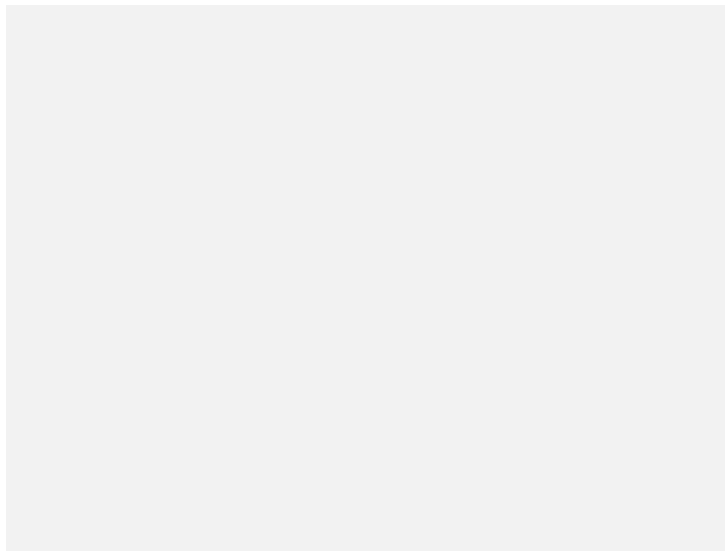


## 1. 構造物に作用する荷重



1. 今日から構造力学について勉強します。 1. Today, we will begin our study of structural mechanics.
2. 現在、様々な土木構造物が建設され、われわれの生活の営みを支えています。 2. At present, a wide variety of civil structures have been constructed, which support social activities.
3. 代表的な土木構造物として、道路や橋梁、トンネル、ダムなどが挙げられます。 3. Typical civil structures include roads, bridges, tunnels, and dams.
4. このような既設の土木構造物には、常に外部から様々な力が作用しています。 4. Many types of external forces are continuously acting on civil structures.
5. それでは、初めに構造物に作用する力について考えてみましょう。 5. Therefore, let us consider the forces that act on these structures.
6. ここでは、橋梁を例に挙げます。 6. Here, we will take bridges as an example.
7. 橋梁の上部構造には自動車や列車などの交通物の重さや、風圧や雪荷重などが作用します。 7. Bridge superstructures must withstand forces such as wind pressure and snow load, as well as the forces induced by cars and trains.
8. また、橋梁の橋台には、上部構造の重さや土圧や水圧、ときには地震力などが作用します。 8. Bridge substructures must bear the weight of the superstructure, earth pressure, hydraulic pressure, seismic forces, and so on.
9. このように、構造物に対して外部から作用する力を荷重といいます。 9. An external force that acts on a structure is called load.

10. 荷重は、死荷重と活荷重の2種類の荷重に分類することができます。
  11. 活荷重とは、自動車や列車のように時間と共に移動する荷重のことをいいます。
  12. また、死荷重とは構造物自体の重さのように、常時作用する荷重です。
  13. さらに、荷重は橋梁の上部構造のように、ある範囲内に渡って分布する分布荷重と自動車荷重のように、1点に集中して作用する集中荷重に分けることもできます。
  14. このように土木構造物には様々な荷重が作用します。
  15. 土木構造物はこのような様々な荷重の作用に耐えることができ、その期待されている機能を保持し続けることが求められます。
  16. そのため、設計においては構造物の耐力が構造物に作用する負荷よりも大きくなるように設計する必要があります。
  17. すなわち、構造物の内部にどのような力が生じているのかを把握する必要があります。
  18. では、構造物に外部から荷重が作用した場合、構造物の内部にはどのような力が生じているのでしょうか。また、そのとき、構造物にはどのような変形が生じるのでしょうか。
  19. 本日の講義はこの2点に注目します。
10. Loads can be classified as live load and dead load.
  11. The live load changes over time, for example, vehicle load and rail load.
  12. The dead load is constant, for example, the weight of the structure itself.
  13. Loads can be classified as uniformly distributed loads that are applied within a certain definite range, such as the weight of the superstructure, and concentrated loads that are applied to one point, such as car load.
  14. These various types of loads act on civil structures.
  15. Civil structures are designed to endure various loads while still providing a useful function.
  16. Therefore, structures must be designed to have proof strength that is greater than the applied load.
  17. In other words, it is critical to recognize how much force is generated in a structure.
  18. Then, when external loads are applied to structure, we must recognize what kinds of forces, as well as what types of deformations are generated in the structure.
  19. Today, I will address these two points.

### キーワード(Keywords)

・荷重 ・死荷重 ・活荷重 ・分布荷重 ・集中荷重 ・耐力 ・負荷 ・上部構造 ・橋台

### 関連用語(Related terminology)

・動的荷重(どうてきかじゅう):dynamic load ・静的荷重(せいてきかじゅう):static load

- ・直接荷重(ちよくせつかじゅう): direct load
- ・間接荷重(かんせつかじゅう): indirect load
- ・表面力(ひょうめんりょく): surface traction
- ・物体力(ぶつたいりょく): body force
- ・偶力(ぐうりょく): couple of forces
- ・力のつり合い条件(ちからのつりあいじょうけん): Equilibrium condition of forces
- ・下部構造(かぶこうぞう): substructure
- ・橋脚(きょうきやく): pier
- ・基礎(きそ): foundation
- ・主桁(しゅけた): main girder
- ・主構(しゅこう): main truss
- ・床版(しょうばん): slab
- ・床組(ゆかぐみ): floor system
- ・仕様設計(しょうせつけい): specific design
- ・性能設計(せいのおせつけい): performance based design

## 日本語解説

### 題 「構造物」

「構」という漢字は、木を組んで建物を建てているところを表した字で、「組み立てる、組み立てられたもの、システム、メカニズム」というような意味があります。この字を使った言葉に「機構、構成、構図、構築、構想」などがあります。「構造」は、いくつかの材料によって造られたもののこと、またその仕組みのことです。橋や道路など、いくつかの部材や要素から構成され、荷重を基礎に伝え、使用目的に役立つもののことを「構造物」といいます。

### 題 「作用」

「作用する」というのは、「働く」「働きかける」という意味です。漢字「作」は、音読みで「サク」と読むときは「作る」という意味、「サ」と読むときは、「する」という意味であることが多いです。

例： 「サク」： 製作、制作、工作、試作、作図  
「サ」： 作業、操作、動作、作動、作用

### 題 「荷重」、文7 「雪荷重」

「荷重」とは、物に外からかかる力のことです。「雪荷重」とは、雪によってかかる力のことです。

### 文2 「様々な」

「様々な」は「色々な」と同じ意味ですが、少しかたい表現です。

### 文2 「土木」

「土木」の「土」は、「土、土石、土地」で、「木」は「木材」です。木材、土石、コンクリートなどを使用して、道路、鉄道、橋梁、河川、港湾などを造る工事を「土木工事」といいます。

### 文2 「建設され」

建物や組織などをつくることを「建設する」といいます。「建設され」は受身形で連用中止の形です。

☞ 「講義に役立つ日本語」

### 文2 「當み」

「営む」は仕事をする、つとめるという意味で、「営み」は名詞です。「生活の営み」は「生活をしていくこと」というような意味です。

## ぶん2 「支えています」

「支える」は物を下や背後から持っておさえることで、落ちたり倒れたりしないようにすることです。漢字「支」は、木の枝を手で持っているところを表しています。そこから、サポートするという意味と、枝のように分かれて出たものという意味があります。言葉としては、「支える、支持、支援、支出、支店、支部、支払う」などがあります。

## ぶん3 「代表的」

同類の中でそのグループの性質や特徴を表しているもののことを「代表的」という言葉で表します。

## ぶん3 「として」

「～として」は「～の立場 (position) で」や「～の資格 (capacity) で」を表します。

例：富士山は、日本で一番高い山として有名だ。

☞ 「講義に役立つ日本語」

## ぶん3 「橋梁」

「橋梁」は「橋」の専門的な言葉です。「梁」の字は、「水＋、＋刀＋、＋木」で、川 (水) の上に刀の両端 (、と、) を岸に置いたような形に木を渡した様子で「橋」を表しています。また、家の柱と柱の間に横に渡す「梁」のことも表します。

## ぶん3 「挙げられます」、ぶん6 「例に挙げます」

① (人が) 例を挙げる

② 例が挙げられる

③ 例に (例として) A や B が挙げられる

これらは例を示すときの表現で、「例」とともに使う動詞は「挙げる」です。例を主語とした場合、

② 「挙げられる」のように受身形が使われます。

## ぶん4 「既設」

「既」は「既に」とも読み、「もう、すでに」ということを表しています。「既設」は「すでに設置／建設されている」ということです。

## ぶん4 「常に」、ぶん12 「常時」

「常に」は「いつも、かわらず」ということです。「いつも」よりかたい言い方です。

「常時」は「いつも、ふだん」という意味です。「常」を使う言葉には、「通常、日常、非常、異常、正常、平常」などがあります。

## ぶん7 「風圧」、ぶん8 「土圧」「水圧」

「圧力」は、物体が他の物体を押さえつける力です。「風圧」は風の圧力、「土圧」は土の圧力、「水圧」は水の圧力のことです。

ぶん 文8 「また」

「また」は、その他に、ならびに、という意味で、並べたり付け足したりするときに使う接続詞です。

例：本学では自動車通学は禁止されています。また、オートバイ通学には許可が必要です。

☞ 「講義に役立つ日本語」

ぶん 文9 「～に対して」

「～に対して」は、～を対象に、～に向けて、という意味です。

例：留学生に対して奨学金が支給される。

☞ 「講義に役立つ日本語」

ぶん 文10 「～に分類する」

「分類」とは、種類ごとに分けることです。

例：インフルエンザウイルスは大きく3つの型に分類される。

ぶん 文11 「～と共に」

「～と共に」は、「～と一緒に」という意味です。

例：気温が上昇すると共に、CO<sub>2</sub>発生量が増大する。

ぶん 文11 「移動する」

「移動する」はある場所から別の場所に動くことです。

ぶん 文13 「さらに」

「さらに」は、その上、なお一層、という意味です。

例：今年は北米への輸出を強化した。さらに、アジア地域への展開も進めている。

ぶん 文13 「ある範囲内に渡って」

「範囲」はある決まった広がりのことです。「～に渡って」は、その範囲全体にという意味です。

ぶん 文13 「分布する」

「接触面にわたっては」とは、接触面全体にという意味です。「分布」とは、分かれ広がっていることです。

例：この植物は東南アジア全域にわたって分布している。

ぶん 文13 「1点に集中して」

漢字「集」は鳥が木のう上にたくさんいるところを表していて、「～が集まる」という意味です。「集」を使った言葉に、「～を集める、集合、集計、収集、集団」などがあります。ここで「1点に集中する」は、ひとつの点に全部の荷重が集まるということです。

ぶん 文15 「耐える」、ぶん 文16 「耐力」

「耐える」は外からの力に負けず、頑張っており続けることです。「耐力」は、耐える力です。

ぶん 文15 「期待されている」

「期待する」は、そうしてほしい、そうなってほしいと思うことです。「土木構造物」が話題となっているので「期待されている」と受身形が使われています。☞「講義に役立つ日本語」

ぶん 文15 「機能」

「機能」は、機械(machinery)などを構成している様々な働き(function)のことです。

ぶん 文15 「保持」

「保持」は、そのままの状態を続けることです。  
例：年をとると、健康を保持することは難しいです。

ぶん 文15 「求められます」

「求める」は、「ほしがる、希望する、期待する」という意味です。「求められる」は受身形で、そうなることを期待されるという意味です。

ぶん 文16 「設計においては」

「設計」はデザインです。「設計」とは、何かを作成する際に、必要なものを検討し、それらをどのような構成で作るかを決定することです。「設計においては」は、「設計では」と同じですが、かたい言い方です。☞「講義に役立つ日本語」

ぶん 文16 「負荷」

「負荷する」は、(荷重を)かけること、負わせることです。

ぶん 文17 「力が生じている」

「～が生じる」とは、「起きる、うまれる」ということです。  
例：物体が平面上を移動するとき、摩擦が生じる。摩擦によって熱が生じる。

ぶん 文17 「把握する」

「把握」の「把」も「握」も手でにぎることを表していますが、「把握」は手でにぎるという意味ではほとんど使われず、「しっかり物事を理解する、権利などを自分のものにする」等の意味で使われます。  
例：状況をよく把握して行動する。

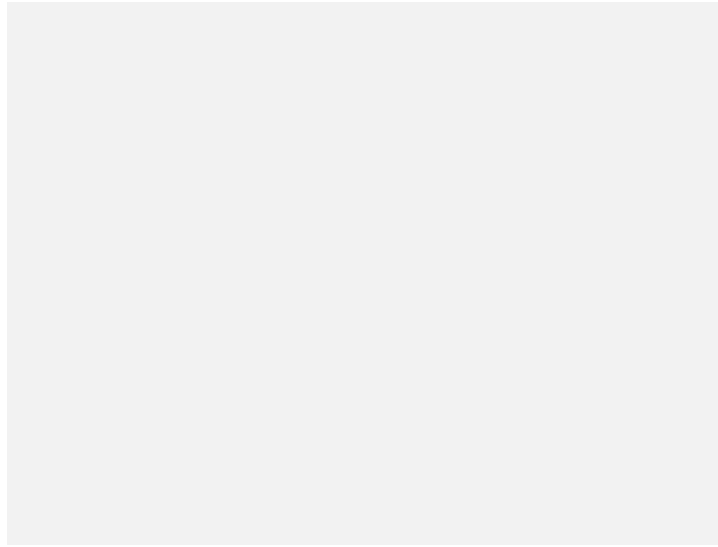
ぶん 文19 「変形」

形が変わること、あるいは、形を変えることです。  
例：落としたため、箱が変形した。  
☞「講義に役立つ日本語」

ぶん 文20 「注目」

「注目」は注意、関心を向けることです。  
例：新エネルギーが注目されている。

## 2. 構造物に生じる力(1)



1. 最初に、構造物に荷重が作用した場合に  
1. Firstly, let us consider forces that are generated in structures, especially in members when loads are applied.
2. ここでは図(a)のように、断面が一樣な棒の  
2. Here, we will consider the case where the tensile force  $W$  is applied to a pole with a uniform cross section, as shown in Fig. a,
3. 両端に引張力  $W$  が作用した場合を考えて  
3. The applied forces are balanced, with equal magnitude being applied to the top and bottom of the pole.
4. 棒は上下から同じ大きさの力を受けている  
4. Here, let us cut this pole virtually at an arbitrary cross section  $X$  to determine what types of forces are generated in this member.
5. ので力はつり合っています。  
5. We can treat the cut material as upper and lower sections.
6. ここで、部材の内部にどのような力が生じ  
6. Such bodies taken virtually from a structure are called free bodies.
7. ているのかを知るために、任意の横断面  $X$  で  
7. We regard the forces applied to the free body as balanced.
8. 仮想的にこの棒を切断してみます。  
8. In other words, we can consider that certain forces act on the entire section.
9. 切断した棒は上側にある部分と下側にある  
9. We can treat the cut material as upper and lower sections.
10. 部分に分けて考えます。  
10. Such bodies taken virtually from a structure are called free bodies.
11. このように構造物を仮想的に切断して取り  
11. We regard the forces applied to the free body as balanced.
12. 出した物体を自由物体といいます。  
12. In other words, we can consider that certain forces act on the entire section.
13. 仮想的に切断した自由物体においても力の  
13. We can treat the cut material as upper and lower sections.
14. つり合いは保たれていると考えます。  
14. Such bodies taken virtually from a structure are called free bodies.
15. すなわち、自由物体の切断面全体には何らか  
15. We regard the forces applied to the free body as balanced.
16. の力が働いていると考えます。  
16. In other words, we can consider that certain forces act on the entire section.

