КУТИМОВ ҚИЯС САБИРОВИЧ

АЗ ДЕФОРМАЦИЯ КЕЗІНДЕГІ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС РЕОНОМДЫ ПРОЦЕССТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ (ПЕРМАНЕНТТІК ЖАД КОНЦЕПЦИЯСЫ)

6D060300 – «Механика» мамандығы бойынша философия докоторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертациясына

АҢДАТПА

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Қазіргі материалтану жүктемелердің ұзақ уақыт әсер етуі кезінде материалдардың өзгеруін жан-жақты зерделеуді талап етеді, өйткені кернеулердің жылжымалылық пен кернеудің релаксация процестері олардың ұзақ мерзімділігіне және пайдалану сипаттамаларына елеулі әсер етеді. Бұл жұмыстың өзектілігі тек асфальтбетонның ғана емес, құрылыс пен машина жасауда қолданылатын басқа да реономды материалдардың өзгерісін болжау қажеттілігіне байланысты. Бұл зерттеуде эксперименттік деректерге кешенді талдау жүргізіледі, ол өз эксперименттерінің нәтижелерін де, басқа авторлардың ғылыми жарияланымдарында ұсынылған деректерді де қамтиды. Әртүрлі зерттеушілердің эксперименттік деректерін пайдалану жылжымалылық пен кернеудің релаксация жағдайларында материалдардың өзгерісін сипаттау үшін неғұрлым нақты және негізделген модельді қалыптастыруға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер жүктемелердің ұзақ уақыт әсер ету жағдайларында пайдалану үшін оңтайландырылған неғұрлым орнықты материалдар жасау практикасында қолданылуы мүмкін, бұл ақыр соңында жол және басқа да инженерлік инфрақұрылымның сапасы мен ұзақтығын жақсартады.

Жұмыс мақсаты. Әртүрлі температуралар мен жүктеу жылдамдықтары кезінде олардың деформациялық күйін болжау үшін реономды материалдардың жылжымалылық пен релаксация процестерін сипаттайтын модель жасау.

Зерттеу міндеттері:

• Асфальтбетондағы және басқа да материалдардағы жылжымалылық пен кернеудің релаксация процесстерін сипаттауға арналған модельді әзірлеу.

• Температураның әсерін және жүктеу жылдамдығын әсерінен жылжымалылықтың әртүрлі сатыларында материалдардың деформациялық қасиеттеріне зерттеу.

• Модельдің әртүрлі материалдарға қолданылуын негіздеу үшін жеке зерттеу шеңберінде де, басқа да көздерден алынған эксперименттік деректерді салыстырмалы талдау.

Зерттеу объектісі температураның әсерін қоса алғанда, әртүрлі реономды материалдар мен олардың жылжымалылық пен кернеудің релаксация жағдайларындағы өзгерістері болып табылады.

Зерттеу пәні әртүрлі реономды материалдарда жылжымалылық пен кернеудің релаксациясының пайда болу ерекшеліктері болып табылады.

