

道路橋の橋面凹凸性状に関する数値データベースの作成*

NUMERICAL DATA BASE ON ROADWAY ROUGHNESS OF HIGHWAY BRIDGES

本田秀行**・小堀為雄***

By Hideyuki HONDA and Tameo KOBORI

In this paper, the numerical data base (BINS) on roadway roughness of highway bridges is presented. The BINS is composed of the data bases (BINS 1 and BINS 2) of two kinds on longitudinal roughness and roughness of expansion joint point based on the roughness data measured by the authors. The BINS is supported by IBM computer 370/3090, and is made by EXEC I/O procedure using REXX language. IBM computer VM/SP above re-lease 4 is possible to use the system of the BINS.

The applied examples of the BINS are presented to quantitatively investigate the characteristics of roadway roughness, and to give the technical data using the vibration problems of highway bridges under moving vehicles.

Keywords : data base, roadway roughness, highway bridge

1. ま え が き

科学分野では、一般に対象とする研究分野における現象解明やその特性評価などを検討する場合、データの蓄積を図るとともに、その基礎資料の整備が可能である数値データベースの作成は重要なことである。

さて、道路橋の舗装路面（以下橋面という）は、①道路橋の衝撃係数、振動軽減、疲労強度および歩行者の振動感覚などの動的応答問題^{1)~4)}、②低周波空気振動や騒音および橋台、橋脚周辺の地盤振動などの環境・公害問題^{5),6)}、③道路橋の健全度や橋面の維持管理の問題^{7),8)}など多岐にわたる研究分野で重要な因子となっている。しかし、データ不足のため、そのデータ蓄積の重要性が指摘⁹⁾されているが、この橋面性状に関するデータを測定・蓄積している機関は国内外とも非常に少ない。このために、著者らは数か所の研究機関に測定した原データなどを提供しているのが現状である。

このことから、著者らが昭和52年から実施してきた

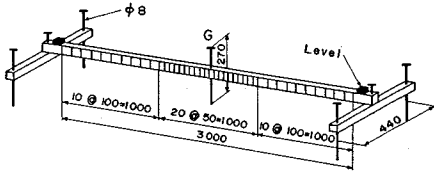
道路橋の橋面性状に関する実態調査^{10)~12)}で測定・蓄積してきた橋面凹凸のデータをもとに、その数値データベースの作成を試みてきた^{13)~15)}。参考文献14)で報告した数値データベースは、以下のような欠点を有していた。①パソコン用のソフトとして作成されたために処理容量が小さく、測定原データの格納やプログラムの拡張が限界に達していること。②このソフトから得られるデータは主として橋面性状をもとにした情報であるが、道路橋の動的性状や健全度評価のためには橋面性状も含めた橋梁構造物全体の情報が必要である。また、将来このような橋梁全体の情報を多方面の研究機関に提供していくためには、大容量ハードとそれに対するソフト開発が必要になってくる。

そこで、本研究では、上記の研究分野へ基礎資料を提供するため以上に述べたような欠点や将来への展望も含めて、参考文献13), 15)で報告したデータベースのシステムをさらに拡張した道路橋の縦断方向部凹凸と伸縮装置部凹凸の橋面性状に関する数値データベース BINS (Bridge Information Network System) の構築を試みた。この BINS は、金沢工業大学の大型計算機 IBM 370/3090 を支援コンピューターとした EXEC プロシジャーの高度な言語である REXX 言語（再構造化拡張実行プログラム言語）を用いた汎用システムとして

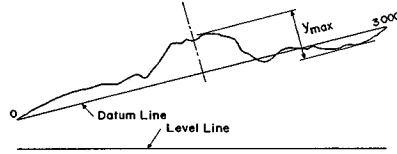
* 第10, 11回電算機利用に関するシンポジウム（昭和60年, 61年）にて一部発表。

** 正会員 工博 金沢工業大学助教授 土木工学科
〒921 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘7-1)

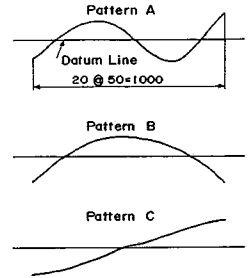
*** 正会員 工博 金沢大学教授 土木建設工学科
〒920 石川県金沢市小立野2-40-20)



図一 伸縮装置部の凹凸測定機



図二 最大凹凸値 y_{max} の読み取り法



図三 凹凸パターンの分類

作成され、道路橋の縦断方向部凹凸である BINS 1 と、伸縮装置部凹凸である BINS 2 の 2 種類のデータベースから構成されている。

REXX 言語は、コマンドプロシジャー言語であり、データベース (DB) は既製のデータベース管理システム (DBMS) を用いる方が基本的には作成が容易と思われる。しかし、一般に DBMS の装備はコスト高やマシン・システム環境の充実など、利用者の対応不可能な要因にも関係している。当金沢工大の IBM マシンでの DBMS に準拠したものとして、DB 2, SQL/DS が最近装備されたが、データの格納や検索処理システムが主流で、現象解明の特性評価を行うような統計処理や各種の応用計算処理プログラムの連結には、専門的に高度な操作技術を要する。

しかしながら、REXX 言語による DB は、DBMS を利用しなくても、基本システムや各種の応用システムなどを EXECI/O プロシジャーの使用によって比較的簡単に作成が可能である利点を有している。このことから、1つのケーススタディとして、本報告ではその言語を用いた DB を作成した。

なお、IBM マシンの VM/SP のリリース 4 以上では、3 年ほど前から REXX 言語が標準装備されている。したがって、本報告で作成した REXX 言語による DB システムは、現在、稼働している IBM マシンにはそのまま移植が可能と思われる。IBM マシン以外の機種については稼働が可能か現時点では不明であるが、ソフトウェアの移植が困難な場合には、著者らがすでに数か所の研究機関に提供しているように、データのみを移植は可能である。

以下に、本報告で作成した BINS の設計指針、情報検索や統計処理システム、原データファイルの作成・修正や出力ファイルの作成システムなどの詳細や運用例について報告する。

2. 橋面凹凸の調査法および書式

(1) 縦断方向部凹凸

縦断方向部の橋面凹凸は著者らによる実態調査¹⁰⁾で用いられてきた測量用レベル法で測定されているが、光学式非接触型測定機¹⁶⁾なども開発されていることから、レベル法のみによる測定の限りではない。測定位置は、自

表一 橋面凹凸の調査項目

	縦断方向部 BINS1	伸縮装置部 BINS2
1	測定データ番号	測定データ番号
2	橋梁名	橋梁名
3	橋梁形式	橋梁形式
4	橋格	橋格
5	橋長	橋長
6	幅員	幅員
7	測定センターラインからの距離	測定センターラインからの距離
8	舗装種別	舗装種別
9	床版材料	床版材料
10	床版支持構造	床版支持構造
11	架設年月	架設年月
12	調査年月	調査年月
13	測定間隔	測定間隔
14	測定データ数	測定データ数
15	通過交通量	通過交通量
16	特記事項	特記事項
17	橋梁の支間割	装置前後の支間割
18	格間長・対傾間隔	装置下の下部構造
19	縦断勾配	装置の形式
20	平滑度パラメーター α の値	凹凸パターン
21	指数 n の値	最大凹凸値 (y_{max})
22	$\Omega_c = 0.05c/m$ のスペクトル値	標準偏差値 (σ_y)
23	測定数値データ	測定数値データ

