

(4) 車両走行による波形鋼板ウェブPC橋の動的応答と衝撃係数に関する研究

ドーピー建設工業(株)名古屋支店 正会員 立神 久雄
 ドーピー建設工業(株)技術センター 正会員 上平 謙二
 金沢工業大学 工学部 本田 秀行
 金沢大学 工学部 梶川 康男

1. まえがき

波形鋼板ウェブPC箱桁橋は、海外で数橋、日本国内ではまだ3橋目である。筆者らは、国内3橋の内の1橋の銀山御幸橋で振動実験を行った。その結果、本橋梁形式は、鋼橋とプレストレストコンクリート橋の中間の振動特性を有している事を確認するとともに、動的増幅率(衝撃係数)の検証を行った。

衝撃係数の問題に関する研究は古くから行われているが、その多くは鋼橋に関するものが多く、本橋梁形式のような複合構造や、プレストレストコンクリート橋の研究はほとんど無いのが現状である。

そこで、波形鋼板ウェブPC橋の車両走行による3次元橋梁モデルによる動的応答解析から動的影響を検討し、設計に用いられる衝撃係数に関する資料を得るための研究を行った。

なお、銀山御幸橋での振動実験において、静的解析で確認したせん断剛性およびねじり剛性の評価方法を用いて固有値解析を行えることが検証できたことから、次章以降のシュミレーション解析にはこれらの主桁剛性 η を用いて計算を行う。

2. 路面凹凸

解析に用いた路面凹凸は、筆者らによる橋面凹凸の実態調査³⁾で得られた平均的な路面凹凸パワースペクトル密度 $S_r(\Omega)$ として、Cut-off wavenumber $\Omega=0.05$ (c/m)において、 $S_r(\Omega)=0.0107\Omega^{-1.94}$ 、 $\Omega_c < \Omega \leq 0.05$ (c/m)、 $\Omega \leq 0.05$ (c/m)の路面周波数域では、 $S_r(\Omega)=3.58$ (cm²/c/m)の平坦なスペクトルとした。そして、モンテカルロシュミレーション法から30個の路面サンプル波形を求めた。この30個の路面凹凸を用いて事前に車両走行による橋梁の動的応答解析を行った結果、路面凹凸サンプル30個の応答値の平均と10個の平均値とでは大きな差はないため、後述する衝撃係数の検証には、10個の路面サンプルを用いて行うものとした。なお、そのサンプル波形をさらに最大エントロピー法によってスペクトル解析を行い、解析に用いた路面凹凸パワースペクトル密度と各路面凹凸サンプル波形との路面周波数の特性を検証している。以下に、路面凹凸のサンプル関数(図-2)と路面凹凸のパワースペクトル密度(図-1)を示す。

