

# 鉄道橋の PC 桁の設計

## — 道路橋との違いについて —

池端 文哉\*1

国内において鉄道橋、道路橋にプレストレストコンクリート構造（以下、PC 構造）が採用されて 60 年以上が経過し、近年では、おのおの支間長が 100 m を超えるものが多数建設されている。両者において PC 構造の根幹に関わるプレストレッシングの考え方については、フレシネー方式などに代表されるとおり、大きな差異は無いが、おのおのが支持する活荷重の特性により、衝撃係数やたわみ値の制限値など、設計手法において独自の発展を遂げてきた。これらの背景より、本稿では、鉄道橋、道路橋の PC 橋の設計に携わる技術者に向け、両社の設計に用いる活荷重、応力度の制限、たわみ値の制限の違い、また、これらに伴う支間長－桁高の違い、適用される桁種の違いについて整理し、今後の構造計画における基礎資料とした。

キーワード：鉄道橋、道路橋、PC 桁、設計法

### 1. はじめに

国内で初めて鉄道橋の分野に PC 構造が採用されたのは、1954 年設楽線第一大戸川橋梁（スパン 31 m、フレシネー方式ポストテンション桁）である。その後、近年に至るまで、設計、材料、架設工法に関わる種々の技術開発が行われ、近年においては、単純 PC 箱桁でスパン約 63 m（北陸新幹線、手取川橋梁）、連続 PC 箱桁で最大スパン約 115 m（九州新幹線、第二本明川橋梁）、また、エクストラードーズ橋では最大スパン約 150 m（東北新幹線、環状 7 号架道橋）まで橋長が伸びている。

一方、道路橋においては本格的な PC 橋として、1955 年に福島県の上松川橋（スパン 40 m、フレシネー方式ポストテンション桁）が建設され、その後、1962 年に越野尾橋においてスパンが 100 m を超え、近年においては生口橋などの複合斜張橋で最大スパン 500 m 程度まで橋長が伸びている。

これらの PC 橋の歴史については、「プレストレストコンクリートの歴史－鉄道構造物－」<sup>1)</sup> および「プレストレストコンクリートの歴史－道路構造物－」<sup>2)</sup> に詳細が示されているため、別途参照されたい。

両者において、PC 構造の根幹に関わるプレストレッシングの考え方については、フレシネー方式などに代表されるとおり、大きな差異は無いが、おのおのが支持する活荷重の特性により、衝撃係数やたわみ値の制限値などに関わる設計手法において、独自の発展を遂げてきた。



\*1 Bunya IKEHATA

パシフィックコンサルタンツ (株)  
グローバルカンパニー鉄道部  
副部長 (兼) 橋梁構造室長

これらの背景より、本稿では、鉄道橋、道路橋の PC 橋の設計に携わる技術者に向け、両社の設計に用いる活荷重、応力度の制限、たわみ値の制限の違い、また、これらに伴う支間長－桁高の違い、適用される桁種の違いについて整理し、今後の構造計画における基礎資料とする。

### 2. 鉄道橋と道路橋における設計荷重、制限値の比較

#### 2.1 活荷重

一般に、鉄道橋においては「鉄道構造物等設計標準・同解説」<sup>3)</sup> に準拠し、道路橋においては「道路橋示方書・同解説」<sup>4)</sup> に準拠して設計が実施される。両者における活荷重を比較すると表 - 1 のとおりとなる。

活荷重については、鉄道橋では車両の軸配置、軸重を模擬した移動集中荷重（連行移動荷重）を用い、道路橋では主載荷区間を設けた等値等分布荷重が用いられる。

また、衝撃係数については、道路橋では支間長より一義的に衝撃係数が求まるが、鉄道橋では、速度効果による衝撃係数と車両動揺による衝撃係数の両方を考慮することとなり、前者については車両速度の向上に伴い、衝撃係数が増加する設定となっている。すなわち、鉄道橋においては、同じ軸重、軸配置の条件下においても、設計速度が異なると、桁の断面形状が変化することが有り得ることとなる。

