शोध पत्र / Research Paper

मृदा स्थिरीकरण पर ई–वायर अपशिष्ट के प्रभाव का विश्लेषण

Analysis of the Effect of E-wire Waste on Soil Stabilization

नारायण बंसल[1] एवं राजीव जैन[2]

Narayan Bansal[1] and Rajeev Jain[2]

[1,2]Department of Civil Engineering,
Samrat Ashok Technological Institute,
Vidisha - 464001 (M.P.)
bansalnarayan92@gmail.com[1], jain35rajeev@rediffmail.com[2]

https://doi.org/10.5281/zenodo.17954267

सारांश

महीन दाने वाली मिट्टी या विघटित चट्टानें जो नमी की मात्रा में भिन्नता पर महत्वपूर्ण मात्रा में परिवर्तन प्रदर्शित करती हैं, उन्हें काली मिट्टी (Black cotton soil) के रूप में जाना जाता है। काली कपास मिट्टी के फूलने और सिकुड़ने का व्यवहार जलवायु और मौसमी परिवर्तनों के तुरंत प्रभावित होने के कारण होता है। काली कपास मिट्टी, पानी के संपर्क में आने पर लगभग 2 से 3 गुना मात्रा में परिवर्तन प्रदर्शित करती है। यह काफी संभव है कि काली मिट्टी में मॉन्टमोरिलोनाइट नामक मिट्टी के खनिज शामिल हों। इस अध्ययन में आमतौर पर विद्युतीकरण के लिए उपयोग किए जाने वाले बिजली के ई–तारों (E-wires) का उपयोग किया गया है। चूंकि पॉली प्रॉपिलीन फाइबर गैर विषाक्त है, संक्षारण प्रतिरोधी है और इसमें उच्च तन्यता ताकत है। यह मिट्टी के सुदृढीकरण के लिए सबसे अधिक इस्तेमाल की जाने वाली सिंथेटिक सामग्रियों में से एक है। जैसे–जैसे शहरीकरण और आधुनिकीकरण बढ़ता जा रहा है, ई–तार का उपयोग भी उसी तरह से बढ़ रहा है और यह आसानी से विघटित नहीं होता है। इसलिए, इस शोध में प्राकृतिक नमी सामग्री (Natural water content), तरल सीमा (Liquid Limit), प्लास्टिक सीमा (Plastic Limit), विशिष्ट गुरुत्व (Specific gravity), ओएमसी–एमडीडी (OMC-MDD) और सीबीआर (California Bearing ratio) जैसे विभिन्न परीक्षण प्राकृतिक मिट्टी पर लागू किए गए हैं और फिर प्राकृतिक काली कपास मिट्टी और ई–तारों के संयोजन पर विभिन्न परीक्षण किए गए हैं। जिसमें काली कपास मिट्टी के वजन से 5%, 7% और 9% ई–तार लिए गए। तुलनात्मक विश्लेषण परिणामों और चर्चा में किया गया है।

Abstract

Fine-grained soils or decomposed rocks that exhibit significant volume changes on variations in moisture content are known as expansive soils. The behavior of swelling and shrinking of black cotton soil occurs due to immediately impacted by climatic and seasonal changes. Black cotton soil exhibits change in volume approximately 2 to 3 times on coming in the contact with water. It is quite probable that the expansive soils include clay minerals known as montmorillonite. In this study, the electric wires are typically utilized for electrification are used. Since polypropylene fiber is non-toxic, resistant to corrosion and has a high tensile strength, it is one of the most often used synthetic materials for soil reinforcement. As the urbanization and modernization is increasing day by day, the use of E-wires are also increasing in similar manner and it does not decompose easily. Hence, in this research the various tests like natural moisture content, liquid limit, plastic limit, specific gravity, OMC-MDD and CBR are applied to natural soil and then various tests applied on

the combination of natural black cotton soil and E-wires like 5%, 7% and 9% of E-wires by weight of black cotton soil. The comparison has been carried out in the results and discussion.

