

鋼少数鈹桁橋の設計と施工

DESIGN AND CONSTRUCTION OF STEEL PLATE GIRDER BRIDGE WITH PRESTRESSED CONCRETE DECK

鈴木裕二*、池田博之**、水口和之***

Yuji Suzuki, Hiroyuki Ikeda and Kazuyuki Mizuguchi

ABSTRACT Japan Highway Public Corporation has been developing new technology of bridges for construction of New Tomei and Meishin Project. A steel plate girder bridge with prestressed concrete deck was adopted for Ise-bay Highway and New Tomei Expressway between Nagoya-minami IC and Tobishima IC, completed in March, 1998. This paper introduces the design and construction of this new type bridge aiming at reducing cost and labor and shortening construction period.

KEYWORDS: 鋼構造、P C床版、合理化

Steel Structure, Prestressed Concrete Deck, Rationality of Structure

1. はじめに

現在、日本道路公団（以下「JH」）において、工費縮減や施工の合理化を目指して様々な取り組みを行っている。特に、第二東名・名神高速道路の建設には構造物の比率も高く、車線数も6車線と広いことから、橋梁の工費縮減を強く求められている。また同時に、今後の労働者の減少・高齢化にも対応できる新たな構造の検討が要求されている。

第二東名高速道路の最初の開通として平成10年3月30日に開通した伊勢湾岸自動車道名古屋南IC～飛島IC間の高架橋区間において、コスト縮減や省力化を目的とした鋼少数主桁橋を採用した。ここでは、伊勢湾岸自動車道の鋼少数主桁橋の取り組みについて報告する。

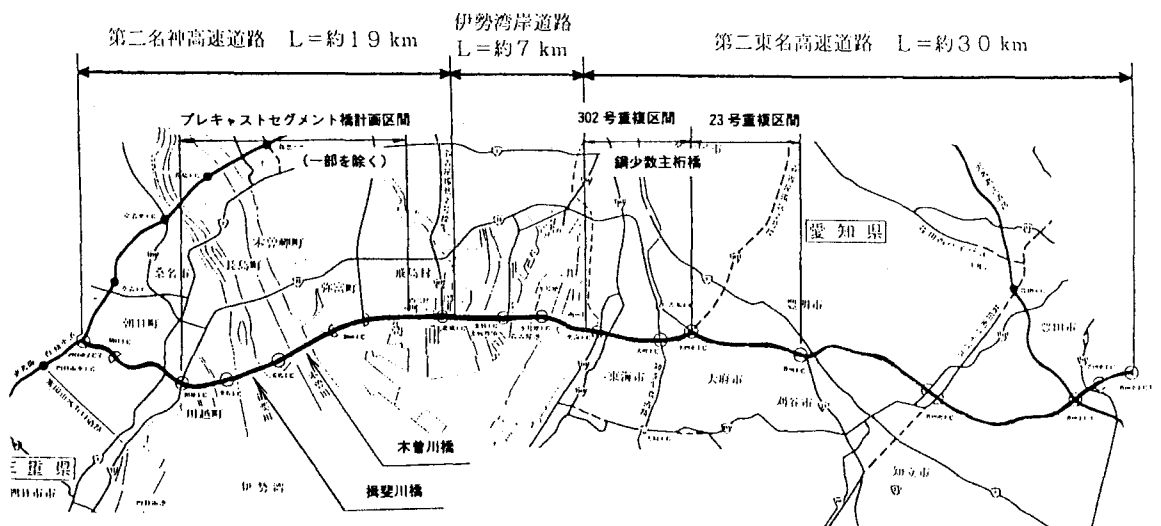


図-1 伊勢湾岸自動車道 路線図

*日本道路公団 名古屋建設局 豊田工事事務所 所長 (〒471-0833 豊田市山之手5-73-1 山之手ビル7F)

**日本道路公団 名古屋建設局 建設第二部 構造技術課 課長 (〒460-0008 名古屋市中区栄4-1-1中日ビル)

***日本道路公団 名古屋建設局 建設第二部 構造技術課 課長代理 (同 上)

2. 鋼少数主桁の基本構造

鋼少数主桁橋のコンセプトは、①工費縮減②省力化③工期短縮④高品質⑤維持管理費の低減である。伊勢湾岸自動車道で採用した鋼少数主桁橋の基本的な構造は次のとおりである。

