

الجزء الثاني

الخرسانة الطرية

Fresh concrete

الفصل الرابع

خواص الخرسانة الطرية

Properties of fresh concrete

المقدمة introduction

المهندسون المدربون مسؤولون عن إنتاج ، نقل ، صب، رص و معالجة الخرسانة الطرية. بدون الانتباه المناسب لكل ذلك فأن الخواص الصلبة الكامنة ، سوف لن يتم الوصول إليها في العنصر الانشائى النهائي. يكون من المهم معرفة أنه لا يكون كافيا لتأمين أن الخرسانة قد تم صبها بصورة صحيحة ، حيث أن سلوك ومعالجة الخرسانة خلال الفترة قبل التجمد ، خصوصا (6 إلى 8 ساعات) بعد الصب ، وخلال الأيام القليلة الأولى للتصلب ، يكون لها تأثير مهم جدا على أداء الخرسانة على الأمد الطويل long –term performance

ان الهدف الرئيسي العملي هو لإنتاج منشأ متجانس مع اقل ما يمكن من الفجوات الهوائية بأكبر فعالية ممكنة : من الضروري أيضا تأمين بأن الخرسانة بعد ذلك تكون مستقرة وتصل الى خواصها الناضجة بصورة تامة . يجب الأخذ بنظر الاعتبار الخواص في الحالة الطرية (أي بين الصب والتجمد وخلال المراحل المبكرة للأمامه) . سوف نلاحظ أن كثير من الخواص يكون أساسها تجريبي ، لكن هذا الفهم يمكن الوصول إليه بتطبيق مبادئ الريولوجيا principles of rheology (والريولوجية هي علم التشوه والجريان للمادة the science of the deformation and flow of the material)

1.4 التصرف العام general behaviour

خبراء عملية الخلط والمتعاملين مع صب الخرسانة الطرية ، يعطون الفهم الفعال للسلوك والقدرة على معرفة الخرسانة على أنها جيدة أو ردئه . المشكلة الرئيسية هي أن مدى واسع قد يستعمل لوصف الخرسانة ، مثل أنها خشنة (harsh) ، متمسكة (cohesive) ، فقيرة (lean) ، جافة (stiff) ، غنية (rich) وأن هذه أشياء مختلفة لأناس مختلفين ولا يمكن توصيف (quantify) السلوك او التصرف بأى طريقة . على أية حال ، فإن الخواص الرئيسية التي لها علاقة بذلك يمكن وصفها كما يلى :

1. السيولة او القوام Fluidity or consistency

يجب أن يكون للخرسانة القدرة للمناولة والانتشار في القالب وحول أي حديد تسليح ، مع مساعدة أي أجهزة متوفرة . على سبيل المثال ، الخرسانة ل بلاطات السطوح القليلة العمق والخفيفة التسلیح لا تحتاج أن تكون بسيولة كما هو في حالة الاعمدة الكثيفة التسلیح والضيق .

2. قابلية الرص او الاندماج compactibility

كل الهواء المحبوس (air-trapped) أو أغبله خلال عملية الخلط والمناولة يجب أن تكون له القدرة على الازالة بواسطة جهاز الرص المستعمل ، مثل الهزاز (vibrator) .

3. الأستقرارية أو التماسك Stability or cohesiveness

الخرسانة يجب أن تبقى كتلة متجانسة ومنتظمة . على سبيل المثال ، المونة يجب أن لا تكون سائلة الى الحد الذي يعزلها عن الركام الخشن .

الخاصيتين الاولتين ، السيولة وقابلية الرص ، يتحدا في خاصية يطلق عليها قابلية التشغيل (workability) . يوجد مثالان حدثان يوضحان صعوبة تعريف أو تحديد قابلية التشغيل وهما :

- حسب (1990 , 116 , ACI committee) فإن قابلية التشغيل هي خاصية الخرسانة الطرية أو المونه للخلط التي تحدد السهولة والتجانس التي معها يمكن خلطها ، صبها ، رصها وأنهائها .
- حسب (1993 , American Society for Testing and Material) فإن خاصية قابلية التشغيل هي تحديد الجهد المطلوب للمعالجة الناجحة لكمية خليط الخرسانة الطرية مع أقل فقدان للتجانس .

بصورة عامة ، الخرسانة ذات قابلية التشغيل الاعلى تكون أسهل للصب والمعالجة (لكن إذا قابلية التشغيل العالية هذه يتم الحصول عليها ، على سبيل المثال بزيادة محتوى الماء) عندئذ سيتم الحصول على مقاومة و/ أو ديمومة أو طأ الملدනات الاعتيادية والملدනات الفائقية سوف تكون مساعدة في إغلاق الحالات في الواقع العملي لاستعمال قابلية التشغيل الأولي مع المناولة والصب الفعالين ، لذلك تكون هناك حاجة لفهم الخواص والعوامل المؤثرة عليها . أن الوصول إلى التوازن بين المقاومة وقابلية التشغيل هو جزء من عملية تصميم الخلطة .

كما هو معروف في أنتاج الخرسانة ، فإن حوالي (80-65 %) حجماً من الخرسانة يتكون من الركام الناعم والخشن . أن الباقي هو عجينة الأسمنت ، التي هي بالمقابل تتتألف من (30 - 50 %) حجماً من الأسمنت والباقي يكون ماء . عجينة الأسمنت ، المونه والخرسانة لذلك لها علاقة بجزئيات عالقة بأحجام مختلفة ، لكن كلها تعتبر أكثر من الماء .

