

石原 研 而

今月は論文集第 102 号 (39 年 2 月発行) 登載予定論文としてつぎの 3 編を紹介いたします。なお、次号では第 103 号登載論文として下記の 3 編を紹介する予定です。

- 長 尚: 基礎構造を考慮したラーメンの解法  
 林 正雄: アーチダムの周期的な温度応力 (近似計算法と観測結果の考察)  
 多田安夫・米長 泰: マトリックスを用いた格子桁の一解法

横荷重・ねじれ・ならびに垂直荷重を受けるつり橋の計算を電子計算機にかけるためのプログラム (英文)

島 田 静 雄

つり橋を、いうなれば立体的に解析し、数値計算を電子計算機にかけるに当たっての事前の取り扱いを解説したものである。

つり橋の応力と変形は、横荷重やトルクの影響を考えるといちじるしく複雑であり、基本式は垂直変位、横変位、ねじれ変形に関する非線形の変位偏微分方程式となる。解析的に解き得るのはきわめて条件の良い時に限るし、また解析的な解法は必ずしも実際計算に向くとは限らないので、電子計算機を利用して強引に数値計算をさせるようにプログラムを計画した。

演算の手法は、誤差を補正しながら何回も試算をくり返させる方法を選び、なるべく簡単な演算式を組み合わせてステップ数の減少と記憶容量の節約をあらかじめ考慮することにした。基本式から演算に適するようにフローチャートを組立てるのに際して、なにゆえにこのような表式を選んだかという説明は省略してあるが、種々の既往の数値計算の経験から、簡便は表現式で十分の精度が得られるという根拠にもとづいている。

基本式の誘導に当たって仮定した事項は、補剛桁の断面の主軸と、ねじり中心とは実用上近接しているとみなし、またつり材の傾斜によって水平方向に桁を引張る力が水平変位に比例しているが、これらの影響がどの程度大きく影響するかは、かなりの量の数値計算から判断することにして今回のプログラムでは簡単に考えた。

基本式の中で、とくにねじれの項には補剛桁の縦断勾配の影響が入るようにしてある。この項は特につり橋横倒れ変形に重要な影響を持つものと考えられる。

本文第 4 節に示したフローチャートの形は著者が作製し、このまま有隣電機精器 KK 計算センターに依頼したそのままである。実際の作業は大森義和氏が担当したが演算の収束の点で二、三の変更を加えただけで満足する結果を見ることができた。

このプログラムは単純に支持された対称はつり橋が任意の荷重を受けるときの応力と変形を速やかに求めるのに使用する。塔頂の変位、温度差の影響も簡単な形で代入できるので種々の利用が考えられる。数値計算の具体的な事例については別の機会に発表する予定にしている。 (1963. 7. 10・受付)

