

(12) PC斜版付箱桁橋の構造特性について

阪神高速道路公団		北沢 正彦
阪神高速道路公団	正会員○	幸左 賢二
東京建設コンサルタント	正会員	郡 政人
新構造技術	正会員	若狭 忠雄

1. はじめに

斜版付箱桁橋(以下斜版橋と呼ぶ)は通常の箱桁橋に対し、斜材のケーブルをコンクリートで被覆しPC部材として剛性を増した構造である。斜材を有することから、斜張橋の特殊工法とも考えられ、主桁高を低くすることが可能である。また部材をコンクリートで被覆することにより、1) 斜材が腐食から防護できる。2) PC部材となりケーブルの応力変動が小さく、ケーブルの疲労問題が少ない。3) 全体剛性が増すことから変形量が小さくなり安定性を増す、などの長所を持っている。このような長所にもかかわらず、世界的にみても数例しか施工実績がないことから斜版橋についての明確な設計及び解析手法は確立されていないと考えられる。そこで現在計画中の3径間連続桁(75+140+70m)を対象に主要部材断面力を照査するとともに、耐荷性状・クリープ特性について基本的な考え方を明らかにした。

2. 斜版形状としての特色

(1) 主桁解析

橋長285m(75+140+70m)の3径間連続橋をモデルとして断面力の照査を実施した。なお、主塔高・斜版取付長・斜版取付位置をパラメータとした必要鋼材量算出解析により主塔高は10m、斜版取付位置30m、斜版取付長20mと仮定した。橋軸方向解析により得られた断面力を図-1に示すが、主桁高は中間支点3.5m、側径間部2.5mとなり、通常の箱桁橋での中間支点高8.0mに比べて大幅に桁高を縮小することができる。また、中間支点上における曲げモーメントは死荷重時において約10,000t・m程度作用し、支配的となる。しかしながら、斜版のトラス効果および斜版張力による軸力が約7,000t作用し、37kg/cm²程度の圧縮応力が働く。したがって、曲げによる引張応力-60kg/cm²に対して60%程度が軸力により相殺できる。中央径間部では曲げモーメントが約5,000t・mと比較的小さいが、斜版のトラス効果による軸力が作用しないため、必要鋼材量が比較的多くなる。

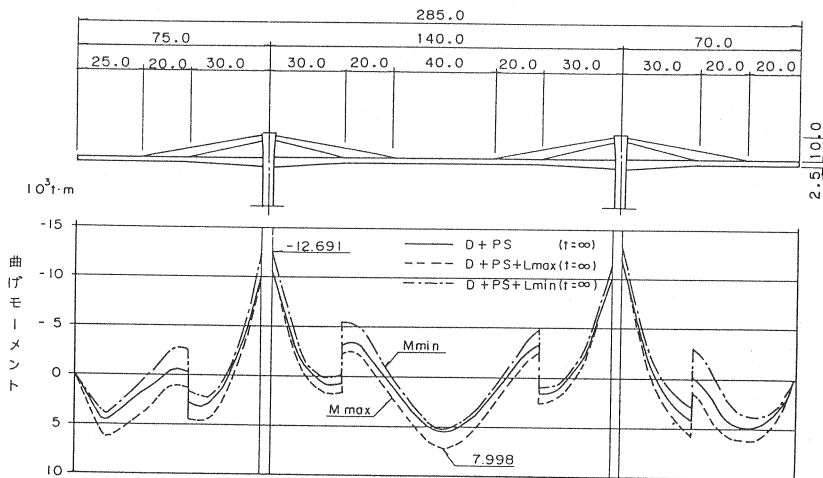


図-1 主桁曲げモーメント

(2) 斜版解析

橋軸方向での斜版曲げモーメントを図-2に示すが、断面力は主塔結合部が主桁結合部に比べて大きい値となる。さらに、主塔側部材断面(150×80cm)は主桁側部材断面(350×50cm)に比べて小さいことから、作用応力度が大きくなり、構造上留意すべき断面となる。

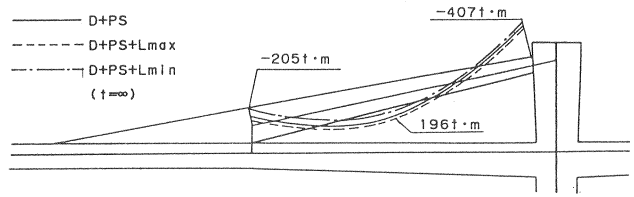


図-2 斜版曲げモーメント t·m

この主塔部応力度を図-3に示すが活荷重時の軸力による引張応力度は30kg/cm²であり、これから計算されるケーブルの応力変動は3kg/mm²と一般斜張橋部の15kg/mm²程度と比べて著しく小さい値となり、応力疲労問題に対しては非常に有利な構造であることがわかる。斜材ケーブルは斜版コンクリート打設後の設計荷重に対して720T型ケーブル(27S15.2)を使用した場合4本程度必要となる。

