

การหลุดตัวของคอนกรีตชั้นทาง (Settlement)

การหลุดตัวจากการบดอัดที่ไม่เพียงพอ



การบดอัดให้เพียงพอ 90-95% CBR



การเกิดหลุมยุบ



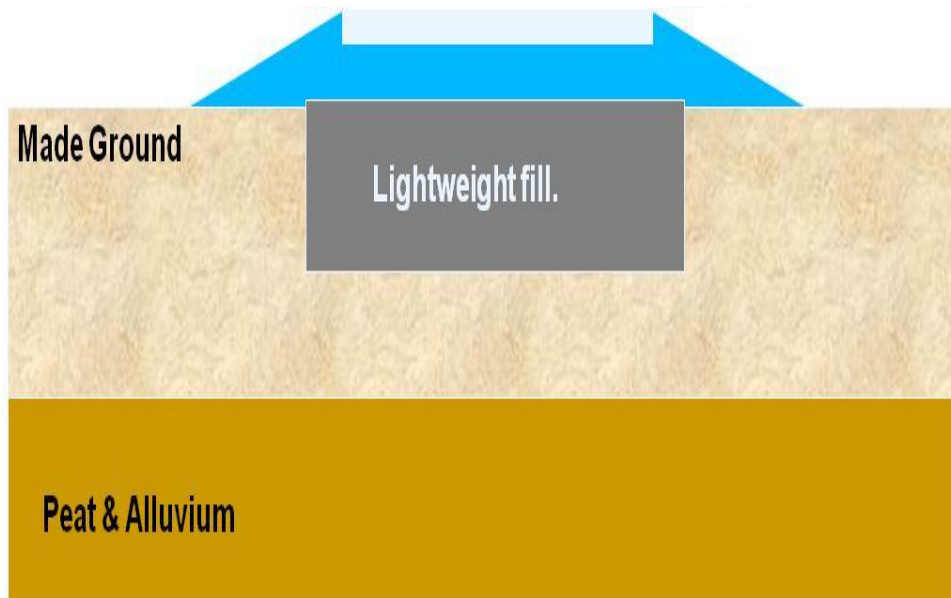
คู่มือการสำรวจโครงข่ายไฟฟ้าจราจรโดยใช้สายตา, ประเสริฐบุญรักษา ปรมิก จิตต์อารีกุล

ชัยรัตน์ ศุภชวโรจน์, กรมทางหลวง

Internal Use Only – Do Not Distribute

การป้องกันการเกิดหลุมยุบ

- ใช้วัสดุประเภท Control Low Strength Materials ทดแทนดิน เช่น มอร์ต้าร์ดิน ถม โฟมคอนกรีต เป็นต้น เพื่อให้สามารถต้านทานการกัดเซาะของน้ำใต้ดิน และการเคลื่อนตัวของดินใต้ผิวทางได้ดี โดยเลือกวัสดุที่มีค่าการบดอัดแน่นได้ใกล้เคียงกับดินบดอัด 95% CBR



การป้องกันการเกิดหลุมยุบ



การกัดกร่อนโครงสร้างคอนกรีตจากเกลือคลอไรด์ (Chloride attack)

การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งคลอไรด์และซัลเฟต



สะพานข้ามคลองบางหญ้า เขตบางขุนเทียน

การกีดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งคลอไรด์และซัลเฟต



การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งคลอไรด์และซัลเฟต



สะพานเปรมประชา

การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งคลอไรด์และซัลเฟต



สะพานปลา หัวหิน

การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งคลอไรด์และซัลเฟต



การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งคลอไรด์และซัลเฟต



โรงพยาบาลสมุย จ.สุราษฎร์ธานี

การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งคลอไรด์และซัลเฟต



โรงพยาบาลสมุย จ.สุราษฎร์ธานี

การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งคลอไรด์และซัลเฟต



โรงพยาบาลสมุย จ.สุราษฎร์ธานี

การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีคลอไรด์ปนเปื้อนในส่วนผสม



อายุโครงสร้าง 4 ปี



การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีคลอไรด์ปนเปื้อนในส่วนผสม



การกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีคลอไรด์ปนเปื้อนในส่วนผสม

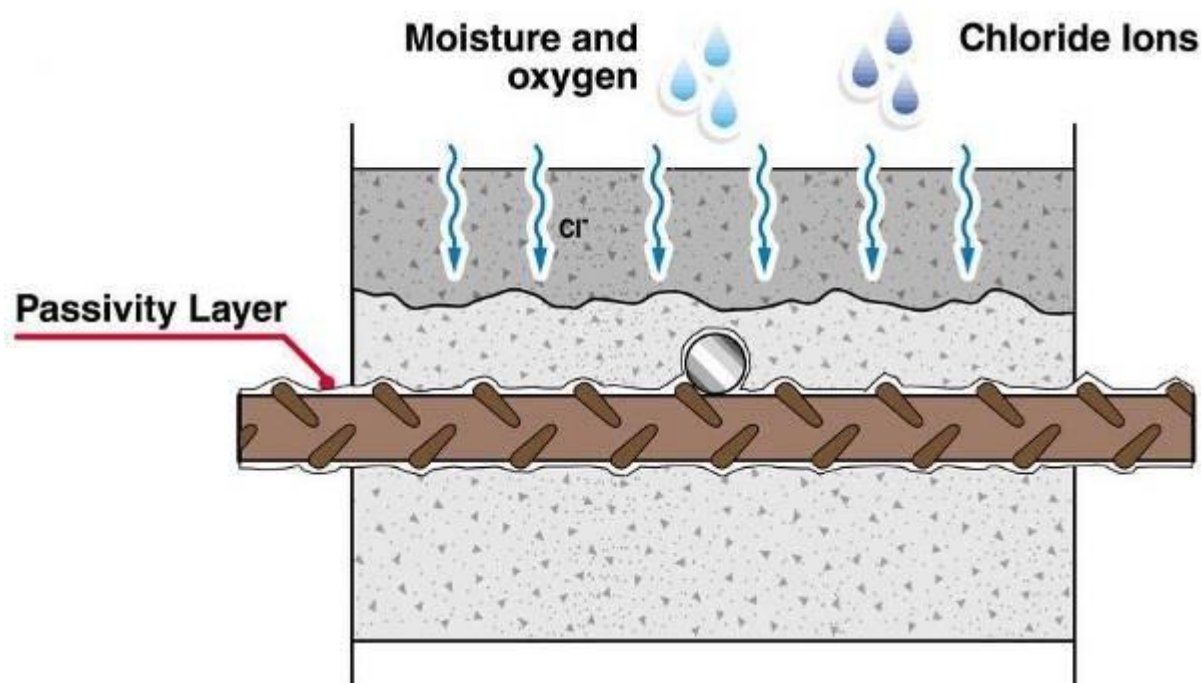


การแตกร้าวจากการเกิดสนิมเหล็กโดยคลอไรด์

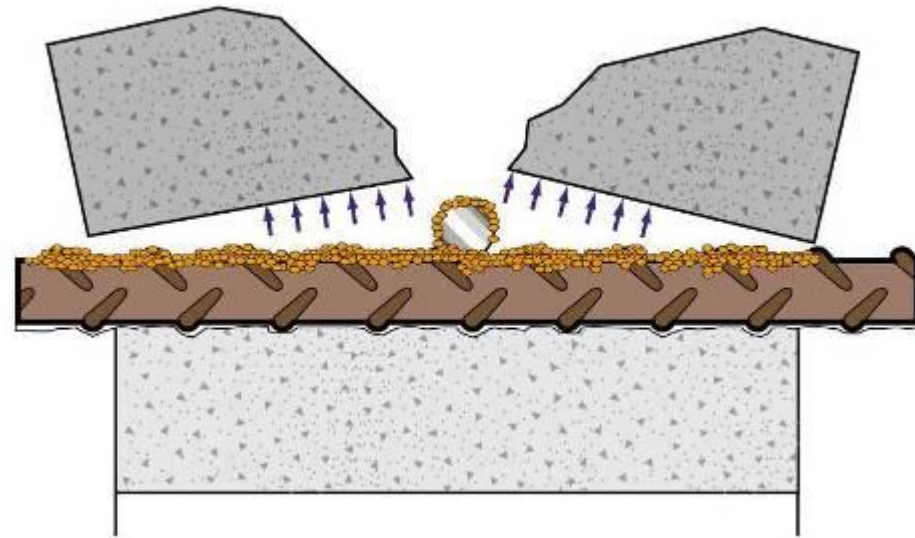
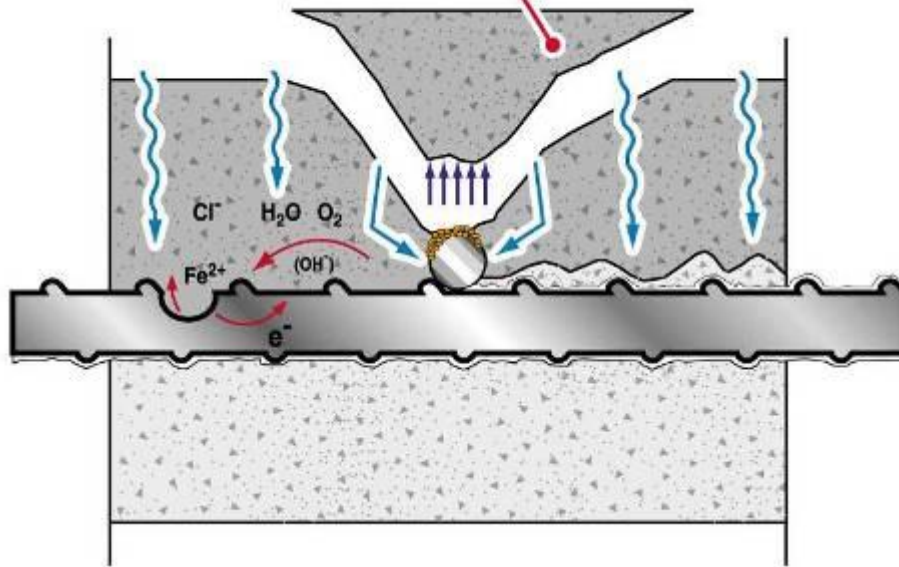
เมื่อมีเกลือคลอไรด์จากภายนอกซึมผ่านคอนกรีต

ทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง **passivity layer**

ที่ผิวเหล็กเสริมหายไป เหล็กจึงสนิมขึ้น



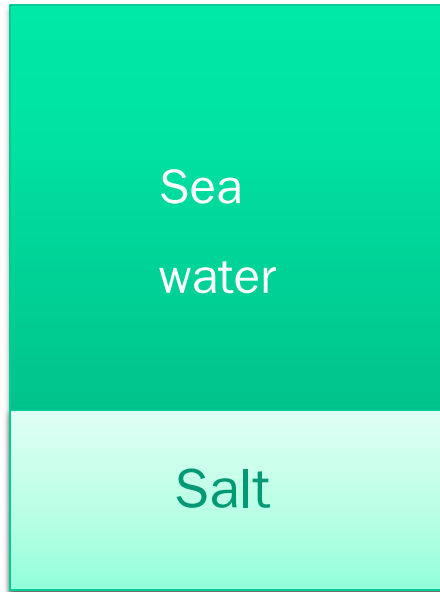
Delamination/Spall



คลอไรด์ในคอนกรีตมาจากไหน

- ทราายที่ใช้ผสมคอนกรีตมีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่
- น้ำผสมคอนกรีตมีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่
- เกลือคลอไรด์จากภายนอกแพร่ผ่านคอนกรีต ได้แก่ น้ำใต้ดิน น้ำทะเล
- การซึมเข้าไปในคอนกรีตโดยน้ำที่มีคลอไรด์ด้วยแรงดันของน้ำ

ความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบน้ำทะเล

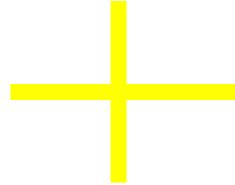


- น้ำทะเลหนึ่งหน่วย มีเกลือละลายอยู่ประมาณ 30%
- เกลือในน้ำทะเลคิดเป็นเกลือคลอไรด์ 80-90%
- เกลือซัลเฟตประมาณ 10%
- ที่เหลือเป็นเกลืออื่นๆ

คลอไรด์หรือซัลเฟตที่มีโอกาสทำลายโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมากกว่ากัน ??

