

(18) 大型 RC 橋脚模型の横衝撃載荷実験

LATERAL IMPACT TESTS ON LARGE SCALE RC PIER MODEL

佐藤昌志<sup>\*</sup>，谷本俊充<sup>\*\*</sup>，岸 徳光<sup>\*\*\*</sup>，松岡健一<sup>\*\*\*\*</sup>

Masashi SATO, Toshimitsu TANIMOTO, Norimitsu KISHI and Ken-ichi MATSUOKA

<sup>\*</sup> 北海道開発局開発土木研究所室長 構造研究室 (〒062 札幌市豊平区平岸1-3)

<sup>\*\*</sup> 工博 北海道開発局開発土木研究所研究員 構造研究室 (〒062 札幌市豊平区平岸1-3)

<sup>\*\*\*</sup> 工博 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科 (〒050 北海道室蘭市水元町 27-1)

<sup>\*\*\*\*</sup> 工博 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科 (〒050 北海道室蘭市水元町 27-1)

キーワード: 横衝撃荷重、RC 橋脚、靱性

( lateral impact load、RC pier、ductility )

1. はじめに

今年一月の阪神・淡路大震災以来、コンクリート構造物の耐震性に大きな注目が集められている。特に、旧設計基準や指針に従って建設された橋脚の中には、断落とし部分に大きな曲げモーメントが発生し、その部分が欠点となって曲げ・せん断破壊を生じていることが指摘されている。従来、橋脚の耐震性を検討するための模型実験としては、模型橋脚天端に上部工の死荷重を模擬した重りまたは荷重を載荷した状態で水平交番加力実験を行い、最大塑性率やエネルギー吸収性能を検討するのが一般的である。しかし、今回の阪神・淡路大地震は、従来の海洋型地震と異なる直下型地震であったため、主波動が急激に卓越する衝撃的な作用荷重を示しているのが特徴的である。

本研究では、このような衝撃的に作用する地震荷重を想定して 5 tf の重錘を振り子式で上部工の死荷重部分に作用させ橋脚模型の耐衝撃性状（耐震性状）を検討した。ここでは、橋脚の断面寸法比が耐衝撃挙動に与える影響を検討するため、断面寸法比は 1:1、1:2、1:4、2:1 の 4 種類とした。また、耐衝撃性に与える寸法効果については未解明な部分が多いため、できる限り大きな試験体を用いて実験を行うこととし、モデルを実構造の 1/3 程度にすることとした。

2. 実験の概要

表-1 試験体一覧

試験体は表-1 に示す断面寸法比が異なる 4 体である。なお、比較検討を可能にするため、衝撃荷重作用方向のコンクリート部の全断面有効時の断面 2 次モーメントの差をできるだけ小さくするようにした。ただし、1:4 試験体の場合は、実験の制約上、他の試験体の約 1/4 の断面 2 次モーメントとした。各試験体は静的荷重載荷時は曲げ破壊が先行する。断面分割法で求めた静的曲げ耐力を表中に示した。

試験体の名称	断面寸法 (mm)	断面 2 次モーメント (cm <sup>4</sup> )	鉄筋比 (%)	静的曲げ耐力 (tf)	載荷速度 (m/sec)
N-1:1	400 × 400	213,333	1.90	7.4	1,2,3
N-1:2	330 × 660	197,654	1.86	7.9	1,2,3
N-1:4	200 × 800	53,333	1.90	3.4	1,2,3
N-2:1	480 × 240	221,184	1.98	8.1	1,2,3,4



