

道路橋示方書改訂によるPC斜材付きπ型ラーメン橋設計の影響検討

(株)オリエンタルコンサルタンツ

○高橋 昭裕

(株)オリエンタルコンサルタンツ

荒関 正二

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員

北原 一彦

キーワード：道路橋示方書改訂，PC斜材付きπ型ラーメン橋，動的照査法

1. はじめに

対象橋梁は、東日本大震災からの復興に向けたリーディングプロジェクトとして進められている東北横断自動車道釜石秋田線のうち、遠野IC～宮守IC間に架橋される向新田跨道橋である。橋長は48.5m、橋梁形式はPC斜材付きπ型ラーメン橋、基礎工形式は場所打ち杭である。本橋の詳細設計は平成24年3月の『道路橋示方書・同解説』（以下、H24道示と称す）が改訂された直後に実施したものであり、道示改訂による影響を把握することを目的とし、平成14年道示(以下、H14道示と称す)による設計との対比も実施した。本稿は、PC斜材付きπ型ラーメン橋の道示改訂による問題点の抽出とその解決策を報告するものである。

2. 橋梁概要

本橋の橋梁諸元を表-1に示す。また、図-1に断面図、図-2に側面図、図-3に平面図をそれぞれ示す。

表-1 橋梁諸元

道路規格	第3種 第5級
設計速度	V=30km/h
設計活荷重	A活荷重
雪荷重	1.0kN/m ²
橋梁形式	PC斜材付きπ型ラーメン橋
鋼材	主桁：12S12.7(SWPR7BL) 斜材：φ32(SBPR930/1180)
基礎形式	場所打ち杭φ1500
橋長	48.5m
支間長	9.7m+29.1m+9.7m
幅員	6.0m(有効幅員5.0m)
橋の重要度	B種の橋
地盤種別	II種地盤
地域区分	A2地域 (C _z =1.0, C _{Iz} =1.0, C _{IIz} =1.0)

