

ऐतिहासिक मेहराब सेतुओं का संरचनात्मक मूल्यांकन और सेवा जीवन काल का विस्तार

राजीव गर्ग, आलोक राठौर, योगिंदर सिंह एवं सुरेन्द्र वर्मा

सेतु एवं संरचना प्रभाग, सीएसआईआर-केन्द्रीय सड़क अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली 110 025

सारांश : बुनियादी आवश्यकताओं को पूरा करने के बाद एक सभ्यता के महत्वपूर्ण पहलुओं में संस्कृति और विरासत को शामिल किया जाता है। विरासत संरचनाएं जिन्हें स्मारक भी कहा जाता है, आमतौर पर काफी पुरानी हैं और कई तो सौ साल से भी अधिक पुरानी हो सकती हैं। सेतुओं के मामले में, कोड/मानकों के अनुसार इनका जीवन काल 50 वर्ष से 75 वर्ष है। इसके अलावा, विरासत की संरचनाओं में प्रयुक्त सामग्री इस मायने में अद्वितीय है। निर्माण के समय रचना के मापक और दूसरे सामग्री के विवरण आमतौर पर उपलब्ध नहीं होते हैं। इसलिए, पुलों सहित विरासत संरचनाओं के अध्ययन एवं आकलन करना एक चुनौतीपूर्ण कार्य है। इस संबंध में, दिल्ली के कुछ हेरिटेज ब्रिजों का अध्ययन किया गया है और लाल किला और सलीमगढ़ किले को जोड़ने वाले पुल के परिणामों के बारे में चर्चा की गई है। अध्ययन की पद्धति में साइट डेटा (ज्यामिति), संख्यात्मक मॉडलिंग, स्थल पर प्रयोगात्मक अध्ययन और उपयोगी निष्कर्षों का संग्रह भी शामिल है। कंपन और चल रहा यातायात, पुल को प्रभावित करता है, पुल दिल्ली में रिंग रोड नामक प्रमुख सड़क पर स्थित है। पुल के निरंतर उपयोग के लिए किया गया यह अध्ययन मददगार सिद्ध होगा।

Structural examination of historical heritage bridges

Rajiv Garg, Alok Rathoor, Yoginder Singh & Surendra Verma

Bridge & Structure Division, CSIR-Central Road Research Institute, New Delhi 110 025

Abstract

Culture and heritage are important aspects of a civilization after meeting basic needs. The heritage structures also called monuments are generally quite old and may be ever older than hundred years. In case of bridges, the life span as stated by codes/ standards is 50 years to 75 years. Further, the material used in heritage structures are unique in sense the composition at the time of construction is generally not available. Therefore, it is a challenging task to assess the performance of the heritage structures including bridges. In this respect, some of the heritage bridges in Delhi have been studied and results of one bridge connecting the Red fort and Salimgarh fort namely Mangi Bridge are discussed. The methodology of study involves collection of site data (geometry), numerical modelling, experimental studies at the site and useful inferences. The vibration study and the ongoing traffic affects the bridge as the bridge lies on the major arterial road called Ring Road in Delhi. The study will be helpful for continued use of the bridge.

प्रस्तावना

दिल्ली के पास किलों, इमारतों और पुलों जैसी विरासत संरचनाओं का समृद्ध भंडार है। पुलों के रूप में महत्वपूर्ण संरचनाएं लोड प्रतिरोध में वृद्धि की मांग करती हैं जबकि ताकत प्रतिरोध समय बीतने के साथ घट जाती है। इसलिए, ऐसी संरचनाओं को प्रचलित लोड प्रतिरोध की मांग को पूरा करने के लिए मजबूत बनाने या पुनर्स्थापना कार्यों की आवश्यकता होती है। दिल्ली में लाल किला और सलीमगढ़ किले को जोड़ने वाला एक पुल एक ऐसा ऐतिहासिक

