

BETONNING OHAKTOSH AGREGATLARI ASOSIDAGI KONTAKT ZONASI (ITZ) SIFATINI YAXSHILASH VA DEFORMATIV BARQARORLIGINI OSHIRISH

Ilmiy rahbar: dots. **Xasanov Sobir Sodiqovich**

Magistrant: **Qambarov Samandar Sodiq o'g'li**

Annotatsiya

Betonda interfeys o'tish zonasi (ITZ) – yirik agregat va sement toshi orasidagi yupqa ($\approx 50\text{--}100$ mkm) qatlam bo'lib, yuqori g'ovaklik, yo'nalgan Ca(OH)_2 kristallari va kamroq C–S–H fazasi tufayli butun tizimdagi eng zaif oblast hisoblanadi. ITZning zaifligi betonning siqilish va egilish mustahkamligi, sinish qattiqligi, suv singdiruvchanligi va karbonatlanish tezligini keskin yomonlashtiradi.

Ohaktosh agregatlari keng tarqalgan, iqtisodiy va ekologik jihatdan maqbul bo'lsa-da, ularning yuzasida CaCO_3 va noaniq pürüzlik tufayli ITZ mikrostrukturasi va deformativ xatti-harakatiga ta'sir murakkabdir. Shu bois ohaktosh asosidagi betonda ITZni zichlashtirish va deformativ barqarorlikni oshirish yuqori samarali, uzoq xizmat qiluvchi konstruksiyalar uchun dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi.

Kalit so'zlar: betonning kontakt zonasi, interfeys o'tish zonasi (ITZ), ohaktosh agregatlari, ITZ mikrostrukturasi, porozlik, deformativ barqarorlik, mineral va nano qo'shimchalar, agregat yuzasini modifikatsiya qilish.

ITZning mikrostrukturaviy xususiyatlari va betonga ta'siri

Ko'plab ishlar ITZni betonning “zaif bo'g'ini” sifatida ko'rsatadi: bu zonada g'ovaklik, mikro yoriqlar va kamroq gidratatsiya mahsulotlari tufayli elastiklik moduli va qattqlik kamaygan. ITZning xossalari:

- g'ovaklik va kaltsiy gidroksid miqdori oshishi;
- C–S–H va ettringit taqsimotining notekisligi;

- mikroximik tarkibdagi gradient (masalan, Ca/Si nisbatining o'zgarishi) bilan ifodalanad.

Tadqiqotlar ko'rsatadiki, ITZ zichlashganda va mikroqattqlik oshganda, hatto intrinsik mustahkamligi pastroq bo'lgan alternativ agregatlar bilan ham 28 sutkalik siqilish mustahkamligi tabiiy agregatli betonga tenglashtirilishi mumkin.

ITZni yaxshilash strategiyalari (ohaktosh agregatlariga transfer)

1. Mineral qo'shimchalar va pozzolanik modifikatsiya

Metakaolin, uchuvchi kul, granulalangan domna shlaklari sement matritsa va ITZni zichlashtirish, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ni kamaytirish va C–S–H miqdorini oshirish orqali ITZ xossalarini yaxshilaydi. Masalan:

- 10 % metakaolin 28 sutkada siqilish mustahkamligini 24,6 % ga oshiradi, xlorid diffuziyasini 81,9 % ga kamaytiradi;
- GGBFS ITZdagi bo'shliq va yoriqlarni C–S–H va ettringit bilan to'ldirib, eski ITZ mikrostrukturasi kompaktligini oshiradi.

Bu yondashuv ohaktosh agregatli beton uchun ham dolzarb: ohaktosh yuzasidagi CaCO_3 fazasi pozzolanik mahsulotlar kristallanishi uchun yadro (nukleatsiya) markazi bo'lib xizmat qilishi mumkin.

2. Nano- va uglerod asosli nanomateriallar bilan ITZni nishonli mustahkamlash

Grafen oksid (GO) yoki grafen nanoplastinkalari (GNP) sement matritsaga oddiy aralashganda asosan bulk pastada qoladi; yangi ishlanma – ularni agregat yuzasiga qoplanib, ITZni bevosita modifikatsiya qilishdir.

- GO-modifikatsiya qilingan qobiq bilan qoplangan yirik agregatlar qo'llanganda:
 - siqilish mustahkamligi 38,6 % ga oshgan;
 - boshlang'ich suv singdiruvchanlik 57,3 % ga kamaygan;
 - muz-erish sikllariga chidamlilik 36–97 % ga oshgan.

- GNP bilan pre-qoplangan agregatlar ITZda C–S–H hosil bo‘lishini rag‘batlantiradi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miqdorini kamaytiradi, ITZ qalinligini qisqartiradi va shu orqali betonning mexanik xossalarini sezilarli oshiradi.

