

平成 28 年 10 月入学・平成 29 年 4 月入学
博士課程前期 2 年の課程
試験問題（サステナブル空間構成学講座）

◆注意事項

問題は全部で 5 問である。各試験問題に対し、**別々の解答用紙**に答えること。解答用紙は全部で 15 枚あるので、各試験問題に対して、複数の解答用紙を使用してもよい。解答用紙が足りない場合には、試験監督に申し出ること。

各解答用紙には、「**問題番号**」、「**受験番号**」を必ず書くこと。**氏名を書いてはならない**。問題番号や受験番号のないもの、また、受験者の氏名の書いてある解答は無効となるので注意すること。

問題 1 (計 80 点)

問題 1-1

- (1) 熱伝導率と対流熱伝達率と放射熱伝達率と総合熱伝達率と熱貫流率について説明せよ。各々の意味や相違点が明確になるように系統的に説明すること。単位も示すこと。
- (2) 熱伝導率は物性値であるが、対流熱伝達率は流れ場の性状により異なる。自然対流の場合の対流熱伝達率と大気の安定度（安定、不安定）はどのような関係があるか？
- (3) 安定成層、不安定成層は、各々、どのような鉛直温度勾配の時に生じるか？また、そのような時に何故、安定或いは不安定になるか？
- (4) 都市において、①大気が安定の時、②大気が不安定の時、の各々の状態で同量の人工排熱が地表付近の大気中に放散された場合、地表付近の大気の気温上昇はどちらの状態の時の方が大きくなるか？理由とともに答えよ。

問題 1-2

下の表は建材等の選択が屋外の温熱環境と室内の冷暖房負荷に及ぼす影響を比較したものである。RC 造内断熱と RC 造外断熱では日中と夜間の顕熱負荷削減効果が逆になっているが、この理由を建物外皮における熱収支の変化と関連付けて説明せよ。

表 建材(建物外皮)のヒートアイランドに対する抑制効果の定性的な評価

		夏季夜間 顕熱削減効果	夏季日中 顕熱削減効果	冷房負荷 削減効果	暖房負荷 削減効果
RC 造内断熱		×	○	○	○
RC 造外断熱		○	×	○	○
クールルーフ	屋上緑化	△※	○	○	○ or △※
	高反射性塗料	○※	○	○	×
	保水性建材	△※	○	○	○ or △※

○：ヒートアイランド抑制効果あり，×：逆効果，△：効果なしまたは疑問

※：定量的研究が必要 (出典：森山正和編「ヒートアイランドの対策と技術」学芸出版社)

問題 1-3

下の表は各種のエネルギー種別毎の熱量換算値をまとめたものである。

表 エネルギー種類別の熱量換算値 (出典：都市環境学教材編集委員会編「都市環境学」森北出版)

エネルギー種別		1次エネルギー換算値	2次エネルギー換算値
電力 (全日)		9.76 MJ/kWh	3.6 MJ/kWh
都市ガス (13A)		45 MJ/m ³ N	—
石油類	灯油	36.7 MJ/L	—
	軽油	37.7 MJ/L	—
	A重油	39.1 MJ/L	—
	B重油	41.9 MJ/L	—
	C重油	41.9 MJ/L	—

表中に「1次エネルギー」と「2次エネルギー」という言葉が用いられているが、1次エネルギーとは資源から直接得られるエネルギーであり、電気のように1次エネルギー資源を変換して得られるエネルギーは2次エネルギーと呼ばれる。

これに関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 電力の2次エネルギー換算値 (3.6 MJ/kWh) は単純な単位換算から求められる。
この換算の方法を説明せよ。
- (2) 電力の1次エネルギー換算値は何によってきまるか？
- (3) 以下の分析を行う場合、1次エネルギー換算値、2次エネルギー換算値のいずれを用いるのが適切か？
 - ① 都市部の建物内部での電力消費により都市部に排出される人工排熱
 - ② 高効率の家電機器への買い換えを全国的に推進することによる日本全体でのエネルギー消費量の変化

