

コケの付着・生育とコンクリートの品質

日大生産工 ○円井 基史

日大生産工 湯浅 昇

1. はじめに

本研究では、ヒートアイランド現象の緩和、建物躯体の保護（高耐久化）に向け、また芸術性のある素材としてコンクリートを捉えるべく、コケ植物がコンクリートの表面に直接付着し、生育が可能なコンクリートの開発に取り組んでいる。本報告は、屋外実験によりコンクリートの水セメント比やセメント種類、表面仕上げがコケの付着・生育に及ぼす影響について検討したものである。

2. 本研究の基本的考え

コケ植物は蘚苔類とも呼ばれ、日本には約 2 千種が分布すると言われる^{1,2)}。コケは、多くの和歌で詠われ、また西芳寺（苔寺）等に見られるように建築および生活空間の中に取り込まれ、古来より日本の文化・風土に馴染み深いものとして存在してきたと考えられる。しかしながら現代の都市は、コケが生息するには厳しいとされるアスファルトやコンクリートといった人工被覆面に覆われ、また歩道や広場等に一部生息するコケには「滑る」、「汚い」等の苦情が寄せられ、排除しようとする動きがあるのも事実である。本研究は、コケの持つ熱環境調整効果、建物表面を被覆することによる躯体の保護（高耐久化）、そしてコケの持つ芸術性といった点を期待し、コケを建築材料の一つとして捉えるものである。具体的には、比較的簡易な方法でコンクリート表面にコケが（直接的に）付着し生育が可能なコケ緑化コンクリートの開発を目指す。

コケ緑化に関する既往研究としては、山本・吉田によるコケ板の傾斜・方角がスナゴケの生育に及ぼす影響を調べたもの³⁾、須崎・涌井らによるスナゴケ植栽による断熱効果、気温上昇緩和効果に関する研究⁴⁾、増田らのコケ類を利用した植生コンクリートの報告⁵⁾などが挙げられるが、水セメント比やセメント種類といったコンクリートの品質がコケの付着・生育に及ぼす影響について検討したものはない。人工被覆面に付着・生育するコケ植物について、これまで筆者らは、その生育条件の要素として、日当たり（日射量）、湿潤度合い（含水率）、アルカリ度（pH）などを挙げている⁶⁻⁸⁾。本研究ではそれらを踏まえた上で、水セメント比やセメント種類、表面仕上げ、コケ種類等の異なるコンクリート試験体を用いて屋外実

験を行い、コケの付着、生育状況の調査を行う。一連の本研究の流れは図 1 に示す。

3. 実験の概要

3-1. 試験体の概要

コンクリートの水セメント比、セメント種、添加物、中性化促進、表面加工、および、コケの下地材、コケの種類、試験体の暴露環境に着目し、全 19 種の試験体を用意した。コンクリート試験体の大きさは 150mm×150mm×50mm とした（図 2）。表 1 に基本としたコンクリート試験体（No. 1）（以下、標準と呼ぶ）の調合と初期性状、試験条件を、表 2 に試験体一覧（コンクリート調合と試験条件）を、表 3 に使用材料の概要を示す。基本とした標準試験体（No. 1）は、アルカリ性低減、高空隙率の観点より、水セメント比は一般的には高めの 80% とし、型枠に 1mm×1mm 格子の網を設置し、コケを載せる表面に網目を付けた。コケは緑化材として生産性の高さ、景観性の観点からス

