

(143) 突起形式デビエータの耐力確認試験

日本道路公団 名古屋建設局 名古屋工事事務所 森山 陽一
 オリエンタル・ピーエス・安部共同企業体 正会員 中島 豊茂
 オリエンタル・ピーエス・安部共同企業体 正会員 ○狩野 誠一郎

1. はじめに

第二名神高速道路弥富高架橋は、省力化、工期の短縮等の向上を目的にプレキャストセグメント工法によるPC連続箱桁が採用されている。主ケーブルの配置にあたっては、主桁の軽量化、施工性の向上、PC鋼材の点検・交換などの維持管理を容易にする目的から、PC鋼材の一部を主桁の外側に配置した外ケーブル構造となっている。

外ケーブル構造におけるデビエータには、ダイヤフラム形式、リブ形式、突起（サドル）形式などがあり、外ケーブルの配置形状を保持し、偏向力を主桁に伝達する重要な役割を有している。本橋においては、デビエータは製作時の簡便さ、重量等を考慮して突起形式を用いているが、他の形式に比べて、デビエータの耐力が一般的に小さくなるといわれている。

そこで、外ケーブル緊張時のデビエータの安全性を確認するとともに、設計の妥当性を検証することを目的として、実物大のセグメントを用いて突起形式デビエータの耐力確認試験を行ったのでここに報告するものである。

2. セグメントおよびデビエータの構造

セグメントは高さ3.2m、長さ3.0mで、あらかじめ現場ヤードで、ショートラインマッチキャスト方式で製作されたものである。その標準セグメントの概要図を図-1に示す。

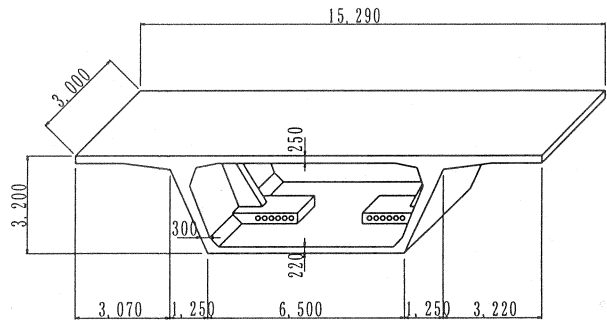


図-1 セグメントおよびデビエータの概要

本橋におけるデビエータは突起形式で、分散配置となっており、1箇所あたりの外ケーブルの曲げ上げ本数を1本としている（偏向角9.5度）。また、ウェブにはデビエータ分力に対する補強および架設時の引き寄せアンカーを兼ねたウェブリブを配置している。

デビエータの設計は、汎用の3次元FEM解析プログラムを用い、デビエータによる緊張力分力の影響が小さくなると予想される範囲までの主桁モデルを作成し、これに緊張力分力を与えることにより局部応力を求め、それに対して補強鉄筋量を算出している。図-2にデビエーション分力により発生する箱桁内引張領域および補強筋配置図を示す。下床版、ウェブ等にも引張力が発生している。

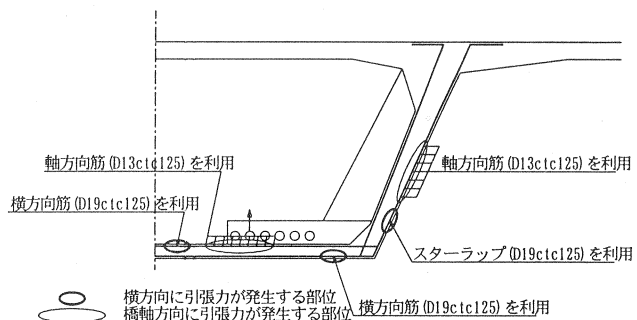


図-2 デビエーション分力による引張領域および補強筋配置図

3. デビエータの耐力確認試験

(1) 試験桁

試験に用いたセグメントは実物大で、橋軸方向長さは3セグメント長とし、中央のデビエータを有するセグメントを試験セグメントした。両側のセグメントには外ケーブルの定着体を取り付けるための曲げ上げ定着部および水平定着部をそれぞれ後打ち施工した。

