

鋼2主桁桁橋のスタッドに関するFEM解析と実物大試験による検証

FEM analyses and verification on stress of studs in two steel girder system bridges

河西龍彦*, 倉田幸宏**, 和内博樹***, 松井繁之****

Tatsuhiko Kasai, Yukihiro Kurata, Hiroki Wauchi, Shigeyuki Matsui

* (社) 日本橋梁建設協会, 床版研究委員会 (〒104-0061 東京都中央区銀座 2-2-18)

** (社) 日本橋梁建設協会, 床版研究委員会 (〒104-0061 東京都中央区銀座 2-2-18)

*** (株) CRCソリューションズ, 建設技術部 (〒136-8581 東京都江東区南砂 2-7-5)

**** 工博 大阪大学大学院, 工学研究科教授 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

At some steel two girder system bridges with a cast-in-place PC slab, concrete cracks on local separation between the steel girders and the slabs were found on the bottom of the slabs near the vertical stiffeners at intermediate cross-beam. The authors carried out FEM analyses to solve those phenomena relating with the studs. In this FEM analyses considering adhesion between the slabs and the steel girders with the gap elements in fine mesh, and adopting the solid elements for the studs are composed. FEM analyses results showed a very good correspondence with the full-scale model tests values.

Key Words: stud, cast-in-place PC slab, FEM analyses, full-scale model tests

キーワード: スタッド, 場所打ちPC床版, FEM解析, 実物大試験

1. はじめに

場所打ちのプレストレスト・コンクリート床版(以下、PC床版という)と鋼2主桁を組み合わせた橋梁形式(以下、鋼2主桁橋という)において、中間横桁位置の垂直補剛材直上付近の床版下面に橋軸直角方向のひび割れが発生したり、あるいは同部の主桁上フランジと床版コンクリートの間に隙間が生じたりする事例が報告されている。

筆者らが第二東名高速道路藁科川橋(以下、藁科川橋という)の実橋施工に先だって行った実物大試験においても、図-1に示すようなひび割れや隙間が発生した。

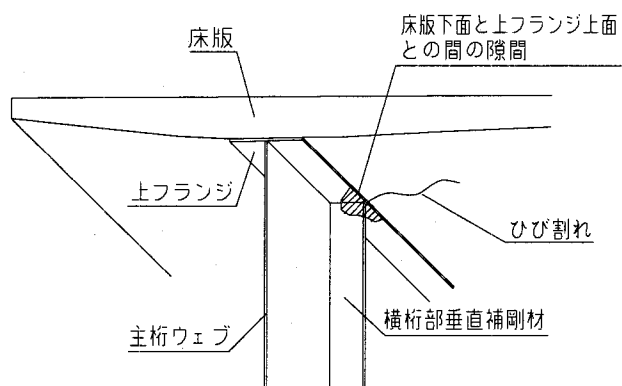


図-1 ひび割れと隙間の発生状況

計測値を改めて確認してみると、中間横桁位置の垂直補剛材直上に配置したスタッドに比較的大きな軸方向の引張りずみが発生していたことから、このようなひび割れや隙間が発生したのは図-2に示すようなPC鋼材の偏心配置に伴うPC床版の上反り変形挙動に起因するものと考えに至った。そこで、これらの好ましくない現象を排除するため、垂直補剛材直上にスタッドを配置しない構造細目を規定して藁科川橋の実橋施工に臨み、一定の成果を得た。¹⁾

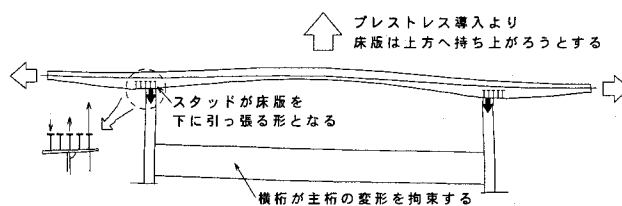


図-2 ひび割れや隙間の発生原因

このようなことに加えて、鋼2主桁橋の場合、壁高欄などの後死荷重や活荷重などの载荷に伴ってスタッドに軸方向の引張力が作用するケース²⁾や、日照の影響を受けた床版の変形に伴ってスタッドに軸方向の引張力が作用するケース³⁾も指摘されており、これまでの合成桁のずれ止めの設計において考慮されてこなかった「スタッドに作用する軸方向の引張力」について、何らかの対策を取る必要性があると考えられる。

スタッドに作用する軸方向の引張力を解析的に評価する試み、あるいはスタッドに作用する軸方向の引張力を低減できるスタッドの平面配置に関する研究は、大垣ら²⁾、中島ら⁴⁾、安川ら⁵⁾、済藤ら⁶⁾により行われている。

一方、筆者らは床版コンクリートと鋼桁との付着の有無を考慮したFEM解析手法を考案し、橋軸直角方向プレストレスの導入に伴ってスタッドに作用する軸方向の引張応力度を、藁科川橋における実物大試験計測値との対比により、比較的精度よく再現できることを確認している。⁷⁾

しかしながら、スタッドに作用する軸方向の引張力などに関する詳細な検討等を行うためには、より精度は高いが比較的簡便でかつ汎用的な解析手法の提案が求められていた。

そこで本研究では、前述のスタッドに関するFEM解析手法⁷⁾を改良して解析精度を高めるとともに、より簡便かつ汎用的な解析手法の検討を行い、その解析精度を新たな実物大試験体を利用した計測結果と対比することによって検証することとした。

