
低騒音鉄道橋の建設と載荷試験

Construction and Load Test of Low Noise Railway Bridges

石渡 正夫(Masao Ishiwata) 杉本 京右(Keisuke Sugimoto) 古谷 博明(Hiroaki Furuya) 城 郁夫(Ikuo Jo)

要旨：

国鉄京葉線より川崎製鉄（株）千葉製鉄所への分岐高架橋の建設にあたって、低騒音を図った次の3型式の有道床鋼製鉄道橋を設計した。すなわち、圧延H形鋼を主桁としPC横桁により一体化したHPC合成桁橋、鋼主桁を用いた下路PC床版橋および同じく鋼主桁を用いた下路RC床版橋である。これらの施工にあたって、コンクリートへのプレストレス導入量の測定を行い、設計値との対比からその安全性を確認した。完成後に行った載荷試験では、主桁、横桁、床版などに生ずる静的、動的応力たわみを実測し、計算値との比較を行って設計の妥当性を確認した。これらの橋梁では従来の無道床鉄道橋に比して騒音が10dB程度低減した。

Synopsis：

In order to construct the elevated turnout railway track from the JNR Keiyo Line to Chiba Works, 3 types of low noise railway bridges with roadbed were designed using steel for main girder and concrete for slab. These bridges consisted of HPC composite girder made of H-shapes and PC cross beams; through girder with PC slab; through girder with RC slab. In the execution of the work, prestresses in the concrete were measured so as to make sure of meeting the design value. In the loading tests after the construction, both static and dynamic stresses and deflections of main girders, cross beams and slabs were measured and compared with the calculated values to verify the effectiveness of the design. About 10dB was abated from the conventional noise level of bridges without roadbed.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

低騒音鉄道橋の建設と載荷試験

Construction and Load Test of Low Noise Railway Bridges

石 渡 正 夫*

Masao Ishiwata

杉 本 京 右**

Keisuke Sugimoto

古 谷 博 明***

Hiroaki Furuya

城 郁 夫****

Ikuo Jo

Synopsis:

In order to construct the elevated turnout railway track from the JNR Keiyo Line to Chiba Works, 3 types of low noise railway bridges with roadbed were designed using steel for main girder and concrete for slab. These bridges consisted of HPC composite girder made of H-shapes and PC cross beams; through girder with PC slab; through girder with RC slab.

In the execution of the work, prestresses in the concrete were measured so as to make sure of meeting the design value. In the loading tests after the construction, both static and dynamic stresses and deflections of main girders, cross beams and slabs were measured and compared with the calculated values to verify the effectiveness of the design.

About 10dB was abated from the conventional noise level of bridges without roadbed.

1. ま え が き

最近の鉄道橋は、環境対策上から鋼橋の使用が制限され、コンクリート橋が多く用いられる傾向にある。しかし、コンクリート橋は自重が大きくスパンの長大化に限界があること、軟弱地盤にかかる橋では耐震上の考慮から軽量の鋼橋が望まれること、また在来線に近接して工事を行うときは、軽量で急速施工可能な鋼橋がすぐれていることなどにより、鉄道橋における鋼橋の分野はまだ数多く残されていると考えられる。

鋼橋の騒音低減には軌道、構造について総合的な対策を要する¹⁻⁴⁾。軌道については、ロングレール化、レール踏面の整正を行って振動を極力小さ

くすること、バラスト道床およびバラストマットを用いて振動伝播を緩和することなどの対策が有効である。いっぽう、構造については、コンクリート床版等により振動を遮断する、コンクリート等を鋼桁に巻いて制振する、遮音板で橋梁下面を巻いて遮音するなどの対策が有効で、これらの組合せによりコンクリート橋に近いところまで騒音の低減が可能となってきた。

当社千葉製鉄所では、国鉄京葉線の工事に併せて分岐高架橋を建設したが、この高架橋は低騒音、急速施工、経済性などの要望に合致した、鋼材とコンクリートを組合せた新しい型式の鉄道橋である。本高架橋は昭和48年5月に着工、49年11月に完成し、50年5月より京葉線の一部として供用されている。

* エンジニアリングセンター建設開発部土木開発室課長

*** エンジニアリングセンター建設開発部土木技術室掛長

** 千葉製鉄所土建部線路課掛長

**** エンジニアリングセンター建設開発部土木技術室

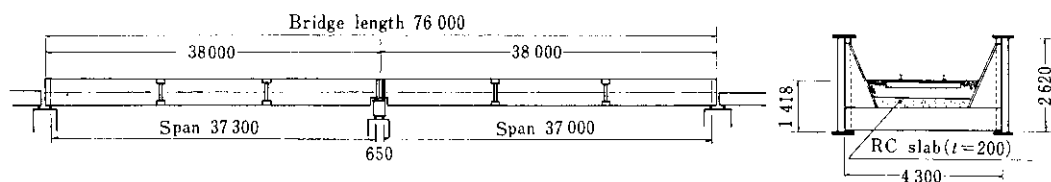


Fig. 4 Through girder with RC slab

設計荷重 : KS-16

最小曲線半径 : 200m

線路勾配 : 11.3‰

上部工 (型式, 連数, 支間):

HPC 橋 12連×14.9m~17.0m

下路 PC 床版桁 1連×25m

下路 RC 床版桁 2連×37.68m

道床: バラスト道床

下部工:

