

本州四国連絡架橋調査  
材 料 構 造 調 査  
調 査 資 料 No.50

土 木 研 究 所 資 料

第 135 号

地震荷重による吊橋上部構造の  
応力算出について(改訂1)

昭和 41 年 1 月

建設省土木研究所

## 目 次

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 1. 概 要                                   | 1 頁 |
| 2. 吊橋上部構造の設計震度                           | 1   |
| 2.1 ケーブルおよび補剛ゲタの設計震度                     | 1   |
| 2.2 主塔の設計震度                              | 2   |
| 2.3 下部構造の影響による設計震度の補正                    | 2   |
| 3. 下部構造の変位                               | 3   |
| 4. 地震荷重の載荷方法および応力計算法                     | 3   |
| 4.1 橋軸直角水平方向の地震に対して                      | 3   |
| (1) ケーブルの応力計算                            | 3   |
| (2) 補剛ゲタの応力計算                            | 3   |
| (3) 主塔の応力計算                              | 4   |
| 4.2 橋軸方向の地震に対して                          | 5   |
| (1) ケーブルおよび補剛ゲタの応力計算                     | 5   |
| (2) 主塔の応力計算                              | 6   |
| 4.3 鉛直方向の地震に対して                          | 7   |
| (1) ケーブルおよび補剛ゲタの応力計算                     | 7   |
| (2) 主塔の応力計算                              | 8   |
| 5. 地震時活荷重および温度変化による応力                    | 8   |
| 5.1 地震時に考えるべき活荷重強度、<br>活荷重載荷方法および温度変化の範囲 | 8   |
| 5.2 橋軸直角水平方向の地震に対して                      | 9   |
| (1) 補剛ゲタ                                 | 9   |
| (2) 主 塔                                  | 9   |
| 5.3 橋軸方向および鉛直方向の地震に対して                   | 9   |
| (1) ケーブルおよび補剛ゲタ                          | 9   |
| (2) 主 塔                                  | 9   |
| 6. 下部構造に考えるべき残留変位                        | 10  |
| 図表-1. 吊橋造部・ケーブルの橋軸に直角水平方向の設計震度           |     |
| 図表-2. 吊橋造部・ケーブルの鉛直方向の設計震度                |     |
| 図表-3. 吊橋造部・ケーブルの鉛直方向の設計震度                |     |
| 図表-4. 主塔の橋軸直角水平方向の設計震度                   |     |
| 図表-5. 主塔の橋軸方向の設計震度                       |     |

## 1 概 要

地震時の吊橋上部構造の設計計算は、最大加速度  $0.2g$  なる橋軸直角水平方向、橋軸方向および最大加速度  $0.1g$  の鉛直方向の3種の地盤動に対して、地震動が下部構造という媒介物を通して上部構造に作用した場合の影響（以下これを地震動におよぼす下部構造の影響と略す）を考慮して求めた修正震度<sup>1)</sup>を設計震度として用い、さらに下部構造自身の地震時の応答変位が上部構造におよぼす影響もあわせて考慮する。また、上記の3種の地盤動はそれぞれ単独に考えるものとする。

なお、本資料は、地震時の吊橋上部構造の応力計算に際しての地震荷重、下部構造の影響等について述べたものであり、地震時の上部構造の変位を照査する場合には、このまま適用することはできない。

## 2 吊橋上部構造の設計震度

吊橋上部構造の設計震度は、橋軸直角水平方向および橋軸方向の地盤動に対しては、上部構造基部（主塔基部、ケーブル定着部）に最大加速度  $0.2g$  の地震動が作用した場合の吊橋上部構造の応答より求めた修正震度に、地震動におよぼす下部構造の影響を考慮して補正したものを、鉛直方向の地盤動に対しては、地震動におよぼす下部構造の影響を考慮する必要がないものとして、上部構造基部に最大加速度  $0.1g$  の地震動が作用した場合の修正震度をそのまま用いるものとする。

### 2.1 ケーブルおよび補剛ゲタの設計震度

ケーブルおよび補剛ゲタの設計震度およびその作用方向は表-1にしめすとおりである。ただし図表-1および図表-2は上部構造基部に最大加速度  $0.2g$  の地震動が作用した場合の値であり、設計震度は、これらの値に2.3に述べる地震動におよぼす下部構造の影響を考慮して補正しなければならない。

---

1) 地震荷重に関する調査（其の2）1964年10月（本州四国連絡架橋調査、試験調査耐震調査報告書62）

表-1

| 地盤動の方向   | 地震荷重の作用方向 | 設計震度 |
|----------|-----------|------|
| 橋軸直角水平方向 | 橋軸直角水平方向  | 図表-1 |
| 橋軸方向     | 鉛直方向      | 図表-2 |
| 鉛直方向     | 鉛直方向      | 図表-3 |

