

(v) $q_1' = q_1 = 0, \mu = 2.0, i = j = 1$ の場合

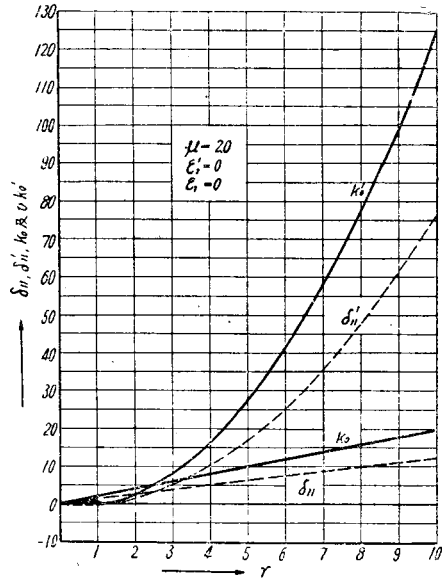
この場合の $\delta_{11}, \delta_{11}'$ 及び K_0, K_0' の値を図示したものが図-7である。この場合 $r=10$ の時の $K_0=19.80$ なるに対して $K_0'=124.32$ と非常に大きくなっている。この場合には比副震度の方が意味を持っている。

V 結語

目下筆者は $\mu=0\sim 10, q_1'=-1\sim 1, q_1=-1\sim 1$ の場合につき多数の K_0 及び K_0' 曲線を求めている。 K_0 及び K_0' は μ, q_1', q_1, γ の関数であるから、 μ, q_1', q_1, γ に関する K_0 及び K_0' のノモグラフを作つて置けば便利である。即ち或る土地に橋を新設する場合、その橋の橋体及び橋脚の固有週期及び地盤の地震動週期より q_1' 及び q_1 を求め、又 μ を求め、更に地震動の作用時間を過去の記録より想定すれば K_0 及び K_0' は容易にノモグラフより求められる。

この問題の実験的研究結果と多くの計算にもとづく曲線図表とは建設省土木研究所報に別に記載する事にして稿を終えよう。(昭 25.11.3)

図-7



岸壁防舷材にかかる船舶衝撃の一例

正員 松 本 有*

ON THE IMPULSIVE FORCE EXERTED BY THE FERRYBOAT UPON THE FENDERS

Tamotsu matsumoto, C.E. Member

Synopsis Ferries between Takamatsu and Uno are generally to go on a voyage ten times a day. Moreover, these ferries are requested to arrive at the berth quickly in order to keep the time scedule, and sometimes in the face of the bad weather, they often come to the berth in dangerous speed. The kinetic energy of ferries in these conditions is so great that we must give a deliberate consideration to diminish every possible damages of the maritime structure.

Consequently the study of the impulsiyee force acting on the berth by ferry is very important in construction of the berth. This paper describes that the value of the impulsive force caused by ferry can be determined by calculation of the elastic work in some members of the fender, which are damaged by the contact of ferry boat, and that an elastic fender should be designed for the berth.

1. 緒言

接岸した船が風波によつて岸壁を押す場合には舷側の防舷材が殆んど直線である為に船の岸壁単位幅に与える圧力は問題にならない。普通の岸壁はこのような場合が多く船の運動エネルギーは防舷材によつて吸収される程度のものである。然し航送岸壁のように船が或る角度と速度をもつて岸壁に衝突する時には岸壁に直角な分速度に相当する運動エネネギーが接触点を中心とした極めて狭い範囲内に集中して吸収される為に

強大な圧力を惹起することが考えられる。筆者は此の問題を近似的にでも解決したい必要から船の接岸状況をしばしば観察し防舷材の破壊状況から逆に防舷材を破壊する船速や衝撃力を推定して見た。

2. 防舷材の破壊から推定せる衝撃力の一般式

写真-1は1949年10月19日の破損状況を示すものである。この時の破壊は化粧板3枚の範囲で延長約5mに亘り化粧板及び縦防舷材5本はモーメントによる決定的な破壊を蒙つていた。現在使用中の第二岸壁の防舷材の構造は図-1の通りである。これから船が