RC 橋台 1基

RC 橋脚 10脚

鋼製橋脚 (可動) 4脚

鋼製橋脚 (制動構) 1脚

主要材料:

上部工鋼材 (50kg/mm² 級鋼板, H 形鋼)

447t

上部工鋼材 (PC 鋼材) 5t

下部工鋼材 (鋼橋脚) 32t

下部工鋼材 (鋼管杭) 236t

上・下部工鉄筋 147t

上・下部工コンクリート 1573m³

2.2 HPC 橋

Table 1 に示すように, 上・下部工および基礎について, 4 設計案の比較を行った。上部工は HPC 橋を採用したが, 従来から多く用いられる RC ラーメン橋に比して自重が軽く, スパンを大きくとることが可能であり, 最も経済的な型式と考えられた。橋脚は RC 橋脚を主とし, 一部は急速施工可能な鋼製橋脚とした。

HPC 橋は主桁の圧延 H 形鋼(800×300×14×26) 4 本とこれに直交する PC 横桁 5 本を配置した格子構造とし, H 形鋼と RC 床版は, 上フランジのスタッドジベルにより一体化し合成桁とした。この構造の特長は, 工場製作によらず現場においても H 形鋼の加工が可能なことであり, 製作および架設時の若干の誤差は現場打コンクリートの施工により吸収できること, 施工簡易で経済的なこと

Table 1 Comparison of bridge types

No.	Structure type		Side view	Cost (%)	Workability	Span length
1	Super	HPC composite girder		100	○	◎
	Sub	RC or steel pier with steel pile				
2	Super	RC rahmen		105	×	×
	Sub	Steel pier with steel pile				
3	Super	RC rahmen		130	△	×
	Sub	Steel pile bent				
4	Super	H slab		140	○	○
	Sub	RC pier with steel pile				

である。

計算にあたっては4主桁と直交する5本のPC横桁よりなる格子桁とし、弾性係数比 $n=7$ を用い、各部材の断面力を求めた。

PC横桁のプレストレス導入は中間横桁、端横桁ともPCストランドケーブル(7- $\phi 12.7\text{mm}$, SWPR 7B, $A_p=6.91\text{cm}^2$) 2本を使用した。ただし、鋼製橋脚上の端横桁のみは、支点の弾性沈下による応力の増加を考慮してPCストランドケーブルを3本使用した。

PC横桁の応力計算は一般に行われる方法を行っているが、中間横桁についてその要点を示す(Fig. 5 参照)。

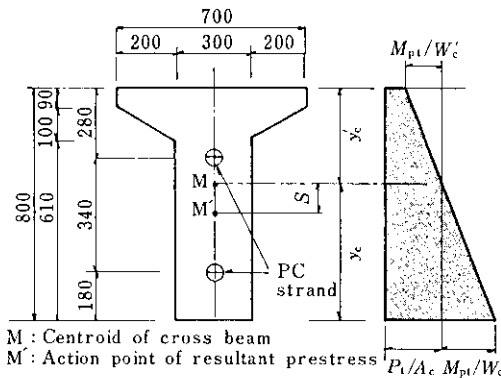


Fig. 5 Calculation conditions for prestresses in cross beam

$$\sigma'_{ct} = \frac{P_t}{A_c} - \frac{M_{pt}}{W_c} = 19.1 (\text{kg/cm}^2)$$

$$\sigma_{ct} = \frac{P_t}{A_c} + \frac{M_{pt}}{W_c} = 95.6 (\text{kg/cm}^2)$$

$$\text{ここに、} P_t = N \cdot A_p \cdot \sigma_{pt} = 2 \times 6.91 \times 11\,000 \\ = 152 \times 10^3 (\text{kg})$$

$$M_{pt} = P_t \cdot S, \quad W_c = \frac{I_c}{y_c}, \quad W_c = \frac{I_c}{y_c}$$

ただし、

σ'_{ct} : PC横桁上縁の曲げ応力度

σ_{ct} : PC横桁下縁の曲げ応力度

P_t : 導入されたプレストレス合力

A_c : 横桁断面積 ($2\,960\text{cm}^2$)

M_{pt} : 横桁重心とプレストレス合力との偏心により生ずるモーメント

W_c : 上縁断面係数

N : ケーブル数 (2本)

A_p : ケーブル断面積

σ_{pt} : プレストレス導入時PCストランドケーブルの引張応力度

S : 横桁の重心位置とプレストレス合力作用点との距離

I_c : 横桁の断面2次モーメント

y_c : 横桁重心から上縁までの距離

y_c : 横桁重心から下縁までの距離

この計算値はコンクリート許容曲げ圧縮応力度 130kg/cm^2 と許容曲げ引張応力度 -15kg/cm^2 の範囲とする。

プレストレスは導入後PC鋼線のレラクゼーション(5%), コンクリートのクリープ, 乾燥収縮により減少する⁶⁾。計算によるとこの減少量は $1\,700\text{kg/cm}^2$ である。したがって、PCストランドケーブルの有効引張応力度 σ_{pe} は $9\,300\text{kg/cm}^2$ となり、導入プレストレス σ_{pt} ($11\,000\text{kg/cm}^2$) に対する有効係数 $\eta (= \sigma_{pe}/\sigma_{pt})$ は 0.845 となる。

