

新設された床版試験機とその性能

福田 武雄・星 埜 和・久保 慶三郎

ようやく多くの人々の協力で、床版試験機が麻布庁舎に完成されたので、床版試験機を多くの人に理解していただくために、その特徴、性能、完成するまでの経過等について報告し、それと同時に、本試験機の第1号供試体とも言うべき小型床版の強度試験結果につき、弾性範囲と、塑性範囲とを比較しながら、結果の概略を述べる。

1. ま え が き

床版試験機の新設に対する予算要求をし、また昭和32年度に初めて予算が割り当てられてから、途中で当研究所の移転の話が起り、また実際に昭和35年度に移転を開始したりして、その完成に非常な時日を要したのであったが、昭和36年度末には組立が完了し、その後、2, 3カ所の手直しおよび調整をした。このような迂余曲折を経て、最近に至って、ようやく使用できる状態になり、小型床版の実験も終わったので、ここに床版試験機の概要と、その性能について述べる。

床版試験機は従来の引張、圧縮、および曲げ試験機とは、機能上からも、また形状からも異なったものである。すなわち従来の試験機は面積的拡がりをもつ供試体、たとえば橋の床版、道路の舗装等はそのふところが狭いために試験することができなかつたのである。それらの構造物の強度試験を行なう場合には、これらの供試体を置くだけの空間が第一に必要なってくる。つぎには、こ

これらの供試体に荷重する装置が設備されなければならない。荷重装置は荷重を供試体にかける部分と、それを支える部分とから成り立っている。たとえば床版の中央点に P なる荷重をかけると、床版

には大地からの反力 R_1 , R_2 が発生するが、上向きの P なる力はなんらかの装置方法で支えられねばならない(第1図参照)。

この力を支えるのは機械の重さ、あるいは機械に載せた重錘でもよい。(第2図型式I参照) この場合は荷重部分は供試体を

またぐ桁に取り付けられ、この桁は十分な支持力のあるレール上に乗ってればよい。しかしながら重錘を使用しない場合は第2図の型式IIの試験機になる。型式IIにおいては、荷重部分の反力は両端の棒I, IIで支えられる梁Iで受け持つ。したがって梁IIには両端において棒I, IIの軸力が、また中央部分においては床版の反力が伝達され、全体が釣合の状態にある。型式IIの変改した形のものとしてIIを省略して棒I, IIの軸力を地下に碇着した基礎にとらせるものもある。

この種の試験機として、建設省の土木研究所の小型の床版試験機がある。この試験機は第2図の型式IIに属する。この機械では小型の模型試験くらいの大きさのものしか試験できないのと、最大荷重も小さく、破壊近辺の変形、応力状態を研究するには不十分のものである。最近新しい型のものが設備されている。

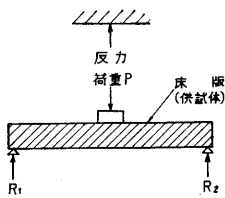
弾性範囲の鋼床版、およびその他の床版、床組等については、城ガ島大橋の応力測定その他の場合に行なわれているように、現場実験等により調査研究されている。新設された本床版試験機は実物に近い床版の破壊近くまでの応力状態、変形を研究することを目的としたものである。言うまでもなく床版とは1例として挙げたものであり、供試体を置く場所をかなり広くとっているので連続梁、床組、シェル構造物等各種構造物を試験できる。

ここで構造物の破壊試験のもつ意義について、少し述べることにする。直接的意義は構造物の終極強度を求めることができるので、設計を十分批判することができる。つぎには弾性設計のみでなく、最近発達してきた塑性設計の理論を完全に検討する資料が得られるので、これにより、塑性設計の進歩に貢献することができる。また普通の設計方法において、構造物各部を完全に釣合のとれた、同じ強度をもつように設計することはなかなか困難であるし、また釣合のとれた設計をしたと考えられる場合でも弱点の存在する場合がある。これらの弱点は弾性範囲の模型実験ならびに実物実験では発見しにくい場合があるが、破壊実験を行なうと、明瞭に弱点を指摘することができる。

