

連結化工事に伴う弾性支承化前後の振動特性に関する研究*

A STUDY ON VIBRATION CHARACTERISTIC CHANGE "ELASTING SUPPORT" IN A "JOINT-LESS" CONSTRUCTION*

徳永法夫** 西村 昂*** 松井繁之**** 刑部清次*****

By Norio TOKUNAGA**Takashi NISHIMURA***Shigeyuki MATSUI****Seiji OSAKABE*****

1.はじめに

ノージョイント化は、維持補修の低減、走行性の向上を主目的とし、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団等で研究開発された。その後、財)道路保全センターにより、それら研究成果を取りまとめ、平成7年1月に「既設橋梁のノージョイント工法の設計施工の手引き(案)」¹⁾が発刊され全国に普及している。

近年ノージョイント工法は、ジョイント通過時の騒音・振動対策としても、積極的に採用している。しかし、ノージョイント化を実施しても、全ての周波数帯に対して有効な低減効果は見込めないことは様々な論文等で紹介されている²⁾。

ここでは、既設単純鋼桁6径間を鋼主桁連結工法にて連結した橋梁を対象に、その支承部付近に着目し、設計ならびに振動測定結果を紹介するとともに、連結化および弾性支承化への留意点を考察した。

2.設計概要

(1) 近年の状況

平成7年1月の兵庫県南部地震の発生により、「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」の発刊を経て、平成8年12月に道路橋示方書が大幅に改訂された。復旧仕様から、道路橋の支承は従来の鋼製支承に変わり、弾性固定方式による地震力の分散を主目的としたゴム支承への採用となった。

連結化する場合、全ての支承をゴム支承とすると、従来の可動橋脚に大きな水平力が作用することが予想される。そのため現在では、可動支承はやわらかいゴムを採用し、その発生力を出来るかぎり少なくするような設計

を行っている。

その可動支承は、端部の橋脚に採用されているが、端部には伸縮装置の設置、伸縮桁長の増加に伴う移動量の確保さらに設計地震力の分散が行えるように大きな遊間を設けるため、伸縮装置が従来の形式に比べ大型化している。それらの要因から、端部のジョイント通過時に交通振動が大きくなり、連結前に比べ騒音・振動の苦情が増えたケースも報告されている²⁾。

(2) 調査対象部設計概要

1) 構造概要

調査対象箇所は5主桁の鋼桁橋で、連結区間の支間割は $31.0+39.0+4\times 35.0=220$ m、 $6\times 35.0=210$ mの6径間連結が2連である。

また下部構造は、コンクリート製の橋脚で張り出し式の構造であった。土質の状況は、地表面から17 m程度まで、N値10程度の軟弱なシルト層があり、20 m程度でN値50以上の強固な砂レキ層を有していた。基礎形式は場所打ち杭で杭径1,300 mmであった。

2) 支承の設計

ゴム支承は免震支承を採用し、現在道路橋示方書のTYPE Iレベルの地震動に対しては、水平せん断ひずみ250%以下に抑える設計を実施した。

支承部設計上の仮定および設計結果を以下に示す。

①弾性固定支承部

・連結部の反力の差が最も少ない鉛直バネ定数60,000 tf/m程度となるように設計した。

・震度法レベルにおける橋の減衰定数が「免震設計マニュアル」³⁾で示されている10%を確保できない。これは、保有水平耐力レベルの水平せん断ひずみを目標値内となるように、支承の鉛プラグを大きくしているためである。

②端部可動支承部

・設計上は、ゴムのせん断弾性係数が小さな 8.0kgf/cm^2 (固定部 10.0kgf/cm^2)を使用し、出来るかぎり水平方向バネ定数を小さくした。(固定部と可動部の水平方向バネ定数は、震度法レベルで10~40倍、保有水平耐力レベルで3倍程度の比である)

・震度法において、現況の鋼製支承の摩擦による水平力を上回らないものとした。さらに支承部安全性の照査方法としては、免震支承の設計で求めた、保有水平耐力レベルでの上部工変位に対して、可動支承の水平せん断ひ

* キーワード：ノージョイント、弾性支承、振動

** 正員、阪神高速道路公団神戸第二建設部

(〒650-0044 神戸市中央区東川崎町1-3-3 TEL 078-360-8141 FAX 078-360-8158)

*** 正員、工博、大阪市立大学工学部土木工学科

(〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138 TEL 06-605-2731 FAX 06-605-2731)

**** 正員、工博、大阪大学工学部土木工学科

(〒565 吹田市山田丘2-1 TEL 06-879-7623 FAX 06-879-7626)