9. この力を断面力といいます。 9. These forces are called section forces.
10. そのため、図(b)に示すように、切断面全体には外力につき合う断面力  $P$  が生じていると考えます。 10. As shown in Fig. b, the section force  $P$ , which is balanced against the external force, is generated over the entire section.
11. すなわち、力のつり合い条件より  $P = W$  [ピール イコール ダブリュ] が成り立っていることになります。 11. In other words,  $P$  and  $W$  are equal because of the equilibrium of forces.
12. この断面力  $P$  は棒の内部に生じるので内力と呼ばれています。 12. On the one hand, this section force  $P$  is designated as an internal force because it is generated inside the pole.
13. 一方、引張力  $W$  は棒の外部から作用するため、外力と呼ばれています。 13. On the other hand, the tensile force  $W$  is designated as an external force because it is applied from outside.
14. また、自由物体の切り取り方は自由であるため、どのように切断しても、必ず力はつり合っていなければなりません。 14. Because we can take a free body from the pole arbitrarily, the forces must be balanced regardless of shape.
15. すなわち、図(c)のように4つに切断したとしても、それぞれの棒において力はつり合っていると考えることができます。 15. For example, if we were to cut the pole into four sections, as shown in Fig. c, the forces would be balanced in each pole.
16. 次に、切断面に注目してみましょう。 16. Secondly, let us take note of the cutting surface.
17. 切断面に作用する内力  $P$  は棒の断面  $X$  に分布して作用しています。 17. The internal force  $P$  applied to the cutting surface is distributed uniformly.
18. この棒を変形する材料であると仮定すると、棒の各部分が一様に変形している場合、各微小部分に作用する内力も一様であると考えられます。 18. If this pole is composed of a deformable material, we can consider that the internal force applied to each minute fraction is uniform when each section deforms uniformly.
19. そのため、断面  $X$  の単位面積あたりに生じる内力は断面全体の内力を断面積で除すことで求められます。 19. Thus, the internal force acting on the cross section  $X$  per unit area can be obtained by dividing the internal force acting on the entire section by the cross-sectional area.
20. この単位面積あたりに生じる力を応力と呼び、記号  $\sigma$  で表されます。 20. This force acting on the unit area is called stress, which is denoted by  $\sigma$ .



21. この応力の関係を数式で表すと、 $\sigma = \frac{P}{A}$  [シグマ イコール ピー オーバー エー], または、 $\sigma = \frac{W}{A}$  [シグマ イコール ダブルユー オーバー エー]となります。
21. We can express this relationship using the following mathematical formulas:  $\sigma = P/A$  and  $\sigma = W/A$  ( $\sigma$  equals  $P$  over  $A$  and  $\sigma$  equals  $W$  over  $A$ ).
22. このように、外力が部材に及ぼす影響は、外力の大きさや部材の断面積の大きさの絶対値ではなく、部材の単位面積あたりに生じる力の大きさ、すなわち応力で比べなくてはなりません。
22. Thus, the effects of an external force on a member should be evaluated considering not the absolute value of the external force or the cross-sectional area, but rather the magnitude of force per unit area of the member.
23. 応力の単位は、力  $P$  の単位を  $N$  [ニュートン], 断面積の単位  $A$  を  $m^2$  [平方メートル]とすると、 $N/m^2$  [ニュートン パー 平方メートル]となります。
23. If the force  $P$  is expressed in newtons [ $N$ ] and the cross-sectional area  $A$  is expressed in square meters [ $m^2$ ], the unit of stress is newtons per square meter [ $N/m^2$ ].
24. 単位の関係として  $1 N/m^2 = 1 Pa$  [パスカル]の関係が成り立ちます。
24. Stress can also be expressed in pascals [Pa], which is defined according to the following relation:  $1 N/m^2 = 1 Pa$ .
25. また、断面積の単位  $A$  を  $mm^2$  [平方ミリメートル]とすると  $1 N/mm^2 = 1 MPa$  [メガパスカル]の関係が成り立ちます。
25. Furthermore, if the cross-sectional area  $A$  is given in square millimeters [ $mm^2$ ], the following relation can be used to convert the stress into megapascals [MPa]:  $1 N/mm^2 = 1 MPa$ .
26. まとめますと、部材に外力が作用した場合、その外力に応じて、部材内部ではつり合い関係にある断面力が生じます。
26. In conclusion, when external force is applied to a member, section force is generated, which is balanced against the external force.
27. さらに、その断面力に応じて断面各所に応力が生じることとなります。
27. Then, stress is generated in the cross section in accordance with the section force.

### キーワード(Keywords)

・部材 ・自由物体 力のつり合い ・断面力 ・内力 ・外力 ・応力

### 関連用語(Related terminology)

・構造部材(こうぞうぶざい): structural member

- ・骨組構造物(ほねぐみこうぞうぶつ): framed structure
- ・平面構造物(へいめんこうぞうぶつ): planar structure
- ・立体構造物(りったいこうぞうぶつ): space structure
- ・面構造物(めんこうぞうぶつ): surface structure

## 日本語解説

### 文1 「部材」

構造物等を構成するさまざまな部品や材料のことです。

### 文2 「断面」、文4 「切断」

漢字「断」は、糸の束をたち切ることを表しています。そこから、この字の意味は、切る・たつ→切るようにずばりと決める→ことわる、というように意味が発展しました。「断面」は切った面のこと、「切断」は切ってつながなくすることです。「断」のつく言葉には「断つ、中断、分断、決断、判断、診断、断る」などがあります。

### 文2 「一様な」

「一様な」とは、みんな同じような、という意味です。

例：会議で、そのことについては、皆一様に黙って、発言するものはなかった。

### 文2 「両端」

漢字「端」のもとの意味は布をたらした一番先の部分のことで、中心から最も遠い部分という意味があります。例えば、携帯電話は通信の一番端にいるユーザのところにあることから、端末(terminal)とも呼ばれます。また、high technology は技術的に最も先に進んだ端まで行っている技術ということから、「先端技術」と呼ばれます。さらに、「最先端」という言葉もあります。「両端」は「両方の端」という意味です。

### 文2 「引張り力」

「引張り」は、動詞「引っ張る」が名詞になったものです。「引っ張る」とは、引きのばしてまっすぐに張ることです。

例：ゴムを引っ張ると伸びます。

### 文3 「釣り合って」

「釣り合う」というのは、比べている両方の力が同じくらいの状態である、バランスが取れている、ということです。

### 文4 「任意の」

「任意の」というのは、「自由に選んだ」という意味です。

### 文4 「横断面」

水平の方向、左右の方向を「横」、上から下への方向、南北の方向、前から後ろへの方向を「縦」と言い

ます。「横断面」は水平の方向に切った断面です。

#### ぶん4 「仮想的に」

漢字「仮」には、「みせかけ、本当ではない、一時の間に合わせ、かりの、もし〜とすると」というような意味があります。「仮想」は、仮に想定することです。「仮」を使う言葉には「仮に、仮定、仮説、仮名、仮面」などがあります。

#### ぶん7 「保たれている」

「保たれる」とは、その状態が続いているということです。

#### ぶん8 「すなわち」

「すなわち」は、前の文をうけて、別の言い方で説明するときに使います。

例：自然数で、約数が1とその数自身しかない数、すなわち素数は、数学の重要な研究対象の一つである。

#### ぶん8 「何らかの」

「何らか」は「なにか、いくらか」という意味です。

#### ぶん10 「図に示す」

図とは、物の形や仕組みなどを見てわかるように点や線や形で平面上に表したものです。例えば、設計図、絵、地図、グラフなどです。

「示す」は、他の人にわかるように、指をさしてみせる、はっきり知らせる、というような意味です。

「示」を使う言葉は「図示、例示、表示、指示、提示、開示、展示、示唆」などです。

#### ぶん11 「条件より」

ある物事が成立するために必要なことがらのことです。

例：この奨学金に申請できるのは、次の1～3の条件を満たす者です。

#### ぶん11 「成り立っていることになりす」

「成り立つ」は必要な条件が満たされて、その状態であることができる、成立する、という意味です。

#### ぶん12 「と呼ばれています」

「呼ぶ」は、名づけるということです。「内力と呼ばれています」は受身形で、「内力と名づけられています」ということです。

#### ぶん12 「内力」、ぶん13 「外力」

「内⇔外」のように、反対の意味がある漢字があり、他の漢字と組み合わせさせて言葉を作ります。

例：「以内⇔以外」、「内部⇔外部」、「内側⇔外側」

#### ぶん13 「一方」

「一方」は、両方のうちの片方のことです。また、別の面から見ると、という意味もあります。

### ぶん 文15 「～において」

「おいて」は「(場所・時間・分野・領域など)で」という意味です。

例文：構造物や機械の設計において、静力学の原理を用いることが必要です。

☞ 「講義に役立つ日本語」

### ぶん 文18 「材料」

「材料」とは物を作るときに使うものになる物です。

①自動車部品の材料(自動車部品のもとなる物)

②建築材料(建築のもとなる物)

③金属材料(金属でできている材料)

①②のように、「材料」の前にその材料を使ってできるものを置く場合や、③のように、その材料が何でできているかを表す場合があります。

### ぶん 文18 「と仮定する」

「仮定する」は、考え等を説明していく上で仮にそうだと決めて進めることです。

### ぶん 文19 「単位面積当たり」

「単位」とは、例えば、グラムは重さの単位、メートルは長さの単位、分・秒は時間の単位です。「当たり」は、「この肉は100グラム当たり200円です。」のように、「ある単位では、ある単位については」という意味で用いられます。ここでは、「ある決まった面積での」ということです。

### ぶん 文19 「断面積で除す」

「断面積」は物体を切った時にできる断面の面積のことです。「除す」は、割り算をすることです。「割る」は「÷」です。「+・-・×・÷」は「加減乗除」と呼ばれます。

計算の言葉は以下の通りです。

+	足し算	足す	答えは「和」
-	引き算	引く	答えは「差」
×	掛け算	掛ける	答えは「積」
÷	割り算	割る	答えは「商」

### ぶん 文19 「求められます」

「求める」は、「ほしがる、希望する」という意味ですが、この文で「求められる」は、答えが得られるという意味です。

例：この問題の解を求めなさい。(=この問題の答えを出してください。)

### ぶん 文20 「記号」

「σ」のように、ある一定のことを示すために使うものを記号といいます。他にも例えば、+・-・×・÷などの記号、化学記号など様々なものがあります。

### ぶん 文20 「表される」

考えなどを表に出して示すことです。表されるは、受身形です。

ぶん  
文21 「数式」

かず もじ きごう つか かんけい すうがくてき あらわ すうしき  
数、文字、記号を使ってある関係を数学的に表すものを数式といいます。

ぶん  
文22 「～に及ぼす影響」

「及ぼす」はその場まで範囲を広げるという意味です。「影響を及ぼす」は、その影響の範囲を別のところまで広げるという意味になります。

「影響」の「影」は影(shadow)、「響」は響き(resonance, echo)です。影はそのものの形通りにできるし、響きは音に合わせて起きることから、あるもののしたことがもとになって、他のものに変化があることです。「及ぼす影響」は、名詞「影響」を動詞「及ぼす」が修飾する連体修飾(noun clause)の形です。

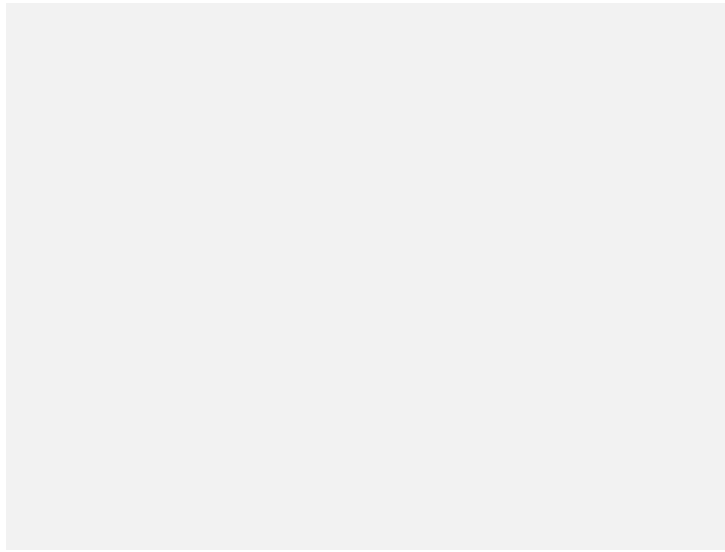
ぶん  
文26 「まとめる」

「まとめる」というのは、個々ばらばらのものを一つにすることです。ここでは、話を最後に分かりやすく要約することです。論文の最後には「まとめ」の項目があるものがあります。また、論文を完成させることを、「論文をまとめる」といいます。

ぶん  
文26 「応じて」

「応じて」はここでは、「それに合わせて、それに従って」という意味です。

### 3. 構造物に生じる力(2)



1. さきほど説明したように、自由物体の切り出し方は自由です。 1. As discussed previously, a free body can be carved out freely.
2. それでは次に、図(a)のような棒を斜めに切断して取り出した自由物体について考えてみましょう。 2. Thus, let us consider a free body cut diagonally from a pole, as shown in Fig. a.
3. 図(b)のような自由物体においても力のつり合いは成り立たっていなければなりません。 3. Equilibrium of forces must be satisfied in the free body, as shown in Fig. b.
4. すなわち、内力を記号  $P$  と表しますと、 $P = W$  [ピー イコール ダブリュ] が成り立たっていなければなりません。 4. That is, for the internal force  $P$ , it holds true that  $P$  equals  $W$ .
5. このように、切断面が傾いている断面に生じる断面力や応力を考えるときは、仮想的な切断面に直角な方向と平行な方向に成分分解して考えます。 5. Therefore, the section force and stress generated in the oblique section can be resolved into vertical and parallel components, relative to the cut surface.
6. 図(c)のように、面に垂直な断面力の成分を  $N$ 、平行な成分を  $S$ 、部材軸と  $N$  の角度を  $\theta$  とします。 6. As shown in Fig. c, the vertical component of the section force is  $N$ , the parallel component is  $S$ , and the angle between the member axis and  $N$  is  $\theta$ .
7. 力のつり合いより、断面に垂直な成分では  $N = P \cos \theta$  [エヌ イコール ピー コサインシータ] が成り立ちます。 7. From the equilibrium of forces, it follows that the vertical component of the section force is given by the following relation:  $N = P \cos \theta$  ( $N$  equals  $P$  times cosine  $\theta$ ).