मुख्य शब्द : काली मिट्टी, काली मिट्टी का स्थिरीकरण, ई–तार, ओएमसी, एमडीडी, कैलिफॉर्निया बीयरिंग अनुपात, तरल सीमा, प्लास्टिक सीमा

Keywords : Black cotton soil, Stabilization of expansive soil, E-wires, optimum moisture content, maximum dry density, California Bearing Ratio, liquid limit, plastic limit

परिचय

सिविल इंजीनियर को विभिन्न प्रकार की मिट्टी जैसे कमजोर मिट्टी, मजबूत, नरम और कठोर मिट्टी में निर्माण कार्य करना पड़ता है।[1] एक सिविल इंजीनियर के लिए नरम, कमजोर मिट्टी या ढीली मिट्टी पर कोई संरचना बनाना बहुत मुश्किल होता है। इसलिए भार वहन क्षमता बढ़ाने और मिट्टी को मजबूत करना वांछनीय है, इसे मिट्टी स्थिरीकरण (Soil Stabilization) नामक तकनीक द्वारा प्राप्त किया जा सकता है। यह मिट्टी की कतरनी ताकत (Shear Strength) को बढ़ाता है और मिट्टी की सिकुड़न (Shrinkage), सूजन (Swelling) के गुणों को नियंत्रित करता है, जिससे ताकत में सुधार होता है। [2]

भारत में आम तौर पर विस्तृत मिट्टी को काली कपास मिट्टी कहा जाता है और यह भारत के कुल भूमि क्षेत्र का लगभग 20% पाई जाती है। [3] औसतन यह गणना की जाती है कि भारत ने लगभग पाँचवें क्षेत्र को विस्तृत मिट्टी से ढक दिया।[4] ऐसी मिट्टी को स्थिर करने के लिए कई तरीके शामिल हैं जैसे कि रासायनिक, यांत्रिक, चूना जोड़ना, रेत कुशन, एकजुट गैर सूजन, सीएनएस परत, मिट्टी प्रतिस्थापन और थर्मल स्थिरीकरण आदि [5]। इन सभी तरीकों में से नहर अस्तर के आधार में एकजुट गैर सूजन वाली मिट्टी सबसे अच्छी तकनीक है।

भवन निर्माण उद्योग में पर्यावरण के अनुकूल, कम लागत और हल्के वजन वाली निर्माण सामग्री के उपयोग की लोकप्रियता में वृद्धि ने यह जांच करने की आवश्यकता पैदा कर दी है कि पर्यावरण को लाभ पहुंचाने के साथ–साथ मानकों में पुष्टि की गई सामग्री की आवश्यकता को बनाए रखते हुए मृदा स्थिरीकरण कैसे प्राप्त किया जा सकता है।[6]

चित्र 1 : अपशिष्ट ई–तार

ई–तार हर प्रकार के निर्माण में दिन–प्रतिदिन बढ़ती हुई उपयोगी और लोकप्रिय सामग्री में से एक है। जरूरत के समय ई–तार बहुत उपयोगी साबित होता है लेकिन उपयोग के बाद इसे यूं ही फेंक दिया जाता है, जिससे तमाम तरह के खतरे पैदा होते हैं। इसलिए ठोस कचरे में ई–वायर कचरे की मात्रा तेजी से बढ़ रही है। यह अनुमान लगाया गया है कि विस्तार की दर हर 10 साल में दोगुनी हो जाती है। इसका कारण जनसंख्या में तेजी से वृद्धि, शहरीकरण, विकासात्मक गतिविधियाँ और जीवन शैली में बदलाव है जिसके कारण बड़े पैमाने पर कूड़ा–कचरा फैल रहा है।