動車の車輪の走行頻度が比較的高いセンターラインから 0.5 m、あるいは 2.0 m 離れた地点を橋軸方向に 10 cm 間隔で測定した。ただし、測定時の交通状況や橋面状態を考慮して測定間隔を粗くする場合は 50 cm までである。

(2) 伸縮装置部凹凸¹¹⁾

図一は伸縮装置部凹凸の測定機を示している。装置中央の前後 1.5 m の合計 3 m の凹凸値を縦断方向に、中央部の 1 m については 5 cm 間隔で、その他は 10 cm 間隔でノギスを用いて測定した。測定位置はセンターラインから 2 m の地点とした。なお、レベル測量や 3 m 横断プロフェルメーターなどの測定機も可能である。伸縮装置部 3 m の凹凸値は図二に示すように、最初と最後の測定値を結んだ線を基準線とし、この基準線からの凹凸の最大値を最大凹凸値 y_{max} とした。さらに、測定間隔が 5 cm の中央 1 m 部については、伸縮装置部の局所的な凹凸パターンとして、図三に示すパターン A, B, C に分類した。

(3) 凹凸データの書式

以上のような調査法に基づき、橋面凹凸に関するデータの書式は、先に著者らが提示した書式法¹⁷⁾に従って、表-1に示す調査項目を設定した。この表のように、両者の調査項目は1~16まで同じであるが、17から異なっている。なお、橋面性状の実態には地域性がかなりあるように思われることから、たとえば北陸地方の場合、項目16には降雪時のタイヤチェーンやスパイクタイヤの装着などを特記事項としている。また、このほかの調査項目としては、橋梁の構造に関する詳細情報や、橋面のわだち堀れ、ひびわれ率、アスファルト舗装の流動なども考えられよう。ここでの調査項目の設定は、特に走行車両による道路橋の振動問題を検討するうえで重要な橋面性状の要因を抽出したものである。

縦断方向部 (BINS 1) の調査項目 20~22 については、以下の値を採用する。すなわち、橋面凹凸の性状はパワースペクトル密度の特性値で評価されるのが一般的である¹⁰⁾。橋面の測定凹凸値を FFT や MEM¹²⁾ でスペクトル解析した場合、橋面凹凸のパワースペクトル密度 $S_r(\Omega)$ は次式のような指数関数に近似され得ることが著者らの研究¹⁰⁾で確認されている。

$$S_r(\Omega) = a\Omega^{-n} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Ω は橋面周波数、 a は橋面の平坦性を表わす平滑度パラメーター、 n は周波数によるパワーの分布、すなわちスペクトルの勾配を表わす指数である。上式 (1) によるスペクトル密度は、 $\Omega \rightarrow 0$ のとき、無限大に発散する。そこで、ある周波数以下の低周波数域では平坦なスペクトルにするため、調査項目の 22 で Cut-off Wave Number $\Omega_c = 0.05$ c/m でのスペクトル値を定義している。

3. 数値データベース BINS の作成

(1) CMS 環境と EXEC プロシジャー

大型計算機では、通常、端末による VM 環境 (仮想計算機機能 VM/SP) が用いられる。IBM 3090 での端末操作は CMS でなされ、プログラム編集、コンパイラ、デバッグ、データ入力、実行、出力ファイルなど一連の作業が行われる。このような CMS には、利用者が頻繁に用いる手順またはコマンドを CMS に登録し、簡単なコマンドでもって一連の作業を実行させるための機能に EXEC プロシジャーがある。この VM/SP を使用することによって、橋面性状の実態調査で得た多量の凹凸原データを格納できる容量の確保が可能となる。さらに、CMS の EXEC プロシジャーの使用によって、データベースの作成に必要な検索や統計処理など加工処理のシステム化も可能となる。

ところで、データベースはその性質上、利用者との対話形式が望ましいこと、あるいは情報の処理加工に対す

る各種のアプリケーション・システムの導入が可能であることが要求される。このようなシステム作成に対して、本研究では、FORTRAN 以外の言語として汎用性のある高水準言語である REXX (Restructured Extended Executor) 言語を使用している。この REXX 言語とは再構造化拡張実行プログラム言語とよばれるもので、これに似た言語として PL/I がある。REXX 言語は、解釈プログラムによって実行されるので、PL/I、FORTRAN など機械語に翻訳してから実行する言語のように、構文エラーなどの訂正に手間取ることはほとんどない。しかし、直接、行ごとの一語ずつ解釈して実行するため、処理時間は他の言語よりも若干多く必要とする。そのほか、この言語にはプログラムの形式上の制約があまりないため、構造に重点をおいた形式でコーディングができることから、プログラムが読みやすい。さらに特長的なことは、REXX 言語の EXECI/O プロシジャーの使用によって、FORTRAN や PL/I のような異なった言語で書かれたプログラムもリンクできる利点がある。したがって、EXEC の作成と各種アプリケーション・プログラムのモジュールがあればリンクできるため、対話形式によって各種のデータ加工処理の拡張とその応用が可能である。

(2) BINS システムの設計

BINS のプログラム構成を示したのが図-4 である。この BINS には、一点鎖線で示したように縦断方向凹凸 (BINS 1) と伸縮装置部凹凸 (BINS 2) に大別される。図中の破線ブロックは、情報検索などの後、各種のデータ加工を処理するのに必要なムーブ・データファイルであり、各処理によってデータが更新されるものである。また、出力ファイルの視覚化のための図・表の作成プログラムについては、各処理によって格納されたムーブ・データファイルの読み込み、出力などを EXECI/O プロシジャーの使用によって実行し、現時点で SAS システムが支援されている。

BINS システムの主プログラムを示したのが図-5 である。利用者が実行する処理番号 1~3 をキーボードか

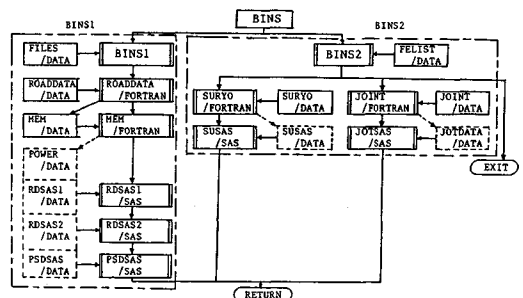


図-4 BINS システムのプログラム構成

ら入力することによって、BINS 1, BINS 2, 終了のようにプログラムが実行される。各処理が終わるとまたこのプログラムに戻ってくる。なお、/*~*/はプログラムが REXX 言語であることを示しており、注釈文に使えるほか、各種プログラム間の区切りにも使用が可能である。

