

全外ケーブル方式張出し架設工法による中島橋の設計

日本道路公団 中国支社 津山工事事務所 橋川 勝司
 川田建設株式会社大阪支店 技術部設計課 正会員 西村 勝
 川田建設株式会社大阪支店 技術部設計課 ○松本 正之
 川田建設株式会社大阪支店 技術部設計課 大久保 孝

1. はじめに

中島橋は、中国横断自動車道岡山米子線のうち、岡山県総社市見延地内に位置するPC5径間連続ラーメン箱桁橋である。本路線は、岡山市を起点に中国地方を横断し鳥取県米子市に至る総延長108kmの路線で、暫定2車線で平成8年に供用を開始している。中島橋は、本路線の4車線化に伴う2期線工事で供用線に併設して建設される。

上部工は、耐久性向上を目的として全外ケーブル方式を採用している。架設工法は、橋脚高がP9橋脚で最大50.2mと高橋脚であることから、移動作業車を用いた張出し架設工法を採用している。

全外ケーブル方式を採用した張出し架設工法によるPC橋は、これまで数橋の建設が行われているが、実績が十分にあるとは言えない。また、本橋はR=700の平面線形を有しており、曲線橋における全外ケーブル張出し架設橋の設計・施工報告はこれまでなされていないことから、本文では、張出し架設で全外ケーブルを用いる場合の定着部および曲線橋でのケーブル配置に主眼を置いて、上部工の設計について報告する。

2. 橋梁概要

中島橋の橋梁概要を以下に示す。また、図-1に標準断面図、図-2に側面図を示す。

発注者：日本道路公団 中国支社 津山工事事務所
 工事名：中国横断自動車道 中島橋（PC上部工）工事
 路線名：中国横断自動車道 岡山米子線
 橋種：プレストレストコンクリート道路橋
 道路規格：第1種第3級B規格
 構造形式：PC5径間連続ラーメン箱桁
 橋長：361.000m
 支間長：50.350m+2@82.900m+83.000m+59.900m
 幅員：有効幅員：8.750m，総幅員：10.170m
 桁高：h=2.000m~5.000m
 線形条件：（平面線形）：R=700m，（縦断勾配）：i=3.521%，（横断勾配）：i=6.000%

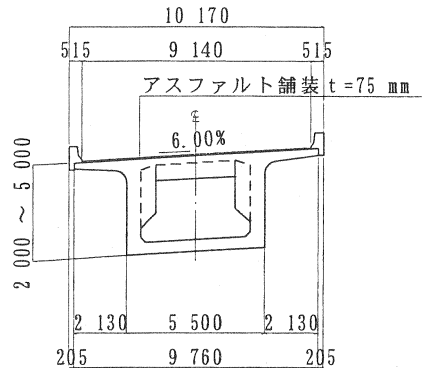


図-1 標準断面図

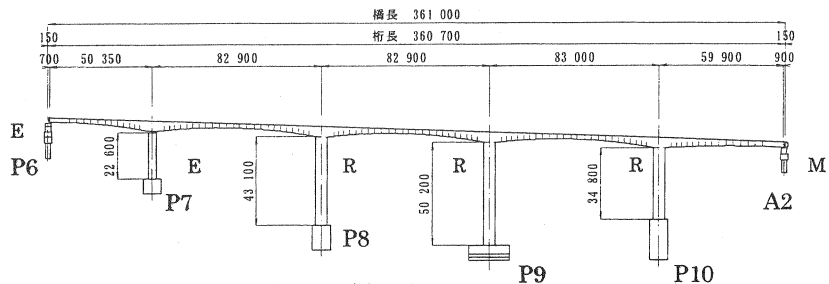


図-2 側面図

3. 主方向の設計

3.1 構造解析

本橋は $R=700$ mの曲線橋で、最大支間は83mであることから1支間当たりの交角 ϕ は 6.8° となる。このため、断面力の算出においては、曲げモーメントおよびせん断力は平面骨組解析により算出し、反力およびねじりモーメントについては曲線の影響を考慮するため、立体骨組解析により算出した。

外ケーブルの取り扱い、荷重変動による張力変化や、コンクリート部材のクリープ・乾燥収縮の影響を考慮できる部材評価法を用いて解析した。

従来、変断面桁の構造解析における軸線変化の影響は微小であるため設計上無視出来るとされてきたが、本橋は部材評価法でケーブル要素を考慮しているため、軸線変化の影響度合いの検証を試みた。

