室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

急速加振を受ける実規模二径間連続桁RC橋脚の動的応答性状

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本コンクリート工学会 公開日: 2012-07-18 キーワード (Ja): 衝撃的荷重, 実規模RC壁式橋脚, 動的挙動 キーワード (En): 作成者: 吉田, 紘一, 佐藤, 昌志, 谷口, 直弘, 岸, 徳光 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1439

論文　急速加振を受ける実規模二径間連続桁 RC 橋脚の動的応答性状

吉田紘一[*1]・佐藤昌志[*2]・谷口直弘[*3]・岸　徳光[*4]

要旨：衝撃的な載荷重下における RC 橋脚の動的挙動を把握することを目的として，実規模二径間連続桁橋模型を製作し，その中間橋脚として橋脚試験体を設置して加振実験を行った．試験体は平成 8 年度と昭和 55 年度の各道路橋示方書に準拠して 3 体製作し，動的応答性状に関する評価・検討を行った．その結果，1) 昭和 55 年度の試験体は入力加速度が 0.8 G 程度で段落とし部が損傷して応答倍率が低下した．2) 平成 8 年度の試験体は同条件下では応答倍率の低下はほとんど見られない，などが明らかとなった．

キーワード：衝撃的荷重，実規模 RC 壁式橋脚，動的挙動

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，特に橋脚など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ことによる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場合にどのような挙動を示すかを把握することは，橋脚などの耐震性向上を図る上で重要であると考えられる．

これまで，橋脚の動的実験は上部工重量に相当する重錘などを橋脚天端に据え付けた 1 質点系モデルを用いて行ってきた．しかしながら，実橋脚は地震時に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上部工剛性による拘束を受けることから，橋脚単体での振動とは異なる挙動を示すものと考えられる．

衝撃的な地震動を受ける橋脚の動的挙動をできるだけ忠実に再現する試みとして，北海道開発局開発土木研究所では大型の走行架台上に実規模の二径間連続鋼製桁模型を製作した[1)]．この架台をエアーベアリングを介し浮かせた状態で走行させ，さらに反力壁を用いて急制動をかけることによって橋脚に衝撃的な地震動を与える方法を考えた．本研究はこの装置を用い，実規模二径間連続桁の中間橋脚として設置した橋脚模型を試験体とし，実挙動により近い形で RC 橋脚の地震時挙動に関する検討を行ったものである．

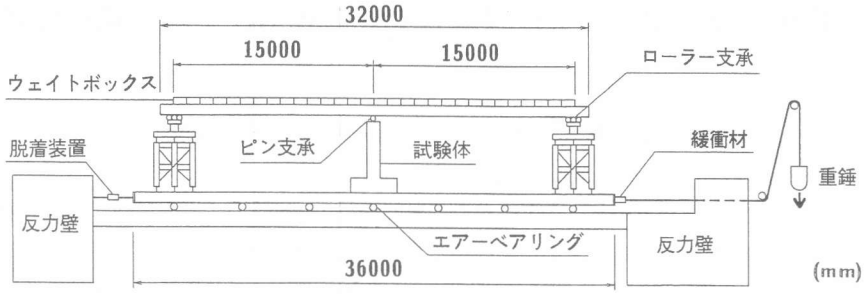
2.　実験概要

2.1　実験方法

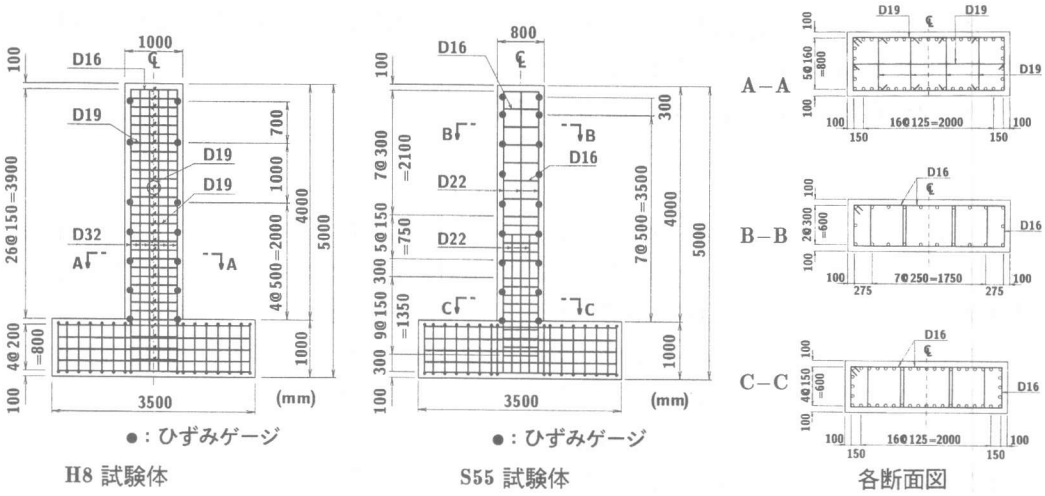
図－1 に実験装置の概要図を示している．本装置は，橋脚および上部工を載せた走行架台全体をエアーベアリングにより浮かせ，脱着装置を解除して重錘を自由落下させることで架台を走行させ，反力壁で急制動をかけることにより地震動に類似した波動を入力する装置である．架台前方には発泡スチロール材（以下，EPS 材）が取り付けられており，その緩衝効果により架台の速度を減速することができ，EPS 材厚を変えることにより制動時間，入力加速度の最大値を調整することができる．この方法で架台に急制動をかけ，橋脚基部に地震動に相当する加速度を入力して実験を行った．

