

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19760312

研究課題名（和文） 伸縮装置周辺における路面凹凸の推定とその評価法の確立

研究課題名（英文） Estimation of road roughness near expansion joints

研究代表者

深田 幸史（FUKADA SAIJI）

金沢大学・環境デザイン学系・准教授

研究者番号：10313686

研究成果の概要（和文）：大型車両が、高架橋上を走行した場合、伸縮装置近傍の路面凹凸により車両のばね振動が加振される。さらに、その車両のばね振動と車両により加振された橋梁振動がその高架橋の周辺環境に伝播する。本研究では、それらの振動を低減するため、伸縮装置近傍での路面凹凸と車両ばね振動との関係を明らかにした。さらに、大型車両のばね振動が大きく加振されない伸縮装置近傍における路面凹凸の補修判断基準等の評価方法を検討した。

研究成果の概要（英文）：The suspension spring vibration of a truck is generated by the road roughness at the expansion joints, when the truck run a highway bridge. Moreover, the spring vibration of a truck and bridge vibration transmits to the houses around the bridge. In this study, in order to reduce these vibrations, the relation of the road roughness round the expansion joints and the suspension spring vibration of a truck were investigated. Also, this study proposed a new evaluation method for detecting the road roughness with the long wavelength affecting trucks. The validity of the method was verified for the various roughnesses which had caused the vibration problem.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	390,000	3,490,000

研究分野：橋梁振動，車両振動

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：伸縮継手，路面凹凸，車両ばね振動

1. 研究開始当初の背景

都市内高速道路は、土地の有効利用の観点から高架構造形式を余儀なくされ、民家との近接という立地条件と相まって、騒音、低周

波音や振動などの環境振動問題を常に内包し、時には住民の受忍限度を超え、社会問題にまで発展することがある。

上記の環境振動問題が発生する要因として、大型車両が伸縮装置近傍の不陸を通過す

ることによって励起される車両のばね上振動やばね下振動による橋梁への加振力が挙げられる。ここで、車両ばね上振動とは、3Hz前後に卓越する振動であり、車両のばね下振動とは、10～20Hzに卓越する振動である。

道路管理者は、車両走行の安全性、快適性等を維持するため、車両振動による加振力を低減するように、埋設ジョイント工法、床版連結工法、桁連結工法を適用したノージョイント化による舗装の連続化を積極的に推進している。

しかし、温度伸縮の吸収、地震時の水平力の分散、連結部への有害な断面力の作用などの制約条件により、すべての伸縮装置部をノージョイント化することはできず、残された伸縮装置部では薄層舗装のすり付けによって路面の平坦性を確保せざるを得ない。しかし、振動の発生をできる限り抑制させる薄層舗装時の明確なすり付け基準がないため、薄層舗装のすり付け性状によっては車両のばね振動による加振力が増大し、環境振動の発生を助長しかねない路面性状となり、薄層舗装後に振動苦情が殺到するケースも見受けられる。

このように、伸縮装置近傍部の路面形状と車両のばね振動による環境振動の発生とは密接に関係しているが、これらの関係を定量的、定性的に扱った研究事例は少ない。

2. 研究の目的

日本の大型車両のサスペンションは、板ばね構造のリーフサスペンションとエアダンパーを有したエアサスペンションの2種類に分けられる。現在の日本では、貨物輸送時の荷物（主に精密電子機器など）の傷みを低減するためにエアサスペンションを搭載した車両が普及してきているが、リーフサスペンションを有する大型車両の方が数多く走行している。リーフサスペンションを有する大型車両のばね上振動は概ね3Hzに存在し、ばね下振動は概ね10-15Hzに存在している。

このような大型車両が、高架橋上を走行した場合、様々な波長を有した伸縮装置近傍の路面凹凸により車両のばね上およびばね下振動が加振される。さらに、その車両のばね振動と車両により加振された橋梁振動がその高架橋の周辺環境に伝播する。