σ'_{ct} , σ_{ct} に η を乗ずると有効プレストレスが算出される。計算はこれに死荷重応力, 活荷重応力を合成するが、この結果を Table 2 に示す。

横桁は安全を期するために、引張鉄筋として D10 を5本配置し、設計および施工上の誤差にそなえている。

Table 2 Bending stresses in cross beam

Position	(kg/cm ²)			
	Inter beam		End beam	
Stress type	Upper	Lower	Upper	Lower
Effective prestress A	16.2	80.9	15.0	72.9
Dead load (cross beam) B	1.5	-2.1	1.7	-1.9
A+B	17.7	78.8	16.7	71.0
Design load (D+L) C	51.9	-70.9	57.0	-66.3
A+B+C	69.6	7.9	73.7	4.7

2.3 下路PC床版橋

本橋は建物屋上に架設されるため桁下高を制限されること、特に低騒音が要求されることなどが

ら、下路式で主桁は鋼、床版は PC とした。

PC 床版は横締めのみとし、縦方向には適当な間隔で目地を入れて床版に縦方向の応力が働くことを避けた。主桁方向にもプレストレス導入することを検討したが、主桁と PC 床版との応力分担率、施工法等について問題点がありこの方法は今後の課題とした。

本型式は、レールレベルから桁下までの高さを小さくすることができ、PC 床版で主桁もコンクリートで被覆されているため騒音が低減する。さらに防錆にも有利であり、今後有望な橋梁型式と考えられる。

PC 床版の設計は、2 本の主桁で単純支持される梁として曲げモーメントを計算し、主桁付近部では完全固定と仮定し、負の曲げモーメントに対しても検討した。PC 版の厚さは中央部で 25cm とし、 $\phi 23\text{mm}$ PC 鋼棒を 18cm 間隔で配置し、さらに安全のため引張鉄筋 D16 を 18cm 間隔に配置した。

プレストレス ($\sigma_{pt}=7\,400\text{kg/cm}^2$) 導入後、PC 鋼棒のレラクゼーション、コンクリートのクリープ、乾燥収縮により、鋼棒の σ_{pe} は $6\,000\text{kg/cm}^2$ 、 $\eta=0.811$ となる。PC 床版の計算応力度を Table 3

Table 3 Bending stresses in PC slab (kg/cm^2)

Position Stress type	Slab end		Slab center	
	Upper	Lower	Upper	Lower
Effective prestress A	64.9	30.0	-17.3	125.5
Dead load (slab) B	-4.2	4.2	8.3	-8.3
A+B	60.9	34.2	-9.0	117.2
Dead load (other) C	-6.1	6.1	11.8	-11.8
A+B+C	54.6	40.3	2.8	105.4
Live load D	-47.3	47.3	93.5	-93.5
A+B+C+D	7.3	87.6	96.3	11.9

に示す。

主桁設計において、PC 床版は軸方向に目地を設けて曲げモーメントを負担させず、鋼主桁のみで曲げモーメントに抵抗させるものとして計算した。

2.4 下路 RC 床版桁

小さな河川を横断する橋梁であるが、斜角 20° で交差するため 76m の橋長となった。中間支点の鋼製橋脚は箱型断面によるラーメン構造とし、河川を横断して設けられている。

主桁は溶接 I 型断面とし、横桁を主桁下側に配して下路式とし、低騒音とするため RC 床版、バラスト道床とした。

3. 施工および応力導入試験

本工事は昭和48年5月着工し、昭和49年10月に完成した。鋼製橋脚5脚は急速施工をねらったものであるが、実働15日で組立が完了した。また12連の HPC 橋の施工には、省の取付から、H 形鋼架設、床版、塗装、防水工まで約7ヶ月を要しているが、工程に余裕があるので工期はさらに2ヶ月程度短縮可能と思われる。

ここでは主として上部工の施工およびプレストレス導入試験について述べる。

3.1 材料試験

上部工のコンクリートには、早強ポルトランドセメントを使用し、設計基準強度は 400kg/cm^2 とした。配合を Table 4 に示す。コンクリート打設時に圧縮試験用供試体 ($\phi 10 \times 20\text{cm}$) および弾性試験用供試体 ($\phi 15 \times 30\text{cm}$) を採取し、試験を行った。

コンクリート圧縮試験および弾性試験の結果を Table 5 に示す。コンクリート弾性係数は、スト

Table 4 Concrete proportion

Max. size of aggregate (mm)	Slump (cm)	Water/Cement ratio (%)	Fine aggregate ratio (%)	Unit weight (kg/m^3)				
				Water	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	Pozzolanth
25	8.7~11.6	36.5	36.5	165	452	631	1 121	1.1

Table 5 Mechanical properties of concrete

Bridge	Compressive strength (kg/cm ²)			Elastic modulus (kg/cm ²)	
	3 days	7 days	28 days	At prestressing	At load test
Through girder with PC slab	—	367	485	3.34×10^5 (38 days)	3.34×10^5 (380 days)
HPC composite girder	220	383	476	2.44×10^5 (6 days)	3.17×10^5 (340 days)

Table 6 Mechanical properties of PC steels

Classification		Tensile strength	Yield strength	Elongation (%)	Relaxation (%)
PC steel bar dia. 23mm	Standard	>110kg/mm ²	>95kg/mm ²	>5.0	<1.5
	Result	124.7kg/mm ²	111.8kg/mm ²	10.0	—
PC wire strand dia. 12.7mm	Standard	18 700kg	15 900kg	>3.5	<3.0
	Result	19 400kg	18 000kg	6.2	1.8

