جامعة دمشق
المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية
ماجستير التأهيل والتخصص/قسم الهندسة الزلزالية
السنة الثانية

منشآت حجرية

Lec.01

سلوك وآليات انهيار الجدران الحجرية
Behavior and Failure Mechanisms of Masonry Walls

د.م. ريم الصحناوي

E-mail: reemsalman_seh@Hotmail.com

23 /3/2020

الطلاب الأعزاء:

سوف يتم تحميل محاضرات مادة الحجرية والتي هي تتمة البيتون في مادة التصميم الزلزالي للمنشآت البيتونية والحجرية.

قسم الحجرية سوف يتضمن ستة محاضرات:

1- المحاضرة الأولى والثانية مقدمة عن الأبنية الحجرية (سلوك وآليات انهيار الجدران الحجرية) وطرق رفع كفاءة المنشآت الحجرية.

2- المحاضرة الثالثة والرابعة تتضمن التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة

3- المحاضرة الخامسة والسادسة سوف تتضمن أمثلة على التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة

لأي استفسار أو سؤال يتعلق بمضمون المحاضرات يرجى إرسال إيميل على البريد الالكتروني.

E-mail: reemsalman_seh@Hotmail.com

أنواع الجدران الحجرية:Types of Masonry walls

1- حسب عدد الطبقات:

1- جدار من طبقة واحدة:
جدار بدون تجويفات أو وصلات شاقولية بمستويه.

2- جدار من طبقتين:
جدار مكون من طبقتين من وحدات البلوك مع ربط طولي مملوء بمونة اسمنتية.

3- جدار مجوف ذو وحدات من البلوك مملوءة:
طبقتين من وحدات البلوك المملوءة بالجبس أو المونة الاسمنتية مع فراغ مملوء بالبيتون بين الجدارين .

أنواع الجدران الحجرية:Types of Masonry walls

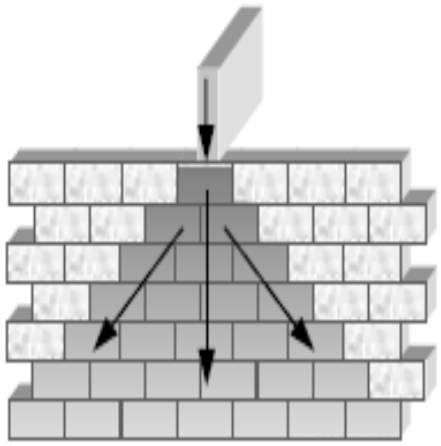
2- حسب الأحمال المطبقة:

1- الجدران غير الحمالة Nonloadbearing Walls

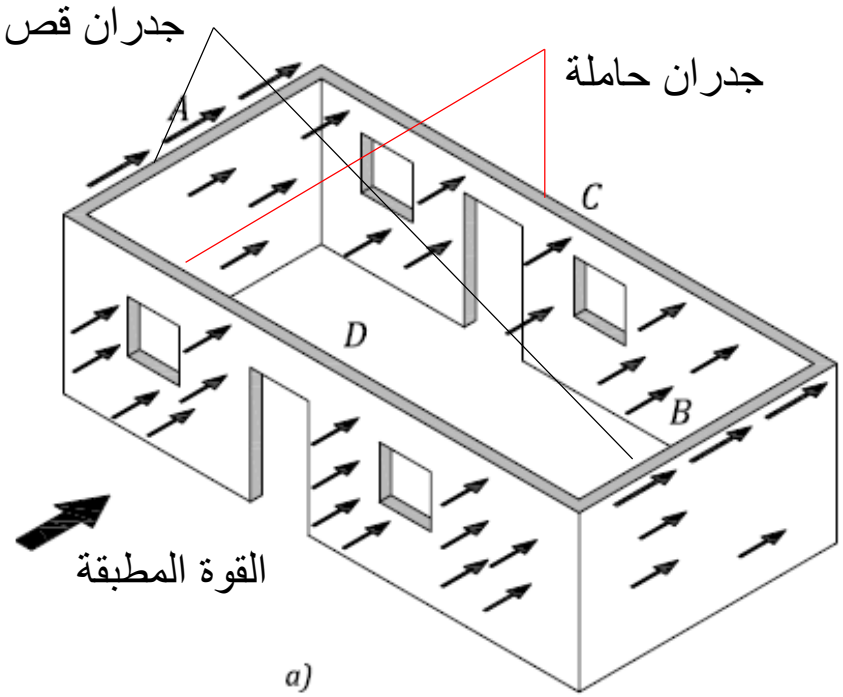
تقاوم الجدران الغير حمالة وزنها الذاتي بالإضافة للأحمال المطبقة خارج مستويها مثل حمولة الرياح والزلازل .

