

ラーメンの相似回路

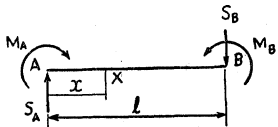
正員 山内利彦*

要旨 ラーメンの相似回路はすでに V. Bush により示されている^{1),2)}。しかしながら物理的諸量をいずれも電流に相似させているため、1本の部材を表わすにはすくなくとも6コの変成器が必要である。本論文はハリの相似回路より出発しこれをラーメンに応用したものである。すなわち、力、曲げモーメントを電流に、タワミ角、タワミを電圧に相似させたもので2コの変成器があればよい。さらに普通の変成器を使用して容易に組みうる回路としたので各種ラーメンの相似回路は容易にえられる。以下簡単に相似関係をのべ、2, 3のラーメンに応用してみる。

相似関係³⁾

図-1 は長さ l なる棒とする。点Aより x の距離にある点の曲げモーメントは

図-1



式(2)を

$$M_x = M_A + S_A \cdot x \dots\dots\dots(1)$$

$$\therefore \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{1}{EI} (M_A + S_A \cdot x) \dots\dots\dots(2)$$

$$x=0 \text{ において } dy/dx = \theta_A$$

$$x=l \quad \text{ " } \quad dy/dx = \theta_B$$

また

$$x=0 \text{ において } y = \eta_A$$

$$x=l \quad \text{ " } \quad y = \eta_B$$

なる条件でとけば

$$\theta_A - \theta_B = \frac{l}{EI} \left(M_A + S_A \cdot \frac{l}{2} \right) \dots\dots\dots(3)$$

$$\eta_B - \eta_A = \frac{l}{2} (\theta_A + \theta_B) + S_A \cdot \frac{l^3}{12EI} \dots\dots\dots(4)$$

となる。

式(3), (4) を満足する回路として図-2のような回路がえられる。

この回路を簡単に説明すれば、1次側を流れる電流 S_A は巻線比 $1:2$ の変成器により2次側へ $S_A \cdot l/2$ の電流を生ぜしめる。故に

$$M = M_A + S_A \cdot \frac{l}{2} \dots\dots\dots(5)$$

$$M_B = M + S_A \cdot \frac{l}{2} \dots\dots\dots(6)$$

$$\therefore M_B = M_A + S_A \cdot l \dots\dots\dots(7)$$

接点 A, B の電圧を θ_A, θ_B とすれば

$$\theta_A - \theta_B = MR_1$$

$$= \left(M_A + S_A \cdot \frac{l}{2} \right) R_1 \dots\dots\dots(8)$$

故に $R_1 = l/EI$ とおけば式(3) を満足する。また点 a, b の電圧をそれぞれ η_A, η_B とすれば2点間の電圧は

$$\left\{ \theta_A + \left(S_A \cdot \frac{l}{2} \right) R_2 \right\} \frac{l}{2} + S_A \cdot R_3 + \left\{ \theta_B + \left(S_A \cdot \frac{l}{2} \right) R_2 \right\} \frac{l}{2}$$

故にこれを整理し、 $R_2 = 2ml/EI, R_3 = nl^2/EI$ とおけば

$$(\theta_A + \theta_B) \cdot \frac{l}{2} + S_A \cdot (m+n) \cdot \frac{l^3}{EI} \dots\dots\dots(9)$$

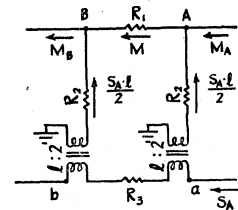
故に $m > 0, n > 0, m+n = 1/12$ より m, n を求めれば、 R_2, R_3 がきまり式(9) は全く式(4) と同じになる。

実験

実験はいずれも真空管電圧計により各接点の電圧を測定する。この測定において抵抗 R_1 を流れる電流が部材中点の曲げモーメントを与える。抵抗 R_2, R_3 は $m+n=1/12$ を満足するようきめねばならぬが、これらの抵抗はまた変成器の直流抵抗を調節しなければならぬ抵抗であるので変成器の直流抵抗より大きくなるよう scale factor

* 名古屋工業大学講師， 土木工学教室

図-2



をとらねばならぬ。

実験はすべて部材を2分して4コの変成器をもつて1部材の回路を組んだ。抵抗 R_2, R_3 は次のようにとつた。

$$R_2 = l/12 EI,$$

$$R_3 = l^3/24 EI$$

例-1

図-3 のようなラーメンを解いてみよう。

E, I を一定としておく。 $l/EI = 2/EI$ が 60Ω となるように scale factor S_r をえらべば、図-3 の相似回路として図-4 が得られる。

表-1, a

	抵抗	電圧	電流	曲げモーメント	計算値
AF	60Ω	0.240 V	0.00400 A	0.0400 P	0.0417 P
FB	"	1.225	0.02042	0.2042	0.2083
BI	"	0.960	0.01600	0.1600	0.1667
IC	"	0.990	0.01650	0.1650	0.1667
CL	"	1.240	0.02067	0.2067	0.2083
LD	"	0.232	0.00387	0.0387	0.0417

表-1, b

	電圧	撓角	計算値
A	0	0	0
B	0.99 V	0.3300 P/EI	0.3333 P/EI
C	0.97	0.3233	0.3333
D	0	0	0

をとれば図-5 の相似回路として図-6 がえられる。

実験は接点 f に 100 mA の電流を流し各接点の電圧を真空管電圧計で読めばよい。測定結果は表-2 のようである。図-5 において A, C, D 点がヒンジとなるときは回路において接点 A, C, D のアースをとればよい。

