

道路橋伸縮継手周辺の路面凹凸による交通振動の周辺影響に関する実験と解析

Experiment and analysis for traffic reduced vibration effect on the ground caused by road roughness near an expansion joint of highway bridges

徳永 法夫*, 薄井 王尚**, 西村 昂***

Norio Tokunaga, Kimihisa Usui and Takashi Nishimura

* 阪神高速道路公団 神戸第二建設部 設計課 (〒654-0044 神戸市中央区東川崎町 1-3-3)

** (株)フジエンジニアリング 調査設計部 調査 2 課 (〒532-0002 大阪市淀川区東三国 5-5-28)

*** 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科 (〒558-0022 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

This paper presents the result of the vibration test and analysis for vibration on the ground caused by road roughness near an expansion joint. Vibration on the ground, it is not clear how to exchange vibration characteristics with roughness near the expansion joint. Then we had vibration test and roughness measurement in girder of highway bridges, and examined the relation between roughness and vibration.

As the result, it is clear that it might be caused by the longitudinal profile of the long wavelength components, there was unevenness of about 20-40mm in the point where it left 1-3m from the expansion joint.

Key Words : traffic reduced vibration, experiment, analysis, roughness, expansion joint

1. まえがき

都市内高速道路は、交通量の増大および車両の大型化が徐々に進んできている。また、人々の生活が24時間化することに伴って、車両が昼夜を問わず走行する状態となっている。このような状況に置かれた都市内高速道路では、振動に対する苦情がわずかずつではあるが増加の傾向にある。道路管理者は、このような苦情に対し鋭意研究を行っているが、効果的な対策工が得られていないのが現状である。特に、高架道路を発振源とした場合の周辺地盤の振動は、高架道路の路面凹凸上を車両が走行することによって引き起こされ、それが上部構造・下部構造・地盤へと伝播していく中で増幅・減衰し、周辺地盤を振動させている。この増幅・減衰の現象は、各々の箇所の上部構造・下部構造・地盤の特性によって異なっており、統一した有効な対策工を施すことが困難な理由のひとつである。

ここで、振動対策工の対象として最も望ましいのは「発振源」での対策であることは言うまでもない。道路を対象とした振動の発振源対策は、交通制御対策、路面对策、上部構造対策、下部構造対策に分類されるが、道路管理者が日常的な道路管理の中で可能で、容易に効果の得られるものは路面对策である。路面上の凹凸については、これまでに橋梁・床版の衝撃係数や地盤振動の大きさとの関係に注目した研究がある^{1,2)}。また、わだち掘れ量や路面の段差量については、車両の走行性や構造物に損傷を与える影響が大きいことから、維持修繕の可否を判断する目標値も定められている^{3,4)}。ところが、供用間もない新設路線や舗

装の打ち替え補修の直後で、伸縮継手周辺に段差が認められない状態であっても「振動が大きい」といった苦情が発生する場合がある。このような箇所では、伸縮継手の極近くでの段差はないが、大型車両が走行する際に車体が上下に波打つ現象が認められることから、伸縮継手の周辺で波長の長い路面凹凸があり、それが振動の発生に影響を与えているのではないかと考えられる。

このような着目から、著者ら^{5,6)}は、伸縮継手周辺の路面凹凸として、これまでに考えられてきた「伸縮継手から2~3mの範囲」⁷⁾をもう少し範囲を広げて「伸縮継手から10mの範囲」を考え、このような路面凹凸がどのような状態で生じているのかを確認し、その路面凹凸が振動の発生にどのような影響を与えているのかを把握する目的で幾つかの調査・実験を行った結果、波長の長い路面凹凸の存在の確認、路面凹凸のパターンによって異なる振動加速度の違いなどを明らかにした。また、米田ら⁸⁾は、この調査結果を基に、波長の長い路面凹凸に対して、解析的な観点から格子モデルを用いた動的応答解析シミュレーションを実施し、振動の発生が車両と橋梁の共振現象によって生じるものであることを明らかにした。

そこで、本研究では、新設路線における路面調査を行うとともに、その路線において車両のばね振動の測定を行い、路面凹凸のパターンと車両ばね振動の関係について明らかにするとともに、解析モデルをより実橋に近づけたモデルに変更し、解析面からこれらの凹凸が振動に与える影響について考察を行うことにした。

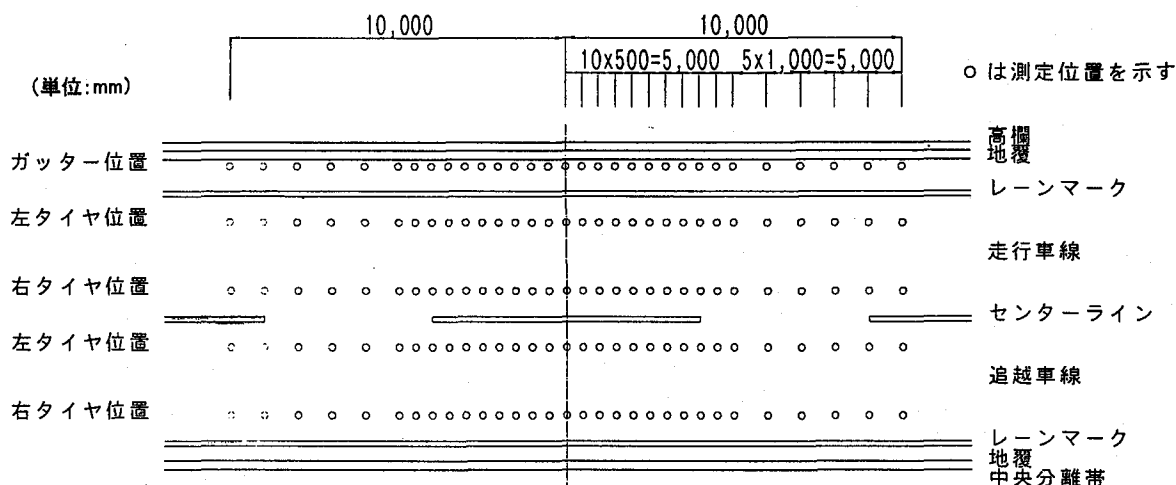


図- 1 水準測量による路面凹凸の測定要領

2. 調査概要

2.1 調査内容・調査項目

伸縮継手周辺の路面凹凸の状況およびその路面凹凸によって発生する振動の実態を把握するために現地調査を実施した。調査項目は、路面凹凸測定、車両の走行による振動測定の2項目である。