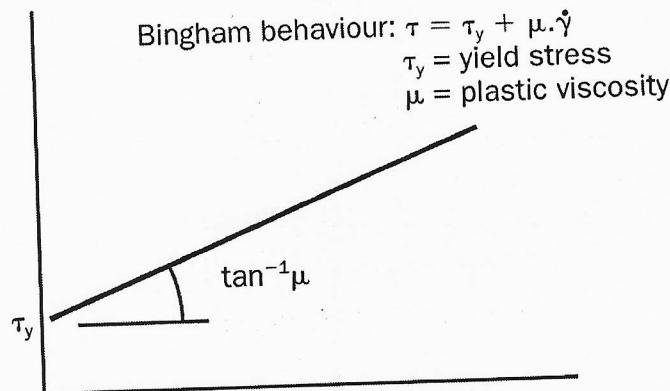
2.4 قياس قابلية التشغيل Measurment of Workability

1.2.4 خواص الريولوجية Rheology Properties

الريولوجي هي علم التشوه والجريان للمادة (Rheology is the science of deformation and flow of matter) ، ولذلك فهي معنية بالعلاقة بين الأجهاد (stress) ، الأنفعال (strain) ، سرعة الانفعال (rate of strain) والوقت (time) . نحن معنيون بالجريان والحركة ، وهكذا يكون الأهتمام في العلاقة بين الأجهاد وقيمة الأنفعال .

التعريف الصارم لسلوك الجريان لأي سائل يتطلب تطبيق مبادئ الريولوجية (rheological principles) ، خصوصاً قياس العلاقة بين أجهاد القص (shear stress) وسرعة الأنفعال القص (rate of shear strain) ، واعتيادياً يدعى ذلك منحني الجريان (flow curve) . أن ذلك يمكن تنفيذه باستعمال الأجهزة المسماة (rheometer) أو (viscometer) وهما جهازان قابلان للتبدل ، أي استعمال أحدهما مكان الآخر . توجد أنواع مختلفة من هذه الأجهزة وربما الأكثر شيوعاً هو (concentric cylinder viscometer) ، الذي يتكون من اسطوانة داخلية (inner cylinder) تدور في اسطوانة خارجية (outer cylinder) . لاحظ الشكل ()

يوجد اتفاق عام على أن تصرف الخرسانة الطيرية ، المونة والخرسانة كلها تكون قريبة بصورة معقولة من موديل بنكمام (Bingham model) الموضح على الشكل (1.4). الجريان يبدأ فقط عندما أجهاد القص المطبق، يصل إلى أجهاد الخضوع (yield stress)، الذي يكفي للتغلب على تأثيرات التداخل بين الجزيئات ، وعند الأجهاد الاعلى فإن سرعة القص (shear stress rate) تتغير تقربيا خطيا مع أجهاد القص (shear stress) ، والميل (slope) يعرف أو يعطي اللزوجة اللدنة (plastic viscosity). لذلك فإن ثابت (Bingham) وهو أجهاد الخضوع واللزوجة اللدنة مطلوبة لتحديد أو تعريف التصرف (على خلاف الحالة الاسهل والشائعة جدا لقانون نيوتن للسوائل الذي لا يملك أجهاد خضوع ، والذي لذلك يتطلب ثابت واحد هو اللزوجة). بسبب أنه يجب على الاقل توفر نقطتين من المعطيات (two data points) لتعريف منحني الجريان، فإن الاختبار الاول المقنع الذي تم اختياره والذي تم تطبيقه على الخرسانة يسمى اختبار قابلية التشغيل ذو النقطتين أو القياسين (two-point workability test).

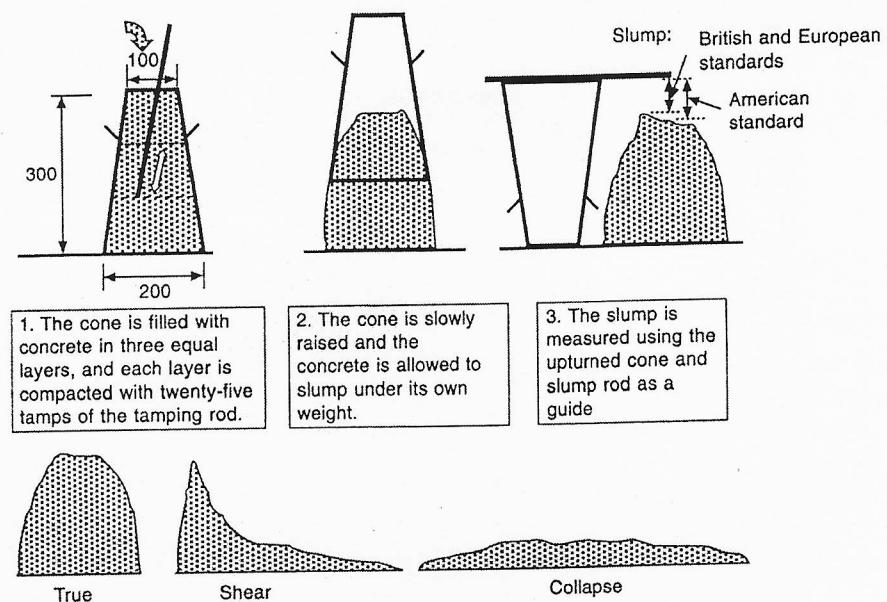


الشكل (1.4) منحني الجريان للخرسانة الطيرية وتعريفات اجهاد الخضوع واللزوجة اللدنة

2.2.4 اختبارات النقطة (النتيجة) الواحدة Single-point tests

قياس ثابت (Bingham) هي تطورات حديثة نسبيا وتشمل أجهزة معقدة وغالية. عدد واسع من الاختبارات السهلة والملائمة أخترعت على مدى سنين، بعضها استعمل من قبل مخترعها. كل هذه الأجهزة تعطي عدد واحد أو قيمة فحص واحدة، ويمكن لذلك أن تسمى فحوصات النقطة الواحدة أو (القيمة الواحدة) (single point tests). من الواضح أنها تعطي نتائج محددة لكنها مفيدة في وصف الخرسانة. أربعة من هذه الفحوصات تم اختيارها كفحوصات قياسية (standard tests) في عدد من البلدان وسوف يتم الأشارة إليها هنا ببعض التفصيل.

