تکنولوژی بتن

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

دانشکده فنی و مهندسی

کارشناسی مهندسی عمران

خرابی بتن

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

انواع خرابیهای بتن

- شیمیایی:
  ۱) تهاجم سولفات
  ۲) تهاجم کلراید
  ۳) کربناتاسیون
  ۴) واکنش قلیایی سنگدانه ها
- فیزیکی:
  ۱) یخ زدن و آب شدن
- مکانیکی:
  ۱) سایش
  ۲) فرسایش
  ۳) خلأزایی

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

تهاجم سولفات

$$C_3S + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \quad (1)$$

$$C_2S + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \quad (2)$$

$$Ca(OH)_2 + SO_4^{--} \rightarrow CaSO_4 \quad (1)$$

$$C_3A + CaSO_4 + H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O \quad (2)$$

تهاجم سولفات

- این محصول را اترینگایت یا میکرب سیمان می نامند.
- ویژگی اترینگایت: افزایش حجم زیاد (حتی تا ۱۵برابر حجم اولیه)
- نتیجه: افزایش حجم تدریجی و نهایتاً خرد شدن بتن
- سولفات اساساً بر روی بتن تأثیر منفی دارد.
- گچی که به سیمان اضافه می کنیم موجب می شود که کمی اترینگایت تشکیل شود، ولی میزان آن کنترل شده است.
- اترینگایت ناشی از گچ پراکنده است ولی اترینگایت ناشی از سولفاته شدن گسترده در تمام سطح است.

روشهای تشخیص خرابی سولفاتی

1) سفیدک (ناشی از تشکیل آهک) (غیردقیق و احتمالاتی) (مشکل آن است که انواع سفیدکها، ازجمله کلروری داریم.)
2) تشخیص اترینگایت از طریق میکروسکوپ الکترونی (SEM) (بلورهای آن سوزنی شکل است)
3) مشاهدهٔ ترک ظاهری (پس از ۱۵-۵ سال)
4) آزمایش شیمیایی سطح بتن

روشهای پیشگیری از تبعات منفی تهاجم سولفات

1) کنترل مصالح بتن (سنگدانه، آب،...) از نظر میزان سولفات
2) استفاده از بتن با کیفیت بالا (w/c پایین، تراکم زیاد)؛ تأخیر و کندی خرابی

- عمل آوری کافی و مناسب (کامل شدن فعل و انفعالات، پر شدن فضای خالی، تشکیل شدن ژل به میزان کافی)
- مصرف سیمان نوع۵ (مشروط به عدم حضور کلراید)
- مصرف سیمان نوع دو (تهاجم کم سولفات، یا تهاجم توأم سولفات و کلراید)
- مصرف پوزولانهای طبیعی و مصنوعی
- کاهش مصرف سیمان

آزمایشهای خرابی سولفات

1) آزمایش درازمدت
2) آزمایشهای کوتاه مدت: محلول ۴درصد سولفات سدیم

موارد کنترلی در آزمایشها:

الف) مقاومت

ب) انبساط نمونه

پ) وضع ظاهری و بررسی ترکها

ت) تعیین میزان سولفات در عمق نمونه

ث) میکروسکوپ الکترونی

تهاجم کلراید

$$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$$ (آند)

$$4e^{-} + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4(OH^{-})$$ (کاتد)

$$Fe^{++} + 2(OH^{-}) \rightarrow Fe(OH)_2$$

$$Fe(OH)_2 \xrightarrow{O_2+H_2O} Fe_2O_3 \rightarrow Fe(OH)_3, Fe_3O_4$$

- تشکیل پیل الکتروشیمیایی
- یون کلراید cl^{-} ، همچنین امر را با شدت بسیار زیاد انجام می دهد و موجب تشدید خوردگی می شود.

SHAHID RAJAIE Port

Damage to Berthing Face

KISH ISLAND

Damage to Pier Beam/Foundation Pile

BANDAR ABBAS

Damage to Pier Beam/Foundation Pile

BANDAR ABBAS

Shahid Rajaee Port

Damage to Rail Foundation

Jetty in QESHM Island

SHAHID RAJAIE Port

Damage to Berthing Face

SHAHID BAHONAR Port

Damage to Berthing Face

نمونه هایی از خرابی سازه‌های بتنی در سواحل خلیج فارس (بندر بوشهر)

نمونه هایی از خرابی سازه‌های بتنی در سواحل خلیج فارس (بندر بوشهر)

نمونه هایی از خرابی سازه‌های بتنی در سواحل خلیج فارس (بندر بوشهر)

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

نمونه هایی از خرابی سازه‌های بتنی در سواحل خلیج فارس (بندر بوشهر)

