

## 論文 走行振動荷重が RC はりの静的曲げ耐力に及ぼす影響

阿部 忠<sup>\*1</sup> 澤野利章<sup>\*2</sup> 木田哲量<sup>\*3</sup>

**要旨**：道路橋 RC 床版のひびわれ損傷は、走行荷重が起因するものである。本研究は、走行振動疲労試験装置を用いて、走行一定荷重および走行振動荷重による RC はりの曲げに関する実験を行ない、走行荷重が RC はり部材に及ぼす影響について評価したものである。その結果、走行荷重を受けるはり部材の曲げ耐力は静的曲げ耐力に比して10%低下することとなった。また、走行一定荷重に対して走行振動荷重が及ぼす影響は、終局曲げ耐力では近似しているが、鉄筋のひずみとたわみでは走行一定荷重に対して荷重振幅10%では17~19%、荷重振幅20%では33~35%増加することが確認された。

**キーワード**：走行荷重、走行振動荷重、RC はり、曲げ試験、終局曲げ耐力、

## 1. はじめに

大型自動車の走行頻度が高い道路橋の RC 床版は、疲労によるひびわれ損傷が生じている。RC 床版の疲労寿命低下の主原因は大型車両による走行荷重によるものであるが<sup>1), 2), 3)</sup>、橋梁の伸縮継手による段差部や凹凸な路面を通過することにより発生する大型車両の振動<sup>4)</sup>に伴う衝撃力や、車両差による不規則な変動荷重などの影響<sup>5)</sup>も疲労寿命の低下に大きな影響を与えるものと考えられる。したがって、RC 部材に走行荷重および走行振動荷重が及ぼす影響について実験的研究より明らかにし、合理的な設計法の確立が必要であると考ええる。本研究は、走行荷重が RC はりの曲げ耐力に及ぼす影響について実験的解明を行なうものである。すなわち、①静荷重による静的曲げ試験、②走行一定荷重による動的曲げ試験、③走行振動荷重による動的曲げ試験、を行ない走行一定荷重および走行振動荷重が RC はりの静的曲げ耐力に及ぼす影響と走行振動荷重が走行一定荷重に及ぼす影響について終局曲げ耐力、破壊状況、鉄筋の圧縮・引張ひずみおよびたわみより考察し

たものである。

## 2. 走行振動疲労試験装置の概要

本実験に用いる走行振動疲労試験装置<sup>6)</sup>は、鋼製反力フレームの梁に鋼製の車輪を取り付けた油圧式の構造物振動疲労試験機を固定し、供試体を設置した台車をモーターとクランクアームにより水平方向へ往復運動させて車輪走行状態を再現するものである。

本試験装置は、①鉛直方向の荷重載荷装置、②供試体を設置する台車、③台車を水平方向へ往復運動させる装置より構成されている。走行振動疲労試験装置を図-1に示す。

本走行振動疲労試験装置を用いた静荷重による試験法は、供試体を設置した台車を固定して鉛直方向の荷重のみを載荷するものである。走行荷重による試験法は、ある大きさの荷重を載荷させて台車を水平方向に往復運動させて走行状態を再現したものである。また、走行振動荷重の場合は、ある大きさの荷重に対して衝撃を考慮した正弦波による振動荷重を作用させて台車を水平方向へ往復運動するものである。

\*1 日本大学専任講師 生産工学部土木工学科 (正会員)

\*2 日本大学専任講師 生産工学部土木工学科 工博

\*3 日本大学教授 生産工学部土木工学科 工博(正会員)

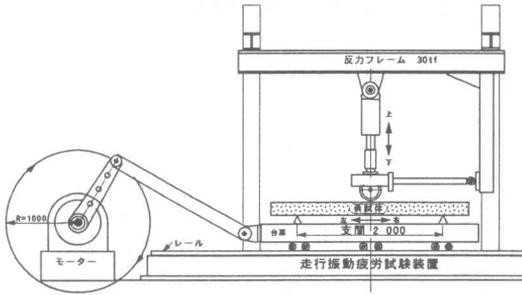


図-1 走行振動疲労試験装置の概要

表-1 コンクリートの圧縮強度

試験名	供試体	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
静荷重	MS-1,2,3	30.6
走行荷重	MMM-1,2, MI-11, 12, 21, 22	33.3