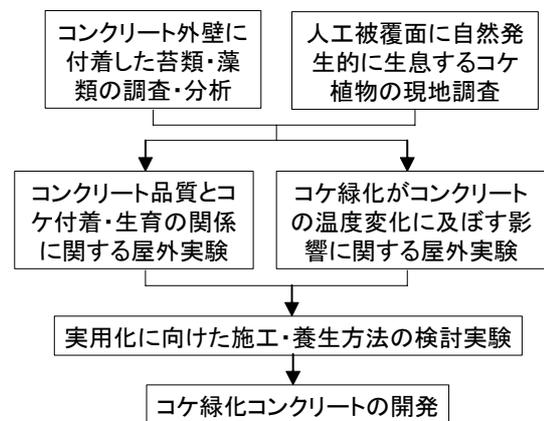


図 1 一連の本研究の流れ

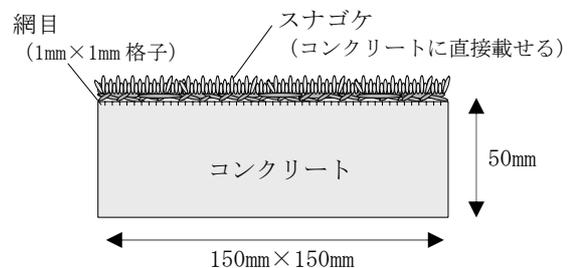


図 2 基本とした標準試験体 (No. 1) の断面図

表1 基本とした試験体のコンクリート調合・初期性状および試験条件

No.	水セメント比[%]	水 [kg/m ³]	セメント [kg/m ³]	砂 [kg/m ³]	砂利 [kg/m ³]	化学混和剤 [%](セメント重量比)	AE減水剤 [%](セメント重量比)	スランブ [cm]	空気量 [%]	練り温度 [°C]	28日強度 [N/mm ²]	中性化促進	表面加工	下地材	コケ種	暴露環境
1	80	185	231	860	976	0.25	0.006	19.8	8.6	20.1	14.8	なし	網目(型枠に網を設置)	なし	スナゴケ	日陰
2	60	185	308	833	939	0.25	0.006	—	—	—	—	なし	なし	なし	なし	なし
3	100	185	185	876	998	0.25	0.006	—	—	—	—	なし	なし	なし	なし	なし

ナゴケを基本とし、暴露環境は風の弱い日陰（本学構内（千葉県習志野市）建物北側脇）とした。その他の試験体は、表2に示すように、標準試験体のコンクリート調合あるいは表面加工、コケ種といった条件を変更したものである。コンクリート試験体は打設後2日目で脱型し、(中性化促進させる試験体を除いて)7日後に表面にコケを載せ、暴露を開始した。

3-2. 測定項目・方法

測定項目と方法を表4に示す。コケの付着したコンクリート表面のアルカリ度(pH)はpH試験紙を用いて測定した。コケがコンクリート表面に付着しているかの確認は、手でコケに水平に軽い力をかけ、コケが動くかどうかで判断した。根付き強さとして、動く(弱)、一部動く(中)、動かない(強)の3段階で評価した。コケの生育状況は、目視および写真撮影にて観察した。以上の測定は材齢を考慮して、基本的に週に一回行った(コンクリートの打設は2007年7月3日、コケを載せたのは7月10日である)。

4. 結果と考察

4-1. コンクリート表面のpHの推移

全試験体におけるコケが付着したコンクリート表面のpHの推移を表5に示す。7月10日は打設後7日目にあたり、コケを載せる直前にpHの測定を行った。コケを載せる直前および載せた後の2日目、7日目においては、コンクリート表面を酸漬け(表面10mmを塩酸10%希釈溶液に80時間浸漬)した試験体(No.13,14)と下地材ありの試験体(No.15)のpHが低く5~6程度、それ以外の試験体はpH9.7~11.5程度であった。このときpHが最も高かったのは半日向に暴露した試験体(No.19)であった。

pHが高かった試験体は、コケを載せた2週間後には、急速にpHの値が小さくなり、コケを載せたコンクリート表面の中性化が進んだことが確認

表2 試験体の一覧

No.	試験体略称	変更パラメータ	コンクリートの調合	その他試験条件
1	標準	—	—	—
2	W/C60%	水セメント比	表1参照	—
3	W/C100%	—	—	—
4	高炉50%	セメント種	No.1(標準)のセメント重量50%分を高炉スラグ微粉末で置換	No.1(標準)と同じ
5	高炉70%		No.1(標準)のセメント重量70%分を高炉スラグ微粉末で置換	
6	フライ20%		No.1(標準)のセメント重量20%分をフライアッシュ(1種)で置換	
7	フライ50%		No.1(標準)のセメント重量50%分をフライアッシュ(1種)で置換	
8	ゼオライト	添加物	No.1(標準)のセメント重量20%分の人工ゼオライトを添加	
9	液肥		No.1(標準)の全容積0.15%分の液肥を添加	
10	中性化1週	中性化促進	No.1(標準)と同じ	
11	中性化4週	—		中性化促進装置に4週間
12	表面加工なし	—		表面加工なし
13	酸漬け	表面加工		表面加工なしの試験体の表面10mmを塩酸10%希釈溶液に80時間浸漬
14	網+酸	—		表面網目加工の試験体の表面10mmを塩酸10%希釈溶液に80時間浸漬
15	下地材あり	下地材		コンクリートとコケの間に10mmの土(樹皮培養土)を設置
16	アオギヌゴケ・ハネヒツジ	コケ種		アオギヌゴケ、ハネヒツジゴケを使用
17	ハマキゴケ			ハマキゴケを使用
18	ハイゴケ			ハイゴケを使用
19	日向	暴露環境		半日向となる場所に暴露

