【解　　説】

構造解析における Digital Computer の応用（2）

成　岡　昌　夫*

1. まえがき

著者はさきに，継電器式計数型電気計算機と応用力学問題への応用[1]，および構造解析における digital computer の応用（1）[2] を執筆して，digital computer が構造解析にいかに使われるかについて，関心をもつていただくようにした。しかし，上記のは，主として多元連立一次方程式の解法および逆マトリックスの計算に関するものであり，step by step calculation と iterative procedure に関するものについては，紙面の都合で省略した。digital computer は，このような計算についても，非常に有効であるので，ここでは，step by step calculation と iterative procedure にどんなに使われるかについて，若干の例をあげて説明したいと思う。

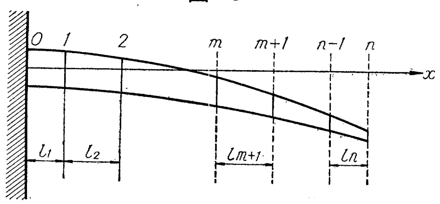
もつとも，この方面の研究については，著者は経験がないが，digital computer に関心をもつものにとつては看過しえない問題であるので，執筆する次第である。

2. テーパーした片持バリのタワミの影響係数の計算

Samuel Levy が SEAC (National Bureau of Standards Eastern Automatic Computer) を用いて，片持バリのタワミの影響係数を計算した一例を紹介する[3]。

タワミの影響係数を計算しようとする片持バリを 図—1 に示す。各格点における曲げ剛性を EI_m にて表わす。

図—1



計算は，相隣る格点 $m\sim(m+1)$ の間のハリの segment の両端におけるタワミ y_m, y_{m+1}；タワミ角 θ_m, θ_{m+1} の関係を利用して，step by step calculation を行なうのである。これらのタワミ，タワミ角の間には，次の関係がある（図—2 参照）。

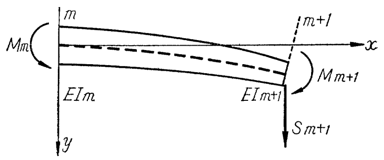
$$y_{m+1}-y_m=\theta_m l_{m+1}+a_{m+1}S_{m+1}+b_m M_{m+1} \cdots (1)$$

$$\theta_{m+1}-\theta_m=b_{m+1}S_{m+1}+c_m M_{m+1} \cdots\cdots (2)$$

ここで，

a_{m+1}＝格点 m を固定した場合，格点 $(m+1)$ における単位せん断力あたりのタワミ

図—2



b_{m+1}＝格点 m を固定した場合，格点 $(m+1)$ における単位モーメントあたりのタワミ，あるいは，格点 $(m+1)$ における単位せん断力あたりの回転角

c_{m+1}＝格点 m を固定した場合，格点 $(m+1)$ における単位モーメントあたりの回転角

さて，格点 $m\sim(m+1)$ の間において，曲げ剛性 $EI\ (x)$ は，$1/EI$ が $1/EI_m$ から $1/EI_{m+1}$ 直線的に変化しているものと考える。すなわち

$$1/EI=\{1-(x/l_{m+1})\}(1/EI_m)+(x/l_{m+1})(1/EI_{m+1})$$

と考える。

さて，任意の断面 x における曲げモーメントは

$$M=M_{m+1}+(l_{m+1}-x)S_{m+1}$$

で表わされるから，図—2 に示す曲げモーメントを正と考えて（普通の場合と異なることに注意），

$$dy^2/dx^2=M/EI$$

に上の二つを代入して，$(dy/dx)_{x=0}=0$，$(y)_{x=0}=0$ の境界条件を代入すれば，

$$(y)_{x=l_{m+1}}=S_{m+1}l_{m+1}^3\{(1/4\,EI_m)+(1/12\,EI_m)\}+M_{m+1}l_{m+1}^2\{(1/3\,EI_m)+(1/6\,EI_{m+2})\}$$

$$(dy/dx)_{x=l_{m+1}}=S_{m+1}l_{m+1}^2\{(1/3\,EI_m)+(1/6\,EI_{m+1})\}+M_{m+1}l_{m+1}\{(1/2\,EI_m)+(1/2\,EI_{m+1})\}$$