* 四國鐵道管理局高松工事區長

岸壁に一点衝突をする場合には一般に化粧板 m 枚、

写真-1

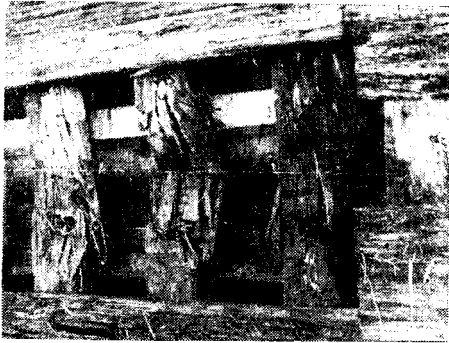
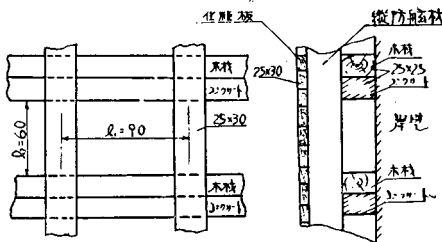


図-1 防舷材構造



延長 Lm の部分に船の運動エネルギーの大部分が集中されることが考えられる。従つてこの範囲の構造が既知であればその弾性変形から音、熱 (mL) 以外の部分へ消失されるエネルギーを無視して船の衝撃力に関する一般式を誘導することができる。 (mL) は防舷材の構造によつてその大部分がきまつてくる。即ち化粧板は当然長さ制限を受けるから継目の所はどうしても力学的に不連続になるから L は大体化粧板の長さ程度であろうことが考えられるのでこれに関してしばしば観測をして見た結果によると、化粧板の長さよりやや大きい程度である。これは船が岸壁に平行方向の分速度を持つている為短時間ながら岸壁を押しつけたまま或る区間を移動することや、化粧板がいかにも継ぎになつていないこと等複雑の原因によるものと思われる。従つて過去の実績に照らして適当な (mL) を仮定し (mL) がこれより大きい場合は当然安全側になることを要点として衝撃力を導かんとするものである。

船の進入角度を θ 、速度を V cm/sec、岸壁に直角な分速度を v cm/sec とすると、

$$v = V \sin \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

船の岸壁に直面な方向の運動エネルギーを E_e 、船の排水噸数を W とすると、

$$E_e = \frac{W}{2g} v^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

化粧板 m 枚、延長 Lm の範囲の防舷材の変形による仕事量を E_i とし、化粧板1枚の延長 $1m$ について

の圧力を qt/m とする。圧力は理論的には船と岸壁の接触点で最も強力で周囲へゆくに従つて漸減するが次の如き仮定のもとに近似解を求める。

(イ) 緩衝範囲内では圧力は均等分布するものと仮定する。

(ロ) 緩衝範囲内の弾性変形はその範囲に存在する幾つかの固定梁が夫々変形するものとして計算する。

化粧板1径間の撓みは固定梁として弾性係数を E 、慣性モーメントを I_1 径間を l_1 とすれば

$$\delta_1 = \frac{ql_1^4}{384EI_1} \quad \dots\dots\dots(3)$$

縦防舷材一本にかかる荷重は mql_1 であるからこれを固定梁の中心にかかる集中荷重として考察する。今縦防舷材の慣性モーメントを I_2 、径間を l_2 とすれば撓みは

$$\delta_2 = \frac{(mql_1)l_2^3}{192EI_2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

次に固定梁と考えられる化粧板の枚数及び縦防舷材の本数を決めなければならない。化粧板の枚数は明らかに $m \times \frac{L}{l_1}$ 枚である。緩衝範囲内にある縦防舷材は $(\frac{L}{l_1} + 1)$ 本であるが両端は夫々荷重を半分と考へて2本の吸収するエネルギーを1本の弾性変形として取扱つてゆくと $\frac{L}{l_1}$ 本と考えられる。然るとき圧力のなす総仕事量は次の如くである。

$$E_i = \frac{gl_1}{2} \cdot m \frac{L}{l_1} \delta_1 + \frac{mgl_1}{2} \cdot \frac{L}{l_1} \delta_2 \\ = \frac{gl_1}{2} \left(m \frac{L}{l_1} \delta_1 + m \frac{L}{l_2} \delta_2 \right) \quad \dots\dots\dots(5)$$

従つて (5) 式に (3) 式及び (4) 式を代入し $E_e = E_i$ とすれば

$$\frac{W}{2g} v^2 = \frac{gl_1}{2} \left\{ m \frac{L}{l_1} \frac{ql_1^4}{384EI_1} + m \frac{L}{l_1} \frac{(mql_1)l_2^3}{192EI_2} \right\} \\ = \frac{g^2 l_1^2}{384E} \left(m \frac{L}{l_1} \frac{l_1^3}{2I_1} + m \frac{L}{l_1} \frac{mgl_2^3}{I_2} \right) \\ = \frac{mLg^2 l_1}{384E} \left(\frac{l_1^3}{2I_1} + \frac{ml_2^3}{I_2} \right)$$