その結果、死荷重による断面力では軸線を直線とした場合と図心を結んだ線とした場合の2つのモデルで目立った差異は見られなかったが、プレストレスによる断面力では、主方向曲げモーメントで大きな差異が見られた。

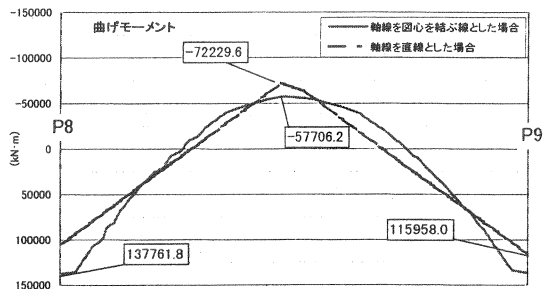


図-3 軸線の違いによる曲げモーメントの比較

図-3に軸線を直線とした場合と図心を結んだ線とした場合の閉合鋼材のプレストレスによる曲げモーメントの比較を示す。外力としては、ケーブル偏向箇所では偏向分の分力が集中載荷されるため、軸線を直線とした場合、曲げモーメントの形状が三角形となる。(図-3) 図心を結ぶ線を軸線とした場合、軸線の角度の影響から曲線分布となる。また、支間中央ではプレストレス量が小さく、支点部では大きくなる。このような理由から、本橋では主桁断面の図心を結ぶ線を軸線とする解析モデルを採用した。

3.2 張出し架設ケーブルの配置

外ケーブル定着突起には大容量のPC鋼材が定着されるため、局所的な応力集中が生じる。そこで、張出しケーブルの形状を下記に述べる方法で単純化し、定着突起及びディビーターに生じる応力度の低減を計った。

図-4に張出し架設ケーブル形状を示す。通過ケーブルは基本的に橋軸に平行(但し、曲線橋なので弦配置)とし、定着ブロックで鉛直変化、定着ブロックの前ブロックで水平変化させた。これにより、3次的にケーブル形状が変化する区間はウェブと床版の節点付近のみとなる。その結果、外ケーブルが上床版およびウェブに添う形状となり、箱桁内のスペースを広くでき、作業性が向上した。

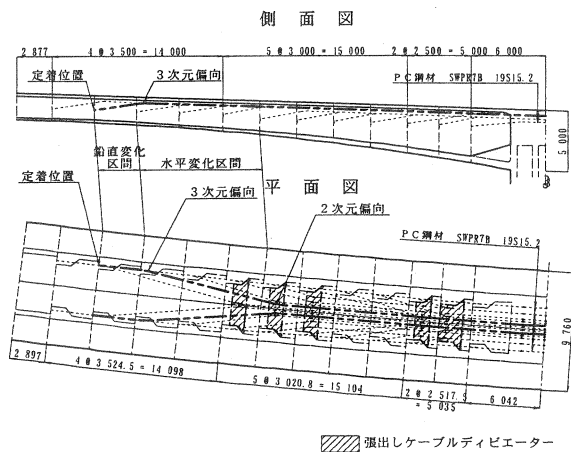


図-4 張出しケーブル形状

3.3 張出しケーブルディビーターの配置

曲線変化に対応する張出しケーブルの偏向は、箱桁の上床版下面部に配置した偏向部(水平ディビーター)で行った。偏向位置の設定に際しては、箱桁内での外ケーブルとウェブ部材および突起部材との取り

合いなど機構的な点に主眼を置き、かつ自重の増加を防ぐため、配置個所が最小となるように計画した。(図-4)

3. 4 閉合ケーブルの配置

本橋は、 $R=700\text{m}$ の曲線橋であることから、閉合ケーブル偏向部の面外方向分力により面外曲げモーメントが生じる。そこで、支間部に閉合ケーブル偏向箇所を設け面外方向分力を分散荷载させ、面外曲げモーメントを低減した。図-5に閉合ケーブル形状、図-6に隔壁箇所数と面外モーメントの相関図を示す。

解析の結果から、閉合ケーブル偏向箇所を1径間に1箇所から3箇所にすると、支間中央部で面外曲げモーメントの最大値が65%軽減できる。しかし、3箇所から5箇所に増やしても、最大値の差はほとんど無い。以上の結果より、本橋では1径間当たり3箇所の隔壁を設けることとした。

