

# 衝撃波に対する構造物の応答の実験的研究 (第3報)

—鉄筋コンクリート1層1スパンラーメンの場合—

吉岡 研三  
 武田 寿一  
 森 高 勇  
 表 佑太郎

## 概 要

鉄筋コンクリート1層1スパンラーメンの柱頭柱脚固定の場合について、衝撃装置による衝撃破壊実験と静荷重実験を行ない、弾塑性にわたる動的応答性状の解析を行なった。

本実験では衝撃実験と静荷重実験を別個の試験体について行なったが、衝撃実験に供した試験体の耐力、剛性は必ずしも静荷重実験に供した試験体より高くない。固有周期は計算でほぼ推定が付き、衝撃試験以前の微振動周期に近い。試験体の基礎の記録加速度を入力波とし、剛性、耐力を静荷重実験結果を基に仮定し、bilinear型の復元力特性をもつ1質点系として応答計算を行なった。

## 1. 序

鉄筋コンクリート1層1スパンラーメンについて、衝撃装置による衝撃破壊実験と静的実験に関して報告する。衝撃試験では試験体基礎に1波の入力加速度を与え、付加重量をもつ試験体を慣性力によって破壊させ、その加速度、たわみ、歪などを観測し、静的試験との比較などから、弾塑性にわたる動的応答性状の解析を行なった。

## 2. 試験体

試験体は4体で、その記号を表一1に示すが、柱断面形は10cm×10cm、15cm×15cmの2種である。それぞれ1体は静的実験に供し、他の1体づつについて衝撃試験を行なった。試験体は図一1に示すように4

試験体	柱 B×D	柱Pt	梁 B×D	試験方法
RC10-1	10cm×10cm	1.27%	10cm×30cm	静試験
RC10-2	10cm×10cm	1.27 "	10cm×30cm	衝撃 "
RC15-1	15cm×15cm	1.18 "	15cm×30cm	静 "
RC15-2	15cm×15cm	1.18 "	15cm×30cm	衝撃 "

表一1 試験体記号

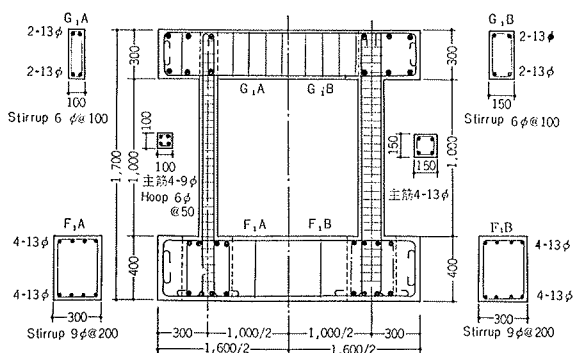
本柱からなるフレームで、階高は1.0m、梁は柱に対し剛性が非常に大きく、柱頭、柱脚固定と考えてもよからう。試験体に用いた材料の性質を表一2、表一3に示すが、鉄筋はSR24、コンクリートは普通コンクリートである。

種別	$\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	E(10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	伸び率(%)
9φ	3510	4870	2.24	18.4
13φ	3600	5330	2.26	17.3

表一2 鉄筋の性質

$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (10 <sup>-6</sup> )	E (10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )
234	1700	2.34

表一3 コンクリートの性質



図一1 試験体図 RC10-1, RC10-2, RC15-1, RC15-2

### 3. 実験方法

#### 3.1. 静試験

試験体を衝撃台のアリ溝にツチ型ボルトにて固定し、付加重量鉄板39枚 (17.9 t) を柱芯上のワッシャーを介して井型に積み重ね、加力方向と直行する梁にボルトにて締めつけた。

加力方法：試験体と同じように反力フレームを固定し、30 t ジャッキにて直交梁中央に加力した。荷重はロードセルにて測定し、正負繰返しを数回行なった。

測定方法：柱頭の水平変位は  $1/100$  mm ダイヤルゲージにて、基礎の浮き上り、および水平移動は  $1/1000$  mm ダイヤルゲージにて測定した。