साहित्य समीक्षा

काली कपास मिट्टी को और अधिक स्थिर बनाने के प्रयास में निर्माण उद्देश्यों हेतु इसे स्थिर करने के लिए कई सामग्रियों और तकनीकों का उपयोग किया गया है। मिट्टी के इंजीनियरिंग गुणों को बेहतर बनाने के लिए माइक्रोस्ट्रक्चरल इंटरैक्शन, रसायनिक प्रक्रिया, आर्थिक निहितार्थ, नैनोटेक्नोलॉजी अनुप्रयोग व अपशिष्ट का पुनः उपयोग और स्थिरता पर कार्य किया जाता है। व्यापक मृदा स्थिरीकरण के रुझानों को तीन श्रेणियों अर्थात् भू–पर्यावरणीय, मानकीकरण और अनुकूलन मुद्दे के साथ प्रस्तुत किया गया है। पूर्वानुमानित मॉडलिंग और अन्वेषण विधियों जैसी तकनीकें जैसे

कि विश्वसनीयता आधारित डिज़ाइन, अनुकूलन प्रतिक्रिया, सतह पद्धति, आयामी विश्लेषण और मिट्टी के व्यापक स्थिरीकरण को सुनिश्चित करने के लिए कृत्रिम बुद्धिमत्ता तकनीक का भी प्रस्ताव रखा गया। [7]

वहीदुल्लाह के अनुसार काली मिट्टी को स्थिर करने के लिए कई अपशिष्ट पदार्थ उपलब्ध हैं। चिकनी मिट्टी को मजबूत करना आर्थिक रूप से लाभदायक है। नैनो सिलिका, सफेद सीमेंट, फ्लाई ऐश, कॉपर स्लैग, लाल मिट्टी, ब्लास्ट फर्नेस स्लैग इत्यादि उपलब्ध हैं जो पर्यावरण के अनुकूल हैं। चिकनी मिट्टी के स्थिरीकरण की तकनीकों पर भी चर्चा की गई है। [5]

वर्तमान कार्य का उद्देश्य तन्य जियोग्रिड का उपयोग करने की व्यवहार्यता की खोज करना व प्लास्टिक मिट्टी की सूजन को नियंत्रित करना है। मिट्टी पर ओडोमीटर से सूजन परीक्षण करके आशाजनक परिणाम सामने आए। अलग–अलग प्लास्टिसिटी की मिट्टी में एम्बेडेड अलग–अलग कठोरता मूल्यों के जियोग्रिड बढ़ने के साथ सूजन में कमी आई। वहीं एक फुटिंग मॉडल परीक्षण की प्रभावशीलता की पुष्टि की। [8]

इस अध्ययन में उच्च प्लास्टिसिटी सक्रिय मिट्टी की सूजन क्षमता को कम करने के लिए मिट्टी की जांच की गई है और इसकी तुलना चूना स्थिरीकरण विधि से की गई है। रेत व बेंटोनाइट मिश्रण पर एक ओडोमीटर उपकरण का उपयोग करके सूजन और सिकुड़न के भांति–भांति संभावित परीक्षण किए गए थे जिन्हें मिश्रण के तुरंत बाद कॉम्पैक्ट किया गया था।

पानी के साथ 3 दिन की मुक्त सूजन की अनुमति देने के बाद उसी संरचना के विभिन्न नमूनों पर परीक्षण दोहराया गया। अतिरिक्त परीक्षण गीले संघनन के साथ और उसके बिना चूने के स्थिरीकृत नमूनों पर किए गए परीक्षण से गीले संघनन की तुलना संभव हो पाई। चूना स्थिरीकरण परीक्षण के नतीजों से पता चला कि गीला संघनन रेत–बेंटोनाइट की सूजन क्षमता को कम कर देता है। इस प्रकार से यह मिश्रण उच्च प्लास्टिसिटी वाली मिट्टी की सूजन क्षमता को कम करने के लिए बेहतर तकनीक के रूप में काम कर सकता है। हालाँकि जैसा कि अपेक्षित था, चूने का उपचार बेहतर पाया गया। [9]