表3 使用材料の概要

セメント	普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm ³)
砂	大井川水系川砂(表乾密度 2.63g/cm ³)
砂利	大井川水系川砂利(表乾密度 2.64g/cm ³)
化学混和剤	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合
人工ゼオライト	石炭灰フライアッシュを原料とし、Feを含有
液肥	窒素、リン酸、カリ、鉄等を含んだ液体肥料
網(表面加工用)	1mm×1mm格子
コケ	アオギヌゴケ、ハネヒツジゴケ、ハマキゴケは、本学構内(習志野市)より採取

表4 測定項目・方法

測定項目	測定方法
pH(アルカリ度)	コケの付着したコンクリート表面の一角を測定箇所固定し、測定時はコケを持ち上げ、純水を滴下し、pH試験紙(Whatman社製)で測定(No.16の下地材ありの試験体では下地材(土壌)表面のpHを測定)
根付き強さ	手でコケに水平方向に軽い力をかけ、動くか判定。根付き強さとして、動く(弱)、一部動く(中)、動かない(強)の3段階で評価
生育状況	目視および写真撮影による判読
代表気象条件(日射量、気温、相対湿度、風向・風速、雨量)	試験体を設置した場所(建物北側)の脇の建物(4階建て)屋上に気象観測装置を設置し、5分間隔で自動計測(試験体と気象観測装置を設置した場所の環境が異なる点を、データ取り扱い時に考慮する必要あり)

表5 全試験体の pH の推移

(コンクリート打設日は7月3日。コケは(中性化促進させた試験体を除いて)7月10日に載せた)

試験体No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	標準	W/C 60	W/C 100	高炉 50	高炉 70	フライ 20	フライ 50	ゼオラ イト	液肥	中性化 1週	中性化 4週	表面加 工なし	酸浸 け	網+ 酸	下地材 あり	アオギ ヌ・ハネ	ハマキ	ハイ ゴケ	日向
パラメータ	—	水セメント 比		セメント種				添加物		中性化促進		表面加工			下地材	コケ種		暴露 環境	
7月10日	10	10	10	10	10	10	10	10	10	—	—	10	6	6	6	10	10	10	10
7月12日	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	11	—	—	10	5	5	6	11	10.5	9.5	11.5
7月17日	9.4	9.4	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	10	—	—	10	6	6	6	9.7	9.7	9.7	11
7月20日	8	9.7	9	7	9.4	9.4	8	8	8.2	—	—	9	8.2	7	6	8	7	9.1	8.5
7月24日	7	8.6	8	7	7.5	8	7	8	7	9.5	—	7	6.5	7	6.5	7	7.5	8	7.5
7月31日	7.5	7.5	7.5	7.5	7	7.5	7.5	7.5	7.5	7	—	7	6.5	6	6.5	6.5	6.5	6.5	7
8月6日	6.5	7	6.5	6.5	7	7.5	7.5	7	7	7	—	6.5	6.5	6.5	6.5	7	7	7	6.5
8月13日	6	6.5	6.5	6	6	6.5	6.5	6.5	6	6	6.5	6	6	6	6	6.5	6	6.5	6.5
8月21日	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
8月28日	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
9月4日	6.5	7	6.5	6.5	6.5	7.5	6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6	6	6	6	6.5	6.5	6.5
9月11日	7	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6	6.5	6.5	6	6.5	6.5	6	6	6	6	6	6	6
9月18日	6.5	6	6.5	6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6	6	6	6	6	6	6	6	6.5
9月25日	6.5	6	6.5	6	6.5	6.5	6	6.5	6	6.5	6	6.5	6	6	6	6	6	6.5	6
10月2日	6	6	6	6	6	6	6	6.5	6.5	6	6.5	6	6	6	6	6	6	6.5	6
10月9日	7	7	7	7	6	7	7	7.5	6.5	7.5	6.5	6.5	6.5	6.5	7	6.5	6.5	6.5	7
10月16日	6.5	6.5	7	6.5	6	6.5	6.5	6.5	7	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	7
10月23日	6.5	6.5	6.5	6.5	6	6.5	6.5	7	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	7	6.5	6.5	6.5	6.5

