Civilittee

اللجنة الأكاديمية لقسم الهندسة المدنية

دفتر

مواد البناء

اعداد الطالب

هاني الجليلاتي

/groups/Civilittee

civilittee-hu.com

أرخص من حيث التكلفة

Cement + water → cement paste (عجينة الاسمنت) → hardens with time
(Portland في أول ما أنتج في)

Cement + water + Sand (fine aggregate الركام) → cement mortar (المونة) الملاط (المصارة)

Cement + water + coarse aggregate (الركام الخشن) + optional [admixtures, Pozzolars, ⋮, etc] → Concrete (مكونات الخرسانة)

* الأغلى ثمنًا من هذه المكونات هو الاسمنت

* Shrinkage (الانكماش)

- كلما زادت كمية الاسمنت تزداد كمية الانكماش وبالتالي تزداد كمية التشققات في المبنى
- الـconcrete مفضل بسبب تكلفته البسيطة وتسببه للتشققات قليلة جدًا

cement + water + ... → hydration of cement (الماء من الاسمنت) + heat ↑

└ chemical reaction (slow reaction) (heat of hydration)

- يزداد تفاعل الاسمنت مع الماء كلما زادت درجة الحرارة وبالعكس
- من غير المستحب أن يتم الصب تحت خمس درجات مئوية

ASTM : America standard
BSI : British standard
EN : Europian
ACI : American

Production of cement

calcite SiO_2 (رمل) burn 1450 c° (1400 c°)

$CaCO_3$ + clay → raw material for cement (clinker) → crushing to a very fine material (cement)

طين

مواد الخام

(clinker) → المادة الخام للاسمنت

$CaSO_4$

- الفرن الذي يتم به حرق الـ calcite والـ clay يسمى الـ kiln (فرن) ويوضع بشكل مائل
- الكلفة الرئيسية تكمن في الـ heat والتسخين يتم باستخدام النفط لذلك سعر الاسمنت يعتمد على سعر النفط بشكل طردي والتسخين يأخذ نسبة 70% من سعره و 30% للكهرباء والـ Energy نستهلكه تأتي عملية الاحتراق.

Basic chemistry of cement

Basic oxides:
- CaO ≃ 2/3 cement → combined with other oxides
- SiO_2
- Al_2O_3
- Fe_2O_3

other oxides:
- flash set

- Table 2.1 (Main compounds in Portland cement) page 10

Name of compound	Oxide composition	Abbreviation
Tricalcium silicate	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Dicalcium silicate	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Tricalcium aluminate	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetracalcium aluminoferrite	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

minor compound
مركبات بسيطة

- عندما يتم التحكم بخواص الاسمنت يتم التلاعب بنسب المواد السائدة.
- ليتم تباطؤ تفاعل الـ cement مع الماء يتم إضافة نسبة %(2-4)
من مادة الـ Gypsum (أي حتى لا يحدث إجهاد مفاجئ للاسمنت)
- أقل من 2% لا يفيد
بينما أكثر من 4% يضر وذلك بسبب

cement + water $\longrightarrow$ solid material (gradually)

$SO_4^{=} + C_3A + H_2O \longrightarrow$ Ettringite هو الذي يبطئ حدوث التفاعل الكيميائي

$CaSO_4$
clinker

expansive (تمدد) and disruptive (تكسر) $> 4\%$

* يتم إضافة الجبس مع clinker بالاعتماد على C_3A ومواد ثانوية أخرى
ليتم تنعيم الاسمنت. ولمعادلة زيادة كمية C_3A
و يتم تقليل التمدد و التكسر للاسمنت بتقليل مدة التفاعل

- C_3S } مكونات
- C_2S } رئيسية للاسمنت
- C_3A }
- C_4AF }
- $CaSO_4$ (2–4)% جبس

- minor oxidies ($Alklis$, K_2O, Na_2O, MgO, Mn_2O_3, TiO_2, Free CaO)

- cement + water → new material

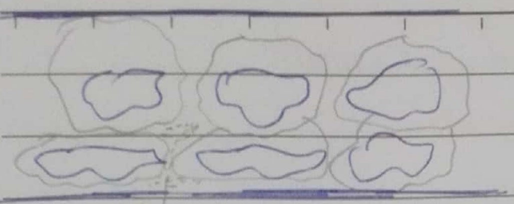
* أول مادة تتفاعل مع الماء هي C_3A

Table (Heat of hydration of pure compounds) ص١٤

compound	Heat of hydration (J/g)
C_3A	867 ≃ 750
C_3S	502 ≃ 500
C_2S	260 ≃ 250

* C_3A ممتاز للسن بعث خلال ٢٤ ساعة
فكلما كان C_3A في الاسمنت أكثر يكون الاسمنت أقوى خلال ٢٤ ساعة
* C_3S يبدأ تفاعله بعد ساعة أو ساعتين و يرفع من قيمة الـ strength
ويستمر لمدة يومان ولكن ببطء أشد من الـ C_3A
* C_2S يبدأ تفاعله بعد أسبوعين عندما ينتهي C_3A و C_3S
ولكن تفاعله يبقى لمدة طويلة لذلك هو المسؤول عن الـ strength
من اسبوعين إلى طول العمر في الخرسانة

* C_3A ممتاز للـ Strength ولكن فيه عيب لأنه يتفاعل مع SO_4 (الكبريتات)
وعند تفاعله يتكون الـ Ettringite وكلما كانت كمية الـ Ettringite
كبيرة زادت التشققات وتكسر الخرسانة.
وكلما كانت الـ heat of hydration أعلى (كانت التشققات الحرارية أعلى)



capillary pores → الماء الذي فيها يمكن أن تتبخر وهي متصلة بالسطح الخارجي وكلما كانت أقل زادت الخرسانة جمالاً وقوة

* حتى يستمر تفاعل الاسمنت لابد من سقايته بالماء بشكل مستمر ولأوقات محددة.
وحتى يتم غلق الـ cappillary pores لابد من سقاية الخرسانة بالماء.

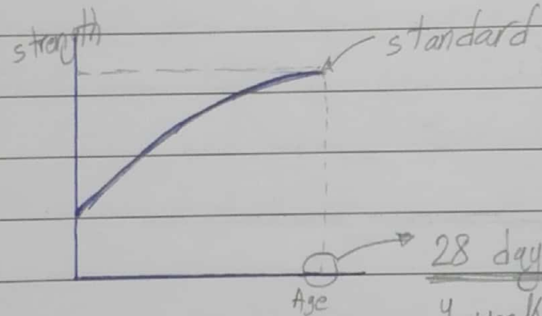
Types of cement

يستعمل في المناطق العادية وهو ارخص ثمناً

① Ordinary Portland cement (OPC) — الاسمنت البورتلاندي العادي

ميزاته ⟹ $C_3A = 12\%$

هو أقصى stress : strength تتحمله المادة قبل الانهيار



24 ص

28 day / 4 week (الخليج ، بريطانيا)

نحقق قوة الخرسانة بنسبة 85% بعد 28 يوم في الظروف المثالية

② sulfate resisting Portland cement (SRPC)

$C_3A \le 5\%$, typically (شائع) 4%

* تم اختراعه لاستخدامه بعيداً عن الاماكن التي تكثر فيها الكبريتات حتى لا تتفاعل مع C_3A ويكون الـ Ettringate وتتشقق الخرسانة.

(كلورايد) $Cl^- + C_3A \xrightarrow{H_2O}$ stable material ⟶ مشكلة النوع الثاني

* نقص C_3A يشكل الصدأ
لذلك يجب فحص التربة لمعرفة أي اسمنت أفضل ليتم استخدامه
فاذا كانت الكبريتات أكثر نختار الـ sulfate
و إذا كانت الكلوريدات أكثر نختار الـ ordinary

③ Modified sulfate resisting Portland cement (MSRPC)

* تم اختراعه إذا تم إيجاد الكبريتات والكلوريدات معًا
كمثال المناطق البحرية (ما عدا البحر الميت لأنه يحوي نجبة كلوريدات عالية)

$C_3A \simeq 8\%$

④ Rapid-harding Portland Cement (RHPC) → في الأوقات الباردة فقط

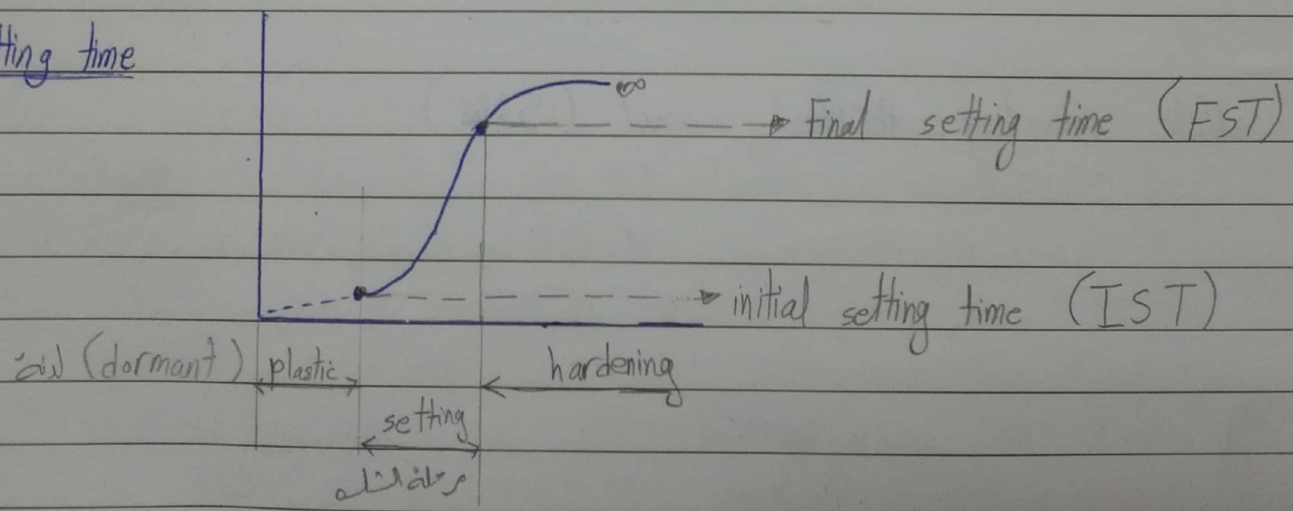
$C_3A \simeq 15\%$ (12–15)%

high C_3S, low C_2S ← ميزاته

* يجب مراعاة نسبة C_3A وعدم قربه من منطقة تحوي كبريتات
أيضًا لأن C_3A و C_3S (زادوا) و (C_2S) قلت إذا الـ heat
ارتفعت وعند صبه في الأماكن الحارة ينتج مشكلة كبيرة جدًا.

Circular channels (sewors) ?!

setting time

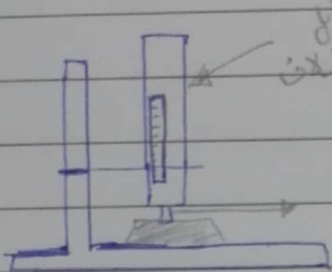


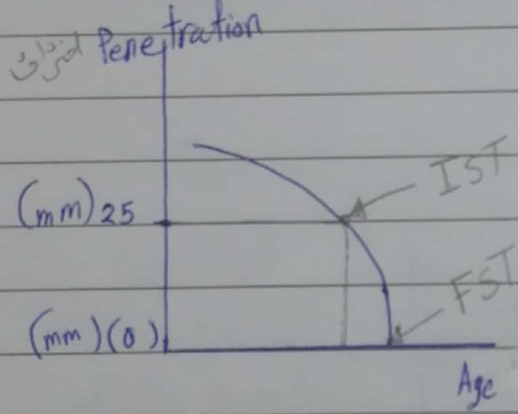
* في Plastic نستطيع الصب
في setting نمنع القرب منها ، في الـ hardening يصبح التعامل عليها عادي

* (IST) و (FST) يجب معرفتهم دائماً لأنهم يتغيرون حسب نوع الاسمنت ودرجة الحرارة

• لقياس (FST) و (IST) يستخدم جهاز (Vicat Apparater)
جهاز

طريقة القياس :
حسب الطريقة الأمريكية (ASTM)

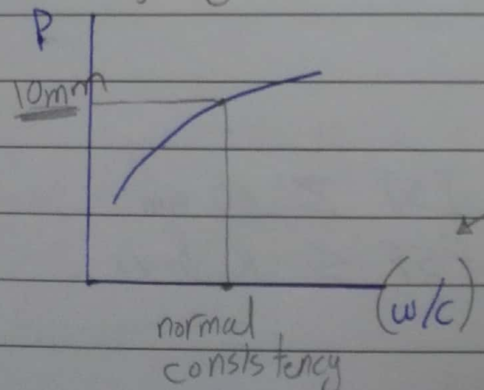


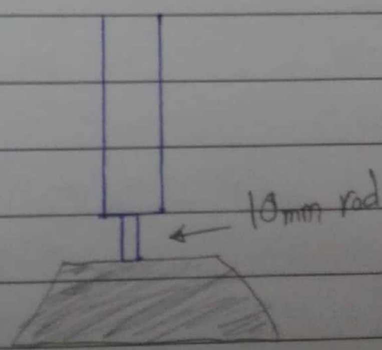


(عند درجة حرارة 20°
ويبقى خمس ثوان بعد نزول الابرة)

* لمعرفة كمية الماء المناسبة لوضعها على العينة التي سيتم تحديد
(IST) و (FST) لها يجب اجراء التجربة الآتية :

Normal cosistency
الناشف العلي





c	w	Penetration	w/c
1000	200	3 mm	0.2
1000	250	2 mm	0.25
1000	300	17 mm	0.3

مثال

- IST —— Vicat في → $IST \geq 45$ min
- FST —— Vicat في → $FST \leq 6\frac{1}{4}$ hrs

تقريبية

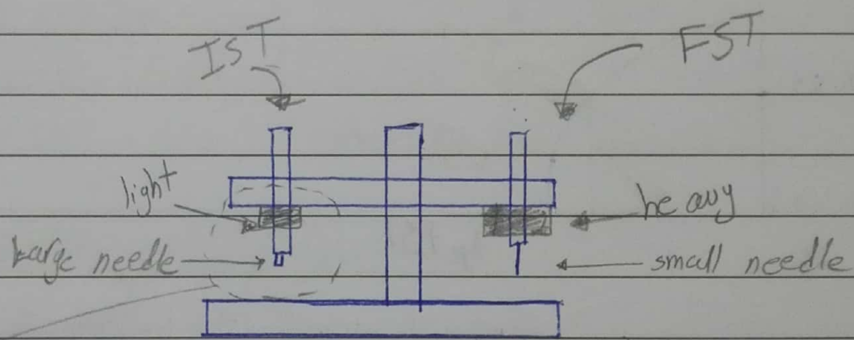
- Estimate : vicat

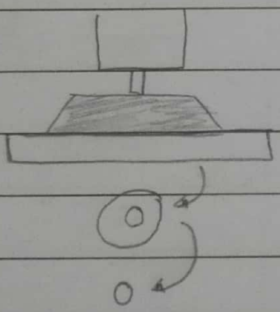
$FST = 1.2\ IST + 90$ min

$= 1.5\ IST + 45$ min

- طريقة أخرى لقياس الـ setting time

Gillmore method





* عندما تختفي الدائرة الكبيرة
نعتبر عندها IST
وكذلك لل FST

Gillmore : $IST \geq 60$ min
$FST \leq 10$ hours

عيوبه : أقل دقة من vicat
نتائجه مختلفة عن vicat
هذا الجهاز لا يقيس (normal consistence) لذلك نحتاج لـ vicat
نادر الاستعمال

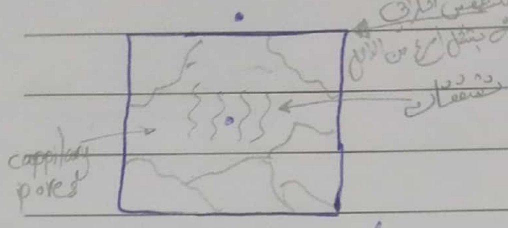
Types of cement

(5) Low heat cemet (LHPC)

Portland

في بعض الحالات (كالسدود) حاجة
نصب كمية كبيرة من الباطون يرتفع الحرارة و
مع ارتفاع درجة الحرارة في الداخل مقارنة في الخارج
تتمدد الخرسانة فيحدث تشققات والتشققات هذه
يمكن أن تتصل مع الـ Cappilary ومنها تتسرب المياه.
لذلك تم تصنيع (LHPC).

من أجل ذلك تم صنف



mass concrete

* هذا الاسمنت الهدف منه تقليل الحرارة وبنفس الوقت يقاوم الكبريتات ولكن لا يقاوم الكلوريدات.

ميزاته: $5\% < C_3A$

Low C_3S

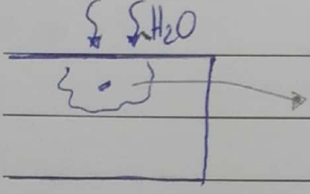
high C_2S

(6) Pozzolanic Portland cement (PPC)

(الجير المطفأ) هيدروكسيد الكالسيوم

cement + water → solid material + $Ca(OH)_2$

نسبته 25% من الخرسانة



Leaching of $Ca(OH)_2$

عملية خروج $Ca(OH)_2$ من الباطون تحدث عند تعرض الباطون للماء

* عيوبه عند ذوبانه في الماء تخرج من خلال (cappilary pores) ويترك مكانه فارغاً إما للكبريتات أو الكلوريدات

$$C_3A + H_2O + SO_4'' + Ca(OH)_2 \Longrightarrow \text{Ettringite}$$

* وجود $Ca(OH)_2$ يزيد من خطورة الخرسانة لحدوث الـ Ettringite
* للتخلص من مشكلة الـ Ettringite يتم استخدام مادة الـ Pozzolans

17/2

$H_2O + \text{Poozolans} + Ca(OH)_2 \longrightarrow$ stable material

very slow reaction

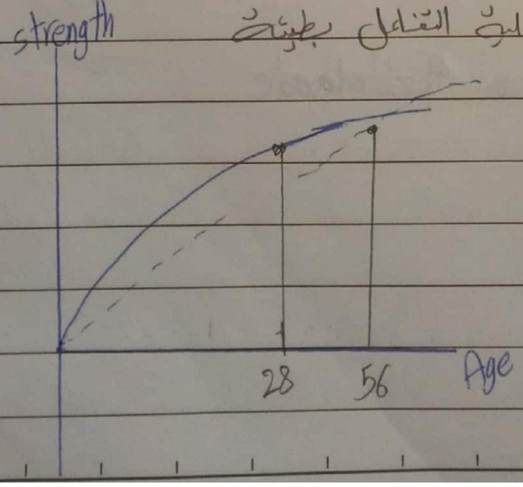
* حتى يتفاعل الـ Poozolans لابد من تواجد الـ $Ca(OH)_2$
ولوجود الـ $Ca(OH)_2$ لابد من تفاعل الماء مع الاسمنت في البداية

Poozolans
- Natural (Type N) — في الطبيعة
- Artificial — اصطناعي
  - Fly ash (Type F) — رماد متطاير
  - High calcium Fly ach (Type C) — فيه CaO عالي جدا

* أهم المواد الكيميائية التي يتكون منها الـ Poozolans (CaO , SiO_2)
وهما كذلك من مكونات الاسمنت

Natural Poozolan :

* يأتي من الرماد البركاني ، له ما يسمى بالـ (Poozalanic effect)
* عند اضافة الـ Poozolan يتم تقليل الكلفة والتقليل من تفاعل الـ ($Ca(OH)_2$)
وبالتالي تقليل الفراغات ولكن عملية التفاعل بطيئة



—— OPC
- - - Poozolan cement

لسيم تكونه من خلال الاسمنت مع الـ Poozolan

عيوب الـ natural Poozolan :

(*) يحتاج لمعالجة رطبة مياه أكثر من الـ OPC حتى يصل للـ strength الذي يجب العمل عليه

Fly ash

* Type (C) هو نفس (Type F) ولكن الـ CaO فيه عالٍ جداً
* يتم الحصول على الـ Fly ash من خلال المداخن الاحتراق في المصانع

من العيوب الأخرى للـ Poozolans :

الاسمنت عندما يتفاعل مع الماء يعطيني مادة جديدة وهي قلوية والـ PH

PH ~ 13 (Fresh concreate)

ولكن الـ PH تقل مع الزمن لأسباب معينة

If PH → 10.5 (13 – 10.5) لا يحدث صدأ الحديد

= 10.5 يحدث صدأ الحديد

ومقطع الحديد يقل ويضعف قوة تماسكه مع الباطون

وصدأ الحديد عبارة عن ($Fe(OH)_3$) ويمتاز بأنها ثابتة طالما

If PH 9.5

(10.5 – 9.5) → يحدث صدأ ويتوقف

أما أقل من 9.5 فإن عملية الصدأ تستمر وتستهلك من الحديد ويؤثر على الخرسانة وتسمى بالـ (corrosion) تآكل

PH ≤ 7 → (severe corrosion) تآكل شديد

* عندما يتفاعل الـ Poozolan مع الاسمنت فإن الـ PH تبدأ من 12

PH ~ 12

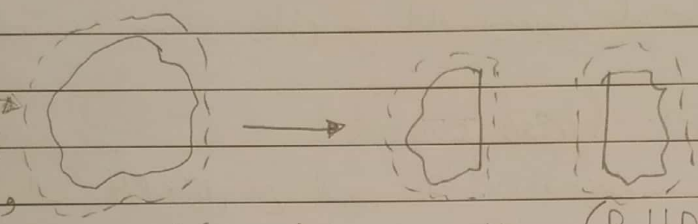
لذلك من المتوقع أن الذي يصدأ بشكل أسرع هو الذي يحتوي على Poozolans

* الـ Poozolans بتقلل من الـ cappilary pores
ولكن بنفس الوقت بتسرع من عملية صدأ حديد التسليح

(7) Extra (ultra) Rapid-hardening Portland cement (RHPC)

* هذا أسرع من الـ (RHPC) في التفاعل
والحرارة الناتجة عنه أعلى وهو نفس التركيبة

* كيفية انتاجه :



تفاعل احسن مع الماء ويتم تقسيم الجزئ لاثنين

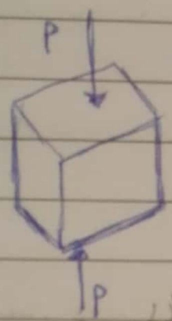
* هو نفس الـ (RHPC) ولكنه ذو تفاعل أعلى
لأنه أنعم ويستخدم في الدول الباردة
لأنه لحما ملك الحرارة أبث عن تفاعل يعطي حرارة أكثر
ولا يصلح في الوطن العربي

Strength of cement

- compressive
- tensile
  - direct
  - indirect
    - splitting شق
    - flexural

* الخرسانة قوية للضغط وضعيفة للشد لأجل ذلك يصمم على أن تكون مقاومة للضغط عالية
ومقاومتها لقوى الشد شبه معدومة لأجل ذلك يوضع حديد التسليح

Compressive →



يتم قياس الـ C. cement :

بـ عمل مكعبات مقاساتها ← 50 mm (2") insh

مكونات المكعب (العينة) Cement + water + sand $\xrightarrow{\text{ومن ثم كسره وتطبيق المعادلة}}$ $\sigma_c = \frac{P}{A}$

* شروط الاختبار :

① توحيد نسبة الماء للاسمنت w/c

② توحيد نسبة الرمل للاسمنت s/c

③ sand $\xrightarrow{\text{الرمل المتفق عليه}}$ ottawa snand

رمل عالي الجودة يتم استعماله لاختبار جودة الاسمنت وفقاً للطريقة الأمريكية (ASTM)

④ العمر ثابت والـ (OPC) وهو 28 يوم

⑤ درجة الحرارة 20c (under water)

* طريقة الاختبار :

① يتم أخذ ٣ عينات 3 samples (min) → ($\sigma_{c_1}, \sigma_{c_2}, \sigma_{c_3}$)

• كلما أخذت عينات أكثر تحصل على نتائج أدق

② $\sigma_{ave} = \frac{1}{n} \sum \sigma_c$

③ variation ± 10% (عينات النتائج يجب ان تكون متقاربة)

Ex

$\sigma_{1_c} = 27$ MPa

$\sigma_{2_c} = 30$ MPa → $\sigma_{av} = 31$ MPa

$\sigma_{c_3} = 36$ MPa

Range = $\sigma_{ave} \pm 0.1\, \sigma_{ave}$

Range 31 ± (.10)(31)
= (27.9 − 34.1)

* جدول ص C. ② مهم
لعينة وقت اختبار الاسمنت المتفق عليه

النهائي $\boxed{\sigma_{ave} = 28.5 \text{ MPa}}$

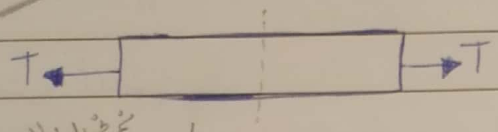
* اذا وقعت القيم داخل الـ Range صحيحة
واذا وقعت قيم خارج الـ Range تُهمل ونوخذ الـ avg القيم الداخلة فقط
واذا وقعت كل القيم خارج الـ Range فان الاختبار خاطئ فاشل

Tensile direct

غير دقيقة

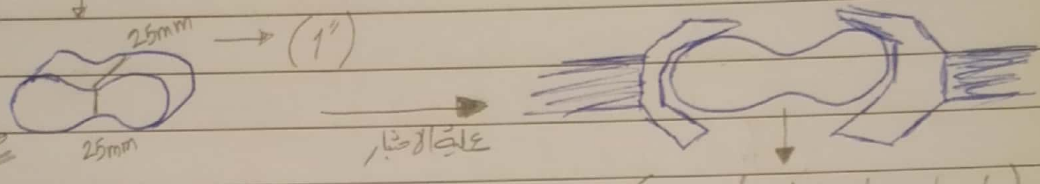
نجد له في دراسة الثلاثيها

اختبار الشد :



$\sigma_T = T/A$

تم تحويلها للشكل التالي حتى لا تنكسر عند الشد



قالب برطوبة

عملية الاختبار

(direct tensile test)

* ويجب أخذ مجموعة تجارب ⟵ $\sigma_{T_1}, \sigma_{T_2}, \sigma_{T_3}$

$\sigma_{ave} = \frac{1}{n} \sum \sigma_T$, $Range = \sigma_{ave} \pm 0.15\, \sigma_{ave}$

$\boxed{Ex}$ $\sigma_{T_1} = 27$, $\sigma_{T_2} = 30$, $\sigma_{T_3} = 36$ ⟵ لا تقع داخل الـ range

$\sigma_{ave} = 31$ MPa , $Range = (26.35 - 35.6)$

$\therefore \sigma_{ave} = 28.5$ MPa

اخذت الـ avg للعينات التي داخل الـ range

اختبار أمريكي آخر ولكن معتمد أيضًا ← CRD-C 260-01

Table 2 Tensile Strength[A]

	Cement Type				
	I OPC	II MPC	III RHPC	IV LHPC	V SRPC
1 day in moist air, psi (kPa)	. . .	. . .	275 (1896)	. . .	. . .
1 day in moist air, 2 days in water, psi (kPa)	150 (1034)	125 (862)	375 (2586)	. . .	. . .
1 day in moist air, 6 days in water, psi (kPa)	275 (1896)	250 (1724)	. . .	75 (1207)	250 (1724)
1 day in moist air, 27 days in water, psi (kPa)	350 (2413)	325 (2241)	. . .	300 (2068)	325 (2241)

[A] Taken from Specification C 150 - 58 without change.