2.2 路面凹凸測定

本研究では、大型車両の車軸間隔 4~9m⁹⁾ を越える距離における高低差を対象として、この車軸間隔を超える伸縮継手前後 10m の凹凸変化を『伸縮継手周辺の路面凹凸性状』と呼び、その性状を把握することにした。また、路面凹凸の波長の長いものを対象としているため、図- 1 に示すように、伸縮継手前後 10m の凹凸変化を 1m 毎に把握することを基本とし、前後 5m については 50cm 毎に測定を行った。

測定対象は、わだち掘れなどのない供用開始前の新設路線とし、測定は水準測量で行った。水準測量を行ったのは 10 月で、平均気温 18~20℃であった。1箇所あたりの水準測量の測定時間は 1 時間程度であった。

2.3 振動測定

車両が走行することで生じる振動は様々な影響を受ける。たとえば、上部構造・下部構造の構造形式、地盤条件、交通流の条件などが大きく影響する¹⁰⁾。そこで、今回の測定では、車両が伸縮継手周辺の路面凹凸を通過する際に生じる振動を把握するために、ほぼ同規模の PC 箱桁を対象として測定を行うことにした。

測定では車両重量、走行位置、走行速度などを規定した試験車走行実験を実施した。測定は、図- 2 に示す大型 5 軸トレーラー (総重量 343kN) を使用し、走行中の車両のばね上振動加速度を対象とした。

▼ : 振動測点 (車両ばね上振動加速度)

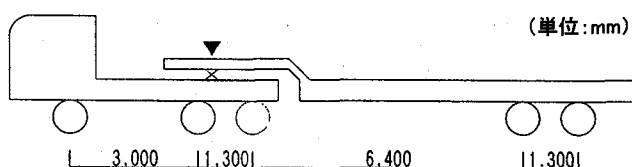


図- 2 試験車両

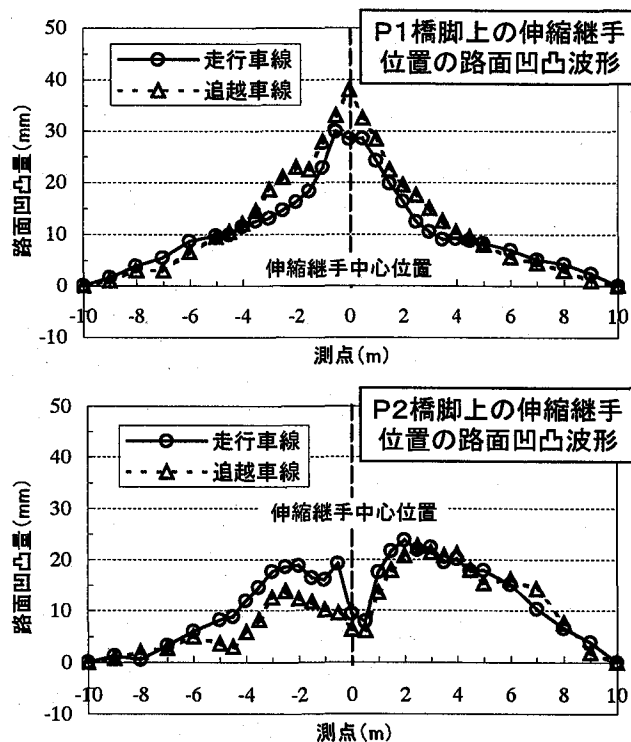


図- 3 路面凹凸波形の代表例

(左右タイヤ位置の測定結果を車線毎に平均している)

表- 1 凹凸パターン毎の測定数量

形状 パターン	形状	箇所数	比
N	平坦	1	1.7%
A-1	凸型	15	25.0%
A-2	凹型	10	16.7%
B-1	手前平坦、 通過後凸(凹)	4	6.7%
B-2	手前凸(凹)、 通過後平坦	8	13.3%
C-1	S型(手前凸)	3	5.0%
C-2	S型(手前凹)	3	5.0%
D-1	両凸型	7	11.7%
D-2	両凹型	1	1.7%
X	上記の複合型 例 手前凸、通過後S型	8	13.3%
	計	60	100.0%

3.測定結果

3.1 路面凹凸の測定結果

路面凹凸は、60 箇所の伸縮継手を測定した。測定範囲が伸縮継手の前後-10～10m と長いため、測定結果の凹凸量には縦断勾配の変化および桁キャンバーが含まれている。得られた凹凸波形の中で2箇所の伸縮継手の代表例を図- 3に示す。実際の路面には縦断勾配があるが、図- 3は、測定範囲の端部にあたる-10m, 10m 位置を高低差0mmとして表示している。

伸縮継手周辺の路面凹凸は、縦断勾配の変化や舗装の出来形によって、図- 3に示すような伸縮継手を中心とした凸型、凹型のような形状を示す場合がある。このような伸縮継手周辺の凹凸性状には幾つかのパターン形状が認められる。路面凹凸の測定結果で得られた凹凸波形をパターン分類し、整理したものを表- 1に示す。路面のパターンとしては、A-1が最も多く、次いでA-2、D-1の順となっている。

また、最大凹凸量(測定範囲の端部にあたる-10m, 10m位置を高低差0mmとした場合の-10m～0m, 0m～10m, -10m～10mの高低差)の頻度分布を図- 4に示すとともに、凹凸波形の内、A-1～2についてはピーク的位置を、B-1～2, C-1～2, D-1～2については伸縮継手から離れた極値(最大・最小)の位置を頻度分布として求めたものを図- 5に示す。なお、A-1～2で伸縮継手がピークとなる場合は、除外している。図- 4から、最大凹凸量は、5～40mm 範囲にあるが、10～20mm 程度の場合が多く、30mmを超えるような大きな高低差の発生は少ないことがわかる。また、図- 5から、凹凸の勾配の変化する点は、伸縮継手から2～3m 程度離れた箇所に多く集中していることがわかる。