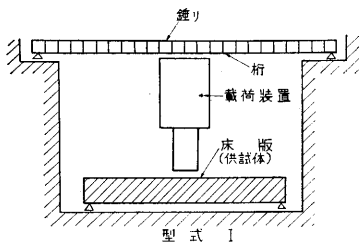
2. 新設されるまで

床版試験機が新設完成されるまでの経過について若干ふれてみたいと思う。

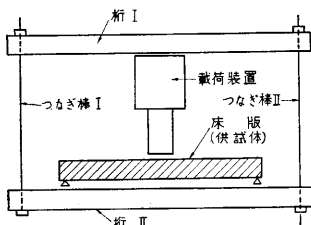
最近橋梁、道路の舗装版などの土木構造物がうける荷



第1図



型式 I



型式 II

第2図

重が著しく増大し、それらの構造物の設計の合理化、経済化が強く要望されるようになった。設計の経済化は合理性と正確性とを前提とし、それとともに進歩するものでなければならない。特に道路の舗装版の場合は、土質力学の急速な進歩につれて、基礎の支持力理論は進歩したが、舗装版と路盤の支持力との協同作用、構成材料と版の強度等について、さらに研究しなければならない。この分野で特に要求されているものは構造物の破壊強度、および破壊時の変形、ひずみの分布等に関する研究であろうと思われる。

その反面、わが国では試験機は多くの場合部材の引張、圧縮および曲げ強度に用いるアムスラー型試験機を意味しているといっても過言ではないと思う。本試験機を計画した当時は、床版のような構造物の試験機は小型のものが僅かに存する程度であった。したがってこの方面の実験的研究は諸外国に比して、また他の分野のものに比して極めて立ち遅れた状態にあった。このような状態下で床版、道路舗装版等の平面的にかなり大きい供試体の破壊試験の必要が痛感され、また新設を企画したのは昭和 29 年であった。

昭和 30 年度の当研究所中間試験研究費に申請したところ、幸いにも各委員に認められて、初年度経費として、約 64 万円の研究費を配付された。当初の全体計画は、つぎのとおりであった。

- (1) 試験機の最大荷重は 200 ton とし、これを 2 台 (1 台 100 ton) の試験機で達成するようにする。
- (2) 供試体の面積は 10 m×5.0 m を考える。
- (3) ラムシリンダは上下にも 50 cm くらい移動できるのが望ましいが、予算との関係で強くは希望しない。
- (4) ラムシリンダは供試体の任意の位置にセットすることができる。換言すれば、供試体の任意の位置に載荷を可能にする。
- (5) そのためには機械部分 (ポンプ、ラムシリンダその他) を移動可能にしなければならないが、これらの移動は電動式とする。
- (6) 床版試験機の形式は第 2 図の型式の変改した形とし、上向きの反力は杭でとらせる形とした。また試験機は移動可能にしなければならないので、梁 I の反力をとらせるには特殊な力の伝達装置を考え、機械部分と梁 I とは杭に固定したレールの上を動かせるようにした等であった。見積りした結果は

所要経費総額	790 万円
備品費	560 万円
役務費	230 万円

であった。備品費は桁および載荷装置と、変位測定装置、荷重検査装置等の費用であり、役務費は試験機の基礎の建設に当てられるものであった。

昭和 30 年度は変位および荷重の測定装置の購入に予

算を当てた。これと同時に本格的に床版試験機の設計の検討を行なった。経費等を考えながら、改良可能な点として、

- (1) 試験機を上下にも移動可能にし、平面的拡がりをもった供試体のみでなく、シェル構造のような立体的拡がりをもった供試体の試験もできるようにする。
- (2) 荷重の測定には振子式検力器を用い、ブルドン管式のものを用いず、場合によっては検力器を機械に設置し、検定リングによる荷重の検定を省略してもさしつかえないようにする。
- (3) 力の測定の精度をあげるため振子式検力器を移動可能になっている載荷装置と同一の梁にのせる。等であつた。

