

既設単純鋼桁の連結化に伴う連結部付近の維持・管理 および沿道の環境面への影響に関する一考察

A STUDY ON MAINTENANCE AND MANAGEMENT OF CONNECTING PARTS OF THE EXISTING
SUCCESSIVE SIMPLE-PLATE BRIDGES AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACTS ALONG THE ROADS.

徳永法夫* 西村 昂** 松井繁之*** 刑部清次****

Norio TOKUNAGA, Takashi NISHIMURA, Shigeyuki MATSUI and Seiji OSAKABE

* 阪神高速道路公団保全施設部調査役 (〒541 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)

** 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

*** 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科 (〒565 吹田市山田丘 2-1)

**** (株) 長大 神戸支店 構造計画部 (〒650 神戸市中央区三宮町 1-3-1)

With an increase in traffic volume, we have been witnessing a rise in the number of complaints about noise and vibration caused by vehicles passing parts that connect bridges and roads. Urban Expressway Public Corporation adopts a "joint-less" technique as a countermeasure to this problem. It is expected that the technique will be used more frequently because it has many advantages such as cost reduction for maintaining joint parts and an improvement in earthquake resistance. In this paper, by focusing on the girder-connection method among the techniques of constructing "joint-less" bridges, we look at issues of design and construction and consider maintenance and management of connecting parts. We also compare the study results of stress to those of grid calculation and examine the structure of connecting parts. Finally, we introduce advantages and effectiveness of the technique and indicate areas for further research and discussion.

Key Words: jointless, maintenance and management, noise and vibration

1. はじめに

21 世紀に予想される高齢化社会の到来の中で、社会資本整備に対する国民の期待は大きく、個人の価値観の多様化と共に新しい需要への対応が求められている。

都市高速道路公団（以下、公団という）では、主要都市の道路交通網の整備を行っているが、現在は建設から管理にその業務は移行してきている。さらに平成 9 年 4 月に、政府の「公共工事コスト縮減対策に関する行動指針」が発表され、コスト縮減に関する関心も高まってきている。

建設コスト縮減は、設計および工事のみではなく維持・補修にも大きく関与する。実際、公団でも維持管理費に膨大な経費を必要とし、阪神高速道路公団の昨年度（平成 8 年度）予算を見ると、維持修繕費は約 269 億円であり、その中でもジョイントの補修に要するものは約

12 億円と全体の約 5% を占めていた。

一方、交通量の増大に伴い、ジョイント通過時の騒音・振動の苦情が増加している。そこで道路管理者は、ジョイント通過時の騒音・振動対策として、ノージョイント化を積極的に採用している。さらに、ノージョイント化は、ジョイント部補修に対する費用の削減、ノージョイント化に伴う耐震性の向上など利点が多い¹⁾。

ここでは、ノージョイント化のなかでも鋼主桁連結工法に焦点をおき、設計・施工上の問題点を整理し、今後の維持管理に対する留意点および対策を提言した。さらに、騒音・振動の測定結果よりノージョイント化による効果を紹介するとともに、沿道の環境面への影響を考察した。

2. 施工事例

「鋼桁主桁連結工法」の中で、図-1 に示した「モーメ

ントプレート+シアプレート」方式の施工例を紹介する。

同形式は、図-2に示すように平成3年11月を最初に、平成9年までに15例の施工実績がある。15例の内訳としてノージョイント化した径間数は、2径間1箇所、3径間6箇所、4径間2箇所、5径間2箇所、6径間2箇所、10径間以上が2箇所とほとんどが5径間以下である。これは、物理的に不可能な場合もあるが、桁を連結することにより温度変化の伸縮量が増加するため、既設遊間の不足がその採用を妨げていた。

しかし、連結数を増加させることは伸縮装置の減少など様々な利点があるため、平成8年に桁端部に工夫を行い、11径間連結を実現させた²⁾。

3.設計方法と現状の問題

平成3年11月に初めて「モーメントプレート+シアプレート」方式のノージョイント化が実施された。平成9年現在まで15例のノージョイント化が施工され、6年の間には「建設省道路橋の免震設計マニュアル(案)」³⁾を始め、活荷重がTL-20からB活荷重への変更伴って「道路橋示方書」⁴⁾の改定、道路保全センターから「既設橋梁のノージョイント工法の設計・施工の手引き(案)」⁵⁾、さらに「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」⁵⁾、また地震力を最大2Gまで考慮した新しい「道路橋示方書」⁶⁾などが刊行され、荷重に対する考え方が変更になった。

そのため、平成3年当時に比べ、設計荷重を含め、ノージョイント化の環境が大きく変化してきている。

ここでは設計の状況変化を踏まえ、問題点を抽出する。

3.1 設計方法

文献7)、8)、9)では、供試体による実験をFEM解析結果と照合し、連結構造のもつ特異性から構造上問題となる付加応力の度合いを求めている。それらの結果を踏まえ付加応力の算出を式(1)によった。(式(1)参照)

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma_r \times (F/t) / (F/t)_r \dots \dots \text{式(1)}$$

- ここに、 $\Delta \sigma$: 応力度増分 (kgf/cm²)
- $\Delta \sigma_r$: 実験結果による応力度増分 (kgf/cm²)
- F : フランジ力 ($\sigma_f \times A_f$) (kgf)
- σ_f : フランジの応力度 (kgf/cm²)
- A_f : フランジの断面積 (cm²)
- t : 連結板の板厚 (cm)
- r : 実験値