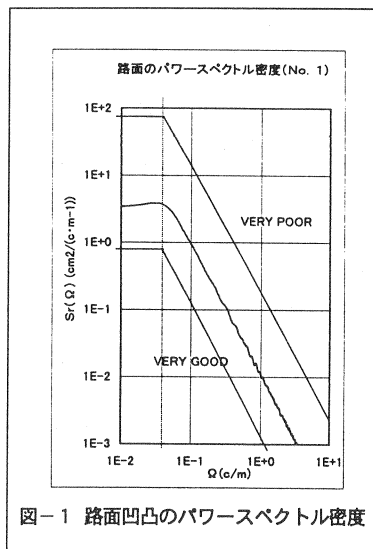


図-1 路面凹凸のパワースペクトル密度

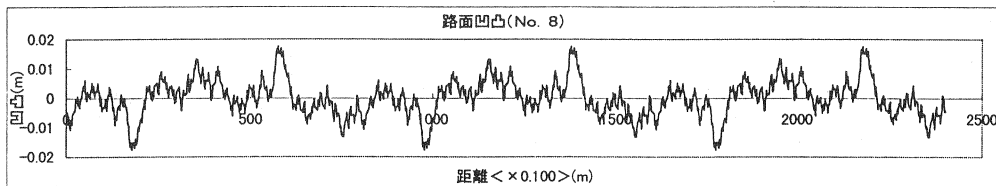


図-2 路面凹凸のサンプル関数

3. 車両荷重列モデル

車両のモデル化について、従来までの1自由度系の車両振動モデルに対して、伸縮継手部での走行車両に生じる局所的な衝撃力とその影響を解析する場合など、実際の車両の動特性に近いようにモデル化することが必要になってきている。車両による振動を忠実に表すために、車両の基本的な構造として、懸架系ばねの上に支えられている車体や積載質量を含むばね上質量、懸架ばね系、懸架ばね系とタイヤ間の車輪やタイヤ質量などのばね下質量、タイヤばね系に分離することができる。本研究の動的応答解析では以上を考慮した車両モデルとして、前・後輪を考慮し、ばね上、ばね下まで含めた3軸車の5自由度系の車両モデル(図-3)を用いた。一般に、車両による振動が橋梁に及ぼす影響として支配的なものは、上下振動、ピッチング振動およびローリング振動とされているが、ローリング振動が与える影響は小さいとして、本研究では簡素化のためローリング振動は無視した。また、5自由度系とした車両モデルの諸元を表-1に示す。これらの諸元は、実測によって算出した3次元車両モデルの諸元⁹⁾を基に算出した。

一般に、衝撃係数は設計活荷重による絶対最大応力度に対応する動的影響として表される。したがって、連続桁橋の設計衝撃係数を検討する上で、荷重は設計活荷重と関連して定められるべきであり、設計活荷重と等価な自動車荷重列について解析する方がより実際的である。

そこで、本研究では、新・旧の設計活荷重に相当する自動車荷重列を仮定した。すなわち、図-4に示すように、旧L-20活荷重として、中央に20tf荷重車1台と15tf荷重車列が間隔7mで走行する等間隔の荷重列とした。一方、現行のL-25活荷重モデルとして、25tf荷重車1台と15tf荷重車列が間隔7mで走行する等間隔の荷重列とした。また、20tfと25tf荷重車両1台の走行も行う。

なお、5径間連続橋における活荷重の載荷方法は、図-5に示すように、着目点の静的応力度が最大になるように載荷し、載荷支間長によって15tf荷重車の台数を決定した。

さらに、上記の荷重列のうち、設計活荷重との関連から、荷重列1連と荷重列2連・並進の荷重列群を考えた(図-6)。

道路橋のL荷重は橋梁に対して満載状態を想定しており、車両走行速度Vの値はそれほど大きくとる必要はないと考えられるので、本研究ではV=40km/hとした。

4. 数値解析

本研究では、数値計算法としてNewmarkβ法(γ=1/2、β=1/4)を用いた。

なお、橋梁の減衰定数は実験値を用い、振動回数によって値は変わらないものとした。

5. 動的増幅率(衝撃係数)の定義

本研究では、連続桁の設計衝撃係数を検討することを目的としていることから、走行車両による橋梁の動的影響を静的たわみに対する比とした衝撃係数の形とする。

走行車両による橋梁の動的増幅率の定義は種々考えられるが、本研究では、我国で一般的な定義とされている次式から衝撃係数を算出した。

$$i_y = \frac{y_{d, \max} - y_{s, \max}}{y_{s, \max}} \dots\dots\dots (1) \quad i_M = \frac{M_{d, \max} - M_{s, \max}}{M_{s, \max}} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 i_y : たわみ応答に基づく衝撃係数、 i_M : 曲げモーメント応答に基づく衝撃係数
 $y_{d, \max}$: 動的最大たわみ、 $M_{d, \max}$: 動的最大曲げモーメント
 $y_{s, \max}$: 静的最大たわみ、 $M_{s, \max}$: 静的最大曲げモーメント

