

本州四国連絡架橋調査
材 料 構 造 調 査
調 査 資 料 No.42

土 木 研 究 所 資 料

第 31 号

地震荷重による吊橋上部構造の
応力算出について

昭和 40 年 5 月

建 設 省 土 木 研 究 所

次

頁

まえがき

1. 地震荷重	1
1.1 補剛ゲタおよびケーブルの設計震度	1
1.2 主塔の設計震度	1
2. 地震荷重の載荷方法および応力計算法	3
2.1 橋軸直角水平方向の地盤動に対する計算	3
(1) ケーブル、ハンガーの応力計算	3
(2) 補剛ゲタの応力計算	3
(3) 主塔の応力計算	4
2.2 橋軸方向の地盤動に対する計算	4
(1) ケーブル、ハンガーおよび補剛ゲタの応力計算	4
(2) 主塔の応力計算	5
2.3 鉛直方向の地震荷重に対する計算	6
(1) ケーブル・ハンガーおよび補剛ゲタの応力計算	6
(2) 主塔の応力計算	7
3. 地震時活荷重および温度変化による応力	7
3.1 地震時に考えるべき活荷重強度および温度変化の範囲	7
3.2 活荷重および温度変化の載荷方法および応力計算法	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

図表一 1. 吊構造部・ケーブルの橋軸に直角水平方向の設計震度

図表一 2. 吊構造部・ケーブルの鉛直方向の設計震度

図表一 3.

図表一 4. 主塔の橋軸直角水平方向の設計震度

図表一 5. 主塔の橋軸方向の設計震度

ま え が き

本文は、地震荷重による吊橋上部構造の応力算出法について述べたものであるが、これによって計算された応力はいくまでも概算的なものであり、さらに検討を加えるべき多くの問題点を含んでいる。したがってこの内容は今後の詳細な調査により修正加筆されなければならない。

1. 地震荷重

吊橋の上部構造に対する地震荷重としては、橋軸直角水平方向、橋軸方向および鉛直方向の3種の地盤動に対して構造物の応答を考慮した設計震度¹⁾を用い、下部構造に対する地震荷重は慣用法によっている。また下部構造の変位が上部構造におよぼす影響は考慮している。なお、設計に際しては、上記3種の地盤動はそれぞれ単独に考えるものとし、組合わせは考えないものとする。

1.1 補剛ゲタおよびケーブルの設計震度

補剛ゲタおよびケーブルに作用する地震荷重としてつぎにしめす種の設計震度を考える。

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による
橋軸方向	鉛直方向	図表-2による
鉛直方向	鉛直方向	図表-3による

上表においては、橋軸方向の設計震度は0とし設計の対象としていない。これは吊橋のように橋軸に沿う部材がきわめて撓性を構造物では、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。しかしこの点については今後の研究課題として検討しなければならない。

1.2 主塔の設計震度

主塔に作用する地震荷重としてつぎにしめす種の設計震度を考える。

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	橋軸直角方向	図表-4による
橋軸方向	橋軸方向	図表-5による
鉛直方向	鉛直方向	地盤の鉛直震度に同じ

1) 地震荷重に関する調査(其の2) 1964年10月 建設省土木研究所
(本州四国遠隔架橋調査、試験調査 耐震調査報告書No2)

また主塔の設計に際しては、地震の影響として前記の地震荷重のほかに、主塔基部（橋脚頂面）と主塔頂部の間に橋軸方向の相対水平変位 δ を考える。 δ の値は次式により求める。

$$\delta = \delta_{i1} + \delta_{i2} + \delta_s + \delta_E \quad (1)$$

ここに δ : 主塔基部と頂部との間の橋軸方向相対水平変位 (m)

δ_{i1} : 地震時に想定される橋脚頂面の橋軸方向水平変位 (m)

○ 橋軸方向地震動に対して $\delta_{i1} = \frac{7}{1000} H$ (m)