1. فحص الهطول (slump test) : هو الفحص الأسهل والابسط. في هذا الفحص المبين على الشكل (2.4) ، يتم وضع الخرسانة في مخروط الحديد الناقص ورصة يدويا بثلاث طبقات . يتم رفع المخروط والهطول يعرف على أنه الخرسانة التي تتحرك نحو الأسفل . الهطول الحقيقي الذي فيه تبقى الخرسانة على الشكل الكلي للمخروط وعدم انهيارها يكون مفضلا ، هذه العملية تعطي قيمة للهطول في حدود (180 ملم). هطول القص (shear slump) يكون غير صالح وربما يؤثر على وجود الانزعاج بسبب قلة الاسمنت أو العجينة . هطول الانهيار (collapsing slump) ، يكون غير مثالي ، لكن يوجد ميل لزيادة استعمال خلطات الملنفات الفائقة ذات قابلية التشغيل العالية التي تنتج هطول الانهيار مع عدم وجود الانزعاج أو شيء قليل منه ، وقيم الهطول التي تم اختبارها وقياسها وصلت إلى أكثر من (250 ملم) .. لمثل هكذا خلطات ذات قابلية التشغيل العالية جدا يوجد بديل هو قياس القطر النهائي أو الانتشار (flow) للخرسانة ، الذي يكون أكثر حساسية للتغير في الخليط بدلًا من التغير في الارتفاع . في الواقع ، في الخلطات ذاتية الرص (self-compacting) فإن فحص (slump flow test) ينفذ بدون رص أولي عند ملي المخروط.



الشكل (2.4) فحص الهطول حسب (BC1881 part 102 : 1983; BS EN 12350-2: 2000; ASTN C143-90a)

دليل عام ، فإن الخلطات التي يكون الهطول فيها (10ملم) صعوبا يمكن مناولتها ومعالجتها بالأجهزة الموقعة التقليدية ، مع هطول (100ملم واعلى) فإن ذلك يتطلب تأمين رص كامل في المساحات التي تكون فيها الممرات محددة أو كثيفة التسلیح . على أية حال ، بعض الخلطات التي يكون فيها الهطول صفر (zero slump) تملك قابلية تشغيل مقتعة لبعض التطبيقات . المواصفة الاوربية الحديثة (EN V 206) تصنف الهطول الى أربعة أصناف وهي :

S1: slump =10- 40 mm

S2:slump=50-90mm

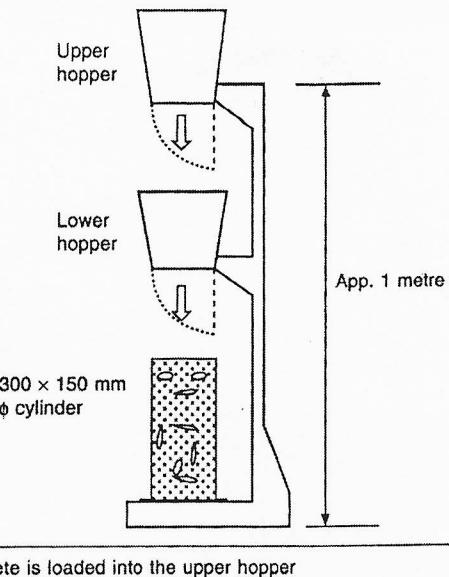
S3:slump=100-150mm

S4:slump> 160mm

أن هذه المواصفة توصي باستعمال الخلطة صنف (S3) مالم يوجد مانع خاص خلاف ذلك .

2. فحص عامل الرص Compacting factor test

كما في الشكل (3.4) فإن هذا الفحص يستطيع التمييز بين الخلطات ذات الهطول الواطئ .. توضع الخرسانة في الوعاء القمعي العلوي ، ويتم أسقاطها في العاء القمعي الاوطرأ لجعلها في الحالة القياسية ، ثم يسمح لها لتملى الاسطوانة . أن درجة الرص الناتجة للخرسانة يتم قياسها بعد ذلك بواسطة مقارنة وزنها مع وزن الخرسانة في الاسطوانة المرصوقة بصورة تامة . عامل الرص يتم تحديده على أنه الوزن الاول مقسوما على الوزن الاخير ، حيث يتم الحصول على قيم تتراوح بين (0.7 الى 1.0) . القيمة الاقرب الى الرقم (1) تعني قابلية التشغيل الاعلى .

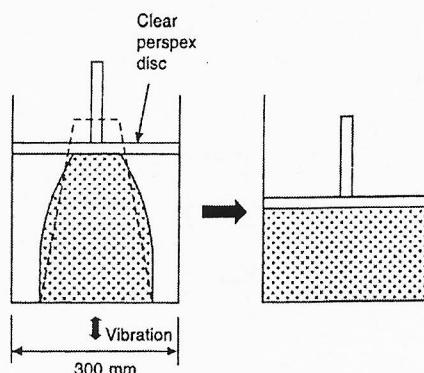


1. Concrete is loaded into the upper hopper
 2. The trap door is opened, and the concrete falls into the lower hopper
 3. The trap door is opened, and the concrete falls into the cylinder
 4. The concrete is struck off level with the top of the cylinder
 5. The cylinder + concrete is weighed, to give the partially compacted weight of concrete
 6. The cylinder is filled with fully compacted concrete
 7. The cylinder + concrete is weighed, to give the fully compacted weight of concrete
- Compacting factor = $\frac{\text{weight of partially compacted concrete}}{\text{weight of fully compacted concrete}}$

الشكل (3.4) فحص عامل الرص (BS 1881 part 103 : 1993)

3. فحص Vebe test

كما في الشكل (4.4) ، فإن هذا الفحص مسؤول عن تحديد أهتزاز الخرسانة .أن وقت (Vebe) يعرف على أنه يأخذ من أكمال أزالة نموذج الخرسانة من المخروط ووضعه في الاسطوانة الحاوية لذلك . يتم تطبيق عملية الاهتزاز القياسي (standard vibration) ، وأن وقت أزالة أو تفريغ النموذج يكون بين حوالي (ثانية واحدة الى 25 ثانية) ، علماً أن القيم الاعلى تشير الى انخفاض قابلية التشغيل .في بعض الاحيان يكون من الصعب تحديد نقطة النهاية لاكمال أزالة النموذج (remoulding) بدرجة كافية من الدقة.



