

次に E , ϵ 及び T を前例題のごとくとれば

$$E \epsilon T l^2 \frac{t_u}{a} = 4.609 \times 10^6 \text{kg-cm/cm}$$

$$E \epsilon T l \frac{t_u}{a} = 3.012 \times 10^3 \text{kg/cm}$$

$$-E \epsilon T t_u = -1.575 \times 10^3 \text{kg/cm}$$

これらの値を表-1の数値にかけて 1 cm 巾に対する M_x と Q_x 及び 1 cm 高に対する N_ϕ を求めると表

-2 に示すごとくなる。同表には液圧によるこれらの値をも参考のため併記した。計算結果の精度に関しては液圧の場合と同様であるので、前掲学会誌の例題を参照せられたい。

この研究は昭和 29 年度文部省科学研究費補助による研究の一部として行つたものであることを付記する。(昭.30.4.22)

ビルディングの潜函工事における応力測定

正員	工学博士	横	尾	義	貫*
正員	工学博士	丹	羽	義	次**
准員		森	忠		次***

MEASUREMENT OF THE STRESSES AT CAISSON WORK OF A BUILDING

(JSCE Oct. 1955)

Dr. Eng., Yoshitsura Yokoo, C.E. Member, Dr. Eng., Yoshiji Niwa, C.E. Member, and Chūji Mori, C.E. Assoc. Member

Synopsis During the setting work of the caisson of a building, we measured the stresses of the caisson, from March 1 to June 3, 1954. Carlson type elastic wire strain meters were used in this measurements. From this results, loading stresses of the caisson, due to own weight of it and earth pressure acting on its side walls, are discussed. And it was revealed that temperature stresses occur in this caisson, but they are much smaller than loading stresses.

要旨 本報告は昭和 29 年 3 月 1 日～6 月 3 日の 3 カ月余にわたり、ビルディング潜函体の沈下作業中におけるヒズミを Carlson 型ヒズミ計によつて測定し、潜函体自重の支持方法及び側壁に加わると土圧¹⁾と発生応力との関係、並びに温度応力の状態について述べたものであつて、潜函体の設計並びに施工を合理化するための資料を得た一例を示したものである。

1. 緒言

構造物の応力測定を行う目的は、これに惹起される応力状態を究明して今後の合理的な設計並びに施工を計るための資料をうること、及び随時測定を行つて常に安全性を確かめることにある。潜函体においては、沈下作業中における応力状態に不明な点が多くまたこれが重要なものと考えられるので、本測定では目的を前者に限定し、この期間中における潜函体の一般的な応力状態の傾向を調査することにした。このような測

定を行うには長期間安定したヒズミ計を使用する必要があり、現地の種々な条件を検討した結果、Carlson 型電気抵抗線ヒズミ計が最も適したものと認めこのヒズミ計を使用することにした。

使用した Carlson 型ヒズミ計は著者等の製作したものである²⁾。この型式のヒズミ計は、元来アメリカにおいてダム³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾の応力測定を目的として考案されたものであるが³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾、わが国においても最近各地のダムのみならず、その他の特殊な用途に使用され¹⁾⁹⁾やや普及してきたので、ここではただ実測方法と結果及びその考案について述べる。

2. 潜函体工事の概要

測定を実施したビルディングの地下部分は図-1に示すような潜函体で、地上にて築造後沈下させ地下約 11 m の所定位置に設定された。1 階及び地下 1 階床スラブは沈下前にコンクリート打設が行われた。斜材は沈下工事の補強用部材であつて沈下後は撤去されるものである。潜函体重量(地上 2 階までの鉄骨組みを含めて)は 8406 t であるが、その他の積載重量を

*京都大学教授, 工学部土木工学教室

**京都大学助教授, 工学研究所

***京都大学講師, 工学部土木工学教室

見込むと 9600 t と考えられる。これを周囲の刃型のみで支持する場合には、刃型に加わる平均荷重強度は 57.1 t/m となる。

2月13日より中央部の基礎掘削が開始され、2月22日から徐々に沈下を始め、測定を開始した3月1日には、潜函体自重は完全

に刃型によって支持されている状態であった。潜函体沈下状況は図-6に示すとおりであり、この間をつぎのような期間に分けて考察することにする。

第1期：中央部を掘削して逐次沈下が進行してゆく4月7日まで。

第2期：4月8日～5月8日の期間。この間に中央部の一部のハリが接地し始め、沈下を抑制するため1列内側のトラスの下に木組みを行い、ついで砂箱を置いてこれに自重を支持させた。