表-2 鉄筋の機械的性質

呼び名	規格	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
D 16	SD295A	374	538	30

### 3. 供試体寸法および使用材料

R/Cはりの荷重はその使用目的によって異なるが、本研究の供試体は振動の影響が著しい道路橋R/C床版をモデルとしたはり部材とする。供試体の設計法は道路橋示方書・同解説I、II<sup>7)</sup>の規定に従って行い、その寸法および鉄筋の配置を図-2に示す。なお、せん断補強鉄筋は配置しないものとする。

本供試体のコンクリートは、普通ポルトランドセメント、最大粗骨材寸法20mmとし、その圧縮強度を表-1に示す。また、鉄筋はSD295A、D16を使用し、機械的性質を表-2に示す。

### 4. 実験方法

#### (1) 静荷重による静的曲げ試験方法

静荷重による静的曲げ試験法（以後、静荷重と称する）とは、最大応力が生じる支間中央に車輪（直径35cm、幅25cm）を停止した状態で荷重を加える試験である。荷重は0.0kNから9.8kNずつ増加させ、供試体が破壊するまで増加する。

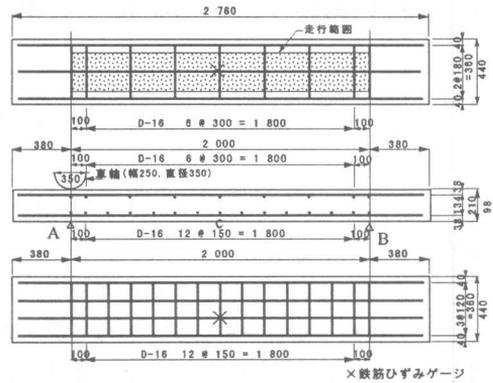


図-2 供試体寸法および鉄筋の配置

#### (2) 走行一定荷重による動的曲げ試験方法

走行一定荷重による動的曲げ試験（以後、走行一定荷重と称する）とは、強度が一定な輪荷重を供試体上を走行させる動的曲げ試験である。載荷・走行方法は支間200cmの供試体の左支点Aに静的に一定強度の輪荷重を載荷後、走行を始めて右支点Bを折り返して左支点Aに戻るまでの1往復とし、これを1サイクルと称する。1サイクルの平均走行速度は22cm/secとし、この間の動的なひずみおよびたわみを測定する。荷重強度は、1サイクル走行ごとに9.8kNずつ増加させ、供試体が破壊するまで荷重の増加と走行を繰り返すこととする。

一方、荷重除荷時に生じる残留ひずみ・たわみの測定は次の方法で行う。走行1サイクルごとにひずみ・たわみを動的に計測することから、車輪が支点上を通過する時刻での動的応答値が残留ひずみ・たわみである。よって、車輪が右支点Bを通過する時刻における残留値を求めることとする。

#### (3) 走行振動荷重による動的曲げ試験

走行振動荷重による動的曲げ試験とは、まず静的に一定の荷重値の輪荷重を載荷させ、この輪荷重の10%（以後、走行振動荷重10%と称する）を振幅とした周期2Hzの正弦波形荷重として供試体上を走行させた場合の曲げ試験である。また、全く同様に、輪荷重の20%を振幅と

した周期 2 Hz の正弦波形荷重を走行振動荷重 20 % と称する。

この場合の走行方法、実験方法および残留ひずみ・たわみの計測方法は走行一定荷重の場合と同様とする。なお、すべての実験において、たわみが 2.0 cm となった場合を破壊とし、走行および荷重載荷を停止する。

## 5. 終局曲げ耐力およびひび割れ状況

### 5.1 終局曲げ耐力および破壊形式

静荷重および走行一定荷重・走行振動荷重の場合の終局曲げ耐力および破壊形式を表-3に示し、また終局曲げ耐力比を表-4に示す。

表-3 終局曲げ耐力および破壊形式

供試体	曲げ耐力 (実験値) (kN)	曲げ耐力 (平均値) (kN)	曲げ耐力 (理論値) (kN)	破壊 形式
MS-1	116.8	117.7	93.2	曲げ
MS-2	118.1			曲げ
MS-3	118.2			曲げ
MMM-1	105.9	106.2		曲げ
MMM-2	106.5			曲げ
MI-11	106.8 - 87.2	103.1 - 87.8	93.3	曲げ
MI-12	105.9 - 86.0			曲げ
MI-21	107.0 - 70.0	105.9 - 69.3		曲げ
MI-22	104.9 - 68.5			曲げ