نمونه هایی از خرابی سازه‌های بتنی در سواحل خلیج فارس (بندر بوشهر)

تهاجم کلراید

- موجب خوردگی موضعی و چال افتادگی می شود.
- افزایش حجم آرماتور به علت زنگ زدگی؛ در نتیجه ترک خوردن بتن
- مهمترین نوع خرابی است.
- فقط در بتن مسلح است.
- موجب از بین رفتن محیط قلیایی و پاسیویتهٔ بتن می شود.
(همین امر در تهاجم اسیدها و کربناتاسیون نیز اتفاق می افتد)
- در بتن پیش تنیده چون فولاد تحت تنش است خوردگی هم شدیدتر است و هم خطرناکتر.
- C_3A در اینجا عامل مثبت است زیرا موجب تشکیل نمک فریدل می شود.
- منشأ کلراید: کلراید همراه مصالح، آب دریا، مواد یخ زدا، سوختن پی وی سی

روش تشخیص خرابی کلرایدی

1) بازدید ظاهری (ایجاد ترک، علائم و لکه های زنگ،...)
2) آزمایش شیمیایی، تعیین مقدار یون کلراید در سطح و در اعماق بتن
3) استفاده از دستگاه نیم پیل
4) استفاده از دستگاه گالواپالس

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

روشهای پیشگیری از تبعات منفی یون کلراید

1) کنترل مقدار یون کلراید در سطح بتن
2) عدم مصرف کلرورکلسیم (به عنوان زودگیرکننده) در بتن آرمه
3) بتن با کیفیت مناسب: W/C پایین، نفوذپذیری کم و تراکم زیاد، عمل آوری مناسب
4) شستشوی مصالح از املاح
5) استفاده از آب شیرین
6) پوشش کافی بتن روی آرماتور
7) استفاده از پوزولان
8) عدم استفاده از سیمان نوع پنج
9) استفاده از آرماتور با پوشش اپوکسی
10) استفاده از فولاد زنگ نزن
11) حفاظت کاتدیک (مکانیزم: برقراری جریانی برخلاف جریان پیل خوردگی)

- یکی از مکانیزمهای حفاظت کاتدیک: برقراری جریانی برخلاف جریان پیل خوردگی (ولتاژ ضعیف در حدود ۶-۵ ولت)
- در حفاظت کاتدیک، یک آند قربانی ایجاد می کنیم که آرماتور سالم بماند.

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

کربناتاسیون

CO_2 در جو وجود دارد.

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

- قلیاییت بتن کم می شود، لذا پاسیویته کم می شود، لذا زمینه برای خرابیهای دیگر (زنگ زدن، تهاجم کلراید) فراهم می شود.
- شدیدترین حالت واکنش، در رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰درصد است.

روش تشخیص کربناتاسیون

1) فنل فتالئین (محیط کربناته شده بیرنگ، وگرنه ارغوانی)
- از محلول فنل فتالئین (۲درصد، حل شده در الکل اتیلیک استفاده می کنیم).

روشهای پیشگیری از تبعات منفی کربناتاسیون

1) استفاده از بتن با کیفیت بالا (w/c، تراکم، عمل آوری)
2) پوشش مناسب
3) عدم استفاده از بخاریهای احتراقی در محیطهای بسته
4) استفاده از پوزولان

واکنش قلیایی سنگدانه ها

$$Na_2O + SiO_2 \xrightarrow{H_2O} SiO_3Na_2$$

$$K_2O + SiO_2 \xrightarrow{H_2O} SiO_3k_2$$

- دو محصول اخیر، ژل منبسط شونده هستند و با افزایش میزان آنها بتن دچار ترک خوردگی می شود.
- این واکنش را سرطان بتن می گویند.
- در فرمول فوق، سیلیس باید فعال یا آمورف باشد.

واکنش قلیایی سنگدانه ها

- به جای سیلیس، کربنات فعال نیز می تواند باشد.
- AAR= واکنش قلیایی سنگدانه ها
  1) ASR= واکنش قلیایی سنگدانه های سیلیسی
  2) ACR= واکنش قلیایی سنگدانه های کربناتی

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

شناسایی واکنش قلیایی سنگدانه ها

1) ترک های پوست سوسماری یا نقشه ای یا موزاییکی
2) مشاهده در زیر میکروسکوپ یا نور پلاریزه

(هاله ای از واکنشهای جدید، بیشتر به رنگ سفید، در اطراف سنگدانه ها)

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

آزمایشهای پیشگیرانه

1) آزمایش پتروگرافی سنگدانه ها
- نیاز به تخصص بالا دارد.