(3) BINS 1 システム

a) 全体システム いま、図-5 に示したプログラムで処理番号 1 を入力すると、図-6 に示す BINS 1 の主プログラムが働き、データの入力や各種処理のメニューに実行が移る。

```

/*****
/* BINS: BRIDGES INFORMATION */
/* NETWORK SYSTEM */
/*****
/* DATA BASE ON ROAD SURFACE ROUGHNESS */
/* OF HIGHWAY BRIDGES */
/*****
KAZU=0
'CLEAR'
DO UNTIL(KAZU="")
SAY '1.BINS1'
SAY '2.BINS2'
SAY '3.EXIT '
SAY;SAY;SAY; 'HIT NUMBER'
PULL KAZU
SELECT
WHEN KAZU=1 THEN EXEC BINS1
WHEN KAZU=2 THEN DO;EXEC BINS2;EXIT;END
WHEN KAZU=3 THEN EXIT
OTHERWISE EXIT
END
END
RETURN
    
```

図-5 BINS の主プログラム

```

/*****
/* BINS1 SYSTEM */
/*****
EXEC TDISK
ERASE FILIST DATA G
CALL READ
CALL MENU1
RETURN
    
```

図-6 BINS の主プログラム

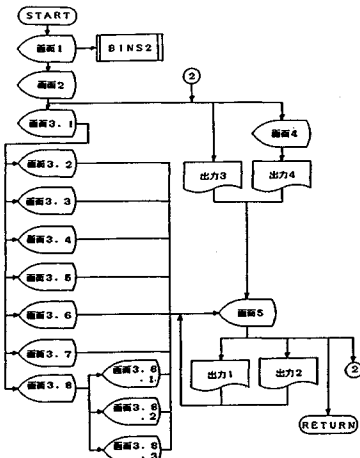


図-7 BINS 1 実行時の基本的な画面表示

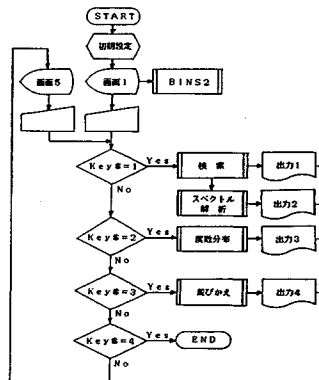


図-8 BINS 1 システムの全体図

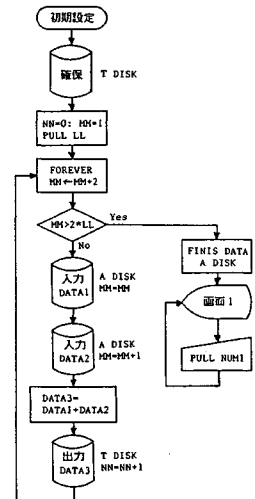


図-9 初期設定

図-7 は、BINS 1 の実行中、端末機の画面に表示される基本的な画面出力の変化を示している。画面 1 は、図-5 で述べたように BINS 1 か BINS 2 かの表示である。画面 2 は BINS 1 を実行後、初期設定 (後述) が終了した後に表示され、プログラムに何を実行させるかを決定する。次に画面 3, 4 または出力 3 が表示される。画面 3 には 11 種類の画面出力があり、検索処理、統計処理などのデータ加工処理に則した画面が表示される。画面 4 は、式 (1) の平滑度パラメーター a 、指数 n 、スペクトル値 S_r ($\Omega_c=0.05$) それぞれの大小並びかえを行うための表示で、上記 3 つの特性値のうち、どれを対象にするかの選択をする。画面 5 は、検索処理、度数計算、並びかえのうち 1 つが終了した後、次の処理の実行を決定する。

出力 1 は、画面 5 において出力 1 を命令した時点での出力である。同様に、出力 2 は、橋面凹凸の形状図や凹凸原データを用いたスペクトル解析結果の図形出力である。出力 3 は、度数計算後、上記 3 つのスペクトル特性値の度数分布図を出力する。また、出力 4 は、画面 4 の大小並びかえ計算の結果を出力する。

図-8 は、BINS 1 システムの全体図である。図-7 で述べたように、画面 1 によって BINS 1 が選択された後、Key \$=1~4 の入力によって、それぞれ情報検索、度数分布、並びかえ、END の各処理が実行される。そして、それらの各処理に則した出力が行われる。特に、検索処理後、ある特定橋梁の橋面凹凸の形状、スペクトル解析によるその形状や特性値による橋面状態の評価¹⁰⁾の実行も可能となっている。

図-8 で示した初期設定とは、BINS システム実行に対するデータ入出力のための初期設定を行っているもの

である。その詳細なフローチャートを示したのが図-9である。IBM 370/3090 モデルにはプログラムを格納するために2種類のディスクが用意されている。すなわち、各利用者がそれぞれ個人で所有しているAディスクと各利用者共用のTディスクである。このTディスクは一日単位ごとにディスクの中身が消去されるものである。

本研究で作成したプログラムは、検索、度数、並び替えなどの各処理の実行結果を後日の何日も保存しておく必要がなく、もし保存性がある場合は図-7で示した各出力1~4での結果を保存することによって十分に対処が可能であることから、Tディスクを基本においてプログラムの実行を行っている。

図-9では、Aディスクからの入力が2度行われている。これは、Aディスクにデータファイルを格納するときにパンチカードによる入力も考慮したため、1データが2レコード(1レコード80カラム)として入力されている。そして、実行とともにデータファイルの書式は、2レコードが入力後に連結され、1データ160カラムとなっている。このルーチンを示したのが図-10のプログラムである。図中の下から7行目のDATA3の文と5行目のEXEC 10文によって、DATA3は160カラムとして格納される。なお、表中のMMはレコード番号を示し、入力されるデータ数LLに対してレコード数は2×LL分だけあるが、その増加が2ずつ増やすことで1データと対応している。また、NNは出力するレコード位置を示す番号である。

b) 検索パラメーター 検索パラメーターの設定には、現象解明に重要な要因決定に対する工学的に有用な知見が必要である。本BINS1システムにおいては、著者らによる研究^{10)~12)}から、橋面性状を評価するのに重要と思われる要因として、表-2に示す10項目の検索パラメーターを設定した。

c) 検索処理 本BINS1は、対話形式のシステム

として、簡単なコマンド入力で表-2に示した検索パラメーターに対する単独、あるいはさまざまな組合せ検索が可能となっている。実際、どのような検索処理が行われているのかのシステムを示したのが図-11である。利用者が必要とする検索情報をコマンド入力することによって、その情報と一致するデータだけが出力ファイルの配列に移されて検索が行われる。なお、検索処理を行う場合、入出力ファイル名を固定すると検索処理の前後でデータに混乱が生じる。このため、図中のHENKO処理部において、検索前のデータ(FILIST)を検索後に別のファイル名(FFLIST)に変更している。