Bu yondashuv ohaktosh agregatlari uchun ayniqsa istiqbolli: CaCO_3 yuzasi bilan nanokarbon o‘zaro ta’siri, qo‘shimcha mikroyopishish va yadro effektlari orqali ITZda yanada zich C–S–H tarmog‘i hosil bo‘lishiga olib kelishi mumkin.

3. Surtma va qoplama texnologiyalari (slag yoki sementli qoplamalar)

Yirik agregatlarni shlak yoki GGBFS bilan boyitilgan sement shlamida qoplay turib, keyin beton tayyorlash ITZ porozligini maqsadli ravishda kamaytirishi mumkin. Slak-modifikatsiyalangan sement pastasi bilan qoplangan agregatlar yordamida yuqori uchuvchi kul miqdorli betonlarda ITZ porozligini 23,6 % gacha tushirish va siqilish mustahkamligini oshirish mumkinligi ko‘rsatilgan.

Bu printsipl ohaktosh agregatlari uchun moslashtirilsa, CaCO_3 yuzasida slag-kelib chiqishi C–S–H va karbonatlangan fazalarning birgalikda hosil bo‘lishi ITZni sezilarli darajada zichlashtirishi kutiladi.

4. Agregatning mineralogiyasi va yuzasi orqali ITZni boshqarish

Karbonatlanib boyitilgan po‘lat shlak agregatlari misolida ITZning sifatini mineralogiyani o‘zgartirish orqali yaxshilash mumkinligi isbotlangan:

- ITZda porozlik 56 %, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 80 % gacha kamayadi;
- Vickers mikroqattiqligi maksimal bo‘ladi;
- natijada betonning yakuniy siqilish mustahkamligi tabiiy agregatli betonga tenglashadi.

Bu natijalar ohaktosh agregatlarida sun’iy karbonatlash, yuzani CaCO_3 fazasi bilan boyitish, yoki kaltsiy fosfat qatlamlari hosil qilish kabi ishlov berishlarning ITZni mustahkamlashdagi samaradorligini taxmin qilish imkonini beradi.

5. Kimyoviy va fizik oldindan ishlov berish

Recycled agregatlar bo'yicha olib borilgan ishlar shuni ko'rsatadiki, Na_2SiO_3 eritmaları yoki sement–silika tutuni shamlarida ho'llash ITZ porozligi va gidratlanmagan zarrachalar miqdorini 35–50 % gacha kamaytiradi, ITZ kengligini $\approx 40\text{--}50\%$ ga qisqartiradi. Bu yondashuv ohaktosh agregatlariga ham ko'chirilishi, yuzada silikatli qatlam hosil qilish orqali ITZni zichlashtirishi mumkin.

Ca-fosfat bilan modifikatsiyalangan qayta ishlangan agregatlar uchun ITZdagi bog'lanish mustahkamligi 30 % dan ortiq oshgan, yoriq kengligi esa 79 % ga kamaygan. Bu – ohaktosh (kaltsit) yuzalariga mos keladigan ionli modifikatsiya konsepsiyasi ITZni sezilarli darajada yaxshilashi mumkinligini ko'rsatadi.

ITZ sifati va deformativ barqarorlik o'rtasidagi bog'liqlik

Betonning deformativ barqarorligi (siqilishdagi plastiklik, yoriqlanishgacha bo'lgan deformatsiya, avtokimyoviy/avtogenez deformatsiyalar) mikrostrukturaviy gradientlar va ITZdagi kuchlanish konsentratsiyasi bilan chambarchas bog'liqdir.

- Yengil agregatli betonlarda (LWAC) ichki namlash effekti va agregat-pasta mexanik qulflash orqali ITZ ko'pincha normal og'ir betonnikiga nisbatan zichroq bo'lishi va shu bilan sinish qattiqligi yaxshilanishi mumkin.
- Oldindan namlangan yengil agregatlar erta yoshdagi qisqarishni kamaytiradi, deformatsiya tarqalishini bir xilda qiladi va yoriq xavfini pasaytiradi.
- Saturatsiyalangan agregatlar bilan ishlash ITZ zichligiga ta'sir qilib, siqilish va egilish mustahkamligi bilan bir qatorda karbonatlanish chuqurligini ham boshqaradi.

An'anaviy NACda esa ITZdagi mikro yoriqlar va porozlik sinish paytida yoriq yo'liga aylanib, betonning mo'rt buzilishiga olib keladi. ITZ zichlashganda yoriqlar bulk matritsa va agregat ichiga ko'proq kirib boradi, bu esa yutilgan energiya va deformatsiya qobiliyatini oshiradi.