一方、ノージョイント化工事対象区間を、以下の基本方針に基づき決定した。

- ①縦断こう配が小さい(3%以内)
- ②上部工支間長がほぼ一定である
- ③連結する主桁本数、高さが一致している

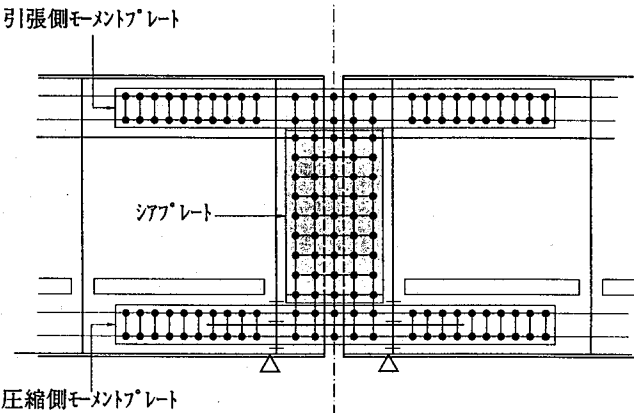


図-1 「モーメントプレート+シアプレート」方式によるノージョイント化構造の側面図

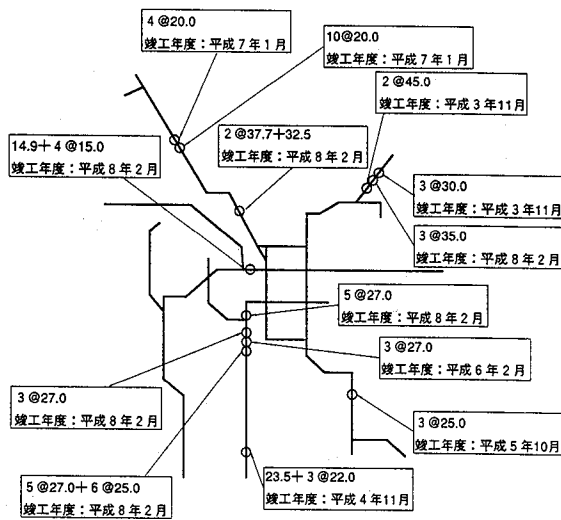


図-2 ノージョイント化の施工実施箇所

- ④橋脚および基礎などの形状がほぼ同一である (同一地盤上である)
- ⑤上記条件が3~5径間程度続く
- ⑥上部工形式が鋼単純合成鈑桁および、これと類似の鋼橋である (例えば、単純合成H桁)
- ⑦平面形状が直線区間である (曲率半径 1000 m 以上でも適用可能)
- ⑧液状化は発生しない

3.2 問題点

(1) 施工上の問題

ノージョイント化工事上問題となる項目について、ヒアリングを実施した。その結果次のことが確認された。

- ①施工上問題とならないプレートのサイズは、板厚 t=22mm、長さL=2.5m、重さ80kg程度である。
- ②施工上困難な工種は、支承取り替え工事と圧縮側モーメントプレートの長さ管理である。

現在のノージョイント化設計は、設計荷重の増加に伴

い、図-3、図-4に示すように単純にプレートの大きさを大きくし（大きいもので、120kg程度）、支承に関して平面形状を大きくすることで（平面寸法の増加は、約1.2倍程度）対応している。すなわち、現在のノージョイント化の設計は施工上の配慮がされていなく、モーメントプレートの大きさや支承設置高さの管理など正確さが要求される施工であり、狭い桁下空間での作業は、施工不良の原因を作る。

(2) 設計上の問題

連結部引張側の応力は、高力ボルトの摩擦力で伝達している。活荷重の増加に伴いボルト列数が当初8列程度だったものが、最大13列までになった。

モーメントプレートに使用する連結ボルト数は、多くなるとボルトに作用する力が不均等になる恐れがある。しかし、厚板を採用していること、さらに道路橋示方書

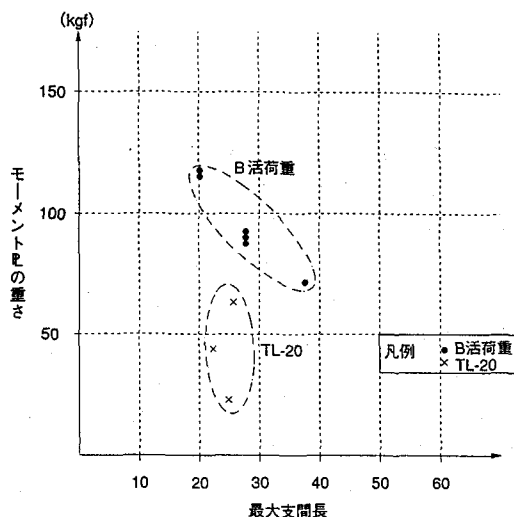


図-3 活荷重による板厚変化

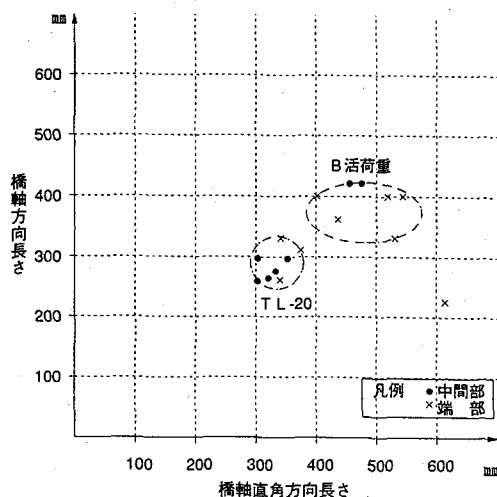


図-4 支承の大きさ

に記載されている12列程度までは耐力の低下が発生しないことなどから、現在は問題ないと判断した。しかし今後は、既設構造物での施工であるため、主桁腹板の断面欠損など既設部位に与える影響を考慮した設計が必要である。

また、支承取り替えは狭い空間内で作業となり、工事および大型化した支承には、次のような問題もある。

- ①鋼製支承に比べゴム支承は平面形状が大きくなるが、ソールプレートおよび下フランジが小さく、支承の動きが桁の動きに追従しにくい
- ②限られた時間内で施工を行うためのセットボルトの締め忘れ
- ③支承高さの施工精度によっては、荷重の不均等による付加応力の発生

