

(59) 上竹橋の設計・施工(2) 外ケーブル偏向部の計測

日本道路公団 中国支社技術部構造技術課 和崎 宏一
 日本道路公団 中国支社高梁工事事務所 川原 洋一
 川田建設(株) 工事本部開発部 正会員 ○大澤 浩二

1. はじめに

上竹橋は、中国横断自動車道岡山米子線のうち岡山県上房郡賀陽町上竹地区内に位置する橋長530mのプレストレストコンクリート橋である。本橋は、2連の6径間連続箱桁橋から構成されており、押し出し架設により施工された。そのうちの1連(A1~P6径間)の2次ケーブルとして外ケーブル方式が採用されている。¹⁾

今回の偏向部が同時に定着も行う特殊な構造であるため、補強の安全性を確認するために応力計測を行った。ここでは、計測にあたって行った偏向部のFEM解析結果および応力計測結果について報告するものである。

2. 偏向部構造

本橋の外ケーブルは、標準部と支点上で必要本数が異なるため、図-1に示すように偏向部での途中定着を行う配置としている。そのため、偏向部は外ケーブルの定着および偏向機能を兼ね備えた特殊な構造となり、応力伝達の確実なダイヤフラム形式が採用されている。偏向部の部材厚さは、外ケーブルの曲げ半径R=3.5m部を部材内に納める考え方から t=800mmとした。なお、定着のないケーブル通過部においても、ケーブルを1段配置として偏心量を確保することを主体と考え、定着のある偏向部と同様のダイヤフラム形式とした。偏向部の設計は、3次元FEM解析を行い、その結果を基に補強鉄筋量を決めている。図-2に配筋図を示す。

今回着目した偏向部は、図-1に示す2カ所である。

- ① 15ブロック中央の偏向部 (1ウェブ当り1本通過, 2本定着)
- ② 17ブロック中央の偏向部 (1ウェブ当り3本通過)

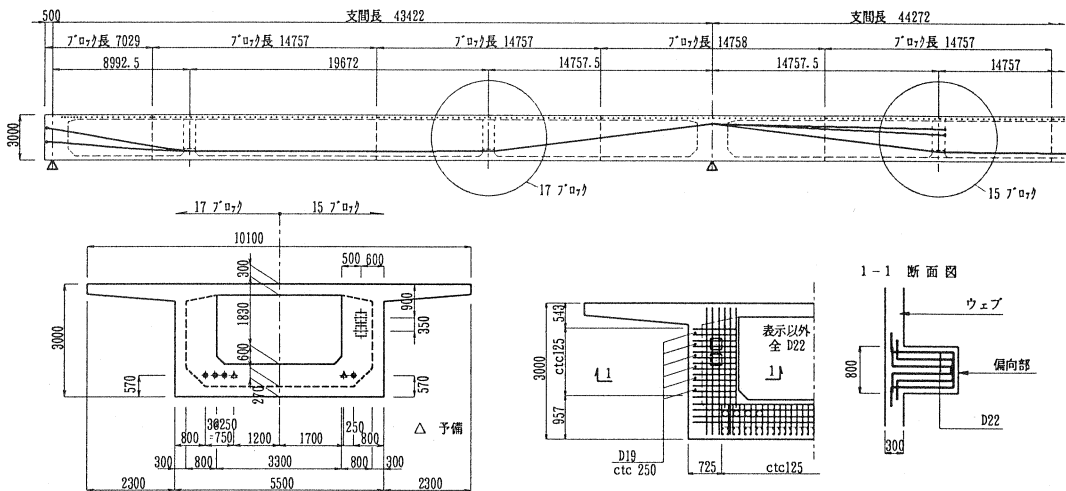


図-1 外ケーブル配置

図-2 偏向部配筋図

3. 事前解析

応力計測をするにあたって事前にFEM解析を実施した。図-3にモデル図を示す。

モデル長は施工ブロック長 $L=14.758\text{m}$ とし、構造対称性より半断面モデルを採用している。境界条件は、モデル両端部での単純支持とし、境界断面力として外ケーブルによるプレストレスと2次力を考慮している。また、偏向部の荷重としては、外ケーブルの定着力および偏向力を載荷している。

