

Ⅲ-4-1 土木構造物の耐震性能評価方法に関する国際共同研究（1）

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 12～平 16

担当チーム：耐震研究グループ（耐震）

研究担当者：運上茂樹、西田秀明、塩島亮彦

【要旨】

近年、国際標準化機構（ISO）において制定される国際規格（ISO 規格）の整備が進められている。しかし、橋梁構造物等の土木構造物に対する耐震性能の評価法に関する ISO 規格についてはまだ整備されていない。このような背景から、本研究では実験に基づいた橋梁の耐震性能評価手法の提案を目的とするものである。

米国連邦道路庁との連携のもと、橋脚を対象とした正負交番載荷実験および振動台実験に基づく耐震性能評価手法について、耐震性能の評価方法の比較、耐震性能の評価のための共通的な実験手法の検討を行い、その結果を橋の耐震性能の評価に用いる実験手法に関するガイドライン(案)としてとりまとめた。

キーワード：耐震性能評価、実験手法、橋脚、正負交番載荷実験、振動台実験

1. はじめに

橋の耐震性能を照査する手法としては、解析に基づく照査法の他に、実験により橋の地震時挙動や部材の耐力・変形性能等を明らかにした結果を適切に耐震性能の照査に反映させる照査法がある。

橋の耐震性能や部材の耐力・変形性能、非線形履歴特性を検証する実験方法には正負交番載荷実験、疑似動的載荷実験、振動台実験等がある。これらの実験方法については、現在、統一されたルールがなく、個々の事業者や研究者が保有している実験に関する知見に基づいて実施しているのが現状である。そのため、同じ構造物を対象とした実験であっても、実験供試体の設計や製作方法、載荷方法、計測方法は異なっており、これが原因で本来同じになる実験結果に差異が生じる場合があることから、実験的な検討に基づいて耐震性能を評価する際は注意が必要である。

そこで、主に鉄筋コンクリート（RC）橋脚の実験に基づく耐震性能評価法について、最も代表的な正負交番載荷実験、及び地震時と同様に構造物を挙動させる振動台実験を対象に、実験結果に差異が生じると考えられる項目や統一事項として考慮すべき点について検討を行うとともに、これを含めて橋の耐震性能の評価に用いる実験手法に関するガイドライン(案)としてまとめた。また、米国連邦道路庁と連携し、耐震性能の評価方法の比較、耐震性能の評価のための共通的な実験手法の検討を行った。

2. 正負交番載荷実験による耐震性能評価手法

2.1 縮小模型鉄筋コンクリート橋脚による寸法効果

鉄筋コンクリート橋脚に対する実大規模の実験を含めた既往の実験結果を用いて寸法効果の影響について検討した。この結果、塑性変形性能を検証するために行われる正負交番載荷実験では、縮小模型を設計する場合、配筋条件等が実験結果に影響を及ぼすことが明らかとなった¹⁾。この検討結果と実験における制約条件等を踏まえて、縮小模型を用いた実験において寸法効果の観点から配慮すべき事項をまとめた。

縮小模型を設計する際は、できる限り相似則に基づくものとする。しかし、実際には、規格鉄筋の径が限られていることや模型施工上の制約等から、全ての条件を相似則に基づいて縮小模型を製作することは非常に難しい。このような場合、例えば、ほぼ同じ軸方向鉄筋比であっても太径の軸方向鉄筋径を用いた方が塑性ヒンジ長やフーチングからの軸方向鉄筋の伸び出しによる変位が大きくなるといった寸法効果が現れ、塑性変形性能にも差が生じる²⁾。また、縮小率が大きい場合、忠実に相似則に従うと非常に細い鉄筋を用いなければならないことになるが、鉄筋自体の材料特性やコンクリートとの付着特性が実構造物と異なることにより新たな寸法効果の原因となることもある。以上のことから、できる限り大きな供試体を用いて縮小率に応じて適切に縮小模型を設計、製作することが望ましいと共に、それが難しい場合は、上記のような寸法効果を実験結果の解釈の際に踏まえておく必要がある。

