

鋼橋に適用する省力化項目の検討と考察

高瀬 和男¹⁾ 谷口 利行²⁾ 木場 和義³⁾ 玉田 和也⁴⁾

平成7年10月に建設省より「鋼道路橋設計ガイドライン(案)」が制定されて以来、従来からの鋼橋の構造を簡素化し、製作、架設の効率化を図る省力化橋梁の計画が一般化している。また、それに伴い、鋼橋の「低価格化」についても積算体系が見直され実施された。鋼橋の製作会社としては、この主旨を考慮し生産性および作業効率の向上を考え、省力化できる項目について提案し、かつ、生産設備、製作手順などを見直すことが重要と考える。

本文は、「鋼道路橋設計ガイドライン(案)」を踏まえ、さらに橋梁の形式的特性や架設位置の地形的特性を考慮し、適用できると考えられる省力化項目と主な検討内容および結果について報告するものである。

まえがき

近年、さまざまな分野において、技術革新が進んでいる。その中で、特に公共性の高い鋼橋では、本四架橋などを通じて、長大化、巨大化に関して世界をリードする技術力が養われてきたと考えられている。しかし、建設価格の面については、国内世論でも海外との価格差について問題点が指摘されており、技術革新に伴う低価格化が進められてきたとは考えられていない。また、鋼橋の製作現場においては、若手の人材確保が困難となり高齢化が進んでいる。そのため、人手を省き、使用条件に合った合理的な省力化構造の必要性が、現在の主要な問題としてクローズアップされている。

このような鋼橋の「低価格化」、「省力化」の要請に対して、建設省は平成7年10月に「鋼道路橋設計ガイドライン(案)」¹⁾(以下、ガイドラインという)を制定した。同時に、鋼橋積算基準が見直され、従来の橋梁形式別のトン当たり工数積算から、部材数、材片数、溶接延長をパラメータとした工数積算に変更された。これにより橋梁の製作単価は、ガイドラインの適用による材片数や溶接延長の減少に比例して縮小されることになる。つまり、製作工場は適切な作業の効率化を図らなければ、利益の確保が困難になると考えられる。

ガイドラインは、一般的な省力化の構造を示しているもので、考えられる省力化項目の総てが提示されているものではない。したがって、各社が製作・架設を効率的に行うためには、橋梁形式や現場状況および各工場の生産設備を考慮した省力化構造を提案する必要があると考える。

本報告はガイドラインの制定前後に発注された多々羅高架橋(本四公団、平成7年8月発注)、木津橋(JH大阪建設局、平成8年3月発注)の2工事において、ガイドラインより踏み込んだ省力化項目についての検討の内容と結果を示すものである。

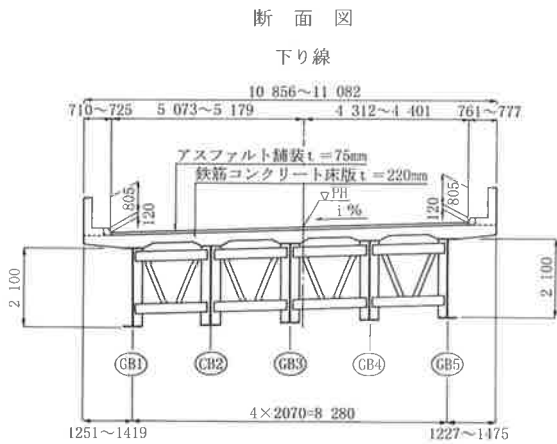
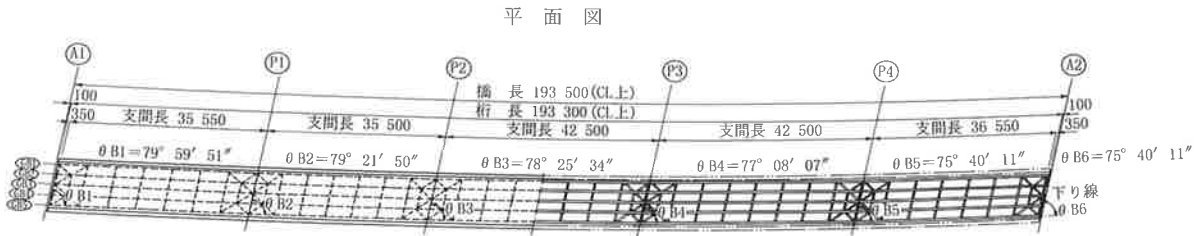
図-1に多々羅高架橋と木津橋の概要図および橋梁諸元を示す。

1. 省力化項目と検討方針

構造を簡素化し、製作、現場架設の省力化を図り、経済的かつ合理的な構造となることを目指して省力化項目を検討した。

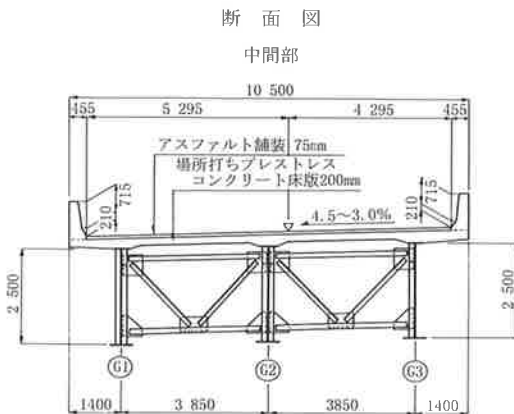
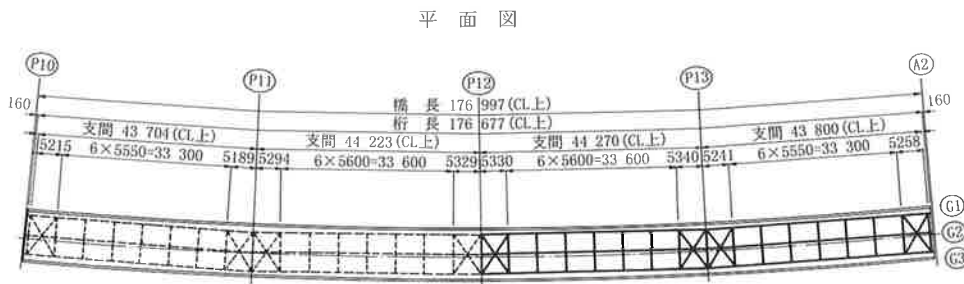
省力化の項目⁵⁾⁻⁸⁾については、計画、設計、製作、架設に区分し、どのような項目があるかを列挙した。その結果を要因分析図として図-2に示す。また、考えられる省力化項目とその概要および、期待される省力化の目的と検討課題を表-1に示す。

1) 大阪設計部設計二課課長 2) 大阪工場橋梁部橋梁技術課副課長 3) 大阪設計部設計二課 4) 大阪設計部設計一課



発注者 日本道路公団大阪建設局
 構造形式 5径間連続非合成鈹桁
 橋長 193.500m (CL上)
 支間割 35.550+35.500+42.500×2+36.550m
 有効幅員 9.250m
 活荷重 B活荷重
 床版 RC床版 t =220mm
 $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$

(a) 木津橋



発注者 本州四国連絡橋公団第3建設局
 構造形式 4径間連続非合成鈹桁
 橋長 177.800m (CL上)
 支間割 43.949+44.451+44.450+43.950m
 有効幅員 9.590m
 活荷重 B活荷重
 床版 PC床版 t =200mm
 $\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$

