

I - 5 折れ角を有する立体方杖ラーメン橋の自由振動解析

中央コンサルタンツ(株)	正員	松井義孝
中央コンサルタンツ(株)	正員	大野和彦
北海道開発局	正員	高橋 渡
北海道大学	正員	林川俊郎
専修大学道短大	正員	金子孝吉

1. まえがき

溪谷に架る橋梁として一般的に知られているのは方杖ラーメン橋である。それは現場での施工性の容易さ及び経済性等に卓越するからである。本文事例では道路線形に平面曲線を有する為、主桁部材を脚隅角部附近で折れ角をなしている。当然平面モデル解析では実際の振動挙動と異なることから、ここに立体方杖ラーメン橋の特殊性、特に自由振動について次の様な点から着目し述べていく。

- (1) 左右の床版張出長が異なり非対称立体構造物となるためモードの特異性をみる。
- (2) 折れ角を有している事から横倒れ座屈及び局部変形への起因性防止の為、全体モデルとして横構部材剛性の必要性を自由振動に着目し検討する。

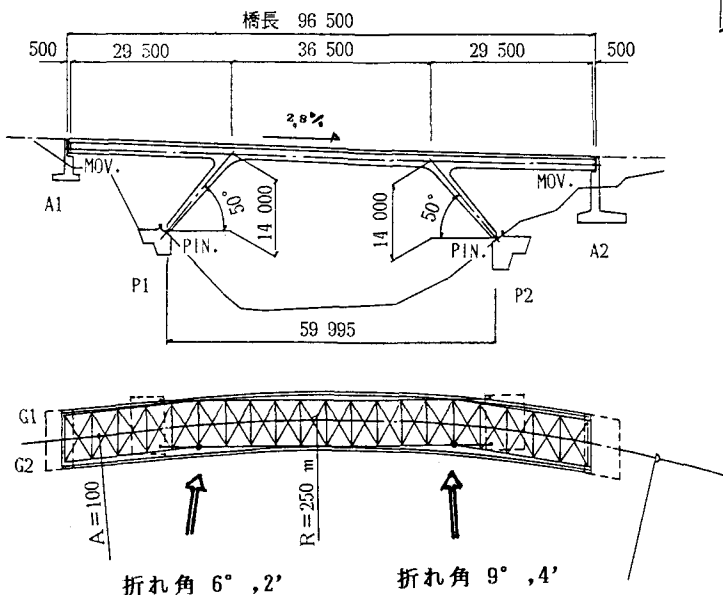
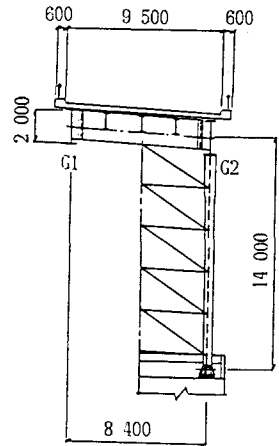


図-1 一般図

2. 解析モデルと解析方法

(1) 解析方法

解析モデルは図一1に示すように非対称立体骨組構造である事から3次元解析を行なう。座標系は任意点を原点とした一般座標系(X,Y,Z)及び要素座標系(x,y,z)と定義し、力、変位ベクトルはすべて右手座標系とし u_1 (x成分), u_2 (y成分), u_3 (z成分), u_4 (θ x成分), u_5 (θ y成分), u_6 (θ z成分)の6成分として表す。ここに境界条件としてA1(point1, 22)A2(point21,42)は可動支承P1(point48,60)P2(point54,66)はピン支承を橋軸方向に行なっている。質量は、非対称性の影響を忠実に且つ高精度に反映させようという意図から整合質量法(Consistent Mass Method)を採用し主桁及び脚部(point1~66)に分布荷重として X,Y,Z方向成分として与えた。整合質量法の採用は筆者らがその精度の高さを一連の研究の中で提案してきた。

固有値問題は m 個のベクトルを同時反復することなく部分空間を用いて反復するサブスペース法を用いながら m 次元変換された固有値、固有ベクトルをJacobiの方法によって求めている。

