所の孔による測定を行った。

2.1 削孔時の熱の影響

ドリル削孔の際に生じる熱がどの程度測定結果に影響



写真-1 電極挿入型電気抵抗式含水率計 (K 社製)

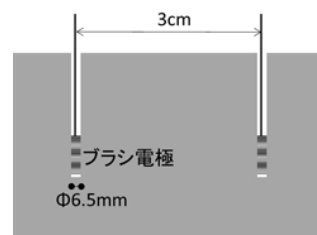


図-1 含水率計による測定の模式図

*1 東京理科大学 工学研究科建築学専攻 (学生会員)

*2 東京理科大学 工学部建築学科教授 博士 (工学) (正会員)

*3 東京理科大学 工学部建築学科 嘱託助教 博士 (工学) (正会員)

を及ぼすか検討を行った。

検討に用いた試験体の調査を表-1 に示す。測定には100×100×400mm 無筋コンクリート試験体を用いた。

孔の温度がどの程度上昇しているか測定するため、30mm の深さまでドリル削孔し、速やかに孔内に残っている削孔粉をブラシなどにより取り除いた直後、孔の底部まで熱電対を挿入し、温度変化を測定した。同一の試験体において別の箇所にも削孔し、同様に速やかに削孔粉を取り除き、含水率計にて測定を行った。

その結果を図-2 に示す。測定孔の温度はドリル削孔直後に高くなるが、その後はすぐに温度が低下し、削孔後 15 分が経過すると外気温にほぼ収束している。被削材に炭素鋼を用いてドリル削孔時の温度分布の測定を行っている既往の研究⁵⁾においてもドリル刃先に近い箇所が最も温度が高く、刃先が通過後はすぐに一定の温度になる結果が得られていることから孔内底部以外の孔内表面温度は底部より低いことが想定される。一方、含水率については削孔直後には数値が若干低下する傾向がみられるが、削孔後 10 分を経過した以降はほぼ一定値を保っている。

これらの結果より、ドリル削孔によって発生する熱が含水率の測定値に及ぼす影響は小さいと考えられるが、本実験では測定結果に与える不安定要素をできるだけ取り除くことを考え、削孔後 15 分以上経過した時点で、含水率の測定を実施することとした。

2.2 同一箇所における繰り返し測定の影響

使用した含水率計は、コンクリート中の水分量によって電気抵抗が変化することを利用したものである。そこで、同一の削孔箇所でも繰り返し測定を行うことで測定値に影響を及ぼすかどうか検討を行った。実験には柱試験体(1200×840×840mm)を用いた。その調査を表-2 に示す。試験体に測定孔を開けた時点から 1 時間間隔で 5 回測定し、表層から 10mm 毎に 60mm まで測定した。

測定結果を図-3 に示す。バラつきはあるが、いずれの深さにおいても測定回数を追うごとに値が減少している傾向がみられる。しかしながら、本研究は、今帰仁公民館の調査を行った遠藤らの研究⁶⁾において、含水率が 7% から 3% 程度の低下することの評価を行うことを目的としている点もあり、この観点からこの程度の差は問題ないと考えた。さらに実構造物の含水率を経時的に把握する場合は、繰り返し測定期間は長く、また測定孔をゴム栓などで養生すれば孔内の乾燥の影響も防ぐことができ、同一箇所での測定も大きな問題はないと考えた。

2.3 カウント値と測定値の関係

使用した含水率計は含水率と別に、カウント値と呼ばれる値の測定が可能である。なお、ここでいうカウント値とは、電気抵抗値と比例関係にある値である。しかし、

表-1 試験体の調査

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
		W	C	S	G	AE 剤	助剤
50	48.5	178	356	831	906	1.246	0.0142

W:上水道水
C:普通ポルトランドセメント、密度 3.16g/cm³
S:大井川陸砂、密度 2.59g/cm³
G:青海産碎石、密度 2.66 g/cm³
AE 剤:AE 減水剤、助剤:空気量調整剤

