博士課程前期 2 年の課程

外国人留学生等特別選抜（令和 4 年 10 月入学）

一般選抜（令和 5 年 4 月入学）

専門科目試験問題（建築構造工学講座）

Master's Program Entrance Examination
Special Selection Program for Foreign Students (for Entry in October 2022)
Regular Program (for Entry in April 2023)
Questions (Structural Engineering for Architecture Course)

◆注意事項 / Notice

(1) 配布物は以下の通りである。
Following sheets are distributed;
- 問題用紙　9 枚（表紙を除く）/ 9 of question sheets (except this cover sheet)
- 解答用紙　12 枚 / 12 of answer sheets

(2) 解答用紙には、問題番号と受験番号のみを記入し、氏名を書いてはならない。指示に従っていない解答は無効となるので注意すること。
Write the question number of your answer and your examination identification number on the top of each answer sheet. Do NOT write your name. If you don't follow the directions, your answer will be invalidated.

(3) 問題は全部で 6 問である。各問題に対し、別々の解答用紙に答えること。解答用紙は全部で 12 枚あるので、各問題に対して、複数の解答用紙を使用してもよい。
There are six (6) questions. Write the answer of each question on the different answer sheet(s). A set of twelve (12) answer sheets is given. You can use two (2) or more answer sheets for one question, if necessary.

問題 1　以下の 3 ヒンジラーメンについての問に答えなさい。(計 45 点)

図 1-1 に示すような 3 ヒンジラーメンに，静水圧換算した三角形分布の津波外力が作用している。このとき，いずれの部材も弾性状態であり自重は無視できるものとして，以下の問に答えなさい。

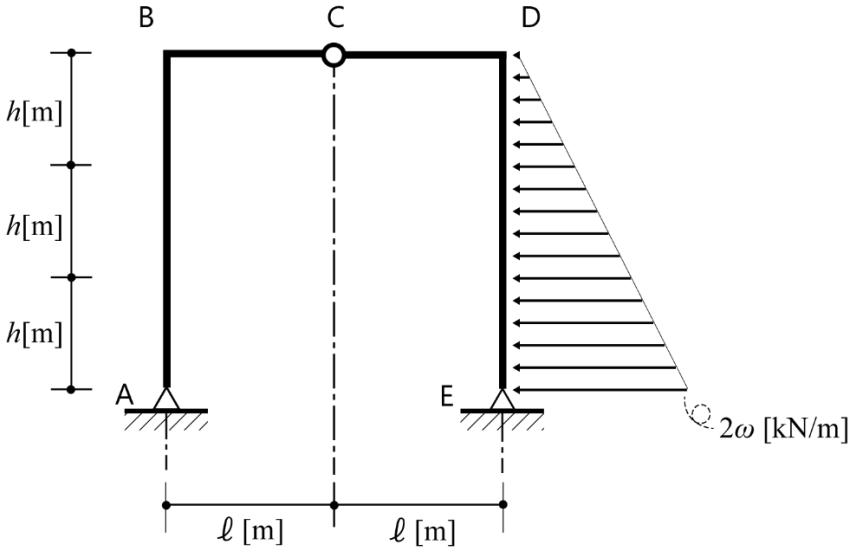


図 1-1　津波外力（静水圧分布換算）を受ける 3 ヒンジラーメン

(1) A 点における水平方向支点反力 H_A，鉛直方向支点反力 V_A，E 点における水平方向支点反力 H_E，鉛直方向支点反力 V_E を求めよ。ただし，図 1-2 に示した H_A，V_A，H_E，V_E の向きを正とする。（12 点）