คลอไรด์อิสระทำให้เกิดสนิมในเหล็ก

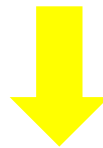
คลอไรด์ที่ไม่ถูกจับยึด
(Free Chloride)



Pore solution



แพร่เข้าไปในคอนกรีตส่วนที่มี
Chloride ion ต่ำกว่า



ลดความเป็นด่างของคอนกรีต

การจับยึดคลอไรด์ทางกายภาพ



คลอไรด์อิสระ จะถูกจับยึดกับเจล CSH ที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยา ไฮเดรชัน/ปอซโซลาน

การจับยึดคลอไรด์ทางเคมี

คลอไรด์อิสระ จะทำปฏิกิริยากับ ผลผลิตของไฮเดรชันจาก C_3A , C_4AF ในซีเมนต์/วัสดุประสาน เกิดเป็น

Friedel's Salt ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
Calcium Chloroferrite ($3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

การซึมผ่านของคลอไรด์อิออนจากปัจจัยของปูนซีเมนต์

- ปูนซีเมนต์ที่มี C_3A ต่ำ (น้อยกว่า 1.9%) การซึมผ่านของคลอไรด์อิออนจะเร็ว
- ปูนซีเมนต์ที่มี C_3A สูง (8 - 14%) การซึมผ่านของคลอไรด์อิออนจะช้า

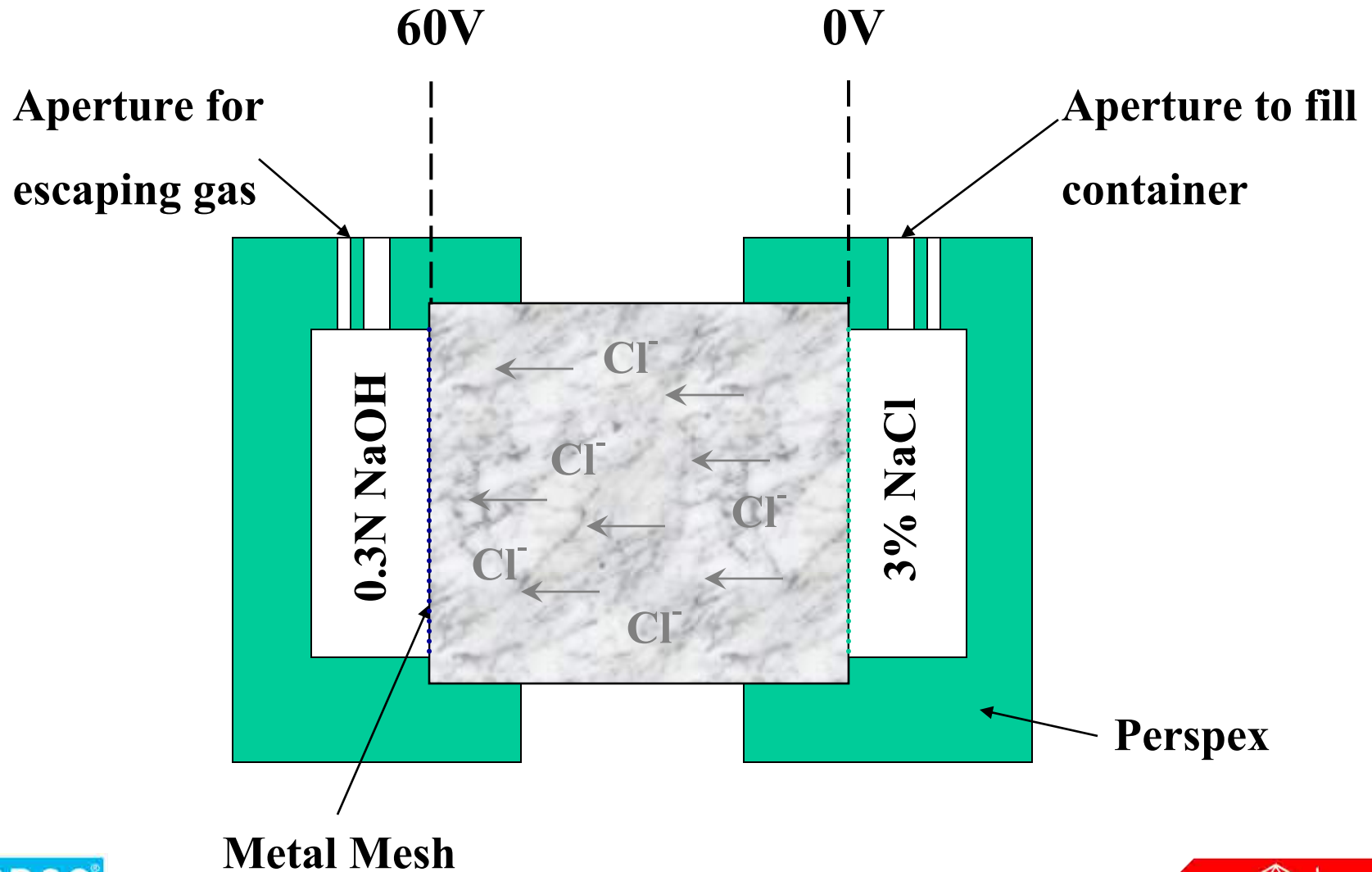
ปริมาณ C_3A ในปูนซีเมนต์

ประเภทปูนซีเมนต์	ร้อยละของ C_3A
ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง	8 - 11
ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ห้า	ต่ำกว่า 5

การทดสอบ Rapid Chloride Permeability Test ตาม ASTM C 1202

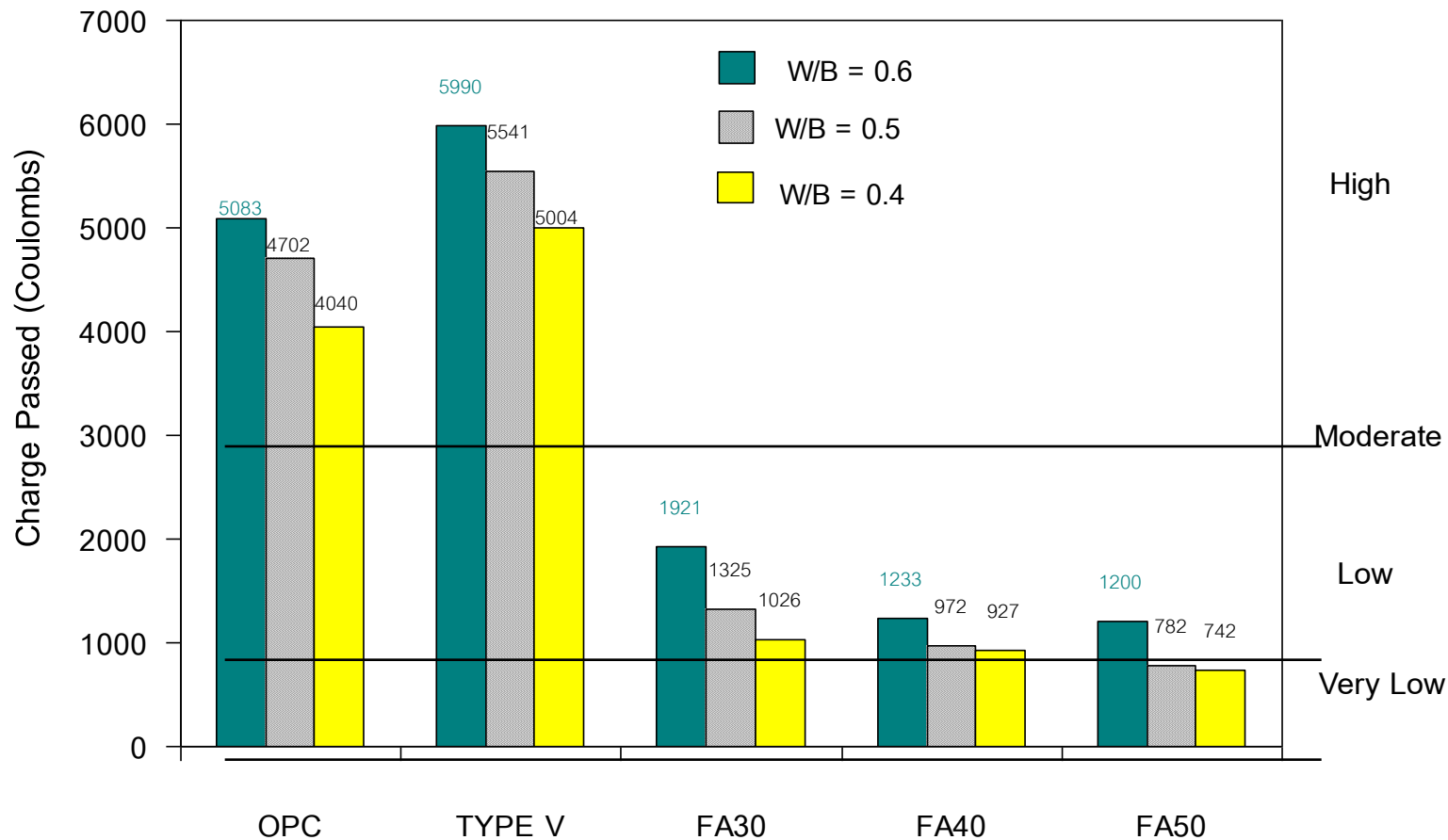


Layout of ASTM C1202 Test cell



การซึมผ่านของคลอไรด์อิออน ASTM C 1202

Permeability Classification



Chloride Permeability

CONCRETE CLASSIFICATION ACCORDING TO CHARGE PASSED

Total Charge Passed (Coulombs)	Permeability Classification (1)	Water Permeability (2) (mm/s x 10 ⁻¹²)	Concrete Quality (3)
> 4000	High	> 115	poor
2000 - 4000	Moderate	65 - 115	reasonable
1000 - 2000	Low	25 - 65	good
100 - 1000	Very Low	< 25	very good
< 100	Negligible	-----	excellent

(1) ASTM C1202, AASHTO T-227

(2) Transportation Research Record No. 1335, National Research Council

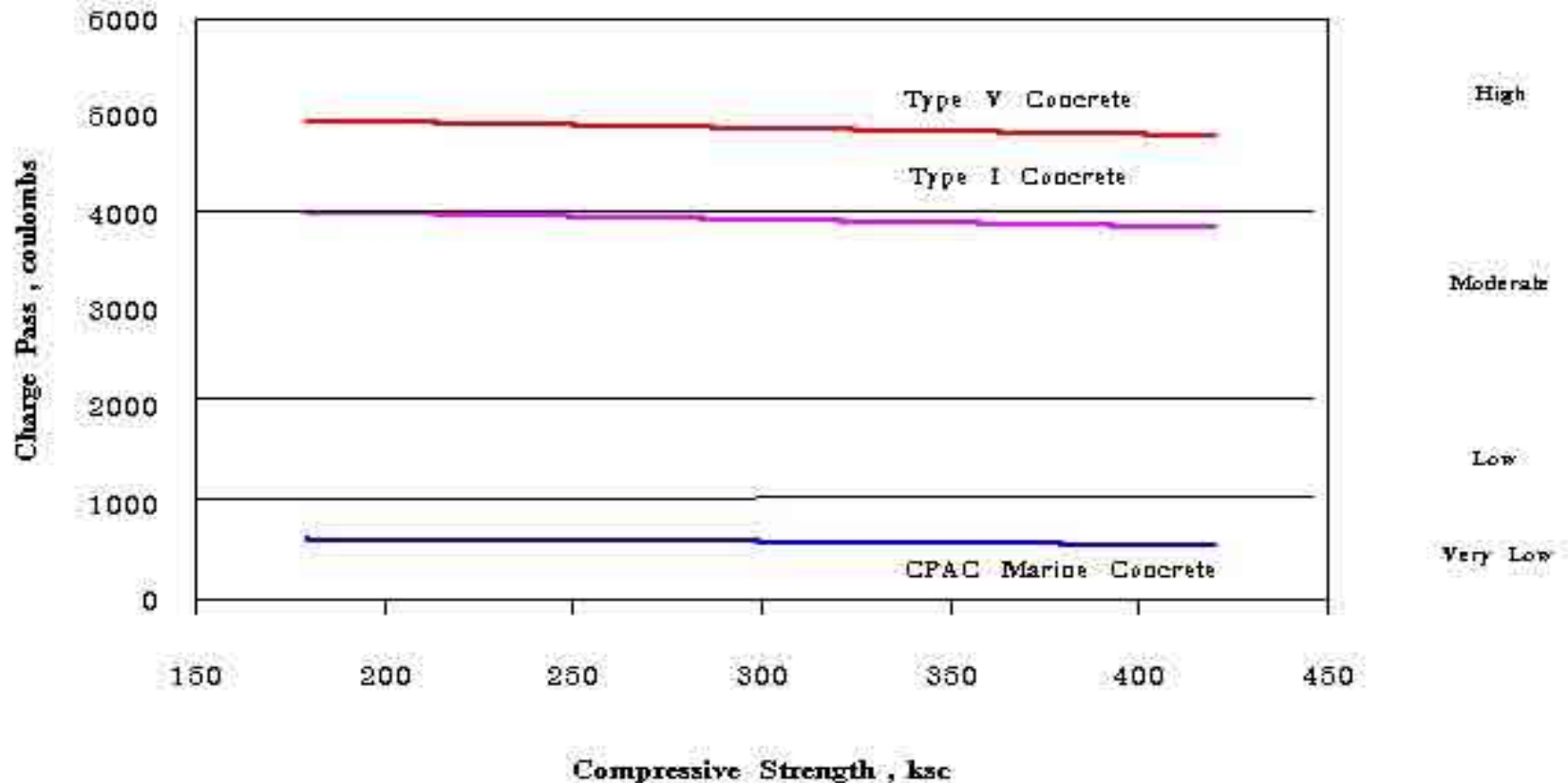
National Research Council, Washington, D.C., 1992 pp 63-69

(3) CSIRO Research Report BRE 031, Australia

Chloride Ion Penetrability of Concrete based on Charge Passed (Coulomb)

Rapid Chloride Permeability Tester (ASTM C1202)

Permeability Classification



การทำให้โครงสร้างทนทานต่อเกลือคลอไรด์

- กำหนดระยะหุ้มเหล็กเสริมให้เพียงพอ
- การอัดแน่นคอนกรีต
- ควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีต
- เลือกใช้คอนกรีตต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์
 - ❖ อัตราส่วน W/B ไม่เกิน 0.45
 - ❖ ออกแบบให้คอนกรีตสามารถต้านทานการซึมผ่านของเกลือคลอไรด์ได้ต่ำกว่า 1,000 คูลอมป์
 - ❖ ทดแทนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าลอยหรือ ซิลิกาฟูม
 - ❖ ออกแบบคอนกรีตให้อัดแน่นได้ง่าย
 - ❖ ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ต้านทานคลอไรด์ได้ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

การกัดกร่อนโครงสร้างคอนกรีตจากซัลเฟต (Sulfate attack)

