

耐震設計におけるグラフィック・ディスプレイの応用

京都大学 工学部 正員 山田善一
 京都大学 大学院 学生員 〇古川浩平

I. まえがき

コンピュータの発達と共にその周辺機器の発達も著しいものがあり、その中で特にグラフィック・ディスプレイについては、設計のように非常に試行錯誤な作業には最も有効だとされながら、装置が高価で特殊なためもあり、実際の設計に使用した例は少ないようである。設計における情報としては数字より図形の方がはるかによいことは明らかであり、コンピュータが図形を出力してそれを見て設計上のいろいろな判断が下せれば設計の敏速化、合理化には大いに役立つはずである。

筆者らはこのグラフィック・ディスプレイを吊橋タワーピラーの耐震設計に応用し、グラフィック・ディスプレイを用いた耐震設計システムを完成した。

II. グラフィック・ディスプレイを用いた吊橋タワーピラーの耐震設計システム

一般的な耐震設計システムをフローチャートで示すと Fig. 1 のようになると思われる。(しかし従来のやり方によつてこのシステムで設計を行うことは非常に時間がかかり、かつ各計算過程で得られた結果をうまく利用しきれない欠陥があった。すなわち、

1. モードにしても応答にしてもラインアリターに数字で打出されたものを図に直すのに時間がかかりすぎる。
2. 設計の各段階で設計者の判断がほとんど入り込まないために無駄な計算が行なわれる。
3. モードは単に出力されるだけで効果的に利用されない。
4. 動的応答の計算もその途中の経過をラインアリターに出力しても全く役に立たないため、最大値のみを求めてモード解析による応答と比べてみるだけに終わり、動的応答を単に最大値応答と同じようにしか利用できない。

といった欠陥があった。そこでこれらの欠陥をなくし敏速にしかも最適な構造物を設計するために以下の基本的考えにたつてシステムを構成した。

1. 耐震設計上必要な情報は全てグラフィック・ディスプレイもしくはラインアリターに出力させる。

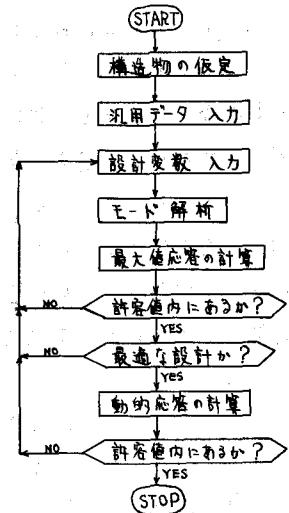


Fig. 1

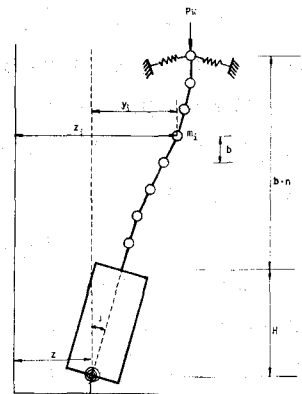


Fig. 2

2. 設計変数は全てその場で設計者の判断によりタイアインできる。

3. 設計者の判断により設計の全段階で任意のプログラムを実行できる。

これらの考えのもとに Fig. 2 に示すように、タワー-ピア系をピアの回転も考慮した9自由度をもつ構造物と仮定し、その設計に必要な図形情報もグラフィック・ディスプレイ上へ出力させ、それを設計者が見て種々の判断を下しながら設計を進めていくという吊橋タワー-ピアの耐震設計における man-machine graphical communication system として完成した。

グラフィック・ディスプレイに出力するものは、モード、モード解析による最大値応答、 β 法による動的応答、 β 法による動的最大値応答 である。グラフィック・ディスプレイに出力された例を写真1~写真4 に示す。図形で表示できない、固有周期、固有円振動数、地盤反力 はラインアインターに出力させた。これらを見て設計者は、ピア-橋軸方向の幅、タワー剛性、地盤の弾性係数、タワーとピアの β 法における減衰定数、タワー頂の拘束 もその場でタイアインできる。

さらに出力されたモードを見てピアがゆれてくるかを判断してそのモードにおける支配的な減衰定数を選べ。本回連絡橋耐震合同研究会がその研究の成果として発表している Fig. 3 を用いて応答倍率を求め構造物の応答を求め、こうすることによりモードをうまく設計に利用でき、かつ設計上大きな問題である減衰定数のとり方に対して現実的な対処ができるものと思われる。

