

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21360212

研究課題名（和文）橋脚の塑性ヒンジメカニズムの解明と高じん性橋脚の開発に関する研究

研究課題名（英文）Development of Ductile Bridge Columns with Enhanced Flexural and Shear Incore Zone

研究代表者

川島 一彦（KAWASHIMA KAZUHIKO）

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：20272677

研究成果の概要（和文）：

塑性ヒンジ部の損傷に及ぼす寸法効果を検討し、最小断面積に基づいて軸方向鉄筋を縮小すると、縮小模型によりほぼ実大橋脚の曲げ復元力を得られること、縮小模型に比較して実大橋脚模型の方が損傷の進展は著しく、縮小模型では実大模型の損傷の進展は正しく再現できないことを明らかにした。また、圧壊したコアコンクリートの鉄筋カゴからの流出を防止するため、鉄筋内側に鋼製メッシュやアラミド繊維を配置する構造を提案した。

研究成果の概要（英文）: Based on a series of shake table experiments for a full-size bridge column using E-Defense, it was found that crushed core concrete spilled out from steel cage under extreme excitations. Such a failure model was first identified based on a full-model column excitation. It is anticipated that this failure modes accelerate degradation of column failure. Since such a scale-effect has not been sufficiently studied in the past due to limitation of large experimental facilities, the scale effect on the failure mechanism at the plastic hinge was investigated in this study. Four 5/36 geometrical scale models which were design and constructed as close to the full-size model as possible were exposed to the same response displacement and varying axial load after they were scaled-down based on the similarity law. It was found that both 1) an evaluation of sectional areas of deformed bars which have difference diameters and shape of surface deformation and 2) the maximum aggregate size were important for identifying the scale effect. It was found that progress of damage was faster in the full-size model than the scaled models though the flexural capacity can be well predicted by the scaled-model. Since the level of excitation to the full-size column by E-Defense was not extreme enough to develop collapse, it was found based on the study that under extremely strong excitation, the scaled models have a large limitation for predicting the failure mechanism of full-size columns.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2010年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2011年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：防災、構造工学・地震工学、耐震、減災、自然災害

1. 研究開始当初の背景

塑性ヒンジには十分な帯鉄筋を配置してコアコンクリートを横拘束し、できるだけ大きなひずみに至るまでコンクリートの圧壊を生じさせず、曲げ変形性能を向上させるという考え方が、1970年代にT. Pauley教授らによって提唱されて以降、現在までにRC構造部材の耐震設計に採用されてきた基本的な考え方である。

我が国でも多数のRC橋脚模型載荷実験等が実施されてきたが、我が国では、大断面(4~5m、あるいはそれ以上)の単柱式橋脚が広く採用されているにもかかわらず、従来、実験装置の制約から、断面サイズがせいぜい40cm~60cm程度の小型模型実験しか実施されてきておらず、スケール効果に関しては未知のまま耐震設計体型が組み立てられてきた。しかしながら、2007年12月以降、現在までにEディフェンスを用いて3体の実大橋脚(直径1.8~2m)に対する振動実験が実施され、これらの結果から、塑性ヒンジ区間における横拘束のメカニズムに関して、以下のような重要かつ新しい知見が得られた。

1) 従来、変形性能の寄与にもっとも基本的と考えられてきた帯鉄筋によるコアコンクリートに対する横拘束効果は小さいものでしかない。

2) コアコンクリートの圧壊後、圧壊されたコンクリートブロックが次々に鉄筋カゴから抜け出すと、橋脚の曲げ耐力や変形性能は低下するが、この効果には模型の寸法効果が大きく影響する。従来のような小型模型では、曲げ耐力や変形性能を過大評価している可能性が極めて高い。

Eディフェンス振動実験から得られた以上の知見に基づくと、日本のように大断面の単柱式橋脚では、T. Pauley教授やR. Park

教

授らによって開発された塑性ヒンジモデルは適用できず、以下のコンセプトに基づく新しい独自の塑性ヒンジモデルを開発する必要がある。

上記の点から、我が国が誇るEディフェンスを用いた実大橋脚の加震震動実験結果を活用して、塑性ヒンジ部の損傷メカニズムとこれに及ぼす寸法効果を解明すると同時に、コアコンクリートの鉄筋カゴからの抜け出しを防止できる新しい高じん性構造を開発する必要がある。