2. FEM解析の概要

本研究に用いたFEM解析手法におけるスタッド部のモデル化の概要を図-3に示す。

床版コンクリートはSolid要素、鋼桁はShell要素でモデル化しており、床版コンクリートと鋼桁とはGap要素で結合している。Gap要素とは、圧縮力は伝達するが引張力は伝達しないという結合条件であり、床版コンクリートと鋼桁との剥離を評価しようとしているものである。

これらは前述の藁科川橋における方法⁷⁾と同じであるが、本研究ではスタッドに作用する曲げ引抜き力を評価することを意識して、スタッドを「はり要素」から「Solid要素」に変更したことと、床版コンクリートと鋼桁との剥離の度合いをきめ細やかに評価することで解析精度の向上を図ることを目的に、スタッド部近傍を細かいメッシュでモデル化したことが異なっている。

また、藁科川橋では床版コンクリートとスタッドとの結合に藁科川橋における実物大試験体の計測値から逆算したバネ定数を与えるダミー要素を用いていた。しかしながら、一般的にはこのバネ定数を求めることは困難であると考えられるため、バネ結合と剛結合の違いによるスタッドの軸方向引張ひずみの解析結果にはそれほど大きな差はないことを確認した上で、解析手法としての汎用性を高めることを考えて、床版コンクリートとスタッ

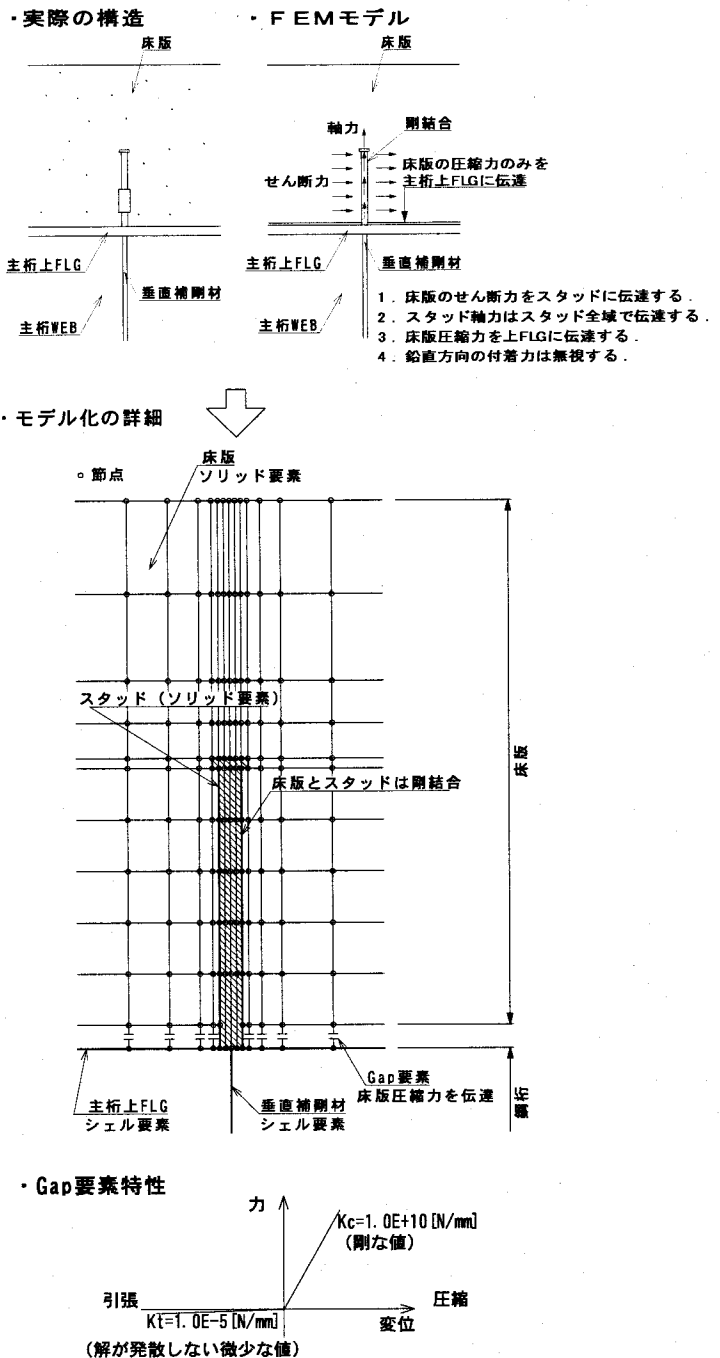


図-3 スタッド部のモデル化の概要

ドを剛結合とすることとした。

一方、スタッドに作用する軸方向の引張力を評価するためには、プレストレスや荷重載荷に伴う橋梁全体の挙動を正確に把握する必要があるが、図-3に示すような詳細なモデル化を橋梁全体に対して行うと節点数や要素数が膨大なものとなり解析としては不経済になると考えられる。そこで、まず全体系モデルを用いてプレストレスや荷重等による橋梁全体の挙動を解析した後で、当該部分を取り出した部分モデルにて図-3に示すような詳細なモデル化を行い、スタッドに作用する軸方向の引張力に関する詳細な解析を行うという二段階の解析手法を採用した。(図-4)