(b) 多々羅高架橋

図-1 橋梁概要図

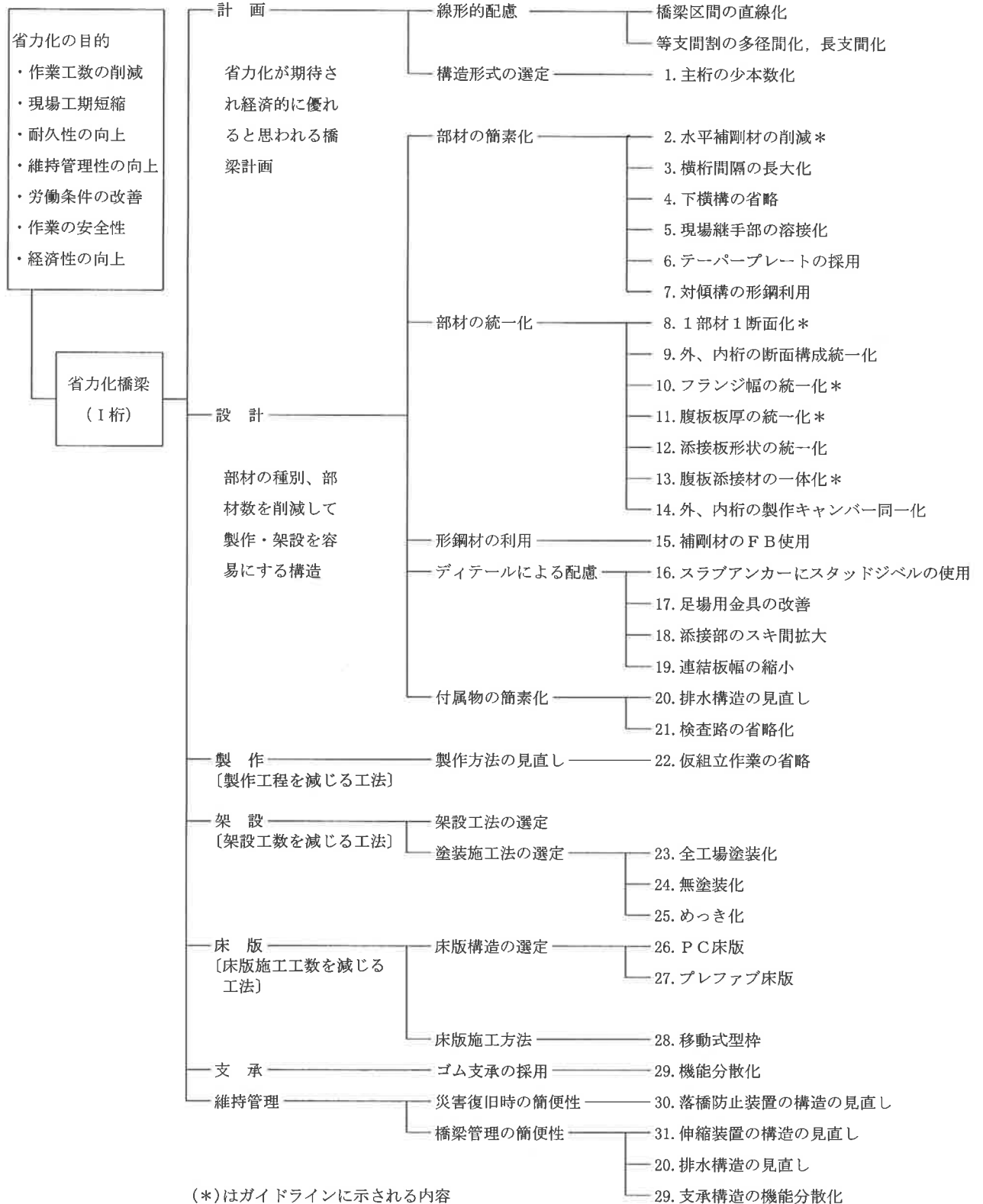

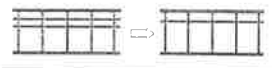
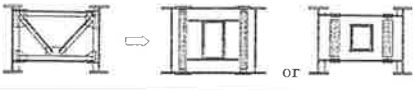
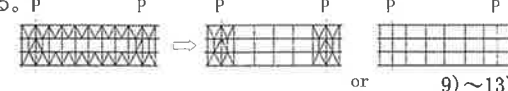

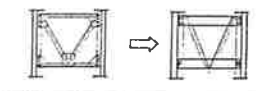





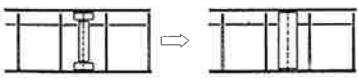




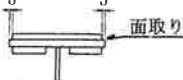

図-2 省力化橋梁の要因分析図

表-1 省力化項目の概要と検討課題 (その1)

部門類	省力化項目	内容(概略図)	目的			適用に対する検討課題(問題点)												
			作業の省力化	現場工期の短縮	耐久性の向上	維持管理性の向上	労働条件の改善	作業の安全性	下部工への影響	設計手法の確認	構造詳細の検討	施工方法の検討	精度管理の手法	維持管理の方法	材料の市場性			
計画	1. 主桁の少本数化	従来の多主桁構造に代わり、2~3主桁の構造とする。 	○	○														
	2. 水平補剛材の削減(ガ)	腹板の増厚により1段配置までとする。ただし、部分的には腹板厚を同一とするために2段も可とする。 	○															
	3. 横桁間隔の長大化	対傾構または横桁の最大間隔は10m程度とする。 	○	○														
	4. 下横構の省略	支点前後のパネルを除いて省略する。または全面省略とする。P P P P P P 	○	○														
	5. 現場継手部の溶接化	(少主桁化に対する構造提案) - 極厚材の連結, PC床版などに対応 ①全断面溶接 ②部分断面溶接	部分全断面部分	○	○													
	6. テーパープレート採用	1部材内の断面変化をテーパプレート採用により簡素化する。 	23)	○														
	7. 対傾構の形鋼利用	対傾構を形鋼の組合せとし, GussPLを省略し, 構造を簡素化する。 		○														
設計	8. 1部材1断面化(ガ)	断面変化は現場継手位置とし, フランジ継手部の板厚差はファイラープレートにて調整する。 	○	○														
	9. 外, 内桁の断面構成同一化	各桁の断面構成を同一とし, 部材の種類を少なくする。	○	○														
	10. フランジ幅の統一化(ガ)	1部材1断面化案に伴い, RC床版の施工性や美観を考慮し全長にわたりフランジ幅を統一して板厚のみで断面を変化させる。 上フランジ 下フランジ 	○	○														
	11. 腹板板厚の統一化(ガ)	板厚変化をせず, 全長にわたり同板厚とする。 	○	○														
	12. 添接板形状の統一化	グルーピング枠を拡大し, 種類を少なくする。	○															

(ガ)は, ガイドラインに示される内容

表-1 省力化項目の概要と検討課題 (その2)

部 分 門 類	省力化項目	内 容 (概 略 図)	目 的						適用に対する検討課題 (問題点)										
			作業の省力化	現場工期の短縮	耐久性の向上	維持管理性の向上	労働条件の改善	作業の安全性	下部工への影響	設計手法の確認	構造詳細の検討	施工方法の検討	精度管理の手法	維持管理の方法	材料の市場性				
設 計	13. 腹板添接材の一体化 (ガ)	モーメントプレートとシアプレートを一括化する。 	○																
	14. 外, 内桁の製作キャンパー同一化	各桁のキャンパーを同一とし, 対傾構 (横桁) の種類を少なくする (骨組み高を同一面となるように配慮する)。 	○															○	
	15. 補剛材の形鋼 (FB) の使用	補剛材に形鋼 (FB) を使用する。	○																
	16. スラブアンカーのスタッドジベルの使用	丸鋼によるズレ止めに替え, スタッドジベルを使用する。 	○																
	17. 足場用金具の改善	取付位置はウェブ面とする。 	○			○		○											
	18. 添接部のスキ間の拡大	主桁添接部のスキ間を 5mm 程度拡大する。 	○																
	19. 連結板幅の縮小	連結板幅をフランジ幅より小さくし, 母材の面取りを全長にわたり実施する。 	○					○											
	20. 排水構造の見直し	地覆形状の変更に伴い, 通水幅を広く確保し, 路面排水により橋脚位置のみに排水柵を設け排水する。よって桁横引き管を設けない。 	○	○		○													
	21. 検査路の省略化	点検用専用車輛などで点検する。	○	○															
	製作方法	22. 仮組立作業の省略	部材の測定データにより出来形を予測する。また, 橋梁全体形状に影響の大きい支点ブロックの部分仮組立を実施する。	○															
架 設 工	23. 工場全塗装化	現場塗装は現場継手部のみとする。 26) ~ 30)	○	○															○
	24. 無塗装化	耐候性鋼材の使用による無塗装化を図る。 31, 32)	○	○		○		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	25. めっき化	めっき桁を採用する。	○	○		○		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
床 版 構 造	26. PC床版の採用	(少主桁化に対する構造提案) - 床版支間長の長大化に対応 16)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	27. プレファブ床版の採用	グレーチング, コンポスラブ, PC合成床版などの適用, プレキャスト壁高欄の適用 16, 18)	○	○															○
	28. 移動式型枠の採用	1ユニットの床版型枠を施工ブロックごとに順次移動させる片押し施工 (鉄筋は予め, 地組にてブロック化する)。 6, 7)	○	○															

(ガ)は, ガイドラインに示される内容

表-1 省力化項目の概要と検討課題（その3）

部門類	省力化項目	内容(概略図)	目的					適用に対する検討課題(問題点)						
			作業の省力化	現場工期の短縮	耐久性の向上	維持管理性の向上	労働条件の改善	作業の安全性	下部工への影響	設計手法の確認	構造詳細の検討	施工方法の検討	精度管理の手法	維持管理の方法
支承	29. 機能の分散化	支圧構造本体部, 移動制限装置部, 浮き上がり防止構造部に構造を分散化し, 構造のメカニズムを明確にして, 全体構造の簡素化を図る。また, 被災後の復旧が容易に行えるように各部の取り替え構造を考慮する。 4)			○	○			○	○	○	○	○	
維持	30. 落橋防止装置の構造の見直し	被災後の復旧工事が容易に行えるように各部の取り替え構造を考慮する。 (例) 橋体と橋台との落橋防止装置の取り合いは, バラベット背面へアンカーを取るのではなく, 橋台前面から補修が可能な構造を考慮する。 4)				○		○	○	○	○	○	○	
管理	31. 伸縮装置の構造の見直し	損傷した場合, 長期にわたる通行止めなどがなく, 維持補修が容易に行えるような構造を考慮する。				○		○	○	○	○	○	○	