表6 全試験体の付着強さの推移

試験体No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	標準	W/C 60	W/C 100	高炉 50	高炉 70	フライ 20	フライ 50	ゼオラ イト	液肥	中性化 1週	中性化 4週	表面加 工なし	酸浸 け	網+ 酸	下地材 あり	アオギ ヌ・ハネ	ハマキ	ハイ ゴケ	日向
パラメータ	—	水セメント 比		セメント種				添加物		中性化促進		表面加工			下地材	コケ種		暴露 環境	
7月17日	強	強	強	強	強	強	強	強	強	—	—	強	強	強	強	強	弱	強	強
7月24日	強	強	強	強	強	弱	弱	強	強	—	—	強	弱	弱	強	強	弱	弱	強
7月31日	強	強	強	強	強	強	強	強	強	強	—	強	強	強	強	強	弱	弱	強
8月6日	強	強	強	弱	弱	弱	弱	強	強	弱	—	強	強	弱	強	弱	弱	弱	弱
8月13日	強	強	強	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	—	強	弱	中	強	弱	弱	弱	弱
8月21日	強	強	強	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	強	弱	弱	強	弱	弱	弱	弱
8月28日	強	弱	強	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	強	弱	弱	強	弱	弱	弱	弱
9月4日	強	弱	強	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	強	弱	弱	中	弱	弱	弱	弱
9月11日	強	強	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱
9月18日	強	強	強	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	強	弱	弱	弱	弱
9月25日	強	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱	弱
10月2日	強	強	強	強	強	強	強	強	強	強	強	弱	弱	強	強	強	弱	弱	中
10月9日	強	強	強	強	強	強	強	強	強	強	強	強	中	強	強	強	弱	弱	強
10月16日	強	弱	強	弱	弱	強	弱	強	強	弱	強	弱	強	強	強	弱	弱	弱	弱
10月23日	強	強	強	弱	弱	中	弱	強	強	弱	弱	弱	弱	弱	強	弱	弱	弱	強

された。1ヶ月ほど経過すると、全試験体 pH は、おおよそ 6~7 程度に収束した。酸漬けにより初期の pH の違いは確認されたが、水セメント比やセメント種の違いによる pH の明確な差は確認されなかった。

4-2. コケの付着強さ

表 6 に、全試験体の付着強さの測定結果を示す。これによると、最もコケが付着した試験体は標準試験体 (No. 1) で、コケを載せて 1 週間後以降、全期間 (7 月中旬~10 月下旬) でコケのコンクリートへの付着が確認された。次いでコケが比較的長期間付着していたのは、W/C100 (No. 3)、下地材あり (No. 15)、W/C60 (No. 2) であった。セメントを高炉スラブ粉末やフライアッシュで置換した、あるいは人工ゼオライトや液肥を添加したコンクリートでは、コケはあまり付着しない結果となった。コケ種については、本実験では、スナゴケが最も付着する結果となった。ただし、本実験

においてはコンクリート表面に網目を付けたが、施工により凹凸の個体差が少なからず認められ、付着強さがこの網目の個体差に影響を受けた可能性もあると言える。この点は今後の課題としたい。

全体的な傾向として、実験を開始した直後の 7 月中下旬は、コケが付着している試験体が多く見られたが、8 月に入り、多くの試験体でコケの付着が弱くなった。これは目視で確認したが、コケは、十分な含水状態にあるときは鮮やかな濃緑となり生命力が感じられるが、乾燥が進むと、仮死状態に見えるほど乾燥し収縮する。よって上記の現象は、7 月中下旬は梅雨による多雨、8 月は梅雨明けで降水量が少なかったことによるものと考えられる。図 3 に、7 月中旬から 10 月下旬までの日積算降水量とコケが付着している試験体の個数 (付着強さが「中」の試験体は 0.5 としてカウントした) の推移を示す。さらに、測定日前 1 週間の積算降水量とコケが付着した試験体の個数の関

係を図 4 に示す。直前の降水量が多いほど、コケの付着が見られる傾向が分かる。本来なら、コケの含水状態の指標として含水率等で議論したいところだが、この点も今後の課題とする。なお、コンクリート表面の pH とコケの付着強さとの関連性は特に見られなかった。

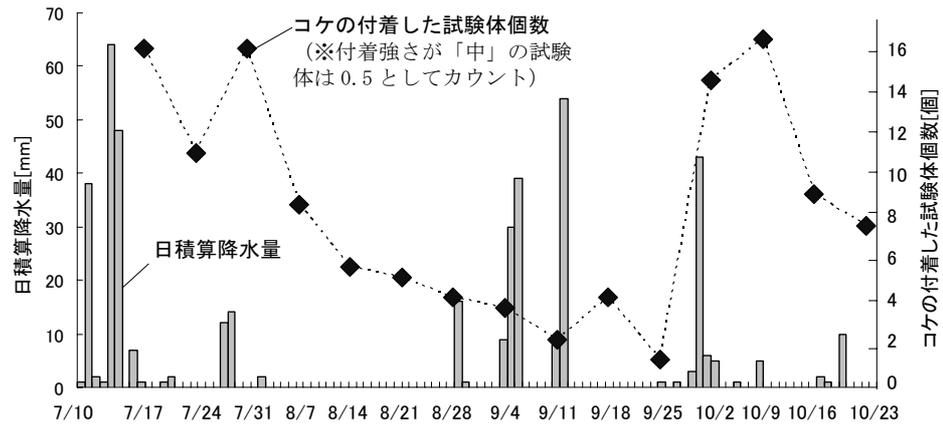


図 3 日積算降水量とコケの付着した試験体個数の推移

(2007年7月10日～10月23日)