上記問題を考慮した設計の確立が必要であり、また支承部分は特に十分な施工管理が望まれる。

さらに連結部床版の処理は、コンクリートを上から打設しているのみであり、地覆部、壁高欄部の止水処理は十分に行われていないため、設計段階から止水対策を考慮する。

4. 維持管理上の留意点および点検項目

ここでは、前述の問題点を踏まえ、維持管理上の留意点および点検項目について以下に示すこととする。

(1) 連結板

「モーメントプレート+シアプレート」方式は、支点上に発生する曲げモーメントを、圧縮側はプレートの支圧により伝達する構造を採用している。そのため、施工上困難な圧縮側モーメントプレートと垂直補剛材との肌すきにより、圧縮側の力が完全に伝達されていない可能性がある。

<点検項目>

連結板の塗装はく離、垂直補剛材の曲がりなど

(2) 床版

雨水を完全に遮断されていない

<点検項目>

床版下面から遊離石灰などの確認

(3) 支承まわり

支承のセット高さの違いにより、力が不均等に働き、支承の損傷やセットボルトなど、最も損傷が起きる可能性があるため、頻繁に点検を行う。

<点検項目>

①支承部本体の損傷の点検

②支承取付部分（ボルト、ソールプレート溶接部など）

例えば、セットボルト付近の塗装割れ、溶接部もビードの割れなどが目視にて確認する。

(4) 付属物

ゴム支承の採用は、鋼製支承にくらべ、横方向の振動が無拘束となり、さらに鉛直方向にも振動している。そのため、常時振動により付属物に悪影響を及ぼす。

＜点検項目＞
検査路や排水装置などの取付部など

5.騒音・振動などの調査結果

都市高速道路は、民家に隣接し建設されたため、騒音・振動の苦情が多く、公団でも過去様々な対策を行っている。特に低周波空気振動を始め、振動問題は現象が複雑で、構造物、地盤などの受振側の要因が複雑に絡み合っ

て発生するため、十分に解明されるに至っていないのが現状である。
しかし問題解決のため、弾性支承と桁連結構造を用いた振動特性の研究をはじめ、振動の固体伝搬音対策の研究など様々な研究^{10)～13)}がなされている。

公団では、ノージョイント化を騒音・振動対策の1手段と考え積極的に採用している。また、ノージョイント化の工事を実施する際、連結前および支承取り替え後、連結後の騒音・振動調査を実施している。さらに、連結後のモーメントおよびシアプレートの応力測定を実施し、構造上の検証も行っている。

ここでは、連結数の短い3径間、中程度の6径間、さらに11径間の3種類の測定結果を報告し、ノージョイント化の優位性について検証することとした。

5.1 3径間連結 (3×30.0=90.0 m)

上部工形式 単純合成鉄桁 (5主桁)
下部工形式 RCT型単柱式橋脚
基礎 円形ケーソン

(1) 騒音調査結果

統計処理値による分析結果から、1次回帰式による工事前、中、後の比較を行うと、騒音レベルの低下はジョイント直下のL₅₀値(中央値)は平均で-2.4dB(A)の効果が認められるが、官民境界では認められない。しかし、ピーク時に近いL₉₀値(90%レンジ上端値)では、ジョイント直下で最大4.2dB(A)、官民境界でも2.6dB

(A)もの顕著なレベル低下が表-1から確認出来た。
周波数特性から見た騒音の低減効果を見た場合、周波数分析を行った結果、以下のことがわかった。

ジョイント通過時の衝撃音は、固体伝播音も伴って、広い周波数範囲の音を含んでいる。ノージョイント化により低減される周波数帯は、31.5Hz～250Hzの範囲であった。しかし、31.5Hz～250Hzの周波数帯のレベル低減は5～10dBにも及ぶが、これらの周波数帯の音は、聴感補正回路により-5～-40dB(A)の補正を受け、オーバーオールレベルへの寄与率が小さいため、官民境界測点での騒音の改善効果は小さなものになっている。

(2) 振動調査結果

統計処理値による分析結果から、1次回帰式による工事前、中、後の比較を行うと、振動レベルの低下は、上下動、水平動ともL₁₀値(90%レンジ上端値)でわずかにみられ、橋脚近傍で1.2～1.7dB、官民境界で0.2～1.8dBの低下が認められた。

また、工事前、中の振動レベルには1dB未満の差しかみられないため、表-2からゴム支承交換に伴うレベル上昇はないと言える。

周波数特性から見た振動の低減効果を見た場合、ノージョイント化により低減される周波数帯は40Hz～100Hzの範囲であり、橋脚脇地盤では5～15dBの低減を示した。官民境界でも5～15dB前後の低下が認められた。また、40Hz～100Hzの振動は距離減衰が大きく、官民境界までに1～10dB程度も減衰していた。

地盤振動には、2.5Hz～4Hz(構造物の振動に起因)、16Hz～20Hz(地盤の固有振動)、63Hz付近(ジョイント通過時の衝撃振動)の3種類が卓越していた。ノージョイント化の工事により、オーバーオールレベルへの寄与率の低い63Hz付近の振動は大きく低減されるが、寄与率の高い2.5Hz～4Hz、16Hz～20Hz付近の振動の低減効果は認められない。

(3) 応力測定結果

ノージョイント化工事終了後、試験車両(20ton ダンプトラック)を静的に載荷させて連結部に生じている応

表-1 一次回帰式からの騒音レベル低減効果

	測点位置	回帰式による騒音レベル (単位: dB(A))				
		工事前(A)	支承交換後(B)	差(B-A)	連結後(C)	差(C-A)
L50値	ジョイント直下	71.3～64.1	70.8～63.6	-0.5～-0.5	68.2～62.4	-3.1～-1.7
	官民境界	63.1～55.0	61.7～55.6	-1.4～-0.6	61.7～54.8	-1.4～-0.2
L5値	ジョイント直下	78.7～74.4	74.5～72.2	-4.2～-2.2	75.7～72.6	-3.0～-1.6
	官民境界	73.2～64.9	70.6～64.9	-2.6～-0.0	69.7～64.1	-3.5～-0.8