第3期：5月9日以降。この間に砂箱をとりはずし、第2期の間に打設した中央部基礎板（1列内側トラスより内部）に接着するまで潜函体を沈下させ、その後残部の外側基礎を完成した。

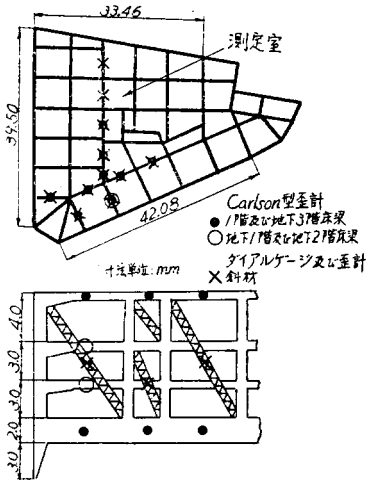
3. ヒズミ計の性質と測定方法

使用したヒズミ計の特性は各個についてわづかな差はあるが、標準は表-1に示すとおりである。測定には5ダイヤルを有するブリッジ型ホイートストン・ブリッジと指針検流計（電圧感度 $35 \times 10^{-5} V$ 、電流感度 $4 \times 10^{-7} A$ 、線輪抵抗 150 Ω ）を用い、電源は3Vとした。ヒズミ計に張つた2本の抵抗線の抵抗比及び直列抵抗は直接ブリッジで読みとるようにした¹⁰⁾。測定に際しては、

表-1 ヒズミ計の特性

抵抗比の小數点以下5桁目は検流計の振れで0または5の判定をす	ゲージ長さ	205 mm
	0°Cにおける直列抵抗	170 Ω
	抵抗比 1×10^{-4} 差に対する直列抵抗 1 Ω 差に対する温度	7×10^{-5} 6.7°C
	ヒズミ計膨脹係數	1.85×10^{-5}

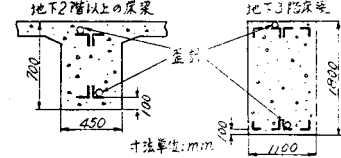
図-1 潜函体の概要



ることとした。直列抵抗は原則として 0.01 Ω まで精密に測定したが、計器の精度、測定所要時間、要求される精度などから考えて、小数点以下2桁目は検流計の振れで推定すれば十分であった。従つて本測定値は、表-1に示される値よりもヒズミの感度はさらに高く、温度の感度はより低いものである。

電線はビニール絶縁被覆の3芯線を使用し、すべて図-1に示す測定室に導き、その末端にはメタルコンセメントを取りつけた。接続電線の抵抗値は約 0.8 Ω に過ぎなかつたので、測定値に接続電線の抵抗による補正を施さなかつた。ヒズミ計は図-1に示すようにC列及び2列トラスにおいて、主として斜材、1階床バリ及び地下3階床バリのスパン中央に総計 58 個配置した。これらの位置においてヒズミ計は部材の上下に設置したのであつて、水平材断面中の位置は図-2に示すようである。なおこの他施工管理の目的で、斜材ではダイヤルゲージ（ゲージ長 1 m）によるヒズミ測定が行われ

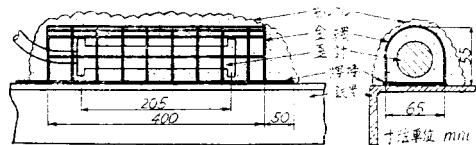
図-2 ヒズミ計の位置



た。鉄筋及び鉄骨コンクリート部材のヒズミを測定する

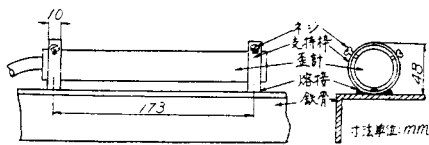
には、部材表面のコンクリートまたは内部の鋼材のヒズミを測定するのが望ましい。しかしながら準備期間の関係上、床バリでは図-3に示すような方法でヒズミ計を設置した。すなわち鉄骨のフランジ・アングルに金網（8番線製、網目 2.5 cm）を溶接し、この中に硬練りモルタルを約 1 cm 敷き、その上にヒズミ計を置いて金網の内部をモルタルで充填した。この方法によつて、収縮または引張応力による亀裂が発生¹¹⁾しても金網によつてその成長を阻止しうること、ヒズミ計の周囲のコンクリートと鉄骨とがかなり一体として作用すること、及び施工中ヒズミ計を保護することなどが期待された。