なお橋軸  
方向の地盤  
動に対して、  
ケーブルお  
よび補剛ゲ

タの橋軸方向に作用する地震荷重は設計にとり入れられていないが、鉛直方向の地震荷重としてとり入れてある。これは吊橋のような橋軸に沿う部材がきわめて撓みやすい構造物では、部材軸線方向の地震による入射エネルギーは、軸線に直角方向の振動エネルギーになるものと考えたためである。

## 2.2 主塔の設計震度

主塔の設計震度およびその作用方向は、表-2に示すとおりである。ただし、図表-4および図表-5は上部構造基部に0.2 $\%$ の地震動が作用した場合の値であり、設計震度は、これらの値に2.3で述べる地震動におよぼす下部構造の影響を考慮して補正しなければならない。

表-2

| 地盤動の方向   | 地震荷重の作用方向 | 設計震度 |
|----------|-----------|------|
| 橋軸直角水平方向 | 橋軸方向      | 図表-4 |
| 橋軸方向     | 橋軸方向      | 図表-5 |
| 鉛直方向     | 鉛直方向      | 0.1  |

## 2.3 下部構造の影響による設計震度の補正

最大加速度0.2 $\%$ の水平地盤動に対する下部構造天端（上部構造基部）の最大応答加速度は表-3のとおりである。したがって、2.1および2.2に示めた図表-1、2、4および5より求めた設計震度に地震動におよぼす下部構造の影響として（ $\alpha/0.2\%$ ）を乗じて補正しなければならない。

なお主塔基礎とケーブルアンカーレッジの固有周期が異なる場合は、ケーブル、補剛ゲタに対しては、ケーブルアンカーレッジの固有周期を、主塔に対しては、主塔基礎のそれを用いるものとする。

表-3

| 下部構造の固有周期 (sec)       | 1.5 以上  | 1.5 ~ 0.8 | 0.8 以下  |
|-----------------------|---------|-----------|---------|
| 下部構造天端の最大加速度 $\alpha$ | 0.3 $g$ | 0.4 $g$   | 0.5 $g$ |
| $\alpha / 0.2 \ g$    | 1.5     | 2.0       | 2.5     |

### 3 下部構造の変位

地震時における下部構造自身の応答変位の上部構造におよぼす影響は、下部構造天端（主塔基部またはケーブル定着部）における地盤振動方向の水平変位  $\delta$  および傾斜角  $\theta$  からなる境界条件を与えることによって考慮する。 $\delta$  および  $\theta$  の値は表-4 にしめすとおりである。

表-4

| 下部構造の固有周期 (sec)           | 1.5 以上 | 1.5 ~ 0.8 | 0.8 以下 |
|---------------------------|--------|-----------|--------|
| 下部構造天端の水平変位 $\delta$ (cm) | 50     | 40        | 30     |
| 下部構造天端の傾斜角 $\theta$ (°)   | 17     | 15        | 12     |

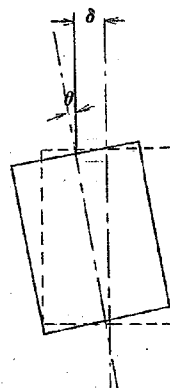


図-1

### 4 地震荷重の載荷方法および応力計算法

#### 4.1 橋軸直角水平方向の地震に対して

##### (1) ケーブルの応力計算

常時の活荷重による応力に比較して小さいので無視してよい。

##### (2) 補剛ゲタの応力計算

ケーブルおよび吊構造部には、それぞれの自重に、前記1で求めた設計震度を乗じた  $P_c$  および  $P_s$  を橋軸直角水平方向の等分布荷重として図-2のように作用させる。

なおハンガーについてはその自重を2分し、吊構造部およびケーブルの自重に算入して、吊構造およびケーブルに作用する地震荷重に含ませ

てよい。

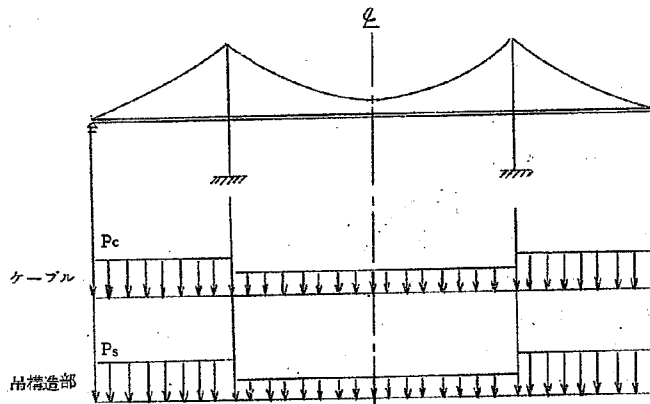


図-2

応力計算に際しては、吊構造部とケーブルに作用する地震荷重は、風荷重の場合と同様にハンガーを介して相互に分配されるものとする。また下部構造の変位の影響は無視してよい。

