

8D07321 – «Құрылыс» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін «Ғимараттар мен имараттардың сенімді негіздерін қалыптастыру үшін топырақты нығайтудың заманауи тиімді әдістері» тақырыбындағы Джумадилова Сауле Жакинбековнаның диссертациясына

АНДАТПА

Зерттеудің өзектілігі. Алматы қаласының шекараларының кеңеюі және ірі түйіршікті топырақтардан құралған аумақтардың тапшылығына байланысты, құрылыс жүргізуге, әсіресе сейсмикалық жағынан алғанда құрылыс жағдайларына қолайсыз саналатын аудандар белсенді түрде қолданыла бастады. Мұндай аумақтарға макрокеуекті, орман шөгінділерден, суланған және суға қаныққан топырақтардан құралған аймақтар жатады. Олар көбінесе таулы және тау бөктеріндегі аудандарды, сондай-ақ сирек қоныстанған іргелес аумақтарды қамтиды. Бұл аудандар әдетте көлбеу бұрышы 15 градустан асатын еңістер мен тау беткейлерінде және үстірттерде орналасқан. Дәл осындай жерлерде көлік инфрақұрылымы, өнеркәсіптік және коммерциялық нысандар құрылысы жүргізіледі. Сонымен қатар, әлеуметтік мақсаттағы азаматтық құрылыс нысандары мен эконом-кластағы тұрғын үйлердің құрылысына қалалардың шет аймақтарында орналасқан, техногендік үйінділермен, әлсіз сазды немесе шөгуге бейім топырақтармен қамтылған аудандар беріледі.

Сейсмикалық белсенді аймақтарда құрылыс жүргізу - негізгі мәселелердің бірі болып табылады. Бұл, өз кезегінде, іргетастарды жобалау мен ғимараттардың құрылысын тұрғызуда белгілі бір қиындықтарды туғызады. Мұндай жағдайда, негіздердің сенімділігін арттыру үшін арнайы инженерлік шараларды жүзеге асыру қажет. Топырақтың құрылыстық қасиеттерін жақсарту шаралары – құрылыс нысандарының қауіпсіздігін ғана арттырып қоймай, сонымен қатар құрылыс жұмыстарының нөлдік кезеңі үшін экономикалық тұрғыдан тиімді шешім болып табылатынын әлемдік іс-тәжірибеде көрсетті. Осы бағытқа байланысты топырақты нығайту және тұрақтандыру технологиялары белсенді дамып келеді.

Диссертациялық жұмыста күрделі геологиялық жағдайларда ғимараттар мен құрылыстардың сенімді негіздерін қалыптастыру үшін топырақты нығайтудың заманауи тиімді әдістері қарастырылады. Қазіргі уақытта әртүрлі құрылыс жобаларында қолданылатын әлсіз топырақтарды нығайту және тұрақтандыру бағытында көптеген технологиялар әзірленіп, сәтті қолданылған. Бұл әсіресе сейсмикалық белсенді аймақтарда өте өзекті, өйткені іргетастардың сенімділігі қауіпсіздіктің басты факторы болып табылады.

Заманауи әдістер, мысалы, инъекциялық технологиялар, геосинтетикалық материалдарды қолдану, терең араластыру технологиялары (DSM), әлсіз топырақтардың физика-механикалық қасиеттерін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді. Бұл әдістер, күрделі инженерлік-геологиялық жағдайлардың өзінде, деформациялардың ықтималдылығын төмендетіп, негіздердің көтеру

қабілетін арттыруға мүмкіндік береді. Аталған әдістерді жетілдіру - тек жаңа материалдарды енгізу арқылы ғана емес, сонымен қатар композиттік материалдарды қолдану және шынайы нақты уақыттағы топырақ негіздерінің жай-күйін бақылаудың инновациялық технологияларын дамыту сияқты ұтымды инженерлік шешімдердің есебінен де жүзеге асырылып жатқанынан атап өту өте маңызды.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – әлсіз сазды, суға қаныққан және үйінді топырақтарды нығайтудың барынша тиімді әдістерін негіздеу үшін теориялық және эксперименттік зерттеулер жүргізу.

Зерттеу нысаны – көтеру қабілеті төмен, жүктеме әсерінен сығылу дәрежесі жоғары және үлкен деформацияға бейімді әлсіз сазды, құмды, орман шөгінділері және басқа да топырақтар негіз ретінде қарастырылады.

Зерттеу пәні ретінде ғимараттар мен құрылыстарды салу кезінде топырақтың көтеру қабілетін арттыру және деформациялық қасиеттерін азайту мақсатында қолданылатын әлсіз топырақты нығайту әдістері мен технологиялары қарастырылады.