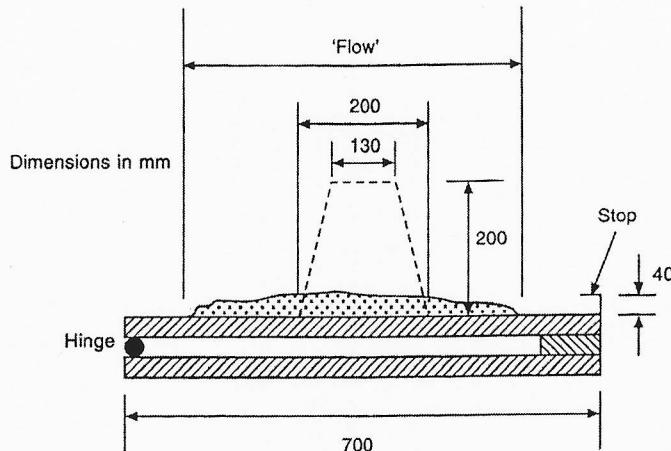
1. A slump test is performed in a rigid container
2. A clear perspex disc, free to move vertically, is lowered onto the concrete surface
3. Vibration at a standard rate is applied with a vibrating table

Vebe degrees is the time (in seconds) to complete covering of the underside of the disc with concrete

الشكل (4.4) فحص (Vebe) حسب (BS 1881 part 104 : 1983; BS EN 12350-3 : 2000)

٤. فحص Flow table test

للتمييز بين الخلطات ذات قابلية التشغيل العالية، فقد تم اختراع هذا الفحص كما مبين في الشكل (5.4). الشيء الأساسي هو أن فحص الهطول الذي يكون بحجم أوطاً من الخرسانة بعد رفع المخروط، يجب عمل شغل أضافي على الخرسانة عن طريق رفع واستقطاب حافة واحدة من اللوح الذي ينفذ عليه الفحص. أن الجريان (flow) أو الانتشار (spread) الذي قيمته (400 ملم) يعني قابلية تشغيل متوسطة ، والقيمة التي مقدارها (500 ملم) تعني قابلية تشغيل عالية .



1. A conical mould ($\frac{2}{3}$ the height of that in the slump test) is used to produce a sample of concrete in the centre of a 700 mm square board, hinged along one edge
2. The free edge of the board is lifted against the stop and dropped 15 times

Flow = final diameter of the concrete
(mean of two measurements at right angles)

الشكل (5.4) فحص (Flow table test) حسب (BS 1881 part 105 : 1984; BS EN 12350-5 : 2000)

بصرف النظر عن أن هذه الفحوصات تعطي قيمة فحص واحدة (single test value) فإن الفحوص الاربعة تقيس كلها استجابة الخرسانة لتعين أو تميز الفحص .

في الحقيقة، أن الوضع يكون أكثر تعقيداً عندما في بعض الحالات وعند استعمال اختبارات مختلفة، سوف يكون هناك درجات أو تمايز بين الخلطات وعليه سيتم الحصول على نتائج متضاربة . على سبيل المثال ، الجدول (1.4) يعطي قيم فحوصات كل من (slump)، (Vebe)، (compacting factor) لاربعة خلطات اختيرت من نتائج برنامج الفحص .

جدول(1.4) الفحوصات الناتجة من أربعة خلطات

Mix	Slump mm	Vebe Sec	Compacting factor
A	25	4.3	0.91
B	50	4.9	0.88
C	40	3.3	0.92
D	35	4.4	0.97

أن ترتيب هذه القيم حسب زيادة قابلية التشغيل يعطى :

by slump: Mix A → Mix D → Mix C → Mix B

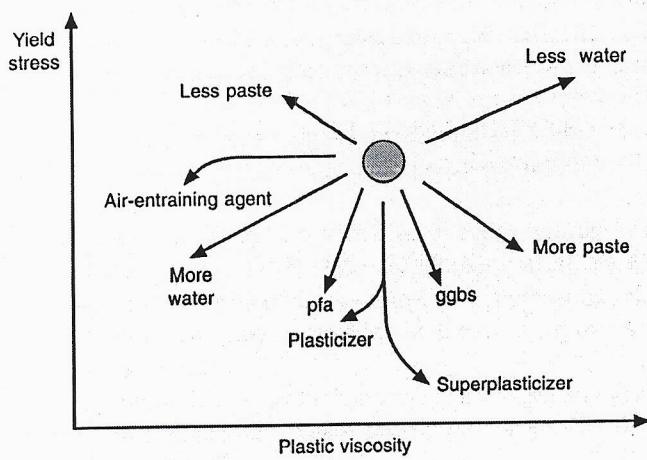
by Vebe: Mix B → Mix D → Mix A → Mix C

by compacting factor : Mix B → Mix A → Mix C → Mix D

من الواضح أن الترتيبات المختلفة غير مقنعة ، ليس فقط بسبب وجود المحددات ، لكن أنها يمكن أن تكون مضللة . لفهم أكبر للتصريف بصورة عامة ، وتوضيح بعض الامور الغير مألوفة أو الشاذة التي يمكن أن تنشأ من فحص النقطة أو القيمة الواحدة (single point test) على وجه الخصوص ، فإننا نحتاج الى الرجوع الى الريولوجيا (science of rheology) مع الاخذ بالاعتبار كل التطبيقات التي حدثت في الخرسانة الطرية خلال الثلاثين السنة الماضية.

2.2.4 العوامل المؤثرة على قابلية التشغيل Factor affecting workability

أن القيم الاولى لأجهاد الخضوع (τ_y) والزوجة اللدنة (μ , plastic viscosity) هو مؤشر على أن الخلطة أكثر سيولة ، وبصورة خاصة فإن تقليل (τ_y) يخفض المقاومة للجريان عند أجهادات القص الواطئة ، على سبيل المثال ، تحت الوزن الذاتي عند الصب ، وتقليل (μ) ينتج عن خلطات أقل تماسك أو أقل لزوجة وزيادة الاستجابة خلال عملية الرص بواسطة الهزاز ، عندما القيم الموضعية للقص يمكن أن تكون عالية . بعض التغيرات الأكثر أهمية لتغير نسب الخلط والمكونات على قيم أجهاد الخضوع (τ_y) والزوجة اللدنة (μ) مبينة على الشكل (6.4) .