となる。従つて係数 a, b, c は次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}a_{m+1}&=l_{m+1}^3\{(1/4\,EI_m)+(1/12\,EI_{m+1})\}\\ b_{m+1}&=l_{m+1}^2\{(1/3\,EI_m)+(1/6\,EI_{m+1})\}\\ c_{m+1}&=l_{m+1}\{(1/2\,EI_m)+(1/2\,EI_{m+1})\}\end{aligned}\right\}\ \cdots\cdots(3)$$

SEAC でタワミの影響係数を計算するには，与えられた EI_m, l_m のデータをもとにして，式 (1)，(2) および (3) を利用する。計算を自動的に行うには，次のようにする。

a）タワミの影響係数の計算をするために，basic code を計算機に記憶せしめる。

b）次に，計算機に，EI_m, l_m を記憶せしめる。

c）a_{m+1}, b_{m+1}, c_{m+1} の値を計算して，これを計算機に記憶せしめる。

d）格点 1 に単位荷重が作用した場合の，各格点のせん断力，曲げモーメントを計算して，これを一時的に計

*正員　工博　京都大学教授，工学部土木工学教室

表—1 計算した片持バリの曲げ剛性

節点	固定端よりの距離 (in.)	さきの節点よりの距離 (in.)	曲げ剛性 (10^6lb-in.^{2})
0	0		10.526
1	6.5	6.5	8.621
2	13.5	7.0	6.173
3	21.5	8.0	4.000
4	31.0	9.5	1.848
5	41.0	10.0	1.026
6	49.0	8.0	0.384 6
7	53.5	4.5	0.194 2
8	59.0	5.5	0.036 36
9	64.0	5.0	0.005

表—2 SEAC で計算したタワミの影響係数（単位 10^{-6}in.）

単位荷重の位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	9.177	24.260	41.498	61.968	83.516	100.754	110.450	122.302	133.075
2	24.260	87.522	168.902	265.541	367.267	448.647	494.424	550.373	601.235
3	41.498	128.902	387.843	668.709	964.357	1 200.876	1 333.918	1 496.524	1 644.349
4	61.968	265.541	668.709	1 340.253	2 106.640	2 719.750	3 064.625	3 486.138	3 869.332
5	83.516	367.267	964.357	2 106.640	3 795.986	5 248.514	6 065.56	7 064.17	7 972.00
6	100.754	448.647	1 200.876	2 719.750	5 248.514	7 873.918	9 436.50	11 346.33	13 082.53
7	110.450	494.424	1 333.918	3 064.625	6 065.56	9 436.50	11 683.51	14 501.77	17 063.83
8	122.302	550.373	1 496.524	3 486.138	7 064.17	11 346.33	14 501.77	19 318.49	24 108.88
9	133.075	601.235	1 644.349	3 869.332	7 972.00	13 082.53	17 063.83	24 108.88	35 246.36

算機に記憶せしめる。

e) 式 (2) と S_{m+1}, M_{m+1} の値を用いて，各格点における θ_{m+1} の値を計算し，これを一時的に記憶せしめる ($\theta_0=0$ を用いる)。

f) 式 (1) とさきに計算した $\theta_m, S_{m+1}, M_{m+1}$ の値を用いて，各格点における y_{m+1} の値を計算し，これを印刷する ($y_0=0$ を用いる)。

g) 同様に，格点 2,3,4,… に単位集中荷重が作用する場合に対して，d),e),f) の操作をくりかえす。

SEAC が計算した片持バリの曲げ剛性を **表—1** に，計算結果を **表—2** に示す。**表—2** の値は，対角線に関して対称となつていることに注意されたい。あわせて，Maxwell の相互作用の法則を想起されたい。

表—2 の計算を行うのに，SEAC では3分を要したそうである。これを通常の卓上手動計算機を使つて人間が計算すれば，約2日を要する。このようなくり返し計算に digital computer がいかに便利であるか，わかるであろう。