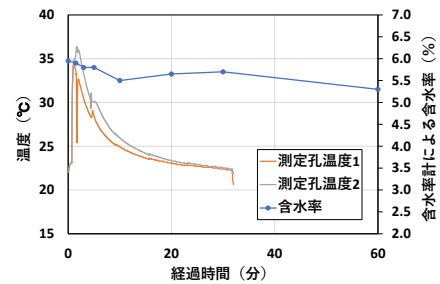


図-2 ドリル削孔後の測定孔の温度変化と含水率

表-2 柱試験体の調査

呼び強度	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	C	S	G	Ad
27	53.5	168	315	804	1001	3780

W:上水道水、C:普通ポルトランドセメント、密度 3.16g/cm³
S: 山砂 (栃木県尻内町産)、表乾密度 2.61 g/cm³、粗粒率 2.75
G: 碎石 (栃木県尻内町産)、表乾密度 2.64 g/cm³、実積率 59.0%
Ad:碎石粉

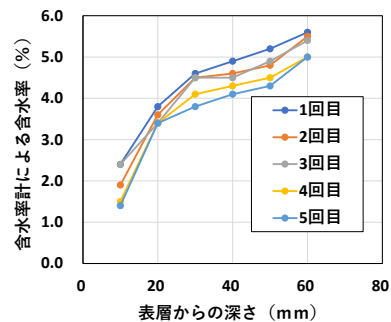


図-3 同一箇所繰り返し測定の結果

表-3 実大コンクリート壁 1 の調査

記号	呼び強度	W/B [%]	単位量 [kg/m ³]											
			C	W	FA	S1	S2	S3	S4	S5	G1	G2	G3	AE
N	21	61	298	182	-	427	171	255	-	-	448	457	-	2.77
BB	21	61.5	294*	181	-	425	170	255	-	-	459	471	-	3.23
BFS	-	61	298	182	-	-	171	252	436	-	448	457	-	2.77
BBL	-	61.5	270*	166	-	-	181	265	-	313	-	488	235	2.99
FA	-	57	238	170	59	421	173	255	-	-	465	477	-	

C:普通ポルトランドセメント、密度 3.15 g/cm³、W:回収水
C*:高炉セメント B 種、密度 3.04g/cm³
FA:フライアッシュ II 種、密度 2.28g/cm³、粉末度 3700g/cm³
S1:砕砂(厚木市飯山華厳産)、表乾密度 2.58g/cm³、吸水率 2.87%
S2:石灰砕砂(岩手県大船渡市産)、表乾密度 2.66g/cm³、吸水率 0.89%
S3:山砂(千葉県富津産)、表乾密度 2.60g/cm³、吸水率 1.23%
S4:高炉スラグ細骨材、表乾密度 2.64g/cm³、吸水率 1.88%
S5:人工軽量細骨材、表乾密度 1.84g/cm³、吸水率 15.5%
G:碎石(厚木市飯山華厳産)、表乾密度 2.61g/cm³、吸水率 2.76%
G2:石灰石(岩手県大船渡市産)、表乾密度 2.68g/cm³、吸水率 0.65%
G3:人工軽量粗骨材、表乾密度 1.67g/cm³、吸水率 29.5%
AE: AE 減水剤

カウント値と含水率の関係性についての詳細は開示されていない。今回は実大壁 1 (表-3) にて、普通ポルトラ

ンドセメントを使用している調合 N および BFS の含水率とカウント値をそれぞれ測定し、両者の関係について調べた。図-4 に測定結果を示す。図-4 より、両者の値には強い正の相関があることがわかった。カウント値に関しては今後のさらなるデータの集積が求められる。

3. 実構造物調査

3.1 調査対象構造物

本研究では 5 棟の既存 RC 構造物と実大柱、実大壁を対象とした。調査対象の外観写真を表-4 に、各調査対象物の所在地、用途、調査時の築年数および階数などを表-5 に示す。また、実大壁 1、実大壁 2、実大柱試験体の調合をそれぞれ表-6、表-7 に示す。実大壁 1 においては使用材料が異なるコンクリートの含水率の変化を、実大壁 2 では W/C が異なるコンクリートの含水率の変化について調査を行った。