2.2 正負交番載荷実験における載荷パターンの設定

当該橋脚がどの程度の塑性変形性能を保有しているかを検証する手法である正負交番載荷実験では、一

般に、降伏変位を基準変位としてその整数倍の変位を順次与える載荷方法が採用されているが、載荷繰返し回数は実験者により異なっている。しかし、載荷繰返し回数や載荷履歴の差異は、終局変位やじん性率等の塑性変形性能の評価に影響を生じる^{3)~6)}。そこで、1自由度系にモデル化したRC橋脚を対象に多数の実地震波形を用いた非線形地震応答解析を行い、RC橋脚に生じる非線形応答の繰返し回数特性に基づいて単柱式RC橋脚に対する正負交番載荷実験における載荷パターンの提案を行った。

解析における履歴復元力特性は、バイリニア型武田モデル(二次剛性比0.001)とし、除荷剛性低下指数は0.5とした。ここで、ある入力地震動に対して系に生じる最大応答変位を δ_{max} 、降伏変位を δ_y とし、最大応答塑性率 μ_{max} を次式で定義した。

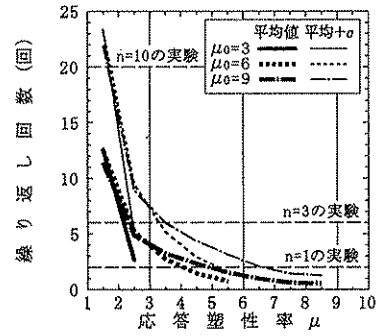
$$\mu_{max} = \delta_{max} / \delta_y \quad (1)$$

解析は、目標最大応答塑性率と固有周期を設定し、これに達するような系の降伏耐力 P_y 、降伏変位を収束計算により定め、どのような入力地震動に対しても所定の最大応答塑性率が生じるように考慮した。

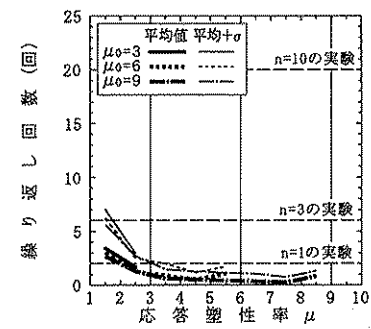
入力地震動は、マグニチュード6.5以上の25地震により実測された77成分と耐震設計用模擬地震動18成分の計95成分である。対象固有周期は0.1~2.0秒の10ケース、目標最大応答塑性率は3.0、6.0、9.0の3ケースとした。

解析により得られた応答変位波形について、最大応答変位が生じる前までの時間においてどの程度の塑性応答変位が何回生じているかを正側負側で別々に計数し、これを地震動タイプ別(海洋型のタイプIおよび内陸直下型のタイプII)に度数分布表記したものを図-1に示す。ここで、応答塑性率がk以上k+1未満の繰返し回数は、図の横軸においてk+0.5の位置にプロットしている。また、ここでは、全解析ケースに対する平均値と標準偏差を示している。

この結果、タイプI地震動では、標準偏差の1倍のばらつきを考慮すると、1~2 δ_y の応答が23回前後作用するが、3~4 δ_y では6回前後、5~6 δ_y では3回前後と低減している。また、タイプII地震動では、タイプI地震動より明らかに少なく、1~2 δ_y の応答が6回前後作用するが、3 δ_y 以降では1回ずつ程度しか作用していない。一般的な正負交番載荷実験では、載荷変位とは無関係に繰返し回数を一定としているが、この解析結果から、載荷変位の増大に伴い徐々に繰返し回数を減らす方が合理的であるといえる。この解析結果

