भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 28 अंक (1) जून 2020 पृ. 7-18

स्टील-कंक्रीट कम्पोजिट निर्माण तकनीक की आधारभूत संरचनाओं के विकास में उपयोगिता & अभियांत्रिकीय परिप्रेक्ष्य

अमर प्रकाश एवं एन आनंदवल्ली
सैद्धांतिक और अभिकलनात्मक यांत्रिकी प्रयोगशाला, सी.एस.आई.आर-एस.ई.आर.सी.
सी.एस.आई.आर. कैंपस, तारामणि, चेन्नई 600 113 (तमिलनाडु)

सारांश : इस्पात-कंक्रीट समग्र कम्पोज़िट निर्माण तकनीक का उपयोग विकसित देशों में कई दशकों से हो रहा है। भारत जैसी तेजी से उभरती अर्थव्यवस्था के विकास में और गति लाने के लिए उत्तम निर्माण तकनीकों को प्रयोग में लाना अत्यंत आवश्यक होता जा रहा है। जहां प्रतिदिन नई सड़कें, पुल, फ्लाईओवर एवं भवनों का निर्माण तेजी से हो रहा है, वहीं देश में उपलब्ध सीमित संसाधनों और पर्यावरण पर भी इसका सीधा असर दिखाई दे रहा है। इसलिए, सभी डिजाइनरों, अभियंताओं एवं नीति निर्धारक संस्थाओं का यह दायित्व बनता है कि आधारभूत संरचनाओं के निर्माण में इस्पात-कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण जैसी बेहतर तकनीकों का उचित उपयोग करके अपने सीमित संसाधनों और पर्यावरण दोनों को संरक्षित करने का प्रयास करें। इस्पात-कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण तकनीक में इस्पात गर्डरों को कंक्रीट के स्लैब से यांत्रिक योजकों की मदद से सहक्रियात्मक लाभ हेतु आपस में जोड़ा जाता है। इन योजकों को विभिन्न आकारों और मापों में पाया जाता है। इस तकनीकी लेख में स्टड टाइप योजकों का प्रयोग किया गया है। इस निर्माण तकनीक के कई फायदें हैं, जैसे कि निर्माण में सापेक्षिक रूप से हल्के भार सहन के लिए नींव की आवश्यकता, निर्माण की तीव्र गति, आसान निर्माण विधि, और निर्माण लागत की शीघ्र वसूली इत्यादि। प्रस्तुत तकनीकी लेख में इस्पात-कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण तकनीक में प्रमुख रूप से होने वाली विभिन्न यांत्रिक एवं अभियांत्रिक प्रक्रियों के बारे में विस्तार से वर्णन किया गया है। प्रस्तुत लेख में लेखकों द्वारा किये गए विभिन्न प्रयोगों के आधार पर प्राप्त परिणामों की संक्षेप में चर्चा की गयी है। विशेष रूप से आंतरिक बलों को सहन करने एवं सहन शक्ति से अधिक भार पड़ने पर इस्पात-कंक्रीट कम्पोजिट गर्डरों के असफ़ल होने के समय विभिन्न प्रक्रियाओं और कम्पोजिट गर्डरों के विकृत रूप के प्रकारों को भी समझाया गया है। आसानी से उपलब्ध साहित्य एवं प्रयोगों के आधार पर यह पाया गया है कि इस निर्माण तकनीक का उपयोग करके कुल लागत ख़र्चों में लगभग 30% तक बचत की जा सकती है।

Utility of steel-concrete composite construction technique in the development of infrastructure Engineering perspective

Amar Prakash & N Anandavalli
Theoretical and Computational Mechanics Laboratory, CSIR-SERC
CSIR Campus, Taramani, Chennai 600 113 (Tamilnadu)

Abstract

Steel-concrete composite construction technique is being used in developed nations for last few decades. For obtaining accelerated growth in fast emerging Indian economy, it is becoming necessary to adopt best construction techniques and practices. On one side there is considerable construction of new roads, bridges, flyovers and buildings taking place on daily basis, on the other side we can foresee the effect of such activities on our limited resources and environment. Therefore, it is vital task for all designers, engineers and policy makers. It must be ensured and all the possible way that the best constructional techniques must be adopted to protect both, our depleting resources and environment. Steel-concrete composite construction technique comprises of synergetic bonding between steel girder and reinforced concrete slab using mechanical connectors. In this technical paper stud type shear connectors have been used. In the market, various shapes and sizes are available. The main advantages of this construction method are lightweight foundation structure, faster constructing method, ease in construction and above all the quicker recovery of investments towards development. In the present technical paper, various internal mechanisms and processes are explained. The results of the experiments conducted by authors have also been briefly discussed. The special attention is given to understand internal force resistance mechanics and also the failure patterns due to excess loads than maximum capacity of steel concrete composite girders. Based on experimental results and available literature it has been obtained that we can easily obtain about 30% saving in total investment by adopting composite construction technique.