この中には、直接製作コストや作業性の効率を向上させるものではないが、維持管理の軽減、震災後の復旧の容易さなども勘案して今回の検討項目に取り入れたものもある。

この省力化項目の中で、

- ①下横構の省略に伴う荷重伝達機能の確認
- ②対傾構の省力化

については、木津橋における検討を示すこととする。また、

- ③主桁本数の選定
- ④支承の機能分散化
- ⑤端部対傾構のコンクリート巻き

については、多々羅高架橋の検討結果を示すこととする。

2. 下横構の省略に関する検討

木津橋は、最大支間長が42.5mの5径間連続非合成I桁橋である。本橋の設計に当たっては、ガイドラインに基づいて主桁の省力化設計を行った。さらに、下横構の省略^{9)~13)}、対傾構の形状変更の検討を行い、製作および架設の省力化構造として提案した。桁配置については、下部工が既に施工中であったために、原則として変更しないものとした。ここでは、下横構省略についての検討の概要を述べる。

木津橋は、路面線形に曲率半径約1200mの曲線を有していることから、主桁が中間支点上で折れた折桁で構成されている。そのため、架設時における主桁の角度設定を目的として、支点部だけに横構を設置し、中間部では省略する部分省略構造を採用した。この部分省略による各部材に対する影響を明らかにし、設計に反映させることを目的として、床版、対傾構、主桁フランジ、横構などの各部材をモデル化した立体FEM解析(使用プログラムMSC/NASTRAN)を行った。

解析の結果、横構省略によって断面力が増加する部材もあるが、いずれも一般的に設計で用いられている慣用計算結果に比べると小さく、横構省略による影響が小さいことが確認できた。このことから、下横構の部分省略は有効な省力化構造であると考えられる。

(1) FEM解析

FEM解析を行う前に、概略検討として全橋を骨組みモデルで表した立体解析を行った。この立体骨組みモデルでは、横構が二つの主桁と共に準箱桁を形成することに着目し、横構の有無を準箱桁としてのねじれ剛性の有無で評価した。この概略検討によって、横構省略の影響がどの部材で大きくなるかを検討した。FEM解析では、この結果を踏まえ、立体骨組みモデルではモデル化でき

なかった床版および主桁腹板，対傾構・横構の各弦材などをモデル化し，より精度の高い検討を目標とした。

FEM解析モデルの作成にあたっては，中央径間部を取り出した単純桁としてモデル化を行った。この際，連続桁を単純桁でモデル化することから，連続桁としてのたわみ挙動に合わせるため，主桁の剛性を補正しモデル化を行った。また，FEM解析の結果と通常の格子解析結果との差を評価するため，FEMモデルと同一剛度のモデルで平面格子解析を行った。ただし，この平面格子解析では，床版の評価は行っていない。

1) 解析モデル (図-3参照)

- ・ 支 間：42.500 m、
単純桁 (中央径間部)
- ・ 線 形：平面曲線，縦断勾配，横断勾配，斜角などは考慮しない。
- ・ 節点数, 要素数：節点数=2004，要素数=3482
- ・ 部材要素：表-2に示す。

解析モデルは，図-4に示すように横構の設置条件によって次の2種類とした。

- ①モデル-1：全橋に横構を設置する。
- ②モデル-2：支点部以外の横構を省略する。

2) 荷 重

荷重載荷ケースは，次の4ケースとした。

図-5に荷重載荷図を示す。

- ①活荷重全載：支間中央に固定荷重として載荷する。

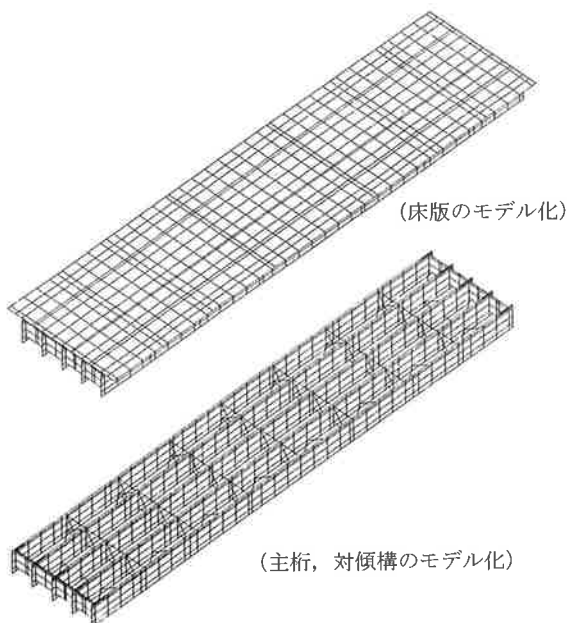


図-3 FEM解析モデル

表-2 部材要素

部 材	要 素	備 考
床 版	シェル	鋼桁と床版は完全合成とする
主桁フランジ	梁	主桁腹板の上下に設置
主 桁 腹 板	シェル	
支点上横桁	腹板：シェル フランジ：梁	
対 傾 構	トラス	
横 構	トラス	

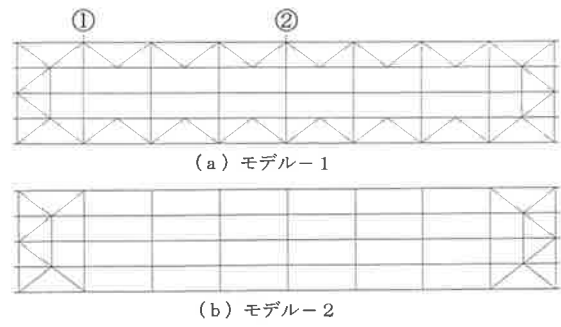


図-4 横構設置条件

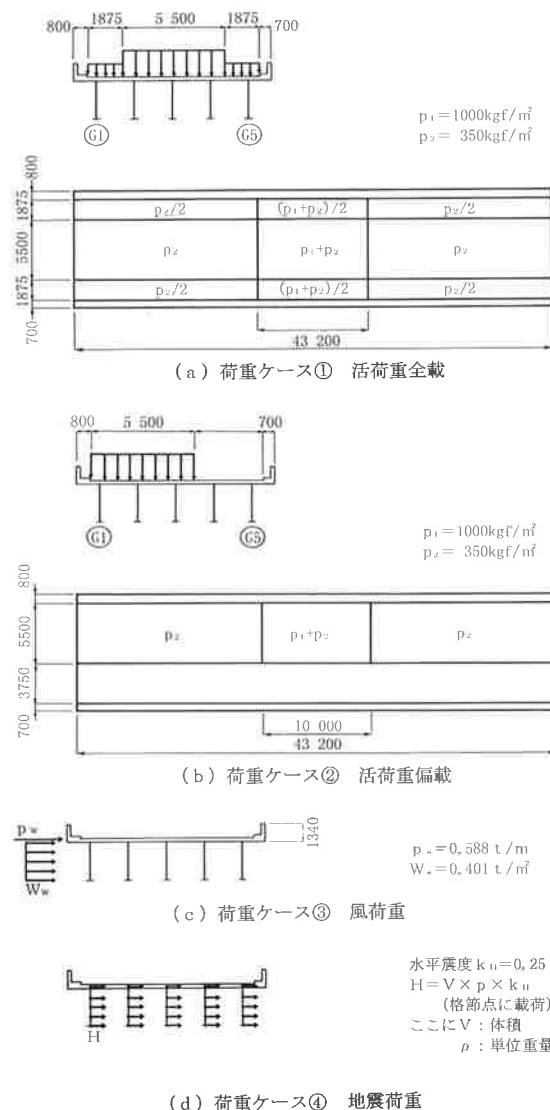


図-5 荷重載荷図

- ②活荷重偏載：偏載状態を強調するためにG1側に主載荷荷重を載荷する。
- ③風荷重：風上側に載荷する。
- ④地震荷重：各格点にその質量分の地震力を載荷する。

(2) 解析結果

1) 変位

主桁支間中央の鉛直変位と水平変位を表-3と図-6に示す。

鉛直変位は、活荷重全載時には横構の有無による差は無く、活荷重偏載時でもその差は非常に少ない。すなわち、鉛直方向(面内)の剛性に対する横構省略による影響は無いと考えられる。また、平面解析による結果に比べると、FEM解析の結果はいずれも小さい。これは、床版の剛性評価の有無によるものと考えられる。

水平変位については、活荷重偏載時に横構の有無による差が大きくなっている。これは、横構の省略による横剛性の低下によって、偏載時の立体的挙動としての横たわみが増加したためと考えられる。しかし、変化量としてはわずか3mm程度である。

横荷重に対しては、地震時に水平変位は最大10mm程度増加している。これも横構省略による横剛性の低下による全体的な変形であり、支間42.5mに対して最大26mmの変形は問題ないと考える。また、後述するように、これらの水平変位の増加に伴って、主桁フランジの面外曲げモーメントが増加するものと考えられる。これについては、4)で検討する。

2) 中間対傾構の断面力

先に行った概略検討では、第一対傾構(図-4の①部)において横構省略の影響が比較的大きかった。この第一対傾構と中央対傾構(図-4の②部)のFEM解析による断面力を表-4と図-7に示す。表-4では、各部材の最大値で比較を行っている。