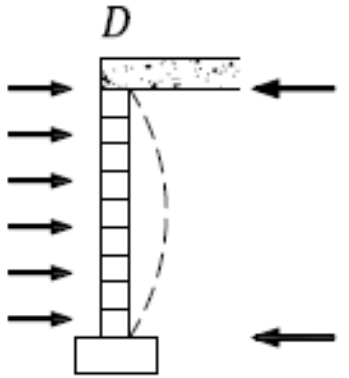
2- الجدران الحمالة Loadbearing Walls

هي الجدران التي تقاوم القوى في مستويها وتسمى جدران القص الحجرية.

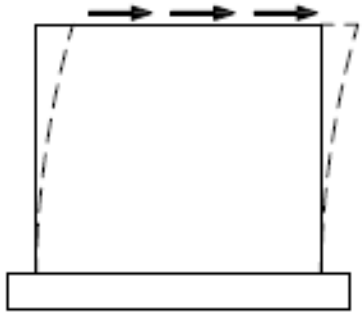


قوى شاقولية ضاغطة في مستوي الجدار





قوى جانبية متعامدة مع مستوي الجدار



قوى جانبية موازية لمستوي الجدار

أنواع الجدران الحجرية:Types of Masonry walls

3- حسب طريقة البناء والمواد المستخدمة:

- Unreinforced Masonry Walls جدران حجرية غير مسلحة
- Reinforced Masonry Shear Walls جدران قص حجرية مسلحة
- Masonry Infill Walls جدران حجرية مربطة

أنواع الجدران الحجرية:Types of Masonry walls

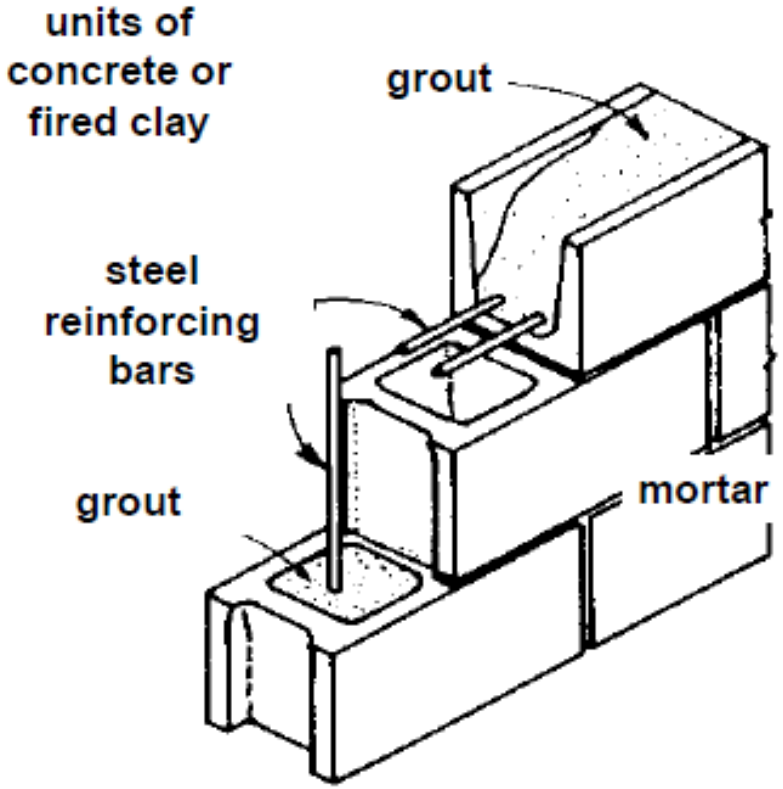
3- حسب طريقة البناء والمواد المستخدمة:

