

(44) 2枚壁式多径間連続ラーメン橋 (中西高架橋) の設計

日本道路公団
 日本道路公団
 住友建設(株)
 住友建設(株)・(株)日本ピーエスJV

芦塚 憲一郎
 小林 伸吉
 正会員 春日 昭夫
 正会員 ○ 真継 章夫

1. はじめに

中西高架橋は、東海北陸自動車道の白鳥I. C～高鷲I. C間に位置するPC (4+9) 径間連続ラーメン箱桁橋である。本橋は現在、4径間部は全支保工、9径間部は張出架設工法により施工中の橋梁である。本報告は、このうち2枚壁式の橋脚を採用している9径間連続ラーメン橋の設計について述べるものである。

本橋の主な特徴としては、下記項目が挙げられる。

- ① 伸縮桁長 (627.6m) に対する橋脚高 (平均高36.0m) が著しく小さい。
- ② 橋脚に2枚壁構造を採用している。
- ③ 張出架設の中央閉合時、収縮方向と逆方向に強制変位を与えている (以下、閉合時水平力導入工法と略す)。
- ④ 完成鋼材に外ケーブルを採用している。

本文では、まず施工実績調査を用いて本橋の位置づけを行い、構造系成立のために2枚壁式橋脚と閉合時水平力導入工法の役割について述べるものとする。さらに、本橋は張出架設工法では、施工例の少ない外ケーブル方式を採用しているため、これについても合わせて紹介するものとする。なお、本橋の耐震設計については、別途、発表の予定である。

2. 橋梁概要

工事概要および工事数量を表-1、表-2に、全体一般図を図-1に示す。

表-1 工事概要

工事名:	東海北陸自動車道 中西高架橋 (PC 上部工) 工事
工事場所:	岐阜県郡上郡白鳥町
工期:	平成8年7月26日 ~ 平成10年10月13日
橋長:	628.000 m
支間長:	50.800 + 7@75.000 + 50.800 m
幅員:	11.400 m (有効幅員: 10.490m)
縦断勾配:	4.0% ~ 3.0%
平面線形:	R = 800 ~ A = 600 ~ R = 2,200
橋脚形式:	2枚壁式構造
基礎形式:	直接基礎
地盤:	I種地盤

表-2 工事数量

区分	仕様	単位	数量	
主桁	コンクリート	$\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$ m^3	6,412	
	鉄筋	SD345	tf 770	
	PC鋼材	SWPR7B 12S12.7	tf	130
		SWPR7B 19S15.2	tf	58
		SWPR19 1S28.6	tf	64
	SBPR 930/1180 $\phi 32$	tf	19	

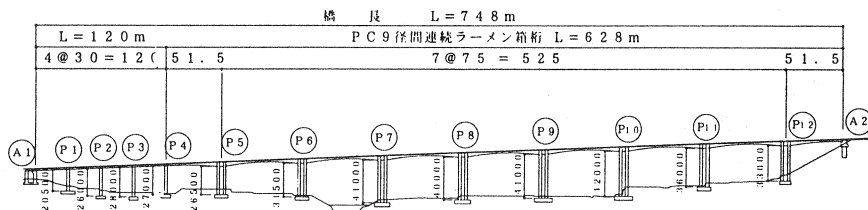


図-1 全体一般図

3. 伸縮桁長と橋脚高

本来、中間橋脚に支承を有しない連続ラーメン橋は、高次不静定構造物であるため、走行性、耐震性に優れるなど利点があるが、橋脚高さに比し、両端固定橋脚の支間長(以下、固定支間長)が大きくなり過ぎると、常時荷重(乾燥収縮、温度変化など)に対して端部橋脚の引張応力度が激しくなるため、従来はこれらの関係に自ずと限界線が引かれていた。

しかし、本橋の場合、直接基礎の施工実績調査の中では最も橋長が長大となるため、固定支間長の1/2に対する橋脚高さの比は、推定限界線を大きく下回るものとなる(図-2参照)。

これは、図-2から推定される固定支間長に対する橋脚高さの比は1/5程度であることから明らかなように、従来の連続ラーメン橋と一線を画するものであるといえる。

このため、架設順序も考慮した上で、常時荷重(乾燥収縮、温度変化)に対して、両端固定橋脚のひび割れ幅を如何に許容値内に制限できるかが当初の課題となった。

なお、本橋のプロット点は各橋脚の剛性比や支持条件の違いにより、 $(1/2 \times L_F)$ とはならないことを考慮し、常時荷重により最も影響を受ける両端固定橋脚に対し不動点を簡易的に補正したものを用いている(表-3)。