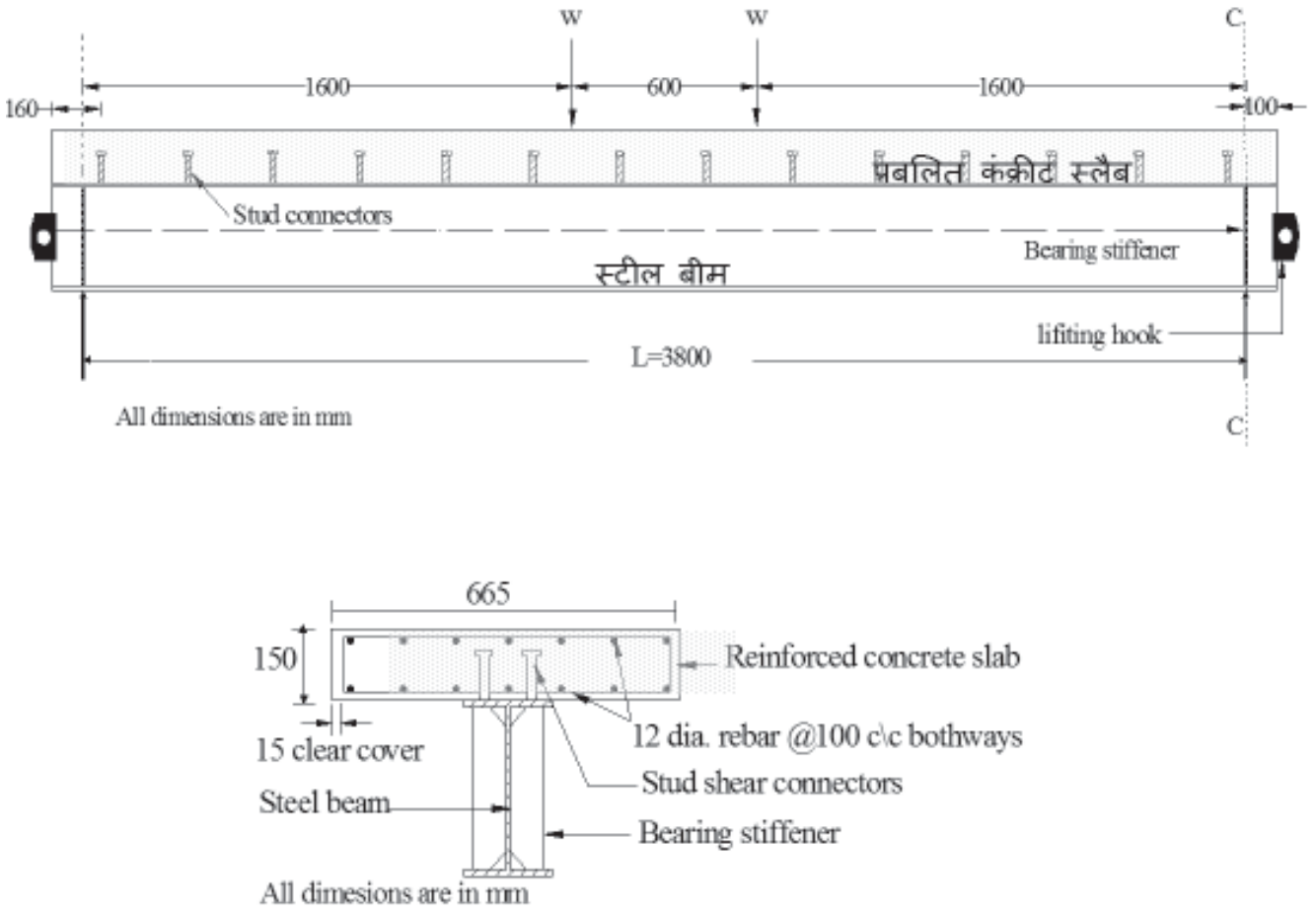
प्रस्तावना

इस लेख में वर्णित स्टील-कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण का तात्पर्य आधारभूत संरचनाओं के निर्माण की विशेष विधि से है। इस निर्माण तकनीक में, इस्पात (स्टील) के बीम को प्रबलित कंक्रीट स्लैब से यांत्रिक योजकों की मदद से जोड़ा जाता है। इस प्रकार जुड़ने की वजह से हम, इन दोनों संरचनीय सदस्यों (कंक्रीट स्लैब और स्टील बीम) का सहक्रियात्मक लाभ ले पाते हैं[8,12] अन्यथा, दोनों सदस्य दिखने में एक लगते हैं, लेकिन भार वहन करने में दोनों अलग-अलग व्यवहार करते हैं। अतः इस निर्माण तकनीक द्वारा हम कम निर्माण सामग्री का उपयोग करके अधिक से अधिक लाभ ले सकते हैं। विकसित देशों में, यह निर्माण तकनीक छोटे एवं मध्यम फैलाव वाले पुलों एवं इमारतों के निर्माण के लिए काफ़ी प्रसिद्ध है। इस निर्माण विधि में उपयोग होने वाले संरचनीय सदस्यों को चित्र-1 में दर्शाया गया है।

कम्पोज़िट निर्माण तकनीक की उपयोगिता एवं आवश्यकता

वर्तमान में भारत की अर्थव्यवस्था के विकास की गति की दर 6-7% है, जोकि निकट भविष्य में 8 से 9% तक पहुँच सकती है। भारत विश्व का द्वितीय स्टील उत्पादक देश है। वर्ष 2019 के अंत तक स्टील का उत्पादन 102.8 MT हो जाएगा। इसी के साथ-साथ सीमेंट उत्पादन में चीन के बाद भारत दूसरे स्थान पर है। भारत में सीमेंट का वार्षिक उत्पादन लगभग 502 MT है।

जहाँ एक ओर हमें निर्माण सामग्री आसानी से उपलब्ध है, वहीं दूसरे ओर, वर्तमान केंद्र सरकार की प्राथमिकताओं में आधारभूत ढांचों के विकास पर विशेष ध्यान दिया जा रहा है। इसके अलावा भारत सरकार ने 100 नए स्मार्ट शहर विकसित करने का लक्ष्य भी निर्धारित किया है। इसीलिए इन सभी संभावनाओं को ध्यान में रखते हुए, हम सभी अनुसंधानकर्ताओं, वैज्ञानिकों एवं डिज़ाइनरों के लिए यह उत्तम अवसर है कि



चित्र 1 – (क) स्टील-कंक्रीट कम्पोजिट गर्डर के मुख्य अवयव (ख) स्टील कंक्रीट कम्पोज़िट बीम की अनुप्रस्थ काट c-c

स्टील-कंक्रीट कम्पोज़िट जैसी बेहतर निर्माण तकनीकों का इस्तेमाल करके भारत में आधारभूत ढांचों के विकास में अपना योगदान दें। हाल ही के कुछ वर्षों में, भारत सरकार ने महानगरों में बढ़ती यातायात की समस्याओं के निवारण के लिए कई आधारभूत ढांचों से सम्बंधित परिकल्पनाओं को अपनी स्वीकृति दी है।

अतः यह स्पष्ट है कि स्टील-कंक्रीट कम्पोज़िट तकनीक का उपयोग निकट भविष्य में होने वाले फ्लाईओवरों, इमारतों, पुलों के निर्माण में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकता है। इस प्रकार की कार्यशालाओं के माध्यम से नई एवं बेहतर निर्माण तकनीकों के उपयोग को लेकर लोगों में जागरुकता लाई जा सकती है। ताकि हम अपने संसाधनों के संरक्षण के साथ-साथ अपने पर्यावरण को भी सुरक्षित बना सकें।

विकसित देशों में स्टील-कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण तकनीक का अनुप्रयोग

विकसित देशों में इस निर्माण तकनीक का प्रयोग 1950 से होता आ रहा है[1,8,12] और इन्हीं उपयोगकर्ताओं के अनुभवों के आधार पर इस निर्माण विधि के लाभों के बारे में कुछ मुख्य बिंदु निम्न प्रकार से दिए हैं:

- तीव्र निर्माण गति की वजह से निर्माण में होने वाले निवेश को शीघ्र ही वसूल किया जा सकता है।
- प्रबलित कंक्रीट के पुलों की तुलना में इस निर्माण तकनीक के द्वारा लम्बे फैलाव (Span) वाले पुलों का निर्माण आसानी से हो सकता है।
- कम्पोज़िट निर्माण तकनीक के द्वारा 20 से 30% तक लागत बचत प्राप्त की जा सकती है।
- एक ही लम्बाई वाले फैलाव के लिए हल्के स्टील सेक्शन की ही आवश्यकता होती है।
- इस तकनीक को पर्यावरण-मित्र के रूप में भी देखा जाता है।
- इस निर्माण विधि से निर्मित सरचनाओं की आसानी से मरम्मत की जा सकती है।

इस निर्माण विधि के उपयोग को प्रभावित करने वाले कारक

- विस्तृत लागत का आंकलन
- सकल घरेलू उत्पाद एवं प्रति व्यक्ति आय
- स्टील-सीमेण्ट का उपयोग अनुपात
- कोड एवं दिशा-निर्देशों का अभाव
- कुशल श्रमिकों की उपलब्धता
- इस निर्माण तकनीक द्वारा सबसे सही फैलाव (Span) की लम्बाई 15 मीटर से 35 मीटर होती है।

स्टील-कंक्रीट कम्पोजिट निर्माण तकनीक से जुड़े कुछ अहम् मुददे

जैसा की पहले ही बताया जा चुका है कि इस तकनीक निर्माण में तीन प्रमुख अवयव होते हैं; प्रबलित कंक्रीट स्लैब, स्टील गर्डर/बीम, और यांत्रिक योजक[8,12] लेकिन सबसे महतवपूर्ण बात यह है कि जुड़ने के बाद ये तीनों सहक्रियात्मक प्रभाव प्रस्तुत करते हैं। इन्हीं तीनों अवयवों के बीच आपसी बलों के आदान प्रदान के समय कई प्रकार के मुद्दे उभर कर सामने आते हैं। कुछ विशेष मुद्दे लिखित बिंदुओं की मदद से समझाये गए हैं:

- प्रबलित कंक्रीट स्लैब और स्टील गर्डर के अन्तरापृष्ठ पर उत्पन्न अपरूपण बल की गणना एवं यांत्रिक योजकों का डिज़ाइन करना।
- निर्माण की विभिन्न अवस्थाओं के आधार पर स्टील कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण में सम्मिलित सभी तत्वों पर पड़ने वाले बलों का आकलन करके निर्माण की शक्ति एवं स्थिरता की जांच करना। क्योंकि यौगिक एवं पूर्व-यौगिक दोनों ही अवस्थाओं में अलग-अलग अवयव में उत्पन्न प्रतिबलों का मान बदलता रहता है।
- प्लास्टिक निष्पक्ष अक्ष (PNA) प्रारूप की योजना बनाने में अहम् भूमिका निभाता है। इस निर्माण तकनीक में स्टील एवं कंक्रीट तत्वों को अनुपातिक दृष्टि से इस प्रकार डिज़ाइन किया जाता है कि प्लास्टिक निष्पक्ष अक्ष, कंक्रीट स्लैब के ठीक नीचे रहे, ताकि कंक्रीट का पूर्णतया उपयोग किया जा सके।
- इस निर्माण तकनीक में, कम्पोज़िट गर्डर की प्रभावी चौड़ाई का निर्धारण करना भी एक अहम मुद्दा होता है। इसके लिए अपरूपण अंतराल (Shear Lag) जैसी घटना को समझना अत्यंत आवश्यक होता है। कम्पोज़िट गर्डर की प्रभावी चौड़ाई के आधार पर ही अनुभागीय गुणों का आकलन करके ही डिज़ाइन में उपयोग किया जाता है[2,13]।
- इस निर्माण विधि में आश्रित एवं अनाश्रित दोनों प्रकारों में से अनाश्रित निर्माण द्वारा आश्रित निर्माण की तुलना में अधिक लम्बाई वाले फ्लाईओवर और पुलों का निर्माण किया जा सकता है[2]।
- स्टील कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण में अपरूपण-संयोजन (Shear Connection) एक महत्वपूर्ण डिज़ाइन चरण होता है[2,3,8]। उपयोगिता सीमा के आधार पर अनुज्ञप्त झुकाव को रखते हुए पूर्ण और आंशिक अपरूपण-संयोजन डिज़ाइन किया जाता है। इसके द्वारा यह पता चलता है कि स्टील-कंक्रीट अंतरापृष्ठ पर फिसलन (Interface-slip) होगी कि नहीं।