図-3 ハリ材のヒズミ計設置方法



その後斜材では図-4に示すようにフランジに鋼製の支持棒を溶接し、これにヒズミ計をネジで締め付ける方法を採用し、全体を木箱でおおつて保護した。後述のようにいずれの方法によつてもかなり満足すべき結果を得ることができたが、もちろん後者の方が優れ

図-4 斜材のヒズミ計設置方法

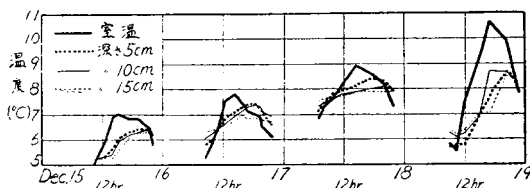


ていると考えられる。なお、もし鉄筋のヒズミを測定する場合には鉄筋計を利用するのが有利である。

4. 温度状態

日射状況及び気温の日変化によつて潜函体各部材に温度差を生じ、温度応力が惹起されるので、なるべく部材断面の温度分布が一樣であり、また各部材の温度差の少ない時刻に測定を行わなければ、外力による応力状態を適確に抽出することができない。それゆえこの条件を満足するおよその測定時刻を求めるため、30×30×55 cm のコンクリート塊を製作し、これにアルコール寒暖計を表面より 5, 10, 15 cm の位置に埋めて実験室(木造平家, 北向き)内に放置し室温とコンクリート内部温度との関係を求めた。その測定結果は図-5 のようである。

図-5 室温とコンクリート内部温度との関係



これより内部ほど室温変化の及ぼす影響は小さく、午前 11 時及び午後 9 時頃におよそ温度分布が一樣になり、しかも室温に近いことがわかる。実測にこの結果を適用するには、条件にかなりの相違が認められるが、一応午前 10~12 時の間に測定を行うように努めた。実測にあつてヒズミ計指示温度の絶対値に不合

理な点が認められたので、やむをえず 3 月 1 日を基準とし、この日からの相対的な温度差のみを求めた。C 列トラスに属する測定値のみを図-6 及び図-8 に示す。これらの図においては各階床に上り、1 FL, 1 B, 2 B, 3 B, 斜材に D の記号を用い、ヒズミ計位置は C 列の格点 1~2 の間にあるものを C 12 のように表わした。

これらの結果はかなり齊一な値を示している。ヒズミ計指示温度の絶対値にかなり大きい誤差の生じたのは、運搬または設置時における強制に原因するようには思われる。ヒズミ計の温度と直列抵抗の関係を示す直線は、たとえ最初の線から偏していても、その傾斜は不変であることを検定によつて確かめることができた。斜材の温度は潜函体中の気温及び斜材の平均温度を表わしていると考えられるものであつて、いずれの斜材においてもほぼ同一の値を示している。

数日周期の温度変化に対して、1 階床バリはほぼ潜函体内気温と同じ傾向の変動を示しているが、その変動はむしろ顕著である。地下 3 階床バリではこの変動はかなり小さくなつていく。これは潜函体内の空気が各所の床、壁などによつてかなり外界と遮断されていること、地下 3 階床バリはやや深所にあつて土に接触する機会が多く、しかも部材断面が大きいことによるものである。1 階及び地下 3 階の床バリはそれぞれ特徴のある変化を示しているが、地下 1 階及び 2 階床バリの温度はこの中間にあり、むしろ前者に近く潜函体内の気温に近い。大局的には各階ごとに同一温度にあると考えてよいと思われる。