- ① 従来の設計では、第二東名神の幅員の場合7から8主桁となるところを、床版をPC構造とすることにより床版支間を6m程度に延ばして桁本数を3本主桁に減じた。
- ② 桁はできるだけ省力化するため、工場での製作の一ブロック内の断面は部材変化のない同一断面とした。また、床版の荷重分担効果を考慮することにより、横桁間隔を10m、横構を省略した構造とし、部材数を大幅に減じた。
- ③ 主桁の接合は現場溶接として塗装の弱点となるボルト添接をなくした。
- ④ 床版はプレキャストPC床版を用い、プレキャスト床版間の接続構造はループ継ぎ手とした。
- ⑤ 塗装は現場継ぎ手以外の箇所は工場塗装として維持管理に優れたものとする事とした。
- ⑥ 桁と床版との連結はスタッドジベルにより行うが、設計においては、床版と桁との合成を考慮しない非合成桁とした。

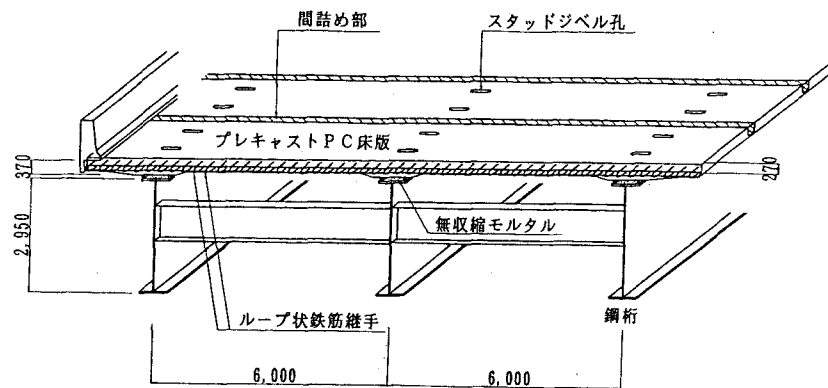


図-2 伊勢湾岸自動車道における鋼少数主桁橋のイメージ図

3. 設計

3.1 主桁

PC床版の採用により床版の耐久性が向上し、また従来構造よりも床版の剛性が高いことから、従来に比べ荷重分配等の橋梁の主部材としての働きが大きくなり、連続合成桁として設計することが合理的であると考えられる。しかしながら、連続合成桁を実施するには解決すべき課題も多いことから、今回は非合成桁橋として格子解析により設計し、FEM解析により危険側となる部位・部材がないかどうかの照査を行うこととした。

主桁構成は、標準的な幅員の場合、主桁間隔6mで桁本数は3本であるが、インターチェンジ部などで幅員が変化する場合は最大主桁間隔を8mまで用いた。

桁高は名古屋南IC～飛鳥IC間を同一桁高で設計することを前提に、支間を40から70mに変化させた鋼重比較の結果、桁高3m弱が経済的となり、また桁の輸送寸法は3mを超えると水平継ぎ手が必要になることから、上フランジ上面からした下フランジ上面までの高さを2.9mで統一した。

工場での1製作ブロック内では、フランジ及びウェブの断面は同一とし、突き合わせ溶接をなくすなどの製作の合理化を図った。またフランジの最大板厚は、設計当時の橋梁用鋼材の実績をもとに75mmとした。本区間の最大支間長は71mであり、この場合に最大板厚75mmを用いている。

3.2 横桁

横桁の間隔については、図-3.2に示すようにスパン71mの橋梁の横桁間隔を変えてFEM解析により比較検討した。その結果を表-1に示す。横桁間隔の変化は、主桁間の鉛直、水平荷重の分配効果への影響はないが、あまり横桁間隔を長くすると圧縮側となる中間支点上下フランジの主桁固定間距離が長くなり許容応力度が低減されて不経済な断面となる。また、地組立を前提とした架設方法をとるため、最低10m間隔に主桁間を連結する必要があることなど施工性も考慮し、横桁間隔は10m程度を標準とした。