問題 2 (計 80 点)

問題 2-1

図 2-1 のように、二つの開口を持った建物がある。開口 1 と開口 2 の相当開口面積は、それぞれ $\alpha_1 A_1$ と $\alpha_2 A_2$ である。また、開口 1 と開口 2 には、それぞれ風圧力 p_{w1} と p_{w2} ($p_{w1} > p_{w2}$) が作用し、建物内外の空気密度はともに ρ である。

以上の条件から、自然換気量 Q を求める式を、文中で与えられた記号を用いて表せ。

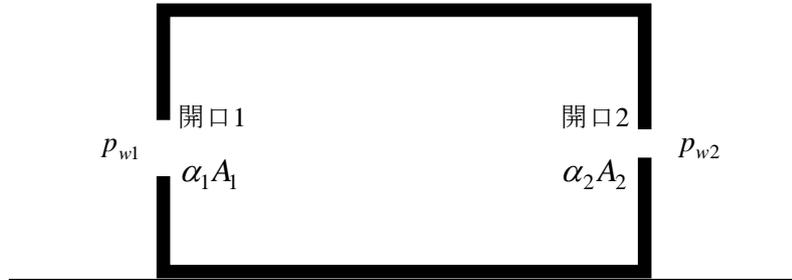


図 2-1

問題 2-2

図 2-2 に示すような、地中のダクトを通して室内へ給気を行う建物について、以下の間に答えよ。

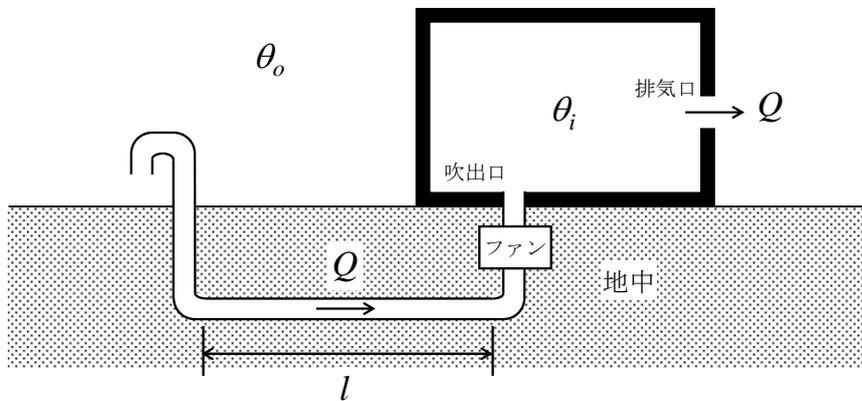


図 2-2

(1) 次の[A][B]の文中の(ア)～(カ)に当てはまる式を答えよ。

[A] 地中のダクトを通して吹出口から室内へ供給される空気の温度が θ_e [°C]、室温が θ_i [°C]、換気量が Q [m³/s] であるとき、換気によって室内に流入する正味の熱量[W]は、空気の容積比熱を $c_p \rho$ [J/(m³·K)] とすると次のように表される。

(ア) $\times (\theta_e - \theta_i)$

また、建物の外壁面および屋根面の熱貫流率が K [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$], 外壁面および屋根面の面積の総和が S [m^2], 外気温が θ_o [$^{\circ}\text{C}$]であるとき、熱貫流によって室内に流入する熱量[W]は次のように表される（ここで、床面での熱貫流と、屋外の日射量・実効放射量は無視する）。

$$\boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{イ})$$

従って、定常状態での熱平衡を考慮すると、室温 θ_i [$^{\circ}\text{C}$]は次のように表される。

$$\theta_i = \boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{ウ})$$

- [B] 地中のダクトのうち、水平方向に長さ l [m]で敷設された区間を、水平区間と呼ぶことにする。地中温度の空間分布および時間変化を無視することにし、それに伴って、ダクト内側の表面温度がどこも θ_s [$^{\circ}\text{C}$]で一様かつ一定であると仮定する。そして、水平区間内に存在する長さ Δl [m]の微小区間に着目すると、地中からダクト内表面を介してこの微小区間内の空気に流入する熱量[W]は、次のように表される。