5. ヒズミの測定値とその考察

測定を開始した 3 月 1 日以前におけるヒズミ状態は明らかでないから、この日を基準としてこれに対する相対的なヒズミの変化を求めることにした。ただ斜材においては、最初からダイヤルゲージによるヒズミ測定が行われていたので、その 3 月 1 日の測定値を用いて絶対値を記入した。図-7 及び図-8 に測定値の一

図-6 沈下量及び斜材の温度経歴

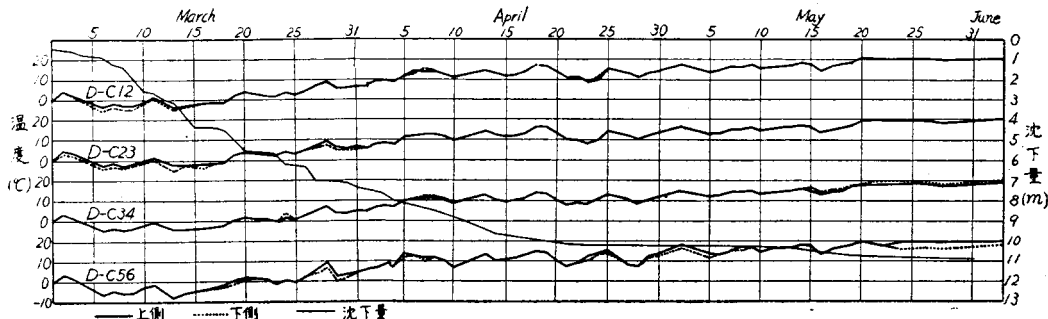
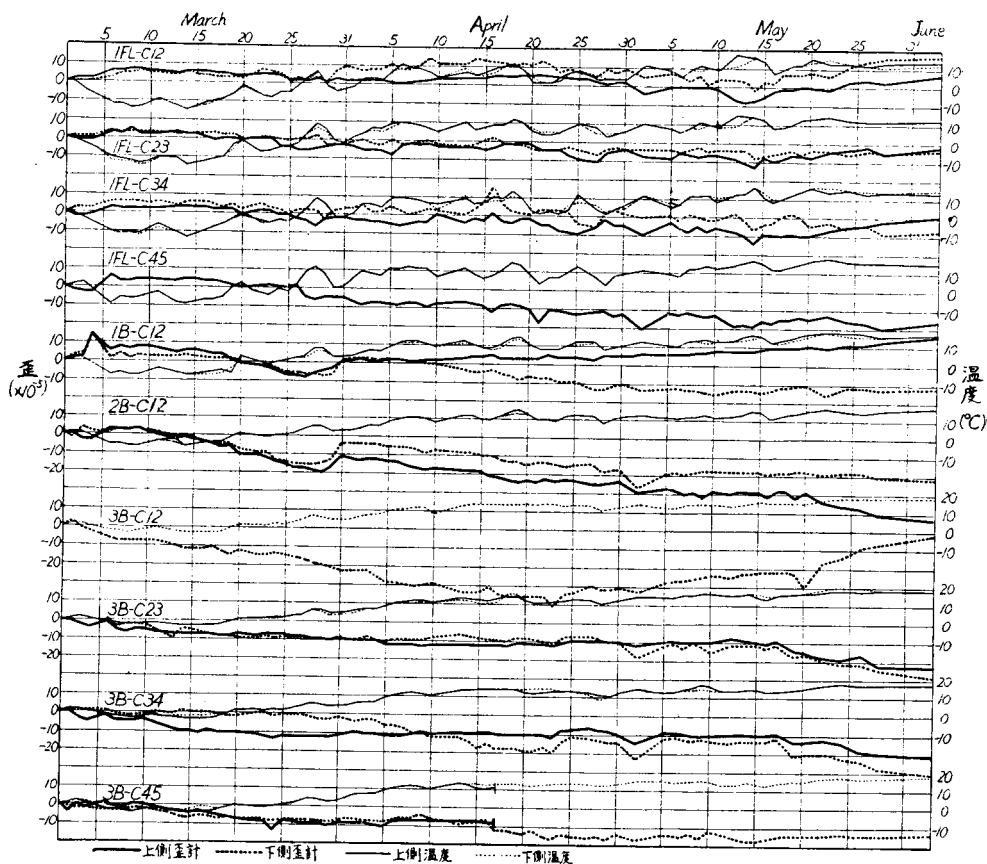


