

論文 気象観測データを考慮したコンクリートの含水変化の推定

松村 光太郎^{*1}・川瀬 清孝^{*2}・南部 正樹^{*3}

要旨：コンクリート内部の含水変化は、乾燥収縮や凍害劣化等に影響をもたらすため、その特性を把握する必要がある。そのため、著者らは、気象観測データからコンクリートの含水変化量を導く実験式を誘導している。そこで、本研究では、全国各地域の含水変化量を把握することを目的として、まず、導いた実験式の有効性を確認した。そして、実験式に全国各地域の気象観測データを代入し、日毎のコンクリート含水変化量を試算し、材齢1年までの1年間の総含水変化量を推定し、その特性を把握した。

キーワード：含水変化, 暴露試験, AMeDAS, 気象観測, ポーラスコンクリート

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮や凍害は、コンクリートのひび割れを引き起こす要因として問題視されている。乾燥収縮については、コンクリート内部の含水変化量が収縮に影響し、凍害については、コンクリート内部の含水量が影響するといわれている。そのため、著者らは、既報¹⁾で、気象観測データ(降水量, 気温, 風速, 日照時間)から、コンクリート内部の含水特性、特に含水変化量を定量的に表す実験式を誘導している。

そこで、本研究では、全国各地域におけるコンクリート内部の含水変化量を把握することを目的として、まず、既報¹⁾で導いた実験式を検証する。そして、気象観測データを検証された実験式に当てはめ、全国各地域におけるコンクリートの含水変化量を試算し、コンクリートの含水変化量の特性を検討する。

2. 実験式の検証

2.1 実験の概要¹⁾

実験は、コンクリートの含水変化量を把握することを目的として、表-1に示す調合のポーラスコンクリートと普通コンクリートとについ

て暴露を行い、質量変化量を測定し、気象観測データ(降水量, 気温, 風速, 日照時間)からコンクリートの含水変化量を導く実験式を誘導している。暴露方法は、図-1に示すように、コンクリートの試験体を小山工業高等専門学校建築棟近傍(栃木県小山市大字中久喜 771 番地, 北緯 36° 18' 36", 東経 139° 50' 24", 海拔 82m)における砂地盤上および高さ 750mm の水平な架台上の2カ所に暴露している。また、暴露地近傍に、気象庁で使用している測定機器に準拠した観測機器を設置し、気象データを観測している。なお、暴露試験の測定は、2001年9月6日(材齢28日)より開始している。



図-1 暴露試験設置方法

*1 小山工業高等専門学校助手 建築学科 博士(工学) (正会員)

*2 (株)新潟建築確認検査機構 代表取締役 工博 (正会員)

*3 新潟大学工学部技官 建設学科

表-1 コンクリートの調合

調合名	W/C	単位水量	細骨材率	C/S	目標空隙率	混和剤	質量(kg/m ³)				AE剤(g/m ³)
							水	セメント	細骨材	粗骨材	
P-25	25%	55kg/m ³	—	2.0	25.0%	—	55	220	110	1522	—
N-50	50%	180kg/m ³	40%	—	4.5%	AE剤	180	360	688	1035	108

2.2 実験式の誘導方法¹⁾

コンクリートの含水変化量を導く実験式は、単位容積当たりの質量変化量(以下、含水変化量とする。)をコンクリートの含水変化量と同等なものとして捉え、誘導している。

式(1)は、説明変数を気象観測データ(降水量、気温、風速、日照時間)とし、ポーラスコンクリートの1日毎の含水変化量を説明変数として行った重回帰分析結果から誘導している。重回帰分析の結果は、表-2に示す。

表-2 式(1)の重回帰統計

相関係数	寄与率	標準誤差	データ数
0.937	0.879	0.00151	91

表-3 式(2)の係数

係数の条件		係数
PL	砂地盤上	1.00
	架台上	1.07
G	ポーラスコンクリート	1.00
	普通コンクリート	0.77

$$C_{pg} = 0.00577 + 0.00014R - 0.00037S - 0.00194W - 0.00015T \quad (1)$$

ここに、 C_{pg} : ポーラスコンクリートの含水変化量(g/cm³/day)