※ MS：静荷重による静的曲げ試験，MMM：走行一定荷重による動的曲げ試験，MI：走行振動荷重による動的曲げ試験，

表-4 終局曲げ耐力比

供試体	平均曲げ耐力 (実験値) (kN)	静的曲 げ耐荷 力 比	終局曲げ耐力 (理論値) (kN)	実験値 理論値
MS	117.7	—	93.2	1.23
MMM	106.2	0.90	93.3	1.14
MI-10%	103.1	0.88		1.11
MI-20%	105.9	0.90		1.14

表-3の終局曲げ耐力の理論値は、複鉄筋長方形はりの曲げ耐力式から算出した理論値である。ただし、材料係数は本供試体に使用した材料の試験結果(表-1, 2)を用いた。理論値

は各供試体ともに安全側となっている。

静荷重と走行一定・走行振動荷重の場合の終局曲げ耐力比は0.90となり、10%の耐力が低下する結果となった。

走行一定荷重および走行振動荷重の場合の終局曲げ耐力は、走行振動荷重10%、20%いずれの場合も荷重振幅の上限値と近似しており、終局曲げ耐力では振動の影響による耐力の低下は見られない。

### 5.2 破壊荷重によるひび割れ状況

破壊荷重における供試体MS-2, MMM-1, MI-21のひび割れ状況を図-3に示す。

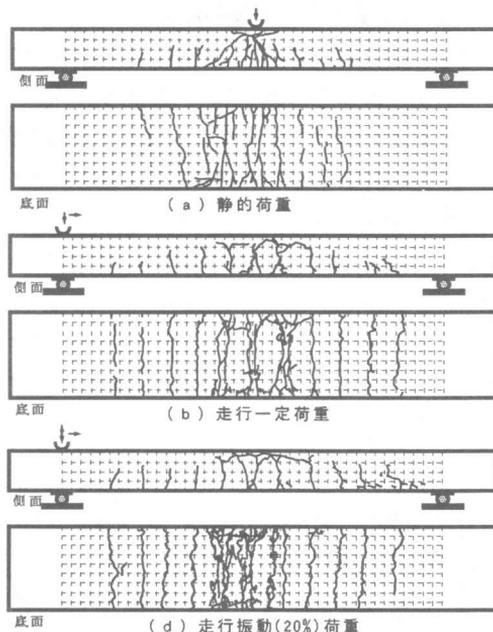


図-3 ひび割れ状況

静荷重における側面および底面のひび割れ状況は図-3(a)に示すように、ひび割れは荷重の載荷位置に集中し、荷重の増加につれて支点方向へ分散する。破壊は荷重127.4kN載荷中に曲げ圧縮破壊になる場合と、破壊直前に荷重直下のひび割れと異なる新たな斜めひび割れが発生する曲げ破壊となる場合とがあった。

走行一定荷重の場合には図-3(b)に示すように、側面のひび割れは支間全体にわたって等間

隔で発生している。しかし、底面の破壊断面付近では供試体の軸方向にひび割れが発生し、その状況は亀甲状を呈し、最終的には荷重117.6kN載荷した走行中に曲げ破壊となった。

走行振動荷重の場合は図-3(c)に示すように、側面のひび割れはほぼ等間隔に発生している。底面の破壊断面付近は振動荷重を与えていることから、最大荷重の作用位置が走行サイクルごとに異なるために多く発生している。最終的には荷重98kNの振動荷重20%で走行中に支間中央のひび割れが進展して曲げ破壊となった。

## 6. 走行・振動荷重による結果および考察

### 6.1 荷重の変動による動的応答

走行一定荷重および走行振動荷重20%の場合の荷重の変動の一例を図-4に示し、支間中央の荷重と鉄筋の圧縮ひずみ、荷重と鉄筋の引張ひずみ、荷重とたわみについて、弾性限界から破壊までの荷重によるそれぞれの動的応答を図-5, 6, 7に示す。なお、供試体はMMM-1, MI-21によるものである。

