

I-62

RC 橋脚を用いた実規模二径間連続桁橋模型の加振実験

室蘭工業大学	正員	岸 徳 光
北海道開発局	正員	佐 藤 昌 志
北海道開発局	正員	三田村 浩
室蘭工業大学	○学生員	林 雄 志

1. はじめに

平成7年1月に発生した阪神・淡路大震災では、土木構造物、特に橋脚等の柱状構造物に多大な被害を与えた。この地震は海洋型地震とは異なる内陸直下型地震であったため、地震動の主波動が急激に立ち上がるため衝撃的な荷重が作用したことが特徴である。実際に構造物がこのような衝撃的な荷重を受けたときにどのような挙動を示すのかを把握することは橋脚等の耐震性向上を図る上から重要であると考えられる。地震時に、橋脚は地盤からの地震動入力を受けると同時に上部工からの慣性力や拘束を受けることから、橋脚単体とは異なる挙動を示すものと推測される。これまで、橋脚等の耐震実験では、これを水平および鉛直外力として入力し評価している。しかしながら、この方法で、橋脚等の地震時挙動を忠実に再現することは難しく、これとは異なる種々の方法が試みられている。

北海道開発局開発土木研究所では、この一つの方法として、地震時における橋脚の挙動をできるだけ忠実に再現するために、大型の架台上に実規模の二径間連続桁橋模型を製作し、これを架台ごとエアベアリングで浮かせて反力壁へ衝突させ、衝撃的な地震動を与える実規模橋梁模型衝撃載荷装置を開発した¹⁾。本研究は、これを用い、RC 橋脚を設置した実規模二径間連続桁橋の橋脚として設置した RC 橋脚模型を試験体として RC 橋脚の地震時挙動に対する検討を行ったものである。

2. 実験概略

2.1. 実験方法

図-1に実験状況の概略図を示している。本実験は江別市角山の北海道開発局の敷地内に設置された実規模二径間連続桁橋衝撃荷重載荷装置を用いて行った。図に示すように、実験は橋梁模型を固定した走行架台をエアベアリングにより浮かせ、反力壁に衝突させることにより橋脚に衝撃的な加速度を与えている。走行架台の速度は、架台とワイヤーロープで連結された重量10tfの鋼製重錘を滑車を介して自由落下させることで与えている。また、実験時の橋脚の入力加速度は、架台の走行距離および架台正面に取り付けた緩衝材としての発泡スチロール材(EPS材)の厚さを変化させることで調節している。上部工の橋脚は橋長30m、重量108tfの鋼製二径間連続桁であり、中間支点においてピン支承によりRC橋脚上で支持している。また、桁両端部は水平方向の動きを拘束しないようローラー支承とした。

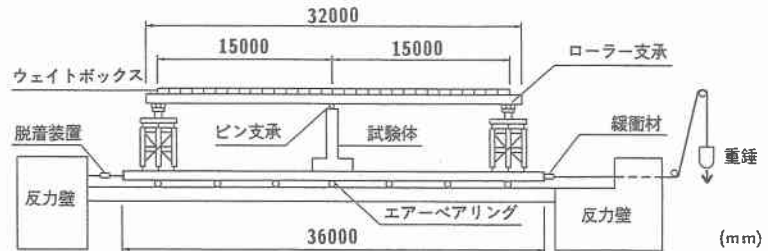


図-1 実験概略図

Shaking Tests on RC Pier with Prototype Two-span Continuous Girder.
by Norimitsu KISHI, Masashi SATO, Hiroshi MITAMURA, Yuji HAYASHI

2.2. 実験供試体

実験に用いた試験体を表－１に示す。試験体は、平成 8 年度の示方書に基づいて設計を行い、帯鉄筋の間隔をそれぞれ 10 cm、15 cm とした H8-10、H8-15 試験体及び、昭和 55 年度の示方書に基づいて設計を行った S55 試験体の計 3 体である。また、S55 試験体は橋脚高 150 cm の位置で段落としを行っている。用いたコンクリートの設計基準強度は 210 kgf/cm^2 であり、実験時の材令における平均圧縮強度は、H8-10、H8-15 および S55 の場合でそれぞれ 163 kgf/cm^2 、 282 kgf/cm^2 、 295 kgf/cm^2 である。なお、使用した鉄筋はいずれも SD345 である。試験体の形状寸法と配筋を図－２に示す。