R : 日総降水量(mm/day)

S : 日総日照時間(h/day)

W : 日平均風速(m/s)

T : 日平均気温(°C)

さらに、式(2)は、設置場所(砂地盤上、架台上)、コンクリートの種類(普通コンクリート、ポーラスコンクリート)を、それぞれの両者の関係を考慮して誘導している。なお、暴露測定期間は、暴露開始(2001年9月6日)から2002年12月6日までの91日間としている。

$$C = PL \times G \times C_{pg} \quad (2)$$

ここに、C : コンクリートの含水変化量(g/cm³/day)

PL : 設置条件の係数(表-3)

G : コンクリート条件の係数

2.3 実験式の修正

本研究では、まず、実験式を検証するために、1年間(2001年9月6日~2002年9月6日)に暴露近傍で観測された気象データを式(1)に当てはめ、含水変化量を試算し、実測値と比較した。

式(1)により試算した含水変化量と実測値との関係を図-2に示す。また、試算した含水変化量の積算値と実測された含水変化量の積算値とを図-3に示す。

両者の関係は、式(1)を誘導するために用いた91日間のデータを含んだ、暴露開始から6ヶ月間は、ほどよい相関を示していた。しかしながら、暴露開始から7ヶ月目以降は、実測値と試算値とのずれが大きくなっていた。これは、式(1)を誘導するために用いた91日間のデータに、台風など、日総降水量が40mm/dayを越えた日がなかったことや、暴露期間に雨期が少なかったことが影響していると考えられる。

そこで、本研究では、式(1)の精度を向上させるために、既報¹⁾と同様、目的変数を1年間(365日)における含水変化量の実測値、説明変数を気象観測データとして重回帰分析を行い、修正した実験式として、式(1')を誘導した。

$$Cpg = 0.002963 + 0.000231R - 0.00038S - 0.00013W - 0.00011T \quad (1')$$

各個々の説明変数と目的変数とのそれぞれの関係を、相関行列表としてを表-4に示す。また、重回帰分析結果として、重回帰統計表を表-5に、分散分析表を表-6に、回帰係数表を表-7に示す。さらに、実測値と式(1')による試算結果との関係を図-4に示す。各個々の説明変数と目的変数のそれぞれの関係は、それほど強くないものの、説明変数を4要素で行った重回帰分析では、強い相関があった。この重回帰分析は、1年間の様々な気象条件下でのデータで誘導しているため、修正した実験式の有効性は高い考えられる。

したがって、1日のポーラスコンクリートの含水変化量は、材齢1年までであれば、日総降水量、日総日照時間、日平均風速および日平均気温から、式(1')で試算できることがわかった。また、既報¹⁾より、砂地盤上と建築物を想定した架台上としての設置場所、あるいは普通コンクリートとポーラスコンクリートとしてのコンクリートの種類を変えた場合の含水変化量の関係は、一義的な相関関係にあることから、式(2)より、コンクリートの設置場所あるいは種類を考慮したコンクリートの含水変化量が試算できることがわかった。

表-4 相関行列表

変数	R	S	W	T	Cpg
R	1	-0.349	0.202	0.132	0.834
S	-0.305	1	0.1901	-0.150	-0.584
W	0.202	0.190	1	0.0649	0.0422
T	0.132	-0.150	0.0649	1	-0.083
Cpg	0.834	-0.584	0.0422	-0.083	1

表-5 式(1')の重回帰統計表

相関係数	寄与率	標準誤差	データ数
0.934	0.872	0.00134	365

表-6 式(1')の分散分析表

変動	自由度	不偏分散	分散比	有意 F
回帰	4	0.001096	612.184	4.0×10^{-159}
残差	360	1.79×10^{-6}	—	—
合計	364	—	—	—

表-7 回帰係数表

変数	回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
切片	0.002963	0.000241	12.296	3.00×10^{-29}
R	0.000231	6.36×10^{-6}	36.373	1.30×10^{-122}
S	-0.00038	2.03×10^{-5}	-18.627	1.05×10^{-54}
W	-0.00013	0.000128	-1.016	0.310389
T	-0.00011	8.56×10^{-6}	-12.40	1.18×10^{-29}

