

I-571 積層梁要素による プレストレストコンクリートボックスガーダ 橋梁の自由振動解析

（株）大宇建設技術研究所 金栄晋、○朴勝振、林先澤
金斗年、朴沘林

1. はじめに

最近、韓国では国土の効率的な利用および経済産業のため高速道路と都市循環道路等が盛んに建設され、長大橋梁の建設が年々高まっている。このような長大橋梁は構造物の耐久性と経済性および維持管理の容易性のため、主に図-1のような Prestressed Concrete（以下PCと呼ぶ）ボックスガーダ橋梁の形で多く建設されている。

PCボックスガーダ橋梁の各施工段階別挙動の変化を予測するために、材料非線形および動的挙動特性を把握することにより荷重および材料特性の変動性を施工に再反映できる進歩された自動化解析プログラムの開発が切実に要求されている実状である。なお、本プログラムの開発に伴い、精密施工のための土台を構築し、積層梁要素を用いた有限要素法による合成桁橋梁の静的・動的解析をより正確にすることになった。

本研究では、PCボックスガーダ橋梁の自由振動解析を厳密解との比較により解の収束性および正確性を確認し、それに対する検討を行う。

2. 固有振動解析

図-1のようなPCボックスガーダ橋の積層梁要素を使った固有振動方程式は次のようになる。

$$[M]\{\ddot{\delta}\} - \left[[K] + [K_G] \right] \{\delta\} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $[M]$ は質量マトリックス、 $[K]$ は積層梁要素の剛性マトリックス、 $[K_G]$ は幾何学的非線形を考慮した剛性マトリックス、 $\{\delta\}$ は変位係数である。

式(1)で $[\bar{K}] = [K] + [K_G]$ をコレスキー分解すると次のように表される。

$$[\bar{K}] = [L]^T [L] \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\left| \left[[L]^{-1} \right]^T [M] [L]^{-1} - \frac{1}{\omega^2} [I] \right| = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

3. 解析結果

開発された解析アルゴリズムの妥当性を検証するため、両端単純支持されたPCボックスガーダ橋を対象として固有値解析を行い、その結果を厳密解と比較して開発された解析アルゴリズムの収束性と妥当性を検討してみる。解析に用いた図-2の断面形状と材料定数は次のとおりである。

スパン	60m	上下フランジ板厚	1.5cm	ウェブ板厚	1.5cm
ヤング率	$2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$	ポアソン比	0.3	密度	$8.01 \times 10^{-6} \text{ kgf} \cdot \text{sec}^2/\text{cm}^4$

表-1は、PCボックスガーダ橋の自由振動解析に対する積層数の収束性に及ぼす影響を表している。表から理解できるように、積層数が12層以上であれば厳密解に近づいていることがわかる。

表-2は、両端単純支持されたPCボックスガーダ橋の解析結果を汎用構造解析プログラムSAP90による解析結果および厳密解と比較して検討し、本解析の収束性を調べるために節点数を変化して解析した。ここで、 N は節点数、 M は固有モード次数を表し、この際解析に用いた積層梁要素の積層数は12層である。

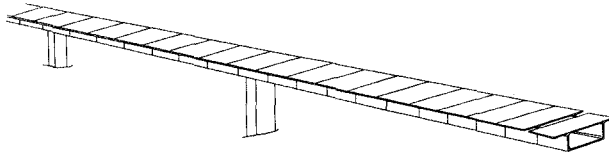


図-1 PCボックスガーダ橋梁

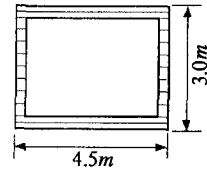


図-2 PCボックスガーダの断面形状

表-1 PCボックスガーダの積層数による収束性

層数 M	4	8	12	16	厳密解
1	17.85	18.18	18.20	18.20	18.22
2	71.42	72.72	72.79	72.83	72.88
3	160.69	163.61	163.78	163.89	163.97
4	285.69	290.89	291.17	291.38	291.51
5	446.46	454.59	455.03	455.34	455.48
6	643.08	654.79	655.42	655.87	655.89

表-2 単純支持されたPCボックスガーダの固有値解析結果の比較

M	本解析法				SAP90 ($N=21$)	厳密解
	$N=5$	$N=9$	$N=15$	$N=21$		
1	18.20	18.20	18.20	18.20	18.22	18.22
2	73.07	72.80	72.79	72.79	72.88	72.88
3	166.76	163.98	163.79	163.78	163.97	163.97
4	323.15	292.29	291.27	291.17	291.47	291.51
5	513.64	459.13	455.39	455.03	455.34	455.48
6	812.25	667.04	656.49	655.42	655.45	655.89

表から理解できるように、本解析法は節点数 $N \geq 15$ であれば厳密解と良好な結果を表し、節点数 $N=21$ になるとほぼ一致することがわかる。

4. 結 論

- 1) 積層梁要素を用いた単純ないし連続PCボックスガーダ橋の自由振動解析アルゴリズムとプログラムを開発し、単純支持されたPCボックスガーダ橋梁に対して本研究の解析法を適用した結果を厳密解と比較して収束性と妥当性を検証した。
- 2) 本解析法は、施工段階と時間従属挙動を考慮できるため、施工中の橋梁構造の動的挙動を合理的に把握できる技法を提供する。
- 3) 積層梁要素の使用に合成桁橋の断面特性を自由振動解析に反映できる。

5. 参考文献

- 1) 中村秀治、“断面変形を考慮した薄肉はりの振動解析”，土木学会論文報告集，第223号，P.11，1974.
- 2) T.Hayashikawa, N. Watanabe, “Free Vibration Analysis of Continuous beams”, *Jr. of Engineering Mechanics, ASCE*, Vol.111, No.5, p.639, 1985.