第一対傾構においては、横構の省略によって下弦材と斜材の軸力が増加している。中央対傾構では、第一対傾構に比べると変化量は小さく、横構の省略によって軸力は減少する傾向がある。

これらは、荷重の伝達経路が、横構の省略によって変化したことを示すものと考えられる。また、断面力の変化量としては小さいことから、横構

表-3 変位の解析結果

(a) 主桁の鉛直変位(支間中央)

荷重ケース①(活荷重全載)

	G1	G2	G3	G4	G5
①モデル-1(mm)	-15.49	-16.21	-16.53	-16.20	-15.46
②モデル-2(mm)	-15.47	-16.26	-16.60	-16.25	-15.44
②-①変化量(mm)	0.02	-0.05	-0.07	-0.05	0.02
比(/①)(%)	0	0	0	0	0
③平面モデル(mm)	-23.79	-27.06	-28.36	-26.81	-23.29
③-②変化量(mm)	-8.32	-10.80	-11.76	-10.56	-7.85

荷重ケース②(活荷重偏載)

	G1	G2	G3	G4	G5
①モデル-1(mm)	-16.26	-14.57	-12.25	-9.44	-6.89
②モデル-2(mm)	-17.48	-15.15	-12.29	-8.92	-5.63
②-①変化量(mm)	-1.22	-0.58	-0.04	0.52	1.26
比(/①)(%)	8	4	0	-6	-18
③平面モデル(mm)	-31.97	-27.22	-20.84	-12.55	-3.54
③-②変化量(mm)	-14.49	-12.07	-8.55	-3.63	-2.09

(b) 主桁の下端の水平変位(支間中央)

(G5からG1向きを正とする)

荷重ケース①(活荷重全載)

	G1	G2	G3	G4	G5
①モデル-1(mm)	-0.09	0.64	0.17	-0.59	-0.11
②モデル-2(mm)	-0.09	0.02	0.15	-0.03	0.09
②-①変化量(mm)	0.00	-0.62	-0.02	0.56	0.20
比(/①)(%)	0	-97	-12	-95	-182

荷重ケース②(活荷重偏載)

	G1	G2	G3	G4	G5
①モデル-1(mm)	-0.95	-1.85	-0.96	-2.71	-0.84
②モデル-2(mm)	-4.04	-4.29	-4.30	-4.33	-3.95
②-①変化量(mm)	-3.09	-2.44	-3.34	-1.62	-3.11
比(/①)(%)	325	132	348	60	370

荷重ケース③(風荷重)

	G1	G2	G3	G4	G5
①モデル-1(mm)	-23.01	-4.30	-6.21	-4.18	-6.04
②モデル-2(mm)	-26.13	-9.62	-9.50	-9.41	-9.15
②-①変化量(mm)	-3.12	-5.32	-3.29	-5.23	-3.11
比(/①)(%)	14	124	53	125	51

荷重ケース④(地震荷重)

	G1	G2	G3	G4	G5
①モデル-1(mm)	-17.05	-12.29	-14.86	-12.29	-17.06
②モデル-2(mm)	-23.57	-22.18	-21.79	-22.18	-23.57
②-①変化量(mm)	-6.52	-9.89	-6.93	-9.89	-6.51
比(/①)(%)	38	80	47	80	38

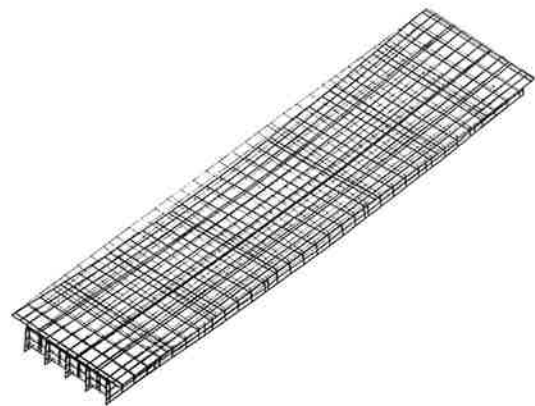
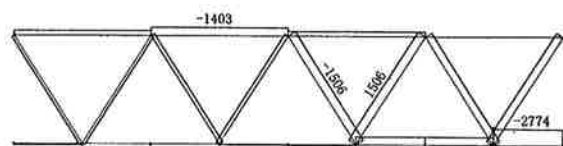


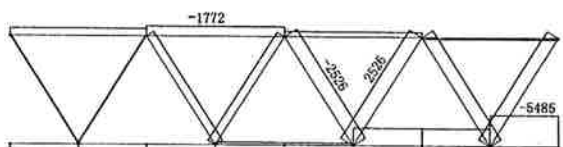
図-6 活荷重偏載時の変形図(モデル-2)

表-4 中間対傾構の部材軸力

	第一対傾構			支間中央対傾構			
	上弦材	斜材	下弦材	上弦材	斜材	下弦材	
荷重①	① モデル-1 (kgf)	-1818	-1557	-1794	-5303	-4385	5759
	② モデル-2 (kgf)	-2147	-1777	-3086	-5651	-6922	4615
	②-① 変化量 (kgf)	-329	-220	-1292	-348	-2537	-1144
	比 (/①) (%)	18	14	72	7	58	-20
荷重②	① モデル-1 (kgf)	-1403	-1506	-2774	-4421	-4586	4995
	② モデル-2 (kgf)	-1772	-2526	-5485	-4207	-3929	4592
	②-① 変化量 (kgf)	-369	-1020	-2711	214	657	-403
	比 (/①) (%)	26	68	98	5	-14	8
荷重③	① モデル-1 (kgf)	-3400	-659	-1947	-4169	-870	-1993
	② モデル-2 (kgf)	-3682	-1360	-3590	-3570	-1113	-2796
	②-① 変化量 (kgf)	-282	-701	-1643	599	-243	-803
	比 (/①) (%)	8	106	84	-14	28	40
荷重④	③ 慣用計算 (kgf)	-6819	-14494	-13637	-6819	-14494	-13637
	比 (②/③) (%)	54	9	26	52	8	21
	① モデル-1 (kgf)	-688	-1460	2715	-1140	-1498	-1848
	② モデル-2 (kgf)	-1291	-3081	6213	-136	-1011	-873
荷重④	②-① 変化量 (kgf)	-603	-1621	3498	1004	487	975
	比 (/①) (%)	88	111	129	-88	-33	-53
	③ 慣用計算 (kgf)	-7636	-18745	-16782	-7636	-18745	-16782
	比 (②/③) (%)	17	16	37	2	5	5



(a) 横構あり (モデル-1)



(b) 横構なし (モデル-2)

図-7 活荷重偏載時の第一対傾構軸力図

から対傾構に伝わる荷重分担は小さいものと考えられる。

慣用計算として示した数字は、通常の設計を行った設計計算書から抜き出したものである。この慣用計算の値に比べると、横構を省略した場合でも、軸力は最大54%でしかない。想定しているモデルはFEM解析と慣用計算で異なるため、このことからすぐに荷重の分担を推定することはできないが、横構省略のために対傾構の断面を慣用計算から修正する必要はない。

3) 横構の断面力

表-5に横構の部材軸力の最大値の比較を示す。横構の軸力は、端パネルで最大値となり、その他の中間パネルでは比較的小さい。また、第一対傾構と同様に、活荷重偏載時および横荷重

表-5 横構の部材軸力

	(kgf)			
	荷重ケース① 活荷重全載	荷重ケース② 活荷重偏載	荷重ケース③ 風荷重	荷重ケース④ 地震荷重
① モデル-1	5252	12339	-9495	-16690
② モデル-2	5051	8952	-6812	-10747
②-①変化量	-201	-3387	2683	5943
比 (/①) (%)	-4	-27	-28	-36
③ 慣用計算	—	—	11631	19912
比 (②/③) (%)	—	—	59	54

作用時に横構省略による変化が大きくなっている。これも、荷重伝達経路が中間部の横構の省略によって変化したために、端パネル横構の軸力が減少したものとする。

また、慣用計算結果(設計計算)に比べると、中間横構省略時の横構軸力は50%以下である。また、横構を省略しない場合でも80%しかない。2)でも述べたとおり、モデルが違うことから、ここで荷重分担を推定することは難しいが、慣用計算で想定している分担と実際の分担とはかなり異なっているものと考えられる。

4) 主桁フランジの断面力

主桁フランジの断面力として面内と面外の曲げモーメントを表-6に示す。

活荷重偏載時および横荷重作用時において、面外曲げモーメントで横構省略による影響が現われている。これは、1)で述べたように、横構省略による横剛性の低下に伴う、フランジの水平変位によるものとする。しかし、応力度の増加は、地震時で80kgf/cm²程度であり、許容応力度の割り増し係数の中に十分含まれる量

