

(40) 新形式鉄道高架橋の開発

○(株)ピー・エス	開発技術部	河村幸典
(財)鉄道総合技術研究所	構造物技術開発事業部	松本信之
(財)鉄道総合技術研究所	構造物技術開発事業部	曾我部正道
西武建設(株)	土木技術設計部	鎌野治樹

1. まえがき

鉄道高架橋に求められるのは、耐震性に優れ、かつ経済性を損なわないことである。

現状でのラーメン高架橋は、経済性に富んだ構造形式と考えられ、数多く施工、供用されてきている。一方、耐震構造上より見れば梁やスラブ等の構造部材、マクラギやバラスト等の軌道構造およびダクトや高欄等の付帯工を合わせた、上部工の重量は極めて大きくなる。このようなトップヘビーな高架橋は、地震時の慣性力、横変位が大きくなり、橋脚の破壊等により上部工の崩壊を招き、車両の脱線等の被害を受け易く、耐震上問題があると考えられる。

そこで本稿では軽量で耐震性に優れたプレキャストプレテンションPRC桁(以下PPC桁という)を提案し、1本の主桁で1組の軌道を支持する構造を採用し、合理化を計った。限界状態設計法にしたがい、桁断面や鋼材量等を決め、曲げ、せん断、たわみ、ねじり等を計算し、検討した。以下にその一例を報告する。

2. 上部工概略

本稿で提案した鉄道高架橋の上部工断面は下図のようになる。桁は大口径のホローを有するPPC桁であり、桁高1100mm、支間11.4mである。横締めはPCストランド1T21.8を使用し、高欄は軽量の鋼製のものとする。また、軌道には機械的性質やメンテナンス性に優れた、ラダーマクラギを採用し、防振支持装置を用いて、バラストを廃する構造とする。また、床版については、張り出し部、桁中間部ともにプレキャスト部材とする。

なお、上部構造は、図に示すように1軌道1主桁の構造を採用した。本稿で提案している構造は軌道の重心が桁の重心と一致することにより、直線区間においては活荷重(電-17)による応力の偏りが無いため、力学的な面で優れた構造である。

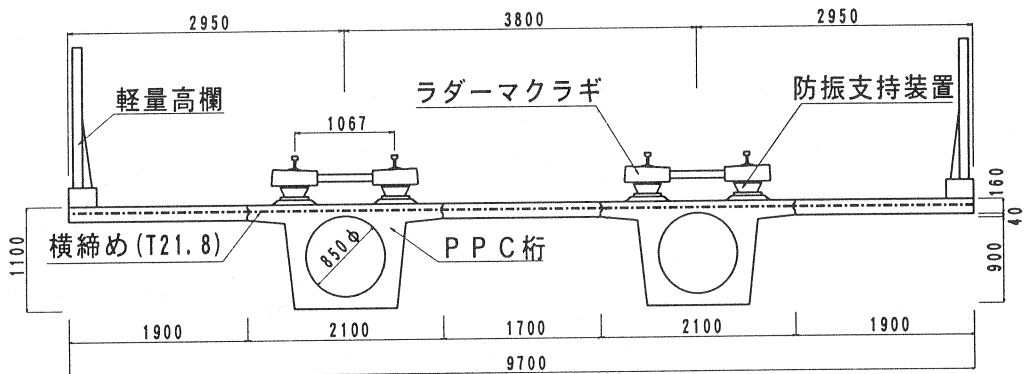


図-1 上部工概略図

3. 設計条件

表-1に示す設計条件を考慮し、曲げ耐力、せん断耐力、ねじり耐力、ひび割れ幅、たわみ等を計算した。

表-1 上部工の設計条件

桁長	11.980m
支間	11.400m
幅員	9.700m
活荷重	電-17
構造形式	プレキャストプレテンションPRC桁

4. 桁の設計計算

1) 荷重

下図の(1)~(4)に示す荷重が桁に作用しているとして、設計計算を行った。固定死荷重、付加死荷重、群集荷重については、スパンに一樣に作用する分布荷重とし、衝撃を含めた電車荷重は(3)に示すように、最大曲げモーメントが発生する位置に載荷するものとした。