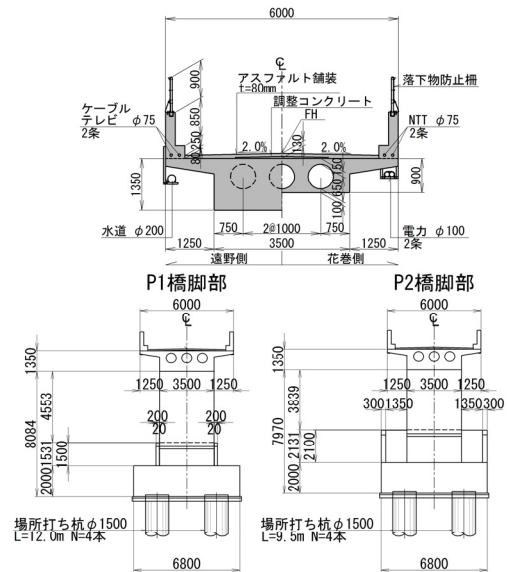


図-1 断面図

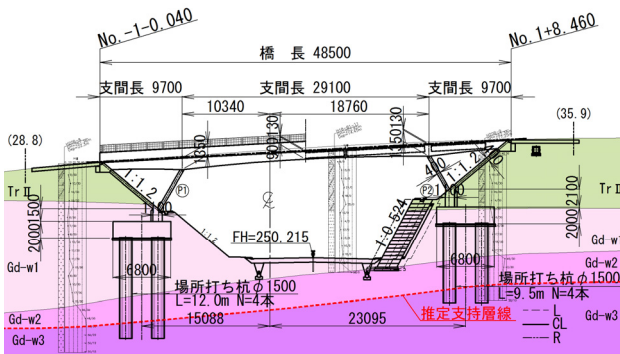


図-2 側面図

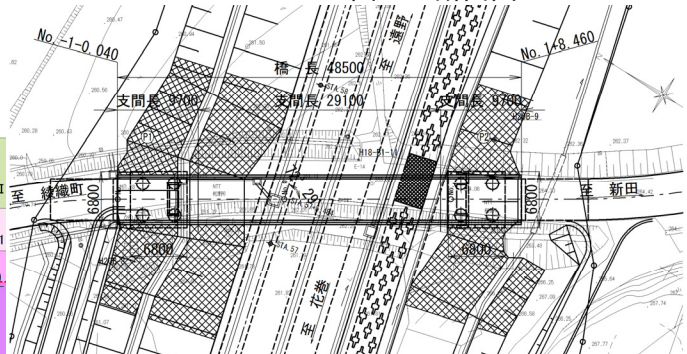


図-3 平面図

3. PC斜材付きπ型ラーメン橋の道示改訂による影響

道示改訂項目のうち、本設計に関わる項目を以下に挙げる。

a) 動的解析に用いる鉄筋コンクリート橋脚の非線形履歴モデルの骨格曲線

部材の塑性化を考慮する橋脚基部、斜材の両端部、垂直材の下端部に用いる非線形履歴モデルの骨格曲線は、一般的にトリリニア型としていることが多かったが、H24 道示でバイリニア型と規定された。骨格曲線が規定されたことにより、ひび割れ発生後の剛性低下による曲げモーメントの減少が期待できず、H24 道示では曲げモーメントが増加する傾向となる(骨格曲線の違いは次頁の図-5 参照)。

b) 鉄筋コンクリート橋脚の限界状態のひずみ

鉄筋コンクリート橋脚の限界状態の定義が変更となり、H14 道示では『コンクリートの圧縮ひずみ』に達するときのみに対し、H24 道示では『コンクリートの圧縮ひずみ』と『軸方向鉄筋の引張ひずみ』のいずれか小さい方に達するときとなった。このため許容曲率が小さくなり、これにともない橋脚の鉄筋量が増加する場合が生じる。

4. 動的照査法による道示改訂の比較検討

前章の改訂項目による影響を比較するため、H14道示設計とH24道示設計の2つを実施した。比較は、主桁や橋脚などの主要部材の決定ケースとなり、大規模地震動であるレベル2地震動の動的照査法解析結果の発生曲げモーメントおよび応答曲率にて行った。両ケースのPC鋼材や鉄筋、上部工の耐震設計モデル『線形はり要素モデル(全断面有効剛性)』は同じ条件とし、下部工の耐震設計モデルでH14道示は『非線形はり要素(トリリニア型)』、H24道示は『非線形はり要素(バイリニア型)』と異なる条件とした。

4. 1 上部工

上部工の影響を図-4 および表-2 に示す。上部工の発生曲げモーメントは、図-4 に示すとおり H14 道示設計に比べ H24 道示設計の場合、全体的に大きくなった。主要節点番号の発生曲げモーメント比較検討結果を表-2 に示す。PC 鋼材を配置している部位で決定ケースとなる支点部上縁の負の曲げモーメントで 1.1 倍程度、鉄筋を配置している部位で決定ケースとなる支点部下縁の正の曲げモーメントで 1.2 倍程度増加した。

上部工の曲げモーメントの増加は、次項 4. 2 下部工に示すとおり、橋脚の応答曲率が大きくなり、変形量が増大したことで、上部工が負担する曲げモーメントが大きくなったためと考えられる。

4. 2 下部工

下部工の影響について表-3 に橋脚基部、表-4 に垂直材と斜材を示す。橋脚基部の応答曲率は、表-3 に示すとおり H14 道示設計に比べ H24 道示設計は増加した。また、垂直材や斜材の発生曲げモーメントも表-4 に示すとおり増加した。橋脚基部の応答曲率および垂直材や斜材の発生曲げモーメントが増

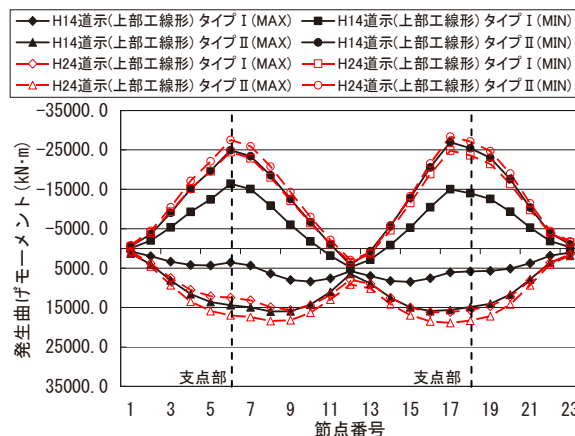


図-4 曲げモーメント図(道示改訂の影響)

表-2 上部工発生曲げモーメントの比較(道示改訂の影響)