【筆者: 正員 工博 名古屋大学助教授・前東京大学講師】

1. 緒 言

土質工学においては、層状に重なった地盤を施工の対象にする場合が多い。自然に堆積した地盤の上に基礎を作る場合、または道路や飛行場の滑走路を作る場合などは層状の地盤の知識が必要である。また堤防ののり面の表層に舗装を用いる場合には、与えられた波力に対して必要な表層厚さを決定せねばならない。さらに、寒地において、氷の板の上に構造物を作るときなどにも、氷とその下の水とが層状地盤とみなされ、二層地盤の知識が適用できることになる。このように実際には均一した地盤は、むしろ、まれで層状地盤のほうが多いと考えられる。実際には多くの層が重なりあった地盤が多いのであるが、同じような性質をもった層は一つにひっくるめて考えるとすれば、多層系地盤も二層系のもので置きかえて近似できることが多い。したがって、ここでは、特に二層の場合を取り上げてみたわけである。さて、以上のように、二層系の知識は多方面に応用できるわけであるが、どの力学的要素が最も重要な役割を演ずるか、ということは、考えている対象によって非常に異なる。さらに同じ対象であっても、各研究者によって意見がまちまちである。例えば、道路舗装にしても、表面の沈下をある値以下におさめる必要があるとして、沈下に主眼をおく人もあるが、破壊の条件が満足されるまで舗装はこわれないと考えて、内部応力に重点を置く人もあるようである。ここでは、むしろ後者の考えにしたがって二層系内の垂直応力を研究の対象にした。しかし破壊の条件は垂直応力だけでは表現できないので、この研究は、内部応力による破壊が設計の基準になるべきであるという説の正当性を立証するには証こ不足である。また、表面沈下の値は直接研究したわけではないから、沈下をおさえるという設計基準を正當づけるわけでもない。ただ破壊に主に関係しているのは垂直応力であり、また垂直応力は表面の沈下と密接に関係しているから、垂直応力を考えるのは、以上の二つの考えに示唆を与えるところが大きいと考えられる。そして、また設計から全然離れて、二層地盤の挙動が弾性論で近似できるかどうかを実験で調べるのは、基礎的知識を得る意味で重要であると考えられる。理論の正当性を確かめるには、垂直応力が最も測定しやすい。このようなわけで、表題のような研究が行なわれたのである。

2. 概 要

50×100×25 cm の容器に、下層に相対する砂または粘土をつめ、その上に既製のスラブをのせて上から荷重を加え、内部にうめこまれた土圧計によって圧力を測定した。下層の材料としては砂、砂利、油粘土を使用した、上層にはアスファルトおよびソイルセメントのスラブを用いた。油粘土は、シルト質粘土を乾燥し、粉末にしたものに、機械油を混ぜて作ったものである。ソイルセメントスラブは、セメント-水-土の混合比が 13:20:67, 17:20:63 および 21:20:59 の三種類を用いた。アスファルトスラブも、材料の混合比を変えて三種類作った。また同一混合比に対して厚さの異なる三種類のスラブを作った。アスファルトおよびソイルセメントの弾性常数は、スラブを作るときに別に作製したテストピースを用いて測定した。砂、砂利、粘土の弾性常数は、これらを実験用の容器に充てんし載荷

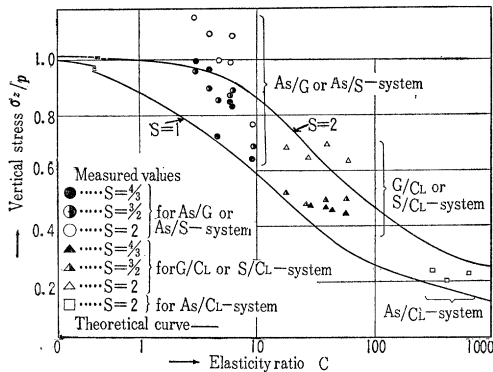
板によって力を加え、その力の大きさと変位をよみ、それを一層の場合の理論値に代入することによって逆算した。この際、ポアソン比は 0.5 とみなして弾性常数を決めた。このようにして求めた各材料のヤング係数は次表のとおりである。

表一 実験に用いた部材のヤング係数 (kg/cm<sup>2</sup>)

砂	砂利	粘土	ソイル セメント			アスファルト		
170	330	2.5	4 400	7 200	9 700	1 540	990	770

使用した土圧計は径 4 cm、高さ 2 cm の外形を有し、内部に巻線抵抗子が封じこまれ、結線を通じて外部の測定器に連絡させてある。載荷板の幅は 3 種類で、10 cm、15 cm、20 cm の 3 種類である。さて、二層系の地盤の挙動を特徴づけるパラメーターは、2 つある。1 つは載荷幅と上層厚さの比  $S$  である。もう 1 つは、上層と下層の弾性率の比  $C$  である。この 2 つのパラメーターを種々に変えて実験を行なった。上層と下層の材料の組み合わせを変えれば  $C$  の値が変えられる。載荷板の幅またはスラブの厚さを変えれば  $S$  の値に変化をもたせることができる。