セグメントの接合は試験架台上において行い、曲げ上げ定着部を有するセグメントNo.1と中央の試験セグメントNo.2はマッチキャストで接合し、セグメントNo.2と水平定着部を有するセグメントNo.3は200mmの無筋コンクリート目地部を設けて、後打ち施工した。

さらに引き寄せ鋼棒により3セグメントを連結して一体とした後、上床版に渡したH鋼と試験架台とをPC鋼棒により連結し、試験桁を固定した。

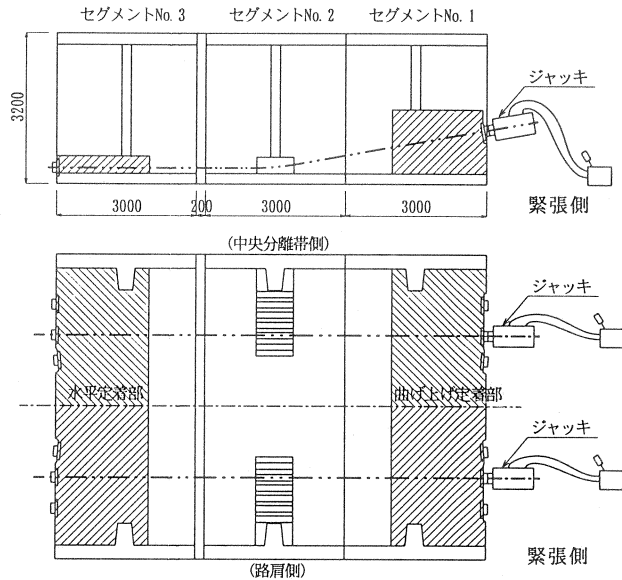


図-3 荷重試験の概要

(2) 試験方法

デビエータにおいては外ケーブルが偏向されているため上向きの力が作用する。この上向きの力によって生じる補強鉄筋のひずみ計測を行うことにより、外ケーブル緊張時のデビエータの安全性の確認を行った。図-3に荷重試験の概要を示す。

荷重は外ケーブルを緊張することにより行い、試験桁の片側から2台のジャッキを用いて、両側のデビエータを同時に荷重した。実橋ではデビエーションされる外ケーブルはデビエータ1箇所につき1本配置されている。そこで、各デビエータの外ケーブルを2本同時に緊張時の許容引張力380tfまで緊張し、デビエータ、下床版およびウェブの補強鉄筋のひずみ計測を行った。なお、耐力確認試験に先立って行ったデビエータ部における外ケーブルの試験緊張(摩擦係数試験)時にも、同様にひずみ計測を行っている。試験に使用した外ケーブルの諸元を表-1に示す。すべてポリエチレン被覆の防錆仕様となっている。

表-1 外ケーブルの諸元

外ケーブル	19S15.2 SWPR7B	
断面積	(mm ²)	2635.3
引張荷重	(tf)	505.4
降伏点荷重	(tf)	429.4
許容引張力 (tf)	緊張時	386.46
	導入直後	353.78
	設計荷重時	303.24

(3) 試験結果

(a) デビエータの鉄筋ひずみ

FEM解析によると、デビエータの上側には橋軸直角方向に一部最大60kgf/cm²程度のコンクリート引張応力が生じている。この部分には橋軸直角方向に鉄筋D16が7本配筋されている。この橋軸直角方向鉄筋について、外ケーブルを緊張時の許容引張力まで緊張したときのひずみ測定結果の一例を示したのが図-5である。鉄筋のひずみ計測位置は図-4に示すとおりである。