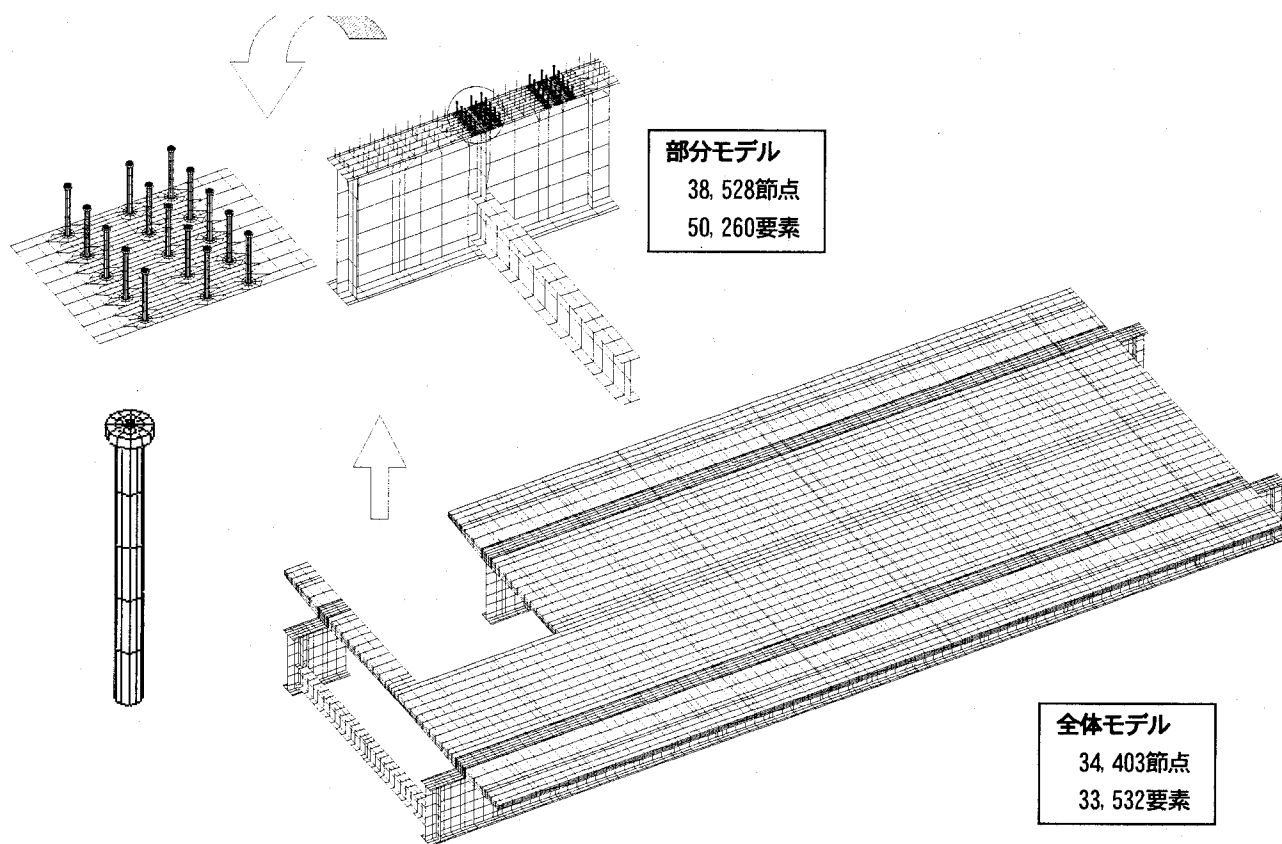


図-4 本研究に用いたFEM解析モデル

ここで、全体モデルではスタッドはモデル化せず、床版コンクリートと鋼桁とは節点共有として解析を行っている。部分モデルではスタッド部について図-3に示したような詳細なモデル化を行うが、全体モデルにおける解析結果との整合を図るため、部分モデルの境界部に全体モデルで算出された節点変位を強制変位として载荷している。

なお、FEM解析モデルにおける材料構成則は鋼桁と床版コンクリートの境界部のGap要素を除き線形材料であり、コンクリートは $E_c=31,000\text{N/mm}^2$ 、鋼桁ならびにスタッドは $E_s=200,000\text{N/mm}^2$ とした。

3. 実物大試験

本研究の対象とした実物大試験体(写真-1)は、(社)日本橋梁建設協会と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会が共同で実施した「移動型枠を用いた場所打ちPC床版の施工検証実験」⁸⁾で製作したものである。

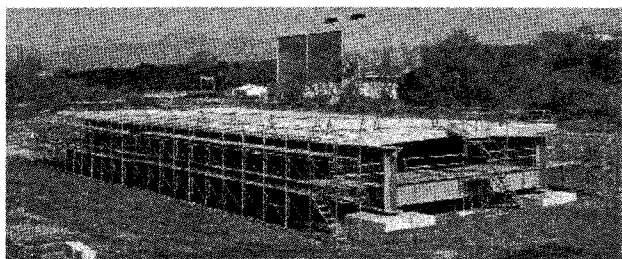


写真-1 実物大試験体

3. 1 試験体の構造諸元

本実物大試験体の断面図を図-5に、側面図を図-6に示す。

試験体は藁科川橋をモデルとした床版支間長 11m の鋼2主桁橋である。床版厚は床版支間中央で 360mm、主桁上で 530mm、PC鋼線は 1S28.6 を 430mm ピッチで配置している。鋼桁の支間長は 38.2m、中間横桁は 5.46m ピッチで下段に配置した。

