

論文 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

松村 光太郎^{*1}・藤原 聡^{*2}・川瀬 清孝^{*3}・南部 正樹^{*4}

要旨：ポーラスコンクリートは、植生を考慮するため、コンクリート内部の含水特性を把握する必要がある。特に、自然環境下においては、その特性が明確となっていない。そこで、本研究では、自然環境下におけるポーラスコンクリートの含水特性を把握することを目的とし、ポーラスコンクリートを自然環境下に暴露させ、質量変化量を測定した。その結果を用いて、気象データ(降水量, 日照時間, 風速, 気温)からポーラスコンクリートの含水変化量を導く実験式を誘導した。

キーワード：ポーラスコンクリート, 含水特性, 暴露試験, 気象データ

1. はじめに

ポーラスコンクリートは、透水性や透気性、あるいは吸音性に優れ、水質浄化効果、生物の棲みかとしての機能も有している¹⁾。そのため、自然環境との調和や環境負荷低減が可能な環境共生型コンクリートとして様々な研究が行われている²⁾。しかしながら、内部の含水特性については未だ明らかとなっていない。

そこで、本研究では、自然環境下におけるポーラスコンクリートの含水特性を外的要因から把握することを目的として、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試験を行い、気象データから質量変化量を表す実験式を導いた。そして、ポーラスコンクリートの含水特性と普通コンクリートの含水特性との差を検討し、併せて建築物への応用も検討した。

2. 実験計画および方法

2.1 実験の概要

本研究では、自然環境下におけるポーラスコンクリートの含水特性を把握することを目的とし、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試験を行い、質量を測定し、その変化量に着目して実験式を誘導した。

2.2 コンクリートの調合

実験に用いたコンクリートの調合を表-1に示す。コンクリートの使用材料は、普通ポルトランドセメント(太平洋セメント(株)製, 密度 3.16g/cm³), 細骨材に鬼怒川産川砂(粗粒率 2.46, 実積率 63.0%, 表乾密度 2.60g/cm³), 粗骨材に鬼怒川産川砂利(粗粒率 6.76, 実積率 64.8%, 表乾密度 2.61g/cm³), 混和剤として AE 剤(山宗化学(株)製, ヴィンソル)を用いた。

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

*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 千葉大学工学部 都市環境システム工学科

*3 (株)新潟建築確認検査機構 代表取締役 工博 (正会員)

*4 新潟大学工学部技官 建設学科

表-2 コンクリートの物性

調査名	フレッシュ性状				硬化性状					
	スランプ (cm)	空隙率(空気量)		単位容積質 量(kg/m ³)	圧縮(N/mm ²)		曲げ強度 (N/mm ²)	見掛け密度(kg/m ³)		
		圧力法	容積法		7日	28日		7日	14日	28日
P-25	—	—	22.2%	2100	—	18.0	3.50	2070	2100	2060
N-50	14.8	3.9%	3.0%	2260	17.1	32.4	—	2240	2250	2210

調査は、ポーラスコンクリート(P-25)については、目標空気量を25%、粉体砂質量比(C/S)を2.0、水セメント比を25%として計画した。また、普通コンクリート(N-50)については、水セメント比を50%、目標空気量を4.5%、目標スランプを18cmとして計画した。

2.3 試験体の作製・養生方法およびコンクリートの物性

暴露試験体は、ポーラスコンクリートと普通コンクリートと共に平面を250×250mmとし、厚さを実際のスラブと対応を計るために120mm(0.0075m³)とした。なお、打込み用型枠は木製(コンクリート型枠用ウレタン塗装合板)とし、水漏れを防止するために、接合部には油粘土で止水を行った。また、各試験体の大きさおよび個数は、圧縮用試験体は100φ×200mm各3個とし、曲げ用試験体は100×100×400mm各3個、質量測定用(暴露用)試験体は、250×250×120mm各3個とした。ポーラスコンクリートおよび普通コンクリートの圧縮用試験体における端面処理は、セメントペースト(W/C:20%)によるキャッピング処理とした。