### (3) 主塔の応力計算

主塔に作用する地震荷重として、塔の自重に前記1で求めた設計震度を乗じたものを橋軸直角水平方向の荷重  $P_t$  として作用させ、同時に塔頂におけるケーブルからの水平力  $R_c$  および鉛直力  $V_c$ 、対風支承における吊構造部からの水平力  $R_s$  を作用させる。

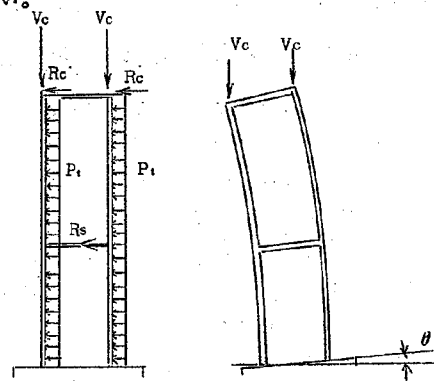


図-3

$R_0$ 、 $R_s$ は図-2に示す荷重状態について計算された値を用いるものとするが、 $V_0$ に対する地震荷重の影響は無視してよい。

また地震荷重による主塔の撓みおよび地震時の下部構造の応答変位によって生ずる鉛直力 $V_0$ による付加応力に対しても検討しておかなければならない。

#### 4.2 橋軸方向の地震に対して

##### (1) ケーブルおよび補剛ゲタの応力計算

2.1で述べたように、橋軸方向の地震に対して補剛ゲタおよびケーブルは、鉛直方向に振動するものとする。したがって、ケーブルおよび吊橋構造部には、それぞれの自重に前記2で求めた設計震度を乗じた $P_0$ 、 $P_s$ を鉛直方向の分布荷重として、図-4のように作用させる。

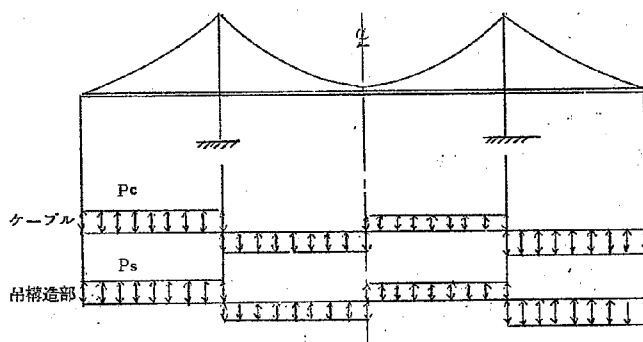


図-4

なお、ケーブルに作用する地震荷重 $P_0$ は、計算式として、ハンガーを膜状のものと考え、その伸縮を無視するかぎり、補剛ゲタに作用させても結果は同じものとなる。したがって $(P_s + P_0)$ を活荷重を載荷するのと同じように、補剛ゲタに作用させてよい。

また、地震時の下部構造自身の応答変位の影響として、ケーブルに対しては、図-5に示すように両側のケーブル、アンカーレッジがそれぞれ橋軸方向外側に $\delta$ 変位した場合の応力を計算し、補剛ゲタに対しては、上

記の場合の他に内側に $\delta$ 変位した場合の応力を計算し、前述の地盤荷重による応力に加算するものとする。

なお主塔の基礎の変位は主塔がいわゆる、可撓性塔であるかぎり影響が

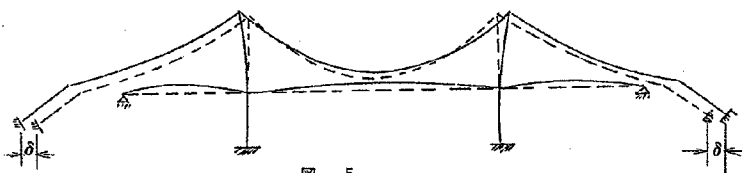


図-5

小さいので、これを考慮しなくてよい。

## (2) 主塔の応力計算

主塔は、塔頂と塔基部の間に、橋軸方向の相対水平変位 $\delta_L$ を有する頂部ヒンジ基部固定の柱として計算してよい。

主塔には、地震荷重として塔自重に前記2で求めた設計震度を乗じた橋軸方向の分布荷重 $P_t$ を作用させ、同時に塔頂サドルにおけるケーブルからの鉛直力 $V_c$ および補剛ゲタ支点における補剛ゲタからの鉛直力 $V_s$ を作用させる。

