

(37) PC桁橋の長大化に関する一考察

(株)千代田コンサルタント

○神野人志

同 上

永井 明

同 上

野口照夫

同 上

正会員 高橋 誠

1. まえがき

将来のPC桁橋の長大化を考えた場合、我が国は有数の地震国であり、欧米諸国並にはPC橋の長大化は望めないとしても、昨今の急速な橋梁技術の進歩を考えると、最大支間300m位までは可能とされている。しかし、長径間の桁橋となると、コンクリートの重さが障害となり、死荷重による断面力が大きくなり、主桁PC鋼材の配置や地震時における橋脚等の下部工耐力の問題によって一般的には設計不可能となる。そのため、PC長大橋にはPC斜張橋やエクストラードズド橋が一般的となっており、伊唐島大橋(最大支間長、 $l=260m$)が、我が国におけるPC橋の最大スパンを誇っている。

一方、PC桁橋では、1976年に完成した浜名大橋が最大支間240m(中央ヒンジ付5径間連続ラーメン橋)として現在でもPC桁橋の最大となっている。

この種のコンクリート長大橋の設計では死荷重と活荷重による曲げモーメントの比率は10:1程度となり、死荷重が圧倒的に大きいため、できる限り死荷重を減らすことが重要となっている。

そのため大幅な桁自重の軽減を図ることが、PC桁橋の長大化につながることから、本稿では、外ケーブル構造、PRC部材、高強度コンクリート等を積極的に活用し、最大支間300mのPC連続ラーメン箱桁橋(ポストテンション方式場所打ちカンチレバー架設)を例として、PC桁橋の長大化に関する試設計を実施した。

2. 設計の概要

2.1 設計方針

試設計の構造モデルは、図-1に示すように、中央径間長を300mとし、側径間長は完成時における上部工のアンバランスモーメントが常時橋脚に作用することになるので、橋脚をより合理的に設計するためには、このアンバランスモーメントを小さくすることが望ましいので、側径間長を中央径間長の5割以上とし、190mとした。また、橋脚高としては、連続ラーメン橋とした場合には、主桁と橋脚が剛結されていることによりコンクリートのクリープ、乾燥収縮および温度変化等による変形が拘束され、この結果、橋脚に無視できない断面力が生じるため、このラーメン構造を構成するにあたっては、固定支間長に対する橋脚高の関係から、構造として成り立つ最小橋脚高を40mとした。

本モデルに連続ラーメン橋を採用した理由は、ラーメン橋の特徴として、プレストレス、クリープ、乾燥収縮、温度変化等による拘束力による影響が大きくなるが、上・下部構造が一体となるため支承が不要で、伸縮装置も少なく済み、走行性が良く、維持管理に優れているからである。さらに、高次の不静定構造であるため、部材の一部が降伏しても応力の再分配により、瞬時に構造系全体の破壊につながるようなことは

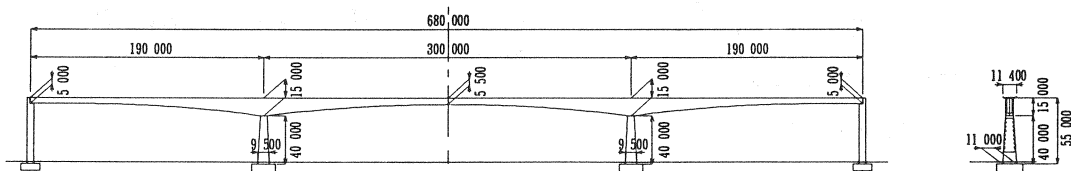


図-1 橋梁全体一般図

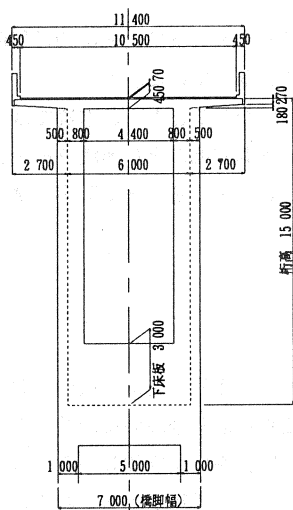
少なく、地震時水平力をラーメン橋脚の剛性に応じて分担できる等のメリットが多いことから、将来ともにP C桁橋は、連続ラーメン橋として採用される機会が多くなると考えられるためである。

柱頭部の最大桁高は、中央径間側の張出し長150mから決定され、桁高の検討結果から、スパン桁高比を1/20と設定し、15.0mとしている。また、その位置の下床板厚は、3.0mとしている。(図-2(a))

