

地震国における PC 長大橋の構造形式による経済合理性と構造合理性について

九州大学大学院 フェロー 大塚久哲
新構造技術(株)正会員 若狭忠雄

九州大学大学院 正会員 矢葺 亘
(株)エスイー 正会員 ○緒方純二

1. はじめに

近年、複合斜張橋も含めてプレストレストコンクリート橋は長大化の一途を辿っている。地震国において、PC 長大橋の構造形式による経済性と構造合理性を上・下部工一体の評価システムで定量的に評価することは PC 長大橋を経済的に選定する上で極めて重要な視点であると思われる。一般的に、PC 長大橋で考えられる構造形式は、歴史的発展過程を考慮して、カンチレバー橋、斜張橋およびエクストラードズド橋に分類できるとと思われる。これらの構造形式は上・下部工を一体として評価した場合、地震国においては、上・下部工の地震時相互作用から、その選定基準に、ある範囲の適合性があるものと思われる。

そこで、筆者らは PC カンチレバー橋については既往の例を引用し、PC 斜張橋とエクストラードズド橋についてはスパン $L=120, 150, 180, 200\text{m}$ の 4 ケースで地震時の構造特性、耐震性および経済性の検討を行い、各形式の適性支間の範囲を求めることを試みた。

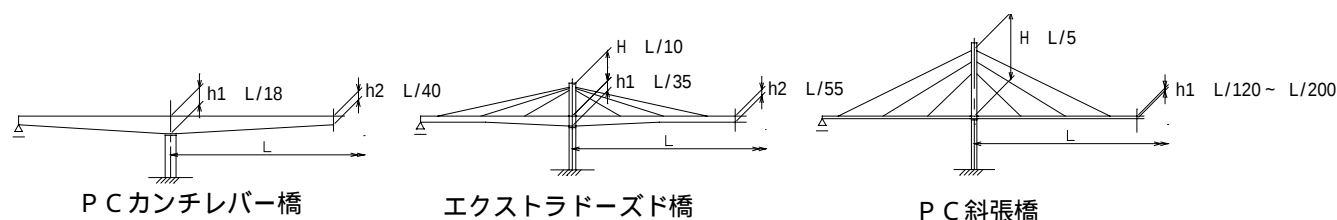


図 - 1 構造形式と桁高の関係

2. 構造特性

2.1 プレストレスの考え方

長大カンチレバー橋において、桁高をできるだけ低くし、上部構造を軽量化し下部工への影響を小さくすることは、極めて重要なことである。更に、支間が長大化して PC の特徴を発揮するには PC の偏心量を大きくする必要があるが生じる。その結果、コンクリート製の主塔を高く設けた ($H=L/5$ 程度) PC 斜張橋が誕生した。また、架設方法と耐震性能を考えると、最終的に PC 斜張橋はマルチサスペンデッド型式にならざるを得ない。一方、航空障害、景観上の問題から主塔を高く出来ない条件下で、主桁を薄く軽くしたい場合は、偏心量を斜張橋の $1/2$ 程度に設定することが考えられ、Mathivat が提唱したのがエクストラードズド橋である。エクストラードズド橋のように主塔高が低い場合、鉛直成分が小さいため活荷重による応力変動は小さくなるが、逆に、主桁を吊る効果は少ない。したがって、図 - 1 の様な桁高関係になる。

2.2 圧縮特性

カンチレバー橋では、一般に中間支点上の桁高が $L/18$ であり、支間中央桁高は $L/40$ 程度である。(図 - 1) 一方、コンクリートの圧縮応力度は σ_{ck} の $1/3$ 程度を許容している。また、PC 斜張橋では、斜材の吊り効果による曲げモーメントの低下と共に、一般的には耐久性上の問題から圧縮応力 $3 \sim 7\text{N/mm}^2$ 程度のプレストレスが導入されている。一方、エクストラードズド橋では、桁高が中間支点上で $L/35$ 、支間中央で $L/55$ となるが、斜材の偏平性のため主桁への斜材水平分力(圧縮力)が大きく作用して、コンクリートの圧縮応力は検討した結果によれば約 15N/mm^2 と大きくなる。

3. 耐震性評価

キーワード：PC 斜張橋、エクストラードズド橋、耐震性、経済性、サスペンデッド型式、斜材の減衰効果
連絡先：〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6 丁目 3 番 1 号 (株)エスイー 構造橋梁部 緒方純二

Tel. (03) 3340-5527 Fax. (03) 3343-1322

3.1 固定度と支承条件の影響

耐震性評価において、各構造形式の下部工との連結条件は上下部一体の耐震性能にとって極めて重要である。P C 斜張橋で一般に用いられるサスペンデッド型式は、斜材による地震時減衰効果が大きく、地震力の下部工への影響を減少することができる。