स्टील कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण- मूलभूत व्यवहार

• वंकीय व्यवहार

साधारणतया समर्थित कम्पोज़िट गर्डर्स के मामले में, कंक्रीट स्लैब में वंकीय (Flexural) बलों का परिणाम (आंशिक रूप से या पूरी तरह से तटस्थ अक्ष के स्थान पर निर्भर करता है) संपीड़ित होता है, और स्टील तत्व में बलों का परिणाम आमतौर पर तन्य होता है[8]। इसलिए स्टील-कंक्रीट अंतरापृष्ठ से सटे कंक्रीट फाइबर वंकीय बलों के तहत विस्तार करने की कोशिश करते हैं, जबकि अंतरापृष्ठ से सटे स्टील फाइबर सिकुड़ने की कोशिश करते हैं। यह सापेक्ष विकृति योजकों (stud connectors) को भी विकृत करती है[8], जिसके कारण योजकों के नजदीक कंक्रीट पर अत्यधिक बल पड़ता है, जिसे चारों तरफ से स्टील के सरियों द्वारा मिलने वाले समर्थन द्वारा सहन कर लिया जाता है (चित्र 2 देखें)। इस प्रकार योजक, गर्डर के मिडस्पैन की ओर कंक्रीट पर जोर लगाते हैं। वंकीय (Flexural) विकृतियां प्रत्यक्ष तनाव को भी पैदा करती हैं, जिसके परिणामस्वरूप स्टील और कंक्रीट के बीच ऊर्ध्वाधर अलगाव भी होता है। ये अपरूपण योजक अनुदैर्ध्य अपरूपण बलों के साथ इन तन्य बलों का भी विरोध करते हैं।

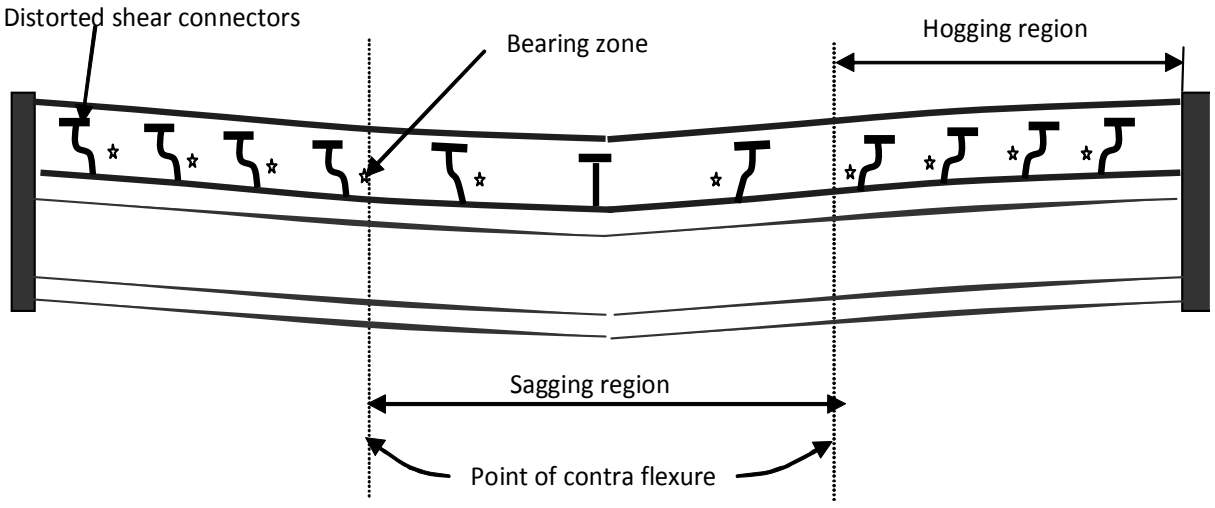
• अंतरापृष्ठीय (Interfacial) व्यवहार

कोम्पोज़िट गर्डर/बीम की विकृति, प्रतिबल वितरण और विफलता के प्रकार स्टील और कंक्रीट तत्वों के बीच अपरूपण संयोजन (shear connection) के व्यवहार पर निर्भर करते हैं[2,3]। इस व्यवहार को अंतरापृष्ठीय बलों और संबंधित फिसलन (slip) (चित्र 3 देखें) द्वारा दर्शाया जा सकता है। स्टील ओर कांक्रीट के बीच के बन्ध का व्यवहार अपरूपण योजकों के प्रकार और कम्पोज़िट गर्डरों में प्रदान किए गए स्टील प्रबलन के आधार पर अत्यंत भंगुर से अत्यंत लचीला (ductile) तक हो सकता है।

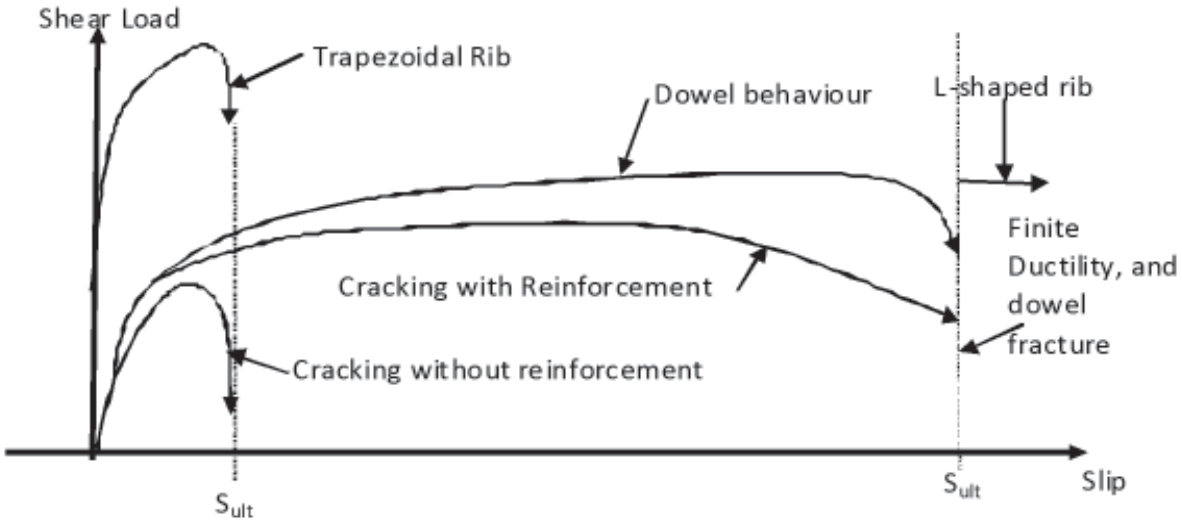
रिब आकार के अपरूपण योजक (Rib type shear connector) अलग-अलग आकार के लिए अलग-अलग बंध की विशेषताओं को दिखाते हैं[11], एल-आकार की रिब्स द्वारा बहुत अच्छा नमनीय बॉन्ड विशेषताओं का प्रदर्शन किया जाता है, जबकि ट्रैपेज़ॉइडल रिब बेहद भंगुर बॉन्ड विशेषताओं का प्रदर्शन करता है और केवल बहुत छोटे परिमित फिसलन (finite slip) पर विफल होता है।

यांत्रिक अपरूपण कनेक्टरों में भी बांड विशेषताओं की समान सीमा होती है। स्टड, बोल्ट, और एंगल कनेक्टर पर्याप्त प्लास्टिक क्षेत्रों को प्रदर्शित करते हैं, लेकिन एक परिमित फिसलन पर फ्रैक्चर हो जाते हैं, जिसके परिणामस्वरूप अगर इन्हें ठीक से डिज़ाइन नहीं किया गया है, तो कम्पोज़िट स्लैब की विफलता हो सकती है।