従つて

$$q = f v \\ f = \sqrt{\frac{192EW/g}{mLl_1 \left(\frac{l_1^3}{2I_1} + \frac{ml_2^3}{I_2} \right)}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

f を緩衝係数と命名する。

(6) 式によつて理解されることは第二岸壁の如き桁組の防舷材の場合には (イ) 防舷材の径間 l_1, l_2 を大きくすれば g を小さくすることが出来る。(ロ) 一点衝突の時に緩衝範囲 (mL) を大きくするような構造にすれば g を小さくすることが出来ることである。尙 l_1, l_2 を大きくすること即ち桁組を大きくする

こと自体が(mL)に影響を与えることも当然考えられるがこれに関しては後で少し考察して見たい。

3. 防舷材の破壊に対する考察

l_1, l_2 を大きくすれば衝撃力を緩和して岸壁の為には好ましいことは前節の結論として得たところであるが径間を大きくすれば防舷材が破壊し易くなり保守費の増大をまねくのではないかと云う疑問がある。以下これについて考察する。化粧板及び縦防舷材に起るモーメントを夫々 M_1, M_2 とすれば、

$$M_1 = \frac{l_1^2}{24} f v = \frac{v}{24} \sqrt{\frac{192EW/g}{mL \left\{ \frac{1}{2I_1} + \frac{m}{I_2} \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^3 \right\}}} \dots (7)$$

$$M_2 = \frac{ml_1 l_2}{8} f v = \frac{mv}{8} \sqrt{\frac{192EW/g}{mL \left\{ \frac{1}{2I_1} \left(\frac{l_1}{l_2} \right)^2 + \frac{m}{I_2} \left(\frac{l_2}{l_1} \right) \right\}}} \dots (8)$$

一方化粧板及び縦防舷材の破壊応力を夫々 σ_1, σ_2 , 断面係数を夫々 S_1, S_2 破壊船速を夫々 v_1, v_2 とすれば

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{S_1} = \frac{M_1 h_1}{2I_1} = \frac{v_1 h_1}{48} \sqrt{\frac{192EW/g}{mL \left\{ \frac{1}{2} + \frac{I_1^2}{I_2} m \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^3 \right\}}}$$

故に

$$v_1 = \frac{48\sigma_1}{h_1} \sqrt{\frac{192EW/g}{mL \left\{ \frac{1}{2} + \frac{I_1^2}{I_2} m \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^3 \right\}}} \dots (9)$$

又

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{S_2} = \frac{M_2 h_2}{2I_2} = \frac{mv_2}{16} \sqrt{\frac{192EW/g}{mL \left\{ \frac{I_2^2}{2I_1} \left(\frac{l_1}{l_2} \right)^2 + mI_2 \left(\frac{l_2}{l_1} \right) \right\}}}$$

故に

$$v_2 = \frac{16\sigma_2}{mh_2} \sqrt{\frac{192EW/g}{mL \left\{ \frac{I_2^2}{2I_1} \left(\frac{l_1}{l_2} \right)^2 + mI_2 \left(\frac{l_2}{l_1} \right) \right\}}} \quad (10)$$

(9) 式及び(10)式によつて理解されることは破壊船速は化粧板及び縦防舷材の径間の絶対値には無関係に両者の径間比によつて決つてくることである。従つて化粧板及び縦防舷材の径間を大きくすることによつて破壊し易いと言うことは必ずしも言えない。以下具体的にこのことを検討して見る。

4. 防舷材破壊の計算

現在使用中の高松第二岸壁の防舷材について計算して見る。緩衝範囲(mL)については筆者の観測に基いて(mL)を決めることにする。大抵の場合 m は3枚である。これは一点衝突の場合は船側から船尾へ移る曲り角の所が岸壁に接し、此の部分の船の防舷材は心々 50cm 程度の段がついているので丁度化粧板3枚をひつかけるものと思われる。L については 4~7m 程

