

多目的最適化を目指した建築エンジニアリング分野の プロジェクトデザインにおける協働

Collaboration for project design oriented by multiple objective
optimization in architectural engineering

西村 督、円井 基史、後藤 正美

Toku NISHIMURA, Motofumi MARUI, Masami GOTO

建築分野で用いられる材料は屋内外の環境負荷に対する耐久性と必要強度を有し、且つ環境調整機能が要求される。建築材料は環境工学に関する設計条件（遮熱、断熱、遮音、吸音、反射、放射等）以外に構造（剛性、強度、靱性）、施工、コストの各条件を満足することが要求され、多機能化する傾向にある。設計条件には一般に相反する条件も含まれるため、建築材料の開発では多目的最適化を考慮した設計が必要となる。

コンクリート系ブロックを用いた蒸発冷却舗装システムが提案されている。このブロックの形状は必要保水量を確保し冷却効果を持続させる目的で、直方体の一部をアーチ状に欠いている。ブロックの形状は環境工学の観点で合理性を有するが必要強度が得られているかは検討されていない。本報告では建築環境・設備分野のプロジェクトデザインⅢにおいてブロックの形状設計を建築構造分野の研究室と協働して取り組んだ事例を報告する。

キーワード：建築材料、環境工学、多機能化、多目的最適化

Building materials should be satisfied not only environmental engineering requirements but also structural, constructional and cost effectiveness. Consequently, the materials are inclined to be multi-functioned. Among of design conditions conflict with others. For the development of the building materials, the design based on multiple objective optimization needs.

An evaporative cooling pavement system using concrete block has been proposed. To keep required water-holding capacity and continue cooling effect, the block is cut off arch-shape part. The block shape is suitable as regard environmental engineering. In the other side, the study on the strength had not been yet. In this report, we present a project design III for shape design of architectural environment and facility field in the collaboration with structural field.

Keywords: building material, environmental engineering, multi-functionality, multiple objective optimization

1. 緒言

建築学は自然環境や住生活に関わる歴史・文化、政治・経済、科学技術、芸術の各分野を有機的に体系化した総合学問である。建築技術者は特定領域の技能を修得することに加えて、上記の分野の知識を横断的に結合することで多岐にわたる性能を備えた新材料の開発や建築物や地域・都市という有機体の設計・建設を実現する素養が問われる¹⁾。

建築、都市工学の分野で用いられる材料は屋内外の環境負荷に対する耐久性と必要強度を有し、且つ環境調整機能が要求される。例えば都心部のヒートアイランド現象対策として(1)屋上・壁面緑化、(2)建物の表面温度上昇を緩和する塗料、(3)温度に依存して給排水を行う感温性材料、(4)地表面からの放熱を抑制する保水性舗装などの材料の開発やシステムの検討がなされている。建築材料は熱、空気、音、光の環境工学に関する設計条件（遮熱、断熱、遮音、吸音、反射、放射等）以外に構造（剛性、強度、靱性）、施工、コストの各条件を満足することが要求され、多機能化する傾向にある。設計条件の中には一般に相反する条件も含まれるため、建築材料の開発では多目的最適化を考慮した設計が必要となる。

(4)に関する材料としてコンクリート系ブロックを用いた蒸発冷却舗装システムが提案されている²⁾。このブロックは必要保水量を確保し冷却効果を持続させる目的で、直方体の一部をアーチ状に欠いた形状が提案されている³⁾。その後、金沢工業大学建築学科の建築環境・設備分野のプロジェクトデザインⅢで冷却効果を向上させるためにブロックの材質の検討⁴⁾がなされた。しかしブロックの形状は環境工学の観点から合理性を有するが必要強度が得られているかは検討されていない。文献3で提案されたブロックの形状は環境工学、構造工学のいずれの設計仕様にも関係する多目的最適化の設計変数と言える。

本報告では建築環境・設備分野のプロジェクトデザインⅢにおいて遭遇したブロックの形状設計の問題を同学科建築構造分野の研究室と協働して取り組んだ事例を報告する。

2. 蒸発冷却システム用舗装ブロックの設計

都市熱環境改善に向けて、円井らは図1に示す歩道や広場等において雨水を面的に貯留し、舗装体の毛管現象により吸水・蒸発を長期間にわたり持続させる「蒸発冷却舗装システム」の基本構成を提案し、直方体のセメント系ブロックを用いて屋外実験で高い蒸発冷却性能を確認した²⁾。更にブロックの形状を図2に示すアーチ型に変更した場合、夏季晴天日の連続無降雨期間(約2週間)の蒸発量に相当する保水容量を確保するとともに、保水した雨水を効果的に舗装表面まで吸水し、従来のものに比べ長期間、蒸発冷却効果が発揮されることを確認した³⁾。