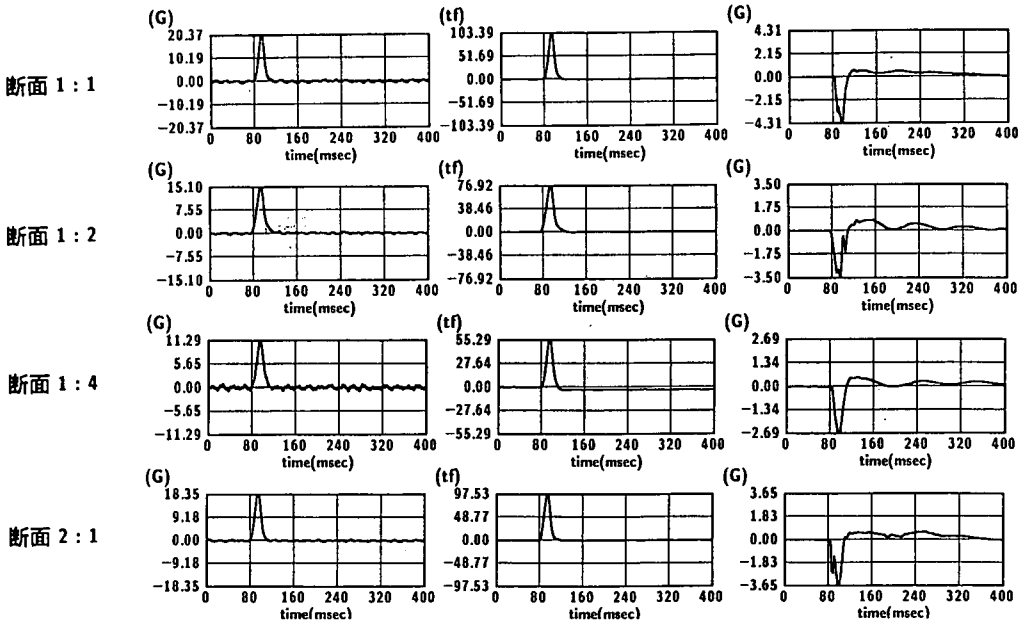


図-3 重錘加速度、ロードセル合力、重りの加速度の波形の例

つのロードセルの波形を総和して得られた最大の合力である。

重錘衝撃力は 1:1 及び 2:1 試験体で、載荷速度に比例してほぼ直線的に増加している。一方、1:2 試験体では、全載荷速度で 1:1 及び 2:1 試験体よりも小さな重錘衝撃力を示している。特に  $V = 2 \text{ m/sec}$  での衝撃力が小さい。1:4 試験体は、橋脚の曲げ剛性 ( $E \cdot I$ ) が小さいために  $V = 1 \sim 2 \text{ m/sec}$  載荷における重錘衝撃力が小さいが、 $V = 3 \text{ m/sec}$  では最も大きくなっている。

ロードセル合力と載荷速度の関係は、重錘衝撃力と載荷速度の関係にほぼ 一対一で対応している。一方、鉛塊が受ける衝撃力は  $V = 1 \text{ m/sec}$  載荷では、重錘衝撃力やロードセル合力に比べて若干大きい、 $V = 2 \text{ m/sec}$  載荷以後では両者に比べて若干小さく示されている。これは、 $V = 2 \text{ m/sec}$  載荷以後に鉛塊の取り付け部に多少のひびわれが発生して、若干のエネルギーが吸収されていることを示すものと考えられる。