ब्रिज है जिसे केस स्टडी के लिए लिया गया है। ईंट चिनाई पुल की स्थापना मृदा द्रवीभूत अतिसंवेदनशील यमुना जलोढ़ पर की गयी है। इस पुल का निर्माण यमुना-नदी की धारा पर किया गया था, लेकिन वर्षों बीतने के साथ नदी ने अपने बहाव को पुल से दूर स्थानांतरित कर दिया है और अब एक प्रमुख सड़क पुल के नीचे से गुजर रही है। इस अध्ययन में मिट्टी संरचना और संभावित द्रवीकरण प्रभाव की जांच करने वाले एक 3 डी एफईएम विश्लेषण किया गया है। जब कोई मृदा द्रवीकरण नहीं

होता है तो पुल परिचालन लोडिंग परिस्थितियों में सुरक्षित पाया गया है। लेकिन मृदा द्रवीकरण के कारण और भूकंपीय परिदृश्यों के तहत, संरचना में तनाव अधिक पाए गए हैं। पुल के निरंतर उपयोग के लिए प्रस्तावित अध्ययन महत्वपूर्ण होगा।

मांगी ब्रिज की ज्यामितीय विशेषताएं

इसमें तीन आर्च हैं। जैसा निम्नलिखित चित्र में दिखाया गया है।

भौतिक विशेषताएं

मेहराब और स्पैन्डेल की दीवारें उच्च गुणवत्ता वाली ईंटों से निर्मित हैं। एनडीटी तकनीकों (कॉनडे व अन्य 2017; वासिलिस व अन्य 2016) का उपयोग करके ईंटों के गुणों का मूल्यांकन किया गया है और विवरण नीचे दी गई तालिका में दिए गए हैं।

अंग	सारणी 1 – ईंटों के गुणों का मूल्यांकन			
	सामग्री	इलास्टिसिटी गुण (MPa)	घनत्व, ρ	इलास्टिसिटी पॉइसन अनुपात, ν
मेहराब, स्पैन्डेल दीवार	ईंट चिनाई- भारी	18.85	5000	0.23

मृदा की द्रवीकरण की संवेदनशीलता

IRC - SP-114.2018 के अनुसार ईस मिट्टी को द्रवीभूत होने के लिए पाया गया है (काशीफ व अन्य, 2019)। मिट्टी की विभिन्न गहराई के लिए गणना के रूप में सेफ्टी फैक्टर (एफओएस) के आधार पर यह निश्चित हुआ है।

गणितीय/न्यूमेरिकल मॉडल

मेहराब सेतु का मॉडल परिमित तत्व विधि (FEM) के द्वारा सीएसआई- ब्रिज और SAP2000 सॉफ्टवेयर का उपयोग करके तैयार किया गया है। 8-नोडल ठोस तत्व आर्क, नींव, स्पैन्डेल दीवार, भरने और अपने भौतिक गुणों (किशन व अन्य 2011, फ्रैंजियो व अन्य 2001, जियानफ्रैंको व अन्य 2019) के साथ डेक के लिए प्रयोग किया गया। नींव के किनारों पर मिट्टी की कठोरता गुणों वाले स्प्रिंग्स के उपयोग को निर्दिष्ट करके बनाया गया है और नींव का आधार तय किया गया है। आईआरसी- 6 (2014) की सिफारिशों के आधार पर भूकंपरोधी बल के प्रभाव और गतिमान वाहन के लाइव लोड सहित कई भार संयोजन लागू किए गए हैं। चित्र 2 मॉडल किए गए पुल को दर्शाता है। पुल मॉडल की मृदा गैर-तरलीकृत स्थिति को मॉडल ए कहा जाता है और मृदा तरलीकृत स्थिति मॉडल को मॉडल बी कहा गया है।