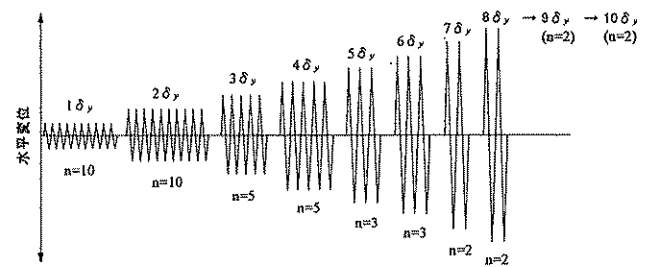


(a)タイプIの地震動

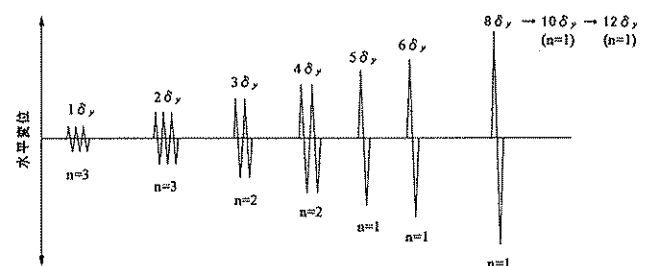


(b)タイプIIの地震動

図-1 塑性応答の繰返し回数



(a)タイプIの地震動に対する載荷パターン



(b)タイプIIの地震動に対する載荷パターン

図-2 鉄筋コンクリート橋脚に対する正負交番載荷実験における載荷パターンの設定例

を踏まえ、単柱式鉄筋コンクリート橋脚に対する正負交番載荷実験における載荷パターンの設定した例を図-2に示す。

2.3 正負交番載荷実験における曲率の計測

曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形性

能は、塑性ヒンジの回転によって支配的にコントロールされるため、塑性ヒンジ内部における曲率やその分布を計測しておくことで塑性変形特性の評価における有用なデータとなる。

曲げが卓越した鉄筋コンクリート橋脚の柱頭部における水平変位は、せん断変形を無視すると、曲げ変形理論より曲率 ϕ を用いて次式で評価できる。

$$\delta = \int_0^H \phi y dy \quad (2)$$

ここで、

ϕ : 柱頭部から y の断面における曲率

y : 柱頭部からの距離

H : 橋脚基部から柱頭部までの高さ

耐震設計で一般に終局時と想定している損傷が生じている時の曲率は、解析的に求めることは困難であるため、実験により計測した曲率分布を用いることで合理的に終局水平変位を算定できる。

曲率は、本来断面毎に定義される指標であるが、実験においてこれを求めることは難しいことから、図-3のような方法によるのが一般的である。柱高さ方向に対して設定した計測区間長における圧縮縁近傍ならびに引張縁近傍の相対変位を変位計により計測し、これから計測区間内の平均曲率を次式により算出する。

$$\phi = \frac{\Delta_T - \Delta_C}{D_i \cdot h} \quad (3)$$

ここで、

ϕ : 計測区間内の断面における平均曲率

Δ_T, Δ_C : 計測区間における引張縁および圧縮縁近傍の相対変位

D_i : 引張縁側と圧縮縁側に配置された変位計の距離

h : 計測区間長

このようにして曲率を計測する場合、計測区間長によって曲率の計測値が変化することになる。断面高さ D が 600mm、1200mm、2400mm の実験供試体に対して、かぶりコンクリートが剥落するような損傷段階において計測された曲率分布と計測区間長を変えた場合の曲率分布を整理した結果を図-4に示す。計測区間長を小さくすると、ひびわれの生じた断面を含んだ領域の局所的な曲率が計測されるようになるため多少凸凹がある分布となっているが、計測区間長を断面高さの 0.13~0.25 倍とすると、橋脚基部に近づくにつれ曲率が漸増する分布が得られると共に、弾性と塑性曲率の発生境界が精度良く特定できることがわかる。これに対し、計測区間長を断面高さの 0.4 倍程度以上とす