3.2 調査概要

本調査では、乾式コア採取と含水率計を用いて、コンクリートの質量含水率を測定した。

(1) 乾式コアによる測定

乾式コアドリルを用いてコアコンクリートを採取し、式(1)を用いて乾燥前と 105℃で乾燥後の質量を測定することで質量含水率を求めた。

(2) 挿入式電気抵抗含水率計による測定

2 章で検討した結果より、ドリル削孔後 15 分経過した後測定を開始し、含水率の経時変化を検討する必要がある箇所においては、同一箇所において測定を行った。なお、本調査では、コンクリート表面から 10mm 毎に測定した。

3.3 調査結果

ここでは、普通ポルトランドセメントを用いた既存 RC 造建築物の調査結果をもとに、(1)水セメント比の違い、(2)表面含侵材塗布の影響、(3)方位の影響を検討した。

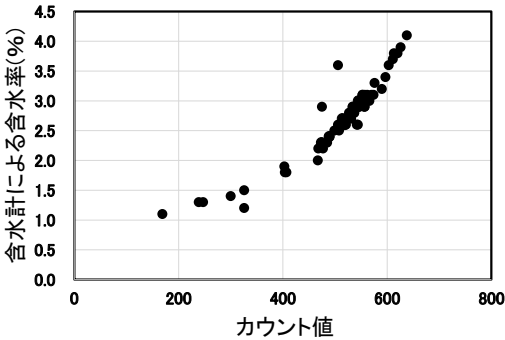


図-4 含水率とカウント値の関係

$$m = \frac{M - M_{dry}}{M_{dry}} \times 100 \tag{1}$$

ここに、m：質量含水率[%]，M：調査時質量[g]

M_{dry}：105℃乾燥後絶乾質量[g]

表-4 調査対象物写真

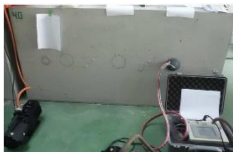
O1 	O2 
O3 	O3 空中写真 
実大壁 1 	
実大壁 2 	実大柱 

表-5 調査対象物概要

名称	所在地	用途	築年数*	詳細
O1	沖縄県	公民館	47 年	地上 1 階
O2	沖縄県	住宅	53 年	地上 3 階
O3	沖縄県	住宅	44 年	地上 2 階
K1	神奈川県	小学校	71 年	地上 4 階
T1	東京都	小学校	95 年	地上 3 階、地下 1 階、塔屋 1 階
実大壁 1			5 年	無筋、打放し
実大壁 2			9 年	有筋、打放し
実大柱			5 年	有筋、打放し

築年数*：調査時の築年数

表-6 実大コンクリート壁 2 の調合

呼び強度	W/C [%]	単位量 [kg/m³]						
		C	W	S1	S2	G	AE	Ad
15	85.7	210	180	442	424	974	2.40	40
27	54	333	180	436	424	915	2.90	
33	47	383	180	410	398	925	2.99	-
40	40	450	180	378	365	936	3.51	-

C:普通ポルトランドセメント、密度 3.15 g/cm³，W:回収水
S1:砕砂(大阪府茨木産)、密度 2.66 g/cm³，粗粒率 2.80
S2:山砂(京都府城陽産)、密度 2.57 g/cm³，粗粒率 2.80
G:碎石(大阪府茨木産)、密度 2.69 g/cm³，実積率 58.0%
AE:AE 減水剤，Ad:碎石粉、密度 2.70 g/cm³

表-7 柱試験体の調合

呼び強度	セメント種類	W/C [%]	単位量 [kg/m³]				
			W	C	S	G	Ad
27	N	53.5	168	315	804	1001	3780
	BB	51.5	166	323	791	100.3	3876