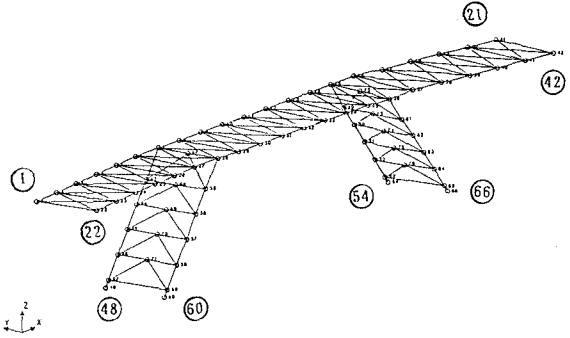
(2) モデル化

自由振動解析を行なう上でモデル化が動的応答の結果に起因する一つでもある。その中で最適な質量モデル及びバランスの良い部材剛性がそれらに有効な要点として一役を担っていると思われる。本構造系の場合、折れ角の影響によって特異な変位応答なり、カップリングが発生しうる傾向にあり、ここでは横構トラス剛性が重要な役割を示すものであろう。ここに図一2, 図一3の様なモデル化を行ない次の2ケースによって本構造系における自由振動について述べていく。

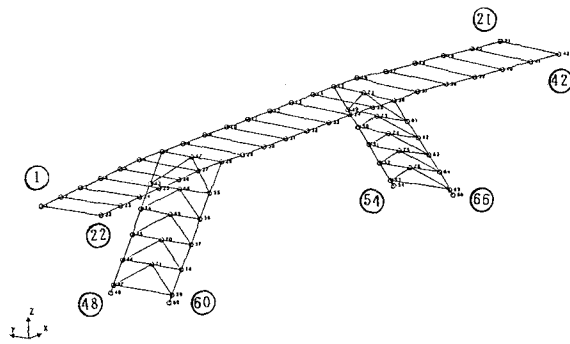
- case-1 横構部材剛性を考慮する場合
- case-2 横構部材剛性を無視する場合

(3) 断面諸量

図一1に示す様に鋼方杖ラーメン橋であり部材に一樣なヤング係数 $E=2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$, セン断弾性係数 $G=8.1 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ である。部材諸元は表一1に示すとおりである。