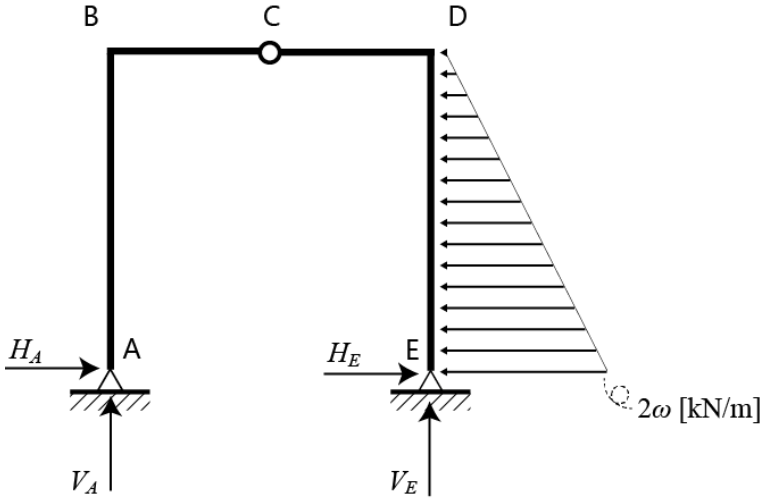


図 1-2　支点反力の設定

(2) 3 ヒンジラーメンの軸力図を求めよ。ただし，軸力は引張を正，圧縮を負として，各部材の軸力の値を記すこと。（12 点）

次に，3 ヒンジラーメンのせん断力図について考える。

(3) まず，柱 DE 部分の自由体について考える。x 軸，y 軸の向きを図 1-3 のように定め，D 点を x=0 とする。ここで，x=0 における三角形分布荷重の作用荷重は 0，x=3h における三角形分布荷重の作用荷重は−2 ωである（ここでは y 軸の向きをふまえた符号を付した）。部材 DE のせん断力 $Q(x)$を x, ω, h, H_D を用いた関数として求めよ。なお，x=0 におけるせん断力は $Q(0) = H_D$ である。（6 点）

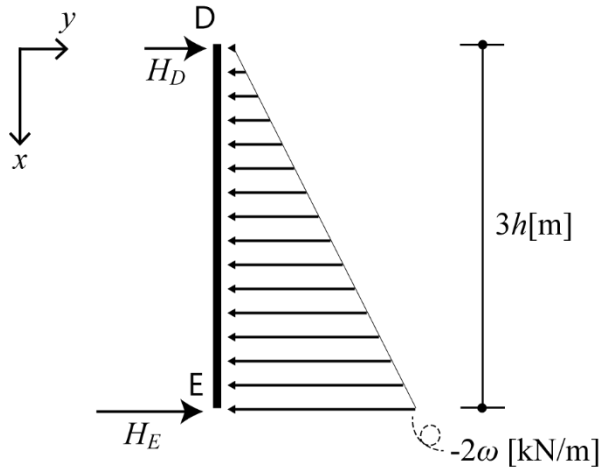


図 1-3　三角形分布荷重をうける自由体

(4) 3 ヒンジラーメンのせん断力図を求めよ。ただし，時計回りに向く力の組合せ（↑ ↓）でせん断力が作用している場合を正，反時計回りに向く力の組合せ（↓ ↑）でせん断力が作用している場合を負として，各節点でのせん断力の値を記すこと。（10 点）

(5) 図 1-1 に示す津波荷重を受けた柱 DE のモーメントが最大となる E 点からの高さを，h を用いた式として求めよ。（5 点）

問題 2（計 75 点）

図 2-1 に示すような弾性の不静定骨組を考える。点 A と点 C は固定端であり，各部材のヤング係数は E，断面二次モーメントは I である。荷重が載荷される前，部材 AB と部材 BC は図 2-1 に点線で示すように直線であった。部材 AB の中央に鉛直荷重 P を載荷した時の状態を「状態 I」と呼ぶ。この時の部材 AB の中央たわみは δ_{I}，点 B の節点回転角は θ_{I} であった。

次に図 2-2 に示すように，点 B の節点回転角が 0 に戻るように点 B に曲げモーメント M を作用させた。この時，部材 AB の中央たわみは δ_{II} になった。この状態を「状態 II」と呼ぶ。δ_{II} は，中央に鉛直荷重 P を受ける長さ L の両端固定梁の中央たわみに他ならず，$\delta_{\mathrm{II}} = PL^3/192EI$ で与えられる。

次に，図 2-3 に示すように鉛直荷重 P を取り除くと，部材 AB の中央たわみと点 B の回転角はそれぞれ δ_{III} 及び θ_{III} となった。この状態を「状態 III」と呼ぶ。

