

(114) 大偏心外ケーブル鋼トラス複合桁の解析

日本大学	大学院	正会員	○河野 弘来
日本大学	大学院	正会員	井戸 功誠
日本大学	大学院	正会員	張 文耀
日本大学	理工学部	正会員	山崎 淳

1. はじめに—目的と方法

新しい構造形式である、大偏心外ケーブル鋼トラス複合桁の力学挙動をFEM解析を用いて検証する。本研究で対象とする構造モデルは、井戸ら [1] が設計した3スパン連続鋼トラス複合桁自碇式PC吊橋の1/36モデルである。比較する実構造物として、衝原橋(L=180mのエクストラードズド橋：同一の力学理論)とブローネ高架橋(仏)(桁内外ケーブル方式鋼トラス複合桁)が挙げられる。

本論文は、複雑な構造形式の解析手法としてFEMを用い、より簡便に検討を行うためのFirst Stepである。構造全体系及び1つの桁セグメントに対して、それぞれ縮小モデルを作成し載荷実験を行い、2次元及び3次元FEM解析と比較検討した。なお、全体構造に関する詳細は井戸ら [1]、セグメントに関する詳細は張ら [2] による。

2. 解析の対象とした構造

本研究で解析の対象とした構造は、大偏心外ケーブル鋼トラス複合桁モデル(センタースパン：5m、サイドスパン：1m、桁高0.1m、図-1)、及び3スパン連続鋼トラス複合桁を構成する1桁セグメント(桁高： $h=10$ cm、幅員： $b=20$ cm、軸方向長さ： $l=53$ cm、上下床版厚： $t=2$ cm、図-2)である。

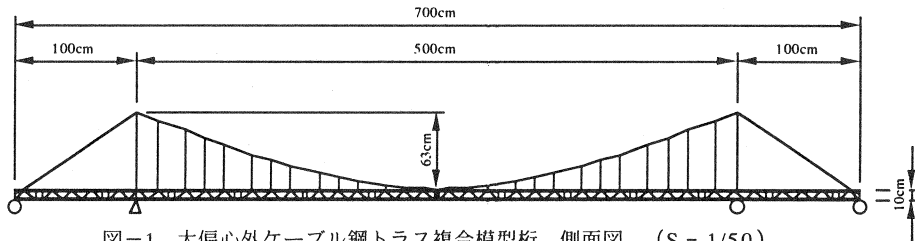


図-1 大偏心外ケーブル鋼トラス複合模型桁 側面図 (S = 1/50)

3. 解析の方法

今回、解析モデルの作成、2次元及び3次元のFEM解析、解析結果の出力には、汎用FEM解析ソフト「COSMOS/M ver 1.75」を使用した。

3-1 全体構造系の解析

大偏心外ケーブル鋼トラス複合桁モデルの全体構造系について、静的弾性解析を2次元FEM解析で行った。桁のRC床版には2次元平面要素、ケーブル及び桁のトラス部材に対しては2次元トラス要素を用いてモデル化し、解析を行い、結果を得た。

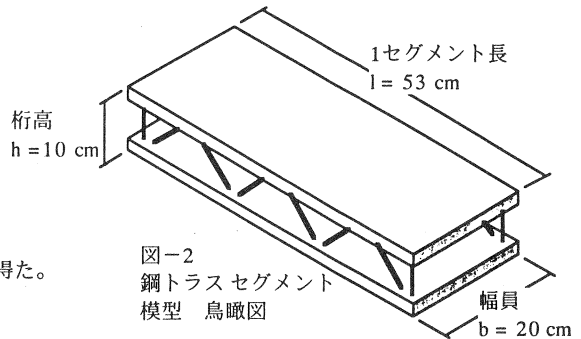


図-2 鋼トラスセグメント模型 鳥瞰図

3-2 桁セグメントの解析

3スパン連続鋼トラス複合模型桁はセグメント14個で構成されている。その桁セグメント1個について解析を行った。桁セグメントに対しては、構造が立体トラスであることから3次元FEM解析を行った。桁のRC床版には8節点ソリッド要素、ケーブル及び桁のトラス部材に対しては3次元トラス要素を用いてモデル化し、解析を行った。

4. 模型構造のFEMモデル化

4-1 全体構造系のFEMモデル

ケーブル、ハンガーロープ、床版、トラス、それぞれの接合点及び格点を基準として、FEMモデルのメッシュ分割を行った(図-3)。ケーブルと桁の定着部については、剛体要素でモデル化した。