また、Hは基礎天端から主桁軸線までの高さであり、他橋の主桁の伸縮長は全固定支間長 L_F の1/2である。

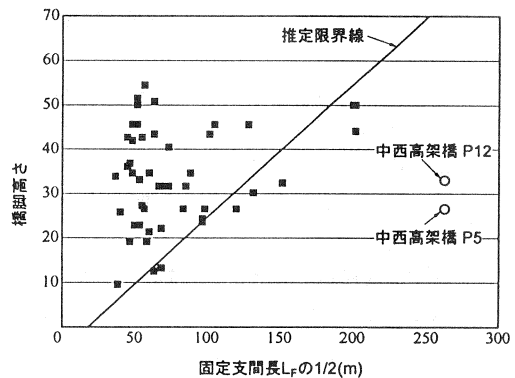


図-2 固定支間長の1/2と橋脚高の関係

表-3 橋脚剛度差による伸縮長の補正

	左端(P5橋脚)	右端(P12橋脚)
橋脚高 H(m)	26.500	33.000
断面2次モーメント I(m ⁴)	3.659	4.500
部材剛度 K(m ³)	0.138	0.136
伸縮長 L(m)	260.900	264.100

$$K = I / H$$

$$L = K' / (K + K') \times L_F$$

4. 2枚壁式構造と閉合時水平力導入工法

4-1 2枚壁式構造

一般に、常時荷重作用時において、橋脚断面に曲げモーメントを発生させる主要要因として、コンクリートのクリープ・乾燥収縮およびプレストレス2次力が挙げられる。これらは、基本的には内力であるため、これによる影響を小さくするには、橋脚剛度を低下させることが有効となる。また、橋脚剛度の低下は、橋脚天端変位の増加を促し、構造物を長周期化へと移行させるため、耐震設計上も有利になると考えられる。

しかし、極端な橋脚剛度の低下は、地震時の耐力の低下にも繋がり、また、前述の常時荷重におけるひび割れ幅の制限も受けるため、そこには自ずと限度が生じることとなる。

これら相反する条件を満足させる手法の一つとして、2枚壁式橋脚の採用が考えられる。

(表-4に直接基礎の施工実績調査による部材剛度の比較を示す)

橋脚の2枚壁式構造は、主に下記2点の特徴がある。

- ① 面内の曲げ剛性を低減させ、橋脚に作用する水平力および曲げモーメントを小さくすることができる。

② 2枚壁式構造により、導入水平力が軸力成分と曲げ成分とに分担される。

これら2枚壁式構造の特性を生かし、さらに以下に述べる閉合時水平力導入工法を併用することにより、常時状態における引張応力度を改善することが可能となる。

表-4 施工実績調査による橋脚剛度の比較

橋梁名	中西高架橋		夜市川橋			早水川橋		沼田川橋	
側面図									
固定支間長 L _F [m]	260.9	264.1	264.5			246.0		404.0	
橋脚断面図 (下端断面)	左側(P5)	右側(P12)	左側(P1)	右側(P4)	左側(P2)	右側(P8)	左側(P1)	右側(P4)	
橋脚高 H [m]	26.5	33.0	37.7	29.3	43.1	27.9	53.4	69.1	
断面2次モーメント I [m]	3.7	4.5	30.8	15.8	13.5	5.3	112.1	106.1	
部材剛度 K [m]	0.138	0.136	0.817	0.539	0.313	0.190	2.100	1.535	
伸縮長 L [m]	260.9	264.1	105.1	159.4	92.9	153.1	170.6	233.4	

(参考：(財)高速道路調査会 PC橋の新しい構造事例に関する調査報告より)

4-2 閉合時水平力導入工法

一般に橋梁上部工に作用する荷重は、次の2つに大別することができる。

- ① 死荷重、クリープ・乾燥収縮およびプレストレス2次力のように作用方向が一定であるもの。
- ② 温度変化、地震力のように作用方向が変化するもの。

このうち、①の作用力は一定の方向性があるため、反対方向に強制的に水平力を導入すれば打ち消すことが可能と考えられる。これを本橋の場合、特に乾燥収縮に対して抵抗するよう、張出架設の中央閉合時に仮設ジャッキを用い、桁の収縮方向と逆向きに強制変位させることで対応を図っている。