$$\alpha \times (\theta_s - \theta_m) \times \pi D \times \Delta l$$

ここで、 α はダクト内側の対流熱伝達率 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$], θ_m は微小区間内の空気温度 [$^{\circ}\text{C}$], D はダクトの直径[m]（ダクトは円管）である。

一方、空気の移動によって微小区間に流入する熱量と微小区間から流出する熱量の差[W]は、流出する空気と流入する空気の温度差（＝流出空気の温度－流入空気の温度）を $\Delta\theta_m$ [$^{\circ}\text{C}$]とすると、次のように表される。

$$\boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{エ})$$

従って、熱平衡を考慮すると次の微分方程式が成り立つ。

$$\boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{オ})$$

ここで、水平区間以外のダクトについて地中からの熱流入を無視することにし、 θ_o [$^{\circ}\text{C}$]の外気が水平区間の入口に流入すると考えると、上の微分方程式の解より、水平区間の出口の温度（＝ダクトから室内へ供給される空気の温度） θ_e [$^{\circ}\text{C}$]は次のように表される。

$$\theta_e = \boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{カ})$$

- (2) (1)の答えから、換気量 Q の増加に伴って室温 θ_i がどのように変化するか、文章や図で説明せよ。なお、季節は夏とし、ダクト内側の対流熱伝達率 α は、換気量 Q と次の関係にあるものとする。

$$\alpha = k \times Q^{0.8} \quad (k \text{ は定数})$$

問題 3 (計 80 点)

問題 3-1

建築空間内における音の響きについて、以下に答えよ。図 3-1 は、ある建築物の中で手を叩いた後に測定された音の減衰過程を示している。この波形には特徴的なピークの繰返しが見られる。その繰返しは約 30 周期/秒である。

- (1) このような現象を何というか。こうした現象が生じるメカニズムはどのようなものか。
- (2) 図 3-1 の結果が常温の状況で測定されたとすれば、当該空間の代表的な長さほどの程度か。
- (3) 通常の建築空間でこうした現象を防止するためにどのような対策を行えばよいか。

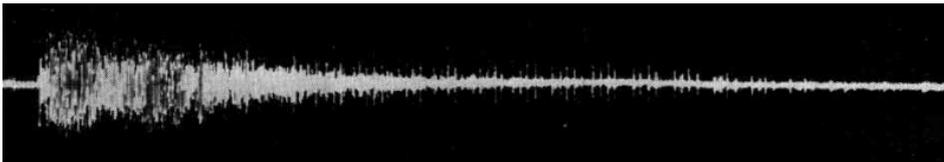


図 3-1 実測による短音残響波形

[出典：石井聖光他, 生産研究. 17(4), 1965.04.01, pp. 75-81]

問題 3-2

ガラスの無い開放された天窗を持つ図 3-2 の建築の光環境について次の問いに答えよ。天窗の面積は $S_t=1.4[\text{m}^2]$ 、室内表面積は $S=180[\text{m}^2]$ 、室内表面の反射率は ρ で表す。なお、天窗以外に採光窓はない。また、壁・天井等に可視光の透過性はない。