8. 同様に、断面に平行な成分では  $S = P \sin \theta$  [エ ス イコール ピー サインシータ]が成り立ちます。
9. このような断面力  $N$  と  $S$  はそれぞれ軸力、せん断力と呼ばれています。
10. 続いて、断面に生じる応力について考えてみましょう。
11. 応力についても面に垂直な成分と平行な成分に分けて考えます。
12. 始めに、斜めに切断した断面の断面積  $A_1$  と荷重に対して垂直に切断した場合の断面の断面積  $A$  の関係を考えます。
13. 三角関数を用いますと断面積の関係として、  

$$A_1 = \frac{A}{\cos \theta}$$
 [エーワン イコール エー オーバー コサインシータ]が得られます。
14. 応力は断面に生じる断面力を断面積で除すことで得られます。
15. ですから、面に垂直な成分の応力  $\sigma$  は、  

$$\sigma = \frac{N}{A_1}$$
 [シグマ イコール エヌ オーバー エーワン]で得られます。
16. さらに断面積の関係から、 $\sigma = \frac{P}{A} \cos^2 \theta$  [シグマ イコール ピー オーバー エー コサインニジョウシータ]が得られます。
17. また、同様に、面に平行な成分の応力  $\tau$  は  

$$\tau = \frac{S}{A_1}$$
 [タウ イコール エス オーバー エーワン]で得られるため、
8. Similarly, the parallel component is given as follows:  $S = P \sin \theta$  ( $S$  equals  $P$  times sine  $\theta$ ).
9. The section forces  $N$  and  $S$  are called axial force and shear force, respectively.
10. Next, let us consider the stress generated on the cross section.
11. Stress can also be resolved into vertical and parallel components, relative to the cut surface.
12. Firstly, we consider the relation between cross-sectional area  $A_1$  which is cut diagonally and cross-sectional area  $A$  which is cut perpendicular to the direction of the applied load.
13. By using trigonometric functions to express the relationship between cross-sectional areas, we obtain the following:  $A_1 = A / \cos \theta$  ( $A_1$  equals  $A$  over  $\cos \theta$ ).
14. We can obtain calculate stress by dividing the section force acting on the cross section by the cross-sectional area.
15. Thus, the vertical component of stress  $\sigma$  is given by the following equation:  $\sigma = N / A_1$  ( $\sigma$  equals  $N$  over  $A_1$ ).
16. By using the relation between the cross-sectional areas, we find that  $\sigma = \frac{P}{A} \cos^2 \theta$  ( $\sigma$  equals  $P$  over  $A$  times  $\cos \theta$  squared).
17. We can also obtain the parallel component of stress  $\tau$  as follows:  $\tau = \frac{S}{A_1}$  ( $\tau$  equals  $S$  over  $A_1$ ); thus, the component of stress  $\tau$  can be given as

$\tau = \frac{P}{A} \sin\theta \cos\theta$  [tau イコール P オー  
バー エー サインシータ コサインシ  
ータ]となります。

$\tau = \frac{P}{A} \sin\theta \cos\theta$  ( $\tau$  equals  $P$  over  $A$   
times  $\sin\theta$  times  $\cos\theta$ ).

18. このように求められた、面に垂直な成分の  
応力  $\sigma$  は直応力もしくは垂直応力と呼  
ばれており、一方、面に平行な成分の応力  $\tau$   
はせん断応力と呼ばれています。
19. これらの式に三角関数が含まれていること  
から、断面力や応力の値は、部材を切断す  
る断面によりその値が変化するということが  
分かります。
20. この断面力と応力の性質は重要なので覚  
えておきましょう。

18. The vertical component of stress  $\sigma$  is  
called normal stress, while the parallel  
component of stress  $\tau$  is called shear  
stress.
19. Since these equations include  
trigonometric functions, the magnitude of  
the section force and the stress change  
depending on the cross section.
20. Please memorize the important  
characteristics of section force and stress.

## キーワード(Keywords)

・成分分解 ・軸力 ・せん断力 ・直応力 ・垂直応力

## 関連用語(Related terminology)

・曲げモーメント(まげもーめんと): bending moment

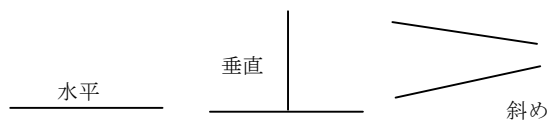
## 日本語解説

### 文1 「さきほど」

「さきほど」は少し前、さっき、のことです。「さっき」より丁寧な言い方です。

### 文2 「斜め」、文6 「垂直」

「水平、垂直、斜め」を右の図に示します。



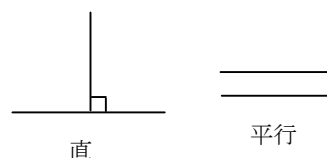
### 文5 「傾いている」

「～が傾いている」は、ものが水平ではなく一方に斜めに向いていることです。他動詞は「～を傾ける」です。

例：台風で木が倒れたり、傾いたりした。

### 文5 「直角」「平行」

「直角」とは、角度90度のことです。「平行」とは、  
同じ平面上の線や面が、距離を変えないで、どこま





でも交まじわらないことをいいます。

### ぶん 文5 「方向」

漢字「方」は、四角い形の農具を表しています。そこから、四角→東西南北→方角→道筋、方法というように意味が発展しました。「方向」は、向いて行こうとする方角のことです。

### ぶん 文5 「成分」

化合物や混合物を構成している元素、物質、要素を「成分」といいます。

### ぶん 文5 「分解」

漢字「解」は、「牛+角+刀」で、牛の体や角を刀でばらばらにすることです。この字源から、「ばらばらにする、解きほぐす、明らかにする、解き明かす、わかる」等の意味があります。「分解する」は、分けてばらばらにする、という意味です。

### ぶん 文6 「面」

「面」という漢字の成り立ちは「首（頭のこと）+口（周りを囲む線）」で「顔」を表しています。そこから周りを線で囲んだ平らな部分、物体の外側という意味ができました(例:「表面、側面、図面、画面、面積」)。また、「面する」という動詞は、顔を向けるということから、ある方角を向くという意味です。

### ぶん 文6 「軸」

「軸」とは、円形のものの中心にある棒状のもののことです。例えば、「車軸」とは、車の左右の車輪をつなぐ棒です。「地軸」とは地球の北極と南極を結ぶ線です。

### ぶん 文6 「角度」

「角度」は angle です。

### ぶん 文13 「用います」

「用いる」は「使う」とほぼ同じように使います。

例：・静力学の原理を用いる。 ・モデルを用いた実験

### ぶん 文13 「得られます」

「得る」は「える」または「うる」と読みます。「自分のものにする、手に入れる、取り入れる」などの意味があります。

例：・利益を得る ・好成績を得る ・やむを得ない ・あり得ない

### ぶん 文18 「もしくは」

「もしくは」は、二つを並べ、どちらかを選ぶときに使います。「または」と意味はほぼ同じですが、かたい言い方です。

例：本学では語学は、フランス語もしくはドイツ語を履修しなければなりません。

☞「講義に役立つ日本語」

ぶん 文18 「呼ばれており」

「呼ぶ」は、名づけるということです。「呼ばれて」は受身形です。「呼ばれており」は「呼ばれていて」と同じで、少しかたい言い方です。☞「講義に役立つ日本語」

ぶん 文19 「含まれている」

「含む」とは、中に入っている、内にもっている、という意味です。  
例：このプラスチック製品には金属が含まれている。

ぶん 文19 「値」

「値」とは、科学では数で表したもののことです。一般的にはものの価値やねうちのことです。

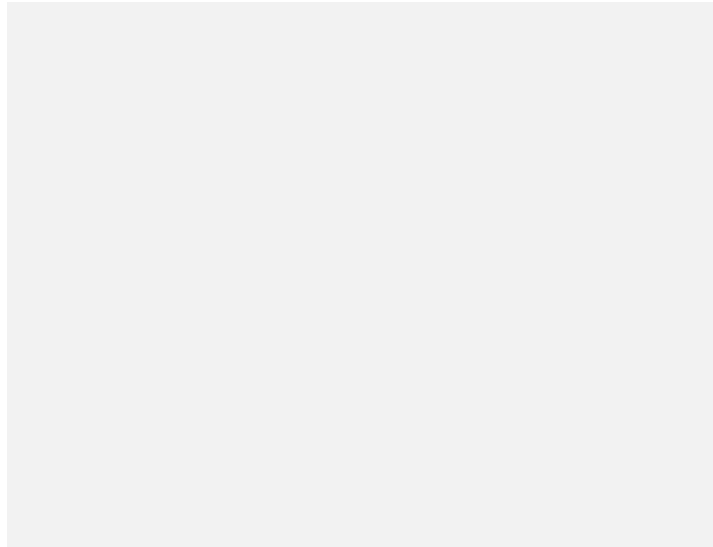
ぶん 文20 「性質」

「性質」とは、物事が持っている特色のことです。

ぶん 文20 「重要」

「重要な」は「大切な」ということです。  
例：この実験で最も重要で注意が必要なのは、温度調節です。

## 4. いろいろな応力



1. 1. 構造物の内部には荷重の向きや、荷重の作用する位置によって様々な応力が生じます。

1. In structures, many types of stress are generated depending on both the direction and location of the applied load.
2. 2. 例えば、図(a)のように棒部材に対して外力が圧縮の方向に作用した場合には、部材内部には圧縮の応力 $\sigma_c$ が生じます。

2. For example, if an external compressive force is applied to a pole, as shown in Fig. a, stress  $\sigma_c$  is generated in the member.
3. 3. この応力 $\sigma_c$ を圧縮応力とといいます。

3. This stress is called compressive stress.
4. 4. また、図(b)のように棒部材に対して引張力が作用した場合には、部材内部には引張の応力 $\sigma_t$ が生じます。

4. When tensile force is applied, as shown in Fig. b, stress  $\sigma_t$  is generated in the member.
5. 5. この応力 $\sigma_t$ を引張応力とといいます。

5. This stress is called tensile stress.
6. 6. これらの応力の符号は一般に $\sigma_t$ は正、 $\sigma_c$ は負として表されます。

6. In general, the sign of tensile stress  $\sigma_t$  is defined as positive and that of compressive stress  $\sigma_c$  is defined as negative.
7. 7. 次に、図(c)のように、上下面の板がずれた状態で荷重をかけた場合、断面abに生じる応力は図中に示す矢印のように、面に沿って生じ、垂直応力とは異なります。

7. Next, if we apply the load such that the upper and lower plates are out of alignment, the stress in section ab is generated along the arrows shown in the

- |  |   |
|--|---|
| <p>8. このように部材をずらすような力が作用した際に生じる応力<math>\tau</math>を、せん断応力といいます。</p> <p>9. さらに、図(d)のような長い梁に荷重が作用した場合、梁はたわみます。</p> <p>10. 梁がたわむことにより、断面abには点a側の断面に引張応力が生じ、点b側の断面には圧縮応力が生じます。</p> <p>11. このような応力<math>\sigma</math>を曲げ応力と呼びます。</p> <p>12. 図(d)のように梁に荷重が作用した場合には部材の内部には同時にせん断応力も生じます。</p> <p>13. すなわち、実際の構造物にはスライド中に示す様々な応力が同時に生じていることになります。</p> | <p>8. Stress <math>\tau</math> that is generated by loading when the member slides is called shear stress.</p> <p>9. Next, if a load is applied to a slender beam as shown in Fig. d, deflection occurs.</p> <p>10. In section ab, deflection causes tensile stress in the section containing point a, as well as compressive stress in the section containing point b.</p> <p>11. Such stress <math>\sigma</math> is called bending stress.</p> <p>12. If a load is applied to a beam as shown in Fig. d, shear stress is also generated at the same time inside the member.</p> <p>13. In other words, each stress shown in this figure is generated at the same time in the structure.</p> |
|--|---|

## キーワード(Keywords)

・圧縮応力 ・引張応力 ・せん断応力 ・梁 ・たわみ ・曲げ応力 ・ねじり応力

## 関連用語(Related terminology)

・圧縮力(あつしゅくりょく): compressive force	・柱(はしら): column
・トラス(とらす): truss	・アーチ(あーち): arch
・ラーメン(らーめん): rigid frame	・ケーブル構造(けーぶるこうぞう): cable structure
・シェル(しえる): shell	・トルク(とるく): torque
・ねじりモーメント(ねじりもーめんと): torsion moment	・ねじり部材(ねじりぶざい): torsion member