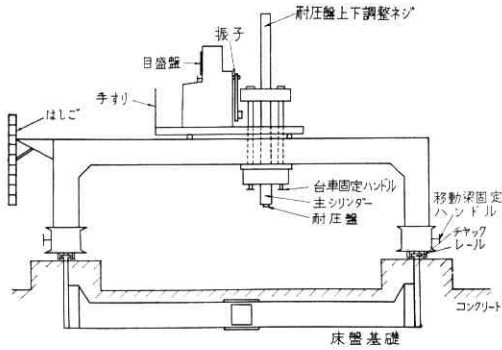
昭和 31 年度には載荷装置を試作することになった。試作に当たっては、当初の設計を変えて、立体的構造物の試験も可能になるように考え、上下の移動量を 1.50 m とした。この場合に、(1) 載荷装置の載っている桁全部を移動させる方法と、(2) ラムシリンダのみを上下に移動可能にする方法とが考えられるが、予算の関係から後者を採用することにした。その結果、載荷装置は梁ではなくて、ラーメン (剛節点のフレーム) の上にのせるように変えた。当年度には基礎工を除く試験機 1 基分 (最大荷重=100 ton) を製作した。続く昭和 22 年度に、同じ試験機の 2 基目が完成し、計 2 基最大荷重 200 ton の載荷装置の製作が完了した。この頃になると、当研究所の東京移転の件がかなり明確になり、試験機の真の完成は遅延した。すなわち東京の庁舎内に、床版試験室を移転後に建設することを考えた。

昭和 34 年度に東京移転が確定し、昭和 35 年度に基礎工および建屋を建築した。基礎工も当初杭打基礎で設計していたが、これは高価につくのと、31 年から 32 年の間の鉄材の値上がりと、一部の設計変更のために予算を超過していたので、つぎのように設計を変えた。

- (1) 杭打基礎はやめ、第 2 図の型式 II にする (第 3, 4 図参照)。
- (2) レール面は建物床面より上げ、使用に便利ならしめる。
- (3) 道路の舗装面の試験場所と橋の床版の試験場所とは区別し、とりえず構造物の試験用建屋とその基礎工を作り、舗装版の試験は戸外に 10m の区間で行なうが、その完成は少し延期される。これは予算の関係と、舗装版の基礎である土の性質を変化して試験するときの砂塵等の試験機への悪影響を除くためである。

(4) そのために床版試験室の外側の扉は試験機の出入に便なるようにしなければならないので、扉はシャッタを考える。

(5) 供試体の支持台の間隔は最小 1 m より、10 m まで任意に選べるようにする。



第3図 床版試験機

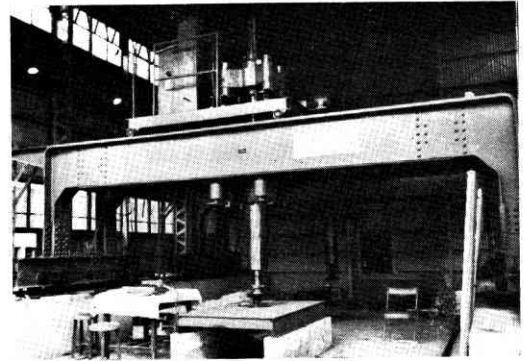
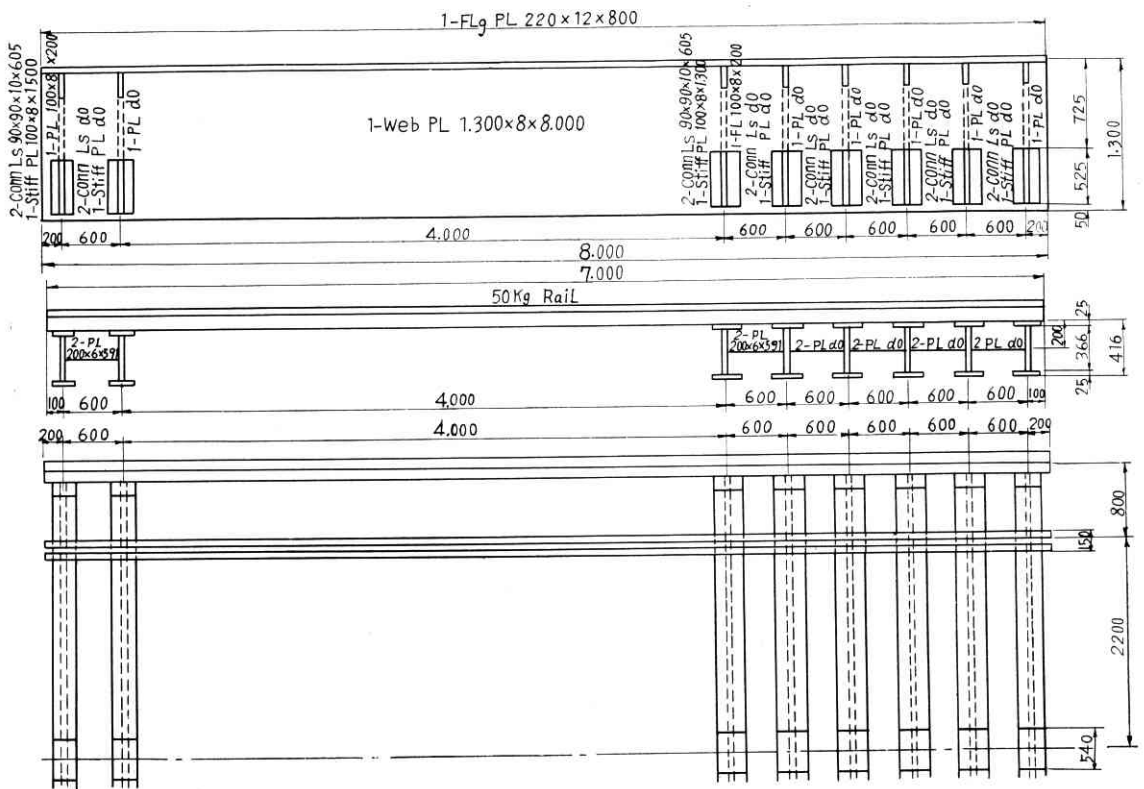