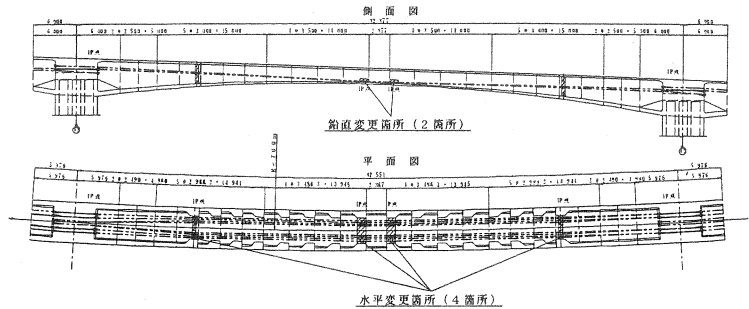


図-5 閉合ケーブル形状

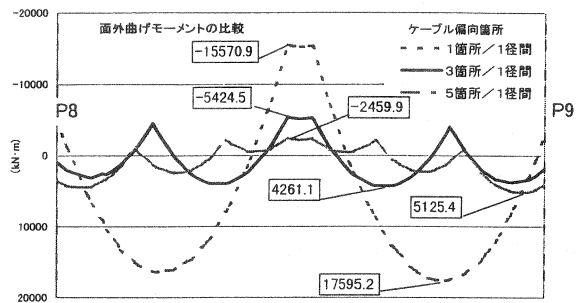


図-6 ケーブル水平偏向箇所数と面外曲げモーメントとの関係

4. 外ケーブル定着突起およびディビーターの設計

4. 1 定着突起の検討方針および形状選定

全外ケーブル方式の張出し架設橋は、大容量外ケーブルを桁内に設けた定着突起により緊張する事から、構造上最も重要な部位の一つである。このため、定着部の応力性状の把握と適切な補強方法を十分に検討する必要がある。そこで、設計段階で立体FEM解析を行い、安全性の確認を行った。

現在、全外ケーブル方式の張出し架設工法を採用した橋梁は、日本道路公団(以下、JHと記す。)で十数橋設計・施工されており、定着部の形状も種々のタイプについて、FEM解析並びに実物大供試体による確認試験が実施されている。本橋では、実験が行われ、採用実績があるタイプの中から、本橋の構造特性に適合するタイプを選定し、以下に示す理由から台形突起および打ち下ろし突起を採用した。

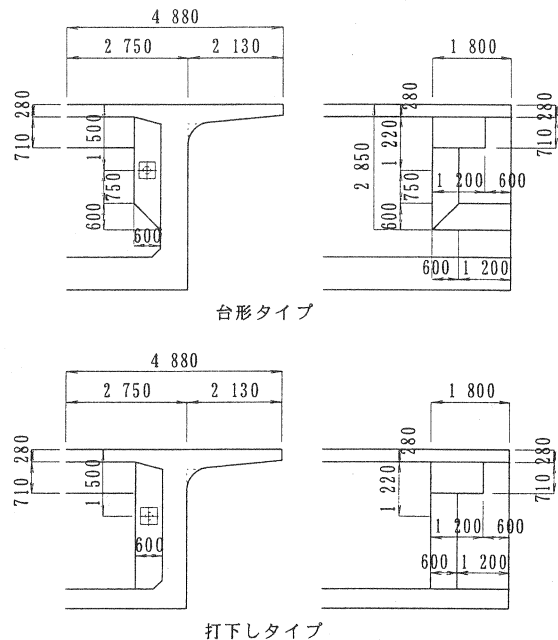


図-7 外ケーブル定着突起形状

- ① 既に実物大供試体による安全性の確認実験及び実橋での実績がある。
- ② ケーブルを曲げ下げ定着でき、プレストレスの鉛直成分を考慮できる。
- ③ 形状が単純であり、形状寸法を統一しやすく、施工性に優れる。

図-7に台形タイプ及び打ち下ろしタイプの突起形状を示す。

4. 2 突起部の応力度照査

1) 概要

突起部には大容量のPC鋼材が定着されることから、局所的な応力集中が予想される。そこで、FEM解析を行い、コンクリート応力度の照査、および補強鉄筋量の算出を行った。