Зерттеудің міндеттері:

– аймақтық топырақ жағдайларының ерекшеліктерін ескере отырып, әлсіз топырақты нығайтудың барынша тиімді әдістерін анықтау;

– үйінді және әлсіз топырақтардың көтеру қабілетін арттыру үшін топырақтардың механикалық қасиеттерін зерттеу және геосинтетикалық материалдарды қолдану;

– борпылдақ құмдар, сазды және қиыршықты топырақтардың қасиеттерін жақсарту үшін инъекциялық құрамдардың (шайырлар) және басқа қоспалардың тиімділігін бағалау;

– орман шөгіндісі тәрізді және суланған топырақтарды нығайту үшін терең ылғалды араластыру әдісін, сондай-ақ топырақ-цемент ұстындарын арматуралау тиімділігін зерттеу;

– әлсіз топырақты нығайтудың тиімділігін нақты нысан мысалында, заманауи геотехникалық бағдарламалар және ақырғы элементтер әдістерін қолдана отырып негіздеу.

Диссертацияның ғылыми жаңалығы:

– геосинтетикалық материалдардың созылуға жұмысын сынау үшін қондырғылар әзірленді; бұл қондырғылар әртүрлі жүктеу жағдайлары бойынша уақытша және ұзақ мерзімді беріктік параметрлерін белгілеуге мүмкіндік береді;

– геосинтетикалық материалдардың топырақ негізіндегі жұмысын айқындайтын сынақ жүргізу әдістемесі өңделді;

– үйінді топырақтарды нығайту үшін қолданылатын геосинтетикалық материалдардың қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді беріктігі бойынша деректер алынды;

– полиуретанды шайырлар мен басқа қоспалар арқылы нығайтылған әртүрлі құрамдағы және қасиеттердегі топырақтардың параметрлері алынды;

– Оңтүстік Қазақстан өңірінің топырақтарынан жасалған топырақ-цемент ұстындардың негізгі физика-механикалық параметрлері алынды;

– топырақтардың петрографиялық және физикалық құрамы мен бастапқы күйіне байланысты қасиеттерінің тәуелділігі анықталды;

– терең араластыру әдісін қолдану ұсынылған аудандардың барлығында нығайтуды сапалы бақылау үшін осындай зерттеулер жүргізудің қажеттілігі анықталды;

– нығайтылған топырақ-цемент ұстындарды сығу сынақтарына арналған модельдік сынақ қондырғысы жасалып, дайындалды;

– әртүрлі шегендеуші материалдарды қолдану арқылы топырақтың көтеру қабілетін арттыру заңдылықтары анықталды және оларды іс жүзінде қолдану шарттары белгіленді.

Диссертацияның практикалық маңыздылығы:

– саздақтарды, құмдарды және ірі түйіршікті топырақтарды нығайту және оларды өңдеу кезінде орнықтылығын арттыру үшін полиуретанды шайырларды қолдану бойынша практикалық ұсыныстар әзірленді;

– геосинтетикалық құралдардың ұзақ мерзімді беріктігі туралы деректер алынып, олардың сатылы және ұзақ мерзімді жүктемелер кезіндегі сипаттамалары зерттелді;

– DSM әдісімен жасалған топырақ-цемент ұстындардың тік және көлденең бағыттарда анизотроптық қасиеттерге ие екені және олардың механикалық параметрлерінің ылғалдылыққа тәуелділігі анықталды;

– топырақ-цемент ұстындарды қосымша арматуралау - олардың бір осьті сығылуға беріктік шегін жоғарылатады және сәйкесінше нығайтылған массивтің көтеру қабілетін арттыратыны анықталды.

Диссертацияда келесі әдістер қолданылды: геосинтетикалық материалдар мен топырақ-цемент ұстындарды сынау қондырғыларын жасау және инъекциялық құрамдар мен арматураланған элементтердің әртүрлі үлгілеріне беріктік және созу сынақтарын жүргізуді қамтитын зертханалық зерттеулер; топырақты нығайтудың қолданыстағы әдістерін ғылыми әдебиет пен нормативтер негізінде талдауға, топырақ-цемент ұстындардың беріктігіне арматураның әсерін бағалау сынақ әдістемесін әзірлеуге және геосинтетиктердің топырақпен жанасу ықпалынан көтеру қабілетін арттырудағы рөлін негіздеуге бағытталған теориялық зерттеулер; құрылыс нысандарында инъекциялық және механикалық нығайту әдістерінің тиімділігін бағалау және нығайтылған топырақтардың ұзақ мерзімділігін бақылауға арналған далалық сынақтар; әртүрлі нығайту әдістерін қолданудың шығындарын, жұмыстарды орындау мерзімдерін және олардың пайдалану тиімділігін ескере отырып, олардың мақсатқа сәйкестігін есептеуді қамтитын экономикалық талдау; құрылыс жағдайларына байланысты әртүрлі жүктемелер кезінде топырақты нығайту әдістерін оңтайландыру үшін PLAXIS 3D және MIDAS 3D бағдарламаларын қолданатын компьютерлік модельдеу.