上部工は支間 30 m の二径間連続鋼製桁で，上部工総重量が約 1,060 kN である．この支間中央

*1（社）北海道開発技術センター　常任参与　工修　（正会員）
*2 北海道開発局　札幌開発建設部　札幌道路事務所長　工博　（正会員）
*3（株）土木技術コンサルタント　（正会員）
*4 室蘭工業大学教授　工学部建設システム工学科　工博　（正会員）



図－1　実験概略図



図－2　試験体寸法，配筋およびひずみゲージ貼付位置

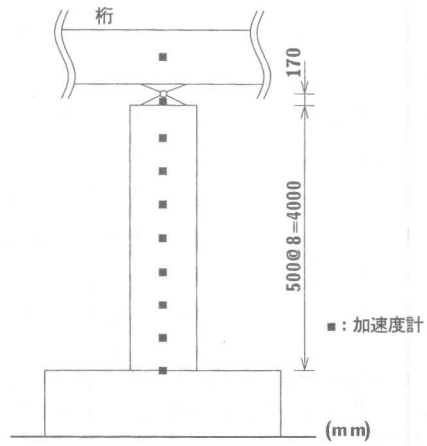
表－1　試験体一覧および実験条件

試験体	主鉄筋	帯鉄筋	コンクリート強度 (MPa)	走行距離 (m)	EPS 材厚 (m)
H8-10	D32	D19-10cm 間隔	27.6	1.0～4.5	0.25～1.0
H8-15	D32	D19-15cm 間隔	16.0	1.0～4.5	0.5, 0.75
S55	D22	D16	28.9	0.5～2.0	0.5, 0.75

に橋脚試験体を置き，天端にピン支承を設置して上部工を支持している．桁端部は，水平移動を妨げないようにローラー支承を設置している．

2.2 実験試験体

実験には，平成 8 年度改訂版道路橋示方書・同解説に基づいて設計・製作された試験体（H8 試験体）2 体と，昭和 55 年度改訂版の同書に準拠した試験体（S55試験体）1 体の合計 3 体を用いた．図―2には試験体寸法，配筋およびひずみゲージ貼付位置を示している．なお，S55 試験体は，平成 2 年度の道路橋示方書に準拠する以前に建設された既設橋脚の補強に関する基礎的資料



図－3　加速度計設置位置

を得ることを目的として，検討対象としたものである．従って，試験体は平成 2 年度の道路橋示方書における耐震基準を満たさず，かつ基部に比較して段落とし部の耐力が小さくなる条件で設計した．その結果，基部から 150 cm の高さで主鉄筋の段落としを行っている．

試験体の底版厚と壁高はともに共通で 100 cm，400 cmとし，壁厚は S55 試験体を 80 cm，H8 試験体を 100 cm とした．用いたコンクリートは設計基準強度 21.0 MPa で，実験時の材令における平均圧縮強度は表－1 に示す値であった． また，鉄筋は全て SD345 を使用している．

2.3 測定項目と実験ケース

本実験における測定項目は，橋脚基部の入力加速度，桁および橋脚の応答加速度，橋脚主鉄筋の応答ひずみである．主鉄筋のひずみゲージは図－2 に示すように中央近傍部の主鉄筋を用い，高さ方向にほぼ 50 cm ピッチに貼りつけている．また，加速度計は図－3 に示すように桁および橋脚の側面に取り付けている．