以上の検索処理部のプログラムを示したのが図-12である。図中、9行目のRCは戻りコードで常に値が零であるが、プログラムにエラーが発生した場合、エラーの種類によってはその値が零でなくなる。この場合、読み込みデータがなくなったのに入力を行うため、RCの値が変わり、LEAVE文が実行される。また、11行目のAAAAは読み込みデータ名であり、そのデータの中のMカラム目からNカラムのデータをV₃という名前の変数に入力している。そして、13行目によって、検索パラメーターV₁とV₃が一致する場合にTディスク

```

/*****
/*
/*****
READ:
NN=0
'CLEAR'
SAY;SAY;
SAY'HOW MANY DATA FILES? INPUT WHOLE NUMBER'
PULL LL
MM=1
DO FOREVER
IF MM>2*LL THEN LEAVE
EXECIO 1 DISKR FILIST DATA A MM
PARSE PULL DATA1
EXECIO 1 DISKR FILIST DATA A MM+1
PARSE PULL DATA2
DATA3=LEFT(DATA1,80) ||LEFT(DATA2,80)
NN=NN+1
EXECIO 1 DISKR FILIST DATA G ( NN ( F (160))) (' STRING DATA3
MM=MM+2
END
FINIS FILIST DATA A
RETURN

```

図-10 初期設定のプログラム

表-2 検索パラメーター

検索パラメーター	備 考
1 橋名	
2 橋架形式	1. ガーダー系 1) プレートガーダー (鋼) 2) RC, PC桁 (RC, PC) 3) 連続桁 (鋼) 4) 連続桁 (RC, PC) 5) 全体 (鋼) 6) 全体 (RC, PC) 7) 全体 2. 桁ガーダー系 1) トラス (鋼) 2) トラス (RC, PC) 3) 連続トラス (鋼) 4) 連続トラス (RC, PC) 5) 斜張橋 (鋼) 6) 斜張橋 (RC, PC) 7) 吊橋 8) アーチ橋 (鋼) 9) アーチ橋 (RC, PC) 10) 橋脚アーチ系 (鋼) 11) 橋脚アーチ系 (RC, PC) 12) ラーメン (鋼) 13) ラーメン (RC, PC) 14) 全体 (鋼) 15) 全体 (RC, PC) 16) 全体 3. 全体系 (鋼) 2) 全体 (RC, PC)
3 規格	1. 一等橋 2. 二等橋
4 橋長	a (m)
5 橋架位置	1. 0.5 a 2. 2.0 a
6 舗装種類	1. アスファルト 2. コンクリート
7 交通量	1. 大 2. 中 3. 小
8 変位パラメーター a の値	cm ² /c/m
9 指数 n の値	
10 n = 0.05 c/m のスペクトル値	cm ² /c/m

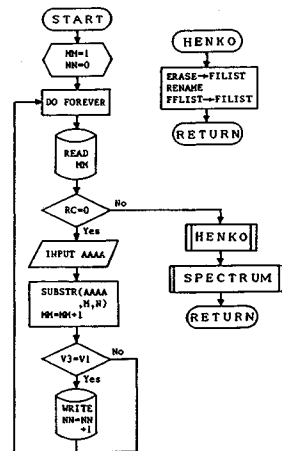


図-11 検索処理部のフローチャート

に出力される。その場合のデータ数は NN として増加される。以上のような処理によって、表-2に示した検索パラメーターのさまざまな組合せ検索が実施される。

d) スペクトル解析 図-11に示したように、検索処理後、ある特定橋梁の橋面凹凸の形状図、橋面凹凸パワースペクトル密度やその特性値による橋面状態の評価などの実行も可能となっている。ここでのスペクトル解析は、最大エントロピー法(MEM)の推定式¹²⁾によってパワースペクトル密度を求めている。MEMの予測誤差フィルターの数 m については、著者らの研究^{10),12)}からスペクトル密度の面積とデータの分散とができるだけ近い値となるような項数を求めた結果として、データ数を N とするとき、 $m=2\sqrt{N}$ を採用している。

なお、スペクトル密度の特性値による橋面状態(たとえば Very good, Good, Average, Poor, Very poor)の評価法は、一般路面状態に対するISOの評価基準に準拠した方法として、著者らが提示^{10),12)}した橋面状態の評価法に基づいている。

e) 統計処理 図-13は、統計処理の1つとして、スペクトルの特性値である平滑度パラメーター a 、指数 n 、スペクトル値 S_r ($\Omega_c=0.05$) の3つの値に対する

```

/*****
/*
/*****
KENSAKU:
MM=1
NN=0
DO FORVER
EXECIO 1 DISK FLIST DATA G MM
IF RC=NO THEN LEAVE
PULL AAAAA
V3=SUBSTR(AAAA,M,N)
MM=MM+1
IF V3=V1 THEN DO
NN=NN+1
EXECIO 1 DISK PFLIST DATA G ( NN (F (160))) 'FINIS' STRING AAAAA
END
CALL HENKO
RETURN

```

図-12 検索処理部のプログラム

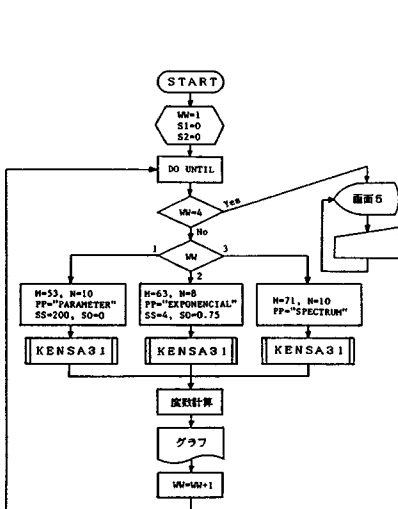


図-13 度数分布処理のフローチャート

度数計算の処理を示している。そして、この処理によって、それぞれ3つの特性値に対する度数分布が出力される。

(4) BINS2システム

伸縮装置部凹凸に関するBINS2のシステムは、以上に述べたようなBINS1システムと同様に構築されている。したがって、ここでは基本的にBINS1と相違する処理箇所を以下に述べる。

図-14は、BINS2の実行中、端末機画面に表示される基本的な出力画面の変化を示している。画面1と2はBINS1と同様である。画面3は、14種類から構成され、検索や統計処理などのデータ加工処理に則した画面が表示される。画面4は最大凹凸値 y_{max} と凹凸標準偏差 σ_y の大小並びかえ実行の選択画面である。画面5は、数量化理論I類などを用いた要因分析を実行する選択画面で、たとえば数量化理論I類においては外的基準を y_{max} か σ_y のどちらか一方を選択する。画面6は、検索、度数分布、並びかえ、数量化理論など1つの処理が終了した後、次の実行を決定する表示である。

出力1は、画面6において出力1を命令したデータ出力である。出力2は伸縮装置部の凹凸形状図である。出力3は y_{max} , σ_y の度数分布、出力4は画面4の大小並びかえ結果、出力5は、数量化理論などの計算結果の表および凹凸の測定値と推定値との相関図などの出力である。