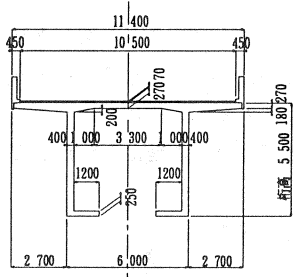
長大支間の桁橋となるとコンクリートの重さが障害となり、死荷重による断面力が大きくなり、P C鋼材の配置が苦しくなったり、下部工の規模が大きくなったりして最終的には設計上の限界が生じることになる。そのため、できる限り桁自重の軽減を図る必要から、次に示すような、構造条件を採用することとした。

- 1) 自重を軽減するため、内ケーブルと外ケーブルの併用とする。これにより桁自重の30%を占めるウェブ幅を少しでも低減できる。また、ウェブに鉛直プレストレスを作用させる。これによりある程度薄いウェブでも大きなせん断力に抵抗できる可能性がある。
- 2) 主方向をP R C部材とする。
- 3) 主桁に高強度コンクリート ($\sigma_{ck}=60\text{N/mm}^2$) を場所打ち桁として採用する。
- 4) コンクリートの圧縮応力度が支配的とならない部分については、図-2(b)に示すような下スラブを開床構造とし、死荷重の軽減を図る。

また、施工方法は、ポストテンション方式場所打ちカンチレバー架設とした。このため、P C鋼材の配置は、基本的に架設時を内ケーブルとし、完成時不足分を外ケーブルとした。支間部については、曲げ破壊安全度を確保できるように内ケーブル量を設定することとした。



(a) 柱頭部



(b) 支間中央部

図-2 主桁断面図

2. 2 設計条件

1) 一般条件

形式 : P R C 3 径間連続ラーメン箱桁橋

橋長 : 680.0m

支間 : 190.0m+300.0m+190.0m

有効幅員 : 10.5m

架設工法 : 張出し架設工法

適用基準 : 道路橋示方書・同解説(平成8年12月)

2) 使用材料および許容応力度

コンクリート 設計基準強度 : 主桁 $\sigma_{ck}=60\text{N/mm}^2$

橋脚 $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$

許容応力度 : 表-1

鉄筋 : SD345

P C 鋼材

主方向 : 内ケーブル : 12S15.2B(SWPR7B)

主方向 : 外ケーブル : 19S15.2B(SWPR7B)

鉛直方向 : B 種 2 号 $\phi 32$ (SBPR930/1180)

横方向 : 1 S21.8 シングルストランド

3) 基本荷重

- 活荷重 : B活荷重
- 衝撃係数: 主桁に対して、 $10/(25+L)$
- 死荷重 : プレストレストコンクリート : 24.5kN/m^3
- アスファルト舗装 : 22.5kN/m^3
- 縁石、地覆、壁高欄 : 24.5kN/m^3
- 温度変化 : $\pm 10^\circ\text{C}$
- 設計震度 : $KH = 0.30$

表-1 許容応力度

単位: N/mm^2

設計基準強度		σ_{ck}	主桁
許容曲げ圧縮 応力度	「プレストressing」直後	σ_{cat}	22
	その他	σ_{ca}	18
許容曲げ引張 応力度	「プレストressing」直後	σ_{cat}	-2
	その他	σ_{ta}	—
ひびわれ幅 (活荷重作用時)	支間中央部	wa	0.005C
	中央支点部	wa	0.0035C

3. 床版の設計

主桁の設計に先立って床版の設計を行い、主桁断面形状および横方向のPC鋼材の配置を決定した。横方向の設計は、上床版をPC部材とし、腹部、下床版をRC部材とするボックスラーメン構造にて解析を行った。床版横筋には、シングルストランドIS21.8を50cm間隔で配置した。ケーブル形状図を図-3に示す。ケーブル形状決定に当たっては、上床版に配置される主鋼材を考慮し、できるだけ腹部付近ではPCケーブルの偏心を上縁側に配置できるように努めた。

