パーソナルコンピュータによる列車波動解析*

西澤 一 友**, 松 井 哲**

Analysis of Longitudinal Vibration of Train on Personal Computer

by Kazutomo NISHIZAWA and Satoshi MATSUI

When the emergency brake is applied on a long freight train, severe impulsive coupler forces can be developed under some conditions. Intending to find measures for the reduction of such forces, the authors have repeated computer simulations. As the force varies according to the time following brake application and also the location in the train, the method is intended to display the force of couplers through the time interval concerned. This paper proposes visual image processing on a personal computer for the purpose. The intensity of the coupler force is classified by seven color-images on CRT. Observing the image and tracing the point of interest on the CRT by MOUSE, we can obtain the necessary data: time, coupler number and force, at the same time.

As an example, the authors applied this method to two trains of almost similar conditions and found the difference of phenomena by means of simulated images.

Key Words: Railway, Longitudinal Vibration, Shock, Image Processing, Personal Computer

1. 緒 言

列車のブレーキ時に発生する連結器力は、100 kN, 条件によっては1 MN のオーダに達し、鉄道車両が受ける荷重としてとびぬけて大きく、安全・強度上、常に問題となる因子である。その研究に対しては、現在コンピュータシミュレーションが行われ、衝撃力の大きさの予測やその緩和のための方策が検討されている⁽¹⁾⁽²⁾。得られたデータは、通常XYプロットにより作図される。この場合、連結部の数が多く、かつ現象に急激な変化があるとき、表現する連結部位、時刻のサンプリングが問題となる。そして特定連結部の時間-力関係、あるいは特定時刻における各連結部-力関係といった二次元的な表し方では現象の一側面しかとらえられない。そこで、列車の全連結部についてブレーキ開始から時々刻々の力の大きさの変化を三次元的にひと目で把握できるようなデータの表現方法が以前から望まれていた。

本研究はそれに対応する一つの試みで、処理に時間がかかる主計算はホストコンピュータにより、得られ

た結果の表現は最近発達のめざましいパーソナルコンピュータのグラフィック処理能力を生かして、連結部位-時刻-力の関係を三次元的に表現し、今後の研究に役立てようとするものである。

本報では特にパーソナルコンピュータによるデータ処理とその結果について述べる。方針として、時々刻々の列車内全連結器力の経過をパーソナルコンピュータのCRT画面上に色分け表示することと、その画面から時間、連結部番号、連結器力の値を読みとることの2点に主眼を置いた。

2. システム構成

2.1 機器構成 解析に使用するパーソナルコンピュータは富士通マイクロ11-BSである(以下FM11と記す)。FM11のメモリ容量は256 KB, グラフィックVRAMは192 KBである。付属機器は640×400ドットカラー-CRT, 8インチ標準フロッピーディスクドライブ2基, マウス, 漢字プリンタである。ハードウェアの改造は行っていない。使用する言語はCP/M-86上で動作するF-BASIC 86 (V1.1, L1)のみである。また、FM11はRS-232Cインタフェースによりホストコンピュータと接続し、1200 BPSの通信速度で端末機としても使用できるようにしてある。

* 昭和60年11月2日 東北支部仙台台地方講演会において講演, 原稿受付 昭和60年3月22日。

** 正員, 日本大学生産工学部(〒275 習志野市泉町1-2-1)。

列車波動シミュレーションを行うホストコンピュータはパナファコム U-1400 である。端末機からは会話形 TSS によりプログラムの編集や起動ができるようになっている。なお現在、富士通 M 360 との光ファイバによるネットワークが進められており、M 360 をホストコンピュータにした場合、さらに処理の高速化が望める。

2.2 処理の流れ 列車波動シミュレーションとその解析の流れを図 1 に示す。

ホストコンピュータで行う処理は次の 3 項である。

- (1) TSS により FM 11 からプログラムの編集と実行
- (2) EBCDIC コードから ASC II コードへの変換
- (3) FM 11 へデータを渡すためのファイルコピー