इस अध्ययन का उद्देश्य विस्तृत परिस्थितियों में मिट्टी की सूजन को कम करने में पौधों के रेशों की प्रभावकारिता का आकलन करना है। मिट्टी पर परीक्षण और मार्ल मिट्टी में अल्फा जूट और सिसल फाइबर की वृद्धिशील मात्रा 1%, 3%, 9%, और 18% शामिल है।

रेशों के बिना मिट्टी में काफी सूजन आ गई लेकिन उनके शामिल किए जाने से समस्या प्रभावी रूप से कम हो गई। सिसल रेशे ने 18% पर सबसे अधिक प्रभावशीलता दिखाई, उसके बाद जूट फाइबर और उसके बाद अल्फा फाइबर मिलाकर आकलन किया गया। विभिन्न प्रकार के फाइबर संयोजन ने समग्र स्थिरता में सुधार किया। चिकनी मिट्टी ने मार्ल मिट्टी से बेहतर प्रदर्शन किया। निष्कर्ष, लागत और प्रभावशीलता पर प्रकाश दिया गया और मिट्टी की सूजन के खिलाफ समाधान के रूप में पौधों के रेशों की पर्यावरण मित्रता पर भी विचार किया गया। [10]

चित्र 2 : मिट्टी स्थिरता के फायदे

विस्तृत मिट्टी उष्णकटिबंधीय मिट्टी के उदाहरणों में से एक है। ये मिट्टी सिविल अभियंताओं के लिए समस्याएँ खड़ी करती हैं। सामान्य और विशेष रूप से भू–तकनीकी अभियंताओं के लिए वे अपनी क्षमता के कारण उनमें स्थापित संरचनाओं को नुकसान पहुंचाते

हैं। क्योंकि बड़े बदलावों से गुजरने की उनकी क्षमता, सिविल इंजीनियरिंग संरचनाएं जैसे नींव, रिटेनिंग दीवारें, फुटपाथ, हवाई अड्डे, साइड वॉक, नहर तल और लाइनिंग को इसका प्रतिकार करने के लिए विभिन्न नवीन पद्धतियाँ तैयार की गई हैं। आयतन परिवर्तन की समस्या और संरचनाओं की सुरक्षा के लिए शोध पत्र समस्याओं और समाधानों पर विस्तार से चर्चा करता है। [11]

अर्पण सेन और ऋषभ कश्यप ने अपशिष्ट फाइबर सामग्री का उपयोग करके मिट्टी स्थिरीकरण पर अपना काम प्रस्तुत किया। उनके अध्ययन का मुख्य उद्देश्य भू–तकनीकी अनुप्रयोगों में अपशिष्ट फाइबर सामग्री के उपयोग की जांच करना और दो अलग–अलग मिट्टी के नमूनों पर प्रत्यक्ष कतरनी परीक्षण (Shear strength test) और अपुष्ट संपीड़न परीक्षण (unconfined compression test) करके असंतृप्त मिट्टी (unsaturated soil) की कतरनी ताकत पर अपशिष्ट पॉलीप्रोपाइलीन फाइबर के प्रभावों का मूल्यांकन करना है। प्राप्त परिणामों की तुलना दो नमूनों से की जाती है और लागत प्रभावी दृष्टिकोण के रूप में गहरी नींव या बेड़ा नींव के प्रतिस्थापन के रूप में फाइबर सुदृढीकरण की उपयोगिता और प्रभावशीलता के बारे में निष्कर्ष निकाले जाते हैं। [12]

1. अपशिष्ट पदार्थ

मिट्टी का सुदृढ़ीकरण बिजली के तारों द्वारा किया गया है जो भवन या किसी अन्य संरचना के विद्युतीकरण के बाद उत्पन्न अपशिष्ट पदार्थ हैं। जिसके कुछ गुण नीचे बताए गए हैं –

तालिका 1 : उपयोग में लिए गए ई–तारों के गुण

गुण	मात्रा
पहलू अनुपात (लंबाई / व्यास)	2 : 1
औसतन व्यास	1.6 mm
औसतन लंबाई	3.32 mm
विशिष्ट गुरुत्व	2.51
यूनिट वजन	1200 kg/m^3

