

(79) 外ケーブル構造を用いた免震橋(新狩野川2号橋)の設計と施工

住友建設(株) 静岡支店 正会員 ○細野宏巳  
 静岡県道路公社 修善寺道路建設事務所 青木洋治  
 同上 高橋和夫  
 開発コンサルタント(株) 技術本部 正会員 山下幹夫

1. はじめに

新狩野川2号橋は、伊豆縦貫自動車道に計画した8径間連続PC箱桁橋である。

本橋は計画当初より、ノージョイント化による快適な走行性・維持管理の容易さや道路提供サービスの向上などを目指して、多径間連続化を図るために免震設計を採用し、その機能を果たす免震支承を開発・採用した。また、箱桁橋の施工性・維持管理の容易さや経済性の向上などを目指して、県単発注では初めて外ケーブル構造を本格的に採用した。

本橋架橋地点は、交通量の多い国道136号を跨ぎ、桁下空間の制約があることから、国道上の主桁架設に押出し工法(ARC工法)を採用した。また、民家・工場が近接していることから、グラウトの飛散防止および施工性の向上・工期短縮を図るために、床版横締め鋼材にアフターボンドφ28.6mmを採用した。

本稿は、外ケーブルと免震支承の設計・施工を中心に報告するものである。

2. 工事概要

表-1 工事概要

本橋の工事概要を表-1、に全体一般図を図-1に示す。

施工法は、国道136号を跨ぐ区間(71.000m)が押出し施工で、その他区間は固定式支保工施工である。

本工事は、平成8年7月に工事に着手し、本年4月には押出し施工が完了、7月現在、支保工施工および外ケーブル施工を順次行っており、本年12月には、完成の予定である。

工事名	: 平成8年度 有料道路「修善寺道路」 新狩野川2号橋上部工工事
工期	: 平成8年7月17日～平成9年12月25日
橋長	: 330.900m
支間長	: 37.95+4@43.30+39.00+43.00+36.10m
幅員	: 11.700～21.718m
平面線形	: R=520～A=200～R=∞～A=200～R=500
活荷重	: B活荷重
定着工法	: 12T15.2 (フレッネ-工法: 内ケーブル) : 19T15.2 (デビタ-ク工法: 外ケーブル)

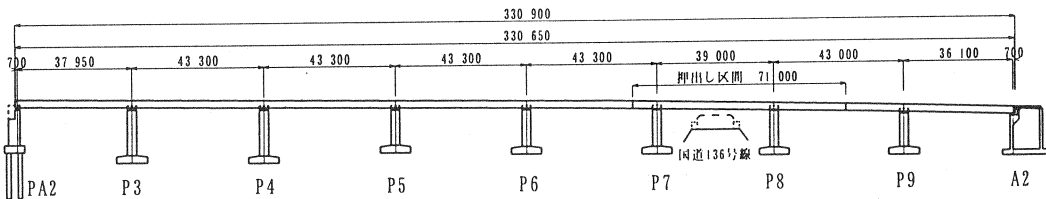


図-1 全体一般図

### 3. 設計

#### 3.1 外ケーブルの設計

##### 3.1.1 外ケーブル方式の選定

本橋では、箱桁橋の経済性・施工性の向上を目指して、外ケーブル構造に着目した。

外ケーブル方式は、内ケーブル方式と比較して、以下に示す利点があることはよく知られている。

- ・ウェブ厚の縮小による自重の低減
- ・ウェブ内配置ケーブルの減少による施工性の向上
- ・維持管理が容易
- ・将来、再緊張やケーブル交換が可能

そこで、本橋に採用できるケーブル方式として、以下の3ケースを考えた。

CASE-1：全ケーブルを内ケーブルとしたケース

CASE-2：全ケーブルを外ケーブルとしたケース

CASE-3：内・外ケーブルを併用したケース

ただし、全ケーブルを外ケーブルとすると、本橋のように支保工による段階施工を行う箱桁形式の場合、箱桁内の支保工撤去を行うまでは外ケーブルの設置・緊張ができないために工期が長くなる。したがって、CASE-1とCASE-3の2ケースについて検討を行った。検討結果を表-2に示す。

内・外併用とした場合、ウェブ厚の縮減などにより自重が8%減少し、工費についても3%低減できる結果となったため、本橋では内・外ケーブル併用方式を採用した。

表-2 ケーブル方式比較表

	内・外ケーブル併用案	内ケーブル案
主桁構造図		
案の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーブルのカップリングおよび配置上の理由から決定するウェブ厚を低減できる。</li> <li>・ウェブ内の内ケーブルを1列配置できる。</li> <li>・外ケーブルのディビエータが必要となる。</li> <li>・死荷重を低減できるため、工費を低減できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーブルのカップリングおよび配置上の理由からウェブ厚が決定するため、自重が大きい。</li> <li>・ウェブ内の内ケーブルを2列配置となる。</li> <li>・ディビエータは不要となる。</li> <li>・内・外ケーブル併用に比べ、工費が割高となる。</li> </ul>
標準部主桁自重反力比較	1支間当たり 785 tf (1.00)	1支間当たり 846 tf (1.08)
工費比較	1.00	1.03
評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外ケーブル構造は、海外での豊富な実績のみでなく、国内にも実績があり、経済性にも優れる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内・外ケーブル併用案に比べ、必要以上に部材厚が増えるため、経済性に劣る。</li> </ul>

