

(114) 木曽川橋・揖斐川橋におけるキャンチレバー架設時の検討

日本道路公団 名古屋建設局 四日市工事事務所 所長 小松 秀樹
 日本道路公団 名古屋建設局 構造技術課 藤田 真実
 第二名神高速道路 木曽川橋東工事共同企業体 正会員 佐伯 信昭
 第二名神高速道路 木曽川橋東工事共同企業体 正会員 ○神谷 裕司

1. はじめに

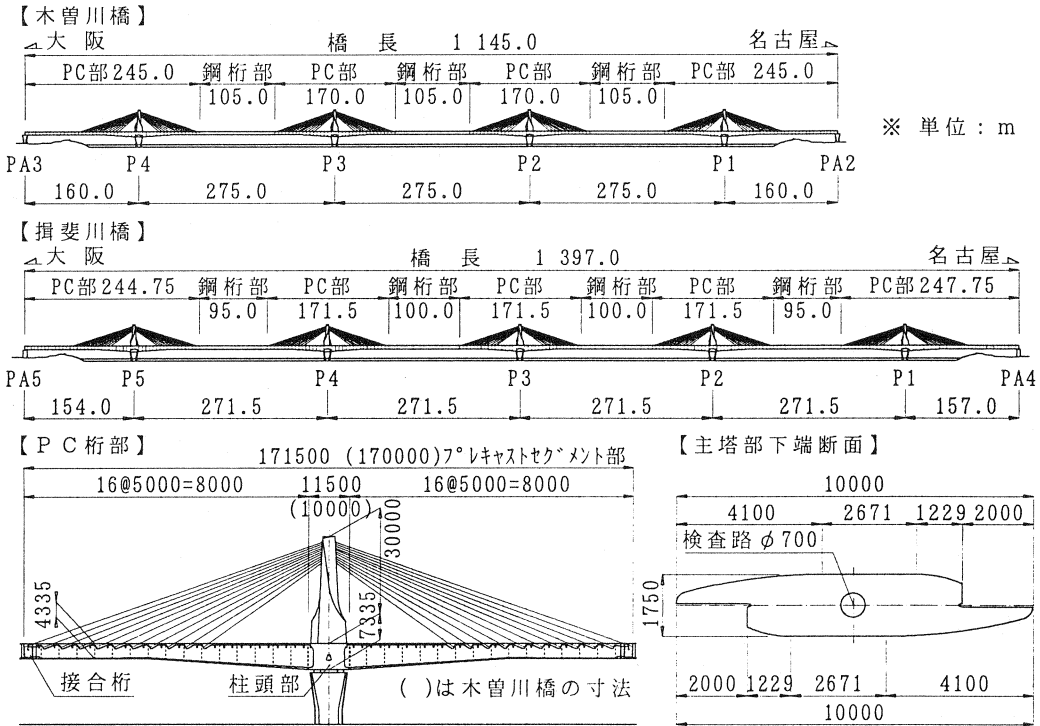
木曽川橋・揖斐川橋は、それぞれ橋長1145.0m、1397.0m、幅員33.0mの側径間を除く各支間中央部に約100mの鋼桁を有する5径間連続と6径間連続のPC・鋼複合エクストラードズド橋である。PC桁は、世界でも有数となる大断面プレキャストセグメント工法で製作し、架橋地点まで海上運搬してキャンチレバー架設を行うものであるが、1面吊りであるため横方向も含め、その補強方法が課題となるところである。また、鋼桁はPC桁架設完了後、大ブロックを海上から一括吊り上げ架設を行う計画となっている。このため鋼桁吊り上げ時の橋脚に発生するアンバランスモーメントへの対処もポイントとなっている。本報告は、その詳細設計業務のうち各施工段階における架設中の斜ケーブル張力の変動を中心に設計検討結果について述べるものである。

