

## 1. 目標とする土木構造荷重指針のコンセプト

### (1) 性能設計体系を前提とした荷重指針

- (a) 限界状態設計法は、現時点における性能設計を実現化する有力な設計法との立場にたち、その仕組みを利用しつつ、より広い概念の性能設計法に使用できる荷重指針を目指す。
- (b) 利用者の目的に合った荷重条件を設定できるよう情報提供できるものとする。
- (c) 設計対象構造物の規模、重要度、工学的難易度によって多様な設計に対して適用可能であることを示し、その仕組みを示す。
- (d) 柔軟なデータ更新システムを構築し、現場や関連機関によって得られたデータが指針の中に継続的に集約できるよう工夫する。

### (2) 「土木構造荷重指針の枠組みとガイドライン(200/8)の」提案した荷重算定の主要要因、すなわち荷重因子」の統計データを示し、統計データの処理方法も示す。その上で、確率分布モデルを与え、これを用いた構造物の特性や重要度に設計荷重算定法への引用の方法の一例を示すものとする。

### (3) 建築の荷重指針の動向と関連させながら作業を進める。

### (4) タイトル案：土木構造物性能設計のための{荷重・環境影響}指針

## 2. 留意事項・

- (1) 統計的方法に必ずしもこだわらない。
- (2) 極値統計データの処理技術について然るべき委員の参加と指針を示す。(神戸商船大学 高橋倫也教授)
- (3) 荷重因子の具体的項目について十分詰める必要がある。

## 3. 目次・内容概案

### 第一章 総則

#### 1.1 目的

本「荷重指針」は、土木構造物の荷重を設定するための基礎データと、荷重データから設計用荷重モデルを導出するためのいくつかの手順(手法)を集約、解説したものである。

本指針の目的等を述べる前に、次の2つの言葉を本指針では厳密に使い分けているので、その定義を明確にしておきたい。無用な誤解を避けるためである。

### 【荷重因子】

土木構造物荷重指針で取り扱う設計荷重算定のための主因子となる物理量であり、土木構造物荷重指針では、その確率分布モデルが与えられる。たとえば、地震荷重では、最大加速度であり、風荷重では、最大瞬間風速等である。

### 【設計用荷重モデル】

荷重効果を算定するために構造物に作用させる荷重である。その内容は、安全性照査のための限界状態に適切に対応させるために構造物に作用させる分布形状などのモデル化が行われている。たとえば、橋梁に作用する分布活荷重（L 荷重）は、その作用形状は実在しない理想化された分布形状が与えられており、桁に生ずる弾性限界状態の最悪荷重状態を算定するためのモデルである。

本指針では、特定の設計用荷重モデルを特に指定しない。この理由は次の通りである

- (1) 本指針が、「性能設計」の考え方に基づいているからである。性能設計では、設計における相当程度の自由度が許されるので、設計者が荷重データの共有化を計り、当面の目的に応じた荷重の設定を行うことができるようにすることが、求められている。
- (2) 基本的に最終的な荷重（本指針で定義するところでは「設計用荷重モデル」）は、当該構造物の事業主体 / 所有者 / 所轄行政機関等が定めるものであり、このような一般的な基準でこれらを特定することはできない。

そもそも設計において、構造物の耐力と、これに作用する外力は、一対のものであって、の両者に十分な情報がなければ、合理的な設計を行うことはできない。土木構造物に関する我が国の状況は、構造物の耐力に関しては多くの詳細な研究やデータが存在し研究も活発であるのに対し、荷重側の情報の整備や、その適切な処理方法については、その成果が十分に一般設計者に周知されていない。この反省にたつて、本荷重指針は企画された。

## 1.2 適用範囲

本荷重指針は、性能設計の立場に立つ。従って、構造物に対する最終的な要求性能は、性能マトリックスの形で与えられることを想定している。性能マトリックスでは、構造物に対する要求性能は、荷重の大きさと頻度と縦軸、構造物の限界状態を横軸として、構造物の重要度に応じてその要求性能を特定する。この場合、要求性能の達成度を、信頼度で表記する場合もある。例えば、「この構造物は、500 年再現期間を持つ地震動に対して、修復限界状態を $(1-\alpha)\%$ の確率で満足するように設計する」と記述される。