2. सामग्री की तैयारी व तरीका

प्राकृतिक मिट्टी को साइट से एकत्र किया गया और मिट्टी प्रयोगशाला में लाई गई और हवा में सुखाने के लिए फैलाया जाता है। इसके बाद कार्बनिक पदार्थों, मोटे कणों, घास की टहनियों आदि को छांटने के लिए मिट्टी की स्क्रीनिंग की जाती है। इसके बाद मिट्टी के सूचकांक गुणों का पता लगाया जाता है और फिर ई–वायरों का मिश्रण किया जाता है। ई–तारों को मिट्टी में मिलाने के लिए निम्नलिखित चरणों का पालन करना होगा– मिट्टी के नमूनों को मानक प्रॉक्टर संघनन परीक्षणों के अनुरूप उनके संबंधित अधिकतम ओएमसी, एमडीडी पर संकुचित किया जाता है।

- वर्तमान अध्ययन में फाइबर सुदृढीकरण के लिए काली मिट्टी के वजन का 0%, 5%, 7%, और 9% प्रतिशत लिया गया है।
- नमूनों की तैयारी में यदि फाइबर का उपयोग नहीं किया जाता है तो हवा में सूखने वाली मिट्टी को पानी की मात्रा के साथ मिलाया जाता है जो मिट्टी की ओएमसी पर निर्भर करता है।
- यदि फाइबर सुदृढीकरण का उपयोग किया जाता है तो फाइबर की अपनाई गई सामग्री को पहले हाथ से छोटे–छोटे चरणों में हवा में सुखाई गई मिट्टी में मिलाया गया था, यह सुनिश्चित करते हुए कि सभी फाइबर अच्छी तरह से मिश्रित हो गए, ताकि एक व्यावहारिक रूप से समरूप मिश्रण प्राप्त हो और फिर आवश्यकतानुसार पानी डाला गया।

तालिका 2 : उपयोग में लिए गए ई–तारों का संयोजन

नमूना	संयोजन
BCS + 0% E-wires	काली मिट्टी व ई–तार 0%
BCS + 5% E-wires	काली मिट्टी व ई–तार 5%
BCS + 7% E-wires	काली मिट्टी व ई–तार 7%
BCS + 9% E-wires	काली मिट्टी व ई–तार 9%

3. काली मिट्टी पर विभिन्न परीक्षण

तालिका 3 : प्राकृतिक काली मिट्टी में बिना ई–तार के मिश्रण के किए गए परीक्षणों के परिणाम

परीक्षण	परिणाम
प्राकृतिक नमी (Natural water content)	10%
तरल सीमा (Liquid Limit)	42%
प्लास्टिक सीमा (Plastic Limit)	29%
प्लास्टिसिटी सूचकांक (Plasticity Index)	10%
विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण (Specific Gravity)	2.351

4. काली मिट्टी के साथ ई–तार पर विभिन्न परीक्षण

क. अटरबर्ग सीमा

5%, 7% और 9% ई–तार को मिट्टी में मिलाने पर तरल सीमा क्रमशः 9.75%, 24.39% और 39.02% कम हो जाती है।

तालिका 4 : प्राकृतिक काली मिट्टी में और ई–तार के मिश्रण के किए गए परीक्षणों के परिणाम

नमूना	तरल सीमा% (25 वार के अनुरूप)
BCS + 0% E-wires	41
BCS + 5% E-wires	37
BCS + 7% E-wires	31
BCS + 9% E-wires	25

ख. संघनन परीक्षण

5%, 7% और 9% जोड़ने पर मिट्टी का एमडीडी, मिट्टी के वजन के अनुसार ई–वायर क्रमशः 1.83 gm/cc, 1.87 gm/cc और 1.89 gm/cc पाया जाता है और संबंधित ओएमसी क्रमशः 11.7%, 10.90% और 10.20% पाया जाता है।