2.3. 測定項目

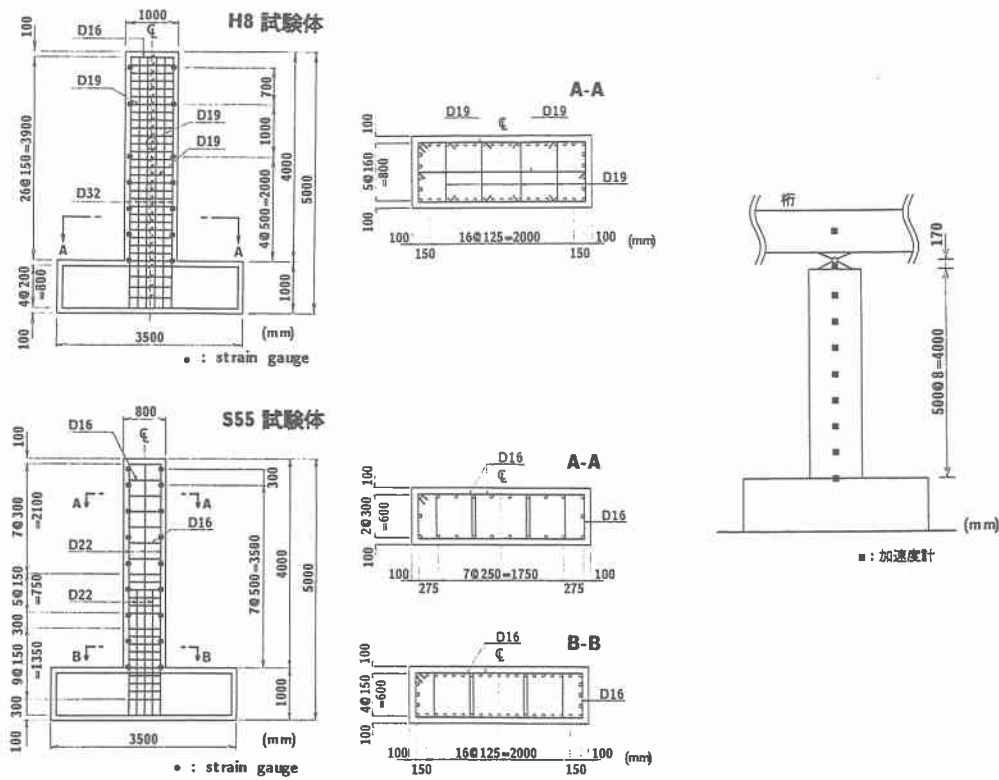
本実験での測定項目は入力加速度、橋脚及び桁の応答加速度、橋脚主鉄筋の応答歪である。入力加速度と橋脚及び桁の応答加速度は走行架台と橋脚及び桁に添付した加速度計により計測している。各計測位置を図－２に示す。橋脚主鉄筋応答歪は、同様に図－２に示す各位置で計測している。

本実験での実験条件を表－１に示す。実験は各試験体に対して、架台の走行距離、緩衝材としての EPS 材の厚さを変化させ入力加速度の最大値及び周期を調節する形で行った。

なお、以後の説明に用いる実験ケースの略記は、試験体名－走行距離 L (m)－EPS 厚 (m) として表示するものとする。

表－１ 試験体一覧及び実験条件

試験体	主鉄筋	帯鉄筋	段落とし	走行距離 (m)	EPS厚 (m)
H8-10	D32	D19-10cm 間隔	無	1.0~4.5	0.25~1.0
H8-15	D32	D19-15cm 間隔	無	1.0~4.5	0.5,0.75
S55	D22	D16	有	0.5~2.0	0.5,0.75