## 日本語解説

### 文1 「向き」

「向き」は方向です。「向」は、ある方向に顔や体に向けること、その方向に進むことで、「向」を使う言葉は「～を向く(自動詞)、～を向ける、～が～に向かう、向き、向け、向こう、向かい、方向、傾向、向上、上向き、下向き、前向き」など多くあります。

### 文2 「圧縮」

「<sup>あつ</sup>圧」は、おさえつけるという意味、「<sup>しゆく</sup>縮」はちぢめるという意味で、「<sup>あつしゆく</sup>圧縮」は、おさえつけてちいくするという意味です。

例：<sup>きたい</sup>気体を<sup>あつしゆく</sup>圧縮すると<sup>おんど</sup>温度が<sup>じょうじょう</sup>上昇する。

## ぶん6 「<sup>ふごう</sup>符号」

「<sup>ふごう</sup>符号」は「<sup>きごう</sup>記号」です。特に、<sup>とく</sup>数の<sup>かす</sup>正と<sup>せい</sup>負を示す<sup>ふ</sup>記号（+，-）のことをさします。

## ぶん6 「<sup>せい</sup>正・<sup>ふ</sup>負」

「<sup>せい</sup>正」は「0」（<sup>れい</sup>零）より<sup>おお</sup>大きい<sup>かす</sup>数のことです。「0」より<sup>ちい</sup>小さい<sup>かす</sup>数は「<sup>ふ</sup>負」（マイナス）です。

## ぶん7 「<sup>ずれた</sup>ずれた」、 ぶん8 「<sup>ずらす</sup>ずらす」

自動詞「<sup>じどうし</sup>～がずれる」とは、<sup>きじゆん</sup>基準から<sup>はず</sup>外れるということです。他動詞は「<sup>た</sup>～をずらす」です。

例：駅で<sup>れい</sup>列車が<sup>と</sup>停車位置から2メートル<sup>と</sup>ずれて止まった。

## ぶん7 「<sup>じょうたい</sup>状態」

「<sup>じょうたい</sup>状態」とは「<sup>そのとき</sup>そのとき、<sup>ようす</sup>そうなっている様子」のことで。

## ぶん7 「<sup>やじるし</sup>矢印」

「→」このような<sup>しるし</sup>印を<sup>やじるし</sup>矢印といいます。

## ぶん7 「<sup>そ</sup>～に沿って」

「<sup>そ</sup>沿う」は、<sup>せんじょう</sup>線状の<sup>なが</sup>長いものから<sup>はな</sup>離れないで、その<sup>せん</sup>線の<sup>ちか</sup>近くにあること、あるいは、<sup>いどう</sup>移動することです。

例：川に沿って<sup>どうろ</sup>道路がある。道路に沿って<sup>なみき</sup>並木がある。 例：作業の<sup>なが</sup>流れに沿って<sup>せつめい</sup>説明する。

## ぶん7 「<sup>こと</sup>異なります」

「<sup>こと</sup>異なる」はあるものごとが、<sup>ほか</sup>他のものごとと「<sup>ちが</sup>違う」ということです。「<sup>こと</sup>異なる」は「<sup>ちが</sup>違う」と似ていますが、「<sup>まちが</sup>間違える」という<sup>い</sup>意味はありません。

例：Aさんの<sup>こた</sup>答えはBさんの<sup>こた</sup>答えと<sup>こと</sup>異なっています。

例：Aさんの<sup>こた</sup>答えは<sup>ちが</sup>違っています。（<sup>こた</sup>答えは<sup>ただ</sup>正しくないという<sup>い</sup>意味）

## ぶん8 「<sup>きよう</sup>作用した際」、 ぶん13 「<sup>じつさい</sup>実際」

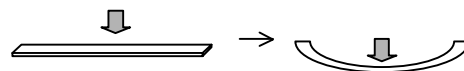
「<sup>さい</sup>際」という字は二つのものが<sup>せつ</sup>接する<sup>きがいめ</sup>境目の<sup>い</sup>意味があります。例えば「<sup>た</sup>水際」は<sup>みず</sup>陸と<sup>みず</sup>水が<sup>せつ</sup>接するところ  
です。「<sup>こくさい</sup>国際」は<sup>くに</sup>国と<sup>くに</sup>国が<sup>せつ</sup>接することです。<sup>ばしょ</sup>場所だけではなく、<sup>じかん</sup>時間や<sup>じょうきよう</sup>状況などにも使います。「<sup>きよう</sup>作用した際」は、「<sup>きよう</sup>作用した時」という<sup>い</sup>意味です。

例：奨学金を<sup>しんせい</sup>申請する<sup>さい</sup>際は、<sup>きにゆう</sup>記入の<sup>まちが</sup>間違いに<sup>ちゆうい</sup>注意しなければならない。

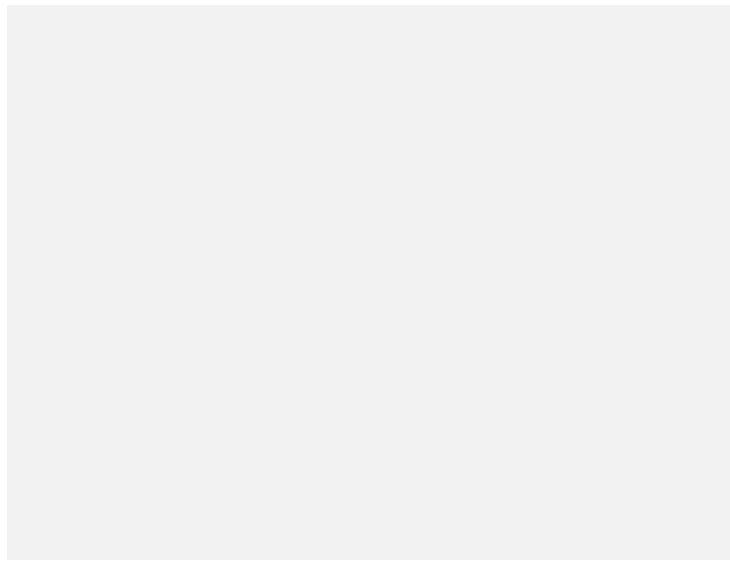
「<sup>じつ</sup>実」は「<sup>ほんとう</sup>本当のこと」という<sup>い</sup>意味ですから、「<sup>じつさい</sup>実際」は、<sup>ほんとう</sup>本当のことに<sup>せつ</sup>接すること、つまり、<sup>じじつ</sup>事実を見たりその<sup>ば</sup>場で<sup>しごと</sup>仕事をしたりする<sup>ばあい</sup>場合、という<sup>い</sup>意味です。

## ぶん9 「<sup>たわみます</sup>たわみます」

板などに<sup>ちから</sup>力を加えた<sup>けつか</sup>結果、<sup>みぎ</sup>右の<sup>ず</sup>図のように<sup>ちゅうおう</sup>中央  
部分<sup>ま</sup>が<sup>ま</sup>曲がることを「<sup>たわむ</sup>たわむ」といいます。



## 5. 構造物の変形(1)



1. つぎに、部材に荷重が作用したときの部材の変形について考えてみましょう。
  2. ここでは、新たにひずみについて学びます。
  3. 図(a)のような一様断面の棒を考えます。
  4. この棒に引張力が作用すると図(b)のように棒は伸びます。
  5. また、圧縮力が作用した場合には図(c)のように棒は縮みます。
  6. ひずみとは、このような構造物の変形を定量的に表すために用いられる指標です。
  7. ここで、力をかける前の棒の長さを  $L$  とします。
  8. そして、この棒に引張力  $W$  が作用したときの伸びを  $\Delta L$  とします。
  9. このとき、変形後の棒の長さは  $L + \Delta L$  と表すことができます。
  10. この場合、ひずみは荷重載荷後の長さから載荷前の長さを引いた値を載荷前の長さで除
1. Next, let us consider the deformation of a member when load is applied.
  2. Here, we will learn about a new type of strain.
  3. Specifically, we will consider a pole having a uniform cross-sectional shape along its entire length.
  4. When tensile force is applied to the pole, the pole is stretched as shown in Fig. b.
  5. Conversely, when compressive force is applied to the pole, it is shortened as shown in Fig. c.
  6. Strain is a quantitative measure of the deformation that occurs in a structure.
  7. Here, the length of the pole before loading is denoted by  $L$ .
  8. The change in the length of the pole after loading is denoted by  $\Delta L$ .
  9. Thus, the length of the pole after loading is given by the sum of  $L$  and  $\Delta L$ .
  10. In this case, strain is given by dividing the number which can be got to subtract the

- した値<sup>あたひ</sup>によって表<sup>あらわ</sup>されます。
11. すなわち長さ<sup>なが</sup>の变化量<sup>へんかりょう</sup>を載荷前<sup>さいかまえ</sup>の長さ<sup>なが</sup>で除<sup>じよ</sup>した値<sup>あたひ</sup>と定義<sup>ていぎ</sup>されます。
12. ひずみは記号<sup>きごう</sup> $\varepsilon$ と表<sup>あらわ</sup>されるため、数式<sup>すうしき</sup>でこの関係<sup>かんけい</sup>を表現<sup>ひょうげん</sup>すると、 $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$  [イプシロン イコール デルタ エル オーバー エル] となります。
13. このように、部材<sup>ぶざい</sup>の变化<sup>へんか</sup>を無次元量<sup>むじげんりょう</sup>で表<sup>あらわ</sup>すことによって、荷重<sup>かじゆう</sup>の大小<sup>だいしやう</sup>や断面積<sup>だんめんせき</sup>の大小<sup>だいしやう</sup>を考慮<sup>こうりよ</sup>した統一<sup>とういつき</sup>的な表現<sup>ひょうげん</sup>が可能<sup>かのう</sup>となります。
14. この例<sup>れい</sup>のように、部材<sup>ぶざい</sup>の伸<sup>の</sup>び縮<sup>ちぢ</sup>みを表<sup>あらわ</sup>すひずみは直<sup>ちよく</sup>ひずみもしくは縦<sup>たて</sup>ひずみと呼ば<sup>よ</sup>れています。
15. また、棒<sup>ぼう</sup>が伸<sup>の</sup>びるときのひずみ<sup>ひっぱり</sup>を引張<sup>ひっぱり</sup>ひずみと呼<sup>よ</sup>び、縮<sup>ちぢ</sup>むときのひずみ<sup>あつしゆく</sup>を圧縮<sup>あつしゆく</sup>ひずみと呼<sup>よ</sup>びます。
16. ひずみ<sup>かんが</sup>を考<sup>かんが</sup>える際<sup>さい</sup>には、符号<sup>ふごう</sup>が問題<sup>もんだい</sup>となります。
17. 鋼<sup>こう</sup>構造<sup>こうぞう</sup>の分野<sup>ぶんや</sup>では引張<sup>ひっぱり</sup>ひずみ<sup>せい</sup>を正<sup>せい</sup>とし、圧縮<sup>あつしゆく</sup>ひずみ<sup>ふ</sup>を負<sup>ふ</sup>として表<sup>あらわ</sup>します。
18. しかし、コンクリート<sup>こうぞう</sup>構造<sup>こうぞう</sup>の分野<sup>ぶんや</sup>では引張<sup>ひっぱり</sup>ひずみ<sup>ふ</sup>を負<sup>ふ</sup>とし、圧縮<sup>あつしゆく</sup>ひずみ<sup>せい</sup>は正<sup>せい</sup>として表<sup>あらわ</sup>します。
19. このように、分野<sup>ぶんや</sup>によって符号<sup>ふごう</sup>が異<sup>こと</sup>なるので注意<sup>ちゆうい</sup>が必<sup>ひつ</sup>要<sup>よう</sup>です
- length after loading to that before loading by the length before loading.
11. That is, strain is defined as the number given by dividing variation in length by the length before loading.
12. Strain is denoted by  $\varepsilon$ ; thus, we can loading minus the length before loading) by the length before loading. express strain using the following mathematical formula:  $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$  ( $\varepsilon$  equals  $\Delta L$  over  $L$ ).
13. In this way, the amount of deformation can be expressed as a dimensionless value, and it become possible to describe deformation in a consistent manner, based on the load and the cross-sectional area.
14. In this example, strain from stretching and shrinkage of the member is called normal strain and longitudinal strain, respectively.
15. In addition, strain generated by stretching is called tensile strain, and strain generated by compression is called compressive strain.
16. Considering strain, it is essential to pay care attention to sign.
17. In the field of steel construction, on the one hand, tensile strain is defined as positive and compressive stress is defined as negative.
18. In the field of concrete construction, on the other hand, tensile strain is defined as negative and compressive stress is defined as positive.
19. Consequently, we must carefully note the definition of sign, because it differs depending on the field of construction.