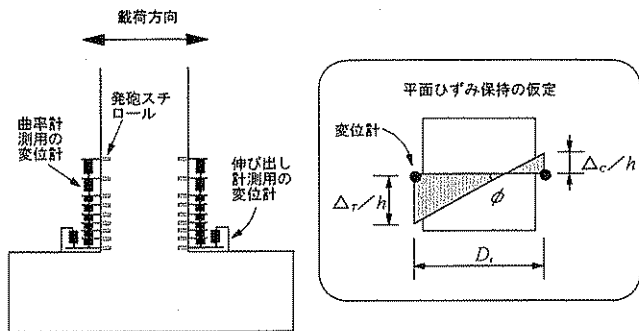
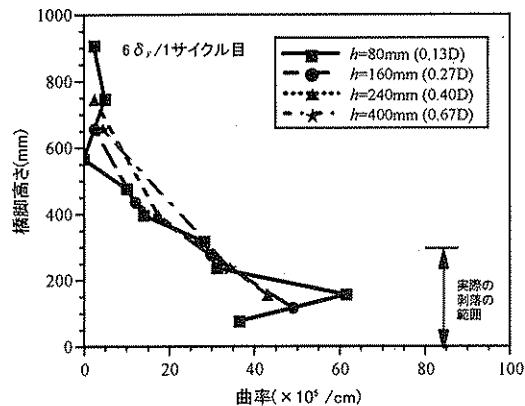
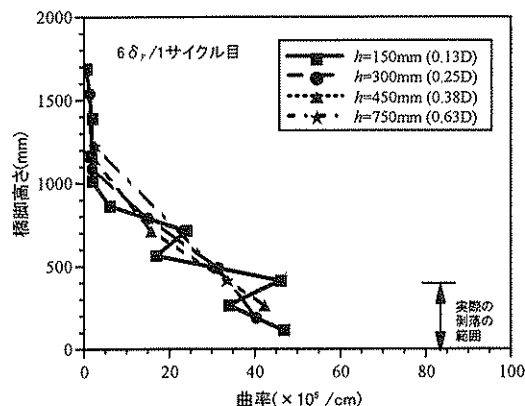


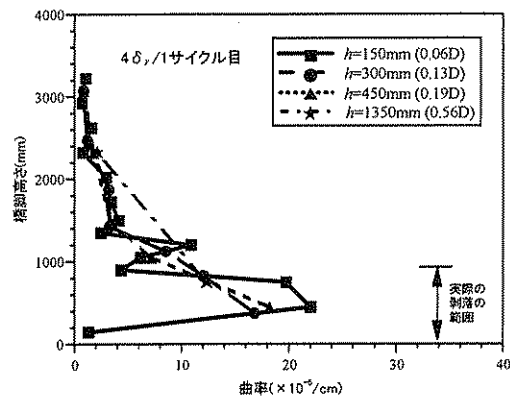
図-3 一般的な曲率の計測方法



(a)断面高さ 600mm の供試体



(b)断面高さが 1200mm の供試体



(c)断面高さが 2400mm の供試体

図-4 計測区間長が曲率の計測値に及ぼす影響

ると、弾性と塑性曲率の境界の特定が困難になる。以上より、曲率分布を精度良く計測するためには、計測区間長は断面高さの0.25倍以下とするのが良いと考えられる。

3. 振動台実験による耐震性能評価手法

3. 1 実験供試体模型の設計・製作と相似則

縮小模型を用いて振動台実験を行う際は、相似則に基づいて模型を設計、製作するが、正負交番载荷実験で考慮した点に加えて、慣性力の作用により断面力を得ること、時間の概念が加わることから、加振計画とあわせて相似則を考慮する必要がある。

橋脚の振動台実験では慣性力や軸力の作用方法により相似則の適用方法が異なる。供試体が上部構造に相当する重錘や桁模型による重量を直接支持している場合(図-5)、重力加速度は供試体の大きさによらず一定である。また、使用材料は一般に実構造物と供試体で同一のものを用いるため材料の弾性係数も一定となる。この条件において長さに関する縮小率(実構造物/供試体)を S_L として各物理量の相似率を考慮すると、縮小率に対して質量の次元が2乗、体積の次元が3乗であるため、密度は-1乗の次元となる。しかし、使用材料が実構造物と同一であることから、応力に対して相似則を満足するためには、実構造物の上部構造質量 m に対して、次式の Δm が付加質量として必要である。

$$\Delta m = \frac{m}{S_L^2} - \frac{m}{S_L^3} = \left(\frac{S_L - 1}{S_L^3} \right) m \quad (4)$$