2. 研究の目的

Eディフェンスを用いた実施された実大RC橋脚に対する加震実験から、大きな地震動を作用させると近年の考え方に基づいて帯鉄筋を150mm間隔で配置したとしても、圧壊したコアコンクリートが鉄筋カゴの間隙から飛び出してくること、帯鉄筋は従来考えられていたほどにはコアコンクリートの横拘束に有効ではないというあたらしい知見が得られている。この知見は塑性ヒンジ部の損傷メカニズムを明らかにすると同時に、従来、実験施設の制約から小型模型を用いた加震実験に基づいて組み立てられてきた研究成果の実用性が十分なものであるかという問題を突きつけた。

本研究はこれに対して寸法効果という視点から、改めて塑性ヒンジの部の損傷の進展と曲げ耐力を検討すると同時に、圧壊したコアコンクリートの鉄筋カゴの間隙からの飛び出しを防止し、より変形性能の向上を図る方策を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

E ディフェンス振動実験模型に対して幾何学的相似則が正確に 5/35 となるように 4 体の縮小模型を製作し、これに対する応答載荷実験から、塑性ヒンジの履歴メカニズムに及ぼす寸法効果を究明する。鉄筋径は実大橋脚では 35mm、模型橋脚では 7mm であり、これに基づいてできるだけ正確にその他の模型特性を定める。たとえば、異形鉄筋では径が 35mm と 7mm では表面の異形の模様が異なるため、この影響に関して、呼び径断面積と最小断面とした場合の影響等を検討したり、最大粗骨材寸法の影響も検討する。

このようにして、できる限り正確に製作した縮小模型が E ディフェンス加震実験において実大橋脚に生じたり作用した応答変位や軸力変動とできるかぎり同じ状態で応答した場合の損傷を検討するため、実大橋脚に生じた応答変位や軸力を相似則に基づいて縮小した応答変位、軸力を縮小模型に作用させるという応答載荷実験手法を開発し、これに基づいて載荷実験を行った。なお、この方法では載荷速度の影響を考慮できないが、現在までの研究から、地震時に生じる程度の速度範囲であれば曲げ耐力に及ぼす最大加速度の影響は小さいことが明らかになっている。ただし、鉄筋カゴの隙間からのコアコンクリートの流出に対しては、震動台加震の効果は無視できず、この点だけが実大橋脚と縮小模型との載荷条件の違いとして残っている。

応答載荷実験の他、鉄筋の特性に関する実験、非線形動的解析等を行った。

4. 研究成果

E ディフェンスを用いた実施された実大 RC 橋脚に対する加震実験と応答載荷に基づく縮小模型載荷実験に基づき、寸法効果に関するいろいろな影響が明らかになった。主要な結論を示すと、以下の通りである。

1) 粗骨材の最大寸法が 13mm の模型と 5mm の模型間では 1~6 回目加震までの段階では模型の損傷及び損傷度には大きな違いはないが、コアコンクリートの圧壊が進む 7 回目加震になると、粗骨材の最大寸法が 13mm の模型では圧壊したコアコンクリートの多くが鉄筋カゴ内に留まるのに対して、骨材の最大寸法が 5mm の模型では圧壊したコアコンクリートが鉄筋カゴからはみ出してくる。この点において圧壊したコアコンクリートのはみ出しに対する粗骨材寸法の影響はあると考えられる。2) E ディフェンスによる載荷実験程度の損傷であれば、曲げ復元力に及ぼす粗骨材の最大寸法の影響は顕著ではない。これは鉄筋の抵抗が