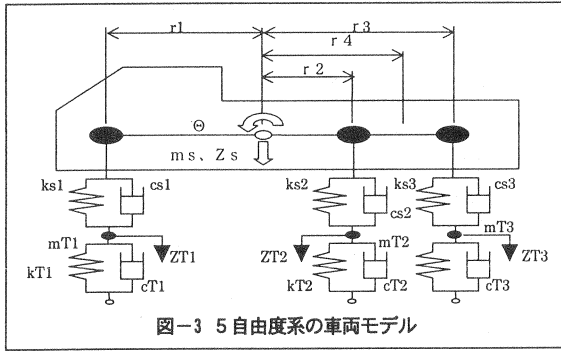
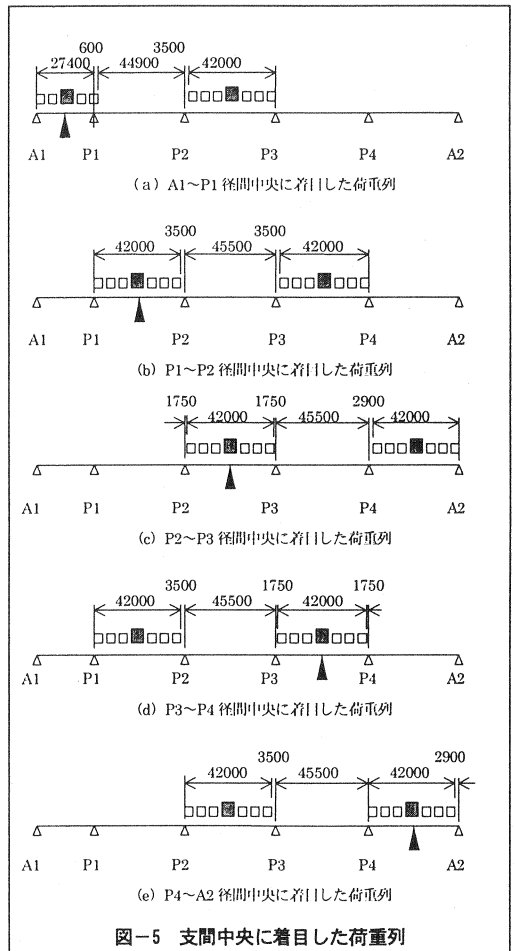
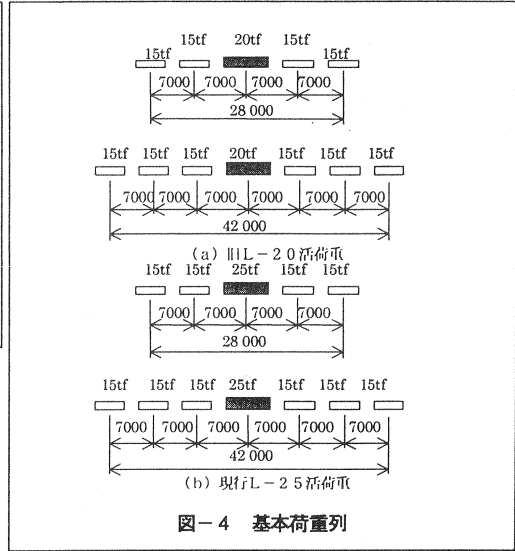
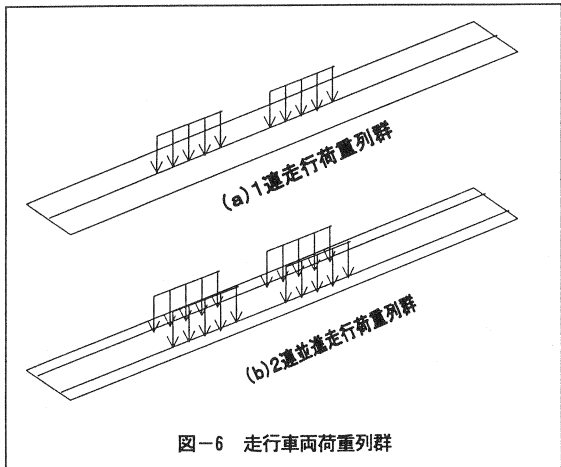


表-1 5自由度系車両モデルの諸元

		25 t車両	20 t車両	15 t車両
軸	自由度数	3	3	3
	自由度数	5	5	5
タンデム軸間距離	m	1.300	1.300	1.300
重心から軸までの距離 (前輪)	"	2.500	2.500	2.500
" (後輪の前)	"	-0.850	-0.850	-0.850
" (後輪の後)	"	-2.150	-2.150	-2.150
ホイールベースの距離	"	4.650	4.650	4.650
パネ上重量	tf	22.000	17.000	12.000
パネ下重量	"	3.000	3.000	3.000
パネ上面有振動数	Hz	2.530	2.798	2.796
重心の慣性モーメント	tfm ²	82.5	63.8	45.0
軸重 (前輪)	tf	6.200	4.950	3.700
" (後輪の前)	"	9.450	7.575	5.700
" (後輪の後)	"	9.350	7.475	5.600
ΣW	"	25.000	20.000	15.000
パネ上質量	tfs/m	22.0/G	17.0/G	12.0/G
パネ下質量 (前輪)	"	0.7/G	0.7/G	0.7/G
" (後輪の前)	"	1.2/G	1.2/G	1.2/G
" (後輪の後)	"	1.1/G	1.1/G	1.1/G
パネ上パネ定数 (前輪)	tf/m	93.1	94.0	66.0
" (後輪の前)	"	237.0	221.0	156.0
" (後輪の後)	"	237.0	221.0	156.0
パネ下パネ定数 (前輪)	"	387.3	387.0	387.0
" (後輪の前)	"	499.0	499.0	499.0
" (後輪の後)	"	457.4	457.0	457.0
パネ上減衰定数 (前輪)	tfs/m	1.3	0.9	0.6
" (後輪の前)	"	2.6	2.0	1.4
" (後輪の後)	"	2.6	2.0	1.4
パネ下減衰定数 (前輪)	"	0.8	0.7	0.7
" (後輪の前)	"	0.8	0.7	0.7
" (後輪の後)	"	0.8	0.5	0.5