24/2

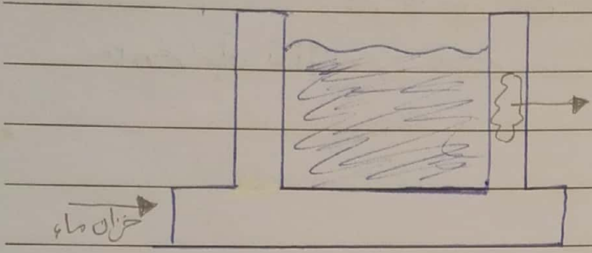
Types of Cement

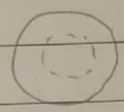
مواده الكيميائية مختلفة عن الـ OPC

8 Expansive Cement (non Portland)

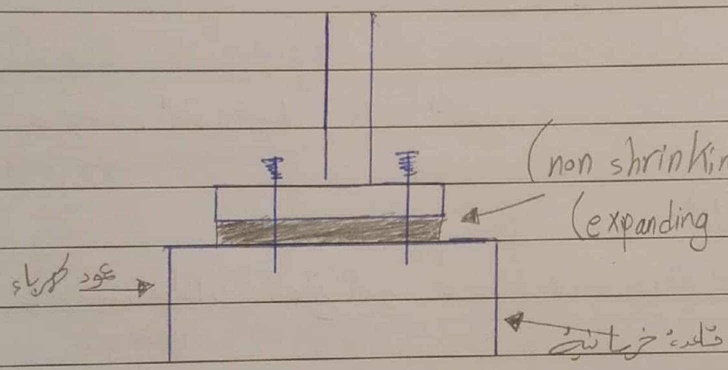
* هذا الاسمنت عندما يتفاعل حجمه يزداد وبالتالي تزداد الفراغات ويحميان بسيطة
بينما الاسمنت العادي يحصل له Shrinkage

* سبب استعماله :





* أكثر اسمنت بستعمل
لملئ الفراغات (خزان الماء)



الاسم الآخر لـ Expansive

9 colored cement

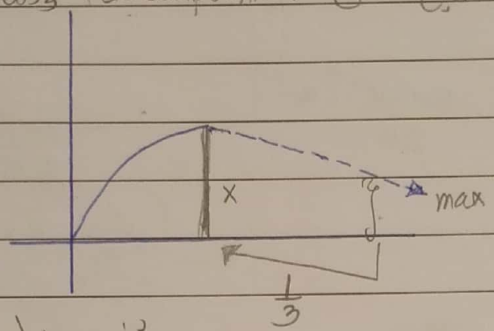
الاسم السوقي (رشة الشبريز)

* اسمنت + الصبغة مثال (الحجارة الخارجية للمنازل)
* الصبغة تضعف قوة الاسمنت 5%
* وهو أغلى من الاسمنت العادي
* هو اسمنت بورتلاندي أو غير بورتلاندي مع الصبغة

(10) High-alumina Cement (HAC)

* ونشبه : اكتشف في انجلترا ، الـ strength بعد 24 ساعة تساوي الـ strength بعد 28 يوم لـ OPC
وهو غالي الثمن ولكنه بوفر وقت طويل وهو حاليا يستعمل للديكور ولونه أبيض
* نسبة الـ alumina عالية ولكنه غير بورتلاندي

تغير
* المادة الصلبة له يحصل لها نوع من التغيير نسميه (decomposition) وذلك مع الزمن
مقارنة بالـ OPC بتبقى ثابتة



* تغيره يزداد مع ازدياد درجات الحرارة
تزداد (decomposition)

* ابعد عن الشر وغنيله

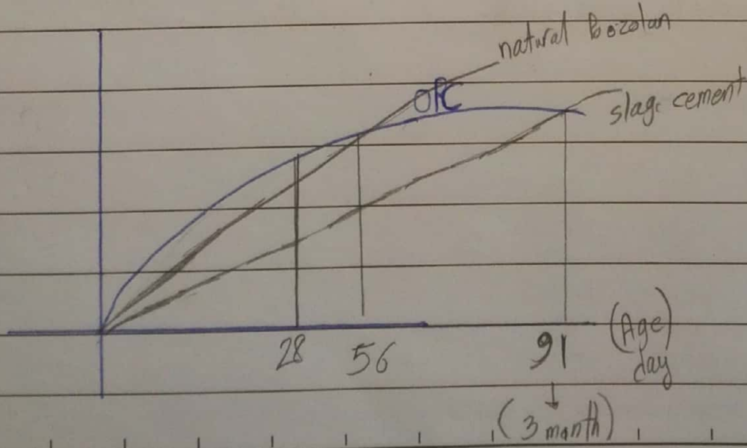
(11) Slag Cement (supersulfated)

يأتي من مخلفات مصانع الحديد * يتم استعماله في البر المبنت مثلاً

التركيب الرئيسي SiO_2 و CaO ⟶

$\simeq$ (70-85)% slag + OPC + . . . ⟶ اسمنت رخيص
90%

* أفضل نوع مقاوم للكبريتات وتفاعله بطيء جداً فالمادة الناتجة fine material
من أجل ذالك يقلل الـ cappilary pores
ولكن عيبه الكبير أن الـ Strength : بطيء جداً مقارنة بالـ OPC



Five Apple

Scanned by CamScanner

(12) White Cement

* لا يختلف عن الاسمنت العادي سوى مواد الخام

صخر الجير
lime stone + china clay
بدل الـ clay

* سعره عالٍ لأن الـ (china clay) عالٍ
* يستخدم الديكورات
* أحد مساوئه أن الـ (shrinkage) عالٍ

---

* الانواع التي تُصنع في الأردن

OPC
SRPC
PPC
white cement

Basic chemistry of cement

C_3S
C_2S → نقوم بعمل الاسمنت
C_3A
C_4AF

+ $CaSO_4$ (2-4)%
+ minor compounds
  - K_2O , Na_2O → Alklaeis
  - MgO , free CaO → أي من الاثنين
  - TiO_2 , MnO_2

* TiO_2 , MnO_2 → عادةً لا يسببوا مشاكل
* MgO , free CaO → اذا تجاوزا نسبة معينة تسبب مشاكل

MgO , CaO < 5%

* هذه المواد تمتاز بأنها تمتص الماء بسهولة وعند أخذها للماء يحدث تكسير للخرسانة

If > 5% = unsound cement
غير قوي

* K_2O, Na_2O → Alkalis

* هذه مكونات تأتي من التربة وبما أنها من القلويات إذن ترفع الـ PH
وإذا ارتفع الـ PH يبطئ من عملية صدأ الحديد
ولكن إذا تجاوز مقدار معين :

(12) White Cement

حجر الجير

lime stone + china clay

بدل الـ clay

* لا يختلف عن الاسمنت العادي سوى مواد الخام
* سعره عالي لأن الـ (china clay) عالي
* يستخدم للديكورات
* أحد مساوئه أن الـ (shrinkage) عالي

---

* الأنواع التي تصنع في الأردن
  - OPC
  - SRPC
  - PPC
  - white cement

Basic chemistry of cement

C_3S
C_2S
C_3A
C_4AF
→ تتحكم بخواص الاسمنت

+ $CaSO_4$ (2-4)%
+ minor compounds
  - K_2O, Na_2O → Alkalis
  - MgO, free CaO → أي من الاحترات
  - TiO_2, MnO_2

* TiO_2, MnO_2 → عادة لا يسببوا مشاكل
* MgO, free CaO → اذا تجاوزوا نسبة معينة تسبب مشاكل

MgO, CaO < 5%

If > 5% = unsound cement
غير قوي

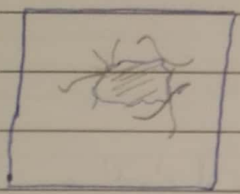
* هذه المواد تمتاز بأنها تأخذ الماء بسهولة وعند أخذها للماء يحدث تكسير للخرسانة

* K_2O, Na_2O → Alkalis

* هذه قلويات تأتي من التربة وبما أنها من القلويات إذن ترفع الـ PH
واذا ارتفع الـ PH يبطئ من عملية صدأ الحديد
ولكن اذا تجاوز مقدار معين :

القلويات + Aggregate with free silica + H_2O → Alkali silicate gel
SiO_2
حجما أكبر من المواد المكونة لها

متشقق
All of the concrete (distributed cracked) disruption ← expansive



map-cracking
تنتشر في الداخل ومن ثم على السطح

concrete cancer
سرطان الاسمنت

مرض خطير
يمكن وقفه لكن لا يمكن علاجه
وهو بطيء جداً ولا يمكن رؤيته قبل ٥ سنين
ولكن بعد ٥ سنين يمكن رؤيته على شكل شعيرات

* to Prevent concrete cancer (Alklai-silicate reaction) (ASR)
(Alklai-aggregate reaction) (AAR)

1. Do not use aggregate with free silica
2. Prevent water

٩٠٪ من (coarse aggregate) موجود في الأردن لا يحتوي على silica

3. Keep alklais in Cement $\leq 1\%$
$$Na_2O + \frac{2}{3} K_2O \leq 1\%$$

4. keep total alklais in cement $\leq 3\ kg/m^3$

$\boxed{Ex}$ For $1 m^3$

200 Kg w → 0 %
400 Kg C → 0.7 %
1000 Kg CA → 0 %
700 Kg FA → 0.5 %

نسبة القلويات في هذه المواد

$$Alklais = \frac{0.7}{100} * 400 + \frac{0.5}{100} * 700$$

$$= 2.8 + 3.5 > 3$$

* إذن هذا النوع فيه قلويات عالية جداً وهنا لازم نختبر الخرسانة لتفاعل القلويات الحادث

لاختبار جودة الأسمنت نعمل عدة اختبارات من ضمنها الاختبار الكيميائي:
معادلات ص ١٤

(Bogue's equation)

$\boxed{Ex}$ سؤال ٤٩ ص ٣٩

$SiO_2 = 22.4$
$CaO = 68.2$
$Fe_2O_3 = 0.3$
$Al_2O_3 = 4.6$
$SO_3 = 2.4$
Free lime $= 3.3$

هذه النسب مئوية

$$C_3S = 4.07(CaO) - 7.6(SiO_2) - 6.72(Al_2O_3) - 1.43(Fe_2O_3) - 2.85(SO_3)$$
$$= 69.3\ \%$$

$C_2S = 12.0\ \%$
$C_3A = 11.7\ \%$ → نوعه
$C_4AF = 0.9\ \%$

هذا الأسمنت لا يقاوم الكبريتات وهو أقرب الـ RHPC

* حتى يكون الاسمنت مقاوم للكبريتات لا بد من تحقق شرطين:

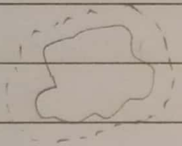
$C_3A \le 5\%$ الشرط الأول

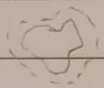
$C_3A + 2C_4AF < 25\%$ الشرط الثاني

Fineness of cement نعومة الاسمنت

جدول ص 17

* كلما زادت نعومة الاسمنت زادت سرعة تفاعله
* وحدة القياس :



 m^2/Kg

 cm^2/gm

* أشهر ثلاث طرق :

1. Wagner method
2. Lea and Nurse method
3. Nitrogen adsorption → أدق وأحدث طريقة

ولكن أحدث طريقة مستخدمة حاليًا (x-ray)

* حسب طريقة الـ Lea of Nurse :

$OPC \simeq 250\ m^2/Kg$ قليل النعومة

$RHPC \simeq 750\ m^2/Kg$ عالي النعومة (٣ أضعاف OPC)

Soundness

* يمكن أن يحوي الاسمنت أكاسيد يزداد حجمها إذا زاد حجم الماء وأشهرها :

باقي من التربة MgO

باقي من الحرق free CaO

$\xrightarrow{\text{إذا تجاوز}}$ 5% = unsound cement

* لذلك أي اسمنت تتجاوز فيه نسبة الأكاسيد أكثر من 5% لا يتم استخدامه

③ Normal aggregate

5/3

من حيث الحجم

coarse $\geq$ 5mm

fine $<$ 5mm

Aggregate من حيث المصدر

- natural (Uncrushed) — (Gravel (CA), Sand (FA)) — حصمة سيل (رمل صويلح) — أنواعه (رمل السليكا العادي)
- صناعي Artificial (crushed) — يأتي من المصانع (الكسارات) — حصمة كسارة

Properties of Agg

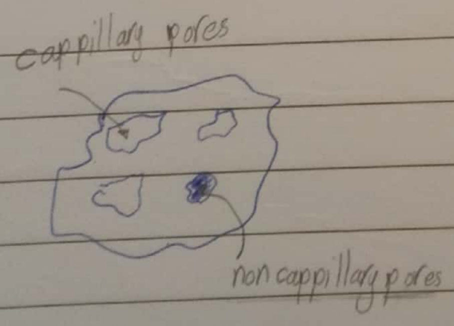
الثقل النوعي

Specific Gravity & Absorption ... (1)

$$S.G = \frac{\text{weight of a certain volume of material}}{\text{weight of the same volume of water}}$$

وزن حجم معين من المادة / وزن حجم نفسه للماء

$$= \frac{\gamma_m (V)}{\gamma_w (w)} = \frac{\gamma_m}{\gamma_w} \quad , \gamma_w = 1000\ Kg/m^3$$



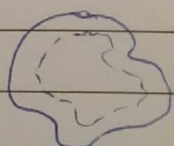
* هناك أنواع من الـ S.G
تُقسم منها حسب حالة الـ (agg.) :

① True S.G
All capillaries are filled with air. كل الزلالات مطروحة
اسم الجهاز الذي يتم بها ⟵ Petrographic examination

② Oven-dried aggregate
مجفف تماماً وحتى يتم تجفيف تماماً يتم وضعه طارئ 110c دهي درجة تبخر الماء
All cap.p are filled with air 110 c
وهذا النوع يسمى Apparent S.G

③ All cap.p are filled with water
* يتم وضعها في الماء لمدة ٢٤ ساعة حتى تمتلئ كافة الفراغات بالماء ومن ثم تجفيف السطح فقط
Saturated surface dry (SSD) ⟵ يصبح اسمها
Bulk S.G

④ Wet (moisted) aggregate
All cap.p are filled with water
دون تجفيف السطح

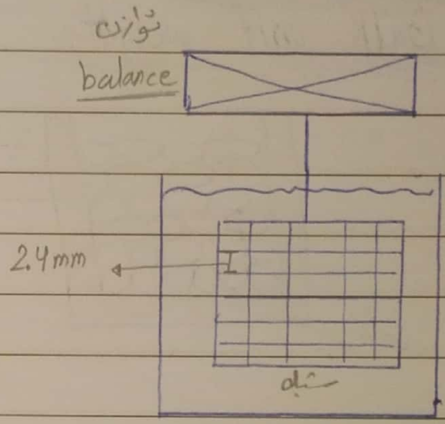


* كيفية قياس S.G لـ (Corse agg.) :

* نأخذ عينة من الـ agg ونغمرها مدة ٢٤ ساعة على الأقل
* العينة التي أخذناها مملوءة بالمياه لذلك يتم تجفيف السطح وتحويلها إلى SSD

weight of SSD in air $= W_{SSD}$

Weight of agg. in water $= W_{agg}$



$$\frac{W_{SSD}}{W_{SSD} - W_w} = (S.G)_B \quad *$$

weight of oven dried $= W_{OD}$ *

$$(S.G)_A = \frac{W_{OD}}{W_{OD} - W_w}$$

$$\underset{\text{الامتصاص}}{\text{Absorption}} = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{OD}} * 100\%$$

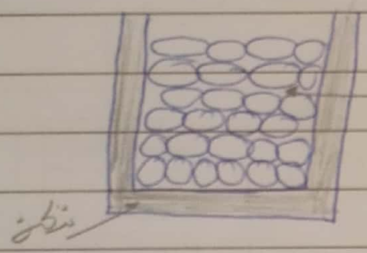
Air dried or wet agg.

محتوى الرطوبة

$$\text{moisture content} = \frac{\text{weight of sample} - W_{OD}}{W_{OD}} * 100\%$$

* كيفية قياس الـ S.G لل (Fine agg) :
* يتم استعمال جهاز خاص يسمى (Pycnometer)

الكثافة الظاهرية
Bulk density
Bulk unit weight
.... (2) الخاصية الثانية

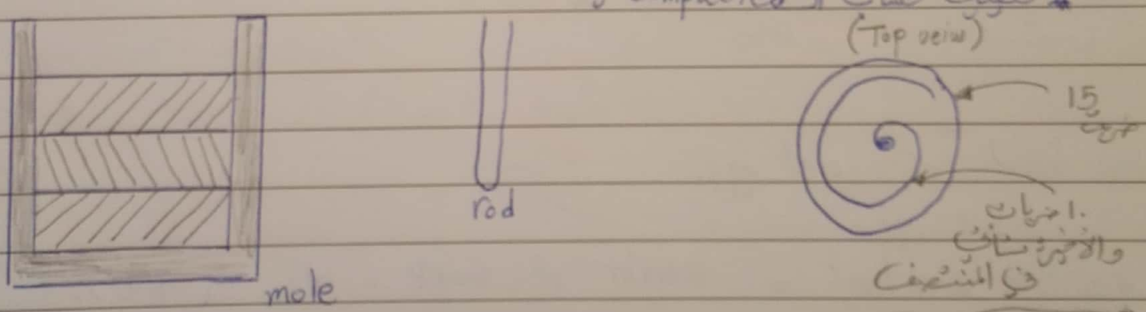


Volume = agg + paking voids

الكثافة → $\gamma_{bulk} = \frac{w}{v}$

compacted — مرصوص (مضغوط)
loose — وضع بشكل طبيعي

* كيفية حساب الـ compacted :



* يتم رص الطبقة الأولى وباستخدام الـ rod يتم ضربها
وبعد ذلك رص الطبقة الثانية ، ويتم ضربها لتقليل الـ packing voides

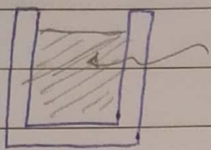
$\gamma_{comp} = \frac{W_{comp}}{v}$

$\gamma_{loose} = \frac{W_{loose}}{v}$ → تم وضعه من على بعد لا يتجاوز 5 cm = 2inch
حسب الطريقة ASTM

- to get good value of V with water :

$$V = \frac{W_w \text{ filled with water}}{\gamma_w \rightarrow 1000 \ Kg/m^3}$$

$\boxed{Ex}$



comp. agg = 15 Kg

filled with W_w water = 6 Kg , γ_{comp} = ??

$$V = \frac{6}{1000} = 0.006 \ m^3$$

$$\gamma_{com} = \frac{15}{0.006} = 2500 \ kg/m^3$$

$\boxed{Ex}$ You know $\underline{\underline{S.G}}$ of agg — لحساب Packing voids

$$V = V_{agg} + V_{pv}$$

$$V = \frac{W}{SG \ \gamma_w} + V_{pv}$$

$$V_{pv} = V - W/S.G \ \gamma_w$$

$$\frac{V_{pv}}{V} = 1 - \frac{W}{V . S.G \gamma_w} = 1 - \frac{\gamma_{bulk}}{S.G \gamma_w}$$

$$= 100\% - \frac{\gamma_{bulk}}{S.G \gamma_w} * 100\%$$

* يكون أعلى في الـ (packing voids) لـ (Lose)

$$\text{Angularity Number} = 67\% - \frac{\gamma_{bulk}}{S.G \ \gamma_w} * 100\%$$ ← حسب الطريقة الأمريكية

* كلما كانت الفراغات أقل كانت كمية الاسمنت المستخدمة أقل

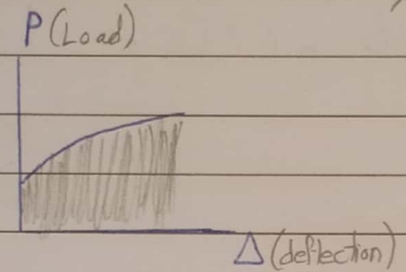
الصلابة

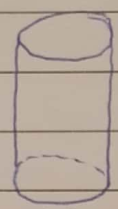
Toughness ..... الخاصية الثالثة

ability of material absort energy before failure (rupture)

* Moduls of toughnes = Energy absorbed by the unit volume of material before failure

* الطاقة الممتصة بوحدة الحجوم قبل انهيار المادة

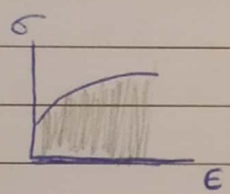




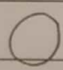
$= \dfrac{\text{Area in the } P - \Delta \text{ curve}}{\text{Volume } A}$

عينة اسطوانية نعرضها للضغط ونضعها في الآلة ونعرض للـ Load

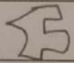
$=$ area in the $\sigma - \epsilon$ curve

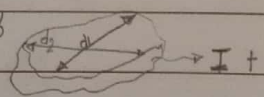


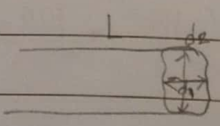
Shape ص ٤٣

① Rounded  better workability سهل الصب ; worst cohesion تماسك

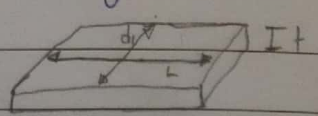
② Irregular  med. workability ; median choesion

③ Angular  lowest workability ; best choesion

④ Flaky كقطعة نقود  $\frac{d_1}{t}$ & $\frac{d_2}{t} > 3$

⑤ Elongated كالقلم  $\frac{L}{d_1}$ & $\frac{L}{d_2} > 3$

⑥ Flaky and Elongated $\frac{L}{d_1}$ & $\frac{L}{t} > 3$



* الـ (Angular) بيستخدم في المناطق المعرضة للاحتكاك

* Flaky و Elongated (Flaky and Elongated) يجب لا تتجاوز نسبتهم 15% ← 15% ≯

texture التركيب

45 ص

① Glassy — ملمسه مثل الزجاج وناعم جداً لذلك حركته في الخرسانة سريعة (سهل الصب) وأفضل للـ cappilary

② smooth — ناعم لكن ليس كنعومة Glassy

③ Granular — محبب لكن لا يجرح

④ Rough — خشن ويجرح وأفضل للتماسك

⑤ Crystalline ← صخر كالبلورات

⑥ Honeycombed ← صخر محبب كبيت النحل

أنواع نادرة الوجود، لا يجب استعمالها

* من الذي يحدد أصل الصخر ؟؟
Geological classification
Petrographic classification

* مهندس يجب معرفة أصل الصخر لمعرفة الصلادية
* جيولوجي يجب أن يعرف اذا كان الصخر يحوي (Free Silika)

Sieve analysis

agg. should be graded $\xrightarrow{\text{استنادا}}$ sieve analysis تحليل منخلي

* standard sieves → يبدأ عادةً من 150mm ولكن هذا يستخدم للسدود وليس في المباني

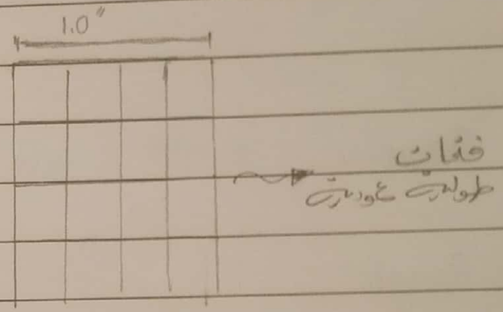
CA → course agg.
FA → Fine agg.

80 mm	3"
40 mm	1.5"
20 mm	3/4"
10 mm	3/8"
5mm	3/16" = #4
2.4mm	#8
1.2 mm	#16
0.6 mm	#30
0.3mm	#50
0.15 mm	#100
0.075 mm	#200

CA

FA

Non standard



شكل المنخل العالمي

agg. graded → يستعمل في الخرسانة

agg. non graded → لا يستعمل في الخرسانة

* في المثال كان الناتج corse sand
* مهم لمعرفة مدى صلاحية الرمل للاستخدام في الخرسانة
* الرمل هنا يصلح للاستخدام حسب النظام الأمريكي
وإذا وقع الأمريكي وقع النظام البريطاني للاستخدام وضمن المواصفات
* حسب المواصفات البريطانية لا نحتاج لحساب F.M
بل حسب الجدول نستنتج ذلك
ربما أنه وقع ضمن الـ coarse فهو تلقائيا يقع ضمن الـ(median) أو الـ(Fine).
* يتم استخدام رجاج ميكانيكي للقيام بعملية التنخيل ويسمى (shaker)
* الأمريكي يختلف عن البريطاني بسبب الجغرافيا
* حسب البريطاني فإننا نبدأ دائماً من C وإذا لم يقع ننتقل للأخرى وهكذا لتحديد نوع الـ agg.

Ex | Fine AGG

sieve	وزن المحتفظ weight retained	نسبة المتبقي Precantage retained	التراكمي cumulative Percent retained	(100% − com. ret) Percent passing عابر
10	0	0	0	100
5	50	= الوزن 50 / 1000 الوزن الاجمالي * 100 % = 5	5	95
2.4	150	15	20	80
1.2	300	30	50	50
0.6	200	20	70	30
0.3	200	20	90	10
0.15	50	5	95	5
0.075	30	3	98	2
Pam	20	2	100	0
	Σ = 1000	Σ = 100%	this is another check	this is another check
	في الحياة العملية لا يأتي 1000 ولكن لتسهيل الحسابات	this is check		

CA: 10, 5 — FA: 0.3, 0.15

Nominal 85%

- max. size of agg : 10 mm — أصغر منخل يمرر 100%
- Nominal max. size of agg (MMSA) = 5 mm
- Fineness modulas = $\frac{\Sigma \text{ of comulative retained on all standard sieves}}{100}$

$$= \frac{0+5+20+50+70+90+95+\cancel{98}}{100} = 3.3$$

Non standard

حسب ASTM

- If F.M < 2 fine sand

  2.2 – 2.8 medium sand

  > 3 coarse sand

→ 2.1 → بين الناعم والمتوسط

لانه لا يوجد ما يسمى بالانتقال المفاجئ

المنخل الذي يمرر 85% من الـ agg.

ويمكن أن يتواجد مباشرة وإذا وقع بين رقمين نوخذ الأكبر مجازاً في الامتحان

12/3

Ex coarse Agg. (الوزن/الوزن الكلي) * 100%

sieve	weight retained (متبقي)	% retained	Comulative % retained	% Passing
40 mm	0	0	0	100
25 mm (non standard)	50	5	5	95 85%
20	400	40	45	55
10	450	45	90	10
5	50	5	95	5
2.4	30	3	98	2
1.2, 0.6, 0.3, 0.15 (4x100)				
pan	20	2	100	0
	Σ = 1000 gm	Σ = 100 %		

80 لا تستعمل عادةً في المباني

يتم وضعها حتى يتم تجميع الأشياء الناعمة

max. size of agg. = 40 mm

NMSA = 25 (Non standard), 40 (Standard)

$$F.M = \frac{(0+45+90+95+98+(100*4))}{100} = 7.28$$

∴ 7.28 > 5 this is coarse agg.

• إذا كان agg لها شلفين أو أكثر نفس الحجم فتعتبر single sized (لها حجم واحد)

* في حين بينما (graded aggregate) لأن الفروقات بين المناخل لم تتجاوز 67%

وإذا تجاوزت يُعتبر (single-sized)

صـ ٦٧

* حيث يتم اختبار (coarse agg.) يتم تحديد ما اذا كانت (graded agg.)

أو (single-sized agg.) حتى يتم استخدام العود المناسب

ومن ثمّ وفق (NMSA) يتم تحديد أي عود مناسب يُستخدم

وذلك وفق المقاسات البريطانية

* ما ينطبق على البريطاني ينطبق على الأمريكي

17/3

* (Normal Agg.) → معظم (agg.) في الحياة العملية
(medium Agg.)

* S.G = (2.2 - 2.8)
heavey weight agg. S.G > 3
Light weight agg. S.G < 2

* الأرقام التي بينهم تعني أنها تتراوح بين كذا

* الأرقام التي بينهم نقول عن النوع أنه يتراوح بينهم

* Absorption of agg. should be < 5% من المفضل preferablly.