Қорғауға шығарылатын тұжырымдар:

– саздар, құмдар және ірі түйіршікті топырақтардан құралған топырақ массивтерінің беріктігімен орнықтылығын жоғарылату үшін, олардың құрамына енгізілетін пенополиуретанды шайырдың оңтайлы мөлшерін таңдау бойынша зертханалық және далалық зерттеулердің нәтижелері;

– геосинтетикалық материалдарға тән ұзақ мерзімді беріктік көрсеткіштерінің зертханалық зерттеу нәтижелері: алтыбұрышты (гексагональ) геотор ТХ-170, полипропиленді геотор СД-40, бір осьті геотор СО-90 және тоқыма емес геотекстиль;

– геосинтетикалық материалдардың топырақ негізіндегі жұмысын айқындайтын сынақ жүргізу әдістемесі;

– әртүрлі инженерлік-геологиялық жағдайларда топырақ-цемент ұстындардың қажетті беріктігін қалыптастыру шарттары бойынша зерттеу нәтижелері;

– топырақ-цемент ұстындардың беріктігін қос таврлы немесе тұрбалы пішіндермен, сондай-ақ арматуралық шыбықтардан жасалған кеңістік қаңқамен қосымша арматуралау арқылы арттыру мүмкіндігін зерттеу нәтижелері.

Диссертациялық зерттеу нәтижелерінің шынайы сенімділігі далалық және зертханалық сынақтар жүргізу кезінде сертификатталған құрал-жабдықтарды қолдану, алынған нәтижелерді басқа авторлардың нәтижелерімен салыстыру, сынақтар мен зерттеулердің жеткілікті қайталануы, сынақ нәтижелерін PLAXIS 3D-де алынған аналитикалық есептеулермен салыстыру арқылы расталады.

Автордың ғылымға қосқан жеке үлесі зерттеудің мақсаты мен міндеттерін қоюда, далалық және зертханалық сынақтарды жүргізуде, әлсіз топырақты нығайту үшін пенополиуретанды шайырдың оңтайлы шығынын анықтауда, DSM ұстындарын нығайту әдістемесін әзірлеуде, сондай-ақ нығайтылған топырақ құрамындағы геосинтетиктердің беріктігі мен тиімділігі туралы жаңа ақпарат алуда көрініс табады.

Диссертациялық зерттеудің ғылыми нәтижелерін баіқап көру (апробация) және енгізу әзірленген әдістердің практикалық құндылығын және олардың нақты жағдайларда сәтті қолданылғанын растады. Диссертация тақырыбы бойынша енгізу туралы келесі растамалар алынды: диссертациялық зерттеу нәтижелерін ЖШС «АсадСервис»-де практикалық енгізу бойынша АКТ, 10 сәуір, 2024 жыл; ЖШС «Geofocus»-де практикалық енгізу бойынша АКТ, 15 мамыр 2024 жыл; сондай-ақ ЖШС «Халықаралық білім беру корпорациясы»-нда ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін оқу үдерісіне енгізу бойынша АКТ, 24 маусым 2024 жыл.

Жұмыстың негізгі ережелері келесі халықаралық семинарларда баяндалып талқыланды:

- СПбПУ базасында өткен «Азаматтық құрылыс саласындағы цифрлық инжиниринг» атты жоғары оқу орындары аралық ғылыми семинар (2024);

- «Сейсмикаға тұрақты ғимараттар мен құрылыстарды инженерлік зерттеу, жобалау және салу» атты халықаралық семинар (2024).

Диссертациялық зерттеу нәтижелері келесі ғылыми басылымдарда жарияланды:

1. The use of geosynthetic materials to increase the bearing capacity of soil cushions // A Scientific Internet-Journal «Nanotechnologies in construction». 2024, 16 (4), 342-355.

2. Способы защиты фундаментов от коррозии их преимущества и недостатки // Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии. 2017, 3(65), 209-213.
3. Technology for strengthening soil materials using two-component polyurethane material GEOPUR // QazBSQA Хабаршысы. 2024, 1(91), 65-77.
4. Исследования влияния армирования геосинтетическими материалами на прочность грунтов в условиях трехосного сжатия и одноплоскостного среза // QazBSQA Хабаршысы. 2024, 3(93), 121-139.
5. Injection of two-component Geopur resin for strengthening sandy soils // QazBSQA Хабаршысы. 2024, 3(93), 95-107.
6. Исследование физико-механических свойств геосинтетических материалов применительно для работы в грунтовых основаниях // Вестник АО «КазНИИСА». 2023, 4(10,11,12), 78-94.

Диссертация тақырыбы бойынша 6 ғылыми жұмыс жарияланды, оның ішінде: Scopus Web of Science базаларында индекстелетін басылымдарда – 1 мақала; ғылым және жоғары білім беру саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда – 4 мақала; Қазақстан Республикасының басқа басылымдарында – 1 мақала.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс машинкаға басылған 169 бетте баяндалған, кіріспеден, 5 бөлімнен және негізгі қорытындылардан құралған, оның ішінде негізгі мәтін 133 беттен, 36 қосымшадан, 23 кесте, 80 суреттен тұрады, пайдаланылған дереккөздер тізімі 100 атаудан тұрады.