レンゲージを中央部に4枚対称に貼付け、設計基準強度の範囲で3個の供試体の平均値により求めた。

使用したPC鋼棒、PCストランドケーブルの品質をTable 6に示す。

3.2 HPC 合成桁

H形鋼は工場でキャンパー、穴あけ、スタッド溶接などの加工を行い、現場に搬入して20tクレーンにより架設した(Photo. 1 参照)。

横桁の底型枠は主桁から吊り、側型枠、ケーブルシースを配置した後コンクリートを打設した。コンクリートが所定の強度(設計基準強度の85%)に達した後、110t センターホールジャッキを用いてPCストランドケーブルの緊張作業を行った。



Photo. 1 Erection of HPC composite girder

緊張順序は中央横桁、中間横桁、端横桁の順とした。

ケーブル緊張力 77.23t に対する計算上のケーブル伸びは 22mm であり、いっぽう実測値は 20~23mm でほぼ所定の緊張力が導入されている。

PC 横桁(中央)のプレストレス導入時のひずみは、ストレインゲージ、カールソンひずみ計により測定した。これに実測した弾性係数を乗じて求めた横桁の応力実測値と計算値の比較を Fig. 6 に示す。横桁中央断面では計算値より若干高めの応力が、また端断面では若干低めの応力が導入されている。PC ストランドケーブルには所定の緊

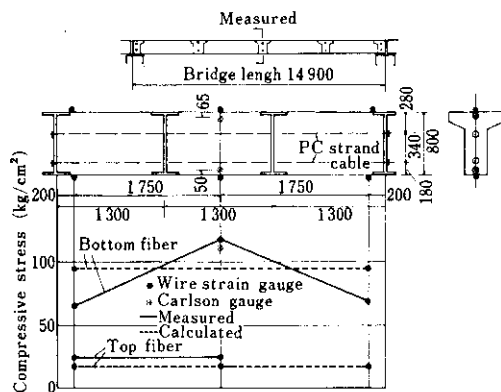


Fig. 6 Stress distribution in center cross beam of HPC composite girder



Photo. 2 Completed HPC composite girder

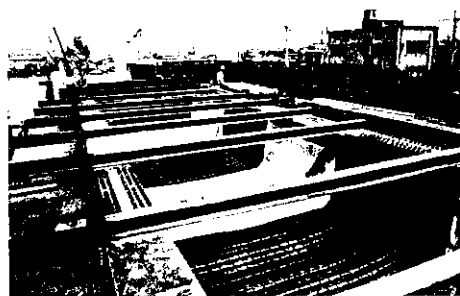


Photo. 3 Construction of through girder with PC slab

張力が導入されているのでこの原因についてはさらに検討を要する。活荷重載荷時には中央断面に最も大きい曲げ応力が働き、端断面では曲げ応力が小さいので安全と思われる。

完成写真を Photo. 2 に示す。

3.3 下路 PC 床版橋

架設された 2 本の主桁は PC 床版が完成するまでは不安定であり、コンクリート打設時、ねじれや横座屈の防止に特に注意が必要である。このため Fig. 7 に示すように仮設用の横構、端対傾構を設けた。

床版コンクリートは 9 ブロックに分割し、初めに一つおきのブロックのコンクリートを打設し、

仮のプレストレス導入を行ったのち、対傾構を除去し、残り半分のブロックのコンクリート打ちを行った (Photo. 3 参照)。施工中にコンクリート打設にともなう主桁の変位量を測定したが、鉛直方向の変位は計算値に近い値を示した。主桁の水平方向の変位量は認められなかった。

床版のプレストレス導入は 35t センターホールジャッキ 2 台を用い、 $\phi 23\text{mm}$ の PC 鋼棒を 2 本ずつ同時に処理した。プレストレス導入の順序は主桁中央部より端部へとなるべく対称になるように作業をすすめた。Fig. 8 に示す試験ブロックでプレストレス導入によるコンクリートのひずみを測定した。

PC 鋼棒の緊張力 31.47t, 計算上の伸び 15mm に対して実測伸びは 14.5~17mm であった。

プレストレス導入中に床版に発生する応力をス

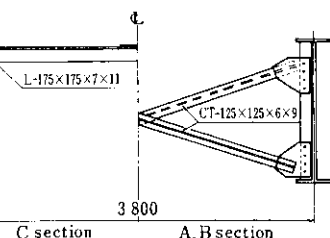
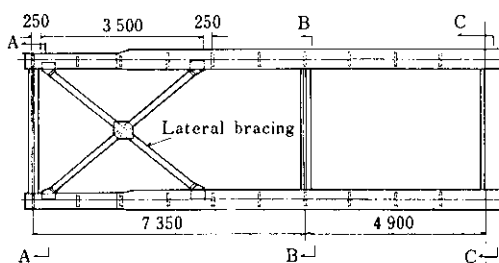