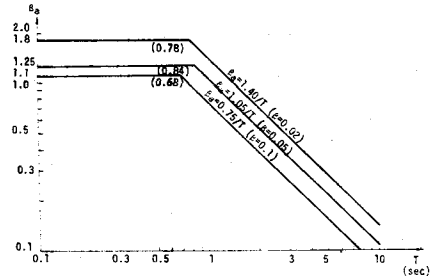


Fig. 3

そしてこのシステムでは設計者は自分で判断した設計変数もタイアインすると、どのファンクション・キーがどの計算を行うのかさえ知らなくても、図を全く描く必要もなく簡単にしかも短時間にバランスのとれた数多くの耐震設計を行うことができる。

III. 計算例および計算結果

このシステムを用いて地盤条件を変化させ Fig. 4 に示す各ケース毎に安全かつ経済的な耐震設計を試みた。その結果の一例を Fig. 5, Fig. 6 に示す。これは Fig. 4 のケースBの場合で、ピア-橋軸方向幅Aを小さくすることにより応答が小さくなっていくことが明らかに示されている。これはピア幅の変化に伴ってモードの接点点が移動し、モードの接点点から離れたために起こるため、同じような性質はピア幅

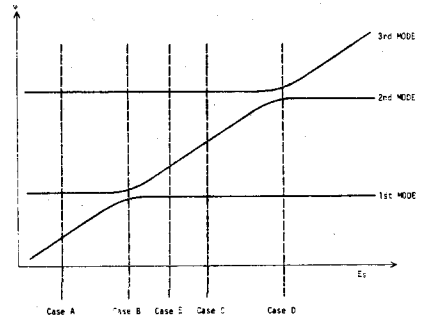


Fig. 4

を固定しタワー剛性を変化させた時にも起こる。これを模式化したのが Fig. 7 である。ここで、A はピア-橋軸方向幅、 I_x はタワー剛性を表している。ただしこのような性質はモード解析による最大値応答の場合だけでなく、 β 法による動的応答についてもピア幅や地盤のやわらかさの方

MAXIMUM DEFLECTION (9)

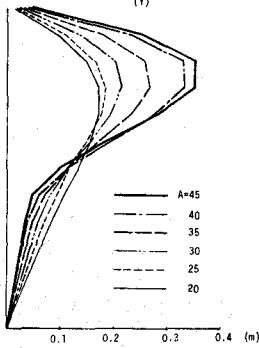


Fig. 5

MAXIMUM MOMENT

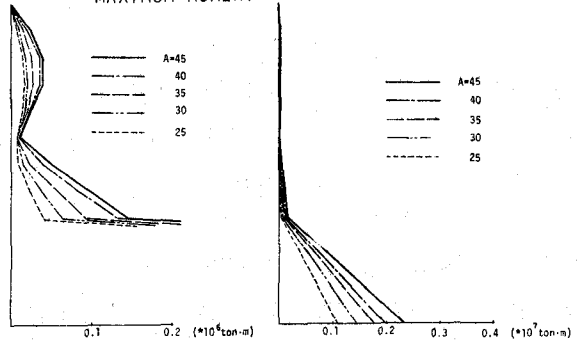


Fig. 6

が応答により大きな影響をおよぼしている。しかし、 β 法による動的応答においても、モード接近点での応答はモードの接近点より離れた場合の応答より大きくなり、モードの接近点を避ける必要があることが示されている。

以上より、モードの接近点での応答が大きくなるため耐震設計上避ける必要があること、さらにピアー橋軸方向傾やタワー剛性をうまく変えることによりモードの接近点から離れた状態での安全かつ経済的な設計ができることがわかる。

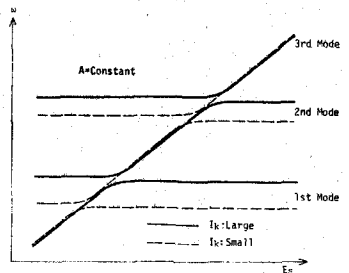
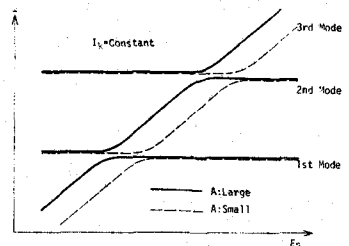


Fig. 7

IV. 結論

- グラフィック・ディスプレイを用いることにより作図の手間と時間が全くなくなる上、設計者の判断を介して設計を進めるため不要な計算がなく、設計における時間が飛躍的に短縮される。
- 従来不可能であった step-by-step 毎の応答経過の全てを目で見られるので設計上非常に有効な情報を提供できる。
- 耐震設計にグラフィック・ディスプレイを用いることは、グラフィック・ディスプレイの長所をうまく利用できよるため今後ともますます研究がなされていくべきである。