3. 高層建築物の地震動に対する応答（レスポンス）の数値解析

地震動を受ける高層建築物のレスポンスの数値解析は，きわめて困難な問題であり，N.M. Newmark, M. G. Salvadori, R.S. Arye などの研究がある。地震動を受ける高層建築物の振動は，多質点系の振動理論を適用できる（理由は省略する。振動学の書籍参照）が，実際の地震動がきわめて複雑な波動であるため，解析的に解くことは困難である。 T.P. Tung と N.M. Newmark は， digital computer を利用することに注目して，十階建の建築物に，実際に起こつたことのある地震動を作用せしめて，振動性状を研究し[4]，次いで，同じ十階建の高層建築物の建物の性質をかえ，また，地震動の種類・性質をかえて，さらに広範囲の研究を行つた[5]。以下これを紹介しよう。

高層建築物において，その質量がおのおのの床のところに集中していると仮定すれば，横方向の運動方程式は次のような形をとる

$$M_i \ddot{x}_i + \delta \dot{x}_i + Q_i = P_i \quad (i=1,2,\cdots\cdots,n) \cdots\cdots (4)$$

ここで，

M_i：第 i 階目の床の質量

x_i：第 i 階目の床のタワミ

Q_i：M_i に作用する抵抗力すなわち shear の合力

δ：減衰係数

もし shear beam の建物が任意の地震動を受けるならば，$P_i=0$ となり，Q_i は次のようにかける。

$$Q_i = k_i(x_i - x_{i-1}) + k_{i+1}(x_i - x_{i+1})$$

ここで，k_i は第 i 番目の階の shear stiffness である。

exciting force は地動 x_0 によつて生ずる $k_1 x_0$ のみである。しかしながら，各階の shear を計算するために，地動に関する第 i 階の床の相対的なタワミ y を変数にとるならば，方程式 (4) は次のようにかける。

$$M_i \ddot{y}_i + \delta \dot{y}_i + k_i(y_i - y_{i-1}) + k_{i+1}(y_i - y_{i+1})$$
$$= -M_i \ddot{x}_0 - \delta \dot{x}_0 \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

この場合，exciting force は地動の加速度と速度に関係するわけである。

地震動を受ける構造物の deflection response と dynamic shear は，accelerogram の横軸の時間軸を細かく区切つて，遂次積分法によつて，数値解析的に解くわけである。この場合，次の公式を用いる。

$$\left.\begin{aligned} x_{i,1} &= x_{i,0} + h\dot{x}_{i,0} + (h^2/6)(\ddot{x}_{i,0} + \ddot{x}_{i,1}) \\ \dot{x}_{i,1} &= \dot{x}_{i,0} + (h/2)(\ddot{x}_{i,0} + \ddot{x}_{i,1}) \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots (6)$$

第2の添字の0は，ある interval の最初における値を，また，1はある interval の終りにおける値を意味する。

以上の計算を digital computer で，行うためには，iterative procedure（くり返し試索法）が用いられる。すなわち，$x_{i,0}, \dot{x}_{i,0}, \ddot{x}_{i,0}$ が既知ならば，次のように行う。

1) $\ddot{x}_{i,1}$ を仮定する。

2) 上式から，$x_{i,1}, \dot{x}_{i,1}$ を計算する。

3) これを式 (5) に代入して，$\ddot{x}_{i,1}$ を計算する。

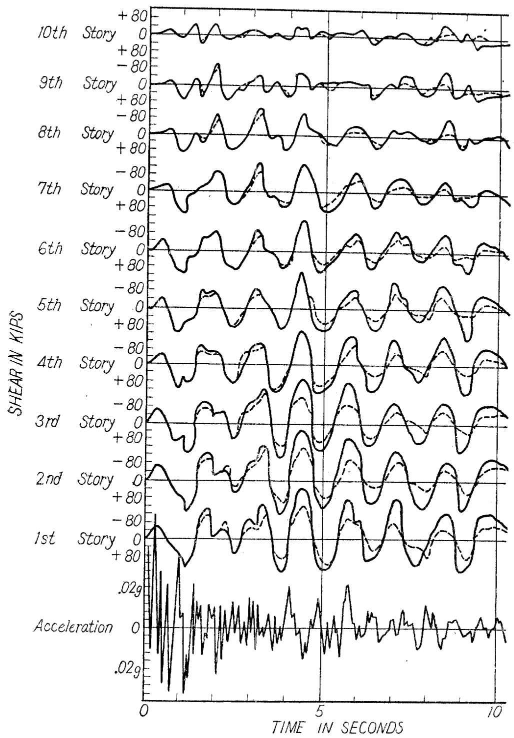
4) このようにして計算された値が最初に仮定した値と一致しないならば，この計算値を出発値として同様の計算をくりかえす。