路面凹凸によって大型車両が上下に波打つ現象が発生する状況を考えると、短い距離で大きな高低差が生じている場合に大きく揺れ動く現象が発生すると考えられるこ

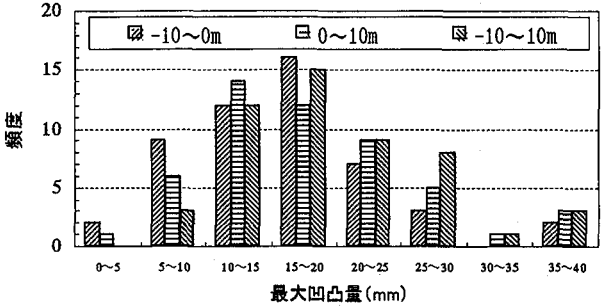


図- 4 最大凹凸量の頻度分布

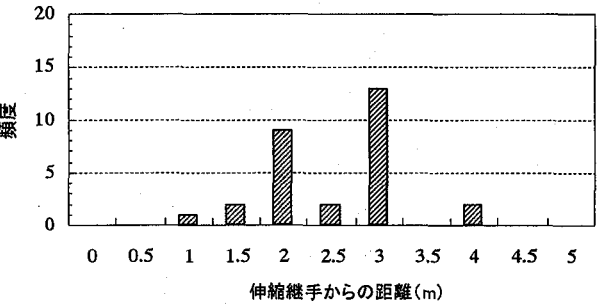


図- 5 伸縮継手周辺の変曲点の位置

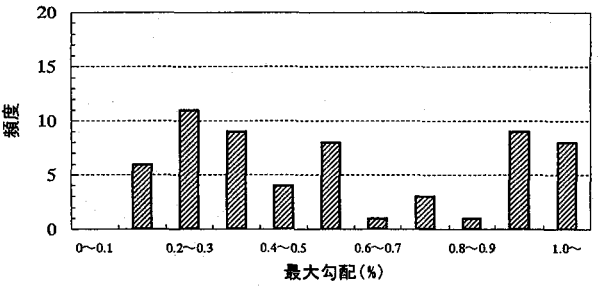


図- 6 最大凹凸量の勾配

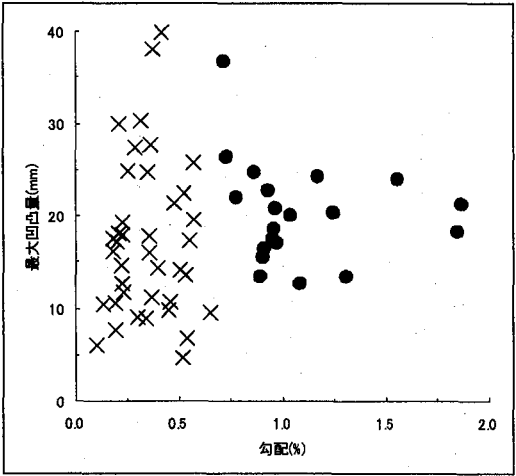


図- 7 勾配と最大凹凸量

とから、最大凹凸量だけが影響を与えるのではなく、その勾配が大きく影響すると考えられる。そこで、最大凹凸量とその極値までの距離から凹凸の勾配を算出したものを図- 6, 勾配と最大凹凸量の相関を表したものを図- 7

に示す。勾配は0.1～1.9%の範囲にある。ここで、図－4、図－5の最頻値である20mm、3mで勾配を求めると約0.7%となる。図－7では、この勾配0.7%以上を“●”，それ以下を“×”で示している。図－7では、0.7%以上の勾配の場合、最大凹凸量は10～25mmの範囲にある場合が多く、25mm以上の大きな凹凸量である場合は少ないことがわかる。したがって、路面の評価は、その凹凸量の最大値だけでなく、勾配にも着目すべきであると言える。

阪神高速道路公団では、土木工事共通仕様書で、新設時の伸縮継手前後の凹凸に関して、縦断方向は3m以内の凹凸を5mm以内と定めている¹⁾。今回得られた路面凹凸の測定結果と3m以内の短い範囲における凹凸量を比較すると、伸縮継手近傍では1～10m程度の長い周期の凹凸があり、その凹凸量は5～40mm程度で、短い範囲の凹凸量より大幅に大きいことが確認できた。

3.2 振動の測定結果

(1) 試験車走行試験の概要

伸縮継手周辺の路面凹凸には1～10mの長い周期の凹凸が存在することが確認できた。伸縮継手を通過する車両の挙動を観察すると、前軸・後軸の順に車体が持ち上げられる様子が見られることがある。このような挙動は、今回確認された長い周期の路面凹凸によって引き起こされるものと考えられる。そこで、このような路面凹凸の形状(パターン)や路面凹凸の大きさによって車両の振動加速度の大きさがどのように変化するかを確認するため試験車走行実験を実施した。試験車両は、走行車線・追越車線の両方を走行させ、車両の速度は、規制速度の60km/hとした。試験車両を走行させる橋梁は、橋長約150～200m(支間長約40～50m)の4径間連続コンクリート箱桁橋を中心とする区域で、橋脚は梁の張り出し長の短いRCT型橋脚、基礎は杭基礎である。

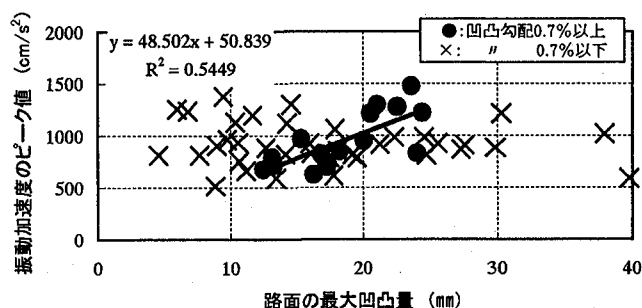
(2) 路面凹凸と車両振動の関係

路面凹凸と車両の挙動の関係に着目する。伸縮継手周辺で車両に大きな挙動が生じれば上部構造・下部構造の動きも大きくなり、地盤にも大きな振動が生じると考えられる。

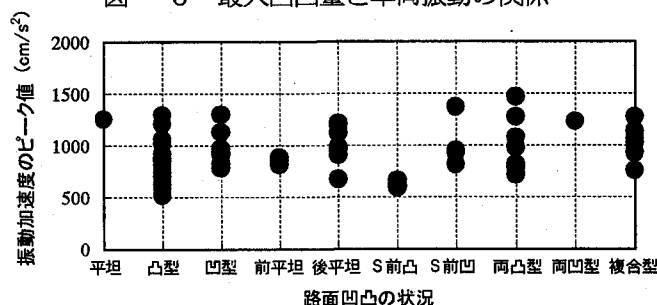
伸縮継手周辺の凹凸を通過した際に発生する車両ばね上振動の最大加速度(全振幅)と路面凹凸の最大値との関係を図－8に示す。図－8では、勾配が0.7%以上のものを“●”，それ以外のものを“×”で示し，“●”のデータの凹凸量と振動加速度の線形回帰式、分散を算出したものを図中に示している(図－10～図－14についても同様)。