*****株式会社社長神戸支店

(〒650 神戸市中央区三宮町1-3-1 TEL 078-393-3500 FAX 078-393-3511)

ずみが250%以内となるものとした。

・鉛直バネ定数は、60,000tf/m程度となるよう、また水平方向バネ定数を小さくしたため、免震支承に比べ、ゴムの層厚が大きくなった。(固定部6~7cmに対して、可動部11.5cm)

3.調査項目および結果

(1) 調査項目

ノージョイント化工事前後の計測項目は、支承の挙動、上部構造の振動、下部構造の振動、地盤振動、低周波空気振動、騒音、路面の平坦性の8項目を実施した。以下には、弾性支承化に伴い影響がすると考えられる支承部付近の挙動に着目した調査概要を述べる。

1) 支承の挙動計測

免震支承化および桁連結化による振動特性の変化を把握するために、支承の挙動(上下・水平3成分)を計測した。計測方法は、振動加速度を支承直上の主桁下フランジと支承横の橋脚天端において計測した。

2) 主桁の振動加速度

上部工のたわみ振動やねじれ振動モード、固有振動数、振動の大きさを把握するために、スパンL/4、L/3、3/4 L点の主桁下フランジ上で振動加速度を計測した。

3) 端部主桁の振動加速度

遊間が広がる連結化区間の端部が、構造物に与える影響を把握するため、連結端部橋脚上の主桁に着目した振動加速度測定を行った。

(2) 調査結果

弾性支承化前後の計測結果を比較し、振動特性の変化を把握した。計測結果を示す。

1) 支承変位

弾性支承化および桁連結化による上部工の挙動変化を把握するために、工事前、中、後の3段階で支承の挙動を

計測した。図-1に試験車走行時(下り走行車線 60 km/h)における連結部橋脚上のG1桁(下り線の最外桁)の支承変位波形を示す。また、この支承変位波形から読みとった各測点の最大変位量を表-1に示す。なお、計測は橋脚天端を不動点として測定した結果である。

各方向別の結果を以下に示す。

・橋軸(X)方向

橋軸方向の最大変位は、桁のたわみによる桁端部の変位が現れているもので、試験車が径間中央を通過した時に最大変位を示している。工事前に比較して工事中に変位量が増加するのは、工事前の鋼製支承は、錆、ほり等によって支承本体の可動機能が衰えているためと考えられ、弾性支承への交換により可動性が改良されたことによるものと考えられる。工事後は、桁連結(連続化)により桁のたわみ量が減少することによって工事中より変位量は減少している。

・橋軸直角(Y)方向

橋軸直角(Y)方向の変位は、工事前(鋼製支承)には橋軸方向と同様、錆やほり等によってほとんど支承が可動していなかったが、弾性支承化によって橋軸直角方向に可動しやすくなったものである。この橋軸直角(Y)方向の変位は、橋脚の倒れによる変位が主に現れているものである。したがって、桁連結後(工事後)も橋脚の倒れ量は同じであるため工事中と同じ変位量を示している。

・鉛直(Z)方向

鉛直(Z)方向は、桁のたわみによる支承回転変位が主に現れている。したがって、工事前は支承の中央を中心に回転するため支承を挟んだ両側の測点の変位はナギが逆に見えている。工事中は、回転角はほとんど変化しないがゴムの圧縮変形により全体が沈み込み形となり、両側測点はともに一変位を示すようになる。また、工事後の桁連結後は、たわみ量が減少することによって支承回転変位が減少するため工事中より鉛直変位は減少する。

