



実規模二径間連続桁模型を用いたRC橋脚の荷重－変位特性

メタデータ	<p>言語: jpn</p> <p>出版者: 日本コンクリート工学会</p> <p>公開日: 2012-07-18</p> <p>キーワード (Ja): 耐震設計, 実規模橋梁模型, RC橋脚, 水平交番載荷, 桁拘束</p> <p>キーワード (En):</p> <p>作成者: 三田村, 浩, 吉田, 紘一, 佐藤, 昌志, 岸, 徳光</p> <p>メールアドレス:</p> <p>所属:</p>
URL	<p>http://hdl.handle.net/10258/1445</p>

論文 実規模二径間連続桁模型を用いた RC 橋脚の荷重－変位特性

三田村 浩^{*1}・吉田紘一^{*2}・佐藤昌志^{*3}・岸 徳光^{*4}

要旨: RC 橋脚の耐震性能を評価するにあたり, 著者らはこれまでに実橋の 1/5 ~ 1/3 程度の模型による水平交番載荷試験等を行ってきた. しかしながら, 既往の実験方法では上部工による拘束等を考慮することは難しいため, 本実験では実規模二径間連続桁模型を製作し, 連続桁を上載した状態で水平交番載荷試験を実施した. その結果, 本実験に用いた RC 橋脚では, 橋脚の荷重－変位特性がフーチングの回転および損傷による影響を受けること, 段落としを有する試験体では損傷が橋脚基部から段落とし部に移行する時点で剛性が大きく低下すること等が明らかになった.

キーワード: 耐震設計, 実規模橋梁模型, RC 橋脚, 水平交番載荷, 桁拘束

1. はじめに

RC 橋脚の荷重－変位特性を検討する方法として, 一般には上載荷重を考慮して, 鉛直荷重を載荷した状態での水平交番載荷試験等が実施されている. しかしながら, このような実験方法は橋脚を 1 質点系として捉えており, 桁による橋脚天端の回転, 変位の拘束が発生する実橋梁とは違った特性を示すことが予想される.

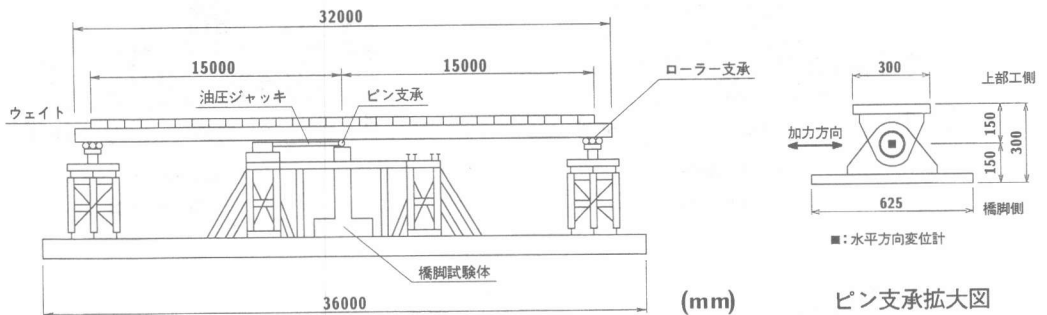
従って, 本実験では, 桁による拘束の影響を考慮しかつスケール効果の影響を排除するため, 実規模二径間連続桁模型を製作し, 実構造物に極力近い条件で RC 橋脚の荷重－変位特性に対する検

討を行った. また, 既往の実験では正方形断面の RC 橋脚に対する検討が多数を占めていることから, 本実験ではこれまで実験報告の少ない長方形断面を有する壁式橋脚に着目し, 主鉄筋の段落しの影響を含めて検討を行った.

2. 実験概要

2.1 実験装置概要

図－1 に実験装置の概略図を示している. 本実験装置は, 橋長 30 m, 幅員 3.0 m, 桁高 0.8 m, 総重量 1058 kN の H 形鋼製二径間連続桁, この桁を支える橋台 (2 基), 支承部, 試験体および



図－1 実験装置概要

- *1 北海道開発局 開発土木研究所 構造研究室研究員 (正会員)
- *2 (社) 北海道開発技術センター 常任参与 工修 (正会員)
- *3 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)
- *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)

表-1 試験体諸元一覧表

試験体	主鉄筋	鉄筋比 (%)	帯鉄筋	中間帯鉄筋	帯鉄筋比 (%)
H8	D32-19	1.46	D19@150	D19@150	1.52
S55	D22-19~10	0.85~0.43	D16@150~300	なし	0.51