C:普通ポルトランドセメント、密度 3.16g/cm³
C*:高炉セメント B 種、密度 3.04 g/cm³
S: 山砂 (栃木県尻内町産)、表乾密度 2.61 g/cm³、粗粒率 2.75
G： 碎石 (栃木県尻内町産)、表乾密度 2.64 g/cm³、実積率 59.0%
Ad:碎石粉

(1) 水セメント比の違いによる影響

実大コンクリート壁 2 の表層から 10mm 間隔で 40mm まで含水率計で計測した結果と、乾式コアによる質量含水率を図-5 に示す。ここでの質量含水率は表層 0mm から 40mm までの平均値として求めている。いずれの水セメント比においてもコンクリート表層に近いほど含水率計の測定値は小さく、水セメント比が小さくなるほどその値も大きくなる傾向が見られる。含水率計は水分の勾配がある場合でも各位置の含水率を正確に測定しているといえるのか、水セメント比が変わっても同じことが言えるのか、現時点ではまだ検討が必要であるが、含水率計で測定した深さ 40mm までの測定値の平均値と乾式コアによる質量含水率の値を比較(表-8)すると、いずれの水セメント比においても含水率計の値が若干大きい傾向が見られた。

(2) 表面含浸材塗布による乾燥の影響

建物 O1 の含水率を図-6 に示す。建物 O1 では、屋根上部の仕上げモルタルが浮き、仕上げモルタルと屋根躯体コンクリートとの間に雨水が滞水した状況であった。この時のコンクリート表面から内部に向かって含水率はほぼ一定で平均 6.07% であった(図-6 黒実線)。一方、同様な個所で採取した乾式コアによる質量含水率(表層から 20mm あるいは 10mm 間隔で計測)は 6.38% であったことから概ね含水率計で測定した結果と質量含水率で測定した結果は一致している。

浮いた仕上げモルタルを取り除き、コンクリート内部の含水率を低下させるために表面含浸材の塗布を行い、含水状態の経時変化を含水率計により評価できるか検討した。その結果を図-6 に示す。これによると時間の経過とともに含水率が低下しており、含水率計で含水状態の経時変化の評価が可能であることを確認した。

(3) 方位の違いによる影響

調査対象物 O3 において東西南北の方位による環境条件の違いについて検討を行った。含水率の調査結果を図-7 に示す。図-7 からわかるように、調査対象物 O3 では南東、南西面で含水率が高く、北東、北西面はそれらよりも含水率が低い結果となった。

調査対象物 O3 は海の近くの場所に位置しており、建物の南側が海に面している。また、海風が卓越する環境であるため、より南西側と南東側の含水率に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。このことから、建築物の立地によっても含水率が変化し得ることが考えられる。また、調査対象物 O3 の各方位において建物の劣化度調査を行った。写真-1 から南西側の柱には、鉄筋の腐食によるひび割れが発生している。写真-2 より北東面はひび割れが発生しておらず、鉄筋の腐食は南西面、南東面より比較的抑えられていると考えられる。すなわち、