このような cyclic iteration が high speed digital computer にはもつとも適しており，各試索計算は1秒

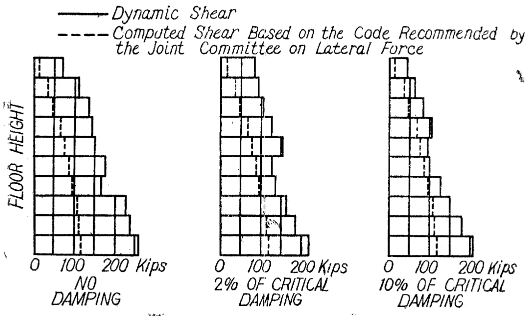
表—3　解析の対象とした建物の性質

基礎よりの階数	(a) shear stiffness	(a) weight	(b) shear stiffness	(b) weight
1	2 000	760	2 000	582
2	1 800	720	2 000	582
3	1 600	680	2 000	582
4	1 400	640	2 000	582
5	1 200	600	2 000	582
6	1 000	560	2 000	582
7	800	520	2 000	582
8	600	480	2 000	582
9	400	440	2 000	582
10	200	400	2 000	582
単　位	kips/in.	kips.	kips/in.	kips

図—3　accelerogram とその shear response



図—4　各階の max. dynamic shear



の何分の一の時間しか要しない。

N.M. Newmark がまず解析の対象とした建物は，表—3 (a) に示す shear stiffness と weight をもつ十階建の建物であり，また，用いた地震動は，1933.10.2 に Los Angels の Subway Terminal で得られた N 39°E, 21.5 秒の継続時間をもつものであり，これを図—3 の下方の acceleration のところに示す。この accelerogram を 160 等分して計算を行つた，各階の dynamic shear の時間的変化を，図—3 の上方に示す（実線—減衰なし，点線—臨界減衰の 2 %)。減衰の影響によつて，下の方の階では peak が下つているが，このことは，上の方の階ではそういちじるしくない。なお，計算は全継続時間にわたつて行われているが，紙数の都合で，最初の 10 秒間に対するものを示す。図—4 は各階の max. shear の絶対値を示したものであつて，図中の点線は，Joint Committee on Lateral Force によつて推賞されている方法で計算したものであつて，他の計算例をも含めて，この方法による計算値が computer による厳密解によるものよりすべて小さくなつている。

さきに述べた step by step calculation において，各 step の計算時間は 4×10^{-3} sec で，5 600 回以上の逐次積分を行なつて，shear を計算する時間，計算結果の出力テープへのパンチの時間を含めて，約 45 分であつたと報告されている。

以上は 1955 年に発表されたものであるが，この研究の続きは 1956 年の万国地震工学会議で発表されている。

対象とした建物はさきのと同じく十階建で，表—3 の (b) の場合を考慮している。また，建物の受ける地震動は，上記の研究においては，一種類であつたが，この研究では，U.S. Coast and Geodestic Survey on the West Coast によつて記録されている 12 個の strong-motion earthquake としている。

計算を行うにあたつては，さきの場合と同じように，三つの異なつた減衰の条件，すなわち，a) 無減衰，b) 臨界減衰 (critical damping) の 2 %，c) 臨界減衰の 10%，の三つについて考慮している。

計算は ILLIAC で数値積分法により，固有振動周期 1.32 sec に対し，$\Delta t=0.0075$ sec にとつている。

計算の結果は，次の形で表わされている。

1)　least severe, most severe, two intermediate な地震動の場合に対して，(a) variable stiffness bldg., (b) uniform stiffness bldg. の max. shear；

2)　12 個の地震動に対する双方の建物の max. base shear, max. top story shear；

3)　base shear coef.，および，各階の local seismic coef.