図一



このように、いろいろの材料の組み合わせを用いて二層系を作り、両層の境界面で載荷板直下の土圧を測定した。その結果の一例が 図一 に示してある。縦軸は測定値を表面の載荷力強度で割った値である。横軸はヤング係数比  $C$  である。図の中で、 $A_s$  はアスファルトスラブ、 $G$  は砂利、 $S$  は砂、 $C_L$  は粘土を表わしている。 $A_s/S$  は、上層がアスファルト、下層が砂という意味である。他の表示法もこれに準ずる。図には  $S=1$  と  $S=2$  の場合の理論値が書き入れている。図より理論値と実験値は比較的よく合うといえる。ただ  $S$  が大きく、同時に  $C$  が小さいときには実験値のほうが大きくなる傾向がある。これは下層に砂、砂利などの粒状体があるためであると考えられる。一層の粒状体では、Frölich が指摘しているように、載荷板直下に応力が集中することは周知の事実である。二層の場合にもこの傾向が見られる。そして、この応力の集中度は  $S$  と  $C$  の値によって変わってくる。図一 からわかるように、上層厚さに対して載荷幅が大きいとき、また上層の弾性率が下層のそれとあまり変わらないときに集中の度合は大きい。以上上層に弾性体があり下層に粒状体があるとき、下層をどの程度弾性体とみなせるかという議論であるが、上層に粒状体があり下層に弾性体がある場合はどうであろうか。現在のところ、実証的なことはいえないが、定性的にはつぎのように考えられる。土層厚さがうすいときは粒状体にはせん断抵抗が生じえず、上層は単に surcharge として作用するにすぎない。つまり surcharge と外力が加わる一層弾性体のような挙動を呈するようである。また上層厚さが厚くなっていくぶん上層のせん断抵抗が發揮されたとしても、

上層は弾性体とみなしえず、粒状体とみなさざるをえないであろう。しかし、このような二層体に対する理論は現在のところ、ないようである。この点に関しては将来研究の余地が残されていると思われる。

(1963. 7. 5・受付)

[筆者：正員 東京大学講師工学部]

## プレストレスト コンクリート 橋梁 特に鉄道橋梁におけるプレストレッシングの管理に関する研究

野 口 功

PC 部材の製作にあたって、部材に設計で考えられたとおりのプレストレスを与えることは、非常に大切な事である。しかし、これまでプレストレッシングの誤差、およびその管理方法についての関心は非常に薄く、内外におけるこの種の研究は非常に少なく、施工基準に決められている管理方法も不十分なものが多かった。大きなスパンの PC 部材が作られるようになると、自重の占める割合が、活荷重にくらべて大きくなるため、プレストレッシングにおける数%の誤差が、活荷重に対する安全性に大きな影響をおよぼすようになる。設計で考えた通りの安全性を有する PC 部材を製作するためには実用的な方法でプレストレッシングの管理を行なって行くことがぜひ必要である。