図1 蒸発冷却舗装システムを利用した理想的な屋外空間イメージ²⁾

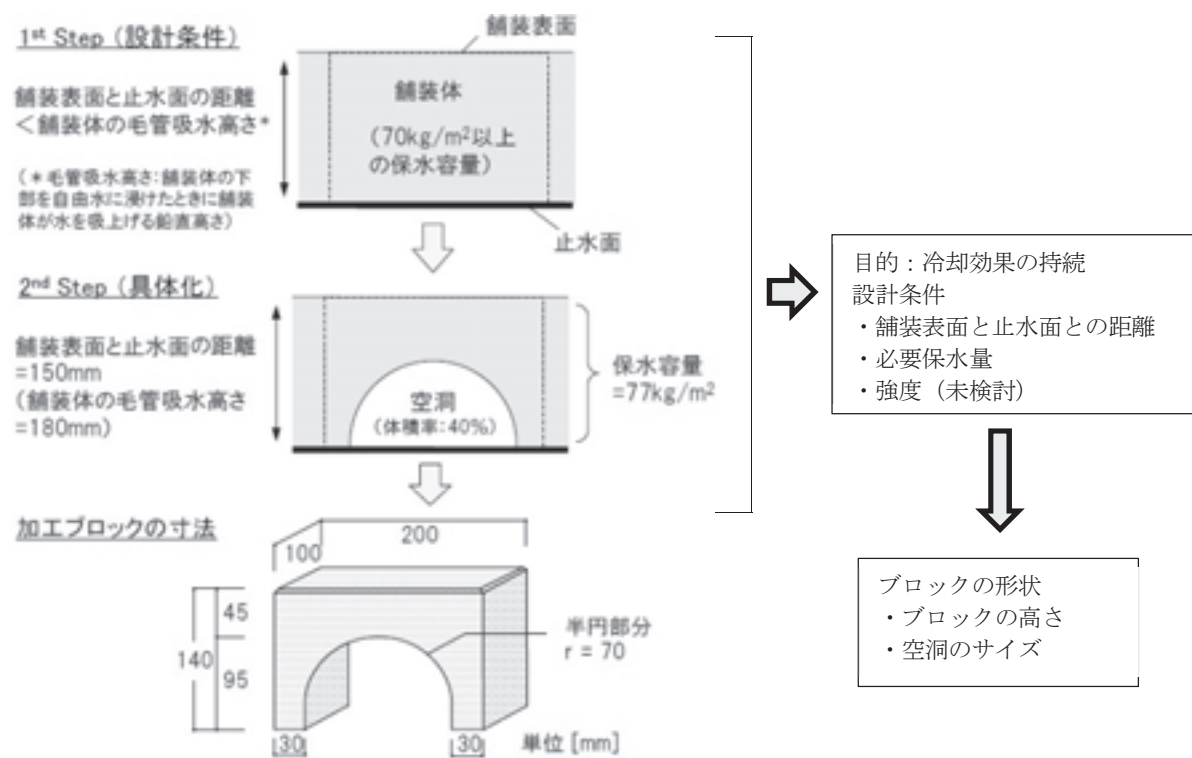


図2 蒸発冷却システム用ブロック³⁾

文献 2,3 で性能を確認したブロックはセメント系ブロックである。セメント系ブロックは屋外暴露実験により、数ヶ月で表面に炭酸カルシウムが析出する白華 (efflorescence) が生じ、表面温度の上昇が確認されている⁵⁾。この実験結果は材料の主成分の化学反応が蒸発冷却効果というブロックの要求性能を低下させたことを意味する。その後、材質をセラミック系に変更することで3年間、白華が確認されないことを円井の指導の下、プロジェクトデザインⅢにおいて実験的に実証し、蒸発冷却効果が高いと期待される材質を見出した⁴⁾。

以上の研究経過から蒸発冷却システム用舗装ブロックに関して目標保水容量を満足する形状、材質は検討されたが、舗装体の材料としての強度が検討されていない。そこで、白華が確認されず、蒸発冷却効果が期待されるセラミック系ブロック2種(セラミック、淡色レンガ)を用いて、蒸発冷却舗装システムの蒸発冷却持続期間と強度に関する実験的研究を実施した。

表1 蒸発冷却システム用ブロックの設計指標と目標値⁶⁾

課題	対策・設計指針	目標値
冷却効果の持続期間	大きな有効保水量 ^{5)注2)} を確保する。そのためには、毛管吸水性能に優れた舗装体(ブロック)を選定した上で、舗装表面と止水面との距離を舗装体の毛管吸水高さ以下にすることが重要。そのとき、ブロック内に空洞等を設けることが有効と考えられる。夏季晴天日・日向での日積算蒸発量は約5kg/m ² であり、有効保水量をこの値で割れば、蒸発冷却の持続日数を推定できる。	有効保水量(および夏季晴天日・日向での冷却持続期間)について「標準タイプ」で10~15kg/m ² (2~3日間)、「高性能タイプ」で30kg/m ² (6日間)程度を目安に考える。
白華(長期使用による冷却性能の低下)	数年間使用しても冷却性能の低下がみられないブロックを選定する。カルシウム成分を含まないことが求められる。	少なくとも3年間は、初期の冷却性能が維持されることを目標とする。
強度(ブロックの材質と形状)	十分な有効保水量を確保するため空洞等を設ける際、適用する場所に応じた強度基準を満たすことが求められる(有効保水量、白華、強度の3つを考慮したブロックの材質と形状を探る必要がある)。	保水性舗装の規格値では曲げ強度は3.0 N/mm ² 以上。
水質	システム内に面的に雨水を貯留するが、実使用の際、汚物等の混入が考えられる。貯留水の水質に関しては不明な点が多く、課題である。	—
コスト	セラミック系ブロックやその形状加工はコスト増に繋がる。有効保水量の目標値やブロック加工等について検討が必要である。	—