また、中間支点上の横桁の取り付け位置は、図-3.1に示すように上段、中段、下段と変化させて比較したところ、表-1に示すように応力の振幅は上段が最も小さくなったが、疲労検討の結果、構造上特に問題とはならないことから、床版や横桁の施工性を考慮して中段配置とした。横桁の取り付け方法は、ホロナイ川橋の試験結果²⁾によると、溶接接合やボルト接合などの方法が採用可能であると判断されたが、本区間では現場での施工性と疲労に対する優位性を考慮し、スプリットティーによるボルト接合を採用した。一方、端支点横桁はコンクリート巻き建て構造とし、車両が伸縮装置を通過する時の騒音・振動を抑制することとした。

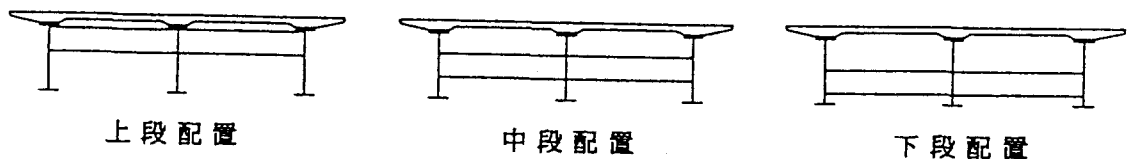


図-3.1 横桁取り付け位置の検討

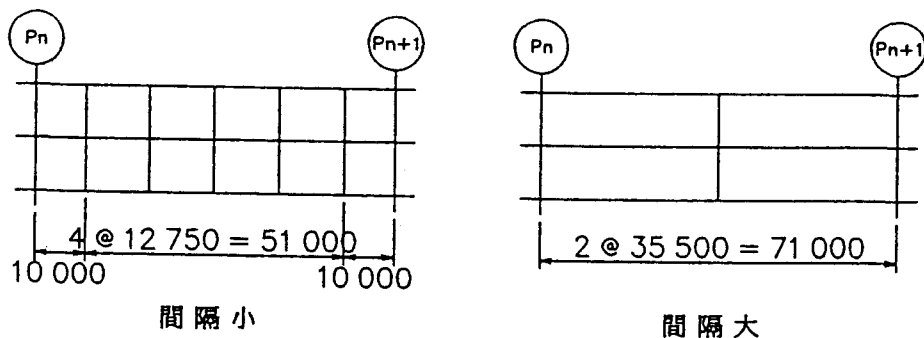


図-3.2 横桁間隔の検討

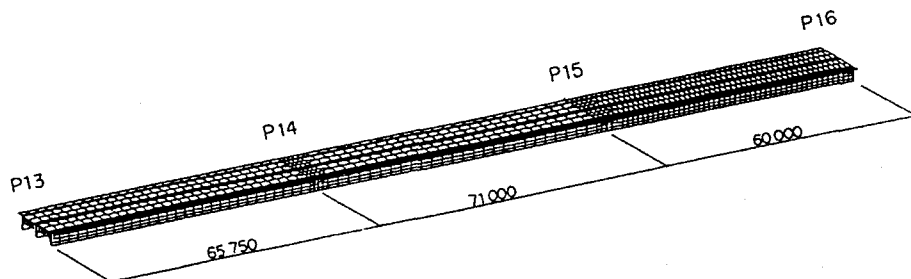


図-4 FEM解析 要素分割図

表-1 FEM解析結果と格子解析の比較

	着目点	载荷状態	モデル	間隔：大 配置：上段			間隔：小 配置：上段			間隔：大 配置：中段			間隔：小 配置：中段		
				G 1	G 2	G 3	G 1	G 2	G 3	G 1	G 2	G 3	G 1	G 2	G 3
主桁の σ (mm)	第2径 間中央	中央载荷	FEM解析	15.9	21.0	15.9	16.2	20.1	16.2	15.7	21.4	15.7	16.1	20.6	16.1
			格子解析	27.9	50.6	27.9	30.3	43.8	30.3	27.8	39.9	27.8	30.3	43.9	30.3
		偏 載 荷	FEM解析	40.2	15.9	-4.0	40.0	16.2	-4.2	40.2	15.7	-4.0	40.0	16.1	-4.1
			格子解析	77.6	27.9	-8.7	76.6	30.3	-9.7	77.6	27.8	-8.6	76.6	30.3	-9.7
下フランジ [*] 応力度 (kgf/cm ²)	第2径 間中央	中央载荷	FEM解析	211	382	211	203	396	203	213	395	213	203	406	203
			格子解析	341	504	341	318	571	318	339	507	339	317	573	317
		偏 載 荷	FEM解析	609	219	-59	612	213	-55	609	215	-60	613	211	-55
			格子解析	981	253	-102	991	225	-92	982	252	-102	991	225	-92
横桁応力度 (kgf/cm ²)	第2径 間中央	中央载荷	FEM解析	478			369			772			603		