### 3.2 衝撃荷重と変位の関係

図-5 に、橋脚の天端に取り付けた加速度計の応答波形と柱上部の変位計による応答変位波形の一例を示す。試

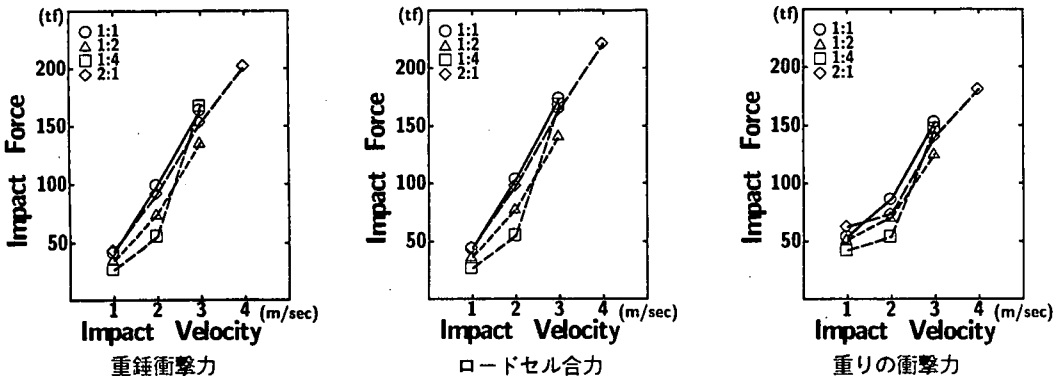


図-4 重錘衝撃力、ロードセル合力、重りの衝撃力の関係

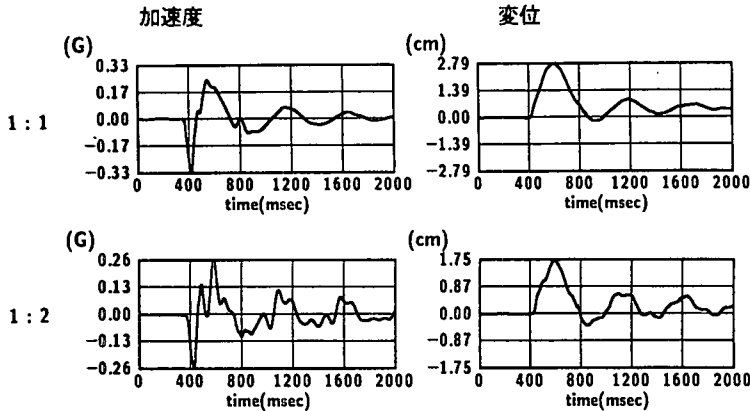


図-5 加速度計と変位計による応答波形

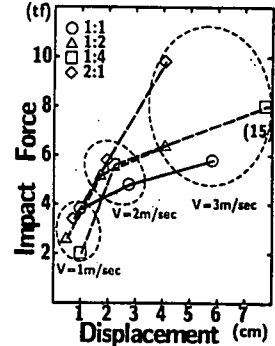


図-6 衝撃荷重と最大応答変位の関係

験体の寸法比は 1:1 及び 1:2 で、 $V = 2 \text{ m/sec}$  載荷における波形を示した。なお、加速度波形には衝撃載荷初期において特に高周波成分が卓越するためフィルタによって処理を行った。その結果、加速度と変位の応答波形の周期はよく一致していることが分かった。そこで、鉛塊で受けた衝撃力を衝撃荷重  $F$  と定義し、最大応答変位量との関係を図-6 に示した。

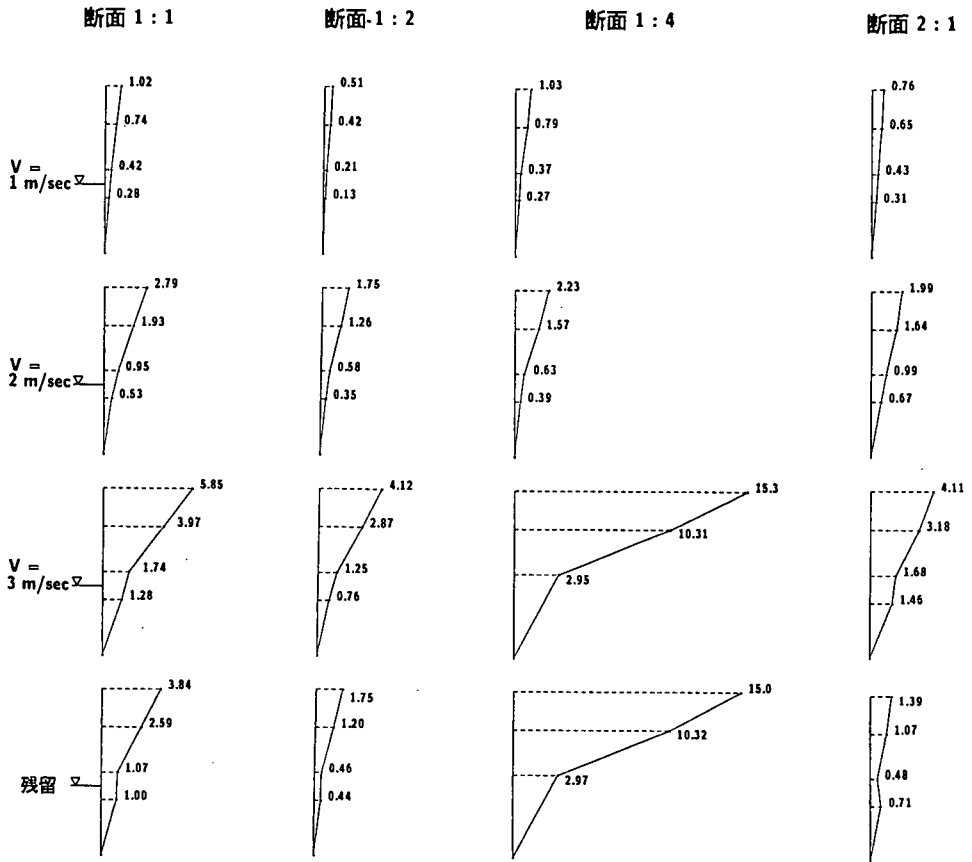
$V = 1 \text{ m/sec}$  載荷では、1:4 試験体に生じた衝撃荷重が最も小さいにも関わらず変位量は最も大きい。 $V = 2 \text{ m/sec}$  載荷では、1:1 試験体で衝撃荷重が小さいものの変位量は最も大きい。一方、 $V = 3 \text{ m/sec}$  載荷では 2:1 試験体の衝撃荷重が最も大きい、1:4 試験体ではそれよりも小さな衝撃荷重で計測範囲以上の変位量を示している。後述する応答変位分布やひびわれ性状より、せん断の変形が大きく卓越する載荷速度において大きな衝撃荷重を示すものと考えられる。また、静的な荷重に対しては、荷重方向に扁平な試験体の方がせん断耐力が大きく、2:1 の場合に最も小さい。すなわち、衝撃荷重は曲げのモードが卓越する場合 (1:1、1:2、1:4) には載荷速度が増大しても顕著には増加せず、一方で変形量は大きく増加する。他方、2:1 試験体のようにせん断モードが卓越しやすい場合には、衝撃荷重が大きく増加する一方で変形量は比較的小さくなると考えられる。

