

初期養生方法がポーラスコンクリートの圧縮強度発現に与える影響に関する実験的研究
— 夏季屋外暴露養生に関する実験 —

Experimental Study on Influence of Early Age Curing Method on Compressive Strength of Porous Concrete
- Experiment about outdoor Exposure Curing -

1. 材料施工 - 4. 特殊仕様のコンクリート	正会員	○河合 純* ¹	Hiroto MORIHANA
ポーラスコンクリート 圧縮強度 初期養生	正会員	三島 直生* ²	Naoki MISHIMA
夏季屋外暴露 散水養生 シート養生	正会員	畑中 重光* ³	Shigemitsu HATANAKA

1. はじめに

ポーラスコンクリート（以下、POC と略記）とは粗骨材と、粗骨材を連結するためのセメントペースト（または、少量の細骨材を含むモルタル）によって構成されるオコシ状のコンクリートである¹⁾。POCは、透水・排水性、通気性、吸音性、吸着性、生物・植物許容性、軽量性、再生資源利用性等、環境面での機能に極めて期待が大きく、その適用範囲は多岐にわたるものである。

一般に、POC 打設後の養生条件の中でも水中養生が有効とされているが、実施工を考えると、この方法は現実的ではなく、散水およびシート養生が限界である。しかし、その場合の水中養生に対する強度発現がどの程度であるのかは現時点で不明である。また、日本コンクリート工学協会の研究委員会報告書²⁾にある現場施工における養生に関する記述も曖昧であり、材齢何日まで、どのような養生を行えばよいのか明確ではない³⁾。

既報³⁾では、設計空隙率および水セメント比を変化させた POC に対して、温度は 20℃で一定とし、湿度条件の違いが圧縮強度に及ぼす影響に関して検討を行った。その結果、POC の圧縮強度に対しては、養生湿度が大きく影響し、湿度 50%程度で養生を行った場合には、水中養生の圧縮強度に対して 65%程度まで低下すること、シート養生などにより湿度が 80%程度に保たれた場合には、水中養生の圧縮強度に対して 80%程度が期待できること、初期乾燥の影響が軽微であれば、その後の降雨等による水分の供給により水和反応が再開することが期待できることなどが明らかとなった。

しかし、屋外の露天での施工が一般的な POC にとっては、圧縮強度発現に及ぼす温度の影響の把握が、湿度の影響とともに重要となる。特に、夏季の屋外、その中でも炎天下での施工などにおいては、初期の高温および乾燥の影響で所要の品質が確保できない恐れもあるため、実施工においてはこれらの環境条件の影響の把握は非常

に重要となる。そこで本報では、夏季の屋外における養生条件が POC の圧縮強度に与える影響を把握することで、実施工における有効な養生方法を提示することを目的として実験的な検討を行った。

2. 実験概要

本実験では、夏季屋外環境下における初期の散水頻度やシート養生期間等の養生条件が POC の圧縮強度に及ぼす影響の把握を試みる。試験体は円柱試験体とし、養生室ではなく三重大学工学部建築学科棟の屋上における屋外暴露養生とすることにより、実施工に近い状況を再現した。写真-1に屋外暴露養生の状況を示す。

2.1 実験の要因と水準

表-1に、本実験の要因と水準を示す。本実験では、初期養生期間（材齢7日までを想定）における、実施工においても現実的な湿度の管理方法として、散水およびシート養生を取り上げ、散水の頻度およびシート養生の期間を要因とした実験を行った（養生方法の詳細は2.3節で詳述する）。養生期間中の平均気温および湿度を図-1に示す。POCの打設は平成23年8月6日とし、そこから材齢28日までを実験期間とした。屋外で養生された試験体以外に、基準となる標準養生試験体（20℃水中養生）も作成し、比較を行った。



写真-1 屋外暴露養生の様子

*1 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻

*2 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 准教授 博士（工学）

*3 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 教授 工博

*1 Graduate Student, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ.