तालिका 5 : प्राकृतिक काली मिट्टी में और ई–तार के मिश्रण के किए गए परीक्षणों के परिणाम

नमूना	नमी मात्रा % (OMC)	MDD (gm/cc)
BCS + 0% E-wires	13.75	1.80
BCS + 5% E-wires	11.70	1.83
BCS + 7% E-wires	10.90	1.87
BCS + 9% E-wires	10.20	1.89

ग. California Bearing Ratio Test (सीबीआर)

5%, 7% और 9% ई–तार को मिट्टी में मिलाने पर मिट्टी की भीगी सीबीआर (Soaked CBR) मान क्रमशः 12.5%, 107.2% और 151.1% बढ़ जाता है।

तालिका 6 : प्राकृतिक काली मिट्टी में और ई–तार के मिश्रण के किए गए परीक्षणों के परिणाम

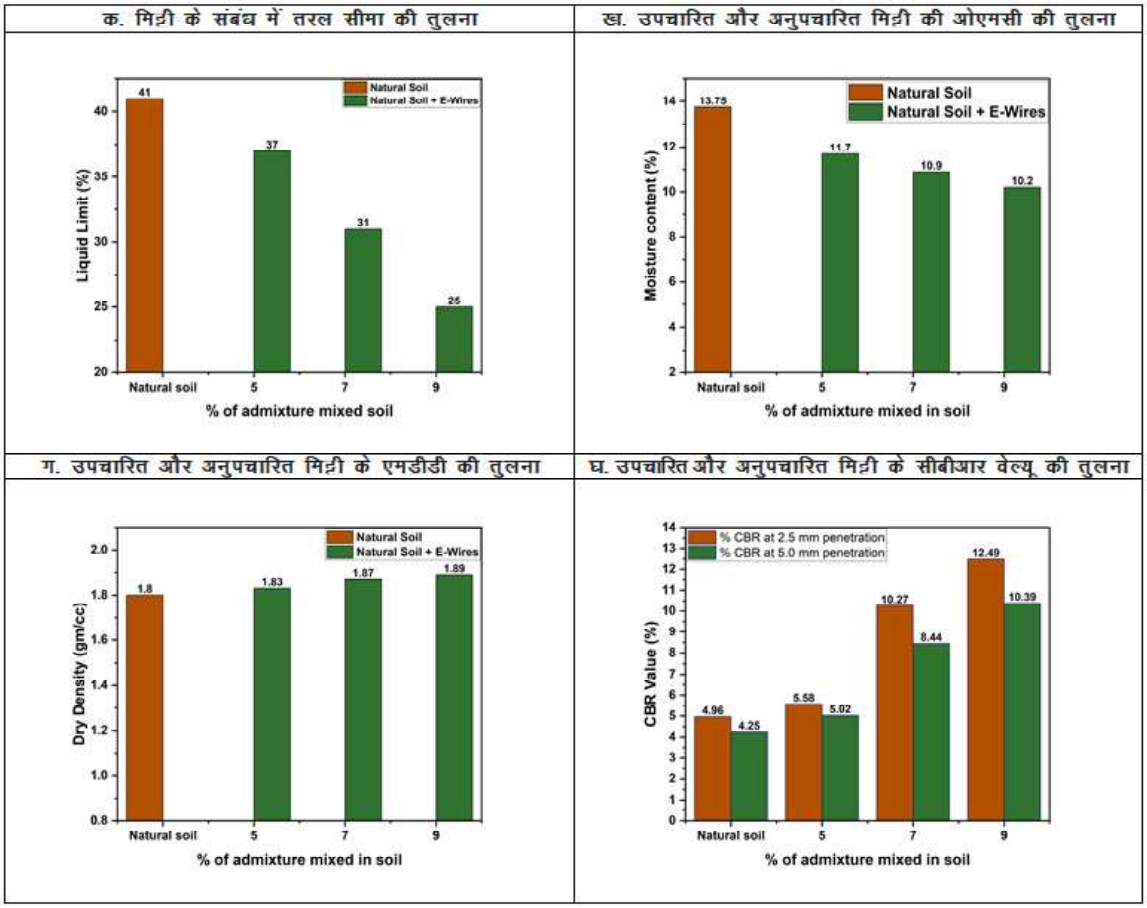
नमूना	सीबीआर % (2.5 mm के अनुरूप)	सीबीआर % (5 mm के अनुरूप)
BCS+0 % E-wires	4.96	3.69
BCS+5 % E-wires	5.58	4.92
BCS+7 % E-wires	10.27	9.80
BCS+9 % E-wires	12.49	10.39

