بررسی رفتار چرخه‌ای ستون دوبل پر شده با بتن

مجید محمدی
استاد پژوهشکده مهندسی سازه m.mohammadigh@iiees.ac.ir

مهرداد زارع دستجردیان

مقاطع دوبل با بست افقی در ستونهای سازه‌های فولادی موجود در ایران به‌وفور مشاهده می‌گردند. این اعضاء، اغلب در اسکلت‌های فاقد سیستم لرزه بر جانبی استاندارد یا با اتصالات خورجینی (با صلبیت خمشی ناچیز) بکار رفته‌اند. استفاده از این ستونها به صورت اتصال به تیر میان طبقه و ستون کوتاه مجاور دیوار مصالح بنایی نیز منجر به شکستهای برشی شدید تحت بار لرزه‌ای شده است. از این رو پرنمودن این ستونها با بتن، که طبق پژوهش‌های متعدد در سایر مقاطع فولادی مانند قوطی بسیار قابل قبول بوده، شیوه‌ای مؤثر در بهسازی ساختمانهای موجود یا آسیب دیده از زلزله خواهد بود. مطالعه رفتار ستونهای دوبل، اغلب به بررسی رفتار فشاری، محاسبه بارکمانش و اثرات برون محوری معطوف بوده و عملکرد آنها تحت کنشهای برشی عمود برجان مغفول مانده است. حال آنکه مشاهدات حاکی از آن است که تحت بار جانبی عمود برجان، با رخداد تنش برشی قابل توجه در بستها و در نهایت گسیختگی جوش یا بست افقی، عملکرد مطلوبی حاصل نگردیده است. از این رو در این پژوهش، رفتار ستونهای دوبل بستدار تحت تغییرشکل جانبی عمود برمحور جان، با ایده پرنمودن با بتن مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش را می‌توان به سه بخش اصلی تقسیم نمود که در گام نخست، تاریخچه مطالعه رفتار ستونهای دوبل فولادی بستدار مورد بررسی قرار گرفته و در گام دوم، نمونه‌های واقعی دوبل فولادی (توخالی) وپرشده با بتن تحت بار محوری ثابت و تغییرمکان جانبی چرخهای آزمایش می‌شوند. نتایج حاکی از آن است که نمونه‌های پرشده با بتن دارای رفتاری با بیشینه مقاومت تا ۳۰درصد بالاتر از نمونه توخالی نظیر و با شکل‌پذیری تا ۵۰ درصد بیشتر می‌باشند. منحنی پوش نمونه‌های پرشده با بتن طبق ضوابط ASCE41-17 در گروه اجزای شکل پذیر و نیمه شکل‌پذیر قرار می‌گیرند و ضرایب شکل‌پذیری (m) بین ۲ تا ۲,۵ را در سطح ایمنی جانی(LS) برای خود ثبت نموده‌اند. ستونهای دوبل پرشده با بتن دارای بار محوری زیاد (تا۴۰ درصد ظرفیت محوری ستون)، رفتاری ترد را به نمایش نگذاشته و بدون زوال مقاومت، جابه‌جایی نسبی تا ۷ درصد را تحمل نموده‌اند. مود کمانشی در ستونهای پرشده با بتن به صورت کمانش به سمت بیرون بالها و در ستونهای فولادی نظیر، کمانش به سمت داخل و همراه باکمانش پیچشی شدید می‌باشد. در ادامه، با استفاده از مدل‌های صحت‌سنجی شده، اثر متغیرهایی مانند فاصله جان، شدت بارمحوری و تقویت موضعی پای ستون با بتن یا ورق فولادی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ای از ستون دوبل پر شده با بتن و نحوه اعمال بار به آن در شکل (۱) نشان داده شده است:

هر یک از نمونه‌های آزمایشگاهی ابتدا تحت بار محوری ثابت قرار می‌گرفت و سپس بار جانبی با پروتکل بار مشخص، به صورت رفت و برگشتی به آن اعمال می‌شد. همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده، مود خرابی ستون دوبل معمولی و نمونه مشابه که با بتن پر شده، متفاوت است.