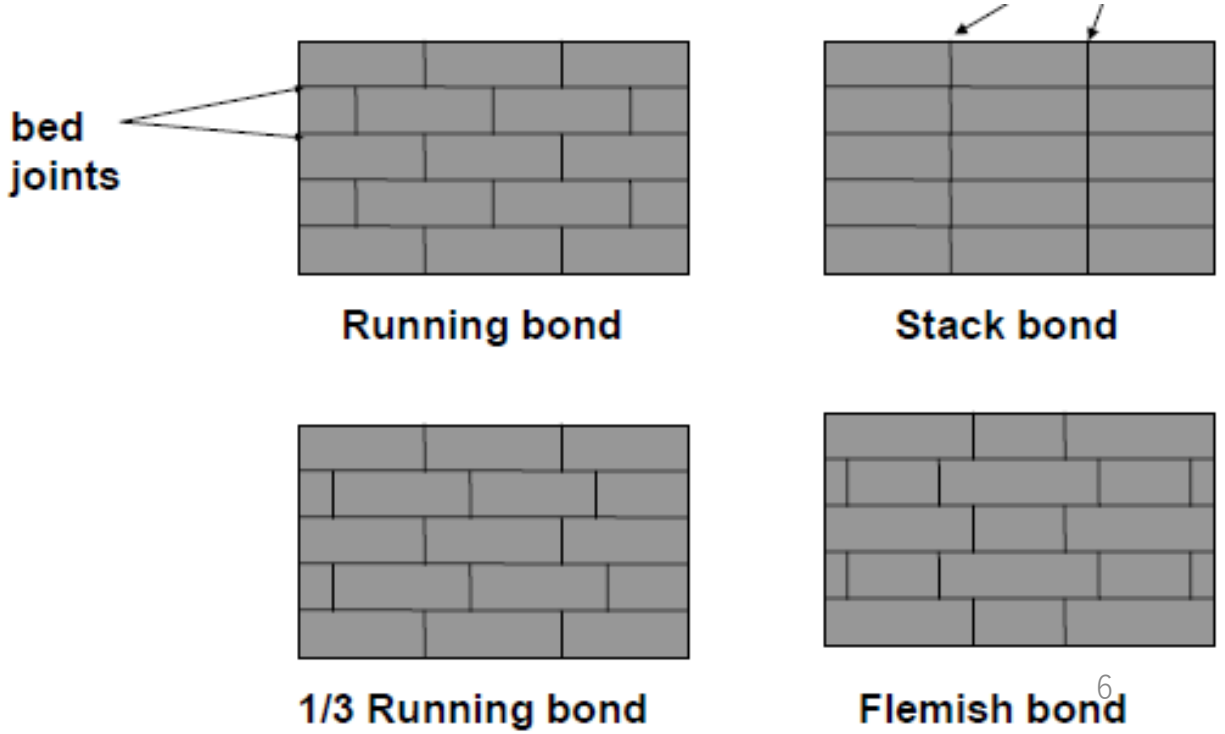
1- جدار حجري غير مسلح:

تجميع وحدات البلوك وصفّها بشكل معين وربطها مع بعضها بوساطة مونة اسمنتية.

2- جدار حجري مسلح

جدار حجري يتضمن قضبان أو شبكات من حديد التسليح توضع في المونة الاسمنتية أو البيتون بحيث تعمل جميع المواد المكونة للجدار مع بعضها البعض.



