

高強度コンクリート及び高強度鉄筋を用いたRC橋脚の耐震性

宮路健太郎¹・川島一彦²・渡邊学歩³

¹東京工業大学 大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail:miyaken@cv.titech.ac.jp

² 東京工業大学教授 大学院理工学研究科土木工学専攻 (同上)

E-mail:kawasima@cv.titech.ac.jp

³東京工業大学助手 大学院理工学研究科土木工学専攻 (同上)

E-mail:gappo@cv.titech.ac.jp

橋梁の建設に高強度コンクリート及び高強度鉄筋を用いれば、強度の増加だけでなく、断面の減少とそれに伴う慣性力の減少により、耐震性能の向上に資することができる。本文はRC橋脚に高強度コンクリート及び高強度鉄筋を採用した場合の耐震性を繰り返し載荷実験によって検討した結果を報告するものである。また、実験結果を解析により再現するためにファイバー要素解析を行った。

Key Words : Seismic Design, Bridge, High Strength Concrete, High Strength Reinforcement

1. はじめに

高強度コンクリート及び高強度鉄筋を用いれば、強度の増加だけでなく、断面の減少とそれに伴う慣性力の減少により、耐震性能の向上に資することができる。本文は、RC橋脚に高強度コンクリート及び高強度鉄筋を採用した場合の耐震性を繰り返し載荷実験によって検討した結果を報告するものである。

2. 実験供試体および載荷方法

繰り返し載荷実験には、図-1に示すようにいずれも基部から水平力作用点までの有効高さが1350mm(せん断支間比は3.75)で、400mm×400mmの正方形断面を有するRC単柱式橋脚を用いた。コンクリートとしては全供試体とも強度が70～80MPaの高強度コンクリートを用いた。軸方向鉄筋(D10)としては、1方向載荷には普通強度鉄筋または高強度鉄筋を、2方向載荷には高強度鉄筋を用いた。普通強度鉄筋としてはSD295A、高強度鉄筋としてはSD685を用いた。ミルシートによれば、SD685は破断強度828MPa、破断ひずみ16%を持つ。軸方向鉄筋比は1.6%である。これに対して、帯鉄筋としては、いずれの供試体にもD6(SD295A)を50mm間隔に配置

した。帯鉄筋体積比 ρ_s は0.79%である。

繰り返し載荷には、東京工業大学耐震実験施設の3台の動的アクチュエータを用いた。載荷履歴は図-2に示すとおりであり、1方向載荷の他、矩形、円形及び楕円形載荷とした¹⁾。載荷変位はドリフト0.5%(=6.75mm)を基準にし、その整数倍で順次変位振幅を増加させていった。同一変位振幅による繰り返し回数は3回とした。実験では、軸方向鉄筋を普通強度鉄筋にした場合と高強度鉄筋とした場合の違い、1方向載荷と2方向載荷との違いに着目して、橋脚の損傷状況、水平力～水平変位関係を検討した。

3. 高強度鉄筋の影響

1方向載荷においては、高強度鉄筋を用いた場合の影響を検討するため、普通強度鉄筋を用いた橋脚模型と高強度鉄筋を用いた橋脚に対する実験を行なった。載荷に伴う損傷の進展は、図-3に示すとおりである。普通強度鉄筋を用いた場合には曲げ破壊先行型の損傷である。これに対して、高強度鉄筋を用いた場合には、普通鉄筋を用いた場合よりも、曲げ耐力が上がるため、ドリフト2%程度までは曲げ水平クラックしか生じないが、その後、載荷方向に平行な面においてせん断クラックが生じ始める。ドリ