Зерттеу әдістері. Зерттеу тұтас орта механикасының жағдайларына және эксперименттік бақыланатын фактілерге негізделе отырып, деформацияланатын қатты дене механикасының дәстүрлі тәсіліне сәйкес орындалады. Сызықтық емес интегралды теңдеулер, перманенттік жады гипотезасы, сондай-ақ математикалық статистика әдістері қолданылады.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы асфальтбетон сияқты реономды материалдардағы кернеудің жылжуы мен релаксация процестерін сипаттау тәсілдерін дамытудан тұрады. Перманенттік жады гипотезасын және сызықтық емес интегралдық теңдеулерді қолдану деформацияланатын денелердің механикасы туралы қолданыстағы түсініктерді тереңдетеді және жүктемелердің ұзақ әсер ету жағдайларында материалдардың мінез-құлқын неғұрлым дәл модельдеуге мүмкіндік береді. Алынған модельдер мен қорытындылар нақты пайдалану жағдайларында материалдардың деформациялық мінез-құлқын болжау үшін пайдаланылуы мүмкін, бұл материалдар құрамын және оларды жол құрылысында және басқа салаларда қолдану шарттарын оңтайландыруға ықпал етеді. Бұл зерттеу ұзақ жүктемелерге ұшырайтын конструкциялардың төзімділігі мен сенімділігін арттыруға арналған құралдарды ұсынады, бұл орнықты және қауіпсіз инфрақұрылым құру үшін ерекше маңызды.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы перманенттік жады гипотезасын және сызықтық емес интегралдық теңдеулерді қолдануды ескере отырып, реономды материалдардағы жылжымалылық пен кернеудің релаксация процестерін сипаттайтын жаңа модельді әзірлеу және негіздеу болып табылады. Ұзақ уақыт әсер ету жағдайларында әртүрлі реономды материалдардың өзгеруіне температуралық жағдайлардың әсеріне кешенді талдау жүргізілді, бұл деформация және зақымданулардың жинақталу тетіктерін нақтылауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер мен ұсынылған тәуелділіктер материалдардың ұзақ жүктемедегі өзгерісі туралы қолданыстағы түсініктерді кеңейтеді және тұтас орта механикасы мен реологияда одан әрі зерттеулер үшін негіз бола алады.

Зерттеу тапсырмаларын қою.

Әртүрлі температуралар мен жүктеу жылдамдықтары жағдайында аз деформациялар кезінде реономды материалдардың жылжымалылығы мен кернеудің релаксация процестерін сипаттайтын модельді жасауға бағытталған зерттеу мақсатына қол жеткізу үшін мынадай міндеттер қойылды:

1. Перманентті жады гипотезасы мен сызықтық емес интегралды теңдеулерді ескере отырып, асфальтбетондағы және басқа да реономды материалдардағы жылжымалылық пен кернеудің релаксация процесстерінің сатыларын сипаттау үшін **математикалық модель әзірлеу**.

2. **Температура мен жүктеу жылдамдығын әсерін** асфальтбетонды, полимербетонды, металл қорытпаларын және басқа да материалдарды қоса алғанда, реономды материалдардың өзгермелі қасиеттеріне жылжымалылықтың әртүрлі сатыларында **зерттеу**.

3. Ұсынылған модельдің әмбебаптығын және оның материалдардың әртүрлі түрлеріне қолданылуын растау үшін өз зерттеуінің шеңберінде және басқа да авторлардың ғылыми жарияланымдарынан алынған **эксперименттік деректерді салыстырмалы талдау**.

4. Жүктеменің ұзақ әсер етуі кезінде материалдардың өзгерісін сиппатауды және болжауды жақсарту мақсатында ұқсастық критерийі, аздап ұқсастық критерийі және ұқсастықтың болмауы сияқты реономды материалдардың **кернеудің релаксация қисықтарының ұқсастығының критерийлерін айқындау**.

Үлгілерді жылжымалылыққа сынау кезінде тұрақты жүктеме кезінде жылжымалылық жылдамдығы алдымен төмендейді (бірінші саты), содан кейін белгілі бір уақыт ішінде дерлік тұрақты мәнін сақтайды (екінші саты), ақырында қайтадан арта бастайды (үшінші саты). Жылжымалылықтың үшінші сатысы қирау алдында болады.

Қазіргі уақытта кернеудің кең диапазонында қирауға дейін реономды материалдардың жылжуын сипаттайтын салыстырмалы түрде аз мөлшерде сенімді эксперименттік деректер бар. Бұл аз кернеудегі сынақтардың ондаған және жүз мыңдаған сағатқа созылуына байланысты. Сондықтан көбінесе мұндай сынақтар бұзылуға дейін жеткізілмейді (яғни ұзақ уақыт беріктігі қарастырылмайды), немесе олар жылжымалылық процесінде деформацияларды өлшеусіз бұзылуға дейін жүргізіледі. Нақты материалдың шектеулілігі мен бытыраңқылығы қирау процесін ескеруге мүмкіндік беретін жай-күйдің механикалық теңдеуі мен кинетикалық теңдеулерді тұжырымдау туралы мәселенің көп жағдайда ашық болуына әкеледі.