* Agg ممتاز , Gradid
S.G = بيروح الي بينه
absorption < 5%

---

* Sieve analysis:

يتم تقسيم (Grading) إلى عدة تقسيمات وهي:

1. well-graded
جيد التدرج أي أن كل الأحجام واقعة ضمن المواصفات، وهو أفضل نوع يتم استخدامه في الخرسانة من ناحية التماسك
2. poor-graded
سيء التدرج وهي ليس ضمن المواصفات
3. single-sized
always poor graded ، لأنه دائماً يعتبر حجم واحد ، يتم خلطه مع بعض حتى يصبح (well-graded)
4. gap-graded
a size or more is missing
5. open-graded
أخذ للعرض

* Abrasion (measurment of Hardness)

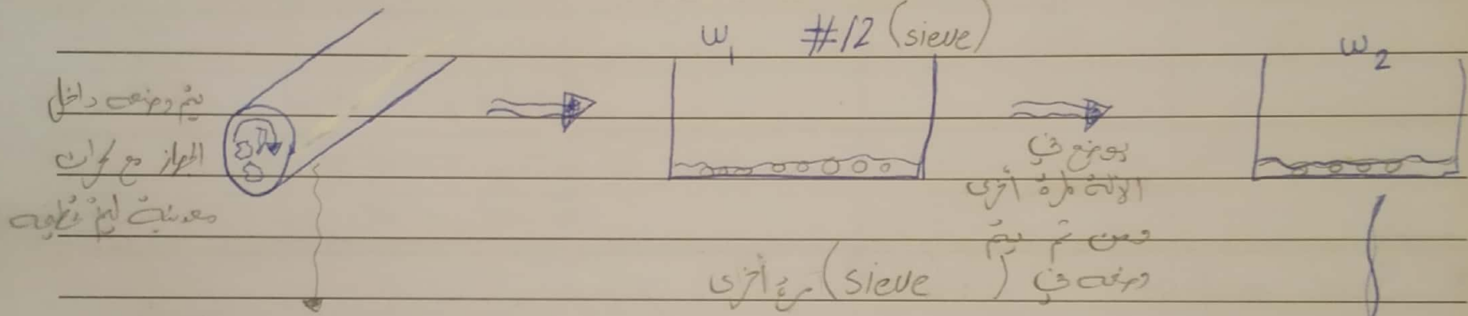
- مصطلح يطلق على قدرة المادة ومقاومتها للتآكل والاحتكاك

. resistance to wear

مقاومة التآكل والاحتكاك

. Indirect measure of strength ، كل ما كانت (agg) (hardness) كانت (strength) عالية

* اختبار مهم للـ (agg.)
* الجهاز الذي يستخدم لإجراء هذه التجربة هو (Los Angles (LA) abrasion test)



* يتم تدويره 500 دورة خلال 15 دقيقة

يتم إجراء العملية الحسابية الآتية :

$$LA\ value = \frac{w_1 - w_2}{w_1} * 100\%$$

. اختبار Hardness of agg.

. مدى صلابة (agg.)

. $LA \geq 45\%$ do not use

. $35\% \leq LA < 45\%$ use for low quality concrete

> 20 MPa strength يتم استخدامه في الخرسانة التي تحتاج لـ (strength < 20MPa)

لا يتم استخدامه في الخرسانة المسلحة Not allowed in reinforced concrete.

* الخرسانة المسلحة عادة تبدأ (strength) من 25MPa فما فوق

- $25 \le LA < 35$ use for medium quality concrete (strength 25-40 MPa)

- $15 \le LA < 25$ use for high quality concrete (strength 40 - 65 MPa)

- $LA < 15$ use for very high and Ultra high concrete (strength $\geq$ 70 MPa)
أكبر

* Strength of agg.

Strength of agg. > Strength of cement

* agg. ذو لون أبيض قوته ضعيفة مقارنة بـ (agg.) ذو لون غامق

$\underbrace{\text{FOS}}_{\text{Factor of saftey}} = \underbrace{2-3}_{\text{prefer}}$ عامل الأمان

* عندما نكسر الخرسانة يجب أن يكون الكسر في الاسمنت وليس في (agg.)

طرق القياس:

① Aggregate crashing value (ACU) → هو مقاومة agg. للتكسر
② ....

.10 — 12.5
returned   paster

- Agg. تحتل الخرسانة → (70-80) %

Aggregate Properties :

* Fine Material

< 0.15 — 0–10 %

sieve analysis

في الأردن # 200 — passing — 0–5 %

non-standard

• خطر المواد الناعمة تشكل طبقة عازلة بين الاسمنت و (agg.)
كما أنها تحتاج كميات كبيرة من الاسمنت لأنها ناعمة جداً

Deleterious substances in agg.

ضارة — مادة

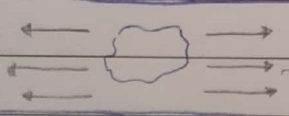
ضار Harmfull material in agg.

• أي مادة غير طبيعية لا يجب أن يحتويها الـ agg.
عضوية (قطع خشب، زيوت، مواد كيميائية، ...)

Thermal Properties

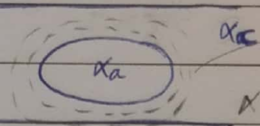
حراري

• (agg.) هي مادة خامدة، يعني أن وجودها في الاسمنت لا يحدث تفاعل



تمدد وتقلص الخرسانة

• إذا تمددت (agg.) مع تمدد (الخرسانة) فذلك لا يحدث تأثير



α_c

α → معامل التمدد الحراري

• حتى يحدث التزاوج لابد أن تكون قوة الشد
أكبر من قوة التماسك

• $\alpha_{agg} = \alpha_c \pm 5 \times 10^{-6}/c°$

or $\alpha_{con} - 5 \times 10^{-6} \le \alpha_{agg} \le \alpha_{con} + 5 \times 10^{-6}$

$\boxed{\text{Ex}}$ $\alpha_{con} \simeq 11 \times 10^{-6}/c°$

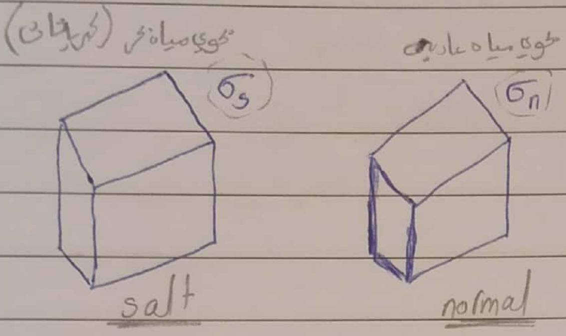
$16 \times 10^{-6}/c° \ge \alpha_{agg} \ge 6 \times 10^{-6}/c°$

$\alpha_{steel} \simeq \alpha_{con}$

Chap 4 — Quality of water

حنفية
(Tap water)

• الماء الصالح للشرب يصلح للخرسانة
والماء غير الصالح للشرب لا يصلح للخرسانة
أي خاليًا من المواد العضوية والأملاح
ويتم ذلك في الحالات الخاصة جدًا .



$$\Longrightarrow \quad \frac{\sigma_s}{\sigma_n} > 95\%$$

• يسمح باستعمال ماء البحر في الأصناف
التي لا تحوي أي نوع من الحديد و لا تؤثر على (strength) بأكثر من 5 %

Distilled water

• PH للماء العادي
أعلى من PH للماء المقطّر
و PH مهم للتقليل من صدأ الحديد

$PH \simeq 7 \sim 8$
للماء العادي

• المياه الجوفية لا يجوز استخدامها
• مياه المطر كمياه الشرب

• المياه المقطّرة تصلح للخرسانة لكن يجب التنويه أن صدأ الحديد سيكون أسرع

Chap 5) Fresh concrete 22/3

* الخرسانة الطرية (Fresh concrete): هي الخرسانة التي أول ما تنزل من الخلاطة وقبل أن تصل إلى IST

Workability

أهم شيء فيها سهولة الصب

: the easiness to produce concrete

* سهولة انتاج الخرسانة

عمليات انتاج الخرسانة :

1- batching (تحضير الخلطات)

2- mixing (خلط الخرسانة)

3- discharging (تنزيل من الخلاطة)

4- transporting

5- plasing (casting) (الصب)

6- compachion

7- finishing

* لا بد لي من اختبار الخرسانة هل هي (workabilty) or (nonworkability) لكي أعلم هل أستطيع الصب أم لا

* يكفي احتواء الخرسانة على فراغات هوائية بزيادة (%1) على نسبة معينة أن تقلل (strength) (%5)

Masurment of workability

① Scientific Diffinitions

Workabillity :

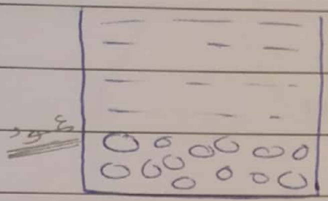
1 Mobility : Ability of concrete to flow, fill the form work of coat steel bars without seggregation or bleeding.

(سيولة حركة الخرسانة)

انفصال (agg) عن الخرسانة (تعشيش)

نزيف الخرسانة : هروب الروبة (Paste)

هروب المياه والاسمنت من الخرسانة بعيداً من agg



اسمنت قليل . (agg) كثير إذن Strength قليل (seggregation)

2 Stability : Ability of concrete to reamain cohesive & homomgenuows during production. (No seggregation or bleeding).

متماسكة — متجانسة

3- Compactability : Ability of concrete to be compacted (vibrated) easily without.

دمك

(رص الخرسانة بحيث تصبح الفراغات الهوائية قليلة وتأخذ الخرسانة شكلها المطلوب)

• وضع الخرسانة في مكانها الطبيعي وطرد الفراغات الهوائية منها

4- Finishability : Ability and easinen to produce the final surface.

سهولة إنهاء السطح

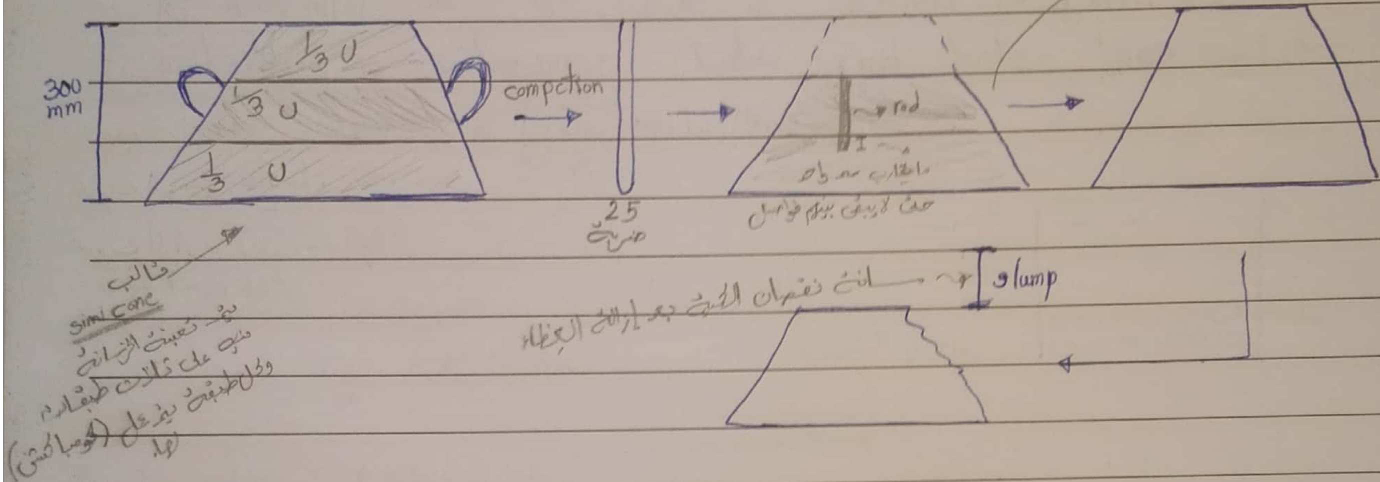
• الخرسانة اذا كانت تحوي الاربع خواص نسمي (workability) غير ذلك فانها غير (workability)

2) Method to measure workability

1. slump test ص 83

• أكثرها شيوعاً و أسهلها

• لا يتم ضرب الطبقة الثانية حتى آخر (cone) لأن ذلك يعني ضرب الطبقة الأولى 50 ضربة



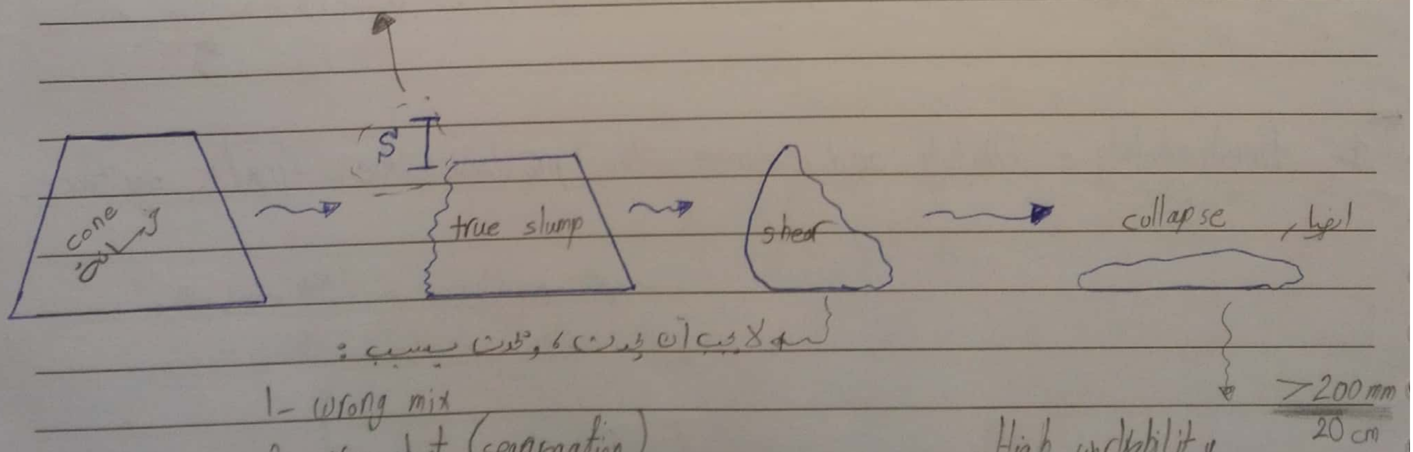
• كلما زادت قيمة (slump) فإن (workability) أعلى (أي تتحرك بشكل أعلى)

حسب قيمة (slump):

very low	< 2 cm
Low	3-5
medium	8-10
high	12-15
very high	> 18 cm
workability	slump

• المرحلة التي سنرسم هي عبارة عن مرحلة انتقالية

• أول Test يتم عمله في الموقع للخرسانة هو slum test !



لا يجب أن يحدث، ويحدث بسبب:

1- wrong mix

2- wrong test (seggregation)

. High workability

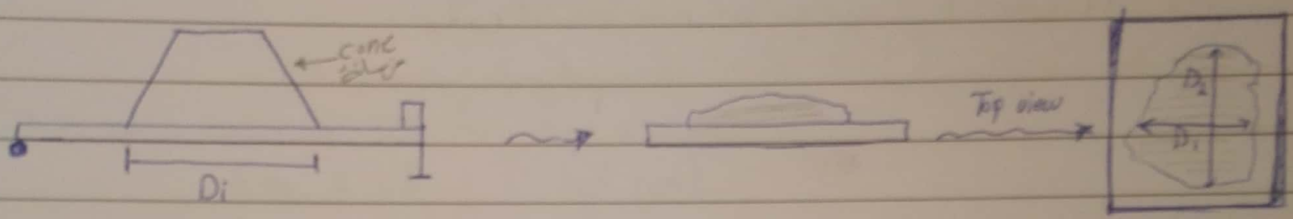
. maybe seggregation

Five Apple

• الذي يؤثر على (strength) الرسانة هو كمية الماء المضافة بالنسبة للاسمنت
• superplasticizeres : مواد خاصة تعطي اللطافة الرسانية (very high workability)
وتستعمل في المناطق التي يكون حديد التسليح فيها متشابك بشكل كبير جداً وفي مناطق ضيقة

2 Flow table test ص88

يتم استعماله للتأكد من عدم وجود (seggregation)
أي أحد وسائل قياس (workability)



يتم رفعها 15 مرة
لمسافة 25 mm

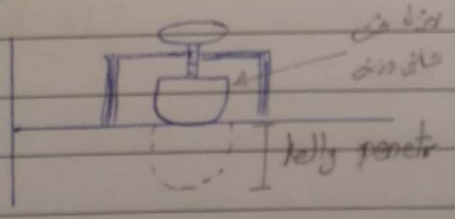
• إذا كان هناك (segregation) فإن (agg.) يكون متراكم في الأطراف

$$flow\ (E.N) = \frac{D_1 + D_2}{2} = D_{av}$$ .... طريقة بريطانية

كل ما زاد (flow) زاد (workability) أكثر

$$flow\ (DIN) = \frac{D_{av} - D_i}{D_i} \times 100\%$$ .... طريقة ألمانية

ص89
3 kelly ball test (Ball Penetration test)



• كلما زاد (Kelly Penet.) زاد (workability)
• يمكن إجراؤه بموقع العمل
دون تشويه الرسانة
• جهاز سهل النقل

• استنتاج:
(Slump) أسرع الطرق (max 5 min.) ، دقة متوسطة ، رخيص جداً ، قديم ، شائع
لا يتم سرقته من الموقع

26/3

slump test ← يصلح لـ workability (high , medium , Low)

Flow table test ← (very high , high , Low , medium)
إذا كان الخوف من seggre ← very high

Kelly ball test ← (high , meidum , Low)

- slump test لا يصلح لـ (very low) لأنه يعطي zero slump
ونفس النتيجة يمكن أن يعطيها لـ (Low)
ولا يستطيع تمييزهم

كذلك لا يصلح لـ (very high)
لأنه لن يميز ما إذا كان collapse أم (high)

- kelly لا يصلح لـ (very low) لأنه يبقى على السطح
ولـ (very high) لأنه يغطس في الخرسانة

④ Vebe test

الرسمة ص 87

- لما تكون الخرسانة (very Low) تم انتاج هذا الجهاز من قبل السويدين
والعالم (vebe)

- طريقة عملها : ١- صب الخرسانة في (cone) حسب طريقة (slump test)
ومن ثم إزالة (cone) والأصل أن تأخذ شكل True
٢- بعد إزالة (cone) يتم تحريك (Plastic Disk) فوق (cylinder)
ووضعه على سطح الخرسانة وتحضير موقت زمني ، وعند الاستعداد يتم تشغيل المؤقت
مع (vibration)
٣- الوقت الذي تصل فيه لحظة ملء الخرسانة لـ (cylinder)
يسمى (vebe time) وهو الوقت الذي يصبح فيه شكل الخرسانة
شكل (cylinder)

• الاستنتاج : ١- كلما زادت (vebe time)
زاد وقت الوصول إليه فتقل (work ability)
(علاقة عكسية)

٢- هذا الاختبار ممتاز بسبب:
• أننا نقيس قيمة (slump test)
• نقيس (vebe time)

∴ (vebe test) يقيس قيمتين
ويكشف قيمة zero slump عند مقارنة نوعين خرسانة

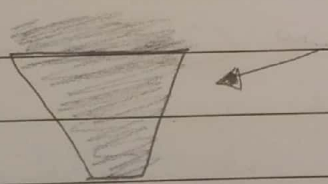
٣- (vebe test) لا يصلح لقياس (very high workability)
ولكنه أفضل جهاز و أغلى جهاز ويحتاج لكهرباء لأن عملية
الرج تحتاج لكهرباء

(5) compacting factor and compactability test

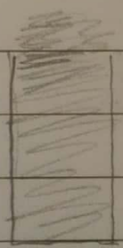
الشكل ص85

• الطريقة : ١- نملأ (cone) كبير الحجم بالخرسانة وعند ملئها
يتم فتح البوابة لتنزل الخرسانة نحو (cone) صغير الحجم
تحت تأثير وزنها

٢- عندما ينزل يصبح شكل الخرسانة



فنعمل تسوية لسطح
وتفتح البوابة لتنزل الخرسانة نحو (cylinder)
ونعمل تسوية أخرى أيضاً.



٣- نأخذ الأسطوانة بعد تسوية السطح ونوزنها

ملاحظة: لم يتم عمل للخرسانة شيء وإنما نزلت فقط بتأثير وزنها

لذلك تسمى (uncompacted conc.) عندما تكون في الاسطوانة.

٤- نأخذ (cylinder) على (viblating table)

وعندها تنزل الخرسانة، تخبط الخرسانة تأخذ حيز قليل عندما تنزل

وعندها نبدأ بملء الخرسانة حتى تأخذ تجميع متلاصق

من الخرسانة التي عملت لها تسوية سطح،

و نسمي هنا $W_{compacted}$ factor

٥- يتم إجراء العملية الحسابية الآتية:

$$\text{compacted factor} = \frac{W_{uncompacted}}{W_{compacted}} \quad , \quad < 1$$

• هو جهاز بس دِطاني ويستخدم لـ (meidum, high, Low)

← ملحق ص 91

يعطي العلاقة بين ٣ قيم (compacting factor)

(slump)

(vebe time)

وبإمكاني تحديد قيمتين إذا عرفت قيمة

لكن الأرقام تقريبية

• في هذه اللحظة لا يوجد جهاز يقيس كل خصائص (workability)

وإنما يقيس خاصية أو اثنتان، مثلاً (slumptest) يقيس (mobility)

(compac test) يقيس (comactibility)

(vebe) يقيس (mobility,)

29/3

Density (unit mass or unit weight in air) of fresh concrete

Fresh Density

$$\gamma = \frac{W_{conc}}{V}$$

- الخرسانة التي يتم وزنها تكون compacted في المكعب
- يتم توزين المكعب فارغًا وتوزينه وهو مليء بالخرسانة والفرق بعملية الطرح

$$W_{Total} = W_{conc} + \underset{\text{المكعب فارغًا}}{W}$$

- للحصول على حجم دقيق يتم ملء المكعب بالماء وقسمة وزن المياه على كثافة المياه
وكثافة المياه $(1000\ Kg/m^3)$

Air free density: Density of conc. عندما لا يحتوي هواء

- الخرسانة عندما يتم صبها رغم كل العمليات يبقى فيها فراغات هوائية

$$\text{Air free density} = \frac{W_{con}}{\text{Net volume}} = \frac{W_{con}}{V - \text{air volume}} = \frac{W}{V(1-\underset{\text{air voids}}{a})} = \frac{\gamma}{1-a}$$

solid Net volume لا يحتوي هواء ← الحجم الكلي

Ex $\gamma_{conc} = 2000\ Kg/m^3$, $a = 5\%$

$$\gamma_{air\ free} = \frac{2000}{1-0.05} = 2105.26\ Kg/m^3$$

- $W = 200\ Kg$
  $C = 400\ Kg$
  $CA = 1000\ Kg$
  $FA = 700\ Kg$

  أرقام يتم معرفتها

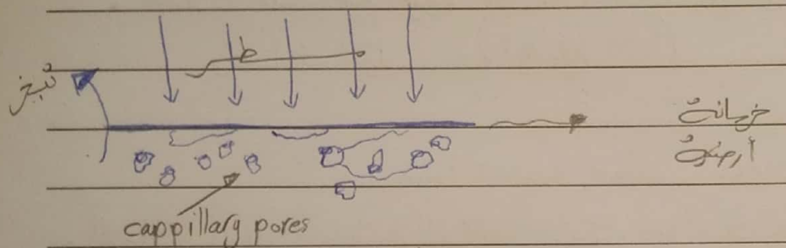
$\xrightarrow[\text{إذن}]{m^3 \text{ تنتج خرسانة}}$ $\gamma = 2300\ Kg/m^3$

Air content

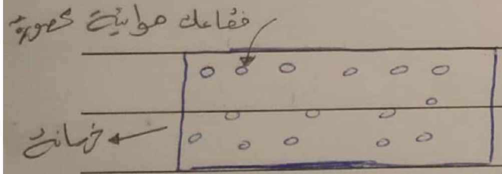
• أي زيادة بنسبة 1% للفراغات تكفي لانزال من قوة الخرسانة 5MP

① Entrapped air : هواء محبوس في الخرسانة لا نستطيع التخلص منه
رغم أنه يعمل على تنزيل الـ Strength للخرسانة

② Entrained air : هواء يوضع في الخرسانة لغرض معين لماذا؟



• السبب : عند هطول المطر على الخرسانة وعند احتوائها (capp. pores) تشغلها المياه داخل الخرسانة وعندما تنخفض درجات الحرارة للصفر تحدث تجمد والتجمد يحدث تكسر وعندما تتكرر العملية مرة أخرى تحدث تكسر آخر للخرسانة
وهذه العملية تسمى (cycles of freeze & thaw (Frost action))
صقيع



• الكيفية : يتم وضع (admixture)
(air-entraining admix.) مع الخرسانة
تعمل على إيجاد فراغات هوائية غير متصلة (non capillary) أي لن يدخلها أملاح لأنها مغلقة ومحصورة في متباعدة عن بعضها البعض بمسافات معينة.
ومن المعروف أن الهواء قابل للتمدد والضغط لذلك مهما تعرضت الخرسانة للتجمد أو درجات حرارة عالية فلن يؤثر عليها مع وجود الفقاعات الهوائية.

1- Normal (Non air-entrained) الاسمنت العادي الذي لا يحوي فراغات هوائية
أنا وضعت وإنما يحوي فقط (Entrapped air)

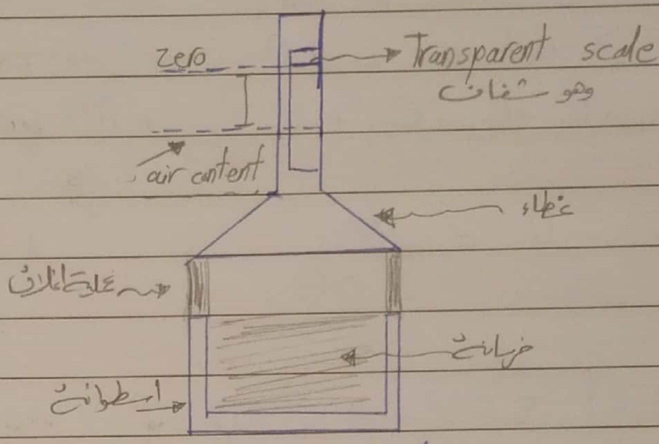
2- Air-entrained concrete الاسمنت الذي يحوي فراغات هوائية أنا وضعت

• الأكثر بشكل عادي نستخدم (Normal (Non air-entrained))

Measurement of Air content عملية قياس الهواء المحبوس داخل الخرسانة

~~الطريقة~~ الأولى (1) Volumetric Method

- يتم ملئ الاسطوانة بالخرسانة بطريقة comp. أي على ثلاث مراحل و 25 ضربة
- عند الملئ يتم عملية الاغلاق
- يتم تعبئة مياه فوق الخرسانة لحدما توصل مستوى الصفر
- يتم إجراء عملية درجة للجهاز حتى تختلط المياه مع الاسمنت
- بعد عملية الدحرجة يتم ايقاف الجهاز عندما يكون مستوى المياه قد نزل عن الصفر ونأخذ القراءة التي على الجهاز

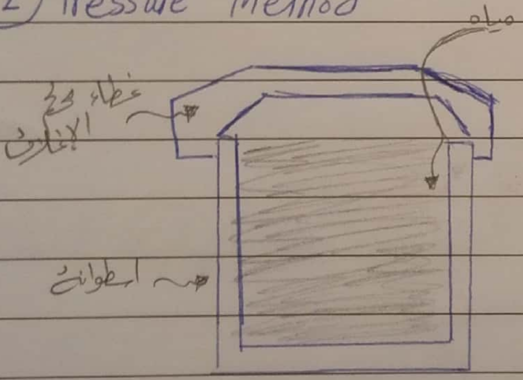


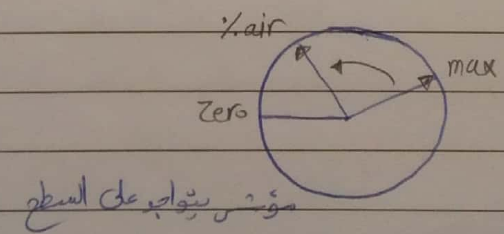
Roll-A-meter

- الجهاز قائم على مبدأ الحجم (أيّ أن حجم حلّ مكان حجم آخر)

(2) Pressure Method

- يتم ملئ الاسطوانة (comp.) على ثلاث طبقات بـ 25 ضربة
- يتم إغلاق الجهاز (شبيه بطنجرة الضغط)
- بعد الغلق يتم ملئ الجهاز بالمياه عبر صمام وعند الملئ يتم عملية: شبيهة (بنفخ العجل) حيث نعمل على نقل الضغط على كل السطح





- يتم ضغط الجهاز حتى يصل المؤشر لمستوى (max)

وعند إزالة الضغط لا يتم استرداد كل الضغط وإنما يصل المؤشر إلى مستوى هو نسبة الهواء في الخرسانة

(3) Gravimetric Method الطريقة الحسابية ولا تحوي جهاز

Absolute volume method:

$\sum$ Volume $= 1.0$ → حجم فرضي عبر وضع مواد آتية :

w = 200 Kg
C = 400 kg
CA = 1000 Kg
FA = 700 Kg

$V_w + V_c + V_{CA} + C_{FA} + V_{\text{of any thing}} + \text{AIR content} = 1.0$

$$\therefore \quad V = \frac{W}{\gamma_w \, S.G}$$

Ex

S.G للاسمنت = 3.15
S.G CA = 2.5
S.G FA = 2.7

يجب حفظهم

$$V_{air} = 1 - \sum V$$

$$= 1 - \left(\underbrace{\frac{200}{1000 * 1}}_{\text{water}} + \underbrace{\frac{400}{3.15 * 1000}}_{\text{cement}} + \underbrace{\frac{1000}{2.5 * 1000}}_{\text{CA}} + \underbrace{\frac{700}{2.7 * 1000}}_{\text{FA}} \right)$$

$= 1 - 0.986$

$= 0.0138 \ m^3$

Chap 7

31/3

Production of cement

- Batching
- Mixing
- Dischargin
- Transporting
- casting (Puring)
- compacting
- finishing
- curing

إحدى خطوات إنتاج الاسمنت

ولكن أول عملية لـ harden conc.