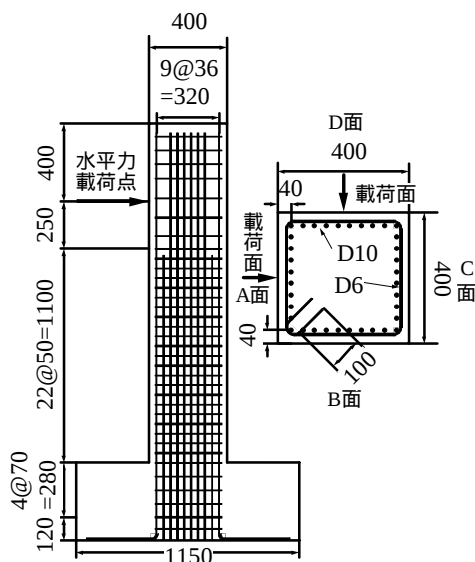


図-1 実験供試体

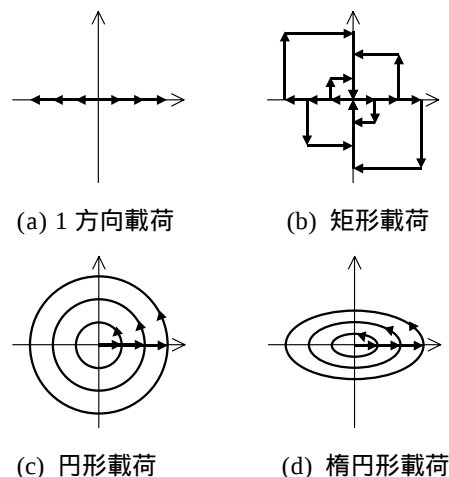


図-2 水平面内の載荷履歴

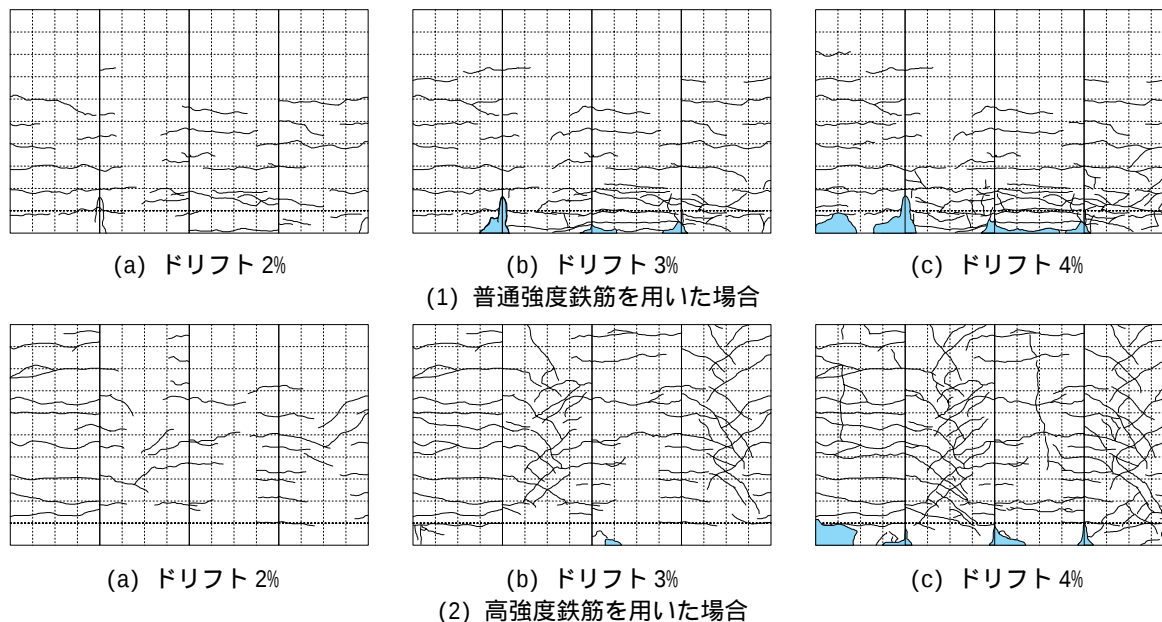


図-3 高強度鉄筋が損傷モードに与える影響

フト3%になるとせん断クラックがかなり進み、せん断変形が目視できる程度になったが、最終的には、曲げ破壊した。

これを水平力～水平変位の履歴曲線で比較すると、図-4のようになる。これによれば、普通強度鉄筋を用いた場合には、ドリフト1%あたりで曲げ耐力が安定し、その後、ドリフト4.5%から曲げ耐力が低下し始めるまで、ほぼ曲げ耐力は一定となる。これに対して、高強度鉄筋を用いた場合には、ドリフト1%程度で、すでに上述した普通強度鉄筋を用いた場合の曲げ耐力に達する。その後も載荷変位振幅の増大とともに耐力は増加し続け、ドリフト2%程度になると、普通強度鉄筋を用いた場合の曲げ耐力の1.78倍となる。その後、5%ドリフトあたりから曲げ

耐力は低下し始め、やがて終局状態に至る。終局変位は、5%ドリフトであり、普通強度鉄筋を用いた場合(4.5%ドリフト)を上まわり、普通強度鉄筋を用いた場合に比較して遜色はない。

4. 載荷履歴の影響

2方向載荷した場合の代表として、ここでは矩形載荷した場合の例を示す。高強度鉄筋と高強度コンクリートを用いた供試体である。矩形載荷した場合の損傷の進展は、図-5に示すとおりである。一方向載荷した場合との違いは、塑性ヒンジ領域において隅角部からかぶりコンクリートが剥落し始める点である。ドリフト2%程度になると、曲げ水平クラッ