図-15はBINS2システムの全体図である。Key \$=1~5\$ の入力によって、図中に示したそれぞれの各処理が実行され、それに則した出力が行われる。

著者らによる研究^{10)-12),18)}から、伸縮装置部の凹凸性状を評価するのに重要と思われる要因として、表-3に

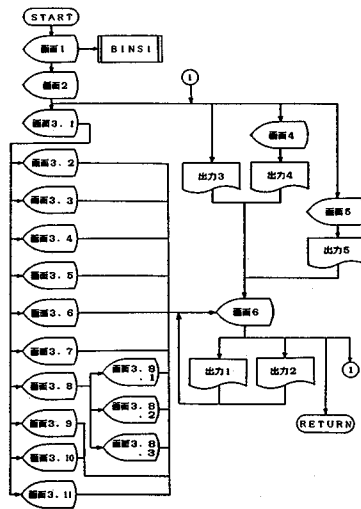


図-14 BINS2実行時の基本的な画面表示

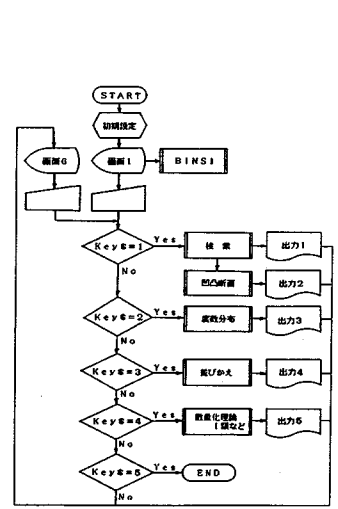


図-15 BINS2システムの全体図

示す12項目の検索パラメーターを設定した。

以上のBINS1, BINS2の中で示したスペクトル解析や数量化理論など各種の統計計算は、書籍等で公表されている理論やプログラムなどをもとに作成したソフトである。データの受け渡しについては、EXECI/Oプロシジャーの使用によって、検索処理、あるいは統計処理が実行された時点で、その計算プログラムの入力データと書式が適切になるように原データファイルからムーブデータファイルに更新後、入力データとして受け渡される。同様に、計算結果の出力データもムーブデータファイルに格納された後、EXECI/Oの使用によって、図・表作成プログラムからデータとして読み込まれる。

4. BINSの運用例と橋面凹凸評価

ここでは、以上に述べたようなBINSシステムを用いて、紙幅の関係上、その基本的な運用例と橋面凹凸の評価を以下に述べる。

(1) BINS1の運用例

表-4は、橋格が一等橋、鋼製橋梁、橋面がアスファルト舗装の3つの検索パラメーターによる組合せ検索を行った出力例である。この組合せ検索に該当する橋面データ数は、表の右端に示すように、129橋分ある。この表では10橋分だけであるが、ENTERキーのコマンド入力によって、次々に検索処理に該当する橋梁数だけ、10橋ずつ出力される。もし、利用者が出力された橋梁の詳細を知りたい場合、その橋梁名に該当するNo.を入力すれば詳細情報が出力される。なお、表中のDATEは橋面の測定年月である。

表-5は、表-4に示されている大豆田大橋のNo.124を入力した場合の詳細情報である。調査項目1~23にわたって、橋梁の主構造形式なども含めた橋面性状に関する情報が示されている。

検索処理後、ある特定橋梁(たとえばE橋梁)に対する縦断方向の橋面凹凸を出力したのが図-16である。この図からも認められるように、橋面凹凸を測量用レベルで測定した場合、橋梁の縦断勾配も同時に測定される。このことから、仮定した放物線と測定値との差の二乗和が最小になるような縦断の放物線勾配を求めて、凹凸値からこの縦断勾配を差し引いた値を凹凸の変動成分のデータとした。それを示したのが図-17である。局所的な段差などがみられ、橋面不整が顕著であることがわかる。

以上に示したE橋梁に対する橋面凹凸のデータを用いて、MEMの推定式から橋面凹凸のパワースペクトル密度を求めたのが図-18である。図中の横軸は橋面周波数で、縦軸はスペクトル密度である。また、図中の実

表-4 組合せ検索の出力例 (BINS1)

NO.	NAME OF BRIDGE	TYPE	PAVEMENT	DATE
1	124 MAMEDA OHASHI	PLATE GIRDER	(STEEL) ASPHALT	1984.05 91/129
2	125 HIGASHIYAMA KYOU	TRUSS	(STEEL) ASPHALT	1984.06 92/129
3	126 TANIDAIIGOU KYOU	PLATE GIRDER	(STEEL) ASPHALT	1984.06 93/129
4	127 TANIDAIIGOU KYOU	PLATE GIRDER	(STEEL) ASPHALT	1984.06 94/129
5	128 SHIRAMINE OHASHI	PLATE GIRDER	(STEEL) ASPHALT	1984.06 95/129
6	131 KUWAJIMA OHASHI	CONTINUOUS GIRDER	(STEEL) ASPHALT	1984.06 96/129
7	132 NIGORIIZUMI BASHI	TRUSS	(STEEL) ASPHALT	1984.06 97/129
8	133 TENJIN BASHI	TRUSS	(STEEL) ASPHALT	1984.07 98/129
9	134 GOROUJIMA OHASHI	CONTINUOUS GIRDER	(STEEL) ASPHALT	1984.07 99/129
10	135 SHINTAKASAGO KYOU	PLATE GIRDER	(STEEL) ASPHALT	1984.11 100/129

表-5 大豆田大橋の詳細情報 (BINS1)

- 1. DATA NO == 124
- 2. BRIDGE'S NAME == MAMEDAOHASHI
- 3. TYPE OF BRIDGE == PLATE GIRDER (STEEL)
- 4. DETAILIS OF TYPE == PLATE GIRDER BRIDGE
- 5. CLASS OF BRIDGE == CLASS 1
- 6. TOTAL LENGTH OF SPANS == 148.0 (METER)
- 7. CLEAR WIDTH == 13.3 (METER)
- 8. DISTANCE FROM CENTER LINE == 2.0 (METER)
- 9. PAVEMENT == ASPHALT
- 10. MATERIALS == RC SLAB
- 11. SUPPORTED SYSTEM == MAIN GIRDER
- 12. CONSTRUCTED DATE == 1976.12
- 13. MEASURED DATE == 1984.05
- 14. MEASURED DISTANCE == 20 (CENTIMETER)
- 15. NUMBER OF DATA == 740
- 16. VALUE OF TRAFFIC == LARGE
- 17. RATIO OF SPANS == 14' + 4 @ 30 + 14
- 18. REMARK == CHAIN & SPAKE
- 19. PANEL LENGTH == 4.9 (METER)
- 20. LONGTUDINAL SLOPE ==
- 21. PARAMETER (A) == 0.01164
- 22. EXPONENTIAL (N) == 1.960
- 23. SPECTRUM VALUE at 0.05 == 4.130