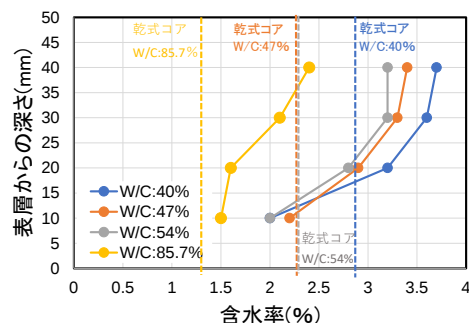


図-5 実大コンクリート壁 2 の測定結果

表-8 含水率計の平均値と乾式コアの測定値の比較

	含水率(%)			
	40	47	54	85.7
乾式コア	2.87	2.28	2.30	1.30
含水率計	3.13	2.95	2.80	1.90

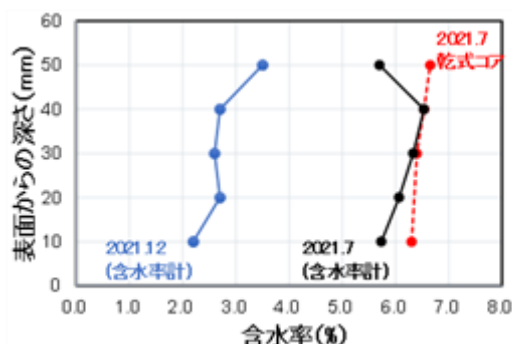


図-6 調査対象物 O1 での測定結果

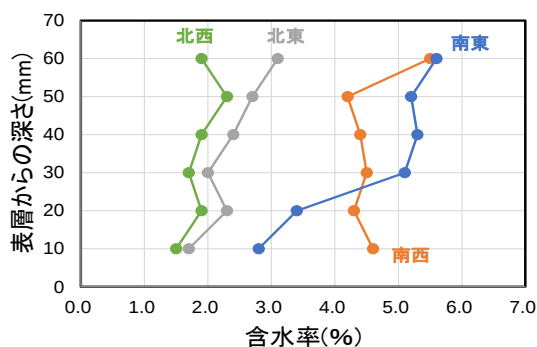


図-7 調査対象物 O3 の乾式コアによる質量含水率

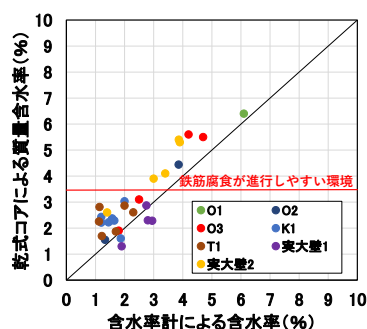


写真-1 南西側柱 (O3)

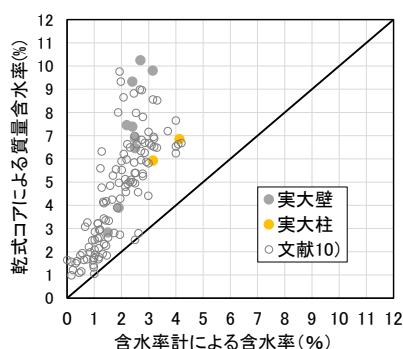


写真-2 北東面 (O3)

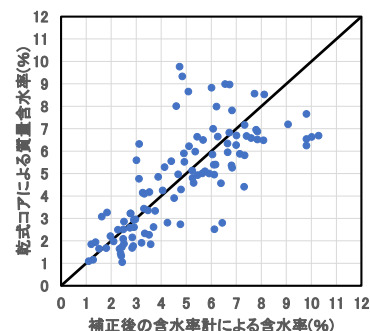
高含水率であった南西面(写真-1)と南東面は損傷が著しく、逆に含水率が南西および南東面と比較して低かった北西および北東面(写真-2)は比較的軽微な損傷に抑



図－8 含水率計の測定値と質量含水率の比較



図－9 高炉セメント B 種を用いた構造物の含水率計の測定値と乾式コアの質量含水率の比較



図－10 補正後の高炉セメントを用いた構造物の含水率

えられていた。調査対象物 O3 は約 4.0kg/m^3 の内在塩分を有しており、北西面に比べて南西面が約 3.0kg/m^3 程度塩分含有量が高いことから、鉄筋腐食に含水率が関係していることが考えられ、含水率計による含水率評価はこのような居所的な腐食環境評価にも資すると考える。

3.4 電極挿入型電気抵抗式含水率計と質量含水率の関係

前項で検討した結果、本研究で用いた含水率計は、比較的簡便に測定が可能であることが示唆された。そこで、これまで実構造物において行った含水率計による測定結果と乾式コア採取により測定した含水率の関係を図－8に示す。図－8 より含水率計の値は乾式コアで測定した質量含水率の値に比べて若干低い値を示す傾向がみられる。既往の研究^{2), 7)}において骨材の存在により、電気抵抗率が大きくなり含水率が低下する傾向が示されており、測定孔径が 6.5mm と小さいため測定孔近くの骨材の電気抵抗の影響が大きいのではないかと推測される。

