

論文 走行荷重が及ぼす RC はりの曲げ耐力に関する実験的研究

木田 哲量^{*1} 阿部 忠^{*2} 澤野 利章^{*3}

要 旨：本研究は、鉄筋コンクリート（RC）床版が大型走行車両の影響による損傷を受けていることに対処するために、支間200cmのRC単純はりの供試体を6体用いて、静荷重による静的曲げ試験と荷重走行後の静的曲げ試験を行ない、終局曲げ耐力、ひび割れ状況、たわみ、ひずみ値より、走行荷重が及ぼす影響について実験的に考察したものである。その結果、終局曲げ耐力では静的荷重に比して荷重走行後の場合、耐力が15%低下した。また、鉄筋のひずみからは20%の耐力が低下することが判明し、走行荷重がRCはりに与える影響はかなり厳しい結果となった。

キーワード：静的荷重，走行荷重，RCはり，曲げ試験，終局耐力，

1. はじめに

道路橋を走行する大型自動車の影響を最も受けるRC床版は、ひび割れによる損傷が多く見られ、走行荷重が及ぼす影響は、静的荷重および多点移動荷重¹⁾による実験結果とは異なる挙動を示している。これらのことからRC床版においては、大型自動車の輪荷重を想定した輪荷重移動装置^{2), 3), 4), 5)}を開発して、種々の疲労実験が行なわれ、その補修・補強法が提案されている。しかし、大型自動車荷重を想定した走行荷重を再現する実験装置が少ないことから、走行荷重による曲げ性状に関する実験的研究が少ないのが現状である。また、RC構造物の設計法は、許容応力度法や終局強度設計法から限界状態設計法へと移行されている今日、限界状態設計法を合理的に行う上でも、走行荷重が及ぼす曲げ破壊および破壊機構の解明が必要である。

本研究は、道路橋に作用する大型車両と同様に輪荷重が常時走行（移動）、あるいは輪荷重が振動（衝撃）しながら走行する状態を再現可能な実験装置、すなわち走行振動疲労試験装置

を用いて、RCはりに走行荷重が及ぼす曲げ挙動について実験研究を行なうものである。

実験では、同一の供試体による、①静荷重による静的曲げ試験（定位置の静的曲げ試験）、②荷重走行後の静的曲げ試験を行ない、走行荷重が及ぼす影響について終局曲げ耐力、ひび割れ状況、コンクリートの圧縮ひずみ、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

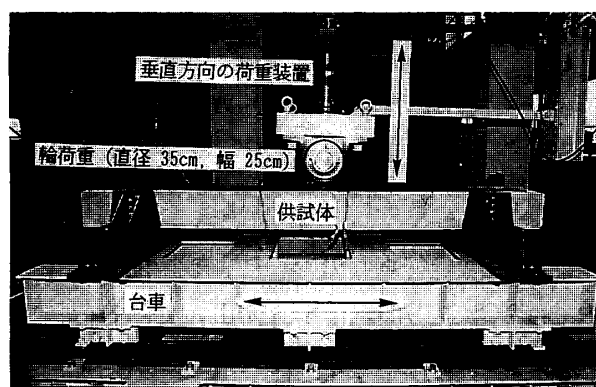
本実験に用いる走行振動疲労試験装置⁶⁾は、鋼製反力フレームの梁に鋼製の車輪を取り付けた油圧式の構造物振動疲労試験機（最大荷重30 tf）を固定し、供試体を設置した台車（長さ2.8 m、幅1.7 m）をモーターとクランクアームにより水平方向へ往復運動させて車輪の走行状態を再現するものである。

本走行振動疲労試験装置は、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。本実験装置を写-1に示す。

*1 日本大学教授 生産工学部土木工学科 工博(正会員)

*2 日本大学専任講師 生産工学部土木工学科 (正会員)

*3 日本大学専任講師 生産工学部土木工学科 工博



写-1 走行振動疲労試験装置

3. 供試体寸法・使用材料・計測方法

3.1 供試体寸法および使用材料

本研究の供試体は道路構造物において最も苛酷な荷重条件を受ける道路橋RC床版をモデルとしたはり部材とする。したがって、供試体は道路橋示方書・同解説Ⅰ，Ⅱ⁷⁾の規定にもとづき、部材寸法の決定と鉄筋の配置をした。なお、道路橋床版の設計においては、せん断力に対する補強鉄筋は配置しないものとする。供試体の寸法および鉄筋の配置を図-1に示す。

