

# 報告 外ケーブル方式 PC 箱桁橋における偏向部の応力測定と解析

栗崎清志\*<sup>1</sup>・渡辺将之\*<sup>2</sup>・江川元幾\*<sup>3</sup>・青木茂夫\*<sup>4</sup>

要旨：本文では、はじめに秋田自動車道岩滑沢橋における偏向部の設計方法について述べ、次に偏向部の応力測定と解析結果を報告する。岩滑沢橋では偏向部の設計を立体 FEM 解析の結果に基づいて行っている。実橋の測定によると測定値は解析値に比べ、60～90%程度小さな値となっている。

キーワード：外ケーブル、偏向部、デビエータ、応力測定、解析

## 1. はじめに

外ケーブル構造では、ケーブルを定着部間で曲げて配置する場合、ケーブルを保持し、ケーブル張力が構造部材に伝達されるように偏向部（デビエータ）が設けられる。この偏向部の安全度が構造全体の安定性確保に大きな役割を担っているが、確立された設計手法はなく、唯一、（財）高速道路調査会の報告書〔1〕にその簡易計算法が提案されているだけである。

また、昨今、我が国においても外ケーブル構造が各機関で採用され、外ケーブルに関する論文や報文も数多く発表されているが、偏向部に関する文献は数少ない。

このようなことから、秋田自動車道岩滑沢橋において、偏向部に発生する局部応力の測定と立体 FEM 解析を行った。本文では、はじめに岩滑沢橋の概要と偏向部の設計について述べ、次に実橋における局部応力の測定結果と解析結果を報告する。

## 2. 岩滑沢橋の概要と偏向部の設計〔2〕

### 2.1 岩滑沢橋の概要

岩滑沢橋は、秋田自動車道の北上西 IC～湯田 IC 間に位置する PC 6 径間連続箱桁橋（橋長 302m、支間 6@50m）である。全体一般図を図-1 に示す。

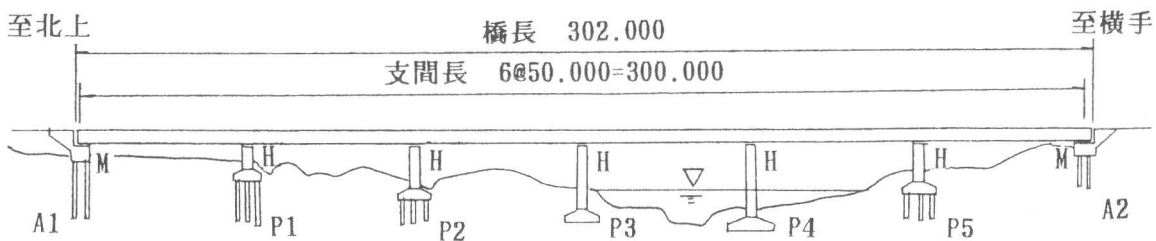


図-1 岩滑沢橋一般図

- \* 1 日本道路公団仙台建設局建設部構造技術課、（正会員）
- \* 2 日本道路公団仙台建設局建設部構造技術課課長代理
- \* 3 日本道路公団仙台建設局北上工事事務所技術第一課長
- \* 4 オリエンタル建設(株)東北支店工務部設計チーム課長

本橋は、架設工法に押し出し工法を採用している。一般に押し出し工法を採用する場合、上下床版に架設用の鋼棒を数多く配置するが、本橋においては架設用鋼棒を削減するため、外ケーブルを押し出し施工時の架設用ケーブルとして、また完成時の荷重（橋面荷重、活荷重）にも抵抗するように設計している。