表-6 主桁フランジの断面力

(a) 面内曲げモーメント : My (kgf・cm)								
	荷重ケース① 活荷重全載		荷重ケース② 活荷重偏載		荷重ケース③ 風荷重		荷重ケース④ 地震荷重	
	UF	LF	UF	LF	UF	LF	UF	LF
① モデル-1	4421	2262	4721	2456	438	1370	5915	1524
② モデル-2	4472	2262	4806	2720	529	1545	5677	1538
②-①変化量	51	0	85	264	91	175	-238	14
比(/①)(%)	1	0	2	11	21	13	4	1

(b) 面外曲げモーメント : Mz (kgf・cm)				
	荷重ケース① 活荷重全載	荷重ケース② 活荷重偏載	荷重ケース③ 風荷重	荷重ケース④ 地震荷重
	LF	LF	LF	LF
① モデル-1	2600	38690	243641	211821
② モデル-2	1976	121097	260106	376536
②-①変化量	-624	82407	16465	164715
比(/①)(%)	24	213	7	78

である。

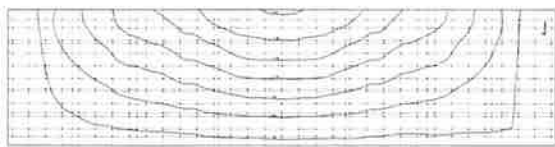
5) 床版の応力度

表-7で、床版に作用する橋軸方向の応力度の最大値を示す。また、活荷重偏載時と地震荷重載荷時の床版の応力度コンター図を図-8に示す。

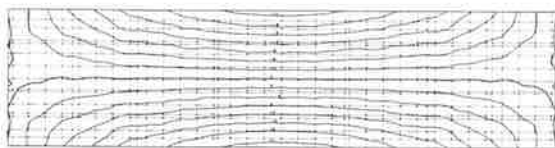
横荷重作用時において、横構省略による影響が若干生じている。しかし応力度の変化量は、地震時でも4kgf/cm²以下の増加でしかなく、設計上問題となるものではない。

表-7 床版の応力度

	(kgf/cm ²)							
	荷重ケース① 活荷重全載		荷重ケース② 活荷重偏載		荷重ケース③ 風荷重		荷重ケース④ 地震荷重	
	引張	圧縮	引張	圧縮	引張	圧縮	引張	圧縮
① モデル-1	0.8	-16.6	0.7	-19.2	3.8	-4.0	19.0	-19.0
② モデル-2	0.7	-16.5	0.8	-21.4	5.4	-5.5	22.5	-22.5
②-①変化量	-0.0	0.0	0.0	-2.2	1.6	-1.5	3.5	-3.5
比(/①)(%)	-4	-0	3	11	42	38	18	18



(a) 活荷重偏載時



(b) 地震荷重時

図-8 床版応力度コンター図 (モデル-2)

(3) 横構の機能についての考察

鋼道路橋設計便覧によると、支間長が25m以下で強固な対傾構がある場合には下横構は省略可能であるが、それ以外の場合では、横構は一般的

に下記の4項目に対して機能するものとしている。ここでは、FEM解析の結果に基づいて、各機能について検討を行う。

1) 地震荷重, 風荷重などの水平荷重の伝達

横構の軸力についての解析結果を見ると、軸力の最大値は横構を設置した場合でも慣用計算の80%程度である。また、端部以外の横構の軸力は小さいことがわかった。

また、表-8に示すように、横構における横荷重の分担率は、横構の省略がない場合で33%以下、部分省略した場合で24%以下でしかない。これらから、水平荷重は横構よりも、床版から端部対傾構によって支点到伝達されるものと考えられる。横構を省略した場合には、水平荷重の伝達経路として床版の分担が増加し、端部の横構の軸力が若干減少している。

表-8 横荷重の分担

		全横荷重 (tf)	支点反力 (tf)	横 構	
				断面力 (tf)	分担率
風 荷 重	①モデル-1	65.2	65.2	21.7	33%
	②モデル-2			15.8	24%
	変化量			-5.9	
	比(/①)(%)			-27	
地 震 荷 重	①モデル-1	306.0	306.0	38.2	12%
	②モデル-2			25.2	8%
	変化量			-13.0	
	比(/①)(%)			-34	

2) 架設時の位置決め

一般的に横構は、架設時の位置決め機能を有している。しかし、桁が直線の場合には、架設時に適切な間隔で対傾構が配置されていれば、位置決めとしては問題はない。しかし、本橋のように中間支点上で桁が折れている場合は、架設時の桁の角度設定のために、支点付近の横構が必要である。

3) 下フランジの横振れ防止

前述したように、下フランジの面外変形は、横構を省略した場合でも、約10mmと微増でしかなかった。このことより、一般的に配置されている対傾構でも、橋体の面外変形に対して十分に抵抗できると考えられる。すなわち、対傾構の弦材が、主桁下フランジの横振れ防止の機能を有していると考えられる。

4) 主桁と共同して準箱桁を形成

横構は、主桁と共同して橋梁全体のねじれ剛性を高めていると考えられる。解析結果によると、横構の省略によって活荷重偏載時の主桁間

表-9 下横構省略についての検討結果の比較

省力化項目	横構の部分省略		横構の部分省略+ 横桁間隔の長大化	横構の全面省略			横構の全面省略 (実橋載荷実験)	横鋼の部分省略 (木津橋における検討結果)		
調査文献	横河技報 (No. 21 1992. 1)		横河技報 (No. 23 1994. 1)	橋梁と基礎(橋建) (89-9, 93-11)	横河技報 (No. 21 1992. 1)		横河技報 (No. 21 1992. 1)	今回の解析結果		
パラメータ	主桁本数	4本	4本	4本	4本	4本	3本	5本		
	床版支間	2.6m	2.6m	2.6m	2.9m	2.6m	2.6m	2.65m	2.07m	
	横桁間隔	5.0m	5.0m	10.0m	6.0m	5.0m	5.0m	4.8m	5.3m	
	横桁構造	分配横桁+中間対傾構		分配横桁	分配横桁+中間対傾構			分配対傾構	分配対傾構	
	支間長	40m	30m	41.5m	36m	40m	30m	28.7m	42.5m	
	床版形式	RC 23cm	RC 23cm	PC 21cm	RC 23cm	RC 23cm	RC 23cm	RC 17cm	RC 22cm	
	備考			栃木川橋				実橋載荷実験		
鉛直荷重 (立体解析) (横構の余剰効果)	主桁	/			橋体のねじり剛性低下 たわみ、応力度増加(90kgf/cm ²)従来設計でOK			影響なし	影響なし	
	端対傾構				影響なし					
	中間対傾構				影響なし			影響なし	影響なし	
	床版				影響なし				影響なし	
	反力				影響なし					
備考		下横構は2次部材の中でも、最も強く主構作用の影響を受ける。端、中間対傾構の2倍以上の応力が生じる			交通荷重で横構に軸力が発生する(偏載ケースで3.3t)		活荷重偏載時に横剛性の低下から、わずかに水平変位が発生する(約3mm)。			
横荷重 (立体解析)	主桁	ほとんど影響なし	横桁間隔が大きいため下フランジ水平曲げ応力が発生=350kgf/cm ² (許容応力度割増し内)	下フランジ水平曲げ応力増加。50kgf/cm ² (従来設計でOK)				地震時に下フランジで水平曲げ応力が増加する。80kgf/cm ² (従来設計OK)		
	端対傾構	ほとんど影響なし		部材応力増加 50kgf/cm ² (従来設計でOK)						
	中間対傾構	特に端部中間対傾構の部材力が増加(2倍程度) 全横荷重の20%を負担		部材応力増加 90kgf/cm ² (従来設計でOK)				第一対傾構の部材力が大きくなるが、慣用計算に比べると半分程度。		
	端パネル横構	全横荷重の25%程度を伝達(縦桁の適用支間長内)						全横荷重の24%を負担。省略しない場合でも33%程度しかない。		
	床版	影響なし(応力の変化なし)		影響なし(応力が3kgf/cm ² 程度変化) 床版と上フランジ間のせん断力は増加(40%)するが、従来設計でOK。				地震時に応力度がわずかに増加する(4kgf/cm ²)が設計上、問題ない。		
架設時 (有限変位)	主桁の座屈	/		外桁の耐荷力は、殆ど変化なし。中桁の耐荷力は、2割減少。(下横構による中間支持の有無の影響)						
架設時 (線形固有値)	主桁の座屈			横構無→全パネル座屈 2.998(1次) 横構有→外桁横ねじれ 3.024(1次) 横構無→全体座屈 7.043(14次) 外桁の座査長は横構の有無に関係なく、ほぼ対傾構間隔。						
振動性状 (固有振動解析)	たわみ振動 ねじり振動	/		影響なし 影響なし(固有周期が20%程度大きくなる)						
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> 特に端部中間対傾構の荷重伝達に対し、設計上の配慮が必要。 中間パネルの横構は横荷重抵抗部材としての有効度が小さい。 			<ul style="list-style-type: none"> 実設計においては、横構の荷重分担は50%とした。(従来設計) フランジの水平曲げに対して特別な配慮はしていない。 横構は、疲労対策として主桁下フランジにボルトで接合。 			<ul style="list-style-type: none"> 鉛直荷重に対しては、たわみ挙動主桁応力度に若干変化あるものの通常の格子解析で問題ない。 水平荷重に対しては、従来の設計法で問題ない。 端対傾構は、全横荷重の伝達を十分考慮して設計する必要がある。 		<ul style="list-style-type: none"> 横構、中間対傾構の余剰効果は、通常の荷重に対しては少ない。 荷重偏載時の荷重分担が10%程度改善される。 これらの部材省略による影響は殆どない。 	