- มาจากสิ่งแวดล้อม (Exposure environment)
 - น้ำทะเล น้ำกร่อย น้ำบาดาลบางพื้นที่
 - ดินเปรี้ยว ดินที่ทับถมจากซากพืชซากสัตว์เป็นเวลานาน หรือดินที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเล
 - บ่อบำบัดน้ำเสีย บ่อพักน้ำ รวมถึงท่อระบายน้ำทิ้งต่างๆ
 - โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยสารประกอบซัลเฟตออกมาจากกระบวนการผลิต
- มาจากการปนเปื้อนวัตถุดิบ (Contamination)
 - ปูนซีเมนต์ หิน ทราาย และน้ำ ตลอดจนสารเคมีผสมเพิ่ม

การกั้ดกร่อนจากซัลเฟต

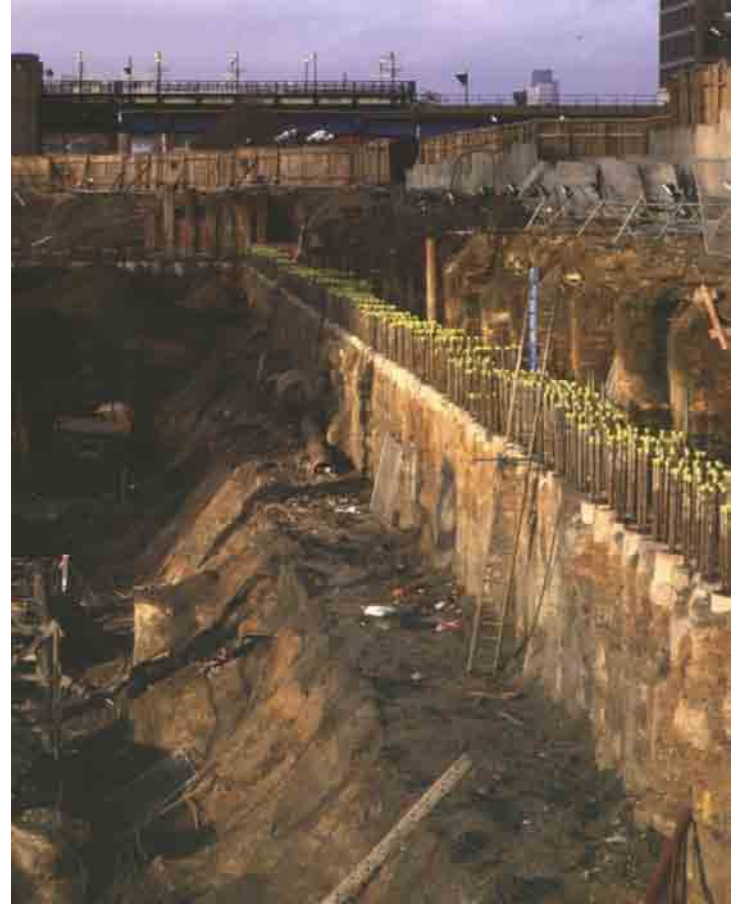


ซัลเฟตจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

การกัดกร่อนจากซัลเฟต



ซัลเฟตในดินที่เกิดจากการทับถมของซาก
ปrikหักพัง



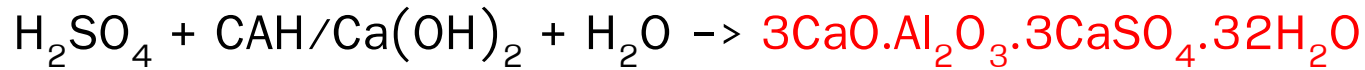
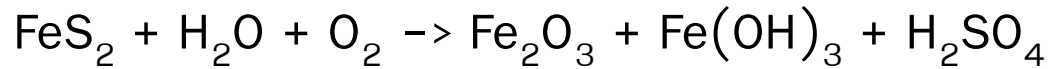
ซัลเฟตในดินบริเวณแหล่ง
อุตสาหกรรม

ซัลเฟตสามารถสามารถพบได้ในของแข็งที่อยู่ใต้ดิน เช่น กรวดหิน ดินและทราย หรือแม้แต่ในน้ำใต้ดิน นอกจากนี้ซัลเฟตยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับองค์ประกอบซัลไฟด์ตามปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น แร่ไพไรต์ (FeS_2) ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการพิจารณาซัลไฟด์ เช่นเดียวกับซัลเฟตที่อยู่ใต้ดิน แต่อย่างไรก็ตามการเกิดการฟอร์มตัวของซัลเฟตต้องอาศัย ออกซิเจนและความชื้นที่เพียงพอ

ซัลเฟตในแร่ธาตุที่อาจจะส่งผลต่อการกัดกร่อนของคอนกรีตจากซัลเฟตเมื่อนำมาใช้งาน		
Anhydrite	CaSO_4	หินที่เกิดจากการตกตะกอน
Barytes	BaSO_4	พบในหิน
Celestine	SrSO_4	ทรายบางชนิด หรือหินโคลน
Epsomite	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	หินตะกอน
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	พบมากในดินและหิน
Jarosite	$\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$	เกิดจากการเปลี่ยนรูปของแร่ไพไรต์
Mirabilite	$\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	หินตะกอน
Pyrite	FeS_2	ทรายและหินบางชนิด
Pyrrholite	FeS	

การกัดกร่อนจากซัลเฟต

เพิ่มเติมเกี่ยวกับซัลเฟต – การเกิด popout ของไฟรต์



การกัดกร่อนจากซัลเฟต

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งซัลเฟต



การกัดกร่อนจากซัลเฟต

ตัวอย่างความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ติดกับแหล่งซัลเฟต



การกัดกร่อนจากซัลเฟต

Method of Analysis : Wet Chemical

Lab. Sample No.		18C184	
Code Sample No.		07BBB0167	
Type of Sample		คืบ คืบ	
110 C Dried Sample			
Sulfate	(SO ₄)	% w/w	10.98
Chloride	(Cl)	% w/w	0.19

Method of Analysis : Wet Chemical

Lab. Sample No.		18C183	
Code Sample No.		07BBB0166	
Type of Sample		เศษ Concrete คอนกรีต	
110 C Dried Sample			
Sulfate	(SO ₄)	% w/w	1.18
Chloride	(Cl)	% w/w	0.73

กลไกการเกิดความเสียหายจากการกัดกร่อนของซัลเฟต

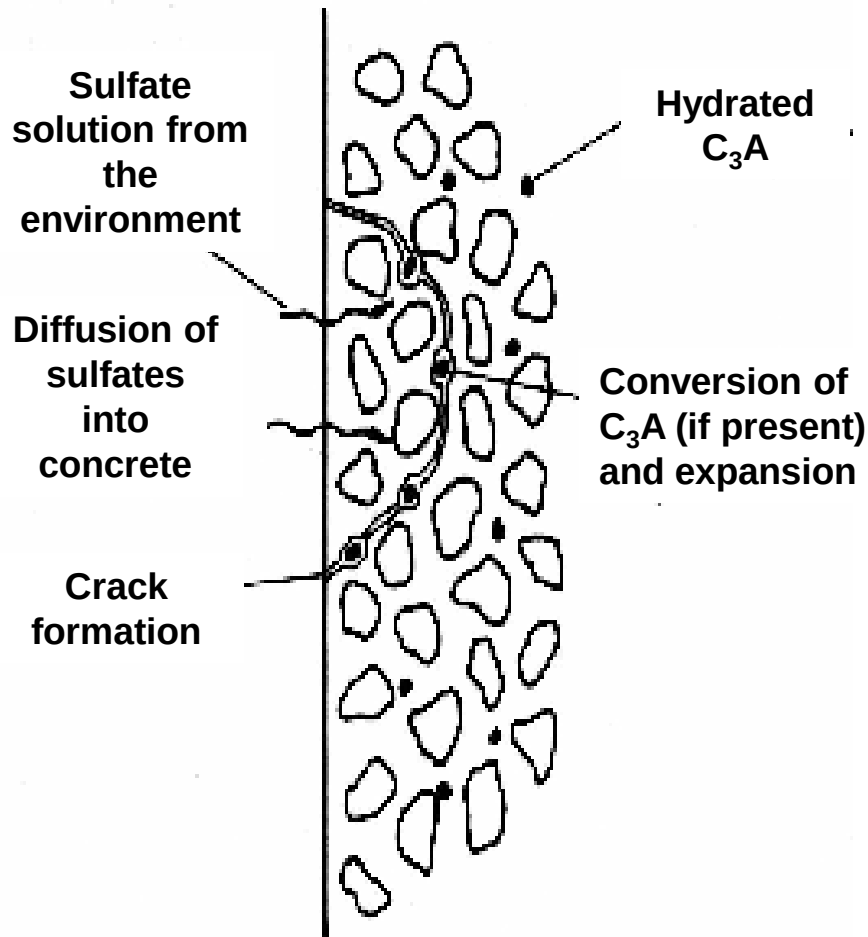
ซัลเฟตในรูปเกลือของแข็งจะไม่ทำอันตรายต่อคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย ซัลเฟตสามารถทำลายองค์ประกอบไฮเดรตซีเมนต์ในคอนกรีต ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของคอนกรีตในสถานะที่แข็งตัวแล้ว จนเกิดการแตกร้าวหลุดร่อนในที่สุด

ซัลเฟตที่พบบ่อย อยู่ในรูปสารประกอบดังนี้:

โซเดียมซัลเฟต	Na_2SO_4
โพแทสเซียมซัลเฟต	K_2SO_4
แมกนีเซียมซัลเฟต	MgSO_4
แคลเซียมซัลเฟต	CaSO_4

ซัลเฟตเหล่านี้สามารถพบได้ในน้ำทะเล ดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งสามารถพบได้ทั้งชนิดเดียว หรือหลายชนิดในแต่ละสถานะ

กลไกการกัดกร่อนของซัลเฟตในคอนกรีต



การกัดกร่อนของซัลเฟตโดยหลักเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างซัลเฟตอิสระกับองค์ประกอบอะลูมินา และคัลเซียมไฮดรอกไซด์ของไฮเดรตซีเมนต์

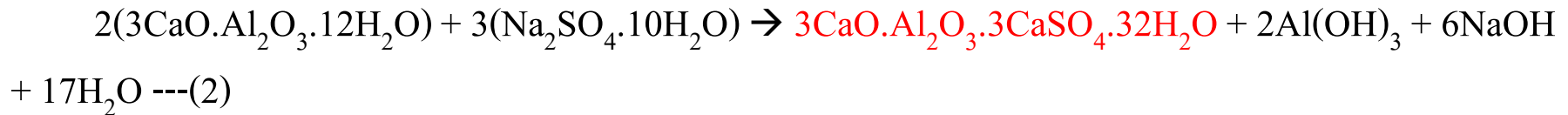
ส่งผลให้เกิดการฟอร์มตัวของ Ettringite และ ยิปซัม
ส่งผลให้เกิดการขยายตัวในสถานะคอนกรีตแข็งตัว
การเกิดการขยายตัวจากปฏิกิริยาเคมีของซัลเฟตต้องมีความชื้นที่เพียงพอในการทำปฏิกิริยา

เมื่อเกิดการขยายตัวของคอนกรีตในสถานะที่แข็งตัวจะ
ส่งผลให้เกิดแรงดันภายในจนคอนกรีตไม่สามารถ
ต้านทานแรงดันได้ ทำให้เกิดรอยแตกร้าวและหลุดล่อน
ในภายหลังได้

กลไกความเสียหายจากซัลเฟต

- โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)

โซเดียมซัลเฟตทำปฏิกิริยากับ คัลเซียมไฮดรอกไซด์, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ CAH จากไฮเดรตซีเมนต์ ทำให้เกิดยิปซัมและ Ettringite ซึ่งเป็นสาเหตุของการขยายตัวในคอนกรีต



- คัลเซียมซัลเฟต (CaSO_4)

คัลเซียมซัลเฟตทำปฏิกิริยากับคัลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต กลายเป็น Ettringite เป็นสาเหตุของการขยายตัว