本荷重指針は、この性能マトリックスの縦軸にあたる、「荷重の大きさと頻度（想定

できる最大荷重の推定を含む)」に関わる情報の集約と共有を目指している。

### 1.3 基本方針

本荷重指針作成の基本方針は、次の通りである。

- (1) 性能設計のコンセプトに立ち、性能マトリックスの荷重に関する部分を扱う。性能設計の全体の枠組みの設定は、別の設計コードに譲る。(本コードは、Eurocode 1 に当たる。Eurocode 0 は、他のコードで補う)
- (2) 本荷重指針は、特定の設計用荷重モデルを想定しない。むしろ、荷重に関する種々の情報(データとその処理方法を含む)を集約、共有化することをめざす。これは、性能設計では、設計者が耐力の算定で自由度を持つのとおなじように、荷重の設定についても自由度を持つという基本コンセプトによる。
- (3) 本指針では、荷重因子に関するデータの共有化を目的とする。荷重因子から導出される種々の設計用荷重モデルについては、その幾つかの代表的な手順や手法は示すものの、それらのある特定のものを本指針の推奨法とするようなことはしない。
- (4) 本荷重指針は、つぎの内容を含む：
  - ・ 荷重の定義と分類
  - ・ 荷重組み合わせの基本的考え方の整理
  - ・ 種々の荷重因子に関する、代表的なデータベースの提供
  - ・ 種々の荷重の荷重因子から、代表的な設計用荷重モデルを導出する方法の整理と紹介
  - ・ 統計的手法を含む、一般的な荷重データの整理方法
- (5) 種々の荷重因子に関する、データベースの構築は、本指針の大きな部分を占め、将来的には、柔軟なデータ更新システムを構築し、研究や関連機関により得られたデータが指針の中に継続的に蓄積、集約できるように工夫したい。

## 第2章 一般事項

### 2.1 用語(香月)

ここでは、本指針で示す荷重因子のサンプリングおよび使用法の基礎となる性能設計法および統計処理等の分野の関連技術用語について、定義し解説する。

例

#### (1) 荷重因子

土木構造物荷重指針で取り扱う設計荷重算定のための主因子となる物理量であり、土木構造物荷重指針では、その確率分布モデルが与えられる。たとえば、地震荷重では、最大加速度であり、風荷重では、最大瞬間風速等である。

(2) 設計用荷重モデル

荷重効果を算定するために構造物に作用させる荷重である。その内容は、安全性照査のための限界状態に適切に対応させるために構造物に作用させる分布形状などのモデル化が行われている。たとえば、橋梁に作用する分布活荷重(L荷重)は、その作用形状は実在しない理想化された分布形状が与えられており、桁に生ずる弾性限界状態の最悪荷重状態を算定するためのモデルである。

(3) 荷重効果

設計荷重を構造解析モデルに与えて得られる応答値であり、限界状態の定義に基づいて、応力、ひずみ、断面力、部材変形等がある。

(4) 荷重作用

荷重作用とは、構造物に作用している集中あるいは分布した力学的な力の集合(直接作用)をいう。ここでは、荷重作用を単に荷重と表現する場合もある。

(5) 間接作用

構造物内に生じる変形や強制変形の原因になるものをいう。3章で示したように現行設計法では、「影響」という用語が用いられている。つまり、クリープの影響、乾燥収縮の影響、地盤変動の影響、支点移動の影響、地震の影響、温度変化の影響などにより構造物に力が作用する場合であり、荷重という表記が適切ではないケースに用いる。

(6) 環境作用

力学的、化学的あるいは生化学的に構造材料を劣化させるなど、安全性や使用性に悪影響を及ぼす要因となるものをいう。例えば、湿度、塩分、酸などがある。

(7) 荷重因子の確率量基本値

本指針では、設計荷重の代表的荷重因子を確率モデル化するが、その確率モデル化する物理量を確率量基本値という。地震荷重においては、最大加速度、加速度応答スペクトル、風荷重では、年最大瞬間風速等である。

(8) 主荷重

構造物の限界状態において支配的となる荷重を主荷重という。

(9) 従荷重

構造物の限界状態において支配的となる主荷重に付加して組み合わせられる荷重を従荷重という。

## 2.2 要求性能（香月）

ここでは、本指針が性能設計法への使用を前提としていることの趣旨を述べた後に、性能設計法が構造物への要求性能の決定から始まる設計であること、要求性能の提示・選択手段として性能マトリクスがあること、要求性能とは、横軸の限界状態とその限界状態に対応する縦軸の荷重の大きさを指定することであり、荷重の大きさを指定することの背景に、その荷重の生じる頻度（稀さ）が尺度として存在することを述べる。すなわち、本指針で指定する荷重因子を確率分布モデルによって示すことの意義を説明する。