Experimental Evaluation of Cyclic Behavior of Concrete Filled Steel Battened Columns

Majid Mohammadi
Professor, Structural Engineering Research Center
m.mohammadigh@iiees.ac.ir

Mehrdad Zare Dastjerdian

Steel battened columns have been widely used in some countries such as I.R Iran in last decades. Such elements may have been applied in many existing buildings with saddle connections (having low rigidity) or some structures which are in lack of sufficient lateral systems. In past earthquakes, severe failure under lateral actions was observed in residential and industrial buildings with such structural system. They experienced intensive shear failure especially in columns near staircases or close to infills. Based on previous studies and observations, this type of column is more vulnerable in loadings perpendicular to their sections' web, where the battens (in shear) or their welding may fails. Many retrofitting/ repairing methods have been proposed including adding some steel plates to the columns in order to change them into box. These methods are not only expensive and hard but also did not strengthen the columns at their connections with beams. Therefore, this project has focused on a new innovative method; filling the battened columns with concrete, which has already been applied for steel tubes.

The present study has three main parts: first, the literature on battened columns and the obtained experiences, especially in previous earthquakes are reviewed. In the second step, an experimental and analytical program has been carried out on seven specimens, in which axial load level and batten spacing intervals were considered as the key variables. In each test, a single batted column specimen is tested under cyclic lateral displacement protocol when it has constant axial load. The results depicts that concrete filled battened columns can provide a stable cyclic response with enhanced lateral strength, higher dissipated energy and ductility, in comparison with similar hollow one. The average improvement in the lateral strength and energy dissipation were recorded as about 30% and 300%, respectively. Furthermore, it is shown that capacity modification factor of a concrete-filled specimen was up to 47% higher than that of the similar hollow one. The filled battened columns are categorized in ductile or semi-ductile elements, specified in ASCE 41-17. Their modification factors for LS performance level are between 2 and 2.5. The study on concrete filled battened columns has been improved by finite element

unesco
Category 2 Centre under the auspices of UNESCO
RCECWA
Regional Education and Research Center on Earthquake Risk Management and Resilience for West and Central Asia
International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

به همین ترتیب، رفتار دو نمونه توخالی و توپر با هم متفاوت هستند که نمونه‌ای از آن در شکل (۳) نشان داده شده است. در این شکل رفتار نیرو- تغییرمکان نمونه‌های ستون دوبل توپر (که فاصله بست‌های افقی آن ۳۵ سانتی‌متر و مقدار نیروی محوری آن معادل ۱۵٪ مقاومت فشاری جاری شدن مقطع است) آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پر کردن مقطع با بتن باعث می‌شود نه تنها مقاومت بلکه شکل‌پذیری افزایش یابد.

در گام سوم، رفتار این ستونها در قاب مهاربندی شده با مقیاس ½ به صورت آزمایشگاهی بررسی گردیده است. در قاب مهاربندی شده تحت بارگذاری لرزه‌ای، ستون مجاور مهاربند علاوه بر نیروی جانبی، نیروی محوری ثقلی (ثابت) و چرخهای حاصل از بارجانبی (متغیر) را تحمل می‌نماید که آزمایش ستونهای منفرد، قادر به لحاظ کردن این شرایط نمی‌باشند. مود خرابی قاب مهاربندی شده با ستون دوبل فولادی آشکار ساخت که عدم فشردگی مقطع ستون،کمانش موضعی شدید در پای ستون قبل از گسیختگی مهاربند را به همراه داشته درحالی که در قابهای مهاربندی شده با ستون دوبل پرشده با بتن، تا جابه‌جایی نسبی بیش از ۶٪ هیچ گونه کمانش موضعی و کاهش باربری در ستون مشاهده نمی‌گردد و از سوی دیگر ستونهای پرشده با بتن، مقاومت جانبی سیستم کلی را تا ۲۰ درصد افزایش داده و پس ازگسیختگی مهاربند، با مقاومت پسماند ۳۵ درصد مقاومت حداکثر به باربری خود ادامه داده‌اند. شکل (۴)، تصویر نمونه قاب مهاربندی شده دارای ستون دوبل معمولی و ستون دوبل پر شده با بتن و رفتار نیرو- تغییرمکان آنها را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ستونهای دوبل، اتصالات خورجینی، شکست‌های برشی شدید، زلزله، بررسی رفتار فشاری