上記の shear coefficient および local seismic coef. というのは，次のように定義されている。

The shear coefficient is defined as that part of the total tributary weight above a certain level which, applied statically in a horizontal direction, would account for the maximum dynamic shear at that level.

The local seismic coefficient is defined as that proportion of the weight at any level which, applied statically in a horizontal direction, would account for the shears at any elevation below that level. The two coefficients are equal for the top story.

この研究は予報 (preliminary report) 的なものであるとけんそんされているが，強震を受ける場合の建物の振動性状を定量的に解析したものとして注目すべきものがあり，今後この方面の研究に対して pilot 的役割を果すものとして注目すべきものがある。

4. 単純桁の強制振動に関する研究

単純桁上を荷重が走行する場合の桁の振動については，古くから多くの研究があり，桁の質量を無視する場合 (Stokes, Zimmermann)，走行荷重の質量を無視し，桁の慣性力のみを考慮に入れた場合 (Timoshenko)，桁および走行荷重の両者を考慮に入れる場合 (Inglis, 国井，三瀬) などの研究をへて，Hillerborg の研究で理論的にはほぼ完成の域に近ずいてきた。しかし Hillerborg の研究でも，微分方程式の数値解法に筆算を用いており，走行荷重による桁の衝撃の問題を明らかにするところまでに至らなかつた。しかし，戦後における analog computer および digital computer の発達は，この問題の解法を可能ならしめた。すなわち，J.M. Biggs ら MIT の一派は，主として analog computer を用い[6]，一部に Whirlwind I (MIT の digital computer) を用いてこの問題を研究し，また N.M. Newmark ら Illnois 大学の一派は，ILLIAC を用いて，同じ問題を研究し，定性的，定量的に桁の衝撃率を明らかにした[7]。ここでは，J.M. Biggs らの研究を紹介しよう。

この解析にあたつては，次のように，問題を単純化して，仮定を設ける。

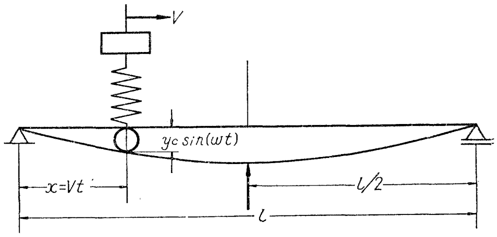
1) 橋の単純桁と考え，振動の第1次モーメドのみを考える。従つて，桁は自由度1の振動系となる。

2) 実際の自動車は4つのスプリングと4つのタイヤの上に質量がのつているから，多自由度系であるが，これを自由度1と仮定する。

3) 自動車の全重量は自動車の質量の重心に集中しているものと仮定する。

4) 粘性減衰は，桁と自動車の双方について考える。以上のような仮定のもとに，桁—自動車の振動系を考える。図—5 は，この idealized dynamic system で，

図—5 Idealized Dynamic System

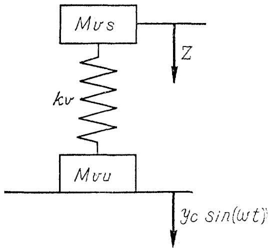


v：自動車の速度，l：桁のスパン，y_c：任意の時刻におけるスパン中央のタワミ，x：支点から自動車までの距離，ω：crossing frequency$=\pi\, v/l$，である。

時刻 $t=0$ において，車の重心が支点上にあるものとする。桁のタワミの形状はすべての時刻において正弦状であると仮定するので，車の下における桁のタワミは $y_c\sin(\omega t)$ である。

自動車は自由度1の振動系であるので，図—6 のように表わせる。ここで，M_{vs}：自動車のスプリングで支えられた質量，M_{vu}：同じく，スプリングで支えられない質量，k_v：自動車のスプリングのバネ常数，z：中立の位置から測つた，sprung mass の absolute deflection，である。