### 例

構造物の設計は、構造物に要求される限界状態がどの程度稀に発生する外乱（荷重）に対して耐えるように作られているかを指定し、確認することである。

これを、構造物の信頼性を指定評価するという（ISO2394）。まず、荷重と限界状態の組み合わせによって構造物の性能を示すことを、「要求性能」を指定するという。具体的な一例として、図 1 に Vision 2000 に提案されている構造物の耐震性能に関する性能マトリクスを示す。この例では、地震荷重を受けた際に生起する構造物の弾塑性応答によって決定される限界状態（図 2 参照）を横軸に、また指定する荷重状態の候補を縦軸に示したうえで、構造物の重要度に応じて、同一の限界状態が、重要度の高い構造物においては、より厳しい荷重状態に対応するように指定することが示されている。この際、荷重状態の厳しさをその地震の再現頻度の稀さによって表現している。

このような表現方法を用いることにより、ISO 2394 の求める国際標準性が確保できる。本指針では、この要求性能の荷重表現において、発生頻度を与える根源をなすものとして荷重因子を指定し、その確率分布を与えることにより、設計技術者が要求性能を指定する際に、その荷重の発生頻度・稀さを計る公平な根拠を与えるものである。

ちなみに、横軸の限界状態とは、図 1 に示すような言語による抽象的な表現から、図 2 に示す構造物の具体的な弾塑性応答に対応されて、技術者のチェックが公正にかつ定量的に評価できるように「部材の弾塑性回転角が回転角容量（3°）に達した場合」など

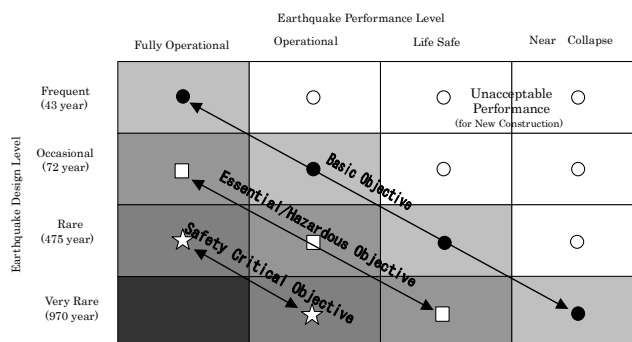


図-1 性能マトリクスの例

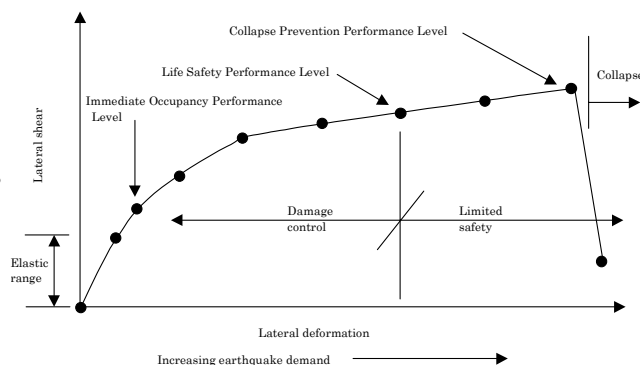


図-2 多段階限界状態の例（Vision 2000）

の表現に変換される。

### 2.3 荷重因子と設計用荷重モデル（白木）

ここでは、土木分野において統一されたものとしての荷重因子と構造物の特性に応じた設計用荷重モデルの関係について述べる。

例

2.1で定義した荷重因子、設計荷重および荷重効果の関係を模式的に示すと図-3のようになる。このように、設計荷重は、荷重因子を意識しつつ荷重効果を簡易に算定するためのモデル化が行われているので、以下の2点を同時に満足できるものである必要がある。

荷重効果を算定するための便宜性が確保されるとともに、荷重因子の確率モデルとの関係付けが明確に示されており、ISO2394の求める構造物の信頼性に関する説明が可能であることの2点である。この必要条件を満足する手法はいく通りか考えられるが、本章では、その原則的事項を忠実に反映させた一つの方法について述べる。