## キーワード(Keywords)

・変形 ・ひずみ ・伸び ・直ひずみ ・縦ひずみ ・引張ひずみ ・圧縮ひずみ

## 日本語解説

### ぶん 文2 「新たに」

「新たに」は、「新しく」と同じですが、少しかたい言い方です。

### ぶん 文2 「ひずみ」

「ひずみ」とは、その物体が普通の状態ではなく、形がゆがんでいること、あるいは、その状態のことをいいます。

### ぶん 文2 「について」

「について」は、それに関して、そのこと、という意味です。

例：この講義では、材料の変形について考えます。

☞ 「講義に役立つ日本語」

### ぶん 文2 「学びます」

「学ぶ」というのは、勉強するという意味の少しかたい表現で、学問をするということです。

### ぶん 文4 「伸びます」、ぶん 文5 「縮みます」、ぶん 文14 「伸び縮み」

「～が伸びる」の反対は「～が縮む」です。他動詞は「～を伸ばす」⇔「～を縮める」です。「伸び縮み」は名詞で意味は「伸縮、伸びることと縮むこと」です。

例：・手でゴムを引っ張って伸ばす。 ・ゴムが伸びる。 ・手を離すと、ゴムが縮む。

### ぶん 文6 「定量的に表す」

「定量的に」とは、ある事物について数値を使って表すことです。「表す」は、考えなどを表に出して示すことです。

### ぶん 文6 「指標」

「指標」とは、ある事物について、こうだろうと指し示す目印にするものです。

### ぶん 文7 「ここで～を～とします」

「この場合は／ここでは、～を～と仮定します」という意味です。

例：ここでは摩擦をゼロとします。

☞ 「講義に役立つ日本語」

### ぶん 文8 「そして」

前に述べたことを受けて、それに続いて起こることを述べるときに接続詞「そして」を使います。

例：図書館へ行った。そして、資料を探した。しかし、よい資料が見つからなかった。



ぶん 文10 「荷重<sup>かじゅう</sup>載<sup>さい</sup>荷<sup>か</sup>後<sup>ご</sup>」

「載<sup>さい</sup>荷<sup>か</sup>」は「荷<sup>か</sup>重<sup>じゅう</sup>を載<sup>さい</sup>せる」で、「荷<sup>か</sup>重<sup>じゅう</sup>載<sup>さい</sup>荷<sup>か</sup>後<sup>ご</sup>」は、「荷<sup>か</sup>重<sup>じゅう</sup>を載<sup>さい</sup>せた後<sup>あと</sup>」ということです。反対は「載<sup>さい</sup>荷<sup>か</sup>前<sup>まえ</sup>」です。

ぶん 文10 「引<sup>ひ</sup>いた」

「引<sup>ひ</sup>く」は「－（マイナス）」です。

「+」は「足<sup>た</sup>す／プラス」、「×」は「掛<sup>か</sup>ける」、「÷」は「割<sup>わ</sup>る」です。

ぶん 文10 「によって」

「値<sup>あたい</sup>によって」は、ここでは、「値<sup>あたい</sup>を使う<sup>つか</sup>こと<sup>こと</sup>で」という意味<sup>いみ</sup>です。「～によって」は原因<sup>げんいん</sup>、手段<sup>しゅだん</sup>、動作<sup>どうさ</sup>主<sup>しゅ</sup>などを表<sup>あらわ</sup>します。

例<sup>れい</sup>：矢<sup>や</sup>印<sup>じるし</sup>によって示<sup>しめ</sup>します。

☞ 「講<sup>こう</sup>義<sup>ぎ</sup>に役<sup>やく</sup>立<sup>だ</sup>つ日<sup>に</sup>本<sup>ほん</sup>語<sup>ご</sup>」

ぶん 文11 「定<sup>てい</sup>義<sup>ぎ</sup>」

「定<sup>てい</sup>義<sup>ぎ</sup>」は definition です。ある事<sup>じ</sup>物<sup>ぶつ</sup>・言<sup>げん</sup>語<sup>ご</sup>等<sup>とう</sup>の意<sup>い</sup>味<sup>み</sup>・用<sup>よう</sup>法<sup>ほう</sup>・概<sup>がい</sup>念<sup>ねん</sup>等<sup>とう</sup>について、共<sup>きょう</sup>通<sup>つう</sup>の認<sup>にん</sup>識<sup>しき</sup>を<sup>え</sup>得<sup>え</sup>るた<sup>た</sup>めに、正<sup>せい</sup>確<sup>かく</sup>に限<sup>げん</sup>定<sup>てい</sup>するこ<sup>こと</sup>です。

ぶん 文13 「考<sup>こう</sup>慮<sup>りよ</sup>」

「考<sup>こう</sup>慮<sup>りよ</sup>」は、よく考<sup>かん</sup>え<sup>え</sup>るこ<sup>こと</sup>です。

例<sup>れい</sup>：このペ<sup>ぺ</sup>ンは使<sup>つか</sup>いやす<sup>やす</sup>さを考<sup>かい</sup>慮<sup>りよ</sup>して開<sup>かい</sup>発<sup>はつ</sup>され<sup>た</sup>。

ぶん 文13 「統<sup>とう</sup>一<sup>いつ</sup>」

ばらばらのものを一<sup>ひと</sup>つ<sup>つ</sup>のま<sup>ま</sup>とまりあるものにするこ<sup>こと</sup>を「統<sup>とう</sup>一<sup>いつ</sup>」とい<sup>い</sup>います。「統<sup>とう</sup>一<sup>いつ</sup>的<sup>てき</sup>」とは、統<sup>とう</sup>一<sup>いつ</sup>がと<sup>と</sup>れ<sup>れ</sup>てい<sup>い</sup>る様<sup>よう</sup>子<sup>す</sup>であるこ<sup>こと</sup>です。

例<sup>れい</sup>：国<sup>くに</sup>を統<sup>とう</sup>一<sup>いつ</sup>する。

ぶん 文13 「可<sup>か</sup>のう

可能<sup>かのう</sup>はできるこ<sup>こと</sup>、反<sup>はん</sup>対<sup>たい</sup>は不<sup>ふ</sup>可<sup>か</sup>能<sup>のう</sup>です。

例<sup>れい</sup>：かつて不<sup>ふ</sup>可<sup>か</sup>能<sup>のう</sup>だ<sup>た</sup>ったこ<sup>こと</sup>が新<sup>しん</sup>技<sup>ぎ</sup>術<sup>じゆつ</sup>の開<sup>かい</sup>発<sup>はつ</sup>によ<sup>よ</sup>って可<sup>か</sup>能<sup>のう</sup>にな<sup>な</sup>った。

ぶん 文14 「縦<sup>たて</sup>」

上<sup>う</sup>か<sup>か</sup>ら下<sup>した</sup>へ<sup>へ</sup>の方<sup>ほう</sup>向<sup>こう</sup>、南<sup>なん</sup>北<sup>ぼく</sup>の方<sup>ほう</sup>向<sup>こう</sup>、前<sup>まえ</sup>か<sup>か</sup>ら後<sup>うし</sup>ろ<sup>ろ</sup>へ<sup>へ</sup>の方<sup>ほう</sup>向<sup>こう</sup>を「縦<sup>たて</sup>」、水<sup>すい</sup>平<sup>へい</sup>の方<sup>ほう</sup>向<sup>こう</sup>、左<sup>さ</sup>右<sup>ゆう</sup>の方<sup>ほう</sup>向<sup>こう</sup>を「横<sup>よこ</sup>」とい<sup>い</sup>います。

ぶん 文17 「鋼<sup>こう</sup>構<sup>こう</sup>造<sup>ぞう</sup>」

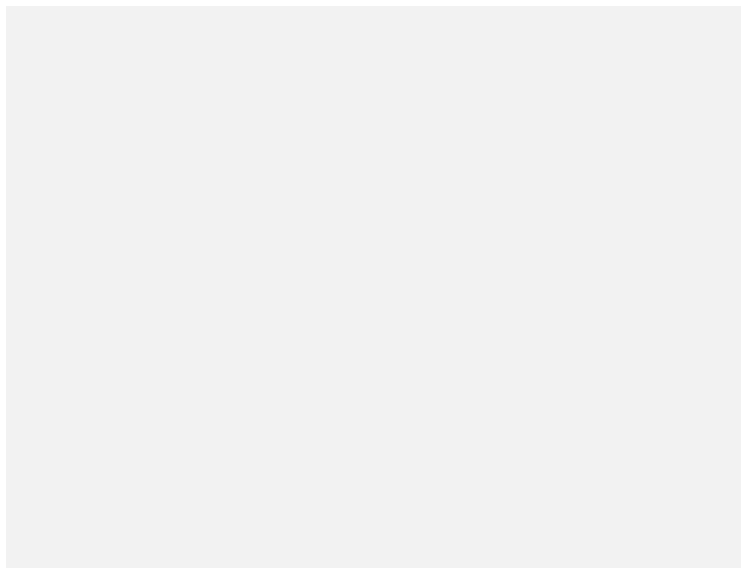
主<sup>しゅ</sup>要<sup>よう</sup>な構<sup>こう</sup>造<sup>ぞう</sup>の部<sup>ぶ</sup>材<sup>ざい</sup>が鋼<sup>はがね</sup>であるもの<sup>もの</sup>のこ<sup>こと</sup>を鋼<sup>こう</sup>構<sup>こう</sup>造<sup>ぞう</sup>とい<sup>い</sup>います。「鋼<sup>はがね</sup>」は steel です。

ぶん 文17 「分<sup>ぶん</sup>野<sup>や</sup>」

物<sup>もの</sup>事<sup>ごと</sup>を分<sup>ぶん</sup>類<sup>るい</sup>した範<sup>はん</sup>圍<sup>い</sup>、領<sup>りやう</sup>域<sup>いき</sup>のこ<sup>こと</sup>を分<sup>ぶん</sup>野<sup>や</sup>とい<sup>い</sup>います。

例<sup>れい</sup>：自<sup>じ</sup>分<sup>ぶん</sup>の専<sup>せん</sup>門<sup>もん</sup>分<sup>ぶん</sup>野<sup>や</sup>について、簡<sup>かん</sup>単<sup>たん</sup>に話<sup>はな</sup>してくだ<sup>くだ</sup>さい。

## 6. 構造物の変形(2)



1. さらに、<sup>こうぞうぶつ</sup> 構造物の<sup>へんけい</sup> 変形に<sup>ちゅうもく</sup> 注目します。
  2. <sup>ず</sup> 図(I)のように、<sup>ぼう</sup> 棒に<sup>ひっぱりりよく</sup> 引張力が<sup>きよう</sup> 作用するとその<sup>なが</sup> 長さ方向に<sup>ほうこう</sup> 引張<sup>ひっぱり</sup> ひずみが<sup>しょう</sup> 生じると同時に、<sup>ぼう</sup> 棒に<sup>きよう</sup> 作用している<sup>ひっぱりりよく</sup> 引張力に対して<sup>たい</sup> 直角<sup>ちよつかく</sup> 方向の<sup>ほうこう</sup> 寸法は<sup>すんぽう</sup> 減少<sup>げんしょう</sup> します。
  3. この<sup>げんしょう</sup> 現象は<sup>ひ</sup> ゴムを<sup>ひ</sup> 引張った<sup>おも</sup> ときを<sup>そうぞう</sup> 想像すると<sup>おも</sup> わかりやすい<sup>おも</sup> と思います。
  4. <sup>どうよう</sup> 同様に、<sup>ぼう</sup> 棒に<sup>あつしゅくりよく</sup> 圧縮力が<sup>きよう</sup> 作用した<sup>ばあい</sup> 場合には、<sup>かじゅうちよつかくほうこう</sup> 荷重<sup>すんぽう</sup> 直角<sup>ぞうか</sup> 方向の<sup>すんぽう</sup> 寸法は<sup>ぞうか</sup> 増加<sup>ぞうか</sup> します。
  5. このような<sup>かじゅう</sup> 荷重<sup>たい</sup> に対して<sup>かじゅうちよつかくほうこう</sup> 荷重<sup>ちよつかくほうこう</sup> 直角<sup>ちよつかくほうこう</sup> 方向の<sup>へんか</sup> 変化を<sup>か</sup> さきほどの<sup>たて</sup> 縦<sup>たて</sup> ひずみの<sup>たて</sup> ように<sup>たて</sup> ひずみ<sup>たて</sup> として<sup>むじげんか</sup> 無次元<sup>ひょうげん</sup> 化して<sup>ひょうげん</sup> 表現<sup>ひょうげん</sup> してみましょう。
  6. <sup>かじゅうさい</sup> 荷重<sup>かまえ</sup> 載<sup>ぼう</sup> 荷<sup>ちよつけい</sup> 前の<sup>ちよつけい</sup> 棒<sup>ちよつけい</sup> の<sup>ちよつけい</sup> 直径<sup>ちよつけい</sup> を<sup>かじゅうさい</sup>  $d$  とし、<sup>かじゅうさい</sup> 荷重<sup>か</sup> 載<sup>か</sup> 荷<sup>へんかりよう</sup> 後の<sup>へんかりよう</sup> 変化<sup>へんかりよう</sup> 量を<sup>へんかりよう</sup>  $-\Delta d$  と<sup>へんかりよう</sup> します。
1. Now, let us focus on the deformation of structures.
  2. As shown in Fig. I, when a tensile force is applied to a pole, tensile strain is generated in the length direction; as a result, the diameter of the pole decreases in the direction perpendicular to the applied force.
  3. This phenomenon can be easily understood by imagining, for example, stretching a piece of rubber.
  4. Conversely, if a compressive force is applied to the pole, the diameter of the pole increases in the direction perpendicular to the applied force.
  5. Let us express this deformation perpendicular to the applied force as a dimensionless value analogous to longitudinal strain.
  6. The diameter before loading is denoted by  $d$ , and the change in diameter after

7. ひずみの算出法は縦ひずみと同様に、直径の変化量を載荷前の直径で除すことで得られます。
8. 荷重直角方向のひずみは記号  $\varepsilon_d$  で表されます。
9. すなわち、ひずみは  $\varepsilon_d = -\frac{\Delta d}{d}$  [イプシロンデ  
ィー イコール マイナス デルタディー  
オーバー ディー] で得られます。
10. 得られたひずみは力が作用した方向と直角方向に生じるひずみなので横ひずみと呼ばれています。
11. このように、部材に荷重が作用した場合、部材には横ひずみと縦ひずみが生じます。
12. ここで、横ひずみと縦ひずみの比を計算してみましよう。
13. この比は記号  $\nu$  で表され、数式では  $\nu = \frac{|\varepsilon_d|}{|\varepsilon|}$  [ニュー イコール イプシロンデ  
ィー オーバー イプシロン] となります。
14. この比  $\nu$  をポアソン比といいます。
15. ポアソン比は無次元の定数で、部材の変形が小さければ、材料により一定の値をとるといいう性質があります。
16. つづいて、図(II)のように、直方体に対してその上下面に平行な力すなわちせん断力が作用した場合を考えます。
17. この場合、直方体には上下面で相対的なずれを生じさせるような変形が起こります。
18. このときの上下面のずれを  $\Delta l$  とすると、単位距離当りのすべり量  $\gamma$  は  $\gamma = \frac{\Delta l}{L}$  [ガンマ
- loading is denoted by  $-\Delta d$ .
7. In the same manner that the longitudinal strain is calculated, we can obtain strain in this case by dividing the change in diameter by the diameter before loading.
8. Strain perpendicular to the applied force is denoted by  $\varepsilon_d$ .
9. Thus, the strain can be obtained from the following equation:  $\varepsilon_d = -\frac{\Delta d}{d}$  ( $\varepsilon_d$  equals  $-\Delta d$  over  $d$ ).
10. This strain is called lateral strain because the strain is generated perpendicular to the applied force.
11. In this way, when loads are applied to members, lateral strain and longitudinal strain are generated at the same time.
12. Here, let us calculate the ratio of lateral strain to longitudinal strain.
13. This ratio can be expressed as  $\nu = \frac{|\varepsilon_d|}{|\varepsilon|}$  ( $\nu$  equals the absolute value of  $\varepsilon_d$  over the absolute value of  $\varepsilon$ ).
14. This ratio is called Poisson's ratio.
15. Poisson's ratio is a dimensionless number, and becomes a constant when the deformation of the member is small.
16. Next, as shown in Fig. II, let us consider the case where loads are applied to a parallelepiped. At directions parallel to the top and bottom surfaces; that is, shear force is applied.
17. In this case, relative displacement of the top and bottom surfaces occurs.
18. Taking the amount of displacement as  $\Delta l$ , we can obtain the slip displacement