Batching

التخمير

يتم بطريقتين

- weight
- volume

① طريقة الوزن

Assume
W = 200 Kg
C = 400 Kg
CA = 1000 Kg
FA = 800 Kg

$\xrightarrow[\text{تعطيني}]{\text{عند الخلط}}$ m^3 of conc.

Sack = 50 Kg ← وزن كيس الاسمنت

. الخلاطة التي تكون في الموقع يكون حجمها أقل من m^3 لذلك نفرض

Assume $\frac{1}{4}$ m^3 الخلاطة

لذلك نضع ربع الكميات السابقة والتي تساوي

W = 50 Kg
C = 100 Kg = (2 sacks)
CA = 250 Kg
FA = 200 Kg

② طريقة الحجم: عندما لا يتواجد ميزان في الموقع يتم استخدامها ونعني (بالتنكة)

- Assume measure = 20 Litre → حجم التنكه الشائع في المنطقة

Ex
- Assume 20 Litre

W = 10 measures 10 تنكات

C = 8 sacks

CA = ?? → 40 measure

FA = ?? → 25 measure

→ حسب القياسات الأولى عندما نحتاج m^3 خرسانة حسب الأوزان المعطاة سابقًا

W = 200 kg
C = 400 Kg
CA = 1000 Kg
FA = 800 Kg

- طالما كم تنكة CA و FA

loose → تنكة يتم تعبئتها حسب طريقة Loose أيضًا CA or FA

$U * \gamma_{loose} = W$ ← للتنكة

لحسابها

يتم تعبئتها agg. شوي شوي ومن ثم توزينها (لذلك لابد من الميزان في البداية)

assume $\gamma_{loose (CA)} = 1250\ kg/m^3$

$\gamma_{loose (FA)} = 1600\ Kg/m^3$

$m^3 = 1000$ Litre

$U_{CA} = \frac{1000}{1250} = 0.8\ m^3 = 800$ Litre = 40 تنكة

على فرض أن التنكة شادي L 20

$U_{FA} = \frac{800}{1600} = 0.5\ m^3 = 500$ Litre = 25 تنكة

- Per 1 sack → في الموقع يتم حساب لكل كيس اسمنت واحد

C = 1 sack

$W = \frac{10 \text{ تنكات}}{8 \text{ أكياس}} = 1\frac{1}{4}$ تنكة/كيس اسمنت

$CA = \frac{40}{8} = 5$ تنكات/كيس اسمنت

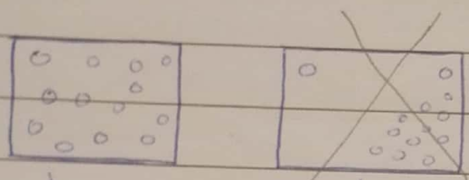
FA = 3.1 ≃ 3 تنكات/كيس اسمنت

Five Apple

• يُمنع استخدام طريقة الحجم في كافة مشاريع الخرسانة المسلحة
والتي تزيد قوتها 20 MPa .
• الخرسانة الجاهزة تُغش بالوزن
• سعر الخرسانة يعتمد على قوتها (علاقة طردية)

• Mixing

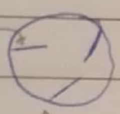
مقطع من خرسانة



homo   not homo

• الحصول على خرسانة منتظمة لابد من أن تكون عملية الخلط منتظمة

• لإجراء عملية الخلط :
١- أن يكون العامل الذي يقف على الخلاطة خبير
٢- حالة الخلاطة جيدة
٣- لا يجوز أن تخرب الخلاطة اثناء عملية الخلط
لذلك لابد من وجود خلاطة إضافية لكل خلاطتين
٤- عملية الخلط تبدأ بالمواد الكبيرة وتنتهي بالصغيرة



شفرات داخل الخلاطة تعمل على مساعدة الخلط
خلاطة

Idial Method → عملية الخلط المستخدمة في المختبرات
1- coarse agg. → نبدأ بوضع
2- رش القليل من المياه
3- وضع الاسمنت بشكل تدريجي والخلاطة شغالة
4- إضافة الماء بالتدريج لحد ما نوصل لكمية المياه المطلوبة والتي تكون محسوبة

عملية خلط أولي — فترة راحة — عملية خلط نهائية

5- بعد عملية الخلط يتم تشغيل الزمن → mix 3 + rest 3 + 2min
8 min → مجموع الوقت
حتى تكون خلطة الخرسانة جاهزة للاستخدام

• اخلط أقل وقت يعطي الخلطة جاهزة ممتازة ولذلك يتواجد جدول ص 125
• لا يجوز بأي حال من الأحوال تقليل دقيقة الخلط !

124

• متى يتم الحكم على الخرسانة صالحة للصب أم لا تم إيجاد مجموعة من الاختبارات هي
(Uniformity of mixing)

• يتم أخذ عينات من الخلاطة بحيث نأخذ ثلث منها ونأخذ عينة
وثلث آخر ونأخذ عينة
وثلث آخر ونأخذ عينة حتى يتم تغطية كل الخلاطة.

• يتم أخذ عينتين كحد أدنى وإجراء الاختبارات الآتية:

① slump ⟶ أول اختبار يتم إجراؤه

Low ± 2 cm
med ± 2.5 cm
high ± 3.0 cm

② Fresh Density
diff. $\ngtr$ 16 kg/m³

③ Air content ± 1% ⟶ الهواء المحبوس في الخرسانة

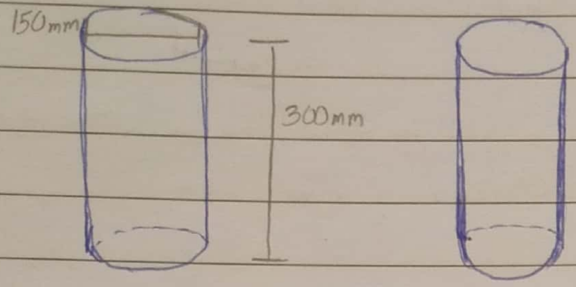
④ Air-free density 1.6 %

⑤ Retained on sieve #4 (numbe)
± 6%

• يتم جلب العينة الأولى ووضعها على #4 sieve ويتم غسلها
وعند غسلها يتبقى الـ CA ويزال C و FA ومن ثم تنشيف الـ CA
وكذلك للعينة الثانية
وإذا كانت الخرسانة ممتازة إذن لابد أن يكون فرق الوزن للـ CA بين العينتين
لا يتجاوز ± 6%

• لا بأس إن زاد وقت الخلط طالما لم نصل إلى (initial setting time)

⑥ Strength



① يتم صب اسطوانتين شبيهات ببعضها البعض

حجم الاسطوانة = مساحة القاعدة * الارتفاع

= π نق² ع

② يتم عمل curing للاسطوانتين تحت الماء.

③ عندما يصلوا Final Setting time يتم فكهم من القالب ووضعهم في الماء على درجة حرارة 20°c لمدة 7 أيام.

④ يتم كسرهم على عمر 7 أيام ونجد لها Strength

⑤ إذا كانت الخرسانة منتظمة فإن Strength متشابه للعينتين

وإذا كانت الخرسانة غير منتظمة فإن Strength غير متشابهة للعينتين

$\sigma = \frac{P}{A}$ و الفرق بينهما يجب أن لا يتجاوز 7.5 %

• كل هذه الاختبارات يتم إجراؤها لمرة واحدة ما لم يتم تغيير الخلطة أو أي شيء آخر، وليس من المفترض اجراء كل الاختبارات.

• أنواع الخلط: ① خلط يدوي

② خلط بالخلاطة الصغيرة للمشاريع الصغيرة

③ خلاطات كبيرة (خلاطة مركزية) تكون داخل الموقع

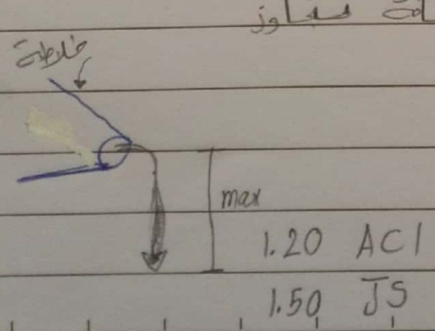
• Discharging :

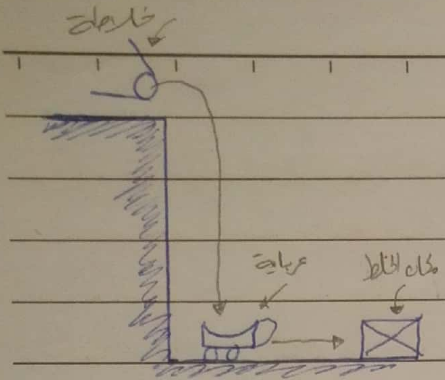
عملية تنزيل الخرسانة من الخلاطة: تستعمل أي طريقة بشرط أن لا تحدث (أ) (seggregation) و (bleeding) ولضمان ذلك:

يُمنع إلقاء الخرسانة تحت تأثير وزنها حرة من مسافة تتجاوز

(1.20 m) حسب المواصفات الأمريكية ACI

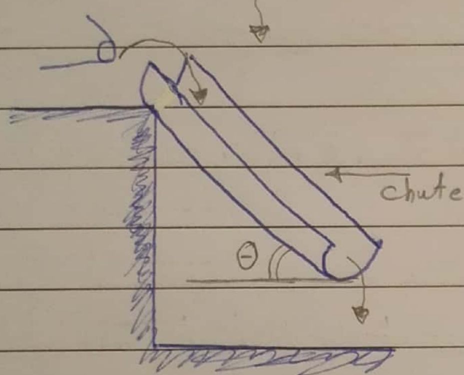
و (1.50 m) حسب المواصفات الأردنية JS





خاطئة لأنها تجاوزت الارتفاع المسموح به

ولهذه العملية يتم عمل ما يسمى بـ (chute)



في هذه الطريقة لا تنزل الخرسانة (Free fall)
وإنما هناك قوة معاكسة لها في الاتجاه (Friction)
لذلك حتى تنزل الخرسانة لا بد أن تكون وزنها أكبر من قوة الاحتكاك
ولهذا ذلك يتم اختيار زاوية تركيبها تكون (Free slow)
وتعتمد الزاوية على (workability)
فكلما زادت (workability) احتجنا زاوية أقل
تم دراسة الزاوية بشكل عام وكانت ($\Theta \simeq 45^\circ - 60^\circ$)
وهذا لا يعني أن لا تصل الزاوية إلى 70° أو 40° حسب (workability).

• سيارات الخرسانة الجاهزة تحتوي على chute صغيرة في زواياها حتى لا تنزل الخرسانة (free fall)

• Transporting :

عملية نقل الخرسانة : هي توصيل الخرسانة من مكان الخلط إلى مكان الصب
ويجوز استعمال أي طريقة بشرط أن لا تعمل (seggeregation) or (bleeding) وأن لا تكون (very slow) بحيث يعمل لها (seeting time).

• الطرق المشهورة والشائعة في عملية نقل الخرسانة :

① hand
تستخدم عندما تكون المساحة المراد صبها قليلة

② Carts (hand or mortar)
العربانة
بشرط أن تكون الأرض مستوية

③ conveyor belts
السيور الناقلة

④ Trucks (ready-mixed concrete)
سيارات نقل الباطون

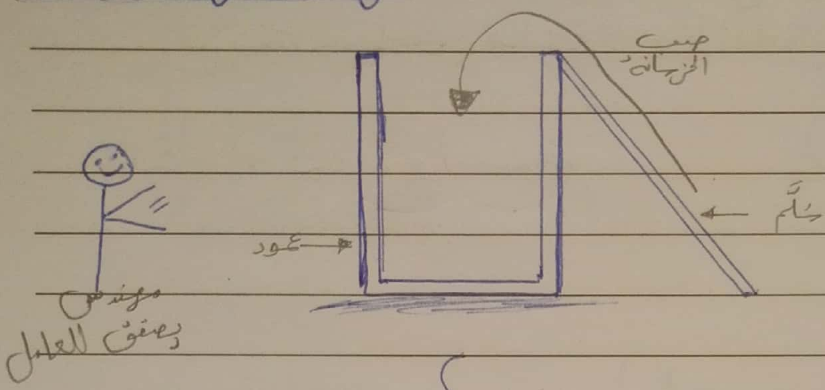
• من المفترض أن تكون سيارات نقل الباطون خلال ساعة ونصف تكون جاهزة الخرسانة ولكن ماذا إن كانت المسافة بين المصنع ومكان الصب تتجاوز الساعة ونصف ؟
حل هذه المشكلة تم وضع خزان مياه فوق السيارة ، ووضع المواد جاهزة في الخلاطة من غير مياه وحل هذه المشكلة عندما تقترب السيارة من مكان الصب يتم تنزيل المياه على المواد وتبدأ عملية الخلط

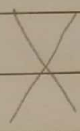
• لماذا سيارات نقل الباطون مفضلة عن غيرها من الطرق لنقل الخرسانة ؟
١- تحضر الخلطات بشكل أدق
٢- توفير وقت وجهد وأيدي عاملة رغم كلفتها المادية ، لكن كلفتها في نفسها
٣- لا تحتاج لمساحات كبيرة حتى يتم المشروع

• admixtures restadar plasticizer :
هي مواد تعيق زمن الشك في الخرسانة أي أنها تزيد من الوصول إلى زمن الشك (مادة مميعة) ، يوفر زمن شك الخرسانة (IST)

Scanned by CamScanner

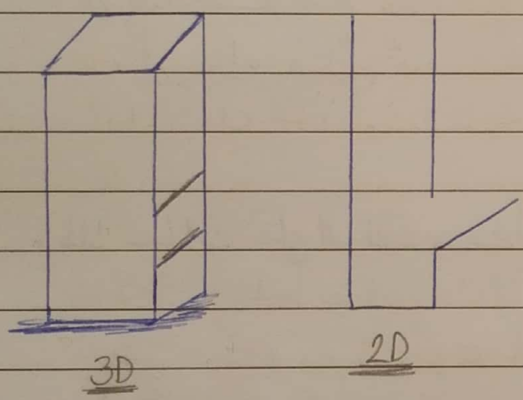
• Casting (Puring)





طريقة خاطئة لأنها تزيد عن الارتفاع المسموح به

حل المشكلة

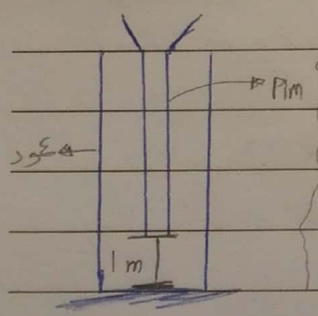


• يتم عمل فتحات على الارتفاع المسموح به للصب ومنه يتم الصب وعندما تصل الخرسانة لمستوى الفتحة تُغلق ويتم عمل فتحة للارتفاع المسموح به مجدداً

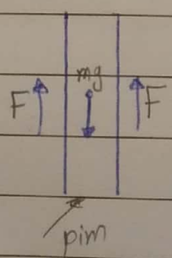
• يُمنع صب الأعمدة على مراحل بطيئة بحيث يتكون فاصل (cold joint) صب

133 ص

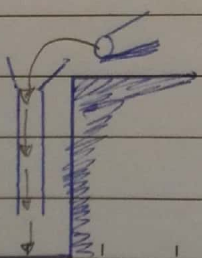
• 1 ← طرق أخرى لصب الأعمدة وسريعة



• يتناسب قطر (Pim) مع work ability



• ينطبق على الأعمدة ما ينطبق على الجدران الاستنادية



• Compaction of concrete

• الهدف منها : التخلص من الفراغات الهوائية الموجودة في الخرسانة

• طرق عملها :

① manual (يدوي)

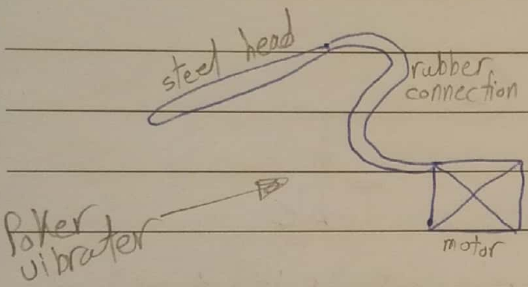
عملية مرهقة وصعبة ويتم عملها في المختبرات وأماكن خاصة يصعب وصول الأجهزة لها

أي يصعب عمل (mechanical) لها

② mechanical

Ⓐ internal (Poker vibrater) • عملية شائعة ونستخدم جهاز يسمى الرجاج

ويتم وضع الجهاز داخل الخرسانة



• العملية :

يتم وضع الرجاج داخل الخرسانة حتى تخرج الهواء

وإذا زادت العملية عن الحد المطلوب يحدث (bleeding)

و (seggregation) و تقل جودة الخرسانة

لذلك هي عملية حساسة وأهم عملية لإنتاج الخرسانة

ولذلك نحتاج (فني متخصص) يعتمد على النظر ونحتاج لوجود جهاز بديل

• يتم وضع الجهاز وإزالته بشكل عمودي حتى لا يحدث تحفير في الخرسانة (شيل عمودي ونزل عمودي)

والجهاز لا يستطيع رج منطقة أكثر من طول قطره

• تنتهي العملية عندما نرى فقاعات هواء أو ما يقاربها من الخروج مع الشعور بأن الاسمنت و FA

بدأت بالخروج هنا تنتهي العملية وهذا كله يعتمد على النظر لذلك نحتاج فني متخصص

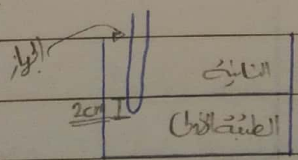
والرجة الواحدة لا تتجاوز (10s) وهذا يعتمد حسب (workability)

• لنفترض طول القطعة المعدنية (steel head) 40 cm ونريد صب 60cm

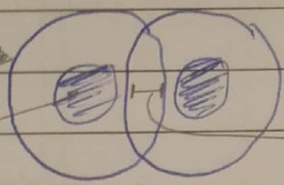
إذن نصب في البداية أقل من 40cm ونقوم بعملية الرج لها ومن ثم نصب الطبقة الأخرى

حتى نصل لـ 60cm ونقوم بعملية الرج لها مع إنزال الجهاز مقدار 2cm للطبقة الأولى

حتى لا يكون فاصل بين الطبقتين



• عند إزالة الجهاز ووضعه في منطقة مجاورة يراد إجراء عملية (compaction) لها
يجب أن ←

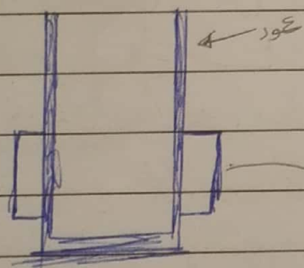


هذه المسافة تكون $\left(\frac{1}{3}\right)$ قطر دائرة تأثير الرجاج
وهذا يعتمد على النظر

• كلما زادت (vibration) زادت منطقة الرج

Ⓑ → external

Ⓘ form



رجاجات توضع على الطوبار خارجياً كالأعمدة والجدران (قوالب ضيقة)،

العيب: نهايتها لا يتم معرفتها لذلك يتم عمل اختبار قبل العمل عليها
وذلك بأخذ عينة صغيرة وإجراء العملية
ومن ثم تحديد الزمن لهذه العملية

Ⓘ Ⓘ Table

طاولة توضع عليها قالب الخرسانة وعمل vibration لها، وتستعمل هذه الطريقة في المختبرات
① في مصانع الاسمنت الجاهزة

→ Precast concrete:
هي خرسانة جاهزة الصب، يتم صبها في المصنع وتركيبها تركيباً عادياً في الموقع مع عمل vibration في المصنع لها

Final

14/4

continue → Compaction

① self-compacting concrete

High-quality superplasticicizers + viscosity-modifying admixture → High-perfomace concrete

إضافة هذه المادة للاسمنت لا يصلح لها اختبار (slump test) لأنه (workability) عالية جداً

وهذا لا يعني أن strength قليلة والماء فيها كثير وإنما على العكس تماماً

• عند إضافة (High-quality superplasticizers) تجعل الخرسانة (سائبة) و (workability) عالية جداً، ولكن هنالك خوف من وجود (seggregation) !؟
لذلك يتم إضافة مادة (viscosity-modifying admixture)
حتى تبقى المواد بين الخرسانة متماسكة وتمنع من حدوث (seggregation)

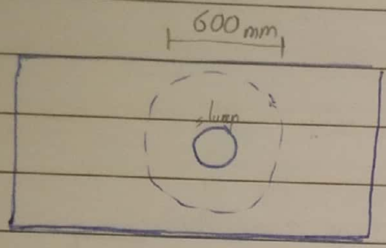
• Agg. الذي يستعمل في هذه الحالة هو (NMSA = 40 mm)
لأن Agg. الكبيرة تعمل على حدوث (segg.)
يعني أنه كلما قل حجم (Agg.) نحتاج لاسمنت أكثر لأنها تزيد المساحة وتقلل segg.
ولكن تزيد الكلفة

• هذه الخرسانة تستخدم حالياً (High-perfomace concrete) في المنشآت الحيوية، خرسانة عالية الجودة
وهي تريح من عملية (compaction) لكن كلفتها عالية جداً.

• أصعب شيء في هذه الخرسانة هي طريقة تحضيرها لأن تعتمد وفق أسس محددة.

• قياس (Workability) لها : (ولا test من المأخوذة سابقاً) :
لذلك إحدى الطرق المستخدمة أنهم يملؤون (slump) ويرفعونه بعد ذلك
ويتركون الخرسانة تتحرك لحالها، ومن ثم يقيسون القطر حتى تتوقف.
ويمكن تسميتها (slump of compacting conc.)

أما الطريقة الثانية : بالأذن (slump) ←



وعندما نحرك الخرسانة ونصل حتى 60 cm نغلق الساعة

ويسمى عندها (60-cm flow time).

• الخطر الذي يمكن أن تواجه هذه الخرسانة هو حدوث (segg.) أثناء عملية التحضير

وكانت اليابان هي البلد المنتجة لها.

مدحلة

(2) Roller-compacted concrete

هو عبارة عن خرسانة يتم (compacted) لها باستخدام مدحلة الطرق

وهذا يدل على أن (workability) لها معدوم

وهذا يعني أن slump لها صفر.

وتستخدم في المشاريع الكبيرة (كسد الوحدة)

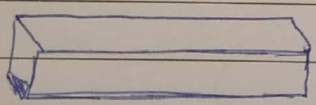
وتستخدم في الساحات الكبيرة.

• Finishing

هي عملية إنهاء سطح الخرسانة

والغرض منها الحصول على السطح المناسب

وهناك طريقتين :



(1) القدة

وهي عبارة عن قطعة خشب أو ألمنيوم

ويقوم بعملية تشبه (الزحلقة) حتى يتم إنهاء السطح

(2) المروحة (Hilicopter)

هي مروحة قابلة للحركة تعمل أثناء حركتها تنعيم السطح

وتشبه (آلة التنظيف في المستشفيات والأسواق)

• عند دك الخرسانة يحدث لها (compacting) تحت تأثير وزنها هنا يحصل (bleeding)

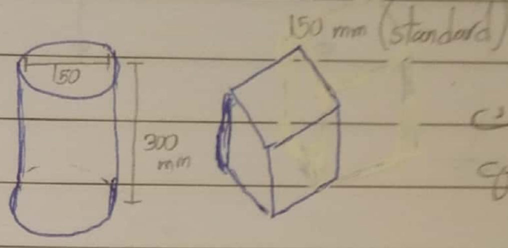
قليل جداً،

فمن الخطأ أن نرش اسمنت لأنها تنتج طبقة رقيقة جداً و (strength) لها عالية

فمع الزمن تصبح فاشلة لأجل ذلك لا نفعل شيء أو اتركها وامشي

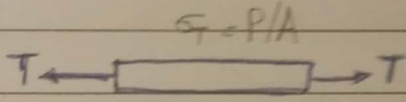
Strength

- compressive



تتم عن طريق مكعبات
أو cylinder

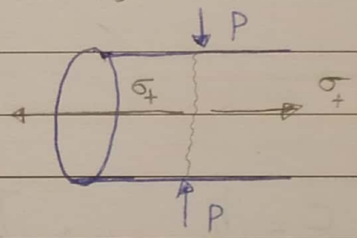
- tensile
  - direct



  - indirect ✓
  - flexural ✓

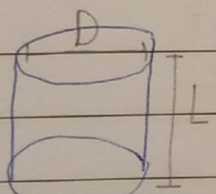
indirect (splitting) (Brazzilian)

• يتم تحضير cylinder (بنيموها) ويوضع عليها (Load) حتى تنكسر



ويعتبر indirect
لأننا أثرنا بضغط
حدث شد أدى إلى التكسر

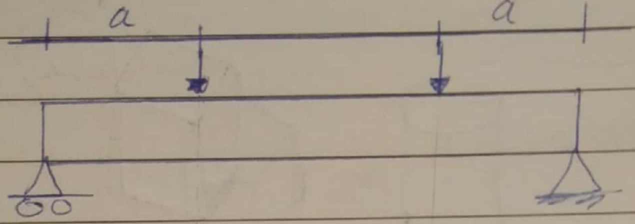
$$\sigma_{ts} = \frac{2P}{\pi D L}$$

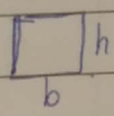


• (العلاقة بين direct و indirect):

$$\sigma_{ts} \simeq 1.1\, \sigma_t$$

Flexural

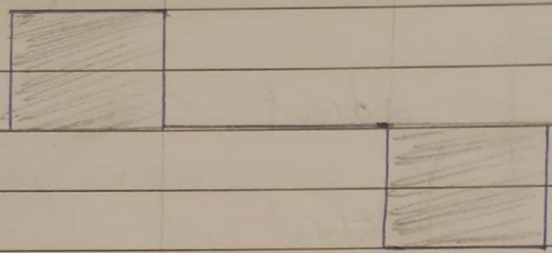




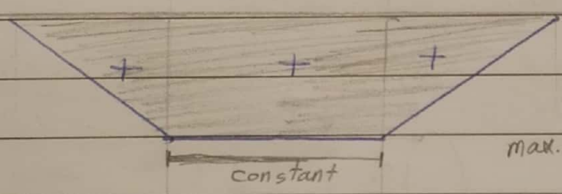
الطريقة الأولى:
two point loading

موجودة في المختبر

يتم احضار beam
وتأثير (2F) عليه متساويات



shear diagram



Moment diagram

case
pure bending →

max. moment → shear $\neq 0$

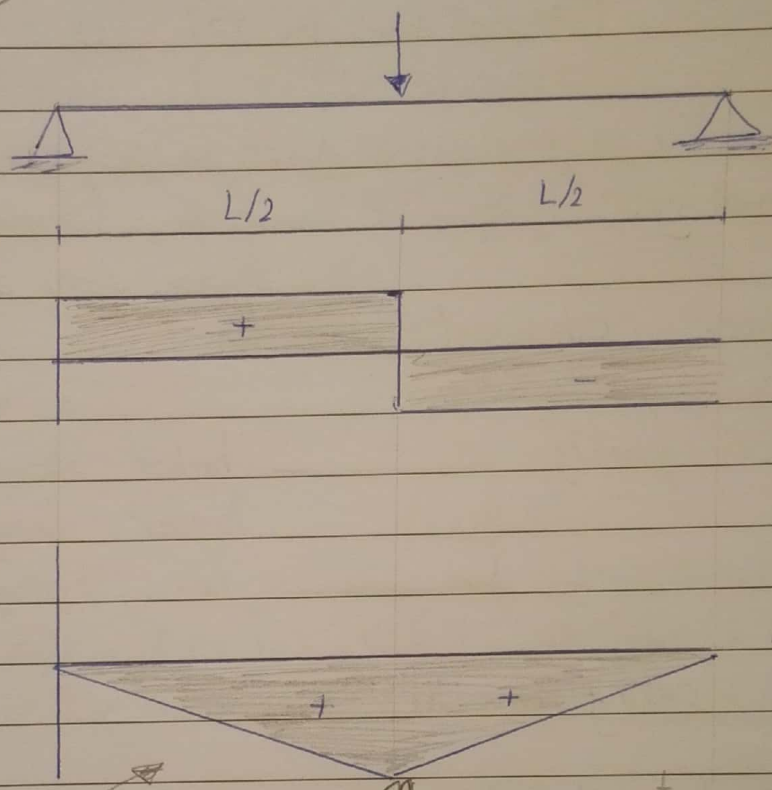
لذلك نطبق العلاقة

$$\sigma_{tb} = \frac{Mc}{I} \quad , \quad c = \frac{h}{2} \quad , \quad I = \frac{bh^3}{12}$$

16 / 4

الطريقة الثانية
one point loading system

• فانحمل اساسي لاختبار العينة بـ (Load) واحد بالوسط



shear diagram

Moment diagram

M_1 = max. momement → shear = 0 (لذلك هي أدق)

$\sigma = \frac{Mc}{I}$

combined stress

σ_{tb} = modulas of rputure → ناتج عن كسر من tension

$\sigma_{ts} \simeq 1.1\, \sigma_t$

$\sigma_{tb} \simeq (1.2-1.25)\, \sigma_t$

• طرق قياس (strength of conc.):

direct = σ_t

indirect = σ_{st}

flexural = σ_{bt}

• curing of concrete معالجة الخرسانة (معالجة و تصدية الخرسانة)

• أحد أهم عمليات انتاج الخرسانة ولكي يبدأ في بداية الخرسانة التصلبية (هو جزء من Hrdening concrete) (عندما يصل إلى FST يدخل مرحلة الصلابة)

• الهدف: الحفاظ على استمرارية التفاعل الكيميائي داخل الخرسانة بحيث تُغلق (cappilary pores) نتيجة (Hydragion of cement) فتصبح الخرسانة ذات مقاومة ديمومة عالية ونفاذية قليلة.