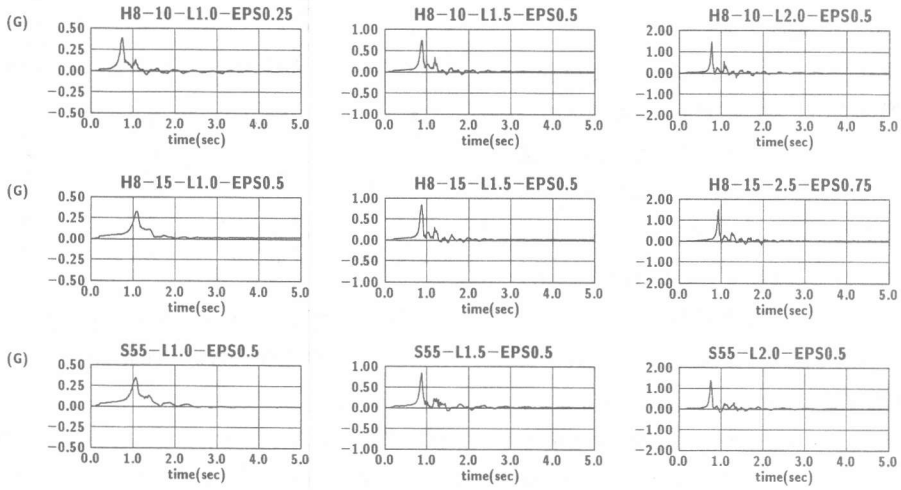
本実験条件を表—1 に要約する．実験は 3 体の各試験体に対して走行距離， EPS 材厚を変化させ，入力加速度の最大値と周期を調節して繰り返し行った．各実験ケースは"試験体名−走行距離 L (m)−EPS 材厚 (m)"として略記することとする．

3. 実験結果および考察

3.1 入力加速度波形および応答加速度波形

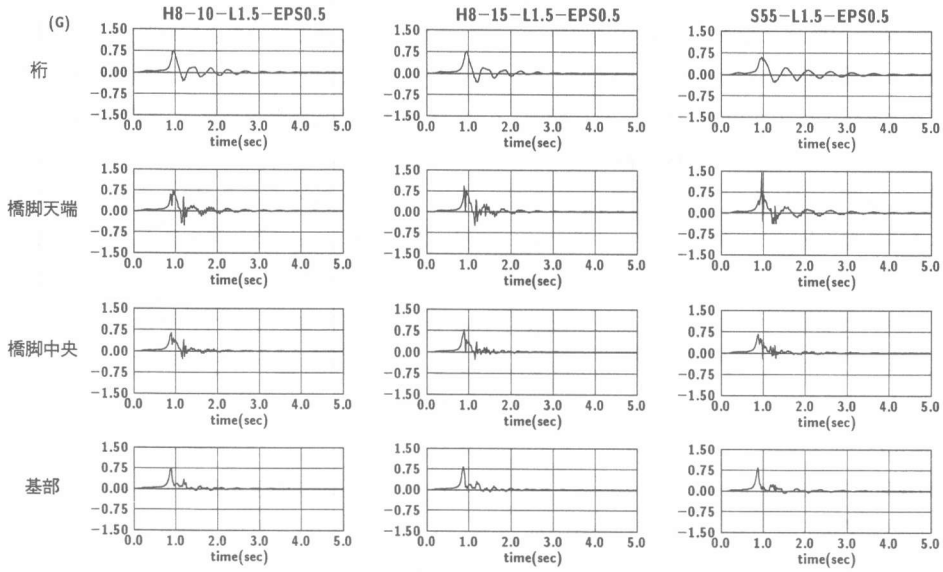
図－4 に代表的なケースの入力加速度波形を示す．表示した実験ケースは，各試験体において，入力加速度のほぼ等しい 3 つのグループにまとめて示した．各グループの橋脚基部の最大加速度は，(a), (b), (c) 図 でそれぞれ約 0.35 G，0.8 G，1.5 G である．図より，同一グループの波形はそれぞれほぼ類似の形状を示していることが分かる．また，(a) 図のEPS 材の薄い H8-10−L1.0−EPS0.25 のケースでは加速度の継続時間が多少短くなっているものの，実験条件を同一に設定することにより入力加速度を精度良く再現出来る．

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，橋脚天端，桁）での応答加速度波形を図－5 に示す．図より，H8 試験体の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．加力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．S55 試験体では，橋脚中央部から上部工桁の加速度波形に，第 1 主波動部のピーク値の低下が見られる．これは，段落とし部でのひび割れ発生等，橋脚が塑性状態へ移行したためと推察される．