主塔基部と頂部との間の橋軸方向の相対変位 $\delta_L$ は、ケーブルおよび補剛トラスに作用する地震荷重によって生ずる主塔頂部の移動 $\delta_{EQ1}$ 、主塔基礎の応答変位 $\delta$ および $\theta$ によって生ずる相対水平変位 $\delta_{EQ2}$ および架設誤差 $\delta_{ER}$ の和とする。

すなわち

$$\delta_L = \delta_{EQ1} + \delta_{EQ2} + \delta_{ER}$$

ここに $\delta_L$ ；主塔基部と頂部との間の橋軸方向相対水平変位

$\delta_{EQ1}$ ；ケーブルおよび吊構造部に作用する地震荷重による塔頂の橋軸方向の水平変位

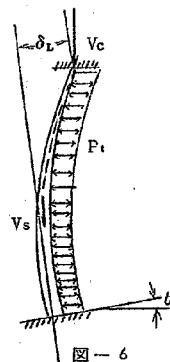


図-6

$\delta_{EQ2}$  : 地震時に想定される主塔基礎の天端の橋軸方向水平変位  $\delta$  お

よび傾斜  $\theta$  による主塔基部と頂部の間の相対水平変位

$\delta_{ER}$  : 架設誤差 (  $\pm 0.05 \text{ m}$  )

$\delta_{EQ1}$  は、 $V_c$ 、 $V_s$  とともに図-4 にしめした荷重状態について計算された値を用いるものとし、計算に際しては主塔の橋軸方向の曲げ剛性は無視してよい。

またケーブルアンカーレフジの移動の影響は考えないものとする。

主塔を柱と考える場合には、塔柱のみを考慮すればよく、水平材あるいは斜材の協働作用は無視してよい。ただし、水平材、斜材に作用する地震荷重は考慮しなければならない。

#### 4.3 鉛直方向の地震に対して

##### (1) ケーブルおよび補剛ゲタの応力計算

ケーブルおよび吊構造部には、それぞれの自重に前記 2 で求めた設計震度を乗じた  $P_c$  および  $P_s$  を鉛直方向の分布荷重として図-7 のように作用させる。

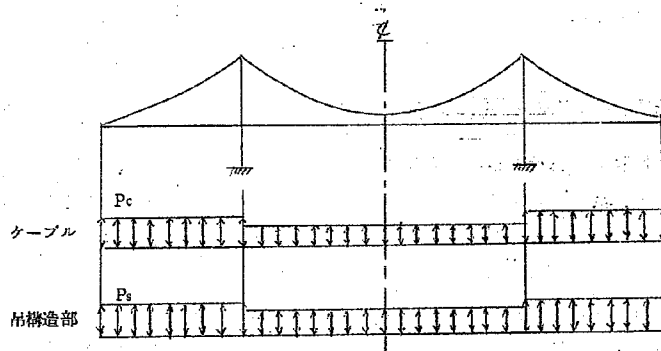


図-7

また下部構造の応答変位による影響は考慮しないものとする。

応力の計算法は 4.2 (1) と同じである。

## (2) 主塔の応力計算

鉛直方向の地震に対する主塔の応力計算は、前述 4.2 (2) と同様な方法により行なう。

主塔には塔の自重に設計震度 0.1 を乗じたものを地震荷重として鉛直方向に作用させる。

また主塔基部と頂部の間の橋軸方向の相対水平変位  $\delta_L$  は、前述  $\delta_{EQ1}$ 、 $\delta_{ER}$  の和とし、下部構造の橋軸方向の応答変位の影響はないものとする。

$$\delta_L = \delta_{EQ1} + \delta_{ER}$$

ここに  $\delta_L$  ; 主塔基部と頂部との間の橋軸方向の相対水平変位

$\delta_{EQ1}$  ; ケーブルおよび吊構遠部に作用する地震荷重による塔頂の橋軸方向の水平変位

$\delta_{ER}$  ; 架設誤差 (  $\pm 0.05$  m )