本供試体のコンクリートの材料は、普通ポルトランドセメントと最大20mmの粗骨材を使用し、コンクリートの圧縮強度はJIS A 1108の試験結果より 30.6 N/mm^2 である。また、鉄筋はSD295A, D16 (JIS G 3112)を使用し、その機械的性質は降伏強度 374 N/mm^2 ，引張強度 538 N/mm^2 ，伸び率は30%である。

供試体の支間は200cmとした。幅は、本実験装置の車輪幅が25cmであることから、車輪幅に対する押し抜きせん断応力分布幅を考慮して44cmとした。また、供試体の張り出し部は、使用鉄筋D16とすることから定着長を考慮して38cmとした。以上より、供試体は全長276cm，高さ21cm，幅44cmのはり部材とした。次に、鉄筋の配置は部材軸方向の引張側にD16を4本、圧縮側にD16を3本配置（鉄筋比，1 : 0.67）し、部材軸直角方向の鉄筋は床版の配筋としての効果は期待することができないが、走行によるひび割れ発生位置に影響するものと考えて床版の配筋の配置法と同様に配置した。

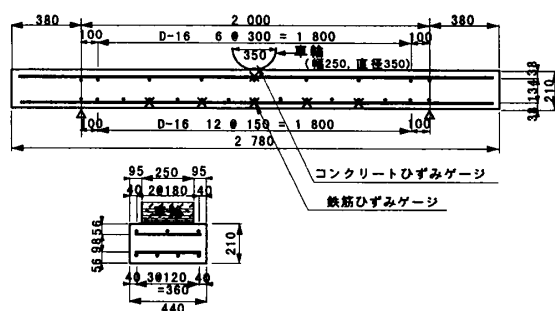


図-1 供試体寸法および鉄筋の配置

3.2 計測方法および項目

静荷重および荷重走行後の静的曲げ試験における計測項目は、①ひびわれ状況および破壊形態、②供試体表面におけるコンクリートの圧縮ひずみ、③鉄筋の引張・圧縮ひずみおよび残留ひずみ、④はりのたわみ、とする。

コンクリートと鉄筋の圧縮ひずみの計測位置は支間中央、鉄筋の引張ひずみとたわみの計測位置は左支点から40.0cm，70.0cm，100.0cm，130.0cm，160.0cmの位置とした。

4. 実験方法

4.1 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（以後、静荷重と称する。図-2）は、最大曲げ応力が生じる支間中央に車輪を停止した状態での曲げ試験である。荷重強度は0.0kNから9.8kNずつ増加させて載荷し、供試体が破壊するまで、それぞれの荷重における各ひずみ・たわみ等を計測する。

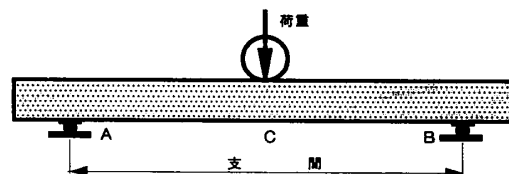


図-2 静荷重による静的曲げ試験

一方、残留ひずみと残留たわみの測定は供試体MS-1を用いて行う。残留ひずみ・残留たわみとは静荷重による静的曲げ試験の過程におけるそれぞれの荷重載荷後、その強度を0.0

kNまで漸減させて測定したたわみ・ひずみである。その後、次の大きさの荷重値まで荷重を漸増させる。

4.2 荷重走行後の静的曲げ試験方法

荷重走行後の静的曲げ試験(以後、荷重走行後と称する。図-3)とは、輪荷重が供試体上を走行した後に支間中央に車輪を停止させた状態で静的曲げ試験を行い、ひずみ・たわみ等を計測するものである。