※表中の+の数値は、工事前よりレベルが上昇したことを示している。

表-2 一次回帰式からの振動レベル低減効果

	測点	全時間帯平均振動レベル (L10) (単位: dB(A))				
		工事前(A)	支承交換後(B)	差(B-A)	連結後(C)	差(C-A)
橋脚	橋脚脇地盤	44.0～39.4	42.6～39.2	-1.4～-0.2	42.3～37.7	-1.7～-1.7
	(X) 官民境界	40.5～35.8	39.7～35.0	-0.8～-0.8	38.7～34.2	-1.8～-1.6
直角	橋脚脇地盤	46.1～42.3	46.1～42.2	0.0～-0.1	45.0～41.0	-1.1～-1.3
	(Y) 官民境界	42.2～38.5	42.0～38.2	-0.2～-0.3	41.6～38.0	-0.6～-0.5
鉛直	橋脚脇地盤	51.2～45.0	51.6～45.6	+0.4～+0.6	50.0～43.4	-1.2～-1.6
	(Z) 官民境界	47.5～41.0	47.9～42.0	+0.4～+1.0	47.7～40.0	-0.2～-1.0

※表中の+の数値は、工事前よりレベルが上昇したことを示している。

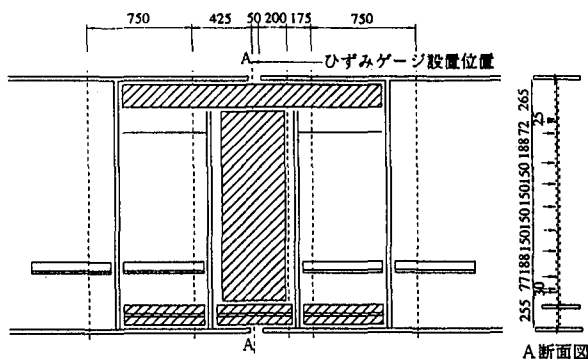


図-5 ひずみゲージ設置位置

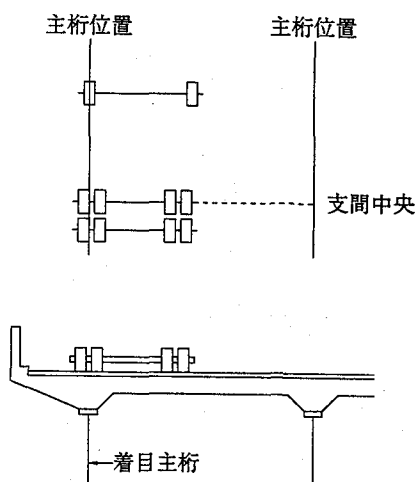


図-6 車両載荷位置

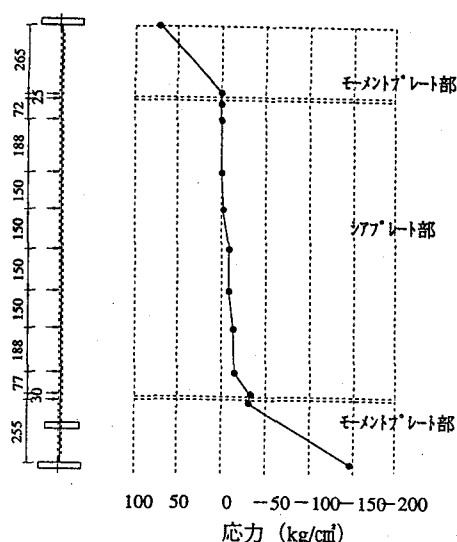


図-7 応力分布図

力状態を確認した。

図-7より、ノージョイント化により主桁ウェブ上端には引張応力が生じ、その大きさは 100kgf/cm^2 程度であった。また、主桁ウェブ下フランジ近傍に生じる圧縮応力についても -150kgf/cm^2 程度であった。

5.2 6 径間連結 ($6 \times 35.0 = 210.0\text{ m}$)

上部工形式 単純合成鉄桁 (5 主桁)

下部工形式 RCT型単柱式橋脚

基礎 場所打杭 $\phi 1.2\text{ m}$

対象区間は、支承受け替えを実施した直後から多くの苦情が寄せられた。そのため公団では、振動苦情の原因を追及するため、様々な検討および調査を実施した。

調査項目としては、振動増加と考えられる要因および確認のため、1) 路面の平坦性、2) 支承の変位、3) 振動調査を行った。

(1) 路面の平坦性

工事前と支承交換後の路面状況は、計測時期が異なることから路面状況の悪化や緊急補修工事などにより路面形状が変化することが考えられた。また、支承交換工事は十分な高さ管理を行っているが、施工誤差による伸縮継手付近の高さが増加したことも考えられる。

道路交通振動は、路面の不陸部を車両が通過することにより衝撃振動や車両自体の振動が発生し、それらが上部工から下部工へ、さらに地盤へと伝搬していくと考えられることから、路面の平坦性の変化は振動に大きく影響を与える。図-8に3mプロファイルメーターによる路面平坦性測定結果を示す。

連結した後の路面が、若干ではあるが不陸の増加を確認した。

(2) 支承の変位

支承交換前 (鋼製支承)、交換後 (ゴム支承) の支承の変位状況を確認した。変位波形を図-10に示す。図-10から明らかなように、工事前の鋼製支承はほとんど可動していないのに対して、ゴム支承は、水平方向、上下方向に $0.4 \sim 0.7\text{ mm}$ 程度変位していることが確認された。

(3) 振動調査

工事前、支承交換後、連結工事後の振動調査結果を表-3に示す。

連結された中間部の官民境界地点では、工事前後の振動調査結果は、全ての方向に対して $-1 \sim -6\text{ dB}$ の低減が確認された。しかし、連結中央支間では橋軸直角方向と鉛直方向が 1 dB 程度の増加が確認されたが、器械の測定誤差内と考えられ、振動苦情の要因とは考えられない。

一方連結部の端部は、橋軸方向は大幅な減少 (-6 dB) が認められた。しかし、鉛直方向では 2 dB の増加が確認され、この増加が苦情の原因と考えられる。路面不陸の悪化が、増加の要因として挙げられる。