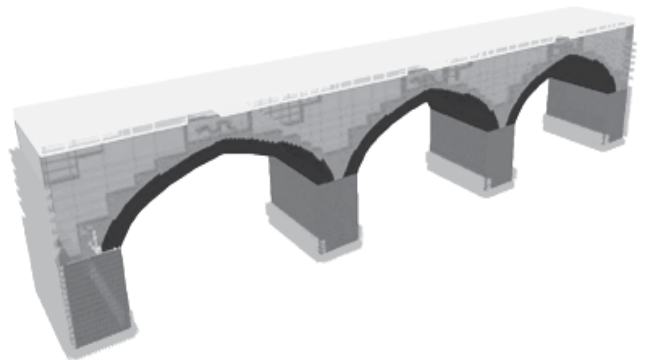
परिणाम एवं विवेचना

अलग-अलग लोडिंग और दो मिट्टी की स्थितियों के तहत अधिकतम तनाव के साथ-साथ मृदा गैर-तरलीकृत (मॉडल ए) और मृदा तरलीकृत (मॉडल बी) का मूल्यांकन किया गया है। विश्लेषण के लिए उपयोग किए जाने वाले लोडिंग संयोजन आईआरसी -6 (2014) से लिए गए हैं। कंपनी की समय अवधि 0.190 सेकंड से मृदा द्रवीकरण के कारण बढ़कर 0.193 सेकंड पायी गयी। मेहराब के स्प्रिंगिंग पर मृत भार (मॉडल बी) के तहत अधिकतम संपीडित तनाव 1.987 एमपीए के रूप में पाया गया है, जिसे चित्र 3 में दिखाया गया है।

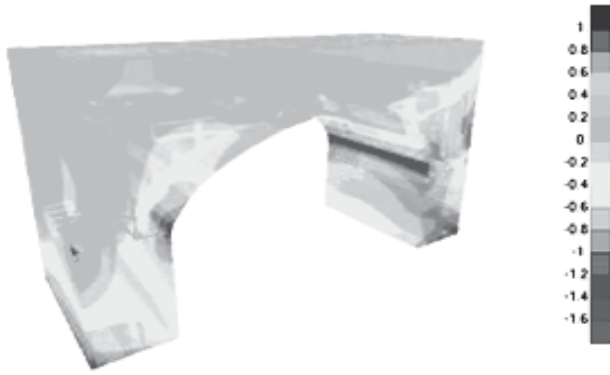
डेड लोड के तहत अधिकतम कंप्रेसिव स्ट्रेस को मॉडल-ए के 1.93 एमपीए के रूप में देखा जाता है, जो मृदा द्रवीकरण (1.987 एमपीए) से काफी प्रभावित नहीं होता है। सेतु को सिंगल लेन IRC क्लास-70 R लोडिंग के तहत जांचा गया है। बढ़ते वाहन लोड के तहत अधिकतम तनाव बाएं छोर से 10.816 मीटर