2. 1 ブロックの性能確認実験

本プロジェクトでは表1に示す設計指針と目標値を達成するために、1)セラミック系ブロック2種を用いて、アーチ型の貯水型蒸発冷却舗装用ブロック形状を設定し、2)屋外曝露試験を通して、有効保水量や蒸発冷却効果の持続期間を確認する。さらに3)加力試験と計算により強度の確認を行う。

2. 2 アーチ型試験体の設計

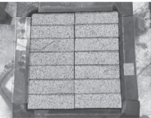
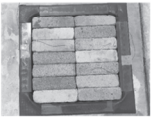
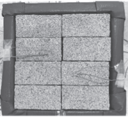
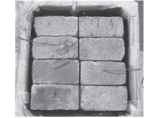
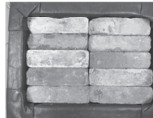
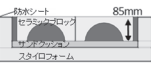
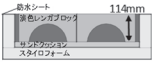
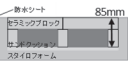
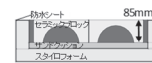
2. 2. 1 吸上げ高さ

セラミック系ブロック2種を用いて、吸上げ高さが止水面と蒸発面（舗装表面）との距離よりも低い試験体を設計する。昨年度のコの字型試験体について再度吸上げ試験を行ったところ、セラミックは止水面からの高さが105mmで妥当、淡色レンガは215mmで吸上げ高さが止水面と蒸発面との距離より高いと判断した。

2. 2. 2 有効保水量の設定

松本ら³⁾の試験体は有効保水量が65kg/m²、全保水容量が77kg/m²と有効保水量の効率割合は84%である。本プロジェクトでは目標である蒸発冷却効果を7日間以上持続させるには、1日5kg/m²の蒸発量を仮定すると、有効保水量は最低35kg/m²以上必要になる。さらに80%以上の効率化を図るためには42kg/m²以上の全保水容量を必要とした。それらを考慮した上でブロックをアーチ型に加工し（図2）、本試験体の全保水容量はセラミックが43.4kg/m²、淡色レンガはブロックサイズの52kg/m²とした。試験体概要、断面構成などを表2に示す。

表2 試験体概要⁶⁾

試験体名称	試験1-1				試験1-2	
	①セラミック (アーチ型)	②淡色レンガ (アーチ型)	③セラミック (コの字型)	④淡色レンガ (コの字型)	⑤有効保水量算出試験体 (セラミック)	⑥有効保水量算出試験体 (淡色レンガ)
	貯水型		貯水型		貯水無し	
	無し		無し		無し	
給水方法	自然降雨(試験開始時のみ人口給水を行う)		自然降雨(試験開始時のみ人口給水を行う)		給水無し	
設計の趣旨	セラミックをアーチ型に切削・研磨し、さらに吸水高さを考慮して、切削により高さの調整も行った。表面は化粧材がない状態である。		保水容量を多く保つためにブロックをコの字型に加工した。毛管吸水の妨げになっていないと推測し、ブロックの化粧材を切削した。		本試験体(セラミック)の有効保水量を導出するために設計した。試験体サイズはエッジ効果を考慮して一辺が300mm以上になるように作成した。	
ブロック表面の写真						
試験体の寸法	394×420mm	460×455mm	394×388mm	460×456mm	394×300mm	460×325mm
保水容量	43.4kg/m ²	52.0kg/m ²	41.2kg/m ²	133kg/m ²	43.4kg/m ²	52.0kg/m ²
舗装表面と止水面との距離	105mm	134mm	105mm	215mm	105mm	134mm
試験体断面図						
ブロックの寸法 縦×横×高さ	60×197×85mm	65×230×114mm	97×197×85mm	114×230×195mm	60×197×85mm	65×230×114mm
アーチの大きさ 半径	65mm	75mm	55×135mm (空洞 縦×横)	130×116mm (空洞 縦×横)	65mm	75mm
明度 気乾状態 (視感反射率)	6(約30%)	6.8(約41%) (min19.8% max59.1%)	6(約30%)	6.8(約41%) (min19.8% max59.1%)	6(約30%)	6.8(約41%) (min19.8% max59.1%)
明度 濡潤状態 (視感反射率)	5.5(約23%)	6.3(約29%) (min6.6% max59.1%)	5.5(約23%)	6.3(約29%) (min6.6% max59.1%)	5.5(約23%)	6.3(約29%) (min6.6% max59.1%)
路盤材料	川砂					
路盤厚さ	20mm					
止水層	防水シート					