そして、実橋に使用する移動型枠を用いてブロック長 12m の床版を計 3 ブロック製作した。

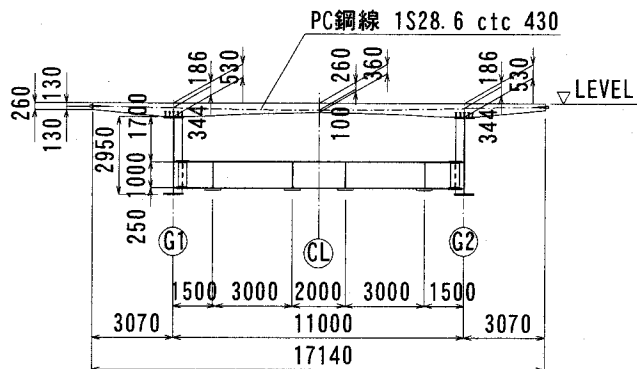


図-5 実物大試験体断面図

3. 2 スタッドひずみの計測方法

スタッドの計測は横桁位置と一般部の2箇所を実施

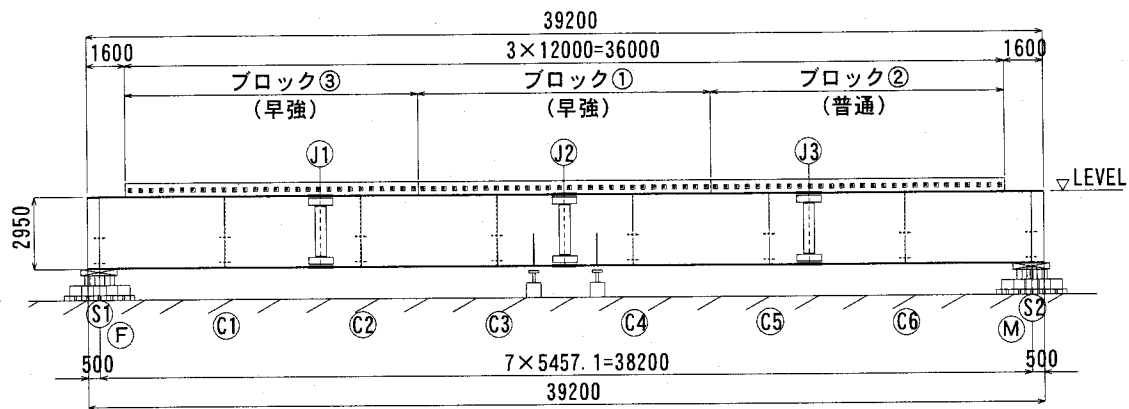


図-6 実物大試験体側面図

した。横桁位置とは、中間横桁が取り付け垂直補剛材直上から橋軸方向に 67.9mm ずらした位置に溶植されているスタッドのことであり、一般部とは、そこから橋軸方向に 1.45m 離れた位置に溶植されているスタッドのことである (図-7)。

上記位置には橋軸直角方向に計 5 本のスタッドが溶植されているが、本実験ではこの 5 本全てにひずみゲージを貼付した。ひずみゲージはスタッドの根元から 20mm の位置に、橋軸直角方向、橋軸方向の計 4 枚、何れも単軸ゲージを鉛直方向に貼付した (図-7、写真-2)。