6. 動的応答と動的増幅率(衝撃係数)

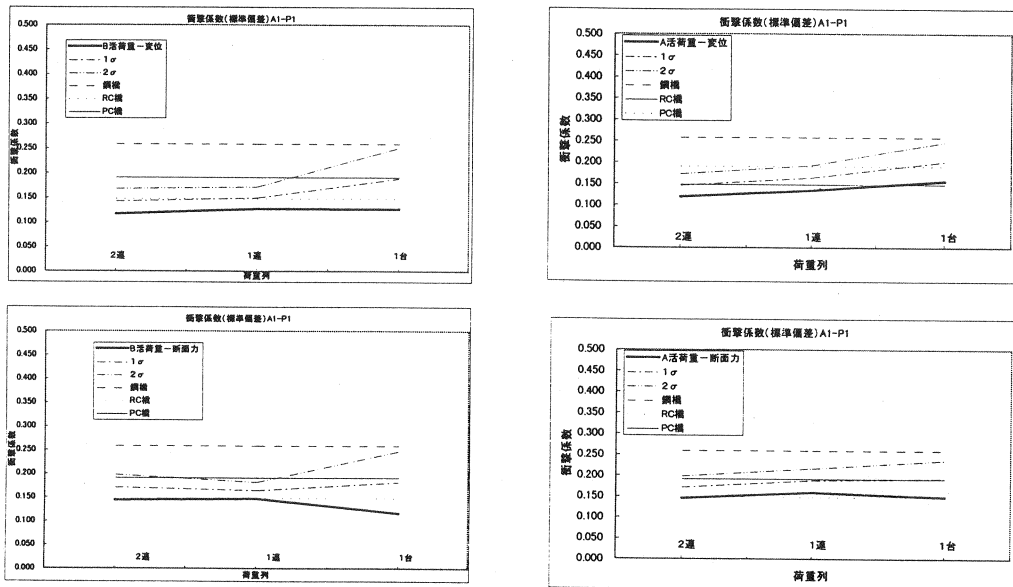


図-7 A1~P1 径間の衝撃係数

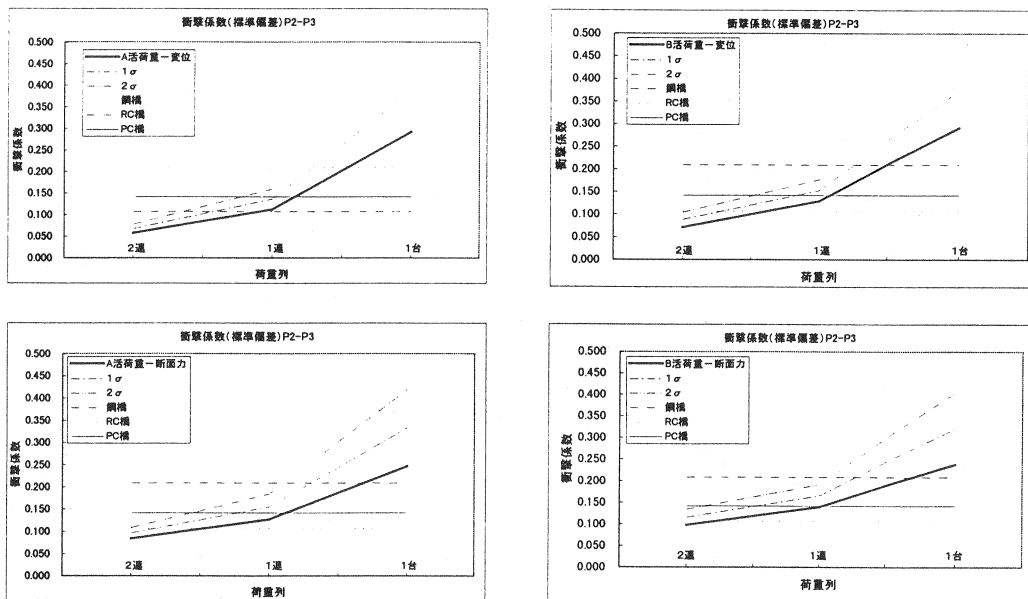


図-8 P2~P3 径間の衝撃係数

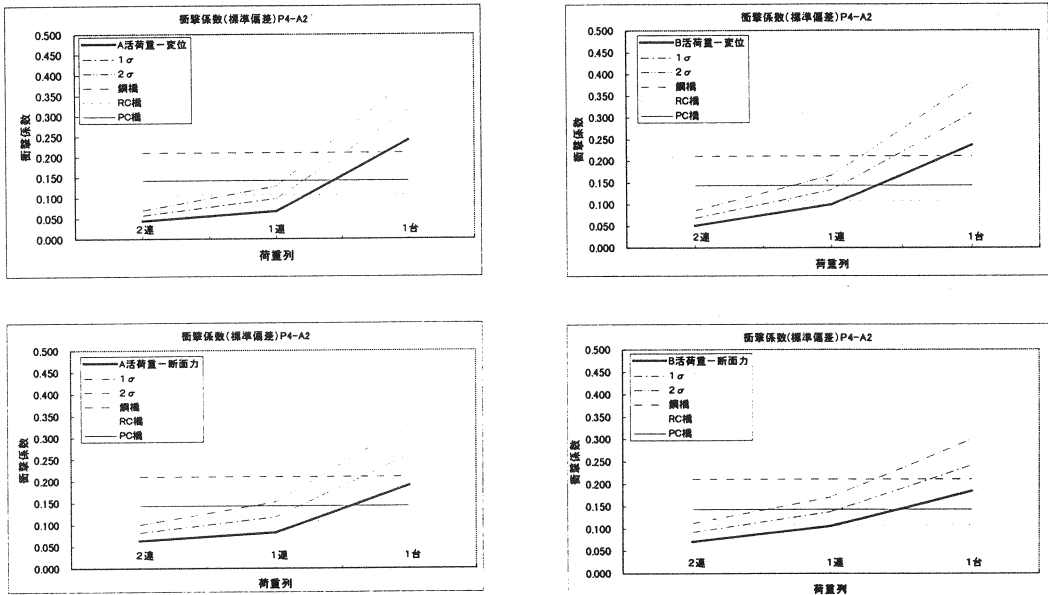


図-9 P4~A2 径間の衝撃係数

道路橋のL荷重は橋梁に対して満載状態を想定しており、実際の交通量を考えた場合、その再現確率は低く、しかも連行車両の走行に伴う衝撃が加算される確率はさらに低くなる。本研究では、10個の路面凹凸サンプルを用いて橋梁の応答計算を行ったが、走行車両の荷重状態がすでに上限に近いものであり、10個の路面凹凸サンプルによる橋梁応答の上限をさらに用いる必要はないと考える。このことから、本研究の衝撃係数としては、10個の路面凹凸サンプルに対する計算値の平均を用いるものとした。しかし、衝撃係数の変動に対する上限を標準偏差の何倍に設定するかは、厳密に困難であるが、工学的には95%の変動を考慮する 2σ の設定が一般的に容認されており¹⁾、本研究では 2σ に対する比較・検討も行う。

図-7から図-9に、着目径間別の道路橋示方書における旧L-20活荷重と現行L-25活荷重を想定した車両荷重列の走行による橋梁のたわみと曲げモーメントに着目した衝撃係数 $i_y \cdot i_v$ を示す。図中横軸の1台は車両の単独走行を、1連と2連は図-6(a)、(b)で記述した1連あるいは2連走行荷重列群を示している。なお、道路橋示方書におけるRC橋・PC橋・鋼橋の値も示す。解析着目点として、本研究では研究の対象となった銀山御幸橋の代表的径間長となる、A1~P1、P2~P3、P4~A2の各径間中央点に対して解析を行った。