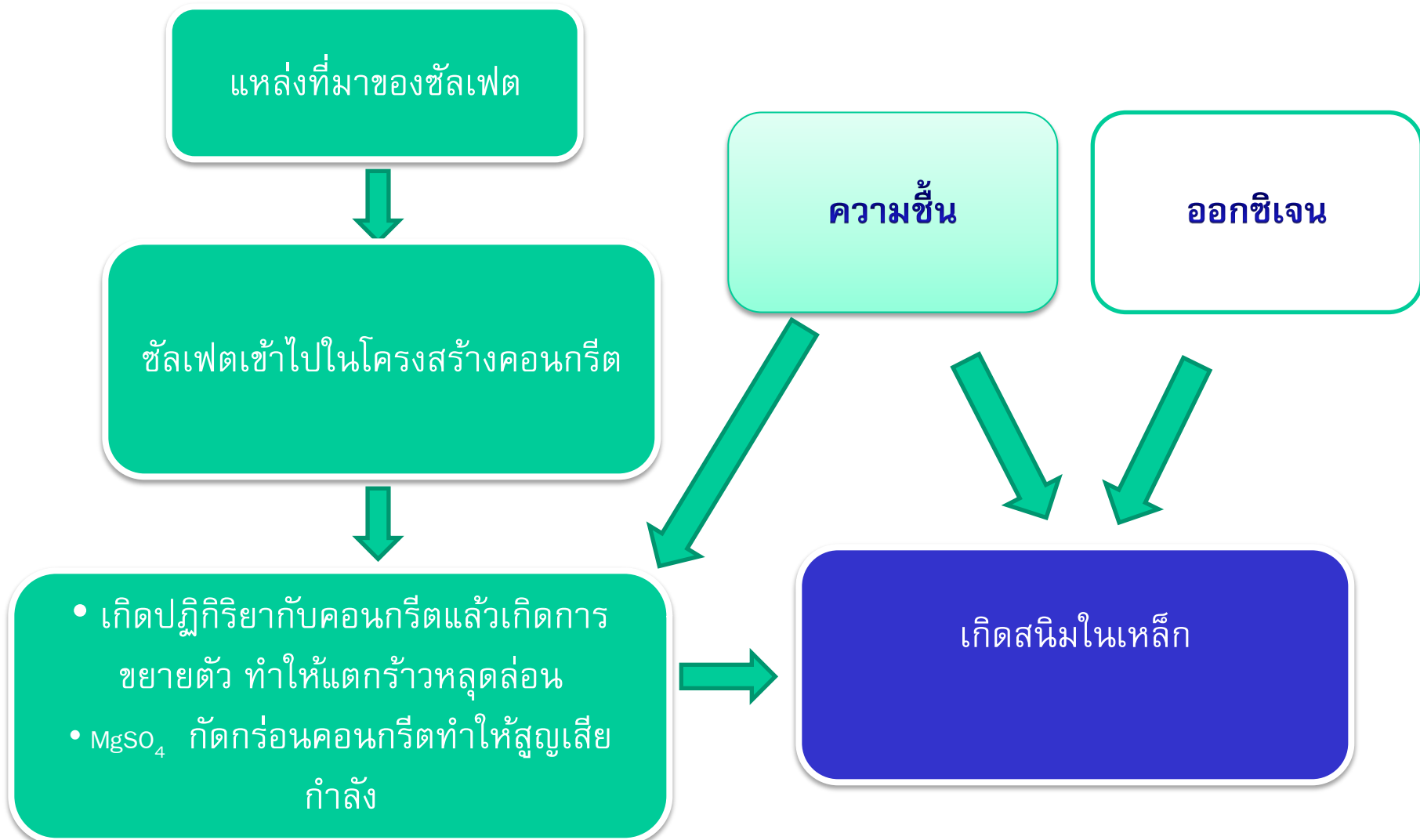
- แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4)

ทำลายองค์ประกอบไฮเดรชันทุกตัวในคอนกรีต ได้แก่ คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรต คัลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต และคัลเซียมไฮดรอกไซด์



การกัดกร่อนจากแมกนีเซียมซัลเฟต เป็นการกัดกร่อนที่รุนแรงที่สุด เนื่องจากทำลายคัลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและซิลิกาเจลซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้กำลัง ดังนั้นการกัดกร่อนจากแมกนีเซียมซัลเฟตส่งผลให้เกิดการสูญเสียกำลังและเสื่อมสภาพได้

กลไกการเกิดความเสียหายของคอนกรีตเสริมเหล็กจากซัลเฟต



ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตต้านทานซัลเฟต

- อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่เกิน 0.45 เพื่อเพิ่มความทึบน้ำป้องกันซัลเฟตและความชื้นเข้ามาภายในคอนกรีต

- ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทดแทนด้วยวัสดุปอซโซลานบางส่วน ได้แก่
เถ้าลอย 40%

ซิลิกาฟูม 10-15%

GGBS >60%

เพื่อลดช่องว่างที่ต่อเนื่องกันและลดปริมาณ Ca(OH)_2 ในคอนกรีต

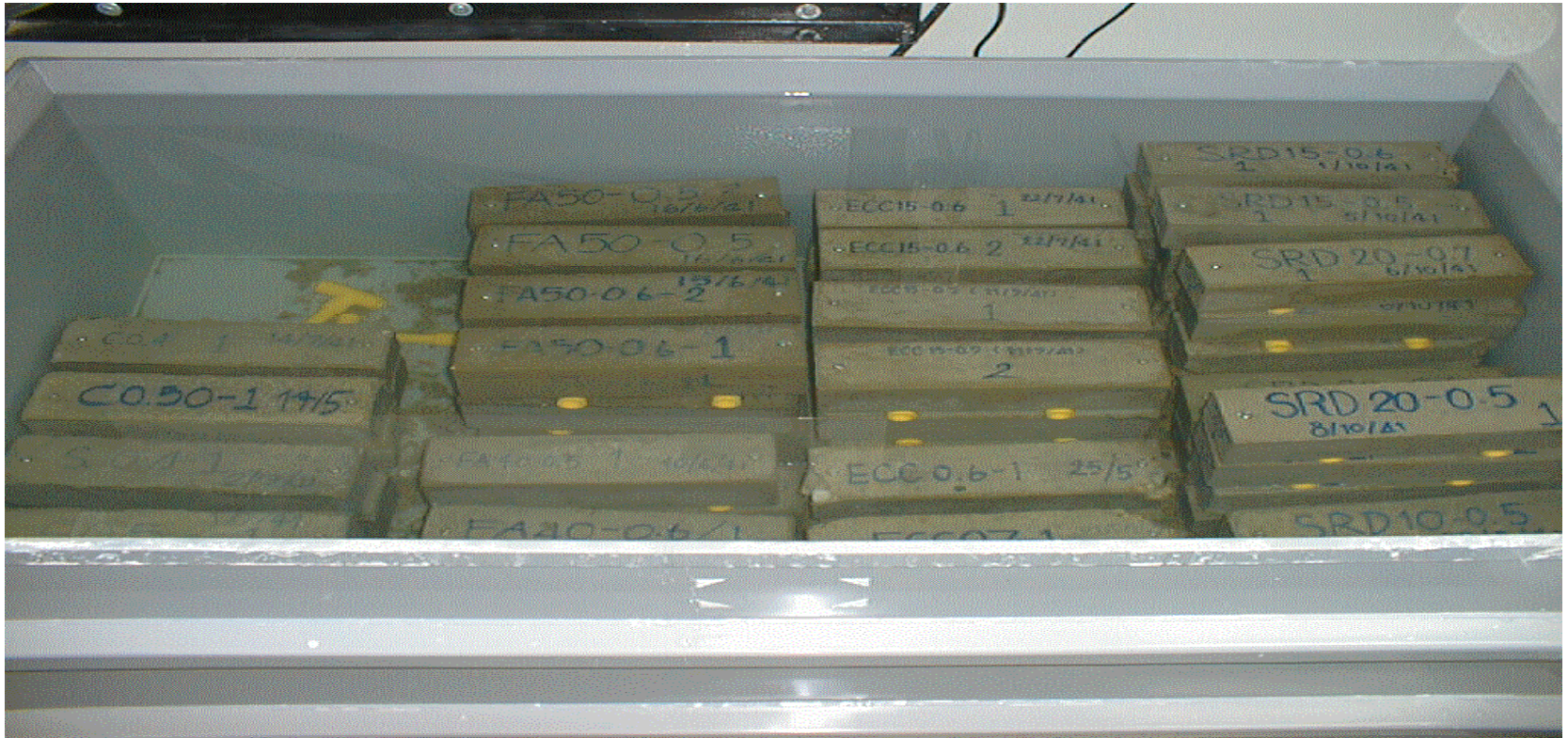
- ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 5 ร่วมกับวัสดุปอซโซลาน (ในกรณีที่ต้องสัมผัสแมกนีเซียมซัลเฟต)

- หิน น้ำ น้ำยาผสมเพิ่ม และทรายที่ไม่มีการปนเปื้อนของซัลเฟต

- กำลังอัดสามารถออกแบบได้ทุกกำลังอัด (คุณสมบัติไม่ขึ้นอยู่กับกำลังอัด)

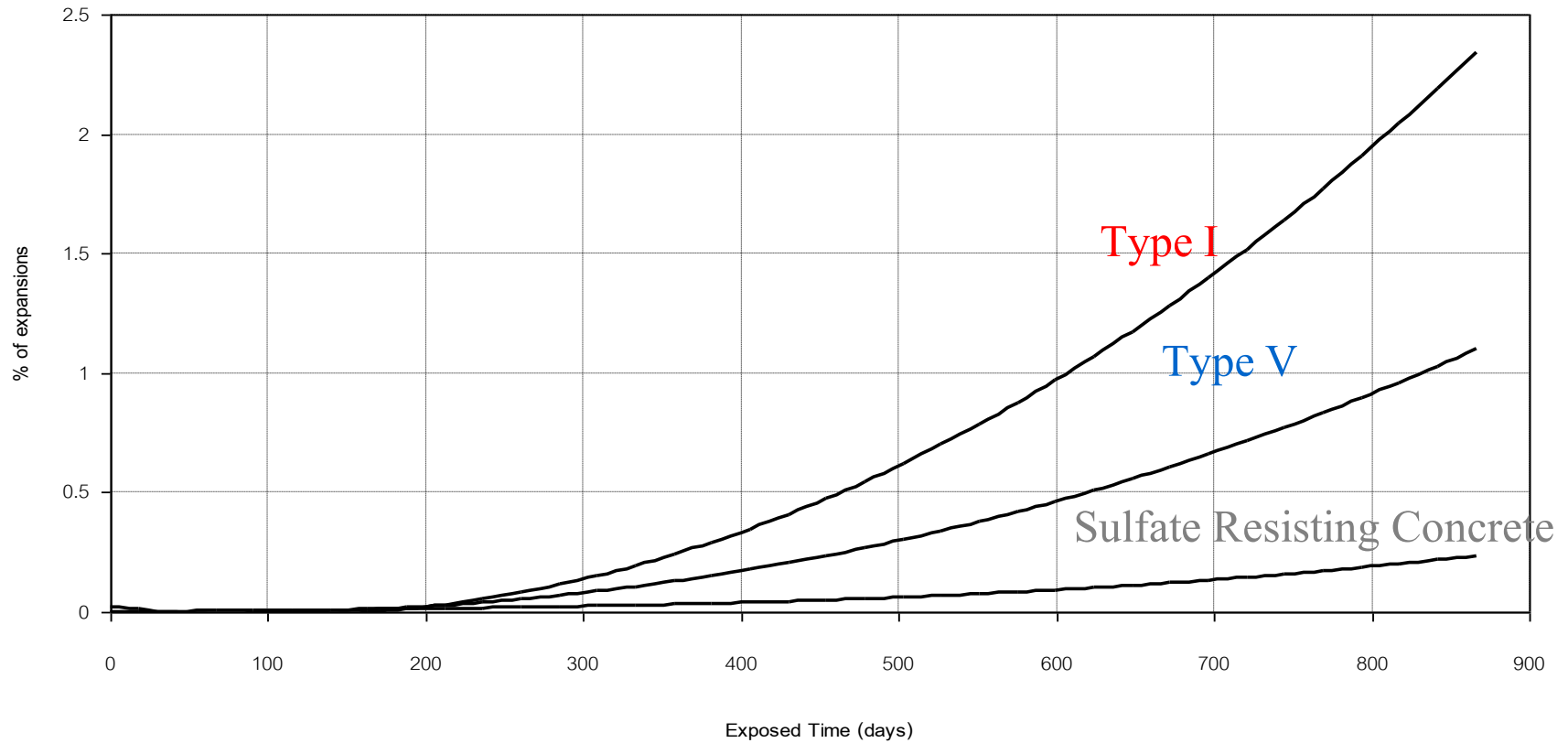
- การขยายตัวของคอนกรีตจากซัลเฟตไม่เกิน 0.05% ที่อายุคอนกรีต 6 เดือน

วัดการขยายตัวของคอนกรีตแช่สารละลายซัลเฟต



วัดการขยายตัวของคอนกรีตแช่สารละลายซัลเฟต

Expansions due to sulphate attack of type I concrete, type V concrete,
Sulfate Resisting Concrete



การออกแบบคอนกรีตให้ทนซัลเฟต

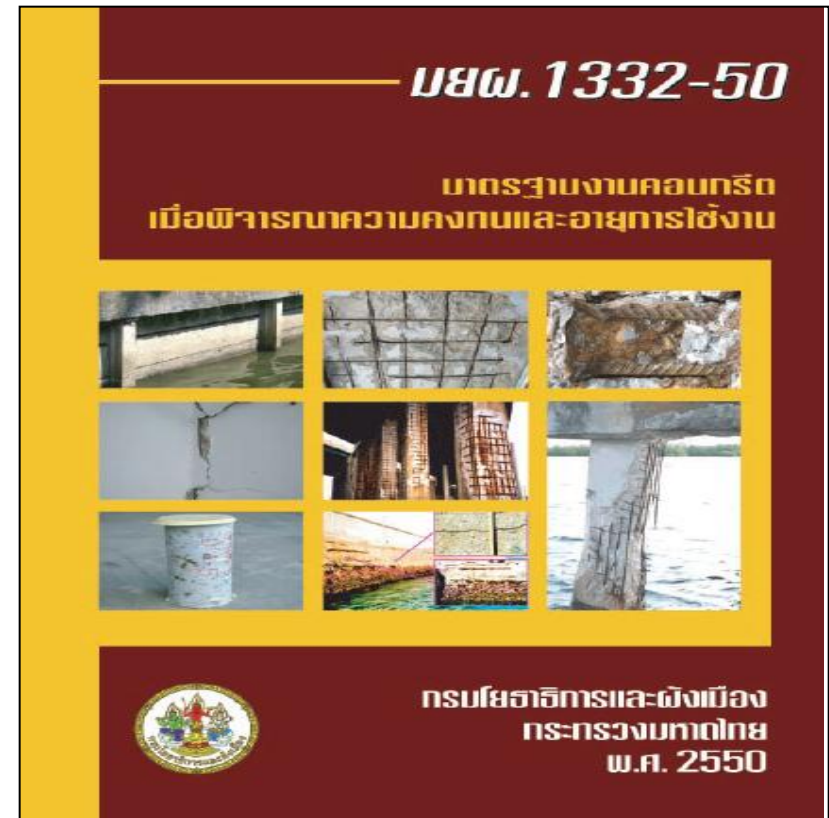
แต่อย่างไรก็ตามควรมีการออกแบบรายละเอียดที่เหมาะสมด้วย ได้แก่