架台からなる。支承条件は、供試体上の中間支点をピン支承とし、桁両端部は水平方向の動きを拘束しないようにローラー支承とした¹⁾。

2.2 試験体

試験体の一覧を表-1に示す。試験体は平成8年道路橋示方書に基づいて設計を行ったH8試験体、昭和55年道路橋示方書に基づいて設計を行ったS55試験体の2体である。試験体形状は河川橋梁等で一般的に見られる壁式橋脚を想定し、躯体高4.0m、断面寸法0.8×2.5m(S55)、1.0×2.5m(H8)とした。フーチングに関しては実規模程度の2.5×3.5×1.0mとし、PC鋼棒により架台に固定している。なお、S55試験体はフーチング上1.5mで主鉄筋の段落しをしている。

本実験に用いたコンクリートの設計基準強度は20.58 MPaであり、実験時の材令における平均圧縮強度は、H8 および S55 の試験体でそれぞれ21.98 MPa、22.95 MPaである。なお、用いた鉄筋はいずれもSD345であり、その降伏点応力は349.9 MPa、弾性係数は206 GPaである。試験体の形状寸法と配筋状況を図-2に示す。

2.3 実験方法

用いた橋脚には、実上部工を模擬した2主桁の自重のうち662 kNが死荷重として作用している。すなわち、橋脚に作用する鉛直方向軸応力は、H8試験体の場合には0.27 MPa、S55試験体の場合には0.33 MPaである。水平交番載荷は、この鉛直方向軸応力を作用させた状態で圧縮・引張両用

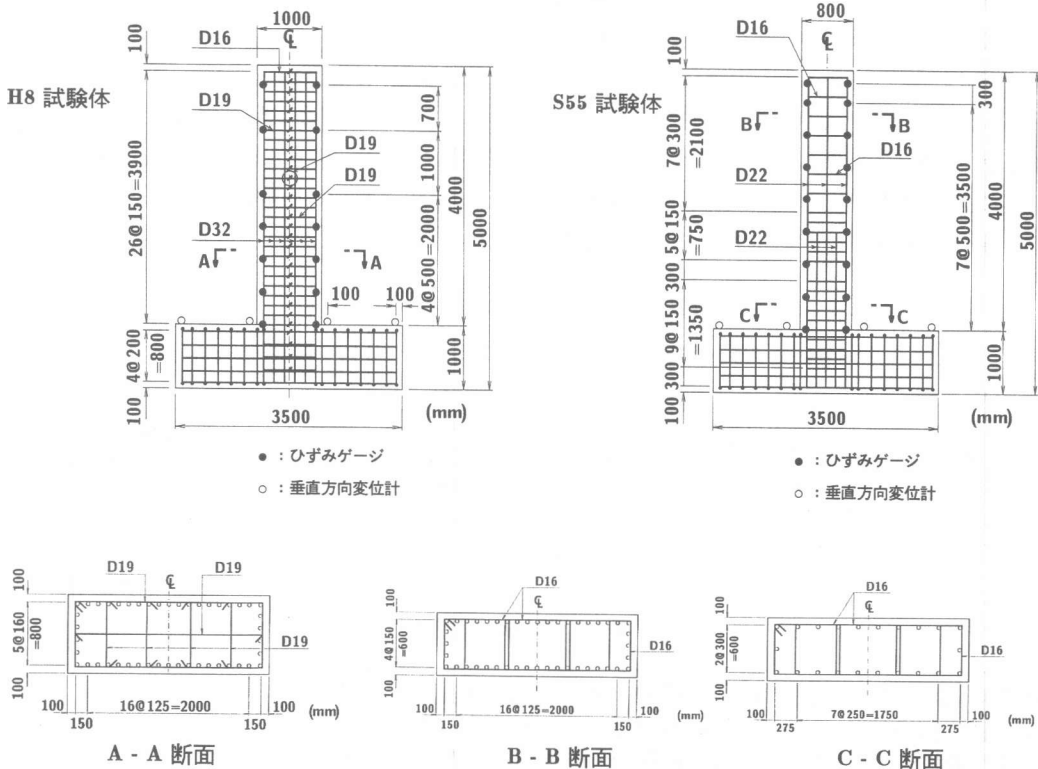


図-2 試験体概要図

表－2 実験結果一覧表

試験体名	変位 (cm)		荷重 (kN)							終局時 変位	終局 塑性率 δ_u/δ_y
	δ_y	δ_u	P_y			P_u			P_{max}		
			正	負	平均	正	負	平均	最大値		
H8	4.5	31.5	906	1,013	960	1,122	1,166	1,144	1,482	$7\delta_y$	6.94
S55	2.0	13.6	399	367	383	390	437	411	563	$6\delta_y$	6.86