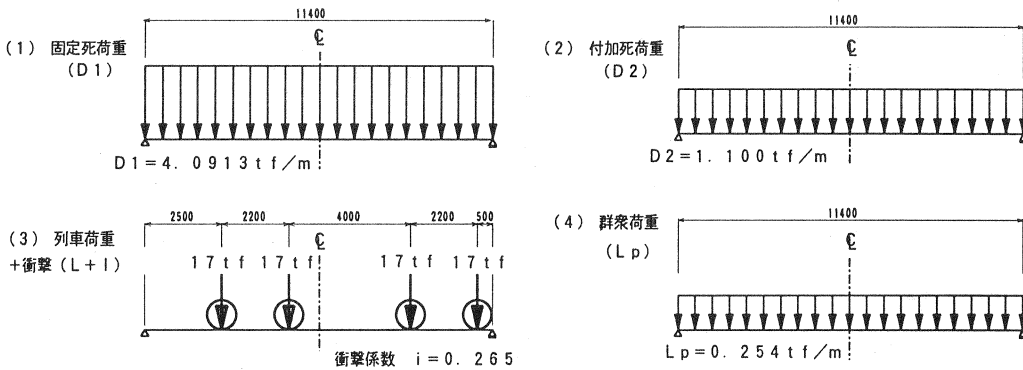


図-2 荷重分布図

2) P P C 桁断面および配筋

下図は本稿で提案したP P Cホロー桁の断面寸法と軸鉄筋、P C鋼より線の配置を示したものである。応力集中を軽減し、打設や締め固め等の作業をしやすくし、桁重量を抑えるためにφ850のホローを設けている。また、軸方向鉄筋はひびわれを制御するため、底面にはD19を8本配置し、ウェブや上フランジにはねじり耐力を確保するため、D13を配置している。P C鋼より線は1T15.2を3段、合計17本配置した。有効プレストレス力は239.21tfである。

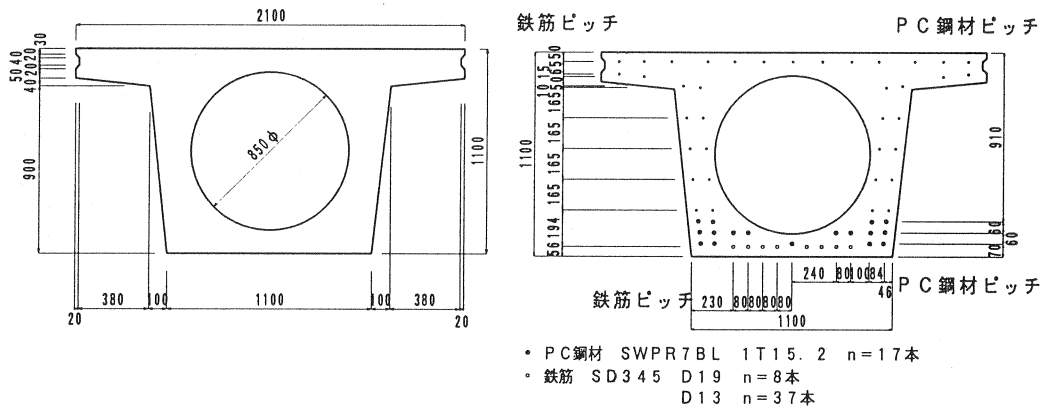


図-3 桁断面寸法、配筋

3)材料諸元

解析に用いたコンクリート、鉄筋、PC鋼材の材料特性値は表-2に示すとおりである。

表-2 材料特性値

コンクリート	設計基準強度	500kgf/cm ²
	ヤング係数	3.3×10 ⁵ kgf/cm ²
	せん断弾性係数	0.55×10 ⁵ kgf/cm ²
	ポアソン比	0.2
鉄筋	種類	SD345
	設計引張強度	4500kgf/cm ²
	設計引張降伏強度	3000kgf/cm ²
	設計圧縮降伏強度	3000kgf/cm ²
	ヤング係数	2.1×10 ⁶ kgf/cm ²
PC鋼材	種類	SWPR7BL 1T15.2
	設計引張強度	190kgf/mm ²
	設計降伏強度	160kgf/mm ²
	ヤング係数	2.0×10 ⁶ kgf/cm ²

4)ねじり耐力

桁間の中間床版を非構造部材とし、偏心を伴った何らかの荷重が作用し、桁にねじりモーメントが発生する場合について考える。このような場合、構造系全体における力の釣り合いを維持するためには、ねじり抵抗部材がねじりに対して抵抗しなければならず、構造物のねじり耐力はねじりを受ける部材の耐力に依存する。

右図のように車両横荷重、遠心力、地震による水平力、風荷重、車両のアンバランスによる不均等な電車荷重が生じている状態を考える。ここで、地震の水平震度は0.64とし、車両のアンバランスによる偏心荷重として、片側の車輪に100% (17tf)の電車荷重が作用するものとする。