- ระยะเวลาหุ้มเหล็กเสริม
- ถ้าในกรณีที่ซัลเฟตมีความเป็นกรดสูงอาจจะต้องใช้วัสดุเคลือบโครงสร้างประกอบกัน ($\text{pH} < 4$)

มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตสำหรับงานทางเพื่อ ให้มีอายุการใช้งานยาวนาน (Specification)

มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตให้มีอายุการใช้งานยาวนาน

- BS 8500 (2006) “Concrete Complementary British Standard to BS EN 206-1”
- มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตกรมโยธาธิการและผังเมือง
- ACI 318M-08 and ACI 201.2R Guide to Durable Concrete
- Other



Input

- ชนิดของโครงสร้าง Type of structure - Pavement
- สิ่งแวดล้อมที่สัมผัส Exposure class - ซัลเฟต คลอไรด์ คาร์บอนไดออกไซด์
- ระยะหุ้มเหล็กเสริม Covering
- กำลังอัดขั้นต่ำ Compressive strength
- ระยะเวลาการใช้งานโดยไม่ซ่อม Service life

Output

- ปริมาณซีเมนต์หรือวัสดุประสานชั้นต่ำ
- ชนิดของซีเมนต์และการทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุประสานอื่นๆ เช่น เถ้าลอย
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์หรือวัสดุประสานสูงสุดที่ยอมให้ (Max W/B)
- กำลังอัดขั้นต่ำ
- ค่ายุบตัวที่เหมาะสม (Slump)

Table A.13 Guidance on the selection of designated and standardized prescribed concrete in housing and other applications

Application ^{A)} , ^{B)}	Designated concrete	Standardized prescribed concrete	Recommended consistence class
<i>Unreinforced foundations ^{B)} and associated works requiring DC-1 concrete</i>			
Blinding and mass concrete fill	GEN1	ST2	S3 ^{C)}
Strip footings	GEN1	ST2	S3 ^{C)}
Mass concrete foundations	GEN1	ST2	S3 ^{C)}
Trench fill foundations	GEN1	ST2	S4
Drainage works to give immediate support	GEN1	ST2	S1
Other drainage works	GEN1	ST2	S3 ^{C)}
Oversite below suspended slabs	GEN1	ST2	S3 ^{C)}
<i>Unreinforced foundations requiring DC-2 to DC-4 concrete ^{B)}</i>			
DC-2	FND2	N/A	S3 ^{C), D)}
DC-2z	FND2Z	N/A	S3 ^{C), D)}
DC-3	FND3	N/A	S3 ^{C), D)}
DC-3z	FND3Z	N/A	S3 ^{C), D)}
DC-4	FND4	N/A	S3 ^{C), D)}
DC-4z	FND4Z	N/A	S3 ^{C), D)}
DC-4m	FND4M	N/A	S3 ^{C), D)}
<i>General applications</i>			
Kerb bedding and backing	GEN0	ST1	S1
<i>Floors</i>			
House floors with no embedded metal (see Note 2 to 4.2.2)			
• Permanent finish to be added, e.g. a screed or floating floor	GEN1	ST2	S2
• No permanent finish to be added, e.g. carpeted	GEN2	ST3	S2
Garage floors with no embedded metal	GEN3	ST4	S2
Wearing surface: light foot and trolley traffic	RC25/30	ST4	S2
Wearing surface: general industrial	RC32/40	N/A	S2
Wearing surface: heavy industrial ^{E)}	RC40/50	N/A	S2
<i>Paving</i>			
House drives and domestic parking	PAV1	N/A	S2 ^{C)}
Heavy-duty external paving with rubber tyre vehicles ^{E)}	PAV2	N/A	S2 ^{C), F)}

A) Concrete containing embedded metal should be treated as reinforced.

B) See Table A.3 for designated concretes for reinforced foundations and reinforced concrete.

C) This is the default slump class for this designated concrete.

D) For trench fill, the recommended consistence class is S4.

E) For extreme applications, e.g. foundry floors and busy public roads, specialist advice should be sought.

F) Depends on method of placing.

Table A.3 Typical reinforced concrete applications in buildings (intended working life at least 50 years) for designated concretes

Use	Exposure class	Nominal cover ^{A)} mm	Minimum designated concrete ^{B)}
Reinforced and prestressed concrete inside enclosed buildings except poorly ventilated rooms with high humidity	XC1	(15 + Δc)	RC20/25
External reinforced and prestressed vertical elements of buildings sheltered from, or exposed to, rain ^{C)}	XC3/XC4 + XF1	(20 + Δc)	RC40/50
		(25 + Δc)	RC32/40
		(30 + Δc)	RC28/35
		(20 + Δc)	RC40/50XF
Horizontal elements with high saturation without de-icing agent and subject to freezing while wet ^{C)}	XC4+XF3	(30 + Δc)	PAV2
		(35 + Δc)	PAV1
Reinforced or prestressed buried foundation in AC-1 where the hydraulic gradient is not greater than 5	XC2/AC-1	50 ^{D)} 75 ^{E)}	RC25/30
C25/30 reinforced or prestressed buried foundation in AC-2 or more aggressive ground conditions	AC-2 to AC-5m	50 ^{D)} 75 ^{E)}	See ^{F)}

Table A.14 Summary of requirements for designated concretes A)

Concrete designation	Min. strength class	Default slump class	Max. w/c ratio	Min. cement or combination content (kg/m ³) for 20 mm max. aggregate size	Cement and combination types
GEN0	C6/8	S3	—	120	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V
GEN1	C8/10	S3	—	180	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V
GEN2	C12/15	S3	—	200	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V
GEN3	C16/20	S3	—	220	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V
RC20/25	C20/25	S3	0.70	240	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V
RC25/30	C25/30	S3	0.65	260	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V ^{B)}
RC28/35	C28/35	S3	0.60	280	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V ^{B)}
RC30/37	C30/37	S3	0.55	300	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V ^{B)}
RC32/40	C32/40	S3	0.55	300	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V ^{B)}
RC35/45	C35/45	S3	0.50	320	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V ^{B)}
RC40/50	C40/50	S3	0.45	340	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA, IVB-V ^{B)}
RC40/50XF	C40/50	S3	0.45	340	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA
PAV1	C25/30 ^{C)}	S2	0.60	280	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA
PAV2	C28/35 ^{C)}	S2	0.55	300	CEM I, IIA, IIB-S, IIB-V, IIIA
FND2	C25/30	S3	0.55	320	IIB-V+SR, IIIA+SR, IIIB+SR, IVB-V
			0.50	340	CEM I, SRPC, II-S, II-V, IIIA, IIIB
			0.45	360	IIA-L or LL $\geq$ class 42,5
			0.40	380	IIA-L or LL class 32,5
FND2Z	C25/30	S3	0.55	320	All in Table A.6
FND3	C25/30	S3	0.50	340	IIIB+SR
			0.45	360	IVB-V
			0.40	380	IIB-V+SR, IIIA+SR, SRPC
FND3Z	C25/30	S3	0.50	340	All in Table A.6
FND4	C25/30	S3	0.45	360	IIIB+SR
			0.40	380	IVB-V
			0.35	380	IIB-V+SR, IIIA+SR, SRPC
FND4Z	C25/30	S3	0.45	360	All in Table A.6
FND4M	C25/30	S3	0.45	360	IIIB+SR

A) See BS 8500-2:2006, Clause 6 for the full set of requirements for designated concretes.

B) Only if specifically permitted under 4.2.3a).

C) The concrete is required by BS 8500-2 to contain an air-entraining admixture to give a minimum air content by volume of 3.0%, 3.5% or 5.5% with aggregate of 40 mm, 20 mm and 10 mm maximum aggregate size respectively at delivery.

PAV(number)

designation used for a series of designated concretes that are used in paving applications

Table A.1 Exposure classes

Class designation	Class description	Informative examples applicable in the United Kingdom
<i>No risk of corrosion or attack (X0 class)</i>		
X0	For concrete without reinforcement or embedded metal: all exposures except where there is freeze-thaw, abrasion or chemical attack For concrete with reinforcement or embedded metal: very dry	Unreinforced concrete surfaces inside structures Unreinforced concrete completely buried in soil classed as AC-1 and with a hydraulic gradient not greater than 5 Unreinforced concrete permanently submerged in non-aggressive water Unreinforced concrete surfaces in cyclic wet and dry conditions not subject to abrasion, freezing or chemical attack Reinforced concrete surfaces exposed to very dry conditions
<i>Corrosion induced by carbonation (XC classes)^{A)}</i> <i>(where concrete containing reinforcement or other embedded metal is exposed to air and moisture)</i>		
XC1	Dry or permanently wet	Reinforced and prestressed concrete surfaces inside enclosed structures except areas of structures with high humidity Reinforced and prestressed concrete surfaces permanently submerged in non-aggressive water
XC2	Wet, rarely dry	Reinforced and prestressed concrete completely buried in soil classed as AC-1 and with a hydraulic gradient not greater than 5 ^{B)}

Table A.1 Exposure classes (continued)

Class designation	Class description	Informative examples applicable in the United Kingdom
XC3 and XC4	Moderate humidity or cyclic wet and dry	External reinforced and prestressed concrete surfaces sheltered from, or exposed to, direct rain Reinforced and prestressed concrete surfaces subject to high humidity (e.g. poorly ventilated bathrooms, kitchens) Reinforced and prestressed concrete surfaces exposed to alternate wetting and drying Interior concrete surfaces of pedestrian subways not subject to de-icing salts, voided superstructures or cellular abutments Reinforced or prestressed concrete beneath waterproofing
Corrosion induced by chlorides other than from sea water (XD classes) ^{A)} (where concrete containing reinforcement or other embedded metal is subject to contact with water containing chlorides, including de-icing salts, from sources other than from sea water)		
XD1	Moderate humidity	Concrete surfaces exposed to airborne chlorides Reinforced and prestressed concrete wall and structure supports more than 10 m horizontally from a carriageway Bridge deck soffits more than 5 m vertically above the carriageway Parts of structures exposed to occasional or slight chloride conditions
XD2	Wet, rarely dry	Reinforced and prestressed concrete surfaces totally immersed in water containing chlorides ^{C)} Buried highway structures more than 1 m below adjacent carriageway
XD3	Cyclic wet and dry	Reinforced and prestressed concrete walls and structure supports within 10 m of a carriageway Bridge parapet edge beams Buried highway structures less than 1 m below carriageway level Reinforced pavements and car park slabs
Corrosion induced by chlorides from sea water (XS classes) ^{A), D)} (where concrete containing reinforcement or other embedded metal is subject to contact with chlorides from sea water or air carrying salt originating from sea water)		
XS1	Exposed to airborne salt but not in direct contact with sea water	External reinforced and prestressed concrete surfaces in coastal areas
XS2	Permanently submerged	Reinforced and prestressed concrete surfaces completely submerged and remaining saturated, e.g. concrete below mid-tide level ^{C)}
XS3	Tidal, splash and spray zones	Reinforced and prestressed concrete surfaces in the upper tidal zones and the splash and spray zones ^{E)}
Freeze-thaw attack (XF classes) (where concrete is exposed to significant attack from freeze-thaw cycles whilst wet)		
XF1	Moderate water saturation without de-icing agent	Vertical concrete surfaces such as façades and columns exposed to rain and freezing Non-vertical concrete surfaces not highly saturated, but exposed to freezing and to rain or water
XF2	Moderate water saturation with de-icing agent	Concrete surfaces such as parts of bridges, which would otherwise be classified as XF1, but which are exposed to de-icing salts either directly or as spray or run-off

Table A.2 Classification of ground conditions

Sulfate and magnesium					Design sulfate class	Natural soil		Brownfield ^{A)}		ACEC-class (design sulfate class)
2:1 water/soil extract		Groundwater		Total potential sulfate ^{B)}		Static water	Mobile water	Static water	Mobile water	
SO ₄ mg/l	Mg ^{C)} mg/l	SO ₄ mg/l	Mg ^{C)} mg/l	SO ₄ %		pH	pH	pH ^{D)}	ph ^{D)}	
<500	—	<400	—	<0.24	DS-1	≥2.5 — — — —	— >5.5 2.5 to 5.5 — —	≥2.5 — — — —	— >6.5 5.6 to 6.5 4.5 to 5.5 2.5 to 4.5	AC-1s AC-1 ^{E)} AC-2z AC-3z AC-4z
500 to 1 500	—	400 to 1 400	—	0.24 to 0.6	DS-2	>3.5 — 2.5 to 3.5 — — —	— >5.5 — 2.5 to 5.5 — —	— — — — —	— >6.5 — 5.6 to 6.5 4.5 to 5.5 2.5 to 4.5	AC-1s AC-2 AC-2s AC3z AC-4z AC-5z
1 600 to 3 000	—	1 500 to 3 000	—	0.7 to 1.2	DS-3	>3.5 — 2.5 to 3.5 — —	— >5.5 — 2.5 to 5.5 —	>5.5 — 2.5 to 5.5 — —	— >6.5 — 5.6 to 6.5 2.5 to 5.5	AC-2s AC-3 AC-3s AC-4 AC-5
3 100 to 6 000	≤1 200	3 100 to 6 000	≤1 000	1.3 to 2.4	DS-4	>3.5 — 2.5 to 3.5 —	— >5.5 — 2.5 to 5.5	>5.5 — 2.5 to 5.5 —	— >6.5 — 2.5 to 6.5	AC-3s AC-4 AC-4s AC-5
3 100 to 6 000	>1 200 ^{C)}	3 100 to 6 000	>1 000 ^{C)}	1.3 to 2.4	DS-4m	Not found in UK natural ground		>5.5 2.5 to 5.5	— >6.5 2.5 to 6.5	AC-3s AC-4m AC-4ms AC-5m
>6 000	≤1 200	>6 000	≤1 100	>2.4	DS-5	>3.5 2.5 to 3.5	— ≥2.5	>5.5 2.5 to 5.5	— ≥2.5	AC-4s AC-5
>6 000	>1 200 ^{C)}	>6 000	>1 100 ^{C)}	>2.4	DS-5m	Not found in UK natural ground		>5.5 2.5 to 5.5	— ≥2.5	AC-4ms AC-5m

A) "Brownfield" sites are those that might contain chemical residues remaining from previous industrial use or from imported wastes.