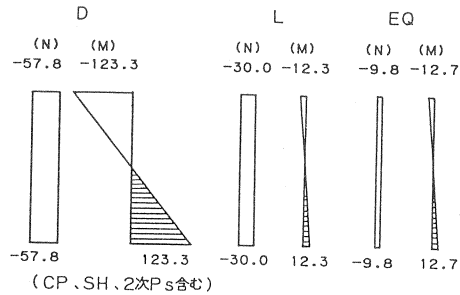


図-3 斜版主塔部応力度 kg/cm²

3. 全体系耐荷力解析

斜版橋全体としての耐荷力特性を簡易に調べるために、各断面における破壊抵抗モーメントを求め、設計荷重に対してどの程度の安全度を保有しているかを照査した。すなわち、主要断面についての設計荷重レベルにおけるモーメント・軸力を求め、次に設計軸力を一定とした場合の抵抗モーメントと設計モーメントの比を求めて安全度の目安とした。表-1に示すように、主桁の断面中央および斜版取付部で安全度が4.1程度と比較的小さくなるが、特に斜版主塔取付部で安全度が3.0程度と小さくなり、もっともクリティカルであることがわかる。

表-1 部材安全度一覧表

部材番号	α	β	
主桁	①	20.6	4.3
	②	18.8	4.4
	③	11.3	4.1
	④	14.3	7.1
	⑤	11.9	4.1
斜版	A	19.7	3.0
	B	26.4	3.3
	C	79.4	9.3
	D	29.3	13.1

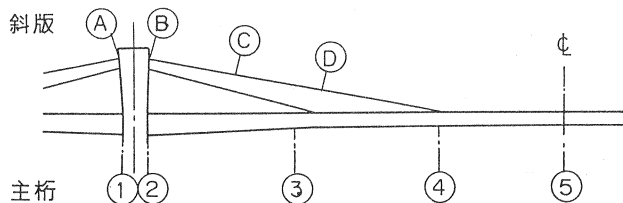
$$D + \alpha L = MR$$

$$\beta (D + L) = MR$$

MR : 破壊抵抗曲げモーメント

D : 死荷重による外力

L : 活荷重による外力



4. 斜版主塔結合部耐力解析

主桁の施工に伴う各部材の応力支持機構を表-2に、施工順序を図-4に示す。ここで特徴的な事項は、主桁自重および打設時の斜版自重は、主桁およびケーブルで受け持ち、その後の橋面工および活荷重は主桁・ケーブルと斜版コンクリートで受け持っていることである。そこで、道路橋示方書に基づくPC鋼線およびコンクリートの応力ひずみ関係を用いて、斜版主塔結合部における軸力・モーメント分布を求めた。