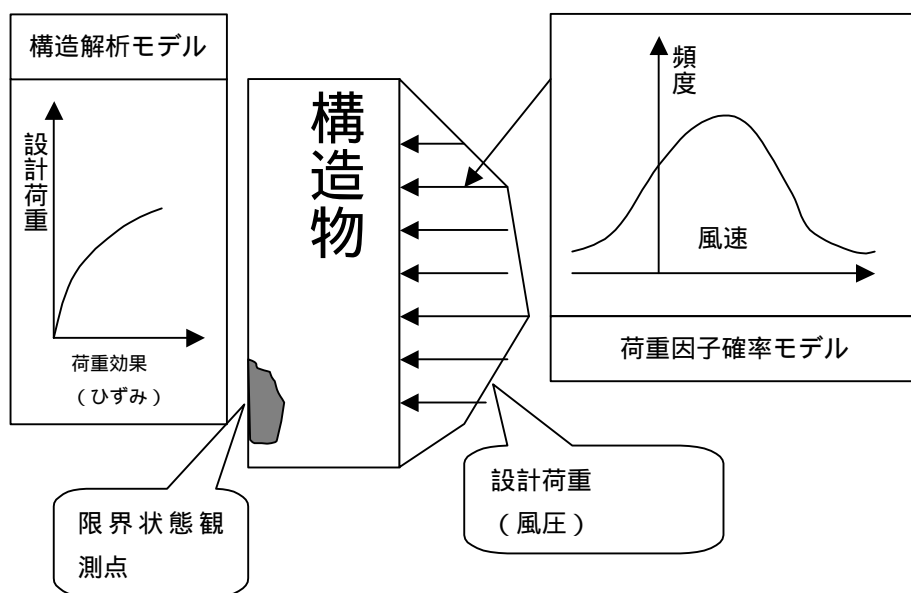


図-3 荷重因子、設計荷重および荷重効果の関係

### 2.4 荷重効果と荷重因子の関係（白木）

設計荷重を具体的に定義するには、その設計荷重を用いて算定する限界状態を明確に定義しておく必要がある。限界状態とは、例えば、「部材の弾塑性回転角が回転角容量に達した場合」などと表現できる。限界状態は、一般に次のような限界状態式として数式表現さ

れる。

$$g = R - S \quad (1)$$

ここで、 $g$ ：限界状態式であり、正值は安全側を、負値は限界状態が満たされない危険側の状態を表す、 $R$ ：抵抗量の限界値であり、弾塑性回転容量などをいう、 $S$ ：荷重効果であり、弾塑性回転角などをいう。

先に定義した限界状態を生じさせる荷重状態を定義し、同時に構造解析モデルを定義する。例えば、先に述べた「部材の弾塑性回転角が回転角容量に達した場合」についても、「大地震時において、……」とすることにより、荷重が大地震の荷重であることが明示される。これは、荷重組み合わせにおいて主荷重が地震荷重であり、他の変動荷重は従荷重であることを明確にすることになる。続いて、部材の弾塑性回転角を求めるための構造解析モデルを定義する。たとえば、静的弾塑性解析によるものであるならば、荷重は静的荷重モデル（震度法によるモデルなど）である必要があり、動的弾塑性解析によるものであるならば、当然荷重の時刻歴を表現できるモデル（スペクトルを与える方法や、モデル地震動を与えるなどの方法）である必要がある。

また、構造設計では、一般に最悪荷重状態を想定することが行われるが、定義された構造解析のために、使用される荷重の最悪載荷状態について定義がなされなければならない。本指針では、この最悪荷重状態を定義するために現行の設計基準で行われているある種の見極めや工学的判断を加味できるように、荷重因子の確率モデルの作成しておくことを考えている。

これらの設計荷重モデルおよび構造解析モデルおよび限界状態の荷重効果がセットとして定義された後に、設計荷重モデルへの変換が行われる。

ここで、定義された関係を次のように表すものとする。

$$S = f_s (P_d (I_d)) \quad (2)$$

ここで、 $S$ ：荷重効果、 $f_s$ ：構造解析モデル、 $P_d$ ：設計荷重モデル、 $I_d$ ：設計荷重モデルの中の荷重因子である。

一般に荷重因子と設計荷重との物理的な因果関係は明らかであるが、その定量的因果関係は完全に表現することが困難である。たとえば、風圧荷重は、荷重因子の物理量である風速の2乗に比例し、受圧面積と抗力係数が与えられれば容易に算出できることはよく知られている。しかし、設計荷重モデルが長い距離に渡って等分布荷重モデル化されている場合には、一点で計測された最大風速（ $I_p$ ）と設計荷重モデル全体での最大値に相当する風速（ $I_d$ ）とはズレがある。そこで、設計モデルに使用される荷重因子と土木構造物設計指

