

I-29

静的フレーム法の適用とその考察

中央コンサルタンツ(株) 正員 鬼頭 良
 中央コンサルタンツ(株) 正員 松井義孝
 北海道大学 工学部 正員 林川俊郎
 北海道大学 工学部 正員 渡辺 昇

1. まえがき

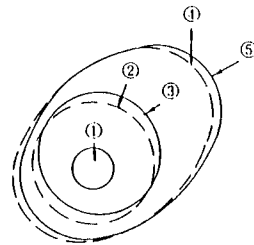
橋梁の耐震設計法は既往の震害経験を契機に種々の改訂が成されてきた。特にプレートテクトニクス理論を背景に地震の解明、地盤及び土との一体挙動等が構造物の耐震設計の中に体系付けられて来つつある。現在許容応力度法をベースに耐震設計はある水平震度係数を自重に掛けて地震時作用力として用いられている。それは耐震設計の歴史の中で既往地震データを背景に震度法、修正震度法等の手法を用いて運用されて来ている。最近は構造物の動的挙動を耐震、そして今後の課題として制震、免震という対応へと論議されているようである。これらの何らかの手法への移行が進むとしても、求められる動的結果は複雑になりつつあり、特に橋梁の場合上部工、下部工、基礎工との一体挙動をいかに簡便に高精度な結果を把握するかが必要となる。ここに第42回年次学術講演会等で川島氏等によって「静的フレーム法による連続桁の橋軸直角方向の耐震設計法」が発表されており、この論文によると次の様に言われている。^{1),2)}

(1) 1次の振動モードによる応答は、他のモードに比較して卓越する。

(2) 自重による変位は1次の振動モードに近似する。

これらを利用して固有周期を求め地震力を算出する方法である。この点では従来から実設計に使用されて来た方法と何ら変わる事はない。但し全体系の固有周期を簡単に付け加え、震度×自重を水平方向に作用させることの力学的意味を明確にさせた事が特徴になっていると述べられている。その精度は図-1に示すとおり④、⑤の動的結果を最高精度とするなら③と同程度の高精度を持っている事が図に述べられている②としてわかるだろう。

本研究でも、水平成分が1次モードに卓越しやすい橋軸直角方向モデルについてその有用性の実証と3径間、4径間連続桁に着目して橋脚高の変化が固有周期にどう関わっていくかを検討しその考察を述べる。そして本手法を発表された川島氏等の卓越した主眼に対して敬意を表し、また本理論引用に際し謝辞申し上げます。



- ① 従来の耐震計算法(支点反力法)1基の下部構造とそれが支持する上部構造系に分割する
- ② 静的フレーム法
- ③ 1次モードだけを考慮した応答スペクトル解析法
- ④ 多自由度を考慮した応答スペクトル解析法
- ⑤ 多自由度系を考慮した時刻歴地震応答解析法

図-1 静的フレーム法の位置付

Application of A Static Frame Method and their Considerations

by Ryo KITOH, Yoshitaka MATSUI, Toshiro HAYASHIKAWA and Noboru WATANABE

2. 静的フレーム法の理論体系

静的フレーム法は前述において精度の位置付けを示した。それは動的解析を行なう時扱いやすいモード法に着眼し振動モードの応答を重ね合わせる事が正論であろうが、ある振動モードが他の振動モードより相対的に大きい場合、そのモードが最大応答値に近似的な解を与える事がある。この性質を利用し多次元固有値解析により固有周期特性を計算する複雑さよりも、第1次振動モードが自重による静的変位に比較的一致する本理論を説明する。主な考え方は図-2のフローに示す通りである。まず上部、下部そして基礎工の一体振動単位モデル化を行なう。ただし線形的な性能に限る。次に上部工及び下部工の自重に着目する解析方向(橋軸直角方向)に静的に作用させて静的変位 U_i を用いて、Rayleighの方法により固有周期(T)を求める。Rayleighの方法は、ある一自由度の振動系が自由振動する際の運動エネルギーの最大値 K_{max} とひずみエネルギーの最大値 U_{max} が等しい事から固有周期を求める方法で離散系の骨組モデルの場合には次の式によって与えられる。

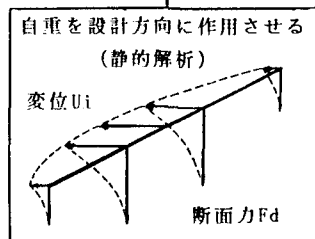
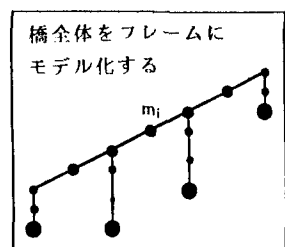
$$T = 2.01 \sqrt{\delta} \quad (\text{sec})$$