輪荷重の走行時に発生する荷重の変動(図-4)は、 $\pm 1.49\text{kN} \sim 1.98\text{kN}$ 程度であり、これは供試体表面の凹凸によるものである。

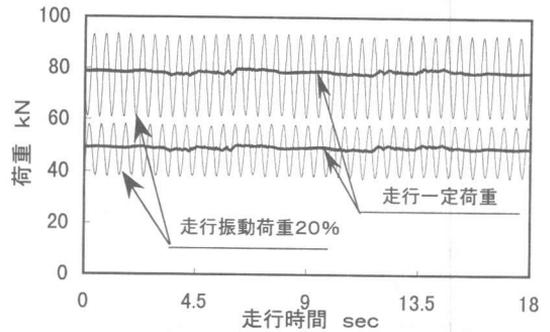
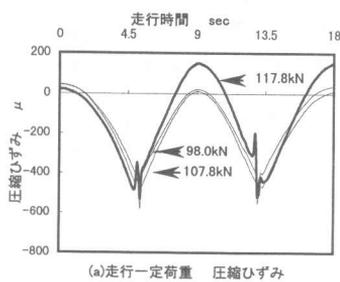
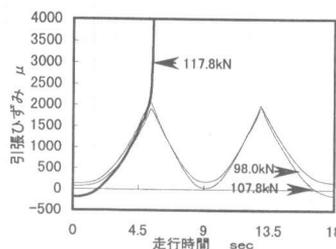


図-4 荷重の変動

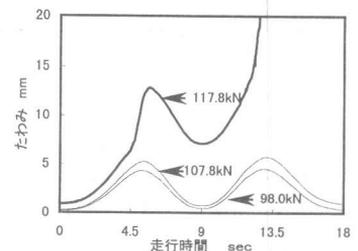
走行一定荷重の場合の破壊性状を考察する。まず、荷重107.8kNで走行中に圧縮ひずみが増加(図-5(a))するが、引張ひずみの増加(図-6(b))が見られないことから供試体が塑性化したものと考えられる。次に、荷重117.6kNで支間中央から支点Bに向かって走行中に引張ひずみ・たわみが急激に増加し(図-6(a), 7(a)), 支点Bを折り返した後の支間中央で破壊に至った。一方、走行振動荷重20%の場合のひずみ・たわみは、荷重78.4kN(70.5~94.1kN)までは比例的に増加するが、次の荷重88.2kN(95.3~105.8kN)が、支間中央から支点Bに向かって走行中に引張ひずみ・たわみが大きく増



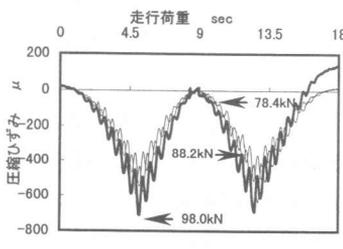
(a) 走行一定荷重 圧縮ひずみ



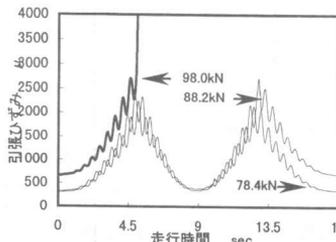
(a) 走行一定荷重 引張ひずみ



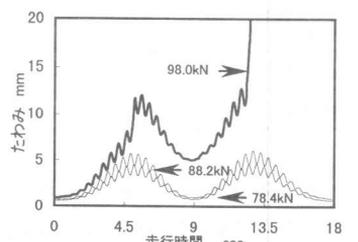
(a) 走行一定荷重 たわみ



(b) 走行振動荷重20% 圧縮ひずみ



(b) 走行振動荷重20% 引張ひずみ



(b) 走行振動荷重20% たわみ

図-5 荷重と圧縮ひずみの動的応答

図-6 荷重と引張ひずみの動的応答

図-7 荷重とたわみの動的応答

加(図-6(b),7(b))し、降伏が開始した。したがって、比例限度の荷重78.4kNを弾性限界の荷重と見なした。なお、荷重98.0kN(105.8~117.6kN)で走行中に引張ひずみ・たわみが急激に増加し、破壊に至った。