		偏 載 荷	FEM解析	-207			-192			-512			-442		
主桁面外方向 変位(mm)	第2径 間中央	中央载荷	FEM解析	3.1			2.3			2.0			1.6		
		偏 載 荷	FEM解析	1.5			1.4			1.4			1.4		
鉛直変位 (mm)	第2径 間中央	水平荷重	FEM解析	14.6	-4.4	-10.4	13.7	-2.3	-11.3	14.8	-5.0	-10.2	13.9	-3.1	-11.1
水平変位 (mm)	第2径 間中央	水平荷重	FEM解析	3.7	0.8	-3.6	2.1	1.0	-1.6	2.7	0.7	-1.9	1.8	0.9	-0.7
下フランジ [*] 応力 度(kgf/cm ²)	P14上	水平荷重	FEM解析	519	-404	240	485	-383	-335	526	-410	240	494	-382	-302

3.3 現場継ぎ手

現場継ぎ手の方法としてボルト継ぎ手を採用した場合、フランジ厚が厚くなると多列ボルトとなりボルト本数が極端に増えることや、添接板が厚く鋼重増となり不経済となることなどが考えられる。また、添接部が塗装の弱点となりやすいこと、本区間の場合景観上もすっきりとした構造を要求されることから、施工地点の制約がないかぎり、現場溶接として現場溶接を採用することとした。

現場溶接の設計では主桁のフランジ、腹板の全断面溶け込み溶接の許容応力度の低減は行わないこととした。このためには、工場と同等の品質が確保されることが前提であり、現場の品質管理が重要になる。ウェブと下フランジの交差部では、下フランジの溶接が不連続となり欠陥の発生が懸念されるため、下フランジの溶接品質を確保することを優先し、図-5.1に示すようなウェブにスカラップ[®]を設ける構造を、一般に用いることとした。このような構造を採用する場合、スカラップ[®]の大きさや形状が疲労強度に影響を与えることから、その耐久性について疲労試験により確認している。

試験を行ったスカラップ[®]形状は、図-5.1および図-5.2に示す2タイプであり、いずれもスカラップ[®]部付近のすみ肉溶接止端部をグラインダにより仕上げたものと仕上げないものとの比較を行っている。止端部の仕上げを行ったものは、Type-1・Type-2とも、公称応力35MPa（60t車相当の変動応力）および50MPaでは疲労亀裂の発生は見られなかったが、Type-2ではスカラップ[®]周辺の応力が大きく疲労上の弱点となることが予想されたため、スカラップ[®]を設ける場合にはType-1の形状を採用することとした。また、溶接止端部の仕上げを行うことにより疲労強度の増加が確認できたため、より耐久性の向上を目指して仕上げを行うこととした。

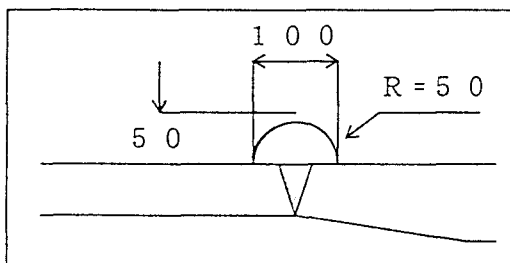


図-5.1 スカラップ[®]形状 Type-1 (採用)