#### 3.2. 衝撃試験

試験体のセット：静試験と同様にツチ型ボルトにて衝撃台に固定し、付加鉄板を載せ、試験体に固定した。

加力方法：衝撃試験装置の振子15 t を所定の高さHより落下させ、試験台バンパーに衝突させる。試験台には、1波の加速度が発生する。振子の高さは最初弾性におさまる程度にし、次に降伏近傍、破壊と次第に高くした。なおバンパーのバネ常数Kはゴムバネの組数によって変えられるが、今回の実験では  $k = 15$  t/cmとして行なった。

測定方法：i)変位 衝撃台に固定した不動点トラスとの相対変位を試験体の両側で測定した。1つは巻線抵抗型のポテンショメーター(ストローク15cm)により、その抵抗変化を直接ビジグラフに記録させた。他の1つは記録紙をはりつけた回転ドラム(直径18.5 cm)に試験体梁に取りつけたペンで直接ドラム上に記録させた。

ii)加速度 加速度検出計は試験台の上面、下面、試験体の梁、付加鉄板の最上部にとりつけ、ビジグラフに記録した。

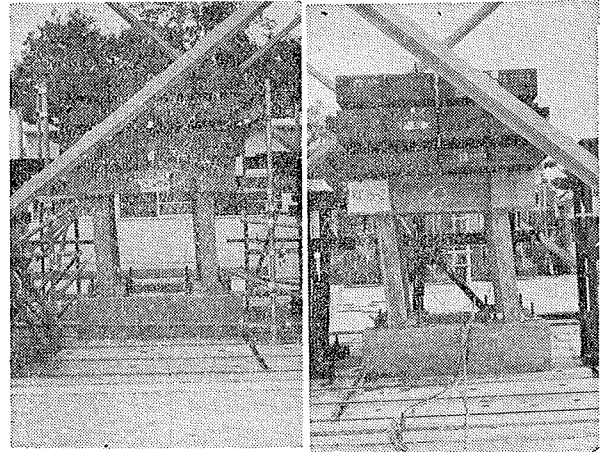
iii)歪度 W.S.G. によりビジグラフに記録した。

### 4. 実験結果と考察

破壊写真を図一2に示す。

#### 4.1. 静試験

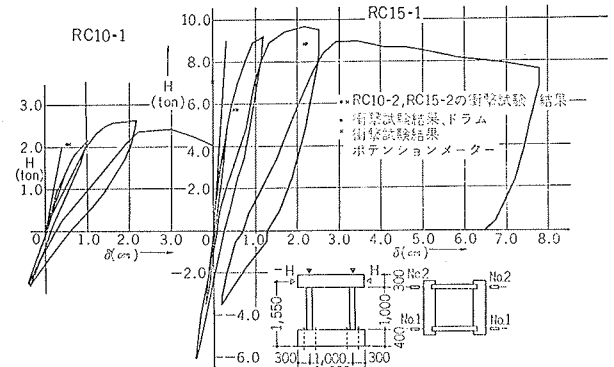
表一4に静荷重試験結果を示す。降伏荷重は軸方向力の変化を無視して求めたものである。実  $H_y$  は荷重変位曲線の曲率が大きくなる荷重を示したものである。水平荷重Hと柱頭の試験台に対する相対変位 $\delta$ との関係を図一3に示す。計算による弾性剛性は RC 10-1 では  $5.24t/cm$ , RC15-1 では  $26.6t/cm$  で、それぞれ図中に示したが、弾性範囲内では実験値とよく一致し



図一2 破壊写真

試験体	RC10-1	RC15-1
ひび割れ荷重 t	0.8	2.0
降伏荷重 実 $H_y$ t	2.5	9.0
最大荷重 実 $H_{max}$ t	2.64	9.75
計算値 計 $H_y$ t	2.43	8.50
実 $H_y$ / 計 $H_y$	1.03	1.06