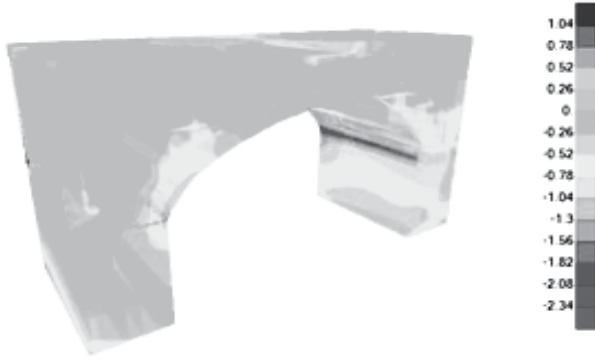
चित्र 1 – मांगी ब्रिज की ज्यामितीय



चित्र 2 – तीन स्पैन मेहराब सेतु का न्यूमेरिकल मॉडल चित्र



चित्र 3 – स्प्रिंगिंग/मॉडल-बी के पास तनाव का दृश्य



चित्र 4 – 1.5 (डीएलईक्यू लग) के तहत स्प्रिंगिंग के पास तनाव वितरण

सारणी 2 – लोड संयोजनों के तहत तिमाही बिंदु के पास तनाव

भार मामला	अधिकतम स्ट्रेस (Smax)		निम्नतम स्ट्रेस (Smin)	
	अद्रविकरत	द्रविकरत	अद्रविकरत	द्रविकरत
	मृदा NL	मृदा L	मृदा NL	मृदा L
DL	-0.005	-0.005	-2.331	-2.363
1.35 DL + 1.5 LL	-0.175	-0.175	-3.736	-3.780
1.5 (DL + (Eq xy))	-0.0066	-0.006	-3.797	-3.907
1.5 (DL - (Eq xy))	-0.008	-0.008	-3.196	-3.181
1.5 (DL + (Eq yx))	0.0086	0.009	-2.029	-2.091
1.5 (DL - (Eq yx))	-0.021	-0.021	-4.965	-4.998
0.9 DL + 1.5 (Eq xy)	-0.0037	-0.003	-2.399	-2.489
0.9 DL - 1.5 (Eqxy)	-0.004	-0.005	-1.798	-1.764
0.9 DL + 1.5 (Eqyx)	0.0147	0.014	-0.635	-0.678
0.9 DL - 1.5 (Eq yx)	-0.017	-0.018	-3.567	-3.581

पर पाया गया है। इसने 0.140 एमपीए के अधिकतम तनाव मूल्य को प्रेरित किया। मॉडल बी के तहत, बढ़ते वाहन लोड के तहत तनाव पैटर्न 0.139 एमपीए पाया गया है। इस प्रकार, पुल के भार वहन क्षमता पर अकेले मृदा द्रवीकरण का अधिक प्रभाव नहीं पड़ता है।

अगले चरण में भूकंप के द्वारा क्षैतिज लोडिंग (भूकंपीय भार) के तहत पुल का अध्ययन है। भर संयोजन-1.5 (डीएल) के साथ ईक्यूएक्स) + पुल पर लोड करने वाला चित्र तनाव पैटर्न आंकड़ों में दिखाया गया है चित्र 4 देखें। यहाँ अधिकतम कंप्रेसिव स्ट्रेस (मॉडल A के लिए) का स्ट्रेस मान 4.58 MPa पाया गया है जब मिट्टी गैर-द्रवीकृत होती है और द्रवीकरण की घटना पर यह 4.8 MPa के मान तक बढ़ जाती है।

विभिन्न लोडिंग परिस्थितियों में देखे गए विस्तृत अधिकतम तनाव स्तर को आर्क अनुभाग पर क्वार्टर नोड के लिए तालिकाओं 2 में संक्षेपित किया गया है। यहां, डीएल का अर्थ है डेड लोड, लाइव लोड के रूप में एलएल, विशेष दिशा में भूकंप लोड के रूप में ईक्यू और इसके संयोजन, एनएल को गैर-द्रवीकरण और एल के रूप में तरलीकृत मिट्टी की स्थिति के रूप में दर्शाया गया है।

अध्ययन में, मृदा गैर-द्रवीकरण के तहत मेहराब के मध्य में 0.694 MPa का अधिकतम तनाव और मृदा द्रवीकरण की स्थिति के तहत 0.794 MPa का मान देखा गया है। 2.331 MPa और 2.363 MPa का अधिकतम संपीड़न तनाव मेहराब के तिमाही बिंदु पर क्रमशः मृदा गैर-द्रवीकृत और मृदा तरलीकृत स्थिति के डीएल मामले के तहत देखा गया है (सारणी 2)। हालांकि, भूकंप के तहत मृदा गैर-तरलीकृत और मृदा तरलीकृत स्थिति के तहत एक ही स्थान पर संपीड़ित तनाव 4.965 एमपीए से 4.998 एमपीए (सारणी 2) के मूल्य तक बढ़ जाता है। विश्लेषण के परिणामों से हम यह देख सकते हैं कि मृदा द्रवीकरण पुल के ऊर्ध्वाधर (गुरुत्व) भार वहन क्षमता (मृत भार और जीवित भार) में किसी भी प्रकार की गिरावट को प्रेरित नहीं करता है, लेकिन एक बार पुल भूकंप जनित क्षैतिज बलों के अधीन हो जाता है, तो उच्च स्तर तनावों को मृदा द्रवीकरण के तहत तनाव अधिक हो जाता है।

निष्कर्ष

इस अध्ययन में यह देखा गया है कि गुरुत्वाकर्षण भार और गतिमान भारों के अधीन होने पर भार वहन क्षमता में पुल में कोई गिरावट नहीं आती है, लेकिन जब पुल भूकंप से प्रभावित होता है और मृदा द्रवीकरण घटना के तहत पूरा संरचनात्मक प्रतिक्रिया का परिदृश्य बदल जाता है। मेहराब के आधार (नीव) पर प्रेरित