→ continue chemical reaction
block capillary pores
higher quality — higher strength
higher durability
low permeability نفاذية

• Method of curing

① sprinkling with water

الرش بالمياه، وهي أكثر طريقة شائعة وممتازة،

عيوبها: المياه الموجودة في الصيف عرضة للتبخر ولكي نحافظ على عدم التبخر يجب استمرارية السقاية (الأصل في الطريقة أن لا يتبخر الماء من الخرسانة)،

لذلك تحتاج كميات كبيرة من المياه، ويجب أن تكون هناك مراعاة في تطبيقها (مجهود مستمر)،

ولا تصلح أيضاً إلا للأسطح المستوية

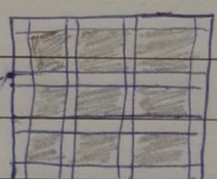
في الخرسانة ميزة أنها عندما تجف يميل لونها للأبيض

② water pouling

• طريقتها: يُقسم الخرسانة إلى أحواض بدل ناعم وملؤها بالمياه ما يقارب (4-3) cm وذلك لضمان بقاء المياه

ما ينطبق على ماء الخلط ينطبق على ماء (curing)

• عيوبها: لا تصلح إلا للأسطح الأفقية، وتحتاج كميات كبيرة من المياه عندما يحدث تبخر



3. Immerse with wet sand

- تستخدم لتوفير المياه المستخدمة في الطريقة الثانية حيث تملأ السطح بهذه المادة

4. Use wood crunches (نشارة خشب)

- نشارة الخشب تحتفظ بالماء كالرمل وهي طريقة ممتازة في الدول الغنية بالخشب
- عيوبها: تحوي على ← tanic acid
  acetic acid
  oxalic acid

لهم خطر على الخرسانة ولكنهم غير موجودين في كل أنواع الخشب

5. cover with nylon sheets (النايلون)

- تغطية الخرسانة بالنايلون مما تمنع من تبخر الماء من الخرسانة
- عيوبها: في المناطق الحارة جدا تحدث ارتفاع في الحرارة في المنطقة التي بين الخرسانة والنايلون ما يؤدي إلى حدوث ضرر في المادة

6. cover with burlap (التغطية بالخيش)

- ميزتها: الخيش عبارة عن مادة طبيعية ماصة للماء وتصلح للأسطح العمودية أيضا ويمكن استخدام مواد عضوية أخرى ماصة للماء (كالسجاد مثلا) (أو القطن)

7. Immerse in water (الغمر بالماء)

- عندما نصل الخرسانة FST نغمرها في الماء، وهي أنجح طريقة لأنك تضمن أن كل الخرسانة تصل إليها المياه، وهذه الطريقة تستعمل في الخرسانة سابقة الصنع

8. Keep form work in place (خلي الطوبار محله)

وهذه لا ينفع الطبقة العليا إذا كان عمود أو قطعة خشب أو ما يشابهها تمنع التبخر

9. use addmixtures
مواد معينة

outer ((paint) دهان يمنع التبخر لونها شفاف وهناك لون أبيض ويمكن التمييز بين الخرسانة المدهونة وغير المدهونة أن المدهونة يتحول لونها للأخضر بينما غير المدهونة تكون بيضاء اللون.)

inner (مواد توضع داخل الخرسانة تسمى إضافات تعرف باسم (water proofing))

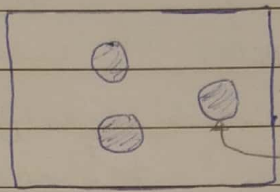
19/4

Self curing concrete

. اخترع لكي يستخدم في الدول الحارة جداً ،

. كل أفكار (curing) المأخوذة سابقاً مبنية على إما منع التبخر أو إعطاء ماء بدل المتبخر

. تتم هذه الطريقة بإيجاد مصدر مائي داخلي للماء :



① light weight agg.

يخلط مع agg. العادي ليس بالضرورة أن تكون الخرسانة خفيفة الوزن، وامتصاصيته تصل 20% لذلك هي مناسبة ،

ولكن لأن امتصاصيته عالية إذن هي تقلل strength وعلاج هذا الشيء

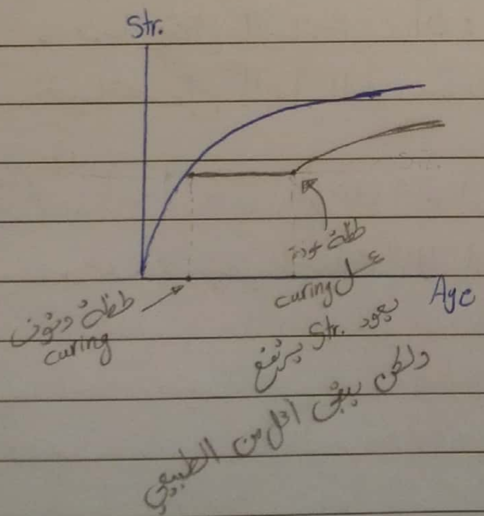
يمكن تقليل (w/c ratio) أثناء عملية التصنيع.

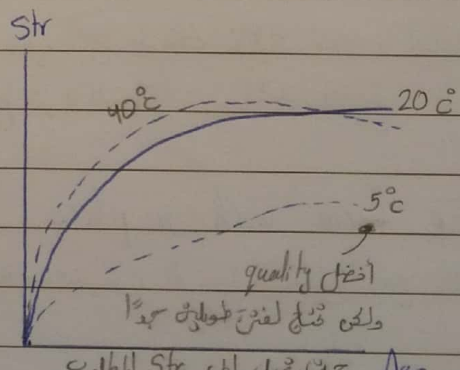
agg. absorption $\not> 5\%$

② مواد تخلط مع الخرسانة وتأخذ ماء وعندما تأخذ ماء يكبر حجمها وتحتفظ بالمياه ، لذلك تسمى Self curing concrete

Maturity of concrete نضوج الخرسانة

لم نعطي curing ؟





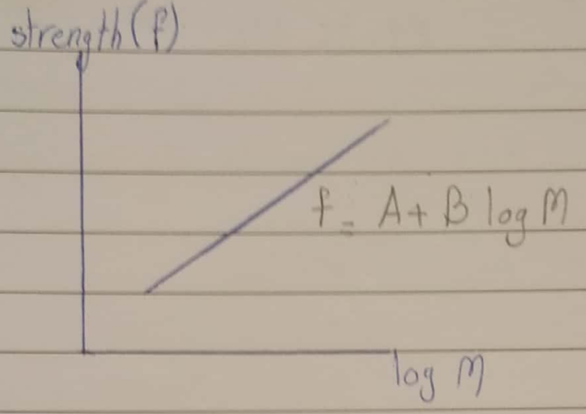
أفضل quality ولكن تحتاج لفترة طويلة جداً حتى تصل إلى Str. المطلوب عند 20°c .

-11°c No reaction

Maturity = $\sum$ (Age x temp.) = M
above −11°c

طريقة عمل العلاقة :
نأخذ عدة مكعبات ونكسرها
عند درجة 20°c وأخرى عند
درجة 40°c وهكذا ونقوم بعد
ذلك برسم الخط ونستنتج العلاقة

186 ص



189 ص

$\boxed{-x}$
10 , 20

$f = -33 + 21 \log M$

علاقة لبيت ذاتية ، T = 30
وإن ٣ لأخذ المشاريع ، Age = 7 days
، f_c = ??

① $M = Age\,[T - (-11)]$
$= 7\,[30 + 11]$
$= 287\ °c\ day$

$f_c = -33 + 21 \log 287$
$= 18.6$ MPa

② calculate the standard strength → curing 28 days and 20°c
$M = (20 + 11)(28) = 868\ °c\ days$
$f_c = -33 + 21 \log(868) = 28.7$ MPa

متى يتوقف curing :

If 85% strength of 75% of the 6-months shrinkage.

Five Apple

(3) If concrete is cured at 29 °C at what age curing can be stopped?

$M = (29+11) * Age$ | $Strength = 28.7 * .85$

$= 40\ Age$ | $= 24.34$ MPa

$24.34 = -33 + 21 \log(40\ Age)$

$Age \simeq 13.5$ days

(4) If a sample was cured for 7 days at 15 °C and the 15 days at 25 °C, calculate the strength?

$M = \Sigma (7 * (15+11)) + (15 * (25+11))$

$= 722$ °C days

$Strength = -33 + 21 \log(772)$

$= 27.64$ MPa

21/4

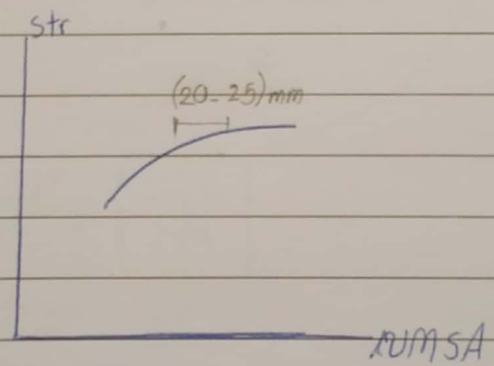
Main Factor affecting Str.

بعض العوامل المؤثرة في قوة الخرسانة

1) w/c ration
cement content when w/c ratio is constant

2) tempreature
(temp.) ترفع (str.) في الأيام الأولى ولكن بعد ذلك تقل من (str.) لدرجة الحرارة العادية ،
إذن في الصيف نحصل على (str.) أسرع من الشتوية

3) Aggregate (strength)
لازم يكون أقوى من الخرسانة
factor of saftey (2-3) من الاسمنت



4) Air voids
كلما زادت نسبة الهواء قل (str.)

5) Production procedures for fresh concrete

6) Curing من غير (Curing) لا نحصل (str.) مطلوب

7) Materials → (agg, slag cement, type of sand, ...)

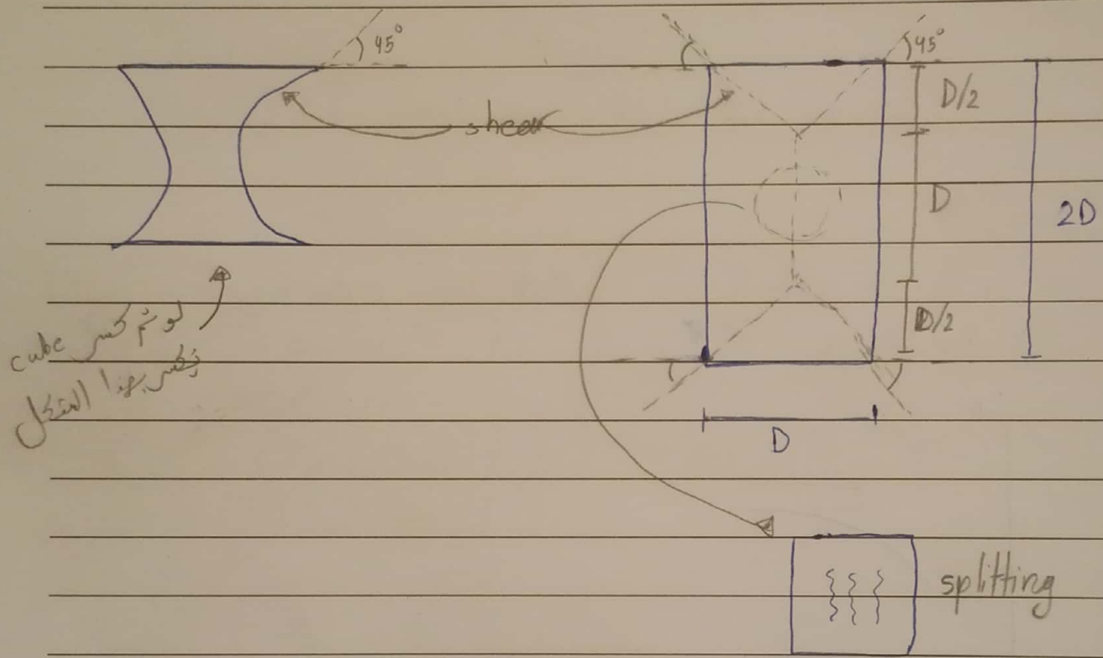
(8) shape of sample test

- cube 150 mm
- cyl. 150 mm D, 300 mm H

$\sigma_c = P/A$

$\sigma_{cy} = P/A$

$\frac{\sigma_c}{\sigma_{cy}} \approx (1.2 - 1.25)$



- الشكل السائد في الأردن هو المكعب

(9) Rate of loading at test (سرعة كسر العينة عند الاختبار)

- إذا تم كسر العينة بسرعة (str.) أعلى

(10) condition at test

- يجب أن تكسر العينة عندما تكون (SSD)
فإذا كانت جافة تعطي (str.) أعلى

Compressive site testing of Evalution

3 cubes // $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ // required strength

structural strength

• كلما زاد عدد مكعبات الاختبار زادت دقة الاختبار

$$\sigma_{av.} = \frac{\sum^{n} \sigma}{n} \geq \sigma_{req.} \rightarrow$$ تكون محددة من قبل المصمم

$$\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{req.}} \geq 85\%$$

$\boxed{Ex}$ $\sigma_{req} = 30\ MPa$

$\sigma_1 = 30\ MPa$

$\sigma_2 = 24\ MPa$

$\sigma_3 = 42\ MPa$

$\sigma_{av} = 32\ MPa > 30$ ok

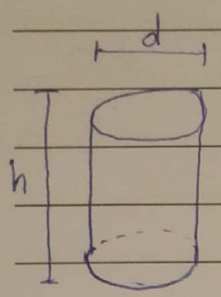
$\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{req}} = \frac{24}{30} = 80\% < 85\%$ No (Not good)

the sample false

28/4

core strength

• عينات تؤخذ من المنشأة على شكل اسطوانة عندما نرسب المكعبات المأخوذة من الخرسانة



$\sigma = P/A$

• هذه العينة غير قياسية لذلك يتم تحويلها إلى (equvilant cube) وفق المعادلة

$$f_{cube} = f_{core} \frac{D}{1.5 + \frac{1}{\lambda}}$$

حيث :

D : معامل يعتمد على طبيعة الصب حيث تؤخذ

horizontal $D = 2.5$

vertical $D = 2.3$

$\frac{h}{d} = \lambda$: λ

Ex core : 50 mm diam, 100 mm hight, drilled from wall } find f_{cube}, $P_{core} = 50$ kN

$$f_{core} = \frac{50 * 10^3}{(\frac{\pi}{4})(50)^2} = 25.46 \text{ MPa } N/mm^2$$

$$f_{cube} = 25.46 * \frac{2.5}{1.5 + \frac{1}{\frac{100}{50}}} = 31.82 \text{ MPa}$$

• at least 3 cores، عند أخذ ثلاث عينات اسطوانية

$f_{c_1}, f_{c_2}, f_{c_3}$

$f_{cube1}, f_{cube2}, f_{cube3}$

$$f_{cube(av.)} = \frac{\Sigma f_{cube}}{n}$$

$$\frac{f_{cube\,(av.)}}{} \geq 0.85\, f_{required} \quad \text{(structural)}$$

$$\frac{f_{cub\,(min)}}{f_{cube\,(req)}} \geq 0.75$$

أساس القبول

اختبار تحمل القوى للأسقف (العناصر)

- load bering test for slabs

هو عملية وضع أوزان على السقف حيث يتم اللجوء إليها عندما تفشل المكعبات

Non-destructive test

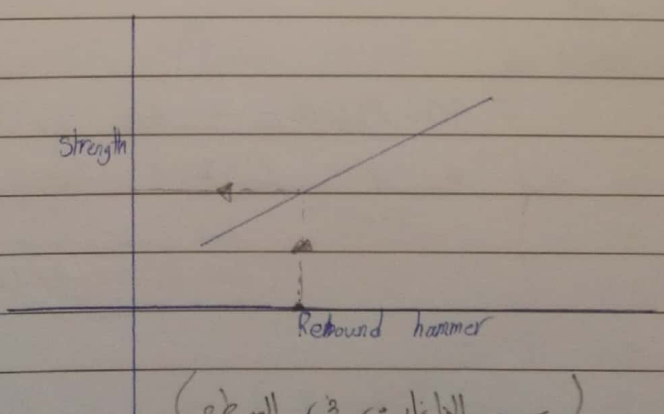
test that are used to get properties of concrete without destroying, affecting structural behaviour & leave the structure accepted to client.

اختبارات يتم اللجوء إليها حتى لا يتم تكسير

(1) Schmidt hammer (Rebound hammer)

ص 311 ، ص 312 ، ص 313

- جهاز يتم وضعه على الخرسانة حيث بإمكانه أن تضرب زنبرك على الجدار لتعطيك رقم معين ، ومن ثم يتم التمثيل بيانيًا

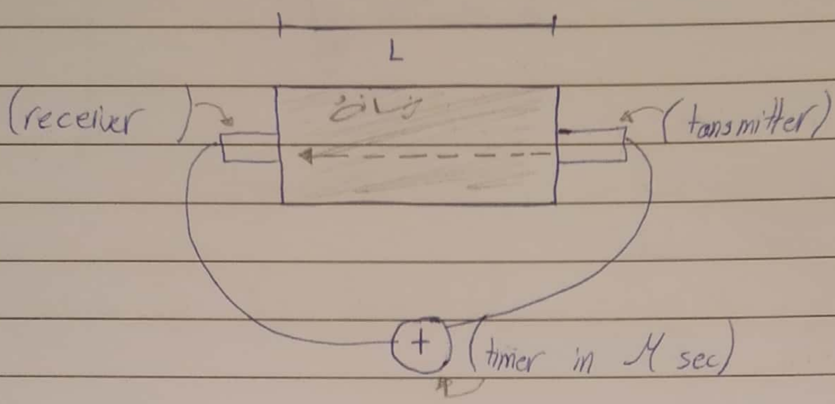


- هذا test يتأثر بـ (وجود الفراغات في السطح)
(الرطوبة)
(اتجاه الضربة)

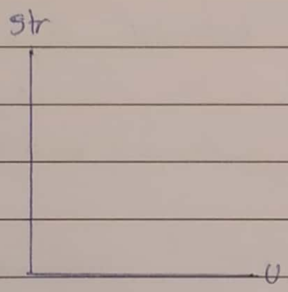
- لا يمكن أن يعطي نفس القراءة ، حتى ولو كانت بجانب بعضها

(2) Ultrasonic pulse velocity test

اختبار تقريبي (strength of conc.)
عن طريق جهاز يرسل موجات فوق صوتية



السرعة = المسافة/الزمن ، وبعد أن نحسب السرعة نلجأ لجدول ص 317



بالجدول عند استخدامه يجب أن تكون ـ معروفة (cement/aggregate ratio)

Ex

$L = 100\text{ mm} = .1\text{ m}$

$t = 40\ \mu\text{ sec} = 40 \times 10^{-6}\text{ sec}$

$w = 200$

$C = 400$

$CA = 1000$

$FA = 800$

$400/1800 = 1 : 4.5$

$v = \frac{.1}{40 \times 10^{-6}} = 2500\text{ m/sec} = 2.5\text{ km/sec}$

. لم يتم تكملة المثال لأن السرعة لا تناسب الجدول

• هذا الجهاز الحديث في تحديد (strength) لأنه يمر عبر الخرسانة لكن يعيبه أنه يتأثر في : ① Mix design (حيث السرعة في الزلط أعلى السرعة في (Lime stone))
② الرطوبة (أي أن الفراغات تحتوي مياه وليست كالفراغات الهوائية)

Five Apple

Mix Design

يعني أن يطلب منك خرسانة مقاومتها (25 MPa) و (slump) لها (10 cm)

يعني أنه طريقة لتحديد كميات لكل (m^3) من الخرسانة للحصول على مواصفات معينة

وهذه العملية تكون قبل البدء بالمشروع

ACI Method (طريقة الجداول)

لتطبيق هذه الطريقة يجب على أول شيء (Strength):

Strength:

$$f'_d = f_c + \text{Margin}$$

f'_d : الخرسانة التي يجب أن تصمم

f_c : (structural) القوة المطلوبة

Margin : معامل الأمان له قيمتين

$$\begin{cases} 2.33\,S - 3.5 \\ 1.34\,S \end{cases}$$

حيث S هي (standard deviation) (الانحراف المعياري) ولنتم الحصول عليها يجب عمل تجارب والحصول على نتائج

وإذا لم يتم الحصول عليها يتم اللجوء إلى جدول (table 17.3):

If Not Known $\longrightarrow$ table (17.3)

- Assume structural strength = 25 MPa

1. Get $f'_d = 25 + 8.5$ (الجدول يعطيني قيمة Margin)
   $= 33.5$ MPa

أي أن الخرسانة يجب أن لا تقل عن (25 MPa)

2. Get w/c ratio (table 19.1)

If concrete is non-air antrained

$\therefore$ w/c $\simeq 0.5$ ⟶ نعمل نسبة وتناسب

35 →	0.48
33.5 →	x
30 →	0.55

- الجدول يعطي (strength)، العلاقة بالخرسانة (non-airant.) تستعمل في الأردن وبالخرسانة (air ant.) تستعمل في بلاد شكل الصقيع فيها

. w/c ratio → عامل رئيسي يؤثر في (durability)

. If durability is required then :

قدرة الخرسانة على مقاومة العوامل الخارجية سواء (كيميائية، فيزيائية، بيولوجية..)

كبريتات

. $w/c \le 0.45$ for sulfates if OPC is used if SRPC is used then $w/c \le 0.50$

. $w/c \le 0.5$ for frost action صقيع

. take w/c : the lower of strength and durability

تختار الأقل إما (durability) أو (strength) لـ (w/c) إذا كانت عندك كلا الشيئين

. Assume No. durability $\therefore w/c = 0.5$

(3) Get water content → عامل رئيسي في (workability)

. Assume slump = 10 cm → وهو شائع في الأردن

. table (9.$) → بيكون من جزأين ← الأسفل للخرسانة العادية والأعلى للخرسانة التي تحوي (air entren.)

. Assume NMSA = 20 mm (تجريبية) → نحصل عليها من اختبار (sieve analy.)

Water content = 200 kg

Entraped air = 2%

هذه الطريقة لا تصلح لـ (very low) و (very high) (workability)، لها طرق خاصة.

(4) Get cement

$C = w/(w/c) = \frac{200}{0.5} = 400\ kg/m^3$

(5) table (19.10) to get CA

- Assume FM sand = 2.5

V of compacted (rodded) CA = $V_{rodded\,CA} = 0.65\ m^3$

$W_{CA} = V_{CA} \times \gamma_{rodded} = 0.65 \times 1200 = 780\ Kg$

γ_{rodded} → assume = 1200 Kg/m³

(6) Fine Agg.

$\Sigma V = 1.0$

$V_c + V_w + V_{CA} + V_{FA} + V_{air} = 1.0$

نفس المعادلة التي كنا نستخدمها لإيجاد air content لكن هنا نريد حساب FA

$$\frac{400}{3.15 \times 1000} + \frac{200}{1000} + \frac{780}{2.5 \times 1000} + \frac{W_{FA}}{2.6 \times 1000} + 0.02 = 1.0$$

$W_{FA} \simeq 887\ Kg$

200 → free water (من الجدول)

- Water to be used = Free water + absorption − moisture

حتى نطبق هذه الطريقة يجب أن تكون كل المواد ضمن المواصفات الأمريكية
ويجب أن تكون (SSD)
وإذا لم تكن (SSD) يجب حساب الماء اللازم حسب المعادلة

Ex

	moisture	absorption
CA	1%	3%
FA	5%	2%

$$W_w = 200 + \left[\frac{3}{100} * 780 + \frac{2}{100} * 887\right] - \left[\frac{1}{100} * 780 + \frac{5}{100} * 887\right]$$

$= 188.99\ Kg$

$= 189$

Admixture

Materials added to concrete to enhance (تحسّن) one or more of properties.

① Retardors → increase setting time

② Acceleators → decrease setting time

③ Plasticizers (water _ reducing admix.)

④ Superplasticizers (high - range water reducers)
(very high work ability) مواد حامية تعطي الخلطة الخرسانية
وتستعمل في المناطق التي يكون حديد التسليح
متشابك بشكل كبير جداً وفي المناطق الضيقة

(5) self compacting concrete

1- High quality (high-range) superplasticizers
2- VMA (viscosity modify admix.)

(6) Air entraining admixture

توضع مع الخرسانة حتى يتكون فراغات هوائية على مسافة
تمنع من حدوث مشكلات (Frost Action)

(7) Bonding admixtures

(8) coloring admix.

(9) water-proofing admix.

مواد توضع في الخرسانة تساعد في غلق الفراغات
لمنع حدوث النشع

(10) self curing admix.