本研究では、それらの振動を低減するため、伸縮装置近傍での路面凹凸と車両ばね振動との関係を明らかにすることが必要と考えた。さらに、大型車両のばね振動が大きく加振されない伸縮装置近傍における路面凹凸の補修判断基準を提案する必要があると考えた。

3. 研究の方法

本研究は、大きく分けて以下の2つの研究計画を進めた。

(1) 路面凹凸と車両ばね振動との関係

本研究では、まず伸縮装置近傍での路面凹凸と車両ばね振動との関係を明らかにすることが必要と考えた。特に、周期性を有した車両のばね上振動を大きく加振させる長波長の路面凹凸を対象とした。

そこで、実際に振動苦情が生じている現場に行き、路面凹凸の計測を行った。計測では、8mプロファイルメータと路面計測車を使用した。

(2) 補修判断基準の提案

上記で求めた路面凹凸と車両ばね振動との関係から、伸縮装置近傍での不陸に対して大型車両のばね振動が大きくなる薄層舗装化などの補修判断基準を設けることが必要と考えた。これによって、容易な方法で補修の判断ができる利点がある。

現在の舗装評価には、MCI、標準偏差、PrI、IRIなどが用いられており、実際の大型車両などの車両ばね振動と路面段差との関係から求めた明確な補修判断基準がない。そこで、路面凹凸と車両ばね振動との関係を用いて、伸縮装置近傍での不陸に対して大型車両のばね振動が大きく励起される路面性状に対して補修の判断が容易にできるような判断基準を設ける。

4. 研究成果

(1) 路面凹凸と車両ばね振動との関係

本研究で対象とした橋梁では、大型車両の走行に伴い、車両と橋梁の連成振動により、大きな振動が生じていた。その振動原因を試験車走行実験および路面計測により明らかにしたところ、対象橋梁では、3Hz付近に卓越振動を有する車両の後輪ばね上振動とたわみ1次振動（3Hz付近）が近接していることがわかった。その上、試験車が第2走行車線を走行した場合のみ、他の車線（第1走行車線、追越車線）を走行した場合よりはるかに大きく振動し、支間中央における主桁の加速度は 150cm/sec^2 に達していることが明らかとなった。

そこで、その要因を調べたところ、第2走行車線のみ伸縮継手付近の路面凹凸が、10～11mの周期性を示しており、さらに、その路面凹凸の全振幅が40mmとなっていた。この長周期路面の影響により、大型車両のばね上

振動が増幅され、その状態で橋梁に進入したために車両と橋梁の連成振動が生じ、対象橋梁が大きく加振させられていた。

また、この時の支間中央における主桁下フランジのひずみから算出した動的増幅率は1.9~2.9となっており、主桁下面の動的応力度は大きな値を記録していた。

このように、伸縮継手近傍における路面凹凸の周期性が問題となっていたことから、解析上で伸縮継手近傍における路面凹凸の周期を変化させて車両走行シミュレーションを行った。路面凹凸のモデル化は、図-1に示すように実測の第2走行車線の路面凹凸波形をもとにしてA2ジョイントを中心にして伸縮継手近傍の図中赤線部分のみをモデル化した。なお、A2ジョイント近傍の路面凹凸の周期性による影響を見るため、図中赤線以外の前後の路面凹凸はモデル化していない。路面凹凸の周期は、第2走行車線で実測された10~12mを中心に5~15mまで変化させた。路面凹凸の周期が10mの場合を同図に示した。なお、車両モデルの走行速度は80km/hとした。

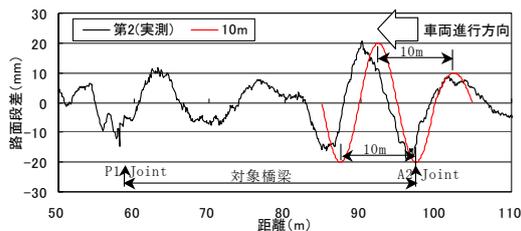


図-1 路面のモデル化
(路面凹凸の周期10mの場合)