写真1



第4図 床版試験機基礎

以上の新構想で完成したのが写真1に示す床版試験室である。建屋をふくめて総工費約1,100万円である。道路舗装版用の基礎工の建設費は含まれていない。

3. 試験機の検定

試験機の試作に当たって、製作者ともよく打合せをしたが、理論的に検討できない箇所もあり、これらの点は強度試験、あるいは応力測定にゆずらざるをえなかった。そのおもなものは、

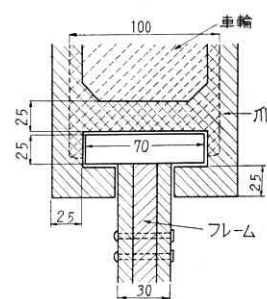
- (1) レール頭部の強度。
- (2) ラーメンの爪に働く力の分布。
- (3) スプリングの油圧に及ぼす影響。

等であった。その他の点、たとえばフレームの強さ等に

については計算で検査して十分な強さがある。

(1) レール頭部の強度

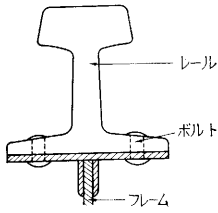
基礎工の上にてているレールは、試験機の走行用と、試験機に働く上向きの反力を支える爪のつかみ場所と、二つの役目をもつことになる(第5



第5図

図参照).

この爪にかかる力は最大 35 ton を考えなければなら



第 6 図

ないので、第 6 図のように、鉄道用のレールを使用することになると、φ 50 のボルトをかなり密に置かねばならない。そこで鉄道用のレールの代わりに、第 5 図の π 形の断面のものを考え、これの頭をレールの代用に使い、フレームとの結合はリベットによることにした。π 形の脚の板厚が 8 mm、フレームの板も 8 mm であるので、π 形の頭と脚との溶接が L 形溶接にならざるをえなく、しかも大きい反力に耐えなければならないので、溶接した π 形の強度試験を行なった。強度試験は幅 40 mm の供試体について行なった。試験結果を第 1 表に示す。

第 1 表

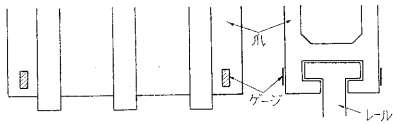
供試験番号	破断荷重	単位長さ当たり引張強度
1	15,900 kg	3,970 kg
2	15,000 "	3,750 "
3	19,700 "	4,950 "
4	14,800 "	3,700 "

平均 4,090 kg

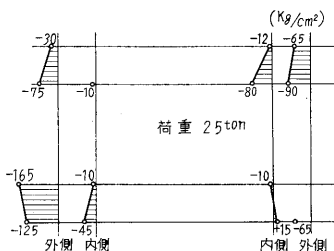
爪の長さは 30 cm あるので、最小強度をとっても、111 ton の耐力があることになり、安全率 3.17 はあることが判明した。

(2) ラーメンの爪に働く力の分布

載荷装置をのせているラーメンは 4 本の脚で支えられており、脚の下部に爪がついている。爪はそれぞれ対になっているので、計 8 枚の爪で上向きの反力を支えている。この結果、反力の分布に不均等ができることはやむをえないと思われるが、不均等のためにある爪に荷重が過度に集中すると、爪の強度が不足するばかりでなく、レ



