

[94] 動的外力を受ける鉄筋コンクリート橋脚の力学的特性に関する研究

正会員 ○睦 好 宏 史 (埼玉大学工学部)
正会員 町 田 篤 彦 (埼玉大学工学部)

1 まえがき

地震力が作用する鉄筋コンクリート(RC)構造物の研究例は、建築構造物において非常に多く報告されているが、土木構造物における単一柱式RC橋脚のような構造物の研究例は極めて少ない。単一柱式RC橋脚は建築物の柱と比べて一般に、断面形状、主鉄筋及び帯鉄筋の量、軸力の大きさなどが著しく異なっており、建築の柱とは別に解明する必要がある。地震のような動的外力が作用するRC構造物の挙動を解明する場合、建築では一般に動的外力が作用するRC構造物の力学的特性は、静的実験より得られたものと同一であるとみなし、減衰等を適宜考慮して構造物の挙動を求めているが、動的外力を受けるRC構造物の基本的な力学的特性が静的のものと同じか否かという検証はほとんど行われていない。

本研究は、単一柱式RC橋脚を対象とした供試体を用いて、定常波入力による振動実験、及びこれと変位振幅、繰返し回数を同一とした静的正負繰返し実験を行い、両者における力学的特性の相違及び主鉄筋ならびに帯鉄筋量がこれらの力学的特性に及ぼす影響を明らかにしたものである。

2 実験概要

実験に用いた供試体は図-1に示すように、断面が10×15cm、高さが60cm、 $a/d=7.5$ のものである。表-1に供試体の種類、実験要因、コンクリート強度を示す。コンクリートの打設方法は通常の橋脚の場合と同じように、先にフーチング部を打込み、その後橋柱部を打設した。

振動実験及び静的載荷実験ともに、供試体頭部に833kgfの重錘を載荷した。この場合、重錘の中心に働く回転慣性力を除去するために、重錘がその中心で自由に回転できるように緊結した。

強制振動実験では、入力波として正弦波を用い、先に計算しておいた荷重-変位曲線により求めた固有振動数と変位との関係をもとに、供試体の固有振動数と振動台の振動数とが一致するように振動数を変化させて加振した。即ち、供試体は常に共振に近い状態で振動していることになる。実験は一つの供試体について破壊に致るまで連続して行った。

実験によって得られた波形の一例を図-2に示す。

静的載荷実験では、振動実験によって得られた変位振幅及び繰返し回数が等しくなるようにするとともに、供試体頭部の変位が常に0.2cm/secとなるような荷重速度で正負繰返し載荷を行った。

3 復元力特性の比較

(1) スケルトンカーブ

図-3は静的載荷実験及び振動実験から得られたスケ

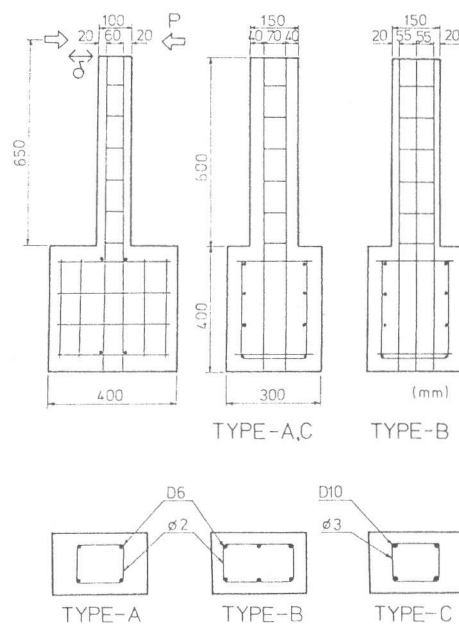


図-1 供試体の形状寸法

表-1 実験要因

Specimen	Ratio of Tensile Reinf. (%)	Spacing of Stirrups (mm)	Ratio of Shear Reinf. (%)	Failure Mode	Number of cycles	Loading System	Strength of Concrete (kg/cm ²)
A-1	4xD6	Φ2-8	0.05	Flexure	64	D	292
A-2		Φ2-4	0.1		105	S, D	S 290 D 292
B-1		Φ2-8	0.05		169	S, D	S 282 D 290
B-2	6xD6	Φ2-4	0.1	Flexure	237	S, D	S 263 D 290
B-3		Φ2-3	0.14		565	S, D	S 265 D 293
C-1		Φ3-20	0.05		Shear	481	S, D
C-2	4xD10	Φ3-10	0.09	1002		S, D	S 290 D 275
C-3		Φ3-8	0.12	1205		D	283