また、閉合後は、この仮設ジャッキは撤去する。ここで、強制変位を与えた径間およびその導入水平力は、架設順序を追って示すが(図-3)、本橋では、常時荷重時に橋脚の引張応力度が最も激しくなる両側径間側それぞれ2ヶ所(計4ヶ所)に強制変位を与えることとしている。このときの曲げモーメントの履歴をP5橋脚起点側下端を例に示す。なお、全支保工施工の場合および水平力を導入しない場合も合わせて示すものとする(図-4)。

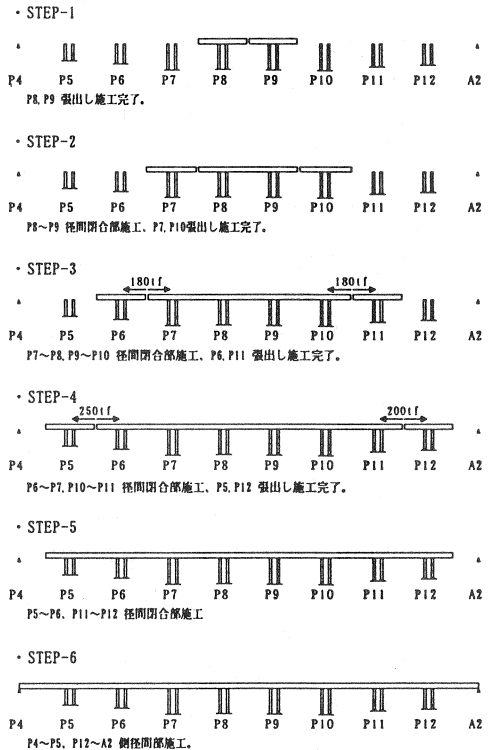


図-3 架設順序

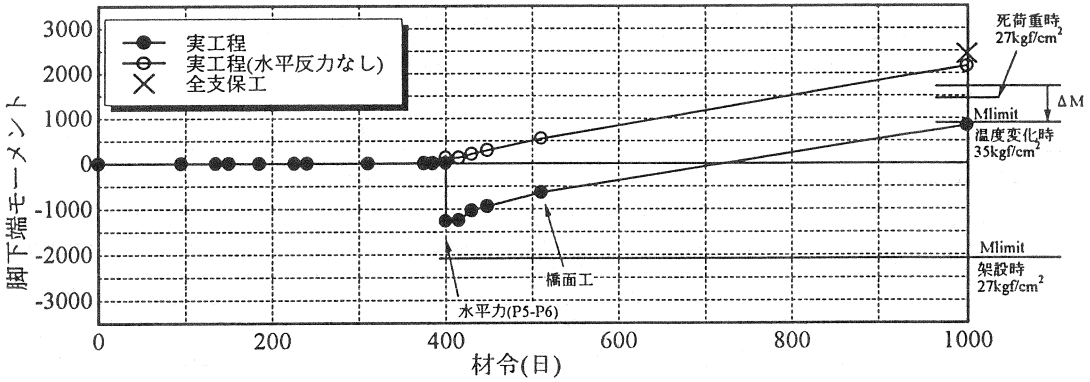


図-4 曲げモーメント履歴図 (P5橋脚起点側)

この図より、中央閉合時に与えた水平力により発生する付加断面力は、クリープ終了時 ($t = \infty$) においても残存していることがわかる。

また、今回、導入水平力値の決定に際しては、下記2項目を念頭に試算を行っている。

- ① ひび割れ幅が許容ひび割れ幅以内になること。
- ② 2枚壁式橋脚であることから、水平力導入時と設計荷重時とでは引張応力が発生する柱が異なること。

これらによる解析結果を最も橋脚高の低いP5橋脚を例に示す(表-5)。

表-5 鉄筋応力度とひび割れ幅

			P5L側		P5R側	
			架設時	温度変化時	架設時	温度変化時
P5橋脚 上 端	コンクリートの引張応力度 を無視したRC計算	σ_s [kgf/cm ²]	853.9	1,330.4	1,220.2	828.2
	ひびわれ幅	[cm]	0.026	0.037	0.034	0.026
P5橋脚 下 端	コンクリートの引張応力度 を無視したRC計算	σ_s [kgf/cm ²]	497.0	824.0	732.0	495.0
	ひびわれ幅	[cm]	0.018	0.025	0.023	0.018