各動的応答図の走行時刻が0.0, 9.0, 18.0 secの値は残留値を意味する。

## 6.2 鉄筋のひずみ

支間中央における荷重と鉄筋の圧縮ひずみの関係を図-8、荷重と鉄筋の引張ひずみの関係を図-9に示した。次に、荷重と鉄筋の残留引

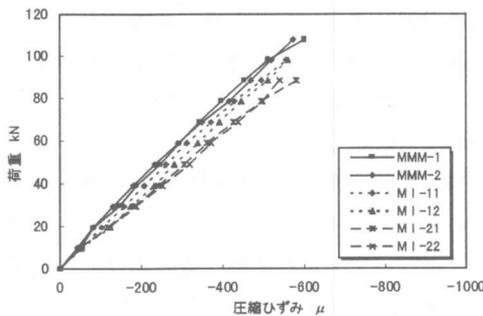


図-8 荷重と圧縮ひずみの関係

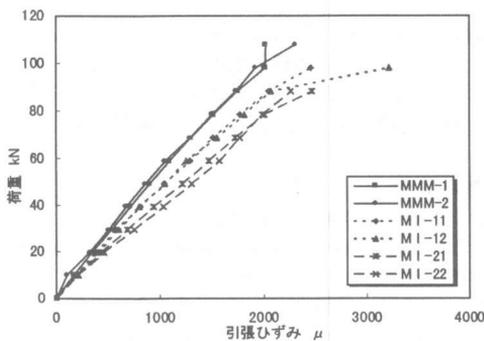


図-9 荷重と引張ひずみの関係

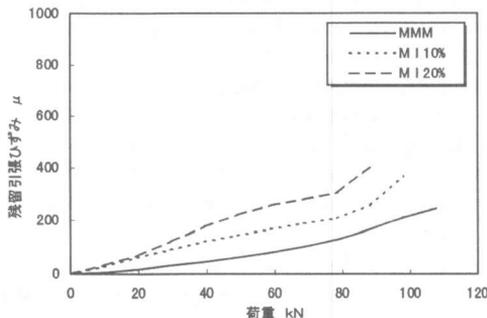


図-10 荷重と残留ひずみ関係

張ひみの関係を図-10に示した。なお、鉄筋の圧縮・引張ひずみは、各供試体の荷重とひずみの動的応答図から得られる往路(支点A→B)と復路(支点B→A)の最大値のそれぞれを平均したものである。

考察は、走行振動荷重20%の弾性限界の荷重78.4kNで比較し行う。

### (1) 鉄筋の圧縮ひずみ

終局耐力における鉄筋の圧縮ひずみは図-8に示すように、走行一定荷重および走行振動荷重の場合ともに $580\mu \sim 600\mu$ の範囲である。荷重78.4kNの場合で比較すると、走行一定荷重に対して走行振動荷重10%, 20%の場合で、それぞれ10%, 22%増加した。これは、それぞれに与えた荷重の振幅程度であり、走行振動荷重の影響は見られない。

### (2) 鉄筋の引張ひずみ

弾性限界域の荷重における鉄筋の引張ひずみは図-9に示すように、走行一定荷重の場合には $1950\mu$ 、走行振動荷重10%, 20%の場合には $2050\mu$ とほとんど近似している。荷重78.4kNの場合で比較すると、走行一定荷重に対して走行振動荷重10%, 20%の場合に、それぞれに、17%と35%増加した。

### (3) 残留引張ひずみ

残留引張ひずみ(図-10)は、図-6に示した動的応答における走行時間 9.0secの右支点Bのひずみを走行一定荷重の場合の各供試体(MMM)の平均値、走行振動荷重10%の場合の各供試体(MI 10%)の平均値および走行振動荷重20%の場合の各供試体(MI 20%)の平均値としたものである。荷重78.4kNでの残留引張ひずみは、走行一定荷重に対して走行振動荷重10%の場合1.69倍、走行振動荷重20%の場合2.7倍生じており、荷重振動が大きくなるにつれ残留ひずみの増加が著しくなる結果となった。