図－２ 試験体寸法、配筋及び各種計測位置

3. 実験結果及び考察

3.1. 加速度波形について

図-3に、代表的なケースの入力加速度波形を示す。表示した実験ケースは、入力加速度のほぼ等しい3つのグループに対して、各試験体をまとめて示した。各グループの橋脚最大加速度は、(a), (b), (c)でそれぞれ約0.35 G, 0.8 G, 1.5 Gである。図から同一グループの波形は、それぞれほぼ等しい波形を示しているが、(a)グループのEPS材の薄いH8-15-L1.0-EPS0.25のケースでは加速度の継続時間が多少短くなっているもの、実験条件を同一に設置することにより入力加速度を精度良く再現出来ることが分かる。

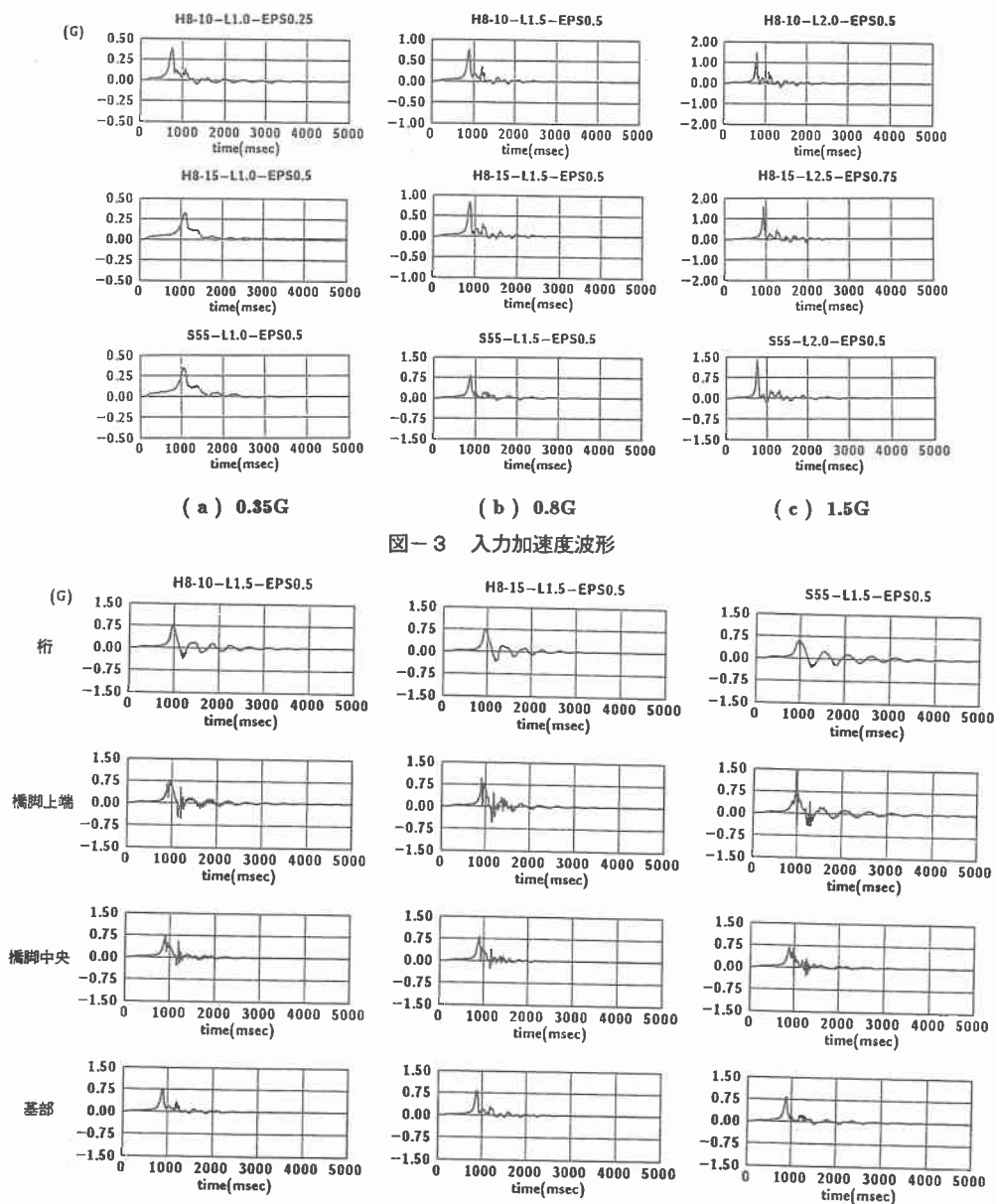


図-3 入力加速度波形

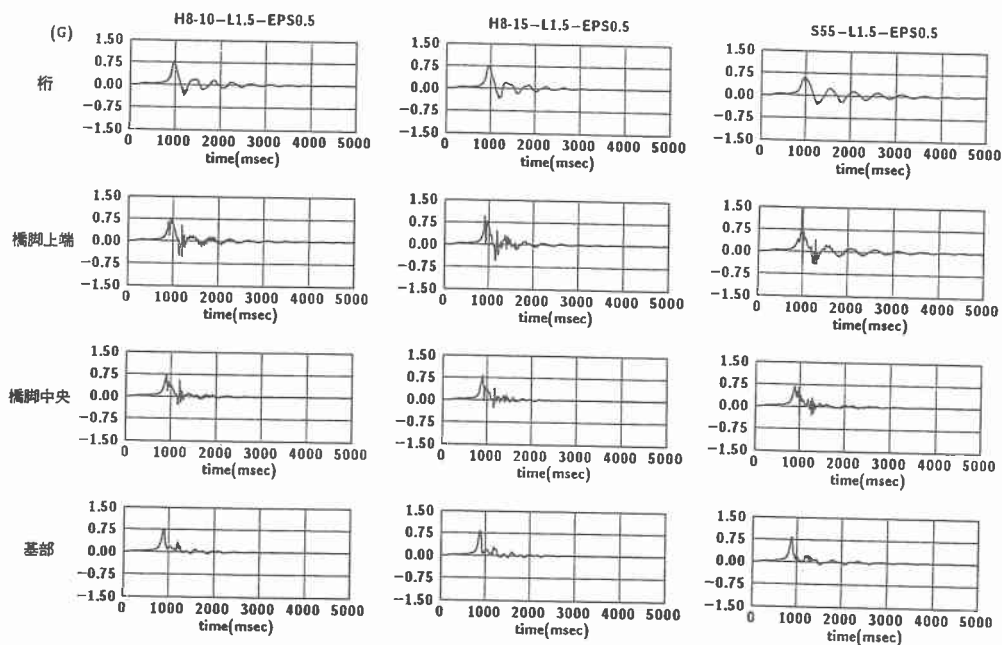


図-4 入力加速度及び応答加速度波形

入力加速度の最大値が、約 0.8 G である実験ケースの代表的な点（基部、橋脚中央、橋脚上端、桁）での加速度波形を図-4に示す。図より各測点の応答加速度の最大値はほぼ入力加速度と同様であり、かつ橋脚上部へ向かって応答が推移している状況が分かる。加震終了後は自由振動状態となり、系の固有振動周期で振動しているようである。ただし、S55 試験体では、桁の加速度波形に、第 1 主波動部のピークをつぶれがみられ、段落とし部でのひび割れ発生など塑性状態へ移行したことが推察される。

3.2. 曲げモーメント及び軸力の応答分布

代表的な実験ケースとして、図-5には入力加速度の最大値が等しく走行距離 1.5 m，EPS 厚さ 0.5 m における各ケースに対して橋脚の曲げモーメント分布の時系列の概略を示している。図には H8-10 試験体を□，H8-15 試験体を△，S55 試験体を●印で示した。