Жұмыстың негізгі мазмұны. Диссертацияның кіріспесінде әлсіз топырақтардың көтеру қабілетін арттыру қажеттілігімен байланысты зерттеудің өзектілігі негізделген. Бұл күрделі геологиялық аудандарда құрылыс жүргізу жағдайларында маңызды болып табылады. Топырақтарды нығайту әдістерін әзірлеуге және оңтайландыруға бағытталған зерттеудің мақсаты мен міндеттері олардың орнықтылығы мен ұзақ мерзімділігін арттыру мақсатында тұжырымдалған. Топырақты нығайтудың жаңа әдістерін ұсыну және олардың тиімділігін бағалау бойынша ғылыми жаңалық негізделген.

Бірінші тарау «Әлсіз топырақтарды нығайтудың заманауи әдістеріне шолу» деп аталады, бұл жерде әдеби көздерге шолу жасалып, әлсіз топырақтарды нығайтудың қолданыстағы әдістері қарастырылды. Әсіресе инъекциялық нығайтушы қоспалар, Jet Grouting, Deep Soil Mixing және геосинтетикалық материалдарды қолдану әдістеріне ерекше назар аударылды. Олардың орындалуының негізгі технологиялары сипатталып, артықшылықтары, кемшіліктері және қолдану салалары анықталды. Аталған әдістердің тиімділігін бағалауға арналған теориялық тәсілдер мен олардың құрылыс саласындағы практикалық жүзеге асырылуы талданды. Жүргізілген талдау негізінде зерттеулердегі негізгі мәселелер анықталынды және ол Қазақстанның оңтүстік өңіріндегі топырақтардың көтеру қабілетін арттыру мақсатында нығайту технологияларын әрі қарай зерттеу және оңтайландыру қажеттілігінің негізін құрады.

Бірінші тарау бойынша қорытындылар:

1. Топырақты нығайту әдістеріне талдау жүргізіліп, макрокеуекті, суға қаныққан сазды және құмды, сондай-ақ үйінді және басқа да құрылымы тұрақсыз топырақтарды нығайту үшін ең озық әрі тиімді әдістер ерекшеленді.

2. Пенополиуретанды шайырлар сияқты жаңа инъекциялық материалдарды қолдану салалары зерттелді. Олардың артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды. Әлсіз макрокеуекті, суға қаныққан және үйінді топырақтарды нығайту кезінде, қалалық құрылыстың тар жағдайларында қолдану мүмкіндігін зерттеу бағыттары белгіленді.

3. Жергілікті топыраққа тиіспей күшейтуге негізделген заманауи заманауи технологиялар зерттелді. Терең тығыздау және қосымша арматуралық элементтерді орнату арқылы бастапқы тығыздықты арттырып, терең нығайтуды қамтамасыз ететін элементтерді қолдану және ылғалды терең араластыру әдісі тиімділігі көрсетілді.

4. Геосинтетикалық материалдардың түрлері ерекшеленіп, оларды қолдану үйінді мен үйінді топырақтардан жасалған топырақ жастықшаларының көтеру қабілетін арттырып, деформацияларын азайтуға мүмкіндік беретіні анықталды.

5. Алматы және Шымкент қалаларының топырақ шөгінділерін мысалға ала отырып, геологиялық жағдайлардың алуан түрлілігі көрсетілді. Гимараттар мен құрылыстардың негізі ретінде топырақты ауыстырмай немесе нығайтпай пайдалану мүмкін емес топырақтардың негізгі түрлері ерекшеленді. Әлсіз негіздерді нығайтудың заманауи әдістері мен технологияларын қолдану арқылы негізгі конструктивтік схемалар ұсынылды.

Екінші тарау «Негіздерді қатайтатын құрамдармен нығайтудың инъекциялық әдісі» деп аталады. Бұл тарауда екі компонентті Georig шайырын қолдану арқылы инъекциялық нығайту әдісі қарастырылады. Эксперименттер жүргізу шарттары мен бағдарламалары, соның ішінде құмды, сазды және қиыршықты топырақтардың қасиеттері мен нығайту әдістері, мысалы, инъекциялық технологиялар сипатталған. Сынақтардың нәтижелері, соның ішінде топырақтардың физика-механикалық сипаттамаларының өзгерістері (тығыздық, қысу беріктігі және деформациялық қасиеттер) көрсетілген. Алынған деректер негізінде топырақтардың көтеру қабілетін жақсарту әдісінің әсері талданып, оның негіздерді нығайту тиімділігі бағаланды.

Екінші тарау бойынша қорытындылар:

1. Инъекциялық қатайтатын құрамдар әдісі бойынша бекітілуге жататын топырақтардың табиғи қасиеттері таңдалып, зерттелді және зерттеу бағдарламасы құрастырылды.

2. Әртүрлі бастапқы тығыздықтағы құмды топырақтар, табиғи және суға қаныққан жағдайдағы саздақтар, әртүрлі бастапқы тығыздықтағы қиыршық тасты топырақтар бекітілді. Бекітілгенге дейін және кейінгі физикалық және механикалық параметрлер туралы деректер алынды.