B) Applies only to sites where concrete will be exposed to sulfate ions (SO₄), which can result from the oxidation of sulfides such as pyrite, following ground disturbance.

C) The limit on water-soluble magnesium does not apply to brackish groundwater (chloride content between 12 g/l and 18 g/l). This allows these sites to be classified in the row above. This table does not cover sea water and stronger brines.

D) An additional account is taken of hydrochloric and nitric acids by adjustment to sulfate content (see BRE Special Digest 1 [1]).

E) For flowing water that is potentially aggressive to concrete owing to high purity or an aggressive carbon dioxide level greater than 15 mg/l, increase the ACEC class to AC-2z (see BRE Special Digest 1 [1]).

Table A.4 Durability^{A)} recommendations for reinforced or prestressed elements with an intended working life of at least 50 years

Nominal cover ^{B)}	Compressive strength class where recommended, maximum water-cement ratio and minimum cement or combination content for normal-weight concrete ^{C)} with 20 mm maximum aggregate size ^{D)}								Cement/combination types
mm	15 + Δc	20 + Δc	25 + Δc	30 + Δc	35 + Δc	40 + Δc	45 + Δc	50 + Δc	
Corrosion induced by carbonation (XC exposure classes)									
XC1	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	All in Table A.6
XC2	—	—	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	All in Table A.6
XC3/4	—	C40/50 0.45 340	C30/37 0.55 300	C28/35 0.60 280	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	All in Table A.6 except IVB-V
	—	—	C40/50 0.45 340	C30/37 0.55 300	C28/35 0.60 280	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	IVB-V
Corrosion induced by chlorides (XS from sea water, XD other than sea water) Also adequate for any associated carbonation induced corrosion (XC)									
XD1	—	—	C40/50 0.45 360	C32/40 0.55 320	C28/35 0.60 300	C28/35 0.60 300	C28/35 0.60 300	C28/35 0.60 300	All in Table A.6
XS1	—	—	—	C45/55 ^{E)} 0.35 ^{F)} 380	C35/45 ^{E)} 0.45 360	C32/40 ^{E)} 0.50 340	C32/40 ^{E)} 0.50 340	C32/40 ^{E)} 0.50 340	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC
	—	—	—	C40/50 ^{E)} 0.35 ^{F)} 380	C32/40 ^{E)} 0.45 360	C28/35 0.50 340	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	IIB-V, IIIA
	—	—	—	C32/40 ^{E)} 0.40 380	C25/30 0.50 340	C25/30 0.50 340	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	IIIB
	—	—	—	C32/40 ^{E)} 0.40 380	C28/35 0.50 340	C25/30 0.50 340	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	IVB-V
XD2 or XS2	—	—	—	C40/50 ^{E)} 0.40 380	C32/40 ^{E)} 0.50 340	C28/35 0.55 320	C28/35 0.55 320	C28/35 0.55 320	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC
	—	—	—	C35/45 ^{E)} 0.40 380	C28/35 0.50 340	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	IIB-V, IIIA
	—	—	—	C32/40 ^{E)} 0.40 380	C25/30 0.50 340	C20/25 0.55 320	C20/25 0.55 320	C20/25 0.55 320	IIIB, IVB-V

Table A.4 Durability^{A)} recommendations for reinforced or prestressed elements with an intended working life of at least 50 years (continued)

Nominal cover ^{B)}	Compressive strength class where recommended, maximum water-cement ratio and minimum cement or combination content for normal-weight concrete ^{C)} with 20 mm maximum aggregate size ^{D)}								Cement/combination types
mm	15 + Δc	20 + Δc	25 + Δc	30 + Δc	35 + Δc	40 + Δc	45 + Δc	50 + Δc	
XD3	—	—	—	—	—	C45/55 ^{E)} 0.35 ^{F)} 380	C40/50 ^{E)} 0.40 380	C35/45 ^{E)} 0.45 360	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC
	—	—	—	—	—	C35/45 ^{E)} 0.40 380	C32/40 ^{E)} 0.45 360	C28/35 0.50 340	IIB-V, IIIA
	—	—	—	—	—	C32/40 ^{E)} 0.40 380	C28/35 0.45 360	C25/30 0.50 340	IIIB, IVB-V
XS3	—	—	—	—	—	—	C45/55 ^{E)} 0.35 ^{F)} 380	C40/50 ^{E)} 0.40 380	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC
	—	—	—	—	—	C35/45 ^{E)} 0.40 380	C32/40 ^{E)} 0.45 360	C28/35 0.50 340	IIB-V, IIIA
	—	—	—	—	—	C32/40 ^{E)} 0.40 380	C28/35 0.45 360	C25/30 0.50 340	IIIB, IVB-V

A dash (—) indicates that greater cover is recommended.

- ^{A)} Where appropriate, account should be taken of the recommendations to resist freeze-thaw damage (see A.4.3, Table A.8), aggressive chemicals (see A.4.4, Table A.11) and abrasion (no guidance provided).
- ^{B)} Expressed as the minimum cover to reinforcement plus an allowance in design for deviation, c. e.g. to allow for workmanship. Check the appropriate design code to see whether it is recommended that the minimum cover to prestressing steel is adjusted by a factor Δc_{dpr} .
- ^{C)} Also applies to heavyweight concrete. For lightweight concrete the maximum w/c ratio and minimum cement or combination content applies, but the compressive strength class needs to be changed to a lightweight compressive strength class (see BS EN 206-1:2000, Table A.8 and A.4.1, Note 2) on the basis of equal cylinder strength if designing to BS EN 1992.
- ^{D)} For adjustments to cement content for different maximum size of aggregate, see Table A.7.
- ^{E)} If the concrete is specified as being air entrained in accordance with the XF2 or XF4 recommendations in Table A.8, the minimum compressive strength class for corrosion induced by chlorides may be reduced to C28/35.
- ^{F)} In some parts of the UK it is not possible to produce a practical concrete with a maximum w/c ratio of 0.35.

Table A.5 Durability^{A)} recommendations for reinforced or prestressed elements with an intended working life of at least 100 years

Nominal cover ^{B)}	Compressive strength class where recommended, maximum water-cement ratio and minimum cement or combination content for normal-weight concrete ^{C)} with 20 mm maximum aggregate size ^{D)}										Cement/combination types
mm	15 + Δc	25 + Δc	30 + Δc	35 + Δc	40 + Δc	45 + Δc	50 + Δc	55 + Δc	60 + Δc	65 + Δc	
Corrosion induced by carbonation (XC exposure classes)											
XC1	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	C20/25 0.70 240	All in Table A.6
XC2	—	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	All in Table A.6
XC3/4	—	—	C40/50 0.45 340	C35/45 0.50 320	C30/37 0.55 300	C28/35 0.60 280	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	All in Table A.6 except IVB-V
	—	—	—	C40/50 0.45 340	C35/45 0.50 320	C30/37 0.55 300	C28/35 0.60 280	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	C25/30 0.65 260	IVB-V
Corrosion induced by chlorides (XS from sea water, XD other than sea water) Also adequate for any associated carbonation induced corrosion (XC)											
XD1	—	—	C45/55 0.40 380	C40/50 0.45 360	C35/45 0.50 340	C32/40 0.55 320	C28/35 0.60 300	C28/35 0.60 300	C28/35 0.60 300	C28/35 0.60 300	All in Table A.6
XS1	—	—	—	—	—	C45/55 ^{E)} 0.35 ^{F)} 380	C40/50 ^{E)} 0.40 380	C35/45 ^{E)} 0.45 360	C35/45 ^{E)} 0.45 360	C35/45 ^{E)} 0.45 360	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC
	—	—	—	C35/45 0.40 380	C32/40 ^{E)} 0.45 360	C28/35 0.50 340	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	IIB-V, IIIA
	—	—	—	C35/45 0.45 360	C30/37 ^{E)} 0.50 340	C28/35 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	IIIB
	—	—	—	C40/50 0.45 360	C35/45 0.50 340	C30/37 0.55 320	C28/35 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	IVB-V
XD2 or XS2	—	—	—	—	C35/45 ^{E)} 0.45 360	C32/40 ^{E)} 0.50 340	C28/35 0.55 320	C28/35 0.55 320	C28/35 0.55 320	C28/35 0.55 320	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC
	—	—	—	—	C32/40 ^{E)} 0.45 360	C28/35 0.50 340	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	IIB-V, IIIA
	—	—	—	—	C28/35 0.45 360	C25/30 0.50 340	C20/25 0.55 320	C20/25 0.55 320	C20/25 0.55 320	C20/25 0.55 320	IIIB, IVB-V

Table A.6 Cement and combination types ^{A)}

Broad designation ^{B)}	Composition	Comprises cement and combination types (see BS 8500-2:2006, Table 1)
CEM I	Portland cement	CEM I
SRPC	Sulfate-resisting Portland cement	SRPC
IIA	Portland cement with 6% to 20% fly ash, ground granulated blastfurnace slag, limestone, or 6% to 10% silica fume ^{C)}	CEM II/A-L, CEM II/A-LL, CIIA-L, CIIA-LL, CEM II/A-S, CIIA-S, CEM II/A-V, CIIA-V, CEM II/A-D
IIB-S	Portland cement with 21% to 35% ground granulated blastfurnace slag	CEM II/B-S, CIIB-S
IIB-V	Portland cement with 21% to 35% fly ash	CEM II/B-V, CIIB-V
IIB+SR	Portland cement with 25% to 35% fly ash	CEM II/B-V+SR, CIIB-V+SR
IIIA ^{D), E)}	Portland cement with 36% to 65% ground granulated blastfurnace slag	CEM III/A, CIIIA
IIIA+SR ^{E)}	Portland cement with 36% to 65% ground granulated blastfurnace slag with additional requirements that enhance sulfate resistance	CEM III/A+SR ^{F)} , CIIIA+SR ^{F)}
IIIB ^{E), G)}	Portland cement with 66% to 80% ground granulated blastfurnace slag	CEM III/B, CIIIB
IIIB+SR ^{E)}	Portland cement with 66% to 80% ground granulated blastfurnace slag with additional requirements that enhance sulfate resistance	CEM III/B+SR ^{F)} , CIIIB+SR ^{F)}
IVB-V	Portland cement with 36% to 55% fly ash	CEM IV/B(V), CIVB

^{A)} There are a number of cements and combinations not listed in this table that may be specified for certain specialist applications. See BRE Special Digest 1 [1] for the sulfate-resisting characteristics of other cements and combinations. See IP 17/05 [7] for the use of high ggbs content cements and combinations in secant piling applications.

^{B)} The use of these broad designations is sufficient for most applications. Where a more limited range of cement or combinations types is required, select from the notations given in BS 8500-2:2006, Table 1.

^{C)} When IIA or IIA-D is specified, CEM I and silica fume may be combined in the concrete mixer using the *k*-value concept; see BS EN 206-1:2000, 5.2.5.2.3.

^{D)} Where IIIA is specified, IIIA+SR may be used.

^{E)} Inclusive of low early strength option (see BS EN 197-4 and the "L" classes in BS 8500-2:2006, Table A.1).

^{F)} "+SR" indicates additional restrictions related to sulfate resistance. See BS 8500-2:2006, Table 1, footnote D.

^{G)} Where IIIB is specified, IIIB+SR may be used.

A.5 Selection of consistence

The consistence of fresh concrete should be suitable for the conditions of handling and placing so that after compaction, concrete surrounds all reinforcement, tendons and ducts and completely fills the formwork. Table A.16 provides guidance on the consistence expressed as slump [S(number)] and flow [F(number)] classes appropriate to different uses. Where the concrete is laid on a slope, a lower slump class than that given in Table A.16 might be necessary.

Table A.16 Consistence suitable for different uses of in-situ concrete

Use of concrete	Form of compaction	Consistence class	
		Normal-weight concrete	Lightweight concrete
Kerb bedding and backing	Tamping	S1	—
Floors and hand placed pavements	Poker or beam vibration	S2	S2
Strip footings		S3	—
Mass concrete foundations		S3	—
Blinding		S3	—
Normal reinforced concrete in slabs, beams, walls and columns	Poker or beam vibration and/or tamping	S3	S3
Sliding formwork construction		S2	S2
Pumped concrete		S3	F5
Vacuum processed concrete		S3	S3
Trench fill	Self-weight compaction	S4	—
In-situ piling		S4	—

Specified slump class	Requirement			
	For composite samples taken in accordance with BS EN 12350-1		For spot samples taken from initial discharge	
	Not less than	Not more than	Not less than	Not more than
S1	0	60	0	70
S2	40	110	30	120
S3	90	170	80	180
S4	150	230	140	240
S5	210	—	200	—

Table B.2 Identity criteria for slump specified as a target value
Dimensions in millimetres

Specified target slump	Tolerance	
	For composite samples taken in accordance with BS EN 12350-1	For spot samples taken from initial discharge
≤40	−20, +30	−30, +40
50 to 90	−30, +40	−40, +50
≥100	−40, +50	−50, +60

ACI 318M-08

**Building Code Requirements for
Structural Concrete (ACI 318M-08)
and Commentary**

An ACI Standard

Reported by ACI Committee 318

ACI 201.2R-08

Guide to Durable Concrete

Reported by ACI Committee 201

Maximum water–cementitious material ratios

(w/cm) of 0.40 to 0.50 that may be required for concretes exposed to freezing and thawing, sulfate soils or waters, or for corrosion protection of reinforcement will typically be equivalent to requiring an f_c' of 35 to 28 MPa, respectively.