全体構造系の形状はスパン中央軸(CL)に対して線対称形なので、スパン中央軸(CL)に

対して線対称の境界条件を用い、左半分のみをFEMモデル化した。サドル(タワー頂部)はケーブルが連続していることから、鉛直方向のみ拘束し水平方向はFreeとした。

想定した荷重荷重は、設計荷重 $\{(D+L)\}$ と設計荷重の1.7倍 $\{1.7(D+L)\}$ の2ケースで解析した。荷重 $\{1.7(D+L)\}$ の根拠として、道路橋示方書 [3] 規定から構造物の終局状態における安全性を設計荷重作用時の1.7倍を確保することを弾性解析の範囲で検討するため。実際に解析時に与えた荷重荷重はロードバランス荷重 $\{(D+L/2)\}$ からの増分とした。(ロードバランス:鉛直下向き荷重 $(D+L/2)$ とケーブル導入P/Sによる上向き荷重

$(w = \frac{8FB}{\ell^2})$ が釣り合い、桁に曲げが作用せず、桁がまっすぐな状態)

荷重ケース1 : $\{L/2\} = (D+L) - (D+L/2)$ (kgf/cm)

荷重ケース2 : $\{0.7D+1.2L\} = 1.7(D+L) - (D+L/2)$ (kgf/cm)

2次元FEMモデルに実定数として定義した、諸断面の数値を(表-4)に示す。

表-4 FEMモデルに定義した諸断面数値

		全体構造	セグメント	井戸ら [1] 模型	弾性係数 (kgf/cm ²)
ケーブル	断面積 (cm ²)	0.565	-	D=0.6×2面	Es=2100000
ハンガーロープ	断面積 (cm ²)	0.285	-	D=0.3×2本×2面	Es=2100000
桁トラス部材	断面積 (cm ²)	0.565	0.285	D=0.3×4本×2面	Es=2100000
上下床版	断面 (cm)	20 (奥行)	2×20×53×(上下2面) (上体積をメッシュ分割)	2×20×53 ×(上下2面)	Ec= 280000

4-2 桁セグメントのFEMモデル

解析するセグメントの全体構造中における位置は、最も大きな曲げモーメントが作用する支点上とする(図-3:S)。1セグメントの曲げ挙動を解析するため、セグメントの両端部に単純支持支点を想定した。(図-5)

載荷荷重として、 $P=1600$ kgf をセグメントのスパン中央線上に与えた。この与荷重は、セグメント模型実験(張ら [2])における終局(トラスの座屈)時の荷重に等しい。また載荷荷重の向きは、支点反力を載荷荷重として与えているため、鉛直上向きとしている。