の油圧ジャッキを用いて試験体上のピン支承支点部に水平方向に加力することにより行っている。載荷荷重はロードセルで計測し、水平変位はワイヤ式変位計により測定した。

水平交番載荷は、壁中央の主鉄筋に貼り付けた歪ゲージの計測結果をもとに、主鉄筋歪が 1,700 μ に達した時点で引張鉄筋が降伏したものとみなし、その時の変位、荷重を降伏変位 δ_y 、降伏荷重 P_y として δ_y 、 $2\delta_y$ 、 $3\delta_y$ と変位振幅を漸増させて繰り返し加振する方法とした。繰り返し回数は各変位振幅ごとに 5 回とし、1 回目の正・負方向いずれかの載荷荷重が P_y を下回った時点を破壊と定義した。

3. 実験結果および考察

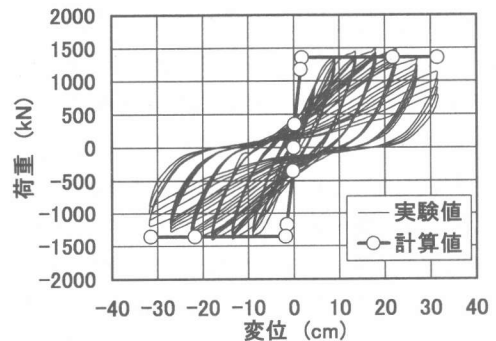
3.1 荷重－変位関係

表－2 および表－3 には、実験結果および断面分割法による計算結果の一覧を示している。表中、 δ_u 、 P_u は終局時の載荷点変位および載荷荷重を意味している。また、図－3 には H8 試験体の荷重－変位曲線に関する実験結果および計算結果を示している。なお、断面分割法は歪の線形変化を仮定し、コンクリート、鉄筋に関する材料試験結果を基に道路橋示方書に即して材料の応力－歪関係、終局歪を設定することにより、曲げモーメント－曲率関係を算定する手法である。載荷点変位は、橋脚を断面方向に 50 分割、高さ方向に 8 分割し曲率の線形変化を仮定して算定している。

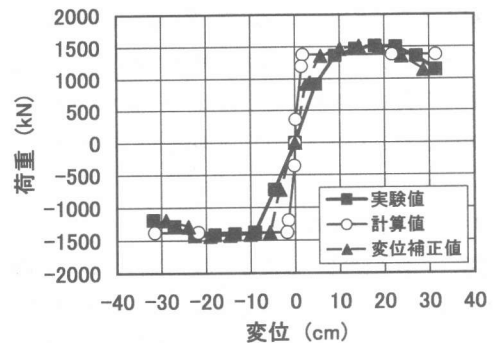
図より、H8 試験体の降伏変位 δ_y は正載荷で 4.5 cm、負載荷で 6.0 cm と載荷方向により大きく

表－3 計算結果一覧表

試験体名	H8	S55
δ_y (cm)	1.51	1.95 (段落し部) 3.25 (柱基部)
P_y (kN)	1,175	465.5 (段落し部) 515.5 (柱基部)
δ_u (cm)	31.5	11.66 (段落し部)
P_u (kN)	1,335	530.2 (段落し部) 584.1 (柱基部)



図－3 H8 試験体荷重－変位曲線図



図－4 H8 試験体荷重－変位包絡線
(フーチングによる変位を補正)

異なる値を示している。これは、正載荷時の基部の損傷により負載荷状態における試験体の剛性が低下したためと考えられる。また、表より降伏荷重 P_y は 906 kN である。最大荷重は $P_{max} = 1,484$ kN となり、その後徐々に荷重が低下し $7\delta_y$ で終局に至った。さらに、断面分割法による計算値と比較すると、荷重はほぼ一致するが、降伏変位は断面分割法の3倍程度の値を示している。本実験では、フーチングを PC 鋼棒によって架台に固定しているが、本試験体は橋脚耐力が大きいため、フーチング先端で 10 mm 程度の浮き上がりが生じている。図-4 にこの浮き上がりによるフーチングの回転を補正した場合の包絡線を示しているが、この場合でも降伏変位は計算値の2倍程度の値を示している。これは、さらにフーチングの損傷、鉄筋の引き抜け等が発生していることを暗示している。