Flow table test

This test has recently become more widespread in its use, particularly for flowing concrete made with superplasticizing admixtures (see page 154). The apparatus, shown in Fig. 5.5, consists essentially of a wooden board covered by a steel plate with a total mass of 16 kg (about 35 lb). This board is hinged along one side to a base board, each board being a 700 mm (27.6 in.) square. The upper board can be lifted up to a stop so that the free edge rises 40 mm (1.6 in.). Appropriate markings indicate the location of the concrete to be deposited on the table.

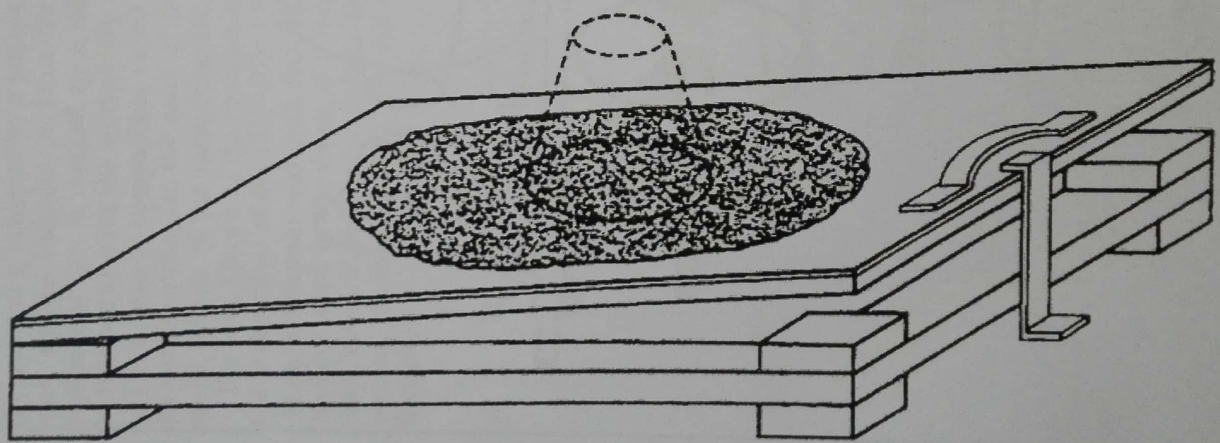
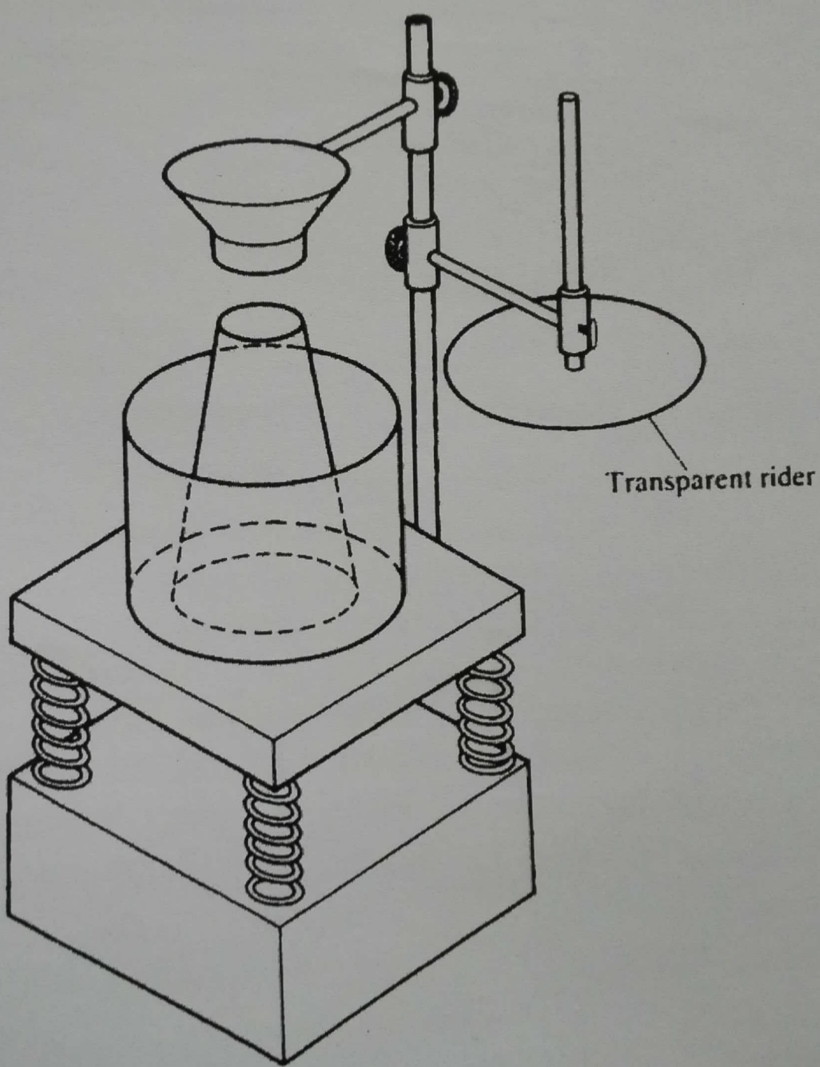


Fig. 5.5: Flow table test


Transparent rider

Compacting factor and compactability tests

Although there is no generally accepted method of directly measuring workability, i.e. the amount of work necessary to achieve full compaction, probably the best test yet available uses the inverse approach: the degree of compaction achieved by a standard amount of work is determined. The work applied includes perforce the work done to overcome the surface friction but this is reduced to a minimum, although probably the actual friction varies with the workability of the mix.

The degree of compaction, called the compacting factor, is measured by the density ratio, i.e. the ratio of the density actually achieved in the test to the density of the same concrete fully compacted.

The test, known as the compacting factor test, was developed in the UK and is described in BS 1881–103: 1993 and is appropriate for up to 40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.) maximum aggregate size. The apparatus consists essentially of two hoppers, each in the shape of a frustum of a cone, and one cylinder, the three being above one another. The hoppers have hinged doors at the bottom, as shown in Fig. 5.3. All inside surfaces are polished to reduce friction.

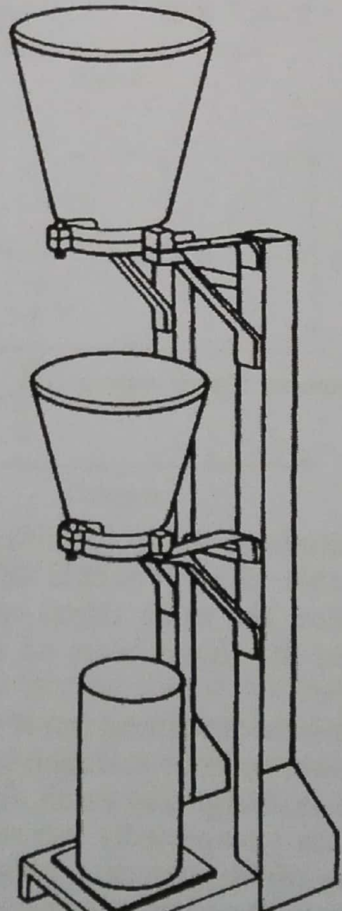


Fig. 5.3: Compacting factor apparatus

Table 5.1: **Workability, slump, and compacting factor of concretes with 19 or 38 mm ($\frac{3}{4}$ or $1\frac{1}{2}$ in.) maximum size of aggregate**

Degree of workability	Slump		Compacting factor	Use for which concrete is suitable
	mm	in.		
Very low	0–25	0–1	0.78	Roads vibrated by power-operated machines. At the more workable end of this group, concrete may be compacted in certain cases with hand-operated machines.
Low	25–50	1–2	0.85	Roads vibrated by hand-operated machines. At the more workable end of this group, concrete may be manually compacted in roads using aggregate of rounded or irregular shape. Mass concrete foundations without vibration or lightly reinforced sections with vibration.
Medium	25–100	2–4	0.92	At the less workable end of this group, manually compacted flat slabs using crushed aggregates. Normal reinforced concrete manually compacted and heavily reinforced sections with vibration.
High	100–175	4–7	0.95	For sections with congested reinforcement. Not normally suitable for vibration.

(Building Research Establishment, Crown copyright)

The order of magnitude of slump for different workabilities is given in Table 5.1 (see also Table 19.3). It should be remembered, however, that with different aggregates the same slump can be recorded for different workabilities, as indeed the slump bears no unique relation to the workability as defined earlier.

Despite these limitations, the slump test is very useful on site as a check on the day-to-day or hour-to-hour variation in the materials being fed into the mixer. An increase in slump may mean, for instance, that the moisture content of aggregate has unexpectedly increased; another cause would be a change in the grading of the aggregate, such as a deficiency of sand. Too high or too low a slump gives immediate warning and enables the mixer operator to remedy the situation. This application of the slump test, as well as its simplicity, is responsible for its widespread use.

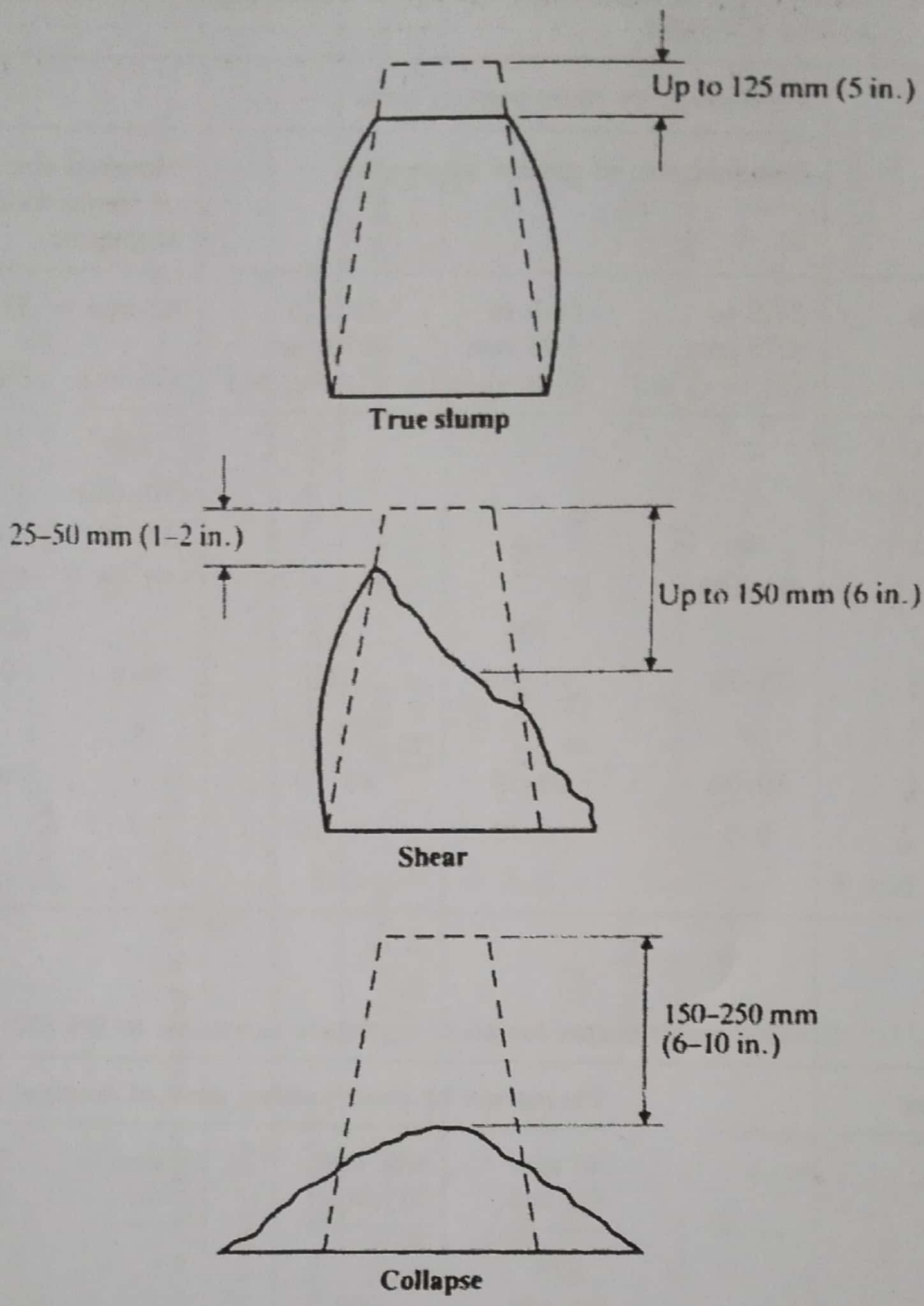


Fig. 5.2: Slump: true, shear, and collapse

If instead of slumping evenly all round, as in a true slump (Fig. 5.2), one-half of the cone slides down an inclined plane, a *shear slump* is said to have taken place, and the test should be repeated. If shear slump persists, as may be the case with harsh mixes, this is an indication of lack of cohesion of the mix.

Mixes of stiff consistence have a *zero slump*, so that in the rather dry range no variation can be detected between mixes of different workability. There is no problem with rich mixes, their slump being sensitive to variations in workability. However, in a lean mix with a tendency to harshness, a true slump can easily change to the shear type, or even to collapse (Fig. 5.2), and widely different values of slump can be obtained in different samples from the same mix; thus, the slump test is unreliable for lean mixes.

Table 3.10: **Some of the grading requirements for coarse aggregate according to ASTM C 33–03**

Sieve size mm	Sieve size in.	Percentage by mass passing sieve — Nominal size of graded aggregate: 37.5 to 4.75 mm ($1\frac{1}{2}$ to $\frac{3}{16}$ in.)	19.0 to 4.75 mm ($\frac{3}{4}$ to $\frac{3}{16}$ in.)	12.5 to 4.75 mm ($\frac{1}{2}$ to $\frac{3}{16}$ in.)	Nominal size of single-sized aggregate: 63 mm ($2\frac{1}{2}$ in.)	37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ in.)
75	3	–	–	–	100	–
63.0	$2\frac{1}{2}$	–	–	–	90–100	–
50.0	2	100	–	–	35–70	100
38.1	$1\frac{1}{2}$	95–100	–	–	0–15	90–100
25.0	1	–	100	–	–	20–55
19.0	$\frac{3}{4}$	35–70	90–100	100	0–5	0–15
12.5	$\frac{1}{2}$	–	–	90–100	–	–
9.5	$\frac{3}{8}$	10–30	20–55	40–70	–	0–5
4.75	$\frac{3}{16}$	0–5	0–10	0–15	–	–
2.36	No. 8	–	0–5	0–5	–	–

Table 3.11: **Grading requirements for all-in aggregate according to BS 882: 1992**

Sieve size mm	Sieve size in.	Percentage by mass passing sieve of nominal size: 40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.)	20 mm ($\frac{3}{4}$ in.)	10 mm ($\frac{3}{8}$ in.)	5 mm ($\frac{3}{16}$ in.)
50	2	100	–	–	–
37.5	$1\frac{1}{2}$	95–100	100	–	–
20.0	$\frac{3}{4}$	45–80	95–100	–	–
14.0	$\frac{1}{2}$	–	–	100	–
10.0	$\frac{3}{8}$	–	–	95–100	–
5.0	$\frac{3}{16}$	25–50	35–55	30–65	70–100
2.36	No. 7	–	–	20–50	25–70
1.18	No. 14	–	–	15–40	15–45
600 μm	No. 25	8–30	10–35	10–30	5–25
300 μm	No. 52	–	–	5–15	3–20
150 μm	No. 100	0–8*	0–8*	0–8*	0–15

* Increased to 10 per cent for crushed rock fines.

Table 3.9: **Grading requirements for coarse aggregate according to BS 882: 1992**

Sieve size		Percentage by mass passing BS sieve							
		Nominal size of graded aggregate			Nominal size of single-sized aggregate				
mm	in.	40 to 5 mm ($\frac{1}{2}$ in. to $\frac{3}{16}$ in.)	20 to 5 mm ($\frac{3}{4}$ in. to $\frac{3}{16}$ in.)	14 to 5 mm ($\frac{1}{2}$ in. to $\frac{3}{16}$ in.)	40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.)	20 mm ($\frac{3}{4}$ in.)	14 mm ($\frac{1}{2}$ in.)	10 mm ($\frac{3}{8}$ in.)	5 mm ($\frac{3}{16}$ in.)
50.0	2	100	–	–	100	–	–	–	–
37.5	$1\frac{1}{2}$	90–100	100	–	85–100	100	–	–	–
20.0	$\frac{3}{4}$	35–70	90–100	100	0–25	85–100	100	–	–
14.0	$\frac{1}{2}$	–	–	90–100	–	–	85–100	100	–
10.0	$\frac{3}{8}$	10–40	30–60	50–85	0–5	0–25	0–50	85–100	100
5.00	$\frac{3}{16}$	0–5	0–10	0–10	–	0–5	0–10	0–25	50–100
2.36	No. 7	–	–	–	–	–	–	0–5	0–30

Table 3.8: **BS and ASTM grading requirements for fine aggregate**

Sieve size		Percentage by mass passing sieve				
		BS 882: 1992				ASTM C 33–03
BS	ASTM No.	Overall limits	Additional limits*			
			C	M	F	
10 mm	$\frac{3}{8}$ in.	100	–	–	–	100
5 mm	$\frac{3}{16}$ in.	89–100	–	–	–	95–100
2.36 mm	8	60–100	60–100	65–100	80–100	80–100
1.18 mm	16	30–100	30–90	45–100	70–100	50–85
600 μm	30	15–100	15–54	25–80	55–100	25–60
300 μm	50	5–70	5–40	5–48	5–70	10–30
150 μm	100	0–15†	–	–	–	2–10

* C = coarse; M = medium; F = fine.
† For crushed rock sands the permissible limit is increased to 20 per cent, except when used for heavy duty floors.

BS 882: 1992 and ASTM C 33–03 specify the grading limits for fine aggregate as shown in Table 3.8. The former standard lays down overall limits and, in addition, specifies that not more than one in ten consecutive samples shall have a grading outside the limits for any *one* of the coarse, medium and fine gradings labelled C, M and F, respectively. However, fine aggregate not complying with the BS 882: 1983 requirements may be used, provided that concrete of the required quality can be produced. The ASTM C 33–03 limits are much narrower than the overall limits of BS 882: 1992, and the former standard allows reduced percentages passing the sieves 300 μm and 150 μm (No. 50 and No. 100 ASTM) when the cement content is above 297 kg/m^3 (500 lb/yd^3) or if air entrainment is used with at least 237 kg/m^3 (400 lb/yd^3) of cement.

The requirements of BS 882: 1992 for the grading of coarse aggregate are reproduced in Table 3.9: values are given both for graded aggregate and for nominal one-size fractions. For comparison, some of the limits of ASTM C 33–03 are given in Table 3.10. The actual grading requirements depend to some extent on the shape and surface characteristics of the particles. For instance, shape, angular particles with rough surfaces should have a slightly finer grading in order to reduce the possibility of interlocking and to compensate for the high friction between the particles.

BS 882: 1992 includes the grading requirements for all-in aggregate (see page 41); Table 3.11 gives the details.

The European Standard, BS EN 12620: 2002, specifies general grading requirements for coarse and fine aggregates to replace those of BS 882: 1992, which are shown in Table 3.12.

Table 3.8: **BS and ASTM grading requirements for fine aggregate**

Sieve size		Percentage by mass passing sieve				
		BS 882: 1992				ASTM C 33–03
BS	ASTM No.	Overall limits	Additional limits*			
			C	M	F	
10 mm	$\frac{3}{8}$ in.	100	–	–	–	100
5 mm	$\frac{3}{16}$ in.	89–100	–	–	–	95–100
2.36 mm	8	60–100	60–100	65–100	80–100	80–100
1.18 mm	16	30–100	30–90	45–100	70–100	50–85
600 μm	30	15–100	15–54	25–80	55–100	25–60
300 μm	50	5–70	5–40	5–48	5–70	10–30
150 μm	100	0–15†	–	–	–	2–10

* C = coarse; M = medium; F = fine.
† For crushed rock sands the permissible limit is increased to 20 per cent, except when used for heavy duty floors.

BS 882: 1992 and ASTM C 33–03 specify the grading limits for fine aggregate as shown in Table 3.8. The former standard lays down overall limits and, in addition, specifies that not more than one in ten consecutive samples shall have a grading outside the limits for any *one* of the coarse, medium and fine gradings labelled C, M and F, respectively. However, fine aggregate not complying with the BS 882: 1983 requirements may be used, provided that concrete of the required quality can be produced. The ASTM C 33–03 limits are much narrower than the overall limits of BS 882: 1992, and the former standard allows reduced percentages passing the sieves 300 μm and 150 μm (No. 50 and No. 100 ASTM) when the cement content is above 297 kg/m³ (500 lb/yd³) or if air entrainment is used with at least 237 kg/m³ (400 lb/yd³) of cement.

The requirements of BS 882: 1992 for the grading of coarse aggregate are reproduced in Table 3.9: values are given both for graded aggregate and for nominal one-size fractions. For comparison, some of the limits of ASTM C 33–03 are given in Table 3.10. The actual grading requirements depend to some extent on the shape and surface characteristics of the particles. For instance, shape, angular particles with rough surfaces should have a slightly finer grading in order to reduce the possibility of interlocking and to compensate for the high friction between the particles.

BS 882: 1992 includes the grading requirements for all-in aggregate (see page 41); Table 3.11 gives the details.

The European Standard, BS EN 12620: 2002, specifies general grading requirements for coarse and fine aggregates to replace those of BS 882: 1992, which are shown in Table 3.12.

Table 3.7: **Example of sieve analysis**

Sieve size BS (1)	Sieve size ASTM (1)	Mass retained g (2)	Percentage retained (3)	Cumulative percentage passing (4)	Cumulative percentage retained (5)
10.0 mm	$\frac{3}{8}$ in.	0	0.0	100	0
5.00 mm	4	6	2.0	98	2
2.36 mm	8	31	10.1	88	12
1.18 mm	16	30	9.8	78	22
600 μm	30	59	19.2	59	41
300 μm	50	107	34.9	24	76
150 μm	100	53	17.3	7	93
<150 μm	<100	21	6.8	–	–
		Total = 307			Total = 246
				Fineness modulus =	2.46

spacing for the standard series of sieves. This is illustrated in Fig. 3.2 which represents the data of Table 3.7.

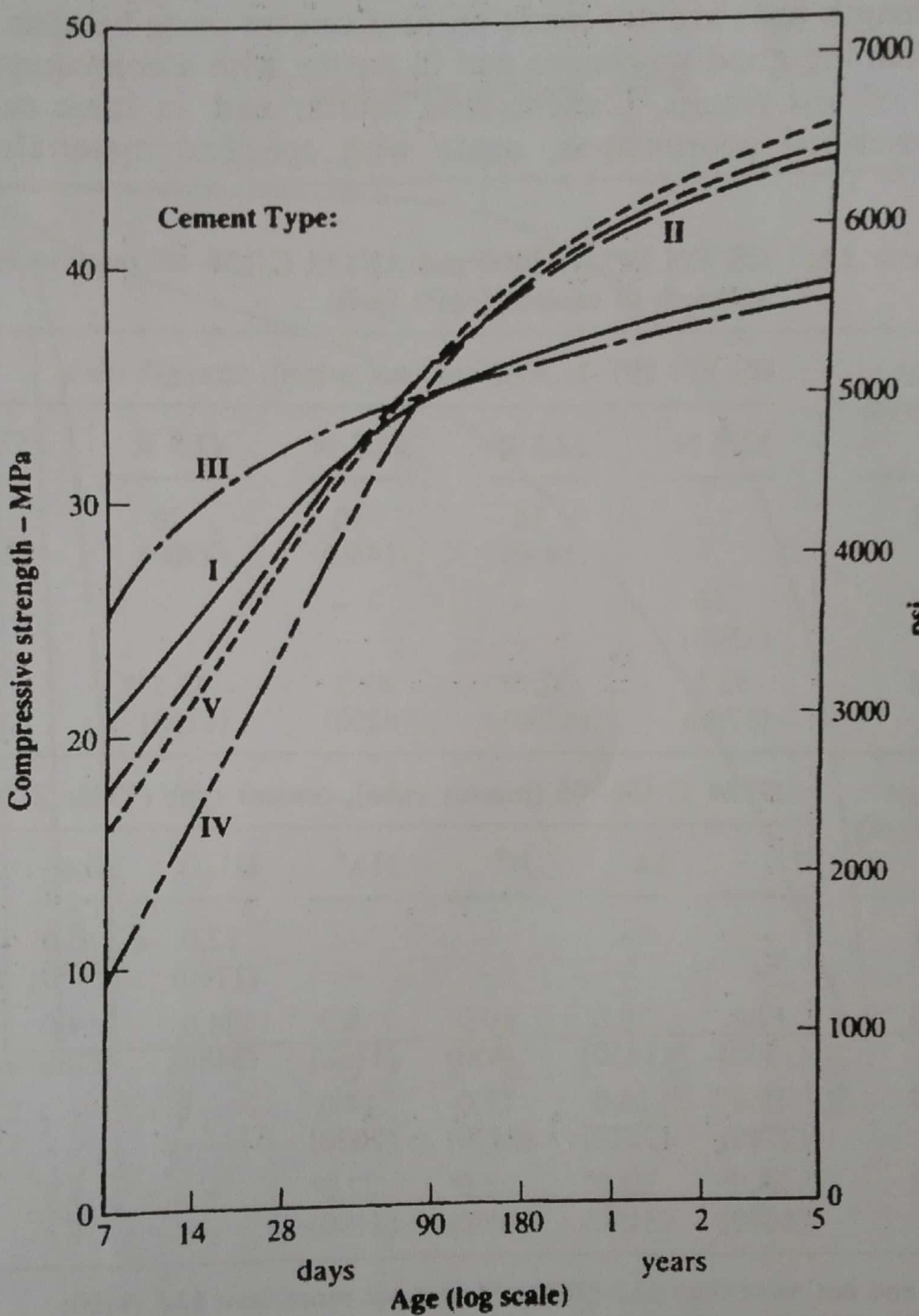


Fig. 2.4: Strength development of concretes containing 335 kg of cement per cubic metre (565 lb/yd³) and made with Portland cements of different types: ordinary (Type I), modified (Type II), rapid-hardening (Type III), low-heat (Type IV), and sulfate-resisting (Type V) (From: US BUREAU OF RECLAMATION, *Concrete Manual*, 8th Edn (Denver, Colorado, 1975).)