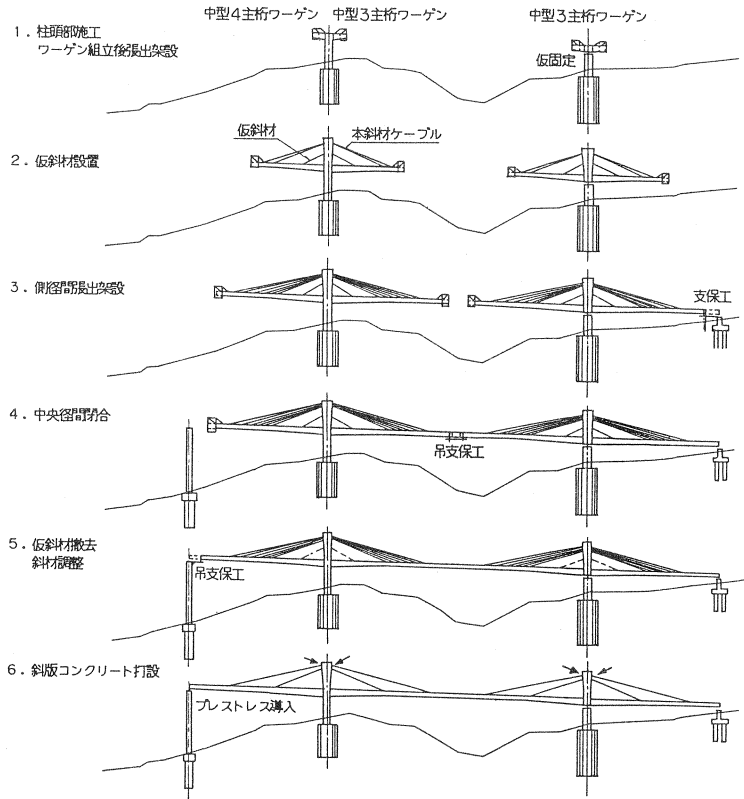


図-4 施工順序図

表-2 各部材の支持機構

施工ステップ	各荷重	各部材		
		主桁	ケーブル (架設時の8本)	斜版コンクリート (緊急用ケーブル 4本を含む)
1	柱頭部から斜版取付部までの主桁自重	○		
2~5	斜版取付部 ~ 側径間(中間径間)主桁自重	○	○	
6~	斜版自重 斜版プレストレス導入前	○	○	
	斜版自重 斜版プレストレス導入後			○
	橋面工	○		○
	活荷重	○		○

軸力-モーメントの曲線としては次の3ケースについて検討した。

ケース1：PC鋼材はプレストレス導入用の4本とした場合（外力は斜版自重と斜版打設後の橋面工・活荷重）

ケース2：PC鋼材をプレストレス導入用の4本と初期ひずみを与えた8本のケーブルをあわせた計12本とした場合（斜吊張出用ケーブルの応力余裕を加味したもので、外力はケース1に斜吊張出時の主桁自重による発生軸力を加算したもの。）

ケース3：PC鋼材12本によりプレストレスを導入した場合（外力は全荷重として、斜材張力・主桁自重による斜材発生軸力・斜版自重・橋面工・活荷重）

荷重増加曲線としては、1) $D + \alpha L$ ：設計死荷重を一定とし、設計活荷重の何倍まで耐力があるかの照査
 2) $\beta (D + L)$ ：設計荷重の何倍まで耐力があるかの照査、の2ケースについて検討した。その結果を図-5および図-6に示す。ケース1とケース2とではケース2の耐力が大きいが、この差は架設張出用ケーブルが $0.6\sigma_{pu}$ から $0.93\sigma_{pu}$ に至るまでの軸力1,900tの強度が付加されていることによる。また、ケース3は種類の異なる斜材を全て同様に扱うために、実際の耐力とは大きく異なると考えられる。完成時までの荷重が設計値どおりであれば、その後の外力に対する破壊耐力はケース2で表わされると考えられるが、 $D + \alpha L$ の場合 $\alpha = 11.0$ 、 $\beta (D + L)$ の場合 $\beta = 3.0$ 付近で破壊することとなり、終局抵抗モーメント照査値1.7 ($D + L$)を満足しているが、軸引張を生じる領域での $Nu-Mu$ 相関関係について実験的に照査されていないことから、今後の検討課題であるともいえる。

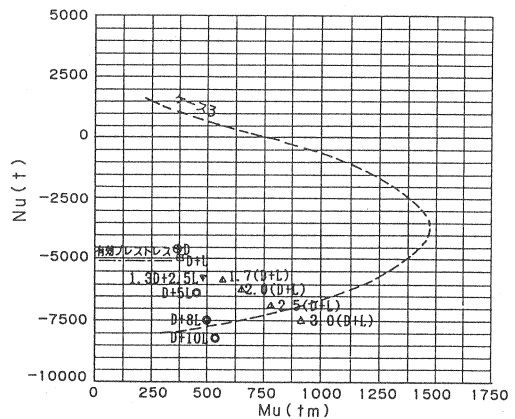
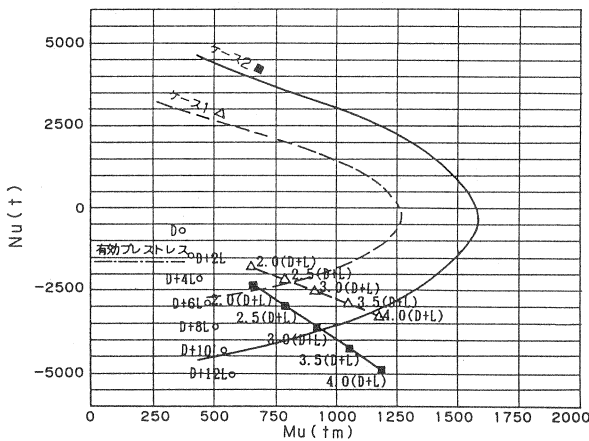