4-3. コケの生育状況

目視および写真判別によってコケの生育状況を確認したが、ほとんどの試験体で期間中（7月中旬～10月下旬）、コケが枯れることはなかった（降雨が少ないときは乾燥・収縮するが、含水すれば瑞々しく活発的となる）。ただし、人工ゼオライトを添加した試験体（No. 8）においては、暴露を開始して3週間後の7月末以降、コケの一部が茶色に変色したことを確認している。ハマキゴケ（No. 17）、ハイゴケ（No. 18）については、生育状況は悪くないものの、コンクリートへの付着は全期間中ほとんど見られなかった。

5. まとめ

コンクリートの水セメント比やセメント種類、表面仕上げ、コケ種（基本はスナゴケ）の異なる試験体による屋外実験を行い、コンクリートの上に載せたコケの付着強さ、生育状況を検討した。本実験で得られた結果・知見は以下の通りである。

- 1) コケを載せたコンクリート表面の pH は、初めは（希釈塩酸に浸漬した試験体を除いて）10～11程度であったが、2～3週間程度で、pH は 7 前後となり、コンクリート表面で中性化が進んでいることが確認された。
- 2) 今回は散水を行わず、自然の気象条件下で観察を続けたが、梅雨や秋雨の時期など、降雨が連続した期間では多くの試験体でコケの付着が確認された。長期間降雨がないときは、コケが乾燥・収縮し、付着しない傾向にあった。
- 3) 実験期間中、ほとんどの試験体で、コケが枯れることはなかった。長期間、コケの付着が確認された試験体は、水セメント比 80%、100%の試験体であった（ともに普通ポルトランドセメントを使用、コケ種はスナゴケ）。コンクリート種類（水セメント比、セメント種、表面加工）の違いがコケの付着・生育に及ぼす影響について、明確な違いは確認されなかった。

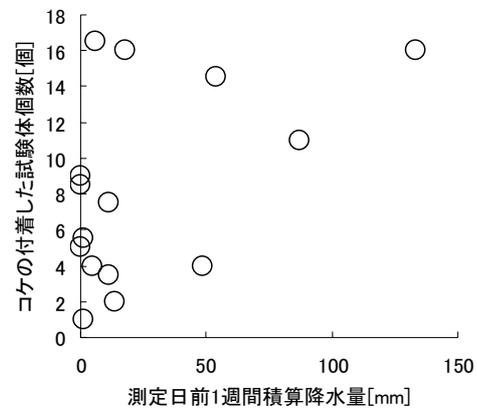


図 4 測定日前1週間の積算降水量とコケの付着した試験体個数の関係

(2007年7月10日～10月23日)

参考文献

- 1) 井上浩：フィールド図鑑 コケ、東海大学出版社、1986
- 2) 広島大学デジタル自然史博物館、<http://www.digital-museum.hiroshima-u.ac.jp/~museum/>
- 3) 山本美貴、吉田博宣：コケ板の設置傾斜角及び方位とスナゴケの生育との関係、日本緑化学会誌、30(1)、pp. 207-210、2004. 8
- 4) 須崎裕一、涌井史郎、飯島健太郎：スナゴケ植栽による断熱ならびに気温緩和について、日本緑化学会誌、30(1)、pp. 56-61、2004. 8
- 5) 増田理子、青山宏昭、依田眞：コケ類を利用した植生コンクリートの緑化事例、コンクリート工学、Vol. 45、pp. 147-149、2007. 5
- 6) 柴田彩子、湯浅昇、大島明、松井勇：竣工後 33 年を経過した打ち放しコンクリート外壁に付着した生物、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp. 325-326、2005. 9
- 7) 大島明、松井勇、湯浅昇：建築材料の微生物汚染に関する研究 -コンクリート及びモルタルに発生する微生物の調査-、第 8 回日本・韓国建築材料施工 Joint Symposium 論文集、pp. 181-184、2006. 9
- 8) 円井基史、湯浅昇、梅干野晃：人工被覆面に付着・生育するコケ植物の実態調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp. 649-650、2007. 8