Fig. 7 Temporary bracing

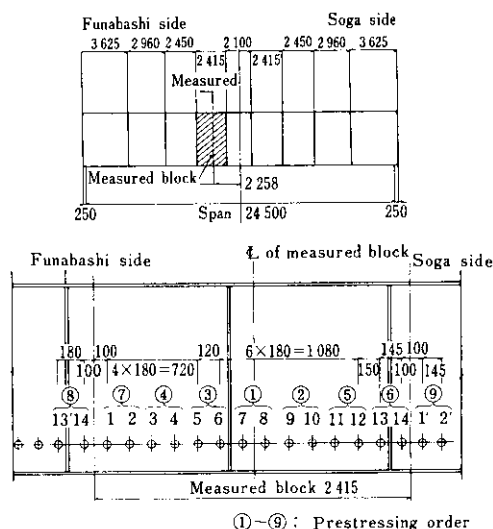


Fig. 8 Measured block and prestressing order

トレンゲージ、カールソングージで測定したところ、測定ブロック内では応力が順次増加したが、5本の締付 ($5 \times 18\text{cm} = 90\text{cm}$) で一定値になった。隣ブロック締付では応力の増加はなかった。プレストレス導入完了後の床版の応力実測値と計算値の比較を Fig. 9 に示す。中央断面の上縁では計算値よりも実測値が大きく、下縁では計算値より実測値が小さい。この結果より PC 鋼棒の位置が 2.7cm 上方に移動しているものと推定される。この原因として、床版型枠の沈下、PC 鋼棒のシース内での上方への偏りなどが考えられる。このような薄い版 (厚さ 25cm) では PC 鋼棒の配置誤差が大きく影響するので、施工にあたっては注意が必要である。なお、設計荷重時に床版中央部下面に若干の引張応力が生じたが、鉄筋 (D16, 18cm 間隔) が応力を分担するので安全と思われる。

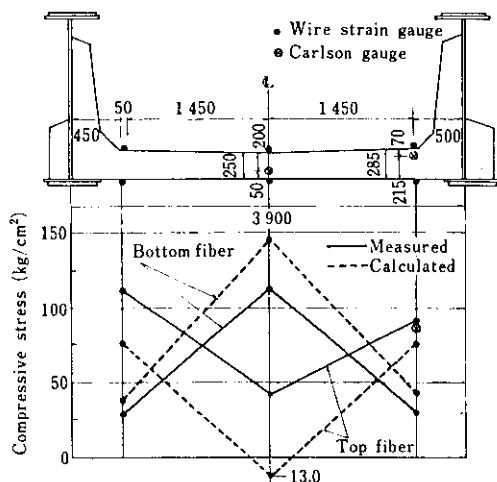


Fig. 9 Stress distribution in PC slab

4. 荷重試験および騒音測定

橋梁完成後、コンクリートと鋼桁とがプレストレスにより一体化された合成構造体になっているか、またその安全性を確認するため、静的ならびに動的荷重試験、騒音測定を行った。

4.1 HPC 合成桁の荷重試験

4.1.1 静的荷重試験

荷重は Fig. 10 に示すような荷重により、S-1

(最大曲げモーメント位置)(Fig. 11 参照)、S-2 (最大せん断力位置) に荷重した。ここでは S-1 荷重のみについて述べ S-2 は省略する。ひずみはワイヤーストレンゲージ、たわみはダイヤルゲージにより測定した。

S-1 荷重時の H 形鋼の応力分布を Fig. 12 に示

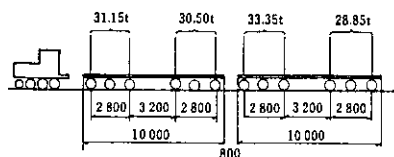


Fig. 10 Load distribution on static test train

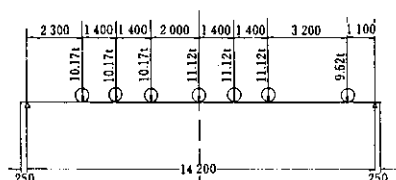


Fig. 11 S-1 type static loading

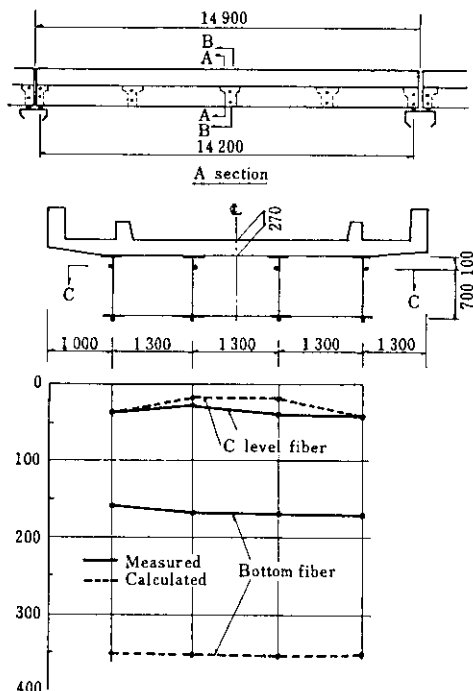


Fig. 12 Comparison of measured and calculated stresses in midspan H beam under S-1 loading

す。各桁にはほぼ均等に応力が生じており、PC横桁による荷重分配がよく行われていることがわかる。主桁の下縁応力は計算値の50%程度である。これは、計算上は無視している地覆および側壁が主桁と一体となった合成断面で抵抗していることによると考えられる。主桁のたわみは Table 7 に示すように計算値の42~52%である。

横桁（支間中央）の応力分布を Fig. 13 に示す。下縁部の実測値は計算値の約60%である。これは横方向の荷重分配に横桁以外の床版、地覆が有効に働いていることによると考えられる。