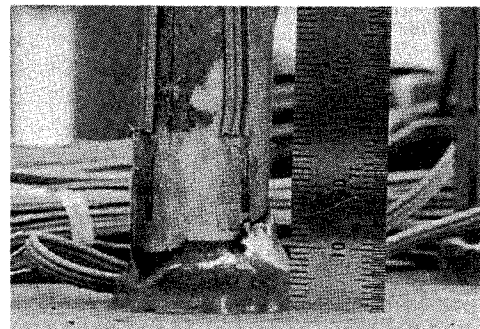


写真-2 スタッドへのひずみゲージの貼付状況

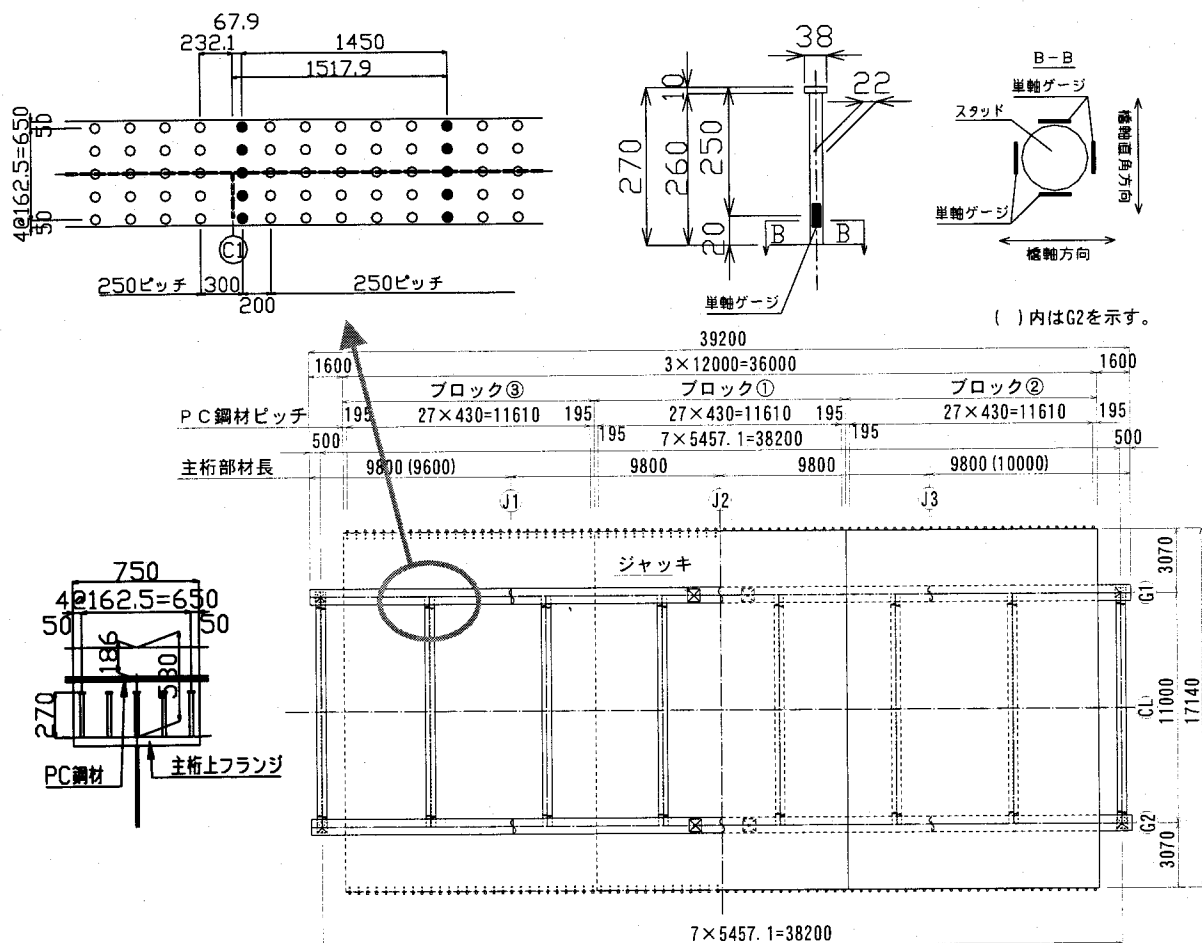


図-7 スタッドのひずみ計測位置と、ひずみゲージの貼付要領

4. 実物大試験によるFEM解析の検証

実物大試験における計測値とFEM解析結果を対比することにより、本解析手法の妥当性を検証する。

検証は、橋軸直角方向にプレストレスを導入した時点と、静的な荷重載荷試験を行った時点の2ケースで実施した。なお、プレストレスの導入については、床版コンクリート内に偏心配置されたPC鋼材を棒要素でモデル化し、これに温度荷重を与えることで解析した。

4.1 プレストレス導入時における検証

実物大試験の計測値とFEM解析結果を対比して表-1に示す。表中、横桁位置（中間横桁が取り付け垂直補剛材直上から橋軸方向に67.9mmずらした位置）に溶植したスタッドについては床版張出し側より順にA～Eという記号を、一般部については同様にF～Jという記号を付けて示している（図-8）。

また、各スタッドで計測した4箇所のひずみは、(1)～(4)という記号を付けて示している（図-8）。

なお、(0)としたのはスタッド中心におけるひずみであり、計測値は(1)～(4)の4箇所のひずみの平均値である。

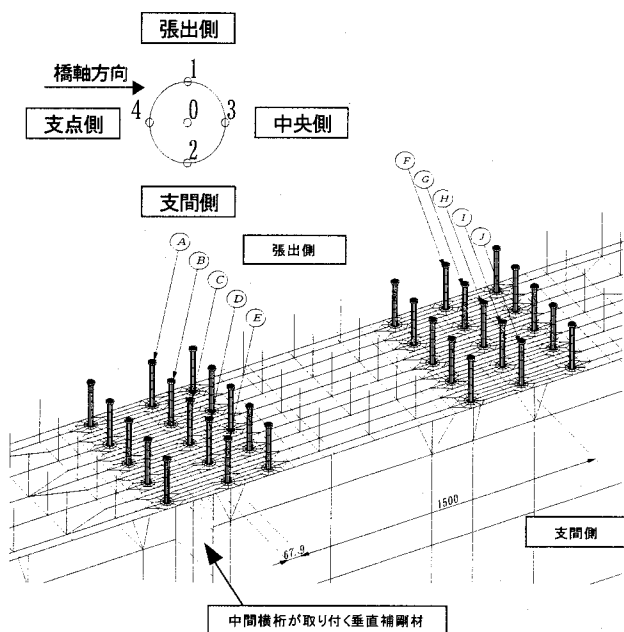


図-8 スタッドのひずみの比較ポイント

表-1により、以下のようなことがわかった。

①実物大試験計測値

- 橋軸直角方向プレストレスの導入に伴い、横桁位置の床版支間側のスタッド（スタッドE）において平均で 100×10^{-6} 程度の軸方向引張ひずみが計測された。これに対し、一般部（スタッドF～J）では5本とも軸方向のひずみはほとんど発生していなかった。

表-1 プレストレス導入時の比較

ひずみ $[\times 10^{-6}]$, + : 引張

上段 : 解析値

下段 : 計測値

断面位置		スタッド番号				
		A	B	C	D	E
(0) : 中 央		2	-1	-9	76	145
		13	2	39	72	91
橋軸直角方向	(1) : 張 出 側	7	5	-11	66	167
		39	43	-63	-86	-47
	(2) : 支 間 側	-3	-8	-4	99	144
		-2	-32	147	210	225
橋軸方向	(3) : 中 央 側	0	2	-8	47	82
		23	7	10	-5	-114
	(4) : 支 点 側	0	-3	-12	120	238
		-8	-8	63	167	302