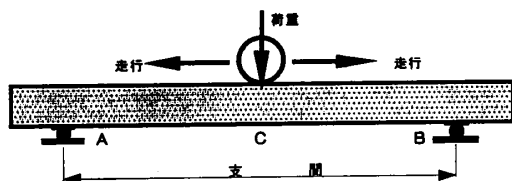


図-3 荷重走行後の静的曲げ試験

走行方法は、車輪に荷重を載荷して支間中央を起点に左支点方向に100cm走行して、同点で折り返して右支点に向かって200cm走行し、同点を折り返して支間中央まで走行した後、支間中央で車輪を停止するものである。このはり支間上の1往復走行を1サイクルと称する。荷重は、初期強度9.8kNを載荷し、1サイクル走行後に計測する。次に、荷重強度を9.8kN増加させて19.6kNとして、1サイクル走行後に計測を行う。この操作を供試体が破壊するまで繰り返す。

一方、残留ひずみ・たわみの測定は供試体MM-1で次のように行った。まず、荷重走行後における所要の荷重強度で1サイクル荷重走行後のひずみ・たわみを計測する。次に、荷重強度を0.0kNまで漸減させ、ひずみ・たわみの測定を行う。さらに、次の所要の走行荷重強度まで増加させて、1サイクル荷重走行後の計測、除荷後の計測という操作を繰り返し行う。

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・荷重走行後における終局曲げ耐力お

よび破壊形式を表-1に示し、終局曲げ耐力の実験値と理論値の荷重比を表-2に示した。

表-1 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
MM-1	96.4	99.5		曲 げ
MM-2	100.0			曲 げ
MM-3	102.2			曲 げ

※ MS : 静荷重による静的曲げ試験
MM : 荷重走行後の静的曲げ試験

表-2 終局曲げ耐力比

供試体	平均曲げ 耐力 (実験値) kN	終局曲 げ耐力 比 MM / MS	曲げ耐力 (理論値) kN	実験値 理論値
MS	117.7	—	93.2	1.23
MM	99.5	0.85		1.07

なお、表-1の終局曲げ耐力の理論値は、複鉄筋長方形断面の終局限界状態における曲げ耐力から算出した。ただし、材料係数は本供試体に使用した材料の試験結果を用いた。理論値は荷重走行後の静的曲げ試験の結果と近似しているが、各供試体ともに安全側となっている。

静荷重に対する荷重走行後の静的曲げ試験における終局曲げ耐力比は0.85となり、曲げ耐力は15%低下した。

5.2 ひび割れ状況および破壊性状

(1) 静荷重による静的曲げ試験の場合

静荷重における側面および底面のひび割れ状況は図-4(a)に示すように、車輪と供試体の接面から供試体の高さ下方向に45度の拡がりをもつ範囲に集中し、荷重の増加につれて支点方向へ分散する。破壊は曲げ圧縮破壊となる場合と塑性ヒンジの回転モーメントによる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があった。

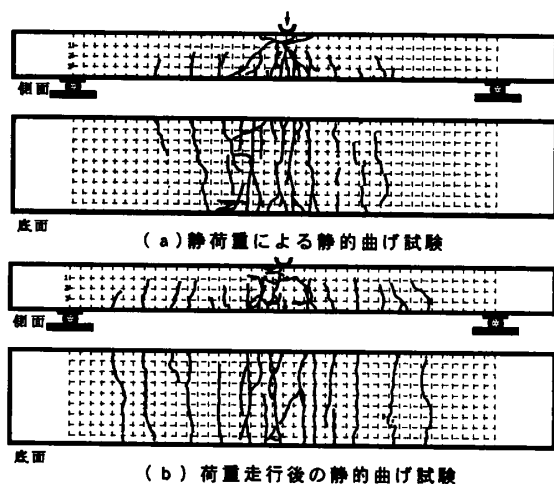


図-4 ひび割れ状況

なお、図-4(a)は供試体MS-2によるものである。

(2) 荷重走行後の静的曲げ試験の場合

荷重走行後の場合は、図-4(b)に示すように車輪の走行により、ひび割れが支間全体にほぼ等間隔に生じている。これは供試体の軸直角方向に配置した鉄筋付近に生じている。また、側面のひび割れは、支間中央付近では曲げひび割れが発生し、支点付近では斜めひび割れが発生している。破壊は静荷重と同様に曲げ領域で発生したひび割れが進展した曲げ破壊となる場合と破壊直前に載荷点に新たな斜めひび割れが発生する曲げ破壊となる場合があった。破壊は荷重走行後の荷重増加時に発生している。なお、図-4(b)は供試体MM-2によるものである。