つまり、図-2のように、押し出し施工時には外ケーブル（C1、C2）をたすき掛けに配置し、完成時にはC1ケーブルを撤去した後、C3ケーブルを配置している。

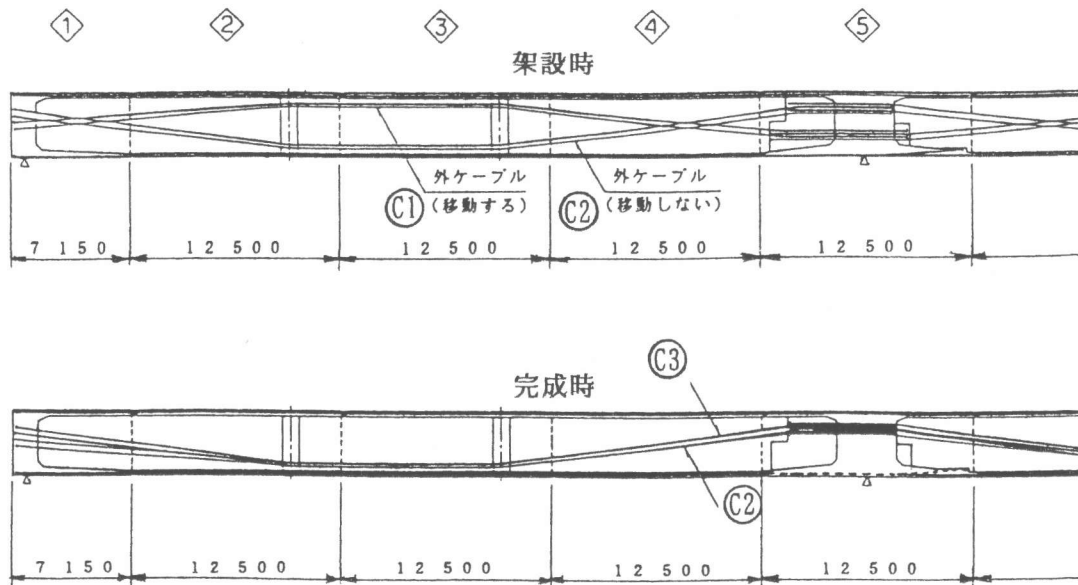


図-2 外ケーブル配置概念図

## 2.2 偏向部の設計

図-3に示すように、偏向部には、ダイヤフラム、リブおよびサドルの3つの形式があるが、本橋では次の理由からリブ形式を採用した。

- ①ダイヤフラム形式は死荷重を増加させ、ウェブ厚の増加を招く。
- ②サドル形式は他の形式と比較して最も軽いが耐荷力が小さい。

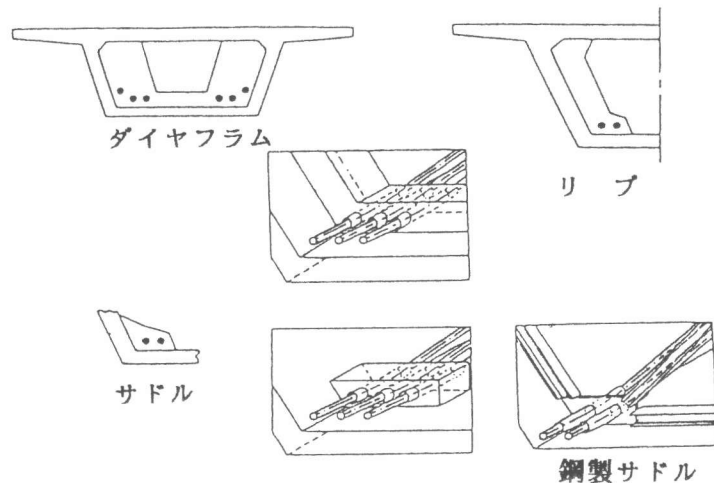


図-3 偏向部形式

③リブ形式はウェブ厚の増加を招かずに必要な耐荷力を得られる。また、本橋では外ケーブルをたすき掛けに配置するため、上床版と下床版の両側に偏向部が必要となる。などである。

次に偏向部の設計（計算）方法については、本橋では、文献〔1〕に提案されている簡易計算法と立体FEM解析との比較検討を行った。

(1) 簡易計算法

簡易計算法は、外ケーブルの偏向によって生じる局部引張力 (T1 ~ T3) に対し、鉄筋のみで抵抗しようとするものである。具体的には、図-4 に示す各断面を右式により算出する。

$$T1 = n \cdot P_t \cdot \sin \theta_1 \quad (1)$$

$$T2 = 0.25 \cdot T1 \cdot (1 - d_1 / d_s) \quad (2)$$

$$T3 = n \cdot P_t \cdot \sin \theta_2 \quad (3)$$

ここに、

- T1 : 外ケーブルの鉛直分力       $\theta_1$  : 鉛直方向の偏向角度
- T2 : 外ケーブルにより偏向部に働く割裂引張り力       $\theta_2$  : 水平方向の偏向角度
- T3 : 外ケーブルの水平分力       $d_1$  : 作用幅 (外ケーブル径)
- $d_s$  : 分布幅
- n : ケーブル本数
- $P_t$  : 外ケーブルのプレストレス中の許容引張力