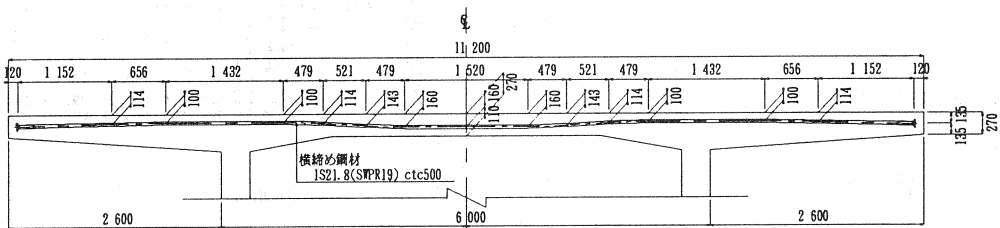


図-3 床版横筋ケーブル形状図

4. 主桁の設計

4.1 設計手法

設計荷重による断面力は、連続ラーメン橋であることから、上、下部構造を一体とした弾性解析で行うこととした。構造モデルは、図-4に示す通り主桁および橋脚をコンクリート全断面有効とした部材剛度を用いた平面骨組構造にて解析を行った。橋脚下端の支持条件は、本解析モデルが直接基礎としていることから、地盤の固定度が大きいので、完全固定として解析することとした。構造解析に用いる主桁のラーメン軸線は直線とし、柱頭部においては剛域を考慮することとした。本計算モデルは、カンチレバー施工としていることから、自重、プレストレスの断面力は施工ステップに従って算出する必要がある。また、施工中と完成時に構造系が変化するため、クリープによる不静定断面力を自重、プレストレスについて求める必要があるがここでは、概略検討であることから、全支保工状態で施工が行われるものとして計算を行った。

PC鋼材の配置は、張出し架設時に必要なプレストレス量を内ケーブルにて配置を行い、完成時に必要なプレストレス量については、外ケーブルにて配置を行い、かつ床版横筋ケーブルの取合いを考慮して決定した。

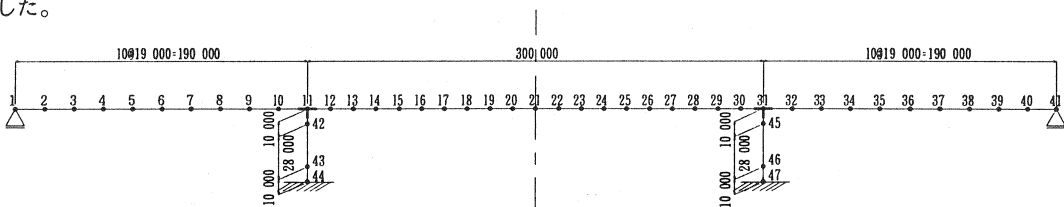


図-4 構造モデル図

4. 2 検討結果

主桁の断面力は、図-4の構造モデルによって全支保工状態としてラーメン計算を行った。(図-5)その結果、死荷重による曲げモーメントは柱頭部で $32.4 \times 10^8 \text{ Nm}$ 、支間中央部で $3.3 \times 10^8 \text{ Nm}$ 、側径間部で $3.5 \times 10^8 \text{ Nm}$ となった。また、設計荷重時から決まるP C鋼材の必要本数および概略のP C鋼材配置は図-6に示すようになる。また、スパン割の関係から、柱頭部に $2.9 \times 10^8 \text{ Nm}$ のアンバランスモーメントが生じていることから、何らかの改善が必要となっている。

主桁の設計は、P R C構造とし設計荷重作用時のひび割れ幅を許容ひび割れ幅まで許容する方法で設計していることから、主鉄筋の基本配筋を支点上においてD25ctc100mm、支間中央の下側D25ctc100mmとし、これを上床版および下床版に上・下2段配筋して許容ひび割れ幅を、支点上0.0035C、支間中央下面0.005CとしてP C鋼材量を設定した。表-2の主桁の検討結果に示す通り、ひび割れ幅の照査においては許容ひび割れ幅を満足しているものの、設計荷重時の合成応力度は、支点上、および中央径間中央部において、コンクリートの曲げ圧縮応力度が許容値 17.7 N/mm^2 に対して最大 18.2 N/mm^2 と若干満足できない結果となった。