ここに

$$\delta = \frac{\sum W_i \cdot U_i^2}{\sum W_i \cdot U_i}$$

W_i =上部構造及び下部構造の節点 i の重量($t \cdot f$)

U_i =耐震設計上の地盤線より上の上部構造及び下部構造の重量に相当する力を慣性力の作用方向に作用させた場合にその方向に生じる節点 i の変位(m)
なお Σ は設計振動単位全体に関する和を示す。



$$\delta = \frac{\sum m_i \cdot U_i^2}{\sum m_i \cdot U_i}$$

固有周期 T

$$T = 2.01 \sqrt{\delta}$$

設計断面力

$$F = k_h \cdot F_d$$

図-2 静的フレーム法の計算フロー

3. 静的フレーム法の適用結果

本解析にあたり平面骨組解析(面外)プログラムをベースに図-2の様なシステムに基づきプログラムを作成し1, 2質点モデルは元より3径間, 4径間連続桁任意構造モデルへと試算を行ない、ここに任意形構造モデルであるVレグラーメン橋の橋軸直角方向において動的解析結果と静的フレームの検証を報告する。静的フレーム法において3径間, 4径間連続桁の橋軸直角方向を特に橋脚高の差が異なるモデルにおいてどの様に固有周期特性が変動するかに着目し検討をした。

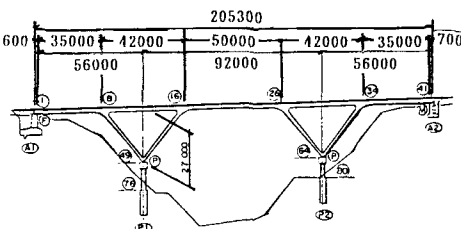


図-3 Vレグラーメン橋一般図

3-1 V-レッグラーマン橋

本ケースは80質点の多質点系モデルであり特に橋軸直角方向に着目し、表-1～3、図-3～4に仮定と結果を示した。ここでは動的解析をサブスペース法を用いながら固有値、固有ベクトルをJacobiの方法によって求められた固有周期と静的フレーム法の右の計算の様に求めた固有周期を表-3の結果として検証した。その精度は0.38(静的/動的)%と良好な精度を得た。

表- 1 拘束条件

格点	XM	YM	Z
1	1	1	1
41	1	1	1
76	1	1	1
80	1	1	1

(1=拘束とする)

表- 3 固有周期の比較

動的解析結果	1.049sec
静的フレーム法結果	1.053sec

$$\delta = \frac{\sum m_i \cdot u_i^2}{\sum m_i \cdot u_i}$$
$$= 85370487/311331$$
$$= 274.211(\text{mm})$$
$$T = 2.01 \times \sqrt{\delta}$$
$$= 2.01 \times 0.274$$
$$= 1.053(\text{sec})$$

表- 2 断面性能

	主桁	脚
$I_z(\text{m}^4)$	0.123～0.256	0.018～5.33
$I_y(\text{m}^4)$	0.182～0.285	0.951～16.33
$I_x(\text{m}^4)$	0.138～0.210	0.039～1.136
$E(\text{t/m}^2)$	2.1×10^7	
$G(\text{t/m}^2)$	8.1×10^6	

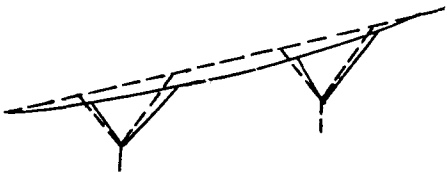


図- 4 V-レッグラーマン橋の第1次モード図

3-2 3径間連続桁

本モデルは最も標準的な3径間連続桁に着目し橋軸直角方向について表-4～7、図-5～6にその仮定と結果を示した。上部構造①～⑬は鋼板桁、下部構造①～⑨、⑬～⑭は逆T式橋台、⑤～⑩、⑭～⑮は壁式橋脚はRC構造である。解析の中では、片側の橋脚⑤～⑩ $H=22.50\text{m}$ を表-4の様に1/4Hづつ変化させて固有周期の変動を表-7の結果として得た。

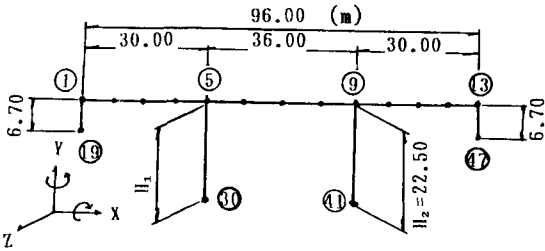


図- 5 3径間連続桁モデル図

表- 4 断面性能

	上部(1～13)	下部(20～41)
$A(\text{m}^2)$	3.291	6.75
$I_x(\text{m}^4)$	0.031	4.00
$I_y(\text{m}^4)$	26.52	11.39
$E(\text{t/m}^2)$	2.6×10^6	2.6×10^6
$G(\text{t/m}^2)$	1.13×10^6	1.13×10^6