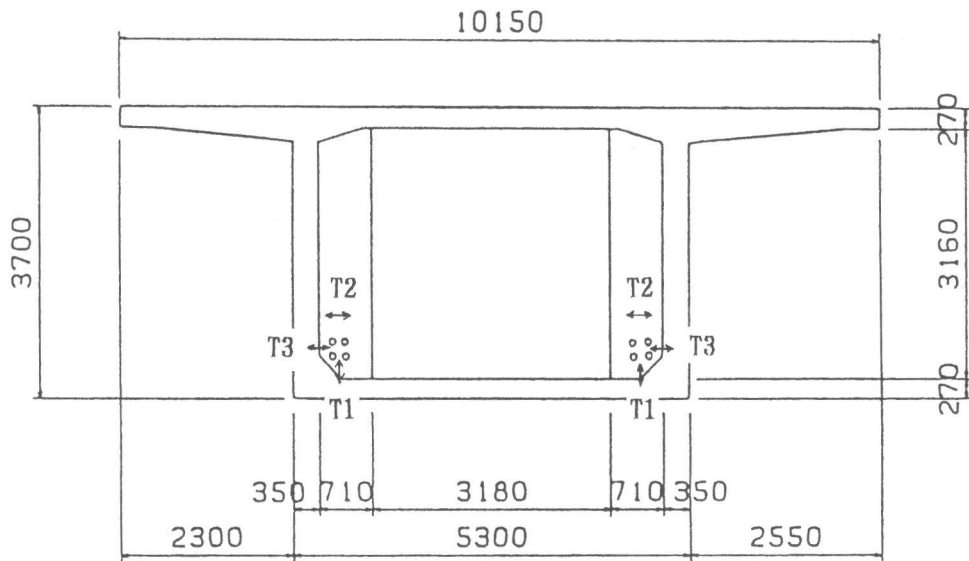


図-4 各断面力と偏向部の寸法

(2) 立体FEM解析

図-5 に立体FEMモデルを示す。解析モデルは断面中心について軸対称の半断面ソリッドモデル (一様なコンクリート要素の連続体とし、鉄筋は無視する。) とし、橋軸方向は解析結果に影響を及ぼさない範囲として、桁高さの2倍とした。また、境界条件は、ウェブによる拘束を上床版上縁のウェブ端位置の接点でピン支持し、半断面の切断面には対称条件を利用して構造系の安定を確保する。さらに、領域の端部には死荷重時の断面力を作用させた。

表-1 簡易計算法と立体FEM解析の比較 (1000N)