#### 2.2 設計荷重と曲げモーメントの比較

実設計における曲げモーメントを比較するため、橋長 30.0 m、支間長 29.0 m のポストテンション PCT 形桁を例に、新幹線鉄道橋と道路橋の設計荷重と曲げモーメントの値を比較した（表 - 2）。比較に用いる道路橋の幅員構成は、新幹線と橋体幅がほぼ等しい車道 2 車線 + 歩道 3.0 m とした。

表より、支間中央の衝撃荷重を含む活荷重による支間中央の曲げモーメントは、道路橋（B 活荷重）に比べて、新幹線鉄道橋が 3 割程度大きいことが分かる。

なお、電車・内燃動車（M-18）を想定した場合の結果

表 - 1 鉄道橋と道路橋における活荷重の比較

	鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物 <sup>3)</sup>		道路橋示方書・同解説 I 共通編 <sup>4)</sup>
	標準列車荷重 M-18 (電車・内燃動車)	標準列車荷重 P-16 (新幹線)	B 活荷重
軸配置 荷重配置			
軸重 L 荷重	180 kN	160 kN × ρ <sub>t</sub> <sup>*1</sup> (= 1.23) = 197 kN	P <sub>1</sub> = 10 kN/m <sup>2</sup> P <sub>2</sub> = 3.5 kN/m <sup>2</sup> (支間長 80 m 以下の場合)
衝撃係数	設計衝撃係数 $i = (1 + i_a) (1 + i_c) - 1$ $i_a$ : 速度効果の衝撃係数 $i_c$ : 車両動揺の衝撃係数 $i_c = \frac{10}{65 + L_b}$ $i_a$ は、列車の最高速度、部材の基本固有振動数、部材(応力影響)スパンから求めた速度パラメータ $\alpha$ を用いて、鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物 付属資料 <sup>4)</sup> により算定する。 $\alpha = \frac{V}{7.2 \cdot n \cdot L_b}$ $V$ : 列車の最高速度 (km/h) $n$ : 部材の基本固有振動数 (Hz) $L_b$ : 部材(応力影響)スパン (m)		$i = 10 / (25 + L)$ $L$ : 支間長 (m) (PC 橋, L 荷重)

※1: 最大乗車率を 350%とした場合の作用修正係数を表す。

表 - 2 新幹線橋と道路橋の設計荷重と曲げモーメント

	新幹線鉄道橋 (九州新幹線 (西九州) の例) 橋長 30.0 m, 支間長 = 29.0 m	道路橋 (建設省制定 土木構造物標準設計 <sup>5)</sup> ) 橋長 30.0 m, 支間長 = 29.0 m
横断面図 および 活荷重配置		
単位mあたり 活荷重	$w = 89.9 \text{ kN/m}$ (複線載荷) <sup>※2</sup>	$w_1 = 87.8 \text{ kN/m}$ (支間中央 10 m 区間) $w_2 = 22.8 \text{ kN/m}$ (支間中央 10 m 区間外) 歩道 $w = 10.5 \text{ kN/m}$
橋面単位面積 あたり活荷重	$w' = 8.0 \text{ kN/m}^2$ (複線載荷) <sup>※2</sup>	$w'_1 = 11.7 \text{ kN/m}^2$ (支間中央 10 m 区間) $w'_2 = 3.0 \text{ kN/m}^2$ (支間中央 10 m 区間外) 歩道 $w' = 3.5 \text{ kN/m}^2$
活荷重による 支間中央の 曲げモーメント	$M_d = 9 446 \text{ kN/m}$ (1.15) <sup>※3</sup>	$M_d = 8 208 \text{ kN/m}$ (1.00) <sup>※3</sup>
衝撃係数	$i = 0.348$ (複線載荷・設計速度 $V = 260 \text{ km/h}$ )	$i = 0.185$
衝撃荷重を含む 支間中央の 曲げモーメント	$M_d(1 + i) = 12 733 \text{ kN/m}$ (1.31) <sup>※3</sup>	$M_d(1 + i) = 9 726 \text{ kN/m}$ (1.00) <sup>※3</sup>