断面位置		スタッド番号					
		F	G	H	I	J	
(0) : 中 央		2	0	0	0	2	
		-2	5	2	7	2	
橋軸直角方向	(1) : 張 出 側	1	-1	0	1	2	
		-	9	11	5	6	
	(2) : 支 間 側	3	1	0	-1	2	
		-3	8	-1	8	6	
橋軸方向	(3) : 中 央 側	7	3	2	1	0	
		5	-	0	-6	-10	
	(4) : 支 点 側	-3	-3	-1	0	4	
		-7	-2	-4	21	7	

- スタッドEに着目すると、橋軸直角方向では張出し側が圧縮、支間側が引張、橋軸方向では中央側が圧縮、支点側が引張となっており、どちらの方向に対しても曲げ引き抜き力が作用している傾向がある。

②計測値と解析値の対比

- (0)中央（計測値は4枚のひずみゲージの平均値）の軸方向ひずみで比較すると、解析値は計測値を良好に再現できている。
- (1)～(4)の各々の解析値は計測値との間で誤差のばらつきがあった。

4.2 静的な荷重載荷試験による検証

次に実物大試験体に静的な荷重載荷を行った際の実物大試験の計測値とFEM解析結果の対比を行う。

本載荷試験は、日本道路公団・試験研究所と（社）日本橋梁建設協会の共同研究である「鋼とコンクリートの接合部の基本性状確認試験」⁹⁾の一環として2002年2月に実施されたものであり、その概要を図-9に示す。

載荷荷重はB活荷重のT荷重（100kN×2輪）の2倍を想定した400kNとした。床版上面に設置した500mm×200mmの載荷板2枚の上に50kNの載荷ブロックを8枚重ね、張出し部に負の曲げモーメントを作用させた。

本載荷試験の際には実物大試験体の変位も計測しており、解析結果（ここでは全体モデルにおける解析結果）と対比して表-2に示す。

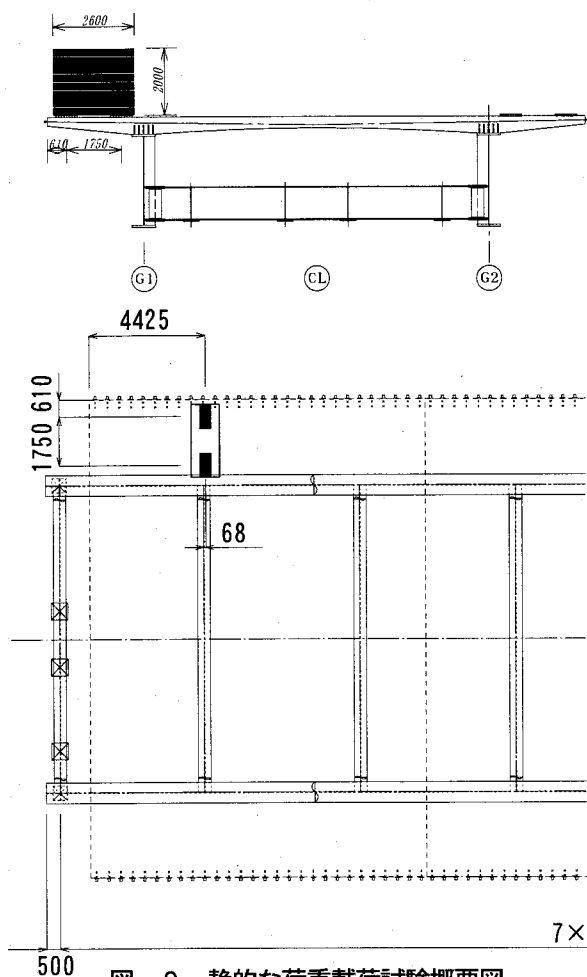


図-9 静的な荷重載荷試験概要図

表-2 静的な荷重載荷試験における変位
(単位: mm, + : 鉛直下方への変位)

		計測点				
		A	B	C	D	E
横桁位置	解析値	-5.00	-1.52	0.66	0.04	-0.26
	計測値	-4.67	-1.73	0.64	0.11	-0.20
一般部	解析値	-5.48	-2.06	0.22	0.04	-0.06
	計測値	-4.72	-2.17	0.19	0.13	-0.02

表-2に示したとおり、全体モデルにおける解析結果は計測値を精度よく再現できている。

次に、4.1と同様に、図-8に示した位置における実物大試験の計測値とFEM解析結果を対比して表-3に示す。

プレストレス導入時と同じように、一般部（スタッドF～J）ではわずかな軸方向ひずみしか計測されないのに対して、横桁位置のスタッドでは特に床版支間側（ス

タッドD、E）で比較的大きな軸方向引張りひずみが計測されていた。

また、プレストレス導入時に比べて解析結果のばら付きは少なくなっており、解析値は計測値を精度よく再現できている。

なお、スタッドC（主桁ウェブ直上のスタッド）において計測値と解析値とでひずみの符号が逆転している部分があるが、本実物大試験体の解体時に再確認してみたところ、主桁ウェブ直上に鋼桁用吊りピースを溶接するため、スタッドCは床版支間中央側（スタッドDやスタッドEの側）にややずらして溶植されていたことがわかった。スタッドCの計測値はスタッドDの計測値とよく似た傾向を示していることもあり、FEM解析モデルにおけるスタッドCの平面配置を実際に合わせて修正すれば、解析値は計測値をより正確に再現できるものと予測される。