図－8は、全測定データで見た場合は、ばらつきが大きく相関は認められないが、勾配0.7%以上のデータで見た場合は0.54程度の分散となり、最大凹凸量の増加に伴って振動加速度が増えていく傾向が認められる。

路面凹凸パターン毎の車両ばね振動の加速度値、最大凹凸量との関係を図－9に示す。図－9により、路面凹凸



図－8 最大凹凸量と車両振動の関係



図－9 路面パターンごとの車両振動

のパターンによって、車両ばね上振動の最大値が異なる傾向のあることがわかる。そこで、路面の凹凸パターン別に路面凹凸とばね上振動の振動加速度の相関を検討する。図－10～図－14に路面の凹凸パターン別の相関図を示す。図－10～図－13の両者を比較すると、図－10は路面の最大凹凸量は9～40mm、振動加速度は500～1400cm/s²の範囲に幅広く分布している。このケースの全データで見た場合の相関は認められないが、勾配0.7%以上のデータで見た場合は、0.53程度の分散となり、凹凸量の増加に伴って振動加速度が増えていく傾向が認められる。また、図－11の路面段差は、図－10と比較して狭い範囲に分布していると言える。図－10では、D－1～2の全データで見た場合でも正の相関があると考えられるが、勾配0.7%以上のデータで見た場合は分散が0.93となり、両凸型、両凹型のパターンが形成された場合は、凹凸量を小さく抑えなければ振動加速度が大きく発生することがわかる。

図－12～図－14についても、A－1～2、D－1～2とほぼ同様に、全データで見た場合の相関は認められないが、勾配0.7%以上のデータで見た場合は、0.9以上の分散となり、凹凸量の増加に伴って振動加速度が増えていく傾向が認められる。

以上のことから、車両の振動加速度は、最大凹凸量の大小だけによって変化するのではなく、その勾配の影響を受けること、路面凹凸パターン毎に検討した場合は、0.7%以上の勾配のデータについては、ほぼ比例関係にあることがわかる。

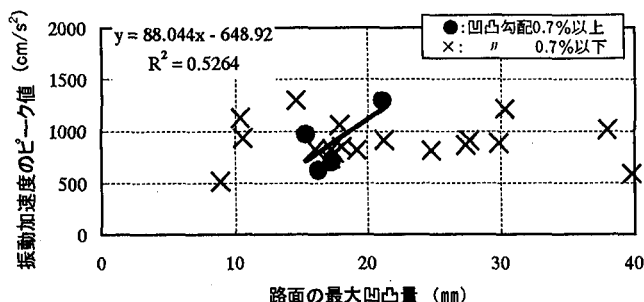


図- 10 A-1～2の最大凹凸量とばね上振動

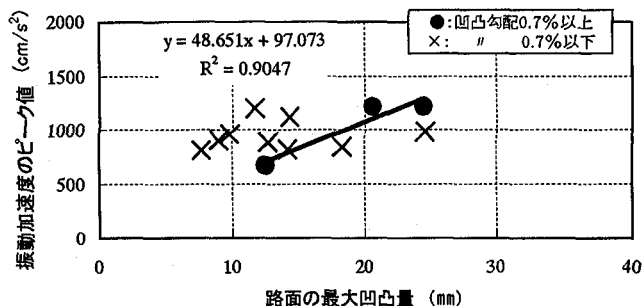


図- 12 B-1～2の最大凹凸量とばね上振動

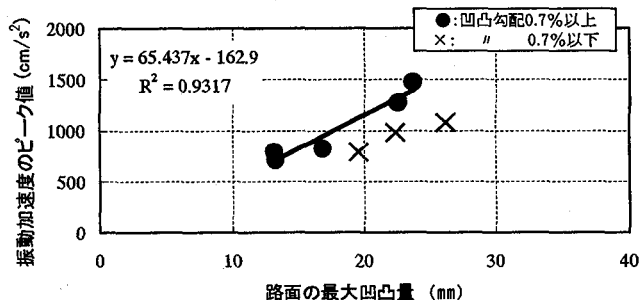


図- 11 D-1～2の最大凹凸量とばね上振動

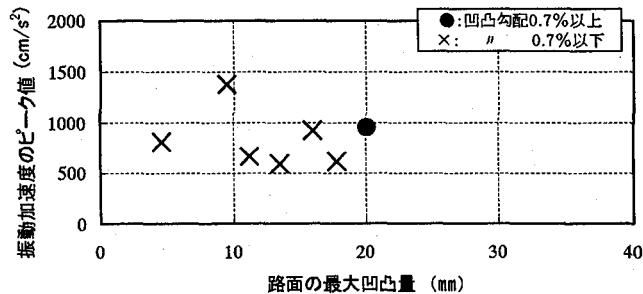


図- 13 C-1～2の最大凹凸量とばね上振動

本測定は、未供用路線で実施したものであり、測定時には伸縮継手近傍でわだち掘れや伸縮継手と舗装の境界部での段差は認められない。また、測定対象の橋梁については、ほぼ同規模のコンクリート箱桁であり、伸縮継手は鋼製フィンガージョイントである。

これらの条件をふまえて、今回の測定で得られた路面凹凸と車両振動の関係から得られる結論としては、次のように考えられる。

- ①1～10m程度の長い周期の路面凹凸であっても、凹凸量によっては車両に大きな振動が発生する可能性がある(図- 8 参照)。
- ②伸縮継手周辺の最大凹凸量と車両のばね上振動の振動加速度は、勾配0.7%程度より大きい場合には明瞭な正の相関が認められるが、最大凹凸量全体を対象とした場合の相関はない(図- 8 参照)。
- ③車両の速度が一定の場合、路面凹凸のパターンによって車両のばね上振動の振動加速度に違いが認められる。(図- 9 参照)
- ④路面凹凸のパターン毎に検討した場合、0.7%以上の勾配のデータについては、ほぼ比例関係にある。

4. 解析検討

4.1 解析方法

(1) 概要

前節までの検討で、車両のばね上振動加速度と一定勾配以上の最大凹凸量には明瞭な正の相関が認められることがわかった。また、勾配を考慮しなければ、路面凹凸量が大きくとも振動加速度が小さくなる場合があることも認