## 6.3 たわみ

走行一定荷重および走行振動荷重による荷重とたわみの関係を図-11、荷重と残留たわみの

関係を図-12に示した。なお、たわみは各供試体の荷重とたわみの動的応答から得たそれぞれの最大値を示したものである。

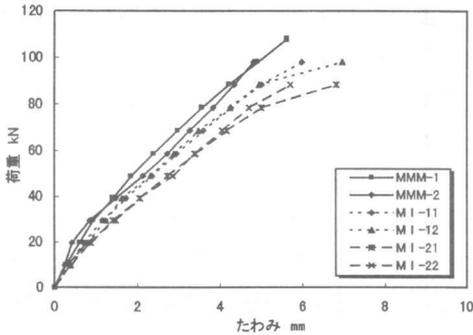


図-11 荷重とたわみの関係

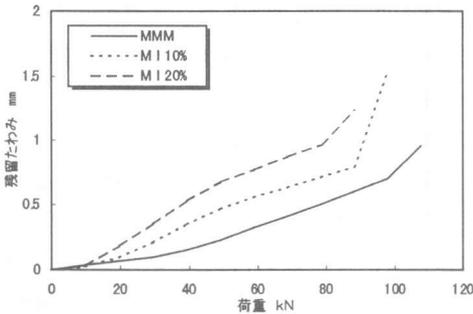


図-12 荷重と残留たわみの関係

### (1) たわみ

支間中央のたわみは図-11に示すように走行一定荷重の場合は4.7mm、走行振動荷重10%、20%の場合は5.0mmに達すると供試体の降伏が始まっている。荷重78.4kNのたわみで比較すると、走行一定荷重に対して走行振動荷重10%、20%の場合で、それぞれ19%、33%の増加が認められた。

### (2) 残留たわみ

残留たわみ(図-12)は、図-7における走行時間 9.0 secの右支点Bのたわみであり、残留ひずみ同様に各荷重ごとの各供試体の平均値である。荷重78.4kNでの残留たわみは走行一定荷重に対して走行振動荷重10%、20%の場合で1.48倍、2.02倍生じている。

## 7. まとめ

- (1) 走行荷重はRCはりの静的曲げ耐力に関して、走行一定荷重および走行振動荷重ともに静荷重に比して10%の曲げ耐力の低下となった。
- (2) 走行一定・走行振動荷重の場合の曲げ耐力は、静荷重の場合の90%であるが、ひび割れ状況からすると、走行一定・振動荷重の場合が静荷重の場合よりも多くひび割れが発生していることから、走行一定・走行振動荷重の方が耐力の低下が認められる。
- (3) 走行一定荷重に対して走行振動荷重が及ぼす影響は、終局曲げ耐力では走行一定と走行振動荷重と近似しているが、使用限界における鉄筋の引張ひずみ・たわみは、基準荷重に対して振幅10%の場合に17~19%、振幅20%の場合に33~35%増加した。また、残留ひずみ・たわみの増加も著しく生じる。
- (4) 静荷重の場合は、使用限界から終局限界までの曲げ耐力はゆるやかに低下するのに対して、走行一定・走行振動荷重の場合は、使用限界に達した後、急激に曲げ耐力が低下して、荷重走行中に破壊に至っている。

謝辞：本研究に際してご指導下さいました日本大学理工学部星埜正明教授、ならびに供試体の製作にご協力下さいました住建コンクリート工業(株)近藤二郎氏、坂倉雅美氏に深く謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 川口昌弘, 柳沼善明, V.R.Macam Jr., 飯井幸弘: 走行荷重によるRCモデルはりの疲労強度実験, 構造工学論文集, Vol.38A, pp.1265-1274, 1992
- 2) 内田賢一, 西川和廣, 神田昌幸: 輪荷重走行試験機による道路橋床版の疲労試験, 土木学会第51回年次学術講演会, pp.998~999, 1996.9
- 3) 前澤道弘, 阿部 忠, 澤野利章, 木田哲量: 走行荷重がRC梁の曲げ挙動に及ぼす影響, 土木学会第53回年次学術講演会, pp.1008~1009, 1998.10
- 4) 本田秀行, 田中孝義: 総重量20トンと25トンダンプトラック車の動的特性調査と3次元モデル化, 土木学会第49回年次学術講演会, pp.1152~1153, 1996.9
- 5) 長瀬嘉理, 星埜正明: 変動荷重を受ける模型RC床版の疲労性状, 土木学会第51回年次学術講演会, pp.1004~1005, 1996.9
- 6) 阿部 忠, 木田哲量, 澤野利章: 走行振動試験装置によるRCはりの走行実験, 日本大学生産工学部第30回学術講演会土木部会, pp.5~8, 1997
- 7) 日本道路橋会: 道路橋示方書・同解説I, II, 1996.12