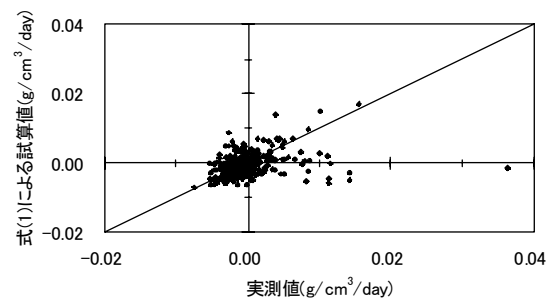


図-2 含水変化量の実測値と式(1)による試算値との関係

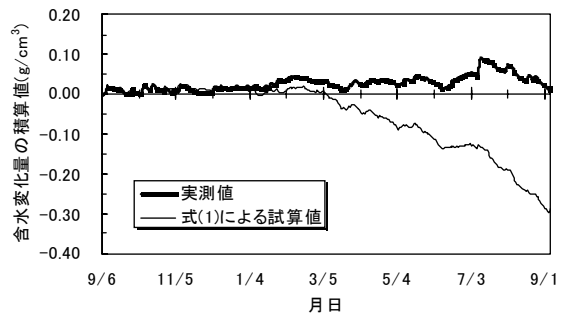


図-3 実測値と式(1)による試算値の含水変化量積算値

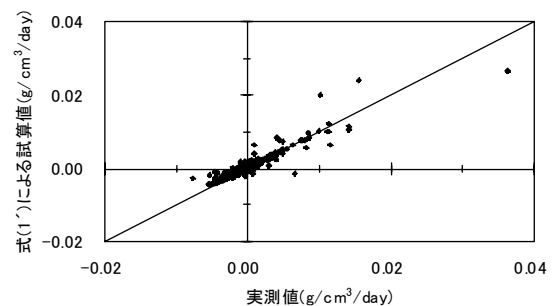


図-4 含水変化量の実測値と式(1')による試算結果との関係

3. コンクリートの含水変化量の試算

3.1 AMeDAS データによる試算

本研究では、AMeDAS で観測されている日別平年値²⁾を式(1')に代入し、1年間日毎の結果から、材齢1年までの1年間の総コンクリ

ートの含水変化量を試算した。なお、試算は、AMeDAS 観測所の内、データの信頼性が高い地上気象観測装置が設置された158地点について行った。また、欠測データについては、EA 気象データの計算方法³⁾を用いて補充した。