S:static test D:dynamic test Gmax=12.5mm

ルトンカーブの一例を示したものである。一般に静的繰返し実験及び振動実験によって得られたスケルトンカーブはそれまでの繰返し回数による影響を顕著に受けることが知られている。ここでは、ある変位において最初に描く履歴曲線の包絡線を示したもので、これまでの荷重履歴および同一変位における繰返しによる影響は含まれていない。一般にいずれの供試体においても、初期剛性は振動実験から得られたものの方が高くなっており、荷重速度による影響があらわれている。また降伏変位以降では両者とも同様の傾向を示しているが、静的実験ではスケルトンカーブは降伏変位を過ぎてからもなめらかな曲線を描くのに対し、振動実験では、入力波の振動数が変化する時に包絡線の一部が不規則な曲線を描く現象が曲げ破壊を生じたものの中に一部見られた。

(2) 履歴曲線

静的実験及び振動実験から得られた履歴曲線を比較する場合、振動実験によって求められた履歴曲線には、一般に復元力の他に、速度に依存する減衰力が含まれている。しかしこの種の粘性減衰力は分離することが困難で、従来ほとんど解明されていない。本研究では振動実験から得られた供試体の全抵抗力を動的復元力として静的復元力と比較することにした。

図-4は静的及び振動実験において変位と繰返し回数が等しい履歴曲線について示したものである。一般に弾性域においては(1)で述べたように、荷重速度の影響により初期剛性は、動的の方が静的よりも高くなっており、動的解析を行う場合には初期剛性のとり方に注意する必要性を示唆している。また変位が δy (降伏変位)から $3\delta y$ 位までは、静的実験より得られた履歴曲線は逆S字形を描くのに対し、振動実験より得られた履歴曲線は紡錘形を描き、ループ形状に違いがみられた。履歴ループによるエネルギー吸収量は、同一変位及び同一繰返し回数では静的の方が動的に比べて大きい傾向がある。しかし破壊近くになると両者の形状及びエネルギー吸収量はほとんど等しくなる。また変位振幅が小さくなった場合における履歴ループを比較すると、動的の方が静的に比べて剛性がかなり小さくなる現象がみられた。

4 等価減衰定数

静的荷重実験および振動実験によって得られた復元力特性の減衰性能、即ちエネルギー吸収率を等価減衰定数(heq)と塑性率($\mu: \mu = \delta / \delta y$)によって表わしたのが図-5である。塑性率と繰返し回数が等しい時、静的実験によって得られた等価減衰定数は振動実験より得られた値よりも10~20%程度大きな値を示す。同様のことが他の供試体についても言え、一般に破壊モードにかかわ