データをホストコンピュータから FM 11 へ通信回線を使って渡さない理由は、データ量と通信速度から推定してフロッピディスクで渡したほうが時間的に効率が良いと判断したからである。

FM 11 で行う処理は次の 4 項である。

- (1) ホストコンピュータから渡されたフロッピディスクを BASIC で処理できる形式に変換
- (2) データ表示画面の作成
- (3) 画面のフロッピディスクへの退避と復元
- (4) マウスを使った解析

以上に示した一連の処理の中から、特に新しい試みとして考えた FM 11 によるデータの表現方法とマウスを使った解析について述べる。

3. 解析用画面の設計

FM 11 がホストコンピュータから受けとるデータの条件は次のとおりである。媒体は 8 インチ両面倍密度フロッピディスクである。データは最初に列車の車両数、次から時間ステップごとの連結器力が車両数分、単精度実数で記録されている。連結器力の単位は N、圧縮力を正、引張力を負としてある。このデータを使い、解析のために連結器力を色分け表示するとともにマウスにより連結器力を読みとるための画面設計を行う。

3.1 連結器力の色分け表示 連結器力を色で表示するカラー CRT の画面は 640×400 ドットであるが、座標軸やカラーテーブルを表示するため、正味の表示エリアは 600×350 ドットとする。座標の原点は画面左上にとる。横軸 600 ドットで右方向へ各車両の連結器力を色分け表示する。列車の車両数により一車両を表示するドット数は決定される。縦軸 350 ドットは下方向に時間を表し、1 ドットに一つの時間ステップを対応させる。画面に表示する連結器力と表示色の対応を表 1 に示す。

これらの事項をふまえ、連結器力の色分け画面は、F-BASIC 86 の LINE 命令により作成する。

3.2 マウスによる連結器力の読みとり マウスは画面上に表示したカーソルを任意に移動させ、マウスに付属のボタンを押すことにより、そのときのカーソルの座標値、すなわち縦方向と横方向の原点からの

図 1 列車波動シミュレーションの流れ

表 1 連結器力と表示色の対応

Coupler Force F (KN)	Color
Tension	Blue
Compression $0 \leq F \leq 200$	Red
$200 \leq F \leq 400$	Purple
$400 \leq F \leq 600$	Green
$600 \leq F \leq 800$	Light Blue
$800 \leq F \leq 1000$	Yellow
$1000 \leq F$	Black

ドット数を読みとる装置である。

3・1節で述べた連結器力の色分け表示画面にマウスを使用した場合、カーソルにより示されたドット位置からその点の車両番号と時間の二つは換算により求まる。しかし、解析を進めるためにはその場所の連結器力の値も同時に知りたい。そこで、マウスにより、車両番号、時間、連結器力の三つの値を同時に、しかも瞬時に求め、結果を画面に表示する方法を考えた。

FM 11 は 192 KB のグラフィック VRAM をもっている。これは 640×400 ドットカラー表示 2 画面分である。連結器力の色分け表示に 1 画面分の VRAM を使用するが、もう 1 画面分の VRAM は空いている。一方、F-BASIC 86 には、青、赤、緑の色のビットパターンを VRAM に書き込む PUT@命令と、VRAM から読みとる GET@命令がある。連結器力の数値もコンピュータ内ではビットパターンで処理が行われるので、色のビットパターンと全く同じ扱いができるはずである。果たしてその通りで、1 ライン単位に単精度の連結器力を PUT@命令で VRAM へ書き込み、GET@命令で再び読みとることができた。

この考え方によれば、カラー表示 1 ライン 640 ドットの記憶容量は 3 色×80 B となり、単精度実数 (4 B) 60 個分に相当する。すなわち 60 両編成の列車までなら一つの時間ステップの全連結器力を 1 ラインに記憶することができる。したがって 1 画面では、60 個×400 ラインで最大 24 000 個の単精度実数の値が記憶できることになる。