表-8 含水変化量の試算結果の例

観測所名	1年間の総含水変化量 (g/cm ³ /year)				観測所名	1年間の総含水変化量 (g/cm ³ /year)			
	普通		ポーラス			普通		ポーラス	
	砂地盤	架台上	砂地盤	架台上		砂地盤	架台上	砂地盤	架台上
稚内	0.019	0.020	0.024	0.026	名古屋	-0.108	-0.115	-0.140	-0.150
旭川	0.038	0.041	0.050	0.053	岐阜	-0.021	-0.022	-0.027	-0.029
留萌	-0.012	-0.013	-0.015	-0.016	津	-0.120	-0.128	-0.156	-0.167
札幌	0.005	0.006	0.007	0.008	新潟	0.119	0.128	0.155	0.166
岩見沢	-0.009	-0.010	-0.012	-0.013	富山	0.218	0.233	0.283	0.303
倶知安	0.073	0.078	0.094	0.101	金沢	0.153	0.164	0.199	0.213
網走	-0.027	-0.029	-0.036	-0.038	福井	0.213	0.228	0.277	0.296
根室	0.092	0.098	0.119	0.128	彦根	0.039	0.041	0.050	0.054
釧路	0.147	0.158	0.191	0.205	京都	0.046	0.050	0.060	0.064
帯広	0.083	0.089	0.107	0.115	大阪	0.004	0.004	0.005	0.006
室蘭	0.017	0.018	0.022	0.024	神戸	-0.012	-0.012	-0.015	-0.016
浦河	0.076	0.082	0.099	0.106	奈良	0.037	0.040	0.048	0.052
函館	0.004	0.005	0.005	0.006	和歌山	0.050	0.053	0.064	0.069
江差	0.061	0.065	0.080	0.085	岡山	0.050	0.054	0.065	0.070
青森	0.028	0.030	0.037	0.039	広島	-0.131	-0.140	-0.170	-0.182
秋田	0.149	0.159	0.193	0.202	松江	0.093	0.100	0.121	0.129
盛岡	0.073	0.078	0.095	0.101	鳥取	0.140	0.149	0.181	0.194
仙台	0.032	0.035	0.042	0.045	徳島	-0.126	-0.135	-0.164	-0.175
山形	0.088	0.095	0.115	0.123	高松	-0.144	-0.154	-0.187	-0.200
福島	0.046	0.049	0.059	0.064	松山	-0.090	-0.096	-0.117	-0.125
水戸	0.015	0.016	0.019	0.020	高知	0.085	0.091	0.110	0.118
宇都宮	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	山口	0.088	0.095	0.115	0.123
前橋	-0.118	-0.126	-0.153	-0.164	福岡	-0.039	-0.042	-0.051	-0.054
熊谷	-0.074	-0.079	-0.096	-0.102	大分	-0.039	-0.042	-0.051	-0.055
東京	-0.081	-0.087	-0.105	-0.112	長崎	0.032	0.034	0.042	0.045
千葉	-0.123	-0.132	-0.160	-0.172	佐賀	0.091	0.098	0.119	0.127
横浜	-0.053	-0.057	-0.069	-0.074	熊本	0.027	0.029	0.035	0.037
長野	-0.074	-0.079	-0.096	-0.103	宮崎	0.024	0.026	0.032	0.034
甲府	0.073	0.078	0.095	0.102	鹿児島	0.273	0.292	0.354	0.379
静岡	0.037	0.040	0.048	0.051	那覇	-0.220	-0.235	-0.285	-0.305

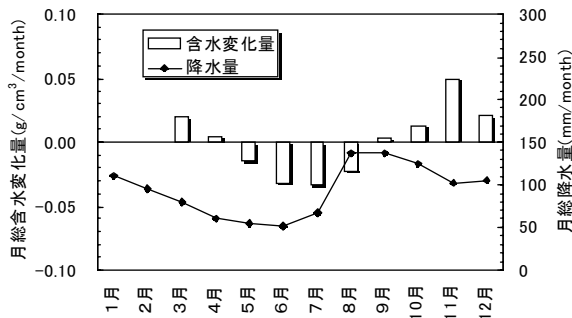


図-5 月別含水変化量(札幌)

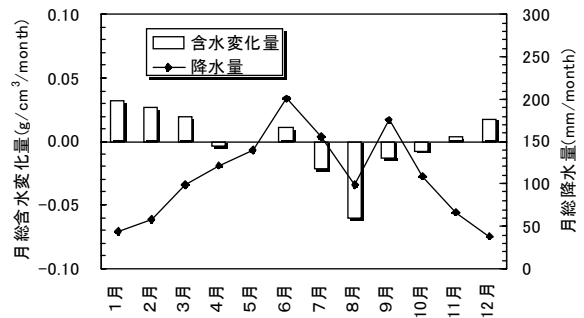


図-8 月別含水変化量(大阪)

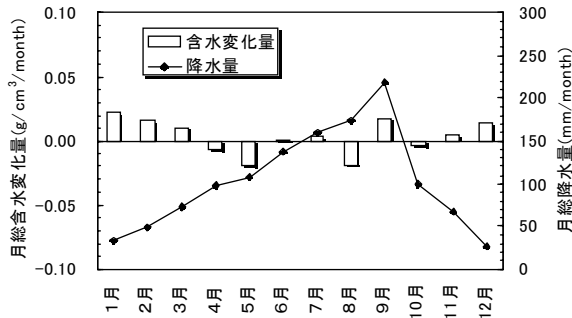


図-6 月別含水変化量(仙台)