3. Әрбір сынақтан өткізілген топырақ түрі үшін қажетті беріктікке қол жеткізу үшін Georig полиуретанды шайырының шығыны туралы деректер алынды.

4. Инъекциялық қатайтатын құрамдар әдісі бойынша зерттеулер көрсеткендей, топырақ түріне байланысты келесі шайыр құрамдары ұсынылды: қатты және жартылай қатты консистенциядағы сазды топырақтар үшін – Georig 082/180, иленімді және ақпалы сазды топырақтар үшін – кем дегенде Georig 082/290, құмдар үшін – Georig 230, қиыршық тасты топырақтар үшін – Georig 082/90.

5. Инъекция жүргізу үшін ИВО анкерлік штангаларының R32S және R32N түрлерін топырақ сипаттамаларына байланысты қолдану ұсынылды. Саздақтарды және басқа топырақ түрлерін нығайтуға арналған материалдар шығыны олардың күйіне және түріне байланысты 100-ден 600 кг/м³ дейін өзгеретіні анықталды.

6. Қысу беріктік шегінің тік және көлденен бойынша анизотропиясы шамамен 20-28% деңгейінде анықталды, суға қаныққан кезде беріктіктің төмендеуі 10%-ға дейін жетті.

7. Саздақтарды және ірі түйіршікті топырақтарды жер бетінен 3 метр тереңдікке дейін нығайту бойынша далалық сынақ жұмыстары жүргізілді. Нығайту процесінің сапасын бағалау үшін инъекциялық анкерлердің ұзындығы бойынша бақылау үлгілері іріктелді. Әртүрлі бастапқы тығыздықтағы ірі түйіршікті топырақтарды нығайту кезінде инъекциялау процесін зерттеу үшін монолитті массивтер іріктелді.

Үшінші тарау «Топырақты терең араластыру әдісімен (DSM) нығайтуды негіздеу» деп аталады. Бұл тарауда топырақты нығайту үшін терең араластыру әдісі (Deep Soil Mixing – DSM) қарастырылады. Бұл әдісті қолданған кездегі топырақ қасиеттері сипатталып, топырақ-цемент ұстындардың физика-механикалық сипаттамалары анықталды. Зертханалық зерттеу бағдарламасы ұсынылып, қолданылатын жабдықтардың әдістері мен параметрлері сипатталған, алынған нәтижелердің талдауы берілген. Тарауда композиттік ұстындардың беріктігін зерттеуге де назар аударылған. Композиттік ұстындарды арматуралау үшін зерттеу барысында болат қоставр, тұрба және кеңістік қаңқалы арматуралық болат қолданылды. Сынақтарға арналған төрт нұсқа әзірленді. DSM әдісімен нығайтудың нәтижелері мен DSM модельдерінің аналитикалық есептеулері көрсетілген. Сондай-ақ, топырақты нығайту үшін терең араластыру әдісінің тиімділігі қарастырылған.

Үшінші тарау бойынша қорытындылар:

1. Топырақ-цемент нығайтушы элементтердің бір осьті сығылуға беріктігінің біртектілігін және сапасын бақылау үшін DSM тәжірибелік ұстындары дайындалды. Бақылау үлгілері беріктік жинаудан 28 күн өткен соң, көлденең және тік бағытта іріктелді. Сынақтар үлгілердің табиғи және суға қаныққан күйінде жүргізілді. Нығайтылғанға дейінгі және кейінгі топырақтың физикалық және механикалық параметрлері алынды.

2. DSM ұстындары модельдерін 1:10 масштабында сынау бағдарламасы дайындалды, ұстын діңгегін беріктендірудің әртүрлі нұсқалары пайдаланылды. Нығайту үшін қоставр, тұрба түріндегі металл пішіндер және арматуралық шыбықтардан жасалған кеңістіктік қаңқа қолданылды.

3. DSM моделін қысу сынағына арналған арнайы қондырғы дайындалды. Сынақтар жүктемені сатылап біртіндеп арттыра отырып, қирауға дейін жүргізілді. Тік күш артқан кезде модельдің деформациясының өзгеруі бойынша графикалық тәуелділіктер алынды.

4. Бақылау үлгілері үш осьті қысу құрылғысында сынақтан өтті. Диаметрі 50 мм үлгілер сыналды. Бақыланатын параметрлер қысу беріктігінің шегі мен деформация модулі болды.

5. Сынақ қадаларының нәтижелері ылғалдылыққа байланысты беріктік шегінің өзгеруін көрсетті. Сынақ үлгінің жоғарғы бөлігінде ірі құм мен жергілікті саздақтың араласуымен байланысты құбылыстар байқалды. Бұл DSM ұстын дінгегінің биіктігі бойынша алғанда, құрам мен беріктіктің біркелкі еместігіне әкеледі. Сынақ нәтижелері бойынша нақты беріктік шегі мәндері алынып, қысу беріктік шегінің тік және көлденең бағыттарындағы анизотропиясы шамамен 20-28% деңгейінде анықталды, ал суға қаныққан кезде беріктік шамамен 10%-ға төмендеді.