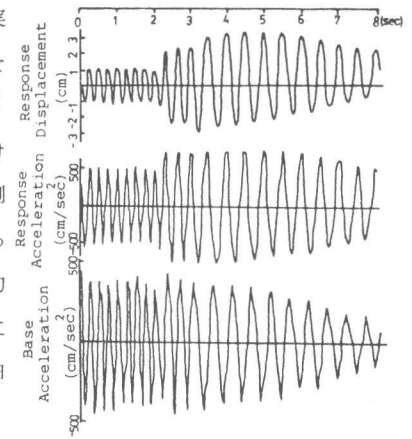


図-2 振動実験による波形の一例

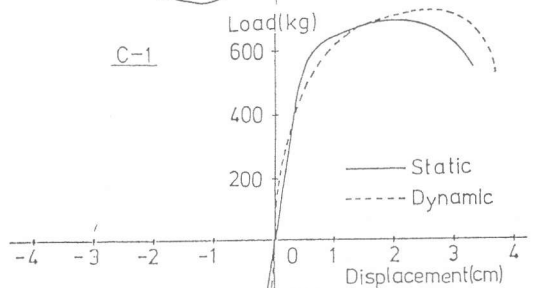
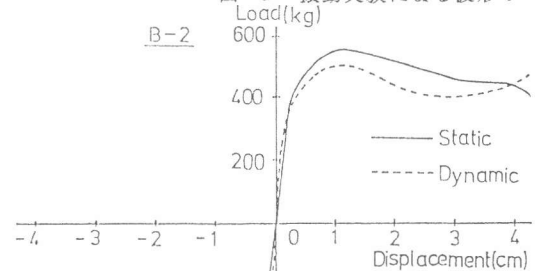


図-3 スケルトンカーブ

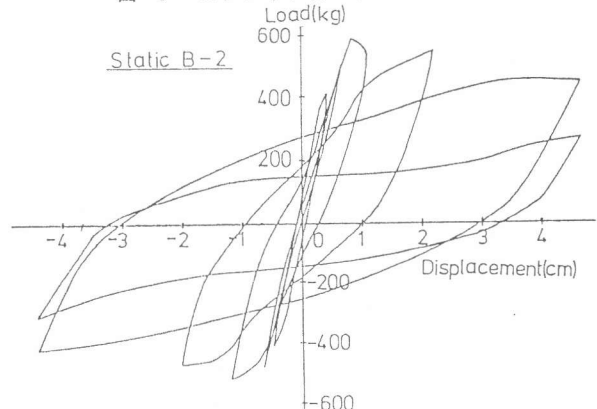


図-4 (1) 履歴曲線

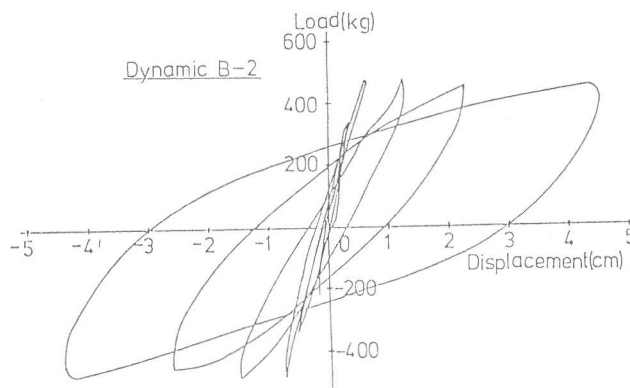


図-4(2) 履歴曲線

らずこのことがいえる。また、履歴ループによるエネルギーの吸収 (ΔW) は、静的荷重では塑性率が 0.5 ~ 0.8 から生じるのに対し、動的荷重では 1.5 程度から生じ、それまではほぼ線形に近い挙動を示している。このようにエネルギーの吸収能において違いが生じるのは、主に静的荷重と動的荷重の異なりによって生じる破壊形式の違いが原因であると考えられる。このことについては 6. で述べる。次に繰返し回数による等価減衰定数の低減は静的、動的ともに大きく、今後繰返し回数によるエネルギー吸収能を定量的に把握することが必要である。

図-6 は帯鉄筋の量が等価減衰定数に及ぼす影響を示したものである。一般に帯鉄筋は RC 部材にじん性あるいは粘りに影響を及ぼす重要な要因であるが、本実験では、静的、動的ともに帯鉄筋の量によるエネルギー吸収率の違いはみられない。

5 変形能に対する評価

現在、道路橋における RC 橋脚の地震時における変形能の照査法として、じん性率^{*}をもとにして、震度 k の地震における変位塑性率が、許容変位塑性率 (じん性率の 1/3 程度) 以下となるように定められている。しかし、今後設計法が限界状態設計法に移行することを考えれば、終局時における変形能に関する照査も必要であると思われる。一般にじん性率は RC 部材においては、荷重履歴や繰返し回数によってかなり大きな影響を受けると言われている。表-2 は本実験で得られた静的及び動的スケルトンカーブから求めたじん性率を示したものである。従来、静的荷重実験によれば帯鉄筋量が増加すればじん性率も増加し、破壊に対する安全度も増加するとされているが、本実験においては振動実験から得られたじん性率はこのような傾向を示していない。そこで地震動による RC 構造物の損傷程度あるいは