$\delta_{ER1}$  は  $V_c$ 、 $V_s$  とともに図-7 にしめした荷重状態について計算された値を用いるものとする。

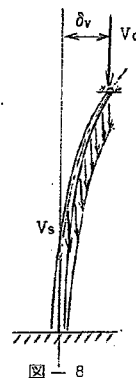


図-8

## 5 地震時活荷重および温度変化による応力

本州四国連絡橋の概略設計に適用される設計指針<sup>2)</sup>では、地震時の荷重として、前述の地震荷重のみでなく活荷重および温度変化の影響も同時に組合わせて設計しなければならないことが規定されている。これらの荷重の組合わせに対する応力の計算方法はつぎのとおりである。

### 5.1 地震時に考えるべき活荷重強度、活荷重載荷方法および温度変化の範囲

(1) 地震時に考えるべき活荷重強度  $P_{eq}$  は、常時活荷重強度の  $1/2$  とし、次式により求める。また載荷状態としては、図-9 にしめす満載荷重を考える。なお活荷重の地震による慣性力は無視してよい。

### 2) 本州四国連絡橋上部構造設計指針 (土木学会本州四国連絡橋技術調査委員会)

$$P_{eq} = 0.8 \left( 0.52 + \frac{170}{200 + l} \right) \quad (t/m/\text{lane})$$

ただし  $l$  ; 中央径間長 (m)

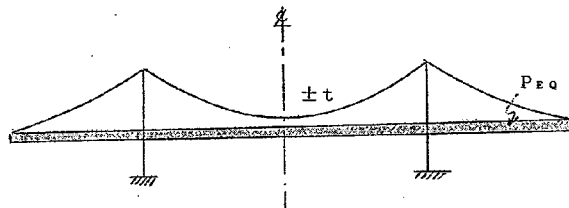


図-9

(2) 温度変化

地震時温度変化の範囲は、20℃を基準温度とし-10℃～+50℃を考  
える。

5.2 橋軸直角水平方向の地震に対して

(1) 補剛ゲタ

図-2に示す地震荷重のみによる応力と図-9に示す活荷重および  
温度変化による応力を別個計算し、それを算術的に加えあわせて求める。

(2) 主塔

図-3に示す荷重のほか、塔自体の温度変化の影響を考慮する。  
また、 $V_c$ の値は、図-9に示す活荷重満載で温度変化-30℃の状態  
について計算された値を用いる。

5.3 橋軸方向および鉛直方向の地震に対して

(1) ケーブルおよび補剛ゲタ

ケーブルおよび補剛トラスの応力は、図-4および図-7の地震荷重  
に図-9に示す活荷重を算術的に加えた荷重状態について計算する。  
なおケーブル温度変化は±30℃とする。