参考文献

- Sutherland, I. E., "Sketchpad, A Man-Machine Graphical Communication System", Proceedings of the Spring Joint Computer Conference, Detroit, Michigan, May 21-23, 1963
- Konishi, I., Yamada, Y., "Earthquake Responses of a Long Span Suspension Bridge,"

Proc. of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, Vol. II, pp. 863-878,
Tokyo and Kyoto, 1960

- 3) 小西一郎, 山田善一, 高岡直善, 国広昌史「長大スパンつり橋タリ-の耐震計算法に関する研究」 土木学会論文集, 第104号, 昭和39年4月
- 4) 山田善一, 後藤洋三「非比例減衰をもつた自由度系の振動解析」 日本鋼構造協会第5回大会研究集会マトリックス構造解析法研究発表論文集, 昭和46年6月

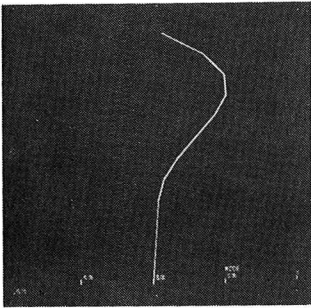


写真-1 ケ-スB
1次モード

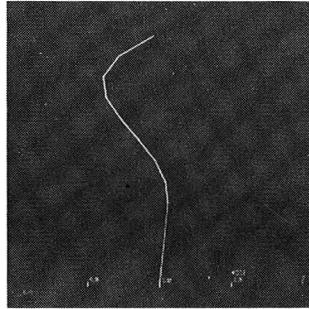


写真-2 ケ-スB
2次モード

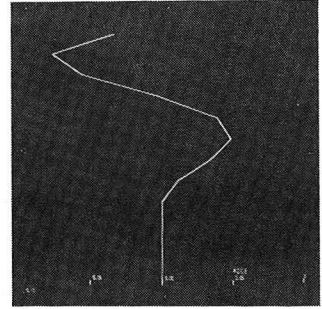


写真-3 ケ-スB
3次モード

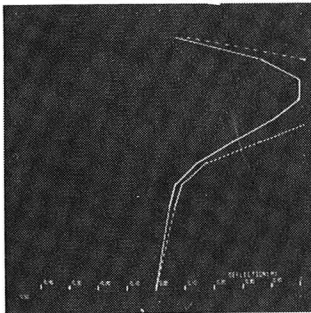


写真-4 ケ-スB
モード解析による最大たわみ

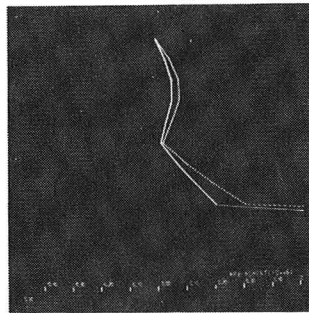


写真-5 ケ-スB
モード解析による最大曲げモーメント

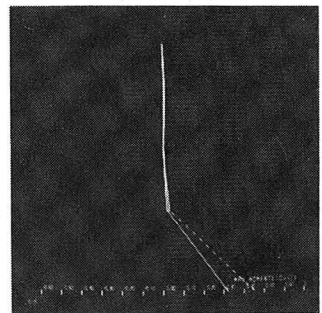


写真-6 ケ-スB
モード解析による最大曲げモーメント

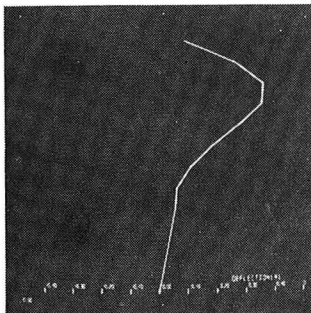


写真-7 ケ-スB
 β 法による最大たわみ

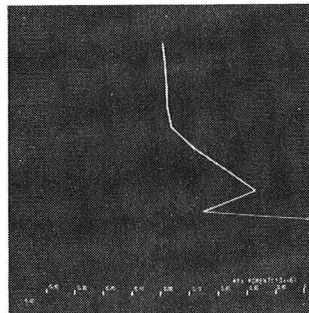


写真-8 ケ-スB
 β 法による最大曲げモーメント

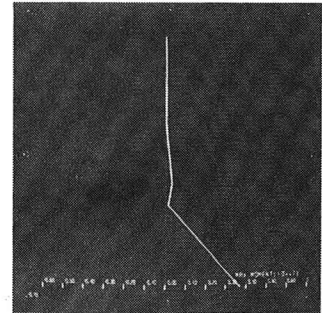


写真-9 ケ-スB
 β 法による最大曲げモーメント