2. 橋梁概要

両橋の橋梁概要は以下の表-1の通りである。また、全体図・断面図は図-1に示すものとする。

表-1 橋梁諸元

	揖斐川橋	木曽川橋
① 路線名	第二名神高速道路	同左
② 道路区分	第1種2級	同左
③ 構造形式	PC・鋼複合6径間連続 エクストラードズド箱桁橋	PC・鋼複合5径間連続 エクストラードズド箱桁橋
④ 橋長	1397.000m	1145.000m
⑤ 支間	152.0m + 4 @ 271.5m + 155.5m	158.5m + 3 @ 275.0m + 158.5m
⑥ 有効幅員	2 @ 14.000 = 28.000m ~ 19.986 + 19.858 = 39.844m	2 @ 14.000 = 28.000m
⑦ 活荷重	B活荷重	同左
⑧ 斜角	90° 00' 00"	同左
⑨ 横断勾配	2.5% ← → 2.5%	2.5% ← → 2.5% ~ 2.925% ← → 2.925%
⑩ 縦断勾配	0.5% ← → 0.5%	同左
⑪ 舗装	アスファルト舗装 t=80mm	同左
⑫ 環境区分	箱桁内 ; 一般の環境 箱桁外面 ; 腐食性環境 (コンクリート標準示方書による区分)	同左



【主桁断面図】

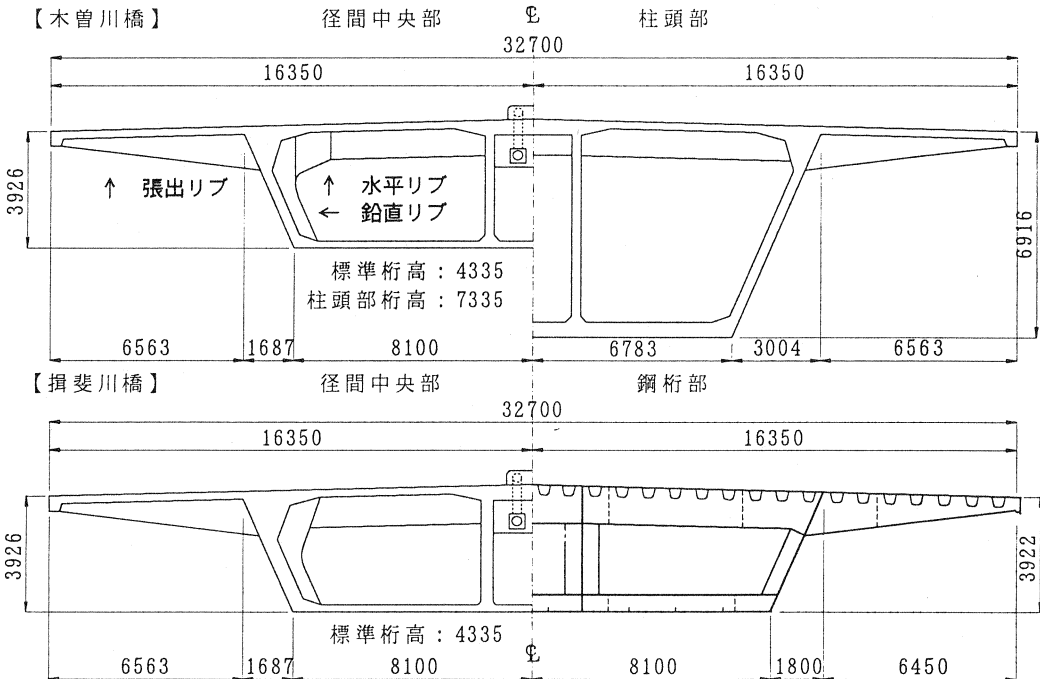


図-1 全体図・断面図

表-2 限界状態の区分

		使用限界状態			架設時					
		引張応力発生限界	ひび割れ発生限界	ひび割れ幅限界	根	拠	引張応力発生限界	ひび割れ発生限界	ひび割れ幅限界	
主桁 (主方向)	曲げ対して	○			軸方向鉄筋が連続して配置していないため 過載荷荷重が床版に局部的に作用した場合の照査 曲げに対してひび割れを許容しないため			○		
	継目部の過載荷重時 せん断及びねじりに対して		○						○	
主桁 (横方向)	上床版・リブ上面		○		輪荷重を直接受ける部材であるため、耐久性に配慮し、ひび割れを許容しない 外気に接する部材であることに配慮する				○	
	リブ下面(張出床版部)		○						○	
	“(箱桁内部)			○	ひび割れが部材の耐久性や構造上においても問題がないと判断できるため 外気に接する部材であることに配慮する					○
	ウェブ		○						○	
	下床版		○		”				○	