※2: 連行移動荷重から算出した支間中央の曲げモーメントより逆算した値を表す。

※3: 道路橋の曲げモーメントを 1.00とした場合に対する比率を表す。

は割愛するが、道路橋（B活荷重）に比べて、1割程度大きい値であった。

2.3 応力度の制限値

表 - 3 に鉄道橋と道路橋のPC構造に関わる応力度の制限値を示す。

同表より、両者の値に若干の差はあるものの、PC鋼材およびコンクリートの圧縮、斜引張応力度の制限値については同程度の制限値となっている。

一方、コンクリートの引張応力度の制限値については、鉄道橋では、曲げびび割れ強度の算定に寸法効果の影響を考慮し、部材の断面高さごとに制限値を変化させていることに対して、道路橋では断面高さにかかわらず、設計基準強度ごとに一律としているところに違いがある。

PC桁の桁高は1.0m以上となるのが一般的に多いため、鉄道橋における引張応力度の制限値は、道路橋のおおむね50%程度の値となっており、永久+変動荷重作用下における引張応力度に対して、より厳しい設計が実施されることとなる。

2.4 たわみの制限値

表 - 4 に鉄道橋と道路橋のたわみの制限値を示す。

道路橋示方書においては、Ⅲコンクリート橋・コンクリ

ート部材編にたわみの制限値の規定が無い場合、Ⅱ鋼橋編・鋼部材編における単純桁式および連続桁式の場合の制限値を示した。

同表より、鉄道橋においては、衝撃係数同様に、車両の設計速度により制限値が変化し、高速化するほど制限値が小さくなる。

また、鉄道橋においては、乗り心地から定まるたわみの制限値（使用性）と走行安全性から定まるたわみの制限値の2種類の制限値を設けており、おのおのについて照査を実施している。

さらに、鉄道橋の制限値は道路橋に比べて小さい。とくに、新幹線鉄道においては1/2～1/4程度の値となっており、桁高に制約を受ける場合においては、たわみが設計上、もっとも厳しくなるケースもある。

3. 鉄道橋と道路橋における桁高 - スパン比

前章においては、鉄道橋と道路橋における設計荷重、制限値の比較を実施し、設計荷重、応力度およびたわみの制限値において、鉄道橋の方が道路橋に比べてより厳しい値となっていることを示した。

本章では、上記の影響を把握するため、建設済みの鉄道

表 - 3 鉄道橋と道路橋のPC構造に関わる応力度の制限値

		鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物 <sup>3)</sup>						道路橋示方書・同解説Ⅲ コンクリート橋・コンクリート部材編 <sup>6)</sup>														
PC鋼材 (プレストレッシング直後)		0.70 $\sigma_{pu}$ または 0.85 $\sigma_{py}$ のうち小さい方 $\sigma_{pu}$ : PC鋼材の引張強度の特性値 (N/mm <sup>2</sup> ) $\sigma_{py}$ : PC鋼材の降伏強度の特性値 (N/mm <sup>2</sup> )						0.65 $\sigma_{pu}$ または 0.85 $\sigma_{py}$ のうち小さい方 $\sigma_{pu}$ : PC鋼材の引張強度の特性値 (N/mm <sup>2</sup> ) $\sigma_{py}$ : PC鋼材の降伏強度の特性値 (N/mm <sup>2</sup> )														
コン ク リ ー ト	引張	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )		30	40	50	60	80	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )		30	40	50	60	70	80						
		断面 高さ	0.25 m	2.3	2.7	3.0	3.4	4.0	1) 曲げ引張	2.2	2.7	3.1	3.5	3.5	3.5	2) 軸引張	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
			0.50 m	1.7	2.0	2.3	2.6	3.1		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
			1.0 m	1.3	1.6	1.8	2.1	2.5		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
			2.0 m	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
			3.0m 以上	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
※上記は永久+変動荷重作用下における制限値であり、永久作用下における制限値は0.0 N/mm <sup>2</sup> である。																						
圧縮	プレ ス ト レ ッ シ ン グ 直 後	縁圧縮 応力度	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0	曲げ 圧縮	1) 正方形	18.0	22.5	25.5	28.5	34.5	40.5	3) 軸圧縮応力度	12.5	16.5	20.0	22.5	28.0	33.0
		軸圧縮 応力度	12.7	17.0	21.2	25.5	34.0		2) T形・箱形	16.5	21.0	24.0	27.0	33.0	39.0							
	※プレストレス導入時のコンクリート強度 = 0.85 f'cd, ( $\gamma_c = 1.0$ ) 縁圧縮応力度…検討時の設計圧縮強度の1/1.7 軸圧縮応力度…検討時の設計圧縮強度の1/2.0																					
斜引張	永久+変動作用			1.6	1.9	2.2	2.5	3.0	1) せん断、ねじりのみ	1.7	2.2	2.6	3.0	3.0	3.0	2) せん断+ねじり	2.2	2.7	3.1	3.5	3.5	3.5