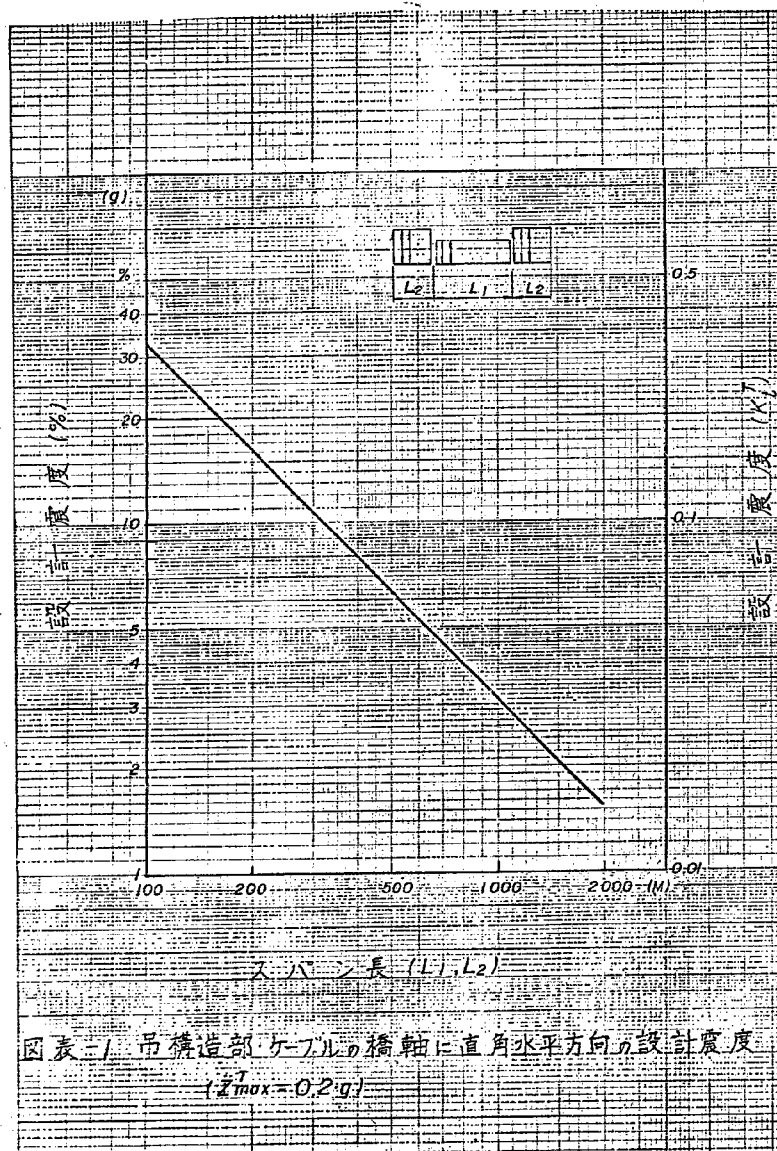
(2) 主塔

活荷重およびケーブルの温度変化の影響は、図-5、図-8の  $V_c$ 、  
 $V_s$  および  $\delta_L$  に含まれる  $\delta_{eq}$  に対して考慮する。 $V_c$ 、 $V_s$  および、

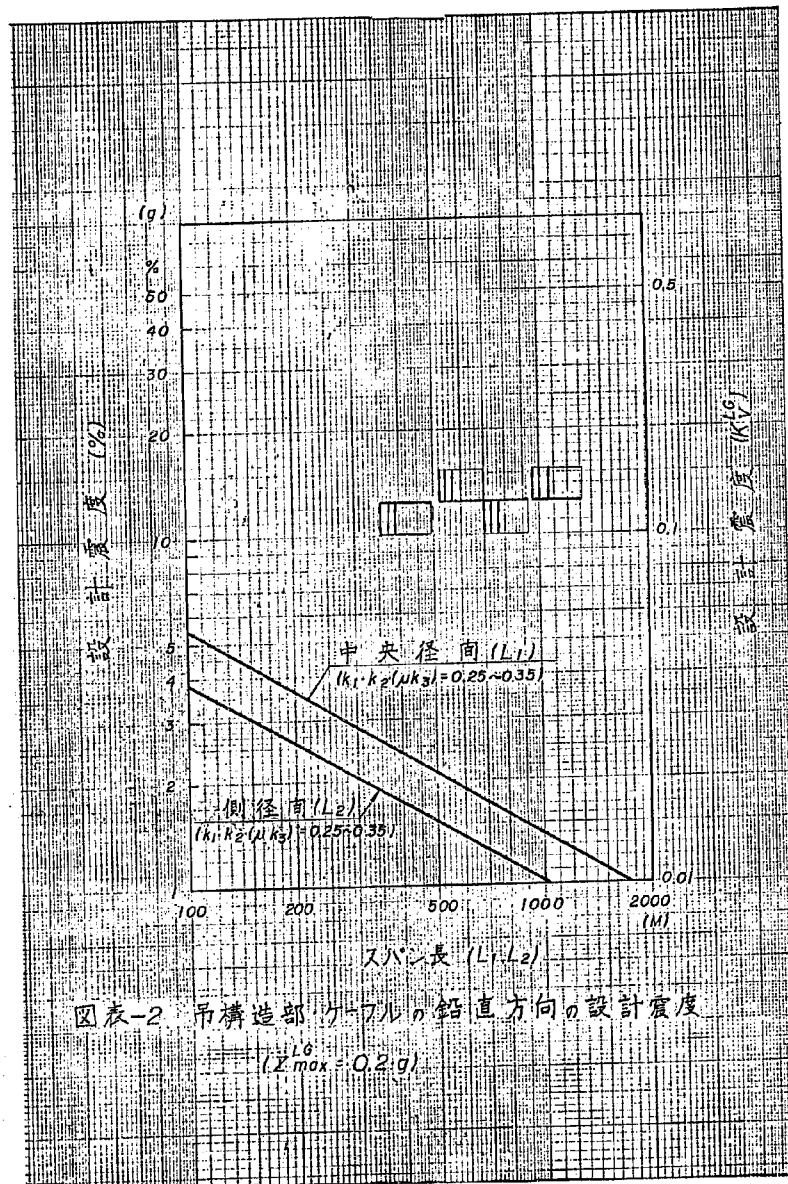
$\delta_{eq}$  は上記ケーブルおよび補剛トラスの応力計算に考慮した荷重状態に対して計算された値を用いる。