付加質量には、コンクリートブロックや鋼板ウエイトが用いられるが、慣性力作用中心位置が供試体のみの場合と異なることに注意が必要である。縮小率が大きくなると相対的に付加質量も大きくなるため必要な質量を負荷できないことがあり、結果として供試体の固有周期や耐力も相似則を満たさなくなることがある。また、時間は長さの0.5乗の次元であるため、縮小率が大きいと極端に加振時間が短くなることから、地震時挙動の再現を目的とした実験では特に注意が必要である。以上より、できうる限り供試体の縮小率は小さくするとともに、適宜加振時の入力加速度の縮小率を調整し目標とする応答性状が得られるようにする必要がある。

図-6のように質量部に発生する慣性力を、加力梁を介して供試体に作用させる方法もあるが、この場合には、模型供試体の自重を無視すると上部構造重量に

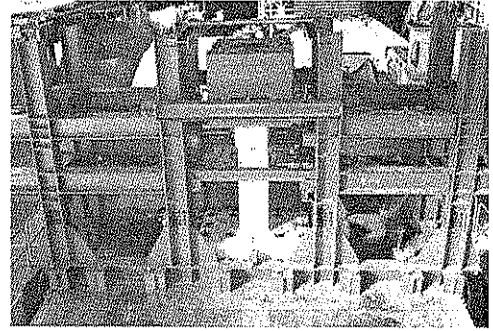


図-5 模型供試体が重錘を直接支持する例

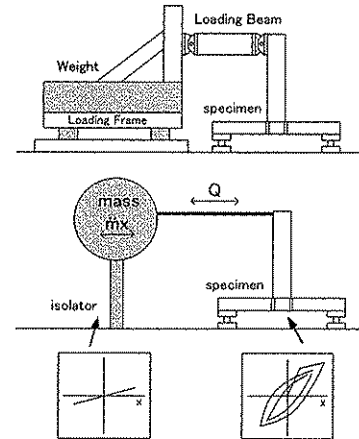


図-6 質量部に発生する慣性力を加力梁を介して模型供試体に作用させる例⁷⁾

表-1 振動台実験に適用する相似則の例

物理量	供試体によって支持された上部構造	
	あり	なし
長さ	S_L	S_L
時間	$S_L^{0.5}$	$S_L^{0.5} S_A^{-0.5}$
振動数	$S_L^{-0.5}$	$S_L^{-0.5} S_A^{0.5}$
応力	1	1
弾性係数	1	1
力	S_L^2	S_L^2
曲げモーメント	S_L^3	S_L^3
曲率	S_L^{-1}	S_L^{-1}
加速度	1	S_A
質量	S_L^2	$S_L^2 S_A^{-1}$
重量	S_L^2	S_L^2

S_A : 加速度の縮小率

よる鉛直方向の重力場が作用しないため加速度の次元を1にしなくてもよい。

以上2つの実験手法での相似則の整理例を表-1に示す。

また、相似則だけでなく振動台の加振能力や許容モーメント、周波数などの諸特性、供試体の振動に伴い振動台に作用する反力や損傷進展に伴う共振周波数の変化、振動台の制御方法なども考慮し、供試体の設計・

製作を行う必要がある。

3. 2 計測項目と計測方法

計測項目および計測方法は、実験目的や供試体の設置方法等に応じて適切に選定することとなるが、正負交番載荷実験における荷重-変位関係に相当するものとして、供試体の慣性力作用中心位置もしくは桁などのこれに準じる位置における応答加速度および応答変位、さらに振動台上の加速度は計測するものとする。

加速度は、振動台の加振能力や制御、供試体反力の影響等により加振軸以外にも加速度が生じうるため慣性力作用中心位置と振動台上において3成分測定することが望ましい。変位測定では不動点を振動の影響が生じない振動台の外部にとることが望ましいが、振動台上に剛性フレームを組み不動点を取る場合、変位計設置位置における加速度を計測し、振動台上の加速度との差分を2回積分して求められるフレームと振動台との相対変位分を補正できるようにする。