3. キャンチレバー架設時の検討

3-1. 検討条件

PC桁部の設計に関する諸規定は、基本的に道路橋示方書に準拠しているが、ここでは状態の区分を適切に考慮できる限界状態設計法を主に取り入れて、各種検討事項に反映させている。したがって、架設時主方向の曲げに対する限界状態の区分としては、セグメント接合用の接着剤が完全硬化に至っていないPC鋼材緊張直後においてもセグメント継目部で引張応力発生限界に達しないこととしている。また、架設中のせん断力に対する検討では、セグメント継目部でのせん断キヤが所定のせん断伝達耐力を確保しているかを照査している。さらに架設時横方向の検討では、各部位に表-2に示す状態の区分を設けることとしている。

3-2. 主方向の検討

a) 検討手順

架設時主方向の検討は、斜ケーブルの架設に伴う構造系の変化を考慮するため、またセグメント継目部での発生応力度を照査するため、各セグメントの架設順序を逐次、計算上で再現して行った。図-2は、木曾川橋を例にしてセグメント継目部が引張応力発生限界に最も近づく段階(図中のStep1)と斜ケーブル緊張時(Step4)のタイミング、加えて解析上のスケルトンモデルを示すものである。この計算に用いた解析モデル図は、主桁部材の図心線変化による影響と道路線形からくる縦断勾配による影響を共に加味して設定している。主桁側斜ケーブル定着点と主桁図心線のずれに対しては、鉛直剛部材(仮想部材)を設けて結合

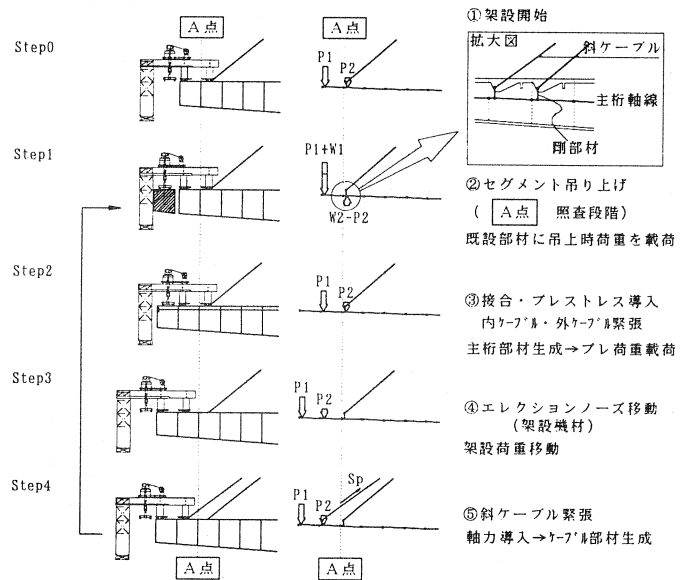


図-2 架設ステップ図

させることにした。P C鋼材に内・外ケーブルを併用しているが、架設時および使用限界状態においては外ケーブルを部材として評価せず、内力載荷法により計算を行った。ただし、終局限界状態の検討で外ケーブルを部材として評価したモデルで材料および幾何学的非線形性を考慮した解析により、別途その安全性の確認をしている。また、架設荷重の載荷方法は、架設時セグメント継目部のせん断伝達耐力の照査を行うため、荷重に作用長を掛けて算出するモーメント荷重での載荷ではなく、エレクトリオンノーズの荷重載荷位置に直接、集中荷重で載荷することとした。

木曾川橋・揖斐川橋の両橋ともに広幅員一面吊りの断面形状を採用しているため、斜ケーブルによるプレストレスの伝達状態とそれぞれ2つの中ウェブ・外ウェブに作用するせん断力の分担率についても局部的なF E M解析を行って、次のような検討結果を得ている。