解析結果については、応力計測結果のところで記述する。

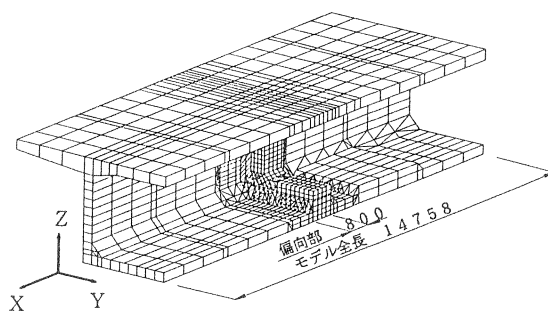


図-3 FEM解析モデル

4. 応力計測

4.1 計測内容

(1) 計測時期

計測は、外ケーブルだけの影響を抽出するために押し上架設の完了後とし、着目偏向部を通過あるいは定着するケーブル(全6本)の緊張前後に行った。

(2) 計測項目

計測項目は、補強鉄筋およびコンクリートの表面ひずみとし、局部応力度の大きくなる箇所のひずみ計測を行った。計測状況を写真-1に示す。

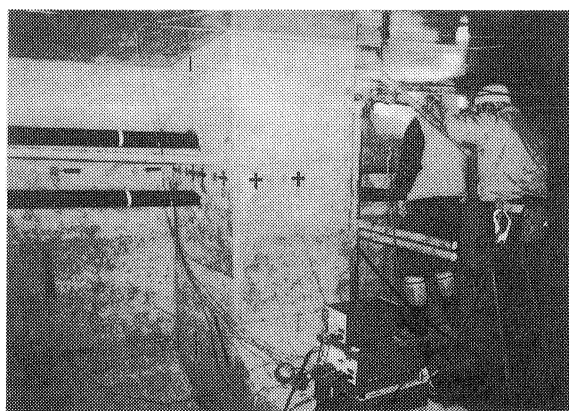


写真-1 15ブロック計測状況

4.2 計測結果

計測結果は、実測ひずみに試験により求めたコンクリートの静弾性係数(342000kgf/cm^2)を乗じたコンクリート応力度で示す。

(1) 15ブロック偏向部

この偏向部は、1ウェブ当り3本の外ケーブルが配置され、そのうち1本が通過、2本が定着されるため、定着部周辺の上床版、ウェブ、偏向部に大きな引張応力度が発生している。

①ウェブ内面の橋軸方向応力度(図-4参照)

解析では、大きな局部応力(定着面に $45\sim 75\text{kgf/cm}^2$ の引張、定着背面に $40\sim 70\text{kgf/cm}^2$ の圧縮)が生じる。計測でもほぼ同程度の約 40kgf/cm^2 の引張、約 60kgf/cm^2 の圧縮が実測されたが、ひび割れは観測されていない。

今回計測した結果は外ケーブルの緊張による増分だけであるが、すでに導入されている架設鋼棒によるプレストレス(図心付近で約 35kgf/cm^2)を考慮すれば、実際にはほとんど引張が生じていないことになる。

なお、設計ではこの区間に補強鉄筋としてD19が 25cm ピッチで配筋されている。

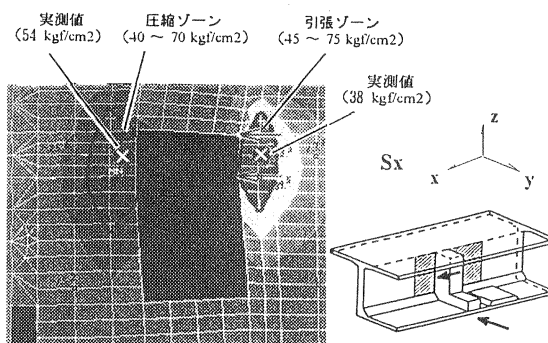


図-4 ウェブ内面の橋軸方向応力度(157°方向)

②上床版下面の橋軸方向応力度 (図-5 参照)

解析では、上床版ハンチ付近に局部応力 (定着面に10~35kgf/cm²の引張, 定着背面に40~75kgf/cm²の圧縮) が生じる。計測でもほぼ同程度の約25 kgf/cm²の引張, 約40 kgf/cm²の圧縮が実測された。また、前述したように上床版には架設鋼棒によるプレストレスが約40kgf/cm²すでに導入されているため、引張は生じていない。