表-3 BINS2の検索パラメーター

検索パラメーター	値	考
1 橋名		
2 橋梁形式	1. ガーダー系 1) プレートガーダー (鋼) 2) RC, RC桁 (RC, PC) 3) 連続桁 (鋼) 4) 連続桁 (RC, PC) 5) 金体 (鋼) 6) 金体 (RC, PC) 7) 金体 2. 非ガーダー系 1) トラス (鋼) 2) トラス (RC, PC) 3) 連続トラス (鋼) 4) 連続トラス (RC, PC) 5) 鉛直橋 (鋼) 6) 斜張橋 (RC, PC) 7) 箱橋 8) アーチ橋 (鋼) 9) アーチ橋 (RC, PC) 10) 補剛アーチ系 (鋼) 11) 補剛アーチ系 (RC, PC) 12) ラーメン (鋼) 13) ラーメン (RC, PC) 14) 金体 15) 金体 (RC, PC) 16) 金体 3. 金体 1) 金体 (鋼) 2) 金体 (RC, PC) 3) 金体	
3 橋格	1. 一等橋 2. 二等橋	
4 橋長	m (a - a)	
5 測定位置	1. 0.5 m 2. 2.0 m	
6 舗装種類	1. アスファルト 2. コンクリート	
7 仰角設置形式	1. 調整フィンガー 2. 調整重合せ 3. ゴム製 4. 覆目 5. オーパレイ	
8 交通量	1. 大 2. 中 3. 小	
9 最大凹凸値 (σ _{max})	cm	
10 標準偏差 (σ _r)	cm	
11 凹凸パターン	1. A 2. B 3. C	
12 該梁下の下部構造	1. 橋合 2. 明渠	

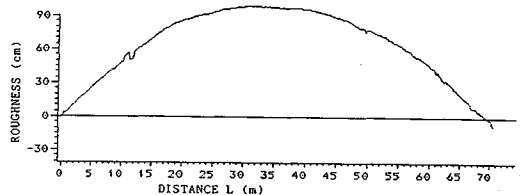


図-16 E橋梁の縦断方向部の橋面凹凸

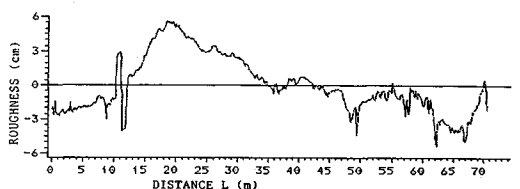
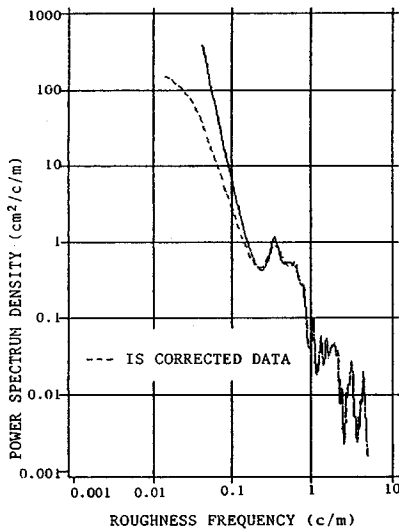


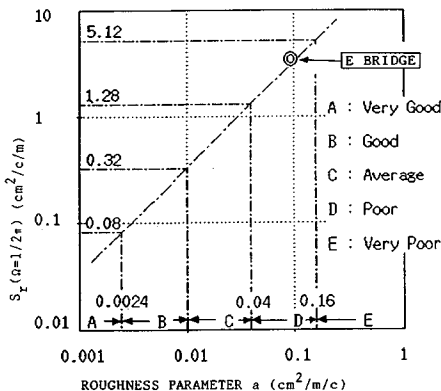
図-17 縦断勾配を除去したE橋梁の橋面凹凸

線は図—16 に示した橋面凹凸のスペクトル密度であり、破線は図—17 に示した縦断勾配を除去した橋面凹凸を用いて計算したものである。橋面凹凸の周波数が 0.2 c/m 付近を境にして、縦断勾配を除去した分だけ低周波数域においては両スペクトルに相違がみられるが、高周波数域ではほとんど差異はない。また、周波数が 0.5 c/m (波長に直すと 2 m) が卓越していることもわかる。この 2 m の波長は、荷物を載荷した大型車両の固有周波数に近いことから、走行する大型車両と橋面凹凸とが共振して過大な動的輪荷重が橋面に作用し、結果として橋梁の動的影響も過大になるものと推測され得る¹⁹⁾。なお、ここで出力したスペクトル密度の形状からも、著者らが提示した評価法^{18),19)}によって橋面状態の把握が可能である。

図—19 は、ISO の評価基準に対応した橋面状態の各カテゴリを著者らが作成^{10),12)}したもので、平滑度パラメーター a 値を用いて、具体的に橋面状態を評価する



図—18 E 橋梁のパワースペクトル密度

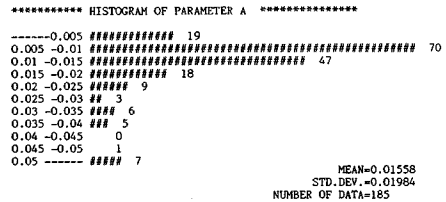


図—19 a 値による E 橋梁の橋面状態評価

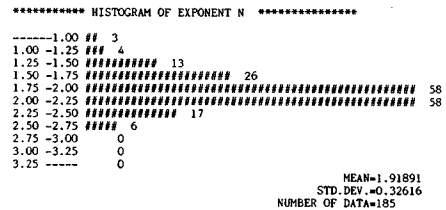
図である。図中の◎印は、図—18 の実線で示した E 橋梁のスペクトル密度を式 (1) の指数関数に近似して求めた $a=0.0956$ ($\text{cm}^2/(\text{m}/\text{c})$) と S_r ($\Omega=1/2\pi$) $=3.38$ ($\text{cm}^2/(\text{c}/\text{m})$) の関係をプロットしたものである。E 橋梁の橋面状態のカテゴリは D、すなわち Poor (悪い) の状態であることがわかる。したがって、この評価図から、橋面の維持修繕に関する 1 つの情報が得られる。また、以上のように橋面状態が評価されれば、たとえば橋面状態が走行車両による道路橋の動的効果に与える影響などの検討¹⁹⁾も可能となる。

図—20 は、データ数 185 に対する a 値の度数分布を求めた出力例である。 a 値は指数分布に近い形をしている。その平均値は名神高速道路で測定された値²⁰⁾の約 16 倍となっている。また、図—21 は n 値の度数分布である。 n 値は正規分布に近似できそうである。平均値の 1.92 をみると、一般路面よりもその値は若干小さいことがわかる。

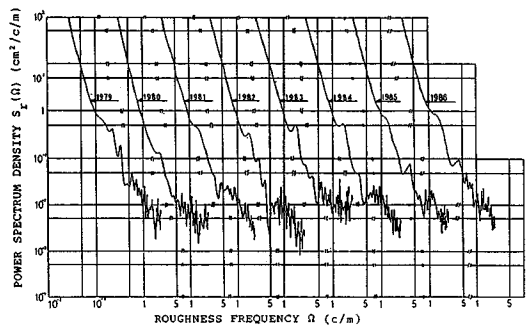
橋面凹凸は、一般に平均値零の定常ランダム・ガウス過程として解析される。以上のように、スペクトル密度の特性値である a 、 n 値の確率分布が定量的に把握される場合、それらの確率変数をもとにした橋面凹凸の結合