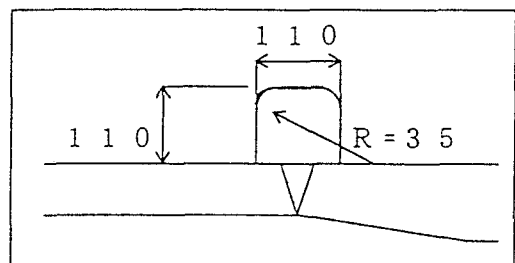


図-5.2 スカラップ[®]形状 Type-2

3.4 床版

床版構造はプレキャストPC床版を採用した。プレキャストPC床版の橋軸方向継ぎ手には種々の方法があり、これまではプレストレスにより一体化する方法が主として用いられてきたが、ここではループ鉄筋をもちいたRC継ぎ手を採用した。この方法は、図-6に示すように、2m間隔に設けられた継ぎ手を、ループ鉄筋と場所打ちコンクリートにより一体化する方法であり、従来の方法よりも経済性や施工性の向上を期待できる。プレキャスト床版は、設計基準強度は $50\text{N}/\text{mm}^2$ のコンクリートを使用し、プレストレスの導入は一部の場所打ち部を除きプレテンション方式とし、工場で製作した。

本区間で採用したプレキャストPC床版の設計上の課題としては、

- ① 鋼橋上の長支間の床版であることから破壊メカニズムが明確でないこと
- ② 橋軸直角方向にはPC、橋軸方向にRC構造であり異方性が大きいこと
- ③ プレキャスト板とループ継ぎ手が交互にある構造であり、目地部の耐久性が確認されていないこと

などが挙げられる。

これらの課題に対して、床版支間は張り出し部と連続部の曲げモーメントのバランスの良い6mを標準としてFEM解析や疲労試験などを実施して設計法の検討と検証を行った。

床版厚はループ継ぎ手の配筋等の施工性やかぶりなどを検討したところ、道路橋示方書のPC床版の最小厚に準じて設計すればそれらの条件を満足することから、道路橋示方書の最小全厚の規定に準じることとした。

設計曲げモーメントは、FEM解析を実施した結果から道路橋示方書の式を使えば設計上安全側であることがわかったため、これを準用することとした。また、ループ継ぎ手の継ぎ手長はDIN1045により算出し、継ぎ手の構造は実物大の移動載荷試験の結果から補強鉄筋などの構造細目を定めた。

設計においては、各荷重状態における要求性能に応じた照査項目と制限値を設定した。具体的には、橋軸直角方向に①死荷重状態で引っ張り応力を発生させない、②活荷重状態で曲げひび割れを発生させない等の要求性能を設定して設計を行い、橋軸方向には、鉄筋の疲労強度やひびわれ幅を考慮して許容応力度を $1600\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下とするように設計した。桁の設計は非合成桁としたが、連続桁中間支点上の床版に生じる引張力については、主桁と床版の合成効果を考慮してひびわれ幅により照査した。

