

University of Mosul
College of Engineering



INVESTIGATING THE EFFECT OF THE REPEATED LOADS ON THE BEHAVIOR OF JOINT IN A BRIDGE BETWEEN STEEL AND CONCRETE SECTIONS

Ph.D. Thesis Submitted by

Kaythar Abdulwahab Ibrahim Al-haj Ahmed
M.Sc. in Civil Engineering

Submitted to

The Council of the College of Engineering
University of Mosul
In Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Doctor of Philosophy
in
Civil Engineering–Structures

Supervised by

Prof. Dr. Bayar Jaffar Mohammed Al-Sulyvani

Assistant Prof. Dr. Suhaib Yahya Kasim Al-Darzi

2022 A.D

1443 A.H.

Abstract

The half-joint beams or dapped end beams have useful applications as it provides the possibility to divide bridge beams by using half-joint in the precast bridge construction process. This results in the imposition of a hinge without a noticeable change in the internal force distribution as compared with that of a continuous beam. In addition, precast half-joint suspended spans can be lifted directly onto supporting beams, making construction easier. In the present work, an experimental work was conducted to study the half joint under different parameters. A new method was used to inspect half joint structure by fabricating a testing rig with different details. The specimen consists of reinforced concrete half joint supports I-beam steel section by a bearing pad.

The parameters focus on studying the effect of loading type (monotonic and repeated), applied load location (middle and edge), bearing pad types and size, applied load eccentricity, and the stiffener of the steel I beam. Also, the strengthening of the half joint using two methods was investigated. The first was Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP) for middle and edge loading specimens. The second was strengthening using a steel plate for the middle loading specimen.

A total of twenty specimens were tested to investigate these parameters. Four types of bearing pads were examined: elastomeric rubber pad, steel pad, polytetrafluoroethylene (PTFE) pad, and hinge pad. For middle loading using the elastomeric pad, The ultimate load for repeated and monotonic loading presents a relative value. The ultimate deflection and ductility index for the repeated loading were 30.3% and 31% higher than monotonic loading, respectively. Using hinge pad records ultimate deflection and ductility index 13.6% and 79.8 % more than that for monotonic loading. For edge loading with an elastomeric pad, the average ultimate load for repeated loading was 6.1 % less than the monotonic loading. Also, it was shown that the ultimate deflection obtained from the repeated loading test is on average 21.9% less than that achieved in monotonic loading specimens. In comparison, the ductility index increased 21% compared with monotonic loading.

In the middle repeated loading, the minimum deflection was found using a steel pad. The hinge pad introduces a higher first cracking load and presents more ductility than other pads. The elastomeric and hinge pads have close ultimate load and deflection values. At the same time, they were permitting ultimate deflection higher than steel pad by 41% and PTFE pad by 19%. PTFE pad showed the highest ultimate load with 8.3% more than a load of the elastomeric pad. The hinge pads gave

a higher ultimate load and ductility index by 17.2% and 46.6% than the elastomeric pad, respectively.

The strengthening using (CFRP) at middle repeated loading introduces a higher initial cracking load compared with the non-strengthened specimen. It was also found that the strengthening did not improve the values of ultimate load, ductility index, and deflection. Steel plate strengthening was proven to be a very effective method of specimen strengthening. Ultimate load, initial cracking load, ultimate deflection, and ductility index increased significantly by 46%, 567%, 21.4%, and 34.9%, respectively, compared with non-strengthened specimens. The strengthening using carbon fiber at edge loading introduces a good improvement in ultimate load and ultimate deflection. A small increase in ductility was recorded. The ultimate load and deflection were 36% and 59.2% more than the non-strengthened specimen, respectively.