*2 Associ. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

*3 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

2.2 試験体の作成方法

表-2 に使用材料の種類と特性値を表-3 に POC の調査表をそれぞれ示す。

POC は設計空隙率 20%、W/C=35%の調査のみを用いた。POC の練混ぜには一軸パン型ミキサを使用し、型枠には標準円柱型枠 (φ100×200mm) を使用した。圧縮強度の測定は材齢 3、7、28 日に行い、各水準 3 本ずつ試験に供した。試験の直前に試験体の両端面に硫黄キャッピングを施した。

2.3 養生方法

表-4 に、材齢 7 日までの養生方法の一覧を示す。POC を型枠に打ち込んだ直後に屋上へ運び、屋外暴露養生を開始した。夏季炎天下での施工では、初期乾燥を防ぐために、仕上げ後に POC 表面への水の噴霧が行われることが多い。これを再現するために、屋外暴露養生開始直後に、型枠内の POC 表面に霧吹きにて、試験体 1 本につき約 2g の水を噴霧した。また、シート養生を行う試験体は、この水の噴霧直後にブルーシートで型枠上面を密閉した (写真-2 参照)。

型枠の脱型は、打設の翌日に行った。スラブ状の POC の乾燥条件を再現するために、試験体側面に水密性のスポンジシートを巻き付けて養生を行った (写真-3 参照)。また、シート養生の試験体は試験体ごとにブルーシートで型枠上面を密閉した。

脱型後の散水方法としては、容器に満たした水に試験体を 3 秒間漬けるという方法を取り、シート養生の試験体は水につける前にシートを外し、付けた後は 30 秒ほど放置することで軽く水を切り、その後に再びシートを被せた。散水とシート養生の期間については、あまり長期間養生を行うことは現実的ではないと考え、最大で 7 日間までとした。材齢 7 日までは、降雨の際にはブルーシートで試験体全体を覆うことで、降雨による水分の供給を遮断し、材齢 7 日以降は通常の屋外暴露とした。

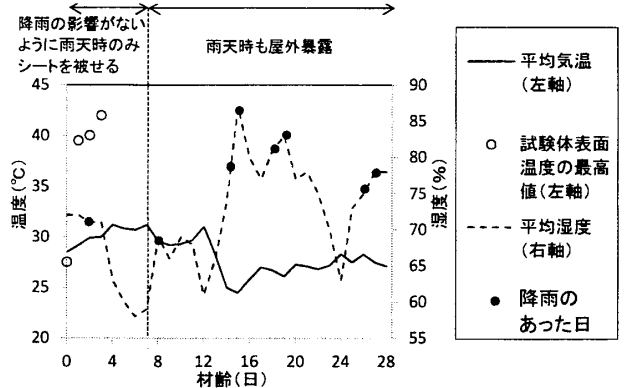


図-1 養生期間の気温および湿度

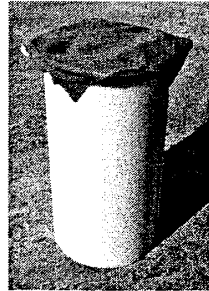


写真-2 打設直後の試験体 (シート養生)

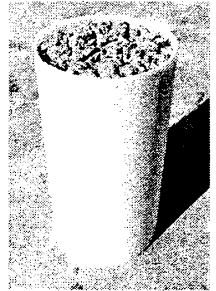


写真-3 養生中の試験体 (屋外暴露)

表-1 要因と水準

要因	水準
散水頻度	なし、初回のみ、3日ごと、3日まで、4日から毎日
シート養生	なし、1日、3日、7日

表-2 使用材料の種類と特性値

材料	種類と特性値
水	水道水
セメント	普通ポルトランドセメント 密度: 3.15g/cm ³ 、比表面積: 3150cm ² /g
粗骨材	単粒度砕石 6号 (5-13mm) 三重県伊賀市真泥字東山産 表乾密度: 2.696g/cm ³ 実積率: 56.5%

表-3 POC の調査

設計空隙率 (%)	W/C (%)	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	G (kg/m ³)
20	35	352	123	1496