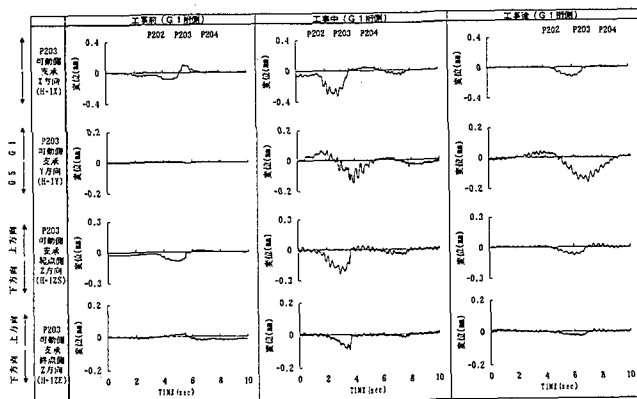


図-1 試験車通過時の支承変位

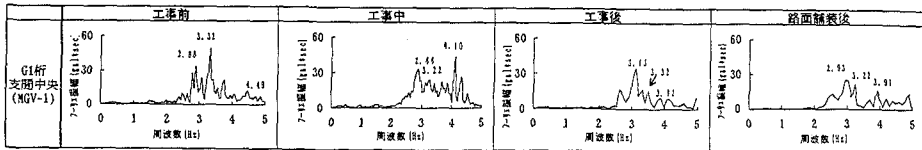
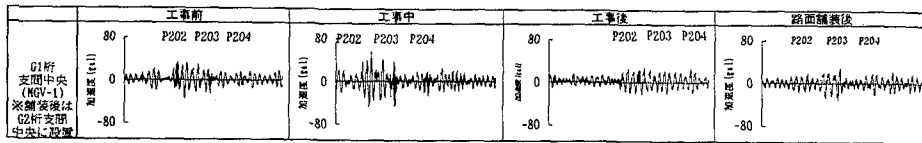


図-2 主桁の振動加速度波形と周波数スペクトル

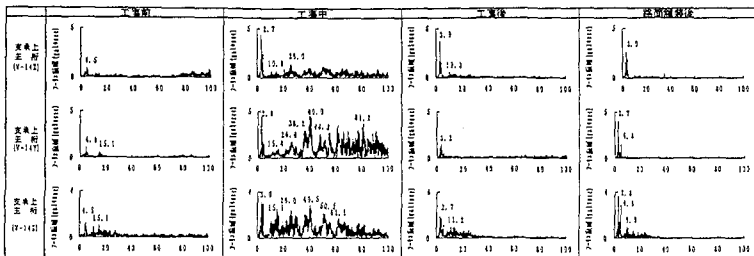
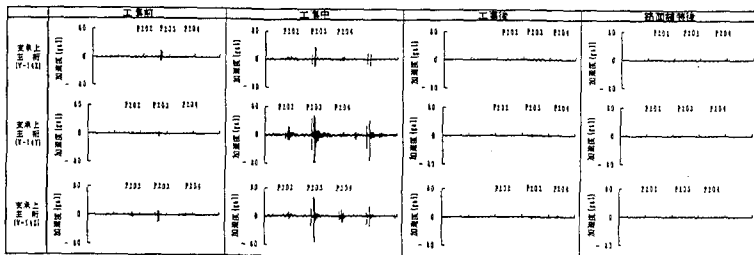


図-3 支桁上主桁の振動加速度波形、周波数スペクトル

表-1 試験車走行による支桁の最大変位

	(単位: mm)			
	横軸 (X)	横軸直角 (Y)	鉛直 (起点側)	鉛直 (終点側)
	X	Y	ZS	ZE
工事前	-0.11	-0.01	-0.09	-0.03
工事中	-0.33	-0.15	-0.24	-0.09
工事後	-0.13	-0.16	-0.08	-0.03

2) 主桁の振動特性

弾性支承化および桁連結化による主桁の振動特性の変化を把握するために、工事前、中、後、舗装後の4段階で主桁の振動加速度測定を行った。図-2に試験車走行時(下り走行車線 60 km/h)における連結部中央のG1主桁 L/2点の振動加速度波形と、L/2点の周波数スペクトル図を示す。なお、周波数スペクトルは主に主桁の固有振動

数に着目し、5 Hz以下のスペクトルを示した。

図-2より次のことが確認できる。

- ①工事前(鋼製支承)から工事中(弾性支承)にかけて振幅は同程度あるいはやや増大する傾向が認められる。
- ②工事後(弾性支承化+連結化)は工事前と同程度あるいはそれ以下に振幅は減少している。
- ③舗装後の振幅は、工事後の振幅と比較して大きな違いは認められない。

3) 主桁端部の振動特性

弾性支承化および桁連結化による影響が最も現れやすいと考えられる支承上の主桁における振動加速度波形および周波数スペクトルを図-3に示す。

図-3をみると、工事前と工事中の波形にはジョイント通過時に大きな振幅が出現しているが、工事後および舗装後にはその大きな振幅は出現していない。これはジ

ジョイントが取り除かれた効果で、ジョイント直下となる支承上の主桁振動に特に顕著に現れたものと考えられる。なお、工事前と工事中に発生しているジョイント通過時の大きな振幅は工事中にかなり大きくなっているが、これは図-3をみてわかるとおり10Hz以上の様々なスペクトルが増大しているためである。