橋脚模型の曲げ復元力により顕著に貢献するためであり、コアコンクリートにより拘束されて軸方向鉄筋が所定の位置にある限りは、縮小模型は実大橋脚模型に近い曲げ復元力を与えると考えられる。しかし、上記 1) に示した現象により、軸方向鉄筋の座屈や破断が顕著に生じたり、さらにコアコンクリートの損傷により軸方向鉄筋の位置が変化するような状況に至った場合には、粗骨材寸法の影響が顕著に現れてくると考えられる。

3) 縮小模型実験に際しては、実物及び模型の軸方向鉄筋の断面積を呼び径に基づいて評価すると、実大橋脚模型の曲げ復元力を過大評価するが、最小断面積に基づいて評価すると、実大橋脚模型の曲げ復元力に近い値を得ることができる。

4) 縮小模型に比較して、実大橋脚模型の方がかぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋の座屈、コアコンクリートの圧壊といった損傷の進展は著しく、縮小模型では実大模型の損傷の進展は正しく再現できない。

また、圧壊したコアコンクリートの鉄筋カゴの隙間からの流出ができるだけ防止する構造として、軸方向鉄筋の内側に鋼製メッシュあるいはアラミド繊維を配置することが有効であり、この構造を提案した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

川島一彦, 太田啓介, 大矢智之, 佐々木智大, 松崎裕: RC橋脚の曲げ塑性変形に及ぼす粗骨材寸法及び鉄筋断面積の評価法の影響, 土木学会論文集A1S (地震工学論文集), 印刷中, 2012

Kawashima, K., Zafra, R., Sasaki, T., Kajiwara, K. and Nakayama, M.: Effect of Polypropylene Fiber Reinforced Cement Composite and Steel Fiber Reinforced Concrete on Enhancing the Seismic Performance of Bridge Columns, Journal of Earthquake Engineering, Vol.15, No.8, pp. 1194-1211, 2011

川島一彦, 佐々木智大, 右近大道, 梶原浩一, 運上茂樹, 堺淳一, 幸左賢二, 高橋良和, 矢部正明, 松崎裕: 現在の技術基準で設計したRC橋脚の耐震性に関する実大震動台実験及びその解析, 土木学会論文集A, Vol. 66, No.1, pp. 324-343, 2010

松本崇志, 川島一彦, Mahin, S. A., 右近
大道: 振動台加振実験に基づくインター
ロッキング式橋脚と矩形断面橋脚の耐震
性に関する研究, 土木学会論文集 A,
Vol.65, No.1, 196-215, 2009

[学会発表](計16件)

Kawashima, K., Zafra, R., Sasaki, T.,
Kajiwara, K. and M. Nakayama: Seismic
Performance of a Bridge Column Based on
E-Defense Shake-Table Excitations, Proc.
Performance Based Seismic Engineering
Workshop, No.4, 2011, pp. 1-10,
2011.6.24, Bled, Slovenia

Kawashima, K., Zafra, R., Sasaki, T.,
Kajiwara, K. and M. Nakayama: Seismic
Performance of a Full-Size
Polypropylene Fiber Reinforced Cement
Composite Bridge Column Based on
E-Defense Shake Table Experiments, Proc.
8th International Conference on Urban
Earthquake Engineering, , No.8,
pp.1117-1124, 2011.3.7, Tokyo, Japan
太田啓介, 大矢智之, 佐々木智大, 松崎
裕, 川島一彦: RC橋脚の曲げ塑性変形に及
ぼす最大骨材の影響に関する研究, 第14
回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関す
るシンポジウム講演論文集, No.14,
pp.303-308, 2011.5.31, 東京

大矢智之, 太田啓介, 佐々木智大, 松崎
裕, 川島一彦: RC橋脚の曲げ塑性変形に及
ぼす細径鉄筋のモデル化の影響に関する
研究, 第14回性能に基づく橋梁等の耐震
設計に関するシンポジウム講演論文集,
No.14, pp.309-314, 2011.5.31, 東京

大矢智之, 太田啓介, 佐々木智大, 松崎
裕, 川島一彦: RC 橋脚の曲げ塑性変形に及
ぼす細径鉄筋のモデル化の影響に関する
研究, 第8回日本地震工学会大会 - 2011梗
概集, No.8, pp.14-15, 2011.11.10, 東京
太田啓介, 大矢智之, 佐々木智大, 松崎
裕, 川島一彦: RC 橋脚の曲げ塑性変形に及
ぼす最大骨材寸法の影響に関する研究,
第8回日本地震工学会大会 - 2011梗概集,
No.8, pp.16-17, 2011,11,10, 東京