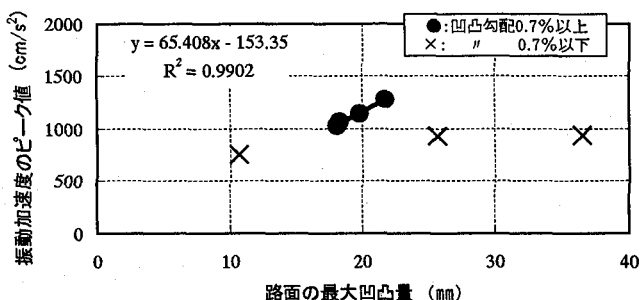
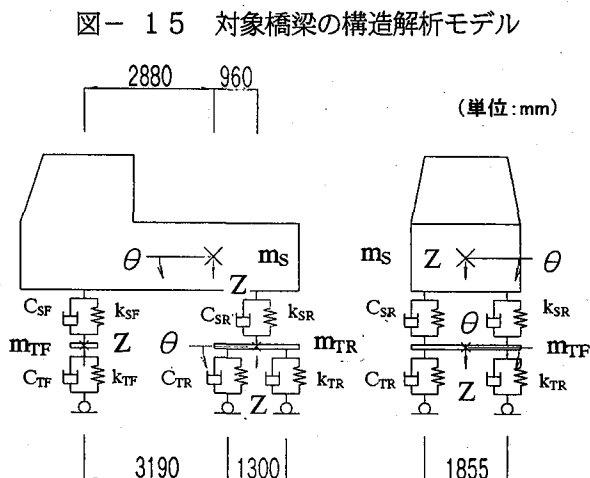
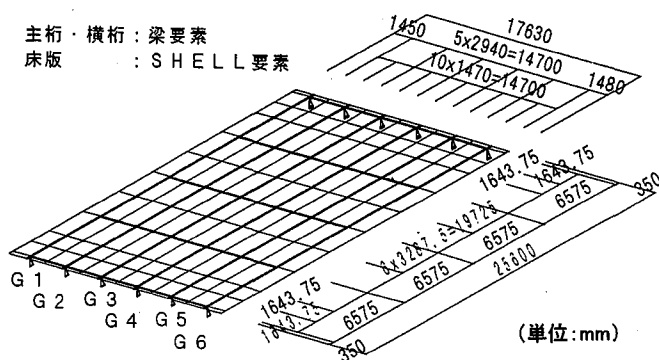


図- 14 Xの最大凹凸量とばね上振動

められた。このことは、路面凹凸量の勾配、形状(パターン)と最大凹凸量の双方に着目して伸縮継手周辺の路面凹凸の検討を実施する必要があることを示していると言える。伸縮継手周辺の路面凹凸の大きさおよび形状によって生じる振動加速度の大きさの違いを実測によって把握することは、測定する橋梁構造の違いや実験におけるばらつきがあることから困難である。そこで、実際の橋梁を有限要素法(FEM)によりモデル化し、モデル化橋梁上に車両を走行させて各種応答を確認する振動応答解析シミュレーションを実施し、路面凹凸の大きさ・形状と振動加速度の関係とその傾向を把握することにした。

本論文では、伸縮継手部を走行する際に発生する地盤振動の中で、比較的低い周波数成分である2～4Hz程度の応答¹²⁾を対象として考えている。このような比較的低い周波数成分を対象として考える場合、地盤を振動させる要因となる力の量を把握する必要がある。ここでは、解析上で着目する物理量としては『反力』を対象とした。また、着目する振動の評価として、車両が対象とする橋梁径間上に



入った直後の状態での反力の最大値を検討の対象とした。
シミュレーションにあたっては、比較苦情が多く発生している主桁形式である支間長の短いコンクリート桁に着目する。このような径間では固有振動数が 4Hz より高くなる場合が多く¹³⁾、今回のシミュレーション解析の対象とする車両の上下運動による振動の発生(ばね上振動の固有振動数: 約 3Hz¹⁴⁾) と共振する可能性は少なく、外力(車体の上下運動による外力)の大小による反力の変動が表れると考えられる。

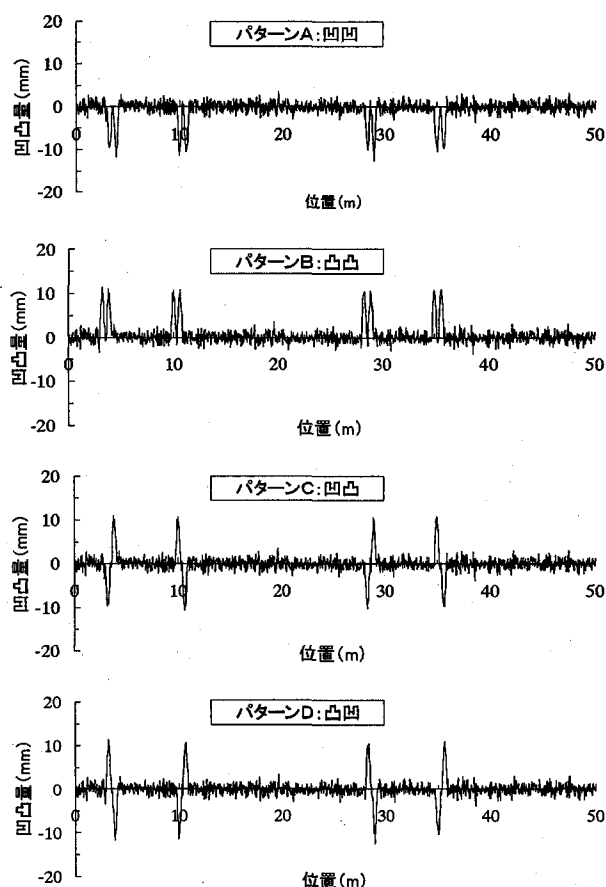
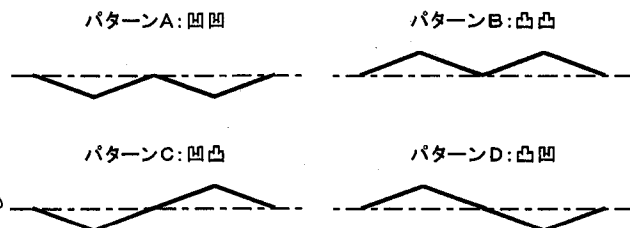


図-18 路面凹凸波形(不陸長さ2m, 高さ10mm)

凹凸の長さ	凹凸の高さ	凹凸のパターン
2m	10mm	凹凹
4m	20mm	凸凸
5m	30mm	凹凸
		凸凹
3種類	3種類	4種類
3x3x4=36パターン		