ただし $0.10 \text{ m} \leq \delta_{i1} \leq 0.55 \text{ m}$ とし、 0.05 m ごとに丸めて用いる。

H : 主塔下部構造の高さ (m)

○ 鉛直方向地震動に対して、 $\delta_{i1} = 0$

δ_{i2} : ケーブルおよび吊橋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 (m)

δ_s : Set back 量 (m)

δ_E : 架設誤差 (= 0.05 m とする)

なお 1.1、1.2 に述べた設計震度（図表 1～5）および、 δ_{i1} は、地震の水平および鉛直震度がそれぞれ 0.2 および 0.1 なる場合の値をしめており、地盤震度がこれらと異なる場合には、地盤震度に比例して増減した値を用いなければならない。本州四国連絡橋に用いる地盤震度は、鉛直 0.2、水平 0.1 と規定されており²⁾ 設計に際してはこれらの図表および式はそのまま用いることができる。

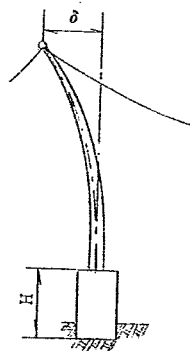


図-1

2) 本州四国連絡橋耐震設計指針（土木学会 本州四国連絡橋技術調査委員会）

2. 地震荷重の載荷方法および応力計算法

ここでは、1.に述べた地震荷重の載荷方法および応力計算法の概略的な説明を述べる。

2.1 橋軸直角水平方向の地震動に対する計算

(1) ケーブル、ハンガーの応力計算

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物にはそれぞれの自重に図表-1に示す設計震度を乗じた 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。なおハンガーに作用する地震荷重は、ハンガーの自重を算術的に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部およびケーブルに作用する地震荷重に含ませてよい。

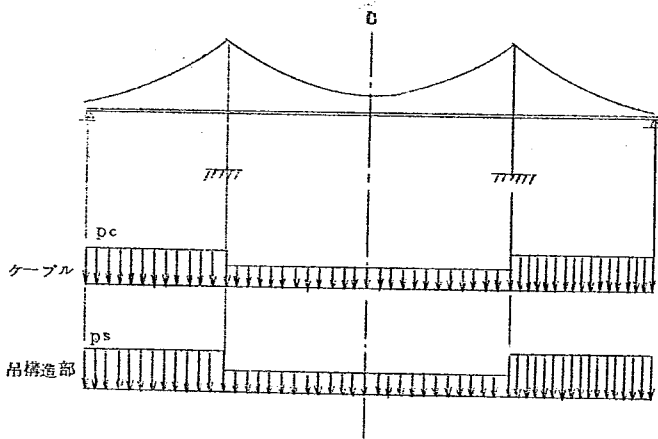


図-2

応力計算に際しては、風荷重の場合と同様に吊構造部とケーブルに作用する地震荷重はハンガーを介して相互に分配されるものとする。

算式としては1932年にL. S. Moisseiff が発表したElastic Distribution Method³⁾があり、この式に基づいた電子計算機による計算プログラム(SSH-1)⁴⁾を土木研究所で作成している。

(3) 主塔の応力計算

主塔に作用する地震荷重として、塔の自重に図表-4にしめす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反力 R_c 、ウインドタンクにおける吊構造部からの水平反力 R_s を作用させる。 R_c 、 R_s は図-2にしめす荷重状態について計算された値を用いる。

また塔頂に作用するケーブルからの鉛直反力 V_c に対する地震荷重の影響は無視する。

2.2 橋軸方向の地盤動に対する計算

(1) ケーブル、ハンガーおよび補剛ゲタの応力計算

1.1で述べたように橋軸方向の地盤動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、ケーブルおよび吊構造部にはそれぞれの自重に図表-2にしめす設計震度を乗じた p_c 、 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。