コンクリート試験体の養生方法および各試験過程を、図-1に示す。全試験体について、打込み直後から材齢7日までは、試験室(20℃, 60%RH)における型枠内で養生した。なお、乾燥を防ぐために、打込み面は湿布で覆った。材齢7日で脱型した後に材齢14日までは、標準水中養生(20℃)とした。その後、材齢14日から材齢28日までは、気中養生(20℃, 60%RH)を行い、内部の水分を安定させた。

コンクリートの物性を表-2に示す。ポーラスコンクリートの空隙率試験は、ポーラスコン

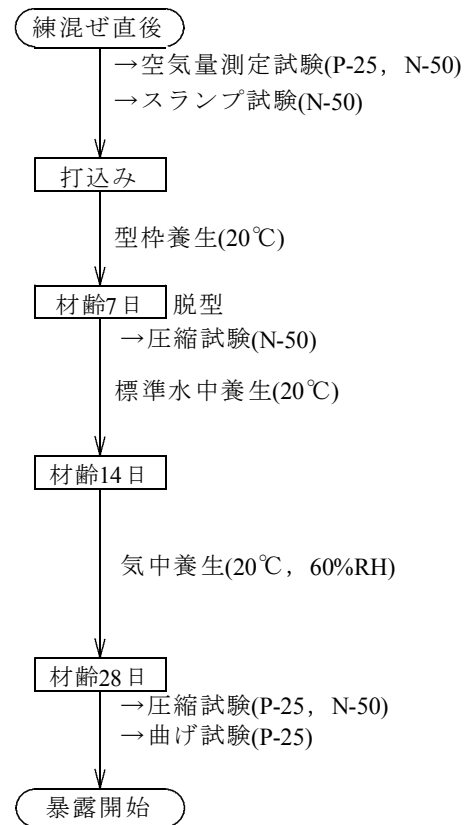


図-1 養生方法および試験過程

クリートの空隙率測定方法(案)における容積法に準じ、普通コンクリートについては、JIS A 1116およびJIS A 1128に準じた。なお、空隙率の試験結果は、目標空隙率の25.0±3%を満足した。なお、ポーラスコンクリートについては、水平な電動振動台(2800±50rpm)上で型枠を振動台に固定した状態で打ち込んだ。また、型枠は、圧縮用試験体および曲げ用試験体は鋳鉄製とし、質量測定用(暴露用)試験体は木製(コンクリート型枠用ウレタン塗装合板)とした。

2.4 暴露試験方法

暴露試験体の設置方法を図-2に示す。暴露試験体は、ポーラスコンクリートと普通コンク

リートと共に、小山工業高等専門学校 of 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)に設置した。なお、暴露条件は、法面施工や河川工事を考慮した砂地盤上、および建築物への応用を考慮した高さ 750mm の水平な架台上の 2 カ所とした。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気象データ観測機器を設置し、気温、日照時間、降水量、風向、風速などを同時に測定し、毎時のデータを観測した。暴露試験の測定期間は、2001 年 9 月 6 日より 2001 年 12 月 6 日までの 91 日間とし、測定は毎日 18 時に行った。なお、質量測定前に、軽く湿らせた布で、試験体表面に付着した砂や埃、あるいは雨水などを取り除き、各日同一条件で質量を測定した。

2.5 気象データ観測方法

気象データの観測は、地域気象観測(アメダス)の方法に準拠した。各気象要素の観測値について以下に示す。なお、暴露 1 日分の質量変化に対応させるため、質量測定直後(18 時)から質量測定直前(17 時)のデータを用いて、各項目に示すように、1 日分の気象データを算出した。

(1) 降水量

降水量は、0.5mm を単位として連続的に積算し、毎時 00 分の 1 時間前の記録との差を 1 時間値として用いた。なお、1 日分の降水量は、1 日の総降水量(日総降水量)とした。

(2) 風向

風向は、毎時 00 分の前 10 分間の平均風向を、正時の値として「01 ~ 16(方位)」で表した。なお、01 を北北東とし、16 を北とした。ただし、その時の平均風速が 1m/s 未満の場合は風向値を「00(静穏)」とした。なお、1 日分の風向は、1 日の平均風向(日平均風向)とした。