伸縮継手近傍の路面凹凸の周期を5~15mまで変化させたときの支間中央部の最大加速度振幅(追越車線下と第1走行車線下の平均)を図-2に示す。

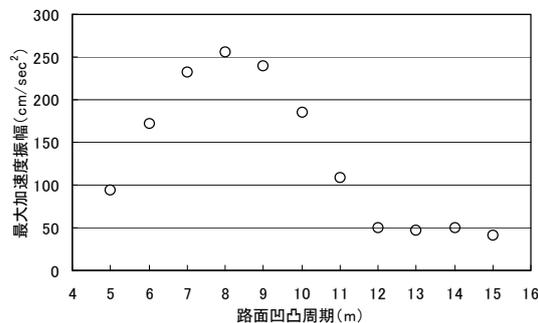


図-2 路面凹凸周期と橋梁の加速度振幅

実測における第2走行車線の伸縮継手近傍における路面凹凸の周期は、10~11mとなっていた。解析から、路面凹凸の周期が10~11mでは、概ね110~180cm/sec²になっているこ

とから、実測の150cm/sec²に近い結果となった。また、路面凹凸の周期が8mのときに最も加速度振幅が大きく、250cm/sec²を超える結果となった。

したがって、もし現在の路面凹凸の周期が8mであった場合、現在よりはるかに大きな加速度振幅になっていたことが予想される。なお、路面凹凸の周期が8mの場合に最大になった理由は、1自由度系で換算すると80km/h(22.22m/sec)で8m周期の路面凹凸を走行すると2.78Hzの加振振動数となり、解析のたわみ1次振動数2.9Hzに近いためである。

(2) 補修判断基準の提案

IRIを用いた評価方法は、応答する波長範囲が幅広い(1.2m~30m)という特徴を有しており、様々な波長に対する定量的な評価が可能といえる。しかしその一方で、IRIのクォーターカー・モデルが有するばね上振動(1.2Hz)は日本のリーフサスペンションを有する大型車のばね上振動(3Hz)に対応していない。そのため、大型車のばね上振動を励起させる長波長領域の路面を適切に評価できるのか、また、現行の補修目標値で対応できるのか疑問である。

そこで本研究では、大型車両のばね上振動を励起させている高速道路の長波長の路面を評価できる手法を提案した。さらに、実際に橋梁の周辺住民や運転者に影響を及ぼしている高速道路の長波長の路面に対してIRIによる評価方法と提案した評価方法を用いて、その適用性について検討した。

IRIの解析に用いるクォーターカー・モデル(以下、IRI車両モデル)とその諸定数を図-3に示す。西日本高速道路(株)では走行速度80km/h、評価基準長200mで評価するように規定しているため、ここでは式(1)を用いて200mで評価した。

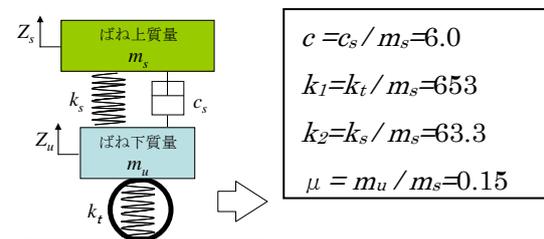


図-3 クォーターカー・モデルと諸定数

$$IRI = \frac{\int_0^{L/V} |\dot{Z}_s - \dot{Z}_u| dt}{L} \quad (1)$$

IRI車両モデルの振動特性を調べるために複素固有値解析を行った。1次の振動数は1.2Hzで減衰定数は33%、2次の振動数は

10.8Hz で減衰定数は 30% という特性を有している。これは、一般の小型車両をモデル化したものであるが、減衰については解析の安定性を重要視した結果と考えられる。

波長ごとの単位凹凸勾配に対するばね上質量の変位、ばね下質量の変位および IRI 値を算出するばね上質量とばね下質量の変位差の絶対値を図-4 に示す。これより、ばね上変位およびばね下変位の共振点は、それぞれ約 19m 付近および約 2m 付近に存在しているが、それらの変位差の絶対値は、波長 2.4m と 15m の単位凹凸勾配に対して最大の感度を有していることがわかる。このように応答する波長範囲が幅広い (1.2m~30m) という特徴を有している。また、短波長 2.4m は、先に述べたばね下振動 10.8Hz に対応し、長波長 15m は、ばね上振動 1.2Hz に対応した振動応答であると考えられる。