6. DSM үлгілерін қысу сынағының нәтижелері DSM материалдарының көтеру қабілетінің айтарлықтай артқанын көрсетті. Бұл арту арматураланбаған жағдайдағы көтеру қабілетінен 100-150%-ға жоғары болды. Дегенмен, физикалық модельдеудің кемшілігі – топырақтағы DSM жұмысына тән бүйірлік сығымдап қысудың болмауы.

Төртінші тарау «Геосинтетикалық материалдармен күшейтілген топырақ жастықшасын беткі нығайту» деп аталады. Бұл тарауда топырақты геосинтетикалық материалдарды қолдану арқылы нығайтуды зерттеудің әдістемесі және қолданылған жабдықтардың параметрлері сипатталады. Топырақтың көтеру қабілетін арттыру үшін қолданылатын геосинтетиктердің созылуға ұзақ мерзімді беріктігін сипаттайтын механикалық қасиеттерін анықтауға бағытталған зертханалық зерттеулер жүргізілді. Әсіресе топырақ пен геосинтетиктердің шекарасындағы өзара әрекеттестікті сынауға, соның ішінде геосинтетиктің қиыршық тасты топырақтарпен өзара әрекетін талдауға ерекше назар аударылды. Тарау соңында, сынақтардың нәтижелері ұсынылып, геосинтетикалық материалдарды топырақты жастықшасын нығайту үшін қолданудың тиімділігі бағаланды.

Төртінші тарау бойынша қорытындылар:

1. Геосинтетикалық материалдарды (геокерегекөз, геотор, геотекстиль және геомембрана) созуға сынауға арналған қондырғылар әзірленіп дайындалды, олардың көмегімен ұзақ мерзімді беріктік параметрлері анықталды. Қондырғылар жүктемені сатылап арттыру арқылы қирауға дейін сынау және ұзақ уақыт бойы тұрақты жүктемемен сынау мүмкіндігін берді.

2. Негізгі қолданылатын геосинтетикалық материалдардың механикалық параметрлерін анықтау үшін сынақ жүргізу бағдарламасы әзірленді.

3. Топырақ пен геосинтетика шекарасындағы қасиеттерді зерттеу үшін ығысу құрылғысы жаңғыртылды. Қиыршық тасты топырақ пен алтыбұрышты (гексегональ) геокерегекөз арасындағы ығысу жазықтығындағы байланыс бойынша сынақтардың нәтижелері алынды.

4. Геосинтетикалық материалдарды кинематикалық режимде сынау барысында барлық материалдарда үзілу беріктігінің төмендеуі байқалды. Өртүрлі геоторлар үшін бұл төмендеу 28%-дан 42%-ға дейін өзгерді. Алтыбұрышты (гексегональ) және екі осьті геокерегекөз үшін үзілу кезіндегі салыстырмалы ұзару сәйкесінше 8,6% және 30%-ға азайды. Бір осьті геокерегекөз үшін салыстырмалы ұзарудың артуы байқалды. Геотекстиль үшін үзілу беріктігі 15,7%-ға төмендеді, ал салыстырмалы ұзару 26,5%-ға артты. Алынған деректер материалдардың ұзақ мерзімді беріктігін айқындайды.

5. Модификацияланған ығысу құрылғысында жүргізілген сынақтар (қиыршық тасты топыраққа негізделген зерттеулер мысалында) көрсеткендей, геосинтетикалық материалдармен нығайтылған топырақ жастықшаларының механикалық қасиеттерін арттыру тиімділігі геосинтетик пен топырақ шекарасындағы қасиеттердің дәл анықталуына байланыстылығын көрсетті.

Бесінші тарау «Нығайтылған негіздерді есептеу және жобалау бойынша ұсыныстар» деп аталады. Бұл тарауда MIDAS GTS NX бағдарламалық кешенінде ақырғы элементтер әдісімен Алматы және Шымкент қалаларындағы құрылыс алаңдарындағы есептеулер ұсынылған. Нығайтуға дейінгі және кейінгі негіздің кернеулік және деформациялық күйі бойынша бағдарламалық есептеулер нәтижелері келтірілген, және ол іргетас табаны бойынша кернеулерді бағалауды және ғимарат негізінің деформацияларын талдауды қамтиды. Бұл есептеулер деформациялардың азайғанын және топырақ негізінің көтеру қабілетінің артқанын растады, бұл конструкцияның орнықтылығы мен ұзақ мерзімділігіне оң әсер етеді.

Бесінші тарау бойынша қорытындылар:

1. Алматы қаласындағы әлсіз негізді нығайту есептеулері негіз нығайтылмаған жағдайда іргетастардың максималды шөгу мәні рұқсат етілген шекті мәндерден асатынын көрсетті (1-10 блоктардың іргетастарының шөгуі 17,04-20,22 см, ал автотұрақтың деформациясы – 18.5 см), ал топырақтың көтеру қабілеті қанағаттанарлықсыз болды.