構造解析モデルでは、床版の有効幅は各主桁・各横桁に対して全幅有効として剛性を求めた。解析対象とする車両は、196kN ダンプトラックである。車両モデルは、図-16 に示すように後軸にタンデム軸を持つ3軸車とし、左右に独立に挙動するタイヤ部を持つ立体車両モデルとした。

解析対象の路面の基本形状は、図－ 17 に示すとおりである。

路面凹凸の基本形状は sin 半波形状とし、橋梁両端の伸縮装置の両側に設けた。また、その sin 半波形状の中間は伸縮装置として 50cm の平坦部を設けた。

シミュレーション解析では、路面凹凸スペクトルを $S_r(\Omega)=\alpha/(\Omega^n+\beta^n)$, $\alpha=0.003$, $\beta=0.02$, $n=2.5$ ¹⁵⁾ で表したシミュレーション路面を左右タイヤ位置において独立に発生させ、基本形状に重ね合わせて路面凹凸とした。路面凹凸スペクトルから求める路面凹凸は、この凹凸によって大きな振動が発生しないような比較的滑らかな(良好な)凹凸形状である。解析に用いる路面凹凸波形の一例を図－ 18 に示す。

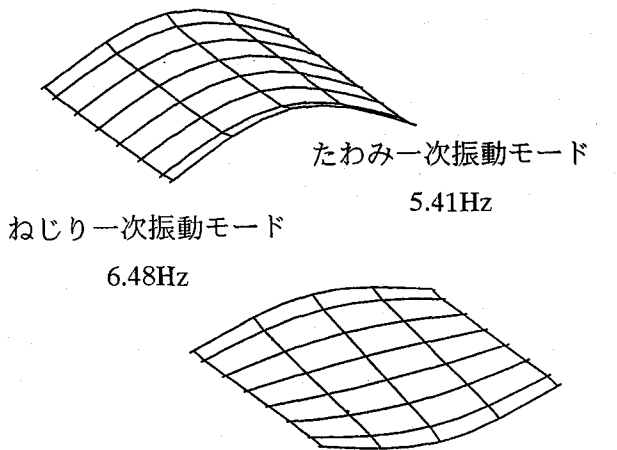
シミュレーション解析では、路面凹凸の基本形状の長さ・高さのパラメータを変化させる。路面凹凸のパラメータを表－ 2 に示す。車両の走行速度は、阪神高速道路の平均的な車速である 80km/h を対象とする。また、走行する車線は、下部構造の構造形式の影響を受けにくい追越車線(内側車線)とした。

4.2 シミュレーション解析の結果

シミュレーション解析を実施する構造モデルの 1～2 次モードまでの固有振動数を表－ 3 に、その固有振動モードを図－ 19 に示す。固有振動解析の結果は 60 次までの振動モードを使用した ($f_{60}=65.3\text{Hz}$)。また、車両を走行させた動的応答のシミュレーション解析では、時間ステップは 0.005 秒を採用した¹⁶⁾。

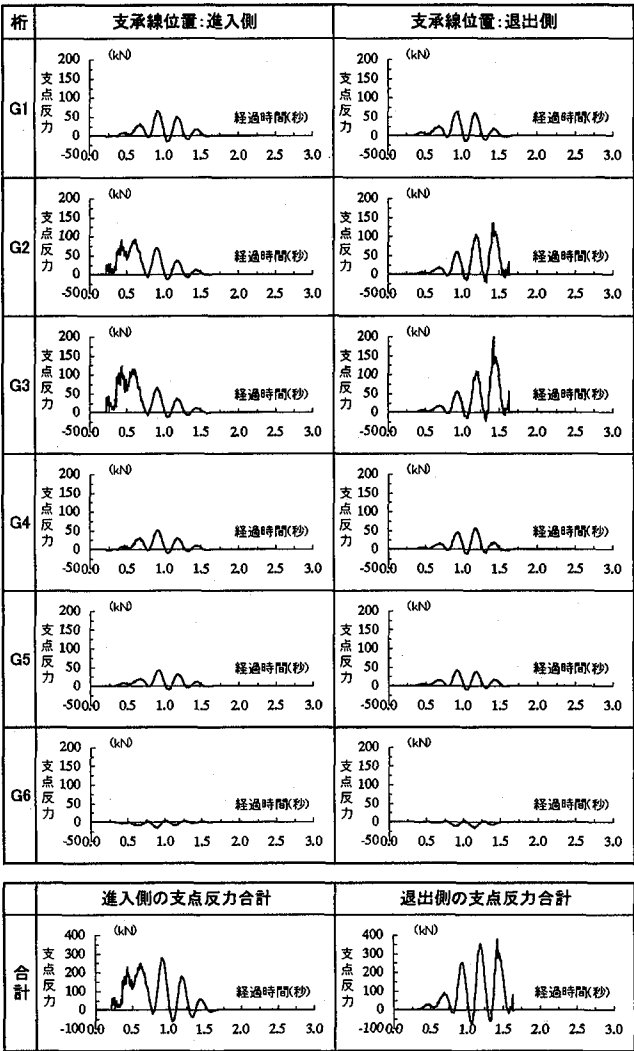
表－ 3 固有値解析結果 (Hz)

次数	解析値
1	5.41
2	6.48



図－ 19 代表的な固有振動モード

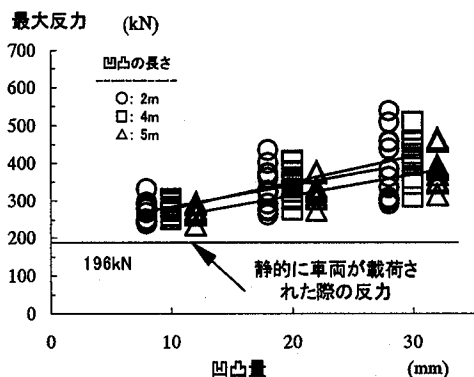
解析ケース(走行速度:80km/h, 凹凸長さ:4m, 凹凸量:20mm, 凹凸パターン:凹凸)



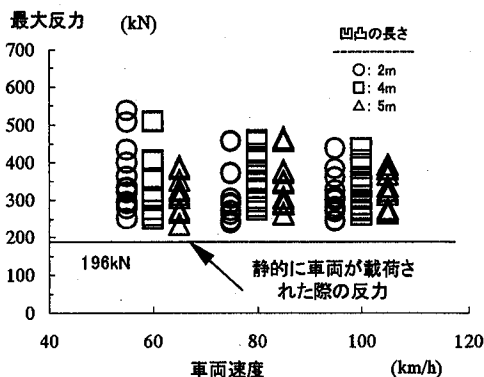
図－ 20 解析結果の一例

解析結果の一例を図－ 20 に示す。追越車線を走行していることから車両の左右タイヤの下となる G2 桁, G3 桁の支点反力が大きく卓越し、その他の桁では横桁の分配による反力が生じていることがわかる。図－ 20 の最下段は 1 支承線上での支点反力の合計を示している。