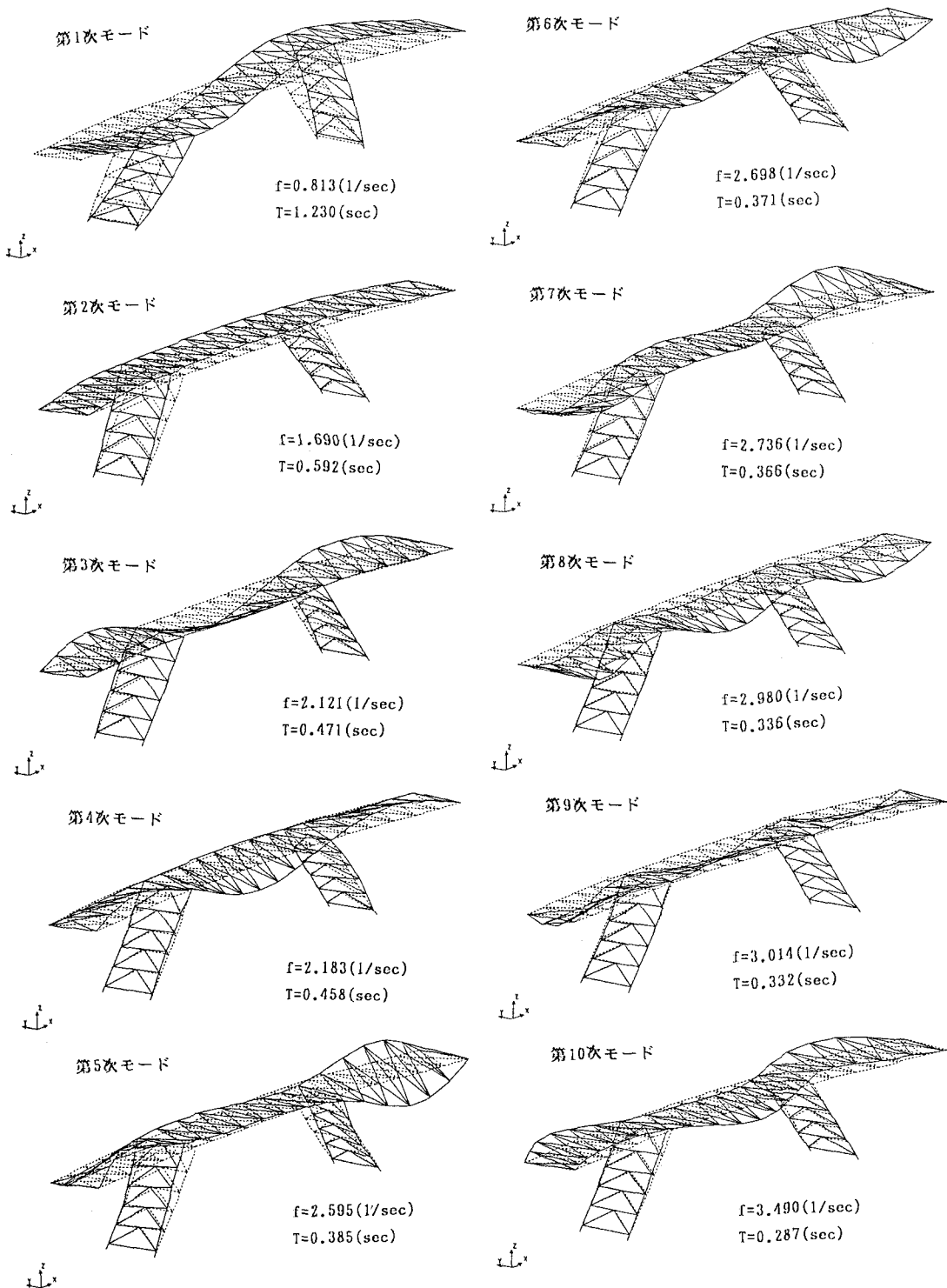
図一2 横構剛性を考慮する場合の立体モデル



図一3 横構剛性を無視する場合の立体モデル

表一1 断面諸元

	A(m ²)	I _x (m ⁴)	I _y (m ⁴)	I _z (m ⁴)
主 桁	0.0325~ 0.0704	0.000001	0.0193 ~ 0.0506	0.000147~ 0.001228
床 桁	0.0206	0.0000006	0.00755	0.000025
脚支材	0.0155	0.0000008	0.00103	0.0000852
主桁横構	0.0038	0.0000002	0.0000072	0.0000071
脚横構	0.0065	0.0000002	0.0000545	0.0000178



図一4 モード図(機構剛性を考慮する場合)