2. 2. 3 ブロックの寸法の検討

ブロックの形状は 2.2.2 で記した全保水容量が必要保水量以上となるように直方体の下部を半円状に欠く (図 3)。形状を決定するパラメータはアーチ半径 R であり、高さ H 、横 W 、縦 B の各寸法は固定

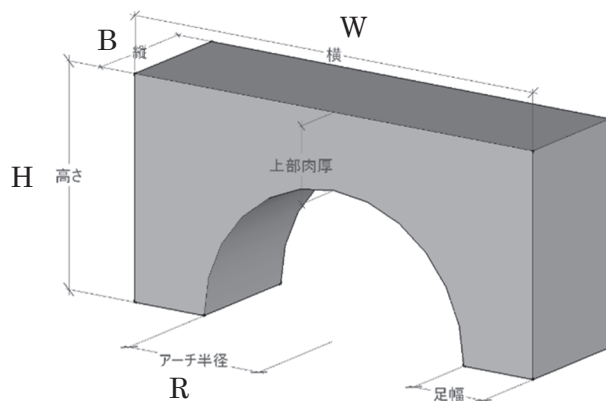


図3 ブロックの形状 η

値である。表 3 に設定した寸法と保水量を示す。

全保水量を求めるための諸量は以下のように表される。

【体積割合】

$$\cdot \text{切り欠き部} : V_0 = \frac{R^2 \pi}{2WH} \quad (1)$$

$$\cdot \text{ブロック部} : V_0 = \frac{R^2 \pi}{2WH} \quad (2)$$

【保水量】

$$\cdot \text{切り欠き部} : w_0 = V_0 H = \frac{R^2 \pi}{2W} \quad (3)$$

表3 ブロックの寸法と保水量 η

セラミック(アーチ型)					
寸法	横	197mm	セラミック体積含水率	19%	
	縦	60mm	体積割合	空洞部分 ^a	39.6%
	高さ	85mm		ブロック部分 ^a	60.4%
	アーチ半径	65mm		空洞部分 ^a	33.7 kg/m ³
	上部肉厚 ^b	20mm	保水量	ブロック部分 ^a	9.7 kg/m ³
	足幅 ^c	33.5mm		全保水量 ^a	43.4 kg/m ³
計算方法			4) 1-0.396=0.604		
1) 85-65=20			5) 85*0.396=33.7		
2) (197-130)/2=33.5			6) 85*0.604*0.19=9.7		
3) (65*65* π)/2/(197*85)=0.396			7) 33.7+9.7=43.4		

淡色レンガ(アーチ型)					
寸法	横	230mm	淡色レンガ体積含水率	18%	
	縦	65mm	体積割合	空洞部分 ^a	33.7%
	高さ	114mm		ブロック部分 ^a	66.3%
	アーチ半径	75mm		空洞部分 ^a	38.4 kg/m ³
	上部肉厚 ^b	39mm	保水量	ブロック部分 ^a	13.6 kg/m ³
	足幅 ^c	40mm		全保水量 ^a	52 kg/m ³
計算方法			4) 1-0.337=0.663		
1) 114-75=39			5) 114*0.337=38.4		
2) (230-150)/2=40			6) 114*0.663*0.18=13.6		
3) (75*75* π)/2/(230*114)=0.337			7) 38.4+13.6=52		

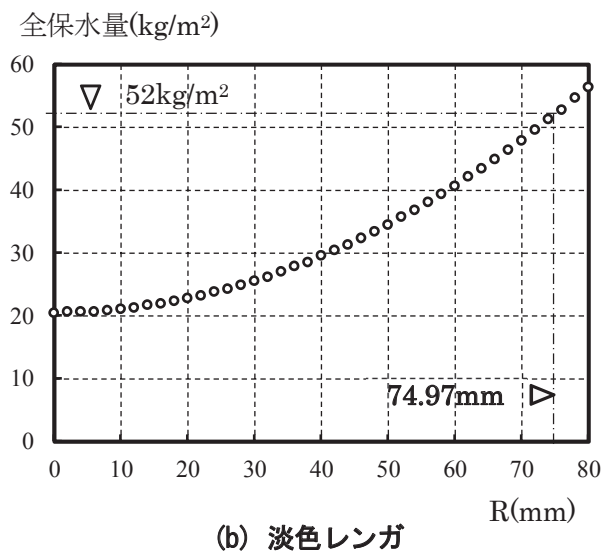
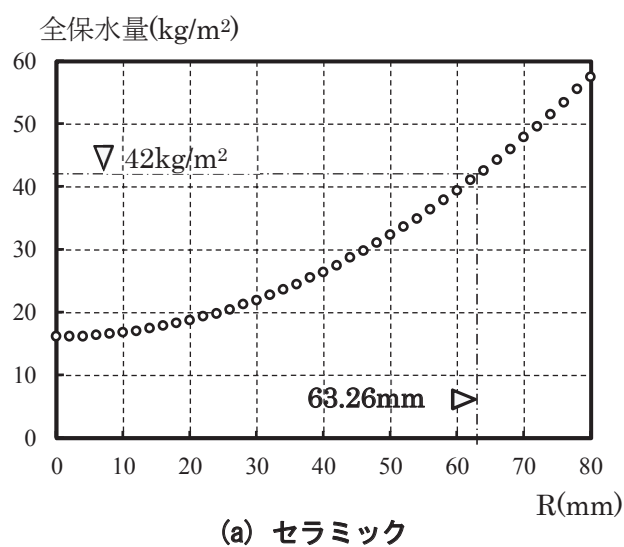