表 - 4 鉄道橋と道路橋のたわみの制限値

		鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限 <sup>7)</sup>		道路橋示方書・同解説 Ⅱ鋼橋・鋼部材編 <sup>8)</sup>		
		電車・内燃動車		新幹線		
たわみの 制限値	乗り心地 (単線載荷)	$V = 130 \text{ km/h} \cdots L_b/900 \sim 700$ $V = 160 \text{ km/h} \cdots L_b/1,100 \sim 800$		$V = 260 \text{ km/h} \cdots L_b/2,200 \sim 1,700$ $V = 300 \text{ km/h} \cdots L_b/2,800 \sim 2,000$ $V = 360 \text{ km/h} \cdots L_b/3,500 \sim 2,200$		L/600
	走行 安全性 (複線載荷)	$V = 130 \text{ km/h} \cdots L_b/500$ $V = 160 \text{ km/h} \cdots L_b/600$		$V = 260 \text{ km/h} \cdots L_b/1,200 \sim 1,400$ $V = 300 \text{ km/h} \cdots L_b/1,500 \sim 1,700$ $V = 360 \text{ km/h} \cdots L_b/1,900 \sim 2,000$		
	※ $L_b$ : 支間長 ※上記制限値は複数連の場合（桁式高架橋が連続する場合）を示す。 ※たわみの制限値に幅があるのは、適用支間長ごとに制限値が定められているためである。		※ L: 支間長 ※上記制限値は単純桁および連続桁の場合（鋼桁形式、吊橋形式、斜張橋形式以外の形式）を示す。			

橋と道路橋における支間長と桁高の関係を調査することとした。

「(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会(以下、PC建協)」によりまとめられた2006年度～2018年度におけるPC橋の実績表<sup>9)</sup>より、ポストテンションPCT桁の支間長と桁高の関係を図-1に示した。同図より、新幹線橋、在来線橋、道路橋におけるポストテンションPCT桁の桁高と支間長の関係は、以下のとおりとなった。