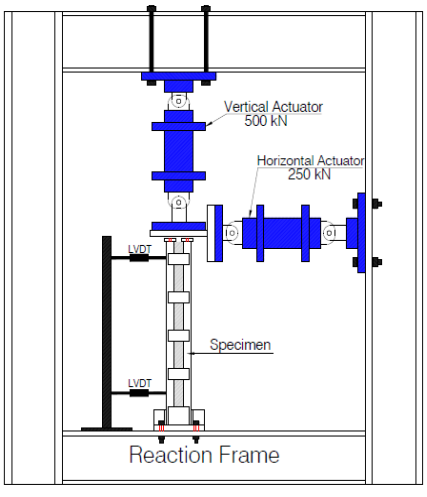
analyses, after being verified by experimental results. In this stage, influences of batten section distances, axial load, etc., are studied. Regarding that filling with concrete improves mechanical properties of the specimens, especially the ductility and strength. This method is highly recommended to strengthen fragile hollow battened columns. Test setup of the specimens is shown in Figure (1).

During the testing, axial load is applied firstly, then lateral load, based on a loading protocol, is applied. Failure modes of the regular and filled battened specimens are completely different, as shown in Figure (2). Their load-displacement behavior is also different which is shown in Figure (1). Based on this figure, the filled specimen has higher strength and greater ductility. Figures (2 and 3) are for specimens having batten plate distance of 35 cm and with axial load of 0.15 Py, where Py is the maximum compression strength of the sections.

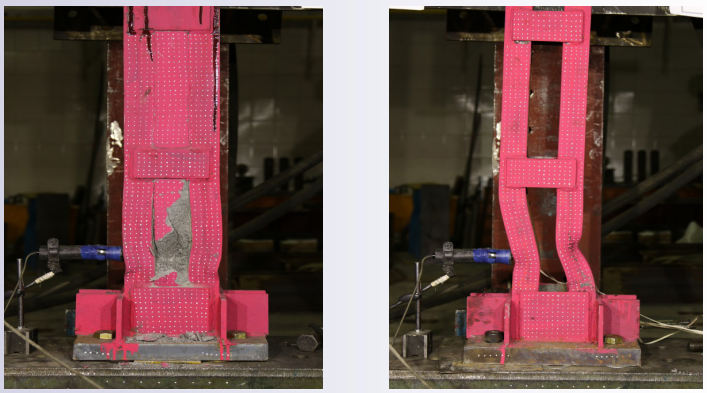
In the last part of the study, behavior of the filled battened columns is experimentally studied in ½ scale braced frames. The loading condition of these specimens is very similar to a real building columns, in which the axial load of the columns are varied by lateral displacements. The results show that the filled battened columns, contrary to hollow battened one, not only had no local buckling or strength downfall up to 6% drift, but also raise the lateral strength up to 20%. Figure (4) shows two braced frame specimens, with regular battened column and with filled one, as well as their load-displacement behavior.

Consequently and based on the experimental and analytical results of the present study, filling the battened columns with concrete can be applied in existing buildings having such elements as robust rehabilitation.