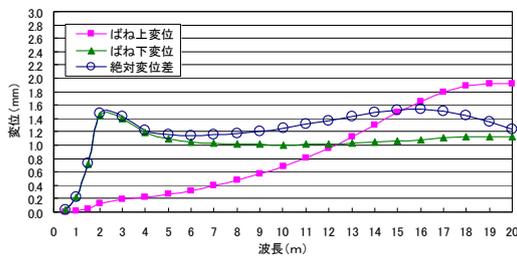


図-4 IRI 車両モデルの応答特性 (80km/h)

IRI のクォーターカー・モデルが有するばね上振動特性 (1.2Hz) は 3Hz 付近にはばね上振動数を有する日本のリーフサスペンション車両の振動応答に対応していないため、大型車のばね上振動を励起させる長波長の路面を適切に評価できない。

これまで著者らは、車両が橋梁上を走行した場合の振動問題について車両走行シミュレーションを用いて対策方法の検討などを行ってきた。そこで本論文で提案する評価手法は、3次元の車両モデルの概念を応用した大型車両モデルを用いるものとした。大型車両モデルは、IRI のクォーターカー・モデルの各諸定数を図-5 に示すように変更することによって、日本で数多く走行している 3Hz 付近にはばね上振動数を有するリーフサスペンション車両をモデル化している。

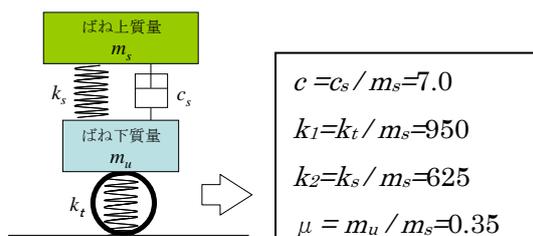


図-5 大型車両モデルと諸定数

大型車両モデルの振動特性を調べるために複素固有値解析を行った。大型車両モデルの振動特性は、1次振動数 3.0Hz で減衰定数 6%、2次振動数 10.9Hz で減衰定数 18% であり、ばね上振動として 3.0Hz に卓越振動を有するようにモデル化できている。

図-6 は、先に示した IRI 車両の結果 (図-4 参照) に対応した大型車両モデルの結果である。大型車両モデルの場合は 2m および 7-8m の波長で応答値が大きくなっている。これは IRI 車両モデルと同様に短波長は、ばね下 10.9Hz に対応しており、長波長は、ばね上 3.0Hz に対応した振動応答である。

また、IRI 車両モデルの応答特性 (図-4 参照) として、ばね下質量の変位は 0-12m の波長領域でばね上変位より大きく応答し、12m 以上の波長領域でばね上質量の変位の方が大きくなっている。これに対して、図-6 に示した大型車両モデルでは、ばね下変位の方がばね上変位より大きい波長領域は 0-4m の短波長であり、4m 以降の波長領域では、ばね上質量の変位の方が大きくなっている。これにより、短波長領域は、ばね下振動が支配的になり、長波長領域はばね上振動が支配的になるという実際の応答に近い状態を表現している。

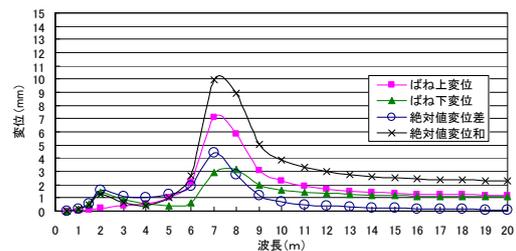


図-6 大型車両モデルの応答特性 (80km/h)

ISO8608 では路面凹凸の分類として、両対数グラフで横軸を空間周波数、縦軸を路面凹凸パワースペクトル密度として、A~H までの範囲で路面凹凸を分類している。このように ISO8608 では空間周波数領域で路面凹凸の分類をしているため、これを波長領域に変換することにより、ISO8608 を媒体として IRI と JRIT との関係を求め、JRIT の尺度を得ることにした。ここではまず、ISO8608 と IRI の関係を求める。