^{*} じん性率 (δ_u/δ_y δ_u : スケルトンカーブにおいて、耐力が降伏耐力をこえて最大値に達したのちに低下をはじめ、降伏耐力以下に低下する前の最大変位)

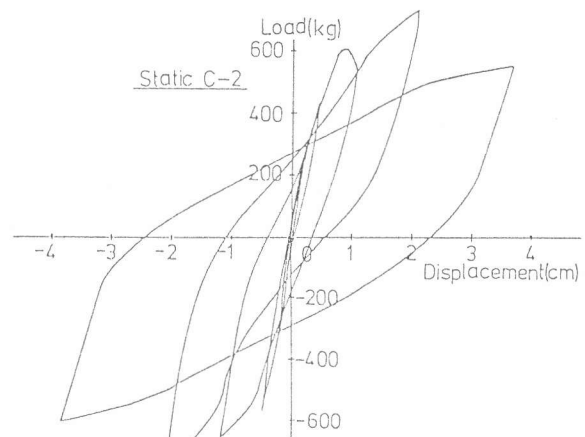


図4-(3) 履歴曲線

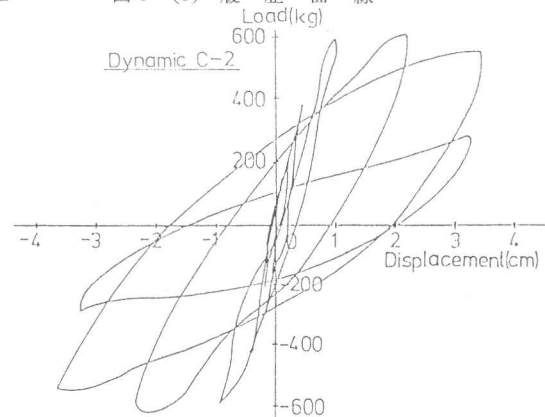


図4-(4) 履歴曲線

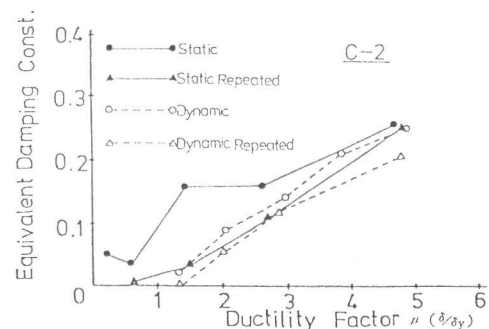
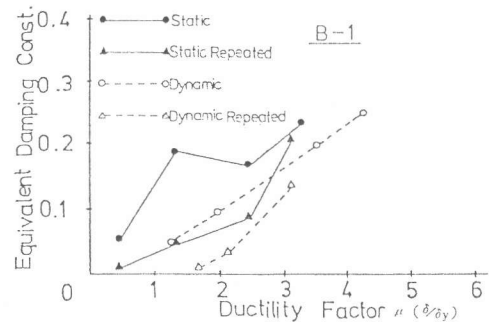


図-5 等価減衰定数と塑性率の関係

破壊に対する安全度を示す指標として、復元力のなす仕事、即ち全塑性消費エネルギーの累積量を用いて表わすことを試みた。即ち、破壊に致るまでに復元力がなした消費エネルギーをすべて求め、変位と復元力とがそれまでに消費したエネルギーの累積量との関係を求めた(図-7)。各変位におけるエネルギーの累積量を静的実験と振動実験の場合について比較すると、いずれの場合においても静的実験で求められた累積エネルギー吸収量が振動実験で求められた量より大きいことがわかる。このことは、従来のRC構造物に対して地震による破壊の安全度を過大評価していたことになる。

表-2 じん性率

Specimen	Maximum Ductility Factor	
	Static	Dynamic
A-1	—	5.1
A-2	3.1	5.9
B-1	2.0	4.3
B-2	2.4	5.7
B-3	4.2	4.0
C-1	3.7	6.4
C-2	4.7	4.6
C-3	—	5.7