निष्कर्ष

वर्तमान प्रायोगिक अध्ययन से उल्लेखनीय है कि ई–वायर अपशिष्ट काली मिट्टी के स्थिरीकरण में महत्वपूर्ण योदान दे रही है। 5%, 7% और 9% ई–तार को काली मिट्टी में मिलाने पर और भांति–भांति प्रयोग किए गए। प्रयोगों के परिणाम के आधार पर यह पता चला कि जैसे–जैसे ई–तार की मात्रा बढ़ाते गए वैसे–वैसे काली मिट्टी में सकारात्मक व प्रभावी बदलाव दिखने लगे। इससे ई–तारों के अपशिष्टों को भी इस्तेमाल किए जाने में मदद मिलेगी और पर्यावरण भी दूषित होने से बच सकेगा। अतः प्राकृतिक मिट्टी के साथ मिश्रित होने पर ई–तारों ने प्रभावी परिणाम दिखाए हैं। साहित्य की समीक्षा में भी पता चलता है कि ई–वायर अपशिष्ट से मिट्टी सुदृढ़ होती है।

उपचारित और अनुपचारित मिट्टी के परिणामों की तुलना

यहां उपचारित और अनुपचारित मिट्टी के परिणामों को आलेख के माध्यम से समझाया गया है। जिसमें तरल सीमा, ओएमसी, एमडीडी व सीबीआर के परिणामों को प्राकृतिक मिट्टी से तुलना किया गया है।



वर्तमान अध्ययन विस्तारित मिट्टी के स्थिरीकरण में ई–तारों का उपयोग करने के लिए एक प्रभावी विधि के रूप में काम कर सकता है। निष्कर्ष ई–तारों के अलग–अलग प्रतिशत के साथ प्राकृतिक मिट्टी पर किए गए परीक्षणों पर आधारित हैं।

- यूएससीएस वर्गीकरण ने प्राकृतिक मिट्टी को मध्यम प्लास्टिसिटी (OI) की कार्बनिक मिट्टी के रूप में वर्गीकृत किया है।
- परिणाम से पता चलता है कि ई–तारों ने विस्तृत मिट्टी की ताकत विशेषताओं और सूजन व्यवहार को बेहतर बनाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है।
- ई–तारों को जोड़ने पर प्राकृतिक मिट्टी की तरल सीमा कम हो जाती है।
- जैसे–जैसे बिजली के तारों का प्रतिशत बढ़ता है, प्राकृतिक मिट्टी की ओएमसी कम होने के साथ एमडीडी बढ़ जाती है।

- इलाज और संघनन मापदंडों जैसे कुछ कारकों का समय के साथ उपचारित मिट्टी के सीबीआर परीक्षण द्वारा मापी गई ताकत पर काफी प्रभाव पड़ता है और नींव के काम के दौरान इसे ध्यान में रखा जाना चाहिए।
- यह पाया गया है कि मिट्टी के साथ ई–तारों के संयोजन के लिए ताकत गुणों में अधिकतम सुधार हुआ है। इससे तटबंधों और फुटपाथ निर्माणों दोनों में विस्तृत मिट्टी के गुणों में सुधार के लिए औद्योगिक और घरेलू कचरे का अनुप्रयोग खोजने में मदद मिलती है। ई–तारों में मिट्टी के भू–तकनीकी अनुप्रयोग में उपयोग की अच्छी संभावना है, यह निर्माण परियोजनाओं पर समय और पैसा बचाने का एक सिद्ध तरीका है।
- अतः मृदा स्थिरीकरण हेतु भांति–भांति प्रकार के अपशिष्ट पदार्थों को प्रयोग में लाया जा सकता है परंतु इलेक्ट्रिक तार एक घरेलू व औद्योगिक अपशिष्ट होने के साथ ही मृदा स्थिरीकरण में अहम भूमिका निभाता है।