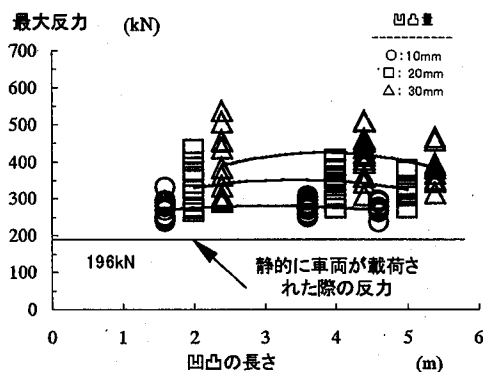
進入側の支点反力は、車軸の進入と共に大きくなり、動的成分を伴いながら次第に小さくなっている。また、退出側の支点反力は、進入側の場合とは反対に車軸が近づくについて動的成分を伴いながら大きくなっている。しかし、退出側では、進入側ほど動的成分は小さくなく、退出側の段差の影響もはっきりとは認められない。



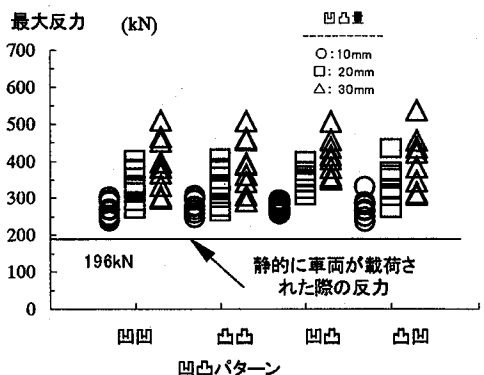
(1) 着目点1：凹凸量の大小



(3) 着目点3：車両速度の違い



(2) 着目点2：凹凸長さの違い



(4) 着目点4：凹凸パターンの違い

図- 2 1 解析結果の検討

4.3 解析結果に対する検討

図- 2 0 に示した解析結果の内、1 支承線上の支点反力の合計に着目して検討を行う。路面凹凸の各種パラメータと支点反力の最大値（最大反力）の関係を調べる。幾つかの着目点に基づいて解析結果を整理したものを図- 2 1 に示す。図- 2 1 から以下のようなことが考えられる。

- ①10mm 程度の比較的小さな凹凸量であっても、車両が走行すると反力は静的に載荷された場合より大きくなり、その反力は凹凸量が大きくなるにしたがって大きくなる（着目点1）。
- ②同じ凹凸量の中での最も大きな反力は、凹凸の長さが短い2mの方が、長い場合より大きな反力となる傾向が認められる。これは凹凸の勾配の影響と考えられる。
- ③ただし、平均で見ると同じ凹凸量の中では、凹凸長さ4mの場合が最も大きな最大反力を示す傾向がある（着目点2）。
- ④車両速度が速くなっても最大反力は大きくならず、かえって小さくなる場合がある（着目点3）。
- ⑤車両速度の違いによる最大反力の差異は小さく、凹凸量の差異による方が大きい。
- ⑥同じ凹凸量の中で比較した場合、凹凸パターンの違いによって生じる最大反力の発生に違いが認められる（着目点4）。

また、各種のパラメータについてより詳細な検討を行うため、196kN ダンプトラックが、走行速度 60,80,100km/h で走行した場合の解析結果を凹凸長さ（凹凸周期）および凹凸量ごとに比較したものを図- 2 2 に示す。

図- 2 2 から、以下のようなことが考えられる。

- ①凹凸の長さ 2m、車両速度 60km/h の場合のみ凹凸量が増加するにしたがって、最大反力が大きくなっているが、それ以外のケースでは定まった傾向が認められない。
- ②凹凸パターンによっては、凹凸量が増えても最大反力が小さくなっている場合がある。したがって、最大反力の発生は、単純に凹凸量・車両速度の大小で定まっているわけではなく、凹凸パターンと車両の走行の関係が複雑に関係して生じていると考えられる。
- ③凹凸の長さが 5m になると最大反力が 400kN を越えることが少なくなっている。また、凹凸量が増えても最大反力に変化が少ないことから、伸縮継手への舗装の擦り付けの凹凸周期が 5m 以上となるように、伸縮継手から 10m 離れた位置から擦り付けを行う舗設方法の検討を行う必要がある。