2) آزمایش تسریع شده ASTM C289 (بر روی سنگدانه)
- دوسه روزه است.
- سنگدانه مستقیماً در سود قرار می گیرد.
- انبساط نمونه را اندازه می گیرند.

3) نمونهٔ منشوری ملات ASTM C227
- دو هفته ای است.
- اندازه گیری انبساط (بیش از ۱/۰ درصد غیرمجاز)

4) نمونهٔ منشوری بتن
- یک ماهه، سه ماهه، شش ماهه است.

روشهای مقابله با تبعات منفی واکنش قلیایی سنگدانه ها

1) آزمایش سنگدانه ها، نمونه های ملات و بتن ساخته شده قبل از ساخت بتن.
2) استفاده از سیمان با قلیاییت کم
- قلیاییت معادل سیمان $(Na_2O + 0.658K_2O)$ کمتر از ۰/۶ درصد وزن سیمان
3) خشک نگهداشتن بتن
4) مصرف سیمانهای پوزولانی (خاکستر بادی، سرباره، میکروسیلیس)

سایش (abrasion)

- در بتن های در معرض رفت و آمد و عبور و مرور (کارخانه ها، کفهای بتنی، پیاده روها، روسازی های بتنی)

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

روشهای پیشگیری از تبعات منفی سایش

1) w/c پایین
2) عمل آوری مناسب و خوب بویژه در روزهای اول (حداقل ۷ روز)
3) مقاومت زیاد ($> 420 \, kg/cm^2$)
4) جلوگیری از آب انداختگی (bleeding)
   - پرداخت صحیح لازم است.
   - پاشیدن سیمان باری صاف کردن سطح، مناسب نیست، بلکه روش صحیح این کار استفاده از بتن پرعیار برای بتن خارجی و پاشیدن سنگدانه های ریز است.
5) استفاده از سنگدانه های سخت
   - عدد لُس آنجلس کمتر از ۴۰ درصد
6) استفاده از میکروسیلیس و سایر پوزولانها

فرسایش (erosion)

- سایش در کانالها و سازه های آبی، بر اثر جریان آب توأم با مواد جامد.
- مشابه پدیدهٔ سایش است.
- به مدلها و دستگاههای دقیقتری برای آزمایش پدیده نیاز است ازجمله سایش همراه با جریان آب، ماسه پاشی، و نظایر آن
- روشهای مقابله نظیر سایش است.

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

خلأزایی (cavitation)

- در سازه های هیدرولیکی پیش می آید.
- بر اثر سرعت و تغییر سرعت، و سرعت زیاد بیش از ۴۰m/s، حبابهایی به وجود می آید.
- فشار کم می شود، خلأ ایجاد می شود، حباب ایجاد می شود.
- بر اثر از بین رفتن و شکسته شدن حبابها، بتن قلوه کن می شود.
- در سرریز سدها بسیار اتفاق می افتد.

روشهای پیشگیری از تبعات منفی خلأزایی

1) استفاده از بتن با مقاومت بالا
2) w/c پایین
3) ایجاد پیوستگی (bonding) بیشتر بین خمیر و سنگدانه
4) استفاده از میکروسیلیس
5) استفاده از بتن های پلیمری
6) استفاده از بتن با الیاف فولادی و پلیمری
7) عمل آوری خوب
8) ایجاد سطح صاف و صیقلی (زیرا سطح ناصاف و ناهموار موجب ایجاد تغییرات فشار و سرعت می شود)؛ (بتن پلیمری در این زمینه مناسب عمل می کند)؛ (در تعمیرات، می باید به این امر توجه بسیار جدی بشود وگرنه مشکل بیشتر می شود).

یخ زدن و آب شدن (freez-thaw)

- مکانیسم: افزایش تدریجی منافذ، و لذا کاهش مقاومت و دوام.

روشهای پیشگیری از تبعات منفی یخ زدن و آب شدن

1) رعایت ضوابط بتن ریزی در هوای سرد.
2) کاهش نفوذپذیری و کاهش منافذ (نتیجه: کاهش لوله های مویینه)
3) عمل آوری و مواظبت و مراقبت مناسب، بویژه در سنین اولیهٔ بتن
4) کاهش w/c
5) مصرف مواد حباب هوازا

- نقش آنها، کنترل انبساطهای ناشی از یخ زدن و آب شدن است.

آزمایش یخ زدن و آب شدن

- ساخت نمونه، سپس اندازه گیری موارد زیر:

1) کاهش وزن
2) میزان انبساط
3) کاهش مدول الاستیسیتهٔ دینامیکی
4) مقاومت فشاری
5) مدول گسیختگی (مقاومت کششی حاصل از آزمایش خمشی)

- ازجمله پارامترهایی که در این آزمایشها تعیین می کنند، ضریب دوام (F) است.