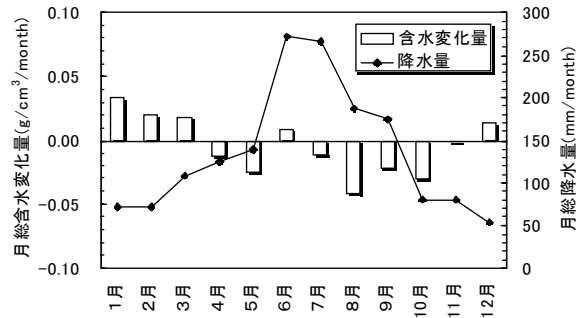


図-9 月別含水変化量(福岡)

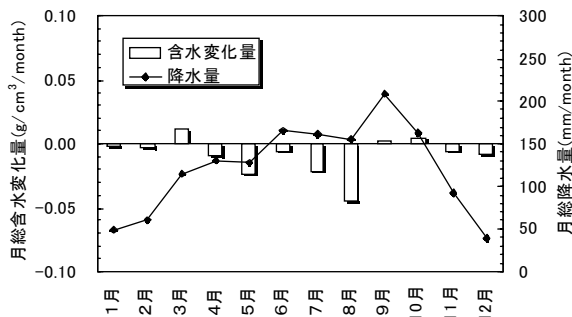


図-7 月別含水変化量(東京)

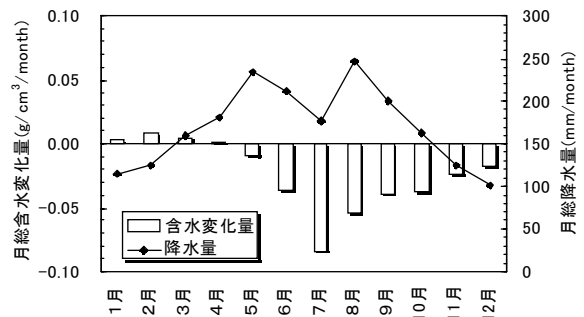


図-10 月別含水変化量(那覇)

試算した158地点の内、各気象台管理区の観測所各1地点(60地点)についての1年間の総含水変化量を表-8に示す。また、札幌、仙台、東京、大阪、福岡および沖縄の各管区気象台の観測所各1地点について、月毎の総含水変化量を図-5～図-10に示す。

コンクリートの含水変化量は、瀬戸内海周辺、関東、伊勢湾周辺、九州と北海道の一部、および沖縄で減少する結果となった。これは、沖縄以外、冬期に降水量が少ない地域であり、冬期の増加が少なく、年間の総含水変化量に影響していると考えられる。沖縄に関しては、降水量が多いものの、気温が高く、かつ日照時間が長く、夏期の減少が大きいためと考えられる。

各月におけるコンクリートの含水変化量の増

減の変動は、一義的な傾向はないものの、基本的には、冬期に増加し、夏期に減少する傾向にあった。

本研究では、実験式を誘導した暴露期間に、積雪のあった日がなく、また、日平均気温が氷点下の日もなかったため、日平均気温が氷点下の日には、水分が凍結したまま移動しないと判断して試算した。そのため、札幌に関しては、1～2月に増加しないという結果になった。しかしながら、実際には、積雪の一部が日射などによって融雪水となり、かつコンクリート表面近傍の一部の凍結水も日射などによって融解し、コンクリート内に水分移動があると考えられる。日平均気温が氷点下になるときの水分移動については、今後の課題である。