本論文は 所要の精度で、部材にプレストレスを与えるための実用的なプレストレッシングの管理方法の研究について述べたものである。

小丸川 PC 橋梁工事において行なった 840 本の PC ケーブルの緊張結果、摩擦係数その他の測定結果の解析については論文

表一 プレストレッシングにおける各種のばらつきと、その大きさ

測定内容	ばらつきの原因	ばらつきの大きさ	一方に偏する誤差		
伸びにより測定した場合	a) PC 鋼線の断面積	0.6%	(1 ケーブル当りの平均値として)		
	b) PC 鋼線のヤング係数	1.7			
	c) 摩擦損失値のばらつき	1.5~2.5			
	d) $\mu, \lambda$ の関係値	0~1.5			
	e) 伸び測定の誤差	1			
	g) すべりによるばらつき	0~1.5		-0.75%	
	h) 応力-ひずみ曲線の曲線部	0.35		-0.68	
	total			2.5~4.5	-1.43
荷重計により測定した場合	c) 摩擦損失値のばらつき	3~5			
	f) ジャッキのマノメーターの誤差	2			
	g) すべりによるばらつき	0~1.5		-0.75	
	total			3.6~5.6	-0.75
	荷重計から求めた緊張力と伸びから求めた緊張力の差を生ずる原因	a) PC 鋼線の断面積		0.6%	
b) PC 鋼線のヤング係数		1.7			
c) 摩擦損失値のばらつき		1.5~2.5			
d) $\mu, \lambda$ の関係値		0~1.5			
e) 伸び測定の誤差		1			
f) ジャッキのマノメーターの誤差		2			
h) 応力-ひずみ曲線の曲線部		0.35			
total			3.2~4.8	-0.68%	
両者の差の原因とならない誤差	c) 摩擦損失値のばらつき	1.5~2.5			
	g) すべりによるばらつき	0~1.5		-0.75	
	total			1.5~2.9	-0.75%

集第76号においてすでに報告してあるが、これにおいては、まずプレストレッシングの誤差についての検討を行なった。その結果、プレストレッシングにおいては、各種の制御できない誤差が介入し、このため、荷重計から推定される設計断面における緊張力、PC鋼材の伸び量から推定される設計断面における緊張力、および荷重計から推定される緊張力と伸びから推定される緊張力の差は、いかに慎重な作業を行なっても表-1に示すような原因によるばらつきは避けられないことが確かめられた。

しかし、これらは偶然誤差によるばらつきであるため、個々のPCケーブルにおけるばらつきの標準偏差が $\sigma$ であり、これがかなり大きな値であっても、 $n$ 本のPCケーブルについて平均をとると、ばらつきの標準偏差は $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ となり、 $n$ の平方根に反比例して小さくなる。したがって、偶然誤差によるばらつきの中から、測定機の故障などによる故障誤差を早期に検出するためには、個々のPCケーブルの緊張結果を調らべるだけでは不十分である。何本かのPCケーブルを組にして、組ごとの平均値をとり、偶然誤差によるばらつきの影響を小さくしておいて、故障誤差をただちに発見する方法が実用的であることが確かめられた。

本論文においては、まずPC鉄道橋梁13の工事現場において調査を行ない、表-2に示す調査結果を得た。これによるとPC鋼材の伸びから推定される引張力と荷重計の読みから推定される引張力を比較すると、両者の値の差のばらつきは標準偏差で2~6%程度となり、小丸川橋梁工事の際に示された値が一般的な値であることが明らかになった。

表-2 現場における調査結果から得られた伸びと荷重計から推定される引張力の差

現場名	ケーブル本数	ケーブルの種類	伸びから推定される引張力と荷重計から推定される引張力の差*	
			全ケーブルの平均値%	標準偏差%
根岸線 A	100	フレジネー12×φ7	-3.29(+2.66)	3.76(3.94)
〃 B	360	〃	-4.05(+1.62)	4.88(4.62)
〃 C	300	〃	-4.01(+1.70)	5.29(4.10)
〃 D	395	〃	+4.73(+0.89)	4.71(4.30)
鬼怒川(連続桁)	203	フレジネー12×φ12.4	+4.12	8.04
鬼怒川(単統桁)	159	フレジネー12×φ7	-0.73	4.19
根川	40	〃	+2.38	2.48
鷲の巣	70	ディビダグφ27	-3.20	4.14
永野田	72	フレジネー12×φ7	+1.99	3.68
小丸川(前半)	408	〃	+1.35	5.06
〃(後半)	432	〃	+6.82	6.20
美幌川	160	〃	+3.20	3.62
丸子川	160	〃	+3.20	3.81
井出川	120	〃	+1.70	4.24
首都圏4号線	144	B.B.R.V. 36~44×φ6	-0.85	2.12

\* (+) 符号は、伸びから推定される引張力が大きい場合、すなわち、荷重計の読みが、計算上の値に達したときに、伸びの値が計算値を越えている場合、(-) 符号はその逆を示す。( ) の数値は、緊張計算を修正した後求めた値である。