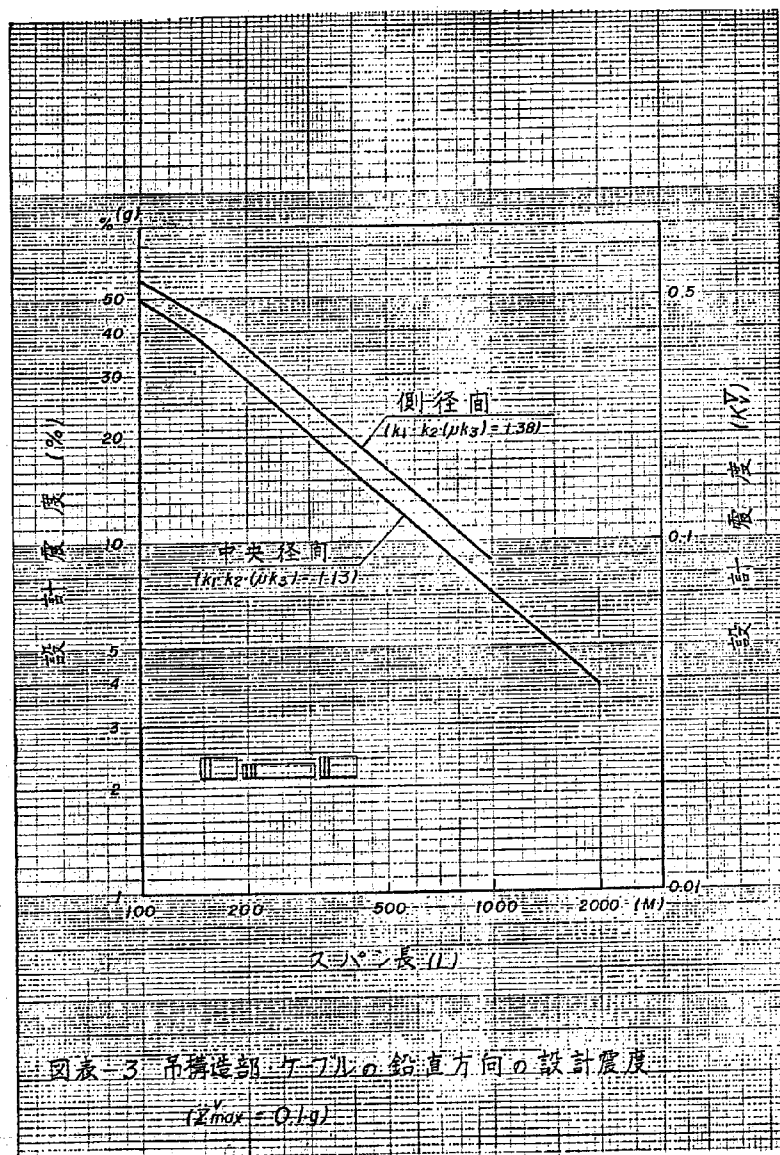
## 6 下部構造に考えるべき残留変位

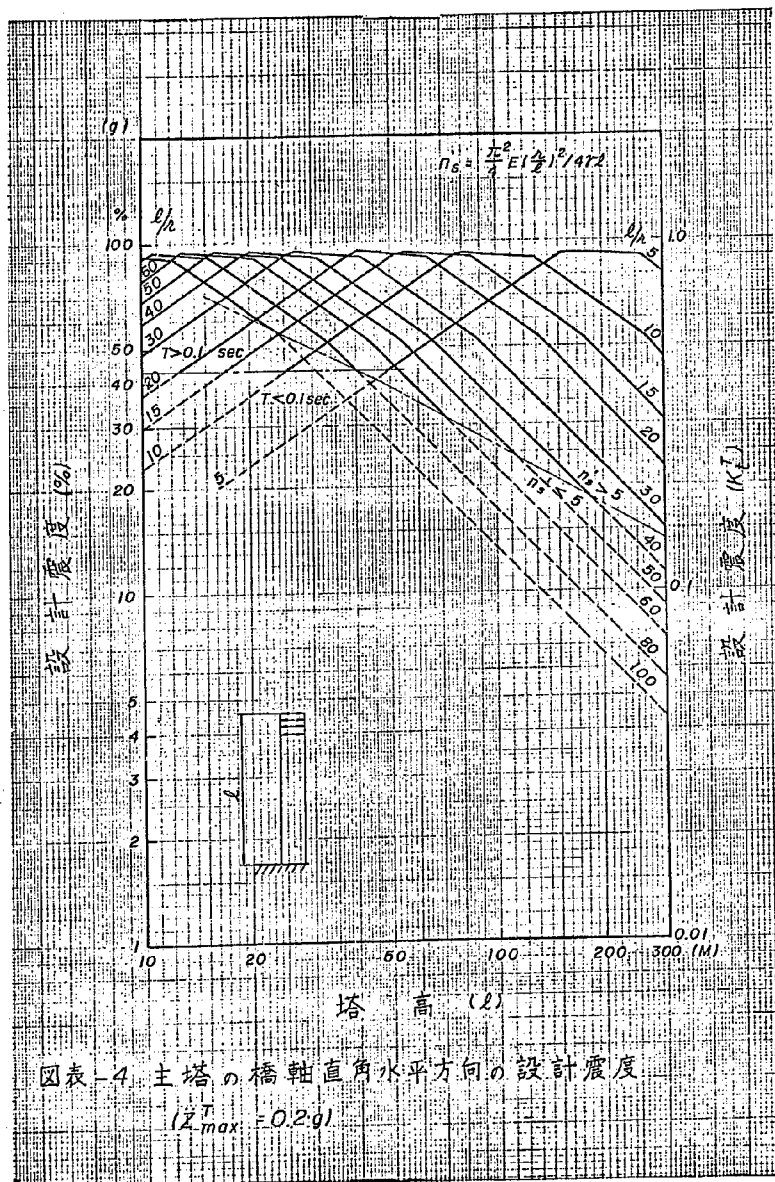
下部構造に残留変位をみななければならないときには、地震時に上部構造に及ぼす残留変位の影響を考慮しておかなければならない。