表一4 静荷重試験結果



図一3 H- $\delta$  曲線

ている。実  $H_y$  時の部材角は RC 10-1 で  $R=1/72rad$  RC 15-1 では  $R=1/100rad$  で降伏時変位が大きい。 $R=1/35$ (RC 10-1),  $1/39.5$ (RC 15-1)以後は negative な勾配になっている。軸方向圧縮力のために残留変形は小さく、特に RC10-1 の方が小さい。

破壊状況は RC 10-1, RC 15-1 でかわりなく、柱頭、柱脚にヒンズが発生している。

コンクリート表面に貼付した W. S. G. の測定結果から柱頭、柱脚で圧縮側柱、引張側柱とも大きな差はなく柱頭、柱脚固定を満足しているといえる。

#### 4.2. 衝撃試験

図一4に加速度とたわみの記録曲線の一例を示す。

4.2.1. 固有周期と減衰定数 表一5に固有周期の実測値と計算値を示す。微振動時の固有周期は衝撃試験以前に行なった微振動の周期であり、他は衝撃入力後の自由振動時の周期である。周期は試験体の塑性化

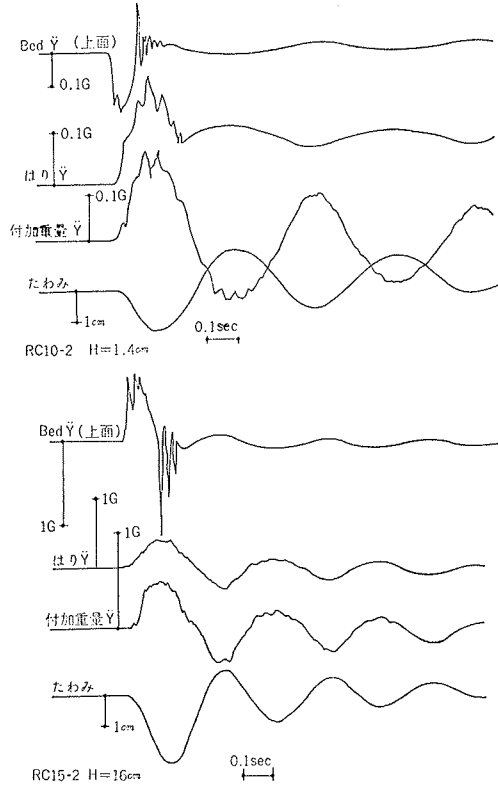


図-4 加速度・変位記録

試験体	振子の落下高 (cm)	実験値		固有周期計算値 T (sec)	
		自由振動時		2質点系	1質点系
		固有周期 T (sec)	減衰常数 h	sec	sec
RC10-2	微振動	0.342	-	0.336	0.377
	0.7	0.399	0.024		
	1.4	0.503	0.057		
	10	-	-		
RC15-2	微振動	0.178	-	0.150	0.169
	1.4	0.243	0.054		
	16	0.325	0.076		
	60	-	-		

表-5 固有周期 減衰常数

が進むにつれ伸びている。

計算周期を同表中に示したが、バネ常数は柱頭、柱脚固定として求めたものである。2質点系と仮定した場合、RC 10-2 では微振動時周期と良く一致し、RC 15-2の場合は比較的よく一致している。2質点系の場合は衝撃台自体が振子なので等価バネを有するが、このバネ常数が小さいので無視して考えたものである。衝撃台の重量が試験体の重量の約3.7倍なので、2質点系の場合は1質点系と仮定した場合に比べ、やや小さくなる。

表中に衝撃入力後の自由振動時の振巾比から求めた減衰常数を示した。変形の増大とともに減衰常数も大きくなり、5%~8%の減衰に達するが、履歴減衰も含まれている。

4.2.2. 加速度 表-6 に試験台の最大入力加速度

とその時間および試験体の最大応答加速度を示す。

試験台には上面と下面に加速度計をセットしたが、最大入力加速度は RC 15-2 の場合大きく異なる。また衝撃時間は両者ほとんど同じであるが、振子の落下高によって RC 10-2 の場合はやや異なる。入力加速度は多少 noise が入るがほとんど sin 1 波であり、振子の落下高が高くなると noise がめだつ。

