

## 3次元有限要素法による3径間連続中空床版橋の解析

京都大学工学部 学生員○小林 孝一 学生員 金 性七 正員 井上 晋  
正員 宮川 豊章 正員 藤井 学

## 1. はじめに

プレストレストコンクリート（P C）の技術が我国に導入されてから約40年が経過し、その応用分野は土木・建築構造物の多岐にわたっている。特に橋梁の分野における応用はP C技術の発展に大きく寄与しているといっても過言ではない。その中でも連続中空床版桁形式は、桁高を小さくすることが可能なばかりでなく、外見も軽快であり、中小径間、特に連続高架径間においては非常によく採用される構造形式である。しかしその一方では、中空床版橋の解析は、道路橋示方書においては版理論で行うことが原則とされているものの、そのやや特殊な構造のために、場合によっては格子理論か有限要素法を用いるのがよいとされており、確立された構造解析手法が存在するとは言い難い。そこで本研究では、実際の橋梁の挙動に近い解析が行うことができるとされている有限要素法（以下F E M）を用いて3径間連続中空床版橋の解析を行い、その結果を版理論および格子理論を用いた解析結果と比較することによって、これらの解析の有効性を探ることを目的とした。

## 2. 解析の概要

解析の対象とした橋梁は支間長3 @ 20 m、主版幅が5.95mの3径間連続中空床版橋で、5つの円形ホロー、支点部およびスパン中央に横桁、断面両側に片持床版を有するものである（図1参照）。また、解析に用いたコンクリートの設計基準強度は $350\text{kgf/cm}^2$ であり、その他の諸条件は全て道路橋示方書・同解説に従い、載荷活荷重はL-20を用いた。

また、F E M解析に際しては、取り扱うデータ数を少なくするために、ホローを円と断面2次モーメントが等しい正方形で置き換えた。また、スパン中央部の横桁の剛性は無視するが、その重量は集中荷重で置き換えることとした。図2にF E M解析の横断面の要素分割を示す。また、橋軸方向の要素分割は支承部付近では横桁の位置に合わせて細かく要素分割し、その他の位置では $L/10$ （L：スパン長）ごとに分割した。なお、支承条件は点支承とした。

版理論としてはOlsenの方法を用いることとし、その際、①左右の片持部の剛性は無視し、この部分の自重は、縁端部に作用する鉛直力と縁端曲げモーメントに分けて取り扱い、②版としての曲げモーメントを求める際には、桁として求めた曲げモーメントより、曲げモーメントが0となる点を推定して、その区間のみを単純支持の2方向版と考える（モーメント0点法）を用いる、こととした。

格子理論による解析を行う際にも版理論の①の条件を用いた。

以上のような条件で第1径間および第3径間に等分布荷重、第1径間の $4L/10$ の位置に線荷重を載荷

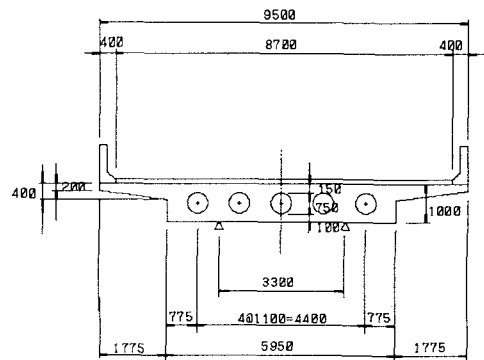


図1. 解析対象橋梁の横断面図(単位:mm)

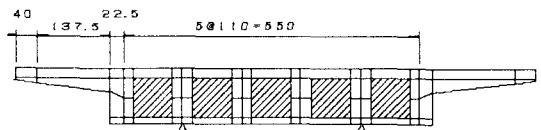


図2. F E M要素分割(単位:cm)

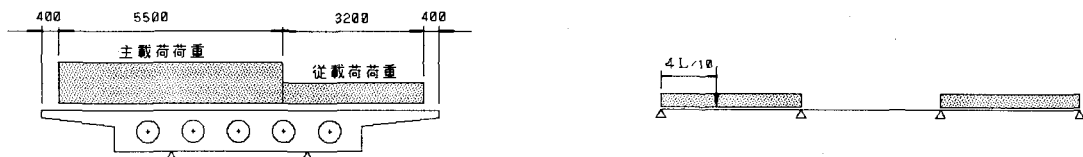


図3．活荷重載荷位置

し(図3)、線荷重載荷位置における上縁および下縁における橋軸方向応力の比較を行った。なお、本解析においてはアスファルトおよび両側の高欄は無視して解析を行った。

また便宜上、FEMと格子理論においては主版を6つに分割し、それぞれを主載荷荷重が載荷される側から桁1～桁6と呼ぶこととした。

### 3．解析結果

表1．各手法による解析結果の比較(単位:kgf/cm<sup>2</sup>)