Table 7 Measured and calculated deflections of H beam at midspan under S-1 loading

Beam No. Deflections(mm)	①	②	③	④
Measurement	1.89	2.13	2.28	2.45
Calculation	4.47	4.80	4.80	4.47
Meas./Calc.	0.423	0.444	0.475	0.548

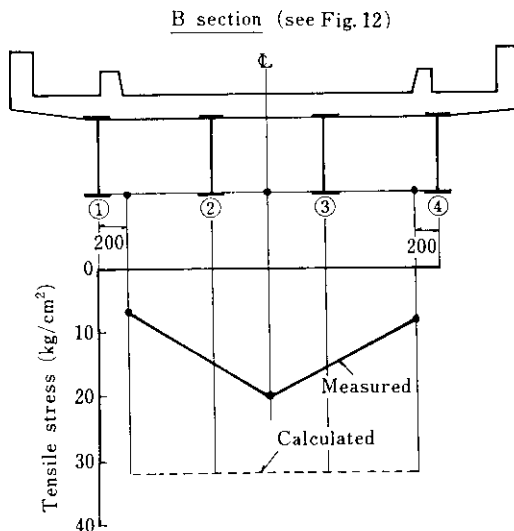


Fig. 13 Comparison of measured and calculated stresses in cross beam at midspan under S-1 loading

4.1.2 動的載荷試験

走行速度 10km/h, 20km/h, 30km/h で Fig. 10 の荷重により動的載荷試験を行った。測定は主桁

および横桁のひずみ、たわみ、加速度について行った。

主桁の設計に用いられる衝撃係数 i は

$$i = \frac{\text{振動の影響を考えた最大応力度} - \text{最大静的応力度}}{\text{最大静的応力度}}$$

$$\text{または、} \frac{\text{最大動的たわみ} - \text{最大静的たわみ}}{\text{最大静的たわみ}}$$

と表される。測定の結果、応力度より求めると $i = 0.135 \sim 0.44$ 、たわみより求めると $i = 0.184$ となり、いずれも設計値 $i = 0.55$ に比して安全な値である。

つぎに、桁の振動数 n は

$$n = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI \cdot l \cdot g}{wl + 2\sum P_i (\sin \frac{\pi}{l} a_i)^2}}$$

ここに、

l : 桁の支間

EI : 桁の剛性

w : 桁の単位長重量

P_i : 列車の輪荷重

a_i : P_i の支点からの距離

g : 重力の加速度

により表される。

実測値の 10.6c/sec に対し、計算値では無載荷時 8.7c/sec, 列車載荷時 5.8c/sec である。

主桁、横桁、床版の加速度は走行速度 30km/h で 235~285cm/sec² であり、各位置による差は明らかでない。加速度は騒音発生源を知るために測定される。軌道より離れた主桁が床版と同程度の加速度を示していることは、さらに低騒音化を図るために、主桁にも制振対策が必要なことを示している。

4.2 下路 PC 床版桁の載荷試験

4.2.1 静的載荷試験

Fig. 10 にまず荷重を S-3 (最大曲げモーメント位置)(Fig. 14 参照), S-4 (最大せん断力位置)に載荷し、各点のたわみ、ひずみを測定した。ここでは S-3 についてのみ述べる。

Fig. 15 は主桁の応力分布を示す。実測値は鋼桁のみの場合の計算値より小さく、鋼とコンクリ

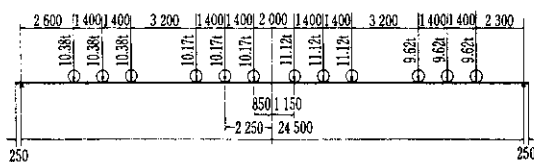


Fig. 14 S-3 type static loading

ート合成断面の計算値より大きく、両者の中間の値となっている。これは設計では鋼桁のみで応力計算をしているが、実際にはコンクリートが有効に働いていることを示している。

主桁のたわみの実測値と計算値の比較を Table 8 に示す。実測値は鋼桁のみの計算値の 0.77 倍である。また、実測値はコンクリートと鋼桁との合成断面のたわみと鋼桁のみのたわみの両計算値の中間にある。

Fig. 16 に床版コンクリートの横断面の応力実測値と計算値の比較を示す。床版中央部の実測値は計算値より小さいが、端部では計算より大きい正のモーメントによる応力が発生している。しかし端部には前述のように下縁 $55\text{kg}/\text{cm}^2$ 、上縁 $40\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度のプレストレスが導入されているので、载荷によって引張応力度が $16\text{kg}/\text{cm}^2$ 作用してもコンクリートに引張応力が作用することはない。

Table 8 Measured and calculated deflections of main girders at midspan under S-3 loading

Girders	Measured deflections (mm)	Assumption for calculation (mm)	
		Steel section	Composite section
Left G	14.6	18.8	10.5
Right G	14.3		
Meas./Calc.	—	0.77	1.38

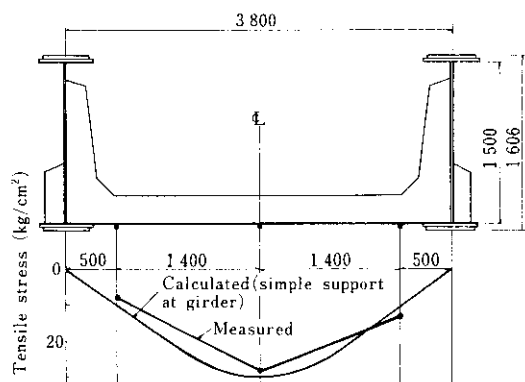


Fig. 16 Measured and calculated stresses of slab at D-D section (see Fig. 15) under S-3 loading