一方、エクストラードズド橋では、斜材の鉛直抵抗が少ないため、サスペンデッド型式の適用は困難である。連続桁型式は3つの形式で採用されるが、支承のコスト比率が高いため、工事費の増加につながりやすい。さらに、ラーメン型式は、カンチレバー橋、エクストラードズド橋ではよく使用されている。この型式は、主桁と橋脚が剛結されているが、地震による断面力は構造の減衰効果が少ないためサスペンデッド型式ほど小さくならない。(表-1参照)。また、支間が長く主桁の剛性が大きい場合は、温度、乾燥収縮等による拘束力が大きくなり構造系が成立しなくなる。

3.2 基礎の条件と構造減衰

基礎の条件には、岩盤基礎と弾性地盤が考えられる。岩盤の場合、下部工への影響は、カンチレバー橋、エクストラードズド橋、斜張橋の順に応答値は減少する。弾性地盤の場合には、地震時の応答値カンチレバー橋が大きく、エクストラードズド橋では、上下部が弾性支持の場合、上部構造の重さと減衰効果の少なさから基礎への影響は大きくなる。一方、サスペンデッド型式斜張橋では主桁の軽さと、斜材の減衰効果により曲げモーメント、水平力共に大きく減少する。

表—1 橋脚付根断面力 (kNm, kN)

	基礎の 支持条件	①PC斜張橋 サスペンデッ ド型式	②エクストラ ードズド橋 連続桁型式	比率 ①/②	③エクストラ ードズド橋 ラーメン型式	比率 ①/③
橋軸方向	岩盤支持の場合	649,230	820,160	0.79	752,540	0.86
曲げモーメント	弾性支持の場合	603,000	738,700	0.82	751,490	0.86
橋軸方向	岩盤支持の場合	20,870	55,350	0.38	66,340	0.31
水平力	弾性支持の場合	20,450	56,280	0.36	64,650	0.31

表 - 2 固有周期

基礎の 支持条件	1次の固有周期(sec)		
	PC斜張橋	エクストラードズド橋	
	サスペンデッド型式	連続型式	ラーメン型式
岩盤支持の場合	2.47	1.76	1.08
弾性支持の場合	2.82	1.80	1.09

3.3 断面力比較

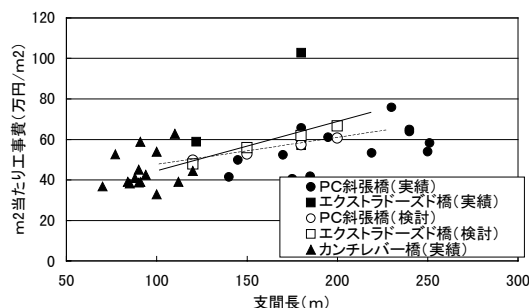
表-1、2に支間150mで岩盤(種地盤)と弾性地盤(種地盤)、A地区におけるP C 斜張橋とエクストラードズド橋の1次の固有周期および断面力が示されている。地震力に影響を与える1次の固有周期はP C 斜張橋で2.5~2.8sec、エクストラードズド橋で1.1~1.8secと前者が長周期となっている。橋脚付根の曲げモーメントは、P C 斜張橋の方が79~86%と小さく、特に水平力は31~38%と非常に小さくなり、工事費にかなり影響を与える事が判る。これは、サスペンデッド型式による構造減衰効果によるものと考えられる。

4. 工事費比較

カンチレバー橋、エクストラードズド橋およびP C 斜張橋の上部工工事費の実績と今回の試設計による工事費をプロットしたものを図-2に示す。図より、エクストラードズド橋とP C 斜張橋の経済支間の境はL=150m程度となっていることが判る。また、L=150mで検討した結果、上下部工工事費はエクストラードズド橋を1.0としてP C 斜張橋は、岩盤の直接基礎の場合0.84、弾性基礎の場合0.80となり、基礎工の工事費を含めるとP C 斜張橋の方がさらに安価になることが判った。

5. まとめ

P C カンチレバー橋、P C 斜張橋、エクストラードズド橋の3形式について、支間100~200mで検討した結果、上部工工事費の経済性の境はエクストラードズド橋と斜張橋ではほぼL=150m程度であることが明らかとなった。また、下部工の地盤橋脚高等の条件によっても異なるが、種地盤の鋼管矢板基礎で検討した場合でもサスペンデッド型式の斜張橋が主桁重量軽減と斜材による構造減衰効果によって、基礎工事費が30%程度安価となり、上下部構造全体の評価で支間長150m以上の領域では斜張橋が有利であることが明らかになった。また、エクストラードズド橋はスパン80~150m程度の領域で、カンチレバー橋と比較して桁高を大幅に低減できるため、景観性も含めて優れた構造形式であると思われる。



図—2 支間長と上部工工事費の関係