PH.D. THESIS SUBMISSION DETAILS

Name of Candidate: KUSUM SAINI

Entry Number: 2018CEZ8398

Title: RELIABILITY OF FIBER-REINFORCED POLYMER COMPOSITE STRUCTURES IN EXTREME LOADING CONDITIONS

Title (Hindi): अतिशय बलो की स्थितियों में रेशो से प्रबलित बहुलक संमिश्रित संरचनाओ की विश्वसनीयता

Supervisor: Prof. Dr VASANT A. MATSAGAR

Department: CIVIL ENGINEERING

ABSTRACT

Lightweight structures have become a preference for developing advanced civil infrastructure in the current time. Lightweight construction materials are advantageously used for emergency shelters, defense facilities, and other structures geographically located at places that pose complex construction and transportation challenges. These materials can also be used to build structures that protect army soldiers from harsh environmental conditions and man-made attacks at the forward posts. Structures at such posts could be subjected to blast and impact, and extreme weather could also pose significant challenges, especially for structures at high altitude areas. Rapidly deployable modular structures that can be assembled from prefabricated lightweight building units could be suitable structures for the aforementioned applications. Therefore, this study aims at assessing the behavior of different lightweight and high-performance building units made of fiber-reinforced polymer (FRP), FRP and foam sandwich, ultra-high-performance concrete (UHPC), natural fiber-reinforced foamed concrete (NFRFC), and bio-composites under various loadings. Compared to other conventional structural materials, composite materials generally have better physical and mechanical properties, such as low density, low thermal expansion coefficient, high specific strength, and high specific stiffness. As a result, composite materials are suitable for use in civil structures subjected to extreme loading conditions. However, there are various uncertainties associated with composites including variability in material properties and applied loads. Therefore, it is essential to investigate the behavior of composites considering these uncertainties.

In this study, suitable numerical models are developed for FRP, FRP and foam sandwich, UHPC, and NFRFC building units. Moreover, a finite element model is developed for a full-scale FRP and foam sandwich modular structure subjected to various blast load scenarios. Different deterministic and probabilistic numerical investigations are conducted on the buildings units and structures subjected to static and blast load. Furthermore, the effect of different protection coatings, i.e., foamed concrete and polyurea, on the blast resistance of the building units is studied. Application of polyurea coating enhances the blast resistance of the structures significantly. Notably, the behavior of the FRP composites, having various configurations, is studied under different blast load scenarios. Here, the failure of the FRP composites is determined by implementing

various failure criteria, namely, the maximum stress, Tsai-Hill, Hoffman, and Tsai-Wu failure criteria. Moreover, the stochastic performance assessment of FRP composite is conducted using Monte Carlo simulation and generalized polynomial chaos methods in this doctoral research. In addition to the building units, a selected connection, i.e., anchor channel, is investigated under static and high-rate loadings. Experimental studies are also conducted to assess the behavior of FRP and foam sandwich beams, and anchor channels under static loads. Indentation failure in the FRP facesheet and shear failure in the foam core are obtained as the most governing failures in the sandwich composite beams. Concrete edge breakout is obtained as a dominating failure mode for anchor channels under shear load. Furthermore, the effect of moderate and high loading rates on anchor channel shows enhancement in the influence of structural inertia, and further, increases the localized failure, i.e., shear cracks around the channel.

Climate change has become a worldwide problem, and many conventional construction materials are contributing to the carbon footprint. Stubble burning also causes a huge amount of greenhouse gas emission (GHG) in many countries every year. Therefore, the environmental impacts of stubble burning in India and alternative bio-composite production have been compared. Subsequently, the use of natural fibers in civil engineering structures is studied, as an alternative to conventional construction materials. Finally, a trial production of prototype bio-composite building units is carried out. The production of the building units is accomplished through a startup initiated as part of this doctoral study. Thus, this doctoral research contributes to reliable modular structures made of lightweight and high-performance materials subjected to extreme loadings.

सार

वर्तमान समय में उन्नत बुनियादी निर्माण के लिए हल्के ढांचे एक प्राथमिकता बन गए हैं। हल्की निर्माण सामग्रीयो का उपयोग आपातकालीन आश्रयों के लिए, रक्षा सुविधाओं के लिए, और भौगोलिक रूप से जटिल निर्माण और परिवहन चुनौतियों का सामना करने वाले स्थानों पर स्थित संरचनाओं के लिए लाभप्रद रूप से किया जाता है। इन सामग्रियों का उपयोग उन संरचनाओं के निर्माण के लिए भी किया जा सकता है जो सेना के सैनिकों को कठोर पर्यावरणीय परिस्थितियों और सीमाओं पर मानव निर्मित हमलों से बचाते हैं। ऐसी सुरक्षा चौकीयों पर संरचनाएं विस्फोट और संघात के सम्पर्क में हो सकती हैं, और कठोर मौसम भी संरचानाओ के लिए चुनौतियां पैदा कर सकता है। मॉड्यूलर संरचनाएं, जो तेजी से परिनियोजन योग्य होती है और इन्हे पूर्वनिर्मित हल्की भवन इकाइयों को जोड़ने से बनाया जा सकता है, ऐसी संरचनाए उपरोक्त अनुप्रयोगों के लिए उपयुक्त हो सकती हैं। इसलिए, इस अध्ययन का उद्देश्य विभिन्न बलो के तहत रेशो से प्रबलित बहुलक (रेब), रेब और फोम सैंडविच, अति उच्च प्रदर्शन वाली कंक्रीट (अप्रकं), प्राकृतिक रेशो से प्रबलित फोमयुक्त कंक्रीट (प्रारेफोकं), और जैव समिश्रित इकाइओ के व्यवहार का आकलन करना हैं। आमतौर पर पारंपरिक संरचनात्मक सामग्रियों की तुलना में समिश्रित सामग्रियों में बेहतर भौतिक और यांत्रिक गुण होते हैं, जैसे की कम घनत्व, कम तापीय विस्तार गुणांक, उच्च विशिष्ट शक्ति, और उच्च विशिष्ट कठोरता। परिणामस्वरूप, उच्च बलो की स्थितियों के अधीन संरचनाओं में समिश्रित सामग्रियों का उपयोग उपयुक्त है। हालाँकि, समिश्रित निर्माण सामग्रीयो में विभिन्न भौतिक गुणों और बलो से अनिश्चितताएँ जुड़ी होती हैं। इसलिए, इन अनिश्चितताओं को लेकर समिश्रित निर्माण सामग्रीयो के व्यवहार की जांच करना आवश्यक है।