2. Іргетас табанының астындағы топырақтың көтеру қабілетінің пайдалану коэффициенті 132,9%-ды құрады, бұл нормадан жоғары. Нығайту үшін қиыршық тас жастықшасын (0,6-1,2 м) және терең араластыру (DSM) Ø1000-1200 мм, ұзындығы 4-9,5 м болатын ұстындарды қамтитын аралас әдіс ұсынылды.

3. Нығайтудан кейін шөгу 3,4-4,56 см-ге дейін төмендеді, бұл нормативтерге сәйкес келеді.

4. Шымкент қаласындағы әлсіз негізді нығайту есептеулері негіз нығайтылмаған жағдайда А блогының іргетас тақтасының максималды шөгуі 43,06 см, ал салыстырмалы шөгу айырмашылығы 0,0032 екенін көрсетті, бұл ҚР ҚЕ 5.01-102-2013 бойынша көрсетілген шектік мәнінен асып түседі (22,5 см және 0,0030 сәйкесінше).

5. Негізді DSM Ø1000 мм топырақ-цемент қадаларымен (ұзындығы 14 м болатын 820 дана қадалар) нығайтудан кейін, максималды шөгу 17,76 см-ге, ал салыстырмалы шөгу айырмашылығы 0,0021-ге дейін төмендеді, бұл

нормативтерге сәйкес келеді. Қадалардағы күштеулер рұқсат етілген жүктемеден аспайды ($1384,2 \text{ кН} < 1396,8 \text{ кН}$).

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Оңтүстік Қазақстан аумағында жүргізіліп жатқан қарқынды құрылыстың көпшілігі қасиеттері ерекше топырақтарда орналасқан. Оларға шөгуге бейім, лесс тәрізді, ісінетін және шамадан тыс суланған әлсіз топырақтар жатады. Құрылыс тәжірибесі көрсеткендей, мұндай жағдайларда ғимараттарды салу кезінде топырақты нығайту шаралары қажет.

2. Қалалық құрылыстың айналуға келмейтін тар жағдайларында топырақты нығайту үшін инъекциялық технологияны қолдану ұсынылады. Бұл шағын жабдықты ыңғайлы қолдану және нығайту процесінің жеткілікті тиімділігімен байланысты. Қолдануға ұсынылатын екі компонентті полиуретанды құрамдар: қатты және жартылай қатты саздар үшін – Georig 082/180, иленімді және ақпалы саздар үшін – Georig 082/290, құмдар үшін – Georig 230, қиыршық топырақтар үшін – Georig 082/90. Инъекция үшін ИВО анкерлік штангаларын қолдану ұсынылады: қиыршық тасты топырақтар үшін R32S түрі, сазды және құмды топырақтар үшін R32N түрі. Georig шығыны: қатты саздақтар үшін – 100 кг/м^3 , иленімі қатты саздақтар үшін – 300 кг/м^3 , иленімі жұмсақ саздақтар үшін – 600 кг/м^3 ; құмдар үшін – 100 кг/м^3 , қиыршық топырақтар үшін – $150\text{-}200 \text{ кг/м}^3$, қатты сазды топырақтар үшін – $180\text{-}200 \text{ кг/м}^3$ құрайды.

3. Жалпы алғанда, нығайтылған топырақтың орташа тығыздығының төмендегені анықталды. Бұл Georig шайыры енгізілгеннен кейін оның кеңеюі және көлемінің ұлғаюымен түсіндіріледі. Бастапқы тығыздық төмендейді және $1,28 \text{ т/м}^3$ (0,9 м тереңдікте) және $1,48 \text{ т/м}^3$ (4,2 м тереңдікте) құрайды. Жер бетіне жақын болған сайын табиғи қысым азаяды және Georig материалдың көбіктенуінен топырақ тығыздығының төмендеу ықтималдығы артады деп есептейміз. Georig енгізгеннен кейін топырақ текстурасы құрылымдалып, дисперсті кластан жартылай тасты топырақ класына ауысатыны анықталды. Құрылымдалған топырақтың беріктігі артып, оның бір осьті қысуға беріктік шегі R мәнімен сипатталады. Зерттеу нәтижелері R тереңдікке байланысты 0,9 м тереңдікте $1,94 \text{ МПа}$ -дан 4,2 м тереңдікте $4,57 \text{ МПа}$ -ға дейін өзгертінін көрсетті. Бұл деректер инъекцияның нәтижесінде жеткілікті беріктік жиналғанын көрсетеді.

4. Қазақстан аймақтарында негіздерді нығайту үшін терең ылғалды араластыру технологиясын қолдану пионерлік процесс болып табылады, сондықтан нығайтушы элементтердің физика-механикалық параметрлерін анықтау нығайтылған массивтердің нақты көтеру қабілетін сапалы бағалау үшін міндетті және қажетті. Сынақтарды жүргізу үшін биіктігі 2 метрге дейінгі топырақ-цемент ұстындар дайындалып, көлденең және тік бағыттарда үлгілер алынды. Сынақтар бір осьті қысуға арналған құрылғыларда табиғи және суда сақталған күйде жүргізілді.