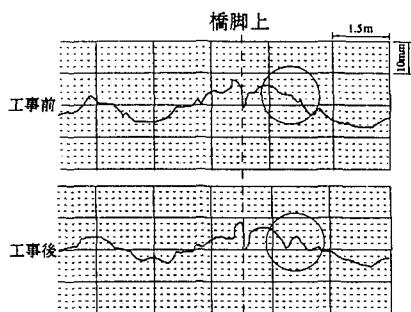


図-8 路面平坦性測定結果

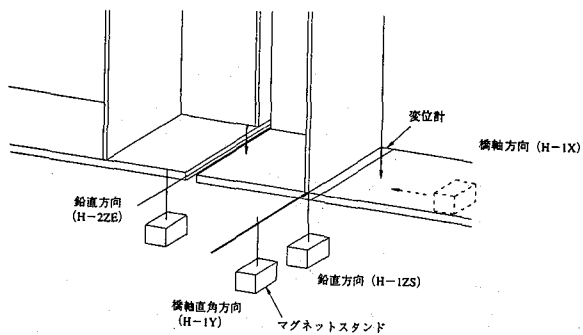


図-9 測定方法の概要図

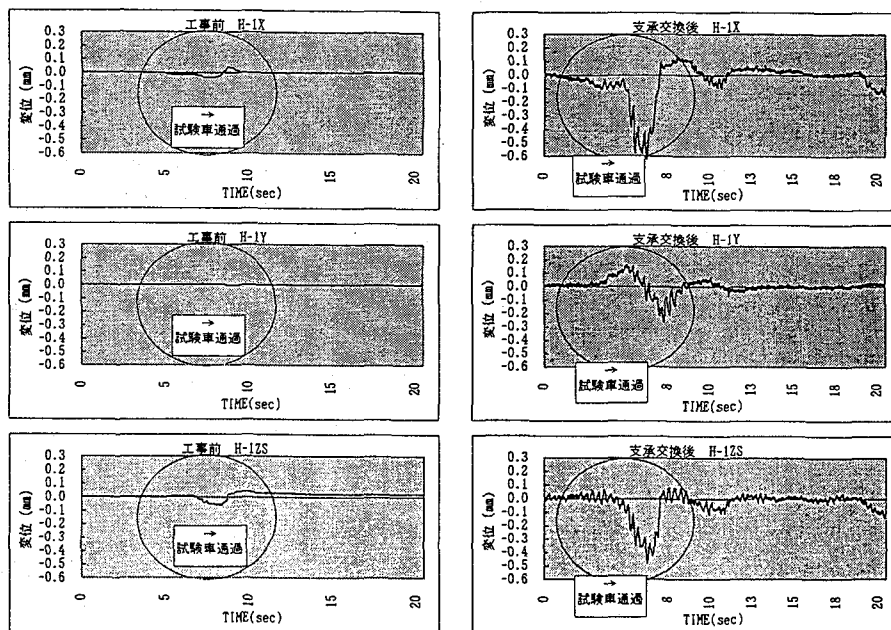


図-10 変位波形

表-3 振動調査結果

要結中間橋脚（官民境界）

	各工事段階における測定結果の振動レベル差															(単位: dB)				
	橋軸方向					橋軸直角方向					鉛直方向									
	L5	L10	L50	L90	L95	L5	L10	L50	L90	L95	L1	L5	L10	L50	L90	L95				
(B-A)	-2.11	-2.00	-1.11	-1.56	-2.00	2.22	1.78	2.78	1.78	1.78	3.44	1.44	1.56	1.11	-0.33	-0.67				
(C-B)	-4.00	-3.11	-2.78	-1.22	-0.56	-3.56	-2.89	-3.11	-1.89	-1.89	-4.33	-1.33	-1.33	-1.22	-0.44	-0.11				
(C-A)	-6.11	-5.11	-3.89	-2.78	-2.56	-1.33	-1.11	-0.33	-0.11	-0.11	-0.89	0.11	0.22	-0.11	-0.78	-0.78				

要結支間中央（官民境界）

	各工事段階における測定結果の振動レベル差															(単位: dB)				
	橋軸方向					橋軸直角方向					鉛直方向									
	L5	L10	L50	L90	L95	L5	L10	L50	L90	L95	L1	L5	L10	L50	L90	L95				
(B-A)	-0.89	-0.78	-0.67	-1.89	-2.00	4.00	3.78	2.89	1.11	0.44	4.44	1.67	1.44	0.78	-0.44	-1.00				
(C-B)	-2.67	-2.78	-1.22	1.22	2.00	-3.33	-3.67	-3.11	-1.44	-1.33	-3.89	-1.22	-1.22	-1.22	-0.78	-0.78				
(C-A)	-3.56	-3.56	-1.89	-0.67	0.00	0.67	0.11	-0.22	-0.33	-0.89	0.56	0.44	0.22	-0.44	-1.22	-1.78				

要結端部（官民境界）

	各工事段階における測定結果の振動レベル差															(単位: dB)				
	橋軸方向					橋軸直角方向						鉛直方向								
	L5	L10	L50	L90	L95	L5	L10	L50	L90	L95	L1	L5	L10	L50	L90	L95				
(B-A)	-1.44	-1.44	-0.56	-0.56	-0.78	4.56	4.44	4.67	2.67	1.89	4.00	3.11	3.00	2.00	0.22	0.22				
(C-B)	-2.78	-2.56	-1.67	-0.33	0.33	-3.22	-2.44	-1.89	-0.56	-0.67	-4.22	-0.22	-0.11	1.33	1.56	1.11				
(C-A)	-4.22	-4.00	-2.22	-0.89	-0.44	1.33	2.00	2.78	2.11	1.22	-0.22	2.89	2.89	3.33	1.78	1.33				

注) A：工事前
B：支承交換後
C：運転後

5.3 11 径間連結

上部工形式 単純合成鈑桁 (5 主桁)
 下部工形式 P C T 型単柱式橋脚
 基礎 場所打杭 ϕ 1.0 m

(1) 騒音調査結果

図-11 に 11 径間連結の側面図を示す。統計処理値による分析から、騒音レベルの低減効果は、表-4 よりジョイントレス区間の中央となる橋脚 (P 4) の官民境界で最も大きく、ジョイントの残っている区間 (P 12 以降) に近づくに伴って効果が小さくなる傾向を示している。騒音レベルの場合、数径間程度離れたところからの影響も受けていると考えられ、ジョイントレス区間中央では最も効果が大きく、またジョイントレス区間の端部あるいは工事を実施していない箇所の官民境界においても、影響を受けていると考えられる。ジョイント数が減少することにより、同程度あるいは若干の低減を示しているものと考えられる。