図-7 ハリ材の温度及びヒズミ経歴



部を示す。これらのヒズミの測定値は、コンクリート及び鋼の膨張係数を 1.15×10^{-5} として温度補正を行っているが、コンクリートの成長、湿度変化、及びクリープの影響に対する補正を施していない。測定期間におけるコンクリートの材令は 70~160 日であった。

これらの図で部材上下のヒズミに大差のないことから、部材に作用する曲げモーメントはかなり小さいと推定される。ただしハリではやや曲げモーメントの大きいものも認められる。また斜材及び各階のハリは、それぞれのグループによつてかなり共通した傾向がみられる。それゆえつぎにこのような傾向とその原因について考察を進める。

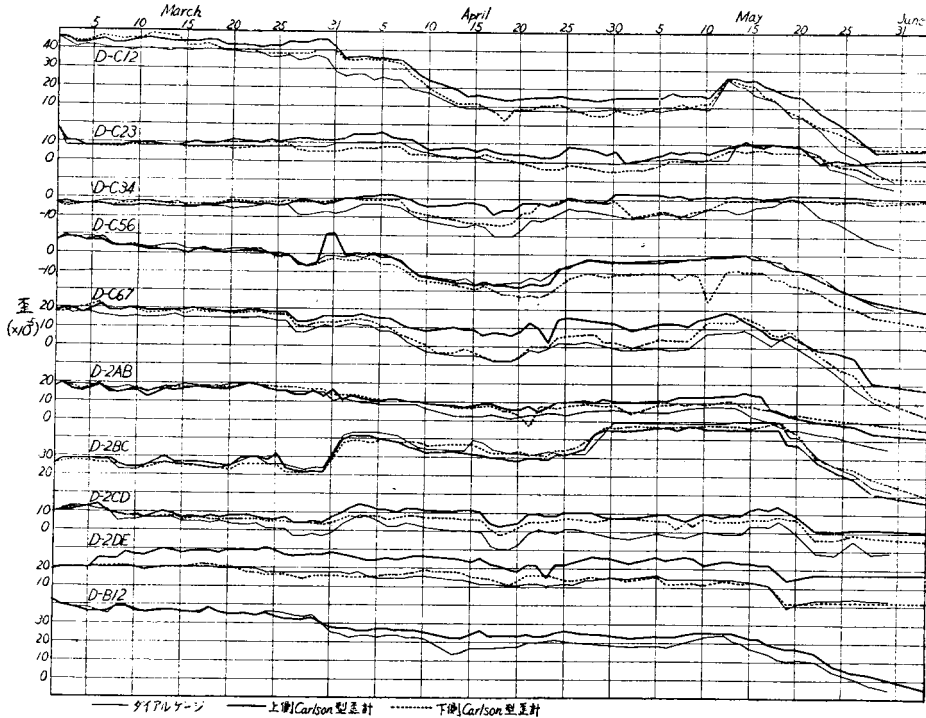
(1) 温度応力 1階床バリでは数日周期の温度変化に対してヒズミの記録にも同様な周期変動が認められ、温度の高低に対して圧縮または引張応力をうける傾向が認められる。これは明らかに温度応力であつて、地下3階床バリは断面が大きく、しかも数日周期の温度変動をうけることが少ないことにより、上部が下部による拘束をうけた結果によるものである。この

傾向は斜材ではほとんど認められないようであるが、この原因としては水平方向の温度分布が比較的一様であつて上下方向に拘束されることが少ないこと、外荷重による応力変化が大きいために温度応力を摘出しにくいことなどが考えられる。

膨張係数を $1.15 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ とすると、完全拘束の場合単位温度応力は、コンクリートでは 2.3 kg/cm^2 、鋼では 23 kg/cm^2 (以下コンクリート及び鋼のヤング率をそれぞれ $2 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 及び $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ と仮定する) である。しかし実際には拘束が不完全であること、温度差が 5°C 以内であることなどから、実測結果にみられるように、一般に温度応力は考慮の対象にする必要がないものと考えられる。