図—6 Idealized Vehicle



スプリングの変位，および，スプリングに作用する力は，

$$z-y_c\sin(\omega\, t)=\Delta \qquad (7)$$

$$k_v\Delta+M_{vs}g \qquad (8)$$

となり，結局，桁に作用する力は，M_v を自動車の全質量とすれば，

$$k_v\Delta+M_vg \qquad (9)$$

となる。式 (9) で与えられる力は，unsprung mass の慣性力を含んでいないが，この効果は，bridge mass を加減することによつて，考慮すればよい。

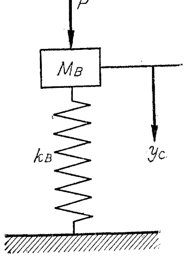
sprung mass の運動方程式は

$$-k_v\Delta-c_v\dot{\Delta}=M_{vs}\ddot{z} \qquad (10)$$

ここに，c_v は減衰係数である。

次に，桁は 図—7 のような1自由度の振動系であらわされる。図で，P, M_B, k_B は，equivalent system の荷重，質量，バネ常数である。この equivalent system のタワミは，桁の実際のスパン中点におけるタワミと同一である。

図—7 Idealized Bridge



最低次の振動モードのみを考え，total bridge の運動エネルギ

を equivalent system の運動エネルギに等しいとおくことによつて，

$$M_B=0.5\,M_B{}^T+M_{vu}\sin^2(\omega t)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

となる。ここで，$M_B{}^T$ は桁の全質量である。実際の荷重のする仕事と equivalent load とがする仕事を等しいとおくことによつて，

$$P=(M_vg+k_v\Delta)\sin(\omega t)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

二つの system の歪エネルギを等しいとおくことによつて，EI を実際の桁の曲げ剛性とすれば，図—7 の k_B は次のようになる。

$$k_B=\pi^4EI/2\,l^3$$

equivalent system の固有振動数は，

$$p_B=(k_B/M_B)^{1/2}=(\pi^4EI/M_B{}^Tl^3)^{1/2}\ \cdots\cdots\cdots(13)$$

であつて，実際の橋桁の最低次のモードの固有振動数に等しい。

equivalent bridge system に対する運動方程式は，

$$(M_vg+k_v\Delta)\sin(\omega t)-k_By_c-c_B\dot{y}_c=M_B\ddot{y}_c\ \cdots\cdots(14)$$

となる。ここで，c_B は橋桁の減衰係数である。

結局，桁の振動の研究は，

$$\Delta=z-y_c\sin(\omega t)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

$$\ddot{y}_c=\{(M_vg+k_v\Delta)\sin(\omega t)-k_By_c-c_B\dot{y}_c\}/M_B\ \cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

$$\ddot{z}=(-k_v\dot{\Delta}-c_v\Delta)/M_{vs}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

の方程式を解くことに帰せられるが，これはきれいな形にとくことができないので，数値積分法によればよろしい。そのためには，桁を通過するに要する全時間を細かい時間間隔 Δt にわける。この場合 Δt は桁の固有振動周期の 1/10 より大きくしないことが必要である。

Whirlwind I で計算した実例 (Test Run 31) の模型桁と模型自動車に対するデータは，次のようである。

自動車

- Total Weight $(M_v\cdot g)=5.791$ lbs
- Sprung Weight $(M_{vs}\cdot g)=4.937$ lbs
- Spring Stiffiness $(k_v)=4.910$ lbs/in.
- Damping Coefficient $(c_v)=0.0055$ lbs·sec/in
- Velocity$(V)=35.42$ in/sec
- Natural Frequency (experimental) $(f_v)=3.07$ cps

橋　桁

- Span$(l)=51.5$ ins.
- Total Weight $(M_B{}^T\cdot g)=59.0$ lbs
- Damping Coefficient $(c_B)=0$
- Stiffness $(k_B)=49.48$ lbs/in
- Natural Frequency $(f_B)=4.05$ cps

自動車の重心の位置がスパンに入つた時刻を $t=0$ にとるものとし，この瞬間において，spring force が sprung weight の 130% であつたものとする。