	T1	T2	T3
①簡易計算法	1687	226	647
②FEM解析	834	147	314
②/①	0.49	0.65	0.49

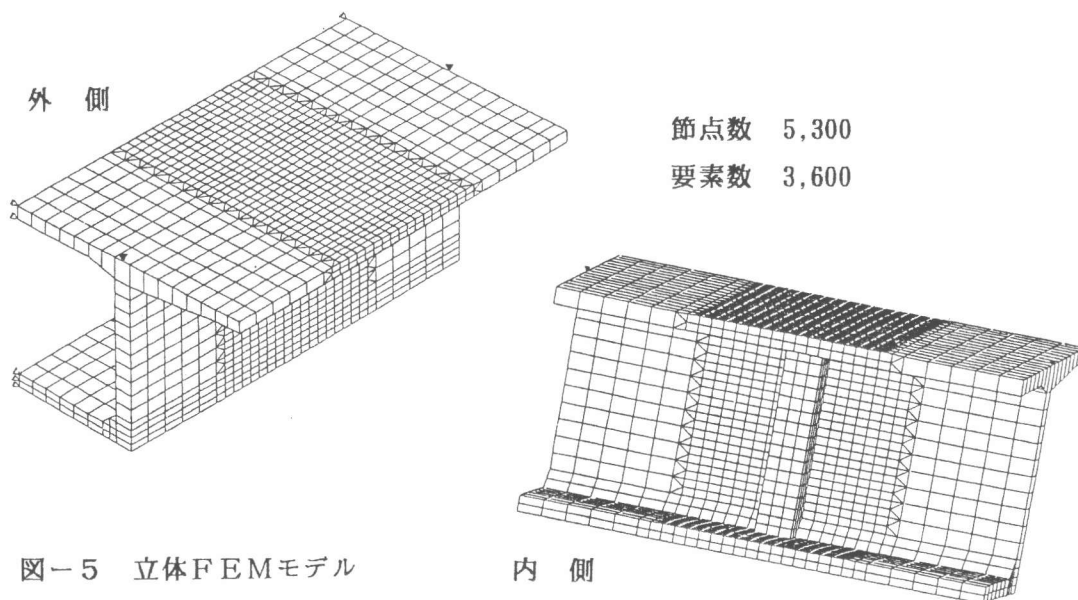


図-5 立体FEMモデル

内側

### (3) 簡易計算法と立体FEM解析の比較

表-1は簡易計算法と立体FEM解析の比較である。

FEM解析値は簡易計算値に対し、50～65%程度の小さな値となった。この理由は、FEM解析では、外ケーブルの偏向によって生じる局部引張力に対し、偏向部のほか上下床版やウェブも一体となって抵抗する考えで解析している。一方、簡易計算法では、偏向部の鉄筋のみで抵抗するものと考えているからである。

本橋においては、偏向部の配筋が過密になり、施工性の低下やジャンカなどの施工不良を防ぐため、立体FEM解析の結果をもとに偏向部の補強を行うこととした。配筋図を図-6に示す。

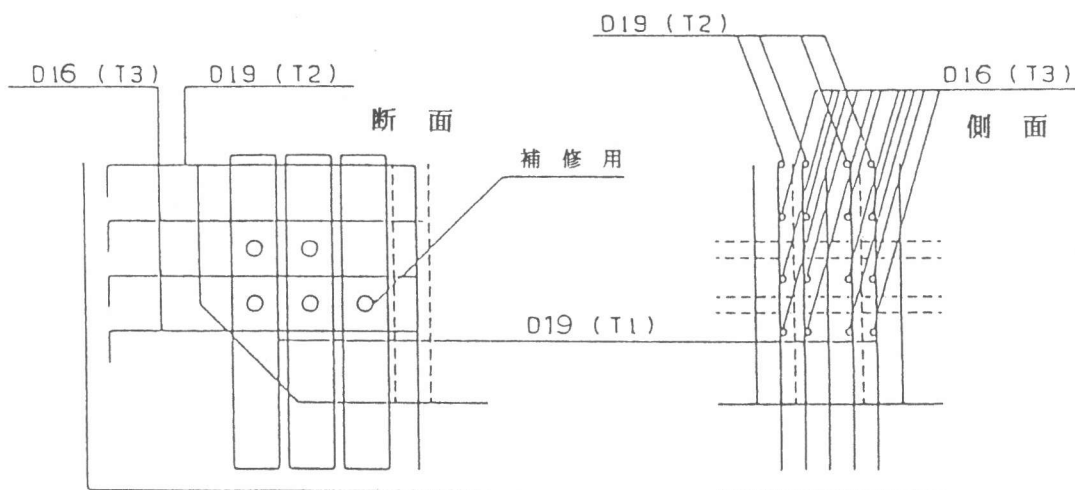


図-6 偏向部配筋図

### 3. 偏向部の応力測定と解析

既に述べたように、岩滑沢橋の偏向部の補強は立体FEM解析結果をもとに行っている。しかし、偏向部の設計法は現在のところ確立されないため、解析モデルを検証する必要がある。

そこで、偏向部に配筋されている補強鉄筋の応力を測定するとともに、測定条件に合わせて立体FEM解析を行った。

### 3. 1 偏向部の応力測定

本橋は押し出し架設工法により施工され、かつ外ケーブルの配置が架設時と完成時で異なるなど、構造系が様々に変化する。このため、測定値は各構造系の変化前と変化後の応力変動を測定し、足し合わせることで測定値を求めることとした。