4.2.2 動的载荷試験

HPC 合成桁と同じ走行速度、荷重で動的载荷

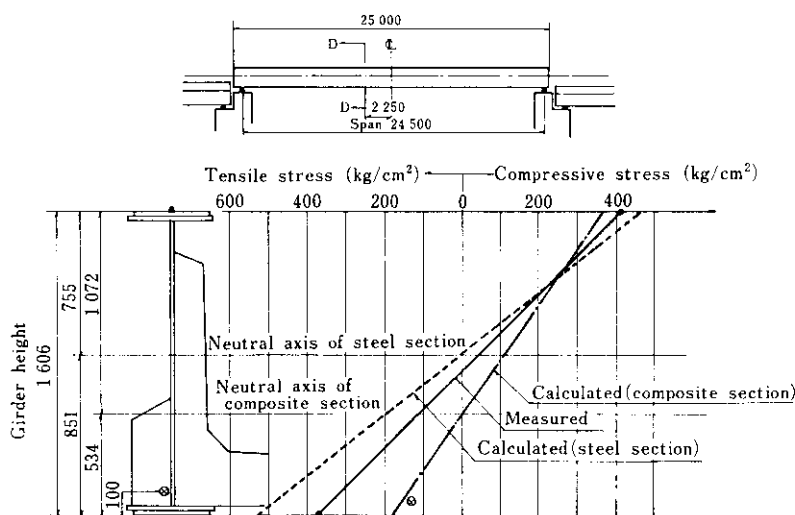


Fig. 15 Measured and calculated stresses of main girder at D-D section under S-3 loading

試験を行った。

応力より求めた衝撃係数は $i=0.082$ ，たわみより求めた値は $i=0.078$ で，設計値 0.55 より著しく小さい。

列車載荷時の桁の実測振動数 4c/sec に対し，計算値は鋼断面のみの場合 2.5c/sec ，コンクリート合成断面の場合 3.2c/sec である。

走行速度 30km/h のときの加速度は，軌道に近い床版が $230\sim 250\text{cm/sec}^2$ ，主桁で 190cm/sec^2 である。主桁の加速度が床版のそれより小さいのは，主桁周囲のコンクリートが主桁の騒音防止に役立っていることを示している。対数減衰率は $0.081\sim 0.124$ で一般の橋梁と異なるところはない。

4.3 騒音測定

騒音低減を図った前述の3種の橋について，試験荷重の走行時（10，20， 30km/h ）の騒音測定を行った。騒音計はリオン NA-09 型を用い，桁直下，桁真横，8～15m 離れた位置の各3点について測定した。なお，下路 PC 床版橋の真横（Fig. 17(b) ①参照）のみについて周波数分析を行った。

各橋梁の騒音測定位置およびその結果を Fig. 17, 18 に示す。騒音は A 特性の中央値で示した。3 橋の周囲の地形，環境は異なるが，その影響を無視すると次のことがいえる。

(1) 3 橋とも橋梁直下の騒音が最も大きく，距離 10m 程度で 10dB 程度減衰する。

暗騒音は 65dB 程度あり，国道の自動車騒音によるものと思われるが，橋梁の騒音に比較して 10dB 以上の差があるのでこの暗騒音は影響しないと考えられる。

(2) 3 橋とも列車速度 10km/h と 20km/h による騒音レベル差は 5～9dB であり，ほぼ騒音差 $\Delta L = 30 \log(20/10) = 9\text{dB}$ に近似している。速度 20 km/h と 30km/h とでは HPC 合成桁橋の場合 4dB の差があるが，他の 2 橋ではほとんど差異がなく，ほぼ同程度の値を示している。

(3) 周波数分析の結果，下路 PC 床版橋における最大音圧レベルは 63～160Hz の周波数が卓越している。これに対して開床式では 1000Hz が卓越すると言われている。