なお、この結果は構造物を弾性体と仮定した場合の値であるため、実際の施工においては必ずしも計算値通りの水平力が導入されるとは限らない。このため、施工管理としては、橋脚の非線形性を考慮した解析を行い、導入水平力のみならず設計変位量も管理目標として設定し施工する予定である。

5. 外ケーブル構造

5-1 概要

本橋は、張出架設工法では、施工例の少ない外ケーブル方式を採用している。

一般的に外ケーブル方式の利点としては、①部材厚を薄くでき軽量化が図れる。②PC鋼材配置など施工性の向上が図れる。③維持管理に優れる。などがある。

本橋の場合も基本設計と比較してコンクリート数量で約10%の低減が図れ、また、内ケーブルを床版に配置することを可能としている。

外ケーブルの必要鋼材本数算定に当たっては、支点間毎の配置であることから下記フローにより求めている(図-5参照)。

- ① 張出最大時における支点上必要内ケーブル本数の算定。
- ② (設計荷重時-張出し最大時)による設計荷重時での支点上プレストレス不足分の算定。
- ③ 必要外ケーブル本数の算定。
- ④ 支間中央部における(必要プレストレス-外ケーブルプレストレス)の算定。

⑤ 支間中央部必要内ケーブル本数の算定。

この結果、外ケーブルは各径間毎に4本の配置(片側緊張)となった。

なお、内ケーブルには SWPR7B 12T12.7、外ケーブルには SWPR7B 19T15.2 を使用している。参考に内ケーブルおよび外ケーブル配置図を図-6に示す。

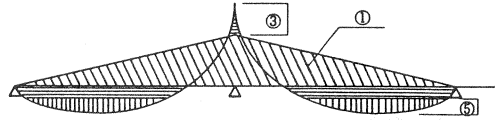


図-5 外ケーブル本数の算定

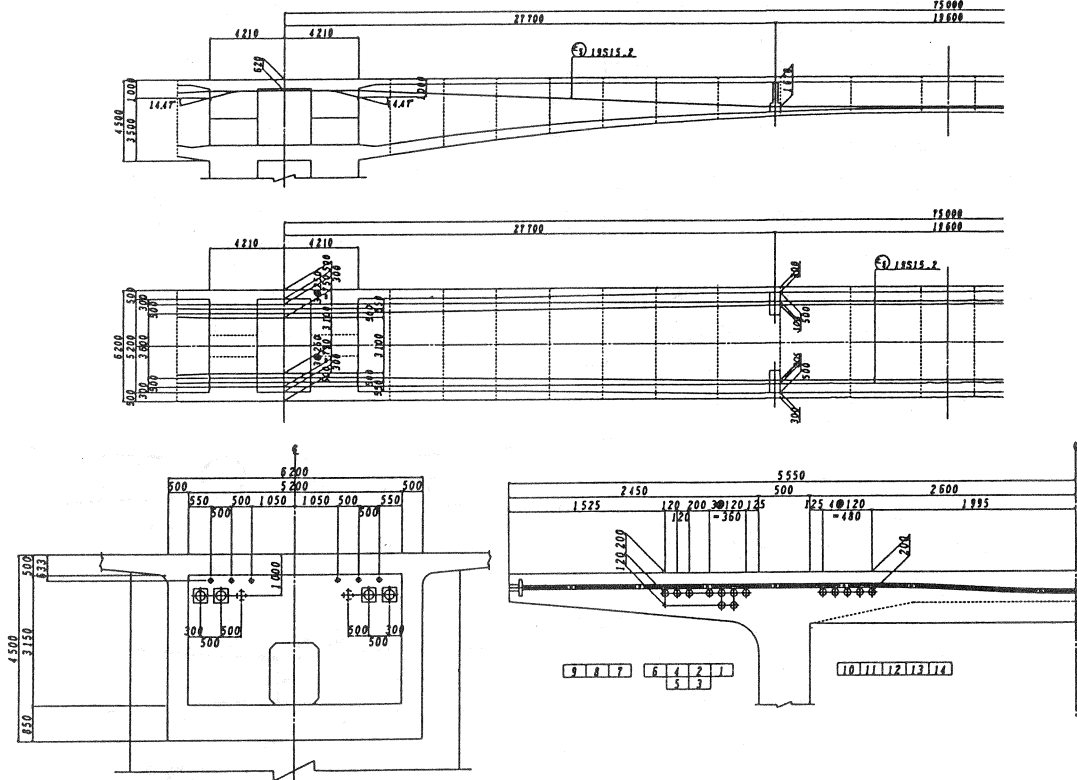


図-6 内・外ケーブル配置図

5-2 設計要旨

本橋では、外ケーブルに関連する事項については、外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工基準(案)(以下、外ケーブル設計施工基準(案)と略す)に従い、設計を行っている。