5. Сынақтардың талдауы №1 қададағы беріктік шегі ылғалдылыққа байланысты екенін көрсетті, бұл механикалық сипаттамаларды бағалау кезінде оны ескерудің маңыздылығын айқындайды. №2 қададағы жоғарғы бөлікте ірі құмның араласуы байқалды, бұл ылғалдылықтың әртүрлі деңгейінде беріктік шегінің өзгермеуін түсіндіреді. Құмның көп болуы суға қаныққан кезде беріктік сипаттамаларына әсер етпейді. №3 қада бойынша деректер табиғи жер асты суларының деңгейі топырақ-цементтің беріктігіне әсер ететіндігін көрсетті.

6. ЖШС ХБК және АҚ ҚазҚСҒЗИ топырақ-цемент ұстындарды бір осьті және үш осьті қысуға арналған құрылғыларда сынау үшін 2-3 метр тереңдіктен үлгілерді іріктеп алып, тәжірибелік құрылыс алаңдарында зерттеу жүргізді. Нәтижелер 20-28%-ға беріктік анизотропиясын және суға қаныққан кезде беріктіктің 10%-ға дейін төмендегенін көрсетті.

7. 1:10 масштабындағы әртүрлі жолмен арматураланған ұстындардың модельдерінде жүргізілген зертханалық зерттеулер материалдың көтеру қабілетінің айтарлықтай артқанын көрсетті. Көтеру қабілеті арматураланбаған жағдайдағыдан 100-150%-ға жоғары болды. Дегенмен, физикалық модельдеудің кемшілігі — DSM жұмысына тән бүйірлік сығымдап қысудың болмауы. Қазіргі уақытта бүйірлік қысымды ескере отырып, ұстындарды сынау бойынша зерттеулер жалғасуда.

8. Зертханалық зерттеу нәтижелерінің сенімділігі PLAXIS 3D бағдарламалық кешеніндегі аналитикалық есептеулермен расталды. Есептеулерде физикалық модельдерде қолданылған параметрлер мен ұстын өлшемдеріне сәйкес параметрлер пайдаланылды. Есептеулердің нәтижелері топырақ-цемент ұстындарды арматуралауға барынша қатты материалдарды қолдану тиімділігін растады. DSM ұстындардың деформациясының азаюы және көтеру қабілетінің артуы туралы деректер алынды.

9. Өткізілген сынақтардың нәтижелеріне сүйене отырып, талдауға қолжетімді үлгілер санының шектеулі болуына байланысты біржақты қорытынды жасау қиын. Мұндай инженерлік-геологиялық жағдайларда топырақ-цементтің сипаттамаларын толыққанды түсіну үшін қосымша сынақтар жүргізу қажет. Бұл жан-жақты қосымша деректер алуға және материалдың сипаттамаларын дәлірек бағалауға мүмкіндік береді, және өз кезегінде тиімді шешімдер әзірлеуге және негіздерді нығайтуға ықпал етеді.

10. Геосинтетикалық материалдарды созу жүктемесі әсерінен кинематикалық режимде сынау барысында барлық материалдарда беріктіктің төмендеуі байқалды. Геокерегекөздер мен геоторлардың әртүрлі түрлері үшін бұл төмендеу 28%-дан 42%-ға дейін өзгерді. Алтыбұрышты және екі осьті геокер үшін салыстырмалы ұзару сәйкесінше 8,6%-ға және 30%-ға азайды. Бір осьті геокерегекөз үшін салыстырмалы ұзарудың артуы байқалды. Геотекстиль бойынша үзілу беріктігі 15,7%-ға төмендеді, ал салыстырмалы ұзару 26,5%-ға артты. Алынған деректер созылу жүктемесі ұзақ уақыт бойы әсер еткен кездегі материалдардың беріктігін көрсетеді.

11. Қиыршық тасты топырақпен жүргізілген зерттеулер мысалында модификацияланған ығысу құрылғысында жүргізілген сынақтар геосинтетикалық материалдармен нығайтылған топырақ жастықшаларының

механикалық қасиеттерін арттыру тиімділігі геосинтетик пен топырақ шекарасындағы қасиеттердің дәл анықталуына байланысты екенін көрсетті. Мұндай зерттеулер басқа топырақ түрлерімен жалғасуы қажет.

12. Диссертацияда ұсынылған деректер топырақты нығайту әдістерін тек статикалық жағдайларда қолданудың нәтижелерін көрсетеді. Нығайтылған негізге сейсмикалық әсердің ықпалы - нығайтылған топырақ массивтерінің жұмыс қабілеттілігіне өзгерістер әкелетін факторларды енгізуі мүмкін. Бұл факторлар біздің келесі зерттеулік жұмыстарда көрініс табуға және нақты жобалар үшін ұсыныстарда қолданылуы тиіс.