解析モデルは、本橋と同形状の突起を採用し、実物大試験により妥当性の確認を行っている第二東名高速道路興津川橋を参考にした。

FEM解析モデル図を図-8に、使用した解析モデルの基本形状を図-9に示す。

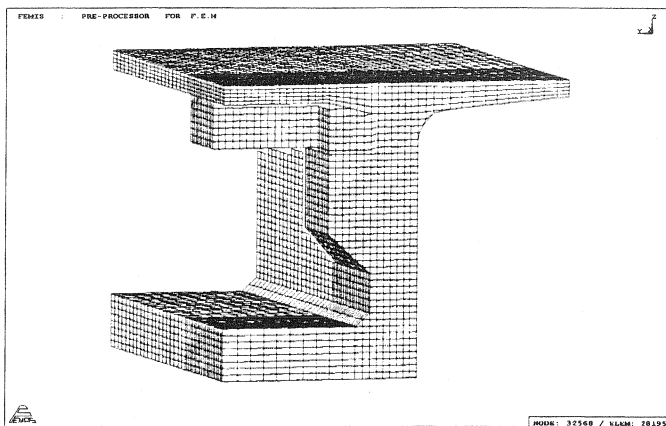


図-8 FEM解析モデル図

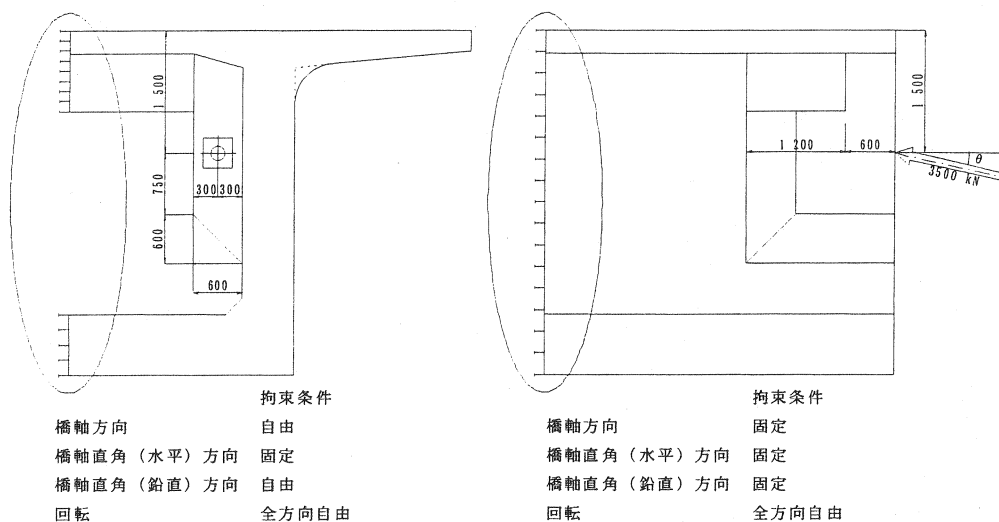


図-9 FEM解析モデル基本形状図

解析モデルは2ブロック分の長さで6mとし、左右対称の配置となることから半割モデルとした。解析モデルの要素は10cmメッシュとした。

コンクリートの引張応力度がひび割れ発生応力度 ($f_{tk}=2.7N/mm^2$) 以下となるように検討を行い、引張応力度が発生する箇所には補強鉄筋を配置した。

2) 張出しケーブル形状

単純化の影響

図-10, 図-11に, 本橋で採用したケーブル配置を単純化した場合と通常の場合の, 定着突起表面のコンクリート応力度を示す。単純化した場合では定着突起に作用する力が橋軸方向と鉛直方向の2次元のみであり, 通常の場合は定着突起に3次元方向の力が作用している。

架設ケーブルの緊張力により, 図-10に示すA部(偏向部と突起との境界), B部(定着部背面), C部(突起下部)の3箇所で大きな引張応力が発生している。図-10, 11で, それぞれの箇所での応力を比較すると, いずれもケーブル形状を単純化した方が引張発生応力が小さくなっている。特にB部およびC部では, 約30%減っており, 架設ケーブル形状の単純化により, 突起内応力度の低減できたことが確認された。

3) 突起と偏向具の

位置関係

台形突起で突起とディビエーターの位置を合わせFEM解析を行ったところ, A部の引張応力度がひび割れ発生限界を超える結果であった。

これは定着突起上部の変形がディビエーターにより拘束されることで発生していると考えられた。そこで, 定着突起のケーブル定着面とディビエーターの前面位置をずらすことによりディビエーターによる拘束効果を軽