トラス部材は1部材1要素、上下床版は厚さ方向2分割、幅員方向12分割、軸方向30分割にした。

3次元FEMモデル化における、材料特性、構造諸元の設定数値については(表-4)に示す。

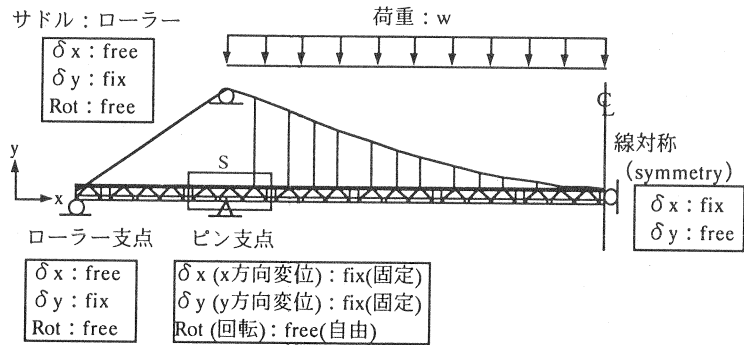


図-3 全体構造系FEMモデル

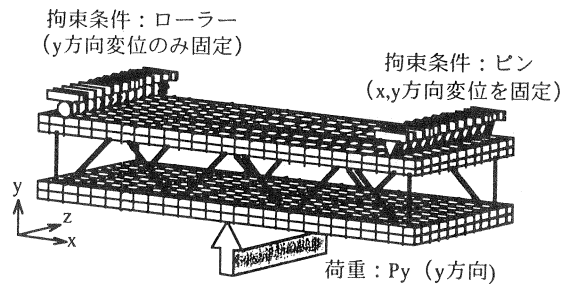


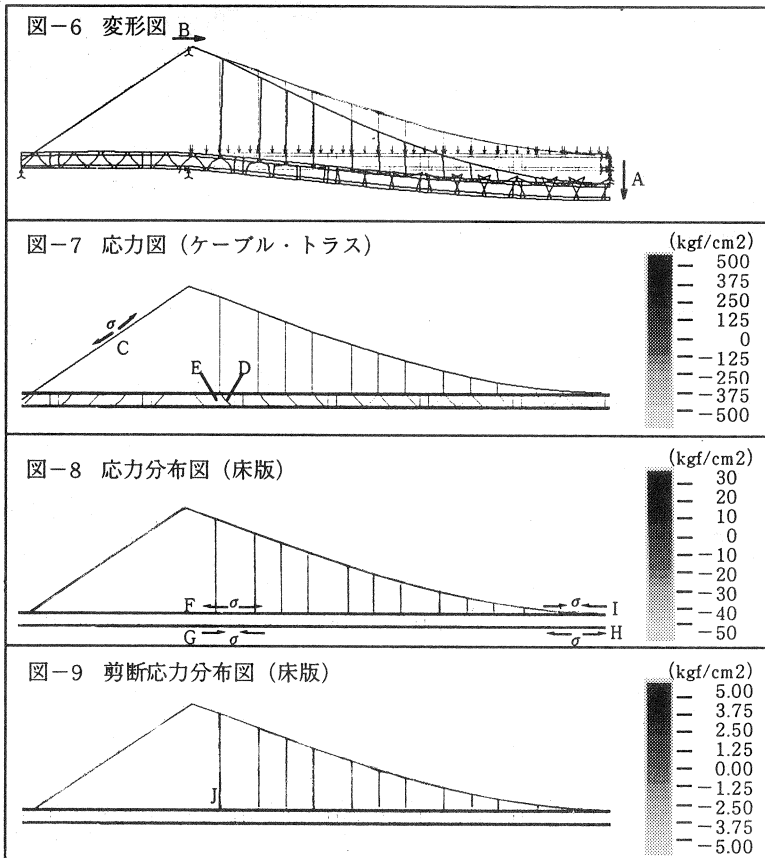
図-5 セグメントFEMモデル

7. 解析結果

7.1 全体構造系の解析結果

構造全体系の2次元FEM解析結果を図-6~9、数値を表-10に示し、考察を加える。解析結果は、荷重ケース：(供用荷重の1.7倍)時のみ示す。

荷重 $|1.7(D+L)|$ 時の変形図を図-6に示す。この時のスパン長に対する最大たわみは $(\frac{\delta_y}{l} = \frac{3.5}{5000} = \frac{1}{1428})$ 設計時に規定した道路橋のたわみ制限 ($\frac{1}{1000}$) 以下である。図-7及び8の応力分布図から各部材に作用している



応力は、各材料特性から評価して、弾性範囲内であるといえる。

ケーブル・トラスの各要素軸方向に作用する軸応力を図-7に示す。ケーブル引張応力が 550 kgf/cm^2 (サイドスパン) ~ 450 kgf/cm^2 (スパン中央) と分布している。均一ではない。支点付近のトラスに顕著な引張応力(赤)と圧縮応力(青)が発生している。

桁の上下床版の水平方向に作用する直応力分布を図-8に示す。荷重 $|1.7(D+L)|$ 時でも桁に発生する引張応力が最大 $33 \text{ kgf/cm}^2 < (f_b = 40 \text{ kgf/cm}^2)$ である。支点断面とスパン中央断面のモーメント分担割合は、上下床版に作用する応力から見ると、支点側が多く分担している。また、応力分布の圧縮側への偏りからケーブルの張力増加により床版に軸圧縮力が作用していると考えられる。

桁の上下床版に作用する剪断

応力分布を図-9に示す。

格点(床版とトラスの接合部)に剪断応力が集中している。剪断応力の最大値 $4.4 \text{ kgf/cm}^2 < (\tau_{s1} = 5 \text{ kgf/cm}^2)$ である。