- ・新幹線：桁高 ≒ 1/13 × 支間長
- ・在来線：桁高 ≒ 1/14 × 支間長
- ・道路橋：桁高 ≒ 1/17 × 支間長

これらは、表-2で示した支間中央の曲げモーメントの比率と類似しており、道路橋に比べて鉄道橋の方が、より高い剛性と耐荷力が必要であることが確認された。

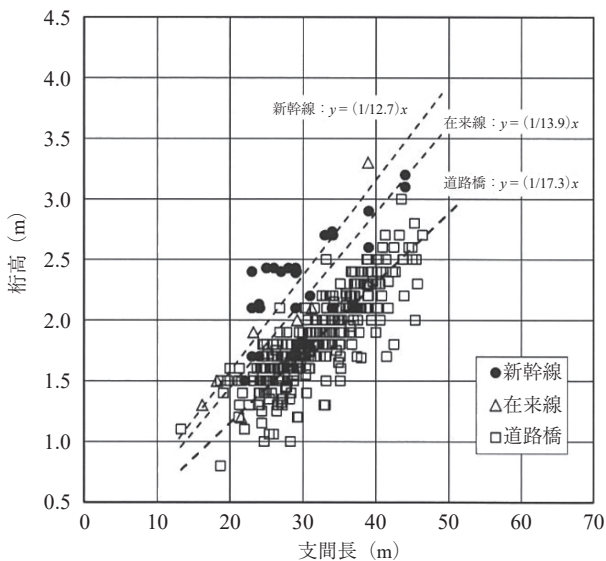


図-1 新幹線橋、在来線橋、道路橋におけるポストテンションPCT桁の桁高と支間長の関係

#### 4. 鉄道橋と道路橋におけるPC桁の種別

PC建協によりまとめられた2006年度～2018年度におけるPC橋の実績表<sup>9)</sup>より、PC桁(単純桁)の種別内訳を図-2に示す。同図より、道路橋においては、プレテン桁、ポステン桁、場所打ち固定支保工桁の比率が15:50:35、鉄道橋では、ポステン桁、場所打ち固定支保工桁の比率が85:15となる。

鉄道橋において、プレテン桁を採用しにくい理由は、経年的なクリープ変形による変形(反り)がレールなどの軌道構造に与える影響が懸念されるためである。

鉄道橋においてポステンT桁の採用が多いのは、整備新幹線において代表される標準設計の適用が多いためであると推察される。

また、鉄道橋においては、道路橋で採用されないPC下路桁が5%程度採用されている。最急勾配などの縦断線形上の制約が厳しい鉄道橋では、架道部における道路空頭を確保するために採用される事例が多い。

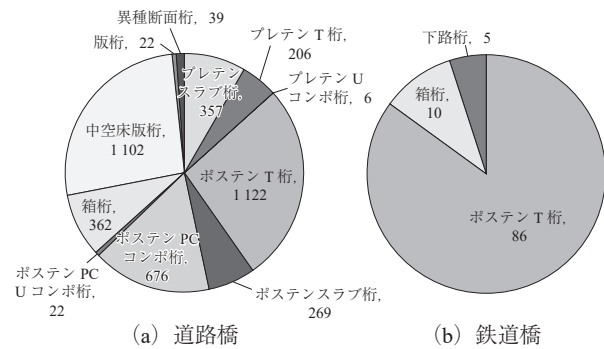


図-2 PC桁(単純桁)の種別内訳

#### 5. おわりに

本稿では、鉄道橋、道路橋のPC橋の設計に用いる活荷重、応力度の制限、たわみ値の制限の違い、また、これらに伴う支間長-桁高の違い、採用された桁の種別について整理し、今後の構造計画における基礎資料とした。

本稿が、鉄道橋、道路橋に携わる若手技術者の参考資料となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 野口 功, プレストレストコンクリートの歴史-鉄道構造物-, 土木学会論文集, No.442/V-16, pp9-14, 1992.2
- 2) 渡辺 明, プレストレストコンクリートの歴史-道路構造物-, 土木学会論文集, No.451/V-17, pp1-5, 1992.8
- 3) 財団法人 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, p31, 224, 225, 265 平成16年4月
- 4) 公益社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編, p93, 平成29年11月
- 5) 全日本建設技術協会: 建設省制定 土木構造物標準設計第13～16巻 (ポストテンションPC単純Tげた橋), p16-265, 平成6年3月
- 6) 公益社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編, p112, p130, 平成29年11月
- 7) 財団法人 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限, p61, p75, 平成18年2月
- 8) 公益社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編, p40, 平成29年11月
- 9) PC橋の実績表について: [https://www.PCken.or.jp/katsudou/pdf/2\\_s.pdf](https://www.PCken.or.jp/katsudou/pdf/2_s.pdf) (閲覧日: 2020.12.11)

【2020年12月18日受付】