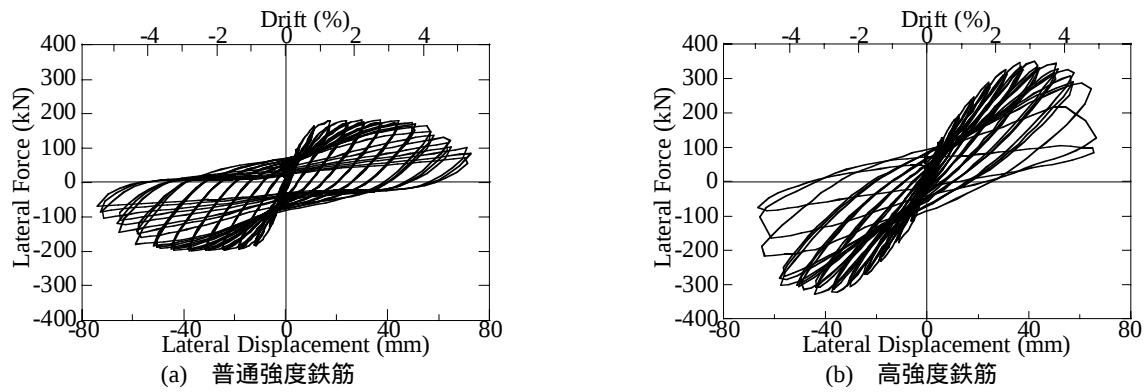


図-4 高強度鉄筋と普通強度鉄筋の違いが履歴曲線に与える影響

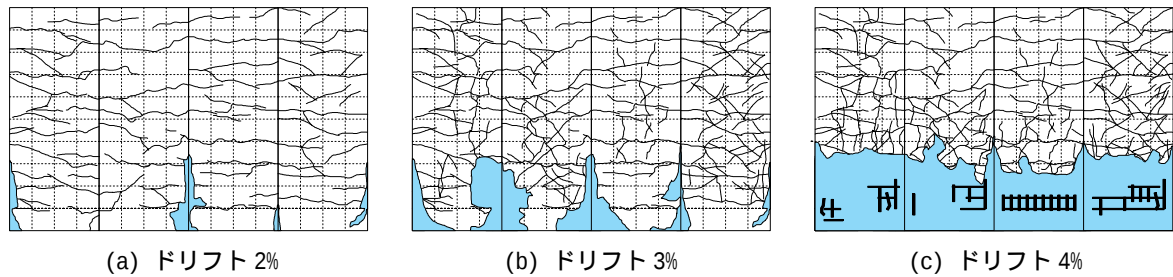


図-5 矩形載荷した場合の損傷モード

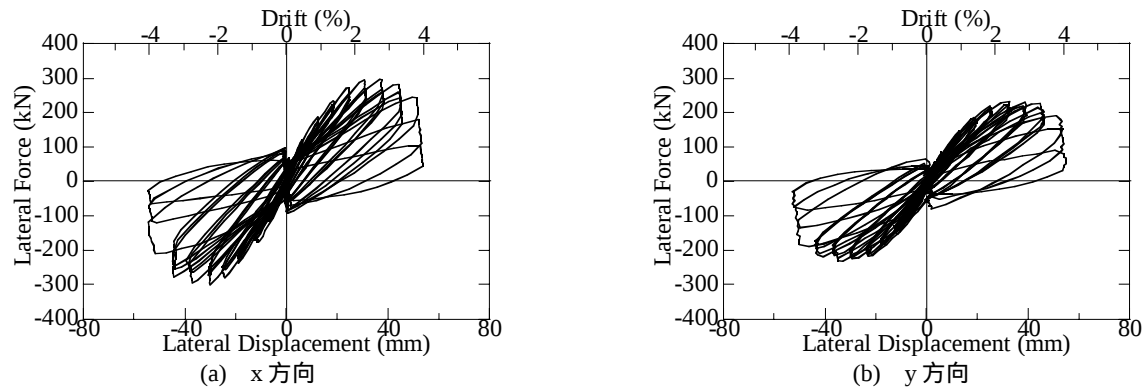


図-6 矩形載荷した場合の水平力～水平変位の履歴曲線

クだけではなく、斜めクラックも生じ始め、ドリフト3%になると、斜めクラックも発達する。斜めクラックはこれ以上は発達せず、ドリフト4%程度になると、圧縮破壊により基部から400mm程度の範囲のかぶりコンクリートがほぼ剥落し、最終的には曲げ破壊する。

矩形載荷した場合の水平力～水平変位の履歴曲線は図-6に示すとおりである。これによると、矩形載荷した場合の最大曲げ耐力を水平2方向で平均すると、1方向載荷した場合(高強度鉄筋を用いた供試体)の最大曲げ耐力の79%と小さくなる。また、終局変位も、1方向載荷した場合には5%ドリフト程度であるのに対して、矩形載荷した場合には4%ドリフト程度と、80%程度に小さくなっている。

5. ファイバー要素解析

実験結果を解析により再現するために堺らおよび中澤・川島によるコンクリートの横拘束モデル^{2),3)}と修正Menegotto-pinto⁴⁾による鉄筋の履歴モデルを用いたファイバー要素解析を行った。図-7は解析により得られた水平力～水平変位の履歴と実験結果とを比較した結果である。普通強度鉄筋を用いた場合には解析により実験によって求めた履歴特性をかなり再現することができるが、高強度鉄筋の場合は再現性が十分ではない。これは高強度鉄筋の履歴が修正Menegotto-pintoモデルにより精度良く与えられないためで、これについては今後さらに検討する必要がある。