表-3 静的な荷重載荷試験時の比較

ひずみ $\times 10^{-6}$, + : 引張

上段 : 解析値

下段 : 計測値

断面位置		スタッド番号				
		A	B	C	D	E
(0) : 中央		12	9	-54	207	329
		16	4	14	166	320
橋軸直角方向	(1) : 張出側	71	58	-34	174	396
		36	31	-30	8	228
(2) : 支間側		-48	-37	-39	327	394
		5	-17	194	320	425
橋軸方向	(3) : 中央側	41	46	-8	206	284
		8	2	23	21	78
(4) : 支点側		-14	-25	-112	300	527
		14	-1	144	314	549

断面位置		スタッド番号				
		F	G	H	I	J
(0) : 中央		10	7	-12	6	8
		-52	5	-14	4	11
橋軸直角方向	(1) : 張出側	47	34	0	-5	-14
		-177	14	-5	-2	6
(2) : 支間側		-25	-18	-14	19	34
		3	-5	-4	11	21
橋軸方向	(3) : 中央側	-28	-10	-12	23	43
		-7	-7	-8	4	15
(4) : 支点側		49	26	-13	-10	-24
		24	5	-4	4	2

5. スタッドの平面配置に関する検討

本研究で提案する解析手法を用いて、中間横桁が取り付け位置の垂直補剛材の直上にスタッドを溶植したケースの解析を行ってみた。外力としては橋軸直角方向にプレストレスを導入した時点のもので行った。

解析結果を、実物大試験体の67.9mmずらしたものと対比して表-4に示す。垂直補剛材直上にスタッドを溶植するケースでは 980×10^{-6} 程度の軸方向引張りひずみがスタッドに作用する計算となったが、実物大試験体のよ

うに 67.9mm ずらしただけで 150×10^{-6} 程度までスタッドに作用する軸方向引張りずみを低減できることが予想される結果となった。

本実物大試験体では工場製作の都合等により中間横桁が取り付け位置の垂直補剛材直上から 67.9mm しかスタッドを離すことができなかったが、例えば JH 静岡建設局のマニュアル¹⁰⁾に記載されているようにスタッドを垂直補剛材直上から 125mm 程度以上離すようにすれば、橋軸直角方向のプレストレス導入によりスタッドに作用する軸方向の引張力をかなり低減することができると思われ。

表-4 垂直補剛材直上にスタッドを溶植した場合
(FEM解析値)

断面位置		ひずみ[×10 ⁻⁶], +:引張					
		スタッド番号					
		A	B	C	D	E	
		①	②	③	④	⑤	
(0): 中 央		67.9mmずらした	2	-1	-9	76	145
		垂直補剛材直上	14	-7	-70	527	984
橋軸直角方向	(1): 張 出 側	67.9mmずらした	7	5	-11	66	167
		垂直補剛材直上	-9	-6	-85	458	1229
	(2): 支 間 側	67.9mmずらした	-3	-8	-4	99	144
		垂直補剛材直上	41	-13	-32	671	851
橋軸方向	(3): 中 央 側	67.9mmずらした	0	2	-8	47	82
		垂直補剛材直上	23	-3	-67	550	1014
	(4): 支 点 側	67.9mmずらした	0	-3	-12	120	238
		垂直補剛材直上	13	-10	-70	544	1011

6. FEM解析手法に関する考察

本研究で用いたスタッドに関する FEM 解析手法は Gap 要素を用いて床版コンクリートと鋼桁との剥離の有無を解析的に考慮したこと、剥離の度合いをきめ細やかに評価できるように細かいメッシュでモデル化したこと、スタッドに Solid 要素を使用したこと、スタッドと床版コンクリートを剛結としてモデル化したことなどに特徴がある。このような手法は特に目新しいものではないが、境界部に強制変位を与える形で全体モデルの解析結果を反映した部分モデルに移行する形をとったことがプレストレス等の外力に対する橋梁全体の挙動を把握してから局所的なスタッドの問題に踏み込むこととなって解析精度が向上するポイントになっているのではないかと考えられる。

また、このようなことを部分模型や縮小模型を用いて検証することは、その検証精度の面からも困難であろうと思われ、実物大試験体による検証を行ったことで本研究の意義が高まったと考える。

一方、静的な荷重載荷試験時の解析に比べ、橋軸直角方向のプレストレス導入時の解析結果の方が実物大試験体の計測値との整合性が悪い点については、今回の解析で考慮していない温度応力の影響によるものではないかと考えている。今回の実物大試験は移動型枠を用いた初期ひび割れを防止する現場施工方法の検証が主たる目的であり、実物大試験体の場所打ち PC 床版の施工は実際

の現場施工を忠実に再現することに主眼を置いている。したがって橋軸直角方向のプレストレス導入は材齢 3 日で行われており（早強ボルトランドセメント使用）、かつその施工時期が暑中（2001 年 7 月下旬～8 月上旬）であったことから、橋軸直角方向にプレストレスを導入した時点では床版コンクリートに比較的大きな温度応力が発生していたものと考えられる。この温度応力によっても床版コンクリートは上反り変形等の挙動を示すため、この影響が実物大試験体の計測値には含まれていると思われる。

なお、さらなる解析精度の向上を図りたい場合には、本研究では Shell 要素としていた主桁上フランジ、ウェブ、垂直補剛材についても Solid 要素とするのがよいと思われる。また、4. 2 で述べたように、スタッドとウェブ、スタッドと垂直補剛材との偏心量等について、溶植誤差等を考慮した忠実なモデル化を行うことで解析精度はさらに向上するものと考えられる。