第 7 図 爪に貼付した抵抗線歪計



第 8 図 爪の応力分布

ールの頭部に曲げモーメントが作用する結果となるので、この点を十分に検査しておかねばならない。

爪のレールに向いていない側に、第 7 図に示すよう

に、抵抗線歪計を貼付して、反力の分布を測定した。第 8 図は測定結果の 1 例を示している。試験機の外側の爪

は内側に比して大きい力を受けている。またレールに向いていない側の垂直方向のひずみは圧縮ひずみであり、レールに面している側に引張が生じている。

(3) スプリングの油圧に及ぼす影響

本試験機の載荷用のシリンダが下降するように設計されているため、これを吊り上げる 2 本のバネが必要である。したがって、バネの変形が起こると、変位に比例した力でシリンダを引き揚げることになる。そのために検力器の読みを補正する必要を生じる。

補正量を実験と計算から求めてみた。バネの変位と力との関係は機械工学便覧 (P. 325 参照) から

$$W = \frac{d^5 G \delta}{64 nr^3}$$

ただし、W=荷重 (kg)、d=バネの径 (mm)、G=せん断弾性係数 (kg/cm²)、n=バネの有効巻数、r=バネコイルの平均半径 (mm)、δ=バネの変形量 (mm)

本試験機では d=9 mm、n=39.5、r=23.25 mm であるから

$$W = 1.714 \delta$$

となり、バネが 2 本であることを考えると、補正量は

$$W = 3.428 \delta$$

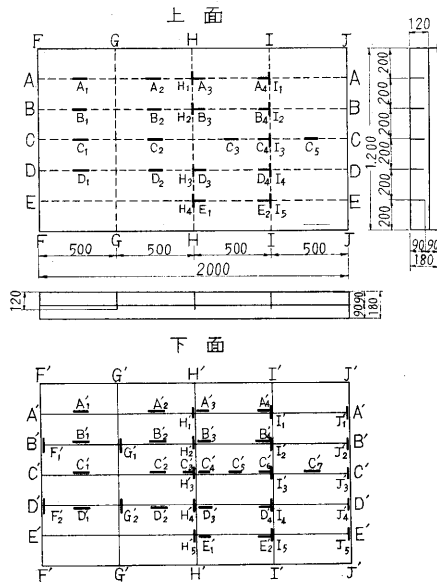
である。シリンダの変位をダイヤルゲージ (量尺 30 mm) を用いて、100 kg の荷重に対する変位を測定したとき δ = 2.96 cm をえた。W = 3.38 δ となつて、計算値とはほぼ一致する値をえた。実験の方は測定の精度があまりよくないので、補正量としては、W = 3.428 δ をとることにした。

4. 小型床版の実験結果

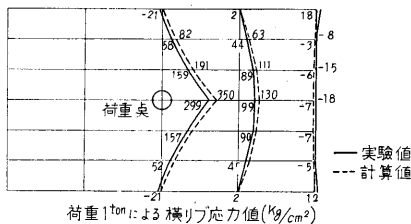
第 1 回の床版試験機による試験として、小型床版の強度試験を行なった。この床版は幅 1.2 m、長さ 2.0 m で長手方向に 5 本のリブ、横断方向に 3 本のリブがついている (第 9 図参照)。板厚、リブ間隔等は実物に近いもので、床版の一部分の試験をしたことになる。この供試体については、昭和 36 年に弾性変形の範囲 (1 点集中荷重 = 5 ton) についてはかなり詳細に実験し、その範囲で有効幅、鋼床版の応力計算法の批判等を行なったものである。リブ付き鋼床版の応力計算方法としては、異方性版と仮定するよりは、格子桁として仮定する方が曲げ応力分布を説明するにはよいこと、有効幅の実験値は応力分布が複雑なために十分理論計算値を批判するだけのものはえられなかったこと等の結果がえられていたものである。

昭和 36 年における実験と対比する意味で、ほぼ同一の点に抵抗線歪計を貼付した。第 6 図は小型床版およびゲージの位置を示している。荷重点は床版の中央点で、荷重は集中荷重を用いた。最大荷重 75 ton で床版の変形が著しく、載荷を止めたが版は破壊はしていなかった。