図4 アーチ半径と全保水量との関係

$$\cdot \text{ブロック部: } w_1 = V_1 \alpha_1 H = \left(1 - \frac{R^2 \pi}{2WH}\right) \alpha_1 H \quad (4)$$

$$\cdot \text{全保水量: } w = w_0 + w_1 = V_1 \alpha_1 H = \frac{R^2 \pi}{2W} + \left(1 - \frac{R^2 \pi}{2WH}\right) \alpha_1 H = \alpha_1 H + (1 - \alpha_1) \frac{R^2 \pi}{2W} \quad (5)$$

式(4), (5)中の α_1 はブロックの体積含水率であり、セラミックレンガは0.19、淡色レンガは0.18である。図4にアーチ半径と全保水量との関係を示す。式(5)より全保水量はアーチ半径の2次関数で表され、アーチ半径の増加に伴いレンガの全保水量も増加する。セラミックレンガ、淡色レンガの必要全保水量 w を42kg/m², 52kg/m²とした場合、アーチ半径の最小値は式(5)より

$$\text{【最小アーチ半径】} \quad \min(R) = \sqrt{\frac{2W(w - \alpha_1 H)}{\pi(1 - \alpha_1)}} \quad (6)$$

から求めることができ、セラミックレンガでは63.26mm、淡色レンガは74.97mmとなる。表3に示す各数値は上記の結果から決定している。

2. 3 アーチ型試験体（セラミック、淡色レンガ）の屋外曝露試験

2. 3. 1 蒸発冷却持続性の確認（実験1-1）

セラミック系ブロック（セラミック、淡色レンガ）アーチ型試験体と既往の研究で採用されたコの字型試験体で屋外曝露試験を実施し、比較検討した。実測は2017年8月14日から行い、場所は石川県白山市金沢工業大学69号館屋上である。晴天連続が予測される時、人工的に十分な給水を行い、蒸発冷却効果の持続性や「表面温度と気温との差」の関係を評価する。屋外曝露試験では、自然降雨または給水を行ったのち、「表面温度－気温」のグラフの変化から、顕著に「表面温度と気温との差」が上がり始め

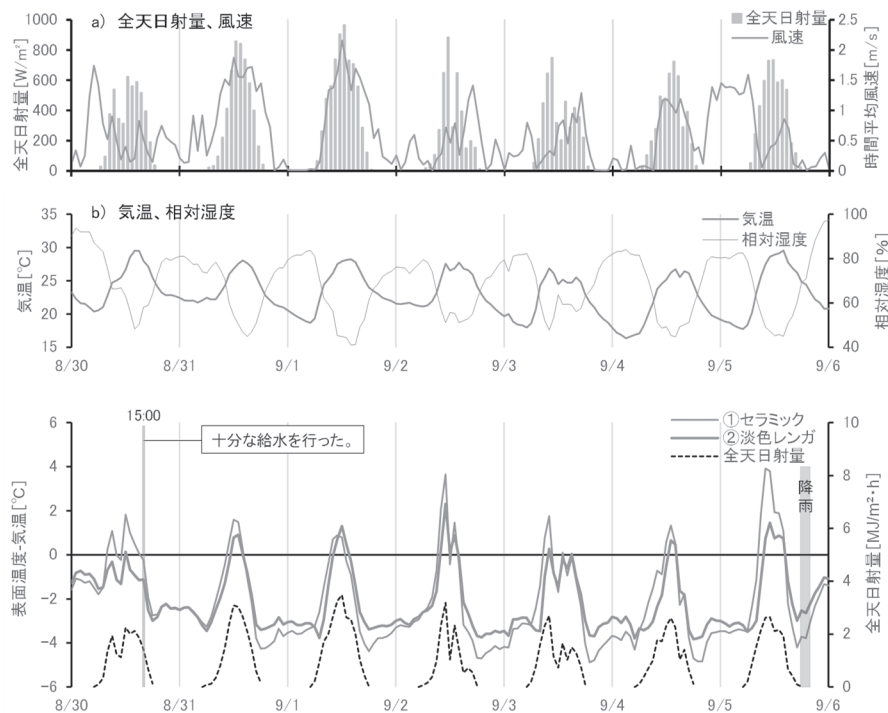


図5 屋外曝露試験の結果、気象条件⁶⁾

るまでの期間を蒸発冷却効果が十分であると定義する。

晴天が7日間続いた8月30日～9月5日を分析対象とする。この間、8月30日15:00に試験体に給水し、9月5日20:00から降雨が観測されている。図5に分析対象期間の気象条件、試験結果を示す。