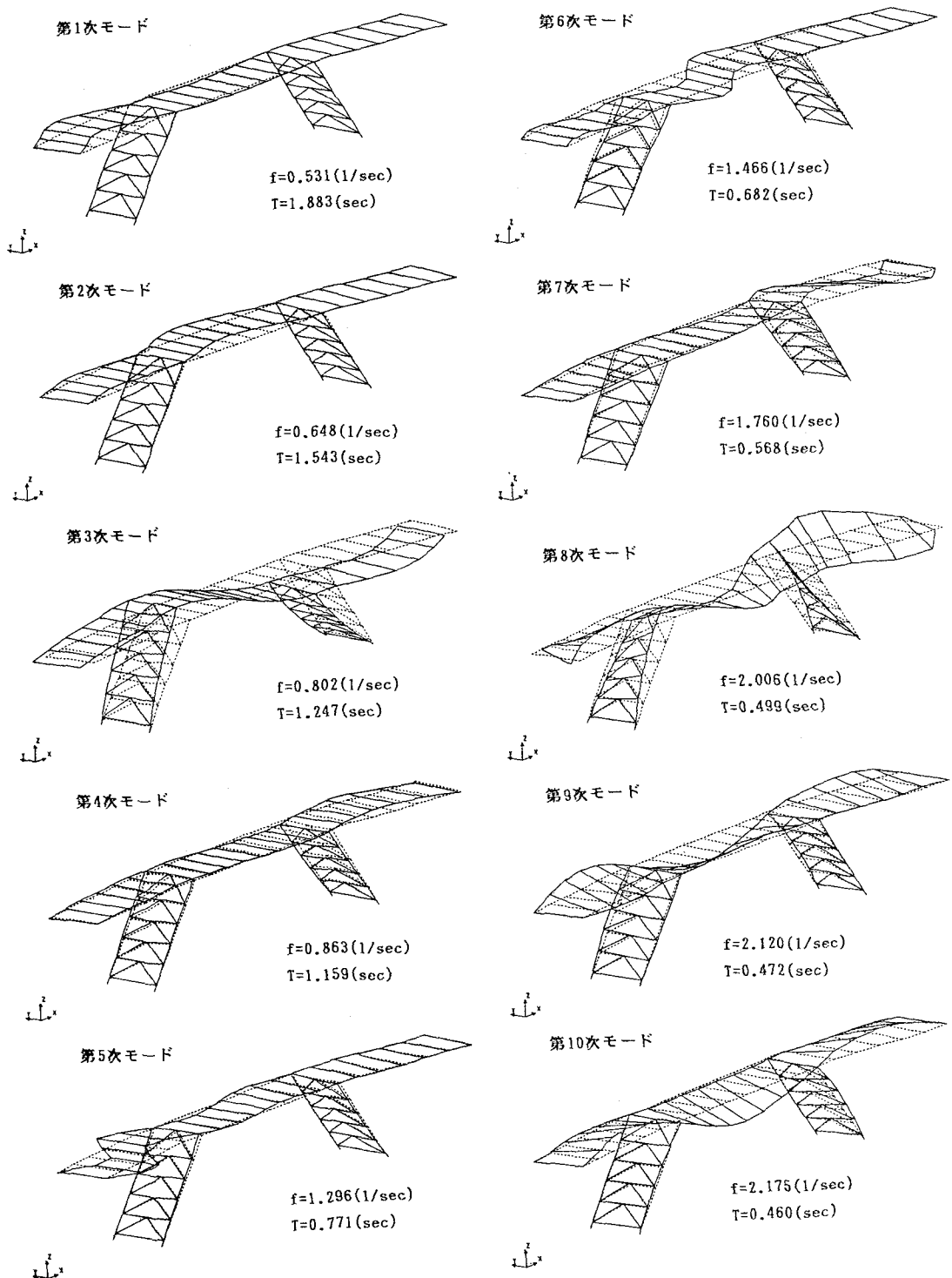


図-5 モード図(横構剛性を無視する場合)