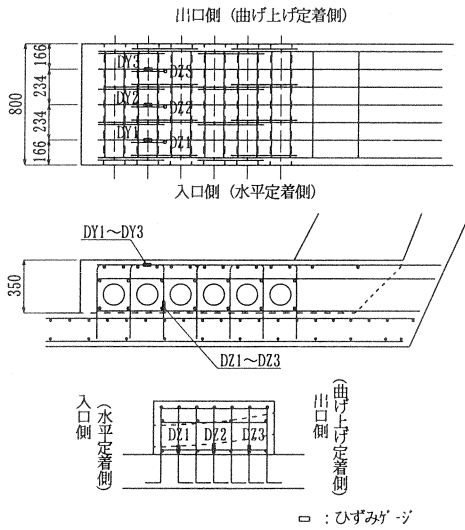


図-4 鉄筋のひずみ計測位置

図には試験緊張時において緊張側と固定側を入れ換えて緊張力340tfまで3回繰り返し緊張したときのひずみ履歴も併せて示した。試験緊張時の1回目の载荷において、緊張力約200tfを超えてひずみの増加が大きくなっている。この鉄筋を横切るようにひび割れが発生したと思われるが、この時点においてはデビエータ上面で目視でひび割れを確認することはできなかった。しかし、2回目以降の载荷で繰り返し緊張してもひずみは増加することなく弾性的な挙動を示した。その後一旦除荷した後、外ケーブルを380tfまで再び緊張したときのひずみは約550 μ であった。

図-6は外ケーブルの緊張時の許容引張力(380tf)における橋軸直角方向鉄筋の各測点の応力分布を示している。なお、鉄筋応力の算出に際しては、鉄筋のヤング係数を $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ として求めた。FEM解析より求めたデビエータの上側に発生する橋軸直角方向の全引張力を、所要鉄筋の全断面積で除した平均引張応力に換算すると約850 kgf/cm^2 となる。解析値に比べて実測値が大きい結果となったが、鉄筋の許容応力以内におさまっている。

さらに、デビエータの鉛直方向についてみると、FEM解析においてはデビエーションされるケーブルの両側に最大100 kgf/cm^2 程度のコンクリート引張応力が発生している。この部分には鉛直方向に鉄筋D16が7本配筋されている。この内、曲げ上げ側の鉄筋について外ケーブ

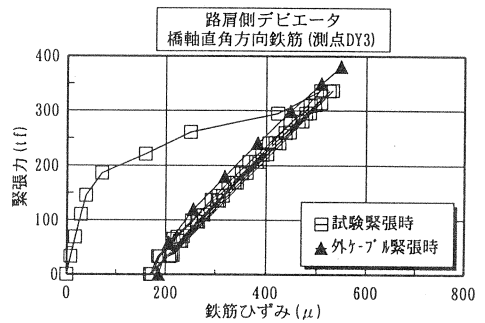


図-5 緊張力と鉄筋ひずみの関係

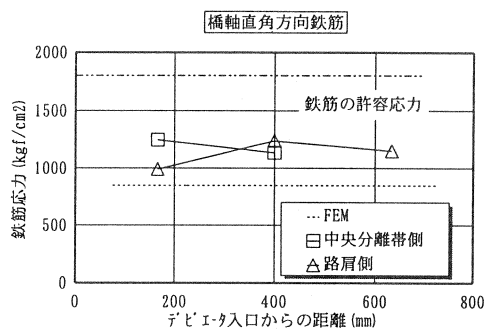


図-6 デビエータ内における鉄筋応力分布

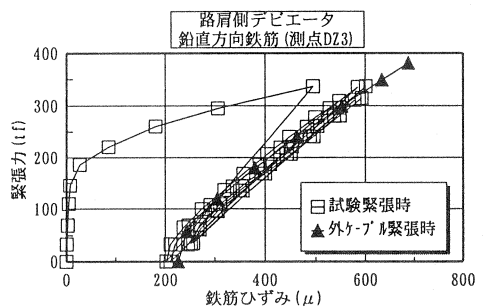


図-7 緊張力と鉄筋ひずみの関係

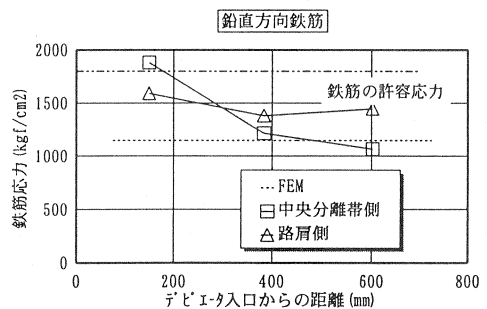


図-8 デビエータ内における鉄筋応力分布

ルを緊張時の許容引張力まで緊張したときのひずみ測定結果について示したのが図-7である。試験緊張時の1回目の载荷において、緊張力約200tfを超えてひずみが増加しており、ひび割れが発生したと思われる。このひび割れはデビエータと下床版との境界に発生するひび割れであるが、この時点においては目視では確認できなかった。2回目以降の载荷においては、繰り返し緊張してもひずみの増加はなく弾性的な挙動を示していることから、デビエータは十分に下床版に定着されていると思われる。その後、外ケーブルを380tfまで緊張しても大きなひずみの増加はなく、約700 μ のひずみが測定された。