الشكل (6.4) ملخص تأثير التغير في نسب مكونات الخرسانة على قانون (Bingham)

من الشكل اعلاه نلاحظ ما يلي :-

- زيادة محتوى الماء مع المحافظة على نسب المكونات الأخرى ثابتة يقلل قيمة كل من (τ_y) والزوجة اللدنة (μ) بنسب تقريرياً متشابهة .

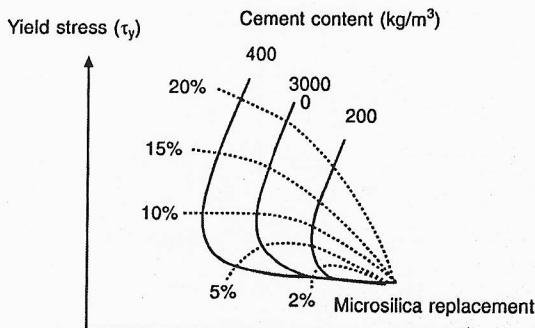
- إضافة الملدنتات الاعتيادية أو الفائقة تقلل (τ_y) لكنها تترك (μ) ثابتة نسبياً . الشئ الجوهرى ، هو أن المضافات تسمح للجزيئات بالانتشار بسهولة اكثراً لكن في نفس حجم الماء . التأثير يكون اكثراً وضوهاً مع الملدنتات الفائقة ، التي تستطيع حتى زيادة الزوجة اللدنة (μ) ، ويمكن لذلك استعمالها لاعطاء زيادة عظيمة لخواص الجريان ، تحت الوزن الذاتي ، بينما تتم المحافظة على تماسك الخليط . أن ذلك هو القاعدة أو الأساس للمدى العام أو الكلي للخرسانة ذات قابلية التشغيل العالية أو الخرسانة ذات الانسياب العالي - (high flowing concrete) .

زيادة محتوى عجينة الاسمنت سوف يزيد اعديادياً الزوجة اللدنة (μ) وتنقل أجهاد الخضوع (τ_y) ، أي الخليط ربما يبدأ بالجريان بسهولة اكثراً لكن يكون لزجاً والعكس بالعكس .

- استبدال بعض الاسمنت برماد الوقود (pulverized fuel ash , pfa) أو خبث حبيبات الافران العالية المطحونة

(ground granulated blast furnace slag , ggbs) سوف يقلل بصورة عامة أجهاد الخضوع (τ_y) ، لكن ربما يزيد أو يقل الزوجة اللدنه (μ) ، اعتماداً على طبيعة المادة البديلة للاسمنت (CRMs) وتفاعلاتها مع الاسمنت .

- الفقاعات الهوائية الصغيرة المنتجة بواسطة عوامل أدخال الهواء (air- entraining agents) توفر عملية التزييت لتقليل اللزوجة اللدنة (plastic viscosity)، لكن عند أجهاد خضوع ثابت نسبياً . كل هذه التأثيرات ، بالرغم من أنها نموذجية ، فليس بالضرورة أن تحدث مع جميع الخلطات ، والسلوك يمكن أن يتغير طبقاً إلى نوع ومصدر المواد المكونة (خصوصاً المضافات) وخصائص الخليط الأولية ، أي نقطة البداية في الشكل (6.4) . أيضاً يكون من الصعب تخمين تأثيرات التفاعل لأنتين أو أكثر من المتغيرات ، المثال على ذلك مبين على الشكل (7.4) للخلطات التي تحتوي على محتويات متغيرة من الأسمنت والميكروسلسيكا . كميات صغيرة من الميكروسلسيكا تقلل اللزوجة اللدنة ، مع تقريباً عدم وجود تأثير على أجهاد الخضوع . على أية حال ، فوق مستوى العتبة (البداية) للميكروسلسيكا ، التي تعتمد على محتوى الأسمنت ، توجد زيادة جوهرية في أجهاد الخضوع ، متقدمة بزيادة في اللزوجة اللدنة .



الشكل (7.4) تغير ثوابت (Bingham) للخلطات الحاوية على الميكروسلسيكا

3.4 التماسك، الانزعال والاستقرارية Cohesion , segregation and stability

أن خبراء الخرسانة يستطيعون بسرعة تخمين تماسك الخليط ولزوجته . أن ذلك هو خاصية مهمة ، لكن أي فحص مناسب لم يتم تطويره لحد الان . بعض المؤشرات على التماسكية يمكن ، على أية حال ، الحصول عليها خلال اختبارات كل من (slump flow) (slump) .

يمكن المحاجة بأن اللزوجة اللدنة هي مقياس للتماسك . على سبيل المثال ، المحافظة وربما الزيادة في اللزوجة اللدنة مع جرعة الملاط الفائق المبينة على الشكل (6.4) توضح كيف أنه مع الهطول العالي (أي أجهاد خضوع واطئ) لا تزال الخرسانة مستقرة ، وهذا ما يدعى بالخرسانة السائلة (flowing concrete) ، التي يمكن إنتاجها بأستعمال هذه المضافات .