節点		発生曲げモーメント (kN・m)			
		タイプ I		タイプ II	
		MAX	MIN	MAX	MIN
桁端部 (節点1)	H14	756.6	-52.8	1270.3	-537.6
	H24	739.3	-471.7	955.8	-834.7
	(比率)	0.98	8.93	0.75	1.55
P1支点部 (節点6)	H14	3538.5	-16433.4	14410.0	-24930.3
	H24	12455.3	-24451.7	16965.7	-27534.8
	(比率)	3.52	1.49	1.18	1.10
支間中央 (節点12)	H14	5738.2	4797.8	6480.5	4179.8
	H24	7935.3	3529.7	9131.8	2953.6
	(比率)	1.38	0.74	1.41	0.71
P2支点部 (節点18)	H14	5821.9	-14010.0	14875.1	-25386.9
	H24	15587.3	-23602.7	18309.0	-27144.0
	(比率)	2.68	1.68	1.23	1.07
桁端部 (節点23)	H14	1022.1	-328.0	1854.8	-988.5
	H24	1464.7	-1507.3	1755.2	-1777.2
	(比率)	1.43	4.60	0.95	1.80

 : 道示改訂により発生曲げモーメントが増加した箇所
 : 着目断面

表-3 橋脚基部の応答曲率の比較 (道示改訂の影響)

部材名		応答曲率 (1/mm)	
		タイプ I	タイプ II
P1橋脚基部	H14	7.00×10^{-3}	1.47×10^{-2}
	H24	5.91×10^{-2}	6.72×10^{-2}
	(比率)	8.45	4.57
P2橋脚基部	H14	3.35×10^{-3}	1.48×10^{-2}
	H24	7.20×10^{-2}	1.13×10^{-1}
	(比率)	21.49	7.64

：道示改訂により応答曲率が増加した箇所

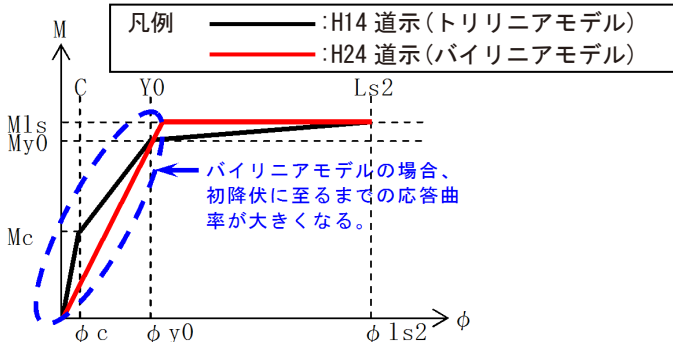


図-5 バイリニアモデルとトリリニアモデルの比較

加したものは、図-5 に示すとおり塑性化を考慮する部位の非線形履歴モデルの骨格曲線がトリリニア型からバイリニア型に変更となったため、ひび割れによる剛性低下が考慮されなくなったと考えられる。

4. 3 PC 鋼材および配筋への影響

前項までを踏まえて、各部材の配筋への影響を表-5 に示す。上部工は PC 鋼材への影響はないが、主鉄筋は D35-22 本から D38-22 本へランクアップした。垂直材や斜材は、発生曲げモーメントの増加はあったものの、薄い部材であり、塑性化後の許容変形量が大きくなるため、橋脚ほど顕著に配筋への影響は出なかった。橋脚は、応答曲率の増加に加え、道示改訂による橋脚基部の許容曲率が小さくなった影響により主鉄筋が D22 ctc250 から D22ctc125 と 2 倍程度増加した。橋脚基部の各限界状態の曲率を表-6 に示すが、終局曲率が道示改訂の影響で 60%程度低下している。

5. 上部工過密配筋に対する対応策

H24 道示にて設計することで上部工の主鉄筋は D38-22 本と過密配筋となり、コンクリートの充填不足など施工性低下が問題となった。一般的に、上部工鉄筋は施工性に配慮し D25 程度以下とするため、本設計も上部工主鉄筋径の低減により、施工性向上を図った。

上部工は直接交通の供用にかかわる部材であり、塑性化を生じさせないようにするのが望ましいことから、耐震設計モデルには塑性化を考慮しない『線形はり要素

表-4 垂直材および斜材の発生曲げモーメントの比較 (道示改訂の影響)

部材名		発生曲げモーメント (kN・m)	
		タイプ I	タイプ II
P1垂直材基部	H14	855.5	1163.6
	H24	839.8	905.5
	(比率)	0.98	0.78
P2垂直材基部	H14	763.1	1035.7
	H24	1470.5	1473.1
	(比率)	1.93	1.42
P1斜材頂部	H14	598.9	987.7
	H24	737.5	882.7
	(比率)	1.23	0.89
P2斜材頂部	H14	855.4	1087.3
	H24	1178.4	1331.8
	(比率)	1.38	1.22
P1斜材基部	H14	653.2	1232.6
	H24	1001.1	1126.0
	(比率)	1.53	0.91
P2斜材基部	H14	639.0	1039.1
	H24	1419.1	1422.1
	(比率)	2.22	1.37