TABLE 4.2.1 — EXPOSURE CATEGORIES AND CLASSES

Category	Severity	Class	Condition	
F Freezing and thawing	Not applicable	F0	Concrete not exposed to freezing-and-thawing cycles	
	Moderate	F1	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles and occasional exposure to moisture	
	Severe	F2	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles and in continuous contact with moisture	
	Very severe	F3	Concrete exposed to freezing-and-thawing and in continuous contact with moisture and exposed to deicing chemicals	
S Sulfate			Water-soluble sulfate (SO_4) in soil, percent by weight	Dissolved sulfate (SO_4) in water, ppm
	Not applicable	S0	$SO_4 < 0.10$	$SO_4 < 150$
	Moderate	S1	$0.10 \leq SO_4 < 0.20$	$150 \leq SO_4 < 1500$ Seawater
	Severe	S2	$0.20 \leq SO_4 \leq 2.00$	$1500 \leq SO_4 \leq 10,000$
	Very severe	S3	$SO_4 > 2.00$	$SO_4 > 10,000$
P Requiring low permeability	Not applicable	P0	In contact with water where low permeability is not required	
	Required	P1	In contact with water where low permeability is required.	
C Corrosion protection of reinforcement	Not applicable	C0	Concrete dry or protected from moisture	
	Moderate	C1	Concrete exposed to moisture but not to external sources of chlorides	
	Severe	C2	Concrete exposed to moisture and an external source of chlorides from deicing chemicals, salt, brackish water, seawater, or spray from these sources	

TABLE 4.3.1 — REQUIREMENTS FOR CONCRETE BY EXPOSURE CLASS

Exposure Class	Max. w/cm^*	Min. f'_c , MPa	Additional minimum requirements			
			Air content			Limits on cementitious materials
F0	N/A	17	N/A			N/A
F1	0.45	31	Table 4.4.1			N/A
F2	0.45	31	Table 4.4.1			N/A
F3	0.45	31	Table 4.4.1			Table 4.4.2
			Cementitious materials [†] —types			Calcium chloride admixture
			ASTM C150	ASTM C595	ASTM C1157	
S0	N/A	17	No Type restriction	No Type restriction	No Type restriction	No restriction
S1	0.50	28	II [‡]	IP (MS), IS (<70) (MS)	MS	No restriction
S2	0.45	31	V [§]	IP (HS), IS (<70) (HS)	HS	Not permitted
S3	0.45	31	V + pozzolan or slag	IP (HS) + pozzolan or slag or IS (<70) (HS) + pozzolan or slag	HS + pozzolan or slag	Not permitted
P0	N/A	17	None			
P1	0.50	28	None			
			Maximum water-soluble chloride ion (Cl ⁻) content in concrete, percent by weight of cement*		Related provisions	
			Reinforced concrete	Prestressed concrete		
C0	N/A	17	1.00	0.06	None	
C1	N/A	17	0.30	0.06		
C2	0.40	35	0.15	0.06	7.7.6, 18.16**	

TABLE 4.4.2 — REQUIREMENTS FOR CONCRETE SUBJECT TO EXPOSURE CLASS F3

Cementitious materials	Maximum percent of total cementitious materials by weight
Fly ash or other pozzolans conforming to ASTM C618	25
Slag conforming to ASTM C989	50
Silica fume conforming to ASTM C1240	10
Total of fly ash or other pozzolans, slag, and silica fume	50 [†]
Total of fly ash or other pozzolans and silica fume	35 [†]

*The total cementitious material also includes ASTM C150, C595, C845, and C1157 cement.
The maximum percentages above shall include:
(a) Fly ash or other pozzolans in Type IP, blended cement, ASTM C595, or ASTM C1157;
(b) Slag used in the manufacture of an IS blended cement, ASTM C595, or ASTM C1157;
(c) Silica fume, ASTM C1240, present in a blended cement.
[†]Fly ash or other pozzolans and silica fume shall constitute no more than 25 and 10 percent, respectively, of the total weight of the cementitious materials.

Table 6.3—Requirements to protect against damage to concrete by sulfate attack from external sources of sulfate

Severity of potential exposure	Water-soluble sulfate (SO ₄) in soil, % by mass*	Sulfate (SO ₄)* in water, ppm	w/cm by mass, max.†‡	Cementitious material requirements
Class 0 exposure	0.00 to 0.10	0 to 150	No special requirements for sulfate resistance	No special requirements for sulfate resistance
Class 1 exposure	> 0.10 and < 0.20	> 150 and < 1500	0.50‡	C150 Type II or equivalent§
Class 2 exposure	0.20 to < 2.0	1500 to < 10,000	0.45‡	C150 Type V or equivalent§
Class 3 exposure	2.0 or greater	10,000 or greater	0.40‡	C150 Type V plus pozzolan or slag§
Seawater exposure	—	—	See Section 6.4	See Section 6.4

*Sulfate expressed as SO₄ is related to sulfate expressed as SO₃, as given in reports of chemical analysis of portland cements as follows: SO₃% × 1.2 = SO₄%.

†ACI 318, Chapter 4, includes requirements for special exposure conditions such as steel-reinforced concrete that may be exposed to chlorides. For concrete likely to be subjected to these exposure conditions, the maximum w/cm should be that specified in ACI 318, Chapter 4, if it is lower than that stated in Table 6.3 of 201.2R.

‡Values applicable to normalweight concrete. They are also applicable to structural lightweight concrete except that the maximum w/cm ratios 0.50, 0.45, and 0.40 should be replaced by specified 28-day compressive strengths of 26, 29, and 33 MPa (3750, 4250, and 4750 psi), respectively.

§For Class 1 exposure, equivalents are described in Sections 6.2.5, 6.2.6, and 6.2.9. For Class 2 exposure, equivalents are described in Sections 6.2.5, 6.2.7, and 6.2.9. For Class 3 exposure, pozzolan and slag recommendations are described in Sections 6.2.5, 6.2.8, and 6.2.9.

ตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบคอนกรีต กรมโยธาธิการและผังเมือง

- พิจารณาสภาพแวดล้อมการใช้งาน (Exposure Class)
- ระยะหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ตามลักษณะการใช้งานของโครงสร้าง
- ความกว้างของรอยแตกร้าว (Crack Width)
- การหดตัว, อักเสบและอื่นๆ

3.2 คอนกรีตในสภาพแวดล้อมต่างๆ

ในอดีตที่ผ่านมาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีการกำหนดข้อกำหนดของคอนกรีตเป็นลักษณะเดียวกัน แม้ว่าสภาพแวดล้อมของโครงสร้างจะมีความแตกต่างกัน ทำให้โครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงมีอายุการใช้งานสั้นลง ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และซ่อมแซมสูง หากสามารถกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตโดยให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่โครงสร้างจะต้องเผชิญ ก็จะทำให้คอนกรีตมีอายุการใช้งานยาวนาน ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และซ่อมแซมในอนาคต ดังนั้น ในโครงการก่อสร้างที่มีเงื่อนไขหรือก่อสร้างในพื้นที่ที่ต้องพิจารณาความคงทนของสิ่งก่อสร้างคอนกรีตให้มีอายุการใช้งานที่ปลอดการบำรุงรักษา (Maintenance-Free Service Life) ไม่น้อยกว่า 25 ปี โดยในแบบและรายละเอียดการก่อสร้างไม่ได้ระบุลักษณะความต้องการด้านความคงทนเอาไว้ ให้พิจารณาลักษณะของความคงทนตามลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อม ดังในตารางที่ 1

ตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบคอนกรีต กรมโยธาธิการและผังเมือง

ลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อม	การออกแบบให้ค่าไปถึงหัวข้อความคงทนต่อไปนี้เป็นหลัก
2. น้ำกร่อย ก) ได้น้ำ ข) เชนิอุวิจกรเปือกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การต้านทานซัลเฟตและการเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ การต้านทานคาร์บอนชั้น และ/หรือ การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์
3. น้ำทะเล ก) ได้น้ำ ข) เชนิอุวิจกรเปือกสลับแห้ง ค) บรรยากาศบริเวณที่สัมผัสละอองน้ำได้	การต้านทานซัลเฟตและการเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ หรือ การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์และคาร์บอนชั้น
4. น้ำเสีย	การต้านทานกรดซัลฟูริก และ การต้านทานซัลเฟต หรือสารเคมีอื่นๆ
5. ใต้ดิน และ ใต้พื้นที่องทะเล ก) มีซัลเฟต ข) ไม่มีซัลเฟต	การต้านทานซัลเฟต ไม่มี
6. คัดคิวดิน (เช่น ตอม่อ คานคอดิน โครงสร้างบริเวณคัดคิวดิน) ก) สัมผัสคลอไรด์ ข) ไม่สัมผัสคลอไรด์	การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ การเป็นสนิมของเหล็กเสริม
7. บรรยากาศ (สัมผัสกับก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์)	การเป็นสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคาร์บอนชั้น
8. ในบรรยากาศที่ต้องคำนึงถึงการหดตัว แบบแห้ง (มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 100%)	การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง
9. คอนกรีตหนา เช่น เขื่อน ฐานรากขนาดใหญ่ และ โครงสร้างที่มีความหนามาก	การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ
10. ชิ้นส่วนบางต่อเนื่องที่มีการยึดรั้ง	การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว
11. งานก่อสร้างที่สัมผัสสารเคมีอื่น	ความสามารถในการต้านทานสารเคมีที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบคอนกรีต กรมโยธาธิการและผังเมือง

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ลักษณะงานก่อสร้าง	ระยะหุ้มต่ำสุด
(ก) คอนกรีตหล่อในที่	
1) คอนกรีตที่หล่อติดกับดิน โดยใช้ดินเป็นแบบ และผิวคอนกรีตสัมผัสกับดินตลอดเวลาที่ใช้งาน	75
2) คอนกรีตที่สัมผัสดิน หรือถูกแดดฝน	
สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มม.	50
สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า	40
3) คอนกรีตที่ไม่สัมผัสดิน หรือไม่ถูกแดดฝน	
ในแผ่นพื้น พนัก และตง	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 มม. ขึ้นไป	40
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 มม. และเล็กกว่า	20
ในคาน	
- เหล็กเสริมหลัก เหล็กผูกตั้ง	40
ในเสา	
- เหล็กปลอกเดี่ยวหรือปลอกเกลียว	40
(ข) คอนกรีตหล่อสำเร็จ (ควบคุมคุณภาพจากโรงงาน)	
1) คอนกรีตที่สัมผัสดิน หรือถูกแดดฝน	
ในแผ่นพื้น	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 มม. ขึ้นไป	40
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 มม. และเล็กกว่า	20
ในองค์อาคารอื่น	
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 มม. ขึ้นไป	50
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มม. ถึง 36 มม.	40
- สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า	30

4.2 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

โดยปกติจะกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพื่อให้ได้กำลังอัดของคอนกรีตตามต้องการ แต่สำหรับลักษณะงานก่อสร้างและสภาพแวดล้อมดังที่กำหนดในหัวข้อ 3.2 เพื่อให้คอนกรีตมีความคงทนต่อการเสื่อมสภาพและสามารถป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ จำเป็นต้องกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้ต่ำ ถึงแม้ว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จะ สูงกว่ากำลังอัดที่ต้องการในการรับน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบก็ตาม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงสุดให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงสุด

- | | |
|--|------|
| 1) คอนกรีตที่ต้องการความทึบน้ำ..... | 0.50 |
| 2) คอนกรีตในสถานะที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมหรือการเสื่อมสภาพของคอนกรีต
ระดับปานกลาง..... | 0.50 |
| 3) คอนกรีตในสถานะที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมหรือการเสื่อมสภาพของคอนกรีต
ระดับรุนแรง..... | 0.45 |

ตารางที่ 13 ระดับความรุนแรงของสภาพแวดล้อมที่มีโซเดียมซัลเฟต
(ข้อ 7.1)

ความรุนแรงของสภาพแวดล้อม	ความเข้มข้นซัลเฟต (SO_4^{2-})	
	ในน้ำ (ppm)	ปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำได้ในดิน (% โดยน้ำหนักของดิน)
สภาวะทั่วไป	น้อยกว่า 150	น้อยกว่า 0.1
เสี่ยงต่อซัลเฟตปานกลาง	150 – 1500	0.1 – 0.2
เสี่ยงต่อซัลเฟตรุนแรง	1500 – 10000	0.2 – 2.0
เสี่ยงต่อซัลเฟตรุนแรงมาก	มากกว่า 10000	มากกว่า 2.0

ตารางที่ 14 ข้อกำหนดของคอนกรีตเพื่อให้ความทนต่อโซเดียมซัลเฟต
(ข้อ 7.1)

ความรุนแรงของ สภาพแวดล้อม	ชนิดวัสดุประสานที่ควรใช้	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ ประสานสูงสุด
สภาวะทั่วไป	ไม่จำกัด	-
เสี่ยงต่อซัลเฟตปานกลาง	2 หรือ 5 หรือ 1 กับสารปอซโซลาน	0.50
เสี่ยงต่อซัลเฟตรุนแรง	5 หรือ 1 กับสารปอซโซลาน	0.45
เสี่ยงต่อซัลเฟตรุนแรงมาก	1 กับสารปอซโซลาน หรือ 5 กับสารปอซโซลาน	0.40

IN SITU CONCRETE FOR INDUSTRIAL PAVING

D. P. Maynard BSc(Eng), CEng, MICE, FIHT, MBIM

This Guide is for engineers, architects and contractors concerned with the design, supervision and construction of concrete paving for external industrial uses. It offers guidance on the specification of the concrete and on the design and construction of the complete pavement.