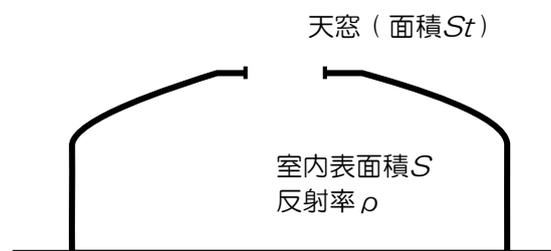


図 3-2

- (1) 天空が完全等輝度面と仮定できる曇天の状況で、屋外の全天空照度 E は $12,000[\text{lx}]$ であった。室内の反射率は $1 > \rho > 0$ (灰色) である。このとき、床面上のある点 P の水平面照度が $250[\text{lx}]$ であった。点 P の全昼光率 D はいくらか。
- (2) 室内表面の反射率 ρ 、空間への入射光量 F とするとき、記号を用いて間接照度 E_r を示せ。 $\rho=0.3$ (灰色) であるとき、点 P の間接照度 E_r 、間接昼光率 D_r の値はそれぞれいくらかになるか。
- (3) 前述の点 P における天窗の立体角投射率を推定せよ。
- (4) この天窗に透過率 80% の完全拡散性の乳白色ガラスを取り付けた。直射日光が当たる晴天時に屋根面の水平面照度が $60,000[\text{lx}]$ であった。点 P の天窗による直接照度及び間接照度を推定せよ。窓枠、保守率などは考慮しなくてよい。

問題 4 (計 110 点)

問題 4-1

- (1) 鉄筋コンクリート造建築物に生じる「中性化」とはどのような現象かを説明し、この現象を原因として鉄筋コンクリート構造物に劣化が生じるプロセスを説明せよ。
- (2) 写真 4-1 は、中性化による劣化が疑われる鉄筋コンクリート造建築物（宮城県内の工場施設）の写真である。この写真に生じている劣化現象が中性化によるものと考えられる理由を述べよ。また、中性化の進行を確認する方法を述べよ。



写真 4-1

- (3) この建築物について、竣工後 1 年の中性化深さは 0.2cm、竣工後 25 年現在においては 1cm であったとする。今後、大規模な改修や環境条件の変化がないと仮定した場合、竣工後 100 年における中性化深さを求めよ。
- (4) (3)の条件において、竣工後 25 年現在までの立地位置における年平均気温が、竣工後 25 年から 100 年までの期間では上昇すると仮定する。この場合、竣工後 100 年における中性化深さは、(3)の計算結果からどのように変化するか、理由とともに述べよ。
- (5) この建築物を対象とした場合、今後の中性化の進行を遅らせる対策として考えられる方法を述べよ。また、設計段階（竣工前の時点）において考えられる中性化対策について、中性化の進行に影響を及ぼす要因と共に説明せよ。

問題 4-2

近年では、環境に配慮したコンクリートとして、高炉スラグやフライアッシュなどの産業副産物を混和材として用いることや、再生骨材の利用などが積極的に検討されている。その一方で、現状におけるこれらの試みは、実際の建築物に対して広く適用されているとは必ずしもいい難い。その理由について、これらの試みのメリットとデメリットを踏まえて説明せよ。

問題 4-3

図 4-1 は、高温に曝された鋼材 (SS490) と普通強度のコンクリートの、温度と強度率 (20°C 環境下での強度を 1 とした場合の強度の割合) を示したグラフである。

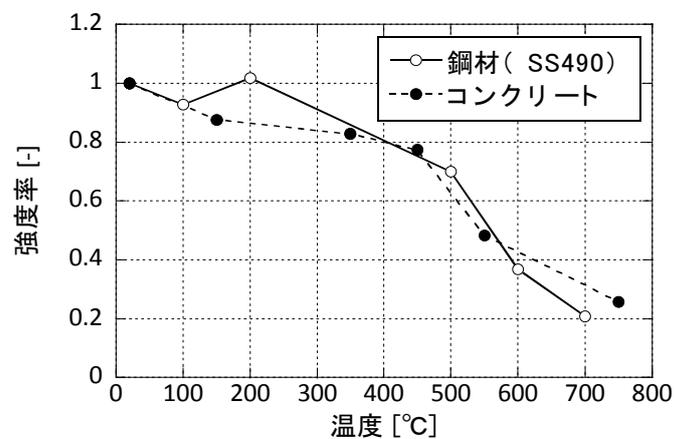


図 4-1

- (1) 鉄骨造建築物に用いられる耐火被覆について、一般的に用いられる材料を一つ挙げ、その特徴を述べよ。
- (2) 図 4-1 に示されるように、鋼材とコンクリートのいずれも高温を受けることで強度は低下する。この一方で、一般的な鉄骨造建築物に対しては耐火被覆が必要だが、一般的な鉄筋コンクリート造建築物に対しての耐火被覆は不要である。この理由について説明せよ。

