

Abstract

This study is devoted to investigate the behavior of reinforced concrete beams with large openings subjected to pure torsion, using a non-linear three-dimensional finite element model. The 20-node isoparametric brick elements have been used to model the concrete. The reinforcing bars are idealized as axial members embedded within the concrete element and perfect bond between the concrete and the reinforcement has been assumed to occur. The behavior of concrete in compression is simulated by an elasto-plastic work hardening model followed by a perfectly plastic response, which is terminated at the onset of crushing. In tension, a smeared crack model with fixed orthogonal cracks has been used with the inclusion of models for the retained post-cracking tensile stress and the reduced shear modulus.

The non-linear equations of equilibrium have been solved using an incremental-iterative technique operating under load control. The solution algorithm used was the modified Newton-Raphson method. The numerical integration has been conducted using the 27 point Gaussian type rule.

Different type of reinforced concrete beams with large rectangular transverse openings have been analysed and the finite element solution were compared with the experimental data. Several parametric studies have been carried out to investigate the effect of some important finite element and material parameters. The effect of mesh refinement, concrete compressive strength, amount of transverse reinforcement, warping restraint and opening size on the torque-twist response have been investigated. In general good agreement between the finite element solutions and the experimental results has been obtained. The finite element solutions revealed that the collapse torque and post-cracking torsional stiffness decrease with the increase of length or depth of opening.

For the beam tested in this study, the results show that the ultimate torque capacity increases by about 21% when the length of opening decreases from 800mm to 400mm, and it decreases by 16% when the length of opening increases from 800mm to 1600mm. Also, as the depth of the opening decreases from 200mm to 180mm, the torsional capacity increases by about 15%, and it decreases by 16% when the depth of opening increases from 200mm to 240mm.

خلاصة البحث

تم في هذا البحث تفصي سلوك العتبات الخرسانية المسلحة ذات الفتحات الكبيرة المتعرضة لعزم اللي باستخدام نموذج ثلاثي الأبعاد لأجراء التحليل غير الخطي. تم استخدام العنصر الطابوقي الثلاثي الأبعاد ذي العشرين عقد لتمثيل الخرسانة. أما حديد التسليح فقد تم تمثيله على شكل عناصر أحادية البعد مطمورة داخل العنصر الطابوقي واعتمدت فرضية الترابط الكلي بين مادتي الخرسانة و حديد التسليح خلال جميع مراحل تسليط الأحمال.

سلوك الخرسانة تحت تأثير اجهادات الضغط تم تمثيله بالأنموذج المرن- اللدن ذو التقوية الانفعالية (Elastic-Plastic-Strain Hardening Model)، و لتمثيل سلوك الخرسانة تحت تأثير اجهادات الشد فقد تم تبني أنموذج التشقق المنتشر (Smeared Crack Model)، مع الأخذ بالحسبان الاجهادات المتبقية في مرحلة ما بعد التشقق حيث أدخل أنموذج تصلب الشد (Tension Stiffening Model) و أنموذج احتباس القص (Shear Retention Model) و الذي يأخذ بنظر الاعتبار تخفيض قيمة معامل صلابة القص (Shear Rigidity Model) مع الزيادة في انفعالات الشد في مرحلة ما بعد التشقق.

تم حل معادلات التوازن اللاحظية باستخدام طريقة تزايدية - تعاقدية (Incremental-Iterative Model) تعمل تحت أحمال متزايدة، وتم تبني طريقة نيوتن - رافسن المعدلة لتحقيق ذلك، واجري التكامل العددي وفق أنموذج كاوس ذو السبع والعشرين نقطة تكامل.

تم تحليل أنواع مختلفة من العتبات الخرسانية تحتوي على فتحات جانبية كبير مستطيلة الشكل وتمت مقارنة النتائج المستحصلة من طريقة العناصر المحددة مع النتائج المختبرية. تم دراسة العديد من المتغيرات الخاصة بالمادة و طريقة العناصر المحددة لمعرفة تأثيرها. كما درس تأثير تقيد الازاحة باتجاه المحور الطولي للعتبة و مقاومة الانضغاط الخرسانية و كمية تسليح الأطواق و كل من حجوم الفتحات على سلوك منحنى عزم اللي- اللتواء و مقدار عزم اللي الأقصى. حيث وجد أن جساسة اللي و مقدار عزم اللي الأقصى لعتبات تقل مع زيادة طول او عمق الفتحات.

أن نتائج المستحصلة تبين ان عزم اللي الأقصى يزداد بمقدار ٢١% عندما يقل طول الفتحة من ٨٠٠ ملم الى ٤٠٠ ملم ، بينما يقل بمقدار ١٦% عندما يزداد طول الفتحة من ٨٠٠ ملم الى ١٦٠٠ ملم. وكذلك وجد أنه عندما يقل عمق الفتحة من ٢٠٠ ملم الى ١٦٠ ملم فان عزم اللي الأقصى يزداد بمقدار ١٥%، بينما عندما يزداد عمق الفتحة من ٢٠٠ ملم الى ٢٤٠ ملم فان عزم اللي يقل بمقدار ١٦%.