図—20 平滑度パラメーター a の度数分布



図—21 指数 n の度数分布



図—22 大豆田大橋の橋面凹凸スペクトルの経年変化

確率分布関数の推定も可能となる。あるいは、走行車両による道路橋の動的応答解析²¹⁾や衝撃係数と橋面状態の関係評価²²⁾などに対しても有用な情報を与えるものと思われる。

図-22は、表-4, 5で検索された大豆田大橋に対する過去8年間の橋面凹凸パワースペクトル密度の経年変化を示している。現時点ではスペクトルに対する経年変化の定量的な把握は困難なようであるが、今後のデータ蓄積と検討から定量的な評価がされ得るものと思われる。

(2) BINS2の運用

表-6は、表-3の中で、橋格が一等橋、鋼製橋梁、橋面がアスファルト舗装の3つの検索パラメーターによる組合せ検索の出力例である。この表では同じ測定日で五郎島大橋が4個、大豆田大橋が5個のデータが出力されているが、橋台と橋脚上の伸縮装置を1つのデータとして測定しているためである。いま、No. 367の大豆田大橋の詳細情報を出力した例が表-7である。調査項目が19から、装置の設置位置が橋台で、その形式が鋼製フィンガー、凹凸パターンがA、最大凹凸値が1.52 cm、などがわかる。この大豆田大橋の装置部凹凸形状を出力したのが図-23である。装置部の凹凸性状が不整で、段差が顕著であることがわかる。このことは、不整な伸縮装置部の段差を走行する車両に大きな衝撃が生じ¹⁸⁾、この衝撃力が過大な接地力として床版などに作用する場合もあることが考えられる。

図-24は、データ数407に対する最大凹凸値の度数分布である。対数正規に近い分布を示している。平均値をみると、1.82 cmは高速道路での測定で得た値の約2

~3倍大きい値を示している。このことから、一般国道や県道における伸縮装置部凹凸の実態は、高速道路に比べて段差が顕著であることが定量的に評価される。

以上のような凹凸パターン、凹凸形状、最大凹凸値の確率分布などが把握される場合、伸縮装置部凹凸を非常確率過程とするモデル化の検討²³⁾も可能となる。

伸縮装置部の凹凸性状を評価する場合、その凹凸性状に影響を大きく及ぼす要因を見出すことは重要である。そこで、図-17のKey \$=4\$の操作によって、数量化理論I類による要因分析の結果出力が表-8である。外的基準は最大凹凸値を用いた。この外的基準に影響を及ぼすと考えられる要因としては、橋梁の主構造系、橋面舗装、伸縮装置の設置位置、装置の形式、凹凸パターンとし、各要因のカテゴリは表中に示したものを考えた。表中のUnknownはアスファルト舗装をオーバーレイしているために装置の形式が不明の場合を示している。また、Rは実測値と推定値の相関の程度を表す重相関係数である。データ総数407についての各カテゴリウエイト、およびレンジ値から、凹凸パターン、装置の設置位置の要因の影響が他の要因に比べて顕著に大きいことがわかる。また、このカテゴリウエイト値とダミー変数を組み合わせた線形回帰式の適用によって、最大凹凸値の予測

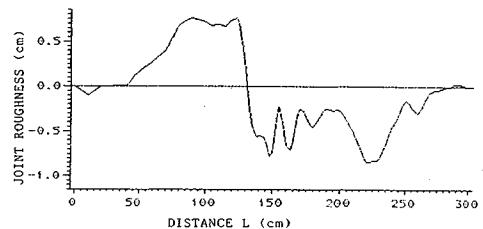


図-23 大豆田大橋の伸縮装置部の凹凸形状

表-6 組合せ検索の出力例 (BINS2)

NO.	NAME OF BRIDGE	TYPE	PAVEMENT	DATE
1 359	TEIUNIBASHI	STIFFENING ARCH (STEEL)	ASPHALT	1983.09 171/210
2 363	GOROUJIMAOHASHI	CONTINUOUS GIRDER (STEEL)	ASPHALT	1983.09 172/210
3 364	GOROUJIMAOHASHI	CONTINUOUS GIRDER (STEEL)	ASPHALT	1983.09 173/210
4 365	GOROUJIMAOHASHI	CONTINUOUS GIRDER (STEEL)	ASPHALT	1983.09 174/210
5 366	GOROUJIMAOHASHI	CONTINUOUS GIRDER (STEEL)	ASPHALT	1983.09 175/210
6 367	MAMEDAOHASHI	PLATE GIRDER (STEEL)	ASPHALT	1984.05 176/210
7 368	MAMEDAOHASHI	PLATE GIRDER (STEEL)	ASPHALT	1984.05 177/210
8 369	MAMEDAOHASHI	PLATE GIRDER (STEEL)	ASPHALT	1984.05 178/210
9 370	MAMEDAOHASHI	PLATE GIRDER (STEEL)	ASPHALT	1984.05 179/210
10 371	MAMEDAOHASHI	PLATE GIRDER (STEEL)	ASPHALT	1984.05 180/210

表-7 大豆田大橋の詳細情報 (BINS2)

```

1. DATA NO ==>367
2. BRIDGE'S NAME ==>MAMEDAOHASHI
3. TYPE OF BRIDGE ==>PLATE GIRDER (STEEL)
4. DETAILS OF TYPE ==>COMPOSITE GIRDER BRIDGE
5. CLASS OF BRIDGE ==>CLASS 1
6. TOTAL LENGTH OF SPANS ==>146.0 (METER)
7. CLEAR WIDTH ==>14.0 (METER)
8. DISTANCE FROM CENTER LINE ==>2.0 (METER)
9. PAVEMENT ==>ASPHALT
10. MATERIALS ==>RC
11. SUPPORTED SYSTEM ==>MAIN GIRDER
12. CONSTRUCTED DATE ==>1976.12
13. MEASURED DATE ==>1984.05
14. MEASURED DISTANCE ==>10 & 5 (CENTI METER)
15. NUMBER OF DATA ==>41
16. VALUE OF TRAFFIC ==>LARGE
17. SPAN RATIO ==>14 + 118 + 14 (METER)
18. REMARK ==>CHAIN & SPAIKE
19. SUBSTRUCTURE ==>ABUTMENT
20. TYPES OF EXPANSION JOINTS ==>STEEL FINGER
21. PATTERN OF ROUGHNESS ==>A
22. MAXIMUM ROUGHNESS VALUE ==>1.52 (CENTI METER)
23. STANDARD DEVIATION ==>1.57 (CENTI METER)
    
```

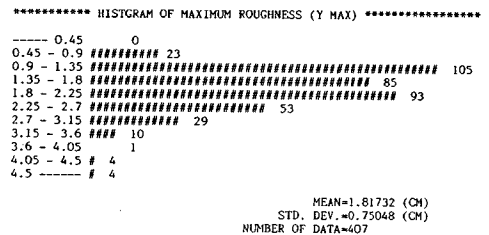


図-24 最大凹凸値 y_{max} の度数分布

表-8 数量化理論I類による凹凸性状の要因分析

EVALUATION OF JOINT ROUGHNESS USING QUANTITATIVE THEORY I
CRITERION IS MAXIMUM ROUGHNESS VALUE (R = 0.898)