荷重は計測することが望ましいが、何らかの要因により荷重計測が困難な場合、荷重相当の物理量として慣性力作用中心位置における応答加速度と質量から求めた慣性力を求めることがあるが、慣性力は復元力と減衰力の和であり、正負交番載荷実験で得られる荷重(復元力)と異なる。

付加質量が大きくかつ重心が高い場合、回転慣性による影響が大きくなる場合があるので、この影響を評価できるよう複数箇所での加速度を測定するか、もしくは回転慣性の影響が生じないように加振軸以外の並進や回転を拘束する治具を設置するのがよい。

サンプリング周波数は、ナイキスト振動数とエイリアジング誤差を考慮して決定する。例えば必要とする周波数を100Hzとした場合、ナイキスト振動数からデータ収録は200Hzで行い、エイリアジング誤差を除去するために100Hz以上をローパスフィルタでカットすることとなる。

3. 3 加振計画

振動台実験において用いる加振波の入力レベルの設定は、正負交番載荷実験ほど共通したルールは存在せず実験の目的により異なる。橋脚の各限界状態(ひびわれ、使用、修復、終局)に対応した応答特性や、安全性の検証を主目的とした実験を行う場合は、各限界状態に対応する加振レベルを設定し、徐々に大きな入力をすることが多い。しかし、地震時の挙動の再現を主とした実験の場合にこのような加振を行うと損傷の蓄積による劣化の影響が応答特性に含まれることとなるため、橋脚の基本特性を把握するための加振の後

に、目標とする加振レベル(通常非線形応答を想定することから大振幅の加振)を行うこともある。

加振レベルの設定の際は、事前にシミュレーション解析を行い、相似則を考慮して入力波の振幅や時間軸を調整して設定する。また、事前解析は振動台や計測機器の性能、過大な損傷による倒壊等の安全面での問題点を確認するために必要である。塑性化後の供試体では、応答加速度増分はそれほど大きいのに対し応答変位増分は大きくなること、一般に大規模な損傷が生じうる状態における解析の精度はそれ以前の損傷にとどまる場合に比べて低いことから、実験では解析結果より大きな応答変位を生じる可能性が高いことも考慮しておく必要がある。各加振終了後に解析結果と比較し、事前の予測が著しく異なる場合は、その原因を調査すると共に必要に応じて以降の加振計画の変更を検討する。

損傷進展度を把握するためには、固有振動数の変化が目安となる。固有振動数は、本加振の前後に、ホワイトノイズや正弦スイープ波による微小加振を行い、振動台と慣性力作用中心位置(またはこれに相当する位置)における振幅スペクトル比のピークから求めることができる。また、衝撃試験や油圧投入時に生じる微振動を用いることもできる場合もある。

3. 4 実験条件および結果の明示

正負交番載荷実験に比べて自由度が大きいことから、振動台の加振性能や制御方法を含めて、実験条件の明確化が特に重要である。振動台実験の実験条件および結果を整理する際に明示する項目を整理すると次のようになる。

- 1) 実験諸元(付加質量や拘束治具等を含めた供試体図、計測項目と計測位置、材料特性、縮小率と基本定数の設定法)
- 2) 加振計画(入力波形、振幅レベル、時間軸)
- 3) 慣性力作用中心位置(またはこれに相当する位置)での応答加速度および応答変位
- 4) 供試体の固有振動数
- 5) 供試体の損傷状況(ひびわれ、鉄筋の座屈などの断面損傷)

4. 橋の耐震性能の評価に用いる実験手法に関するガイドライン(案)

以上の結果を踏まえ、正負交番載荷実験および振動台実験を対象として、橋の耐震性能の評価に用いる実験手法に関するガイドライン(案)としてまとめた。また、2003年6月に開催された米国における実験手法