ここに、旧L-20活荷重や現行L-25B活荷重を想定した車両荷重列と設計活荷重の比較を行った結果、想定した荷重列が1連では設計活荷重の断面力およびたわみと比べ小さい値を示し、荷重列が2連では設計活荷重に近い値を示した。したがって、本研究では荷重列群が2連の想定荷重による動的増幅率を衝撃係数として、この値と設計衝撃係数とを比較・検討の主対象とする。

以上の数値計算で求めた衝撃係数の平均値から見ると、各着目径間とも設計活荷重に近い荷重列2連が一番小さい値を示している。これは、載荷台数によって静的たわみ・曲げモーメントが大きくなっても、動的たわみ・曲げモーメント応答の振幅はそれほど大きくなりためと考える。

図-7が示すように、径間長が27.4mとなるA1~P1径間における衝撃係数の平均値は、旧L-20活

荷重および現行L-25活荷重のたわみと断面力とも道路橋示方書のPC橋の衝撃係数よりも小さい値を示している。しかし、 2σ の範囲まで考えた時、旧L-20活荷重と現行L-25活荷重の断面力に基づく衝撃係数値は、道路橋示方書の値よりもやや大きい値を示している。したがって、短径間長の波形鋼板ウェブPC箱桁橋においては、PC橋の衝撃係数を用いることに若干の問題が残る。

また、図-8、図-9が示すように、径間長が44.9m (P2~P3)・45.5m (P4~A2)となる径間においての衝撃係数の平均値は、旧L-20活荷重および現行L-25活荷重のたわみと断面力とも道示道路橋示方書のPC橋の衝撃係数よりも小さい値を示している。また、 2σ の範囲まで考えた時も小さい値を示しており、道路橋示方書におけるPC橋の衝撃係数を設計で用いても安全側に評価され得ると考えられる。

従来、多くの研究者によって研究されてきた桁橋の衝撃係数の問題は、鋼橋に関するものがほとんどで、PC橋に関するものは、ほとんど無いのが現状である。その中で、筆者の一人²⁾が鋼橋における径間長および径間数をパラメータとした衝撃係数を示している。これらの値と本研究の値を比較すると、本研究の値は上記の値に近い値を示しており、波形鋼板ウェブPC橋はPC橋よりも鋼橋に近い衝撃係数であると考えられる。

7. あとがき

本研究から得られた結論は以下ようになる。

- (1) 本型式橋梁のシュミレーション解析における衝撃係数はPC橋よりも鋼橋に近い値を示している。
- (2) 道路橋示方書と対比させた本型式橋梁のたわみや断面力に基づく衝撃係数は、中支間長の径間部では、その範囲を 2σ まで考えた場合でも、PC橋の設計衝撃係数よりも小さい値を示した。このことから、長・中支間長の波形鋼板ウェブPC箱桁橋では、PC橋の衝撃係数を用いても設計上問題がないことが確認された。
- (3) 断面力に基づく衝撃係数は、短支間長の径間部では、その範囲を 2σ まで考えた場合、PC橋の設計衝撃係数と同等か若干大きい値を示した。

以上のように設計上有用な知見が得られた。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、金沢大学工学部土木工学科博士課程の深田宰史君に多大なるご協力を戴いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考論文

- 1) 川谷充郎・嶋田玲志：桁橋の自動車走行による不規則振動と衝撃係数、土木学会論文集、N0. 398、pp303~309、1988年3月
- 2) 本田秀行・小堀為雄・山田善一：多径間連続桁橋の動的応答と衝撃係数に関する考察、土木学会論文集、N0. 331、pp65~73、1983年3月
- 3) 本田秀行・城戸隆良・梶川康男・小堀為雄：道路橋の路面凹凸パワースペクトル密度に関する調査、土木学会論文報告集、N0.315、pp149~155、1981年11月
- 4) 橋梁振動研究会編：橋梁振動の計測と解析、技報堂出版、pp39~43、1993年10月
- 5) 本田秀行・田中孝義：総重量20トンと25トンダンブトラック車の動的特性調査と3次元モデル化、土木学第49回年次学術講演会講演概要集、I-577、1994年9月
- 6) 立神久雄・石黒互・上平謙二・佐々木徹：波形鋼板ウェブPC橋（松の木7号橋）の振動特性について、土木学第51回年次学術講演会講演概要集、CS-577、1996年9月
- 7) 上平謙二・立神久雄・本田秀行・園田恵一郎：波形鋼板を有するPC箱桁橋のせん断およびねじり特性に関する研究、プレストレストコンクリート、pp16~25、1998年6月