給水後から 7 日間の連続晴天後、表面温度と気温との差によるセラミックの蒸発冷却効果の低下が確認された。

2. 3. 2 有効保水量の導出（実験 1-2）

アーチ型試験体の結果を表 4 に示す。全保水容量に対する有効保水量の割合は、淡色レンガが 93%、セラミックは 79%と高い値を示した。セラミック（コの字型）から有効保水量の向上も確認されたが、アーチ型淡色レンガ試験体がより長期的かつ高い蒸発冷却性能を有することが明らかとなった。

表 4 有効保水量導出試験の結果⁶⁾

	本研究		既往研究	
	セラミック アーチ型	淡色レンガ アーチ型	セラミック コの字型	セメント アーチ型
全保水容量	43.4kg/m ²	52kg/m ²	41.2kg/m ²	77kg/m ²
有効保水量	34.3kg/m ²	48.3kg/m ² (推定値)※	27kg/m ²	65kg/m ²
有効保水量/全保水容量	79%	93% (推定値)※	66%	84%

※天候不順により表面濡れ率0.65で試験が終了。2日間の蒸発量、表面濡れ率の変化量から、2日間と同じような天候が続くと想定し、平均して一日あたり蒸発量0.378kg、表面濡れ率0.133ずつ低下するとした。そして、表面濡れ率が0.65から0.5に近づくまでの変化を推定し、有効保水量を推定値という形で算出した。

2. 4 アーチ型試験体の強度の検討

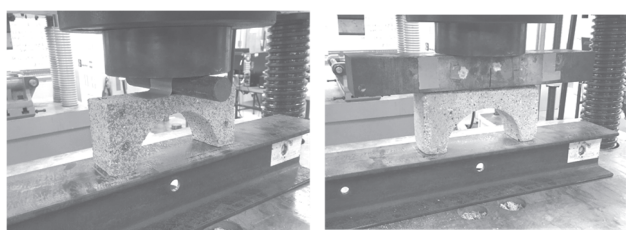
2.3 までの実験結果より 2.2.3 で示した寸法のセラミックブロック、淡色レンガブロックとも表 1 の冷却効果の持続期間と白華に対する目標を満足する結果が得られた。強度に対する目標を満足する形状であるか、載荷条件による破壊状況を加力実験で確認する。また簡易な破壊荷重を推定できる簡易な構造計算法を検討する。加力実験は建築学科構造分野の後藤正美研究室、構造計算は同分野の西村督研究室の指導の下、環境・設備分野の円井研究室のプロジェクトメンバーが実施した。

2. 4. 1 加力試験

作製したアーチ型のセラミック系ブロック 2 種（セラミック、淡色レンガ）に対して加力試験を行った。実験で確認する事項は等分布荷重と中央集中荷重に対する破壊強度である。等分布荷重は重量が大きい車等の通過、中央集中荷重は局所的な衝撃力を想定した荷重条件である。荷重条件はブロックの負荷状態以外に、専門外の学生でも実験が容易であり、ブロックの破壊強度計算の簡便化という観点で設定した。試験体は気乾状態各 3 体個ずつ用意した。集中載荷試験はアーチの正面から奥行き方向に均等に力が加わり平面応力状態となるように円柱の棒鋼をアーチ中央に置き、載荷位置がずれないようにテープで固定した（写真 1(a)）。等分布載荷試験では試験機の力がブロックに均等に伝わるようにブロックの上に直方体の鋼材を設けた（写真 1(b)）。

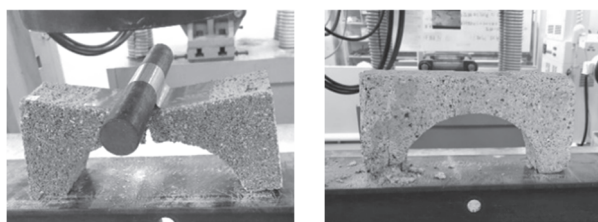
破壊時の荷重値を表 5 に示す。等分布載荷に対して中央集中載荷の破壊荷重のばらつきは大きい。破壊状況を写真 2 に示す。ブロックの種類に関わらず中央集中載荷ではアーチ中央部の曲げ破壊（写真 2(a)）、等分布載荷では脚部の圧縮破壊（写真 2(b)）が確認された。

なお屋外曝露試験で使用する試験体が貯水型であることを考慮し、ブロックの気乾状態と湿潤状態で



(a) 中央集中載荷 (b) 等分布載荷

図6 載荷試験 7)