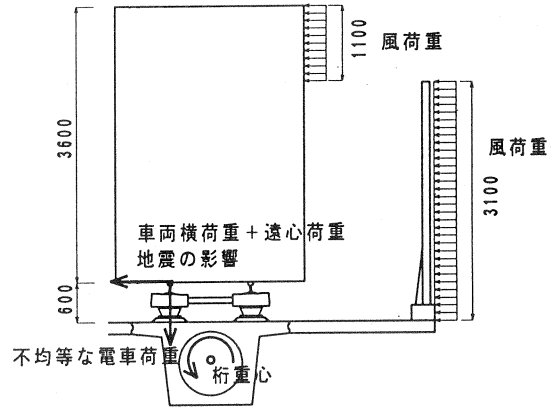


図-4 ねじりに関する荷重

次に、これらの荷重の、組み合わせを考慮し、最大ねじりモーメントの算定を行った。

終局時の桁のねじりモーメントに乗ずる荷重係数は、表-3に示す4つのケースを考慮することにより、各係数を掛け合わせ、合計値を最大ねじりモーメントとして求めた。

その結果、最大ねじりモーメントはケース4の場合で、54.21tfmとなった。

表-3 ねじりモーメントの算出

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ねじりモーメント
遠心荷重(M _c)	1.1	1.0	—	—	8.903
車両横荷重(M _{Lr})	1.0	1.1	—	—	9.372
風荷重従(M _w)	1.0	1.0	—	—	9.304
風荷重主(M _w)	—	—	1.2	—	10.819
電車荷重(M _L)	1.0	1.0	—	1.0	24.224
地震荷重(M _{Eq})	—	—	—	1.0	29.989
合計	52.69	52.74	12.98	54.21	t fm

5)計算結果のまとめ

限界状態設計法に従い検討した結果は表-4に示すとおりである。その結果、全ての検討において計算値は制限値内におさまっている。

表-4 解析結果

	終局限界			使用限界		疲労限界
	曲げ耐力	せん断耐力	ねじり耐力	たわみ	ひび割れ幅	耐用年数
計算値	275.96 tfm	113.27 tf	54.21 tfm	0.0028 m	0.126 mm	127 年
制限値	430.88 tfm	148.81 tf	60.00 tfm	0.0114 m	0.250 mm	100 年

5. 従来の高架橋との重量比較

従来 of ラーメン高架橋と本稿で提案した高架橋の重量を比較すると、右の図表のようになる。桁の単位長さ当たりの重量は双方とも 4.57t/m となっているが、これは新形式高架橋のスパンを 11.4m、従来のラーメン高架橋のスパンを 6m で計算しているためであり、P P C 桁を採用すれば従来の形式よりスパンを長くすることが可能となる。スラブの重量にかなりの開きがあるが、どちらも構造部材としての扱いであり、P P C 桁を採用することにより、スラブの厚みを薄くすることが可能であることがわかった。また、新形式においては高欄やマクラギに軽量なものを採用することにより、付加死荷重、軌道の荷重が軽減できる。以上のことから、新形式高架橋は従来の高架橋の約半分の重量で構築可能であることがわかった。

表-5 重量の比較

	従来の高架橋	新形式高架橋
桁	4.57	4.57
スラブ	8.96	2.21
付加死荷重	2.66	1.60
軌道	3.43	1.40
合計	19.62	9.78

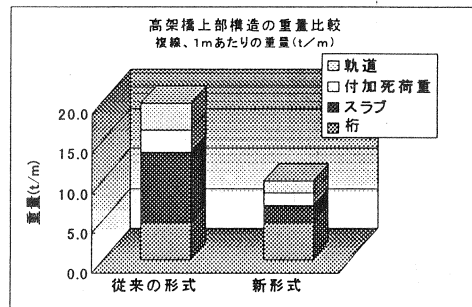


図-5 高架橋上部構造の重量比較

6. まとめ

1 軌道1主桁の構造形式を持つ鉄道高架橋の上部工を提案し、桁断面、鋼材量等を決め、限界状態設計法にて、曲げ、せん断、ねじり、たわみ、ひび割れ幅、耐用年数の計算を行った。従来のラーメン橋においては、1m当たりの上部工の重量が20tf程度であったが、本稿で提案した上部工を採用した場合、上部工の重量は半分程度に軽減できることが明らかになった。また、P P C 桁を採用することにより、スパンを長くすることが可能となり、下部工のコストを抑えることが可能であると思われる。さらに、全ての構造部材をプレキャスト化することにより、施工期間の短縮も可能となる。

今後、下部工や耐震連結装置の耐震性や経済性、施工方法の合理化等についても検討する必要があると思われる。

参考文献

- 1)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 平成4年10月
- 2)松本信之：壊れにくく・揺れにくい高架橋を今後の目標に,コンクリート工学,vol33,No.11,p37,1995.11
- 3)財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道総研報告 平成8年9月