Reducing the length of an elastomeric pad for middle loading to half its original length causes failure in the pad rather than the ledge, resulting in significantly less ultimate load and deflection. The load value at the initial cracking is higher with the smaller elastomeric pad, and the ledge showed stiffer behaviour than the original pad. While reducing the length of a hinge pad for middle loading to half its original length has a negligible effect on the ultimate ledge load. It significantly lowers ultimate deflection and the ductility index by 36.7% and 34%, respectively. Also, reducing the pad size does not affect the failure mode. Increasing loading eccentricity leads to significantly raising the initial cracking load value. On the other hand, lowering the ultimate load, ultimate deflection, and ductility index by 17%, 38%, and 11.3%, respectively, compared with the middle loading.

It is also found that the stiffener in the I beam carried stresses more than the web, both of them giving elastic behaviors in the range of the ledge failure load. The absence of the I steel beam stiffener result in web failure and significantly reduce the specimen's ultimate load.

The Strut and Tie Model (STM) was used to model the reinforced concrete ledge. The model gave a good estimation of the ultimate load. The difference was 7.7% lower than those obtained from experimental test. The Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) ledge method was used to predicate the ultimate load. The PCI equation (5.44) presents an ultimate load of 6.1% more than the experimental test. In comparison, the PCI equation (5.45) introduces an ultimate load of 38.5% less than the experimental test.

A finite element model was built to study the overall behavior of two specimens: the monotonic loading with hinge pad at middle location loading (M-H-MD) specimen and monotonic loading with hinge pad at edge location loading (M-H-ED) specimen. As reflected by load-deflection and crack pattern, the general behavior predicated by the finite element model was in good agreement with experimental results. In the M-H-MD case, the ultimate load records approximately the same for both experimental and finite element results, while the ultimate deflection indicates 18.3% less in the finite element method compared with the experimental test. In the M-H-ED case, the ultimate load predicated by the finite element method is more than the experimental test by 2.8%. On the other hand, the ultimate deflection was 18.2% less in the finite element method than the experimental test. The finite element method extended to study the effect of concrete compressive strength on the behaviour of (M-H-MD) model as a parametric study. The concrete compressive strength (f_c') values taken into account in this study were 20, 25, 28, 30, 35, and 40 MPa. It can be concluded that the increase of concrete compressive strength significantly increases the model load capacity and stiffness.



جامعة الموصل

كلية الهندسة

تحري تأثير الاحمال التكرارية على تصرف مفصل في جسر بين مقطعين فولاذي وخرساني

اطروحة مقدمة من قبل

قيثار عبد الوهاب إبراهيم الحاج احمد

ماجستير هندسة مدنية

مقدمة الى:

مجلس كلية الهندسة في جامعة الموصل

كجزء من متطلبات نيل شهادة الدكتوراه فلسفة

في الهندسة المدنية - إنشاءات

بإشراف

الأستاذ الدكتور بيار جعفر محمد السليفاني

الأستاذ المساعد الدكتور صهيب يحيى قاسم الدرزي

2022 ميلادي

1443 هجري

الخلاصة

تتميز العوارض ذات المفاصل النصفية بان لها تطبيقات ذات فوائد عملية كبيرة منها امكانية تقسيم تلك العوارض باستخدام المفاصل النصفية دون تغيير ملحوظ في توزيع القوى الداخلية مقارنةً بالعوارض المستمرة. ان وجود المفاصل النصفية يتيح امكانية تركيب العوارض الوسطية مباشرة على العوارض ذات المفاصل النصفية مما يسهل كثيرا عملية الانشاء. تم إجراء فحوصات عملية مختبرية لغرض دراسة نصف المفصل تحت تأثير معايير مختلفة. تم استخدام طريقة جديدة لفحص المفصل النصفى عن طريق تصنيع جهاز اختبار بتفاصيل معينة اعدت لهذا الغرض.