स्टील कंक्रीट अंतरापृष्ठ पर संकेन्द्रित भारों का फैलाव तनन, अपरूपण और विभाजन क्रियाओं द्वारा तन्य दरार को ओर चीरने को प्रेरित कर सकता है। तन्य दरारों के विकास की दूसरी संभावना तब होती है जब कनेक्टर इंटरफ़ेस पर पृथक्करण का



चित्र 2 – स्टील- कंक्रीट कम्पोज़िट गर्डर की विकृति



चित्र 3 – अन्तरापृष्ठीय अपरूपण बल और फिसलन

प्रतिरोध करता है और इन दरारों को सन्निहित (embedded) दरारें कहा जाता है। यदि क्रैकिंग के तल को कोई सुदृढ़ीकरण पार नहीं करता है, तो डॉवल्स (dowels) की ताकत तुरंत कम हो जाती है, परिणामस्वरूप दरार पड़ना शुरू हो जाती हैं। और स्लिप क्षमता भी कम हो जाती है।

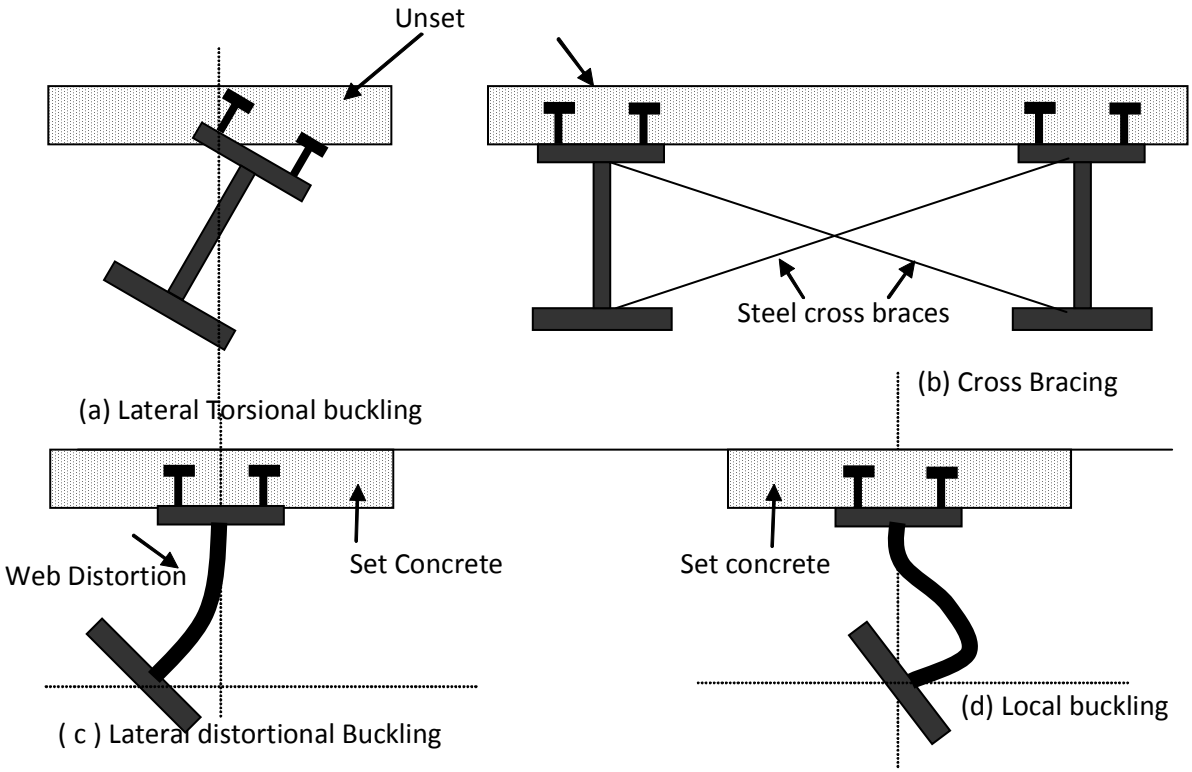
• स्टील कंक्रीट कम्पोज़िट गर्डर का बकलिंग व्यवहार

किसी भी स्टील संरचना के डिजाइन में, बकलिंग (Buckling) हमेशा महत्वपूर्ण कारक रहता है। विभिन्न राष्ट्रीय-संहिताओं (National Codes) में इस्पात संरचनाओं की बकलिंग पर गहन रूप से अनुसंधान एवं विचार किया गया है[5,8]। सामान्य तौर पर बकलिंग के प्रकार को समग्र (Overall) और स्थानीय (Local) रूप में संदर्भित किया जाता है (चित्र 4 देखें) समग्र बकलिंग तब होती है जब पूरा सदस्य अस्थिर हो जाता है, और ऊर्ध्वाधर अक्ष के एक तरफ स्थानांतरित हो जाता है और एक समतुल्य स्थिति में मुड़ जाता है, जिसमें मुड़ाव (बकल) का आधा तरंग दैर्ध्य सदस्य की लंबाई के बराबर होता है।

कम्पोज़िट निर्माण में समग्र बकलिंग का निर्माण चरण के दौरान और कंक्रीट के सख्त होने के दौरान विशेष ध्यान देना चाहिए। क्योंकि निर्माण के दौरान कंक्रीट की गीली अवस्था के तहत, स्टील गर्डर का शीर्ष लेंज (सिंदहम), झोल (sagging) क्षेत्र में दबाब (compressive stress) के अधीन होता है, जिसके कारण अस्थिरता (instability) सामान्य लेटरल-टॉर्सिनल (Lateral-Torsional) बकलिंग (यानी विस्थापन और कठोर बॉडी के रूप में स्टील क्रॉस सेक्शन का घुमाव) द्वारा हो सकती है। विफलता के इस तरीके का अनुमान लगाना आसान है, और क्रॉस-ब्रेसिंग (cross-bracing) का उपयोग करके इससे बचा जा सकता है।

दूसरी ओर, पार्श्व-विकृत मोड (ब्रैडफोर्ड, 1992) के कारण, कठोर कम्पोज़िट गर्डर के नकारात्मक आघूर्ण क्षेत्र में स्टील मुड़ाव हो सकता है। पार्श्व-विकृत बकलिंग इसलिए उत्पन्न होती है, क्योंकि बकलिंग के दौरान अपरूपण संयोजन, स्टील बीम के शीर्ष लेंज और कंक्रीट स्लैब के मोड़ को रोकता है, जिससे वेब को दृढ़ता मिलती है, जो नीचे की स्टील लेंज की बकलिंग का प्रतिरोध करता है[5,7,13]। इस प्रकार बकलिंग के दौरान स्टील बीम क्रॉस-सेक्शन अपने ही तल में विकृत होता है। कम्पोज़िट निर्माण के लिए बने अधिकांश कोड, पार्श्व विकृत मुड़ाव (Lateral distortional buckling) को लिमिट स्टेट के रूप में लेते हैं, और तदनुसार क्रॉस ब्रेसिंग को अक्सर निर्दिष्ट किया जाता है।

कई मामलों में संपीडन (Compression) लेंज और वेब की लोकल बकलिंग, अस्थिरता की संभावना उत्पन्न करते हैं, जिसे रोका जाना चाहिए। इस प्रकार की बकलिंग तब होती है जब अनुभाग की घटक प्लेट तल से बाहर विकृत हो जाते हैं, लेकिन घटक प्लेटों के चौराहों पर सीधी रेखा के जंक्शन शेष रह जाते हैं। स्थानीय मुड़ाव (local buckling), झोल (sagging) के साथ-साथ उत्रलन (hogging) क्षेत्रों में भी हो सकता है। सैगिंग क्षेत्र में जब तटस्थ अक्ष वेब में निहित होता है, तो शीर्ष लेंज दबाब के तहत मुड़ सकता है लेकिन अपरूपण कनेक्टर्स और कंक्रीट स्लैब की उपस्थिति के कारण, स्थानीय बकलिंग को मिटा दिया जाता है।