しかし、伸びから推定される引張力と荷重計の読みから推定される引張力は、必ずしも一致していない。この理由としては、荷重計の狂い等の故障原因によるものばかりではなく、a) PC鋼材のヤング係数の取り方、b) 摩擦係数の取り方、c) PCケーブルの組分け方法等に問題点が残されているので、これらについての検討を行なった。その結果、プレストレッシングの管理の実施に当って、つぎの事がらに注意しなければならぬことが示された。

a) プレストレッシングの際のPCケーブルの伸びは、一般にPC鋼材の弾性伸びより大きな値になることが示された。この原因を明らかにするため、実際のPC部材において、PCケーブルの途中に観測窓をあけて、プレストレッシングの際のPCケーブルの移動を測定した結果、プレストレッシングの作業中、センタースパイラルの弾性変形等によって、PCケーブルが鉛直方向に移動することによって、伸びが大きくなるのが、もっとも大きな原因であることが示された。PCケーブルの伸びから逆算した見掛けのヤング係数は、PC鋼材の材料試験から求めたヤング係数より小さくなり、特にPCケーブルが短く、曲げ上げ角度が大きいくほど、この傾向が大きくなるが、理論的にもまた、調査の結果からも確かめられた。調査の結果、PC鋼材の見掛けのヤング係数は平均的に $1.90\sim 2.00 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 程度になり、個々のPCケーブルについては $1.80 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 以下になるものもあることが示された。

したがって、緊張計算におけるPCケーブルの伸びの計算には、PC鋼材の材料試験により求めたヤング係数のかわりに、PCケーブルの緊張試験により求めた見掛けのヤング係数を使用する必要がある。

b) PCケーブルを組に分けて管理する場合、各PCケーブルが同一母集団を有すると考えられる場合には、どのような組分け方法を行なっても、理論上、実用上の差はないが、各種のPCケーブルの間の有意差について分散分析を行なった結果、PCケーブルの配置形状が異なると、同一母集団であるとは考えられなくなることが示された。したがってPCケーブルを組に分ける場合、組分けの方法を適当に行なわないと、各組が同一母集団であると考えられなくなる。小丸川、根岸線、井出川における緊張結果を各種の組分け方法によって、整理した結果、PCケーブルの組分けにあたっては、各組に配置形状の異なるPCケーブルがほぼ均等に分配されるような考慮を行なうことが必要であることが示された。

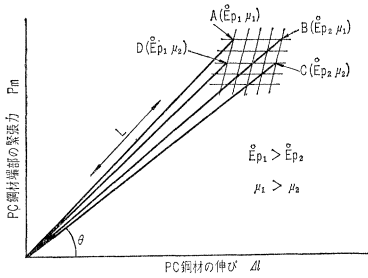
c) PCケーブルとシースの間の摩擦係数は、これまでPCケーブルの単位長さ当りの摩擦係数 $\lambda$ と、単位角変化当りの摩擦係数 $\mu$ によってあらわされていた。しかし、2つの変数によってあらわすことは、実用上不都合な点が少ない。およそ15の工事現場における摩擦測定結果をまとめ、現場によって、 $\mu, \lambda$ の値が変動する範囲を調べた。しかし調査した範囲においては、現場において $\mu$ および $\lambda$ の値をべつべつに求めることなく、 $\lambda/\mu$ の値を一定値と仮定して、摩擦係数を $\mu$ だけの関数としてあらわしても、緊張結果には、ほとんど影響がないことを確かめた。したがって、プレストレッシングの作業にあたっては摩擦係数を $\mu$ だけの関数として表わす方法が実用的であると考えられる。