：道示改訂により発生曲げMが増加した箇所

表-5 各部材の配筋状況 (道示改訂の影響)

対象道示		PC鋼材および主鉄筋	帯鉄筋
上部工 支点部	上縁	H14 12S12.7(SWPR7BL)	—
	H24	〃	—
	(影響)	影響なし	—
	下縁	H14 D35-22本	—
H24	D38-22本	—	
(影響)	鉄筋量1.2倍程度増加	—	
垂直材	P1	H14 D25-28本	D16ctc150
	H24	〃	〃
	(影響)	影響なし	影響なし
	P2	H14 D25-28本	D19ctc150
H24	〃	〃	
(影響)	影響なし	影響なし	
斜材	P1	H14 D25-28本	D13ctc150
	H24	〃	〃
	(影響)	影響なし	影響なし
	P2	H14 D22-28本	D13ctc150
H24	〃	〃	
(影響)	影響なし	影響なし	
橋脚	P1	H14 D22ctc250	D22ctc150
	H24	D22ctc125	〃
	(影響)	鉄筋量2倍程度増加	影響なし
	P2	H14 D22ctc250	D25ctc150
H24	D22ctc125	〃	
(影響)	鉄筋量2倍程度増加	影響なし	

※太字コシキはH14道示対応設計の配筋と異なる箇所を示す。

表-6 橋脚基部の各限界状態の曲率比較

	降伏限界		終局限界	
	My (kN・m)	φy (1/mm)	Mu (kN・m)	φu (1/mm)
H14	3161.3	2.40×10^{-3}	3161.3	1.83×10^{-1}
H24	3229.5	2.19×10^{-3}	3229.5	7.00×10^{-2}
(比率)	同程度	8%程度低下	同程度	62%程度低下

※橋脚配筋は以下のとおりで、H14道示とH24道示で同じとする。(主鉄筋)D22ctc250、(帯筋)D22@125

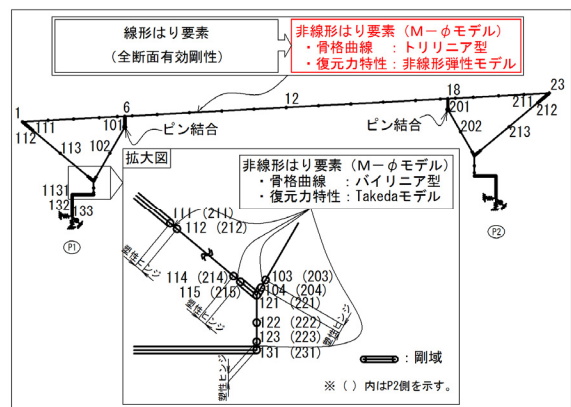


図-6 耐震設計モデル図

素(全断面有効剛性)』が基本となる。しかし、本設計は橋脚基部を主たる塑性化としているため、上部工にひび割れなどの損傷によるエネルギー吸収を考慮しない程度の塑性化(副次的な塑性化)が採用でき、合理的な設計が可能となると考えた(図-6 参照)。

副次的な塑性化を考慮する部位は支点部下縁であり、H24 道示においても支点部下縁は地震時のみ引張応力が生じ、常時では圧縮応力が作用する部位と具体的に明記され、より積極的に採用できるようになった。

上部工に副次的な塑性化を採用したことによる影響を図-7 および表-7 に示す。上部工の発生曲げモーメントは、上部工剛性が低下することで支点部上縁および下縁ともに曲げモーメントが減少した。とくに、支点部下縁側の正の曲げモーメントにおいては 75%程度減少した。橋脚は、表-8 に示すとおり上部工剛性が減少した影響で上部工が負担する曲げモーメントが減少するため、負担する曲げモーメントが増加した。

各部材の配筋への影響を表-9 に示す。上部工の PC 鋼材への影響はないが、上部工の剛性低下により主鉄筋が D38-22 本から D25-22 本にまで低減でき、施工性向上が図られた。橋脚主鉄筋は負担する曲げモーメントが増加するため D22ctc125 から、P1 橋脚で D25ctc125、P2 橋脚で D29 ctc125 へと増加した。