針で与えられる荷重因子との関係を、次のような変換関数によって関係付けるものとする。

$$I_d = F_f(I_p) \quad (3)$$

ここで、 $F_f$ ：変換関数である。

このように考えると、式(3)に示す関係によって、土木構造物荷重指針で与えられる荷重因子と設計荷重モデルの関係が明らかになるので、設計荷重モデルの確率分布および超過確率（非超過確率）の定義が可能となる。

## 2.5 荷重組み合わせの方法

2.3節において示したように、評価すべき限界状態の主荷重状態が定義されているので、その主荷重状態に付加して他の荷重をどのように組み合わせるかについては、式(2)で得られる荷重効果の確率モデルを用いて荷重組み合わせ解析を確率論的に行う必要がある。例えば、極めて稀な地震荷重に対する限界状態のチェックを行う際に、同時に数百年に一度の積雪荷重が作用している可能性は無視し得るほどに小さいことを表現するための処置である。

荷重区分に定義される永久荷重は、時間変動を伴わないものであるので、主荷重と同時に作用させる必要があり、その際には、荷重低減は考慮しない。しかし、変動荷重の従荷重については、超過確率が大きい低い荷重状態を設定する。一般的にも用いられる手法としては、Turkstra 則が有名である。その詳細は、付録で示す。

## 2.6 安全性の照査

安全性の照査を行う方法には、信頼性指標を用いて直接評価を行うレベル2の方法と部分係数を用いるレベル1の方法がある。

### (1) レベル2による照査

式(3)を式(2)に代入すると、確率分布モデルを持つ荷重因子  $I_p$  から荷重効果  $S$  を求める関係式が得られるので、 $S$  の確率分布モデルを導くことができる。また、式(1)の抵抗力の確率モデルが与えられるものとする、式(1)の限界状態式の量  $g$  自体も確率量となる。適当な分布モデルの変換が行われ、これらの確率変数が正規確率分布によって与えられるものとする、信頼性指標  $\beta$  は次式によって与えられる。

$$\beta = -\Phi^{-1}(P(g < 0)) \quad (4)$$

ここで、 $\Phi^{-1}$ ：標準正規累積確率分布関数の逆関数、 $P(g < 0)$ ：破壊確率である。

一般に、限界状態式は非線形関数となる場合が多いので、これを線形近似化して求める



手法としてFORMが用いられ、この場合は、図5-2に示すように、標準化された正規確率変数空間における破壊限界線と平均値(原点)との最短距離によって与えられる。このようにして求められた信頼性指標を用いて、安全性照査は次式によって求められる。

$$g > t \quad (\text{安全}) \quad (5a)$$

$$g < t \quad (\text{危険}) \quad (5b)$$

ここで、 $t$  : 目標信頼性指標である。

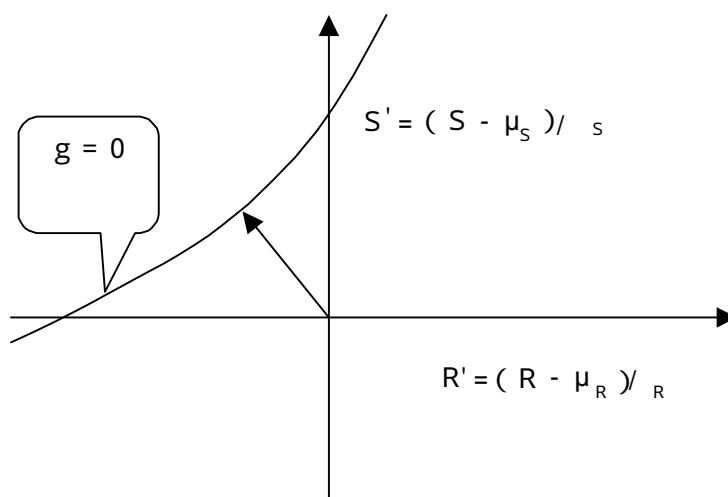


図 - 4 信頼性指標

## (2) レベル1による照査

式(5) による評価に代えて、部分係数による評価を行う場合もある。この場合の評価式は、次式のようになる。

$$S_d < R_d \quad (\text{安全}) \quad (6a)$$

$$S_d > R_d \quad (\text{危険}) \quad (6b)$$

ここで、 $S_d$  : 部分係数法によって求められる荷重効果値であり、確率変量  $I_P$  の平均値を代入して得られる  $S$  よりも大きくなるように部分係数を設定する。 $R_d$  : 部分係数法によって