川島一彦, 太田啓介, 大矢智之, 佐々木
智大, 松崎裕: RC橋脚の曲げ塑性変形に及
ぼす粗骨材寸法及び鉄筋断面積の評価法
の影響, 第31回土木学会地震工学研究発
表会講演論文集, NO.31, Paper No.3-138
(CD-ROM), 2011.11.17, 東京

Sasaki, T. and Kawashima, K.:
Bond-Degrading Length of Terminated

Longitudinal Bars in RC Columns, Proc.
3rd Asia Conference on Earthquake
Engineering, No.3, ACEE-A-058, pp.1-8
(CD-ROM), 2011.12.1, Bangkok, Thailand
Kawashima, K., Sasaki, T., Zafra, R.,
Kajiwara, K., Ukon, H. and Nakayama, M.:
Full-scale Shake Table Experimental
Program of

Reinforced Concrete Bridge Columns
using E-Defense, Proc. 3rd Asia
Conference on Earthquake Engineering,
No.3, ACEE-A-037, pp.1-9 (CD-ROM),
2011.12.1, Bangkok, Thailand

市川翔太, 佐々木智大, 川島一彦: 軸方
向鉄筋の座屈を考慮したRC橋脚の解析,
第13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等
構造の耐震設計に関するシンポジウム講
演論文集, 土木学会, No.13, pp.65-72,
2010.2.3, 東京

太田啓介, 佐々木智大, 全貴蓮, 川島一
彦: 実大模型と縮小模型の加震実験に基
づくRC橋脚の寸法効果に関する検討, 第
13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構
造の耐震設計に関するシンポジウム講演
論文集, 土木学会, No.13, pp.73-80,
2011.2.3, 東京

全貴蓮, 佐々木智大, 太田啓介, 川島一
彦: In-Core Shield 工法の提案及び応答
載荷実験に基づくその有効性に関する研
究, 第13回地震時保有耐力法に基づく橋
梁等構造の耐震設計に関するシンポジウ
ム講演論文集, 土木学会, No.13,
pp.173-180, 2011.2.3, 東京

市川翔太, 佐々木智大, 川島一彦: 軸方
向鉄筋の局部座屈を考慮した RC 橋脚の曲
げ復元力特性の解析法の開発, 第65回土
木学会年次講演概要集, No.65, Paper No.
I-064 (CD-ROM), 2010.9.1, 北海道

Ohta, K., Kawashima, K. and Sasaki, T.:
Scale Effect on the Seismic Performance
of RC Bridge Columns Based On Full-Scale
and Scaled Model Experiments, Proc. 13th
Japan Earthquake Engineering Symposium,
No.13, Paper No.G05-Fri-AM-3,
pp.1253-1260, 2010.11.19, Tsukuba
Science City, Japan

Quan, G., Kawashima, K. and Sasaki, T.:
Effectiveness of In-Coresheild for
Enhancing the Seismic Performance of RC
Bridge Columns Subjected to Extreme
Ground Motions, Proc. 13th Japan
Earthquake Engineering Symposium, No.13,

G06-Fri-AM-3, pp.1253-1260, 2010.11.19,
Tsukuba Science City, Japan
Ichikawa, S., Sasaki, T. and Kawashima,
K.: Analytical Idealization of Local
Buckling of Longitudinal Bars for
Analyzing the Seismic Performance of RC
Columns, Proc. 13th Japan Earthquake
Engineering Symposium, No.13,
G041-Sat-AM-19, pp.3247-3254,
2010.11.20, Tsukuba Science City, Japan

6 . 研究組織

(1)研究代表者

川島 一彦 (KAWASHIMA KAZUHIKO)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：20272677

(2)研究分担者

松崎 裕 (MATSUZAKI HIROSHI)
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：10506504