चित्र 4 – मिश्रित गर्डर का बकलिंग व्यवहार

कम्पोज़िट निर्माण का विभाजन व्यवहार

वंकीय क्रैकिंग के अलावा, विभाजन (splitting), संभवतः कम्पोज़िट बीम के कंक्रीट तत्व की तन्य विफलता का सबसे आम रूप है। अक्सर विभाजन के माध्यम से अनुदैर्ध्य क्रैकिंग कम्पोज़िट बीम में अपरूपण योजकों तक सीमित साइड कवर की वजह से होता है। अनुप्रस्थ प्रबलन की अनुपस्थिति के कारण विभाजन बीम की पूरी लंबाई में फैल सकता है। कम्पोजिट ब्रिज डेक निर्माण में, उपयोगिता या अंतिम सीमा की स्थिति में, विभाजन की घटना को रोकना या प्रतिबंधित करना आवश्यक होता है[5,7]। योजकों के आस-पास केंद्रित बल क्षेत्र (bearing zone) में कंक्रीट को कुचलने से रोका जा सकता है। स्थिरण क्षेत्र (anchorage zone) के डिज़ाइन के लिए अक्सर यह माना जाता है कि कम्पोजिट बीम का विभाजन हो चुका है, और फिर इसके आधार पर विभाजन क्षेत्र के चारों ओर पर्याप्त क्षमता का अनुप्रस्थ प्रबलन प्रदान किया जाता है ताकि संतुलन बना रहे। यह विधि विभाजन के द्वारा पड़ने वाले बलों को सहने में सिर्फ जब तक कारगर होती है, तब तक कि केंद्रित बल क्षेत्र में कंक्रीट विभाजन के फलस्वरूप त्रिअक्षीय समर्थन के हटने के कारण कुचल नहीं जाती।

स्थानीय विभाजन

सतहीय पट्टी (अपरूपण योजक के जैसा मानकर) द्वारा लगने वाले भार के कारण उत्पन्न पार्श्विक प्रतिबल वितरण का डेरिक और जॉनसन की तत्व विधि का उपयोग करके अध्ययन किया गया (चित्र- 5)। उन्होंने बताया की प्रत्येक अपरूपण योजक द्वारा उत्पन्न प्रतिबल उसके किनारे से दूरी पर निर्भर करता है। जिस भार पर कंक्रीट विभाजन होता है, वह कंक्रीट की अधिकतम तनाव शक्ति के बराबर होता है, और, इस प्रकार दिया जाता है:

$$P_{split}$$

Where,

b_c= width of concrete element

b_a=width of concentrated load

h_a=height of strip load

f_{cb}= splitting tensile strength of concrete

उपरोक्त समीकरण से पता चलता है कि यदि सतहीय पट्टी की चौड़ाई इब के बराबर है, तो भार का कोई फैलाव नहीं होगा।

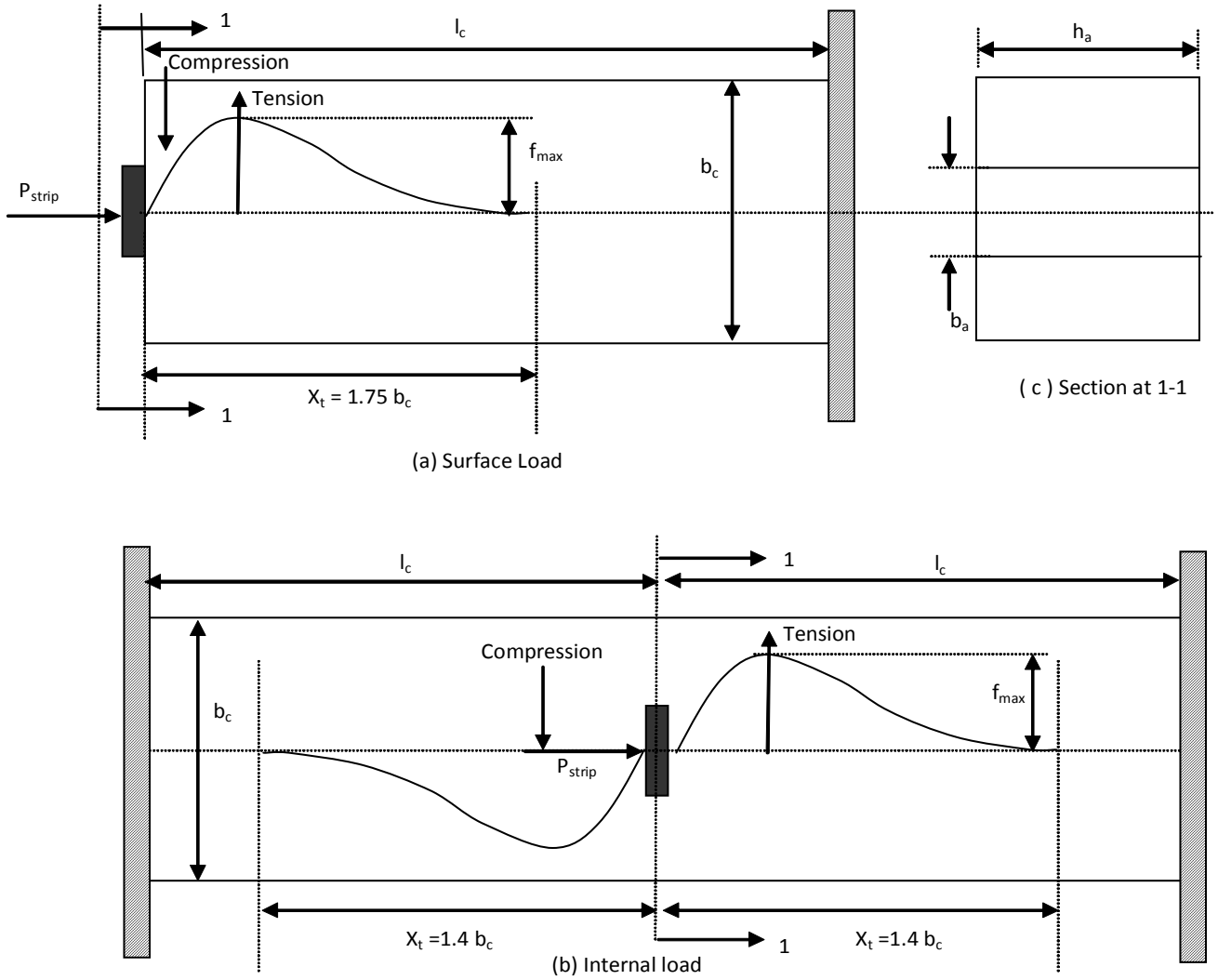
द्विविमीय वैश्विक विभाजन

जब योजकों के बीच अनुदैर्ध्य दूरी गज से दुगुनी से ज्यादा होती है तब अनुप्रस्थ प्रतिबल क्षेत्र नजदीक के योजक से प्रभावित नहीं होते, अतः ये क्षेत्र अत्यधिक असमान अकार के होते हैं। जब योजकों के बीच परस्पर दूरी कम्पोज़िट बीम की चौड़ाई के बराबर होती है तब ये अनुप्रस्थ क्षेत्र आपस में मिल जाते हैं तथा बीजगणितीय योग की वजह से अनुप्रस्थ प्रतिबलों का परिमाण घट जाता है। इसके फलस्वरूप, एक सामान वितरण वाले प्रतिबल क्षेत्र बनते हैं (चित्र 6)। जब दो योजकों के बीच की दूरी इब से बहुत काम होती है तब इन अनुप्रस्थ प्रतिबलों को वितरण काफी तौर पर एक समान होता है। यही वह शर्त होती है जो वैश्विक विभाजन के लिये विचार में लाई जाती है।