（a） 0.35 G レベル　（b） 0.8 G レベル　（c） 1.5 G レベル

図－4　入力加速度波形

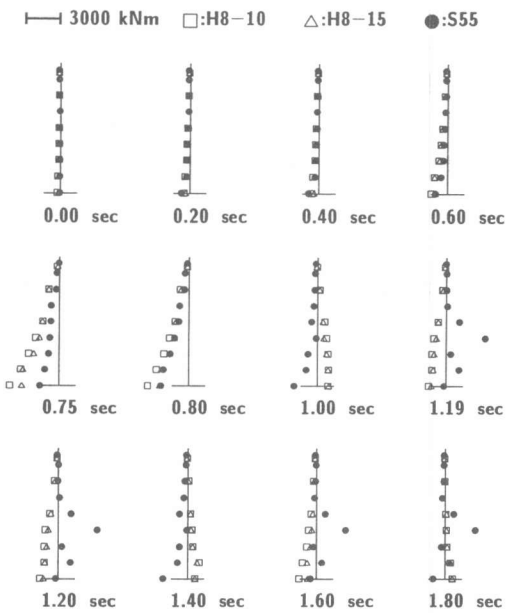


図－5　入力加速度および応答加速度波形（0.8 G 入力レベルの場合）

3.2 曲げモーメントおよび軸力の応答分布

図－6，7には，代表的な実験ケースとして，入力加速度の最大値が等しい走行距離 1.5 m，EPS 材厚 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および軸力分布の時系列の概略を示す．ここに示す曲げモーメントおよび軸力は，橋脚の鉄筋ひずみから断面の平面保持を仮定し断面分割法を適用して算出したものである．図には H8-10，H8-15 および S55 試験体の応答値をそれぞれ□，△，●印で示している．

図－6には曲げモーメント分布を示している．いずれの試験体も 0.6 sec 程度までは柱全体の一次モードが卓越する分布を示している．H8-10 試験体の場合には 0.75 sec 付近で基部の曲げモーメントが最大となり 1.0 sec 付近で一次モードから二次モードへ移行していることが分かる．一方，S55 試験体では 0.8 sec 付近まで一次モードが卓越し 1.0 sec 付近で段落とし部に分布の乱れが見られ，1.19 sec 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．このことから 1.0~1.2 sec 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．



図－6　曲げモーメント分布の経時変化
（0.8 G 入力レベルの場合）

図－7には軸力分布を示している．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が大きく異なるため，個々にスケールを変えて示すとともに，紙

面の都合により，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応答による軸力は小さいものと考えられる．しかしながら，実験結果ではいずれのケースも時間の経過とともに比較的大きな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）による拘束の影響が表れているものと考えられる．

3.3 入力加速度と応答加速度および曲げモーメントの関係

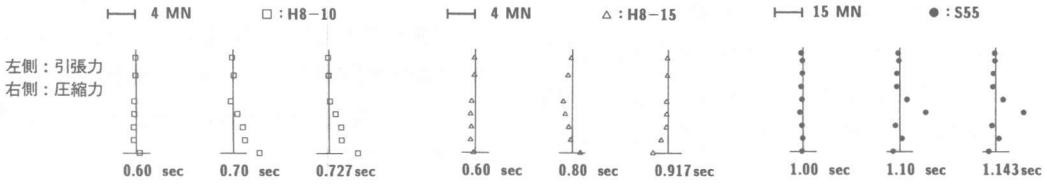
入力加速度の最大値と桁の水平および鉛直方向加速度の最大値，橋脚天端水平方向加速度の最大値との関係を図－8に示す．

(a) 図は橋脚天端の最大水平加速度との関係である．H8 試験体に関しては入力加速度の大きな範囲でばらつきが見られるものの，入力加速度と同程度の応答加速度を示している．しかしながら，S55 試験体では入力加速度 1.0 G 以上で入力加速度よりも小さな応答値を示している．