自重は無視する。たわみは下向きを，回転角とモーメントは時計回りを正とする。以下の問に答えよ。結果だけではなく，考え方や計算の過程も示すこと。

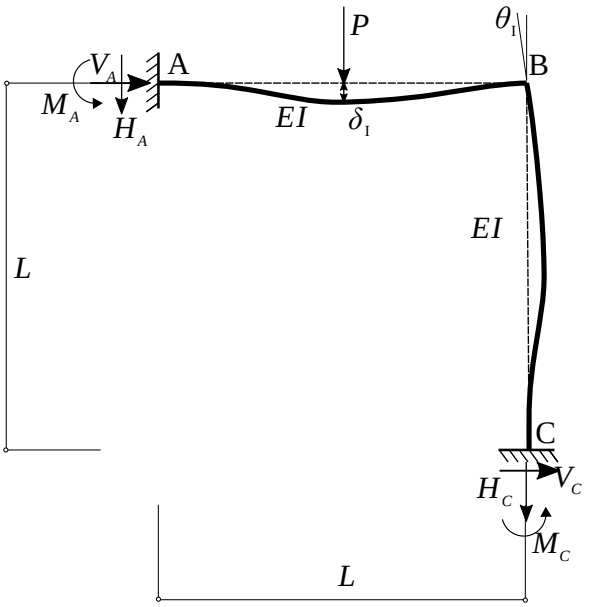


図 2-1　状態 I

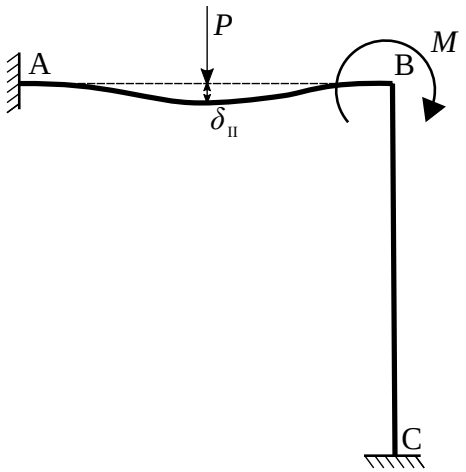


図 2-2 状態 II

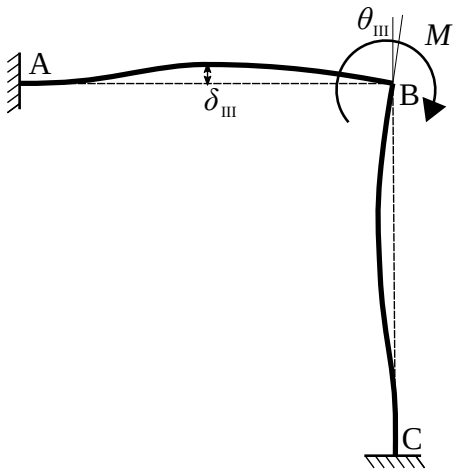


図 2-3　状態 III

(1) 「状態 II」のように，点 B の節点回転を止めるために必要な曲げモーメント M の大きさ $|M|$ を，L, P を用いて表せ。(10 点)

(2) 「状態 III」の時の点 B の節点回転角 θ_{III} を，E, I, L, P を用いて表せ。(10 点)

(3) 「状態 I」の時の点 B の節点回転角 θ_{I} を，E, I, L, P を用いて表せ。(10 点)

(4) この骨組は常に弾性状態を保持するので，鉛直荷重 P と曲げモーメント M はどの順番で作用させても，「状態 II」となるまでに外力のなす仕事は同じである。即ち，無応力の状態から部材 AB 中央に鉛直荷重 P を作用させて「状態 I」とした後で，点 B に曲げモーメント M を作用させて「状態 II」となるまでに外力 P と M がなす仕事の総和と，無応力状態から点 B に曲げモーメント M を作用させて「状態 III」とした後に部材 AB 中央に鉛直荷重 P を作用させて「状態 II」とした時に外力 P と M がなす仕事の総和は一致する。このことと，問(3)で求めた θ_{I} を利用して δ_{III} を求めよ。また，得られた δ_{III} と，$\delta_{\mathrm{II}} = PL^3 / 192EI$ を用いて δ_{I} を求めよ。なお，δ_{I} と δ_{III} は E, I, L, P を用いて表せ。(15 点)