6. 結果および考察

6.1 コンクリートおよび鉄筋のひずみ

支間中央のコンクリートおよび鉄筋の荷重と圧縮ひずみの関係を図-5, 6に示す。なお、コンクリートの圧縮ひずみは供試体の表面で計測したものである。また、同点の荷重と鉄筋の引張ひずみの関係を図-7, 弾性域における各測定点と鉄筋の引張ひずみの関係を図-8に示した。次に、荷重とコンクリートの残留圧縮ひずみの関係を図-9、荷重と鉄筋の残留引張ひずみの関係を図-10に示した。

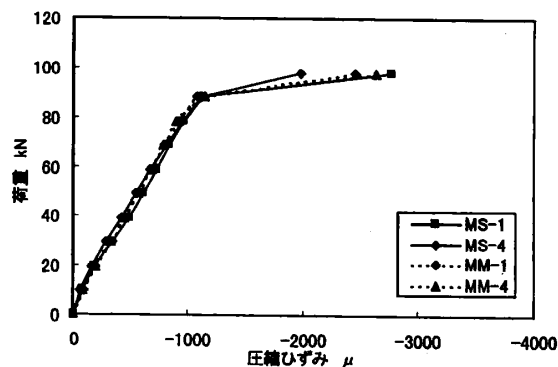


図-5 荷重とコンクリートの圧縮ひずみ

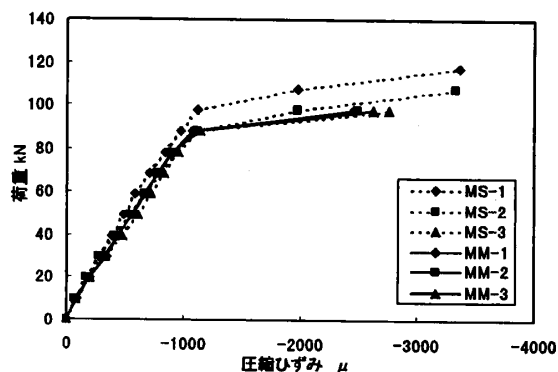


図-6 荷重と鉄筋の圧縮ひずみ

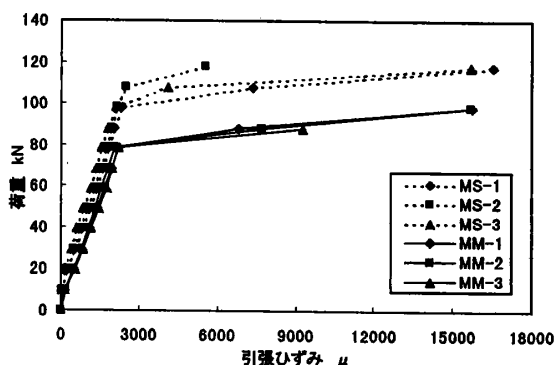


図-7 荷重と鉄筋の引張ひずみ

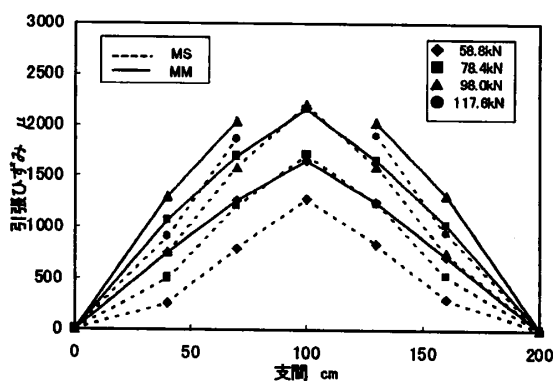


図-8 各測定点と鉄筋の引張ひずみ

ひずみの関係を図-10に示した。

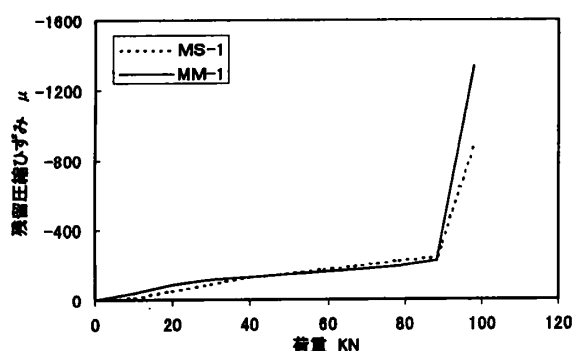


図-9 荷重とコンクリートの残留圧縮ひずみ

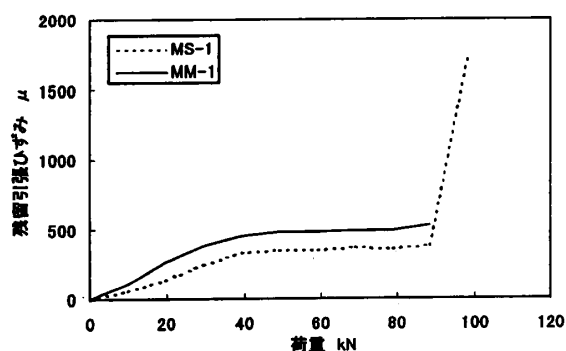


図-10 荷重と鉄筋の残留引張ひずみ

(1) コンクリートおよび鉄筋の圧縮ひずみ

支間中央における供試体表面のコンクリートの圧縮ひずみおよび鉄筋の圧縮ひずみ(図-5, 6)を, 弾性限界の荷重で比較すると, 静荷重および荷重走行後の静的曲げ試験におけるひずみ値は, コンクリートが 1200μ , 鉄筋は 1140μ までほとんど近似している。したがって, 圧縮域では走行荷重が及ぼす影響はほとんど見られない。なお両図においては, 荷重 88.2kN から圧縮ひずみが急激に増加している。