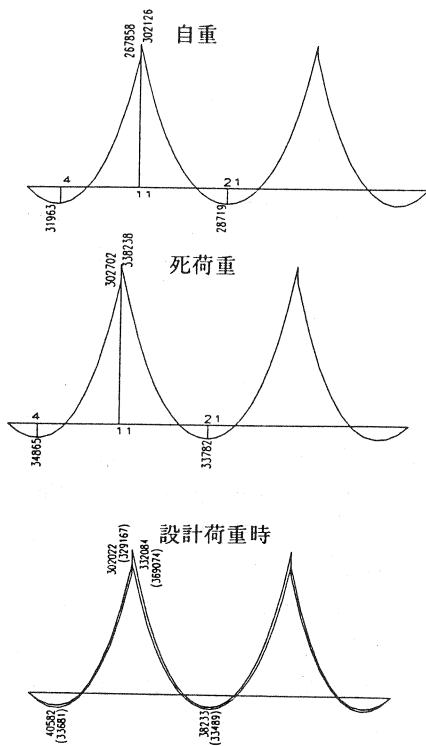
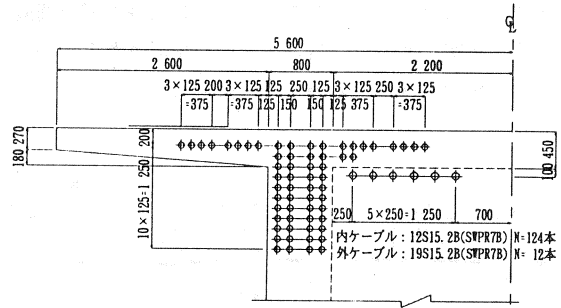
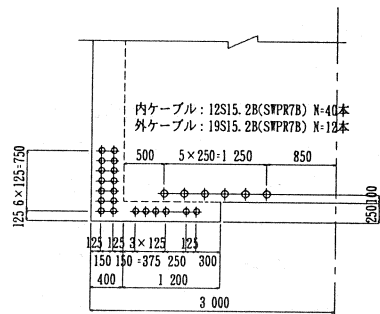


図-5 設計曲げモーメント (tf·m)



(a) 柱頭部



(b) 支間中央部

図-6 P C鋼材配置図

表-2 主桁の検討結果

	設計曲げモーメント(Nm)	合成応力度 (N/mm ²)				ひび割れ幅	
		プレストレスト導入直後		設計荷重時		W (cm)	Wa (cm)
		上 縁	下 縁	上 縁	下 縁		
支 点 上	32.6×10^8	-2.7	14.8	-7.7	18.2	0.0251	0.0255
中央径間中央部	3.7×10^8	12.6	6.0	18.2	-3.9	0.0165	0.0350
側 径 間	4.0×10^8	11.6	4.3	17.2	-6.2	0.0277	0.0350
許 容 値	—	$\sigma < 21.6$		$\sigma < 17.7$		—	—

5. 橋脚の設計

連続ラーメン橋は、主桁と橋脚が剛結されているため主桁の部材材令差の他に橋脚と主桁の材令差が大きな影響を及ぼすことから、自重、プレストレス、橋面荷重について部材材令差を考慮したクリープ計算が一般に行われている。また、乾燥収縮による断面力についても部材材令差を考慮した断面力が求められるが、本解析モデルでは、既往の実施例を参考に、クリープ、乾燥収縮による影響を温度換算にて考慮するものとし、15°Cとして地震時と組み合わせることによって橋脚部材の検討を行った。その結果、表-3に示す通り、橋軸方向の橋脚部材寸法は、1-1断面におけるコンクリートの許容曲げ圧縮応力度で決ることになり、橋軸方向幅は、図-7に示す通り9.5m必要となった。尚、その時の概略配筋図を以下に示す。

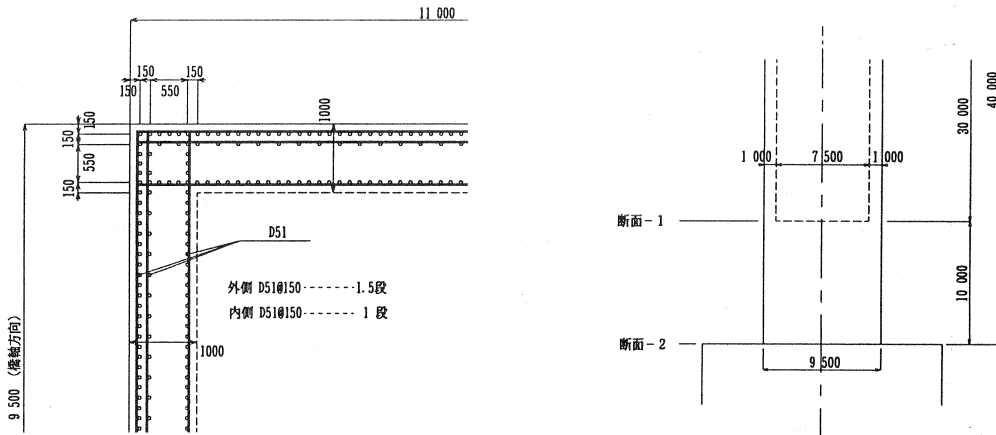


図-7 橋脚配筋略図

表-3 地震時における柱断面の検討結果 (橋軸方向)