度であるが縦防舷材の破壊される範囲としては 5m 程度を考えれば安全側の計算となると思う。計算数値を一括すると次の如くである。

(mL) = (3枚, 5m) 緩衝範囲
 $E = 73830 \text{ kg/cm}^2$ 松材の弾性係数
 $W = 2000 \text{ t}$ 船の排水噸数
 $I_1 = \frac{b_1 h_1^3}{12} = \frac{25 \times 10^3}{12} = 2080 \text{ cm}^4$
 化粧板の慣性モーメント
 $I_2 = \frac{b_2 h_2^3}{12} = \frac{30 \times 25^3}{12} = 39100 \text{ cm}^4$
 縦防舷材の慣性モーメント

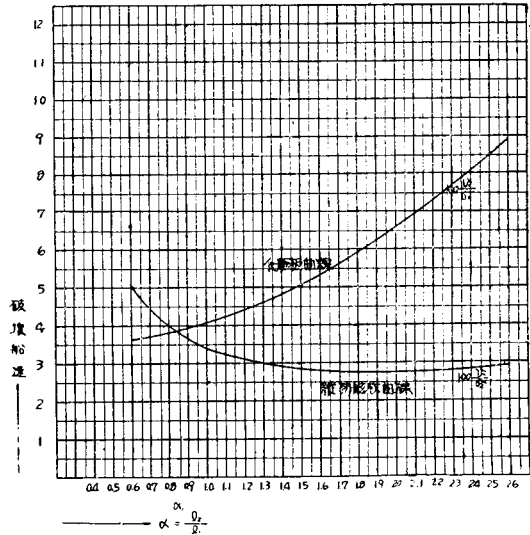
以上の数値を用いて(9), (10)式から夫々 $100 \frac{v_1}{\sigma_1}$,

$100 \frac{v_2}{\sigma_2}$ と $\alpha = \frac{l_2}{l_1}$ の関係を求めると表-1 が得られる。図-2はこれを図表化したものである。図-2に於

表-1 径間比と破壊船速の関係

$\alpha = \frac{l_2}{l_1}$	0.6	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
$100 \frac{v_1}{\sigma_1}$	3.62	3.81	4.04	4.40	4.86	5.31	5.94	6.63	7.25	8.18	8.96
$100 \frac{v_2}{\sigma_2}$	5.10	3.96	3.38	3.12	2.88	2.68	2.77	2.76	2.80	2.86	2.91

図-2



て両曲線の交点を与える α_1 より径間比が大きいときは化粧板が破壊される前に縦防舷材が破壊するので保守的立場からはかかる径間比はさげなければならない。都合上 α_1 を保守限界と命名する。

一例として松材の破壊応力を 500 kg/cm^2 として第二岸壁について破壊船速を計算する。化粧板及び縦防舷材の破壊船速を夫々 v_{1c} 及び v_{2c} とすれば $\alpha = \frac{60}{90} = 0.66$ であるから図-2より

$$100 \frac{v_{1c}}{500} = 3.65 \quad \therefore v_{1c} = 18.25 \text{ cm/sec} \approx 18.3 \text{ cm/sec}$$

$$100 \frac{v_{2c}}{500} = 4.65 \quad \therefore v_{2c} = 23.25 \text{ " } \approx 23.3 \text{ "}$$

又 v_{1c} 及び v_{2c} を与える船の進入速度を夫々 V_{1c} 及び V_{2c} とすれば(1)式より $V_{1c} = \frac{v_{1c}}{\sin\theta}$, $V_{2c} = \frac{v_{2c}}{\sin\theta}$ であるから防舷材を破壊する船の進入角度と速度の組合せを計算することができる。結果は表-2の通りである。此の数値は最初の仮定や緩衝範囲を安全側に選定したこと等から考えると可成り安全率を持つている筈である。

表-2 防舷材を破壊する入船状況

θ	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
V_{1c}	2100	1054	707	535	433	366	319	285
V_{2c}	2673	1322	902	691	531	466	406	362

5. 桁組の変比による衝撃力の相異

本節では防舷材を弾性的にすれば如何に衝撃力を緩和することができるかと云う一例として仮想防舷材を考えこれと使用中の第二岸壁との比較をする。即ち次の数値によつて計算を行う。

第二岸壁 $l_1=90\text{cm}$ $l_2=60\text{cm}$ $\alpha_1=l_2/l_1=0.66$
 仮想防舷材 $l_1=360\text{cm}$ $l_2=237\text{cm}$ $\alpha_1=l_2/l_1=0.66$