(2) 鉄筋の引張ひずみ

鉄筋の引張ひずみは図-7に示すように静荷重および荷重走行後の場合ともに 2200μ で降伏点に達し, 降伏点に至る荷重は静荷重に対して荷重走行後の方が20%低下している。また, 荷重走行後の場合の降伏荷重 78.4kN と比較すると, ひずみ比は0.80となり, 静荷重に対する荷重比の場合と同様に20%の耐力低下が見られる。

弾性域における各測定点と静荷重(MS)および荷重走行後(MM)の各供試体から得た引張ひ

ずみの平均値との関係を図-8に示した。同図で, 荷重 78.4kN の所で比較すると, 支点から 40cm の位置では約40%, 70cm の位置では30%増加し, 支点から 40cm の位置での差異が大きいことがわかる。

(4) コンクリートおよび鉄筋の残留引張ひずみ
コンクリートの残留圧縮ひずみは図-9に示すように走行荷重の影響は見られなかった。

次に, 鉄筋の残留引張ひずみは図-10に示すように静荷重および荷重走行後の場合ともに荷重 39.2kN まで急激に増加するが, 荷重 39.2kN ~ 88.2kN までは延性的な挙動を示している。なお, 荷重 49.0kN で比較すると, 荷重走行後の静的曲げ試験による残留引張ひずみは静荷重の場合に比して1.40倍生じている。

6.2 たわみ

静荷重および荷重走行後による支間中央の荷重とたわみの関係を図-11に示した。また, 弾性域における各測定点とたわみの関係を図-12に示した。次に, 荷重と残留たわみの関係を