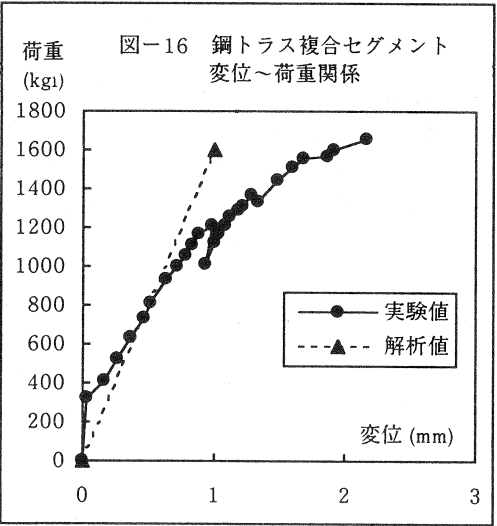
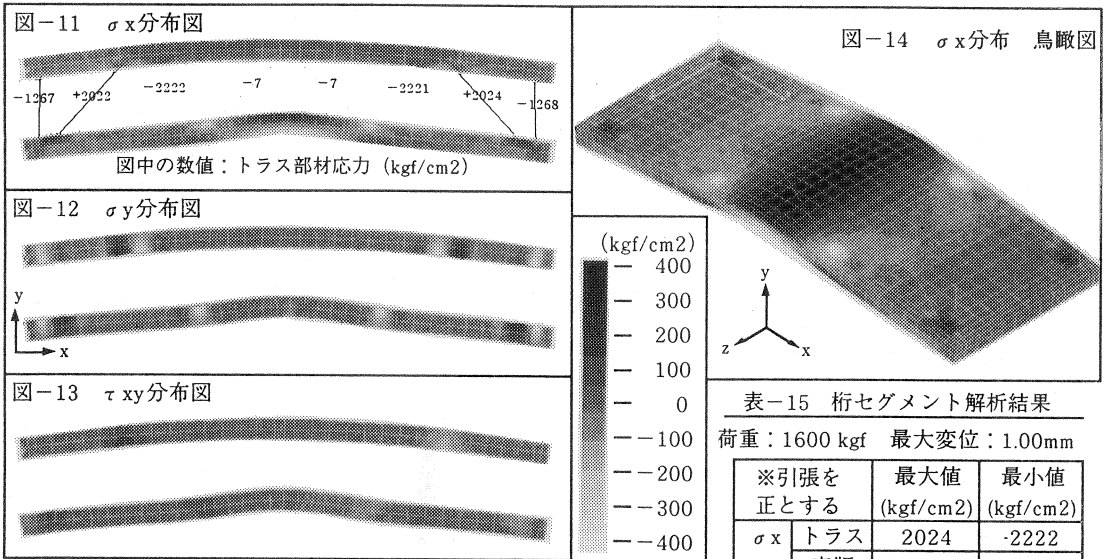
表-10 全体構造系解析結果 最大値・最小値

		図上の位置	方向	D+L	1.7×(D+L)	単位		
変位	スパン中央の鉛直変位	A	↓	1.25	3.5	mm		
	サドルの水平変位	B	→	0.016	0.044	mm		
直応力	ケーブル	C	引張	195	546	kgf/cm ²		
		桁トラス部材		D	引張	153	429	kgf/cm ²
			E	圧縮	-166	-467	kgf/cm ²	
	上下床版	支点	(上縁)	F	引張	12	33	kgf/cm ²
			(下縁)	G	圧縮	-18	-51	kgf/cm ²
		スパン中央	(上縁)	H	引張	5.5	15	kgf/cm ²
(下縁)			I	圧縮	-9	-26	kgf/cm ²	
剪断応力	(格点)	J	-	1.6	4.4	kgf/cm ²		

※記載の応力は引張と圧縮の最大値

7-2 桁セグメントの解析結果

桁セグメントの3次元FEM解析結果を図-11~14、表-15、図-16 に示す



上下床版の直応力 σ_x 、 σ_y 、剪断応力 τ_{xy} の分布を図-11~14に示す。トラス部材は要素軸方向応力、床版は水平方向が σ_x 、鉛直方向が σ_y を示す。トラスと床版の結合部(格点)に応力が集中している。

図-11から上床版上面に引張応力が確認できる。桁の腹部を鋼トラスにしてもセグメント全体で曲げに対して抵抗することが分かる。

図-12からトラス部材の力が床版に対して引き抜き力、押し抜き力として作用していることが分かる。

セグメント模型に対する荷重実験データ(変位～荷重関係)とFEM解析データを図-16に示す。実験値と解析値は弾性範囲において、ほぼ一致している。

セグメント模型の実験についての詳細は張ら [2] による。

8. まとめ

- ・設計した模型は、終局時荷重 [1.7(D+L)] 載荷時でも、模型を構成する全ての部材応力が弾性範囲内であった。
- ・弾性範囲内に於いて、セグメント模型の実験値と非常に近いFEM解析値を得ることが出来た。
- ・鋼トラス複合桁セグメント模型における応力伝達経路を視覚的に評価することができた。

参考文献

[1] 井戸・大熊・張・山崎：大偏心外ケーブル鋼トラス複合桁模型の設計・製作、PC技術協会第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集(申請中)

[2] 張・永島・井戸・山崎：鋼トラスセグメント模型の製作と載荷実験、PC技術協会第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集(申請中)

[3] (社)日本道路協会：道路橋示方書 (I 共通編・IIIコンクリート橋編)・同解説、1994.2