(3) 風速

風速は、毎時 00 分の前 10 分間の平均風速を 1m/s 単位で表した。なお、1 日分の風速は、1 日の平均風速(日平均風速)とした。



図-2 暴露試験設置方法

(4) 気温

気温は、毎時 00 分の値を 0.1 °C 単位で表した。なお、1 日分の気温は、1 日の平均気温(日平均気温)とした。

(5) 日照時間

日照時間は、太陽電池式日照計で測定し、0.1 時間(h)単位で表した。なお、1 日分の日照時間は、1 日の総日照時間(日総日照時間)とした。

3. 実験結果および考察

3.1 暴露用試験体における暴露前の含水率

コンクリート暴露用試験体の暴露開始前(材齢 28 日)の含水率を把握するために、暴露試験体と同寸法(250 × 250 × 120mm)で、かつ同条件で養生した試験体の含水量を測定した。

測定方法は、JIS A 1125(骨材の含水率試験方法及び含水率に基づく表面水率の試験方法)を準用して、含水率を計算することとした。なお、乾燥条件は、65 ± 5 °C とし、質量の変化が 1g 以内となるまで測定を続けた。コンクリート暴露用試験体における含水率は、式(1)によって算出した。

$$Z = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

ここに、Z : 試験体の含水率(%)

W : 乾燥前の試験体質量(g)

W₀ : 乾燥後の試験体質量(g)

表-3 暴露前の含水量および含水率

調合名	含水量	含水率
P-25(ポーラス)	68.4kg/m ³	3.30%
N-50(普通)	108.3kg/m ³	5.12%

ポーラスコンクリートと普通コンクリートとの暴露前における含水量および含水率を表-3に示す。本研究における含水率は、ポーラスコンクリートよりも普通コンクリートの方が大きい結果となった。これは、ポーラスコンクリートが内部に連続した空隙が存在し、表面積が普通コンクリートよりも大きいため、気中養生(20℃, 60%RH)中に、より多くの水分がコンクリート内部より放出したと考えられる。

3.2 暴露試験による質量変化量

暴露用試験体の質量測定結果から、暴露開始時を初期データとして、単位容積当たりの質量変化量を求めた。本研究では、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た。なお、含水変化量は、式(2)に示すように、1日毎の含水変化量として算出した。

$$Y = \frac{W_n - W_{n-1}}{V} \quad (2)$$

ここに、Y : 含水変化量(g/cm³/day)
 W_n : n日目の含水量(g)
 W_{n-1} : n-1日目の含水量(g)
 V : 試験体容積(cm³)

ポーラスコンクリートの含水変化量と普通コンクリートの含水変化量との関係を図-3に示す。両者は直線の関係にあり、普通コンクリートは、ポーラスコンクリートの0.77倍の変化量しかなく、普通コンクリートと比較して、ポーラスコンクリートの方が、含水変化量の増減幅が大きくなっていた。これは、ポーラスコンクリートが、内部に連続した空隙が存在し、表面積が普通コンクリートよりも大きいため、水分の移動が多く、吸水しやすく放水しやすい