Maxsus agregatlar orqali plastiklikni oshirish

Tolali sferik agregatlar bilan tayyorlangan betonlarda nuqta kontaktdan moslashuvchan sirt kontakti tomon o'tish natijasida siqilishdagi plastika deformatsiyasi keskin oshgan, cho'qqi stress yaqinida deformatsiya barqarorroq bo'lgan va namunalar sinishdan so'ng ham yaxlitligini saqlagan. Bu, ITZ va agregat shakli orqali kontakt sharoitini boshqarish deformativ barqarorlikni sezilarli oshirishi mumkinligini ko'rsatadi.

Ohaktosh agregatli beton uchun ilmiy asoslangan konseptual yechim

Yuqoridagi ilmiy natijalarga tayanib, ohaktosh agregatlari asosida ITZni yaxshilash va deformativ barqarorlikni oshirish bo'yicha quyidagi integrallashgan konsepsiya asosli:

1. ITZni maqsadli modifikatsiya qilish
 - Ohaktosh agregatlarini slag- yoki metakaolinli sement shlami bilan qoplash;
 - GO yoki GNP bilan boyitilgan sement shlami bilan pre-qoplash orqali ITZda nanoyadro va to'ldiruvchi effektlar hosil qilish.
2. Mineralogik va kimyoviy muvofiqlikni oshirish
 - Ohaktosh yuzasini nazoratli karbonatlash yoki Ca-fosfatli qatlam bilan modifikatsiya qilib, sement pastasi bilan kimyoviy bog'lanishni kuchaytirish.
3. Ichki namlash va deformatsiya gradientlarini boshqarish
 - Ohaktosh bilan birga ma'lum ulushda yengil, suv shimuvchi agregatlarni qo'shib, ichki namlash orqali erta yoshdagi qisqarishni kamaytirish va ITZdagi namlik gradientlarini yumshatish.
4. Agregat shakli va sirt teksturasini optimallashtirish
 - Ezilishi va shag'al fraksiyasini shunday tanlashki, ITZdagi "wall efekt" kamayib, mexanik qulflash kuchaysa;
 - Zarur bo'lgan hollarda tolali sferik yoki sirtida mikrorelyefga ega agregatlarni qisman qo'llab, siqilishdagi plastiklikni oshirish.

Bu kompleks yondashuv natijasida ohaktosh agregatli betonlarda:

- ITZ porozligi va $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miqdori kamayishi;
- C–S–H tarmog‘i zichlashishi;
- mikroqattqlik va bog‘lanish mustahkamligi ortishi;
- siqilish va egilish mustahkamligi, shuningdek, yoriqlanishgacha bo‘lgan deformatsiya va siklik yuklarda shakldan chiqmaslik barqarorligi oshishi kutiladi

Xulosa

Mavzuning ilmiy salohiyati shundaki, ohaktosh agregatlari keng tarqalgan va arzon bo‘lsa-da, ITZni maqsadli modifikatsiya qilish orqali ularga asoslangan betonlardan yuqori mustahkam, deformativ barqaror va uzoq xizmat qiluvchi kompozitlar yaratish mumkin. Bundan keyingi tadqiqotlar uchun eksperimental dastur ITZ mikrostrukturasi (BSE, SEM/EDS, mikroqattqlik), makroskopik mexanik sinovlar (σ – ε egri chiziqlari, siklik yuklash) va servis xossalarini (karbonatlanish, suv singdirish) uzviy bog‘lashga qaratilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Karimov A.A. Beton va temirbeton konstruksiyalarda kontakt zona xususiyatlari. – Toshkent: ..., 2019.
2. Xudoyberdiyev B.B. Qurilish materiallari texnologiyasi. – Toshkent: ..., 2021.
3. Chen Q., Zhang J., Wang Z., Zhao T., Wang Z. A review of the interfacial transition zones in concrete: Identification, physical characteristics, and mechanical properties // Engineering Fracture Mechanics. 2024.
4. Zhou J., Dong Y., Qiu T. va boshq. The microstructure and modification of the interfacial transition zone in lightweight aggregate concrete: A review // Buildings. 2025.
5. Xu Z., Bai Z., Wu J. va boshq. Microstructural characteristics and nano-modification of interfacial transition zone in concrete: A review // Nanotechnology Reviews. 2022.
6. Wang X., Dong S., Li Z. va boshq. Nanomechanical characteristics of interfacial transition zone in nano-engineered concrete // Engineering. 2021.

7. Zhao H., Wu Z., Liu A., Zhang L. Numerical insights into the effect of ITZ and aggregate strength on concrete properties // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2022.
8. Chung S.-Y., Kim J.-S. Investigation of gradient properties for cement mortar interfacial transition zones and their effects on mechanical characteristics using micro-CT // Developments in the Built Environment. 2024.
9. Gîrboveanu A., Jebli M., Jamin F. va boshq. Experimental study of the chemo-mechanical properties of the interfacial transition zone of concrete // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2021.
10. Hussin A., Poole C. Petrography evidence of the interfacial transition zone (ITZ) in the normal strength concrete containing granitic and limestone aggregates // Construction and Building Materials. 2011.