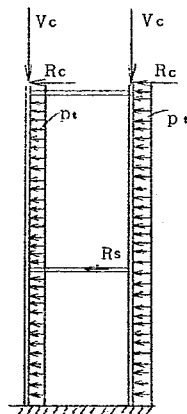


図-3

3) The Suspension Bridges under the Action of Lateral Forces by Leon S. Moisseiff and F. Lienhard A. S. C. E., 3, 1932

4) 吊橋基本構造に関する電子計算機プログラム

(本州四国連絡架橋調査 材料構造調査 調査資料No25)

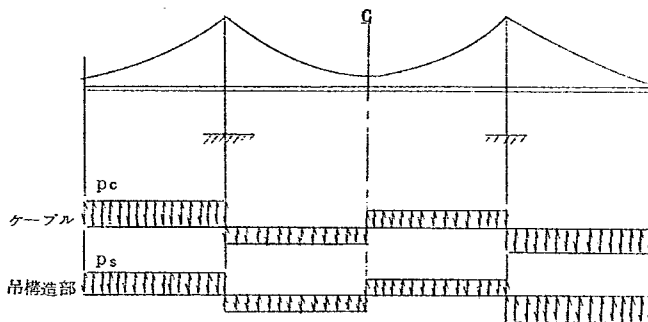


図 - 4

上記のような荷重状態に対する応力計算は、活荷重載荷時の応力計算と全く同じとなる。したがって電子計算機による計算プログラム (SSV-2)⁴⁾ をそのまま用いることができる。なおケーブルに作用する地震荷重 p_c は、計算式として、ハンガーを膜状のものと考えたものを用いるかぎり、吊構造部に作用させても結果は同じものとなる。したがって SSV-2 を使用する場合には、 $p_s + p_c$ 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ればよい。

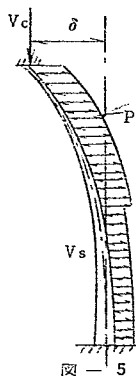
(2) 主塔の応力計算

主塔は、塔頂と塔基部の間に前述の(1)式で計算される相対水平変位 δ を有し頂部ヒンジ基部固定なる橋軸方向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図表-5にしめす設計震度を乗じた橋軸方向の分布荷重 p_1 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反力 V_c および補剛ゲタ支点におけるケーブルからの鉛直反力 V_s を作用させる。 δ の計算式(1)に含まれている δ_{12} は吊構造部およびケーブルに作用する地震荷重による主塔頂部の橋軸方向の水平変位であり、前記の V_c および V_s とともに図-4に示めた荷重状態について計算した値を用いる。なお δ_{12} 、 V_s 、 V_c 等の計

算に際しては、塔の剛性は無視してよい。

また主塔を橋軸方向の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。図-5に示すような柱の応力計算は電子計算機による計算プログラム(TOW-2)⁵⁾により計算できる。



2.3 鉛直方向の地震荷重に対する計算

(1) ケーブル、ハンガー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、それぞれの自重に図表-3に示す設計震度を乗じた p_c および p_s を鉛直方向の分布荷重として図-6のように作用させる。応力の計算法は2.2(1)と同じである。

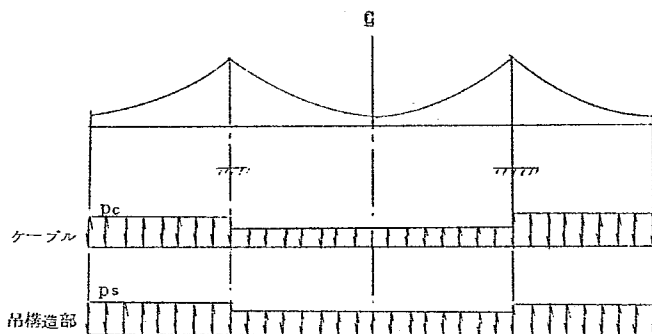


図-6

5) 吊橋基本構造に関する電子計算機プログラム
(本州四国連絡架橋調査 材料構造調査 調査資料No.38)