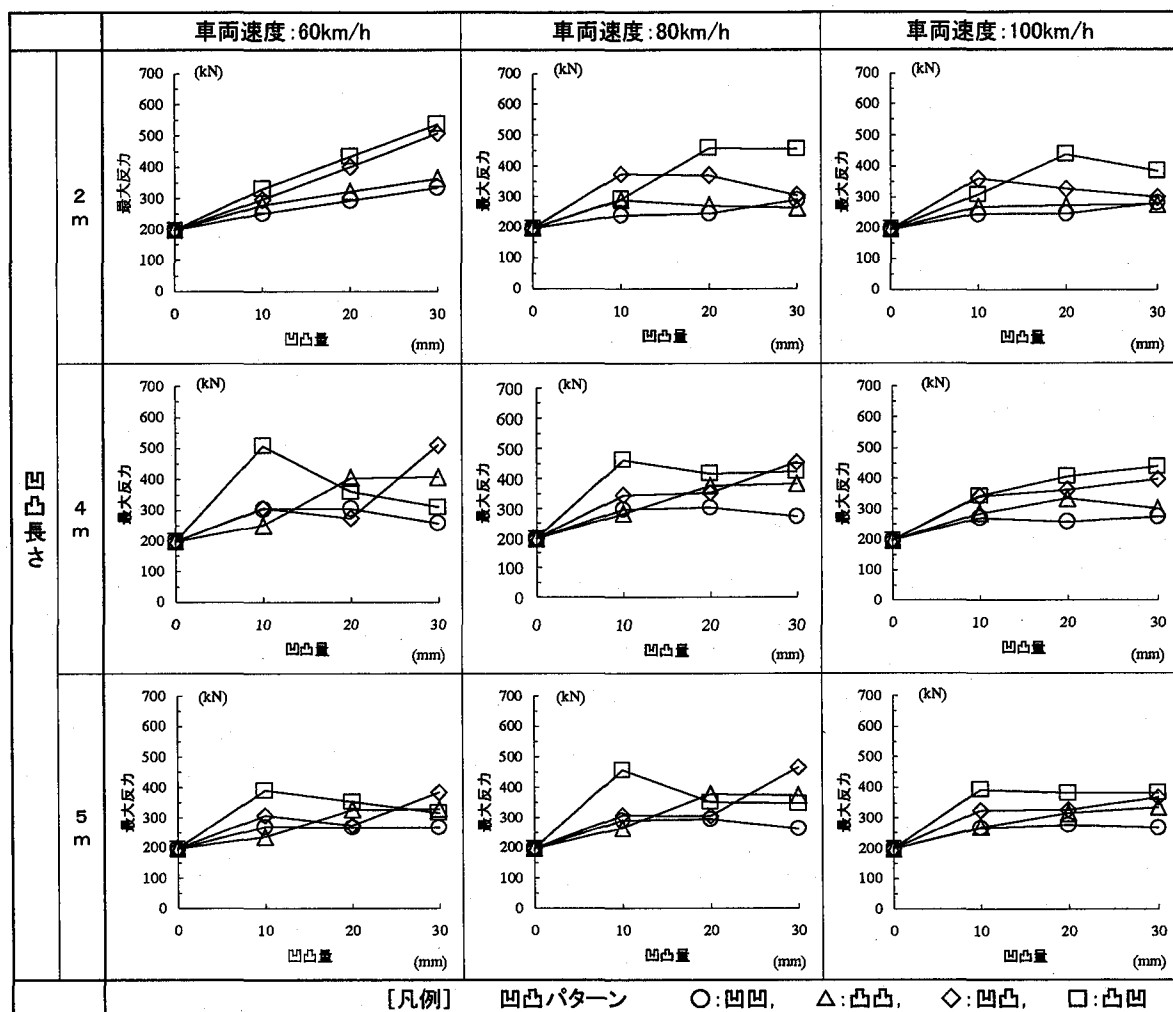


図- 2 2 車両速度の違いによる解析結果の比較

5. まとめ

5.1 本研究により得られた知見

従来は検討されてこなかった、比較的長い周期の凹凸が地盤振動に与える影響について、測定結果・解析結果を示し検討を行った。以下に、本研究により得られた知見を示す。

(1) 伸縮継手周辺の路面凹凸の特性について

- ①伸縮継手近くの路面は、極近くには段差がなくとも、比較的長い周期の凹凸が存在する 경우가多く、その凹凸によって走行する車両が大きく振動し、周辺地盤に影響を与えていることがわかった。
- ②比較的長い周期の路面凹凸の凹凸量は大きく、伸縮継手から1~3m程度離れた地点で20~40mmに達するものが多くあることがわかった。
- ③伸縮継手周辺の最大凹凸量と車両のばね上振動の振動加速度は、勾配0.7%程度より大きい場合には明瞭な正の相関が認められるが、最大凹凸量全体を対象とした場合の相関はない。

(2) 振動特性について

- ①振動は凹凸量だけでなく、凹凸のパターンによって振幅が大きくなる傾向が異なっている。
- ②舗装の施工にあたっては10m程度離れた位置から伸縮継手への縦断勾配が重要な要素となる。

5.2 今後の研究課題

今後路面凹凸の伸縮継手部への擦り付けの形状について、実際の施工面での検討を加えながら、改善方法について検討を行う必要がある。

また、本研究により路面の凹凸パターンに対する応答の傾向を実測面・解析面から明確にすることができたが、地盤における高架構造から発生する振動の大きさと上部構造に発生している反力の関係については明確になっていない点があるため、これらの関係の検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 本田 秀行・小堀 為雄：走行自動車による3径間連続桁橋の動的応答と衝撃係数，土木学会論文報告集，

No.313, pp.13~22, 1981.9.

- 2) 横山 功一・井上 純三・永原 隆：路面段差部に作用する自動車衝撃荷重の特性，構造工学論文集，Vol.35A, pp.757~764, 1989.3.
- 3) 日本道路協会：道路維持修繕要綱，1978.7.
- 4) 本田 秀行・梶川 康男・小堀 為雄：道路橋の伸縮装置部の凹凸性状，土木学会論文報告集，No.324, pp.173~176, 1982.6.
- 5) 徳永 法夫・西村 昂・薄井 王尚：伸縮継手近傍の路面段差が地盤振動に与える影響とその改善対策の検討，環境技術，Vol.27, No.7, pp.501~509, 1998.
- 6) 徳永 法夫・西村 昂・米田 昌弘・薄井 王尚：高架道路橋の路面段差の管理と交通振動の低減に関する研究，第8回交通工学研究発表会論文報告集，pp.109~112, 1998.11.
- 7) 阪神高速道路公団：土木工事共通仕様書 II. 建設工事編，pp.364, 1992.4.
- 8) 米田 昌弘・徳永 法夫：路面上の緩やかな段差によって誘起される橋梁交通振動に対する解析的考察，鋼構造論文集，第7巻第25号，pp.79~87, 2000.3.
- 9) 阪神高速道路公団 設計荷重(HDL)委員会報告書：阪神高速道路の設計荷重体系に関する調査研究，pp.49, 阪神高速道路公団，(財)阪神高速道路管理技術センター，1986.12.
- 10) 交通荷重による橋梁振動に関する研究の現状と課題：土木学会構造工学委員会 橋梁交通振動研究小委員会，pp.51~53, 1994.4.
- 11) 阪神高速道路公団：土木工事共通仕様書 II. 建設工事編，pp.233, 1992.4.
- 12) 讀岐 康博・梶川 康男・岩津 守昭・林 秀侃・伊関 治郎：動吸振器の制振効果に関する実験，振動制御コロキウム PART.B 講演論文集，pp.89~96, 1991.7.
- 13) 土木技術者のための振動便覧：土木学会，pp.98~104, 1985.10.
- 14) 橋梁振動研究会編：橋梁振動の計測と解析，技報堂出版，pp.190~196, 1993.10.
- 15) 交通荷重による橋梁振動に関する研究の現状と課題：土木学会構造工学委員会 橋梁交通振動研究小委員会，pp.13~15, 1994.4.
- 16) 交通荷重による橋梁振動に関する研究の現状と課題：土木学会構造工学委員会 橋梁交通振動研究小委員会，pp.17~18, 1994.4.

(2000年9月14日 受付)