Keywords: Battened columns, Concrete core, Ductility, Dissipated energy, Earthquake, Cyclic loading

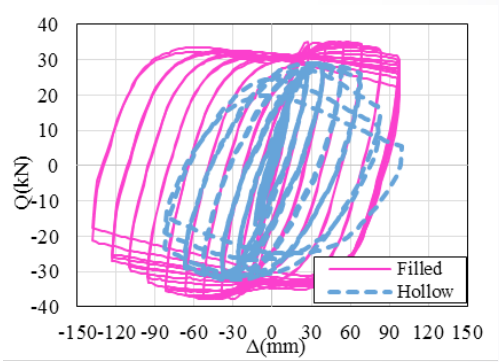


شکل (۱): ستون دوبل پرشده با بتن و نحوه اعمال بار به آن

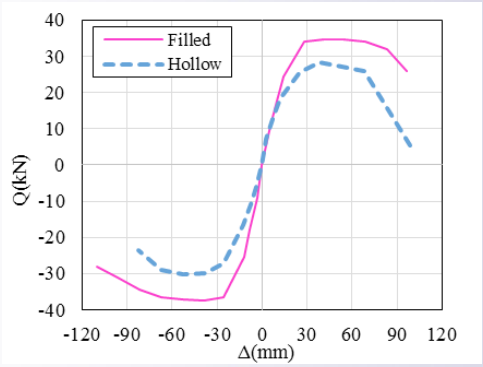


الف) نمونه ستون دوبل پر شده با بتن ب) نمونه ستون دوبل معمولی

شکل (۲): نمونه ستون دوبل معمولی و نمونه مشابه پر شده با بتن



ب) نمودار پوش

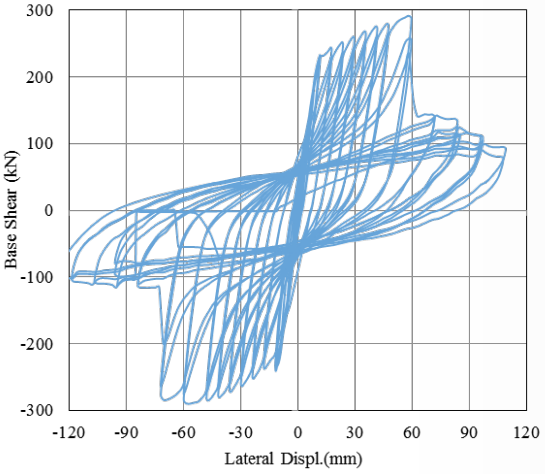


الف) رفتار هیسترسیس

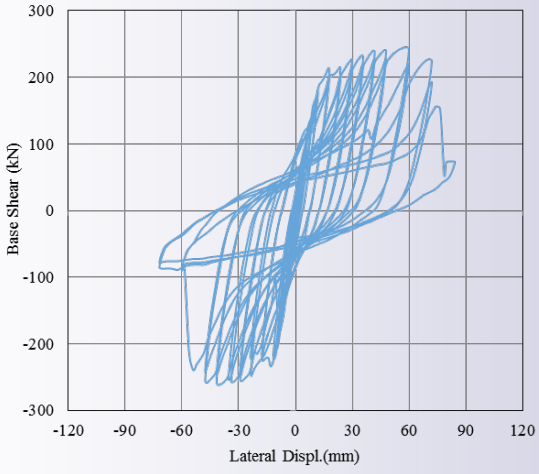
شکل (۳): رفتار نیرو- تغییرمکان نمونه معمولی و توپر ستون دوبل

ب) قاب مهاربندی شده دارای ستون دوبل توپر

الف) قاب مهاربندی شده دارای ستون دوبل معمولی



د) رفتار نمونه قاب دارای ستون دوبل پر شده با بتن



ج) رفتار نمونه قاب دارای ستون دوبل معمولی

شکل (۴): نمونه قاب مهاربندی شده دارای ستون دوبل معمولی و ستون دوبل پر شده با بتن و رفتار نیرو- تغییرمکان آنها