イコール デルタラムダ オーバー エル]  
で得られます。

19. また、<sup>かくど</sup>ずれ角度を  $\alpha$  とすると<sup>さんかくかんすう</sup>三角関数を用いて  $\gamma = \tan \alpha$  [ガンマ イコール タンジェント アルファ] が得られます。
20. すなわち、 $\gamma$  は<sup>へん</sup>辺の<sup>こうぱい</sup>勾配を示していることが<sup>わか</sup>ります。
21. この<sup>りょう</sup>すべり量  $\gamma$  を<sup>だん</sup>せん断<sup>ひずみ</sup>ひずみと呼びます。
22. さらに、<sup>へんけい</sup>変形が<sup>ひじょう</sup>非常に<sup>ちい</sup>小さい<sup>ばあい</sup>場合では、<sup>ひず</sup>みと<sup>かくど</sup>ずれ角度は<sup>おな</sup>ほぼ<sup>おな</sup>同じであると<sup>かんが</sup>考えることができます。

per unit distance as follows:  $\gamma = \frac{\Delta l}{L}$  ( $\gamma$  equals  $\Delta l$  over  $L$ ).

19. Taking the angle between the horizontal and vertical sides as  $\alpha$ , and using trigonometric functions, we find that  $\gamma = \tan \alpha$  ( $\gamma$  equals tangent  $\alpha$ ).
20. It is evident that  $\gamma$  signifies the gradient of the side.
21. The amount of displacement  $\gamma$  is called shear strain.
22. Additionally, when the deformation is small, we can approximate shear strain as the angle between the two sides.

## キーワード(Keywords)

・横ひずみ ・ポアソン比 ・ずれ ・せん断ひずみ

## 日本語解説

### ぶん 文 2 「寸法」

「もとの<sup>すんぽう</sup>寸法」とは、もとの<sup>おほ</sup>大きさ、<sup>なが</sup>長さのことです。  
例：洋服を作るため<sup>からだ</sup>体の<sup>すんぽう</sup>寸法を<sup>はか</sup>測る。

### ぶん 文 2 「減少」、 文 4 「増加」

「～が<sup>げんしょう</sup>減少する」とは、<sup>へ</sup>減ることです。「～が<sup>ぞうか</sup>増加する」とは、<sup>ふ</sup>増えることです。「減少」の<sup>はんたい</sup>反対は「増加」です。「増減」は<sup>ふ</sup>増えることと<sup>へ</sup>減ることです。☞「講義に役立つ日本語」

### ぶん 文 3 「現象」

<sup>かんさつ</sup>観察できる<sup>じじつ</sup>さまざまな<sup>げんしょう</sup>事実のことを「現象」といいます。  
例：<sup>おんだんかげんしょう</sup>温暖化現象の<sup>えいきょう</sup>影響で<sup>せいかい</sup>世界各地の<sup>きこう</sup>気候に<sup>いへん</sup>異変が<sup>お</sup>起きている。

### ぶん 文 3 「想像」

<sup>じつさい</sup>実際に<sup>み</sup>見たことがない、<sup>けいけん</sup>経験したことがないことについて、<sup>あたま</sup>頭の中で<sup>なか</sup>こうだろうと<sup>かんが</sup>考えてみることを「想像」といいます。

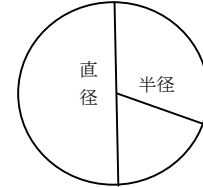
### ぶん 文 5 「無次元化」

「無」は否定の意味を持つ漢字で、「～がない、存在しない」という意味です。例えば、「無線、無限、無数、無期限、無制限、無条件、無意識、無意味、無効、無重力」等です。

「次元」は dimension です。直線は1次元、平面は2次元、通常の空間は3次元です。「～化」は語の後ろの部分について、(語の前の部分のように)なる／変わるという意味です。例えば「国際化、具体化、機械化、表面化」等です。☞「講義に役立つ日本語」

ぶん 文6 「直径」

円周または球面の一点から、円または球の中心を通して反対側の円周または球面の一点を結ぶ直線の長さを直径といいます。円周または球面の一点から、中心までの長さを半径といいます。



ぶん 文6 「変化量」

漢字「量」は「穀物のしるし(日)+重」で、米や麦のような穀物の重さをはかること、また、はかった重さを示しています。「量」は「穀物や砂や粉など、数を数えられないものの重さ、大きさをはかるときに用います。「変化量」は、変化する量のことです。

ぶん 文7 「算出法」

計算して答えを出す方法のことを「算出法」といいます。

ぶん 文12 「比」

漢字「比」は人が二人くっついて並んでいる様子を表していて、この漢字の意味は「比べる」です。「比」はここでは ratio です。

ぶん 文12 「計算」

「計算する」は calculate です。

ぶん 文15 「一定」

「一定」は、一つに決まって変わらない、順序や方法が決まっているという意味です。

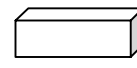
例：それぞれのコップには、水と、一定の食塩が入っています。

例：今回の実験は、一定の手順にそって正確に行う必要がある。

ぶん 文17 「直方体」

面がすべて直角に交わる6面体を「直方体」といいます。

面がすべて正方形のものを「立方体」といいます。



直方体

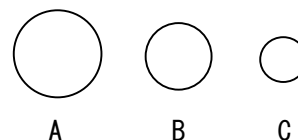


立方体

ぶん 文17 「相対的」

「相対的」は、他と比べてその存在がどうであるかを述べる時に使います。反対は「絶対的」です。

図のABCを相対的にみると、Cとの比較においてBは大きい、ということになります。



ぶん 文17 「生じさせる」

「～を／が生じる」とは、「起きる／起こす、うむ／うまれる」ということです。「を生じさせる」は使役形 (causative form) です。☞「講義に役立つ日本語」

ぶん 文18 「距離」

「距離」とは、2点を結ぶ長さのことです。漢字「離」には「～を離れる (自動詞)、～を離す、分離」などの言葉があります。

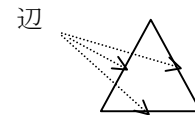
例：A駅からB駅までの距離は、約3 kmである。

ぶん 文18 「すべり」

「すべり」は「滑る」が名詞になったものです。「滑る」とは、物の上をスムーズに移動することを表す動詞で、例えば、「スケートで氷の上を滑る」のように使います。

ぶん 文20 「辺」

三角形や四角形などの多角形を作っている線を「辺」といいます。



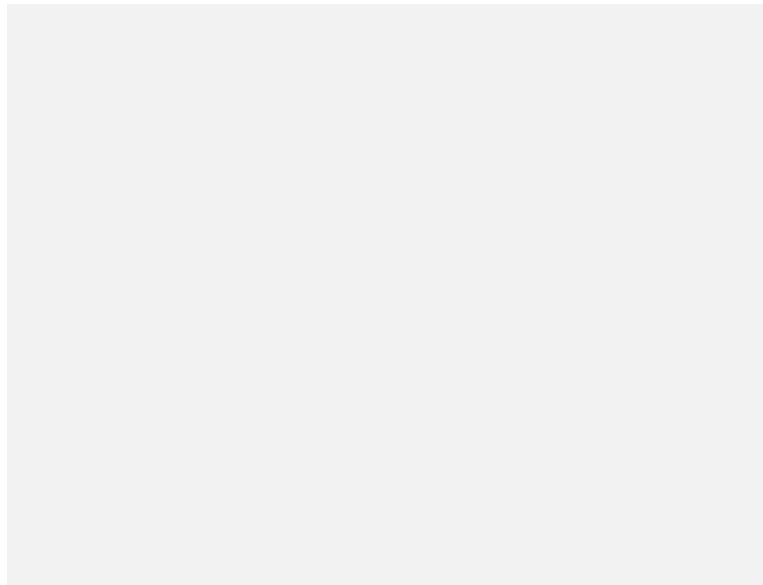
ぶん 文20 「勾配」

「勾配」とは一般には、坂のような「斜面、傾斜」のことです。

ぶん 文22 「ほぼ同じ」

「ほぼ同じ」とは大体同じということです。

## 7. 変形時の性質



1. つづいて、ちからくわえられたぶざいへんけいさいに示すせいしつについてまなんでいきましょう。
  2. はじめに、ゴムひもに図のようにひっぱりよくだんが作用したばあいかんが考えます。
  3. ゴムひもにひっぱりよくだんを加えると伸びますが、ちからぬをひけば、もとながもどります。また、ゴムひもの伸びはひっぱりよくだんにひれいします。
  4. このかんけいを図であらわすとひだりしたずのようになります。
  5. このように、ちからくわえるとへんけいちからとを取りのぞくともとかたちもどざいりようせいしつだんせいという性質を弾性といえます。
  6. つぎに、ねんどでできたぼうについてかんがえます。
  7. このぼうにひっぱりよくだんを作用させると、みぎしたずのように、ちからくわわらなくとも、へんけいだけがしんこうしてしまいます。
1. Next, let us discuss the characteristics of a member when it deforms under a load.
  2. Firstly, we consider the case where tensile forces are applied to an elastic cord.
  3. The elastic cord is stretched when a tensile force is applied, and then returns to its initial shape when the tensile force is released.
  4. The figure in the lower left shows this relationship.
  5. The material characteristic of deforming under load and returning to the initial shape when the load is removed is called elasticity.
  6. Secondly, let us consider the case where a tensile force is applied to a clay pole.
  7. When the tensile force is applied, the clay pole stretches; the stretching progresses when a small tensile force is applied, as shown in the lower right corner of the

8. また、力を取り除いても、変形は残ってしまいます。  
8. Additionally, the deformation remains when the force is released.
9. このような、力を加えると自由に變形し、力を取り除いても、元の形に戻らない材料の性質を塑性といいます。  
9. Here, deformation is generated freely when a tensile force is applied. The material characteristic of not returning to the initial shape when load is removed is called plasticity.
10. なお、残ってしまった変形を残留変形といいます。  
10. The remaining deformation is called residual deformation.
11. 構造物を設計する際には、外力に対して材料が完全な弾性体に近い状態で使用できるように設計しています。  
11. For structures, materials are designed to maintain elasticity against external forces.

## キーワード(Keywords)

・弾性 ・塑性 ・残留変形 ・せん断ひずみ

## 関連用語(Related terminology)

・塑性流れ(そせいながれ): plastic flow

## 日本語解説

### 文1 「力を加えられた」

「～を加える」は、たすことです。自動詞は「～が加わる」です。「力を加える」は、力をかけることです。「加えられた」は受身形です。

### 文3 「力を抜けば」、文5 「力を取り除くと」

「抜く」も「取り除く」も「加える」の反対の意味、つまり、「引く、取る、なくす」というような意味があります。「ば」と「と」は、仮定、条件などのときに使われます。

### 文3 「元の長さに戻ります」

「戻る」とは、移動したものがもとのところにかえることや、変形したものがもとの状態なることです。

例：講義が終わって外に出たが、忘れ物をして、教室に戻った。

### 文3 「比例します」

2つの数量の比が他の2つの数量の比と等しいことです。「1:2=3:6」のようなものです。

例：ここで、水の抵抗は速度の2乗に比例する。



ぶん 文5 「弾性」

漢字「弾」は、「弓+單という音」で、ギターやピアノなど、弦や線のある楽器を弾くことや、指先でピンとはじくことです。また、「はねる」という意味もあります。「弾性」とは、ゴムやスプリングなどが持っているはねかえる性質のことです。

ぶん 文7 「力が加わらなくとも」

「力が加わらなくとも」は「力が加わらなくても」と同じです。

ぶん 文7 「進行」

ある方向、目的、状態に向かって進んで行くことです。

ぶん 文9 「塑性」

「塑性」とは、変形しやすい性質のことで、一度変形すると、その形がそのまま残ることです。例えば、粘土(clay)は押すと、凹み、凹んだままになります。そのような性質を塑性といいます。漢字「塑」は、「朔(削る、彫る)+土」で、できていて、意味は、粘土を道具で削ったり彫ったりすることです。