6. 結論

本研究では、高強度コンクリート及び高強度鉄筋

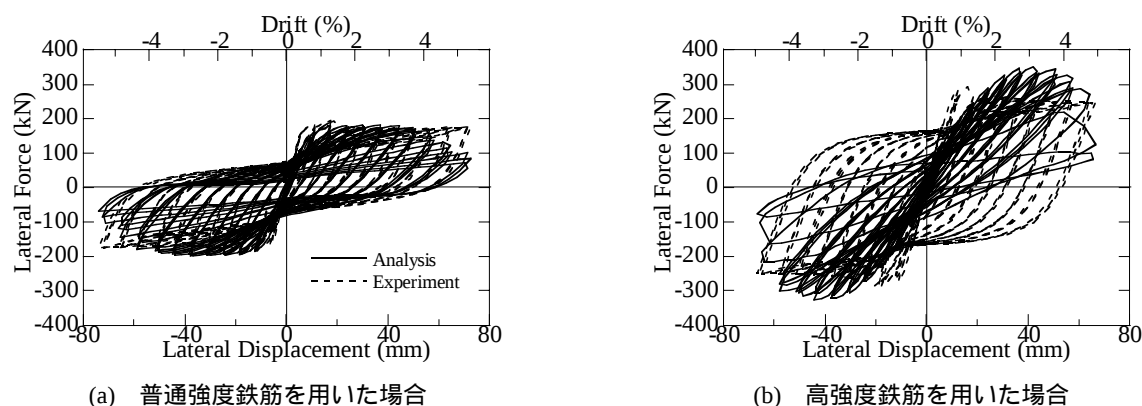


図-7 ファイバー要素解析による履歴曲線と実験値との比較 (1方向荷重)

を用いた場合のRC橋脚の耐震性を繰り返し荷重実験に基づいて検討した。対象としたのは、同一断面、同一配筋をし、軸方向鉄筋だけが普通強度鉄筋とした場合と高強度鉄筋とした場合の比較である。本研究で得られた結論は、以下の通りである。

- 1) 高強度鉄筋を軸方向鉄筋として用いると、普通強度鉄筋を用いた場合に比較して、曲げ耐力は1.8倍程度と大きくなる。終局変位も普通強度鉄筋を用いた場合には4.5%ドリフトであるのに対して、高強度鉄筋を用いた場合には5%ドリフトと遜色はない。
- 2) 1方向荷重した場合に比較して、2方向荷重した場合には、最大曲げ耐力、終局変位ともに小さくなる。また、損傷の度合いも大きくなる。
- 3) 1方向荷重を対象にファイバー要素解析を用いて履歴特性を解析すると、普通強度鉄筋を用いた供試体に対しては、実験の特徴をかなり再現できるが、高強度鉄筋を用いた供試体に対しては実験の特徴をうまく再現できない。

謝辞：高強度コンクリートの製作に関しては中島商事（有）、高強度鉄筋の入手に関しては新日本製鐵の川端規之氏にお世話になりました。また、本実験

の実施に際しては、東京工業大学土木工学専攻川島研究室の下山田英介、永田聖二、松川亮平、中澤宣貴、中村剛、早川涼二、福田智之の各氏のご支援を得ました。本研究を実施するに際しては、（財）国土開発研究センターの研究助成を得ました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 早川涼二，川島一彦，渡邊学歩：2方向地震力を受けるRC橋脚の耐震性に関する研究，第6回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム，土木学会，2003
- 2) 堺淳一，川島一彦，庄司学：横拘束されたコンクリートの除荷および再荷重過程における応力度～ひずみ関係の定式化，土木学会論文集，No.654/I-52, pp.297-316, 2000.
- 3) 中澤宣貴，川島一彦：高強度コンクリートの横拘束モデルの開発，第6回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム，土木学会，2003
- 4) 堺淳一，川島一彦：部分的な除荷・再荷重を含む履歴を表す修正Menegotto-Pintoモデルの提案，土木学会論文集，No.738/I-64, pp.159-169, 2003.7

(2003.10.2 受付)

SEISMIC PERFORMANCE OF RC COLUMNS WITH HIGH STRENGTH CONCRETE AND HIGH STRENGTH REINFORCEMENTS

Kentaro MIYAJI, Kazuhiko KAWASHIMA and Gakuho WATANABE

This paper presents an effect of high strength concrete and high strength reinforcements on the seismic performance of RC bridge columns. Five square columns were loaded in the unilateral and bilateral directions under a constant vertical load. It was found from the test that the overall hysteretic behavior of the columns with the high strength concrete is similar to that of the column with the normal strength concrete. The use of high strength bars did not result in a deterioration of the displacement ductility capacity. The bilateral loading results in deterioration of both flexural strength and ductility capacity. The fiber element analysis provides a good estimate for the columns with the normal strength reinforcements, but the accuracy was not adequate for the columns with the high strength reinforcements.