##### 3.1.2 外ケーブルの設計

本橋での外ケーブル構造の設計については、以下の通りである。

(1) 断面力の算出には、内ケーブル方式と同様に、外ケーブルによるプレストレスを内力扱いとし、PC鋼材の許容引張応力度も道路橋示方書Ⅲ 3.3.2によるものとした。

(2) 外ケーブルには、19S15.2の大容量ケーブルを採用したことから、定着部は支点横桁とした。また、主桁内に外ケーブルを偏向するためにデビエータを設置した。したがって、外ケーブルの緊張力減少はこれらの曲線部において生じることとし、導入緊張力の算出は、長さの影響が小さいことから角変化のみに着目し、偏向部摩擦係数として $\mu=0.3$ とした。

(3) ケーブル緊張方向は、両引き(片側断面に2本配置)と片引き(片側断面に3本配置)による検討を行った結果、両引きにしても片引きの本数を減らすことができなかったため、施工性を考慮して全ケーブル片引き緊張とした。

(4) ケーブル緊張後、偏向部では鋼材図心がディアポロ中心より偏心するため、この偏心量(30mm)を考慮した。また、鋼材の曲げ半径はPE/SETRAの規定を参考にして、偏向部:  $R=3.0\text{m}$ 、定着部:  $R=4.0\text{m}$ とした。

(5) 主桁形状を決定する場合には、以下に示す項目に留意した。

- ①横桁形状・・・外ケーブルの定着を考慮。
- ②偏向部(デビエータ)形状・・・偏向部およびディアポロの形状・配置を考慮。
- ③外ケーブル緊張、配置スペース・・・桁内ポンプ、ジャッキの運搬を考慮。
- ④外ケーブル配置スペースの確保・・・配置後の桁内空間確保などを考慮。
- ⑤外ケーブル交換スペースの確保・・・交換孔の設置。
- ⑥交換時緊張スペースの確保・・・テンドンギャラリーの設置など。

### 3.2 免震設計

#### 3.2.1 基本方針

設計にあたっては、「道路橋示方書」に準拠することを前提に、免震設計を行ううえで固有でかつ道路橋示方書に規定のない事項は、「道路橋の免震設計法マニュアル(案)」を参考として、「大仁高架橋免震設計基本要領(案)」<静岡県沼津土木事務所>に従って設計を行った。

#### 3.2.2 免震装置の設計

本橋には、高減衰積層ゴム支承(株)ブリジストンHDR501)を採用した。

高減衰積層ゴム支承の動的、静的特性を計算する場合は、道路橋の免震設計法マニュアル(案)4章4.4.2および4.4.3に従って算出するが、高減衰ゴムでは各特性はゴムのせん断ひずみに依存するため、このひずみ依存の係数はメーカーから提案されているものを採用した。

さらに、ゴムの経年劣化および温度変化(主に低温域)の影響を考慮して、ゴムのせん断バネ定数が基準値に対して20%割り増しされた状態においても免震設計を行った。

また、免震方向は、震度法(L1レベル)、地震時保有水平耐力法(L2レベル)のいずれにおいても、橋軸、直角方向の2方向に免震化を行った。

本橋の免震支承構造図を図-2に示す。

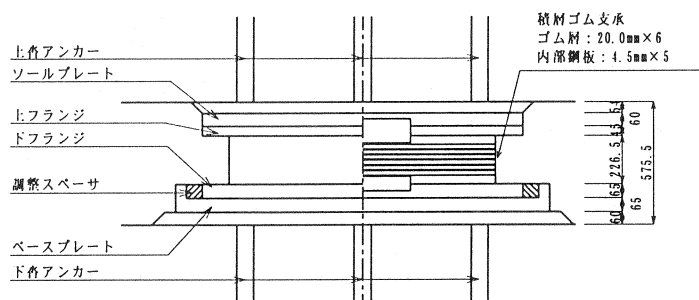


図-2 免震支承構造図

### 3.2.3 後ひずみ調整

#### (1) 概要

本橋では、クリープ・乾燥収縮完了後の標準温度において、支承が変形していないことを前提に免震設計を行い、要求性能、形状などを決定した。したがって、支承据付け時には、施工段階を追ったプレストレス導入、温度変化、クリープ・乾燥収縮による支承の移動量(支承の初期セット量と呼ぶ。)をあらかじめ計算して、支承本体をベースプレート中央からずらして配置する。最終的には、クリープ・乾燥収縮完了後の標準温度時に、支承本体がベースプレートの中央に位置して変形していない状態とするため、施工時および供用時のある段階で支承本体位置をベースプレートの中央に向かって移動させる必要がある。この施工を後ひずみ調整工と呼ぶ。