(a) 中央集中載荷 (b) 等分布載荷

図7 破壊状況 7)

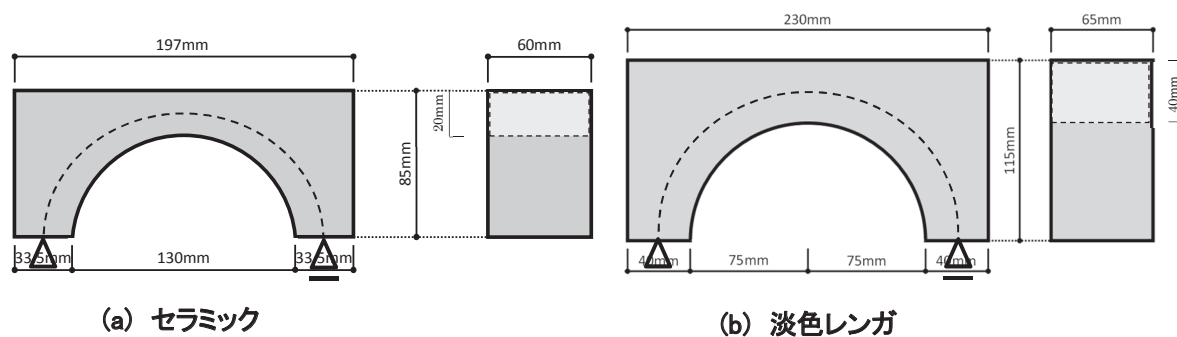
表5 破壊荷重の実験値 7)

試験体	載荷方法	破壊荷重 (kN)	平均値 (kN)	標準偏差 (kN)
セラミック	中央集中載荷	2.13	1.21	0.907
		1.17		
		0.318		
	等分布載荷	58.2	60.2	5.42
		56.0		
		66.3		
淡色レンガ	中央集中載荷	3.66	3.37	0.819
		2.45		
		4.01		
	等分布載荷	131	134	3.45
		134		
		138		

の強度の差を確認するために直方体のブロックに対して圧縮試験を実施した。その結果、湿潤状態と気乾状態の圧縮強度の平均値に大きな差はなかったことを確認している。

2. 4. 2 破壊強度の簡易計算

対称形状で対称荷重を受け、平面応力状態という理想状態では、試験体は長方形断面の単純支持され



(a) セラミック

(b) 淡色レンガ

図8 試験体のモデル化

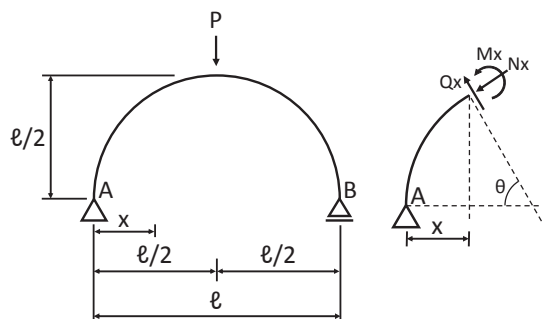


図9 半円アーチ(中央集中荷重)

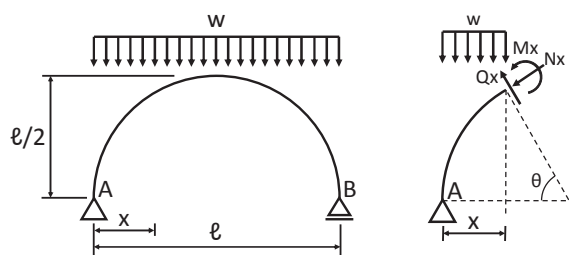


図10 半円アーチ(等分布荷重)

た静定平面アーチとしてモデル化できる（図 6 の破線）。レンガは脆性材料であり、破壊までの変形が微小変形で最大応力度の位置が破壊強度に達した時に破壊するという仮定下では、静定構造の応力計算で破壊荷重値を推定できる。建築環境工学を専門とする学部 4 年生が三次元固体の応力解析をすることは困難である。建築学科の学生が必修科目である建築構造力学 I の知識（静定構造物の応力計算）で固体の応力と破壊荷重を計算できるように、計算用モデルの設定に留意した。

図 7, 8 に荷重別の構造計算用モデルと自由体図を示す。静定構造であるから力、モーメントの釣り合いよりアーチの応力を求めることができる。応力計算の結果を式(7)～(12)に示す。