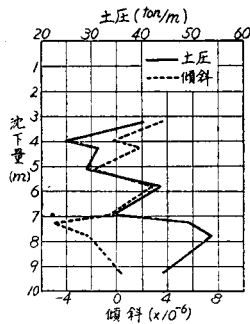
(2) 土圧 (傾斜及び沈下量) と応力との関係 側壁に作用する土圧は、潜函体の沈下量が 6m に達するまではその傾斜に大きく支配され、ことに刃先付近においていちじるしいことが指摘されている¹⁾。しかしながら部材応力と傾斜量の間には相互関係が認められないようである。傾斜の激しい場合について側壁

図-8 斜材のヒズミ経歴



に作用する土圧を求め、**図-9** 傾斜と土圧との関係

刃型部分 3m を除いたそれより上部の側壁巾 1m 当りに加わる土圧を概算すれば **図-9** のようになる。これによれば、6m 付近までは傾斜に応じて総土圧がかなり変動するが 50 t/m を超えることはない。また沈下量が大きくなると土圧は傾斜にさほど関係がなく、一般的傾向としては沈下量とともに総土圧が増加する。

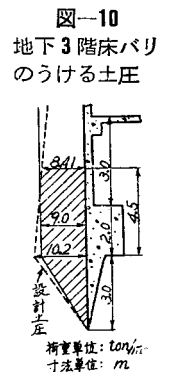


いま側壁巾 1m 当り 10t の土圧が水平に作用し、ハリ及び床よりなる水平材が一様に抵抗するものと仮定して計算すれば、水平材の平均応力は約 0.18 kg/cm² にすぎない。それゆえ測定結果を参照して、一般に沈下量及び傾斜によつてトラス全体には大きい応力が生ずることはないと考えられる。しかしながら土圧が刃型付近に集中するような場合には、地下3階床バリにある程度の応力が惹起されるように思われる。これについては刃型内外に作用する土圧を知る必要があるが、刃型外側に大きい土圧が作用しても、地下3階床バリは必ずしも圧縮応力が増大しないことから、刃

型内外の土圧の大きさにはある程度の関連があり、傾斜による大きい外側からの土圧がいくぶん内側からの土圧によつて打ち消され、その結果傾斜と部材応力との間の関連性が不明確になるように考えられる。

沈下量が 7m 以上になると下部の土圧は平均 9 t/m² 程度になるので、いま地下3階床バリが **図-10** の斜線領域の土圧を受け持つと考えると(同図の破線は設計土圧である)、地下3階床バリに生ずる応力は 12.7 kg/cm² となる。第1期の間は中央部の掘削状況に大差なく、9m 近くまで潜函体が

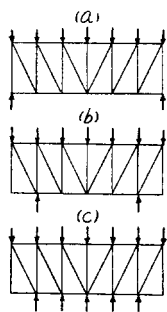
沈下したので、この間の応力は主として土圧によるものと考えられ、地下3階床バリはこの間徐々に圧縮力を受け 10×10⁻⁵ 程度のヒズミを生じている。これに対するコンクリート応力は 20 kg/cm² であり、前述の計算値より大きい。第1期の前半において1階床バリに引張応力が作用しているのは、温度応力と、下部に土圧が集中したことによるものと推定される。斜材においては、土圧による応力はつぎに述べる潜函体自重による応力にくらべて小さい。



(3) 潜函体自重(沈下作業状況)と応力との関係

測定を開始した3月1日には、潜函体自重が完全に刃型に加わった状態にあつて、斜材はダイヤルゲージによるヒズミ測定値に示されるように大きい引張応力を受けている。この場合の潜函体に作用する荷重は図-11(a)の状態にあると考えられるから、1階床バリは圧縮力、地下3階床バリは引張力を受けているはずである。

図-11
潜函体自重の支持状況



第1期中の応力変化は前述のように主として土圧によるものであると考えられるが、第2期に入って中央部のハリが接地し始め、さらに沈下を抑制するために刃型より1列内側で自重を受けさせたため、図-11(a)の状態から(b)の状態に変わり始めたと考えられる。従つて測定値にはそれまでと逆の応力状態が認められる。すなわち第2期前半では沈下量従つて土圧変化がないにもかかわらず、1階床バリに引張、斜材及び地下3階床バリに圧縮応力が增大している。このような自重による応力は、斜材に大きい影響を与えるが、水平材に対してあまり影響を及ぼさないで、以下に主として斜材の応力傾向を観察する。