(2) 主塔の応力計算

主塔に対する設計震度を地盤の鉛直震度に等しくとる。主塔には塔の自重にこの設計震度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 V_c 、 V_s および $\delta_{1.2}$ の値は図-6にしめす載荷状態について計算したものをを用いる。

計算方法などについては2.2(2)に同じである。

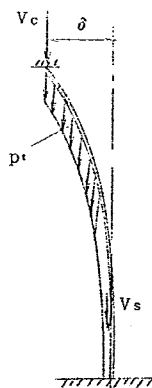


図-7

3. 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⁶⁾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。以下これらの荷重の組合わせに対する応力の計算方法について述べる。

3.1 地震時に考えるべき活荷重強度および温度変化の範囲

- (1) 地震時活荷重強度は常時活荷重強度の $\frac{1}{2}$ とする。
- (2) 地震時温度変化の範囲は 20°C を基準温度とし、 $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ を考える。

3.2 活荷重および温度変化の載荷方法および応力計算法

地震時活荷重および温度変化は、それらによって対象とする部材に最大応力が生ずるように載荷する。

(1) ケーブルおよび補剛ゲタの応力計算

ケーブルおよび補剛ゲタの地震時の応力は、前述の地震荷重のみによる応力と地震時活荷重および温度変化による応力を別個に計算し、それ

6) 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)

られ算術的に加えあわせて求めてよい。すなわち活荷重に対する慣性力は無視し、かつ重ね合わせの法則が成立するものと考えてよい。

(2) 主塔の応力計算

(i) 橋軸直角水平方向の地盤動に対して

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-8に示す、地震時活荷重 (P_{eq}) 満載で温度変化 -30°C のについて計算された値を用いる。

また P_{eq} は次式で計算する。

$$P_{eq} = 0.8 \left(0.32 + \frac{170}{200 + \ell} \right) \quad (\text{t/m/lane})$$

ただし ℓ : 中央径間長

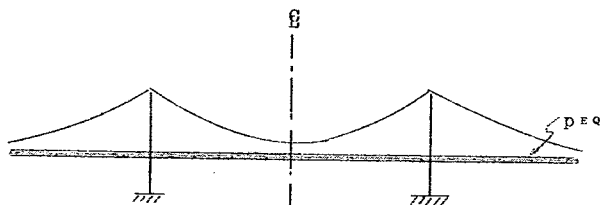
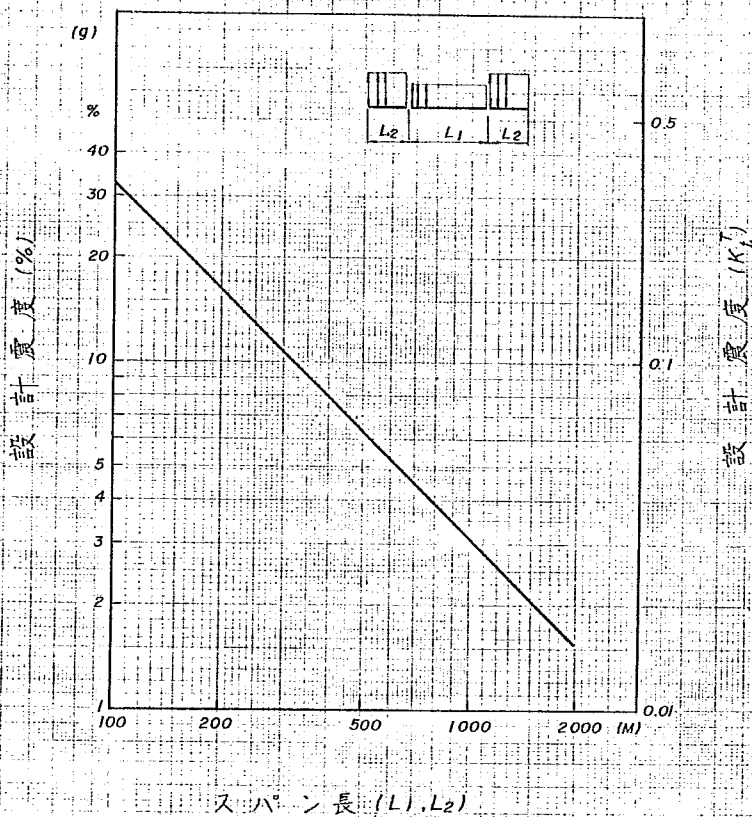