試験体	振子の落下高 (cm)	試験台				試験体	
		上 面		下 面		梁	付加鉄板
		衝撃時間 (sec)	加速度 (g)	衝撃時間 (sec)	加速度 (g)	加速度 (g)	加速度 (g)
RC10-2	0.7	0.030	0.199	0.033	0.186	0.125	0.117
	1.4	0.038	0.301	0.038	0.308	0.205	0.188
	10	0.038	0.540	0.042	0.527	0.196	0.201
RC15-2	1.4	-	-	0.042	0.312	0.254	0.310
	16	0.040	0.800	0.038	0.669	0.415	0.475
	60	0.039	1.50	0.042	1.28	0.490	0.524

表-6 加速度

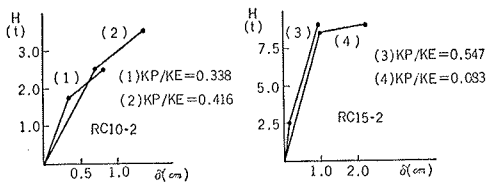
表-5 の1質点系固有周期と表-6 の衝撃時間（試験台下面）とから純粋な sin 1 波に対する応答倍率を求めると RC 10-2 では 0.35, RC 15-2 では 1.57 である。これに対し実験では RC 10-2 では 0.117/0.186=0.63, RC 15-2 では 0.310/0.312=0.994 と計算値とはあわない。これは実状は2質点系であることが原因している。応答倍率は入力加速度が大きくなると次第に小さくなり降伏を示している。

4.2.3. 変形 表-7 に試験体の最大たわみと残留たわみを示す。ドラムとポテンシオメーターの最大たわみ測定値はほとんど一致している。最大変形時の部材角は RC 10-2 で 1/23, RC 15-2 1/11 と大きく、試験体は実験後も明瞭な残留たわみを起していたがなお自立状態にあった。

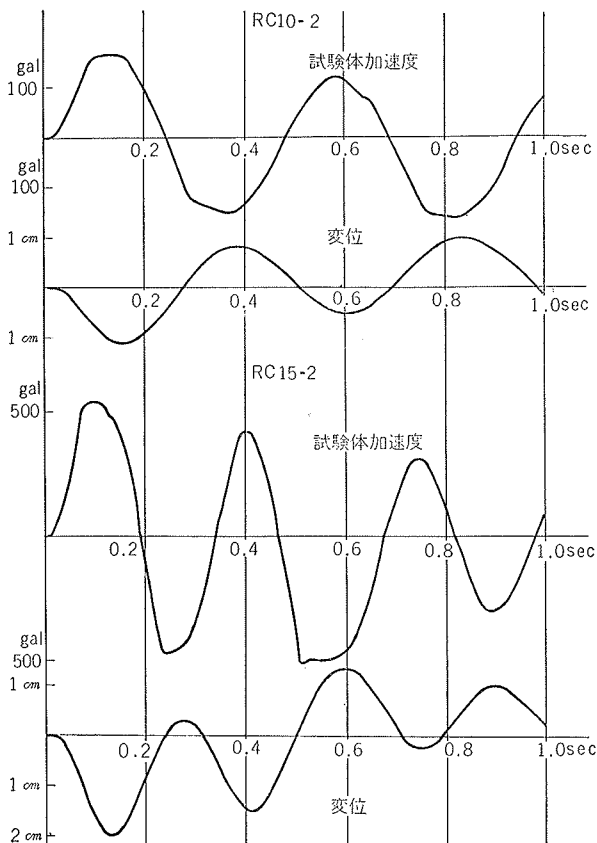
試験体	振子の落下高 (cm)	実験値					計算値
		測定器	たわみ		Initialよりの		
			最大 (mm)	残留 (mm)	最大 (mm)	残留 (mm)	
RC10-2	0.7	ドラム	5.4	0.2	5.4	0.2	4.5
		ポテンシオメーター	5.7	0.	5.7	0	
	1.4	ドラム	13.4	1.7	13.6	1.9	11.1
		ポテンシオメーター	13.2	0.	13.2	0	
10	ドラム	44.0	30.6	45.9	32.5	-	
	ポテンシオメーター	40.7	20.1	40.7	20.1		
RC15-2	1.4	ドラム	6.0	0.2	6.0	0.2	5.5
		ポテンシオメーター	5.8	0.2	5.8	0.2	
	16	ドラム	22.0	1.0	22.2	1.2	19.8
		ポテンシオメーター	21.9	1.3	22.1	1.5	
	60	ドラム	91.5	95.0	92.7	96.2	-
		ポテンシオメーター	-	-	-	-	