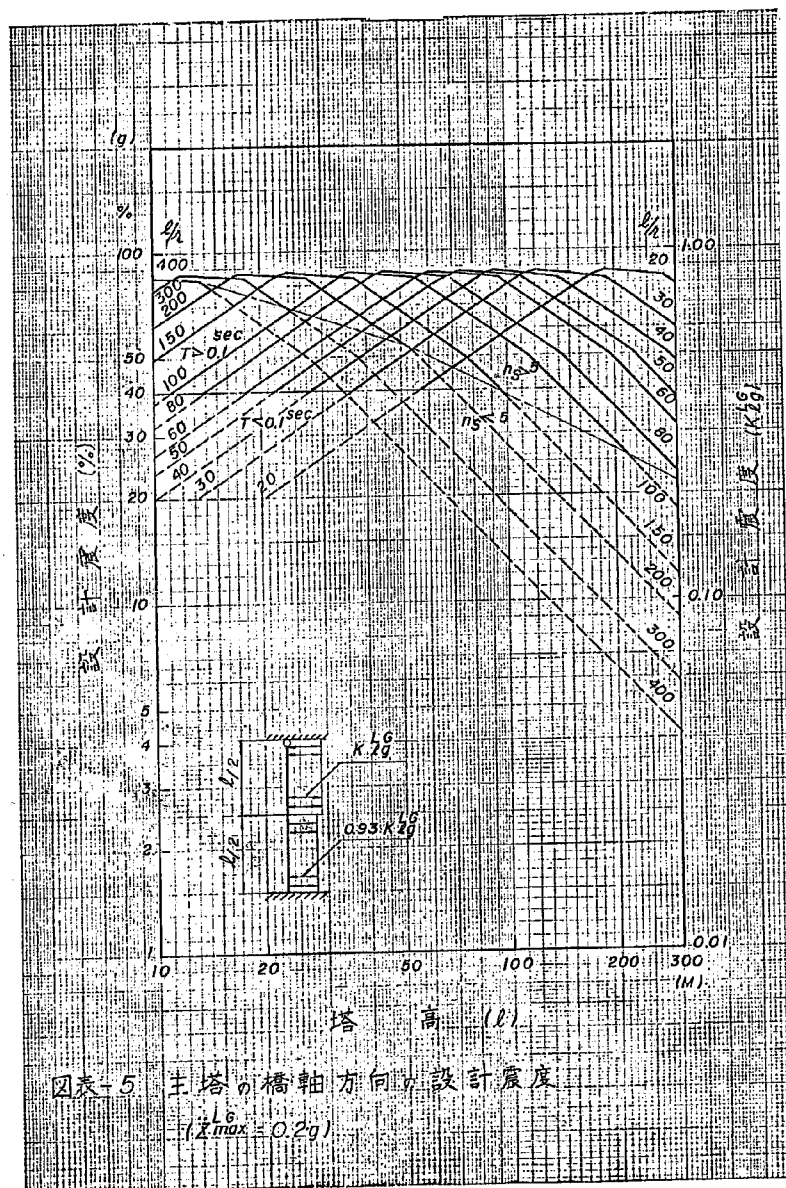


図表-1 吊橋造部 ケーブルの橋軸に直角水平方向の設計震度  
( $a_{max} = 0.2g$ )









図表-5 主塔の橋軸方向の設計震度

( $\ddot{x}_{max} = 0.2g$ )