仮想防舷材は化粧板長を商品として大きいと思われる寸法として360cmを選び $\alpha=0.66$ になるように l_2 を決めたものであり部材の慣性モーメントは兩者夫々同一とする。計算に先だつて誤解をさける為に仮想防舷材の場合の (mL) について一言しておかなければならない。 m は化粧板を上下に連結するような構造にしなければ恐らく変るまいと思う。 L は化粧板をいも継ぎにしないことや、船が直接縦防舷材に当ることもあり得ること等を考えると2径間7.2mを考へるべきかも知れないが観測に基いた根拠がない上に $L=5\text{m}$ と $L=7.2\text{m}$ の相異は本節の目的に対して大勢上の影響を与えないので (mL) を同一と仮定して計算することにす。さて q_2, q_1 を第二岸壁及び仮想防舷材の化粧板長1m当りの圧力, P_2, P_1 を夫々第二岸壁及び仮想防舷材の緩衝範囲内に惹起した圧力とすれば(6)式より夫々 $q_2=3.36v\text{ t/m}$

$$q_1=0.21v\text{ t/m}$$

$$\text{従つて } P_2=mLq_2=3 \times 5 \times 3.36v=50v\text{ t/m} \dots\dots(11)$$

$$P_1=mLq_1=3 \times 5 \times 0.21v=3.16v\text{ t/m} \dots\dots(12)$$

縦防舷材の破壊船速に於する圧力を比較すると4.の計算によつて $\alpha=0.66$ の時 $v=23.3\text{cm/sec}$ であるから、

$$P_{2c}=50 \times v=50 \times 23.3=1165\text{t}$$

$$P_{1c}=3.16 \times v=3.16 \times 23.3=74\text{t}$$

尙第二岸壁の衝撃力の大きさに対する実証として二三の例をあげて置きたい。元宇野港湾事務所長宮崎氏は1949年9月11日眉山丸の衝突によつて宇野第6号ケーソンが24cm(2回)移動したことを報じてい

る。又高松第4号ケーソン(背後に埋立土砂のある所)の上部は2~3cmの移動がみとめられる。

6. 緩衝範囲に対する考察

防舷材の桁組が同一の場合、同一の進入角度及び船速に対しては L を大きくするような構造が岸壁の為には希しいので化粧板を連続梁のような構造にすることも考えられるが保守的立場からは支点的構造の複雑化はさけたいので力学的不連続の箇所が出来るのはやむを得ない所である。一方(6)式から明らかなように m の大きい程衝撃力は緩和されるから化粧板の裏に板を垂直に張るとか化粧板を斜めに張るとか色々の方法が考えられるが m の増加により緩衝係数の減少する割合は(6)式より $\sqrt{\frac{1}{m}}$ に比例するから $m=3\sim 6$ について調べて見ると表-3の如くである。即ち m を大きくする工夫によつて得られる衝撃力の減少率は桁組を大きくすることによつて得られる減少率に比べて問題にならない程小さい。又(10)式に於て

表-3

m	$\sqrt{\frac{1}{m}}$	$m=3\sim 6$ の相対比率
3	0.580	1
4	0.500	0.86
5	0.446	0.77
6	0.410	0.71

$$\beta = \frac{I_2^2}{2I_1} \frac{1}{\alpha^2} + mL_2\alpha \text{ とおけば}$$

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = -\frac{I_2^2}{I_1} \alpha^{-3} + mL_2, \quad \frac{d^2\beta}{d\alpha^2} = 3 \frac{I_2^2}{I_1} \alpha^{-4}$$

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = 0 \text{ として } \alpha = \sqrt[3]{\frac{I_2}{mL_1}}$$

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{I_2}{mL_1}} \text{ に於て } \frac{d^2\beta}{d\alpha^2} > 0$$

従つて $\alpha = \sqrt[3]{\frac{I_2}{mL_1}}$ に於て β は極小値をとる。

故に(10)式より v_2 も亦極小値をとる。

即ち縦防舷材を最も破壊しやすい径間比が存在しその値は $\sqrt[3]{\frac{I_2}{mL_1}}$ であるから m をむやみに大きくしたり I_1 を大きくとりすぎたりすると保守的立場からは不利な条件に近づくことが理解される。