	地震時の断面力			σ_{cs} (N/mm^2)	σ_{cs} (N/mm^2)	σ_{cs} (N/mm^2)	σ_{cs} (N/mm^2)
	N (N)	H (N)	M (Nm)				
断面 1-1	14.8×10^7	3.6×10^7	9.8×10^8	14.5	191.4	14.7	294.2
断面 2-2	15.5×10^7	3.8×10^7	13.5×10^8	10.5	269.2	14.7	294.2

6. あとがき

PC桁橋の長大化に関して試設計を行った結果について、問題点と今後の改善策をまとめると次の通りである。

1) PC桁橋の長大化のメリット

カンチレバー架設によるPC桁橋は、現在までに豊富な施工実績があり、経済性、施工性についても有利な橋梁形式となっている。また、将来の長大化を考えた場合には、在来工法の延長線上で設計・施工ができることから、PC桁橋の長大化のメリットは大きい。さらに、PC桁橋のコンクリート断面を有効に生かすためには、広幅員の橋に適していると言える。

2) PC桁橋の長大化の問題点

本試設計の結果によれば、主桁の断面は基本的にコンクリートの許容圧縮応力度で決定されることとなった。そのため、より高強度のコンクリートを使用する必要があると言える。しかし、本解析モデルは、許容応力度法を基本とし、道路橋示方書Ⅲの規定を適用していることから、 $\sigma_{ck} = 60 N/mm^2$ のコンクリートの許容圧縮応力度は、 $0.3\sigma_{ck}$ を採用せざるを得ない。これに対してコンクリート標準示書では $0.4\sigma_{ck}$ と

なっている。このように、設計法を限界状態設計法とし、コンクリートの許容圧縮応力度の規定が変われば本モデルは十分に満足した主桁断面寸法が得られ、PC桁橋の長大化につながるようになることから、今後は限界状態設計法にて進める必要がある。

また、PC桁橋を設計面から単に長大化したために新たな施工上の問題が生ずることは十分に予想されることであり、それら問題点の抽出および施工性の改善を行う必要がある。

一方、上部構造の死荷重反力の増大により、橋脚および基礎構造が大規模となることは明らかであることから、これらに対応するための基礎構造の研究が必要となる。

3) 今後の改善策

PC桁橋の長大化に向けて今後の改善策をまとめると次の通りとなる。

○コンクリートの高強度化による部材断面の縮小は、自重の軽減をもたらすと同時に、スパンの長大化や部材断面を低減するなど構造物の設計における自由度を高めることを可能とすることから、さらなる高強度コンクリートの開発を行う。

○高強度コンクリートと従来コンクリートを比較すると、圧縮強度の増大に比べて弾性係数や引張強度の増加率は小さく、クリープ係数が低下すると言われている。そのため、今後はクリープ特性等について充分に調査する必要がある。

○主桁自重の更なる軽量化に努め、下部工への地震外力を小さくする工夫。

○PC鋼材の配置を合理的に行えるように、締固め不要な高流動コンクリートおよび軽量コンクリートの研究、開発、実用化。

○超大型ワーゲンの開発

○施工法、特にPC桁橋を長大化したための施工上の問題点の抽出および主桁断面形状の単純化等による施工性の改善

○動的解析などによる耐震性の検討および主桁のねじりモーメントによる影響の照査

○広幅員となった場合に上床版を軽量化するため、張出し床版を大きくとれるようにする材料および設計面からの工夫。(張出し床版部のプレキャスト化)

○下スラブを開床構造としたことによる部材断面の照査。

最後に本稿は、スパン300mの長大PC桁橋の試設計について行ったものであるが、今後さらに問題点を抽出し、設計、施工面から検討を行い、PC斜張橋との経済比較等を実施してみる必要があると考えられるため別途報告したいと考える。

参考文献

- 1) 財) 高速道路調査会：PC多径間連続ラーメン橋に関する研究報告書 昭和63年3月
- 2) 社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編 平成8年12月
- 3) 社) 日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧 平成6年2月
- 4) 財) 高速道路技術センター：PRC道路橋設計マニュアル(案)
- 5) 土木学会 コンクリート標準示方書 設計編 平成8年制定