(2) 振動調査結果

統計処理値による分析から、表-5 より全体の傾向を見ると、ノージョイント化区間の中間に位置する測点 (P 4、6、10) では、全ての成分において振動レベルの低減が認められた。平均すると、dB 単位で橋軸方向に 88% 程度、橋軸直角方向に 86% 程度、鉛直方向に 94% 程度であった。

ノージョイント化端部に位置する測点 (P 12) では、横ばいあるいは若干の増加傾向 (橋軸方向 101% 程度、橋軸直角方向 97% 程度、鉛直方向 103% 程度) が認められた。路面不陸の悪化が、増加の要因として挙げられる。

周波数特性から振動の低減効果を見た場合、ノージョイント化中間付近 (P 4) の橋脚脇、官民境界、家屋脇、家屋 2 階の 4 測点に着目して 1/3 オクターブバンド分析による周波数特性の確認を行った結果、道路交通振動における周波数帯¹⁴⁾ は大きく 3 つに分類されることが確認できた。

図-12 は、家屋内 2 階の鉛直方向の周波数分析結果を示したものである。

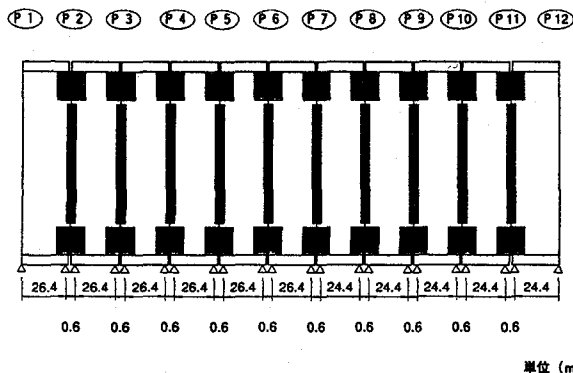
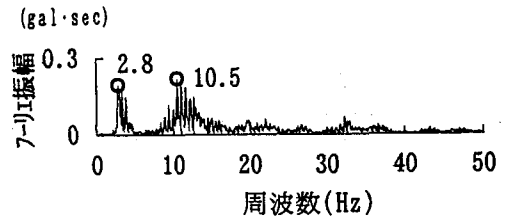


図-11 11 径間連結の側面図

工事前



工事後

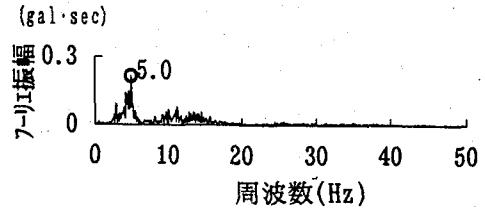


図-12 家屋の振動特性

表-4 一次回帰式からの騒音レベル低減効果 (L 50)

(単位: dB(A))					
測点位置	工事前	工事後	低減効果	備 考	
官民境界	P4	59.1~68.5	55.2~67.4	-3.9~-1.1	連結化
	P10	59.7~67.2	57.0~66.6	-2.7~-0.6	中間橋脚
	P12	58.6~66.3	56.0~65.9	-2.6~-0.4	端部
	P14	58.8~66.3	57.3~66.1	-0.9~-0.2	連結化なし

表-5 一次回帰式からの振動レベル低減効果 (L 10)

(単位: dB)					
	測点位置	工事前	工事後	低減効果	
橋軸方向 (X)	官民境界	P4	31.0~34.2	27.1~32.6	-3.9~-1.6
		P10	30.0~34.8	25.8~31.6	-4.2~-3.2
		P12	30.6~39.8	31.5~35.4	-0.9~-4.4
		P14	31.2~39.7	32.6~35.2	-1.4~-4.5
橋軸直角方向 (Y)	官民境界	P4	36.8~42.0	30.9~37.5	-5.9~-4.5
		P10	35.0~40.9	30.1~36.4	-4.9~-4.5
		P12	37.3~42.3	35.3~42.3	-2.0~0.0
		P14	34.4~41.0	34.2~41.3	-0.2~+0.3
鉛直方向 (Z)	官民境界	P4	46.9~51.4	42.8~49.1	-4.1~-2.3
		P10	43.9~47.5	41.4~48.4	-2.5~+0.9
		P12	43.8~48.9	45.1~50.1	+1.3~+1.2
		P14	43.0~47.1	44.3~49.8	+1.3~+2.7

*表中の+の数値は、工事前よりレベルが上昇したことを示している。

工事前には、家屋固有の振動数（5Hz付近）として顕著に卓越するものはないが、工事後は5Hz付近の振動の卓越が顕著であることがわかる。

これは、工事後に上部工のたわみ1次振動数が5Hz程度になり、家屋と共振したものと推測できる。連結後には、このような現象が生じる可能性があるため、留意する必要がある。

6. 考察および今後の課題

騒音・振動調査結果ならびに支承の変形調査、路面平坦性の調査の実施を踏まえ、ノージョイント化に対する設計・施工さらに維持管理面からの提言および今後の課題を示すとともに、環境面に対する考察を行った。

また、連結部の応力調査結果と格子計算との比較を行い連結部の検証を行った。

6.1 考察

(1) 連結板

連結部の応力測定結果から、連結板に発生する応力は載荷試験において、概ね100kgf/cm²～150kgf/cm²程度である。ここで、変形法による任意形格子計算により算出された応力との比較を表-6に示す。なお、応力測定はトラック1台の静的載荷による結果であるため、格子計算ではT荷重1台の影響線載荷とした。