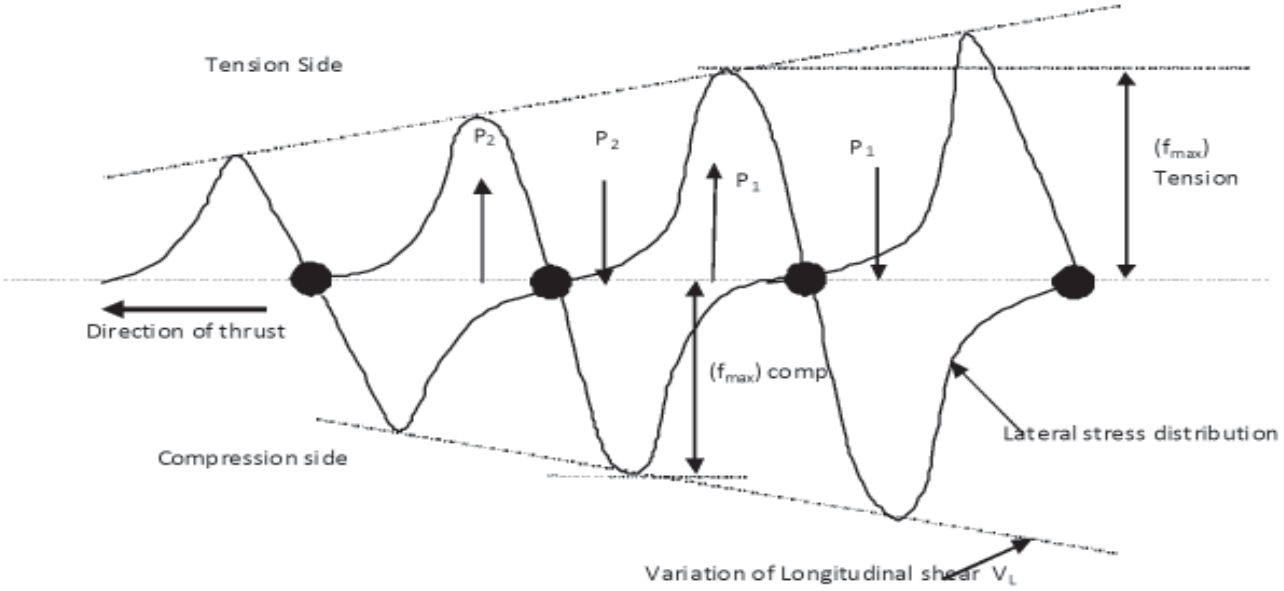
अनुप्रस्थ प्रबलन के लिए नियम

इस लेख में प्रयोग किये गए, यांत्रिक योजकों के द्वारा कंक्रीट पर लगने वाले अत्यधिक संकेंद्रित भार को सहन करने के लिए अनुप्रस्थ प्रबलन प्रदान करने के लिए कुछ नियम बनाये गए हैं। हालांकि भारतीय कोड, अनुप्रस्थ प्रबलन के लिए सिफारिश करता है लेकिन इन स्टील की सरियों के बीच की दूरी के बारे में विस्तार के लिए कोई स्पष्ट दिशा-निर्देश नहीं हैं (चित्र 7 देखें।) शोधकर्ताओं द्वारा प्रायोगिक तौर पर प्राप्त करने के लिए निम्नलिखित नियमों को विस्तार से अपनाया जा सकता है:

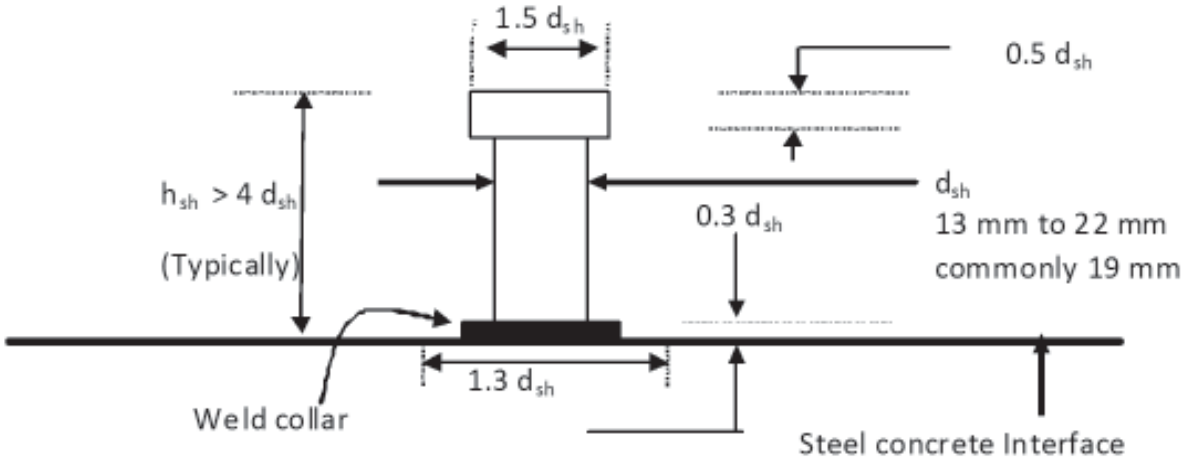
इस तकनीकी लेख में उपयोग हुए यांत्रिक योजकों के स्टील बीम और कंक्रीट स्लैब के साथ प्रयोग के लिए उचित विमीय अनुपातों के विवरण को (चित्र 8) में दर्शाया गया है।



चित्र 5 – अनुप्रस्थ प्रतिबल क्षेत्र



चित्र 6 – अनुप्रस्थ प्रतिबल क्षेत्रों के बीच परस्पर क्रिया



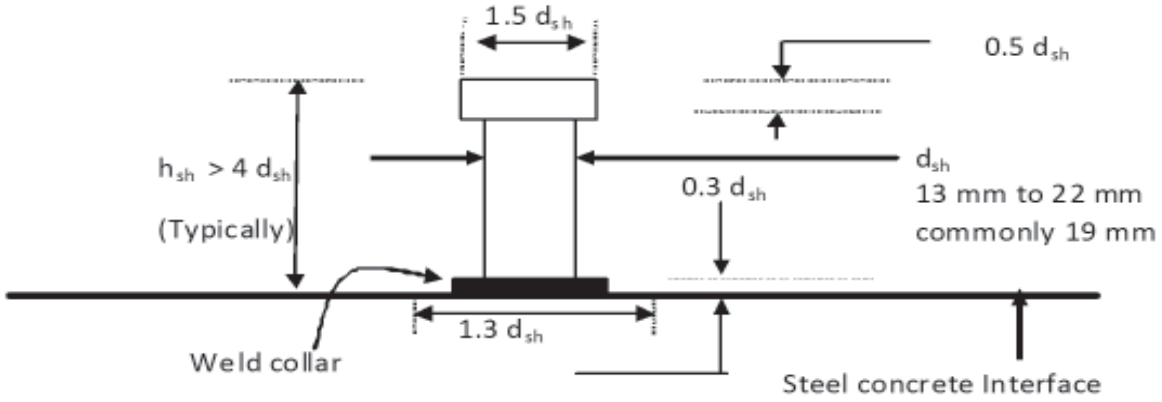
चित्र 7 – अनुप्रस्थ प्रतिबल क्षेत्रों के बीच परस्पर क्रिया

प्रयोगात्मक अध्ययन

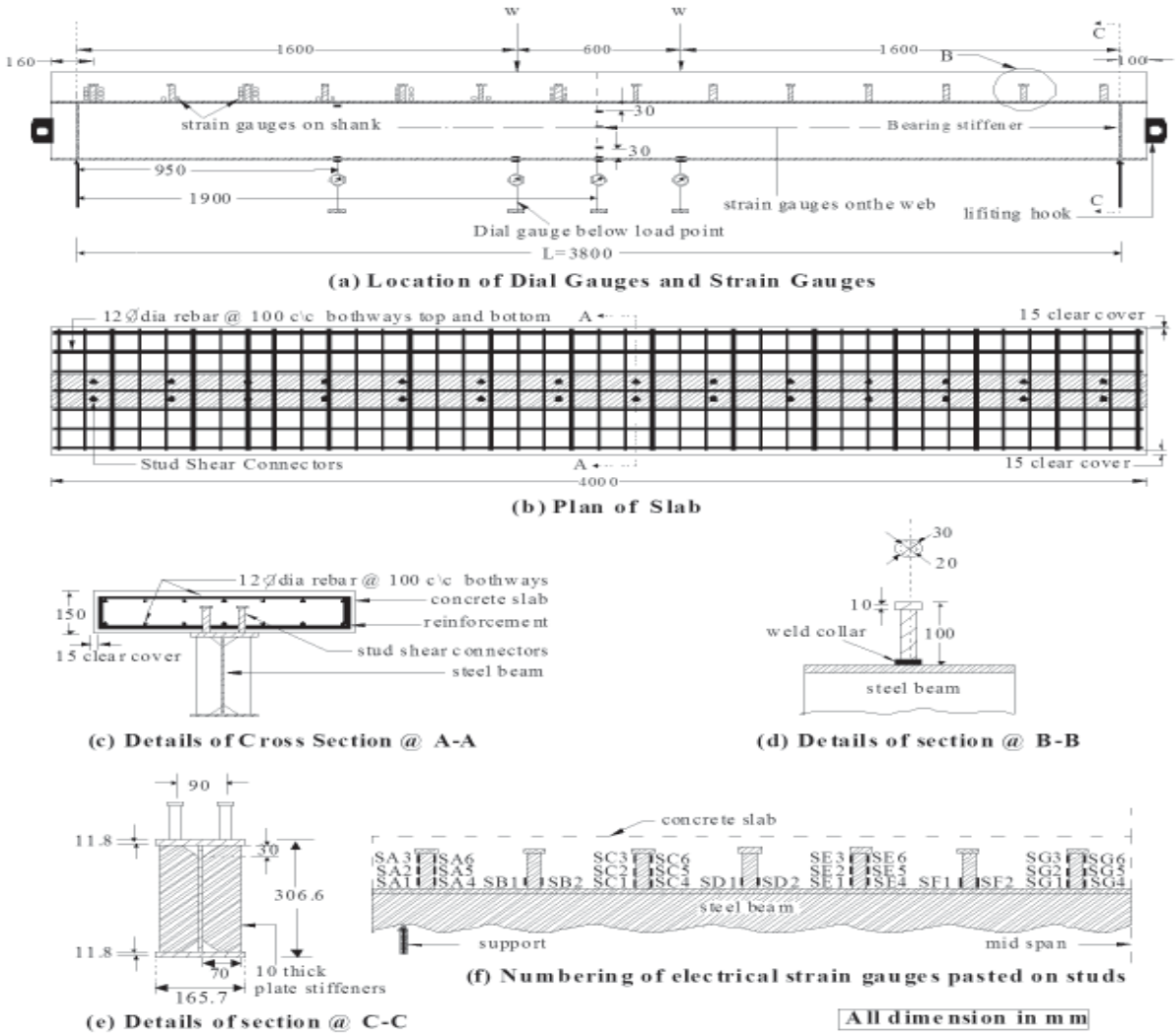
उच्च शक्ति वाली स्टील से निर्मित यांत्रिक योजकों के द्वारा बंधित छह स्टील-कंक्रीट कम्पोज़िट गर्डरों के ऊपर सी.एस.आई. आर-एस.ई.आर.सी. में प्रयोगात्मक अध्ययन किये गए हैं[10]। इन अध्ययनों का मुख्य उद्देश्य, स्टील के यांत्रिक योजकों के घनत्व का कम्पोज़िट गर्डर के वंकीय व्यवहार पर पड़ने वाले प्रभाव को समझना है। विभिन्न अपरूपण क्षमताओं वाले कम्पोज़िट गर्डरों को डिज़ाइन करके उन्हें स्थिर एवं चक्रीय भारों के तहत जाँचा गया। इस लेख में कम्पोज़िट गर्डरों की निर्माण विधि, प्रयोग की विधि एवं उपयोग में लाये गए विभिन्न उपकरणों के बारे में उल्लेख किया गया है।