6. おわりに

本設計を通じて得られた PC 斜材付きπ型ラーメン橋の知見を以下にまとめる。

- 1) 道示改訂の影響により、上部工の発生曲げモーメントは増加する。それにより上部工は PC 鋼材への影響はないが、主鉄筋径は 1 ランク程度増加する。また、橋脚基部は応答曲率が大幅に増加し、主鉄筋量が 2 倍程度多くなる。
- 2) 上部工鉄筋は、太径鉄筋により施工性低下が懸念される。その対応策は、上部工の耐震設計モデルに副次的な塑性化を考慮することが効果的である。これにより上部工は PC 鋼材への影響はないが、主鉄筋量は半分程度減少することができ、施工性向上が図れる。ただし、上部工剛性低下により、橋脚主鉄筋量は 1.3~1.7 倍程度増加する。
- 3) H24 道示設計は、H14 道示設計と比較すると予め橋脚主鉄筋量を 2.5~3 倍程度見込んで設計することで収束計算を減らすことが期待できる。

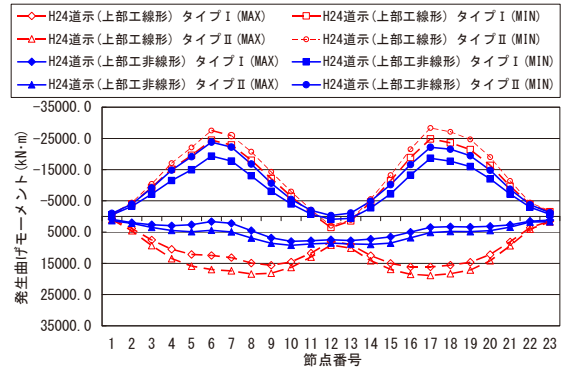


図-7 曲げモーメント図(上部工モデルの影響)

表-7 上部工発生曲げモーメントの比較 (上部工モデルの影響)

節点No.	上部工モデル	発生曲げモーメント (kN・m)			
		タイプ I		タイプ II	
		MAX	MIN	MAX	MIN
1 (桁端部)	線形	739.3	-471.7	955.8	-834.7
	非線形	925.0	-554.0	1330.0	-1022.1
	(比率)	1.25	1.17	1.39	1.22
6 (支点部)	線形	12455.3	-24451.7	16965.7	-27534.8
	非線形	1609.1	-19342.0	4410.8	-23836.1
	(比率)	0.13	0.79	0.26	0.87
12 (支間中央)	線形	7935.3	3529.7	9131.8	2953.6
	非線形	7418.3	910.6	8506.2	-316.2
	(比率)	0.93	0.26	0.93	-0.11
18 (支点部)	線形	15587.3	-23602.7	18309.0	-27144.0
	非線形	3265.0	-17720.6	4782.2	-21531.3
	(比率)	0.21	0.75	0.26	0.79
23 (桁端部)	線形	1464.7	-1507.3	1755.2	-1777.2
	非線形	1181.9	-689.8	1666.0	-1201.4
	(比率)	0.81	0.46	0.95	0.68

■ : 上部工モデル変更により発生曲げモーメントが増加した箇所
 □ : 着目断面

表-8 橋脚基部の応答曲率の比較 (上部工モデルの影響)

部材名	上部工モデル	応答曲率 (1/mm)	
		タイプ I	タイプ II
P1橋脚基部	線形	5.91×10^{-2}	6.72×10^{-2}
	非線形	6.90×10^{-2}	1.24×10^{-1}
	(比率)	1.17	1.85
P2橋脚基部	線形	7.20×10^{-2}	1.13×10^{-1}
	非線形	6.77×10^{-2}	1.39×10^{-1}
	(比率)	0.94	1.25

■ : 上部工モデルの変更により応答曲率が増加した箇所

表-9 各部材の配筋状況 (上部工モデルの影響)

		上部工モデル	PC鋼材および主鉄筋	帯鉄筋	
上部工 支点部	上縁	線形	12S12.7(SWPR7BL)	—	
		非線形(影響)	—	—	
	下縁	線形	D38-22本	—	
		非線形(影響)	D25-22本 鉄筋量1/2倍程度減少	—	
垂直材	P1	線形	D25-28本	D16ctc150	
		非線形(影響)	—	—	
	P2	線形	D25-28本	D19ctc150	
		非線形(影響)	—	—	
	斜材	P1	線形	D25-28本	D13ctc150
		非線形(影響)	—	—	
橋脚	P1	線形	D22ctc125	D22ctc150	
		非線形(影響)	D25ctc125 鉄筋量1.3倍程度増加	—	
	P2	線形	D22ctc125	D25ctc150	
		非線形(影響)	D29ctc125 鉄筋量1.7倍程度増加	—	

※太字は上部工モデルが線形時の配筋と異なる箇所を示す。