Жұмыста ҚазжолҒЗИ-да жүргізілген асфальтбетон үлгілерінің бұзылғанға дейін таза созылуы кезінде жылжымалылыққа арналған сынақтардың нәтижелері ұсынылған, сондай-ақ реономды материалдың бұзылғанға дейін бір осьті жылжымалылығын сипаттауға арналған модель ұсынылады.

Сонымен қатар жұмыста 1158 есе ерекшеленетін 0,000563 МПа/с-тан 0,652 МПа/с-қа дейінгі он бір жүктеу жылдамдығы кезінде асфальтбетонның деформациясы мен қирау сипаттамаларын эксперименттік анықтау нәтижелері берілді және талданды. Зерттеу үшін БНД 100/130 маркалы жабысқақ битумды қолдана отырып дайындалған, жол құрылысында дәстүрлі пайдаланылатын Б типті ыстық ұсақ түйіршікті тығыз асфальтбетон таңдалды. Сынақтар 22-24 ° С температурада тік созу схемасы бойынша арнайы ойлап табылған және құрастырылған қондырғыда орындалды. Асфальтбетонның үлгілері 5х5х15 см өлшемді тік бұрышты арқалық пішінінде болды, Тиеу басталғаннан қирау сәтіне дейін асфальтбетонның сызықтық емес деформацияланғаны анықталды. Сызықсыздық дәрежесі жүктеменің артуымен ұлғаяды. Жүктеу жылдамдығы асфальтбетонның деформациясы мен бұзылу сипаттамасына күшті әсер етеді: жүктеу жылдамдығы 0,000563 МПа/с-тан 0,652 МПа/с-қа дейін 1158 (шамамен 1200) есе ұлғайған кезде қирау уақыты, қираудың үлестік жұмысы және қираудың деформациясы тиісінше 242, 160 және 3 есе азаяды, ал беріктігі 5 есе ұлғаяды бір рет.

Асфальтбетонның қирау сипаттамасының (қирау уақыты, қирау деформациясы, қираудың үлестік жұмысы және беріктігі) жүктеу жылдамдығына тәуелділігі жоғары дәлдікпен дәрежелі функциясымен сипатталады.

Жылжымалылық туралы негізгі мәліметтер тұрақты жүктememен созылуға стандартты сынақтардың нәтижесінде алынады. Бұл сынақтардың деректері жылжымалылық қисығы деп аталатын түрінде ұсынылады. Жылжымалылықтың типтік қисығын әдетте үш бөлікке бөледі. Бірінші бөлікте (бірінші саты) деформация жылдамдығы ауыспалы болады, ол уақыт өте келе ең төменгі мәнге жетеді. Екінші бөлікте (екінші саты) жылжымалылық жылдамдығы тұрақты. Үшінші бөлікте (үшінші саты) жылжымалылық жылдамдығы үлгі үзілгенге дейін қайтадан артады. Жылжымалылық процесі көрсетілген схемаға сәйкес жүре бермейді. Қисықта бірінші не үшінші бөлік болмауы мүмкін, біріншісі бірден үшіншісіне өтуі де мүмкін.