変位差と、横方向の変位が増加している。これらから、荷重分配効果とねじれの剛性が減少したと考えられる。しかし、変位量としては小さいことから、剛性の変化はあまり大きくないと考えられる。

以上の考察に対して、木津橋における横構部分省略について検討した結果と文献で調査した結果の比較を表-9に示す。

3. 対傾構の省力化

従来の対傾構は、山形鋼やCT形鋼をガセットに溶接して、トラス形状を構成している。製作の方法は、溶接による変形を防ぐために、定盤の上でトラス形状を拘束して組み立てている。木津橋ではそれらの問題点を解消すべく、表-10のTYPE E-3に示すような溶接を用いない対傾構を提案し採用した。

部材の連結に高力ボルトを使用するため、上下弦材は溝形鋼とし、従来の山形鋼やCT形鋼に比べて、全体の鋼重は増加した。しかし、ガセットを用いないことから材片数を少なくすることができ、また、溶接作業も無いことから溶接のひずみも無く、精度の良いものが製作できた。

対傾構の製作費から比較検討した結果、従来タ

イプで設計した場合で、

- ①上下弦材の断面が大きくなる場合（例えば、山形鋼では、L 130 × 130 × 12 以上）
- ②斜材がCT形鋼で偏心を防ぐためガセットに割り込んで溶接する場合

では省力タイプが有効である。

4. 主桁の少本数化

多々羅高架橋は基本設計段階では、4主桁(主桁間隔2.75m)の4径間連続非合成I桁であった。本橋では、全体の部材数、材片数を大幅に削減し、工場製作、架設工程の省力化を図る目的より、少本数化(3主桁：主桁間隔3.75m)について検討を進めた。

2主桁から4主桁の概要の比較検討結果を表-11に示す。この場合、3主桁については、鉄筋コンクリート床版(以下RC床版と示す)とプレストレストコンクリート床版(以下PC床版と示す)の2タイプについて検討を行った。これにより、全体工費としては3主桁でも優位性はあるとして、床版構造および3主桁設計を行い、詳細数量の算定を行った。この場合の省力化項目はガイドラインに示される項目と下横構の省略とした。

表-10 中間対傾構の形状選定

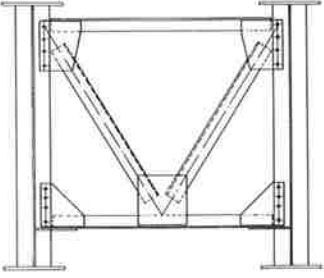
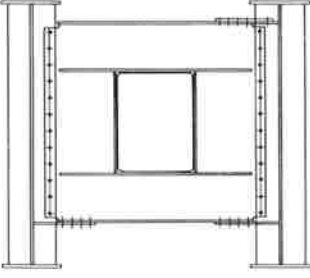
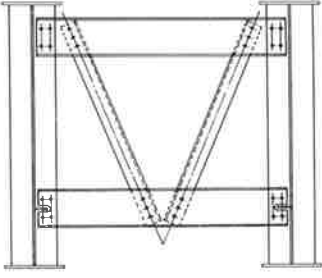
	TYPE-1 (従来タイプ)	TYPE-2 (横桁タイプ)	TYPE-3 (省力化タイプ)
概略図			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・日本道路公団の標準図集に記載されている構造(従来どおりの形) <p>概算重量：148kgf 材片数：9</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・建設省で用いている分配横桁構造 ・材片数が最も多い ・自動I桁ラインでの製造が可能となる <p>概算重量：345kgf 材片数：10</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・材片数が最も少ない ・加工が非常に容易(切断、穿孔のみ) <p>概算重量：232kgf 材片数：4</p>
問題点	<ul style="list-style-type: none"> ・材片数が多い ・形状管理が困難である 	<ul style="list-style-type: none"> ・マンホールの設置が必要となる(内桁部) ・腹板が高いと、水平補剛材が必要となる(tw=9mm Hw=1300mm程度が限界となる) ・重量および材片数が最も多い ・高力ボルト本数が最も多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・形鋼のサイズが決まっているため、形状(ボルト配置など)が制限される ・軸線がずれる

表-11 主桁本数の異なる構造形式の概略比較 (従来設計)

項目	4 主桁			3 主桁			2 主桁					
	RC床版			RC床版			PC床版					
断面												
主桁1本当り最大モーメント	中間 1096.0tf・m 中間支点-1236.8tf・m			中間 1333.0tf・m 中間支点-1551.0tf・m			中間 1209.0tf・m 中間支点-1369.0tf・m			中間 1867.0tf・m 中間支点-2178.0tf・m		
使用鋼材	SS400, SM490Y			SS400, SM490Y			SS400, SM490Y			SS400, SM490Y		
主桁最大フランジ断面	U-Flg 680×32 L-Flg 710×36			U-Flg 720×38 L-Flg 750×42			U-Flg 700×34 L-Flg 760×36			U-Flg 760×40 L-Flg 850×42		
ウェブ断面	WEB 2300×11(一般部 2300×11)			WEB 2300×14(一般部 2300×11)			WEB 2300×13(一般部 2300×11)			WEB 2700×19(一般部 2700×11)		
床版	RC床版 t = 230mm			RC床版 t = 280mm			PC床版 t = 200mm			PC床版 t = 320mm		
活荷重たわみ	$\delta_L = 65.9\text{mm}$ (1/677)			$\delta_L = 62.3\text{mm}$ (1/716)			$\delta_L = 67.1\text{mm}$ (1/665)			$\delta_L = 52.1\text{mm}$ (1/856)		
床版コンクリート体積	493.9m ³			576.6m ³			427.6m ³			640.7m ³		
橋面積	1596.1m ²			1596.1m ²			1596.1m ²			1596.1m ²		
全鋼重	344.3ton (1.00)			325.2ton (0.95)			307.1ton (0.89)			284.6ton (0.83)		
全工費	100			97			98			103		

(1) 床版構造

3主桁構造とした場合、主桁間隔が3.75mと大きく、道路橋示方書に示されたRC床版の望ましい床版支間3mを超える。よって本橋においては、橋軸直角方向にプレストレスを導入したPC版を採用することにした^{14)~18)}。

PC床版には、工場にて予めプレストレスを導入したPC版を製作し、現地で敷設するプレキャストPC床版と、現場でコンクリートを打設し、所定の強度発生後、コンクリートにプレストレスを導入する現場打ちPC床版の2種類が考えられる。その構造概要を図-9に示す。

プレキャストPC床版は、昭和40年代初めから現時点まで50橋ほどの実績があり、その主要な目的は、

- ①敷設された床版上に直接重機が乗り、逐次床版架設が可能なこと
- ②床版足場が不要なこと
- ③品質が安定していること

などから、施工の安全性が高く、現場での省力化を図り、急速施工を進める上で有利な点である。しかし、橋軸方向のPC版の一体化、PC床版と鋼桁上フランジの接合部の確実性など、現在研究開発が進められている不明確な点もある。

従来のRC床版とPC床版の床版工事費を比較した場合、現場打ちPC床版では約30%、プレキャストPC床版では約67%増加することがわかった。よって、市街地など急速な施工を必要とする場合以外では、プレキャストPC床版は全体工費において割高となる傾向がある。

一方、場所打ちPC床版の基本的構造および施工方法は、今までのRC床版と変わらず、現場での省力化を進める工法とは言い難い。よって、工費の面から考慮して、従来のRC床版の適用範囲の拡大を図ることも今後、興味深い検討課題であると思われる。