Strength

Strength tests are not made on neat cement paste because of difficulties in obtaining good specimens and in testing with a consequent large variability of test results. Cement–sand mortar and, in some cases, concrete of prescribed proportions, made with specified materials under strictly

Table 2.6: **BS EN 197–1: 2000 and ASTM C 150–05 requirements for minimum strength of cement (MPa (psi))**

Age (days)	BS EN 197–1: 2000 (mortar prism), strength class					
	32.5 N	32.5 R	42.5 N	42.5 R	52.5 N	62.5 R
2	– –	10 (1450)	10 (1450)	20 (2900)	20 (2900)	20 (2900)
7	16 (2300)	– –	– –	– –	– –	– –
28	32.5* (4700)	32.5* (4700)	42.5 (6200)	42.5** (6200)	52.5 (7600)	62.5 (9100)

Age (days)	ASTM C 150–05 (mortar cube), cement type (Table 2.7)							
	I	IA	II[#]	IIA[#]	III	IIIA	IV	V
1	– –	– –	– –	– –	12.0 (1740)	10.0 (1450)	– –	– –
3	12.0 (1740)	10.0 (1450)	10.0 (450)	8.0 (1160)	24.0 (3480)	19.0 (2760)	– –	8.0 (1160)
7	19.0 (2760)	16.0 (2320)	17.0 (2470)	14.0 (2030)	– –	– –	7.0 (1020)	15.0 (2180)
28	28.0[a] (4060)	22.0[a] (3190)	28.0[a] (4080)	22.0[a] (3190)	– –	– –	17.0 (2470)	21.0 (3050)

* and not more than 52.5 (7600); ** and not more than 62.5 (9100)
[#] Strength values depend on specified heat of hydration or chemical limits of tricalcium silicate and tricalcium aluminate
[a] Optional

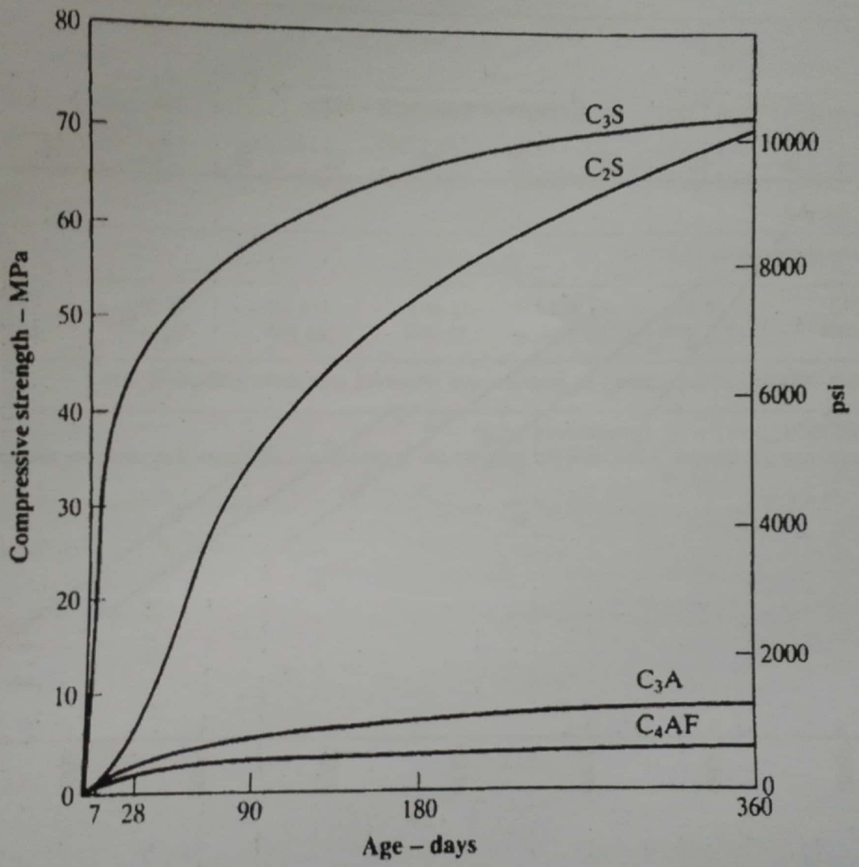


Fig. 2.2: Development of strength of pure compounds
(From: R. H. BOGUE, *Chemistry of Portland Cement* (New York, Reinhold, 1955).)

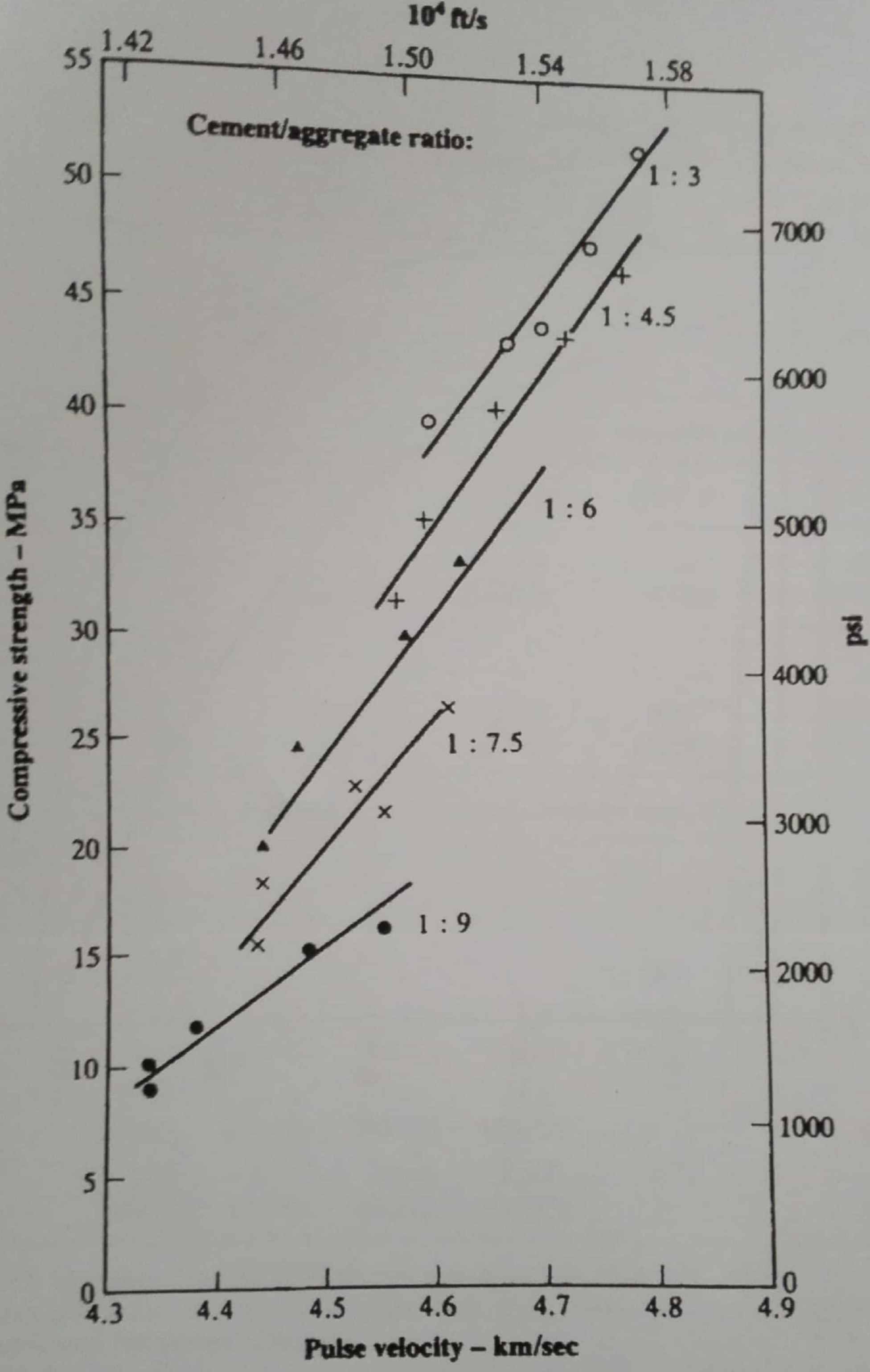


Fig. 16.12: Relation between compressive strength and ultrasonic pulse velocity of concrete cubes for concretes of different mix proportions (From: R. JONES and E. N. GATFIELD, Testing concrete by an ultrasonic pulse technique, *DSIR Road Research Tech. Paper* No. 34 (London, HMSO, 1955.)

Table 19.4: **Approximate requirements for mixing water and air content for different workabilities and nominal maximum sizes of aggregates according to ACI 211.1–91 (Reapproved 2002)**

Workability or air content	Water content, kg/m^3 (lb/yd^3) of concrete for indicated maximum aggregate size							
	10 mm ($\frac{3}{8}$ in.)	**12.5 mm ($\frac{1}{2}$ in.)**	**20 mm ($\frac{3}{4}$ in.)**	**25 mm (1 in.)**	**40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.)**	**50 mm (2 in.)**	**70 mm (3 in.)**	**150 mm (6 in.)**
	Non-air-entrained concrete							
Slump:								
30–50 mm (1–2 in.)	205 (350)	200 (335)	185 (315)	180 (300)	160 (275)	155 (260)	145 (220)	125 (190)
80–100 mm (3–4 in.)	225 (385)	215 (365)	200 (340)	195 (325)	175 (300)	170 (285)	160 (245)	140 (210)
150–180 mm (6–7 in.)	240 (410)	230 (385)	210 (360)	205 (340)	185 (315)	180 (300)	170 (270)	–
Approximate entrapped air content, per cent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

	Air-entrained concrete							
Slump:								
30–50 mm (1–2 in.)	180 (305)	175 (295)	165 (280)	160 (270)	145 (250)	140 (240)	135 (205)	120 (180)
80–100 mm (3–4 in.)	200 (340)	190 (325)	180 (305)	175 (295)	160 (275)	155 (265)	150 (225)	135 (200)
150–180 mm (6–7 in.)	215 (365)	205 (345)	190 (325)	185 (310)	170 (290)	165 (280)	160 (260)	–
Recommended average total air content, per cent:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
Extreme exposure†	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Slump values for concrete containing aggregate larger than 40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.) are based on slump tests made after removal of particles larger than 40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.) by wet-screening.

Water contents for nominal maximum size of aggregate of 70 mm (3 in.) and 150 mm (6 in.) are average values for reasonably well-shaped coarse aggregates, well graded from coarse to fine.

* For concrete containing large aggregate which will be wet-screened over the 40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.) sieve prior to testing of air content, the percentage of air expected in the material smaller than 40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.) should be as tabulated in the 40 mm ($1\frac{1}{2}$ in.) column. However, initial proportioning calculations should be based on the air content as a percentage of the whole mix.

† These values are based on the criterion that a 9 per cent air content is needed in the mortar phase of the concrete.

Table 19.5: **Approximate free water content required to give various levels of workability according to the 1997 British method**

Aggregate		Water content kg/m³ (lb/yd³) for:				
Max. size mm (in.)	Type	Slump mm (in.)	0–10 (0–½)	10–30 (½–1)	30–60 (1–2½)	60–180 (2½–7)
		Vebe s	>12	6–12	3–6	0–3
10 (⅜)	Uncrushed		150 (255)	180 (305)	205 (345)	225 (380)
	Crushed		180 (305)	205 (345)	230 (390)	250 (420)
20 (¾)	Uncrushed		135 (230)	160 (270)	180 (305)	195 (330)
	Crushed		170 (285)	190 (320)	210 (355)	225 (380)
40 (1½)	Uncrushed		115 (195)	140 (235)	160 (270)	175 (295)
	Crushed		155 (260)	175 (295)	190 (320)	205 (345)

The 1997 British method of mix design uses a similar approach to estimate the free water content but uncrushed and crushed aggregates are differentiated (see Table 19.5). In the case of air-entrained concrete, the free water content is selected for the next less-workable category of Table 19.5, e.g. the water content for a required slump of 30–60 mm (1–2½ in.) is selected from the 10–30 mm (½–1 in.) slump category.

For a given workability, the water content of a mix containing fly ash depends upon level of replacement of Portland cement. In the British method the estimated water content of a Portland-cement-only mix is reduced by the amounts of Table 19.6. It should be noted that, for a given

Table 19.6: **Reductions in the free water contents of Table 19.5 when using fly ash**

Percentage of fly ash in cementitious material	Reduction in water content, kg/m³ (lb/yd³) for:				
	Slump mm (in.)	0–10 (0–½)	10–30 (½–1)	30–60 (1–2½)	60–100 (2½–7)
	Vebe s	>12	6–12	3–6	0–3
	10	5 (10)	5 (10)	5 (10)	10 (20)
	20	10 (20)	10 (20)	10 (20)	15 (25)
	30	15 (25)	15 (25)	20 (35)	20 (35)
	40	20 (35)	20 (35)	25 (40)	25 (40)
	50	25 (40)	25 (40)	30 (50)	30 (50)

Table 19.7: **'Ideal' combined grading for coarse aggregate of nominal maximum size of 150 mm (6 in.) and 75 mm (3 in.) as given by Eq. (19.1)**

Sieve size		Cumulative percentage passing for nominal maximum size of aggregate in mm (in.)			
		150 (6)		75 (3)	
mm	in.	Crushed	Rounded	Crushed	Rounded
150	6	100	100	–	–
125	5	85	89	–	–
100	4	70	78	–	–
75	3	55	64	100	100
50	2	38	49	69	75
37.5	$1\frac{1}{2}$	28	39	52	61
25	1	19	28	34	44
19	$\frac{3}{4}$	13	21	25	33
9.5	$\frac{3}{8}$	5	9	9	14

Table 19.8: Example of grading of individual crushed coarse aggregate fractions to be combined into an 'ideal' grading for mass concrete

Sieve size		Cumulative percentage passing for fraction			
		150–75 mm (6–3 in.)	75–37.5 mm (3–$1\frac{1}{2}$ in.)	37.5–19 mm ($1\frac{1}{2}$–$\frac{3}{4}$ in.)	19–4.76 mm ($\frac{3}{4}$ in.–No. 4)
mm	in.	(1)	(2)	(3)	(4)
175	7	100	–	–	–
150	6	98	–	–	–
100	4	30	100	–	–
75	3	10	92	–	–
50	2	2	30	100	–
37.5	$1\frac{1}{2}$	0	6	94	–
25	1	0	4	36	100
19	$\frac{3}{4}$	0	0	4	92
9.5	$\frac{3}{8}$	0	0	2	30
4.76	No. 4	0	0	0	2

Table 19.9: **Dry bulk volume of coarse aggregate per unit volume of concrete as given by ACI 211.1–91 (Reapproved 2002)**

Maximum size of aggregate		Dry bulk volume of rodded coarse aggregate per unit volume of concrete for fineness modulus of sand of:			
mm	in.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	$\frac{3}{8}$	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	$\frac{1}{2}$	0.59	0.57	0.55	0.53
20	$\frac{3}{4}$	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1	0.71	0.69	0.67	0.65
40	$1\frac{1}{2}$	0.75	0.73	0.71	0.69
50	2	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3	0.82	0.80	0.78	0.76
150	6	0.87	0.85	0.83	0.81

The values given will produce a mix with a workability suitable for reinforced concrete construction. For less workable concrete, e.g. that used in road construction, the values may be increased by about 10 per cent. For more workable concrete, such as may be required for placing by pumping, the values may be reduced by up to 10 per cent.

Table 19.10: **First estimate of density (unit weight) of fresh concrete as given by ACI 211.1–91 (Reapproved 2002)**

Maximum size of aggregate		First estimate of density (unit weight) of fresh concrete			
		Non-air-entrained		Air-entrained	
mm	in.	kg/m^3	lb/yd^3	kg/m^3	lb/yd^3
10	$\frac{3}{8}$	2285	3840	2190	3690
12.5	$\frac{1}{2}$	2315	3890	2235	3760
20	$\frac{3}{4}$	2355	3960	2280	3840
25	1	2380	4010	2285	3850
40	$1\frac{1}{2}$	2415	4070	2320	3910
50	2	2445	4120	2345	3950
70	3	2495	4200	2400	4040
150	6	2530	4260	2440	4110

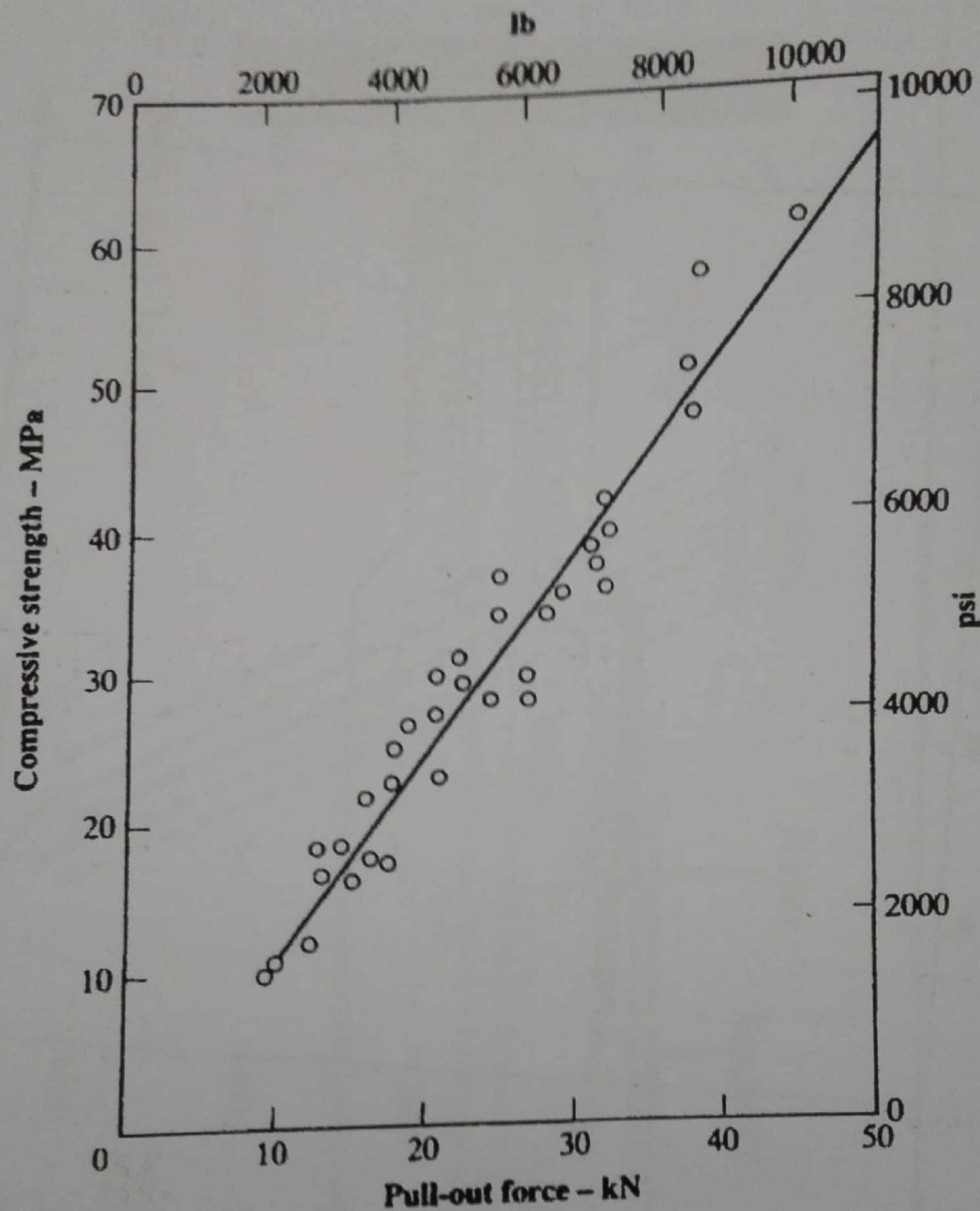


Fig. 16.10: Relation between compressive strength of cores and pull-out force for actual structures
(From: U. BELLANDER, Strength in concrete structures, *CBI Report* 1:78, p. 15 (Swedish Cement and Concrete Research Inst. 1978).

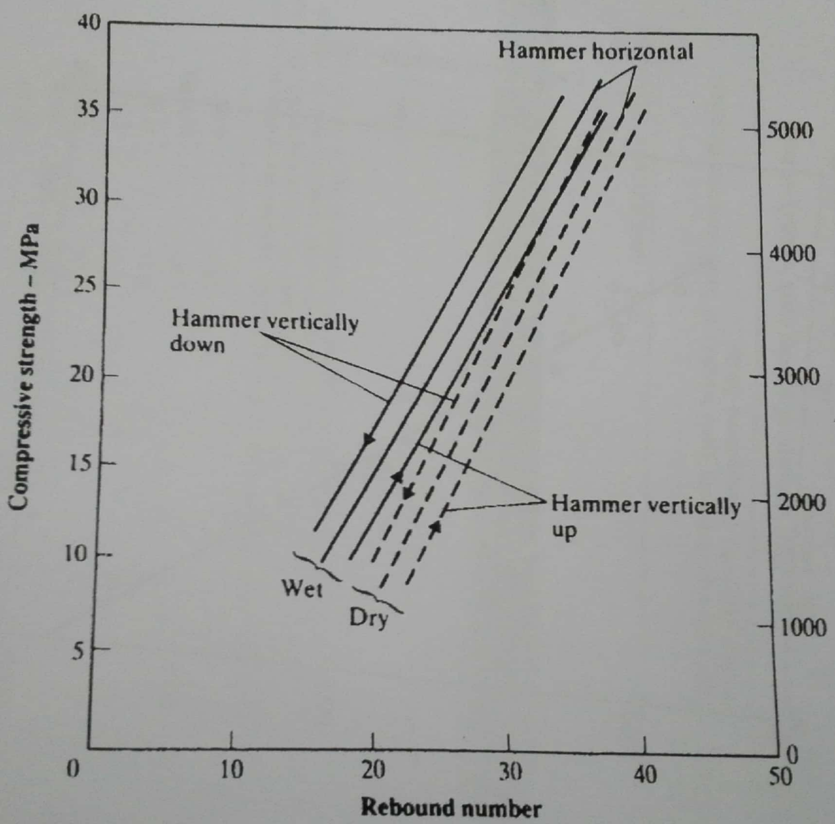


Fig. 16.8: Typical relations between compressive strength and rebound number with the hammer horizontal and vertical on a dry and a wet surface of concrete

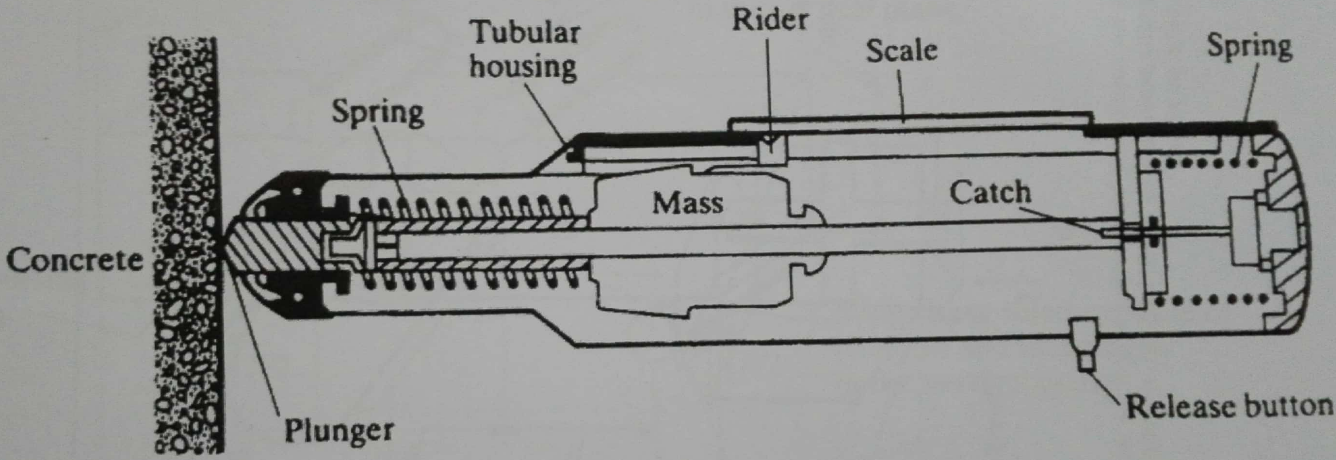
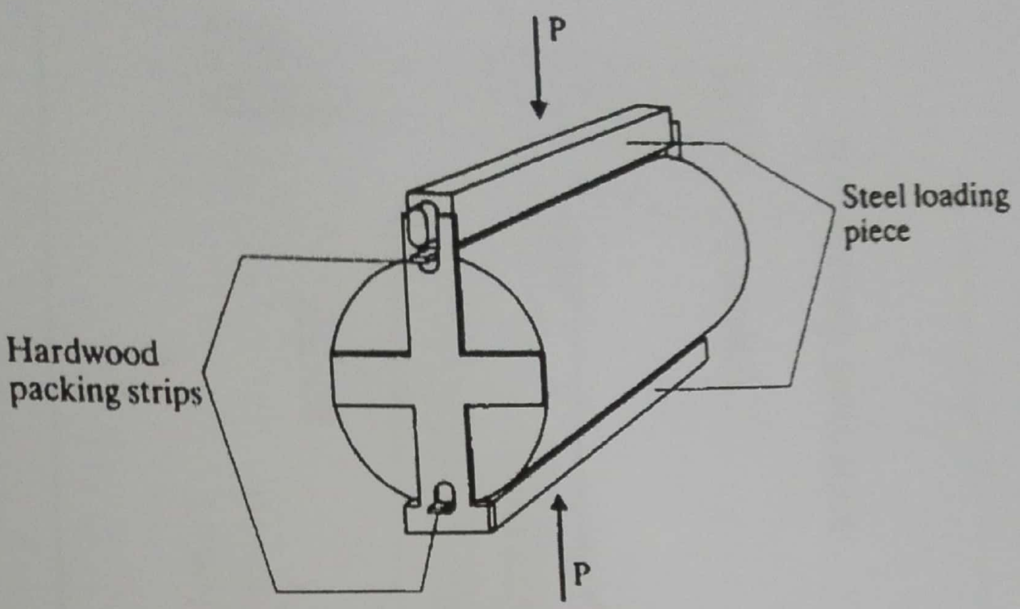
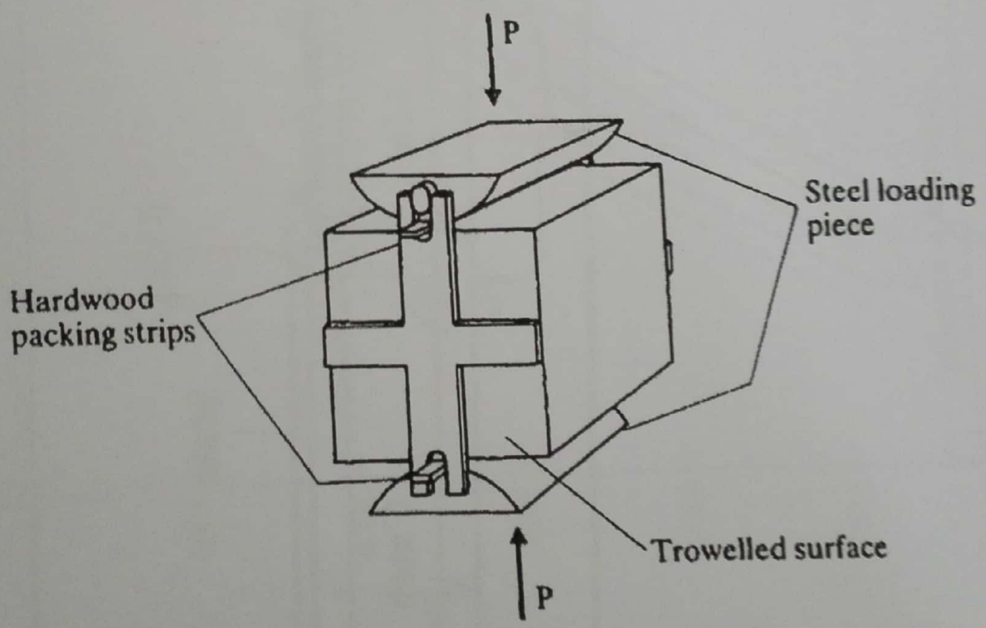


Fig. 16.7: Rebound hammer



(a)



(b)

Fig. 16.5: Jigs for supporting test specimens for the determination of splitting strength according to BS EN 12390–6: 2000: (a) cylinder and (b) cube or prism

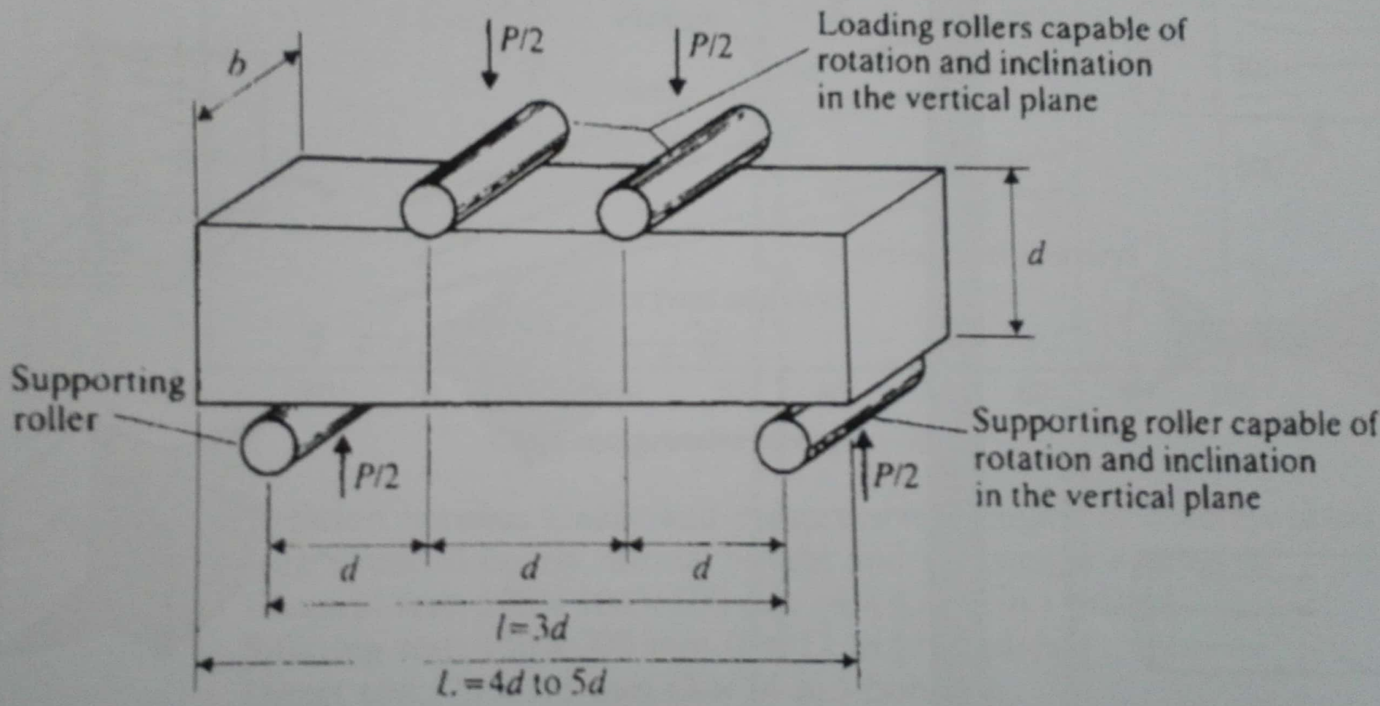


Fig. 16.4: Arrangement for the modulus of rupture test (From: BS EN 12390–5: 2000.)