いずれの試験体も 600 msec 程度まではほぼ一次モードが卓越する分布を示しているが、H8-10 試験体は 750 msec 付近で基部の曲げモーメントが最大となり 800 msec 付近では一次モードに二次モードが連成し、その後は二次モードが卓越するモードで推移している。また、H8-15 試験体も 750 msec 付近で最大曲げモーメントを示した後 1000 msec 付近から二次モードへ移行している。一方 S55 試験体では 800 msec 付近まで一次モードが卓越し 1000 msec 付近で段落とし部に分布の乱れがみられ、1190 msec 付近で逆モーメントが最大となり、その後は段落とし部にモーメントが集中する形で推移している。1000~1200 msec で段落とし部に大きなひび割れが発生したものと考えられる。

上と同様の実験ケースに対して求めた軸力分布の時系列を図-6に示す。図は左側を引張力、右側を圧縮力として示している。また、図は各ケースにより軸力の大きさに大きな相異があるため、個々に示すとともに、紙面の都合上軸力発生時刻から、最大軸力発生までの状況のみを示した。本実験では、水平方向地震力を入力していることから、橋脚単体であれば、上載荷重があったとしても、軸力は発生しないと考えられる。しかしながら、本実験ではいずれのケースも、時間の経過とともに、軸力の発生が見られる。特に、H8-15-L1.5-EPS0.5 と S55-L1.5-EPS0.5 のケースでは軸力の発生が見られる。これは、入力によって引き起こされる系の振動による鉛直方向慣性力の影響とともに、桁と橋脚の結合（ピン支持）による拘束の影響と考えられる。