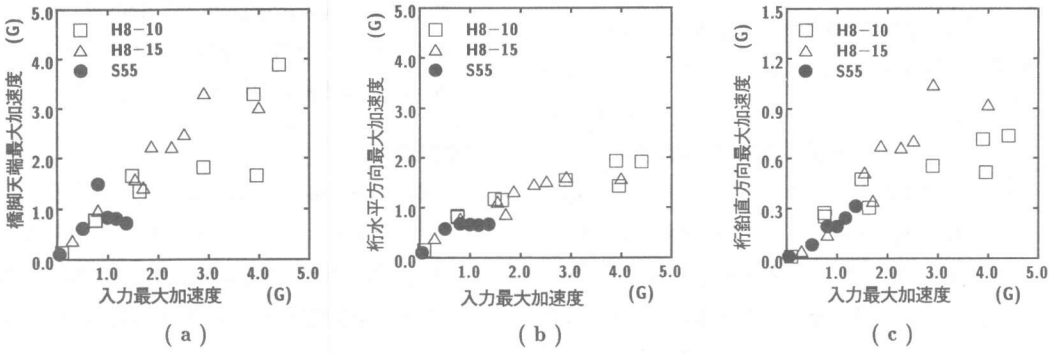
(b) 図は桁の水平方向最大加速度との関係である．いずれの試験体も入力加速度 1.0G 以下では，入力加速度とほぼ線形な関係となっているが，1.0 G 以上では応答加速度が入力加速度より小さい．その傾向は S55 試験体で著しい．

(c) 図に桁の鉛直方向最大加速度との関係を示す．入力加速度の大きい範囲でばらつきが見られるが，桁部には平均的に入力加速度の約 1/4 程度の鉛直方向加速度が発生していることが分かる．

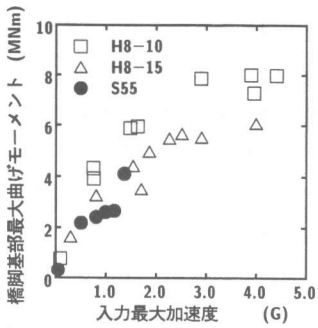
入力加速度と橋脚基部の応答曲げモーメントの最大値との関係を図－9に示す．この場合にも入力加速度の大きい範囲でばらつきが見られるが，平均的には入力加速度 1.0G 以下では線形関係が見られ，試験体による顕著な相違は見られない．H8-15 試験体では 1.0 G 以上で緩やかな増加を示し，6 MNm 程度で降伏している．H8-10 試験体では，1.5G程度まで線形に増加している．また，降伏曲げモーメントは 8 MNm 程度であることが分かる．S55 試験体では基部の最大曲げモーメントが線形的に増加しており降伏状態が示されていないが，後述のひび割れ図より明らかなように，段落し部でせん断破壊したものと推定される．なお，各試験体の静的終局耐力は，H8 試験体で約 6 MNm，S55 試験体は段落とし部で約 1.4 MNm，基部で約 2.4 MNm であり，H8-10 および S55 試



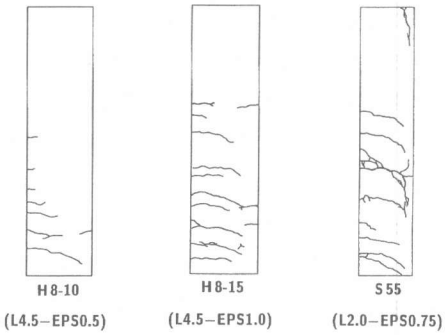
図－7　軸力分布の経時変化（0.8 G 入力レベルの場合）



図－8　入力加速度と応答加速度の各最大値の関係



図－９　入力加速度と応答曲げモーメントの最大値の関係



図－１０　ひび割れ状況図

験体では，衝撃荷重に対する耐力増加が見られる．しかしながら，実験結果より S55 試験体は，H8 試験体と比較して静的耐力と同様に動的耐力も小さく靭性も著しく劣ることが明らかである．

3.4 ひび割れ状況

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

図から明らかなように，S55 試験体は断面も小さく段落としがあるため，小さな累積入力にも関わらず，段落し部近傍における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，帯鉄筋間隔の小さな H8-10 試験体は，断面を貫通するひび割れもなく，まだ耐力を十分保持しているようである．しかしながら，図－９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見られないことから終局状態であるものと推察される．H8-15 試験体は H8-10 試験体よりひび割れの本数も多く，長さも長い．また，左右に貫通したひび割れも見られる．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－９の結果より終局状態に達しているものと推察される．

4. まとめ

壁式 RC 橋脚の耐震挙動を検討することを目的として，著者らが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．

本実験で得られた結果を整理すると，

1) 橋脚が健全な状態では，橋脚はほぼ入力振動と同様の挙動をする．
2) 最大入力加速度が 1G 以上の場合には，桁へ伝達される加速度は低下する傾向にある．
3) 本実験範囲では，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．
4) 衝撃的地震動を受ける橋脚の地震時耐力は平成 8 年度道路橋示方書による設計では静的耐力以上である．
5) 昭和 55 年道路橋示方書に基づいた設計では，地震時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傾向にある．
6) 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