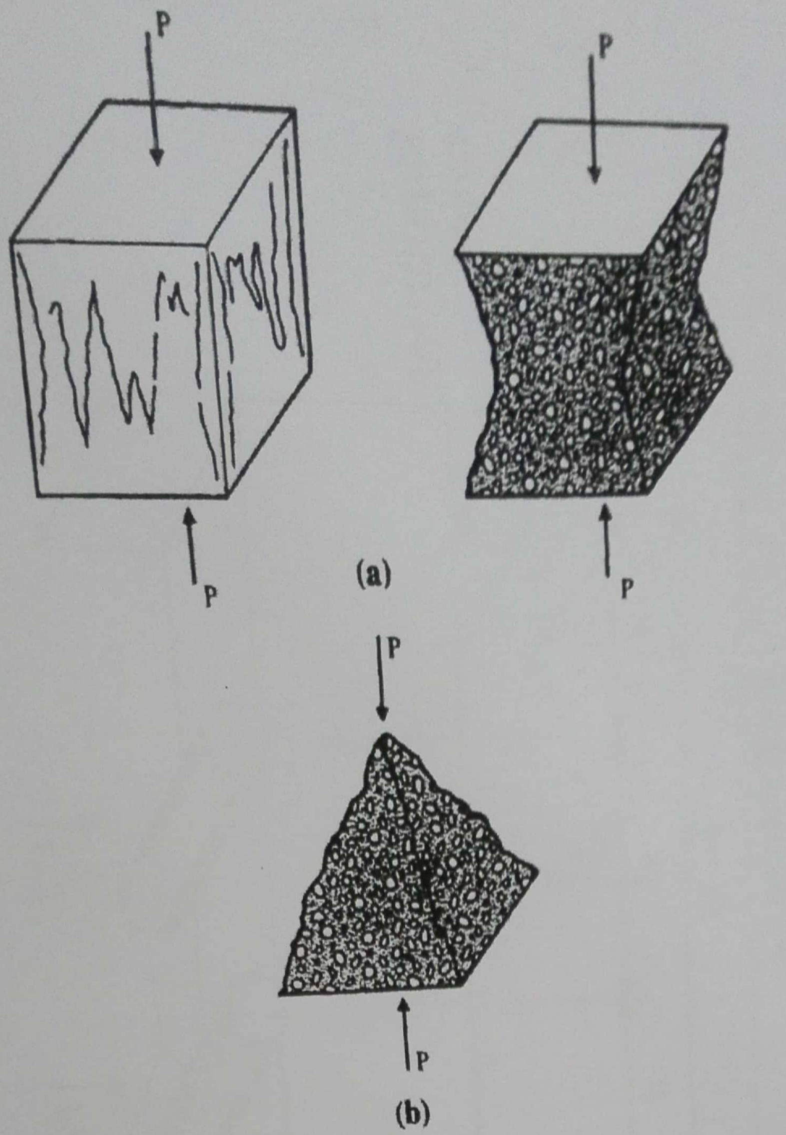


Fig. 16.1: Typical satisfactory failure modes of test cubes according to BS EN 12390–3: 2002: (a) non-explosive, and (b) explosive

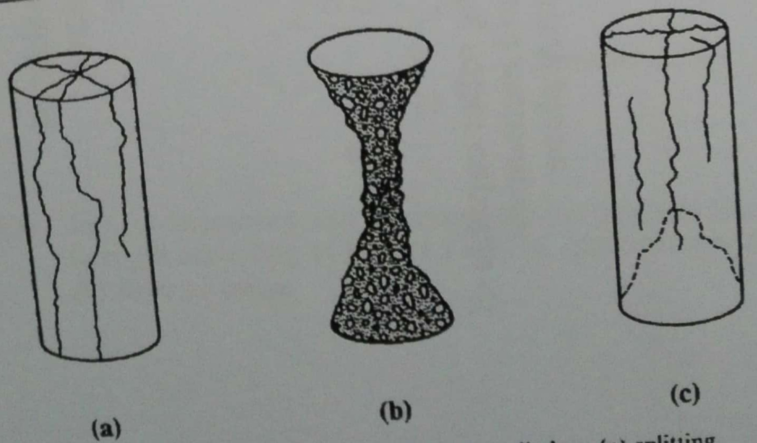


Fig. 16.2: Typical failure modes of standard test cylinders; (a) splitting, (b) shear (cone), and (c) splitting and shear (cone)

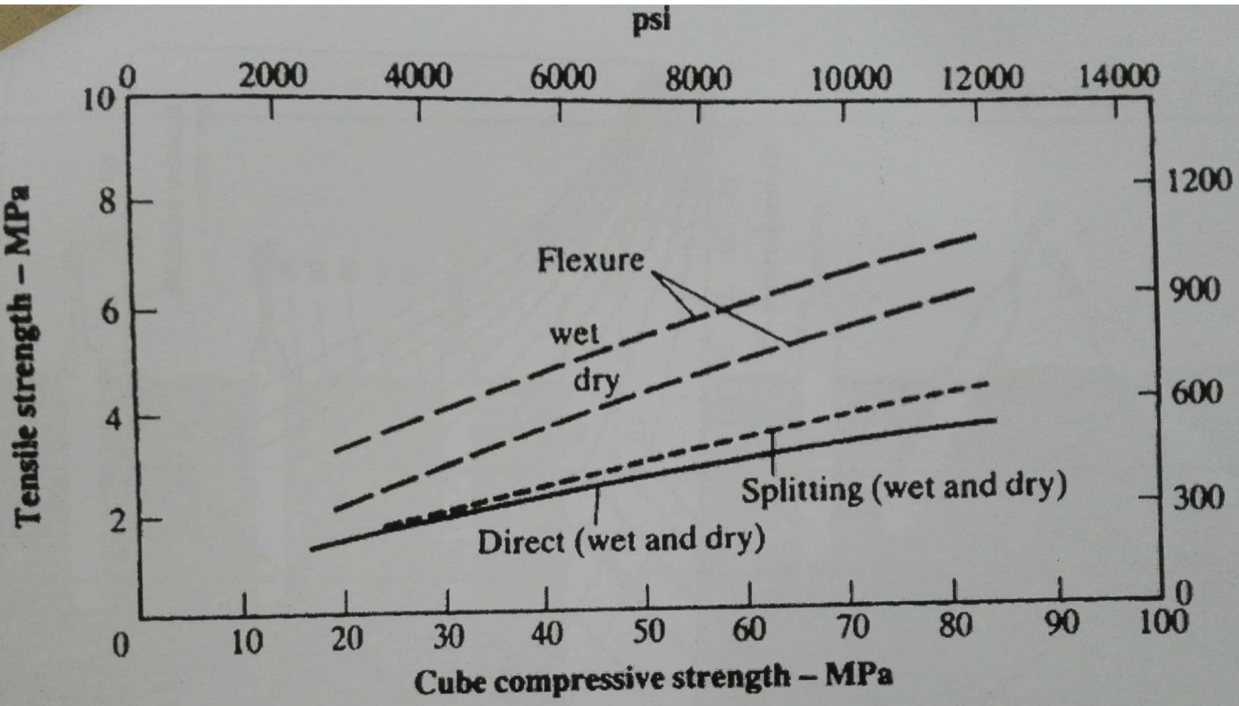


Fig. 11.1: Relation between tensile and compressive strengths of concrete made with rounded coarse normal weight and lightweight aggregates
Flexural test: 100 × 100 × 500 mm (4 × 4 × 20 in.) prisms,
Splitting test: 150 × 300 mm (6 × 12 in.) cylinders,
Direct test: 75 × 355 mm (3 × 14 in.) bobbins,
Compression test: 100 mm (4 in.) cubes.

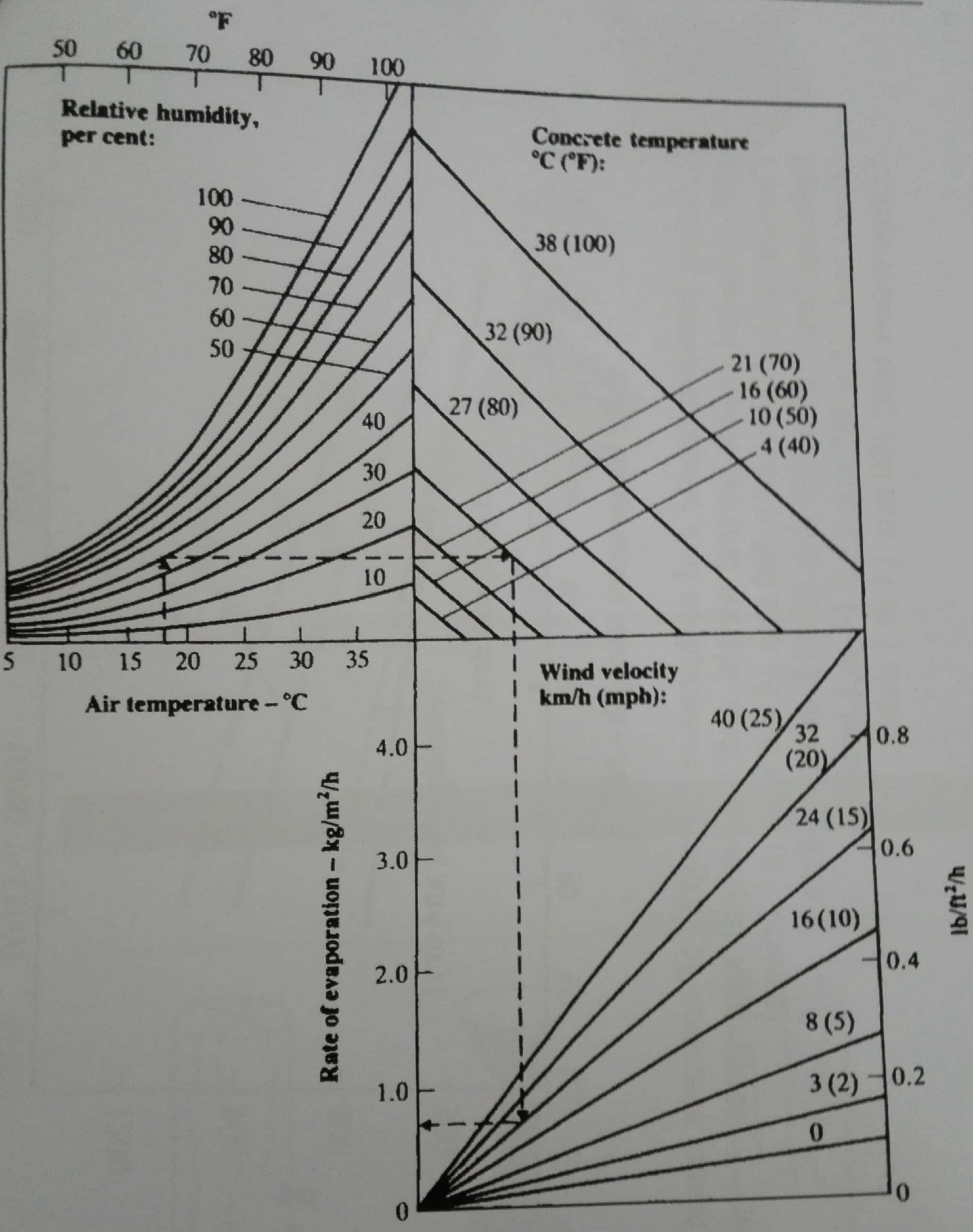


Fig. 9.2: Effect of concrete and air temperatures, relative humidity, and wind velocity on the rate of evaporation of surface moisture from concrete (Based on: ACI 305.R–99.)

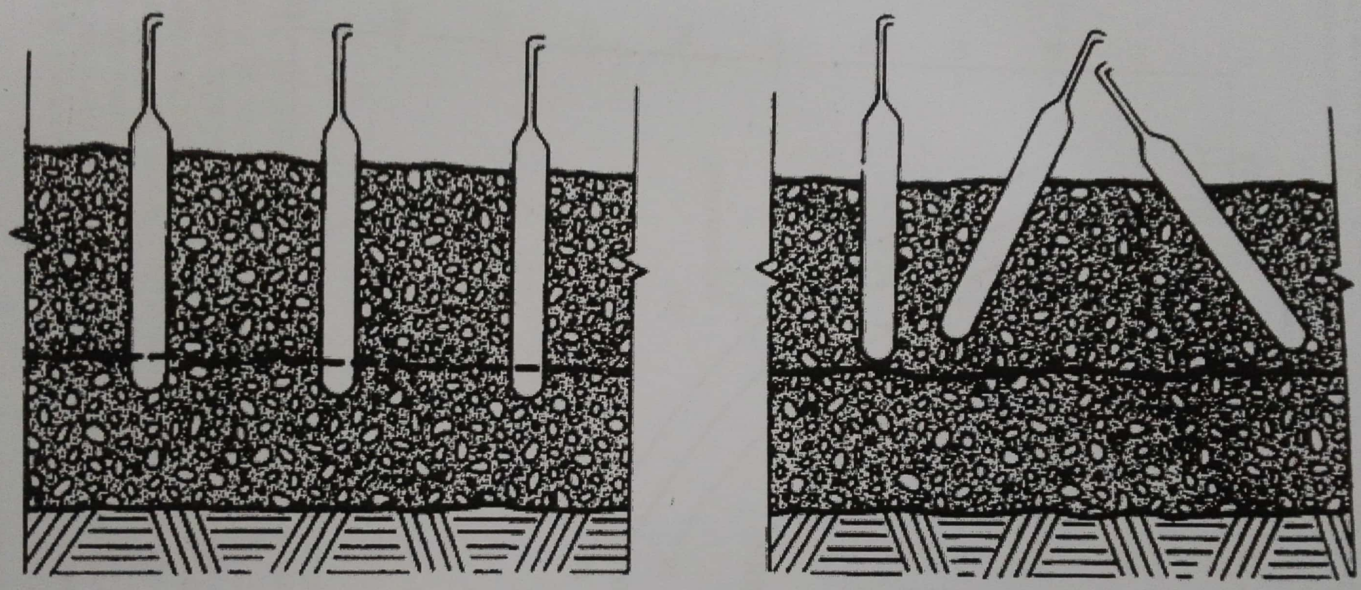


Fig. 7.11: Placing of poker vibrators
(Based on *ACI Manual of Concrete Practice.*)

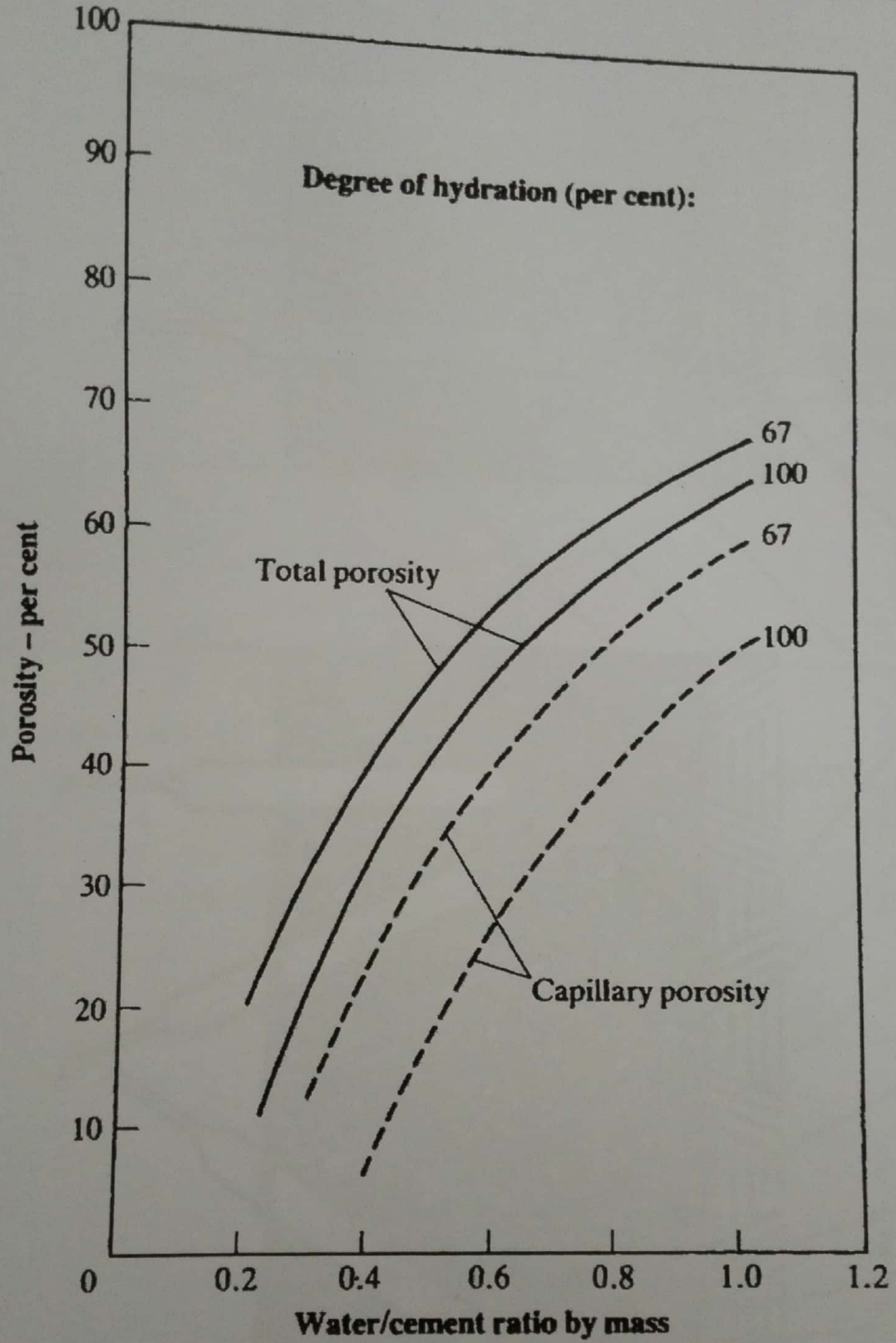


Fig. 6.6: Influence of water/cement ratio and degree on hydration on capillary and total porosities of cement paste, as given by Eqs (6.11) and (6.12)

onto the shaded side. We can see that, when uniaxial compression is applied, the compressive strength is $8K$, i.e. eight times the direct tensile strength; this value is of the correct order for the observed ratio of compressive to tensile strengths of concrete (see Chapter 10). There are, however, some difficulties in reconciling certain aspects of Griffith's hypothesis with the observed direction of cracks in concrete compression specimens.

Figure 6.3 shows the observed fracture patterns of concrete under different states of stress. Under uniaxial tension, fracture occurs more or less in a plane normal to the direction of the load.

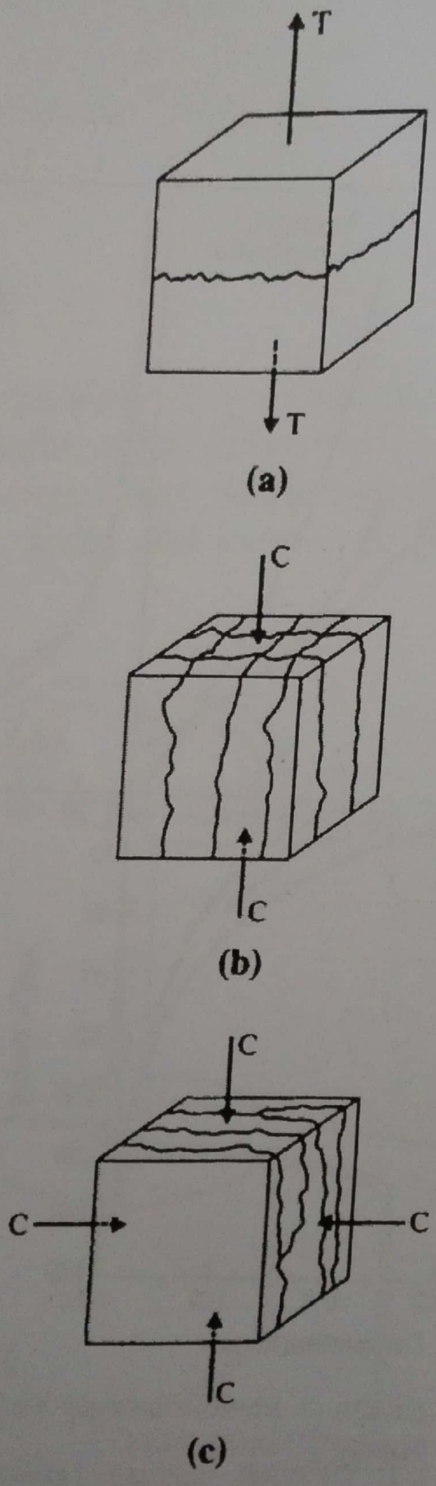


Fig. 6.3: Fracture patterns of concrete under: (a) uniaxial tension, (b) uniaxial compression, and (c) biaxial compression

the relation must not be assumed to be generally applicable since it depends on factors such as the shape and texture of the aggregate or presence of entrained air, as well as on mix proportions. For specific mixes, the relation between compacting factor and slump has been obtained, but such a relation is also a function of the properties of the mix. A general indication of the pattern of the relation between the compacting factor, Vebe time, and slump is shown in Fig. 5.8. The influence of the richness of the mix (or aggregate/cement ratio) in two of these relations is clear. The absence of influence in the case of the relation between slump and

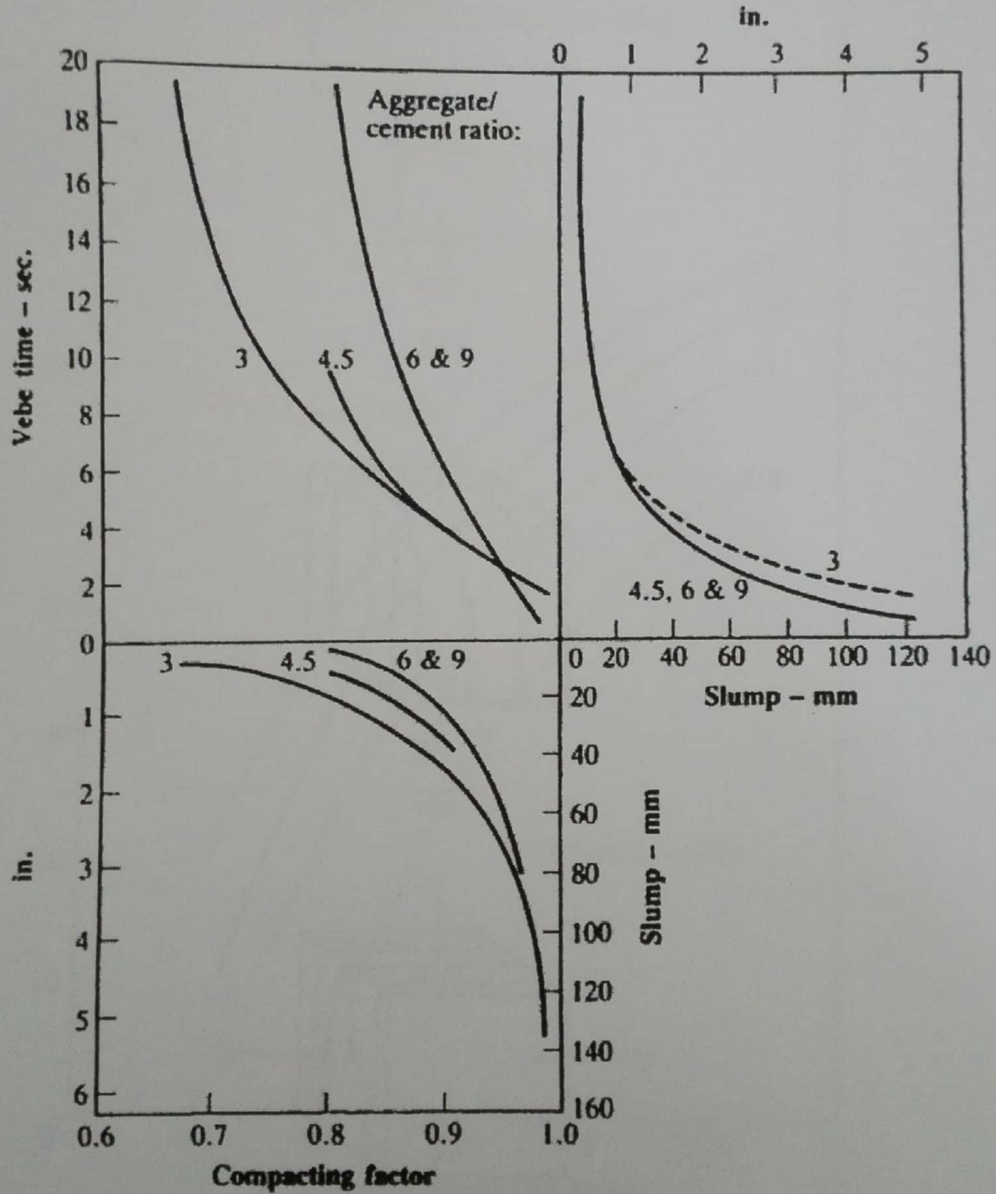


Fig. 5.8: General pattern of relations between workability tests for mixes of varying aggregate/cement ratios
(From: J. D. DEWAR, Relations between various workability control tests for ready-mixed concrete, *Cement Concr. Assoc. Tech. Report TRA/375* (London, Feb. 1964).)

determination of the degree of compactability test is based (see page 86). The degree of compactability is related to the reciprocal of compacting factor. ASTM C 1611–05 describes a *slump-flow test*, which is similar to the flow table test but without the lifting and dropping procedure.

Ball penetration test

This is a simple field test consisting of the determination of the depth to which a 152 mm (6 in.) diameter metal hemisphere, weighing 14 kg (30 lb), will sink under its own weight into fresh concrete. A sketch of the apparatus, devised by J. W. Kelly and known as the *Kelly ball*, is shown in Fig. 5.6.