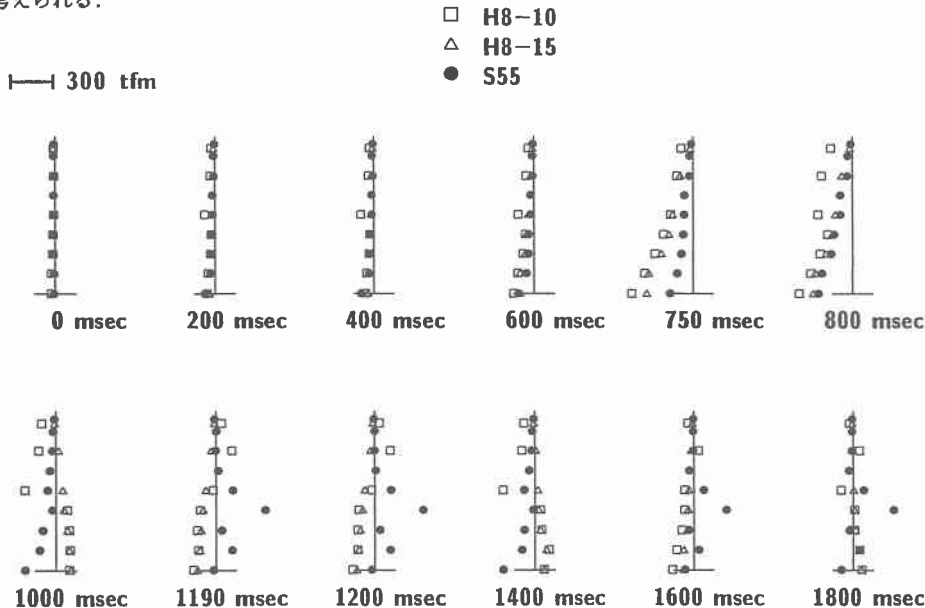


図-5 曲げモーメント分布の経時変化

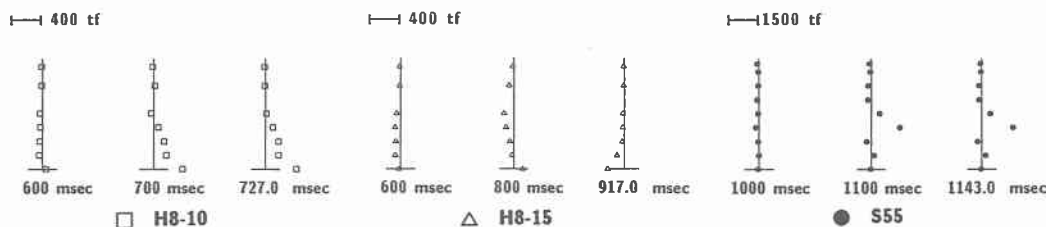


図-6 軸力分布

3.3. 入力加速度と応答加速度及び曲げモーメントの関係

入力加速度の最大値と桁の水平及び鉛直方向加速度の最大値、橋脚上端水平方向加速度の最大値、橋脚基部曲げモーメントの最大値との関係を 図-7 (a) ~ (d) に示す。図には各試験体を印で区別して全てのケースの値を示している。印の種類は 図-5 と同様である。

(a) 図は橋脚上端の最大水平加速度との関係であるが H8 試験体については入力加速度と同程度の応答加速度となっている。しかしながら S55 試験体では、入力加速度 1.0 G 以上で応答加速度の低下がみられる。

(b) 図は桁の水平方向加速度との関係である。いずれの試験体も入力加速度 1.0 G 以下では、ほぼ線形な関係がみられるが、1.0G 以上では応答加速度に減少がみられる。その傾向は S55 試験体で著しい。

(c) 図に桁の鉛直加速度との関係を示す。入力加速度の大きな範囲にかなりばらつきが見られるが、平均的には入力加速度の約 1/4 程度の鉛直加速度が発生していることが分かる。

橋脚の最大曲げモーメントとの関係を 図 (d) に示す。この場合にも入力加速度の大きい範囲でばらつきがみられるが、平均的には入力加速度 1.0G 以下では線形関係がみられ試験体による顕著な相違は見られない。H8-15試験体では 1.0G 以上で緩やかな増加になり、600 tfm 程度で降伏している。H8-10試験体では、1.5 G 程度まで線形であり、降伏曲げモーメントは 800 tfm 程度であることが分かる。S55試験体では、降伏状態がみられず、基部の最大曲げモーメントは線形的に増加しており、入力加速度 1.5 G 程度でせん断破壊したものと推定される。各試験体の静的終局耐力は、H8 試験体で約 600 tfm、S55 試験体で約 131 tfm であるが、

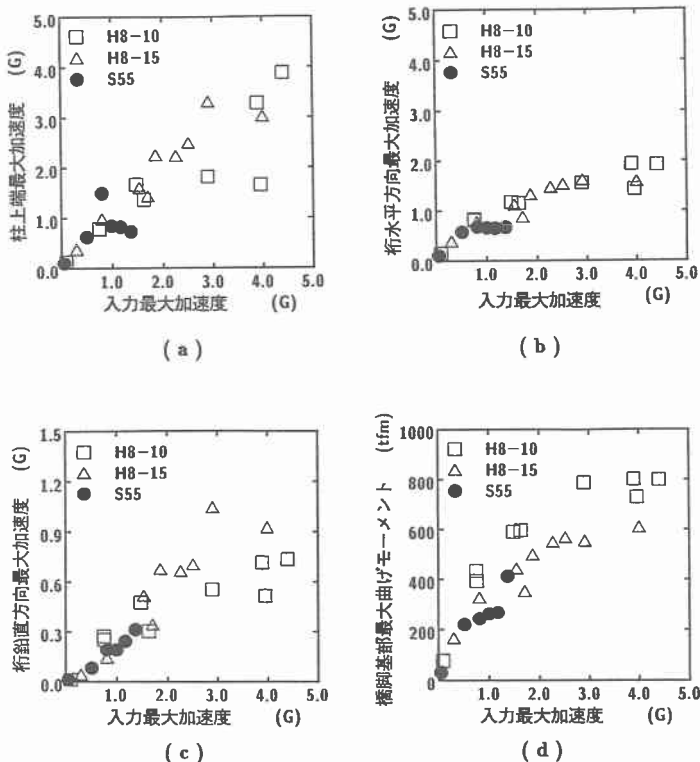


図-7 入力加速度と応答加速度及び曲げモーメントの各最大値の関係

H8-10 及び S55 の試験体では、衝撃荷重に対する耐力増加がみられる。しかしながら、S55 試験体は、H8 試験体と比較して衝撃的な地震荷重に対して耐力も小さく靱性も劣ることが明かである。