図-8は外ケーブルの緊張時の許容引張力時における鉛直方向鉄筋の各測点の応力分布を示している。FEM解析より求めた鉛直方向に発生する全引張力を、所要鉄筋の全断面積で除した平均引張応力に換算すると約1150kgf/cm²となる。全体的に実測値は解析値を上回り、入口側の鉛直方向鉄筋の応力が鉄筋の許容応力を若干上回る結果となった。

橋軸直角方向鉄筋および鉛直方向鉄筋ともに実測値が解析値に比べて大きくなったが、これはFEM解析値が弾性解析であり、ひび割れを無視していること、によるものと思われる。

(b) ウェブおよびリブの鉄筋ひずみ

図-9にウェブの外側に引張力が発生する断面におけるウェブとウェブリブの鉛直方向鉄筋のひずみ分布を示す。外ケーブル緊張時の鉛直分力によってウェブの外側に引張り、ウェブリブの鉄筋には圧縮が作用する。図によると、ひずみ分布は直線分布をしており、緊張力の増加とともに中立軸の位置が上昇している。デビエータに作用する鉛直分力に対してウェブリブが有効に作用している結果と思われる。

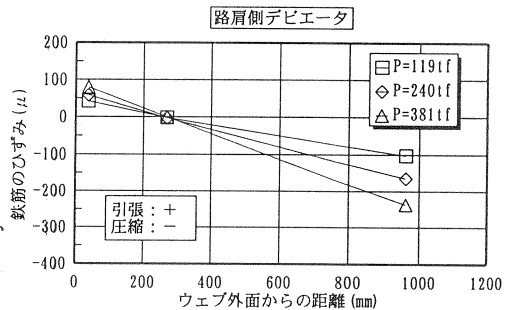
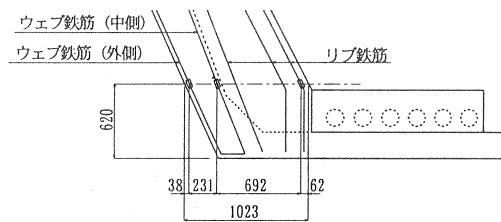


図-9 ウェブおよびリブ断面のひずみ分布

(c) 下床版の鉄筋ひずみ

下床版の鉄筋については特に大きなひずみは測定されなかった。橋軸直角方向鉄筋については下床版の下面鉄筋とウェブの付け根近傍で最大約180 μ のひずみが、また、橋軸方向の鉄筋については、外ケーブルの直下部分の上面鉄筋で約200 μ のひずみがそれぞれ測定された。

4. まとめ

本橋におけるデビエータは突起形式を用いているため、他の形式に比べてデビエータの耐力が減少する。デビエータの設計は3次元FEM解析により発生する応力度を求め、それに対して補強鉄筋量を算出している。そこで、その安全性を確認するために実物大のセグメントを用いて、補強鉄筋の応力計測を行った。

その結果、外ケーブルを緊張時の許容引張力まで緊張したときのデビエータの橋軸直角方向および鉛直方向の鉄筋の応力は、一部鉄筋の許容応力を若干超えるものがあったものの、全体的に許容応力以内であった。FEM解析値がひび割れを無視した弾性解析であることを考慮すると、計測結果は外ケーブル緊張時の条件をほぼ満足するものであり、設計も妥当であると思われる。また、ウェブに配置したウェブリブは、デビエータに作用する鉛直分力に対して有効に作用することが確認された。

なお、耐力確認試験の結果をふまえて、現場におけるセグメント製作においては、ひび割れの発生に対処してデビエータ上部の橋軸直角方向鉄筋を下床版に定着させる、などの対策を行っている。

最後に、本試験を実施するにあたり、ご協力頂いた関係各位に深く感謝の意を表します。