このようにして、2 画面のうち 1 画面を連結器力の色分け表示として使い、表示しないもう一画面を連結器力の値の記憶用とすれば、マウスを使い、色分け表示された時間的経過とともに変化する全車両の連結器力を見ながら画面上の一点を指定することにより、その点の車両番号、時間、連結器力の 3 要素を同時に読みとることができる。

4. 適用結果

画面作成に適用したデータは、昭和 52 年に国鉄が行った山陽本線、瀬野-八本松間での貨物列車の非常ブレーキ試験の結果をもとに、連結器力に関するシミュレーションをしたものである⁽³⁾。現車試験は後部に 2 両の補助機関車をつけた 2 編成の貨物列車について行われた。1 編成は総質量 150.7×10^3 kg, 47 両 (A 列車とよぶ)、もう 1 編成は総質量 150.8×10^3 kg, 46 両 (B 列車とよぶ) である。この 2 編成の列車に対して、それぞれ 22.5/1 000 上りこう配で、速度 50 km/h から先頭機関車により非常ブレーキがかけられた。その

結果、後部補助機関車と貨車の間の連結器でひずみゲージにより連結器力を測定していたところ、B 列車で、以降の測定が不能となる大きな力が発生した。

シミュレーションは A 列車、B 列車ともに現車試験の条件にしたがって非常ブレーキ操作から 6 s までの連結器力を計算した。その結果、現車試験と同様に B 列車では大きな連結器力が計算された。

シミュレーションにより得られたデータを用いて作成した A 列車と B 列車の連結器力の変化をそれぞれ、図 2 と図 3 に示す。カラー画面をモノクローム撮影したため、多少見にくくなっている。

図 2 と図 3 に示す画面を得るために要した処理と時間を表 2 に示す。それによると、特に画面の作成に時間がかかっているため、さらに表示の高速化が必要である。また、一度画面を作ってしまうと短時間で画面の退避と復元がフロッピディスクを用いてできるので何回も画面を再現しながら解析を進めるうえではたいへん便利である。

5. 考察

図 2 と図 3 を比較しながら連結器力の変化を検討する。A 列車、B 列車ともにほとんど同じ編成で、同じ条件から計算を始めたにもかかわらず連結器力の大き

図 2 A 列車連結器力

図 3 B 列車連結器力

表 2 画面作成までの処理と処理時間

Process	Time (min)	Program Language
Calculation	4.5	FORTAN77
Code Convert	2.0	FORTAN77
File Copy	4.5	Utility
File Convert	4.5	F-BASIC86
Image Create	30.0	F-BASIC86
Save Image	1.0	F-BASIC86
Load Image	1.0	F-BASIC86

さには違いがある。

まず、計算開始の状態は A 列車, B 列車ともに前 19 両が先頭機関車によって引つ張られ, それ以降は後部補助機関車により押上げられた形から非常ブレーキがかけられている。その後、ブレーキ作用のため先頭の引張部分は時間の経過とともに圧縮にかわり, A 列車, B 列車ともに 12 両めを最後にすべての車両が圧縮状態となる。そして圧縮力がしだいに列車後方へ伝達され, 最後部車両へは A 列車で 4.54 s 後, B 列車で 4.60 s 後に到達している。力の伝達の状況は A 列車, B 列車ともほとんど同じである。

しかし、最初の圧縮力が伝達されてからの挙動に明らかな違いが見られる。B 列車では 30 両め付近から最後部車両にかけて、図 3 では黒で示される 1 MN を超える連結器力が、短時間ではあるがくりかえし現れている。現車による実験では測定不能となってしまう実測値と比較はできないものの、第 45 連結部では 4.64 s に 1.09 MN の力が計算されている。それに対し、図 2 の A 列車では図 3 に見られるような 1 MN を超える黒い部分は見当たらない。