3.4. ひび割れ状況

図-8 に実験終了時の試験体に対して、側面におけるひび割れ状況を示す。最終の実験ケースは H8-15、H8-10、S55 に対してそれぞれ L4.5-EPS1.0、L4.5-EPS0.5、L2.0-EPS0.75 であり、それまでの入力加速度累計は異なる。実験終了の条件は橋脚の破壊又は実験装置の制約上走行距離 4.5m までとした。

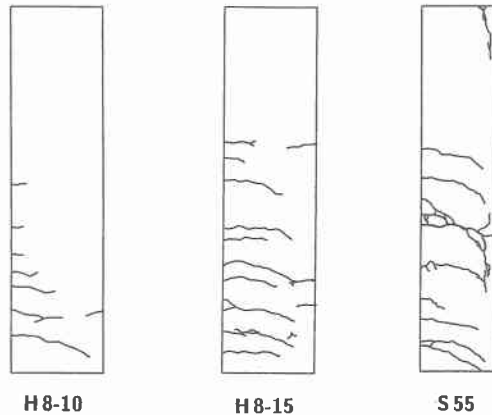


図-7 ひび割れ状況図

図から明らかなように、S55 試験体は、断面も小さく、段落しがあるため、小さな累積入力にもかかわらず、段落し部での曲げひび割れからせん断型へ移行するひび割れの進展により破壊した様子が示されている。

一方 H8 試験体は走行距離 4.5 m で実験を中止したが、いずれも S55 試験体より耐力が大きい。特に、スターラップ間隔の小さな H8-10 試験体は、断面を貫通するひび割れもなく、まだ十分耐力を保持しているようであるが、図-7 (d) に示すように入力加速度の増加に対応した曲げモーメントの増加がみられないことから終局状態と推察される。H8-15 試験体は H8-10 試験体より、ひび割れの数も多く、長さも長く、左右に貫通したひび割れもみられる。このケースもひび割れ状況だけから推察すれば未だ耐力を保持しているようであるが、図-7 (d) 結果より、この試験体も降伏していると推察される。

4. まとめ

RC 橋脚の耐震挙動を検討することを目的に、橋脚の地震時挙動を忠実に再現することのできる実験装置として開発した実規模二径間連続桁模型衝撃載荷装置を用いた加振実験を行った。試験体として平成 8 年度および昭和 55 年度の示方書で設計した RC 橋脚模型を用いた。実験は橋桁模型を乗せた架台を反力壁に衝突させて、地震時入力としているが、衝突速度（走行距離）、緩衝材厚等を調節することにより入力加速度を調節した。

本実験で得られた成果を挙げれば以下のものである。

- 1) 架台の衝突速度および緩衝材厚を調節することにより、入力加速度の制御が可能である。
- 2) 橋脚が健全な範囲では、橋脚はほぼ入力振動と同様の運動をする。
- 3) 1G 以上の最大入力加速度では、桁へ伝達される加速度は低下する傾向にある。
- 4) 応答によって励起される桁の鉛直加速度は入力加速度の 1/4 程度である。
- 5) 衝撃的地震動を受ける橋脚の地震時耐力は平成 8 年度示方書による設計では静的耐力以上である。
- 6) しかし、昭和 55 年示方書による設計の試験体の耐力は、静的耐力以上であるものの破壊は急激なせん断破壊型となる。
- 7) 本実験では、橋脚に正負の軸力が発生しており、桁による拘束の影響が考えられる。

参考文献

- 1) 嵯峨 一、西川篤哉、後藤雪夫、佐藤昌志、岸 徳光：エアーベアリングを用いた衝撃的荷重載荷装置の開発について、土木学会北海道支部 論文報告集、第 54 号 (A)、PP.50-53、1998.2