تتكون العينة من شلمان حديد مقطع I يستند على مفصل نصفى من الخرسانة المسلحة عن طريق وسادة تحميل . تم دراسة تأثير نوع التحميل (رتيب ومتكرر) ، وتأثير موقع التحميل (الوسطى والجانبى) ، وأنواع وابعاد مختلفة من وسادات التحميل ، وتم كذلك دراسة تأثير زيادة لامركزية التحميل ، وكذلك دراسة دعامات الشلمان الحديدى. كما تم فحص تقوية المفصل النصفى باستخدام طريقتين. الأولى باستخدام البوليمر المقوى بألياف الكربون (CFRP) لعينات التحميل الوسطى والجانبى، والثانية باستخدام الصفائح الحديدية لعينة ذات تحميل وسطى. تم اختبار عشرين عينة لدراسة هذه العوامل.

تم اختبار اربعة انواع مختلفة من وسادات التحميل وهي الوسادة المطاطية المرنة والوسادة الحديدية والوسادة بولي تترافلورو إيثيلين (PTFE) والوسادة المفصلية (Hinge Pad).

بينت اختبارات العينات ذات التحميل الوسطى باستخدام الوسادة المطاطية أن التحميل المتكرر يعطي أود ومؤشر المطيلية أعلى من التحميل الجانبى بنسبة 30.3% و 31% على التوالي، في حين أن الحمل الاقصى لكل من التحميل المتكرر والرتيب يسجل عادةً قيم متقاربة. كما أدى استخدام الوسادة المفصلية تحت تأثير الحمل المتكرر زيادة في الحمل الاقصى ومؤشر المطيلية بمقدار 13.6% و 79% على التوالي مقارنة بالحمل الرتيب. سجلت العينات ذات التحميل الجانبى باستخدام الوسادات المطاطية تحت تأثير الحمل المتكرر انخفاضا بنسبة 6.1% عنه في التحميل الرتيب. كما ان الأود الاقصى اظهر انخفاضا بمقدار 21.9% للحمل المتكرر عنه في الحمل الرتيب وسجل مؤشر المطيلية ارتفاعا بمقدار 21% بالمقارنة بالحمل الرتيب.

عند التحميل الوسطى تحت تأثير الحمل المتكرر اظهرت الوسادة الحديدية اقل قيمة للأود. كما أظهر استخدام الوسادة المفصلية اعلى قيمة لحمل الشق الأولى ومؤشر المطيلية مقارنة بالوسائد الاخرى. كما سجل استخدام الوسادة المطاطية والوسادة المفصلية قيم قريبة للحمل الاقصى وللأود الاقصى وبنفس الوقت سمحت كلتا الوسادتين بقيمة أود أقصى أعلى من الوسادة الحديدية ووسادة PTFE بنسبة 41% و 19% على التوالي وسجل استخدام وسادة PTFE اعلى قيمة للحمل الاقصى من الوسائد الاخرى وبنسبة 8.3% مقارنة بالقيمة ذاتها المستحصلة عند استخدام الوسادة المطاطية. ان استخدام الوسادة المفصلية اظهرت قيمة حمل اقصى ومؤشر مطيلية أعلى بمقدار 17.2% و 46.6% من القيم ذاتها المستحصلة باستخدام الوسادة المطاطية على التوالي.

سبب استخدام الياف الكربون في تقوية العينات ذات التحميل الوسطى ارتفاعا في قيمة حمل الشق الاولى مقارنة بالعينات غير المقواة كما اظهر عدم جدوى استخدام ألياف الكربون في تحسين قيم الحمل الاقصى ومؤشر المطيلية والأود الاقصى. ان التقوية باستخدام

الصفائح الحديدية اثبتت بأنها طريقة فعالة لتقوية العينات حيث ارتفعت قيمة الحمل الأقصى وحمل الشق الاولي وقيمة الأود الأقصى ومؤشر المطيلية بنسب 46% و 567% و 21.4% و 34.9% على التوالي مقارنة بالنموذج الاصلي.

أسهم استخدام الياف الكربون في تقوية العينات ذات التحميل الجانبي في تحسين قيم الحمل الأقصى والأود الأقصى مع زيادة بسيطة في مؤشر المطيلية حيث ارتفعت قيمة الحمل الأقصى والأود الأقصى بنسبة 36% و 59.2% عن تلك القيم في العينات غير المقواة على التوالي.