Бірінші бөлікте деформация жылдамдығының төмендеуін Работнов материалдың нығаюымен түсіндіреді, үлгінің деформациясы жылжымалылықты қиындататын құрылымдық өзгерістермен қатар жүреді. Екінші бөлікке өту материалдың нығаю қабілетінің таусылуын білдіреді. Коста де Андрадаға сәйкес үшінші бөлікте жылжымалылықтың тез жүруі үлгінің қима ауданының өзгеруіне байланысты. Демек, тұрақты кернеу кезінде жылжымалылықтың үшінші сатысы көрінбеуі тиіс. Алайда, тұрақты номиналды кернеуде жылжымалылықтың үшінші сатысы көптеген материалдарда бар.

Жүктеменің ұзақ әрекет ету жағдайларында материалдың қирауы жарықтардың пайда болуы салдарынан болады. Жарықтардың пайда болуы үлгінің көлденең қимасының тиімді ауданын азайтады және Работновке сәйкес тиімді кернеуді арттырады. Тиімді кернеу номиналды кернеуге тең емес, сондықтан жылжымалылықтың үшінші сатысында жылжымалылықтың жылдамдығы артады. Көлденең қиманың тиімді ауданы нөлге жеткенде үлгі сынады. Микроскопиялық жарықтар бірігіп, бұзылудың макро сызатын пайда болғанда қирау болады.

Мұндай қойылымда макро жарықшақтардың қозғалысы немесе тепе-теңдігі туралы мәселе елеулі мәнге ие емес, негізгі рөлді микрожарықшақтардың жинақталу кинетикасы атқарады. Микрожарықтардың тығыздығы сыни мәнге жеткенде қираулар болады.

Қатты дененің қирауы деп оның жаңа беттердің пайда болуымен байланысты бөліктерге бөлінуі түсініледі. Осы жаңа беттердің пайда болу процесі жарықтың өсуі ретінде сипатталуы мүмкін. Бұл ретте, Работнов бойынша «жарық» термині мұнда неғұрлым жалпы мағынада қолданылады және геометрияның өзгеруіне жатады.

Жылжымалықтың сызбалық қисықтар мен изохронды қисықтарды пайдалана отырып, Ю.Н. Работновтың жылжымалық изохронды қисықтар әдісі көрнекі түсіндірілді. Ю.Н. Работнов ұсынған мұралы материалдарды

сызықтық емес деформациялау процесін математикалық сипаттау үшін сызықтық емес интегралдық теңдеу келтірілген.

Ю.Н. Работновтың сызықтық емес интегралдық теңдеуінен Работновтың бөлшек-экспоненциалдық ядросы мен Абель ядросын пайдалану жағдайлары үшін жылжымалылықтың мұралы материалдардың сызықтық емес деформациясының тиісті теңдеулері алынды.

2000°C, 2200°C, 2400°C температурада полимербетонды, EDT-106 шайырды, СВМ арамидті талшығын, графитті және асфальтбетонды өңдеу және сынау нәтижелерін пайдалану жолымен есептеулер жүргізілді және ұсынылған әдістеме бойынша изахрондық қисықтар алу нәтижелері көрсетілді. Ұсынылған әдістеменің дәлдігі жоғары.

Іс жүзінде барлық табиғи және жасанды материалдар тұтқыр серпімді болып табылады: жүктеме әсерінен уақыт ішінде деформацияланады. Және көптеген материалдардың сыртқы әсерлерге реакциясы жүктеу тарихына байланысты, яғни бұл материалдар мұрагерлік болып табылады. Мұралық материалдарының маңызды сипаттамалары болып жылжымалылық пен кернеудің релаксация процесстері табылады.

Реономды материалдардың кернеу релаксация қисықтарының ұқсастығының критерийі сипатталған. Сипатталған әдіс бойынша кернеу релаксация процестері математикалық үлгіленген. Сондай-ақ реономды материалдардың дерлік ұқсастығы мен кернеу релаксация қисықтарының ұқсамау критерийлері сипатталған.

Жоғарыда сипатталған алгоритмдер мен әдістер бойынша тұз кристалдары мен алюминий ұнтағы бар полиуретанды матрица, зымыран қозғалтқыштарының қатты отыны, полиоксиметилен, ТС 8/6-250 шыны пластиктері, 30ХМА хромомолибденді болат, дюралюмин және мыс сияқты материалдардың эксперименттік деректері өңделген және есептелген.