अधिकतम तनाव तब बढ़ जाता है जब भूकंप का भार हावी हो जाता है और अधिकतम तनाव उत्पन्न करने वाला स्थान मेहराब स्प्रींगिंग से हट जाता है। वर्तमान में ये सभी तनाव स्वीकार्य तनाव के भीतर हैं।

हालांकि, भूकंपीय जनित मृदा द्रवीकरण के तहत तनाव में वृद्धि, पुल की विकृतियों को उजागर कर सकती है जो चिनाई संरचना के लिए हानिकारक है। इस प्रकार पुल के मेहराब में अतिरिक्त तनाव से बचने के लिए मौजूदा नींव की यथा स्थिति बनाए रखने की आवश्यकता है।

आभार

लेखक कृतज्ञतापूर्वक इस शोध को प्रकाशित करने की अनुमति सीआरआरआई के निदेशक द्वारा स्वीकार करते हैं। साथ ही, मिशन मोड परियोजना के तहत सीएसआईआर दावरा प्रदान की गई वित्तीय सहायता को भी स्वीकार किया जाता है। अधीक्षण पुरातत्वविद् और उनकी टीम, एएसआई, दिल्ली सर्कल द्वारा प्रदान किया गया समर्थन विधिवत रूप से स्वीकार किया जाता है।

संदर्भ

1. फ्रैंजियो जी, मोनाको एम और गेसुल्डो ए, रोमन मेहराब पुल का 3-आयाम एफईएम विश्लेषण, ऐतिहासिक निर्माण, (पी. बी. लौरेंको एवं पी रोका द्वारा संपादित), *आईएबीएसई गुइमारेस*, (2001) 591-598।

2. किशन सी एम जे, मनोहर एस सी, एक चिनाई वाले आर्क ब्रिज का सुरक्षा मूल्यांकन: फील्ड और सिमुलेशन, *जे ब्रिज इंजीनियरिंग, एएससीई* (2011).
3. कॉनडे बी, रामोस एफ, गैर-विनाशकारी परीक्षण तकनीकों और तीन-आयामी संख्यात्मक मॉडलिंग के संयोजन द्वारा चिनाई मेहराब पुलों का संरचनात्मक मूल्यांकन: विलानोवा पुल के लिए आवेदन, *इंजीनेयरिंग स्ट्रक्चर्स* (2017).
4. वासिलिस सारोसिस, स्टेफानो डी सैंटिस और जियानमारको डी फेलिस, चिनाई आर्क ब्रिज के लिए प्रायोगिक जांच और मूल्यांकन विधियों की समीक्षा, *जर्नल स्ट्रक्चर एंड इंफ्रास्ट्रक्चर इंजीनियरिंग*, **12**(11) (2016) 1439-1464।
5. जियानफ्रेंको डी मटेईस, वैलेंटिना कॉर्लिटो, मरितेरेसा गुआडाग्नोलो और अन्ना तफूरो, भूकंपीय प्रकृति के कैसर्टा में एलिफ-काइज़ो डिओकेज़ के इतालवी चिनाई वाले चर्चों के भूकंपीय भेद्यता मूल्यांकन और रेट्रोफिटिंग रणनीतियाँ (2019)।
6. इंकलाबी, के क्यू, राठौर ए और गर्ग आर के, द्रवीकरण खतरे के तहत ऐतिहासिक पुल की भेद्यता, विरासत संरचनाओं के भू-तकनीकी पहलुओं पर अंतर्राष्ट्रीय संगोष्ठी, आईआईटी मद्रास, चेन्नई 16-18 सितंबर (2019).
7. IRC - SP-114, सड़क-सेतु के वैज्ञानिक डिजाइन के लिए गाइड विनिर्देश, भारतीय सड़क कांग्रेस (2018)।
8. IRC:6 मानक विनिर्देश और व्यवहार संहिता सड़क पुलों के लिए, धारा- II, भार और भार संयोजन (सातवां संशोधन), भारतीय सड़क कांग्रेस (2017)।