表-6より、測定値に比べ最小でも2倍程度、設計計算上の応力が大きいことが確認された。原因としては、

- ①計算は影響線載荷を行っているため、実測定の載荷位置と異なること。
 - ②計算は荷重分配を分配横桁のみで行っているが、実橋は対傾構でも行われている。
 - ③計算上の荷重のモデルと実載荷重の違い。
- 3項目が考えられる。

ここで、現在の連結設計と照らし合せてみると、式(1)で示したように、設計計算値に付加応力を追加して、連結板の設計を行っている。今回の調査結果から、連結構造の特異性より、局所的な応力増加は確認できた。しかし、計算と実応力の関係から、その比が最小でも2倍程度離れているため、施工性を考慮して連結板の部材を小さくする観点から、付加応力の算出方法を見直す。

また連結板は、文献15)に示されている疲労強度と継手分類で区分すると、強度等級Cに属し、応力範囲の打ち切り限界は $\Delta\sigma_{ve}=53$ (MPa) (540kgf/cm²)である。

今回の調査は、試験車両1台による静的載荷の1例のみであるが、連結板の応力振幅は、格子計算上の応力増加係数を2倍と仮定すると、650～800kgf/cm²程度となり540kgf/cm²は越える可能性がある。このことから、今後は疲労に対する調査・研究のためのデータの蓄積および分析を行う。

(2) 施工性に配慮した連結設計

今後新たに設計する際は、施工性を考慮した設計への移行が望まれる。公団が採用している「モーメントプレ

表-6 応力の比較

			単位 (kgf／cm)	
			連結部 上側	連結部 下側
測定値			100	-150
T 荷 重 一 台	衝撃	Mmax	-92	76
	考慮	Mmin	535 (5.35)	-442 (2.95)
	衝撃	Mmax	-66	54
	無視	Mmax	393 (3.93)	-316 (2.11)
B活荷重			1594 (15.9)	-1315 (8.77)

注) () 数値は、測定値との比を示す。

形式を開発することも1つの方法である。

「ト+シアプレート」方式は、上側引張部分をボルトによる摩擦で力を伝達し、下側圧縮部分を支圧により力を伝達する方式を採用している。このため、下側のモーメントプレートは厳しい寸法精度が要求されるため、施工には十分な注意が必要である。日本道路公団が実験した、圧縮側のプレートを主桁と直接溶接する構造¹⁶⁾など新しい また、活荷重などの設計荷重の増加に伴い、連結板の施工が困難となっている。施工上問題ない板厚、重量、長さ(板厚22mm、長さ2～3m、重さ80kg)を、設計の際の基準にし、部材を制限する。

これらの方法の他に、今後設計上考慮すべき施工性向上の一例を次に示す。

- ・摩擦係数を0.4から0.5に変更する

文献17)に提案されているすべり限界に着目する。連結板、特に引張側モーメントプレートを施工する際、既設部材の1種ケレンを実施し、摩擦係数を最大限利用できる表面処理を行う。ここで、連結板は22mm程度の厚板を使用しているため、母材の純断面降伏強度よりすべり強度がかなり小さくなり、母材、連結板の板厚減少は発生しない。そこで、すべり限界に近い摩擦係数を採用しても問題ないと考え。

この方法を採用すると、今のボルト本数を2割程度低減出来る。

(3) 維持管理に配慮した設計

①止水対策

ノージョイント化により、床版の上面部に引張力が働き、床版にクラックが生じる可能性がある。そのため、床版に縁切りを設け、特定の箇所にクラックを発生させるなどの対策をとる。

また、床版端部の水きり対策、連結部のフィラープレートの雨水対策として、壁高欄下端に水きりなどの設置を行う。さらに、連結桁全般に渡り防水層を施工し、完全な止水を行う。

②桁端部の処理

今回の騒音・振動調査からも明らかであるが、ノージョイント化を行っていない桁端部は、騒音・振動の原因となりやすい。桁端部の補強などを実施し、騒音・振動の発生を抑える工夫が必要である。一例として、日本道路公団で採用しているコンクリートによる端横桁の補強が挙げられる。

③ゴム支承への対応

振動原因の調査として、支承工事前後の支承の変位を測定した。ゴム支承は、常時、水平方向、上下方向に変位していることが確認されたため、荷重集中点の主桁と横桁の取り付け部溶接などに疲労破壊が発生することが懸念される。今後、道路橋がゴム支承化されるためには、例えば以下の部位について、文献 18)などを参考に疲労対策を行う。

I) ソールプレート溶接部の疲労

II) 横構ガセットプレート取付け部の疲労

III) 新たに圧縮側になる補剛材部分の疲労

また、施工時に TIG(Tungsten Inert Gas Arc Welding)処理を行うなどの対応が必要であろう。

さらに、荷重の不均等による支点部付近の疲労損傷などを解消する構造として、補強リブなどを設置することも重要である。

(4) 騒音・振動対策

ジョイントレス化に伴い低減される周波数帯は 30～100Hz 付近であり、聴感補正回路(A特性)を介した場合、マイナスのレスポンスを受け、低減効果がそのままオーバーオールレベルに寄与しなくなる。このため、官民境界における統計処理値(L_{50})での騒音低減量は 0～2dB に留まっている。しかし、低減される周波数帯は低周波音域の音で、これらのバンドレベルの低減は圧迫感などの低減になる。しかも、振動の苦情内容が「ドンという音を伴った振動」という、騒音との相乗効果を伴っていることを考えると、ジョイントレス化により、「ドンという音」を軽減できることは非常に大きい効果と言える。

騒音・振動対策として採用しているノージョイント化は、限られた周波数帯の低減に留まることが、今回の調査で確認された。また、連結後にも苦情が寄せられるなど特殊なケースもあったが、調査結果からノージョイント化による騒音・振動対策について次のことがわかった。

①騒音に着目した場合、ノージョイント化による周波数帯の低減はジョイント部に起因する 30～250Hz 付近という限られていたが、騒音レベルとしては官民境界で 0.2～3.9dB(A) 低減を示した。

②振動に着目した場合、ノージョイント化による周波数帯の低減は、騒音同様ジョイント部に起因する 30～100Hz 付近という限られていたが、振動レベルとしては、官民境界で 0.2～6dB(A) 低減を示した。