इस अध्ययन में प्रयोग के दौरान अलग-अलग भारों के लिए गर्डर के ख़ास जगहों पर झुकाव, विकृति, एवं अंतरपृष्ठीय फिसलन को मापा गया है (चित्र 10)।

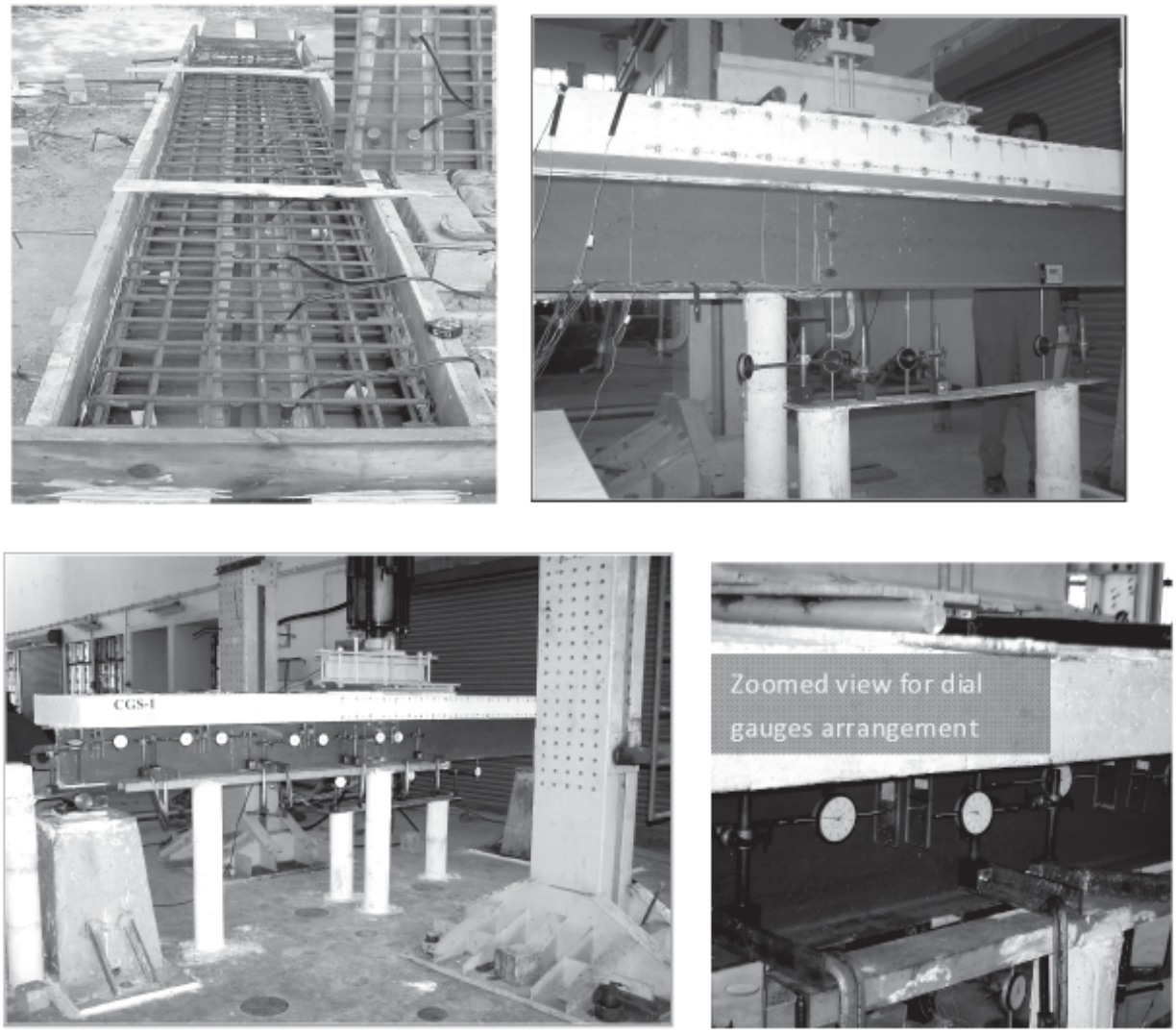
स्थिर एवं चक्रीय भारों के तहत भार एवं झुकाव के व्यवहार को उदाहरणार्थ चित्र 11 (a) कम्पोज़िट गर्डर के मध्य पर



चित्र 8 – यांत्रिक योजकों का विमीय विवरण



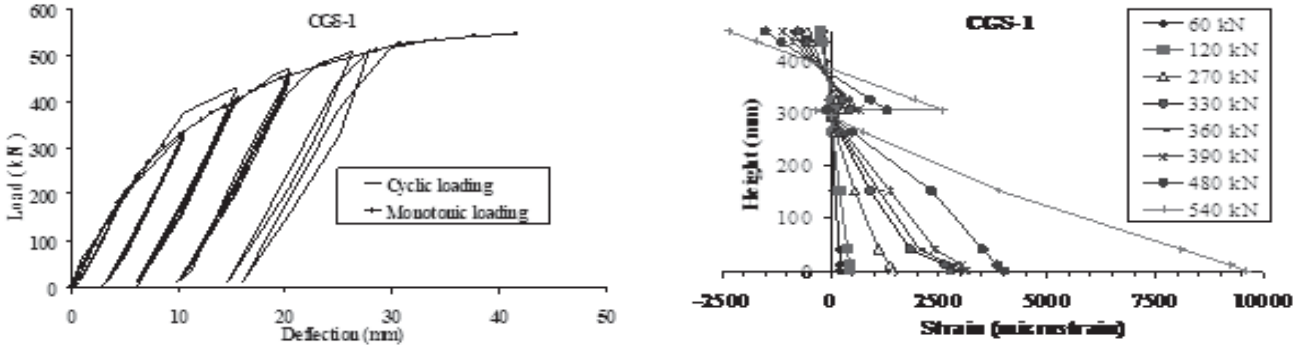
चित्र 9 – प्रयोगात्मक अध्ययन में उपयोग में लाये स्टील गर्डर और उपकरणों की जगहों का विवरण