### 3.3 応答変位分布及び残留変位分布

図-7 に全試験体の各載荷速度における応答変位分布 (最上段の変位が最大となった経過時間における全測点の変位) ならびに  $V = 3 \text{ m/sec}$  で載荷した後の残留変位分布を示す。 $V = 1 \text{ m/sec}$  載荷では、剛性の最も低い 1:4 で既に段落としを境として変位曲率が大きく変化していることが分かる。他は概ね直線的な変位分布を示しているが、1:1 試験体の応答変位量が 1:2 に比べて 2 倍程度大きく出現している。 $V = 2 \text{ m/sec}$  では、段落とし部を境とした変位曲率の急激な変化が 1:1、1:2 試験体でもみられるようになるが、2:1 試験体はほぼ直線的な変位分布を示している。そのため、段落とし部分での変位量は 2:1 が最も大きく、最も小さな 1:2 試験体の 2 倍程度を示している。橋脚頭部の変形量に着目すると、1:2 が最も小さく、次が 2:1 であり、1:1 試験体が 1:4 よりも大きく最大となっている。

$V = 3 \text{ m/sec}$  では、1:4 試験体のみが壊滅的な破壊を示し極めて大きな応答変位及び残留変位を示した。1:4 試験体の破壊は極めて急激であり、衝撃的荷重作用に対しては幅の広い橋脚は十分な注意が必要と思われる。これは、1:4 では断面の厚さが薄く、変形の増加によって死荷重による曲げモーメントがさらに変形を助長するためと推察される。一方、2:1 の試験体では段落とし部分の応答変位にせん断変形が含まれていることが分かる。そのため、1:4 を除く試験体の中で最も段落とし下側の応答変位が大きい。一方、 $V = 3 \text{ m/sec}$  載荷後の残留変位分布を比較すると、橋脚天端の残留変位は 2:1 試験体が最も小さい。しかし、段落とし下側の残留変位が上側の変位よりも大きく、主として段落とし部のせん断抵抗で衝撃力に対抗しているため橋脚天端の変形量が少なくなったものと考えられる。なお、1:1、1:2 試験体でも、段落とし部分に明瞭なせん断による変形の残留が認められる。以上のことから、

総合的に判断すると同程度の剛性を有する橋脚模型であれば、顕著なせん断モードの卓越や急激な破壊を示さない点では 1:1 あるいは 1:2 が断面寸法比的には優れていると思われる。



図一 7 応答変位分布および残留変位分布

### 3.4 ひびわれ性状

図一 8 に載荷面を基準に時計回りに A、B、C、D 面として各試験体の実験終了後のひびわれ性状を示す。なお、2:1 と他の試験体で最終載荷速度が異なるために全てを同一の尺度で比較することはできない。従って、ここではひびわれの傾向に着目して検討することとした。

1:1 試験体では、A 面の段落としとそれより上側に試験体の幅程度の範囲内に水平方向に進展する曲げひびわれが発生し、それらは B、D 面の断面の中心から斜め下方に進展して、いわゆる曲げ・せん断型の破壊性状を示している。また、圧縮側では一部のコンクリートが剝落している。

1:2 試験体では、載荷点側の段落とし部とその上側試験体の幅程度に水平方向の曲げひびわれが発生し、段落としに近い部分の曲げひびわれは B、D 面の断面の中心あたりから斜め下方に進展している。しかしながら、1:1 にみられる様な圧縮側コンクリートの剝落はみられない。1:1 に比べてまだ壊滅的な破壊に至ってない状況であるものと考えられる。