問題 5 (計 50 点)

問題 5-1

図 5-1 のトラスについて、反力および各部材の軸力を求めなさい。ただし、部材に生じる引張力は+、圧縮力は-の符号をつけて値を求めること。

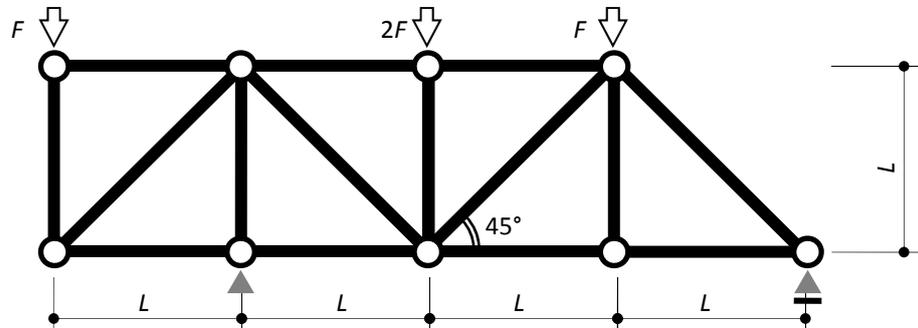


図 5-1

問題 5-2

図 5-2 は、直径 10cm、高さ 20cm のコンクリート供試体に対して圧縮载荷試験を行った際の荷重とひずみの関係を模式的に表したグラフである。

- (1) このコンクリートの圧縮強度とヤング係数をそれぞれ求めよ。ただし、計算の過程も記述すること。また、ここでは計算の簡単のために円周率を 3 として計算してよい。
- (2) 図 5-2 に示されるように、コンクリートに生じる荷重とひずみの関係は、一般に完全な線形関係ではなく、ひずみの増加とともに非線形性が増し、徐々に傾きが緩やかになることが知られている。この理由について、複合材料であるコンクリートに生じるひび割れの観点を踏まえて説明せよ。

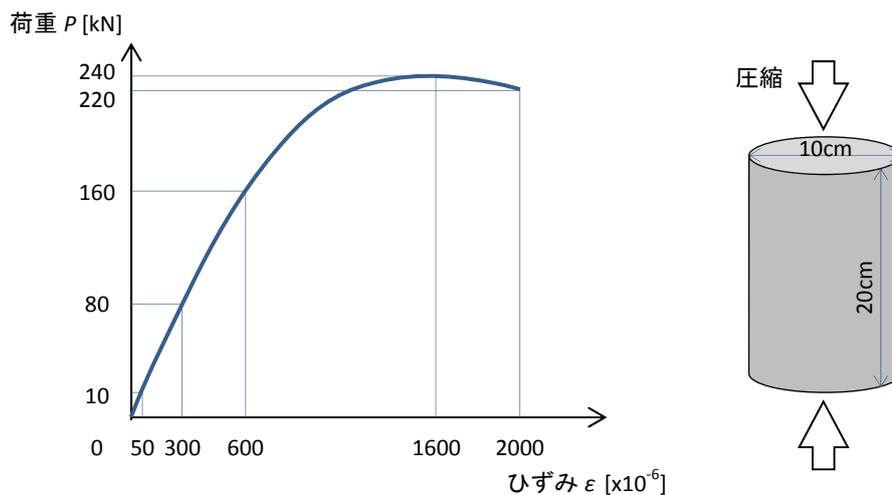


図 5-2