表-4 材齢 7 日までの養生方法一覧

		打設後日時							
		0 (打設直後)	1	2	3	4	5	6	7
屋外暴露 (シートなし)	散水なし	なし							
	散水なし (打ち込み時霧吹きあり)	噴霧							
	初回のみ散水	噴霧	散水						
	毎日散水	噴霧	散水	散水	散水	散水	散水	散水	散水
	三日ごとに散水	噴霧	散水			散水			散水
	3日まで毎日	噴霧	散水	散水	散水				散水
シート養生	4日から毎日	噴霧				散水	散水	散水	散水
	初回散水	噴霧+シート	散水						脱シート
	初回散水+シート1日まで	噴霧+シート	散水+脱シート						
	毎日散水	噴霧+シート	散水	散水	散水	散水	散水	散水	散水+脱シート
	三日ごとに散水	噴霧+シート	散水			散水			散水+脱シート
	3日まで毎日+シート3日目まで	噴霧+シート	散水	散水	散水+脱シート				
4日から毎日		噴霧+シート				散水	散水	散水	散水+脱シート
標準養生 (20°C水中養生)		噴霧+シート	水中養生開始						

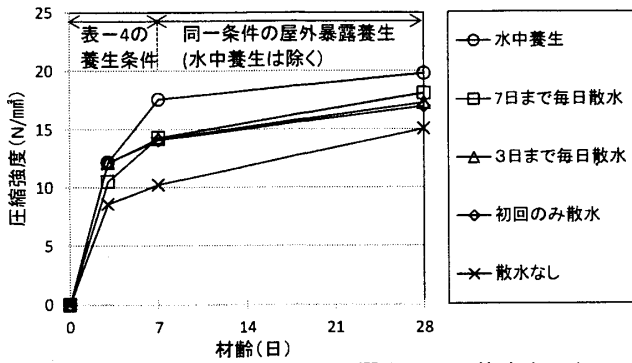


図-2 散水期間による影響(シート養生なし)

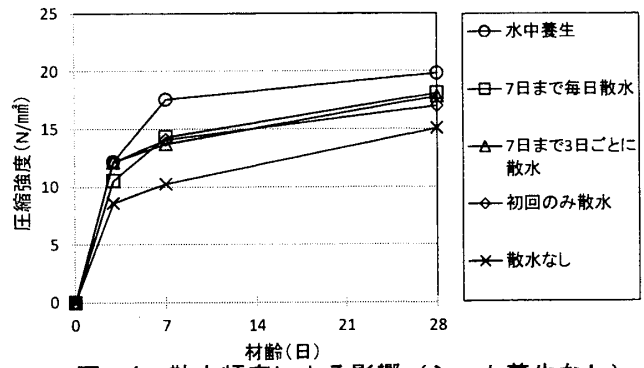


図-4 散水頻度による影響(シート養生なし)

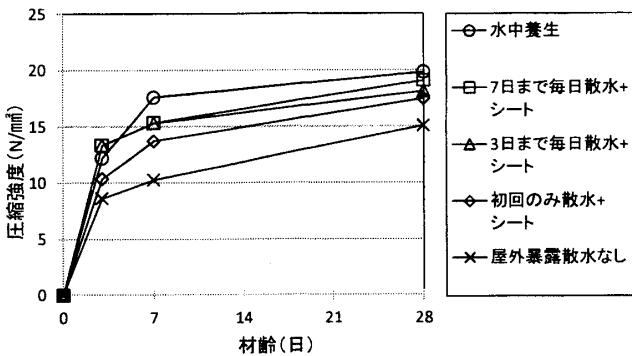


図-3 散水期間による影響(シート養生)

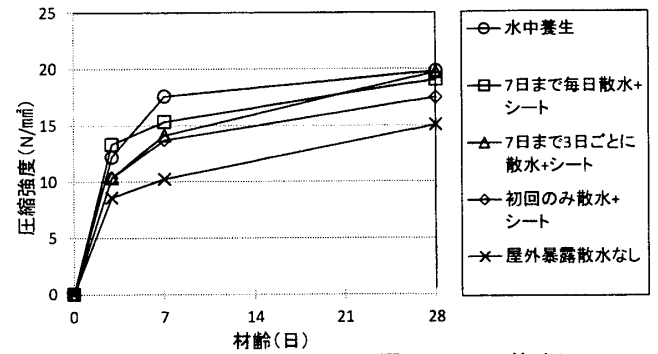


図-5 散水頻度による影響(シート養生)