木組み及び砂箱によつて自重を支持している間は、応力状態に変化なくほとんど最初の状態に復しているが、5月9日に砂箱を撤去し始めると荷重状態は再び図-11(a)に近くなつて斜材には引張力が加わる。しかし中央部の一部で接地しているため、この値は第1期のように大きくはならない。そののち順次内部に作つた基礎板に地下3階床バリが接着するにつれて圧縮応力が増加している。最後には中央部で潜函体自重を支持させたので図-11(c)の状態に近くなり、斜材にはむしろ圧縮力が作用する結果になつた。沈下作業中斜材に作用した応力は $1000 \sim -500 \text{ kg/cm}^2$ であつた。

3月末の応力状態は図-11(a)の状態によるものと、土圧によるものとの和である。このときと4月下旬とは土圧に大差なく、また斜材は4月下旬では応力がほとんど作用していない。斜材応力が小さければ潜函体自重による応力が小さいと考えてよいから、4月下旬の潜函体応力は3月末と同じ土圧によるもののみであると考え、両者の差が図-11(a)の状態による水平材の応力、すなわち潜函体自重によつて床バリの受ける最大応力であると考えることができる。この値は一般に小さく、1階床バリはヒズミ変動が激しくて明瞭でないが、地下3階床バリにおいて 7×10^{-5} 以下に過ぎない。これに対するコンクリート応力は14

kg/cm^2 以下である。

6. 結 語

準備の都合上すでに荷重が作用してから測定を始めたので、水平材応力の絶対値を正確に知ることができず、これを推測せねばならなかつた。また測定中8個のヒズミ計が不良となつた。その他測定技術の未熟の点も認められたが、長期間にわたるヒズミ測定にはCarlson型ヒズミ計は有利なものであつて、以上に述べたように沈下作業、土圧などと発生応力との関係、温度応力などについてかなり明らかにすることができた。ここでは3カ月余にわたるヒズミの測定結果と測定値そのものの考察に止め、当潜函体の設計、施工方針との比較検討を省略したが、一般に測定結果は設計、施工の合理性をかなり明らかにしていることを付記する。

鉄筋及び鉄骨コンクリート部材では、断面中の応力分布や付着応力が問題になる。またハリ材のヒズミ測定位置はコンクリート表面でも鋼材でもない。それゆえこれらの諸点並びにコンクリートの成長、温度変化などによる体積変化及びクリープなどについて考察を進める必要があるが、これらは本研究の目的に重大な支障を及ぼすことはないように思われる。

本測定の準備及び実施について種種の配慮をいただいた竹中工務店の関係者各位、並びに測定、資料の整理に協力をいただいた京都大学大学院学生田口重雄、大阪市土木局塩谷 馨、九州電力株式会社中沢直之の諸君に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 横尾義貫・畑中元弘・五十嵐定義：電気抵抗線式土圧計の試作と其の応用，日本建築学会論文集，49号，昭29，p. 75
- 2) 丹羽義次・森忠次：カールソン式歪計について，日本材料試験協会第2期総会講演会にて発表，昭28
- 3) Roy Y. Carlson : Five Years Improvement of the Elastic-wire Strainmeter, E.N.R., Vol. 114, 1935, p. 696
- 4) Roy W. Carlson, David Pirtz : Development of a Device for the Direct Measurement of Compressive Stress, Jour. of A.C.I., Vol. 24, 1952, p. 201
- 5) J.M. Raphael : The Development of Stresses in Shasta Dam, Proc. A.S.C.E., Vol. 78, Sep. No. 117, 1952
- 6) Measurement of the Structural Behavior of Norris and Hiwassee Dams, T.V.A., Technical Monograph No. 67, 1950
- 7) Measurements of the Structural Behavior at Fontana Dam, T.V.A., Technical Monograph No. 69, 1953