古賀ら⁸⁾は塩化物を含む鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食が進行しやすい環境として含水率 3.5% 以上とされている。また、塩化物を含有していない既存 RC 構造物の躯体調査を実施している酒井ら⁹⁾によっても同様な傾向が確認されている。上記の影響を考慮して含水率計による含水率によって鉄筋腐食が進行しやすい環境を評価することが可能であると考えられる。含水率の閾値については、今後も実構造物のデータを蓄積し、検討を行う予定である。

4. 材料特性が測定値に及ぼす影響の検討

4.1 セメント種類の影響

実大壁 1 および実大柱において高炉セメント B 種を使用したコンクリートの含水率計による測定結果とコア質量含水率の測定結果を図－9 に示す。なお、図中には、文献¹⁰⁾における高炉セメントを使用した実構造物における測定結果も示している。図－9 からわかるように、高炉セメント B 種が使用されているコンクリート

表－9 セメントの化学組成

記号	化学組成					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
N	22.52	4.92	3.26	64.74	1.50	1.85
BB	27.26	11.29	2.09	52.53	2.76	1.63

では、含水率計の測定値は乾式コアから測定した質量含水率よりも低く示されている。含水率計は電気抵抗率が高いほど低い値を示すため、高炉セメントを使用したコンクリートは普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートと同一の含水率時の電気抵抗率が高いことが考えられる。既往の研究^{3), 7), 11)}においても高炉セメントを使用した場合、電気抵抗率が高くなることが示されている。その要因として、既往の研究¹²⁾では細孔溶液中イオンに対する固相界面の電気化学的作用に起因しているとされている。そこで、高炉セメント B 種と普通ポルトランドセメントの化学組成の違いについて着目した。セメントの化学組成を表－8 に示す。これによると高炉セメント B 種は普通ポルトランドセメントと比較して、酸化アルミニウム (Al₂O₃) 量が多い。セラミック分野の既往の研究¹¹⁾ではあるが、焼成温度が 1300°C 以上と高い場合、Al₂O₃ 量の増加とともに、電気抵抗率が増加する結果が示されている。このことから高炉セメント B 種の電気抵抗率が高くなるのは、高炉セメント中の Al₂O₃ の影響であることが要因の 1 つとして考えられる。そこで、高炉セメントを用いたコンクリートの評価方法として補正值の導入を検討した。文献¹⁰⁾のデータを含め、いずれの含水率においても乾式コアの質量含水率に対する含水率計の測定値の比が $1\sim 5$ の範囲に分布しており、その平均値として 2.45 を乗じることとした。その結果を図－10 に示す。これによると、おおそ評価が可能であると考えられる。補正值については今後も検討する予定である。

4.2 異なる材料を用いた実大試験体による測定

実大壁 1 では、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの他に、細骨材に高炉スラグ細骨材を用い

たコンクリート(以下, BFS), 高炉セメント B 種と人工軽量骨材を用いた軽量コンクリート 2 種(以下, BBL)およびフライアッシュを混合したコンクリート(以下, FA)で作製されている。ここではこれらの材料の違いが含水率計の測定値に及ぼす影響について検討を行った。乾式コアの質量含水率と含水率計での含水率の測定結果を図-11 に示す。

図-11 より, 実大壁の N 試験体は乾式コアの質量含水率と含水率計の測定値が概ね一致する傾向にあるが, しかしその他 FA, BFS, BBL 試験体では, N 試験体と比較すると両者の値は大きく異なる結果を示した。このことから, 含水率計での測定は, 建築物に使用されている材料によって値が変化することがわかった。これは, 図-4 に示すように本測定器が普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの電気抵抗率と含水率の関係により含水率の測定が算出されているためと思われる。実構造物の調査では実際の使用材料が既知の場合も少ないため, 1 か所でも乾式コアを採取することができれば, カウント値を利用して対象建物の含水率とカウント値の検量線を作成することで, 含水率計の評価も可能になるのではないかと考えられる。今後, 含水率計の有用性を示すため, さらなる資料の集積が求められる。