なお、設計では、この区間に補強鉄筋はなく、通し筋として D16が12.5cmピッチで配筋されている。

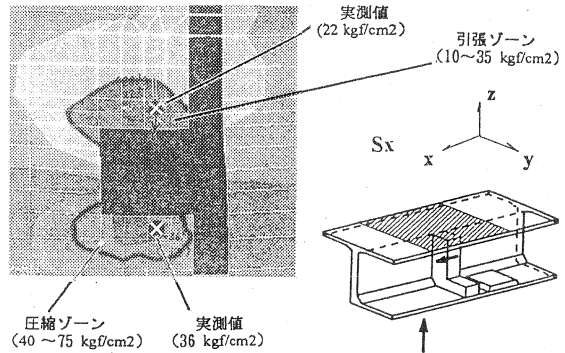


図-5 上床版下面の橋軸方向応力度(157°ロック)

③定着部の橋軸直角方向応力度

ウェブと横桁の付け根には、定着曲げにより、前面に25kgf/cm²の引張, 背面に15kgf/cm²の圧縮が実測され、解析値と一致している。

また、背面のケーブル間の局部応力についても解析値と同様に割裂応力が生じており、1部ケーブル間の中心では解析値よりも大きな引張約40kgf/cm²が実測されているが (図-6 参照), 補強鉄筋の応力度は鉄筋ですべて負担したとしても1400 kgf/cm²程度であり、十分安全である。

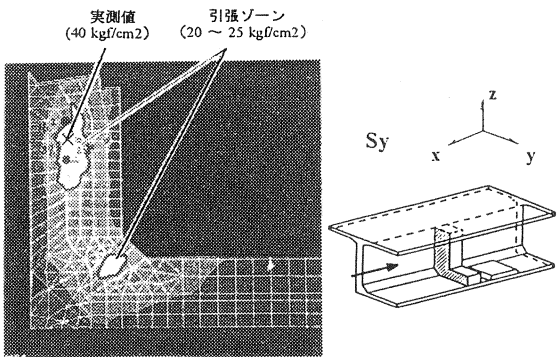


図-6 定着部の橋軸直角方向応力度(157°ロック)

④橋軸方向応力度の桁高方向分布

偏向部の表面から前後に60cm離れた断面の橋軸方向応力度の桁高方向分布を図-7に示す。ここで、上下床版の実測値は桁箱中心での値を、点線は外ケーブルの緊張による変動応力の計算値を示す。なお、図では圧縮を負で表している。FEM解析値と実測値は良い一致を示している。局部応力の影響を明確にするために、ここに示す計算値は主方向の設計に用いる棒理論による結果を示す。これによれば、①で述べた定着近傍での局部応力の影響が60cm程度の離れでは解消されていないものの、その影響は小さくなっていることがわかる。

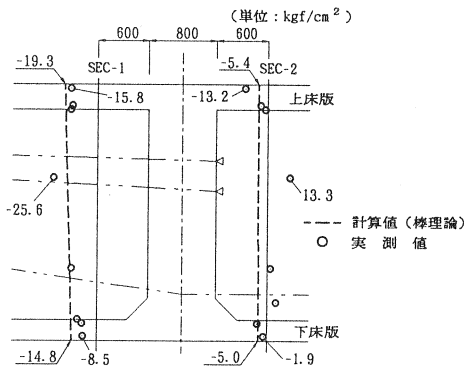


図-7 橋軸方向応力度の桁高方向分布(157°ロック)

また、設計では、有効伝達長の考え方から偏向部背面直後では定着されたケーブルを無視してプレストレスの計算を行っているが、図-7のSEC-1に示した計算値は、定着された外ケーブルも有効であるとして計算している。実測値は、定着された外ケーブルも有効とした計算値と良く一致しており、剛性の大きい偏向部がウェブ定着された導入力の断面全体への伝達に効果があることがわかる。

(2) 17ブロック偏向部

この偏向部は、1ウェブ当り3本の外ケーブルが偏向するだけであり、さらに定着用の偏向部と同様に剛性の高い隔壁型としているため、偏向部自体には問題となるような大きな引張は生じていない。