ぶん 文10 「なお」

前に述べたことに関係する他のことを付け加え、補足するときに使います。☞「講義に役立つ日本語」

ぶん 文10 「残留」

「残」は、残ること、「留」は、動いていかないで、とまること、とどまることです。「残留」は、なくならないで、そこにあり続けることです。

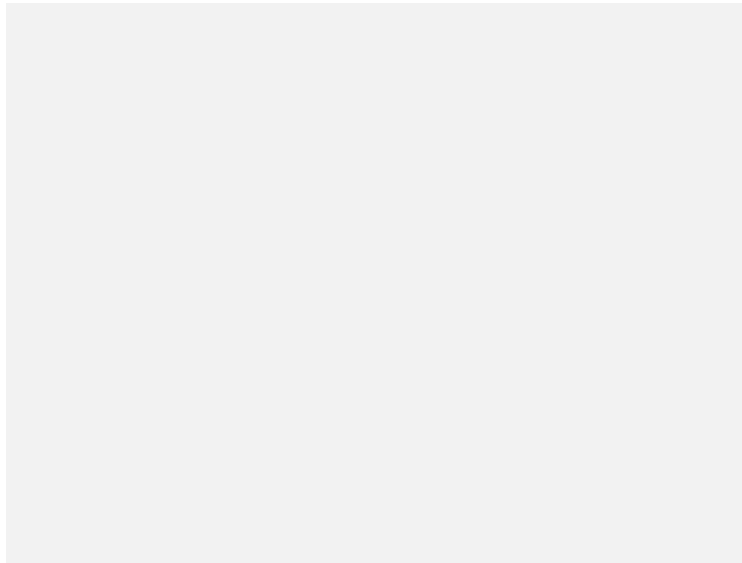
ぶん 文11 「設計する」

「設計」はデザインです。設計とは、何かを作成する際に、必要なものを検討し、それらをどのような構成で作るかを決めることです。

ぶん 文11 「完全」

「完全」は必要な条件が全部あって、足りないところがないこと、欠点がないことです。

## 8. 応力とひずみの関係(1)



1. ここまでで部材に荷重が作用したときに部材内部に生じる応力と部材に起こる変形すなわちひずみについて学びました。
  2. 続いて、その応力とひずみにどのような関係があるのかについて学んでいきましょう。
  3. 一般に、応力とひずみが比例関係にある材料は線形弾性体と呼ばれています。
  4. 線形弾性体である棒の引っ張りのような一軸問題では、直ひずみは直応力と、せん断ひずみはせん断応力と関連付けられ、線形関係が成り立ちます。
  5. この関係は比例定数  $E$  及び  $G$  により、それぞれ、 $\sigma = E\varepsilon$  [シグマ イコール イー イプシロン]、 $\tau = G\gamma$  [タウ イコール ジーガンマ] と表されます。
  6. このときの比例定数  $E$  は弾性係数またはヤング率と呼ばれています。一方、比例定数  $G$  は、せん断弾性係数また
1. Up to this point, we have studied stress generated inside a member by loading, as well as deformation, specifically, strain.
  2. Next, let us consider the relationship between stress and strain.
  3. Generally, materials for which stress and strain have a proportional relation are called linear elastic materials.
  4. In the case of a linear elastic material, for example, a pole under a uniaxial tensile force, we can relate normal strain to normal stress, and shear strain to shear stress. Then, a linear relation can be established for each set.
  5. By using proportional constants  $E$  and  $G$ , we can express the following relations:  $\sigma = E\varepsilon$  and  $\tau = G\gamma$  ( $\sigma$  equals  $E$  times  $\varepsilon$  and  $\tau$  equals  $G$  times  $\gamma$ ).
  6. The proportional constant  $E$  is called the elastic modulus or Young's modulus, while the proportional constant  $G$  is

は横弾性係数と呼ばれています。

7. このような弾性範囲内で変形が荷重に比例して変化する関係をフックの法則といいます。
  8. しかし、応力の大きさがある範囲の値を超えて、大きくなると、この法則は成り立たなくなります。
  9. また、 $E$ 、 $G$ ともに材料に対して固有の定数です。
  10. スライド下の表に、様々な材料のヤング率と横弾性係数、さらにポアソン比の値を示しています。
  11. 表を見ますと、材料によりそれぞれの値が大きく異なっていることがわかります。
  12. 例えば、弾性ゴムはヤング率が 1.5 から 5.0MPa であるため、非常に変形しやすい材料であることが分かります。
  13. また、鋼のヤング率はおおよそ 2.0 カケル  $10^5$ MPa、せん断弾性係数は約 8.1 カケル  $10^4$ MPa で、アルミニウムや金などのその他の金属やコンクリートの値と比較するとその値は大きいことがわかります。
  14. すなわち鋼はその他の材料に比べて変形しにくい材料であるといえます。
  15. また、同一材料でも熱処理や加工法によってそれらの値は変化するという特徴があります。
- called the modulus of shearing elasticity or the modulus of transverse elasticity.
7. The relation in which deformation progresses in proportion to the load in the elastic regime is called Hooke's law.
  8. However, when stress exceeds a certain value, this law no longer holds.
  9. Both  $E$  and  $G$  are constant for a given material.
  10. In the table below, you can see Young's modulus, the modulus of transverse elasticity, and Poisson's ratio for many materials.
  11. From the table, you can see that the values differ widely depending on the material.
  12. For example, Young's modulus for elastic rubber is in the range of about 1.5 to 5 MPa; from these values, it is evident that elastic rubber is a deformable material.
  13. Furthermore, Young's modulus for steel is about the  $2 \times 10^5$  MPa (two times ten to the fifth megapascals), and its modulus of transverse elasticity is about the  $8.1 \times 10^4$  MPa (eight point one times ten to the fourth megapascals). Both of these values for steel are higher than those for other materials, such as aluminum, gold, and concrete.
  14. These values indicate that steel is difficult to deform, in comparison with other materials.
  15. Additionally, for the same type of material, the values of these constants are altered by heat treatment and the method of processing.

## キーワード(Keywords)

- ・線形弾性体
- ・一軸問題
- ・線形
- ・弾性係数
- ・ヤング率
- ・せん断弾性係数
- ・横弾性係数
- ・フックの法則

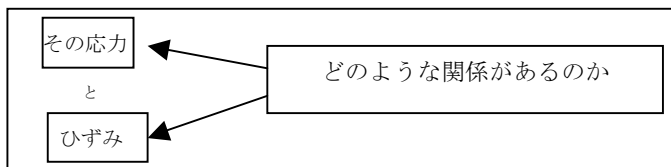
## 関連用語(Related terminology)

- ・弾性体(だんせいたい): elastic body
- ・非線形弾性体(ひせんけいだんせいたい): Nonlinear elastic material
- ・均質(きんしつ): homogeneous
- ・等方性(とうほうせい): isotropic

## 日本語解説

ぶん 文2 「どのような～がある(の)かについて」

ぶん 文2の構造を図示します。



について 学んでいきましょう。

ぶん 文3 「一般に」

「一般に」は、「普通は、多くの場合は」という意味です。

ぶん 文4 「関連付けられ」

「関連」は、関係してつながっていることです。「AをBと関連付ける」は、「AをBと関係があるものとしてあつかう」ということです。

ぶん 文5 「及び」

「及び」は、「AおよびB」のように用いられ、「Aと／やB」という意味です。

ぶん 文6 「率」

「率」とは、割合のことです。漢字「率」を使う言葉には、「確率、効率、能率、比率、円周率」などがあります。

ぶん 文8 「超えて」

「超える」はある基準や限度以上になることです。漢字「超」を使う言葉には「超す、超音波、超音速、超特急、超越、超過」などがあります。

ぶん 文8 「法則」

「法則」とは、一定条件のもとでいつも成立する関係のことです。

例：ニュートンの万有引力の法則

ぶん 文9 「固有」

「材料固有の」というのは、「その材料だけに特別の」という意味です。

例：その土地にはその土地固有の食文化がある。

ぶん 文13 「鋼」

「鋼」は steel です。

ぶん 文13 「おおよそ」

「おおよそ」ともいいます。大体、ほぼ、と同じような意味です。

例：会議にはおおよそ 500名の参加者があった。

ぶん 文13 「金属」

「金属」とは metal のことです。「属す」は、そのグループに入っているということです。「属」のつく言葉は「所属、付属、尊属、配属」などがあります。

ぶん 文13 「比較する」

「比較」とは、比べることです。また、「比較的」という使い方もあり、これは「一般的基準と比べて、割合に」という意味です。

例：・ 2機種<sup>きしゆ</sup>の性能<sup>せいのう</sup>を比較<sup>ひかく</sup>する。 ・ このエンジン<sup>えんじん</sup>は比較<sup>ひかく</sup>的<sup>てき</sup>耐久<sup>たいきゆう</sup>性<sup>せい</sup>に優<sup>すぐ</sup>れている。

ぶん 文15 「同一」

「同一」は同じであることです。例えば、「写真Aのひとと写真Bのひと<sup>ひと</sup>は同一<sup>どういつ</sup>人物<sup>じんぶつ</sup>です」というのは、写真Aのひとと写真Bのひと<sup>ひと</sup>は同じ<sup>おな</sup>人<sup>ひと</sup>だということです。漢字の「一」の読み方に注意しましょう。

ぶん 文15 「熱処理」

「処理」はものごとに始末をつけることです。

例：ゴミ<sup>ごみ</sup>処理<sup>しゆり</sup>、苦情<sup>くじやう</sup>の処理<sup>しゆり</sup>

その他に「処理」には製造過程<sup>せいぞうかてい</sup>で加工<sup>かこう</sup>をすることで材料<sup>ざいりやう</sup>を変化<sup>へんか</sup>させるという意味<sup>いみ</sup>もあります。

例：データ<sup>たーた</sup>処理<sup>しゆり</sup>、熱<sup>ねつ</sup>処理<sup>しゆり</sup>

ぶん 文15 「加工法」

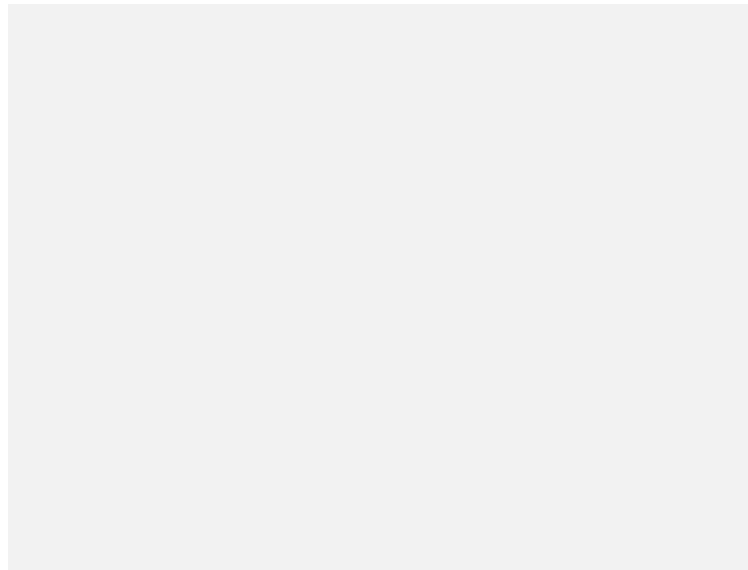
「加」は「加える、たす」という意味です。「工」という字は、上下2つの面に穴をあけて通すことを示しています。穴をあけることは高度な技術が必要だったことから、この字は技術の意味になったということです。この字を使った言葉に「工業、工学、工場、人工、工具、加工、工作」など、この分野の重要語があります。「加工法」とは「技術を加える方法」という意味です。

ぶん 文15 「特徴」

「特徴」は、他のものと違う、そのものだけにある特別のもののことです。

例：日本の気候<sup>きこう</sup>の特徴<sup>とくちやう</sup>は温暖<sup>おんだん</sup>で湿度<sup>しつど</sup>が高い<sup>たかい</sup>ことです。

## 9. 応力とひずみの関係(2)



1. 土木構造物に主に用いられる材料として、コンクリートと鋼が挙げられます。
1. Concrete and steel are the most widely used materials in civil structures.
2. この 2 つの材料から作った試験片に引張試験を行った場合、材料の変形の進行は大きく異なります。
2. In tensile tests on test specimens made of these two materials, the progression of deformation differs widely.
3. コンクリートは破壊するまでの変形が著しく少なく、一方、鋼は大きな伸びを生じた後に破断に至ります。
3. On the one hand, the deformation of concrete is extremely small prior to fracture. On the other hand, steel can stretch considerably prior to fracture.
4. コンクリートのような材料は脆性材料と呼ばれ、鋼のような材料は延性材料と呼ばれています。
4. Material such as concrete are called brittle materials, and materials such as steel are called ductile materials.
5. 脆性材料として、コンクリートの他にガラスやセラミック、鋳鉄などが挙げられます。
5. In addition to concrete, other brittle materials include glass, ceramics, and cast iron.
6. 延性材料には、銅や金などが挙げられます。
6. Copper and gold are examples of other ductile materials.
7. 図(I)は脆性材料を試験片として引張試験を行った場合の引張力と伸びの関係を応力とひずみで表した図です。
7. Figure I shows the relationship between stress and strain obtained from a tensile test on a brittle test specimen. The figure shows the relationship between tensile force and the change in length of the

8. 一般に、このような曲線は応力-ひずみ曲線といわれています。
9. この図での応力は荷重を試験開始前の断面積で除した値を用いています。
10. このような応力を公称応力といいます。
11. 荷重を載荷し始め、a点に達するまではフックの法則が成り立っており、応力とひずみには線形関係が成り立ちます。
12. このときの直線の傾きの値がヤング率を表します。
13. 線形関係が成立している範囲で除荷した場合には、ひずみは0になり、試験片は元の形状に戻ります。
14. しかし、荷重を増加させていくと、応力とひずみが線形関係を保てなくなる点が存在します。
15. その点の応力は比例限度と呼ばれ、 $\sigma_p$  で表されます。
16. そして、さらに載荷を続けると、応力が弾性関係を保持できなくなる点が存在します。
17. その点の応力 $\sigma_e$ を弾性限度と呼びます。
18. 実際にこの2点は極めて近いため、区別をつけるのは困難です。
19. また、フックの法則が成り立つのはこの点までです。
20. すなわち、さらに荷重が増加した場合、試験片には塑性変形が生じることとなります。
21. b点まで引っ張った状態から除荷すると、荷重はbcの経路をたどって0となり試験片にはひずみが残ります。
- specimen.
8. Generally, this type of graph is called a stress-strain curve.
9. In the figure, stress is calculated by dividing load by the initial cross-sectional area.
10. Stress calculated in this way is called nominal stress.
11. Upon reaching point a after loading, Hooke's law and the linear relation between stress and strain are established.
12. The slope of this line is Young's modulus.
13. When we remove the load in the linear regime, strain becomes zero and the specimen returns to its initial shape.
14. However, as load increases further, there is a point beyond which stress and strain cease to have a linear relationship.
15. The stress  $\sigma_p$  is called the proportional limit.
16. Then, as load is further increased, there is a point beyond which stress and strain cease to have an elastic relationship.
17. The stress  $\sigma_e$  is called the elastic limit.
18. In fact, it is difficult to distinguish between these points because they are extremely close.
19. After the elastic limit Hooke's law no longer holds.
20. In other words, when load is increased beyond the elastic limit, plastic deformation occurs in the specimen.
21. If we release the tensile load at point b, stress decreases to zero by following a path between b and c, and strain remains in the specimen.