図-5 に S55 試験体の荷重-変位曲線および断面分割法による計算値を、また、図-6 には荷重-変位包絡線を示している。なお、本試験体は表-3 より明らかなように段落し先行型で終局に至る構造となっている。S55 試験体の降伏変位 δ_y は正載荷時に 2.1 cm、負載荷時に 2.0 cm であり、H8 試験体の場合と異なり正負載荷ではほぼ等しくかつ計算値(表-3)に類似している。これは、段落し部の損傷が先行して終局に至る構造であることより、段落し部が見かけ上固定端のように挙動し、降伏荷重 P_y が H8 試験体の 1/2 程度であることや基部の損傷、剛体変形等が小さいためと推察される。また、降伏荷重 P_y は 399 kN である。その後、 $2\delta_y$ 、 $3\delta_y$ と荷重は増加し、 $3\delta_y$ で最大耐力 563 kN を示した後、 $5\delta_y$ で段落し部におけるかぶりコンクリートの剥落により荷重を失い $6\delta_y$ で終局に至った。

3.2 主鉄筋ひずみ分布

図-7 および図-8 には、各試験体の高さ方向の引張側主鉄筋ひずみ分布を示している。図より、H8 試験体ではひずみが柱基部に集中しており、基部からの高さ $h = 150$ cm より上方では降伏ひ

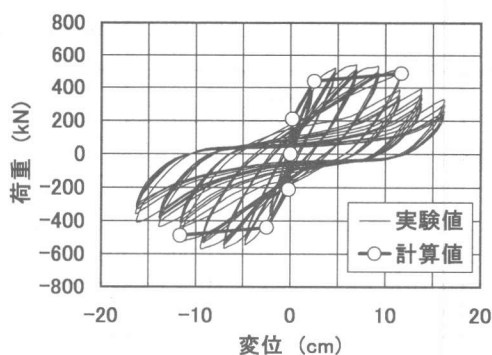


図-5 S55 試験体荷重-変位曲線

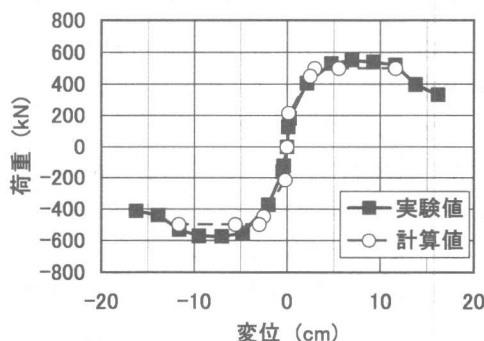


図-6 S55 試験体荷重-変位包絡線

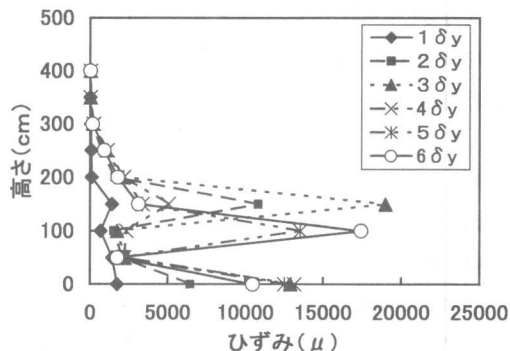


図-7 H8 引張側主鉄筋ひずみ分布

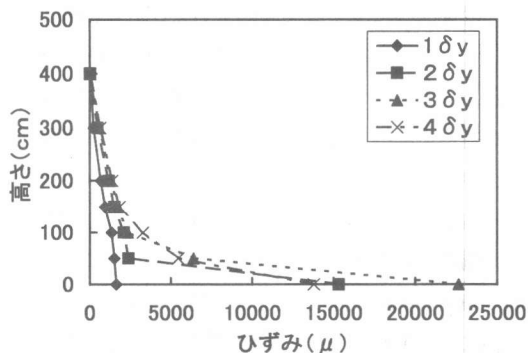


図-8 S55 引張主鉄筋ひずみ分布

ずみ以下の値となっている。S55 試験体では、 $1\delta_y$ から $4\delta_y$ までは段落し部で最大値を示しているが、 $5\delta_y$ 以降は基部からの高さ $h = 100\text{ cm}$ で最大値を示しており、斜めひび割れの進行とともに損傷部が下方に移動しているものと考えられる。