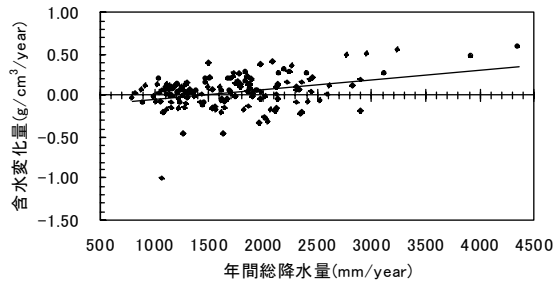


図-11 含水変化量と年総降水量との関係

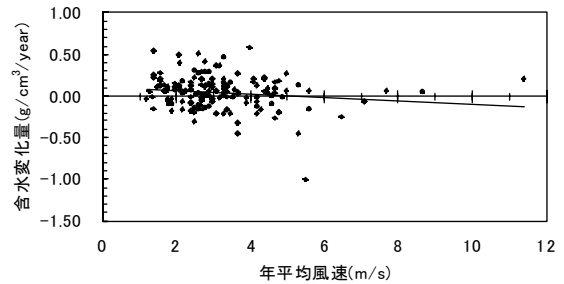


図-13 含水変化量と年平均風速との関係

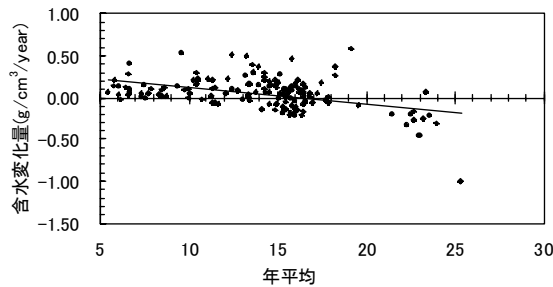


図-12 含水変化量と年平均気温との関係

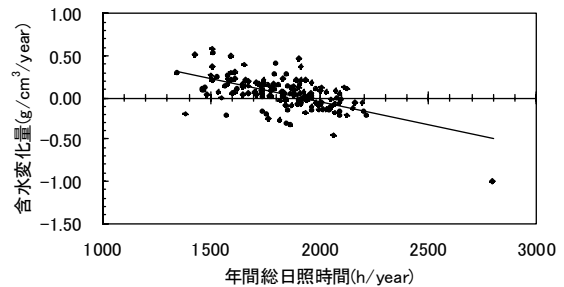


図-14 含水変化量と年総日照時間との関係

3.2 含水変化量の特性

図-11～図-15に、試算した材齢1年までの1年間の総含水変化量と、年総降水量、年平均気温、年平均風速、年総日照時間および年平均相対湿度の各気象データとの関係を示す。

材齢1年までの1年間の総含水変化量は、各気象データとも、強い相関はなかった。しかしながら、1年間の総含水変化量は、増加分は、年総降水量に影響し、減少分は、年平均気温と年総日照時間とに影響する傾向にあった。また、年平均風速および年平均相対湿度に関しては、影響は少ないと考えられる。

4. まとめ

本研究では、全国各地域におけるコンクリート内部の含水変化量を把握することを目的として、AMeDAS データから全国各地域における材齢1年までの1年間のコンクリートの含水変化量を試算した。その成果を以下に示す。

- (1) コンクリートの含水変化量は、外的要因としての降水量、風速、気温、日照時間の4要素で表すことが可能で、式(1')を誘導した。
- (2) AMeDAS データを用いて全国各地域の日毎

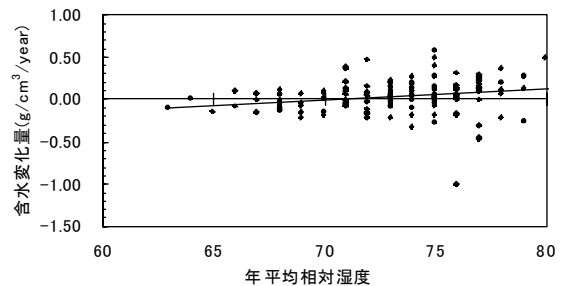


図-15 含水変化量と年平均相対湿度との関係

のコンクリートの含水変化量を試算し、基本的には、冬期に増加し、夏期に減少することがわかった。また、増加は降水量に、減少は気温と日照時間とに影響があることがわかった。

参考文献

- 1) 松村光太郎, 藤原聡, 川瀬清孝, 南部正樹, 自然環境下におけるポーラスコンクリートの含水特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1119-1124, 2002
- 2) 気象庁, 平年値(統計期間1971～2000年), CD-ROM, (財)気象業務支援センター, 2001
- 3) 日本建築学会, 拡張アメダス気象データ, 日本建築学会, 2000