- ①斜ケーブルによる軸力の分布性状は、ほぼ線形的に定着点より橋軸方向に約15mで断面全体に伝達されたと見なすことができる。
- ②斜ケーブルによる曲げモーメントは、斜ケーブル定着点よりほぼ完全に導入された張力による曲げモーメントが発生している。
- ③せん断力に関する各ウェブの負担率は、ほぼウェブ厚比(※1)に比例した割合となっている。

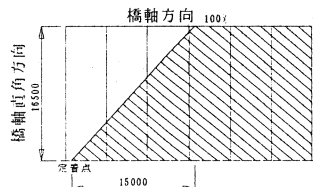


図-3 有効分布長

(※1) $bw/\sum bw = \text{着目ウェブ厚 } bw / \text{全ウェブ厚の総和}$

したがって、設計検討では3セグメント分の15mを有効分布長(図-3)として考慮するものとしたが、変位法による平面骨組み解析ではこの影響を直接的に断面力として算出する事ができないため、主桁応力度を計算する段階で評価するものとした。せん断力の負担率は、③に示すように各ウェブに対して偏りの小さいことがわかったため、単純にウェブ厚の差による負担率として取扱った。

また、斜ケーブルは下から上に全12段を同じ鋼材容量のケーブルで配置しているが、その引張応力度の制限値は、使用限界状態で $0.6 f_{pu} (= 1204 \text{ t f})$ としている。そこで初期導入張力は、緊張後の張力増加・変動荷重作用時も含めて $0.6 f_{pu}$ を越えないように設定した。いずれの斜ケーブルにおいても初期張力導入時よりも新設セグメント吊上げ時をピークにして張力が減少していることがわかる(図-4参照)。このように各段階の発生応力度の変動に関しては、プレストレス導入直後から各架設状態で鋼材張力の変動値を見ることで照査を行った。初期張力導入時と使用限界状態の最終的な斜ケーブル張力を図-5に示す。図の中心が柱頭部(中間支点)で左右に12段分を振り分けて表記してある。この図-5から、柱頭部(中間支点)に近い斜ケーブルの張力は、使用限界状態で 200 t f 程度減少している。しかしながら、この斜ケーブルに対する再緊張の計画はなされていない。それはセグメントの架設が進み、いくつかの主桁部材を接合した後で

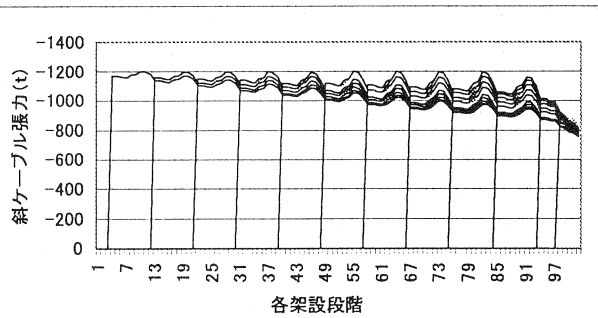


図-4 架設時斜ケーブル張力履歴表

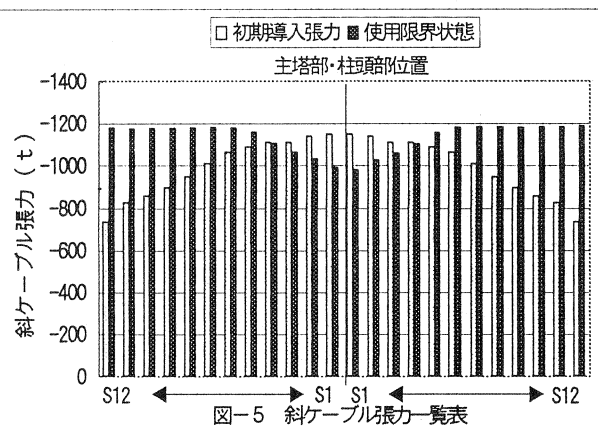


図-5 斜ケーブル張力一覧表

は、張力の減少した斜ケーブルを再緊張すると、中間支点上には正の曲げモーメントが得られるものの、主桁側の斜ケーブル着点付近には負の曲げモーメントが発生して、本来、負の曲げモーメントを打消すための斜ケーブルに張力を導入する意味が薄れるためである。また、柱頭部から5本目(S5)以降の斜ケーブル張力については、初期張力導入時より使用限界状態の方が上回っており、これ以上張力を導入することができない。