3.3 破壊性状

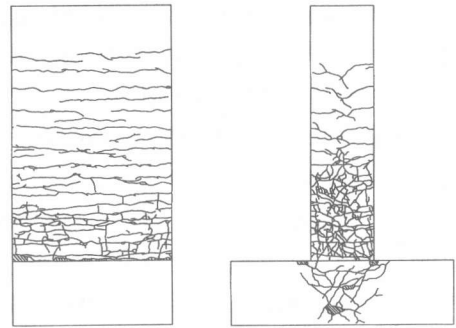
図-9 に各試験体の実験終了後の破壊性状を示す。H8 試験体は、 $1\delta_y$ 載荷時に橋脚基部付近に高さ方向におよそ 30 cm ピッチでひび割れが発生し、その後の載荷においても橋脚基部近傍に損傷が集中している。しかしながら、かぶりコンクリートの剥落は微小である。また、フーチング部にせん断ひび割れが発生しており、最終状態ではフーチング側面のかぶりコンクリートの剥落が見られる。

S55 試験体は、 $1\delta_y$ 載荷時に橋脚基部近傍に約 20 cm ピッチでひび割れが発生しているが、 $2\delta_y$ 載荷時には損傷は段落し部に移行している。その後の載荷状態における損傷は段落し部に集中している。終局時には、段落し部周辺で複数の主鉄筋が座屈または破断し、かぶりコンクリートが広範囲に渡り剥落している。また壁厚方向には段落し部より斜め下方へせん断ひび割れが正、負方向に発生していることがわかる。なお、フーチングには数本の斜めひび割れが生じているが、せん断滑りを生じさせるようなひび割れは発生していない。

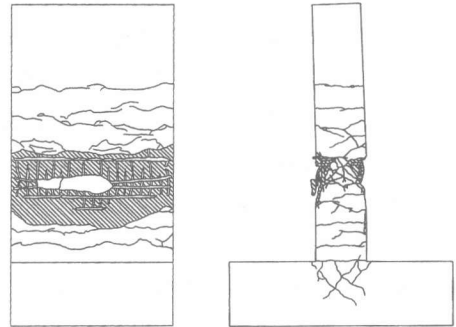
3.4 変形性能

図-10 に各試験体の等価剛性と変位振幅の関係を示す。等価剛性は各変位振幅における正負 1 ループ目の荷重-変位関係を用いて算出した。

図より、等価剛性は各試験体において載荷振幅の増加に対応して指数関数的に減少していることがわかる。S55 試験体では、 $2\delta_y$ 載荷時に急激に剛性が低下しており、損傷が段落し部に移行した時点と一致する。H8 試験体の等価剛性は $1\delta_y$ 載荷時において S55 試験体とほぼ同程度の値を示すが、その後の剛性の低下がゆるやかであり、じん性能が向上していることがわかる。