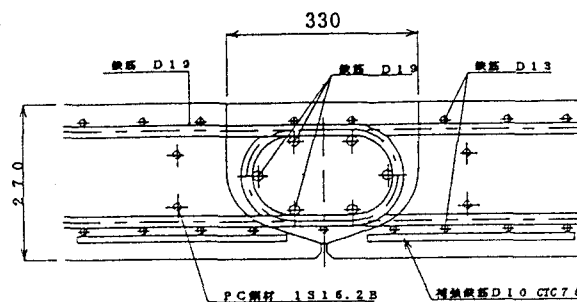


図-6 ループ継ぎ手部の構造

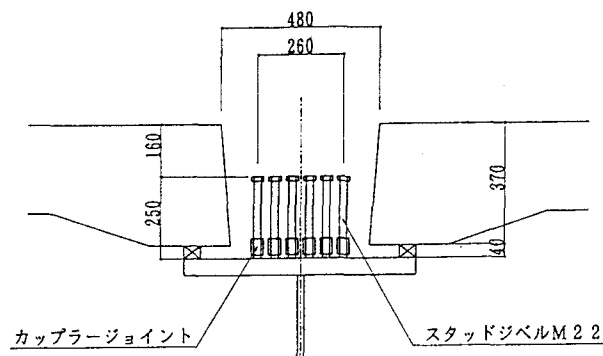


図-7 鋼桁と床版との接合方法

4. 施工

4.1 主桁の架設と現場溶接

主桁は現場溶接などによりブロックに組立てられた後、トラッククレーンにより架設し、ベント上でこれらのブロックを現場溶接により連結して架設した。主桁の現場溶接は、主部材の現場溶接であることから十分な品質管理が要求された。現場溶接時にはケーシングと呼ばれる作業室を製作し、これを防風設備とするなど現場溶接環境を整備して溶接を行った。溶接にあたっては、仮設材であるストロングバックの取り付けや撤去などにも疲労上の問題が生じないように、主部材と同じ管理を行った。図-8に伊勢湾岸自動車道で採用した現場溶接継ぎ手の施工例を示す。

溶接部の検査としては、放射線透過試験（RT）ではなく超音波探傷試験（UT）を採用した。これはRTでは40mmを超える厚板の非破壊検査での正確な判定が難しいことなどの理由による。検査は、請負人によりまずAUT（自動超音波探傷試験）を実施し、キズの確認とデータの保存を行う。しかし、AUTでは現在のところデータの信頼性、再現性についての保証がないこと、また部分的にAUTでは探傷できない箇所があることから、MUT（手動超音波探傷試験）による抜き取り検査を併用した品質管理を行った。特に、きずが発見された場合の合否判定については、初層部のわれを見落とさないように、独自の品質管理基準を定め、MUTにより判断することとした。

溶接作業順序	溶接方法	開先角度・スカーラップ形状
	<p>① 上下フランジ M A G 自動溶接 下向（多層盛溶接ロボット）</p> <p>② セラミックタフ、ストロングバック除去後の仕上げ溶接、グラインダー作業 → CO₂溶接</p> <p>③ Webエレクトロダグアーク自動溶接（立向）</p> <p>④ Web上端部残し部 → CO₂溶接</p> <p>⑤ スチールタフ除去後の仕上げ溶接、グラインダー作業 → CO₂溶接</p>	

図-8 現場溶接継ぎ手の施工例

4.2 床版の施工

プレキャスト床版は工場で作成され、現場に輸送された後トラッククレーンで架設し、間詰め部の配筋やコンクリート打設を行った。この間詰め部は狭く鉄筋量も多いこと、設計基準強度50N/mm²のコンクリートは単位セメント量も多く一般的な配合では十分なコンシステンシーが得られないことから、コンクリートの充填や締め固めが不十分となりやすい。このため、高性能減水材を使用しスランプを16cmとし、施工性がよく密実なコンクリートを打設できるように配合を定めた。また、乾燥収縮による打ち継ぎ目部のひび割れを防ぐため、膨張剤を使用した膨張コンクリートとした。

5. 各種試験の実施

鋼少数主桁橋の施工にあたっては、主桁現場溶接部スカラップ疲労試験、横桁取り付け部疲労試験、ループ継ぎ手疲労試験、及び実物大供試体移動載荷試験等の試験や橋梁全体系をはじめとする各種のFEM解析を実施するとともに、橋梁完成後には実橋載荷試験を行う等、数多くの解析、実験を行って橋梁の安

全性と設計の妥当性を検証した。参考として、実橋での载荷試験の結果を図-9.1～図-9.3に示す。この中で注目したいのは、設計は非合成桁として設計をしているが、実橋载荷試験における挙動は、図-9.3に示すように設計荷重レベルでは合成桁の挙動をしていることであり、今後の少数主桁の設計法の研究に方向性を示していると思われる。このように少数主桁橋の実施にあたっては、机上の計算だけではなく、実験等を通じて設計法施工法の妥当性安全性を確認しながら施工してきた。今後さらにデータを積み重ねて、より合理的な構造へと改良を加えていく必要がある。