(2) 主桁の少本数化

4主桁RC床版と3主桁現場打ちPC床版の鋼重、大型材片数、溶接延長および全体工事費の比較を図-10に示す。以下に特長的な内容を示す。

省力化設計を進めると鋼重は9~15%程度増加するが、大型材片数は約60%削減、また、溶接延長は約半減することがわかった。

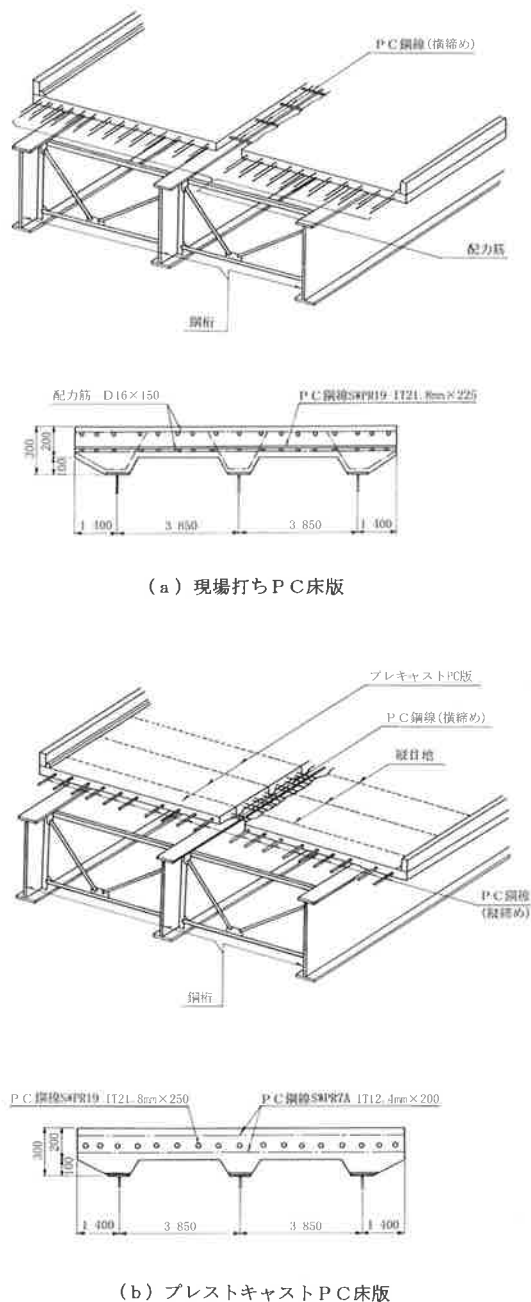
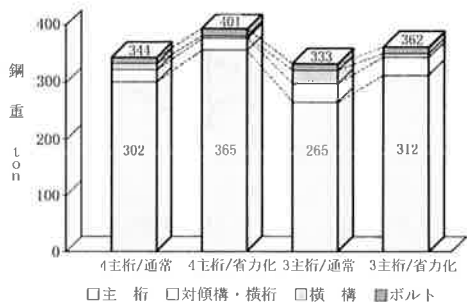


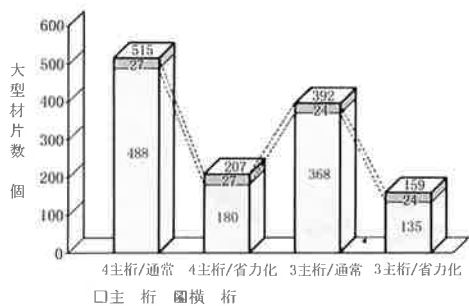
図-9 床版の構造概要図

工事費の内容別では、鋼桁製作費が省力化により10%程度削減され、全体工費としては6%以上低減されることがわかった。しかし、4主桁と3主桁省力化を比較した結果、製作費では26%の削減を図ることが可能であるが、PC床版の工事費の増加により、全体では7%程度の削減に止まり予想したほどの費用効果は得られなかった。しかし、材片数は大幅に削減され、製作の効率化を図ることになる。また、架設においては、橋梁下が急峻な地形で地組立が難しく単材架設となる

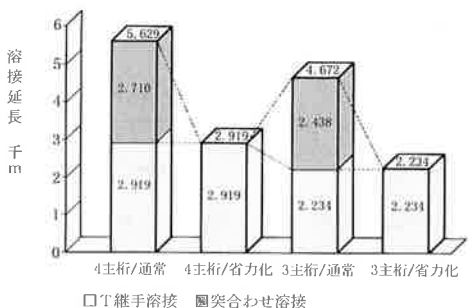
ため、主桁の本数の減少による架設ブロックの削減は高所作業の軽減を図ることになることなどから、多々羅高架橋では3主桁構造を採用した。



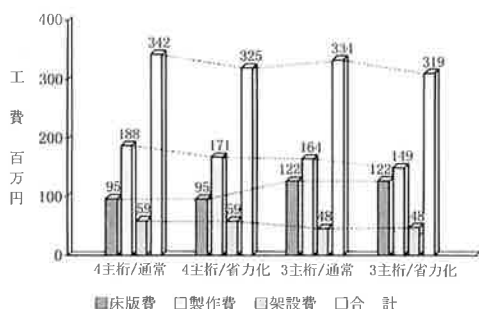
(a) 鋼重



(b) 大型材片数



(c) 溶接延長



(d) 工費比較

図-10 工事費に関する諸量の比較

5. 支承の機能分散化

多々羅高架橋は基本設計時から水平反力分散ゴム支承を使用しており、橋軸方向には多脚弾性固定方式で設計が行われている。詳細設計では基本設計の水平反力分散システムはそのまま踏襲するものとし、支承の構造詳細について次の2点に配慮して支承の設計を行った。

- ①省力化設計 : 主に製作コストの低減
- ②復旧仕様の準用⁴⁾ : 機能分散, 補修時の施工性

表-12に基本設計と詳細設計の支承構造とその比較を示す。

表-12 支承の構造比較

	基本設計	詳細設計	
橋脚への設置方法	コンクリー埋め込みタイプ	ベースプレートタイプ	損傷時の補修を考慮
橋軸方向移動制限	サイドブロックタイプ	橋軸方向には取り付けない	水平反力分散支承のため
橋軸直角方向移動制限	サイドブロックタイプ	支点上横桁に水平沓タイプを取り付ける	損傷時の補修を考慮(復旧仕様)
上揚力	サイドブロックタイプ	ゴム本体で抵抗	同上

(1) 製作コストの削減手法

ゴム支承の製作コスト削減を考えるに当たり、下記の要因を挙げる事ができる。

- ①ゴム部本体の製作コスト
(製作と品質・性能試験)
- ②上下沓, その他金属製品の製作コスト

水平反力分散システムを採用している以上、ゴム部本体についての品質および性能に関する全量試験を省略することは難しい。ただし、支承の標準形状を定め、その種類を限定すれば、加硫用モールドの標準化による製作コストの削減は可能であると考える。また、ゴム加硫時の品質管理と水

平せん断による性能試験結果との相関関係がある程度把握できるようになれば、性能試験を一部省略してコスト削減に結びつけることも可能であろう。本橋では、現状からゴム部本体の平面寸法をできるだけ統一し、加硫用のモールドの種類を少なくする程度の設計的配慮しかできなかった。

上沓、下沓は基本設計ではサイドブロック付きの鋳鋼製を採用しており、鋳込んだ後、全面機械加工による仕上げを必要とする構造であった。これに対し詳細設計時には、上・下沓に鋼板を使用し全面的機械加工を省略し、せん断キー孔の切削のみとして製作コストの低減を図った。

(2) 機能の分散化

橋軸直角方向の移動制限と上揚力に抵抗するサイドブロックについては、兵庫県南部地震の被害調査からもわかるように、被災時には損傷が激しくその復旧も困難である。そのため復旧仕様では、「それぞれの機能を分担する装置を別途設置することが望ましい。」とあり、本橋ではサイドブロックは省略することとして支承周りをすっきりさせた。その代わりに、図-11に示すように横桁に水平沓タイプの橋軸直角方向の移動制限装置を設け、上揚力はゴム本体で抵抗する構造とした。また、下部工への取付は、ゴム沓本体の損傷時の取り替え時の施工性に配慮し、ベースプレート方式を採用した。

以上の検討において、製作コストの低減と基本設計では考慮していなかった復旧仕様の準用によるグレードアップ費が相殺する結果になった。

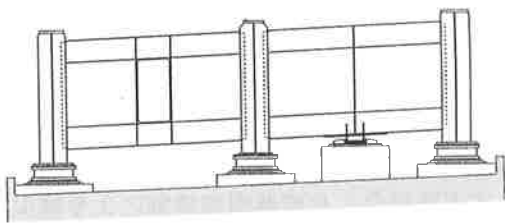


図-11 橋軸直角方向の移動制限装置

6. 端対傾構のコンクリート巻き構造

橋台に取り付ける落橋防止装置には、復旧時に交通規制を必要とするパラペット裏面を使用するタイプは好ましくないため、橋台前面に設置するタイプを考える必要がある。その一例としては、

「復旧仕様の準用に関する参考資料」で示されている下部工に落橋防止壁を設置するタイプがある。

また、これとは別に伸縮装置の衝撃音などを緩和することができる構造として、端対傾構をコンクリートで巻く構造が採用されている例がある²⁾。従来は、ひび割れ防止用鉄筋を入れるものの、構造部材的な作用を期待するものではなかった。

多々羅高架橋では橋台での落橋防止装置として、図-12に示すように端対傾構のコンクリート巻き構造に水平方向の主鉄筋を配置し、地震時にはアンカーバーからの力に抵抗するRC梁として機能する構造とした。また同時に、橋軸直角方向の移動制限の機能も持たせることとした。さらに、維持補修の面から橋台まわりの空間確保の要請もあり、図に示す構造を提案した。