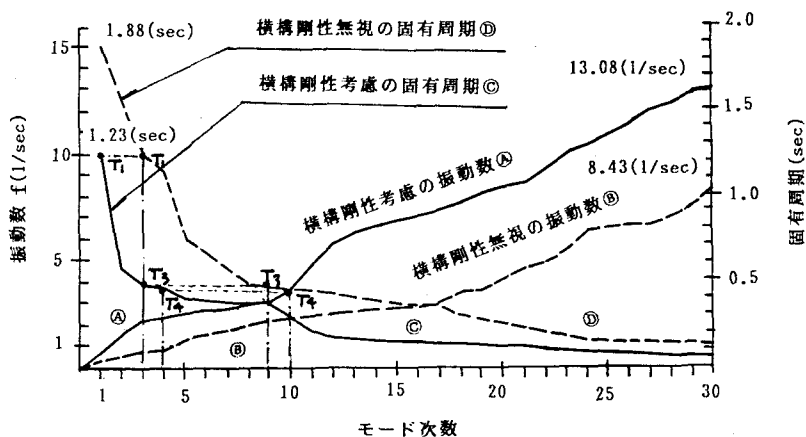


図-6 横構剛性の関わりによる振動数への影響

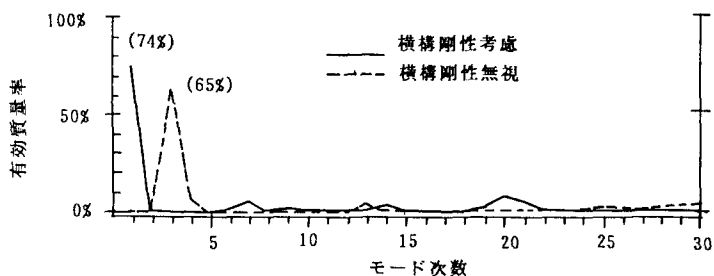


図-7 X方向成分有効質量率

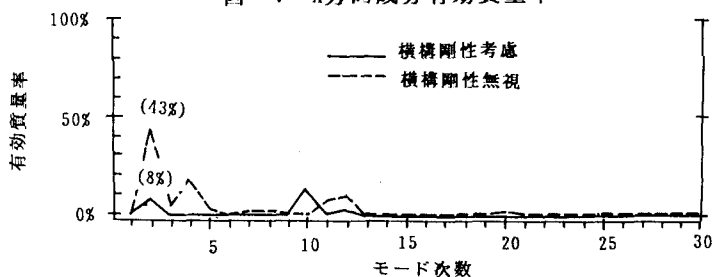


図-8 Y方向成分有効質量率

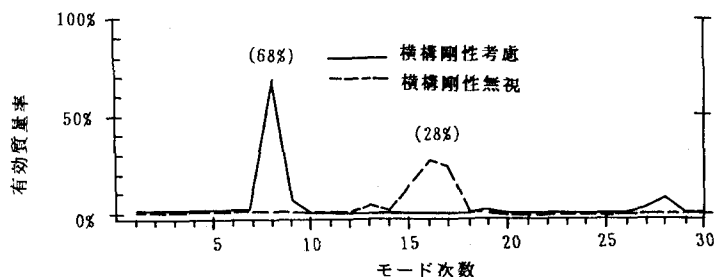


図-9 Z方向成分有効質量率

3. まとめ

以上の事から要約する。

- (1) モードの類似性をみると図-4, 図-5から図-6に示すように横構剛性考慮と無視の関係は前者の第1次モードと後者の第3次モード, 前者の第3次モードと後者の第9次モード, 前者の第4次モードと後者の第10次モードらが同じモードの関係にある。
- (2) 図-4の第3次モードと第4次モードは同じモードであろう。ここでは、折れ角による影響が第3次、第4次モードとして表れているのではないか。
- (3) 5, 6, 7次モードは側径間が卓越するモード特性がみうけられ振動数も接近している。
- (4) 図-4でみられる第2次モードはモデル化の関係から図-5ではみられない。
- (5) 横構剛性を無視すると図-5のモード図をみるようにモード形態になめらかさを欠き、特に脚交差部に大きな変形がみうけられる。これは平行四辺形骨組によるモデル化に起因すると思われる。
- (6) 高次モード(8~10次附近)では振動数の接近がみられた。特にZ方向成分有効質量率でも第9次モード附近に68%となっていることから質量連成への注意を促したい。

これらの事は別の機会にCQC法を用いて報告したい。

折れ角を有する方杖ラーメン橋で、本例の様な橋長モデルは少ないと思われる。特に本構造系では横構の一次部材剛性としてのモデル化が必要であると考ええる。

4. あとがき

本報は折れ角を有する方杖ラーメン橋の振動問題、応力集中、横倒れ座屈等の一連の特性展開を試みようと考えており、特に振動特性で折れ角の限界-支間限界の関係、モデル化、質量連成、応答等では今後も考察を加えていきたい。

(参考文献)

- 1) Clough, R.W./Penzien, J: Dynamics of Structures
- 2) E.L.Wilson et al.: "A Replacement for the Stress Method Seismic Analysis". Earthquake Eng. Struct. Dyn. 9, 187-194 (1981)
- 3) T.Hayashikawa and N.Watanabe: "Free Vibration Analysis of Continuous Beam". Journal of Engineering Mechanics, Vol. 111, No. 5, May, 1985, 639-652
- 4) 林川, 渡辺: 連続質量法による多径間連続桁の固有振動解析, 土木学会第39回学術講演会講演概要集, 491-492 (1984)
- 5) 林川: アーチ系橋梁構造物の固有振動解析に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集第41号, 69-72 (1985)
- 6) Y.Matsui et al.: "Dynamic Analysis of A Five Span Continuous Rigid-Frame Bridge With V-Legs". Proceedings of The Seventh Japan Earthquake Engineering Symposium, 1921-1926 (1986)
- 7) 松井, 他: 5径間連続V橋脚ラーメン橋の動的振動解析, 土木学会第41回学術講演会講演概要集, 857-858 (1986)
- 8) 松井: 応答スペクトル解析におけるCQC法の適用, 土木学会北海道支部第43号 (1987)
- 9) 松井, 他: Vレグラーメン橋における集中質量法と整合質量法との相違について, 土木学会第19回地震工学研究発表会 (1987)
- 10) T.Hayashikawa, T.Kaneko, Y.Matsui, K.Yoshida: DYNAMIC RESPONSE ANALYSIS OF A FIVE-SPAN CONTINUOUS RIGID-FRAME BRIDGE WITH V-SHAPED LEGS. Ninth World Conference On Earthquake Engineering, ABSTRACT VOLUME 1, F04-09, 667 (August 4, 1988)
- 11) 松井, 他: Vレグラーメン橋の動的応答性状について, 土木学会北海道支部第44号 (1988)