図-5 斜版主塔結合部Nu-Mu相関曲線図(1)

図-6 斜版主塔結合部Nu-Mu相関曲線図(2)

5. クリープ解析

クリープ解析は、Troostの理論とRüsch, Ungwith, Hilsdorfらの理論ならびにSchadeの理論をさらに拡張した解析理論に基づき、変位法により解析した。計算パラメーターとして、クリープにより発生する2次応力に影響を及ぼす代表的な要因としてクリープ材令、架設工法、斜材調整力等が考えられる。ここでは、施工方法、張力調整方法および材令をパラメーターとした次の8ケースについて解析を実施した。

A-1：オールステージング施工とした場合

A-2：張力調整として、吊り点のたわみを0とした場合

B-1：カンチレバー施工し、吊り点のたわみを0とし、端支点で支えた場合

B-2：コンクリートの材令差を考慮した場合

C-1 : B-1 の斜版構造系で、
吊り点のたわみを0まで
引き上げる張力の1/2
として端部の支点で支え
た場合

C-2 : B-1 の斜版構造系で、
吊り点のたわみをオール
ステー징の場合まで
下げて端部の支点で支えた場合

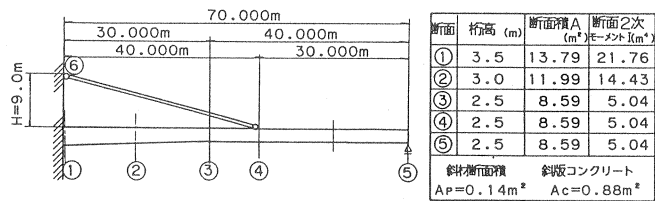


図-7 クリープ解析モデル図

D-1 : C-1 のモデルで、端支点を支えた後、張力調整を行い吊り点位置のたわみを0とした場合

D-2 : C-2 のモデルで、端支点を支えた後、張力調整を行い吊り点位置のたわみを0とした場合

解析モデルを図-7に示すが、斜材はまとめて一部材として、斜版端を固定すると拘束2次モーメントが生じるために斜版両端を単純化したピンとして解析した。解析結果を図-8に示すが結果をまとめると次のようになる。

- 1) A-1の解析結果から明かのように、斜版橋の場合、オールステーディング施工しておけばクリープ2次は生じない。
 - 2) A-2の解析によると、斜版橋の場合、オールステーディング施工の場合より張力を大きくし、吊り点のたわみを0とするまで引き上げればクリープ2次が生じ、ゆるむ。
 - 3) B-1とB-2の解析結果の比較により、材令差がクリープ2次に与える影響は非常に小さい。
 - 4) カンチレバー架設して、端支点で支える場合のクリープ2次は、端支点でのクリープ2次反力の影響が大きい。即ち、カンチレバー施工の構造系と完成系の構造系が異なるためのクリープ2次である。また、斜版の影響としては、架設時斜材の吊り点のたわみを0となるまで引き上げると引き上げすぎとなり、この場合のクリープ2次は斜材がゆるむ傾向となる。
 - 5) 架設系として斜材を1回調整するC-1とC-2の比較では、クリープ2次はC-1の方が小さく斜材を2回調整するD-1とD-2の比較においてもD-1の方が小さい。これは、C-1、D-1の場合のクリープ2次は、斜版がゆるむ現象であり、C-2、D-2のクリープ2次は、ほとんどが支点の2次反力であると考えられる。
 - 6) C-1とD-1の対比及びC-2とD-2の対比においては、初期モーメントにかなりの差があるにもかかわらずクリープ2次は同じとなっている。
- 以上のことから、クリープ2次は理論値とコンクリートの品質との誤差があることから、極力小さくすることが好ましい。したがって、本構造系においてはC-1とC-2の中間点に調整することが望ましいと考えられる。

6.まとめ

本解析結果をまとめると以下のようになる。

- 1) スパン長285m(75+140+70m)の3径間連続橋の断面力照査によると、主桁および斜版に作用する荷重は死荷重が支配的であり、活荷重の影響は小さい。
- 2) 斜版橋に対する簡易耐力解析によると、斜版主塔取付部で安全度が小さくなり、最もクリティカルな断面となる。
- 3) 斜版主塔取付部についての終局抵抗モーメントは $\beta(D+L)$ の場合 $\beta=3.0$ 付近となり、照査値1.7を満足しているが軸引張を生じることから、今後さらに検討する必要がある。
- 4) クリープ解析によると、緊張力の調整方法としては吊り点のたわみを0まで引き上げる張力の1/2として