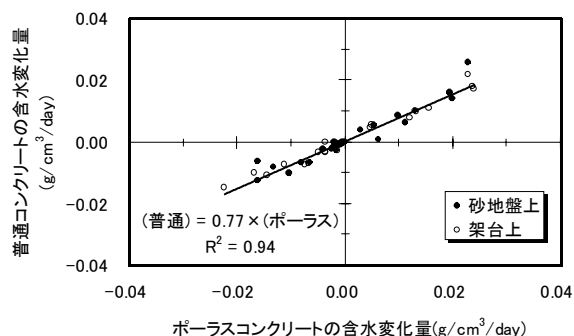


図-3 ポーラスコンクリートの含水変化量と普通コンクリートの含水変化量との関係

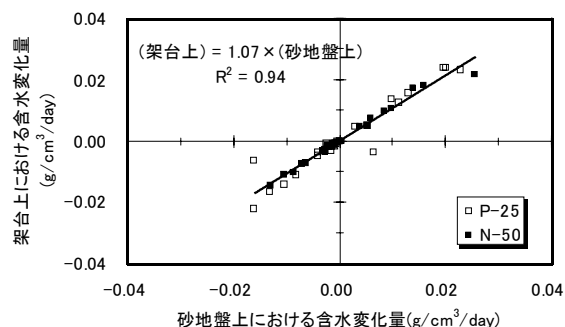


図-4 砂地盤上の含水変化量と架台上の含水変化量との関係

めと考えられる。また、砂地盤上におけるコンクリートの含水変化量と架台上におけるコンクリートの含水変化量との関係を図-4に示す。両者は直線の関係にあり、架台上の条件では砂地盤上の条件よりも架台上の条件の方が含水変化量の増減幅が大きくなっていた。これは、架台上では試験体全面(6面)で水分の移動があるのに対して、砂地盤上では砂と試験体とが接している面において、乾燥などによる放水や雨水などによる吸水が砂によって制御され、かつ空气中からの水分供給が少ない時でも砂地盤上よりある程度水分が供給されるため、急激な水分減少が緩和され、水分の移動が減少し含水変化量が少なくなったと思われる。ポーラスコンクリートを建築物に適用する際、河川の護岸や法面の施工とは乾燥条件が上記のように異なるが、含水変化量の増減差が1.07倍しかなく、ポーラスコンクリートを建築物に利用した場合でも植生は可能であると考えられる。

3.4 気象データと含水変化比との関係

含水変化量を気象データから表す場合、気象データは、全国の地域気象観測における有線ロボット気象計(AMeDAS, 688カ所)で観測されている4要素(降水量, 気温, 風向・風速, 日照時間)で導くことが望ましい。そこで、本研究では、まず、各気象要素について、含水変化量との関係を求め、そして、気象4要素(降水量, 気温, 風速, 日照時間)での重回帰分析を行った。

なお、本研究では、ポーラスコンクリートの一般的な環境として考えられる、砂地盤上におけるポーラスコンクリートの含水変化量を目的変数とし、各気象要素あるいは気象4要素を説明変数として回帰分析を行った。

(1) 降水量と含水変化量との関係

日総降水量(1日の総降水量)と含水変化量との関係を図-5に示す。日総降水量が多くなると共に、含水変化量は増加する傾向を示した。しかし、寄与率は0.55と両者の関係は低かった。

(2) 風向・風速と含水変化量との関係

日平均風速(1日の平均風速)と含水変化量との関係を図-6に示す。

日平均風速が速くなると共に、含水変化量は減少する傾向を示した。しかし、寄与率は0.49と両者の関係は低かった。なお、日平均風向(1日の平均風向)については、試験体の寸法が小さいため、風向は含水変化量に影響がないと判断し、解析の要素から削除した。