従来の斜張橋タイプであるならば、主桁剛性が低いことから斜材の張力を適宜、調整しながら施工しなければならず、このように張力が減少したり増加した場合には、時期を見て再緊張もしくは張力解放を行わなければならないところであるが、本橋のようなエクストラード形式の場合、張力の解放を含め再緊張を行う必要がないものと考えられる。

3-3. 横方向の検討

a) 解析方法

横方向の検討は、セグメントのリブ形状やウェブ形状をほぼ忠実に再現できる3次元ソリッドモデルによるFEM解析を中心に行った。このFEM解析では、図-6で示すようにセグメントの対称性を考慮して、半断面でのモデルを主方向でも行った様な順次セグメントを追加生成していくキャンチレバー架設の施工段階を考慮した逐次解析で行った。つまり、各段階に部材生成のあと自重→内・外ケーブルによるプレストレス導入→斜ケーブル緊張を繰り返し、セグメントに発生した各荷重による応力度を重ね合わせていくものである。斜ケーブルによるプレストレス導入の方法は、斜ケーブル部材を生成せずに、外力により初期導入張力と既設斜ケーブルへの影響張力を評価した。この解析によって得られた応力度に、横方向P C鋼材によるプレストレス・橋面荷重・活荷重を加算し、最終的な横方向の応力度として部材の設計に用いている。なお、各部位の「限界状態の区分」は、表-2の主桁(横方向)に示す通りとした。また、架設時の検討としてこのモデルを利用し、架設荷重を載荷して検討を行った。

境界条件：橋軸直角方向拘束
(断面对称性による半断面モデル)
拘束条件：柱頭部張出床版部→橋軸方向拘束その他自由
柱頭部上記以外 →全方向完全拘束
16seg先端 →全方向自由

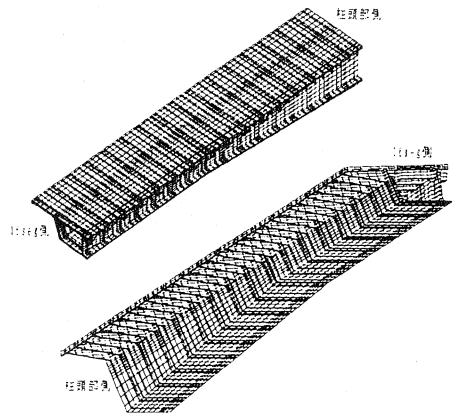


図-6 FEM解析モデル図

b) 解析結果の概要

これらのFEM解析によって、リブの配置範囲および形状寸法・必要鉄筋量・横方向補強P C鋼材量が決定されている。さらに、木曾川橋では各橋脚をはさんで左右の6, 9, 12セグメント位置に中間隔壁を設けることとした。これは、1面吊り構造の横方向補強が目的で設置されるものであるが、9セグメントの隔壁については桁高変化点でもあり、下床版に作用している圧縮力による上揚力を押さえる役割も持っている。図-7は、隔壁をそれぞれ1箇所と3箇所に配置した場合の主桁リブ位置での発生応力度を示すものである。図-7によれば、着目点における発生応力度の推移から中間隔壁が有効に機能していると考えられる。