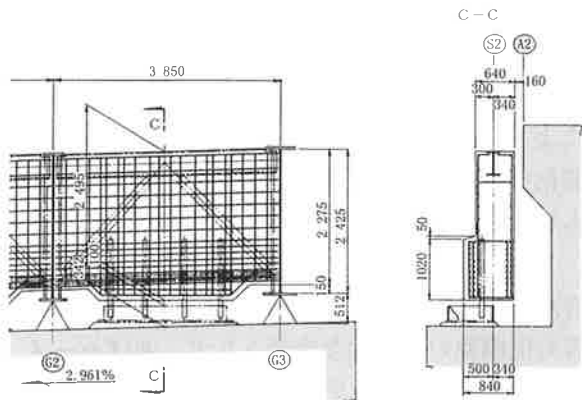


図-12 コンクリート巻き構造

7. 今後の問題点と考え方

多々羅高架橋は、下部工が未着手の状態で上部工の検討が進められたが、木津橋は下部工が施工中の段階で上部工の検討となったため、主桁本数、支承などについては検討が進められなかった。

対象とした2橋において、適用結果が分かれたものもあった。これは製作工場（多々羅高架橋：大阪工場、木津橋：富津工場）の設備、作業員のなれによるものであった。

次に、省力化の検討の上で今回の検討に含まれなかったもの、また、さらに検討を進める余地のある事項について以下に示す。

(1) プレキャストPC床版の適用

PC床版については、今回は主に経済性より、

現場打ちとした。また、プレキャスト化を図るための技術的課題としては、橋軸方向のPC床版の一体化の確認が挙げられる。従来は敷設したPC版の橋軸方向にPCケーブルを配置して、プレストレスを導入して締め付ける方法が、一般的に採用されている。この方法は、いままでに多くの床版一体化の確認実験が行われており実績がある。しかし、橋軸方向のプレストレスの導入はPC床版の工事費の約15%を占め、これが経済性のネックとなっている。これに対して、現在RCループ継手の開発が進められている。RCループ継手の信頼性については、JHにおいて各種の試験により確認されつつあり、さらに、現在、(社)日本橋梁建設協会においても研究中であり、今後より経済的な床版のプレキャスト化が図られると考えられる。

プレキャストPC床版は、4. で述べたように、施工性、安全性において大きなメリットがある。また、床版打設用足場が不要となることから、足場による損傷が多い塗装についても鋼桁の全工場塗装化が可能になると考えられ、さらなる工期短縮も可能になると推察される^{29),30)}。

(2) テーパープレートの適用

省力化橋梁の合理的な設計として、曲げモーメントの変化に対応したテーパープレートを用い、一断面一部材化を図る方法がある。

テーパープレートをフランジに用いた場合の強度評価方法および設計法については、現在大阪大学にて載荷実験などが行われており、その研究成果が待たれるところである²⁹⁾。

また、検討当時、生産されるテーパープレートの板厚変化が一方のみであることから、適用される範囲が限定され、多々羅高架橋において、等厚のフランジを使用した場合と比較しても優位差は認められなかった。しかし、今後設計法の確立が進められ、また、現時点ではフランジ橋軸方向の中央部の板厚が薄い、または、厚いテーパープレートの開発が進められているため、その適用範囲が広がり鋼重削減に有利な方法となると考えられる。

(3) 継手の設計

省力化設計の一般的な引張フランジの断面は、継手部のボルトの孔引き照査により決定されてい

る。しかし、この部位の設計は諸外国に比べ、過大な安全性を有しており、すべり係数0.4について見直しても良いのではないかと、また、終局状態を考慮した純断面積の算出方法を再検討する必要があるのではないか、との議論もある^{24),25)}。これらは継手の設計法の考え方を大きく変え、全体の鋼重に大きな影響を与えると考えられる。

あとがき

当然のことではあるが、省力化の項目を取り上げる上で、どれだけ工場および現場の施工性の効率化を図ることができたかを調査することが重要である。しかし、今回はそこまで踏み込んだ議論はできなかった。現状の新積算体系であれば、部材数、大型材片数、溶接延長の減少は価格の低下になるが、メーカーとしては省力化の実施においてさらなる生産性の向上を目指して、生産ラインの整備、手順の確立を進めることが重要である。その上で民間からの省力化の提案を進めることは、今後の橋梁技術の中でも重要な要素の一つと考えられることから、本報告をまとめた。

最後に、本検討を進めるなかで多くのご指導、ご助言をいただいた本四公団第三建設局向島工事事務所の皆様、JH大阪建設局の皆様には、誌面を借りてここに改めて謝意を表します。

参考文献

- ・基準類
- 1) 建設省：鋼道路橋設計ガイドライン(案)，1995. 5.
- 2) 日本道路公団：設計要領第二集，1996. 2.
- 3) 日本道路協会：鋼道路橋の細部構造に関する資料集，1991. 7.
- 4) 日本道路協会：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様および復旧仕様の解説(案)，1995. 2.
- ・省力化一般
- 5) 日本道路公団名古屋建設局：第2東名・名神高速道路 鋼桁橋設計指針(案)，1993. 12.
- 6) 日本道路公団札幌建設局：鋼橋における省力化・耐久性・経済性の追求鋼2主桁橋ーホロナイ川橋の概要，1995. 3.

- 7) 高橋昭一・志村 勉・橋 吉宏・小西哲司：
PC床版2主桁橋「ホロナイ川橋」の設計お
よび解析・試験検討，橋梁と基礎，1996. 2.
- 8) 山懸敬二：省力化に対応した橋梁構造，JSSC，
No. 13，1994. 7.
- ・下横構の省略
- 9) 大塚 勝・山本 哲・津田 敏：鋼橋の省力
化に関する一提案，横河ブリッジ技報，
No. 23，1994. 1.
- 10) 茂手木博・町田文孝・松永久夫：鋼橋の省力
化工法―新琴似高架橋―，橋梁と基礎，
1992. 8.
- 11) 大塚 勝・佐藤哲也・竹中裕文・和地輝雄：
下横構を省略したプレートガーダー橋の提案，
橋梁と基礎，1993. 11.
- 12) 名取 暢・明橋克良・尾下里治：鋼 I 桁橋に
おける構造形式の簡略化に関する検討，横河
ブリッジ技報，No. 21，1992. 1.
- 13) 日本橋梁建設協会 設計部会：プレートガー
ダー橋の下横構の省略に関する一考察，橋梁
と基礎，1989. 9.
- ・床版
- 14) 土木学会関西支部：鉄筋コンクリート床版の
損傷と疲労設計へのアプローチ，昭和52年度
講習会テキスト，1977. 7.
- 15) 松井繁之：道路橋コンクリート系床版の疲労
と設計法に関する研究，大阪大学学位論文，
1984. 11.
- 16) プレストレスト・コンクリート建設業協会：
プレキャスト床版設計施工マニュアル，
1994. 3.
- 17) 土木学会：コンクリート標準示方書，1996. 3.
- 18) 土木学会関西支部：プレキャスト床版合成桁
橋の設計と施工，昭和62年度講習会テキスト，
1987. 5.
- ・構造詳細
- 19) 阪神高速道路公団：鋼 I 桁橋の主桁と横桁・
対傾構との取合部補剛材の疲労損傷に関する
検討報告書，1986. 10.
- 20) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・
同解説，1993. 4.
- 21) 池端文哉・西村宣男・亀井義典：フィラーブ
レートを用いたボルト継手の軸力伝達機能の
検討，土木学会関西支部年次学術講演概要集，
1996. 5.
- 22) 高橋秀幸・宮坂淳一：フィラープレートをも
有する高力ボルト摩擦接合継手の耐力，宮地技
報，No. 11，1995. 12.
- 23) 堀田 毅・西村宣男・村上茂之・滝 英明：
テーパプレートフランジ桁の耐力特性と
設計法，鋼構造年次論文報告集，Vol. 4，
1996. 11.
- 24) 秋山寿行・西村宣男・亀井義典・池端文哉：
高力ボルト摩擦接合引張継手の限界状態の区
分，鋼構造年次論文報告集，Vol. 3，1995. 11.
- 25) 秋山寿行・西村宣男：曲げを受ける鋼I桁高
力ボルト継手のすべり機構と限界状態の評価，
鋼構造年次論文報告集，Vol. 4，1996. 11.
- ・塗装
- 26) 日本道路協会：鋼道路橋塗装便覧，1990. 6.
- 27) 本州四国連絡橋公団：鋼橋等塗装基準・同解
説(案)，1994. 10.
- 28) 日本道路公団：構造物施工管理要領 塗装編，
1994. 4.
- 29) 山中鷹志：オール工場塗装，鋼橋塗装，
Vol. 7，No. 4.
- 30) 今泉安雄：東京外環自動車道の鋼橋塗装，鋼
橋塗装，Vol. 20，No. 3.
- 31) 建設省土木研究所・鋼材倶楽部・日本橋梁建
設協会：耐候性橋梁への適用に関する共同研
究報告書(XX)―無塗装耐候性橋梁の設計・
施工要領(改定案)―，1993. 3.
- 32) 土木学会鋼構造委員会鋼材規格委員会：耐候
性鋼無塗装橋梁に関する調査報告，1993. 11.
- ・その他
- 33) 日本道路公団東京第一建設局：上部工詳細設
計マニュアル，1990. 9.
- 34) 日本道路公団東京第一建設局構造技術課：橋
梁設計の手引き，1992. 3.