4.4 السيطرة النوعية بأستعمال فحوصات الريولوجية Quality control with rheological test المعلومات الأضافية حول الخلطات التي يمكن الحصول عليها بأستعمال فحوصات الريولوجية يمكن أستعمالها لفائدة السيطرة النوعية . أن ذلك يمكن توضيحه مع المثال الأفتراضي التالي

اختبارات على سيارة حمل متعاقبة لنفس الخرسانة أعطت النتائج المبينة على الجدول (2.4) ، أن قيم (h,g) ، تم الحصول عليها مع اختبار قابلية التشغيل ذو النقطتين (two-point workability test) .

$$(\mu - \tau_y)$$

جدول (2.4) نتائج اختبارات السيطرة النوعية على أحمال متعاقبة لنفس الخلطة الخرسانة

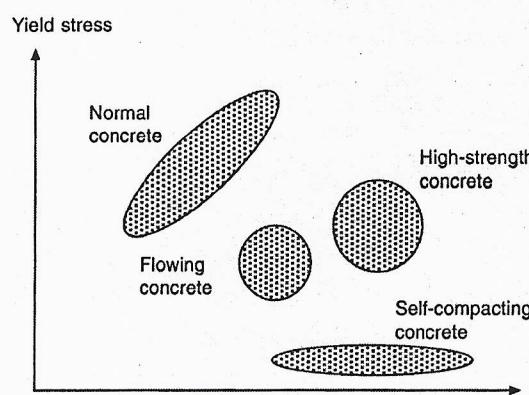
Load no.	Slump (mm)	g (Nm)	h (Nm)
1	85	4.5	3.5
2	150	2.8	1.9
3	75	5.0	4.1
4	80	4.8	3.9
5	75	5.2	4.4
6	140	2.9	4.1

الخلط يحتوي سمنت بورتلاندي وملاط فائق . الهطول المحدد كان (75 ملم) ، وعند وصول الحمولة الى الموقع فإن الخلطتين (2و6) تم رفضهما على أساس قيم الهطول . على أية الحال ، فإن هناك سببين محتملين للهطول المفرط ،ماء زائد جدا أو ملاط فائق زائد جدا . أن نتائج فحص قيم كل من (g) و(h) بينت أن للخلطة رقم (2) ،فإن قيمة (h,g) أقل بكثير من تلك الخلطات المقتعنة (5,4,3,1) . على أية حال مع الخلطة (6) فإن قيمة (g) أوطأ لكن قيمة (h) ضمن مدى الخلطات رقم (5,4,3,1) . عند النظر في الشكل (6.4) سوف يظهر أن الاحتمال الأثمن هو أن الخلطة رقم (2) فيها ماء أكثر (over watered) ، ولذلك سوف يتم رفضها . على أية حال ، الخلطة رقم (6) تملك جرعة زائدة جدا من الملاط الفائق ، وعلى شرط أنها كانت مستقرة ولا توجد مشكلة أخرى مثل وجود زيادة غير مقبولة في وقت التجمد ، وأن المقاومة على المدى البعيد سوف لن تتأثر ، وهكذا لا توجد حاجة لرفضها .

5.4 ريلوجية الخرسانة عالية الأداء Rheology of high- performance concrete

العشر سنوات او الخمسة عشر سنة الماضية شهدت تطورات وأزيادات استعمال أنواع مختلفة من الخرسانة عالية الأداء (high-performance concrete) مثل الخرسانة عالية المقاومة (high-strength concrete) ، الخرسانة عالية الديوممة (high-durability concrete) ، الخرسانة المسلحة بالالياف (fiber-reinforced concrete) ، الخرسانة تحت الماء (underwater concrete) والخرسانة ذاتية الرص (self-compacting concrete) . أغلب هذه الأنواع تحتوي سوية على كل من المضافات والمواد البديلة للاسمنت (CRM) إلى آخرة ، ولذلك سوف تملك خواص ريلوجية مختلفة جدا عن تلك التي تملكونها الخلطات الاعتيادية . أن وصف قابلية التشغيل لمثل هذه الأنواع من الخرسانة باستخدام فحص القيمة الواحدة (single point test) ، مثل (الهطول) (yield stress) يكون أخطر مما يستعمل في خرسانة الأداء الاعتيادي ، وأستعمال ثوابت (Bingham) تكون لذلك مفيدة جدا في إنتاج الخلطات التي تكون مرضية في المناولة والصب .

الشكل (8.4) يبين مناطق الرسم البياني لأجهاد الخضوع / اللزوجة اللدنة (yield stress / plastic viscosity) لأربعة أنواع من الخرسانة . في الخرسانة الاعتيادية ، التي فيها قابلية التشغيل يكون مسيطر عليها بصورة رئيسية بواسطة محتوى الماء ، فإن أجهاد الخضوع yield stress واللزوجة اللدنة (plastic viscosity) سوف يتغيران سوية ، كما في المناقشة السابقة . الخرسانة السائلة (flowing concrete) ، المنتجة بواسطة إضافة الملاط الفائق إلى الخلطة الاعتيادية (مع ربما محتوى مواد ناعمة أعلى لضماني الاستقرارية) ، تملك أجهاد خضوع أوطأ مما في الخرسانة الاعتيادية ، ولذلك يكون الهطول عالي ، لكنها تملك لزوجة أعلى نسبيا من أجل الاستقرارية . خلطات الخرسانة العالية المقاومة ، التي تملك محتوى عجينة عالي من الشائع أنها تحتوي مايكروسليكا ، يمكن أن تكون لزجة ودقيقة (شديدة الرطوبة) ، تجعل هذه الخلطات صعبة المناولة على الرغم من أنها تحتوي ملاطات فائقة لأنتجاج هطول عالي | أجهاد خضوع واطئ (high slump / low yield stress) . الخرسانة ذاتية الرص التي تحتاج للجريان (الأنسياب) تحت وزنها الذاتي خلال وحول فضاءات حديد التسليح الضيق بدون حدوث الانزعاز أو احتباس الهواء ربما تكون المثال الأفضل للخلطة المسيطر عليها ريلوجيا (rheologically controlled mix) . أجهاد الخضوع يجب أن يكون واطئ جدا ليساعد على الجريان ، لكن اللزوجة يجب أن تكون عالية بما فيه الكفاية لتؤمن الاستقرارية .