表- 5 橋脚高

ケース	$H_g(\text{m})$
1	$22.05(H_g)$
2	$16.54(0.75H_g)$
3	$11.03(0.50H_g)$
4	$5.51(0.25H_g)$

表- 6 拘束条件

格点	XM	YM	Z
19	1	1	1
30	1	1	1
41	1	1	1
47	1	1	1

(1=拘束とする)

表- 7 固有周期

ケース	$T(\text{秒})$
1	0.340
2	0.286
3	0.237
4	0.220

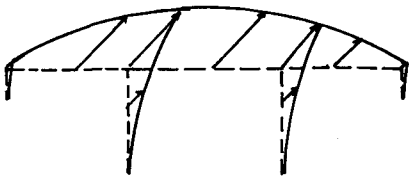


図- 6 3径間連続桁モード図

なおモード及び静的変位は図-6の様に近似する事を示した。

3-3 4 径間連続桁

4 径間連続桁についても同様試算する。表-8～11,図-7～8にその仮定と結果を示し、型式については3 径間と同様である。ここでも表-9に示す様に⑤-②①④-②⑤の橋脚高を1/4H(H=40.0m)づつ変化させて表-11の結果を得た。なお、モード及び静的変位は図-8の様に近似する。

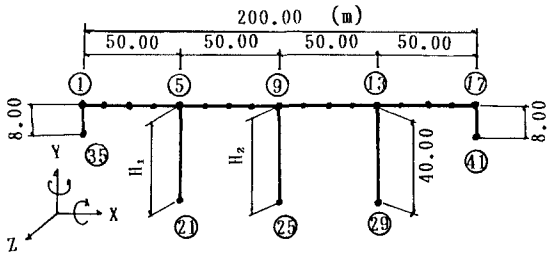


図-7 4 径間連続桁モデル図

4. まとめ

以上の事から要約的に考察する。

(1) 1 次モードが他のモードより大きい値を得るモデルにおいてたとえばVレグラーメン橋での検証の様に自重による静的変位を利用した本理論が動的結果と良く近似した。

(2) 連続桁モデルにおいて特に橋脚高の変化と固有周期との相関性を検討した。本モデルでは3 径間の場合、橋脚高が長くなるに従い固有周期も長い傾向を示したが、4 径間については橋脚高を 40mと仮定した事も起因するかもしれないが一義的な相関性は見受けられなかった。これらについては今後更にデーターを収集し検討を加えたいと思う。

表-8 拘束条件

格点	XM	YM	Z
35	1	1	1
21	1	1	1
25	1	1	1
29	1	1	1
41	1	1	1

(1=拘束とする)

表-9 橋脚高

ケース	H1	H2
1	40.0(=H)	40.0(H)
2	30.0(0.75H)	40.0
3	20.0(=0.50H)	40.0
4	10.0(=0.25H)	40.0
5	40.0	30.0(=0.75H)
6	40.0	20.0(=0.50H)
7	40.0	10.0(=0.25H)

表-10 断面性能

	上部(1～17)	下部(18～29)
A (m ²)	0.455	20.40
I _x (m ⁴)	0.188	32.20
I _y (m ⁴)	2.576	123.0
E (t/m ²)	2.1×10 ⁷	2.6×10 ⁶
G (t/m ²)	8.1×10 ⁵	1.13×10 ⁵

表-11 固有周期

ケース	T(秒)	ケース	T(秒)
1	0.506	5	0.441
2	0.477	6	0.450
3	0.482	7	0.421
4	0.487		

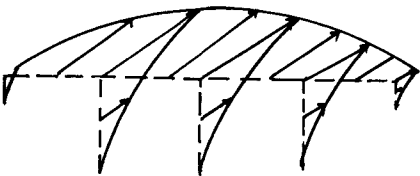


図-8 4 径間連続桁モード図

5. あとがき

本手法は今後、種々のモデルにおいて検討を試みたいと思う。最後にプログラム作成、データー作成に携わった中央コンサルタンツ(株)木原、千葉両君に謝辞を申し上げる。

6. 参考文献

- 1) 北海道における鋼道路橋の設計及び施工指針, 2) 川島.他:静的フレーム法による連続橋の橋軸直角方向の耐震設計法, 3) 林川:アーチ系橋梁構造物の固有振動解析に関する研究, 4) 松井 : 5 径間連続V橋脚ラーメン橋の動的振動解析