(5) 「状態 I」の時の曲げモーメント図，せん断力図，軸力図を描け。曲げモーメント図には，点 A, B, C 及び部材 AB の中央における曲げモーメントの大きさの値を，せん断力図・軸力図にはそれぞれの主要な位置の値を記入すること。ただし，せん断力は図 2-4 のように微小要素を時計回りに回転させる方向を，軸力は引張力をそれぞれ正とする。(30 点)

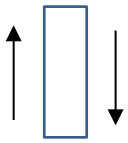


図 2-4　せん断力の正方向

問題 3　建築鉄骨構造に関する以下の問に答えなさい。（計 55 点）

問題 3-1（35 点）

図 3-1 に K 型ブレース構面を示す。ブレース材断面は H－300×300×10×15，材質は SN490 である。ブレース材の各節点位置において骨組の面外方向の変形は拘束されているものとする。また，ブレース材とガセットプレートは M20，F10T の高力ボルトで摩擦接合されている。ボルトは，図に示すようにブレース材側で上下フランジにそれぞれ 4 本，ウェブに 4 本が 2 本ずつ二列の並列配置されている。ボルト孔径は 22mm とする。

地震時にブレース構面に水平力 P=1200kN が作用したとき，次の問に答えよ。なお，水平力はブレース材で全て負担するものとする。また，鋼材のヤング係数 E=2.05×10^{5}N/mm^2，ブレース材 H-300×300×10×15 の断面二次半径 i_x=131mm, i_y=75.5mm, $^*i_y$=82.8mm, 断面係数 Z_x=1.35×10^{6}mm^3, Z_y=4.5×10^{5}mm^3, 断面積 A=11850mm^2 である。必要に応じて下式を使ってよい。

$$f_{b1}=\frac{F}{1.5}\left\{1.0-0.4\frac{\left(l_b/{}^*i_y\right)^2}{C\Lambda^2}\right\},\quad f_{b2}=\frac{89000}{l_b h/A_f},\quad f_c=\frac{F}{\nu}\left\{1.0-0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\quad,\quad f_c=\frac{6}{13}\frac{0.6F}{(\lambda/\Lambda)^2}=\frac{0.277}{(\lambda/\Lambda)^2}F,\quad \nu=\frac{3}{2}+\frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

(1) 各ブレース材の許容応力度を求めよ。

(2) 高力ボルト接合部の許容耐力を求めよ。ただし，表 3-1 を参照してよい。

(3) 接合部における母材（ブレース材）の許容耐力を求めよ。

(4) 水平力 P に対して各部位が安全か否かを検定せよ。

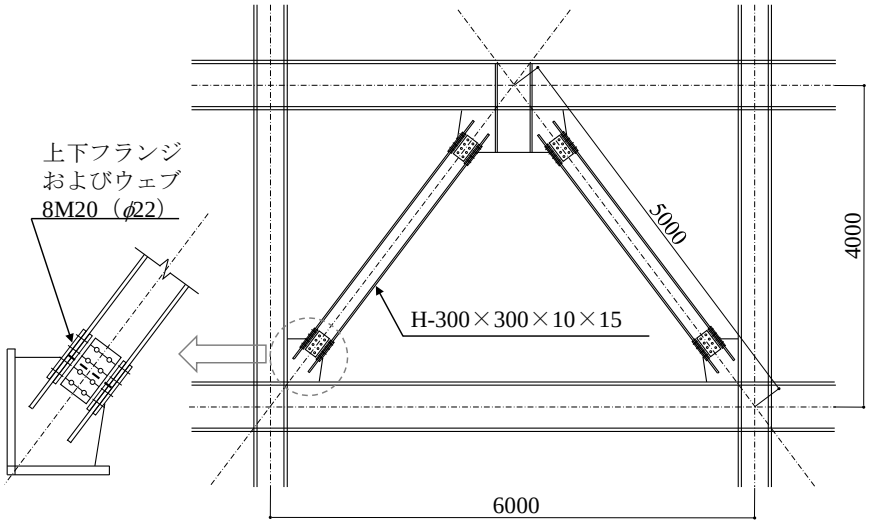


図 3-1　K 型ブレース構面

表 3-1　高力ボルト接合の長期応力に対する許容耐力

ボルトの呼び径	ボルト軸径 (mm)	ボルト孔径 (mm)	ボルト軸断面積 (mm^2)	ボルト有効断面積 (mm^2)	設計ボルト張力 (kN)	許容せん断耐力(kN)		許容引張力 (kN)
						一面摩擦	二面摩擦	
M20	20	22	314	245	165	47.1	94.2	97.4
M22	22	24	380	303	205	57.0	114	118
M24	24	26	452	353	238	67.9	136	140