①下床版偏向部の橋軸直角方向応力度

解析と同程度の $5\sim 10\text{kgf/cm}^2$ の引張が実測された。

②下床版偏向部の鉛直方向応力度(図-8参照)
外ケーブル直下の下床版との付け根に解析と同程度の $5\sim 10\text{kgf/cm}^2$ の引張が実測された。これを鉄筋応力度に換算すると、 $30\sim 60\text{kgf/cm}^2$ 程度である。

③橋軸方向応力度の桁高方向分布

偏向部の表面から前後に60cm離れた断面の橋軸方向応力度の桁高方向分布を図-9に示す。ここで、上下床版の実測値は箱桁中心での値を、点線は外ケーブルの緊張による変動応力の計算値を示す。なお、図では圧縮を負で表している。これによれば、平面保持が成立していること、所定のプレストレス導入ができたことがわかる。

4.3 考察

計測した結果を踏まえて、偏向部補強鉄筋量について考察する。

(1) 定着リブ部の補強筋

リブの曲げおよび割裂に対して、詳細設計ではD22ctc125の補強筋が配筋されている。これは、断面に発生する引張応力をコンクリートの引張強度を無視して、すべて鉄筋で負担するものとして決めたものであるが、実際にはコンクリートにひび割れが発生しておらず、鉄筋に発生する引張応力度は 250kgf/cm^2 程度(4.2(1)③参照)にすぎない。

ただし、前述の考えによりすべて鉄筋で負担するものとするれば、発生応力度は 1400kgf/cm^2 (許容値 1800kgf/cm^2 の約80%)となり、鉄筋径を小さくするまでの差はなく、設計が妥当であったと考えられる。

(2) 偏向通過部の補強筋

通過するケーブルの偏向力に対して、D22ctc125の補強筋が配筋されているが、鉄筋に発生した引張応力度は 100kgf/cm^2 程度にすぎない。これは、ケーブル偏向部の真上に偏向部と同幅のリブ(横桁)があるため、ケーブル偏向による鉛直力がリブを介してウェブや上床版に伝達されるためである。また、実際に施工された偏向部には、下床版部にハンチを設ける等の配慮がなされたことが局部応力を小さくしたと考えられる。以上より、標準的な偏向部の補強筋としては1ランク下のD19で十分であると考えられる。

5. あとがき

偏向部の応力計測を行った結果、実測値とFEM解析値は良く一致しており、設計の妥当性とともにより確認された。図-7, 9に示すように、偏向部付近の応力のみだれは、局部的なものであり、主方向の設計を行うにあたっては、従来通り棒理論によって良いことがわかる。ただし、定着部近傍のウェブや上床版には、FEM解析と同程度の大きな局部応力が発生しており、同種の構造を設計する際にはこのような箇所の補強にも十分留意する必要がある。

[参考文献]

- 1) 持田, 他: 上竹橋の設計・施工(1), 第6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, 1996・10

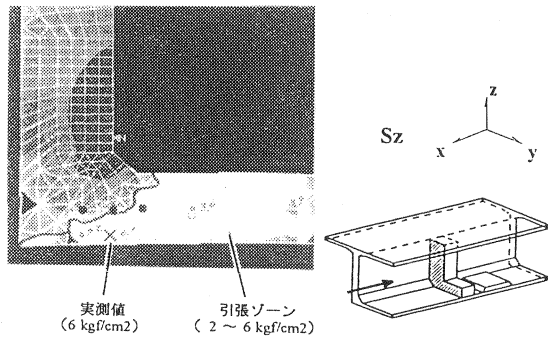


図-8 下床版偏向部の鉛直方向応力度(177°ロック)

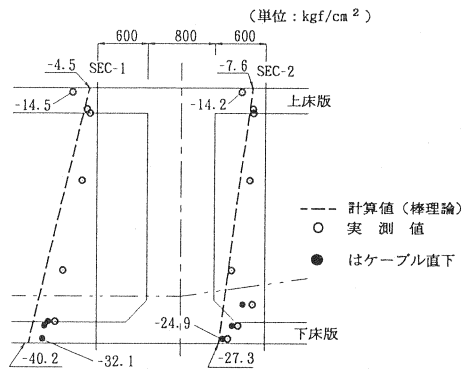


図-9 橋軸方向応力度の桁高方向分布(177°ロック)