検討委員会において、日米の実験手法に関するガイドライン(案)の内容について協議を行った。今後、日米双方で共通的に活用できる実験手法に関するガイドライン(案)について検討を行う予定である。

5. 国際間の耐震性能の評価比較

国際間で異なっている耐震性能評価法が耐震設計等に及ぼす影響を検討するために、米国連邦道路庁と共同で実施した比較設計、比較振動台実験結果について整理を行った。これより、両国の耐震設計基準に基づいて設計した供試体はいずれも所要の耐震性能を有することが検証されたが、日本の耐震設計に基づいて設計した供試体は、剛性が高いため固有周期が短く、また、特に軸方向鉄筋が破断するような段階においては損傷範囲が広がる点、米国の耐震設計基準に基づいて設計した供試体では残留変位が大きくなる点、にそれぞれ特徴があることがわかった。なお、この成果は、文献8)、9)として共同発表した。このような比較検証を通じて、国際間の耐震性能評価のキャリブレーション手法を示した。

6. まとめ

橋の実験に基づく耐震性能評価法における実験結果に差異が生じると考えられる項目や統一事項として考慮すべき点等について、主に鉄筋コンクリート橋脚を対象として、最も代表的な正負交番載荷実験、及び地震時と同様に構造物を挙動させる振動台実験について検討を行った。

本研究により得られた成果をまとめると以下の通りである。

- 1) 縮小模型を用いた実験を行う場合は、寸法効果の影響が含まれることから相似則に注意する必要がある。塑性変形性能を評価するための実験においては、軸方向鉄筋比が同じであっても軸方向鉄筋径が異なると塑性ヒンジ長やフーチングからの伸び出し変位に有意な影響を及ぼすことから、縮小率に応じた適切な模型の設計が重要であることがわかった。
- 2) 振動台実験では、これらに加え、慣性力の作用方法や時間の概念も含めて相似則を含めて考慮する必要がある。代表的な実験形態(供試体が付加質量を直接支持する場合および慣性力を加力梁を通して供試体に作用させる場合)について、供試体の設計・製作および加振計画策定時に用いる相似則を整理、提案した。

- 3) RC 橋脚に生じる非線形応答の繰返し回数の分析を行い、その結果を基に、耐震性能の評価のために実施される RC 橋脚の正負交番載荷実験に用いる載荷パターンをタイプ I 地震動、タイプ II 地震動に対して提案した。
- 4) 塑性変形性能の評価において有効なデータである曲率を精度良く計測するためには、計測区間長は断面高さの 0.25 倍以下とするのがよいことを提案した。
- 5) 正負交番載荷実験および振動台実験に関する検討結果を、橋の耐震性能の評価に用いる実験手法に関するガイドライン(案)として取りまとめ、構造部材の耐震性能評価のための実験手法の開発を行った。
- 6) 国際間で異なっている耐震性能評価法が耐震設計等に及ぼす影響を検討するために、米国連邦道路庁と共同で実施した比較設計、比較振動台実験結果について分析を行い、耐震性能評価の差を明確にすると共に、国際間の耐震性能評価のキャリブレーション手法の開発を行った。

参考文献

- 1) 星隈順一、運上茂樹、長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす断面寸法の影響に関する研究、土木学会論文集、No.669/V-50、pp.215-232、2001年2月
- 2) 星隈順一、運上茂樹、川島一彦、長屋和宏：載荷繰返し特性と塑性曲率分布に着目した曲げ破壊型鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形性能とその評価法、構造工学論文集、Vol.44A、pp.877-888、1998年3月
- 3) 川島一彦、長谷川金二、長島博之、小山達彦、吉田武史：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査法の開発に関する研究、土木研究所報告第190号、1993年9月
- 4) Kawashima, K. and Koyama, T.: Effect of Number of Loading Cycles on Dynamic Characteristics of Reinforced Concrete Bridge Pier Columns, Proceedings of JSCE, No.392 / I-9, pp.205-213, 1988.4
- 5) 尾坂芳夫、鈴木基行、蟹江秀樹：RC柱の履歴復元力特性に及ぼす載荷速度と載荷パターンの影響、構造工学論文集、Vol.34A、pp.911-922、1988年4月
- 6) 武村浩志、川島一彦：載荷履歴特性が鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす影響、構造工学論文集、Vol.43A、pp.849-858、1997年3月
- 7) 秋山宏、山田哲、箕輪親宏、寺本隆幸、大竹章夫、

矢部喜堂：「慣性力加力装置を用いた構造要素の実大震度振動実験方法」、日本建築学会構造系論文報告集, No.505, 1998.