22. このひずみ  $\varepsilon_p$  を塑性ひずみと呼びます。 22. The strain  $\varepsilon_p$  is called plastic strain.
23. すなわち、b点で生じていたひずみ  $\varepsilon_t$  は、除荷により減少した弾性ひずみ  $\varepsilon_e$  と塑性ひずみ  $\varepsilon_p$  の和であることがわかります。 23. The strain  $\varepsilon_t$  that is generated at point b is the sum of the elastic strain  $\varepsilon_e$ , which is decreased by unloading, and the plastic strain  $\varepsilon_p$ .
24. b点で除荷せずに、荷重を増加させていった場合には、応力の最大値f点を経てe点に至り、試験片は破断します。 24. When load is not released and increased further, stress passes the maximum point f, and then the specimen fractures at point e.
25. f点での応力  $\sigma_B$  を引張強さ、e点の応力  $\sigma_z$  を破断強さと呼びます。 25. The stress of point f is called tensile strength and the stress of point e is called breaking strength.
26. また、fe間では応力が減少しています。 26. Stress decreases between f and e.
27. これは試験片の一部に局部収縮が生じ、その部分が急激に伸び、荷重が減少するためです。 27. The reason is that localized shrinkage in a portion of specimen causes sharp stretching, and stress is consequently decreased.
28. つづいて図(II)に示す、鋼のような延性材料に対して引張試験を行った際の応力-ひずみ曲線を見てみましょう。 28. Next, let us consider the stress-strain diagram shown in Fig. II, for a tensile test on a ductile material such as steel.
29. 試験片に作用している荷重を増加させていくと、脆性材料と同様に弾性限度  $\sigma_e$ 、比例限度  $\sigma_p$  が見られます。 29. When the applied load is increased, stress passes the elastic limit  $\sigma_e$  and the proportional limit  $\sigma_p$  as in the case of a brittle material.
30. 応力がs点にくると、応力は少し低下します。 30. Upon reaching point s, stress decreases slightly.
31. そして、その応力が一定のままでも試験片は伸び続けていきます。 31. And then, the specimen continues stretching while stress remains constant.
32. このような現象は降伏と呼ばれており、s点の応力  $\sigma_s$  を上降伏点、y点の応力  $\sigma_y$  を下降伏点といいます。 32. This phenomenon is called yielding. The stress  $\sigma_s$  at point s is called the upper yielding stress and the stress  $\sigma_y$  at point y is called the lower yielding stress.
33. b点において試験片の降伏が終わると、再び荷重の増加が必要となります。 33. When yielding ends at point b, stress increases again.
34. その後、応力の最も大きなf点を経た後に、試験片にくびれが生じることで公称応力 34. After that, stress passes the maximum point f and then the nominal stress



は低下していきま<sup>ていか</sup>す。

decreases because localized shrinkage occurs in the specimen.

35. 最終的にはe点において破断に至ります。 35. Finally, the specimen fractures at point e.
36. 図(II)に示した点線は、荷重を実際の断面積の値で除した応力、すなわち真応力を用いて応力-ひずみ曲線を書いたものです。これを真応力-ひずみ曲線とといいます。 36. The dotted line in Fig. II shows the stress-strain diagram in which the true stress is used. True stress can be obtained by dividing the applied load by the actual cross-sectional area at that point, rather than by the initial cross-sectional area.
37. 真応力で表した場合のt点の応力 $\sigma_T$ を真破断応力とといいます。 37. When the true stress is used, the stress  $\sigma_T$  at point t is called the true rupture strength.
38. また、降伏以後の途中から除荷した場合の現象は脆性材料とほとんど一緒になります。 38. When we release the load after yielding, the behavior of the specimen is almost the same as that of a brittle material.
39. 実際の土木構造物において、材料が降伏してしまうと、作用している荷重には変化が無いのに変形が急速に進んでしまいます。 39. If yielding occurs in a member of a civil structure, deformation progresses rapidly despite the constant applied load.
40. この状態は非常に危険です。 40. This state is extremely dangerous.
41. そのため、設計においては、材料が降伏しないようにすることが重要となります。 41. Therefore, structural members must be designed such that they do not yield.

## キーワード(Keywords)

- ・脆性材料 ・延性材料 ・応力-ひずみ曲線 ・公称応力 ・除荷 ・比例限度 ・弾性限度
- ・弾性変形 ・塑性変形 ・弾性ひずみ ・塑性ひずみ ・破断 ・引張強さ ・破断強さ ・降伏
- ・上降伏点 ・下降伏点 ・真応力 ・真破断応力

## 日本語解説

### ぶん1 「主に」

「主に」は、中心にということです。後ろに名詞が来るときは「主な」になります。

例：我が国は主に工業製品を輸出しています。我が国の主な輸出品は工業製品です。

### ぶん2 「試験片」

漢字「片」は、①二つで一組の物の一つという意味と、②薄く平らな切れ端という意味があります。①の例は「片方、片側、片手」などです。②の例は「ガラス片、木片」などです。「試験片」は②の意味でテスト用に作られた材料のことです。

ぶん 文2 「行った」

「行<sup>おこな</sup>う」は「する、何かを<sup>なに</sup>実際に<sup>じっさい</sup>する」ということです。

例：実験<sup>じっけん</sup>を行<sup>おこな</sup>う。

ぶん 文3 「破壊」

「壊<sup>かい</sup>」という漢字<sup>かんじ</sup>には「穴<sup>あな</sup>があいてくずれる、こわれる」という<sup>い</sup>意味<sup>み</sup>があり、「～を<sup>かい</sup>破壊<sup>はかい</sup>する、～が崩壊<sup>ほうかい</sup>する、～が壊れる、～を壊す」などの言葉として使われます。「破壊する」とは、こわすことです。

例：台風<sup>たいふう</sup>の暴風雨<sup>ぼうふう</sup>で建物<sup>たてもの</sup>が破壊<sup>はかい</sup>された。

ぶん 文3 「著しく」

「著<sup>いちじる</sup>しい」は、はっきりとわかる、目立<sup>めだ</sup>って、という<sup>い</sup>意味<sup>み</sup>です。

例：A社<sup>しや</sup>は成長<sup>せいちょう</sup>著<sup>いちじる</sup>しい。

ぶん 文3 「に至ります」

「<sup>いた</sup>に至<sup>いた</sup>る」は、ある地点<sup>ちてん</sup>に達<sup>たつ</sup>する、行きつ<sup>いきつく</sup>く、ある結果<sup>けつか</sup>になるという<sup>い</sup>意味<sup>み</sup>です。

ぶん 文4 「脆性」「延性」

漢字<sup>かんじ</sup>「延<sup>えん</sup>」は、のびるという<sup>い</sup>意味<sup>み</sup>です。「脆<sup>ぜい</sup>」は、もろい、こわれやすい、という<sup>い</sup>意味<sup>み</sup>です。「延性<sup>えんせい</sup>」は、伸びやすさ、壊れないで伸びる性質<sup>せいしつ</sup>のこと、「脆性<sup>ぜいせい</sup>」は、もろさ、壊れやすさです。

ぶん 文8 「曲線」

「曲<sup>まが</sup>」はまがる、「直<sup>ちよく</sup>」はまっすぐという<sup>い</sup>意味<sup>み</sup>で、曲線<sup>まがせん</sup>は曲<sup>まが</sup>がつた線<sup>せん</sup>、直線<sup>ちよくせん</sup>はまっすぐな線<sup>せん</sup>です。

曲線<sup>まがせん</sup>:  直線<sup>ちよくせん</sup>: 

ぶん 文9 「開始」

「開<sup>かい</sup>始<sup>し</sup>」は始<sup>はじ</sup>めることです。反<sup>はん</sup>対<sup>たい</sup>は「終<sup>しゅう</sup>了<sup>りょう</sup>」です。

ぶん 文11 「達する」

「<sup>たつ</sup>達<sup>たつ</sup>する」は、進<sup>すす</sup>み続<sup>つづ</sup>けてあるところや段階<sup>だんかゐ</sup>にま<sup>いた</sup>で至<sup>いた</sup>るということです。

ぶん 文13 「形状」

「形<sup>けい</sup>状<sup>じょう</sup>」とは、もの<sup>もの</sup>の姿<sup>すがた</sup>かたちやありさまのことです。

ぶん 文14 「存在」

この世界<sup>せかい</sup>にある／いることです。「点<sup>てん</sup>が存<sup>そん</sup>在<sup>ざい</sup>します」というのは「点<sup>てん</sup>が存<sup>そん</sup>在<sup>ざい</sup>します」ということです。

ぶん 文15 「限度」

「限<sup>げん</sup>度<sup>ど</sup>」とは、それ以上<sup>いじょう</sup>にはできな<sup>い</sup>いところ、超<sup>こ</sup>えられな<sup>い</sup>いところ、かぎり、のことです。

ぶん 文18 「極めて」

「極<sup>きわ</sup>めて」は、非<sup>ひ</sup>常<sup>じょう</sup>にという<sup>い</sup>意味<sup>み</sup>です。

ぶん 文18 「<sup>こんなん</sup>困難」

「<sup>こんなん</sup>困難」は、<sup>たいへん</sup>大変だということです。

例：漢字と<sup>せんもんようご</sup>専門用語ばかりの<sup>しょるい</sup>書類を読むのは<sup>こんなん</sup>困難だ。

ぶん 文21 「<sup>じよか</sup>除荷」

「<sup>じよか</sup>除荷」は、<sup>かじゆうのぞ</sup>荷重を除くこと、<sup>かじゆうと</sup>荷重を取ることです。

ぶん 文21 「<sup>けいろ</sup>経路」、 ぶん 文24 「<sup>へ</sup>経て」

ここで、漢字「<sup>けい</sup>経」は、<sup>とお</sup>通る、<sup>とおす</sup>通り過ぎるという意味です。「<sup>けいろ</sup>経路」は<sup>つうか</sup>通過する<sup>みち</sup>道すじのことで、「<sup>へ</sup>経る」は、<sup>とお</sup>そこを<sup>ほか</sup>通って<sup>ところ</sup>他の<sup>い</sup>所へ行くということです。

ぶん 文24 「<sup>せずに</sup>せずに」

「<sup>じよか</sup>除荷<sup>せずに</sup>せずに」は「<sup>じよか</sup>除荷<sup>しないで</sup>しないで」と同じですが、<sup>すこ</sup>少しかたい<sup>ひょうげん</sup>表現です。

ぶん 文24 「<sup>はだん</sup>破断」

金属製の物が<sup>こわ</sup>壊れるとき「<sup>はだん</sup>破断」という<sup>ひょうげん</sup>表現を用います。

例：ボルトが<sup>しんどう</sup>振動で<sup>はだん</sup>破断した。

ぶん 文27 「<sup>きよくぶしゆく</sup>局部収縮」

「<sup>きよくぶ</sup>局部」は、<sup>ぜんたい</sup>全体の中の<sup>なか</sup>ある<sup>いちぶぶん</sup>一部分のことです。「<sup>しゆくしゆく</sup>収縮」は<sup>ちぢ</sup>縮まることです。<sup>はんたい</sup>反対は「<sup>ぼうちよう</sup>膨張」です。

ぶん 文27 「<sup>きゆうげき</sup>急激」

漢字「<sup>げき</sup>激」は「<sup>みず</sup>水＋<sup>しろ</sup>白＋<sup>はな</sup>放つ」で、<sup>たき</sup>滝のように、<sup>みず</sup>水が<sup>しろ</sup>白いし<sup>ぶき</sup>ぶきをあげている<sup>ようす</sup>様子で、「<sup>げき</sup>激しい」という<sup>いみ</sup>意味があります。「<sup>きゆうげき</sup>急激」は、<sup>へんか</sup>変化などが<sup>きゆう</sup>急で<sup>げき</sup>激しいことです。「<sup>げき</sup>激」を使う<sup>ことば</sup>言葉には「<sup>げきぞう</sup>激増、<sup>げきげん</sup>激減、<sup>げきか</sup>激化、<sup>げきとつ</sup>激突、<sup>げきへん</sup>激変」などがあります。

ぶん 文32 「<sup>こうふく</sup>降伏」

一般的な「<sup>こうふく</sup>降伏」の意味は、<sup>せんそう</sup>戦争などで、<sup>ま</sup>負けたことを<sup>みと</sup>認めて、<sup>てき</sup>敵に<sup>したが</sup>従うことです。

ぶん 文33 「<sup>ふたたび</sup>再び」

「<sup>ふたたび</sup>再び」は、<sup>また</sup>また、<sup>いちど</sup>もう一度という<sup>いみ</sup>意味です。

ぶん 文34 「<sup>もつと</sup>最も」、 ぶん 文24 「<sup>さいだいち</sup>最大値」、 ぶん 文35 「<sup>さいしゅうてき</sup>最終的には」

「<sup>もつと</sup>最も」は「<sup>いちばん</sup>いちばん」という<sup>いみ</sup>意味です。「<sup>さい</sup>最」が使われる<sup>ことば</sup>言葉は「<sup>さいだいち</sup>最大値（<sup>もつと</sup>最も<sup>おお</sup>大きい<sup>あたい</sup>値）、<sup>さいしゅうてき</sup>最終的には（<sup>いちばんさいご</sup>一番最後には）」など<sup>おほ</sup>多くあります。

例：この<sup>れい</sup>実験で<sup>じっけん</sup>最も<sup>ちゆうい</sup>注意<sup>ひつよう</sup>が必要なのは、<sup>おんどちようせつ</sup>温度調節です。

ぶん 文36 「<sup>てんせん</sup>点線」

「<sup>てんせん</sup>点線」は<sup>てん</sup>点が<sup>つづ</sup>続いた<sup>せん</sup>線です。「<sup>じっせん</sup>実線」は<sup>き</sup>切れ目の<sup>め</sup>ない<sup>せん</sup>線です。

点線： ..... 実線： \_\_\_\_\_