#### (2) 後ひずみ調整時期および調整量の検討

後ひずみ調整を行う回数および1回の調整量を決定するために、本橋を含め大仁高架関連橋梁では、建設省土木研究所の指導を受けて、以下の項目に着目した。

① 支承の変形量が許容変位量以内であること。

施工段階を追って算出した支承変形量の中で、後ひずみ調整直前・直後・温度変化最大時および地震時に着目して、支承変位量の照査を行った。

② 橋脚の応力度が許容値以下であること。

温度変化時および地震時において、橋脚基部断面の余力から求まる変位量を許容変位量として、残留ひずみ量との照査を行った。

許容変位量の算出には、橋脚基部の抵抗モーメントと温度変化時および地震時に作用する転倒モーメントの差分をモーメントの余力として、このモーメントの余力から求まる変位量とした。許容変位量を以下に示す。

$$U_{\text{許}} = Ma / (h \times \Sigma ks)$$

$U_{\text{許}}$  : 許容変位量

$Ma$  : モーメントの余力

$$Ma = Mr - Ml$$

$Mr$  : 抵抗モーメント

$Ml$  : 転倒モーメント

$h$  : 柱高さ

$\Sigma ks$  : 支承の緩速剛性

また、地震時の検討には、実状により近い状態を考慮するため、動的解析の結果を用いることとした。

#### (3) 後ひずみ調整時期および調整量の検討結果

検討結果は以下の通りである。

① 後ひずみ調整前までの支承移動量によるせん断ひずみの照査を行った結果、施工中に後ひずみ調整を行う必要がないため、施工終了後を後ひずみ調整時と設定した。

② 後ひずみ調整時の支承剛性は、メーカーでの応力緩和実験の結果を基に決定した。橋脚および引き込みのPC鋼棒の応力度を照査した結果、1回で全調整量の調整が可能であった。

③ 後ひずみ調整後の最高温度時(常時の支承変位量最大値)と調整直後地震時の許容変位量を算出し、後ひずみ調整後の残留変位量との照査を行った結果、すべての支承での残留ひずみが許容値以下になっているため、後ひずみ調整は施工終了時に1回で行うことが可能であった。

したがって、後ひずみ調整は、施工完了時に全橋脚の全調整量を1回で調整することとした。

支承の初期セット量の設定は、上述した施工段階の支承移動量の累計値に加え、後ひずみ調整時の支承相互の影響も考慮して決定した。

検討結果の中で、後ひずみ調整後のひずみ量の検討結果(地震時)を表-3に示す。

表-3 後ひずみ調整に関する検討結果

橋脚名	柱高さ h (m)	地震時	地震時	地震時	モーメント 余力 Ma (tf·m)	支承の 緩速剛性 ΣKs (tf/m)	地震時 変位量 UB (cm)	後ひずみ調整後の許容変位量			残留 ひずみ U (mm)
		抵抗モーメント (σsa=2700) Mr (tf·m)	転倒モーメント (震度法) Mt1 (tf·m)	転倒モーメント (応答スペクトル) Mt2 (tf·m)				ひずみ 余裕分 UB1 (mm)	モーメント 余力分 UB2 (mm)	最小値 UB MIN (mm)	
PA2	11.8	3276	3233	894	2382	493	5.56	151	410	151	75
P3	15.0	5425	5405	3055	2370	1791	4.97	160	88	88	47
P4	15.0	5380	5359	3042	2338	2062	4.93	161	76	76	32
P5	11.5	4115	4076	2428	1687	2271	5.79	152	65	65	24
P6	12.0	4229	4192	2580	1649	2818	5.63	154	49	49	6
P7	12.0	4281	4249	2653	1628	2576	5.57	154	53	53	13
P8	12.0	4271	4249	2684	1587	2222	5.53	155	60	60	25
P9	11.0	4645	4637	2540	2105	1828	5.90	151	105	105	44
A2	11.3	5337	4583	1952	3385	986	6.56	141	304	141	75

#### 4. 新材料の採用と施工

##### 4.1 外ケーブルの仕様

本橋では、現在までの外ケーブル構造の実績を踏まえ、かつ施工の省力化・経済性および品質向上を目指して、以下に示す構造とした。

##### (1) 定着具

内、外が2重管構造で、定着具の取り替えを可能としたディビダーク外ケーブルシステム：MC19T15.2を採用した。

##### (2) 保護管

ケーブル配置が容易で変形性能に優れたPE保護管の内面に、リブ(3.0mm@150mm)を設けたものを採用した。ケーブルが保護管に面接触しないため、グラウト注入時の保護管仮支持部を極力少なくできた。