- 8) Douglas McHenry, Harold E. Hosticka : Symposium on Dynamic Stress Determinations, A.S.T.M., Special Technical Publication No. 104, 1950, p. 43.
- 9) 丹羽義次・畑中元弘・森 忠次：アーチダムの振動時における応力状態について，京大工研彙報，第7輯，投稿中。
- 10) A.U. Huggenberger : Talsperren-Messtechnik, 1951, p. 16 Springer-Verlag.
- 11) Rudolf Kuhn : Temperatur- und Dehnungsmessungen an einem Wehrpfeiler, Beton- und Stahlbetonbau, 47. Jg., Hefte 9/10, 1952 (昭.30.2.22)

水道用大口径電弧溶接鋼管の残留応力測定実験

正 員 岩 塚 良 三*

MEASUREMENT OF THE RESIDUAL STRESSES OF THE WATER WORKS LARGE DIAMETER WELDED STEEL PIPES

(JSCE Oct. 1955)

Ryōzō Iwatsuka, C.E. Member

Synopsis Three steel pipes (inner diameter 1 800 mm, thickness 16 mm, length 1500 mm) are welded longitudinally by hand or automatic welding (fuse arc or unionmelt method), and measured the local stresses by sectioning method, and now after annealing by part or relieving temperature method, the residual stresses on the other side are measured. Then these pipes are welded circumferentially by hand or fuse arc welding, and measured the residual stresses, and now after annealing local stress or relieving by peening, the residual stresses on the other side are measured. In this paper these stresses after welding and relieving are compared by plotting.

1. 緒 言

本論文は大口径鋼管を電弧溶接した場合，溶接後と応力緩和後にどれくらいの応力が残留するかを測定するため内径 1 800 mm，管長 1.5 m，管厚 16 mm の 3 本をそれぞれ縦方向に溶接し，溶接後と緩和後の応力を測定した。さらに上記 3 本の溶接鋼管を 1 本ずつ周方向に溶接し，溶接後と応力緩和後の応力を測定した。

溶接方法としては，縦方向溶接の場合には手溶接，フューズアーク溶接，ユニオンメルト溶接を行い，周方向溶接の場合は手溶接，フューズアーク溶接によつた。

なお応力緩和法は縦方向溶接の場合，局部焼鈍，低温焼鈍により，周方向溶接の場合，局部焼鈍とピーニングによつた。

2. 縦接手溶接部の残留応力

(1) 試験管の溶接 縦接手電弧溶接時の残留応力測定に供した試験管は 3 本で，内径 1 800 mm，管厚 16 mm，管長 1 500 mm である。素材は半円状に冷間曲げ加工後，650°C で 1 時間焼鈍し，加工による残留応力を完全に除去したのち，円周上の 2 カ所でシーム溶接した。残留応力測定はそのうちの 1 カ所の溶接線に対して行い，他は応力焼鈍後の測定に供した。溶接

方式による残留応力の差異を調査するため 3 本の管にそれぞれ手溶接，フューズアーク溶接，ユニオンメルト溶接を施工した場合について測定を行つた。各場合についての溶接条件は表-1のとおりである。

表-1 各供試管の溶接条件

管種	固定形状	溶接機	電流	電圧	溶接速度	溶接順序	溶接機	備考	
A 手 初		内	20	210	/	手溶接	10mm 交流電弧 溶接機	溶接線 の 引 取 り 方	
			4	210	/				
			5	210	/				
			外	4	210				/
				5	210				/
				5	270				/
B ユニ オン メ ルト		内	10	650	30	自動溶接機	フューズ アーク 溶接機 (アノリヤ)	溶接線 の 引 取 り 方	
			10	650	30				
			10	650	30				
			外	10	650				30
				10	650				30
				10	650				30
C フ ュー ズ ア ー ク		内	10	650	15	自動溶接機	フューズ アーク 溶接機 (東 国)	溶接線 の 引 取 り 方	
			10	650	15				
			10	650	15				
			外	10	650				15
				10	650				15
				10	650				15

(2) 残留応力の測定結果 残留応力の測定はすべて分割法によつて行つた。応力測定位置は管の中央，及び両端部について溶接線方向の応力，及びこれと直角方向の応力の分布を求めた。

ゲージの貼付位置は各管について若干の相違はあるが，おおむね図-1のごとく溶接線近傍の応力分布を

* 東京都水道局玉川浄水場長