【中央集中荷重】 $0 \leq \theta \leq \pi/2$

$$\cdot \text{軸力: } N(\theta) = \frac{P}{2} \cos \theta \quad (7)$$

$$\cdot \text{せん断力: } Q(\theta) = -\frac{P}{2} \sin \theta \quad (8)$$

$$\cdot \text{曲げモーメント: } M(\theta) = \frac{Pl}{4}(1 - \cos \theta) \quad (9)$$

【等分布荷重】 $0 \leq \theta \leq \pi/2$

$$\cdot \text{軸力: } N(\theta) = \frac{wl}{2} \cos^2 \theta \quad (10)$$

$$\cdot \text{せん断力: } Q(\theta) = -\frac{wl}{2} \sin \theta \cos \theta \quad (11)$$

$$\cdot \text{曲げモーメント: } M(\theta) = \frac{wl^2}{4}(1 - \cos \theta) - \frac{wl^2}{8}(1 - \cos \theta)^2 \quad (12)$$

写真 2 の破壊状況から中央集中荷重時はアーチ中央の曲げ破壊が確認されているので $\theta = \pi/2$ のときの縁応力度 σ_{max} が曲げ強度 $_b\sigma_{cr}$ に達したとすると

$$\sigma_{max} = \frac{N(\pi/2)}{A} + \frac{M(\pi/2)}{Z} = \frac{0}{A} + \frac{Pl}{4} \frac{6}{B(H-R)^2} = _b\sigma_{cr} \quad (13)$$

等分布荷重時はアーチ脚部の圧縮破壊が確認されているので $\theta = 0$ のときの縁応力度 σ_{max} が圧縮強度 $_c\sigma_{cr}$ に達したとすると

$$\sigma_{max} = \frac{N(0)}{A} + \frac{M(0)}{Z} = \frac{wl}{2} \frac{2}{(W-2R)B} + \frac{0}{Z} = _c\sigma_{cr} \quad (14)$$

式(13),(14)より破壊荷重は次式で表せる。

$$P_{cr} = _b\sigma_{cr} \frac{2B(H-R)^2}{3l} \quad (15)$$

$$w_{cr} = _c\sigma_{cr} \frac{(W-2R)B}{l} \quad (16)$$

式(15),(16)に諸量を代入して実験値と比較した結果を表 6 に示す。荷重は単位面積当たりの値に換算している。破壊荷重はほぼ対応し、破壊荷重を推定するためのモデル化は適切であった。

表 6 破壊荷重の実験値と計算値⁷⁾

試験体		中央集中荷重 (N/mm ²)	等分布荷重 (N/mm ²)
セラミック	実験値	0.10	5.09
	計算値	0.11	5.87
淡色レンガ	実験値	0.23	9.00
	計算値	0.22	8.00

簡易に強度の推定する方法を専門外の研究室に指導し、円弧の切り欠き部のサイズを検討する手段を教示した。切り欠き形状を円弧とすべきかを含めてブロック形状の詳細な検討は今後の課題である。

3. 結語

本報告では建築環境・設備分野のプロジェクトデザインⅢにおいてブロックの形状設計の問題を建築構造分野の研究室と協働して取り組んだ事例を報告した。異分野間の相互連携を通して「総合化」という建築技術者教育の機会に今後も参画したい。

参考文献

- 1) 西村 督：建築分野の技術者教育と高度専門技術者像，工学教育「広場—教育士の思い—」，日本工学教育協会，Vol.3, No.2, p.87, 2015.3
- 2) 円井基史，梅干野晃，浅輪貴史，板津佳恵：蒸発冷却舗装システムの基本性能に関する夏季屋外実験都市熱環境改善に向けた蒸発冷却舗装システムとその予測評価手法の開発 その 1，日本建築学会環境系論文集，第 600 号，pp.51-58, 2006.2
- 3) 梅干野晃，円井基史，松本明広，浅輪貴史：雨水貯留と毛管吸水に着目した蒸発冷却舗装システムにおける夏季屋外実験による舗装体の形状と断面構成の検討，日本ヒートアイランド学会論文集，Vol.6, pp.30-38, 2011.11
- 4) 笹井俊宗，中立洵，前田治基：貯水型保水性舗装における蒸発冷却効果の持続性向上に関する研究，金沢工業大学プロジェクトレポート，2017
- 5) 円井基史，湯浅昇，梅干野晃：蒸発冷却舗装システムにおける舗装ブロックの白華と細孔径分布，第 61 回セメント技術大会講演要旨，pp.184-185, 2007.5
- 6) 円井基史，鈴木琢也：蒸発冷却舗装システムにおける白華、ブロック強度、夏期ヒートアイランド緩和度合いに関する検討，日本建築学会北陸支部研究報告集，第 61 号，pp.200-203, 2018.7
- 7) 小林舜，土屋幹，三宅匠：アーチ型セラミック系ブロックによる蒸発冷却舗装システムの冷却持続期間と強度に関する研究，金沢工業大学プロジェクトレポート，2018

[原稿受付日 平成 30 年 8 月 20 日，採択決定日 平成 30 年 11 月 12 日]



西村 督
教授・博士（学術）
建築学部
建築学科
構造物の安定問題に関する
計算力学



後藤 正美
教授・博士（工学）
建築学部
建築学科
木構造、耐震工学



円井 基史
准教授・博士（工学）
建築学部
建築学科
都市熱環境、建築環境設計