ان تقليص طول الوسادة المطاطية في العينات ذات التحميل الوسطي والحمل المتكرر الى النصف أدى لحدوث الفشل في الوسادة بدلا من الحافة مما أدى الى نقصان كبير في قيم الحمل الأقصى والأود الأقصى للنموذج، كما اظهر ارتفاعا في قيمة حمل الشق الاولي وابدى سلوكا ذو صلادة اكثر لما كانت عليه عند استخدام الوسادة الأصلية. ان تقليص طول الوسادة المفصلية في العينات ذات التحميل الوسطي والحمل المتكرر الى النصف اظهر تأثيرا ضئيلا على حمل الحافة الأقصى وفي نفس الوقت أدى الى تخفيضاً كبيراً في قيمة الأود الأقصى ومؤشر المطيلية بنسبة 36.7% و 34% على التوالي ولم يظهر اي تأثير على نمط الفشل. ان زيادة اللامركزية للتحميل أدت الى رفع كبير في قيمة حمل الشق الاولي وخفضت قيم الحمل الأقصى والأود الأقصى ومؤشر المطيلية بنسب 17% و 38% و 11.3% على التوالي مقارنة بالتحميل الوسطي.

لوحظ ان الأجهادات في دعائم الشلمان الحديدي أعلى من الاجهادات في وترة الشلمان وكلا الاجهادات كانت ضمن الحدود المرنة. ان عدم استخدام الدعائم في الشلمان الحديدي أدى الى حدوث فشل في الوترية وانخفاضا كبيرا في قيمة الحمل الأقصى.

تم استخدام طريق Strut and Tie Model (STM) لنمذجة الخرسانة المسلحة لحافة العينة. تم الحصول على تخمين جيد للحمل الأقصى حيث كان الفرق 7.7% اقل من القيمة المستحصلة من الفحوصات العملية. كما تم استخدام طريقة Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) لتوقع قيمة الحمل الأقصى. أعطت معادلة 5.44 قيمة للحمل الأقصى اعلى بنسبة 6.1% من القيمة المماثلة لنتائج الفحص العملي بينما أظهرت معادلة 5.45 قيمة للحمل الأقصى اقل بنسبة 38.5% من القيم المماثلة لنتائج الفحص العملي.

تم استخدام طريقة القطع المحددة لتمثيل النموذج وذلك لغرض دراسة شاملة لسلوك الحالتين الاولى عينة ذات تحميل رتيب وسطي باستخدام وسادة مفصلية (M-H-MD) والثانية عينة ذات تحميل رتيب جانبي باستخدام وسادة مفصلية (M-H-ED). واطهرت علاقات الحمل-الأود ونمط الشقوق سلوكا متوافقا مع النتائج العملية. ان دراسة حالة M-H-MD اظهرت ان قيمة الحمل الأقصى للقطع المحددة والنتائج العملية مقاربة جدا في حين أن قيمة الاود الأقصى لطريقة القطع المحددة اقل بنسبة 18.3% مقارنة بالنتائج العملية المماثلة. ان دراسة حالة M-H-ED اظهرت ان قيمة الحمل الأقصى للقطع المحددة أعلى بنسبة 2.8% مقارنة بالنتائج العملية المماثلة، في حين كانت قيمة الاود الأقصى لطريقة القطع المحددة اقل بنسبة 18.2% مقارنة بالنتائج العملية المماثلة.

تم توسعة استخدام طريقة القطع المحددة في دراسة تأثير مقاومة ضغط الخرسانة كدراسة حدودية. تم استخدام مقاومة خرسانة بقيم 20 و 25 و 28 و 30 و 35 و 40 ميكا باسكال واطهرت الدراسة ان زيادة مقاومة الخرسانة تزيد بشكل مؤثر من قيمة الحمل الأقصى وصلادة الحافة.