表-2, a

	抵抗	電圧	電流	曲げモーメント	計算値
AF	60Ω	0.123 V	0.00205 A	0.0205 P	0.0208 P
FB	"	0.622	0.01037	0.1037	0.1042
BI	"	0.625	0.01042	0.1042	0.1042
IC	"	0.123	0.00205	0.0205	0.0208
BL	"	0.620	0.01033	0.1033	0.1042
LD	"	0.121	0.00202	0.0202	0.0208

表-2, b

	電圧	撓角	計算値
A	0	0	0
B	0.505 V	0.1683 P/EI	0.1667 P/EI
C	0	0	0
D	0	0	0

例-3

図-7 に示すように1点に4部材が集まる場合を解いてみよう。 E, I は一定とし荷重は部材 AE の中央にかかるものとす。

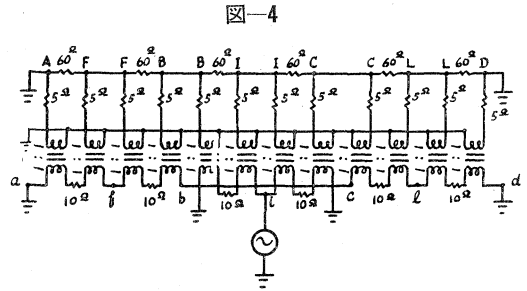
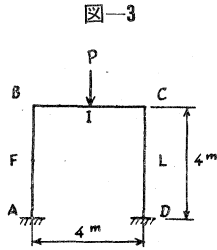


図-5

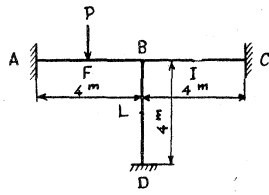


図-6

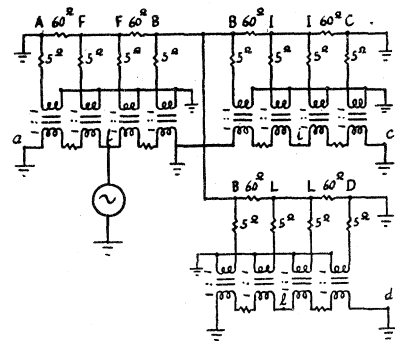
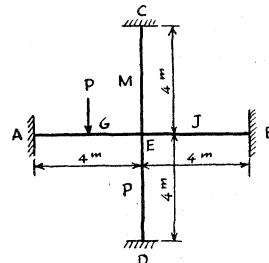


図-7



各部材を2つに分け1本の部材に4コの変成器を用いることは前の例と同じであるが、これら4つの回路を結線するには次の条件を満足するようにならなければならない。すなわち

- (1) $M_{EA} + M_{EB} + M_{EC} + M_{ED} = 0$
- (2) 点 A, B, C, D のタワミ角及びタワミは0
- (3) 点Eの水平、鉛直変位は0

(1) は回路接点Eを一緒に結ばばよく、(2) は回路ににおけるそれぞれの接点をアースすれば満足される。また(3) は接点eのアースでよい。したがって図-7の相似回路として図-8がえられる。

接点gに100 mAの電流を流しこのとき生ずる各接点の電圧を測れば表-3のようである。

タワミ角 $\theta_A, \theta_B, \theta_C, \theta_D$ はもちろん0である。点 A, B, C, D がヒンジの場合はこれらの接点のアースをとればよい。

以上はいずれも節点の水平方向の移動のない場合をとりあつかっているが、移動のある場合もまた簡単に実験解析することができる。

図-8

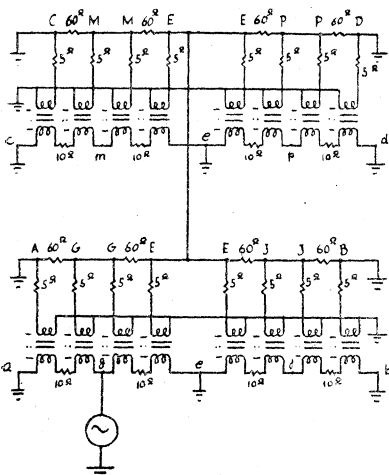


表-3, a

	抵 抗	電 圧	電 流	曲 モーメント	計 算 値
AG	60Ω	0.094 V	0.00157 A	0.0157 P	0.156 P
GE	"	0.462	0.00770	0.0770	0.0781
EJ	"	0.460	0.00767	0.0767	0.0781
JB	"	0.090	0.00150	0.0150	0.0156
CM	"	0.090	0.00150	0.0150	0.0156
ME	"	0.457	0.00762	0.0762	0.0781
EP	"	0.457	0.00762	0.0762	0.0781
PD	"	0.089	0.00148	0.0148	0.0156

表-3, b

	電 圧	撓 角	計 算 値
E	0.366 V	0.1220 P/EI	0.1250 P/EI

結 語

電気相似法によればラーメンもまた以上のように簡単な操作で実験解析をすることができる。回路が簡単である上に、必要な変成器の数もすくなくてよいので上記の回路を組合わせていくときには連続ラーメン、あるいは高層ラーメンの回路も容易にうることができる。またこの曲げの回路は格子の問題にも応用することができ、ネジリを考慮した格子などきわめて短時間で解析することができる。これらの実験結果については次回にする。

最後に本実験について御指導を賜わった名古屋工業大学荒井利一郎教授に感謝するとともに、実験の手伝いをしていただいた鳥居敏則君に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) V. Bush: "Structural Analysis by Electric Circuit Analogies" Journal, The Franklin Institute, vol. 217, March, 1934.
- 2) M. Hetényi: "Handbook of Experimental Stress Analysis" p. 816
- 3) W.T. Russell and R.H. MacNeal "An Improved Electrical Analogy for the Analysis of Beams in Bending" Journal of Applied Mechanics, Trans. ASME, vol. 75, 1953, p. 349

(昭. 31. 2. 9)