各解析法による計算結果を表1に示す。表中の百分率は、FEMによる解析値を100とした値である。これによると、FEMによる下縁部の応力( $\sigma_t$ )は他の2解析法による結果と比較的近い結果となったが、上縁部の応力( $\sigma_c$ )はかなり小さいものとなった。これはFEM解析においてのみ片持部に剛性を持たせたため

|               |               |               | 桁 1      | 桁 2           | 桁 3      | 桁 4      | 桁 5      | 桁 6      | 平均       |          |          |
|---------------|---------------|---------------|----------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| F E M         | 死荷重           | $\sigma_{cd}$ | 28.03    | 29.15         | 29.62    | 29.62    | 29.15    | 28.03    | 28.93    |          |          |
|               |               | $\sigma_{td}$ | -41.47   | -39.95        | -39.33   | -39.33   | -39.95   | -41.47   | -40.25   |          |          |
|               |               | $\sigma_{cl}$ | 26.84    | 27.25         | 27.00    | 26.37    | 25.04    | 23.82    | 26.05    |          |          |
|               | 活荷重           | $\sigma_{tl}$ | -39.49   | -36.66        | -35.32   | -34.52   | -34.09   | -35.20   | -35.88   |          |          |
|               |               | 格子            | 死荷重      | $\sigma_{cd}$ | 40.55    | 42.27    | 42.21    | 42.21    | 42.27    | 40.55    | 41.68    |
|               |               |               |          | (百分率)         | (144.68) | (145.00) | (142.52) | (142.52) | (145.00) | (144.68) | (144.05) |
| $\sigma_{td}$ | -43.37        |               |          | -45.21        | -45.15   | -45.15   | -45.21   | -43.37   | -44.58   |          |          |
| (百分率)         | (104.59)      |               | (113.16) | (114.79)      | (114.79) | (113.16) | (104.59) | (110.75) |          |          |          |
| 活荷重           | $\sigma_{cl}$ |               | 33.20    | 32.96         | 32.36    | 31.83    | 31.38    | 30.61    | 32.06    |          |          |
|               | (百分率)         |               | (123.70) | (120.96)      | (119.87) | (120.70) | (125.32) | (128.49) | (123.05) |          |          |
|               | $\sigma_{tl}$ | -35.51        | -35.25   | -34.61        | -34.04   | -33.56   | -32.73   | -34.29   |          |          |          |
| (百分率)         | (89.92)       | (96.16)       | (98.00)  | (98.62)       | (98.46)  | (93.00)  | (95.56)  |          |          |          |          |
| 版             | 死荷重           | $\sigma_{cd}$ |          |               |          |          |          |          | 39.31    |          |          |
|               |               | (百分率)         |          |               |          |          |          |          | (135.86) |          |          |
|               |               | $\sigma_{td}$ |          |               |          |          |          |          | -42.04   |          |          |
|               |               | (百分率)         |          |               |          |          |          |          | (104.45) |          |          |
|               | 活荷重           | $\sigma_{cl}$ |          |               |          |          |          |          | 32.28    |          |          |
|               |               | (百分率)         |          |               |          |          |          |          | (123.90) |          |          |
|               |               | $\sigma_{tl}$ |          |               |          |          |          |          | -34.53   |          |          |
|               |               | (百分率)         |          |               |          |          |          |          | (96.24)  |          |          |

に、片持部も圧縮力(あるいは引張力)を分担し、そのために主版部の応力が小さくなったためであると考えられる。

また、FEM解析の結果によると耳桁(桁1, 6)の上縁応力は他の桁に比べて若干小さくなっているが下縁応力は逆に耳桁の方がその絶対値が大きくなっている。これも主版の上部にあたる部分にだけ片持部が存在するためであると考えられる。この影響によりFEMと格子理論による結果を比較した場合、格子理論による解析値は端にいくほど上縁応力はFEM解析値より大きな値を与え、下縁応力は小さな値を与える。

次に、死荷重のみによる応力の値に着目すると、FEMによる解析結果は、他の解析法による値、特に格子理論による値に比べて小さな値になっている。しかし、実載荷試験の結果が他の解析方法を用いて解析した結果よりも2～3割程度小さな値を示すこともしばしば報告されている。これは高欄や舗装の影響とされているが、版理論や格子理論によって計算される曲げモーメントが前述①のような仮定に基づく場合、実際の値よりも大きめの値を与える可能性も考えられる。

一方、活荷重による応力の値から、横分配の様子をFEMと格子理論で比較してみると、FEMによる結果は格子理論による結果に比べて横分配が若干悪いことが分かる。これは、格子理論による横分配が実際よりも良好な結果を与えることによるものか、あるいはFEMにおいて支承条件を点支承にしてことによるものかのいずれかであると考えられる。

### 4．まとめ

現在のところ、FEMによる解析は他の解析法に比べ必要とされる時間、コストが膨大なため、このような簡単な構造物の解析にはあまり用いられていないが、支承位置での応力集中など細部の解析には非常に有効であると考えられ、データの入出力が簡易になれば今後ますます利用されるようになると思われる。