4. 考察

(1) 支承の変位

工事前、中、後の支承変位を比較すると、工事段階によって様々な挙動変化を示していることが確認された。以下に、工事段階による支承変位状況をまとめる。

1) 弾性支承化

工事前の既設鋼製支承(BP 支承)の変位量は上下・水平ともに小さかったが、弾性支承に交換されて支承の可動性が改良されたことに加え、ゴムの変形が加わることで上下・水平ともに変位量が増大された。特に橋軸直角(Y)方向は、工事前にはほとんど変位を示していなかったが、工事中(弾性支承化後)には0.15mm程度(25tfのダンプトラック通過時)の変位を示すようになった。

2) 桁連結化

主に桁のたわみによって生ずる桁端部(支承)の橋軸(X)方向、鉛直(Z)方向の変位量は、桁連結(連続化)され主桁のたわみ量が小さくなることによって減少した(最終ときには工事前と同程度の変位量)。橋軸直角(Y)方向の変位量は、桁連結化による変位はなく、弾性支承化時に認められた0.15mm程度の変位は工事後にほとんど増大していない。

(2) 主桁の振動特性

1) 主桁中央部

工事前・中・後の卓越周波数(主桁の固有振動数と考えられる5Hz以下)をみると、工事前は各測点で3.3Hz付近が卓越しているが、工事中あるいは工事後に3.8~4.1Hz付近が卓越する傾向にある。これらの卓越周波数は、G1桁とG5桁の位相確認により、3.3Hz付近は両桁の位相が同じであることからたわみ振動、3.8~4.1Hz付近は逆位相であることからねじれ振動ということがわかっており、固有値解析結果からもそれぞれの1次振動、ねじれ1次振動であることが確認されている。このように、弾性支承化されることによってねじれ振動が卓越するようになる(=卓越周波数が高くなる)ことは、振動加速度が周波数の2乗で変化することから単純に計算すると、

$$4.1^2/3.3^2 \approx 1.54$$

となり、周波数が高くなることによって加速度振幅は増大することが説明できる。

さらに、工事後(桁連結化後)および舗装後(全面舗

装打ち替え後)にはジョイントが撤去され路面平坦性が改良されている。したがって、ジョイント近傍の段差通過時に発生する車両自体の振動が小さくなることによって路面に与えられる振動エネルギーも減少するため全体の振幅が小さくなったものと思われる。図-2の工事後および舗装後の周波数スペクトルをみると、ねじれ振動(3.8~4.1Hz付近)のフーリエ振幅が減少しており、工事前と同様、たわみ振動(3.3Hz付近)が卓越し、その3.3Hz付近も工事前と同程度あるいはそれ以下に減少していることがわかる。

2) 桁端部

要因として、以下のように推測した。

・工事中(弾性支承化後)の測定時は、桁端部付近は支承交換のためにジャッキアップ補強を行ったり桁連結するために桁端部材の一部を一時撤去するなど、不安定な状況であった。

・弾性支承が活荷重により圧縮変形して、路面形状が悪くなって衝撃振動が発生している。(ただし、支承の鉛直方向変位をみると0.2mm程度しか変化はみられない)

5. 今後の課題

今回の調査では、連結化によりその中央付近では、官民境界においてピーク振動レベルが工事前と比較して、最大6dB程度低減される結果を得ており、連結化が振動低減対策としても有効であることが確認された。

さらに、連結化に伴う今後の課題をまとめると

1) 可動支承の取り扱い

交通振動問題に影響する端部の支承は、他の固定支承と比較して、水平方向のバネ定数が小さく振動に影響を与えると考えられる。今後の調査、ならびに下部工補強を踏まえた、設計方法の検討が必要である。

2) 下部工形式による振動特性の相違

弾性支承化のみでなく、下部構造の形式も振動特性に影響を与える。両者の因果関係の研究が必要である。

弾性支承化と道路交通振動の関係は、不明な点が多くこれからの研究が強く望まれる。今後、新設橋梁および既設橋梁が弾性支承化が進められていく傾向にあり、弾性支承化の道路交通振動に対する影響を把握していくことが必要であると思われる。

参考文献)

- 1) 財) 道路保全センター: 既設橋梁のノージョイント工法の設計施工の手引き(案)、平成7年1月
- 2) 徳永他: 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、平成9年4月
- 3) 財) 土木研究センター: 建設省道路橋の免震設計マニュアル(案)、平成4年12月
- 4) 薄井、徳永、川谷、西村: ゴム支承化による橋梁交通環境振動への影響に関する実験、第52回年次学術講演会