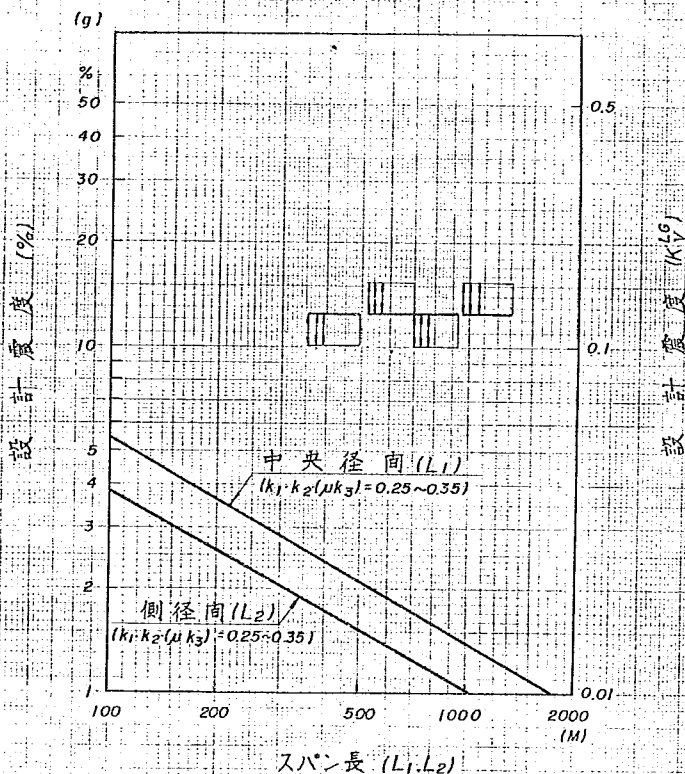
図-8

(ii) 橋軸方向および鉛直方向地盤動に対して

活荷重およびケーブルの温度変化の影響は図-5、図-7の V_c 、 V_s および δ に含まれる δ_{12} に対して考慮する。 V_c 、 V_s および δ の計算は図-4、および図-6の荷重に図-8に示す荷重を算術的に加えた荷重状態について計算された値を用いる。なおケーブル温度変化は $\pm 30^{\circ}\text{C}$ をとる。