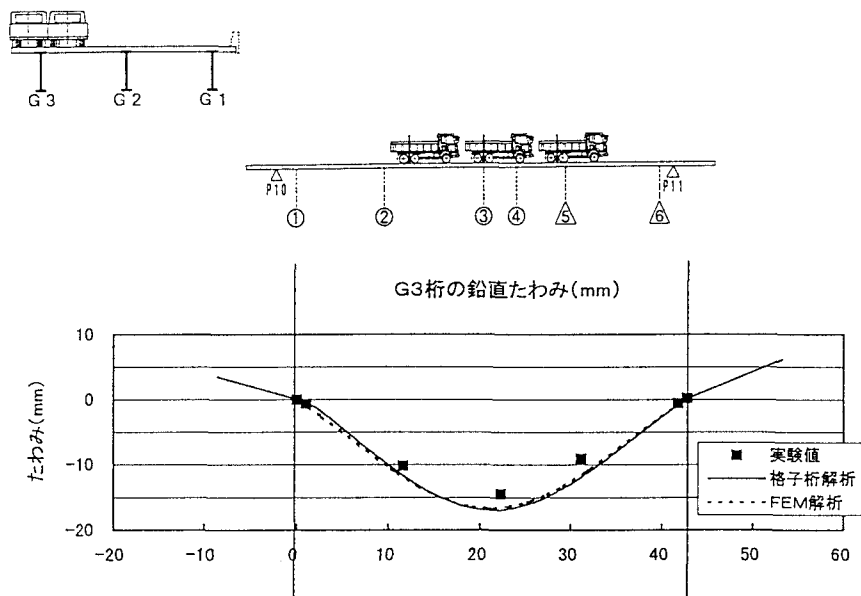


図-8.1 実橋载荷試験による主桁のたわみ

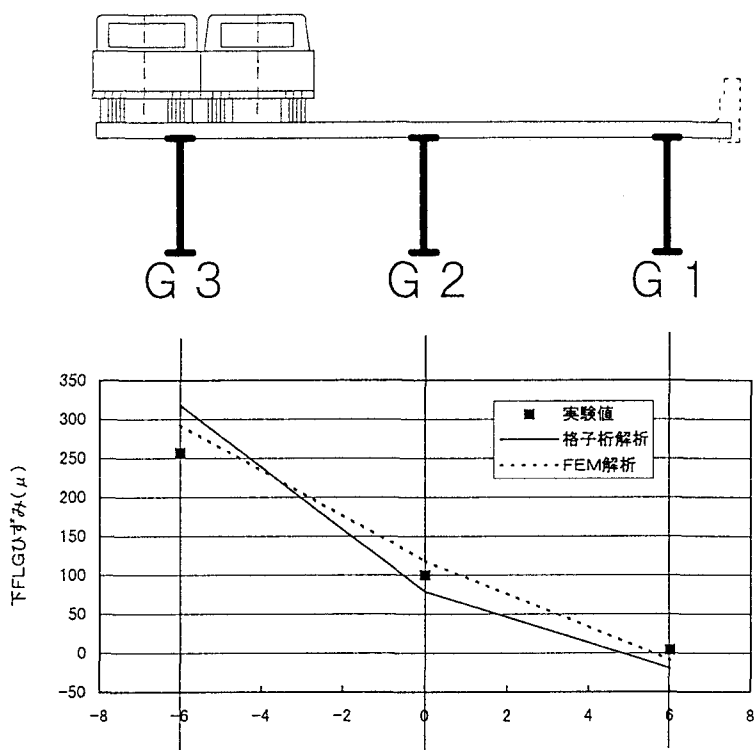


図-8.2 横方向の荷重分配

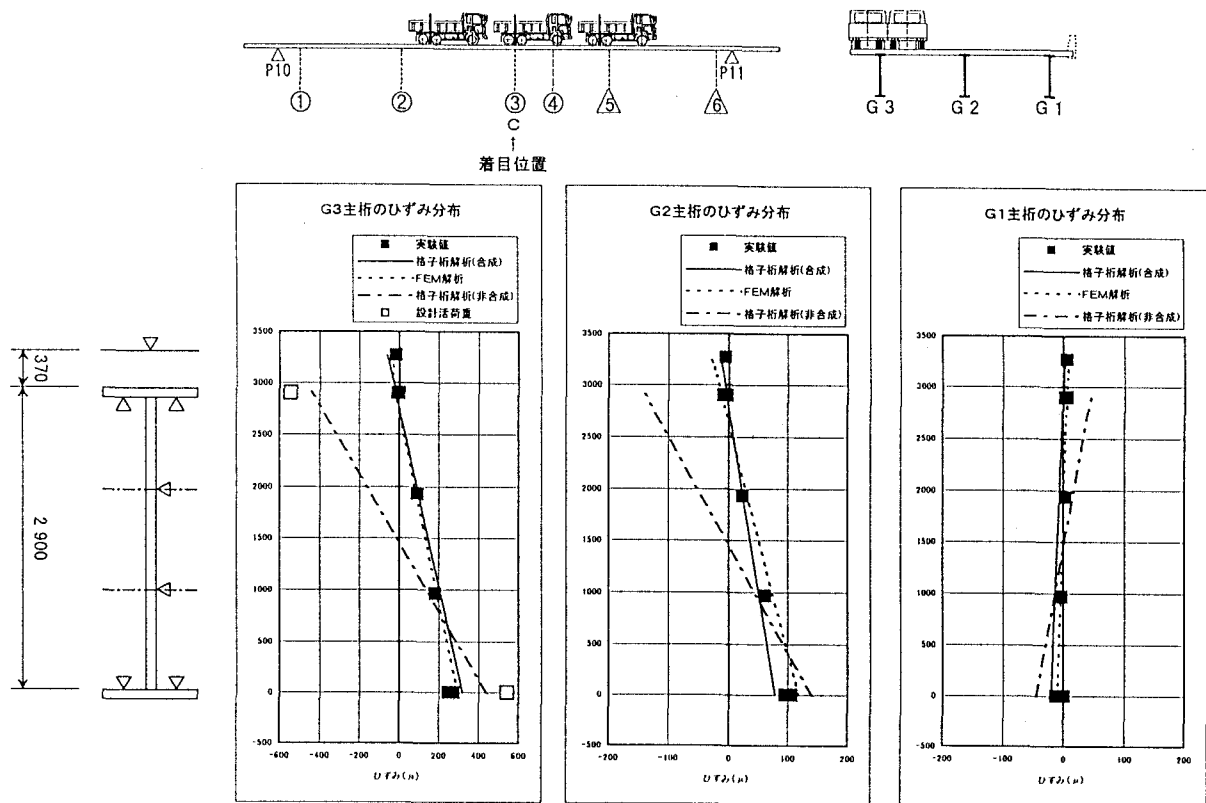


図-8.3 実橋載荷試験による主桁の応力分布

6. おわりに

伊勢湾岸自動車道において採用した鋼少数主桁橋は、ホロナイ川橋の2主桁橋の思想を受け継ぎつつ、現場溶接、プレキャスト床版等のより省力化、工期短縮を目指した型式である。しかしながら、鋼少数主桁橋はこれで完成したものではなく、改良すべき点が多くある。大きな点では、連続合成桁橋や、広幅員2主桁橋の開発が次なる目標であろうし、現在の型式においても横桁の取り付け方法の改良やプレキャスト床版間詰め部の改良など多くの改良点がある。また、現場溶接の品質管理についても、簡便でより精度の高い管理方法が求められる。

今回の鋼少数主桁橋の開発には、多くの解析や実験を行って設計法の妥当性や安全性の確認を行っているが、我々はあくまで伊勢湾岸自動車道でのこの構造について安全性の確認を行っているわけであり、この型式を他の橋梁に用いる場合や本橋での構造を変更する場合には、本橋梁での検討の趣旨を十分理解して施工していただきたい。また、今回の少数主桁の技術開発の個々の詳細な内容については別の機会に発表したいと考えている。

最後に、伊勢湾岸自動車道の少数主桁橋の設計施工にあたり「鋼少数主桁の橋梁の設計施工に関する調査研究」委員会（委員長：伊藤学東京大学名誉教授）の委員の方々に多くの意見を頂きここまで完成できた。ここに委員の諸先生に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) (財) 高速道路技術センター：第二東名高速道路 鋼少数主桁橋の設計施工に関する調査研究 報告書、1998.3
- 2) 高橋昭一、橋吉宏、志村勉、森下弘行、伊藤博章、三木千壽：少数主桁橋の横桁取付構造に関する実験検討、土木学会論文集、No.570/I-40、107-118、1997.7