著者らは、B 列車のデータをもとにシミュレーションをくりかえし、文献(3)により、連結器力軽減のために、後部補助機関車に油圧緩衝器を取付けることを提案した。現在、対象線区にはシリコン油圧緩衝器を取付けた機関車が運用されている。この提案では後部補助機関車の連結器力だけに注目し、できるだけ緩衝器でエネルギーを吸収しようと考え、1 MN 以下に抑えられる結果が得られた。しかし、本解析法により A 列車, B 列車の違いがひと目でわかり、また B 列車についてすでに 30 両め付近から連結器力が大きくなる兆候が現れていることから、ある特定の緩衝器の性能を向上するだけでは連結器力を軽減する根本的な解決とはいえない。

貨物列車は、種類の異なった車両を連結して編成するため列車内の質量分布や緩衝器の組合せが列車ごとに違うという難点があり、連結器力の軽減を検討するうえで、どの列車にも適用できる方法を見つけることはむずかしい。しかし、本解析法を応用することにより、列車がどんな状態のとき、どこに大きな力が発生するのか、その傾向と対策はつかめるであろう。反省とともに今後の研究課題としたい。

6. 結 言

ホストコンピュータにより計算された列車波動シミュレーションの結果を 8 インチフロッピディスクで受けとり、市販のパーソナルコンピュータに特別な改造を加えることなく BASIC 言語のみで以下のことができる解析システムが完成した。

(1) グラフィック VRAM へ数値を書き込むことによりパーソナルコンピュータ本体のメモリ容量に関係なくある程度大量のデータを記憶することができるようになった。

(2) 連結器力の色分け表示により、ブレーキ開始から時々刻々の全連結部の力の状態がひと目で把握できるようになった。

(3) さらにマウスを使って、色分け表示された連結器力の画面を見ながらカーソルで画面上の一点を指定することにより、その点の連結部番号、時間、連結器力の 3 要素が同時に、しかも瞬時に読みとれるようになった。

そしてほとんど同じ編成で同じ条件から非常ブレーキをかけたのに発生した連結器力が異なる 2 編成の列車を例にとり、連結器力についてそれぞれ画面を作成し 2 画面を比較することにより時間経過にそった連結器力の違いが明らかになり、本方法が有効な解析法であることが確認できた。

終わりに、本研究に対し、FM 11 とホストコンピュータの接続のため、ハードウェア、ソフトウェア両面で貴重なご助言をいただいた日本大学生産工学部 大島淳一専任講師と研究生 網代一男氏に感謝の意を表する。

文 献

- (1) 松井、機誌、74-629 (昭 46) 704.
- (2) 西澤・ほか 2 名、日本大学生産工学部報告 A, 14-2 (昭 56) 65.
- (3) 松井・ほか 2 名、国鉄委託研究報告書、(昭 55)、日本大学生産工学研究所。

討 論

〔質問〕 和田 仁〔東北大学工学部〕

列車がどのような場合に衝撃力が大きく、またどのような場合に衝撃力が小さくなるかをお知らせ願いたい。

〔回答〕 列車は、多数の車両（質量）が約 20 mm の自由遊びきと 100 mm 程度の行程をもつばねを介してゆるく結合された離散系である。ところが前頭からの空気ブレーキによる制動作用は、時間遅れを伴って後部に及ぶ。そこで衝撃は、減速した前部車両に減速しない後部車両が衝突して発生する。

したがって一般的に、衝撃力は、作用するブレーキ力が大きいほど、列車を構成する各車両の質量が大き

いほど、また列車が長いほど速度差が増すので大きくなる。また緩衝ばねの特性が行程終端で剛性の上がる非線形をもつほど大きくなる。

仮に、A・B、2 列車の両数、総質量がほぼ等しく、かつブレーキ操作条件が同じでも、それぞれ構成する車両質量の分布、各車両の連結部の緩衝ばね特性により力はかなり変わり得る。特に影響の大きいのはブレーキ時の車両間初期伸縮状態で、ばねが伸びているスラックアウト状態ならば大きな速度差のため衝撃力がきわめて大きくなる列車でも、初めからばねが圧縮しているスラックイン状態ならば、力はきわめて小さくなる。