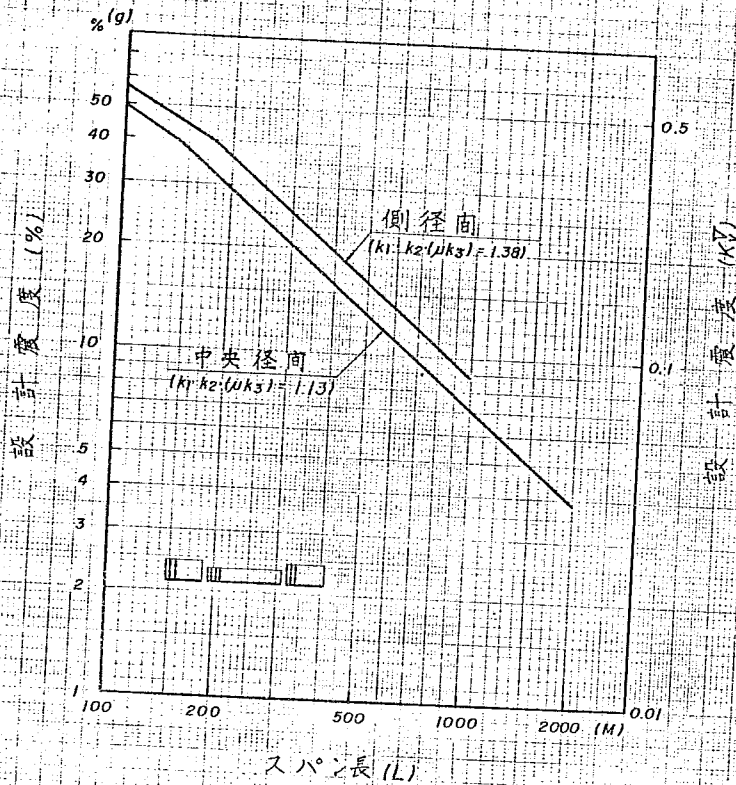


図表-1 吊構造部・ケーブルの橋軸に直角水平方向の設計震度
 ($\ddot{x}_{max} = 0.2g$)

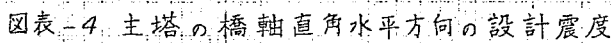


図表-2 吊構造部・ケーブルの鉛直方向の設計寬度

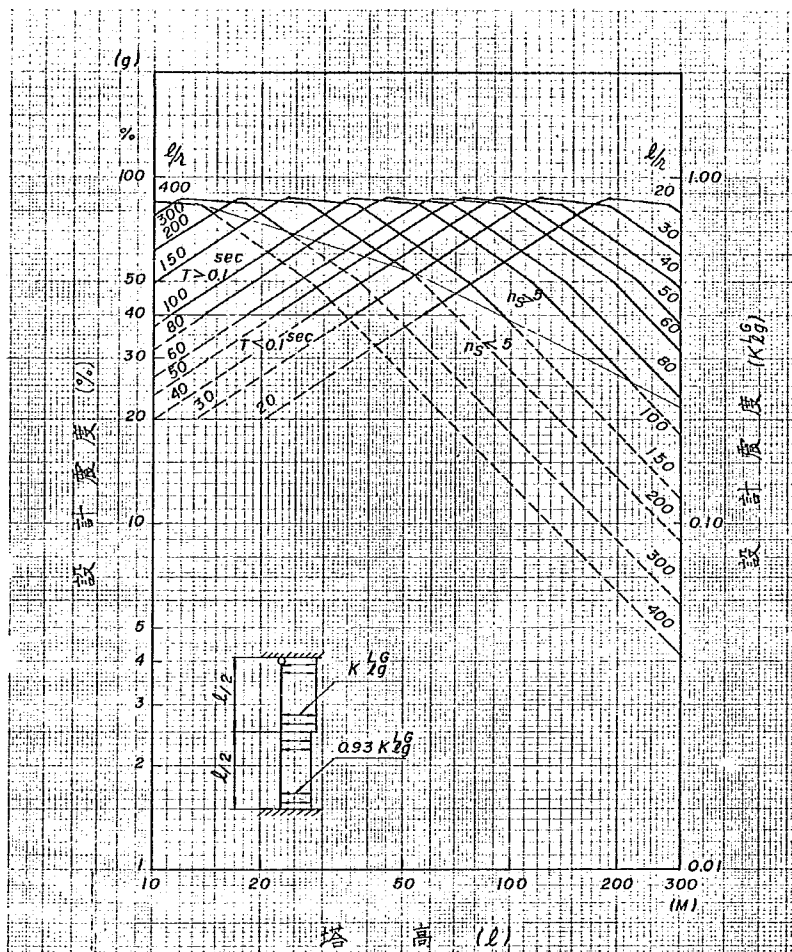
$$(\bar{z}_{max}^{Lg} = 0.2 \cdot g)$$



図表-3 吊構造部・ケーブルの鉛直方向の設計震度
($\ddot{Z}_{max}^V = 0.1g$)



$$(\ddot{z})_{max}^T = 0.2g)$$



図表-5 主塔の橋軸方向の設計震度

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