ISO8608 による路面凹凸の分類を基にして、この両対数軸を線形軸に置き換え、横軸を波長とし、縦軸を凹凸高 (ある基準面からの凹凸高さ) に変換する。波長ごとの凹凸高の関係に対して、単位振幅あたりの IRI 値を用いて、各 IRI 値に対する凹凸高を算出して ISO8608 と重ね合わせたものが図-7 である。

高速道路の平坦性に関する補修目標値として、IRI 「3.5」が規定されている。その目

標値は図-7 より、長波長領域において IS08608 の「C」区分に相当している。したがって、路面凹凸パワースペクトル密度の長波長領域が「D」区分以上であった場合、補修対象として検討することが必要であると考えられる。

図-7 と同様に、IS08608 と JRIT との関係を図-8 に示す。この算出方法も IRI と同様に、単位振幅あたりの JRIT 値を用いて、各 JRIT 値に対する凹凸高を算出して IS08608 と重ね合わせた。上述したように補修目標値として、IS08608 の「C」区分で評価することが望ましいことから、それに対応した JRIT は「5.0」または「7.0」以下で評価することが望ましいと考えられる。

このような知見に対して、振動問題が生じていた様々な路面に IRI 評価および JRIT 評価を適用した結果、IRI を評価手法として用い、長波長の路面に適用し、補修目標値を「3.5」として評価しても対応できる部分もあるが、提案した JRIT による評価手法を用いて補修目標値を「7.0」として評価した方が、より現実の振動問題に対応した評価ができることがわかった。

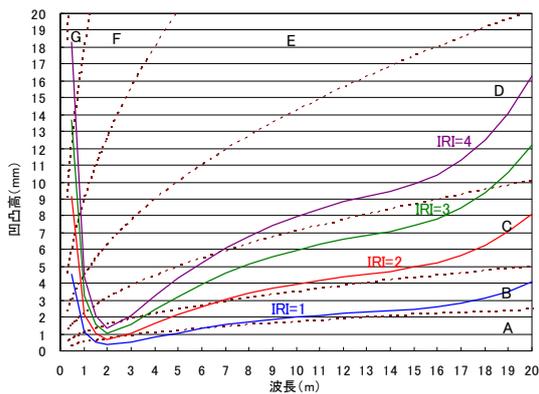


図-7 IS08608 と IRI の関係

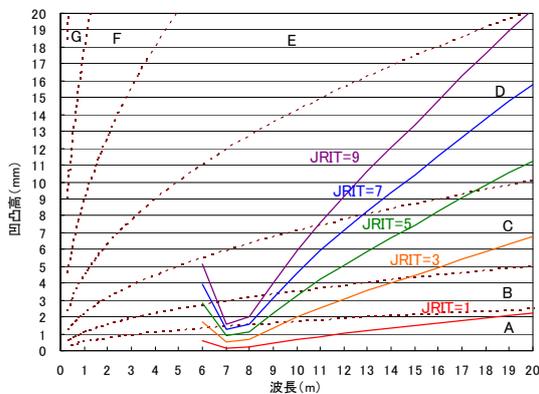


図-8 IS08608 と JRIT の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

1. 広井智, 深田幸史, 樺山好幸, 室井智文, 岡田裕行: 高速道路を走行する大型車両のばね上振動に影響を与える橋梁上の長波長路面に対する評価方法, 土木学会舗装工学論文集, 第14巻(2009), 179-187, 査読有

〔学会発表〕(計1件)

1. 深田幸史, 広井智, 樺山好幸, 室井智文, 讃岐康博: 大型車両のばね上振動に影響を与える長波長の路面凹凸に対する評価方法, 土木学会年次講演会, 2009年9月4日, 福岡大学(福岡県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

深田 幸史 (FUKADA SAIJI)

金沢大学・環境デザイン学系・准教授

研究者番号: 10313686