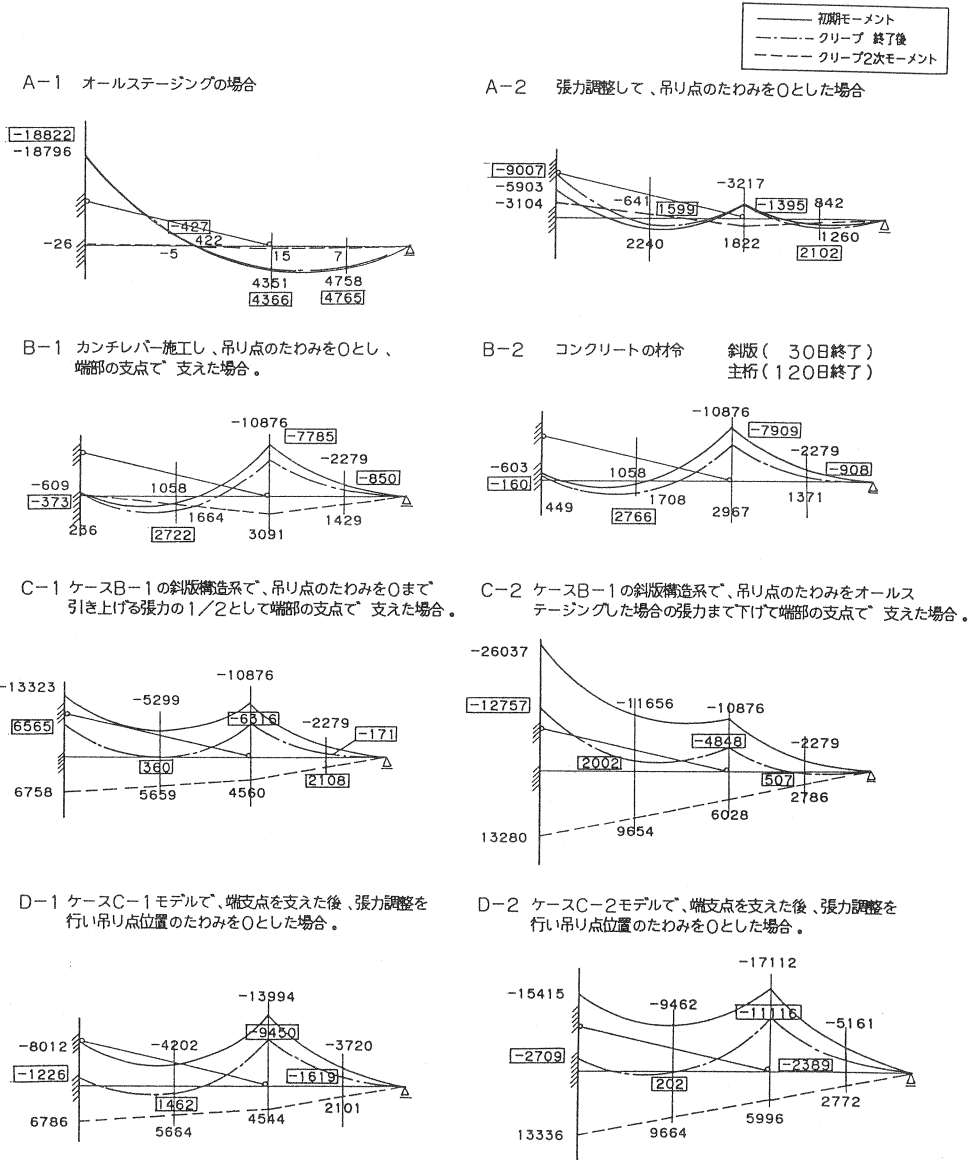


図-8 クリープ解析結果

端部の支点で支える方法と、吊り点のたわみをオールステージングの場合まで下げて端部の支点で支える方法の中間点付近が望ましいと考えられる。

さいごに、本稿をまとめるにあたって貴重な助言を頂きました'阪神高速道路技術審議会(藤井 学 主査)'の各委員に深く謝意を表します。

参考文献；

- 1) 石橋、竹内、大庭：P C斜版橋の設計について 第28回プレストレストコンクリート技術研究発表会講演概要集
- 2) 池田、成井、多久和、上阪：'パ-シャルプレストレス'によるP C橋の紹介(下) 橋梁と基礎1981,11