3. 実験結果とその考察

3.1 散水期間による影響

図-2に散水期間の違いがPOCの圧縮強度発現に与える影響を示す。本実験では、養生条件がそれぞれ異なるのは7日までであり、その後は水中養生を除く全ての試験体で同一条件の屋外暴露養生となっている。まず、水中養生と散水なしの屋外暴露養生（すなわち、打設後に何もせずそのまま放置した場合）を比較すると、材齢7日の時点では、圧縮強度の差は大きく、散水なしの屋外暴露養生の圧縮強度は水中養生の約55%程度となっている。これは、初期の乾燥により十分な水和反応が行われなかったことによると考えられる。しかしその後、材齢7日から28日までの圧縮強度の伸びを比較すると、散水なしの屋外暴露養生のほうが大きな圧縮強度の増進を示している。これは、未水和セメントの残存率が多いため、材齢7日以降の降雨による水分供給で比較的大きな圧縮強度の増進が起こったものと考えられる。ただし、材齢28日の時点での圧縮強度は水中養生よりも小さく、おおよそ水中養生の75%程度となっている。

次に、初回のみ散水、3日まで毎日散水、および毎日散水の試験体については、材齢7日の圧縮強度が概ね同等であり、水中養生と散水無しの屋外暴露養生の間の値となった。その後の圧縮強度の増進傾向もちょうど水中養生と散水無しの屋外暴露養生の中間程度となった。た

だし、この材齢7日以降の圧縮強度の増進傾向は、毎日散水の場合に他の散水条件より多少高くなる傾向が見られ、これは後述するシート養生ありの場合と同様であった。一方で、材齢3日までの圧縮強度発現は、水中養生とほぼ同等となっている。これは養生温度の違いが影響していると考えられる。すなわち、水中養生が20℃であるのに対して、屋外では試験体温度の最高値が最初の3日間の平均で38℃であり、水分の供給条件は不十分であったが、養生温度が高いために初期の強度発現は大きくなったものと考えられる。この結果からは、水中養生に及ばないまでも散水は強度発現に有効であることがわかる。

図-3に、シート養生を行った場合の散水期間の違いがPOCの圧縮強度発現に与える影響を示す。初回のみ散水+シートの場合のみ、図-2に示すシート養生なしと比べて小さな値となっているが、他はシート養生なしと比べて若干大きな値となった。材齢3日で水中養生の圧縮強度を追い越しているが、これは前述したような養生温度差による初期強度の発現スピードの違いによるものと考えられる。シート養生とすることで、概ね圧縮強度が増加する傾向があり、中でも毎日散水してシート養生も行ったものは、材齢28日において水中養生に近い圧縮強度まで発現している。以上の結果からは、初期のシート養生は有効であるといえる。