(3) 気温と含水変化量との関係

日平均気温(1日の平均気温)と含水変化量との関係を図-7に示す。

両者の関係は、一義的な関係がなかった。

(4) 日照時間と含水変化量との関係

日総日照時間(1日の総日照時間)と含水変化量との関係を図-8に示す。

日総日照時間が長くなると共に、含水変化量は減少する傾向を示した。しかし、寄与率は0.35と両者の関係は低かった。

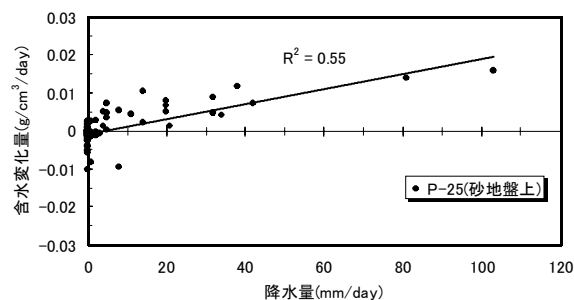


図-5 降水量と含水変化量との関係

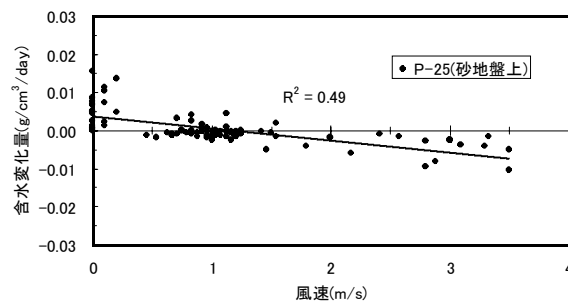


図-6 風速と含水変化量との関係

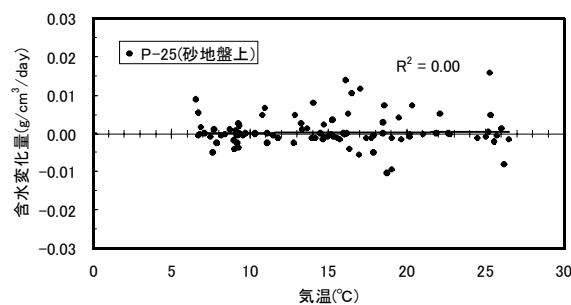


図-7 気温と含水変化量との関係

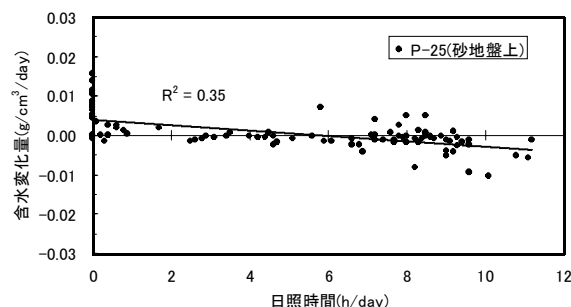


図-8 日照時間と含水変化量との関係

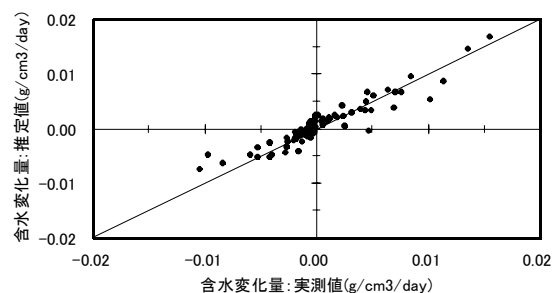


図-9 含水変化量の実測値と推定値との関係

(5) 気象 4 要素と含水変化量との関係

(1)～(4)において、含水変化量と各気象要素との関係を明らかにした。しかしながら、各要素とも、低い関係しかなかった。そこで、気象 4 要素を説明変数として重回帰分析を行った。その結果、砂地盤上におけるポーラスコンクリートの含水変化量は、式(3)によって表されることがわかった。したがって、アメダスのデータを用いると、各地域の含水変化量を推定することが可能である。なお、重回帰統計を表-4 に分散分析表を表-5 に示す。また、実測値と式(3)による算出結果との関係を図-9 に示す。

$$C_{pg} = 0.00577 + 0.00014R - 0.00037S - 0.00194W - 0.00015T \quad (3)$$

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)

図-3～4 の関係から、設置場所、コンクリートの種類を考慮した式(4)を導いた。

表-4 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-5 分散分析表

変動	自由度	不偏分散	分散比	有意 F
回帰	4	0.000355	155.872	1.52×10^{-38}
残差	86	2.27×10^{-6}	—	—
合計	90	—	—	—

表-6 式(4)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

$$C = PL \times G \times C_{pg} \quad (4)$$

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-6)

G : コンクリート条件の係数

本研究では、砂地盤上におけるポーラスコンクリートの含水変化量を外的要因だけから表した。これは、コンクリートの空隙量や空隙径、あるいは粗骨材寸法などの内的要因は考慮していない。しかしながら、内的要因に関しては、本研究で求めた式(4)を変形することで利用できるかと推察できる。また、植物の植生に利用できる有効水分量に関しても、内的要因同様、式(4)を変形することで利用できるかと推察できる。

4. まとめ

本研究は、自然環境下におけるポーラスコンクリートの外的要因からの含水特性を検討した。その成果を以下に示す。

(1)砂地盤上におけるポーラス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、アメダスのデータを用いると、各地域の含水変化量を推定することが可能である。

(2)砂地盤上におけるコンクリートの含水変化量に対して、架台上におけるコンクリートの含水変化量は、増減差が1.07倍しかなく、ポーラスコンクリートを建築物へ利用した場合でも植生は可能であると考えられる。

(3)自然環境下におけるコンクリートの含水変化量は、砂地盤上におけるポーラスコンクリートの含水変化量を基に表すことができる。

参考文献

- 1)玉井元治：地球環境とコンクリート，セメント・コンクリート，No.619，pp.1-9，1998
- 2)日本コンクリート工学協会：エココンクリート研究委員会報告書(自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望)，1995