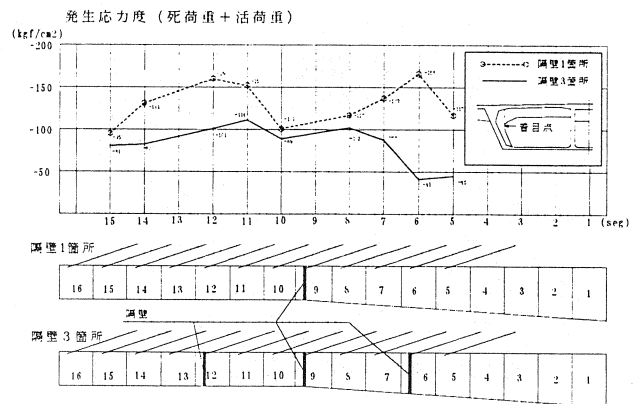


図-7 リブ位置の要素応力度

4. 鋼桁架設時の計画

中央径間部の鋼桁は、長さ約100m、重量約2000tもの大ブロックである。P C桁部のキャンチレバ一架設完了後に、この海上運搬された鋼桁は、P C桁部の先端部に設置された吊上げ装置により、一括架設で施工する計画である。また、鋼桁の閉合は張出を完了したP C桁部の先端に接合部と呼ばれるコンクリートと鋼床版箱桁の複合セグメントの鋼桁側に高力ボルトにて連結されるものである。しかしながら、この鋼桁大ブロックを架設する際、P C桁部を介して橋脚にアンバランスモーメントが発生する。これに対してカウンターを載荷してアンバランスの低減を図るように計画している。

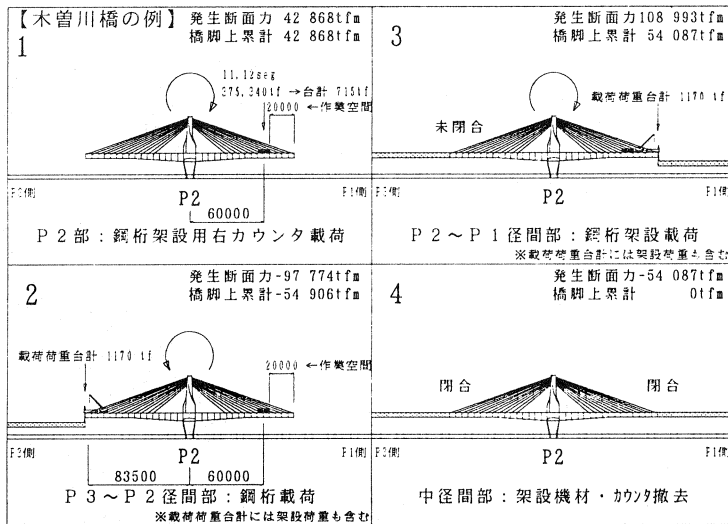
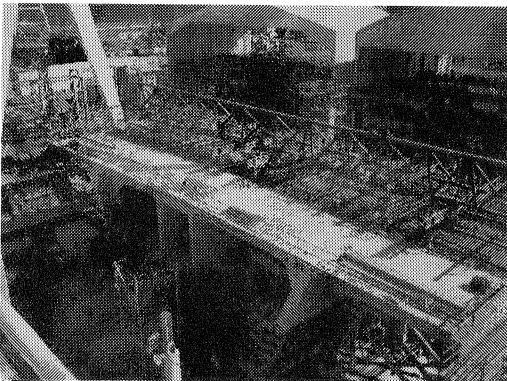


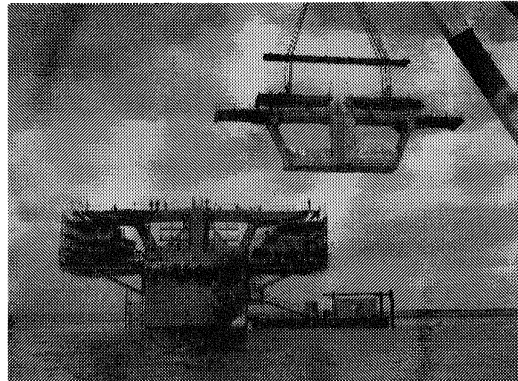
図-8 鋼桁架設計画

5. おわりに

1999年7月現在、本工事は現況写真にもある様にセグメント製作と海上部架設の両作業がよいよ最盛期を迎えようとしている。本報告は、木曽川橋・揖斐川橋の架設時検討を中心に行ったものであるが、その他にも多数の検討報告がなされている。これらとあわせて参考にして頂ければ幸いである。最後に、これら両橋の検討報告にあたり多大なるご指導、ご協力を頂いた関係各位に謝意を表する次第であります。



セグメント製作状況



セグメント架設状況

【参考文献】

- 1) 角谷・酒井：木曽川橋・揖斐川橋の計画 — 第二名神高速道路— プレストレストコンクリート(1997.5)
- 2) 小松・中須：木曽川橋・揖斐川橋の設計・施工 — 複合エクストラード橋— プレストレストコンクリート(1999.3)