求められる抵抗値であり、確率変量の平均値よりも小さな値となるように部分係数が設定される。

### 第3章 荷重の分類

荷重や環境的影響は、構造物の設計供用時間とともに変化する。これらの変化は、設計状況に応じて考えられるべきである。設計状況とは、関連する危険性、条件や構造上の限界状態に対応するある期間を表しており、信頼性の確認がそれぞれの設計状況に対して必要となる。

ISO2394 では設計状況は以下のように分類される。

- 持続的状況
- 過渡的状況
- 偶発的状況

持続的と過渡的状況は、確実に生じるものであり、偶発的状況は設計供用期間中に比較的低い確率で発生するものをいう。雪荷重や地震荷重などの荷重が、過渡的あるいは偶発的状況に関係するかどうかは地理的な条件に依存する。

このような設計状況を考慮したとき、荷重とは以下のものを定義する。

- 構造物に作用する集中あるいは分布した力学的力の集合
- 構造物への強制、又は内部の拘束による変形の原因となるもの

本章では荷重や環境的影響の分類をまとめる。

#### 3.1 荷重

(1) 時間的に大きさが変動することによる分類

- 永続荷重 (G)
- 変動荷重 (Q)
- 偶発荷重 (A)

永続荷重は、基準期間を通して連続的に作用する傾向のあるものであり、その大きさの経時的変化は、その平均値に比較して無視できるもの、または変動が一方向的で限界値となっているものである。変動荷重は、平均値に関してその大きさの経時的変化が無視できないもの、あるいは単調ではないものである。また偶発荷重は、基準期間内には構造物に対して大きな値で、稀な荷重である。

変動荷重は、時間あるいは空間のランダムあるいは非ランダムな関数で記述でき、極値の確率モデルは基準期間に常に対応していなければならない。

## (2) 空間変動による分類

- 固定荷重
- 自由荷重

上記2つの分類に属していない荷重は、固定部分と自由部分から成り立っている。自由荷重を取り扱う場合には、異なる荷重配置を考慮する必要がある。たとえば、交通荷重のような場合には、移動しているものとしていないものを識別することや、自由度にどのような制限が加えられているかを識別することが必要になる。このような区別は、使用上の特別な規定により考慮される。

## (3) 構造物の応答による分類

- 静的荷重：構造物に重大な加速度を生じさせないもの
- 動的荷重：構造物に重大な加速度を生じさせるもの

多くの場合、動的荷重は準静的成分の大きさの適切な割り増しにより、または等価な静的力に置き換えることにより動的効果を考慮して、静的荷重として扱うことができる。もしこれが困難な場合、相当する動的モデルが構造物の応答を評価するのに用いられる。慣性力は荷重モデルには含まれないが、解析結果より定められる。

## (4) 有界あるいは非有界荷重

有界荷重とは、近似的に既知で、超えることができない限界値を有する荷重である。このような限界値は、対象とする設計状況において大きな確率で保持されるものである。それ以外の荷重は非有界荷重である。

## 3.2 環境的影響

環境的影響は、力学的、物理的、化学的あるいは生物学的特性があり、構造材料を劣化させる。そして、構造物の安全性や使用性に悪影響を及ぼす。環境的影響は、荷重と多くの点で類似性があり、荷重と同じように、特に時間的変動性に関して、分類される。このように環境的影響においても、永続、変動、偶発といった分類が可能である。

永続的影響の例としては、海水中の塩化物がコンクリートに与える化学的作用がある。湿気が木材耐力に与える作用は変動影響の一例である。環境的影響は材料に強く依存し、個々の材料の種類により定められなければならない。環境的影響は数値的に表現されるべきであり、特定な材料への効果を表わすモデルが設定できる場合もある。そのような場合には、材料の品質低下は、異なる時間経過後、計算により推定できる。たとえば、鉄筋の被りコンクリートの中酸化などがある。

- 第4章 死荷重因子
- 第5章 活荷重因子
- 第6章 地震荷重因子
- 第7章 風荷重因子
- 第8章 雪荷重因子
- 第9章 波浪荷重因子
- 第10章 地盤荷重因子
- 第11章 爆発、火災、衝突荷重因子
- 第12章 温度荷重因子
- 第13章 環境荷重因子

#### 4. 委員構成案

(1) 方針：藤野委員長より若年者で構成する。

(2) 構成案

風：木村，白戸

雪：

波：橋本（港研）

地震：杉戸

地盤：古関

温度：

爆発・火災・衝突：白井（電中研），香月，榎谷（落石）

環境負荷：杉山（日建）

環境作用：松島

死・活荷重：横山

一般事項：白木，本城，高田，岡原，山本（港研）

総則：日下部