次に帯鉄筋の量が全塑性消費エネルギーに及ぼす影響を考える。実験に用いた供試体は各変位において繰返し回数が異なるため、同一変位における累積エネルギーの比較はできない。しかし振動実験では供試体は常に共振に近い状態で振動しており、破壊に致るまでの性状は各供試体をもつ固有の特性により決定されると考えて、ここでは破壊に要した全塑性消費エネルギーの累積量は各供試体について固有のものであると仮定し比較する。図-7より、帯鉄筋量の増加とともに全累積エネルギーも著しく増大していくことが分かる。しかしこの事に関してはさらに検討を要する。

6 破壊性状の検討

以上述べてきたように静的実験及び振動実験から得られた力学的性状には違いがみられた。この理由として、主に静的と動的による破壊性状の違いが考えられる。一般に曲げ破壊を生じた供試体では、振動実験では橋柱根元部にのみ破壊が生じるのに対し、静的実験では、モーメント分布に従ってひびわれが生じ、この違いがそれぞれの力学的特性に影響を及ぼすと考えられる。

7 結論

単一柱式RC橋脚を対象とした供試体を用いて、変位振幅、繰返し回数を同一条件とした振動実験及び静的載荷実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 振動実験によって得られたスケルトンカーブの初期剛性は、静的実験によるものより大きい。また静的実験により得られた履歴ループは、 $3\delta_y$ 位までは逆S字形を描くのに対し、振動実験により得られた履歴ループは防錘形を描く。
- (2) 同一塑性率及び繰返し回数における等価減衰定数は静的による方が動的に比べて大きい傾向がある。また、静的及び動的ともに帯鉄筋の量によるエネルギー吸収率の違いはみられない。
- (3) 復元力が消費した累積エネルギーは一般に静的によるものの方が動的に比べて大きい。

本研究は、昭和56年度科学研究費補助金(課題番号585016)により行ったものである。研究の実施にあたって、振動実験は建設省土木研究所の振動台によって行われた。ここに記して謝意を表します。また実験全般にわたって、埼玉大学生、池田利之君、西山正志君(昭和57年当時)の御協力を得たことと付記し、謝意を表します。

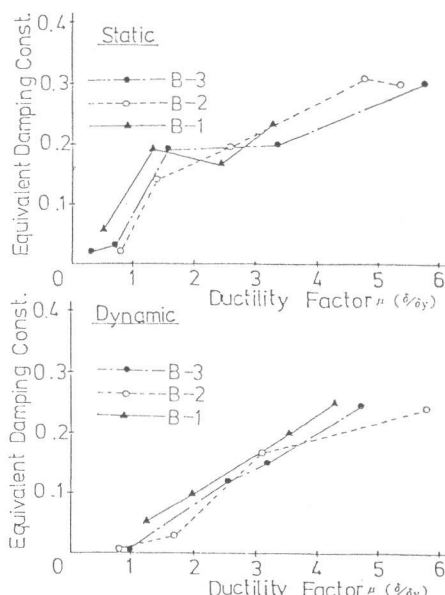


図-6 帯鉄筋が等価減衰定数に及ぼす影響

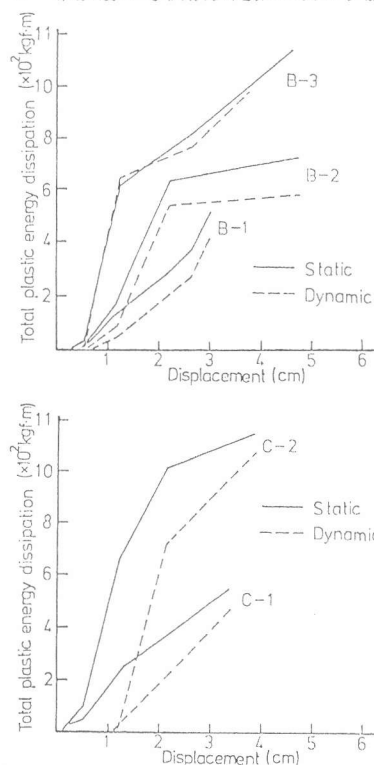


図-7 累積吸収エネルギーと変位の関係