- 8) A Comparative Study of U.S.-Japan Seismic Design of Highway Bridges: I. Design Methods W. P. Yen, J. D. Cooper, S. W. Park, S. Unjoh, T. Terayama and H. Otsuka, pp. 913-932, Earthquake Spectra, Volume 19, Issue 4, 2003.
- 9) A Comparative Study of U.S.-Japan Seismic Design of Highway Bridges: II. Shake-Table Model Tests S. W. Park, W. P. Yen, J. D. Cooper, S. Unjoh, T. Terayama and H. Otsuka, pp. 933-958, Earthquake Spectra, Volume 19, Issue 4, 2003.

発表論文(上記以外)

- 1)星隈順一、運上茂樹：入力地震動の特性とRC橋脚に生じる塑性応答回数、コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, pp.1243-1248, 2001年
- 2)星隈順一、運上茂樹、長屋和宏：RC橋脚に対する正負交番載荷実験における曲率の計測とその精度、土木学会第56回年次学術講演会, 5部門, 2001年10月
- 3)星隈順一：実験に基づく橋の耐震性能の評価、第5回橋梁構造等の耐震設計法に関する講習会、土木学会地震時保有耐力法に基づく耐震設計法の開発に関する研究小委員会, pp.95-118, 2002年10月
- 4) Jun-ichi Hoshikuma, Shigeki Unjoh : Evaluation of Load Pattern in Bridge Column Testing for Seismic Performance Verification, SEWC2002, T2-11-2, October 2002
- 5) Jun-ichi Hoshikuma, Shigeki Unjoh : The Guidelines for Testing of Seismic Performance of Bridge Columns, Proc. of the 18th US-Japan Bridge Engineering Workshop, pp.121-132, October 2002
- 6)運上茂樹, 星隈順一, 西田秀明, 塩島亮彦：耐震性能の検証に用いる標準性能試験法の提案, 第2回日本地震工学会大会-2003梗概集, pp.92-93, 2003.11
- 7)Hideaki Nishida, Jun-ichi Hoshikuma and Shigeki Unjoh : Proposal of Standard Testing Guidelines for Seismic Performance Verification of Bridge Columns, The First International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, 2005.7

付表-1 日本側ガイドライン（案）の目次

1. 総則
 - 1.1 適用の範囲
 - 1.2 用語の定義
2. 材料試験
 - 2.1 コンクリート
 - 2.2 鋼材
3. 構造部材に対する正負交番載荷実験
 - 3.1 実験供試体の設計・製作
 - 3.1.1 使用材料
 - 3.1.2 実験供試体の設計と相似則
 - 3.1.3 実験供試体の数
 - 3.2 計測項目と計測方法
 - 3.3 載荷方法
 - 3.3.1 セットアップ
 - 3.3.2 予備載荷
 - 3.3.3 本載荷実験における荷重の制御と載荷パターン
 - 3.3.4 正負交番載荷実験における降伏変位の決め方
 - 3.3.5 載荷速度
 - 3.4 実験結果の評価
 - 3.4.1 耐震性能の評価を行う上で着目すべき実験供試体の損傷状態
 - 3.4.2 実験結果の明示方法
4. 構造部材に対する振動台実験
 - 4.1 目的
 - 4.2 相似則
 - 4.3 実験供試体の設計・製作
 - 4.4 計測項目と計測方法
 - 4.5 セットアップ
 - 4.6 加振計画
 - 4.7 振動台の諸特性
 - 4.8 実験結果の明示方法
 - 4.9 その他