INTRODUCTION

The inherent durability of concrete makes it the most suitable material for surfacing pavements to withstand the rigours of all forms of traffic, and especially the heavy and frequently applied loads experienced in

from the finished pavement. Straight crossfalls and longitudinal falls should be used, the minimum crossfalls being 1.5% where practicable. The extent of the paving may well necessitate the adoption of a series of valleys rather than one plane surface. The thickness of its various layers should be constant throughout the site and therefore the formation should

Concrete Recommendation for Pavement Use

Minimum cement content	350 kg/m ³
Maximum free water/cement ratio (by weight)	0.5
Maximum aggregate size	20 mm
Fine aggregate content (by weight of total aggregate)	35-40%
Air content (by volume)	5±1½%
Workability (target)	50 mm slump

NZS 3101⁷ sets out requirements for the minimum f'_c depending on member and type of traffic. These are summarised in Table 1.4. It must be emphasised that these are minimum strengths and serve as a guide only.

New Zealand Standard

Minimum compressive strength for tired traffic

TABLE 1.4

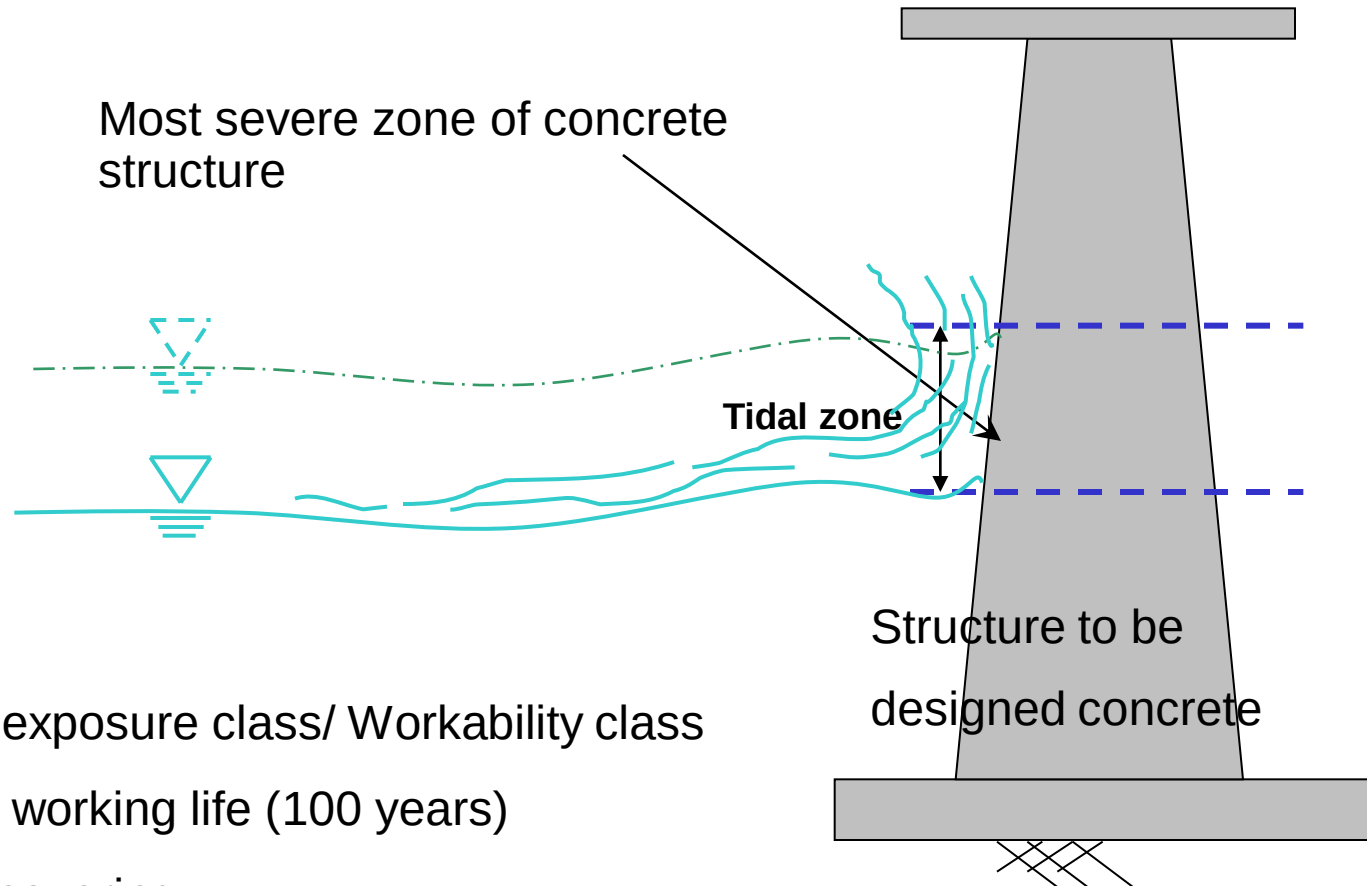
Minimum concrete strength for abrasion resistance

Member and type of traffic	Minimum characteristic strength, f'_c (MPa)
Floors in commercial areas subject only to pedestrian and/or light trolley traffic	25
Floors subject only to light pneumatic-tyred traffic (vehicles < 3t gross)	25
Floors in warehouses and factories subject to medium or heavy:	
• pneumatic-tyred traffic (> 3t gross)	30
• non-pneumatic-tyred traffic	40
• steel-wheeled traffic	≥40 (to be assessed)

ตัวอย่างการออกแบบคอนกรีตเพื่อความคงทน

Designation for environment (BS 8500-1, 2006)

*** ตัวอย่างการออกแบบคอนกรีตตามมาตรฐาน BS 8500 (สิ่งแวดล้อมชายฝั่งทะเล)



Steps:

- Define exposure class/ Workability class
- Design working life (100 years)
- Select covering
- Cement combination types

Design working life 100 years (BS 8500, 2006)

Corrosion induced by chlorides from sea water (XS classes) ^{A), D)}

(where concrete containing reinforcement or other embedded metal is subject to contact with chlorides from sea water or air carrying salt originating from sea water)

XS1	Exposed to airborne salt but not in direct contact with sea water	External reinforced and prestressed concrete surfaces in coastal areas
XS2	Permanently submerged	Reinforced and prestressed concrete surfaces completely submerged and remaining saturated, e.g. concrete below mid-tide level ^{C)}
XS3	Tidal, splash and spray zones	Reinforced and prestressed concrete surfaces in the upper tidal zones and the splash and spray zones ^{E)}

Table A.5 Durability ^{A)} recommendations for reinforced or prestressed elements with an intended working life of at least 100 years (continued)

Nominal cover ^{B)} mm	Compressive strength class where recommended, maximum water-cement ratio and minimum cement or combination content for normal-weight concrete ^{C)} with 20 mm maximum aggregate size ^{D)}										Cement/combination types
	15 + Δc	25 + Δc	30 + Δc	35 + Δc	40 + Δc	45 + Δc	50 + Δc	55 + Δc	60 + Δc	65 + Δc	
XD3	—	—	—	—	—	—	—	C45/55 ^{E)} 0.35 ^{F)} 380	C40/50 ^{E)} 0.40 380	C35/45 ^{E)} 0.45 360	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC
	—	—	—	—	—	C40/50 ^{E)} 0.35 ^{F)} 380	C35/45 ^{E)} 0.40 380	C32/40 ^{E)} 0.45 360	C28/35 0.50 340	C25/30 0.55 320	IIB-V, IIIA
	—	—	—	—	—	C32/40 ^{E)} 0.40 380	C28/35 0.45 360	C25/30 0.50 340	C25/30 0.55 320	C25/30 0.55 320	IIIB, IVB-V
XS3	—	—	—	—	—	—	—	—	C45/55 ^{E)} 0.35 ^{F)} 380	C40/50 ^{E)} 0.40 380	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC
	—	—	—	—	—	C40/50 ^{E)} 0.35 ^{F)} 380	C35/45 ^{E)} 0.40 380	C32/40 ^{E)} 0.45 360	C28/35 0.50 340	C25/30 0.55 320	IIB-V, IIIA
	—	—	—	—	—	C32/40 ^{E)} 0.40 380	C28/35 0.45 360	C25/30 0.50 340	C25/30 0.50 340	C25/30 0.50 340	IIIB, IVB-V

A dash (—) indicates that greater cover is recommended.

Combination types from BS 8500 (2006)

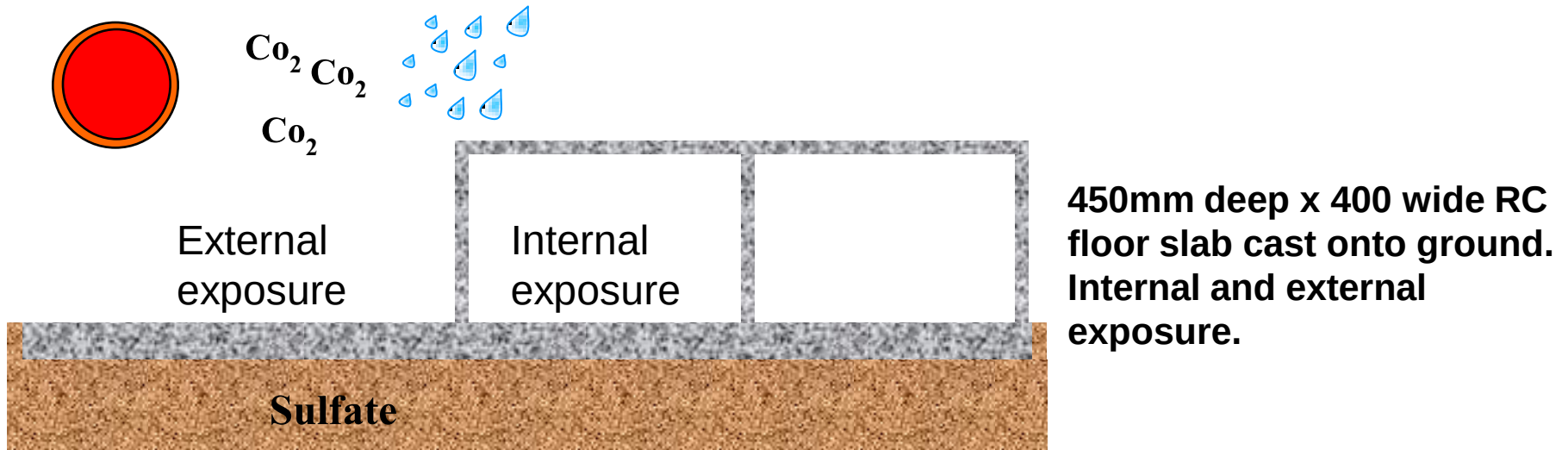
Table A.6 Cement and combination types ^{A)}

Broad designation ^{B)}	Composition	Comprises cement and combination types (see BS 8500-2:2006, Table 1)
CEM I	Portland cement	CEM I
SRPC	Sulfate-resisting Portland cement	SRPC
IIA	Portland cement with 6% to 20% fly ash, ground granulated blastfurnace slag, limestone, or 6% to 10% silica fume ^{C)}	CEM II/A-L, CEM II/A-LL, CIIA-L, CIIA-LL, CEM II/A-S, CIIA-S, CEM II/A-V, CIIA-V, CEM II/A-D
IIB-S	Portland cement with 21% to 35% ground granulated blastfurnace slag	CEM II/B-S, CIIB-S
IIB-V	Portland cement with 21% to 35% fly ash	CEM II/B-V, CIIB-V
IIB+SR	Portland cement with 25% to 35% fly ash	CEM II/B-V+SR, CIIB-V+SR
IIIA ^{D), E)}	Portland cement with 36% to 65% ground granulated blastfurnace slag	CEM III/A, CIIIA
IIIA+SR ^{E)}	Portland cement with 36% to 65% ground granulated blastfurnace slag with additional requirements that enhance sulfate resistance	CEM III/A+SR ^{F)} , CIIIA+SR ^{F)}
IIIB ^{E), G)}	Portland cement with 66% to 80% ground granulated blastfurnace slag	CEM III/B, CIIIB
IIIB+SR ^{E)}	Portland cement with 66% to 80% ground granulated blastfurnace slag with additional requirements that enhance sulfate resistance	CEM III/B+SR ^{F)} , CIIIB+SR ^{F)}
IVB-V	Portland cement with 36% to 55% fly ash	CEM IV/B(V), CIVB

Designation for marine concrete (BS 8500, 2006)

	Working life 50 years	Working life 100 years
Exposure class	XS3	XS3
Strength class	C 40/50	C 40/50
Min. covering	50 mm	65 mm
Min. cement	380 kg/m³	380 kg/m³
Max W/B	0.40	0.40
Combinations	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC	CEM I, IIA, IIB-S, SRPC

Example of High Performance Concrete Structure Designation



- Near to the coast (10 km)
- Soil conditions: Groundwater sulfate = 4200 mg/l SO_4
- Brownfield site, mobile groundwater pH = 3.1
- Max Agg size = 20mm
- Nominal cover = 50mm, Margin = 25mm (cast against ground)
- Structural requirement = C25/30
- Designed Life 50 years

Q&A

Thank You