Δt としては $(1/60)(l/v)=51.5/60\cdot35\cdot42=0.02428$ sec にとる。

$$M_{vs}=4.937/386=0.01278\ \text{lbs}\cdot\text{sec}^2/\text{in}$$

$$M_{vu}=0.854/386=0.00221\ \text{lbs}\cdot\text{sec}^2/\text{in}$$

$$M_B=0.5(59.0/386)+0.00221\sin^2(\omega t)$$

$$=0.07642+0.00221\sin^2(\omega t)$$

$$P=(M_vg+k_v\Delta)\sin(\omega t)$$

とすれば

$$\ddot{z}=(-k_v\Delta-c_v\dot{\Delta})/M_{vs}$$

$$\ddot{y}_c=(P-k_By_c)/M_B$$

さて，$\ddot{z},\ddot{y}$ の値から，z,y を計算するには，

$$z_{(n+1)}=2\,z_n+\ddot{z}_n(\Delta t)^2-z_{(n-1)}$$

$$y_{c(n+1)}=2\,y_{cn}+\ddot{y}_{cn}(\Delta t)^2-y_{c(n-1)}$$

を用い，$\dot{\Delta}$ の計算には

$$\dot{\Delta}_n=(\Delta_n-\Delta_{n-1})/\Delta t$$

を用いるものとする。

Initial condition は

$$\Delta_0=z_0=(0.30\times4.937)/4.910=0.30162\ \text{ins.}$$

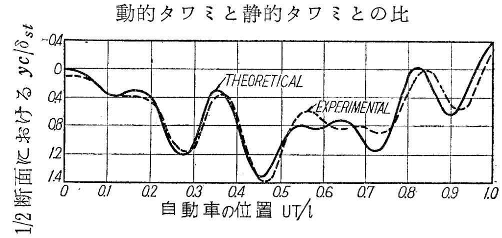
$$\dot{\Delta}_0=\dot{z}_0=0,\ y_{c0}=0$$

とする。

これらの数値および近似式を用いて，Test Run 31 の実験値に対する理論値を得るために，式 (7)，(14)，(15) の数値積分を行つたわけである。

図—8 は模型の単純桁において模型自動車を走行せしめた場合の Run 31 の，スパン中点のタワミ y_c と静的タワミ δ_{st} との比 (y_c/δ_{st}) を自動車の位置に対して示したものである。theoretical とあるのは，上記のようにして，digital computer によつて計算した結果をプロットしたものであつて，両者は比較的よく一致しており，計算方法の正しいことを示している。

図—8　Test Run 31 における，スパン中点の動的タワミと静的タワミとの比



このように，digital computer および analog computer によつて多くの場合に対する計算を行つて，次のような結論を出している。

a)　橋桁にかかる瞬間の，自動車の振動の最初の振幅 (initial amplitude) が，橋桁の振動の大きさにおよぼす最も重要な要素であること。

b)　それに加えて，大きな振動は，車輛の固有振動数が桁の固有振動数に近接する場合に，通常おこる。

c)　さきの deflection ratio $y_c/\delta_{st}(=1+i)$ に影響する他の唯一の要素は，mass ratio M_v/M_B であつて，これは，橋の固有振動数と自動車の固有振動数との比すなわち frequency ratio が，1に近い場合にのみ重要で

ある。

J.M. Biggs 教授らの研究は，analog computer を主要な武器とし，digital computer を一部に利用しているが，N.M. Newmark 教授らの研究は，digital computer 一点張りである。この研究結果は，次のような三つのパラメーターを用いて，実験値と比較されている。

1) Weight parameter

R_1=(weight of unsprung part of vehicle)/weight of bridge

R_2=(weight of spring part of vehicle)/weight of bridge

$R=R_1+R_2$

2) Stiffness parameter

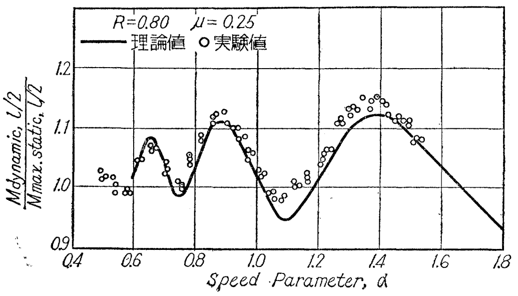
μ=(fundamental period of bridge)/(fundamental period of vehicle)$=T_b/T_v$