(a) H8 試験体



(b) S55 試験体

図-9 試験体破壊性状

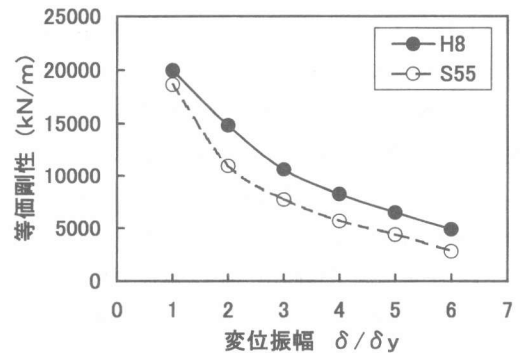


図-10 等価剛性と変位振幅の関係

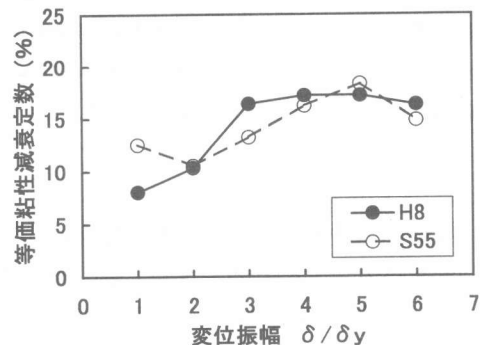


図-11 等価粘性減衰定数と変位振幅の関係

図一 1 1 に等価粘性減衰定数と変位振幅の関係を示す。等価粘性減衰定数は各変位振幅の正負 1 ループ目の履歴曲線を用いて評価している。

S55 試験体では、 $1 \delta_y$ 載荷時には H8 試験体と比較して大きな値を示すが、 $2 \delta_y$ 載荷時に大きく減少し、その後 $5 \delta_y$ までの載荷では変位振幅の増加とともに線形に増加している。その後、 $6 \delta_y$ では段落し部の両端部における主鉄筋が破断するなど完全な塑性ヒンジ状態となり、減衰定数は大幅に低下している。H8 試験体の減衰定数は、 $1 \delta_y$ 載荷時には S55 試験体と比較して小さな値を示している。その後 $2 \delta_y$ 、 $3 \delta_y$ では大幅に増加するが、 $4 \delta_y$ 以降は損傷が柱基部のみに集中することから、ほぼ等しい値で推移している。

図一 1 2 に吸収エネルギーと変位振幅の関係を示した。吸収エネルギーは、前述した荷重－変位関係の包絡線を基に、各変位振幅の正・負側の吸収エネルギーを平均した値とした。

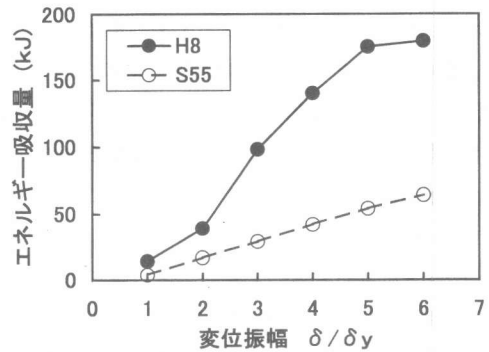
S55 試験体は、H8 試験体と同様に $5 \delta_y$ までは変位振幅の増加に対応して吸収エネルギーがほぼ線形に増加するが、 $6 \delta_y$ ではエネルギー吸収量の伸びが少なくなっている。

H8 試験体では、 $5 \delta_y$ までは変位振幅の増加に対応して吸収エネルギーがほぼ線形に増加するが、 $6 \delta_y$ では $5 \delta_y$ とほぼ等しい値を示している。なお、終局時の吸収エネルギーは、H8 試験体で 179 kJ 程度、S55 試験体で 64 kJ 程度である。

これらの結果から、S55 試験体では段落し部に損傷が移行する $2 \delta_y$ 載荷時に等価剛性及び等価粘性減衰定数が大きく低下すること、H8 試験体は S55 試験体の 3 倍程度エネルギー吸収性能が向上すること、H8 試験体では終局時に高い履歴減衰性能を示すこと、が明らかになった。

4. まとめ

実橋梁に極力近い条件下で RC 橋脚の荷重－変位特性を検討する目的で、鋼製二径間連続桁を上載した状態の実規模橋脚模型を用いて水平交番載荷試験を行った。実験に用いた模型橋脚は、平



図一 1 2 吸収エネルギーと変位振幅の関係

成 8 年道路橋示方書 (H8)、昭和 55 年道路橋示方書 (S55) に基づいて設計を行った 2 体の試験体であり、軸方向鉄筋の段落しの影響について検討を行った。本実験の範囲内で得られた結果を要約すると以下のように示される。すなわち、

- 1) 実規模二径間連続桁を用いた水平交番載荷試験による荷重－変位特性は、耐力の大きい H8 試験体では最大荷重は断面分割法による計算値とほぼ一致するが、フーチングの回転および損傷により、降伏変位は計算値より大きな値を示しており、橋脚の荷重－変位特性を検討する際にフーチングの耐震性にも着目する必要がある。
- 2) H8 試験体の場合には剛性が大きいことより、正載荷時の損傷により正負載荷時の降伏変位が異なる。一方、段落しを有する S55 試験体の場合には段落し部が見かけ上固定端のように挙動し、降伏変位は両者近似した値を示す。
- 3) 段落としを有する S55 試験体では、損傷が橋脚基部から段落とし部に移行する時点で等価剛性及び等価粘性減衰定数が大きく減少する。また、段落とし部の損傷により橋脚の変形性能が大幅に低下する。

参考文献

- 1) 西川篤哉・佐藤昌志・谷本俊充・角田興史雄：実規模 2 径間連続桁を用いた橋脚の荷重－変位特性について 土木学会北海道支部論文報告集 第 54 号 P438～P441, 1998.1