##### (3) 支点横桁ダクト

重量が軽く、変形性能に優れたステンレス製ワインディングシースを採用した。軽量のため、ダクト吊込み機械が必要なく、ダクトの固定も通常のシースを配置する場合と同様な柵筋で十分であった。

##### (4) 偏向部ダクト(ディアポロ)

FRP製ディアポロ型枠(抜き取り転用、凹凸組合わせ一体型)を製作、採用した。本橋では、横桁部、中間偏向部用に、凹凸組合わせ長を1100mm、800mmの2タイプ作製し、最大7回転用した。

FRP製ディアポロ型枠を、写真-1に示す。

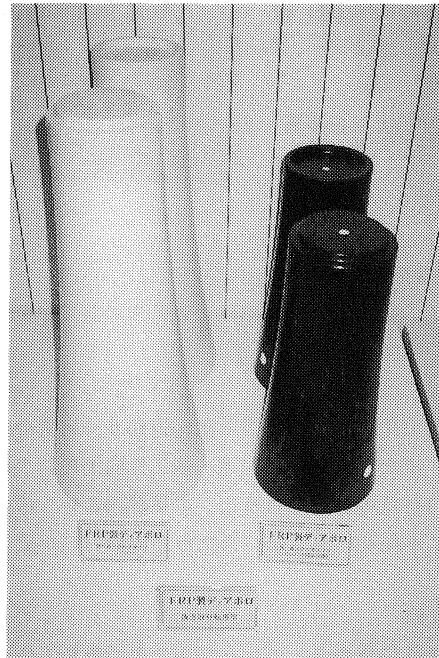


写真-1 FRP製ディアポロ型枠

#### 4.2 アフターボンド鋼材の採用

横締め鋼材は、設計完了時点ではPC鋼棒φ32mmであったが、グラウトの飛散防止・施工性の向上および工期短縮を目指して、アフターボンド鋼材の適用を考えた。ただし、硬化剤(エポキシ樹脂)の温度依存性を考慮し、鋼材配置後、高温域(70~80℃)に達する可能性のない床版横締め鋼材のみに着目した。

PC鋼棒φ32mm相当の緊張力を導入できる太径28.6mmの鋼材を設定して応力照査を行った結果、φ32mmでの鋼材配置形状およびピッチを変更せずに配置できることが可能となった。

ただし工費では8%割高となったが、上述した利点と耐久性向上などの観点からアフターボンド鋼材の採用を決定した。

#### 4.3 押し出し(ARC工法:Auto Reaction Control Method)施工

国道136号を跨ぐ71.0mの区間は、押し出し工法(ARC工法)を採用した。

ARC工法とは、従来の押し出し工法のスライドジャッキ上に上昇・下降する鉛直ジャッキを配置することにより、ジャッキに作用する反力を自動制御することができるため、従来工法に比べ押し出し作業をさらに自動化させた工法である。さらに押し出し施工時は、前後の鉛直ジャッキが相互に主桁を受けるため、主桁の上下動がなく、従来押し出し施工が困難と考えられてきた多主桁や斜角の付いた橋梁への適用が可能となっている。本橋の平面線形も単R(R=630.343m)であったが、ARC工法の適用で反力管理および主桁位置管理が正確かつ容易にできた。

押し出し施工部は、71.0mの区間を7BL(ブロック)から構成しており、手延べ桁(L=31m)が前方のP7橋脚に到達する(4BL押し出し時)までは、大型車の迂回路が国道以外に確保できなかったため、夜間施工(午後10時以降午前5時まで、車輛規制:15分間隔、断続通行止め)を行った。

また、国道上での作業を極力減らすために、壁高欄をヤードにて同時施工(現主桁ブロック施工時に前主桁ブロックの壁高欄を施工)し、押し出し施工した。

押し出し施工状況を写真-2に示す。



写真-2 押し出し施工状況

#### 4.4 その他の施工

免震支承の後ひずみ調整工は、8月末の施工予定であるため当日紹介する予定である。

#### 5. おわりに

近年、省力化施工・低コスト化・道路サービスの向上などが求められている中で、外ケーブル・免震支承を採用し、また、周辺環境保護・施工性向上の観点から、アフターボンド鋼材の採用など、今までに採用実績の少ない材料の採用を行った。本稿が、これらの技術・材料の今後の採用に役立てば幸いである。

最後に、本稿を執筆するにあたって御協力いただいた関係者各位に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) (財)高速道路調査会:外ケーブル方式の設計・施工ガイドライン
- 2) (財)土木研究センター:建設省 道路橋の免震設計法マニュアル(案)