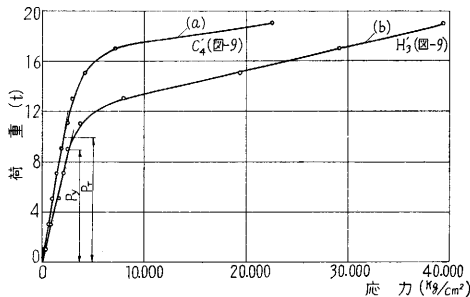
荷重の小さい範囲では第 10 図に示すように、応力分



第9図 鋼床版ゲージ貼付配置図



第10図 小型床版の応力分布

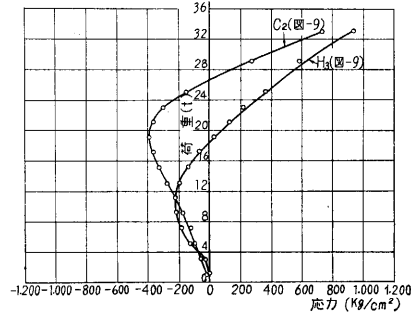


第11図 荷重—応力曲線

布は前回の実験値、理論値とよく一致した分布であった。第11図(a)は荷重直下の横リブ下端の荷重と応力との曲線であるが、この図からわかるように、荷重8~9 tonで、この部分は曲げに対し降伏を始め、それ以上の荷重に対しては、ひずみの速度が大きくなっている。同じ点の縦リブの下面のひずみの分布は、第11図(b)のごとくであって、降伏した荷重 P_x は横リブの降伏したときの荷重 P_y より大きい。このことはまず横リブが降伏し、つぎに縦リブが降伏したことを示している。

格子理論による横リブの曲げ応力は荷重点直下で荷重1 ton 当たり 350 kg/cm^2 であるから、8~9 ton で降伏したとすると、 $2800 \text{ kg/cm}^2 \sim 3150 \text{ kg/cm}^2$ となり、SS-

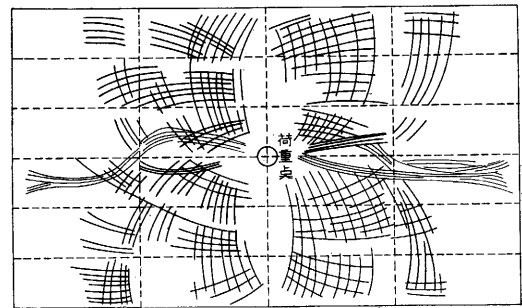
41 材の降伏応力に近い値となる。つぎに縦リブについて考察をすると、前述の格子理論による曲げ応力は荷重1 ton 当たり 158 kg/cm^2 であるから、12 ton~13 ton の荷重をうけたときの応力は $1896 \text{ kg/cm}^2 \sim 2054 \text{ kg/cm}^2$ となる。この値はSS-41 材の降伏点応力よりは非常に低い値である。横リブの場合は格子理論から推定される



第12図 荷重—応力曲線

値が、ほぼ実験値に近い値であつたのに反し、縦リブの場合ですでに横リブが降伏しているの、

弾性を仮定している格子理論は適用できないことを示している。荷重が16 ton を越えると、版の変形は格子理論とはおもむきを異にし、軸力の影響が大きく現われてくるために、第12図に示した1例のように、応力の変化にそれまでと非常に異なった傾向を示す。荷重が70 ton くらいになると、版全面に迂り線が現われた。これは版の



第13図

さびが迂り線にそって削落して現われたもので、そのスケッチを第13図に示した。以上が実験結果の概略であつて、詳細な解析は現在実施中である。

5. あとがき

上述のように本試験機も予定以上の長い年月をかけて、実験に使用できるようになったが、まだ舗装版の強度試験はできるまでに到っていないので、現施設の延長をはかり、基礎地盤も種々変化でき、それとの関連において舗装版試験が行なわれる施設を申請中である。本試験機の設置に当たつて、予算その他で非常にお世話になった。文部省および本学本部の諸係官、研究所の所長、現および前の事務長、会計主任および司計掛長等の諸官に深甚の謝意を表す。また限られた予算の中で献身的ご協力を尽していただいた試験機本体の前川試験機製作所、基礎鉄骨の恵信工業株式会社にも厚く御礼申し上げる次第である。
(1963年5月29日受理)