プレストレッシングの管理の実用に関する細部の問題点について研究を行なった後、プレストレッシングの管理における統計量の選択に関する検討を行なった。これまでは管理の統計量として、伸びから推定される引張力と、荷重計から推定される引張力の差の値を考えていた(この考え方は論文集第76号所載の報告にもとづいて土木学会PC指針のプレストレッシングの管理の方法として採用されている)。この総計量によって、管理を行なっても大きな欠点のないことは確かめられているが、さらに合理的で、実用上簡単に使用できる統計量についての検討を行なった。

プレストレッシングの際におけるPC鋼材の伸び量と、PC鋼材端部の緊張力との関係のばらつきは、摩擦係数 $\mu$ と、PC鋼材の見掛けのヤング係数 $E_p$ を、各種のばらつきを代表する

変数にとることによって、図-1のようにあらわすことができる。図-1において、 $\mu$  および  $\dot{E}_p$  を管理することが理想的ではあるが、2つの変数を管理することは実用上困難であるので、ばらつきの

図-1 摩擦係数  $\mu$  と見掛けのヤング係数  $\dot{E}_p$  による、伸びと荷重計の読み関係のばらつきの表現



小さい  $\dot{E}_p$  を一定として、 $\mu$  だけによって管理を簡単化することができる。

$\mu$  によって管理することの利点は、プレストレスングのばらつきにもっとも大きな影響を与える摩擦係数の変動の概略の状態を統計量から直接知ることができること、 $\dot{E}_p$  の値を適当に選ぶことによって、PCケーブルの引き止め点を合理的に定めることができることにある。

伸びから推定される引張力と荷重計から推定される引張力の差の値と、上記の総計量  $\mu$  とは、理論的には一次の関係になることが証明される。そして、森戸川の工事現場において、2つの統計量によって管理した結果、管理図の判定に実用上、大きな差のないことが確かめられた。(1963. 6. 25・受付)

[筆者：正員 国鉄構造物設計事務所]

## 土質実験指導書頒布

土木学会では、かねてより実験指導参考書の刊行を企てていましたが、このたび土木学会高校土木教育研究会が中心になり編集した土質実験指導書が完成し、広く一般の方々へも頒布しております。本書は、工業高等学校土木科の学生の勉学に資するために企画したものでありますが、大学および一般の土木技術者もご使用に便利のようにJISを広く引用し、またデータシートも数多くとり入れましたので広くご利用下さい。

体 裁：B5判 本文40ページ データシート25葉 定 価：250円(〒60円)

森北出版

株式会社

東京・神田・小川町3の10 振替東京 34757 電(291) 2616

### 重版案内

- 土木施工データブック 成瀬勝武他監修 定価4800円 4版
- 土木設計データブック 成瀬勝武他監修 定価4000円 12版
- 応用力学 杉本礼三著 定価800円 9版
- 応用力学演習 上・下 杉本礼三著 定価各800円各14版
- 土木地質 小貫義男著 定価800円 10版
- 土質工学計算法 河上房義著 定価500円 11版
- 塑性設計法 木原博監修 定価600円 5版
- コンクリート工学 材料篇 小野竹之助著 定価900円 10版
- コンクリート工学 施工篇 小野竹之助著 定価850円 6版

### 道路工学

内田一郎著 定価600円 8版

### 水理学

佐藤清一著 定価900円 3版

### 水理学演習上・下

椿東一郎著 荒木正夫

(上) 定価850円 4版 (下) 950円 3版

### 一般測量学

岡積満著 定価650円 6版

### 測量便覧

林・春日屋著 定価1600円 10版

### 近刊案内

### 計画・工事測量

日本測量専門学校長 千葉忠二著

≪測量実務叢書12 最終回配本 予価550円≫

現行の測量作業の内容を計画、工事測量の2部門に分け、各部門ごとにさらに目的別に細分し、その主なるものについて現行の作業要領を集録した。計画測量とは調査計画用を目的としたものに限り、工事測量には設計工事に直結して用いることを目的とするものを収め、技術者が要用に臨んで直ちに活用できるよう整理して懇切に解説した。