इस अध्ययन में, रेब, रेब और फोम सैंडविच, अप्रकं, प्रारेफोकं, और जैव समिश्रित इकाइओ के लिए उपयुक्त अभिकलनात्मक निदर्श विकसित किए गए हैं। इसके अलावा, विभिन्न विस्फोटक बलो परिदृश्यों के अधीन पूर्ण पैमाने पर रेप्रब और फोम सैंडविच मॉड्यूलर संरचानाओ के लिए एक अभिकलनात्मक निदर्श विकसित किया गया है। विभिन्न स्थैतिक और विस्फोटक बलो के अधीन इन भवन इकाइयों और संरचानाओ की नियतात्मक और प्रसंभाव्य अभिकलनात्मक जांच की गई है। इसके

अलावा, भवन इकाइयों के विस्फोटक बल प्रतिरोध के लिए विभिन्न सुरक्षा लेप, जैसे की फोमयुक्त कंक्रीट और पॉलीयूरिया के प्रभाव का अध्ययन किया जाता है। पॉलीयूरिया लेप के अनुप्रयोग से संरचनाओं की विस्फोटक प्रतिरोधक क्षमता काफी बढ़ जाती है। विशेष रूप से, विभिन्न विन्यासो वाले रेब समिश्रित इकाइओ के व्यवहार का अध्ययन विभिन्न विस्फोटक बल परिदृश्यों के तहत किया गया है। यहां, रेब समिश्रित इकाइओ की विफलता मापन के लिए विभिन्न मानदंडों, जैसे की मैक्सीमम स्ट्रेस, साई-हिल, हॉफमैन और साई-वू विफलता मानदंडों को लागू किया गया है। इसके अलावा, इस वाचस्पति अनुसंधान में मोंटे कार्लो अनुकरण और जेनेरलाइज़ड पोलीनोमिअल केओस विधियों का उपयोग करके रेप्रब समग्र का प्रसंभाव्य प्रदर्शन का आकलन किया गया है। भवन इकाइयों के अलावा, एक चयनित कनेक्शन, एंकर चैनल की जांच स्थैतिक और उच्च दर बलो के तहत की गयी है। रेब और फोम सैंडविच बीम और एंकर चैनलों के व्यवहार का आकलन स्थैतिक बलो के तहत प्रायोगिक अध्ययन भी किया गया हैं। रेब फेसशीट में इंडेंटेशन विफलता और फोम कोर में कतरनी विफलता को सैंडविच मिश्रित बीम में सबसे अधिक शासी विफलता के रूप में प्राप्त किया जाता है। एंकर चैनलों में कंक्रीट किनारे का टूटना प्रमुख विफलता का माध्यम प्राप्त किया गया है। इसके अलावा, एंकर चैनलों में मध्यम और उच्च दरों के बलो के प्रभाव में संरचनात्मक जड़त्व बल के प्रभाव में वृद्धि मिली है, जो स्थानीय विफलताओ जैसे की चैनल के चारों ओर अपरूपण दरारो को बढ़ाता है।

जलवायु परिवर्तन एक विश्वव्यापी समस्या बन गई है और कई पारंपरिक निर्माण सामग्रियां भी कार्बन उत्सर्जन के रूप में इसमे योगदान देती है। पराली जलाने से भी हर साल कई देशों में भारी मात्रा में ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन (ग्रीगैउ) होता है। इसलिए, भारत में पराली जलाने और वैकल्पिक जैव समिश्रित इकाइओ के उत्पादन के पर्यावरणीय प्रभावों की तुलना की गई है। इसके बाद, पारंपरिक निर्माण सामग्रियों के विकल्प के रूप में, बुनियादी ढांचो में प्राकृतिक रेशो के उपयोग का अध्ययन किया गया है। अंत में, जैव समिश्रित आदिरूप इकाइयों का परीक्षित उत्पादन किया जाता है। जैव समिश्रित भवन निर्माण इकाइयों का उत्पादन, स्टार्टअप के माध्यम से इस वाचस्पति अनुसंधान अध्ययन के हिस्से के रूप में शुरू किया गया है। इस प्रकार, यह वाचस्पति अनुसंधान विभिन्न प्रकार के बलो के अधीन हल्के और उच्च प्रदर्शन सामग्रियों से बने विश्वसनीय मॉड्यूलर संरचनाओं में योगदान देता है।