Реономды материалдардағы жылжымалылығы мен кернеудің релаксация процестеріне жүргізілген зерттеулер нәтижесінде әртүрлі температуралар мен жүктемелердің ұзақ әсер ету жағдайларында деформация мен зақымданулардың жинақталу тетігін түсінуді кеңейтетін маңызды қорытындылар алынды.

1. **Модельді әзірлеу:** Жұмыс шеңберінде сызықтық емес интегралдық теңдеулер мен перманенттік жады гипотезасына негізделген жылжымалылық және релаксация процестерін сипаттау үшін математикалық модель ұсынылды. Модель реономды материалдарда мұралық әсері мен зақымданулардың жинақталуын ескереді, бұл материалдардың жылжымалылығының әртүрлі сатыларындағы өзгерісін сипаттауға мүмкіндік береді.

2. **Релаксация қисықтарының ұқсастығының критерийлері:** Жұмыста реономды материалдардың релаксация қисықтарының ұқсастығының критерийлеріне үш түрлі тәсіл қарастырылған:

- **Релаксация қисықтарының ұқсас критерийі** - әртүрлі материалдардың релаксация қисықтары іс жүзінде сәйкес келетін жағдайлар.

- **Реономды материалдардың релаксация қисығының аздап ұқсас критерийі** - материалдардың қисық релаксациялары ұқсас, бірақ шамалы ауытқулары бар жағдайлар.
- **Реономды материалдардың қисық релаксациялары ұқсас емес** - релаксация қисықтары айтарлықтай ерекшеленетін жағдайлар.

Критерийлердің әрқайсысы үшін асфальтбетон, полимер материалдар және металл қорытпалары сияқты әртүрлі материалдардан жасалған мысалдар қаралды. Осы критерийлерді талдау әртүрлі жүктемелер жағдайында материалдардың өзгеруін неғұрлым дәл болжауға мүмкіндік береді, бұл практикалық қолдану үшін маңызды.

3. **Эксперименттік нәтижелер:** Әртүрлі температура кезінде асфальтбетон үлгілерінде жүргізілген эксперименттік зерттеулер деформация жылдамдығына және зақымданулардың жинақталуына сыртқы факторлардың әсерін растады. Алынған эксперименттік деректер ұсынылған модельді нақтылау үшін пайдаланылды, бұл оның дәлдігін және басқа реономды материалдарға қолданылуын жақсартуға мүмкіндік берді.

4. **Ғылыми және практикалық маңыздылығы:** Зерттеу жоғары теориялық және практикалық маңыздылыққа ие. Әзірленген модель мен эксперименттік тәуелділіктер әртүрлі материалдардың төзімділігі мен орнықтылығын болжау үшін пайдаланылуы мүмкін, бұл әсіресе жол құрылысында, машина жасауда және материалдар ұзақ жүктемелерге және қоршаған ортаның өзгермелі жағдайларына ұшырайтын басқа да инженерлік салаларда ерекше маңызды.

5. **Одан арғы зерттеулердің перспективалары:** Болашақта ылғалдылық, циклдық жүктемелер және климаттық жағдайлар сияқты қосымша параметрлерді ескере отырып, модельді кеңейтуге болады. Сондай-ақ пайдалану шарттарының кең диапазонында қолданылатын жалпыланған үлгіні жасау үшін реономды материалдардың басқа түрлерін зерттеу перспективалы бар.

Осылайша, осы жұмыстың нәтижелері жылжымалылық және релаксация теориясының дамуына үлес қосады, сондай-ақ ұзақ мерзімді материалдар мен конструкцияларды жобалау және пайдалану кезінде үлгілерді практикалық пайдалану үшін әдіснаманы ұсынады.