1:4 試験体も A 面の段落とし部とその上側試験体幅程度の範囲に水平方向の曲げひびわれが発生し、B、D 面ではこれらのひびわれのうち段落とし部近くのもの斜め方向に進展している。段落とし部の圧縮側は幅方向に広く圧壊の性状がみられる。

2 : 1 試験体では、載荷点側の段落としをはさんだ上、下方向の試験体幅程度の範囲に水平方向の曲げひびわれが多数発生し、側面には段落としよりかなり上方の位置からほぼ 45° に進展する斜めひびわれが顕著に発生している。特に圧縮側のコンクリートは段落としから基部近くまで広い範囲で圧壊している。ただし、基部の圧縮側には健全な部分も多くみられ、基部は未だ圧壊に至っていない。

#### 4. まとめ

直下型地震のように衝撃的な地震荷重が作用する場合の RC 橋脚の耐衝撃性（耐震性）を検討するため、段落としを有する比較的大きな橋脚模型を製作して横衝撃載荷試験を行った。本実験の範囲内で得られた結論を要約すると、

##### (1) 衝撃荷重は曲げのモードが卓越する場合に

は載荷速度が増大しても顕著には増加しない。一方、せん断モードが卓越する試験体では大きな衝撃荷重が発生する。

(2) 幅の広い橋脚は載荷速度の若干の増加で急激な破壊を示しやすい。また、横幅の狭い試験体はせん断のモードが卓越しやすく、1 : 1 あるいは 1 : 2 程度が断面寸法比的には優れている。

最後に、本研究を行うに当たりご支援を頂いた三井建設（株）技術研究所の三上浩主任研究員に感謝の意を表します。

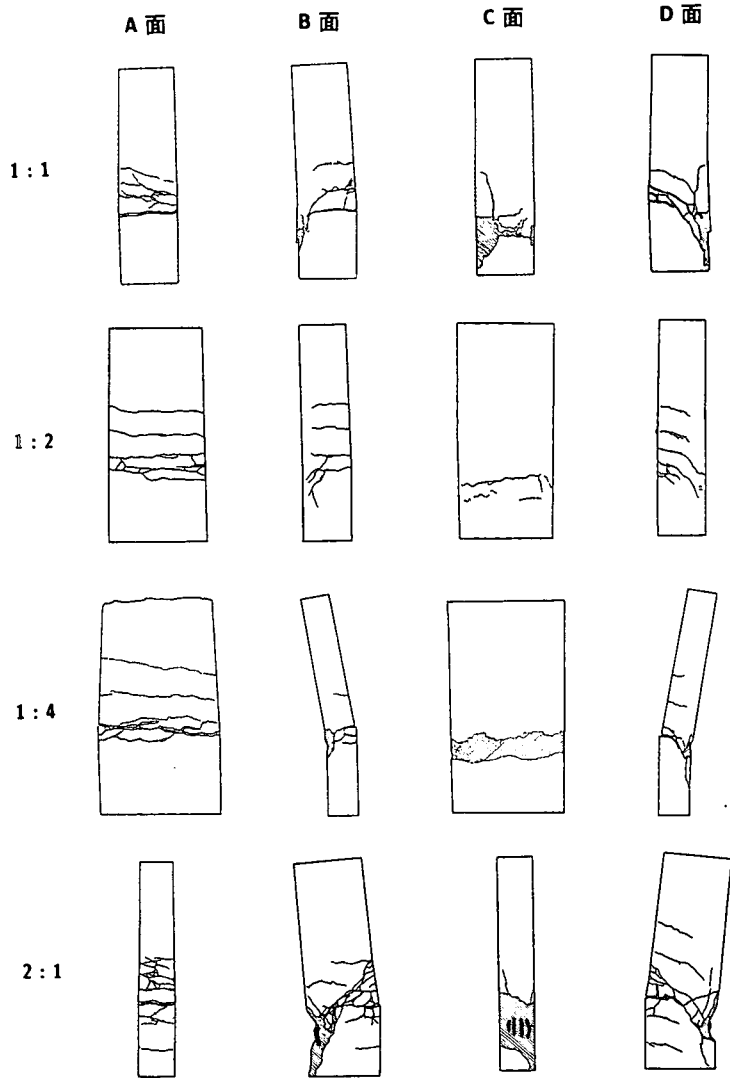


図-8 ひびわれ性状