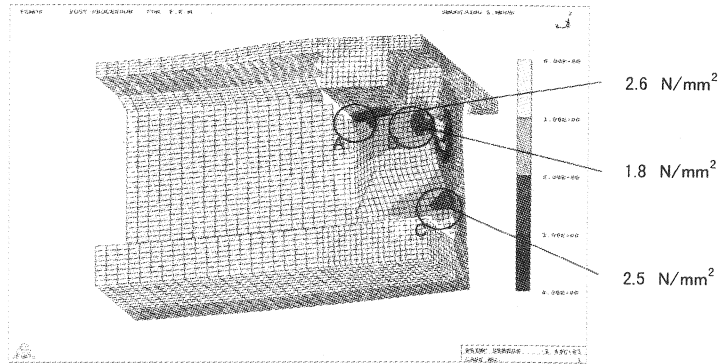


図-10 中島橋で採用した張出しケーブル配置でのコンクリート応力度

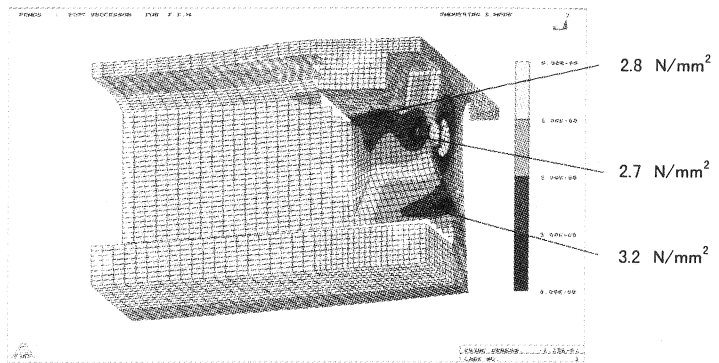


図-11 張出しケーブルを通常配置した場合のコンクリート応力度

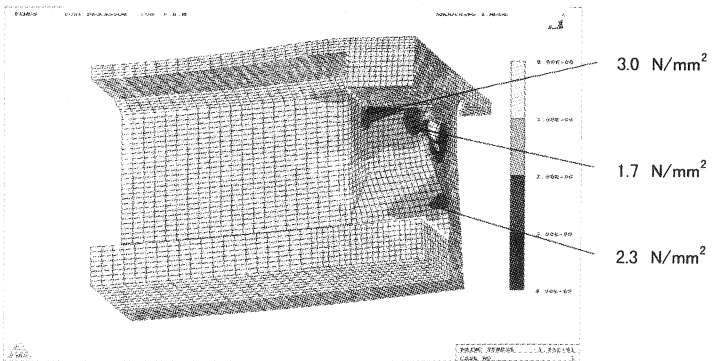


図-12 突起とディビエーターの位置を合わせた場合のコンクリート応力度

減させた。ディビエーター位置は、FEM解析結果と施工性を考慮し、定着突起背面ハンチすり付き部とディビエーター背面が一致する位置とした。

図-12に偏向具と定着突起の位置を同じにした場合の主応力度図を示す。図-10と比較すると、定着部背面および突起下部では応力度に差はないが、偏向部と突起との境界で 3.0N/mm^2 の引張応力度が発生しており、偏向具の位置を変えたことで 0.4N/mm^2 引張応力度を軽減できた。

5. おわりに

今回の検討結果を以下にまとめる。

(1) 部材評価法について

張出し架設工法においては、施工段階に応じてクリープ係数・乾燥収縮度が変化するため、これらの影響が考慮出来る部材評価法は、プレストレスの適切な評価に関して有効である。

(2) 解析スケルトンの軸線の影響

部材評価法では、ケーブル部材を考慮しているため、外ケーブルのプレストレスモーメントに対する軸線の影響が大きい。外ケーブルは一般に大容量ケーブルであることから、橋全体系の応力度に対する影響も大きくなる。よって、図心軸を軸線モデルとした解析が望ましいと言える。

(3) 架設ケーブル配置と突起形状

架設ケーブルの配置は、外ケーブルが極力平面変化で対応できるように単純化することが望ましい。定着ケーブルが突起内で三次元的に変化する場合は、施工の煩雑さだけでなく、応力性状も好ましくない。

現在、外ケーブル方式は耐久性・維持管理の面から注目されており、施工実績も急増している。しかし、外ケーブル配置スペースの問題、大容量ケーブルによる応力集中、終局時の設計など、設計・施工の両面で多くの問題が残されており、今後の更なる検討が必要であろうと考える。

【参考文献】

- 1) 高速道路技術センター：外ケーブルを用いたPC橋梁の設計マニュアル，平成8年8月
- 2) 寺田・福永・中村・佐藤：興津側橋実物大試験，プレストレストコンクリート技術協会 第10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，平成12年10月
- 3) 野口・小藤・今井・鶴飼・中井：興津川橋定着体実物大性能試験～全外ケーブル張出し施工定着体試験～，川田技報VOL.20，平成13年1月