表-7 たわみ

表中のたわみ計算値は試験体を bilinear 型の復元力特性をもつ1質点系と仮定し、基礎の入力波として試験台の加速度記録を用いて求めたものである。減衰常数は表一五に示した値を用いている。応答計算にあたり、図一五に示す復元力特性を仮定したが、静荷重実験結果にもとづいて定めたものである。試験体加速度および変位についてその応答曲線を図一六に示すが、これは図一四に対応するものである。1波の入力加速度に対し、試験体加速度および変位の最大値とその時間は表一六に示した衝撃試験結果とほぼ一致するが、その後の自由振動の周期は実験の場合より短く、ことに RC 15-2 の場合、この傾向が甚しい。鉄筋コンクリートの場合、bilinear 型の復元力特性では、降伏以後のくり返し時における剛性が実情と異なるためであろう。



図一五 仮定復元力特性



図一六 加速度変位応答曲線 (計算)

4.2.4. 静荷重実験との比較 表一六の試験体加速度に質量を乗じた慣性力と表一七のたわみを静荷重試験の  $H-\delta$  曲線 (図一三) にプロットした。

RC10-2 については、静荷重試験を行なった RC10-1 よりも降伏近くの荷重、最大荷重が衝撃試験結果よりも15%程大きい。一方 RC 15-2 場合は静荷重試験に供した RC 15-1 よりも剛性、耐力ともに小さい。鉄筋コンクリートの場合は材質が均一でなく、RC 15-2 のコンクリートの性質が RC 15-1 よりも悪かったことも考えられる。

### 5. まとめ

1) 本実験では静荷重試験と衝撃試験を別々の試験体で行ったので必ずしも対応するものではないが、RC 10 の場合は衝撃試験時の剛性、耐力は静荷重試験の場合より高い。しかし RC 15 の場合は衝撃試験時の方がやや低めである。

2) 応答計算を行なう場合、bilinear 型の復元力特性をもつ1質点系とし、基礎の入力波として記録加速度を用いた場合、降伏近傍まではおおよそ実験値に合致する。なお動的復元力特性は静荷重試験の場合と異なるので、動的試験の結果も考慮して仮定する必要がある。

3) 固有周期は計算でほぼ推定がつき、衝撃試験以前の微振動周期に近い、変形の増大と共に周期は伸びる。

4) 減衰常数は変形の増大と共に大きくなるが、降伏以後では半塑性時より2~3%大きくなり、5.7% 7.6%であった。

5) 静荷重試験では、 $R=1/35 \sim 1/40$  以後、荷重~変位曲線は negative bilinear になるが、衝撃試験の場合は negative な勾配になっていない。

6) 衝撃試験時最大部材材角は RC 10-2 で  $1/22$ 、RC 15-2 は  $1/11$  で、実験終了時も自立状態にあり、鉄筋コンクリート柱としては靱性に富む。

### 参考文献

1) 武田寿一、森高勇：「衝撃試験装置」，大林組研究所報 No. 1 1966