③ノージョイント化端部のジョイント部付近から苦情が発生したケースがある。路面の不陸の悪化がその要

因であるため、端部のジョイント付近の路面の平坦性を確保することが重要である。また、一般的に言われている民家などの固有周期は、その材料によって異なるが、2～10Hz 程度¹⁹⁾であり高架橋と民家の方向など揺れやすい方向に建てられている場合(橋軸の方向が橋梁と平行な場合)や路面の施工状況によっては苦情が発生しやすいという報告もあるため、そのような場合にはノージョイント化の端部を避けるなどの対応を行う。

④ノージョイント化のみの対応ではなく、桁端部補強や振動の少ない伸縮装置の採用など、ノージョイント化と平行して他の対策をとる。

6.2 今後の課題

公団では、鋼桁連結工法を積極的に採用しているが、桁連結は騒音・振動の全ての周波数に効果があるとは言えないことが、調査結果からわかった。さらに、連結数が増加すると、その端部に大きなしわよせがきて、騒音・振動を増加させることもある。連結部分の選定方法を含め、路面平坦性の管理など施工管理の徹底、さらに維持補修の要領などの整備を行う。

また、付加応力の算出方法は、文献 7)により計算されているため、実橋と設計の発生応力の差を考えると、今後様々な形式の試験および解析を実施し、それぞれの状況にあった付加応力の算出方法を決定することが挙げられる。

さらに、設計方法も、曲線部を始め、箱桁への適用研究ならびに連結板の大きさを制限するなど、施工性を加味した設計方法を確立する。

以上をまとめると、

(1) 施工時期の選定

連結工事実施時期と舗装取替時期が一致していないため、防水層がない状態で長期間放置している。舗装取り替え時期と同時に実施するなど、工事の集中化を図る。

(2) 設計方法の改善

施工性を加味した設計方法の確立。さらに、曲線桁での連結方法の検討。

(3) 施工管理と技術向上

路面凹凸は、振動の原因の一つと考えられ、路面管理および支承部分の高さ管理を徹底する。また、狭い空間のしかも限られた時間内で行うため、優秀な技術者の育成さらに施工技術を向上させる。

(4) 維持・管理要領の整備

追跡調査を実施し、損傷箇所を調査する。また、構造上問題となっている支承部分をはじめ、床版など点検項目を抽出し点検時期などを検討した後、維持管理要領の整備を行う。

(5) 付属物の研究

支承のコンパクト化を目指した研究や、騒音・振動の発生が少ない伸縮装置の開発を行う。

7. 結論

公団では、騒音・振動対策の一環として、鋼桁のノージョイント化を積極的に採用している。騒音対策は、防音壁の改良など、研究・開発が進んでいる。それに比べ振動対策は、多くの課題が残っているのが現状である。公団でも、TMDの採用や桁端部の補強、さらに増し杭、フーチングの拡大など様々な実験を試みているが、期待するほどの効果には至っていない。ここで、本文では統計処理の結果による低減効果を紹介しているが、ピークレベルでは官民境界で 10dB 程度の大きな低減効果が期待できることも確認されているため、人の心理に与える効果は非常に大きいと言える。

また、本論文では施工性を考慮した設計方法の一例や維持管理を考慮した設計などの提言するとともに、ノージョイント化に対する維持管理の有益性や環境面からのメリットを考察した。

ノージョイント化は初期の施工から 8 年程度経過しており、近年では 11 径間程度までの施工が可能となった。今後は、ノージョイント化のメリットを生かした本工法の導入を積極的に図るべきと考えている。

<参考文献>

- 1) (財) 道路保全技術センター：既設橋梁のノージョイント工法の設計施工手引き（案）、1995 年 1 月
- 2) 徳永法夫他：既設単純鋼桁の主桁連結工法による超多径間連結化に関する一考察、橋梁と基礎、P21~P30、1997 年 4 月
- 3) (財) 土木研究センター：道路橋の免震設計法マニュアル（案）、1992 年 12 月
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、丸善、1994 年 2 月
- 5) 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る仕様の準用に関する参考資料（案）、1995 年 6 月
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、丸善、1996 年 12 月
- 7) (財) 大阪都市協会：鋼桁の連結化ジョイントレス工法の開発実験業務、1992 年 3 月
- 8) 前川幸次他：鋼単純桁の連結化ジョイントレス工法における連結部の応力について、SGST 拡大研究会論文集、P47~P54、1992 年 11 月
- 9) 前川幸次他：Experimental Study on Stresses of Connective in Jointless System by Web-Connection of Steel Girders、P.S.S.C、P521~P528、1992 年 10 月
- 10) 梶川康男他：弾性支承と桁連結構造を用いた既設高架橋の振動特性、構造工学論文集、Vol.43A、P747~P764、1997 年 3 月
- 11) 久保雅邦他：既設の鋼単純桁の連結化による交通振動軽減対策工法の開発、振動制御コロキウム、PART.B、講演論文集、P15~P22、1991 年 7 月

- 12) 梶川康男他：高架橋と周辺地盤の交通振動予測と制振効果、構造工学論文集、Vol.35A、P597~P605、1989 年 3 月
- 13) 梶川康男他：高架橋の振動制御と橋梁環境問題、振動制御コロキウム、PART.B、講演論文集、P1~P7、1991 年 7 月
- 14) 讃岐康博他：動吸振器の制振効果に関する現地実験、振動制御コロキウム、PART.B、講演論文集、P89~P96、1991 年 7 月
- 15) (社) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、技報堂、1993 年 4 月
- 16) (財) 高速道路技術センター：近畿自動車道他既設橋の構造及び環境改善に関する検討（その 3）、1996 年 3 月
- 17) 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会・終局耐力に関する研究（主査：西村宜男）、1996 年 7 月
- 18) 日本道路協会：鋼橋の疲労、丸善、1997 年 5 月
- 19) 櫛田裕：環境振動工学入門、理工図書、1997 年 1 月

(1997 年 9 月 26 日受付)