3) Speed parameter

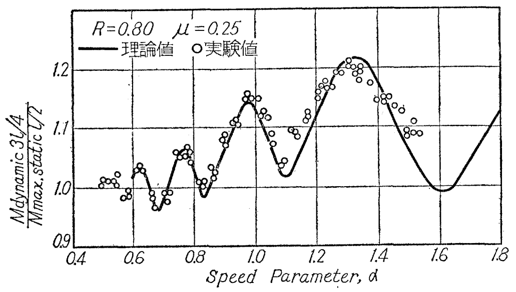
α=(one-half of the fundamental period of bridge)/(time required for the vehicle to cross the span)$=vT_b/2l$

実験は，模型の自動車，桁を用いて行つたものである。結果の一，二を示すと，図—**9**，**10** のようである。図—**9** の縦軸は，スパン中点においてとつた dynamic bending moment と，スパン中点の max. static bending moment との比であり，図—**10** においては，$3l/4$ 点の dynamic bending moment とスパン中点の max. static bending moment との比である。digital computer

図—9



図—10



による計算が実験値をよく説明しうることがわかる。

さて，わが国では，従来，橋梁の走行試験といえば，単に車輛を走行せしめて，$\delta_{max}/\delta_{static}$，$\sigma_{max}/\sigma_{static}$ (タワミあるいは応力の最大値と平均値との比)とを用いて，衝撃率と速度との関係をしらべるのがせいぜいであつたが，これらの二つの研究を通じて，反省を加えるとともに，さらに新しい道を開かなければならないと思う。

5. む す び

以上，digital computer を用いる step by step calculation の実例として，三つを紹介した。第1例は，普通の手動計算機で時間をかけるとできないわけではないが，第2,3例の微分方程式の数値解析は，手動計算機では，時間をかけてもできるものではない。このように，以前には解析できると想像もされなかつたような問題が，digital computer によつて，解析が可能となり，逐次ベールを脱いでゆくことになるわけである。アメリカでは digital computer を普通の手動計算機のように使つているらしいが，われわれも，スタートにおいて遅れたとはいえ，大いに努力して，先人の足跡に速かに追いつくとともに，これを追い越したいものである。

工学の各分野で，もとつも digital computer を利用しうるのは，構造力学，構造工学であると信ずる。この中でも，連立多元一次方程式の解法，逆マトリックスの解法，微分方程式の step by step calculation が，もつとも利用価値がある。わが国の電子工業界でも digital computer に力をいれ，各メーカーが競つているので，各大学，研究所ではここ数年の間に，利用しうるようになると思われる。これに備えて，今から，digital computer による工学問題の解析，computer むきの解析法およびプログラミングなどを研究することの必要を，声を大にしてとなえたいと思う。

参 考 文 献

1) 成岡，松縄：土木学会誌，**42**.9 (昭 32.9)，p.9.
2) 成岡：土木学会誌，**43**，12 (昭 33.12)，p.43.
3) S. Levy; Influence Coefficients of Tapered Cantilever Beams Computed on SEAC, Journal of Applied Mechanics, **20**. 1 (1953), p.131.
4) T.P. Tung and N.M. Newmark: Numerical Analysis of Earthquake Response of a Tall Building, Bulletin of the Seismological Society of America, **45**. 4 (1955) p.269.
5) T.P. Tung and N.M. Newmark; Shears in a Tall Bulding Subjected to Strong Motion Earthquakes, Proceeding of the World Conference on Earthquake Engineering, p.10-1 (1956).
6) J.M. Biggs, H.S. Suer and J.M. Louw; A Theoretical and Experimental Investigation of the Vibration of Simple-span Highway Bridges, Joint Highway Research Project, Progress Report, No. 52 (1956).
7) T.P. Tung, I.E. Goodman, T.Y. Chen and N.M. Newmark; Highway-Bridge Impact Problem, Highway Research Board Bulletin 124, Vibration and Stresses in Girder Bridges, p.111 (1956).