応力は、図-7に示す位置に鉄筋計を埋め込み、鉄筋のひずみを測定し、鉄筋計のヤング係数を乗じて算定した。

各構造系の測定値と足し合わせた結果を表-2に示す。

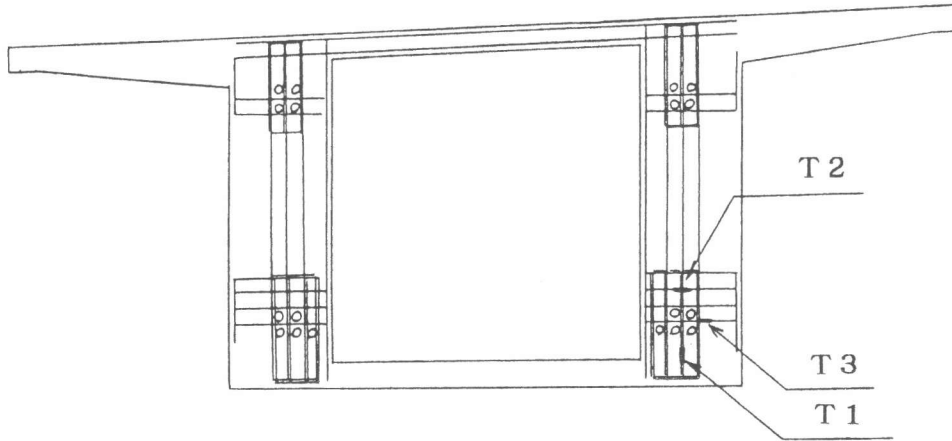


図-7 鉄筋計配置図

### 3. 2 FEM解析

解析には、2. 2(2)述べた立体FEMモデルを用いた。また、外ケーブルの張力、ケーブルの偏向角度、領域端部に作用させる断面力などは測定条件に合わせた。

ただし、解析は測定時のような各構造系の足し合わせではなく、死荷重の影響を無視して、最終的な構造系についてのみ行った。

表-2 偏向部の応力測定結果

構造系	各構造系での測定値 (N/mm <sup>2</sup> )		
	T 1	T 2	T 3
架設ケーブル緊張時	11.0	1.2	6.5
架設ケーブル解放時	-0.3	0	0.6
下床版の鋼棒緊張時	0.3	-0.4	0.5
完成ケーブル緊張時	13.6	2.1	3.4
計	24.6	2.9	11.0

### 3. 3 偏向部の応力測定値と立体FEM解析値の比較

表-3は偏向部の応力測定値と立体FEM解析値の比較である。

ここで、応力測定値とは3. 1で述べた鉄筋計の応力であり、FEM解析値とは、FEMモデルにおける鉄筋計位置の要素応力をヤング係数比で鉄筋応力に換算したものである。

応力測定値は立体FEM解析値に比べ、60~90%程度小さな値となっている。よって、測定結果により本橋の偏向部が安全に設計されているものと判断できる。

なお、応力測定値が立体FEM解析値に比べ小さくなっている理由は、立体FEM解析では解析モデルを無筋コンクリートとして考え、算出された要素応力をヤング係数比で鉄筋応力に換算していることに対し、実構造物では、偏向部の補強筋がラップ長の関係で計算以上に配置されていること、および鋼製のデビエータ管とその支持荷台が設置されていることから、偏向部の剛性が一様でなく、かつ全体的に高いためと考えられる。

#### 4. まとめ

今回の偏向部の応力測定と解析より得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- ①文献 [1] に提案されている簡易計算法と立体FEM解析の比較では、50～65%程度、立体FEM解析値の方が小さな値となった。
- ②偏向部の応力測定と立体FEM解析の比較では、60～90%程度、測定値の方が小さな値となった。
- ③今回の結果から、リブ形式の偏向部の設計では、文献

[1] の簡易計算法で算出した値の60%程度の断面力でも、十分安全な設計が可能である。

#### 5. おわりに

本文では、実橋による偏向部の応力測定結果と解析結果について報告した。

偏向部の設計法については、現在のところFEM解析によることが最良であると考えられるが、橋梁毎にFEM解析を行って設計することは、現実的に時間や費用の面から難しく、精度の良い簡易計算法の確立が望まれるところである。よって、本報が偏向部の構造検討や簡易計算法確立の一助となれば幸いである。

最後に、岩滑沢橋の設計、施工及び本試験について、貴重なるご指導とご助言をいただいた東北大学の三浦 尚教授を委員長とする「外ケーブルを用いたPC橋梁に関する技術検討」委員会の諸先生方及び関係各位の皆様に厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- [1] (財) 高速道路調査会、PC橋の新しい構造事例に関する研究報告書、pp.33-34、1993.3
- [2] 佐久間 智、江川元幾、水上善晴、栗崎清志：外ケーブル併用押出し施工によるPC箱桁橋の設計（上）、橋梁と基礎、Vol.29、No.5、pp17-25、1995.4

表-3 応力測定値とFEM解析の比較  
(N/mm<sup>2</sup>)

	T1	T2	T3
①応力測定値 (鉄筋計応力)	24.6	2.9	11.0
②FEM解析値	4.02	0.62	2.61
③ヤング係数比	$E_s/E_c=209900/30700=6.84$		
④FEM解析値 (換算鉄筋応力)	27.5	4.2	17.8
①/④	0.89	0.69	0.62