# 3次元有限要素解析による PC 箱桁橋床版の応力照査

九州大学大学院 学生会員 ○梶原 尚平株式会社ピーエス三菱 正会員 平安山 良和九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

#### 1. 緒言

現在の PC 箱桁橋は、外・内ケーブルのプレストレス力を導入することで、主桁下床版に働く引張力の低減を図っている。しかし、ケーブルプレストレス力に依存し過ぎると、下床版に二次応力による引張力が働く可能性がある。そこで、本研究では PC 箱桁橋の 3 次元有限要素解析による応力照査を行い、現行の設計法の妥当性について定量的に考察を行った。

## 2. 解析手法の概要

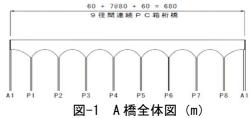
#### 2.1 解析モデル

本研究の解析対象は、図-1に示すような A 橋のセグメント 1 とする. A 橋は橋長 680m の PC 箱桁橋で、セグメント 1 は右端部から 5.25m の位置にあり、長さは 3m である. このセグメント 1 の主桁断面形状は、一定の桁高(14m)で右端部に向けてウェブ厚が変化している. セグメント 1 の両端 B1, B2 の断面図を図-2に示す. 主桁断面内には、外・内ケーブルおよび鉄筋が配置されており、内ケーブルの定着部も存在している. 本研究では、実構造を忠実に再現した 3 次元モデルを作成した. ただし、解析対象が橋梁全体の一部を取り出したセグメントであることから、外ケーブルなどのモデル化は困難であるため、外ケーブルとセグメント内で定着されない内ケーブルのプレストレス力については、次節に示す手順で換算された入力荷重として与えた.

コンクリート部材は8節点ソリッド要素,内ケーブルと鉄筋はトラス要素でモデル化し,内ケーブル定着部については内部の鉄筋のモデル化は行わずに,鉄筋剛性をコンクリート剛性に体積換算して評価した.解析モデルの要素数は,8節点ソリッド要素が18572,トラス要素が7220の計25792となった.なお,計算時間を短縮するために解析モデルは対称性を考慮した1/2モデルを用いた.解析モデルと箱桁内部の鉄筋と内ケーブル要素の配置を図-3,図-4に示す.また,表-1,表-2に材料定数と断面諸定数を示す.

#### 2.2 解析手順

本研究では、A橋全体構造から一部を取り出したセグメント1を対象に解析を行うことから、完成時の応力状態を再現するための工夫を施す必要がある。そこで、セグメント1両端の断面に作用する軸力と曲げモーメントから断面にかかる節点荷重を算出し、それを載荷した。また、セグメント1内で定着される内ケーブルについては、内ケーブル要素(トラス要素)にプレストレス力を初期応力として導入した。



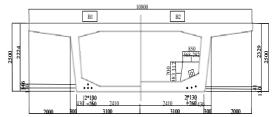


図-2 セグメント 1 の主桁断面図

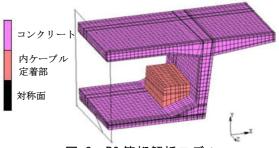


図-3 PC 箱桁解析モデル

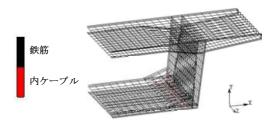


図-4 鉄筋・内ケーブル要素配置

表-1 解析に用いた材料定数

	ヤング係数 (N/mm²)	ポアソン比
コンクリート	$3.23 \times 10^4$	0.2
内ケーブル定着部	$3.54 \times 10^4$	0.2
内ケーブル	$1.96 \times 10^{5}$	0.3
鉄筋	$2.05 \times 10^{5}$	0.3

表-2 解析に用いた断面諸定数

断面	断面2次モーメント	図心位置 (m)		せん断力
	$(m^4)$	上縁	下縁	(tf)
B1	6. 0055	0.909	-1.591	-123
B2	7. 295	1.054	-1. 446	-182

具体的な解析手順は,以下の通りである.

- (1) 設計時に計算された内・外ケーブルプレストレス導入後の 上・下縁応力から、セグメント内で定着される内ケーブルのプレ ストレス力の影響だけを取り除いた死荷重時の上・下縁応力を求 める。
- (2) 平面保持の仮定から、断面内の任意高さに作用する応力を求め、要素の断面積を乗じることで各要素に働く断面力を求める.
- (3) 桁断面内の全要素に対して作用断面力を求め、各要素を構成する節点に配分することで、死荷重時の応力状態を再現するための等価節点荷重を求め、載荷する.
- (4) せん断力に関しては、せん断キーが入っている位置の要素に対して節点荷重として載荷する. ただし、せん断応力に関しては、図-2 の断面形状を簡略化した場合の断面 1 次モーメントを求め、表-2 の断面定数とせん断力をもとに式(1) を用いて得られるものとした.

$$\tau = \frac{QG}{Ib} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

 $egin{pmatrix} Q: 世ん断力(N) & G: 断面 1 次モーメント(<math>\mathbf{m}^3$ )  $I: 断面 2 次モーメント(<math>\mathbf{m}^4$ ) b:ウェブ厚( $\mathbf{m}$ )

以上の手法によって求められた荷重を**図-5** (case1) に示すように載荷した. なお,境界条件については,剛体変位が生じずかつ拘束応力が生じないように,桁断面の図心近傍の節点で自由度を拘束した.

## 3. 解析結果および考察

2.2 の解析手順に従い, 死荷重のみを考慮した場合 (case1) と死 荷重および内ケーブルプレストレス力を導入した場合 (case2) の 2 ケースについて応力照査を行った.

case1 と case2 の橋軸直角方向応力分布を図-6, 図-7 に示す. case1 では下床版に大きな引張力が確認されたが, case2 では下床版の引張応力が低減されていることがわかる. このことから, 内ケーブルプレストレス力によって下床版応力分布が変化し, 有効に作用していることがわかる. また, 下床版にはコンクリートにひび割れを生じさせるような大きな引張力は認められず, 内ケーブル定着部近傍においてのみひび割れが生じる可能性が確認された.

### 4. 結言

今回の詳細な3次元有限要素モデルによって,現在のPC 箱桁橋の設計法は概ね妥当であると考えられるが,ケーブル定着部近傍の構造等については検討する必要があると思われる.今後,施工過程を忠実に再現した解析を行い,施工時の応力状態を照査することで,PC 箱桁橋の適切な施工方法についても検討を試みる予定である.

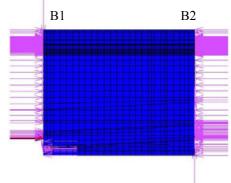


図-5 荷重条件図 (case1)

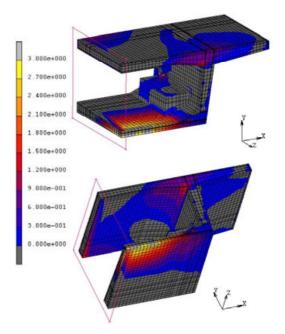
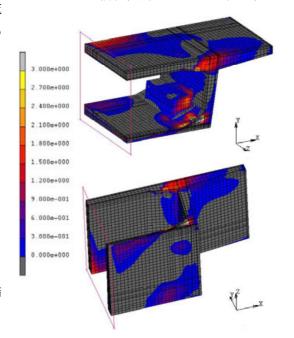


図-6 case1 の橋軸直角方向応力分布 (N/mm²)



図−7 case2の橋軸直角方向応力分布(N/mm²)