ITEM	CATEGORY	CATEGORY WEIGHT	RANGE	ORDER
*BRIDGE SYSTEM:	GIRDER NON-GIRDER	WEIGHT= 2.000 WEIGHT= 2.180	RANGE= 0.180	ORDER= (4)
*PAVEMENT:	ASPHALT CONCRETE	WEIGHT= 0.0 WEIGHT= 0.072	RANGE= 0.072	ORDER= (5)
*JOINT POSITION:	PIER ABUTMENT	WEIGHT= 0.0 WEIGHT= 0.501	RANGE= 0.501	ORDER= (2)
*JOINT TYPE:	UNKNOWN RUBBER STEEL LAP STEEL FINGER	WEIGHT= 0.0 WEIGHT= -0.233 WEIGHT= -0.307 WEIGHT= -0.398	RANGE= 0.398	ORDER= (3)
*ROUGHNESS PATTERN:	A B C	WEIGHT= 0.0 WEIGHT= 0.197 WEIGHT= -0.517	RANGE= 0.517	ORDER= (1)

式も可能である。さらに、数量化理論Ⅱ類を適用することによって、凹凸性状の評価に重要な要因であるが調査以前は予測ができない凹凸パターンの推定も可能となる¹⁸⁾。

5. あとがき

本研究では、REXX 言語を用いた道路橋の橋面性状に関する数値データベース BINS を作成し、その運用例と橋面性状に検討を加えた。本 BINS の特色は以下のようなものである。

(1) 道路橋の橋面性状は多岐にわたる研究分野で重要な因子に考えられているが、橋面凹凸のデータを測定、蓄積している研究機関は著者らの研究室以外にはあまりみられない。そのため、橋面性状に関する数値データベースの作成は、諸外国を含めて初めての試みであろう。

(2) 簡単なデータベースはパソコンでも作成可能であるが、本データベースのような多量の測定凹凸データを取り扱う場合は不向きである。このため、IBM 3090 の大型計算機を支援コンピューターとして、その端末機との対話形式で操作するシステムの構築を行っている。

(3) EXEC プロシジャーの高度な言語である REXX 言語を用いているため、EXECI/O プロシジャーによって PL/I や FORTRAN など異なった言語でのプログラムもリンクできる利点がある。すなわち、EXEC の作成と各種の応用プログラムのモジュールがあればリンクできるため、利用者の要求を満たすデータ加工処理の応用が可能である。

(4) 対話形式に変換した CMS 操作で画面をみながらの応答によって、検索や統計処理および図・表による視覚化など一環した情報の加工処理が可能である。

走行車両による道路橋の振動問題や維持管理などを検討する場合、橋面性状に関する情報の重要性が高まっていることから、本研究で述べたような橋面性状の特性評価に関する数値データベースの作成は意義があろう。

最後に、本数値データベースのデータ整理にご協力をいただいた当時の金沢工大学生の白樫一郎氏（センチュリーリサーチセンター（株））と石黒憲章氏（（株）大石組）に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Honda, H., Kabori, T. and Yamada, Y.: Dynamic Factor of Highway Steel Girder Bridges, IABSE Proceedings, P-98/86, 1986.
- 2) Honda, H., Kido, T. and Kabori, T.: Rehabilitation of a Stiffened Arch Bridge, IABSE Proceedings P-96/86, 1986.
- 3) Shinozuka, M. and Kabori, T.: Fatigue Analysis of Highway Bridges, Proc. of JSCE, No. 208, 1972.

- 4) 梶川康男：振動感覚を考慮した道路橋の使用性解析に関する考察，土木学会論文報告集，第 304 号，1980 年。
- 5) 大島・能町・月田・三上：はり理論による低周波空気振動の放射音圧レベルの解析，土木学会論文集，第 356 号 / I-3, 1985 年。
- 6) 梶川・大嶋：周辺環境への影響を考慮した高架橋の防振効果に関する一解析法，土木学会論文報告集，第 341 号，1984 年。
- 7) 小堀・城戸・近田・本田：RC ゲルバー桁橋の健全性調査の一例，橋梁と基礎，Vol. 19, 1985 年。
- 8) 本田・梶川・小堀・山田：道路橋の動的性状からみた橋面の維持管理，土木学会関西支部「既設の橋梁構造物およびその構成部材の健全度，耐久性の判定」に関するシンポジウム論文集，1983 年。
- 9) Committee: Bridge Loading; Research Needed, Proc. of ASCE, Vol. 108, No. ST5, 1982.
- 10) 本田・城戸・梶川・小堀：道路橋の路面凹凸パワースペクトル密度に関する調査，土木学会論文報告集，第 315 号，1981 年。
- 11) 本田・梶川・小堀：道路橋の伸縮装置部の凹凸性状，土木学会論文報告集，第 324 号，1982 年。
- 12) Honda, H., Kajikawa, Y. and Kabori, T.: Spectra of Road Surface Roughness on Bridges, Proc. of ASCE, Vol. 108, No. ST9, 1982.
- 13) 本田・小堀：REXX 言語を用いた道路橋の路面性状に関する数値データベースの作成，第 10 回電算機利用に関するシンポジウム講演集，1985 年。
- 14) 本田・小堀：パソコンを用いた数値データベースの作成—道路橋の路面性状を事例に一，橋梁，第 22 巻，1986 年。
- 15) 本田・小堀：REXX 言語を用いた道路橋の伸縮装置部凹凸性状に関する数値データベース BINS 2 の作成，第 11 回電算機利用に関するシンポジウム講演集，1986 年。
- 16) Komatsu, S. and Kawatani, T.: Road Profilometer with Optical Displacement Transducers, Technology Reports of the Osaka Univ., Vol. 33, No. 1731, 1983.
- 17) 本田・梶川・小堀：道路橋の路面性状に関する数値データベースの書式案，土木学会第 38 回年次学術講演会講演概要集，I-261, 1983 年。
- 18) 本田・小堀：道路橋の伸縮装置部に生じる走行自動車の衝撃力特性と路面性状の影響，構造工学論文集，Vol. 33 A, 1987 年。
- 19) 本田・小堀：路面性状が走行荷重による道路橋の動的応答に与える影響，土木学会論文集，第 374 号 / I-6, 1986 年。
- 20) 山田・小堀：活荷重に対する道路橋の動的応答—衝撃係数—に関する研究，土木学会論文集，第 148 号，1967 年。
- 21) 岡林・山口：連行車両による道路橋の二乗平均応答解析，土木学会論文報告集，第 334 号，1983 年。
- 22) 川谷・小菅・嶋田・小松：路面不整の統計学的特性と道路橋の衝撃係数，構造工学論文集，Vol. 33 A, 1987 年。
- 23) 岡林・山口：伸縮継手部を通過する単一走行車両による道路橋振動の評価，土木学会第 40 回年次学術講演会講演概要集，I-257, 1985 年。

(1987. 8. 28・受付)