सामग्री और खुराक के चयन के अलावा इस पद्धति की प्रभावशीलता को नियंत्रित करने वाले कई अन्य कारक भी हैं जैसे मिश्रण और प्रसार, रोलर का चयन, संघनन परत की मोटाई, संघनन प्रयास, वातावरण, जल वायु परिस्थितियां आदि हैं। [13]

शोध पत्र में प्रयुक्त अंग्रेजी शब्दों की समानार्थक हिंदी शब्दावली

Alphabetically sorted terminology in English	**वर्णमाला अनुक्रमित हिंदी शब्दावली**
Fine grained soil	बारीक दाने वाली मिट्टी
Soil stabilization	मृदा स्थिरीकरण
Liquid limit	तरल सीमा
Expansive soil	विस्तृत मिट्टी
Optimum Moisture Content	इष्टतम नमी मात्रा
Maximum Dry Density	अधिकतम शुष्क घनत्व

संदर्भ

[1] D. Novianto, T. Rochman, The experimental procedures of sand and lime as base soil stabilization materials on the modified proctor values for flexible pavement construction, MethodsX 11 (2023) 102473.

[2] B. Soundara, S. Selvakumar, Swelling behaviour of expansive soils randomly mixed with recycled geobeads inclusion, SN Appl. Sci. 1 (2019) 1-7.

[3] K.S.S. Rao, Swell-Shrink Behaviour of Expansive Soils-Geotechnical Challenges, Indian Geotech. J. 30 (2000).

[4] N. Tiwari, N. Satyam, Coupling effect of pond ash and polypropylene fiber on strength and durability of expansive soil subgrades: An integrated experimental and machine learning approach, J. Rock Mech. Geotech. Eng. 13 (2021) 1101-1112.

[5] W. Safi, S. Singh, Efficient & effective improvement and stabilization of clay soil with waste materials, Mater. Today Proc. 51 (2021) 947-955.

[6] B.B. Broms, U. Anttikoski, Soil Stabilization., Proc. Eur. Conf. Soil Mech. Found. Eng. 3 (1984) 1289-1315.

[7] C.C. Ikeagwuani, D.C. Nwonu, Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review, J. Rock Mech. Geotech. Eng. 11 (2019) 423-440.

[8] R.R. Al-Omari, F.J. Hamodi, Swelling resistant geogrid-A new approach for the treatment of expansive soils, Geotext. Geomembranes 10 (1991) 295-317.

[9] G.J. Kasangaki, I. Towhata, Wet compaction and lime stabilization to mitigate volume change potential of swelling clayey soils, Soils Found. 49 (2009) 813-821.

[10] A. El Majid, K. Baba, Y. Razzouk, Assessing the impact of plant fibers on swelling parameters of two varieties of expansive soil, Case Stud. Chem. Environ. Eng. 8 (2023) 100408.

[11] B.R. Phanikumar, R. Singla, Swell-consolidation characteristics of fibre-reinforced expansive soils, Soils Found. 56 (2016) 138-143.

[12] A. Sen, R. Kashyap, Soil stabilization using waste fibre materials, (2019).

[13] M.R. Hall, K.B. Najim, P. Keikhaei Dehdezi, Soil stabilisation and earth construction: Materials, properties and techniques, Mod. Earth Build. Mater. Eng. Constr. Appl. (2012) 222-255.