7. 結語

桁組防舷材の構築にあつては防舷材を弾性的にする立場からは桁組を大きくすることに重点を置きその径間比は使用木材の慣性モーメントを考慮して決めるべきである。一方保守的立場からは一度の衝突によつて余りに多くの木材が破壊されることは経済面から希しくないので緩衝範囲に関しても或る制限を必要とする。又破壊された防舷材の取替えの労力と時間を節約する意味から防舷材の支点的構造は最も簡単にすることが希しい。今一つの結語として述べたいことは国鉄内部の問題になるが宇野航路の接岸はもつと穏やかにするよう対策を講ずべきであると思う。過去一年に於

て防舷材は殆んど取替えられその経費は数百万円と見積られる。現在の如き接岸方式は断じて操船技術の常道ではない。最後に元高松港湾事務所長大田日出男氏

に助言をいただいたことに感謝の意を表する次第である。

(昭. 25. 10. 3)

電気抵抗線歪計に関する研究 (第1報)

—SR-4 歪計について—

正員 成岡昌夫*

STUDIES ON THE ELECTRIC RESISTANCE WIRE STRAIN GAGE

(Ist Report)

— About the SR-4 Strain Gage —

(JSCE March 1951)

By Masao Naruoka, C.E. Member.

Synopsis This reports the essential points of SR-4 Strain Gage which is the most versatile pick up ever developed and experiments in which this strain gage was used in tension test of steel piece.

要旨 第1報として著者の入手した SR-4 歪計について簡単な説明を加え、これを用いた若干の実験を述べ、この種の歪計の要点を詳述したものである。

1. 概説

応力測定法を大別して歪計による方法、X線による方法、光弾性による方法及び塗料による方法の4つがある。歪計を用いる方法のうち電氣的歪計は高倍率を得られる利点があり、応力変化の急激なものには特に有利であつて、なお遠隔記録の便がある。

電氣的歪計としては種々のものがあるが、抵抗によるものが最も簡単であり、比較的新らしいものとして炭素片歪計がある²⁾。炭素片歪計では炭素片の面積が相当大きく、従つて得られる記録は貼付けられた面の平均の歪を表すわけである。故に炭素片の代りに歪に対して鋭敏な高抵抗線を用いると、貼付ける面積も少くすみ従つて測定点の歪を得ることに近ずき得るわけである。

最近英、米ではかゝる電気抵抗線歪計の研究が盛んに行われ、建築・土木・機械・船舶・車輛等広範囲の工業計測や試験に盛んに利用されている。従来文献等によつて僅かにその一端を伺い得るに過ぎなかつたが³⁾、著者はメーカーである米国の Baldwin Locomotive Works の御好意によつて同社の SR-4 歪計の見本を入手し、引続き島津製作所の多大の御配慮を得て実物若干個を輸入入手し得たので、こゝに若干報告したいと思う。

2. 原理

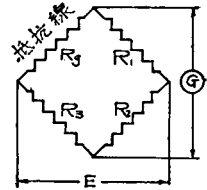
機械的歪によつて電気抵抗の変化することは既に Lord Kelvin が指摘しているところである⁴⁾。今、 R なる長さおよび抵抗を有する抵抗線が歪 ϵ を受けて $l+\Delta l$ なる長さとなり、従つて抵抗が $R+\Delta R$ になつたとする。実験の結果によると ϵ の小さい間は $\Delta R/R \div \Delta l/l$ は一定であつて、これを K とする。これを歪係数と呼ぶことにする。

ある抵抗線をとリ、これを図-1 の Wheatstone-bridge 回路で抵抗を測定した結果 R_g とする。図にお

図-1

Wheatstone bridge circuit containing resistance wire on its one arm.

いて R_1, R_2 および R_3 は P. O. Box の既知抵抗であり、 $R_g/R_1=R_3/R_2$ ならば検流計には電流が流れない。この抵抗線が歪 ϵ を受けて R_g が $\Delta R_g=R_g \cdot K \cdot \epsilon$



だけ変化するとバランスが破れ電流が流れることになる。この大きさを計算しよう。

図-1 の符号を用い、 I を抵抗線を流れる電流とすれば

$$I = E / (R_g + R_1) \dots\dots\dots(1)$$

検流計にて測定しようとする歪による回路の出力の変化 dE_0 は途中の計算を省略して

$$dE_0 = \frac{R_1 R_g}{R_g + R_1} \cdot I \cdot K \cdot \epsilon \dots\dots\dots(2)$$

従つて図-1のような回路で予めバランスさせておき、歪を受けた場合の dE_0 を測定して ϵ を求めることが

* 京都大学助教授 工学部土木工学教室