構造モデルは、平面骨組解析とし、外ケーブルは部材として評価せず、応力変化を従来の内ケーブルと同様にプレストレス力として扱う「換算内力載荷法」により解析を行っている。また、設計荷重時の外ケーブルの許容引張応力度は、偏向部での付加応力を考慮して $0.6\sigma_{pu}$ (σ_{pu} :引張強さ)としている。さらに、外ケーブル構造の場合、終局荷重時の曲げに対する照査において、部材変形に伴う応力度増加の設定を考慮しなければならないが、外ケーブル設計施工基準(案)によると、「非線形解析を実施することが望ましいが、応力度増加を見込まなければ終局状態でP C鋼材量が決定さ

れる場合が生じ、必ずしも設計上合理的であるとはいえない。」とあり、また、試算の結果、「20kgf/cm²程度は見込める」とあることから、本橋梁においても応力度増加を20kgf/cm²として設計を行っている。このときの曲げ破壊安全度を主要断面について表-6に示す。

表-6 曲げ破壊安全度

	支間中央部 P4-P5	柱頭部 P7
曲げ破壊安全度	1.00	1.19

5-3 偏向部

本橋の偏向部はリブ形状とし、外ケーブルの曲げ半径(R=3.0m)により必要厚さを決定している。また、偏向部は外ケーブルの偏向力を主桁に伝達する重要な部位であるため、ケーブル形状が所定の形状となることが、最低限必要となる。そのため、本橋では偏向具として全方向にR=3.0mのディアポロ管(図-7)を設置することとした。これにより、下記項目に対するケーブル形状の管理が、より有利に作用するものと思われる。

- ① 平面線形、縦断線形などの線形要素。
- ② 3次元的なケーブル形状変化。
- ③ 張り出し架設工法による上げ越し管理。

また、偏向部の箇所数が予備穴も含めると、204箇所にもなることからディアポロ管を鋼製とし、転用可能な構造(図-8)としている。このため、偏向部は一般的に用いられている二重管構造ではなく、保護管が直接コンクリート面に接する形となる。

なお、保護管には中密度の内リブ付きPE管を使用しているが、これは、ストランドとPE管の間にグラウトを確保する目的から、内側に突起のついたPE管としているものである。

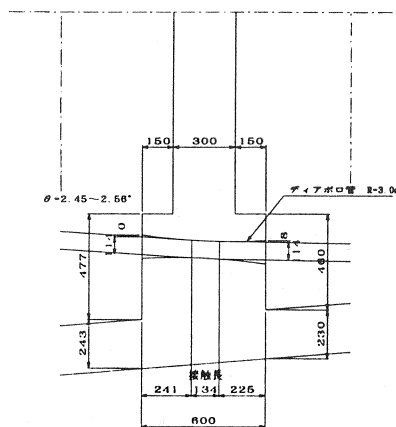


図-7 偏向部詳細図

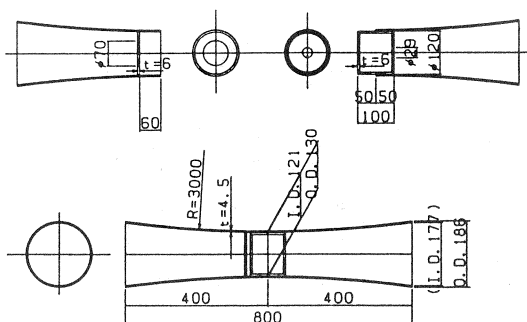


図-8 ディアポロ管詳細図

6. おわりに

以上、2枚壁式橋脚を有する多径間連続ラーメン橋の設計について述べたが、本橋のように今までの定石の範囲を超えた連続ラーメン橋は、橋梁の連続化という、今後の要求に応える解決法と考える。本報告が同種の橋梁の建設に際して一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 財団法人高速道路調査会：P C橋の新しい構造事例に関する調査研究 (H8. 3)
- 2) 社団法人プレストレストコンクリート技術協会：外ケーブル構造・プレキャストメント工法設計施工基準(案) (H8. 3)