5. まとめ

以下に本調査で得られた知見を示す。

- (1) 電極挿入型電気抵抗式含水率計の測定は同箇所でも繰り返し測定しても問題ない。また, 測定孔を開ける際にドリルによって生じる熱の影響も考慮しなくて概ね問題ないことがわかった。
- (2) 普通ポルトランドセメントを用いた鉄筋コンクリート造の建築物であれば, 電極挿入型電気抵抗式含水率計で含水率を精度よく把握できる。
- (3) 使用されているセメントの種類によって電極挿入型電気抵抗式含水率計の測定値に影響が出ることがわかった。特に本研究では高炉セメント B 種を用いた実大試験体に関しては, 実際の質量含水率よりも低く表示されることがわかった。

謝辞

本研究にあたり, 一級建築士事務所アトリエ・ネロの根路銘安史氏, 日本工業大学田中章夫氏に多大なるご助力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 日本建築学会大会[中国]材料施工部門一パネル

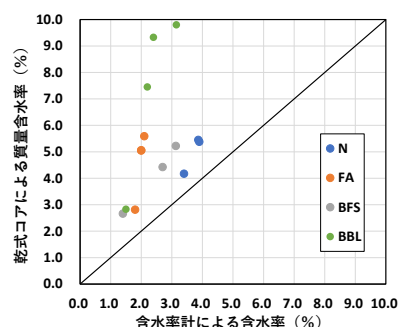


図-11 実大壁 2 の測定結果

ディスカッション(1)「鉄筋コンクリート造建築物の限界状態再考—中性化は寿命化?」資料, 2017

- 2) 柳東佑, 高正遠, 兼松学, 野口貴文: 打放しコンクリート中の水分分布に及ぼす降雨の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 619 号, pp.21-26, 2007
- 3) 湯浅昇, 笠井芳夫: 非破壊による構造物コンクリートの水分測定方法, コンクリート工学, Vol. 32, No. 9, pp.49-55, 1994
- 4) 玉井譲, 上田洋: 外部環境がコンクリート構造物内部の含水状態に与える影響, 土木学会第 64 回年次学術講演会, V-215, pp.427-428, 2009
- 5) 渡部和信, 横山和宏, 一宮亮一: ドリル加工における被削材およびドリルの温度分布と加工穴精度への熱影響, 精密機械, 41 巻 11 号, pp.44-49, 1975
- 6) 遠藤真路, 今本啓一, 清原千鶴: 内塩分を有する今帰仁公民館の損傷調査および劣化進行抑制方法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.367-368, 2022
- 7) 福上大貴, 水越睦視, 太良男浩生, 上松航星: コンクリートの電気抵抗率の測定方法およびその影響因子に関する検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会, V-037, pp.73-74, 2012
- 8) 古賀一八, 林典男, 平田延明: 高濃度塩化物イオン含有 RC 造建築物の含水率および鉄筋腐食調査, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.783-788, 2008
- 9) 酒井正樹, 神代泰道, 小林利充, 植松俊幸: RC 造建築物の躯体調査に基づく含水率と中性化・鉄筋腐食の進行に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.577-582, 2017
- 10) 白石聖, 兼松学, BAE Sung Chul, 今本啓一, 濱崎仁, 野口貴文, 田村政道, 土屋直子: 旧国立霞ヶ丘競技場の建築材料調査その 7: 含水率, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) pp.429-430, 2015
- 11) 菊地道生, 金沢貴良, 斎藤豪, 佐伯竜彦: セメント系硬化体の電気抵抗率とその影響因子に関する検討, Cement Science and Concrete Technology, Vol.66, pp.189-196, 2012
- 12) 庄司守孝, 田中滋, 白川晋吾, 山田誠一: ZnO セラミックスの電気抵抗と焼結性に及ぼす Al_2O_3 , MgO , SiO_2 の添加効果, Journal of the Ceramic Society of Japan, 108, pp.83-93, 2000