問題 3-2（20 点）

図 3-2 にラーメン骨組の一例を示す。次の問に答えよ。

(1) 図 3-2 の骨組について部材製造から建て方の完了までの各工程を簡潔に説明せよ。

(2) 一般的なラーメン骨組の各部位（柱，大梁，小梁など）に用いられる鋼種とその理由を簡潔に説明せよ。

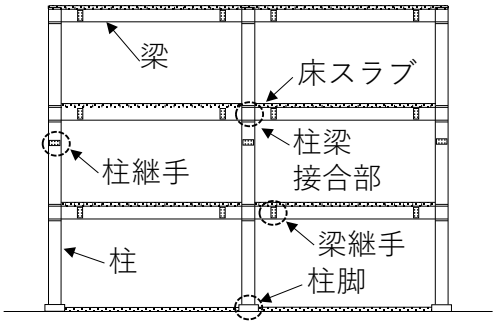


図 3-2　鉄骨三層ラーメン骨組

問題 4　鉄筋コンクリート構造に関する以下の問に答えなさい。（計 55 点）

問題 4-1　（40 点）

図 4-1 に示すような 1 層 1 スパン鉄筋コンクリート造ラーメン架構に水平荷重 P が作用している。柱および梁の断面は図 4-2 のとおりである。また、部材のヤング係数は E とし、柱の軸力は十分に小さく無視できるものと仮定する。

(1) 弾性時のラーメンの曲げモーメント図を描きなさい。

(2) 水平荷重 P を増加させると、柱 A,B、および、梁に、曲げひび割れやせん断ひび割れが発生した。どの場所にどのようなひび割れが発生するか、スケッチを示しなさい。また、それらのひび割れが発生する順番を予測して示しなさい。
（例：曲げひび割れ：柱 A 上➔柱 B 下➔梁右➔柱 A 下、せん断ひび割れ：梁➔柱 B➔柱 A）

(3) 長方形梁の曲げ終局モーメントは$M_u = 0.9 \times \sum a_t \sigma_y \times d$（ただし、$b$:幅、$D$:せい、$\sum a_t$：引張主筋の断面積の合計、$\sigma_y$：主筋の降伏強度、$d$：有効せい）で略算できることを説明しなさい。

(4) 柱および梁のせん断強度は十分に高く、各部材は曲げ終局に達すると仮定する。架構が崩壊メカニズムを形成するときの曲げモーメント図を描き、架構の保有水平耐力 Q_u（層せん断力）を求めなさい。ただし、剛域は無視してよい。

(5) 曲げ終局に先行してせん断破壊が発生するとしたら、どの部材が最も可能性が高いか。理由とともに説明しなさい

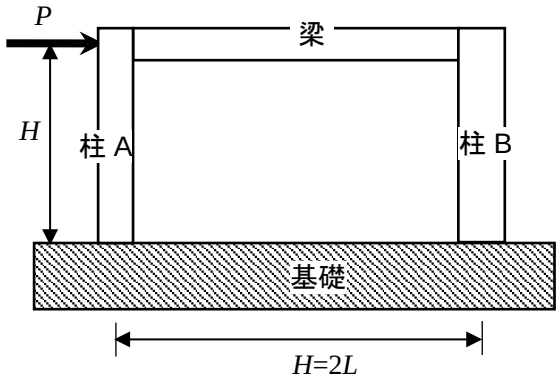
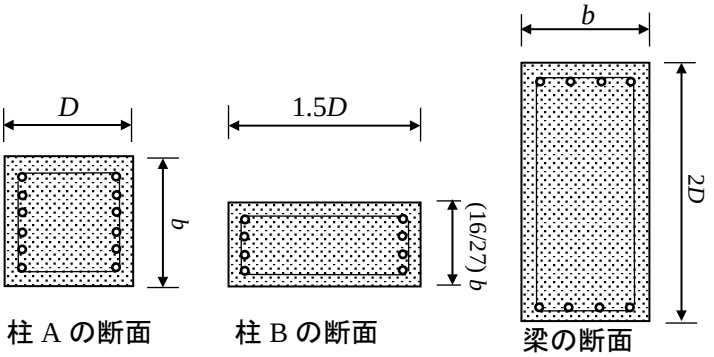