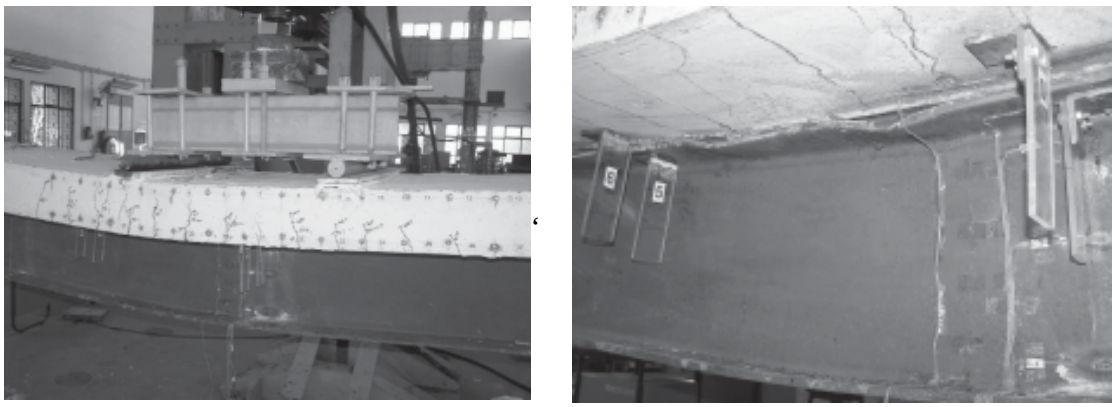
चित्र 10 – विकृति मापन के लिए डायल गेजों का उपयोग

कम्पोज़िट गर्डर की ऊंचाई के साथ विकृति के बदलाव को चित्र 11 (b) में दर्शाया गया है। चित्र 11(a) में दिखाये गए कम्पोज़िट गर्डर के लिए भार-झुकाव ग्राफ में स्थिर एवं चक्रीय भार के तहत गर्डर के वंकीय व्यवहार की तुलना की गयी है। जिससे यह पता चलता है पूर्ण अपरूपण संयोजन वाले गर्डर में दोनों भारों के तहत गर्डर बिना दृढ़ता (stiffness) खोये समान व्यवहार करता है। यद्यपि कम्पोज़िट गर्डर में लगे हुए स्टड योजकों की संख्या पूर्ण अपरूपण संयोजन के लिए पर्याप्त थी, फिर भी अंतरापृष्ठीय विकृति पायी गयी (चित्र 11(b)। जिससे यह निष्कर्ष निकलता है कि पूर्ण अपरूपण संयोजन भी पूर्ण अपरूपण अन्योन्यक्रिया की गारंटी नहीं देता। लेकिन इस प्रकार के योजकों की पूर्ण क्षमता का उपयोग तभी हो सकता है जब उन्हें मुड़ने दिया जाए।

प्रयोगात्मक अध्ययन के उपरान्त यह पाया गया कि पूर्ण अपरूपण क्षमता के लिए डिज़ाइन किये गर्डरों में अधिकतम भार वहन क्षमता के 25% से अधिक भार के लिए अंतरापृष्ठीय फिसलन की शुरुआत हो जाती है। अधिकतम भार पर गर्डरों के असफल होने के प्रकारों में मुख्य हैं:- कंक्रीट-स्लैब में वंकीय दरारों का पड़ना, कंक्रीट के ऊपर की सतह पर कुचल जाना और स्टील के बीम के टॉप लेंज में स्थानिक मुड़ाव का होना इत्यादि (चित्र 12)।



चित्र 11 – प्रयोगात्मक अध्ययन के परिणाम (a) स्थिर एवं चक्रीय के बल तहत भार-झुकाव व्यवहार (b) मध्य चंद पर स्थिर भार के तहत अनुदैर्ध्य विकृति व्यवहार



(a) प्रबलित कंक्रीट स्लैब में वंकीय दरारें **(b) स्टील बीम के शीर्ष लेंज में मुड़ाव (Buckling)**

चित्र 12 – स्टील-कंक्रीट गर्डर के विफल होने पर अवस्था

निष्कर्ष

इस तकनीकी लेख में स्टील कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण तकनीक के बारे में विस्तृत चर्चा की गयी है। प्रस्तुत तकनीकी लेख में, इस्पात-कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण तकनीक में प्रमुख रूप से होने वाली विभिन्न यांत्रिक एवं अभियांत्रिक प्रक्रियों के बारे में विस्तार से वर्णन किया गया है। लेखकों द्वारा किये गए प्रयोगों के आधार पर प्राप्त परिणामों की संक्षेप में चर्चा की गयी है। विशेष रूप से आंतरिक बलों के सहन करने एवं सहन शक्ति से अधिक भार पड़ने पर इस्पात-कंक्रीट कम्पोजिट गर्डरों के असफ़ल होने के समय विभिन्न प्रक्रियाओं और कम्पोजिट गर्डरों के विकृतरूप के प्रकारों को भी समझाया गया है। इस तकनीक की आज के समय में आधारभूत ढांचे के विकास में क्या उपयोगिता है इसकी भी चर्चा की गयी है। इसके अलावा लेखकों और उनके अन्य सहकर्मियों द्वारा किये गए प्रयोगात्मक अध्ययनों में से कुछ जानकारी उदाहरण के लिए प्रस्तुत की गयी है। इस लेख के निष्कर्ष में हम यह पूरे विश्वास के साथ में कह सकते हैं कि स्टील कंक्रीट कम्पोज़िट निर्माण द्वारा हमारे देश के आधारभूत ढांचे के विकास में निश्चित रूप से गति आयेगी और देश के संसाधनों और पर्यावरण को सरंक्षित करने में मदद मिलेगी।

आभार

इस तकनीकी लेख के लेखक अपने केंद्र के सह कर्मियों विशेष तौर पर डॉ. सी. के. मधेश्वरन (वैज्ञानिक) एवं डॉ. एन. लक्ष्मणन (भूतपूर्व निदेशक, सीएसआईआर-एसईआरसीए, चेन्नई) का प्रयोगात्मक अधययन में उनके योगदान के लिए आभार व्यक्त करते हैं।

संदर्भ

1. Bandyopadhyay T K, Scope of steel concrete construction in infrastructure and mass housing, Recent challenges in civil engineering, RCCE 2002.

2. Bradford M A & Ian Gilbert R, Composite Beams with Partial Interaction under Sustained Loads, *Journal of Structural Engineering - ASCE*, **118** (7) (1991) 1871-1883.
3. Bradford, M A, Shrinkage Behaviour of Steel-Concrete Composite Beams, *ACI Structural Journal*, **94** (6) (1997) 625-632.
4. Kim B, Wright H D & cairns Ray, The behaviour of through deck welded shear connector: An Experimental and Numerical study, *Journal of constructional steel research*, **57** (2001) 1359-1380.
5. Lin, J J, Fafard, M, Beaulieu, D & Massicotte, B, Nonlinear analysis of composite bridges by the finite element method, Computers and Structures, **40**(5) (1991) 1151-1167.
6. Machacek J & Studnicka J, Perforated shear connectors, steel and composite structures **2**(1) (2002) 51-66.
7. Mounir E, Mabsout., Kassim M, Tarhini., Gerald R, Frederick & Charbel Tayar, "Finite-Element Analysis of Steel Girder Highway Bridges, *Journal of Bridge Engineering*, Vol.2, No.3, August **2**(3) (1997) 83-87.
8. Oehlers D J & Bradford M A, 'Composite steel and concrete structural members: Fundamental Behaviour' First Edition, Pergamon, 1995.
9. Oehlers D J, Seracino R & Michael F Yeo, Effect of friction on shear connection in composite bridge beams, *Journal of Bridge Engineering*, **5**(2) (2002).
10. Prakash Amar, Anandavalli N, Madheswaran C K & Lakshmanan N, Experimental investigation on flexural behaviour of HSS stud connected steel-concrete composite girders, *Steel and Composite Structures- An International Journal*, Techno Press, **13**(3) (2012) 239-258.
11. Robert F & Lorenz, Understanding Composite Beam Design Methods Using LRFD, *Engineering Journal*, First Quarter, (1988) 35-38.
12. Samanta A K, Structural steel for bridges and flyovers, Proceedings of international seminar on steel & composite bridges **2**(2002) 245-262.
13. Sriramulu Vinnakota, Christopher M, Foley & Murthy R, Vinnakota, Design of Partially or Fully Composite Beams, with Ribbed Metal Deck, Using LRFD Specifications, *Engineering Journal*, Second Quarter, (1988) 60-78.