الشكل (8.4) ريلوجية أنواع مختلفة من الخرسانة

٦.٤ فقدان قابلية التشغيل Loss of workability

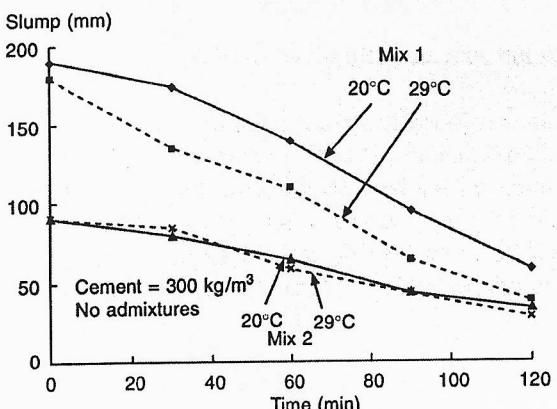
الخرسانة الطيرية تفقد قابلية التشغيل بسبب:

- ماء الخلط يمتص من قبل الركام إذا كان الركام بحالة غير مشبعة.
- تبخر ماء الخلط.
- تفاعلات الأماهة المبكرة

أمتصاص الماء بواسطة الركام يمكن تفاديه عن طريق استعمال الركام المشبع ، على سبيل المثال ، رش أكواخ الركام بالماء وحفظها مغطاة في الجو الحار أو الجاف بالرغم من صعوبة ذلك في بعض المناطق . أن ذلك يكون أيضا غير مرغوب فيه في الركام الخفيف الوزن . تبخر ماء الخلط يمكن تقليله بواسطة حفظ الخرسانة مغطاة خلال عملية النقل والمناولة ما كان ذلك ممكنا .

أغلب البيانات المتوفرة هي حول فقدان الهطول ، الذي يزداد مع :

- الحرارة الأعلى
- الهطول الابتدائي الأعلى
- محتوى الاسمنت الأعلى
- القلوبيات العالية و محتوى الكبريتات الواطئ للاسمنت



الشكل (٩.٤) يبين بيانات لخلطتين مختلفتين في محتوى ماء الخلط ويوضح أول عاملين .

أن معدل فقدان قابلية التشغيل يمكن تقليله بواسطة التحريك المستمر للخرسانة ، على سبيل المثال ، نقلها بواسطة (readymix truck) ، أو تعديلها بواسطة المضافات. الشيء الأساسي هو أن إعادة التطبيع (أضافة الماء لتعويض فقدان الهطول) ، سوف لن يكون له تأثير مهم على المقاومة إذا تم تعويض فقط هذا الماء الذي تم فقدنه بالتبخر . الدراسات بينت أيضا أن الماء يمكن إضافته خلال عملية إعادة التطبيع لزيادة نسبة الماء / الاسمنت الأولية لحد (٥%) بدون أي فقدان للمقاومة بعمر (٢٨) يوم . على أية حال ، ما عدا بعض الحالات المسيطر عليها جدا ، فإن إعادة التطبيع (retempering) يمكن أن يؤدي إلى زيادة نسبة الماء / الاسمنت فيقلل المقاومة ولذلك من الأفضل تلافيه .

٩.٤ الصب والرص Placing and compaction

الطرق المختارة لصب ورص الخرسانة سوف تعتمد على نوع المنشآء ، الحجم الكلي الذي يراد صبه ، السرعة المطلوبة للصب وخبرة عمال الانشاء . على أية حال ، توجد قواعد أساسية متعددة والتي يجب اتباعها لتأمين أن الخرسانة يجب أن تصب وترص بصورة منتظمة وكثلة الخرسانة الخارجية من الفجوات يجب أن تنقل إلى القالب بحالة مرضية وفقا لما يلي :

- الخرسانة يجب تفريغها في أقرب مكان ممكن في موضعها النهائي ويفضل مباشرة في القالب.
- التفريغ الحر من مسافة معينة سوف يسبب الانعزال ولذلك يجب تلافيه .
- مع الصب العميق للخرسانة ، فإن سرعة الصب سوف تمنع الطبقات السفلية للخرسانة من التجدد وأن ذلك سوف يؤمن الاستمرارية بين الطبقات وبهذا يمكن تلافي المفاصل الباردة (cold joint) وكذلك تلافي الضعف في الخرسانة المتصلبة .

- حالا عند صب الخرسانة يجب القيام بعملية الرص (vibration) ، أما داخليا أو خارجيا وذلك لتحريك الخرسانة حول حديد التسلیح ومنع فجوات الهواء المحبوس ولكن يجب عدم السماح للهز بتحريك الخرسانة عن مكانها .
- الخلطات ذات قابلية التشغيل العالية يجب عدم هزها كثيرا لأن ذلك ربما يسبب الانزعال .

أن تصرف الخرسانة أثناء عملية الاهتزاز يشمل مرحلتين :

1. الهبوط الاولى الذي فيه جزيئات الركام الخشن تتحرك الى موقع أكثر استقرارا .
2. قفّاعات الهواء المحبوس ترتفع الى السطح .

المرحلتين اعلاه يمكن تميزهما في الخرسانة ذات قابلية التشغيل الواطئة ، لكن المرحلة الثانية تكون أقل ظهورا في الخرسانة ذات قابلية التشغيل العالية .

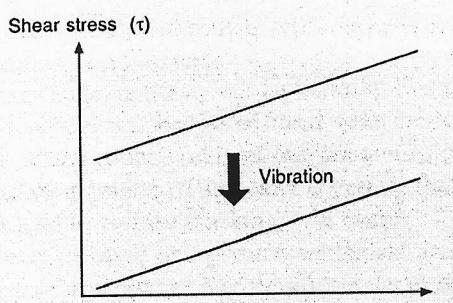
الخلاصة

بلغة ريلولوجية الخرسانة (in terms of concrete rheology) ، فإن عملية الاهتزاز تؤثر على تقليل أو التغلب على اجهاد الخضوع (yield stress) ، وأن ذلك يسمح للخرسانة أن تتصرف كما في حالة قوانين نيوتن للسوائل ، ويوجد دليل على أن اللزوجة اللينة (plastic viscosity) لا تتأثر بصورة رئيسية بعملية الاهتزاز ، كما موضح على الشكل (10.4) . لهذا السبب فإن الخلطات التي تملك لزوجة لينة واطئة سوف تكون أكثر سهولة للرص بالرغم من أنها تملك أجهاد خضوع عالي (هطول واطئ) ، وأن طاقة الاهتزاز المتوفرة تكون كافية للتغلب على ذلك . الشكل (6.4) يبين أن الهواء المحبوس له تأثير في تقليل اللزوجة اللينة عند أجهاد خضوع ثابت تقريبا ، الذي يوضح لماذا هكذا خلطات تكون نسبيا سهلة الرص .