7. まとめ

本研究においては、床版コンクリートと鋼桁とを結合させるスタッドの、橋軸直角方向のプレストレス導入時と、活荷重によって発生する 2 つのケースにおける応力状態を解析的に求め、実物大試験体の計測結果との対比によって解析手法の妥当性を検証した。

本研究の結果、橋軸直角方向プレストレスや荷重載荷によって中間横桁が取り付け位置の垂直補剛材近傍に溶植されたスタッドに軸方向の引張力が作用することを確認し、実用上問題ない精度で解析できることがわかった。

また、実物大試験体でスタッドの計測を行った中間横桁位置の床版下面にはひび割れはまったく発生しておらず、床版コンクリートと鋼桁の間に隙間が発生することもなかった。このことより、本実験におけるスタッドの偏心量が、このようなひび割れや隙間の発生を防止するひとつの指標になると思われる。しかし、まだ解析数、実験は少ないので明確ではない。

一方、本研究に利用した実物大試験においては 1 年間の長期計測も行ったが、その計測結果を分析している中で、日照による影響を受けて床版が面外方向に変形し、スタッドには軸方向の引張力が発生することがわかった。筆者らは本研究で提案した解析手法を応用して、日照による影響を受けてスタッドに作用する軸方向引張力を求める解析を行ってみた¹¹⁾が、日照の影響を解析的に評価するにはまだ検討課題が残されている。

筆者らは藁科川橋の実橋施工においても約 9 ヶ月間におよぶスタッドの実橋計測を実施している。ボルトゲージとひずみゲージによる計測値の違いといった興味深いデータも合わせて計測結果を公表している¹²⁾ので、上記の日照による影響と合わせ、引き続き分析・研究を進めていきたい。

PC床版における有害なひび割れの定義も今後の検討課題のひとつと考える。本研究のきっかけとなった藁科川橋の実橋施工に先だって実施した実物大試験体に発生したひび割れは、床版下面のみの表面的なもので、その最大幅は0.10mm程度であった¹⁾。PC床版の耐久性を考えるとひび割れは発生しないにこしたことはないが、あまりに微細なひび割れの発生までも防止する対策を講ずることは費用対効果の面で問題があるとも思える。例えば施工時に発生する軽微なひび割れはある程度許容して、ひび割れに充填補修材を後施工するような検討も必要となってくるのではなかろうか。

本研究が、場所打ちPC床版鋼2主桁橋を連続合成桁として設計する際のずれ止め（スタッド）に関する様々な課題を克服するための一助となれば幸いである。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、東京工業大学三木千壽教授には床版コンクリートと鋼桁との付着やモデル化に関し貴重なご助言をいただいた。また、日本道路公団・試験研究所殿には共同研究「鋼とコンクリートの接合部の基本性状確認試験」において本研究に関する格別のご配慮をいただいた。誌面を借りて厚く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 本間淳史・長谷俊彦・榊原和成・中村和己・上原正・河西龍彦：長支間場所打ちPC床版の設計と施工－第二東名高速道路藁科川橋－，橋梁と基礎，2002.10
- 2) 大垣賀津雄・八部順一・済藤英明・長井正嗣：長支間PC床版を有する2主桁橋の鋼桁－床版結合部の挙動に着目した実験研究，鋼構造論文集，第5巻第20号，1998.12
- 3) 雪田憲子・倉田幸宏・河西龍彦：長支間場所打ちPC床版の日照の影響による変形挙動，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，CS6-021，2003.9
- 4) 中島章典・齊木功・安中真紀・和田敏雄・吉田育生一：橋軸直角方向力による合成桁ずれ止めの挙動の把握に関する研究，構造工学論文集，Vol.46A，2000.3
- 5) 安川義行・稲葉尚文・済藤英明・大垣賀津雄：合成2主桁橋の中間横桁部における頭付きスタッド配置に関する実験的研究，土木学会論文集，No.717/I-61，2002.10
- 6) 済藤英明・大垣賀津雄・安川義行・稲葉尚文：各種ずれ止めを用いた合成2主桁橋の床版と鋼桁接合部に関する実験的研究，土木学会論文集，No.731/I-63，2003.4
- 7) 本間淳史・長谷俊彦・河西龍彦・林暢彦・松村寿男：床版と鋼桁のずれ止めに関するFEM解析検討（第二東名高速道路藁科川橋），土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，CS7-045，2001.10
- 8) 八部順一・小林潔・竹中裕文・河西龍彦：移動型枠を用いた場所打ちPC床版の施工検証実験，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，CS4-010，2002.9
- 9) 辻幸佐・鈴木永之・長田光司・谷中聡久・倉田幸宏：曲げ引抜き力を受けるずれ止め構造に関する実験的研究，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，I-486，2003.9
- 10) 寺田典生・本間淳史・河西龍彦・松井繁之：長支間場所打ちPC床版の設計・施工マニュアル(上)－総則，設計編－，橋梁と基礎，2002.11
- 11) 和内博樹・倉田幸宏・河西龍彦：長支間場所打ちPC床版におけるスタッド解析手法の提案，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，CS6-024，2003.9
- 12) 中村和己・林暢彦・河西龍彦・柘植孝之：長支間場所打ちPC床版鋼2主桁橋のスタッド実橋計測（第二東名高速道路藁科川橋），土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，CS6-058，2003.9

(2003年9月12日受付)