図 4-1



※　主筋 1 本の断面積 a_t は共通

図 4-2

問題 4-2　（15 点）

鉄筋コンクリート造柱のせん断抵抗機構について説明しなさい。

問題 5　構造物の振動に関する下記の問に答えなさい。（計 35 点）

(1) 図 5-1 に示すように，1 質点系でモデル化された建物（主系）に，同じく 1 質点系でモデル化された付加振動系（付加系）を載せた構造物の振動を考える。主系の質量と水平剛性をそれぞれ m_1, k_1，付加系の質量と水平剛性をそれぞれ m_2, k_2 とする。また，地表に対する主系及び付加系の質点位置の水平変位をそれぞれ x_1, x_2 とする。減衰は無視できるものとして，以下の問に答えなさい。ただし，π を 3，有効数字 2 桁で計算すること。

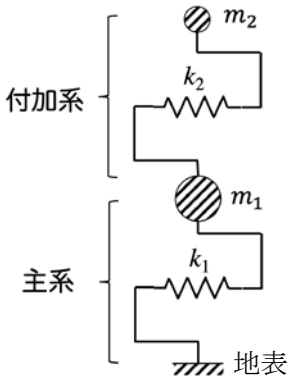


図 5-1　2 質点系モデル

(a) 図 5-1 に示す系が自由振動する場合, 力の釣り合い式は下記で表される。$\ddot{x}$ は変位 x の時間に関する 2 階微分を表す。質量行列 **M** 及び剛性行列 **K** をm_1, k_1, m_2, k_2 のうち必要なものを用いて書き表せ。

$$\mathbf{M}\begin{Bmatrix}\ddot{x}_1\\ \ddot{x}_2\end{Bmatrix} + \mathbf{K}\begin{Bmatrix}x_1\\ x_2\end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix}0\\ 0\end{Bmatrix}$$

以後，$m_1 = 1.0 \times 10^6$ (kg)，$m_2 = 1.0 \times 10^4$ (kg)とする。

(b) 主系，付加系をそれぞれ独立に地表に設置した際の固有周期はどちらも 3 秒であった。k_1, k_2 を求めよ。

(c) (b)の主系の上に付加系を載せて図 5-1 の状態とした。1 次と 2 次の固有円振動数をそれぞれ ω_1, ω_2 とする。ω_1^2, ω_2^2 を求めよ。

(d) (c)において, 1 次と 2 次の固有モードを主系質点位置に対する付加系質点位置の符号付振幅比としてそれぞれ求めよ。

(e) (c)において, 付加系が主系の振動に及ぼす影響について, 主系のみが地表に設置された場合と比較して説明しなさい。必要ならば図を描いても良い。

(2) 建物の弾塑性応答において,「エネルギー一定則」と「変位一定則」が知られている。それぞれについて簡潔に説明しなさい。

問題 6　防災工学に関する以下の問に答えなさい。（計 35 点）

以下の 6 つの地震から 3 つの地震を選び，それぞれの地震災害の特徴について以下のキーワードを用いて説明しなさい。キーワードは重複して使用することも可能である。ひとつの地震の説明に用いるキーワードは最大 4 個までとする。

【地震】

「四川地震（Sichuan Earthquake、汶川地震）」,「スマトラ島沖地震（Sumatra-Andaman Islands Earthquake）」,「チリ地震（Valdivia Earthquake）」,「関東大震災」,「阪神淡路大震災」,「東日本大震災」

【キーワード】

「1923 年」,「1960 年」,「1995 年」,「2004 年」,「2008 年」,「2011 年」,「Mw9.5」,「Mw9.1」,「Mw9.0」,「Mw7.9」,「Mj7.9」,「Mj7.3」,「遠地津波」,「長周期地震動」,「キラーパルス」,「約 9 割が焼死」,「約 9 割が溺死」,「圧死」,「高速道路の倒壊」,「学校校舎の倒壊」,「津波警報」,「ボランティア」,「土砂ダム」,「スリランカ，インド」,「広域避難」,「火災旋風」,「約 23 時間後」