(4) 橋梁直下の騒音レベルは 3 橋とも顕著な差異はない。

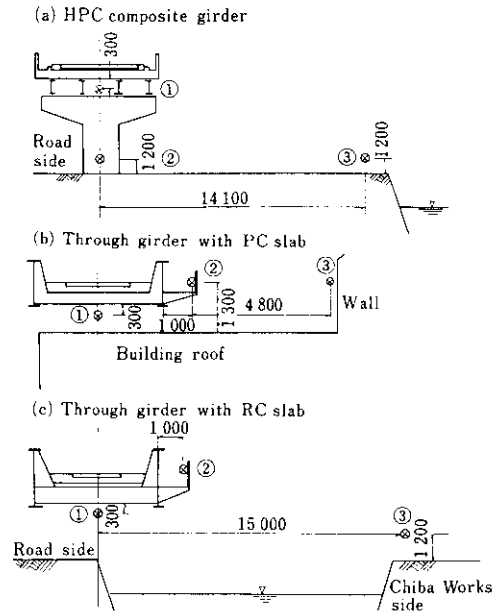


Fig. 17 Measuring points of noise level

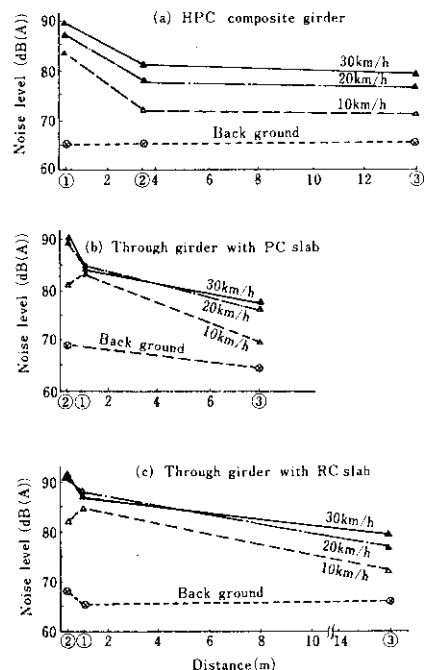


Fig. 18 Noise level as a function of measuring distance

既存の実測値⁴⁾は，車輛の種類，レール継目の有無，速度，地形，測定位置などにより異なるので，単純な比較は困難であるが，なるべく同条件

で比較するため、HPC 合成桁橋の地上1.3mの測定値を 60km/h の騒音に換算し Table 9 に示す。本橋は開床デッキガーダーに比して 10dB 程度騒音が低減している。

Table 9 Comparison in noise level of HPC composite girder with other bridges

Type	Noise level dB(A)			
	80	90	100	110
HPC composite beam $l=16.0\text{m}$	(30km/h)	●		
Open floor through girder (noise control) $l=22.3\text{m}$		●	●	
Open floor through girder (noise control) $l=9.8\text{m}$	●	●	●	
Open floor deck girder $l=10.8\text{m}$			●	●
Open floor deck girder $l=12.9\text{m}$			●	●
Open floor deck girder $l=12.9\text{m}$			●	●

Measured just under the bridge and 1.3m high above ground

● equivalent noise for $v=60\text{km/h}$

●● indicate the noise at rail joint

に働くことによると考えられる。また PC 横桁の応力も計算値の 3/4 程度であった。これは横方向の断面として床版が作用していることによると考えられる。

(d) 動的載荷試験において、主桁の振動数、衝撃係数ともに計算値より安全側の値を示している。

(2) 下路 PC 床版桁橋について

(a) PC 床版のコンクリート打設時、主桁の横座屈に対する安全のため仮設的な対傾構を設けたが、今後の設計においてさらに合理的な方法を検討する必要がある。

(b) PC 床版のプレストレス導入は、計算値に對しかなりの誤差が生じた。この原因として PC 鋼棒の配置誤差が考えられるが、今後の設計・施工において十分配慮すべき事項である。

(c) 静的載荷試験における主桁の応力およびたわみより判断して、鋼断面に床版コンクリートの一部 (20% 程度) が合成されている。PC 床版は実測値より、主桁を支点とした単純梁として作用しているものと考えられる。

(d) 動的試験において、固有振動数、衝撃係数ともに計算値より安全側の値を示している。

(3) 騒音低減について

本工事において、3 型式の橋梁はいずれも低騒音を図るため有道床とし、床版にはコンクリートを使用した。3 橋の騒音は橋梁直下ではほぼ同程度であった。一般の鉄道橋との比較は、荷重、速度などが異なるので困難であるが、無道床の鉄道橋に比べて 10dB 程度は低減していると考えられる。

おわりに、本橋の設計および載荷試験にあたって御指導を賜った国鉄構造物設計事務所阿部英彦次長に深謝の意を表します。また設計、試験に御尽力いただいた日本交通技術(株)および工事を担当された川崎重工業(株)、川崎電機工業(株)、五洋建設(株)の関係者の御協力に感謝いたします。

5. ま と め

低騒音鉄道橋の建設を行い、施工中のプレストレス導入量試験および完成後の載荷試験の結果をまとめると下記のことがいえる。

(1) HPC 合成桁橋について

(a) 横桁のプレストレス導入の結果、ケーブル緊張力は所定の値であるが、コンクリート表面の実測値は中央断面で設計値を上回り、端断面では設計値を下回っている。

(b) 載荷試験の結果、PC 横桁は所定の剛性を有し、主桁は横桁の荷重分配作用によりほぼ均等に荷重を分担している。

(c) 静的載荷試験において、支間中央の主桁応力およびたわみは計算値の 50% 程度であった。これは計算断面のほかに、砂利止、地覆コンクリートが合成断面の一部として有効

参 考 文 献

- 1) 阿部：騒音対策を考えたトラス橋，JREA，7 (1973) 16, 17~20
- 2) 谷口ほか：鋼橋の騒音防止，構造物設計資料，6 (1974) 36, 1596~1599
- 3) 中野：低騒音鋼橋，鉄道土木，3 (1976)，157~162

- 4) 鋼材倶楽部土木専門委員会：鋼橋騒音防止の研究総括報告書，1 (1971)，3
- 5) 構造物設計事務所：建造物設計標準(鋼とコンクリートの合成鉄道橋)案，構造物設計資料，12 (1973) 36, 1521～1525
- 6) 日本鉄道施設協会：建造物設計標準 (プレストレスコンクリート鉄道橋)，3 (1970)
- 7) 土木学会：鋼鉄道橋設計標準，(1970)