يوجد دليل على أن العامل الاكثر اهمية في التحكم بفاعلية عملية الاهتزاز هو سرعة الذروة (peak velocity, Vmax) ، بدلا من التردد (Frequency) او السعة (Amplitude) منفصلة . ان ذلك معطى بالعلاقة التالية

$$V_{\max} = 2\pi f A$$

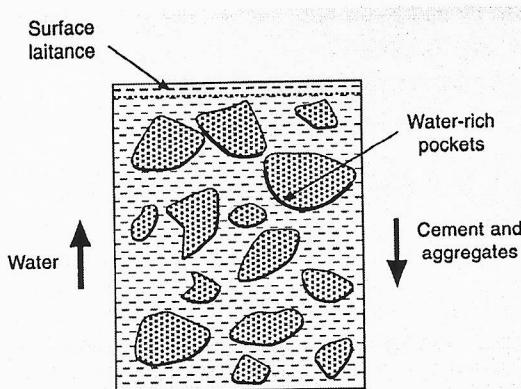
F = frequency (التردد)
 A = Amplitude (السعة)



الشكل (10.4) تأثير الاهتزاز على منحنى الجريان للخرسانة الطيرية

10.4 الانزعال والنضح بعد الصب Segregation and bleed after placing

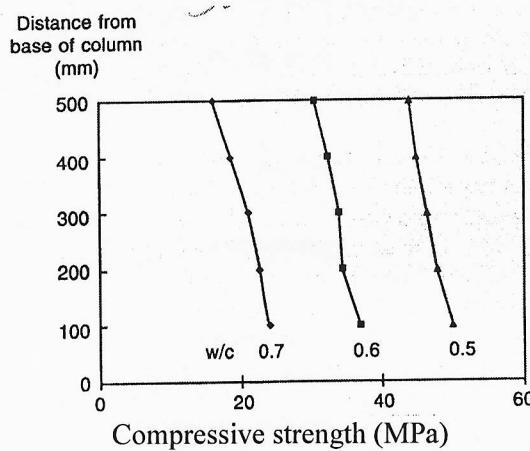
الخرسانة الطيرية هي مزيج من جزيئات صلبة مع وزن نوعي يتراوح من حوالي (2.6) وهي أغلب الركام إلى (3.15) وهو الاسمنت البورتلاندي . بعد صب الخرسانة ، فإن الجزيئات تميل للهبوط والماء يميل للارتفاع ، لاحظ الشكل (11.4) . أن ذلك يمكن أن يؤدي إلى الانزعال ، الذي فيه الجزيئات الكبيرة تسقط إلى الأجزاء السفلية من الصب / أو النضح ، الذي فيه الماء أو الحقن (الراسب) الغني بالماء يرتفع إلى سطح الخرسانة ليكون طبقة سطحية ضعيفة ، أو يصبح محتبس تحت جزيئات الركام لذلك يزيد تأثيرات السطح البيئي للمنطقة العازلة (transition zone) . هذه العمليات تُوقف أو تُقييد بواسطة تداخل الجزيئات ، أما الجزيئات الأصغر فأنها تُقييد بواسطة قوى الجذب السطحي . يتبع ذلك أن الاسباب الرئيسية للانزعال والنضح هو التدرج القوي للركام ومحتوى الماء المفرط . النضح يقل أيضاً مع زيادة نعومة الاسمنت ، محتوى الخرسانة للاسمنت واندماج المواد البديلة للاسمنت (CRM) . ليس من الممكن تعميم ذلك بصورة عامة حول تأثير المضافات .



الشكل (11.4) الانزال والنضح للخرسانة الطيرية المصبوبة

بعض النضح لا يمكن تلافيه ، وربما لا يكون مؤذيا . على سبيل المثال ، إذا تم الصب في ظروف جوية حارة أو عاصفة ، فإن فقدان ماء النضح من السطح ربما لا يسبب أي خطر ، وأن نسبة الماء / الاسمنت للخرسانة المتبقية ربما تقلل . على أية حال ، عندما معدل تبخر الماء يكون أكبر من من معدل النضح ، فإن الانكماش اللدن ، الذي ربما يؤدي إلى تشغقات سطحية ، سوف يحدث .

التأثير المشترك للنضح وهبوط الجزيئات ، بعد التصلب ، فإن الخرسانة في الجزء الأسفل للصب لأي عمق مهم يمكن أن تكون أقوى من تلك في الجزء العلوي . هذا التأثير مبين على الشكل (12.4) ، الذي يبين بيانات اختبار من أعمدة تجريبية . بالرغم من أن هذه الأعمدة معتدلة الارتفاع (500 ملم) ، فإن الفرق في المقاومة بين القاعدة والقمة يكون بحدود (%10) .



الشكل (12.4) تغير مقاومة الخرسانة في العمود بعد الرص التام

النضح يمكن قياسه بطرفيتين :

1. الانخفاض في الارتفاع (أي الهبوط) لنموذج الخرسانة غير المشوشة .
- 2 كمية ماء النضح المرتفعة إلى سطح النموذج غير المشوش ، حيث يتم قياسه بعد سحبه بالأنبوبة الماصة ، كما مبين في المواصفة الأمريكية (ASTM C232-92).

في كلا القياسين ، فإن المعدل بالإضافة إلى النضح الكلي يمكن قياسة

النضح المتعاقب والانزال يمكن أن يؤديان إلى مشاكل الانكمash اللدن وشقوق الهبوط اللدن على السطح العلوي للصب .