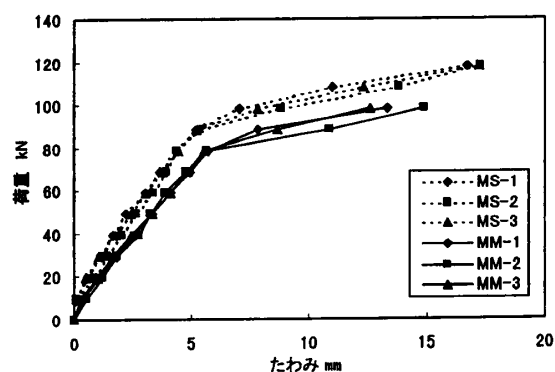


図-11 荷重とたわみ

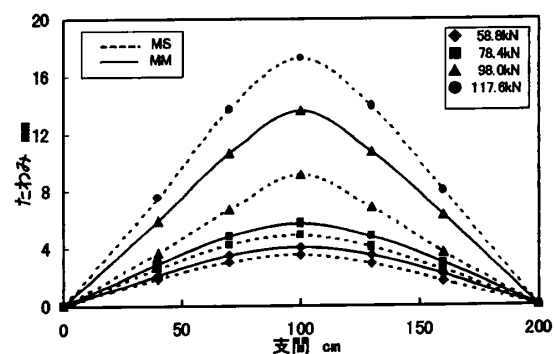


図-12 各測定点とたわみ

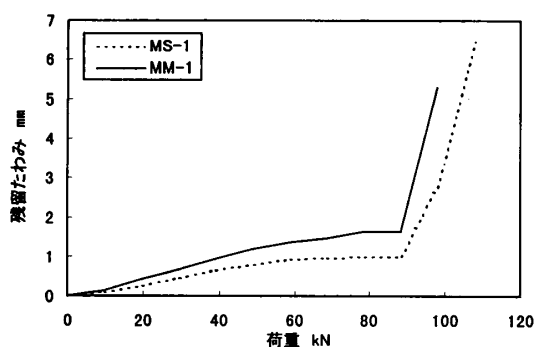


図-13 荷重と残留たわみ

図-13に示した。

(1) たわみ

たわみは図-11に示すように供試体が降伏に至る直前では、静荷重の88.2kNで5.9mmであり、荷重走行後の荷重78.4kNで5.68mmである。この荷重で比較すると、静荷重に対する荷重走行後の荷重は11%低下している。

塑性域では終局破壊に至るまで延性的な挙動を示している。また、図-12に示した各測定点とたわみの関係は弾性域における静荷重(MS)および荷重走行後(MM)の静的曲げ試験で得たたわみの平均値との関係である。なお、静荷重および荷重走行後の場合におけるたわみを弾性限度の荷重78.4kNで比較すると、各測定点で走行荷重の場合が15%増加している。

(2) 残留たわみ

残留たわみは図-13に示すように荷重88.2kNまでは荷重の増加に比例して増加している。降伏に至る直前の荷重88.2kNで比較すると、静荷重の場合1.00mm、荷重走行後の場合1.61mmであり、荷重走行後の場合が1.61倍となっている。

7. まとめ

大型車両を想定した静荷重と荷重走行後の曲げ試験によるRCはりの曲げ試験を行った結果、輪荷重の走行がRCはりに及ぼす影響について、次の結論を得た。

(1) 荷重走行がRCはりの静的曲げ耐力に及ぼす影響は静荷重に比して荷重走行後の場合は

0.85となり、曲げ耐力が15%と著しく低下した。

(2) 静荷重と荷重走行後の静的曲げ試験のひび割れ分布状況については、静荷重の場合はひび割れが曲げ領域で発生し、特に載荷点付近に集中しているが、荷重走行後の場合は、ひび割れが支間全体にわたって分布している。

(3) 静荷重と荷重走行後の静的曲げ試験における鉄筋のひずみから、支点から40cmの位置において差異が40%に達するなど、せん断スパン比が2.3~3.0付近のひずみの差異が著しいことが判明した。

(4) 残留ひずみおよび残留たわみは、静荷重に対して荷重走行後の場合は、約1.5~1.7倍に達している。

以上より、輪荷重の走行がRCはりの静的耐力に及ぼす影響が大きいことが明らかになった。今後は、これらの荷重が作用した場合の疲労寿命の推定についても実験的研究を進めたいと考えている。

謝辞：本研究に際して、供試体の製作に協力下さいました住建コンクリート工業(株)近藤二郎氏、坂倉雅美氏ならびに実験に協力下さった研究室の皆さんに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 和田克哉：橋梁における鉄筋コンクリート床版の疲労と補強，コンクリート工学，Vol.21, No.21, 1983
- 2) 松井繁之，前田幸雄：輪荷重移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究，第6回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.221~224, 1984.
- 3) 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
- 4) 川口昌弘，原田浩二，川口隆，高橋三雄：模型橋梁床版の疲労実験と余寿命診断の試み，土木学会論文集，第380号/I-7，pp.283~292, 1987
- 5) 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
- 6) 阿部 忠，木田哲量，澤野利幸：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