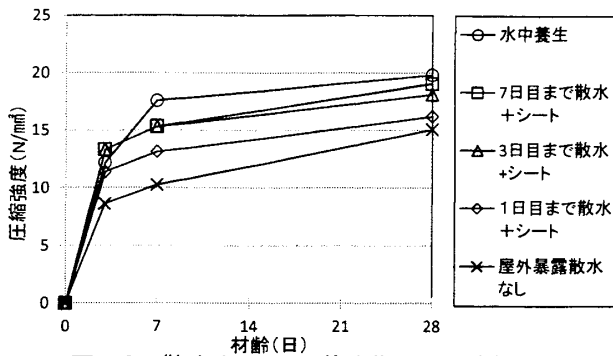


図-6 散水とシート養生期間の影響

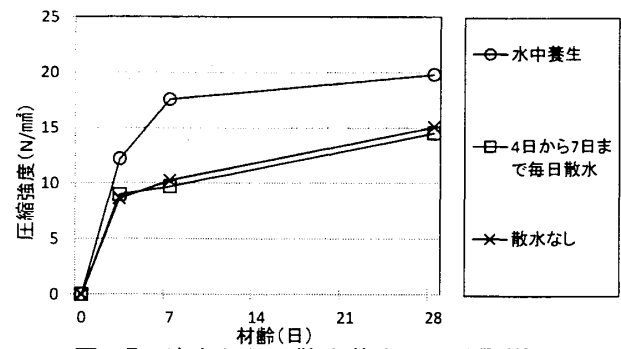


図-7 途中からの散水養生による影響

3.2 散水頻度による影響

図-4に、シート養生を伴わない場合の、散水頻度の違いが屋外暴露のPOCの圧縮強度発現に与える影響を示す。図によれば毎日散水、3日ごと散水、初回のみ散水の試験体の圧縮強度はどれも同程度かつ散水なしと水中養生の試験体の圧縮強度の中間程度の強度となった。

図-5に、7日までシート養生を行った場合の散水頻度の違いがPOCの圧縮強度発現に与える影響を示す。同図からは、毎日散水および三日ごと散水の試験体は水中養生とほぼ同じ圧縮強度となっていることが分かる。しかし初回のみ散水の試験体は図-4のシート養生なしで初回のみ散水の試験体とほとんど変化がなかった。図によれば、シート養生を行った場合にも、初回に散水しただけでは強度が最大限に発現するまでPOCの湿度を保つことができないことが分かった。

3.3 散水およびシートによる初期養生期間による影響

図-6に散水とシート養生をそれぞれ1、3、7日まで行った場合のPOCの強度発現の様子を示す。これより、3日目の圧縮強度はそれぞれ水中養生に近い強度が出てはいるが、1日目に散水とシート養生をやめてしまうと、28日目の圧縮強度は散水とシートなしの試験体とあまり変わらない結果になってしまった。3日目までと7日目までの試験体も7日目の強度はほぼ同じであるが、28日目には7日目まで養生を行った試験体の方が強度が伸びていることがわかる。これより初期の養生は養生中だけでなく、養生を終えた後の強度発現にも影響していくと考えられる。

3.4 途中からの散水養生による影響

図-7に、初期になにも養生を行わず、4日目以降から毎日散水を行った場合のPOCの強度発現の様子を示す。図によれば、4日目以降に散水を行った試験体は散水を行っていない試験体と圧縮強度の強度発現がほとんど変わらないことが分かる。したがって、先に述べたように3日までに散水を行った場合はそれまでの初期強度の増加により、材齢28日の強度も大きくなるが、4日目

以降の散水では初期強度の低下を

補うほどの圧縮強度の回復は期待できないことが明らかとなった。以上より、材齢3日までの初期養生が極めて重要であることが明らかとなった。

4. まとめ

本報では、夏季屋外におけるPOCの養生条件が圧縮強度に及ぼす影響を検討した。それにより得られた知見を以下に示す。

- 1) 水中養生と同程度の圧縮強度を得るためには、7日までシート養生を行い、かつ、3日に1回以上の頻度で散水を行う必要がある。
- 2) 夏季でシートや散水を全く行わなかった場合、水中養生の75%程度の圧縮強度しか発現しない。
- 3) 初回のみ散水を行った場合はシートの有無に関わらず水中養生と散水なしのPOCの中間程度の圧縮強度をとる。
- 4) 3日までの養生をなにも行わなかった場合には、4日以降に散水を行っても圧縮強度の伸びはなく、散水なしのPOCと同程度の圧縮強度となる。

[謝辞]

本実験を進めるに当たり、林秀志君(三重大学)の助力を得た。本研究費の一部は、平成23年度科学研究費補助金基盤研究(B)(研究代表者:畑中重光)によった。付記して謝意を表す。

[参考文献]

- 1) 中川武志, 森鼻泰大, 三島直生, 畑中重光: 数均しおよび仕上げ方法が実測空隙率に与える影響に関する基礎的実験, 日本建築学会東海支部研究報告集
- 2) ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会: 同報告書, (社)日本コンクリート工学協会, 2003.5
- 3) 三島直生, 中川武, 畑中重光: 初期養生方法がポーラスコンクリートの圧縮強度発現に与える影響に関する実験的研究, 2011年度大会(関東)学術講演梗概集, 日本建築学会