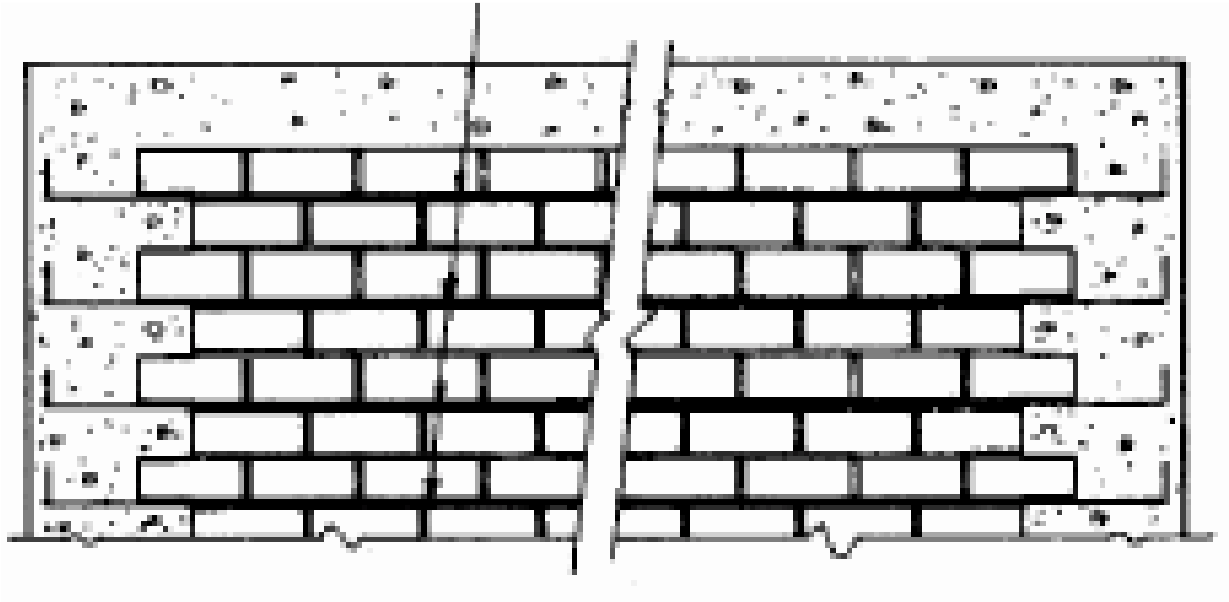


أنواع الجدران الحجرية:Types of Masonry walls

3- حسب طريقة البناء والمواد المستخدمة:

3- جدار حجري مربط:

يتم بناء الجدار الحجري غير مسلح أو الجدار الحجري المسلح داخل إطار مغلق مقاوم للعزوم من الأربع جهات من البيتون المسلح



جدران البلوك المسلحة Reinforced Masonry Shear Walls

- يجمع بشكل نموذجي وحدات بناء قرميدية أو بيتونية عالية المقاومة مع الملاط وفولاذ التسليح لتقاوم بشكل أكثر فعالية الإجهادات الشادة، وتزود نظام مطاوع وفعال أكثر.

- نظام إنشاء يتم فيه وضع التسليح إما بشكل أفقي متضمن وممتد على طول طبقة المونة الإسمنتية الأفقية الرابطة بين وحدات البلوك، أو بشكل شاقولي متوضع ضمن ثقوب وفجوات وحدات البلوك حيث تملأ بالبيتون أو بالمونة الإسمنتية، أو يتم الجمع بين الشكلين الشاقولي والأفقي.

- يصنف الكود الأمريكي MSJC(2005) جدران البلوك المسلحة إلى ثلاث فئات وذلك حسب توزع فولاذ التسليح الأفقي والشاقولي:

1- جدران القص من البلوك المسلح العادية.
2- جدران القص من البلوك المسلح المتوسطة.
3- جدران القص من البلوك المسلح الخاصة.

جدران البلوك المسلحة Reinforced Masonry Shear Walls

- ✓ تصمم الإطارات البيتونية المسلحة لتسلك سلوك مطاوع أثناء حدوث الهزات الأرضية، حيث يتم هذا التصميم عادة بإهمال تأثير جدران البلوك التي من الممكن أن تغير في الواقع السلوك المفترض مسبقاً لهذه الإطارات.
- ✓ تسلك الجدران سلوك هش تحت تأثير الزلازل نظراً لكونها مشكلة من عدة عناصر مختلفة في خصائصها وبالتالي:
  - تنهار انهياراً مفاجئاً يعرض الحياة للخطر.
  - عدم الاستفادة القصوى من طاقة هذه الجدران نتيجة انهيار أجزاء منها، وبالتالي عدم إمكانية استمرار انتقال الأحمال فيما بينها.
- ✓ فصل هذه الجدران عن الإطارات المحيطة بها، كي لا يحدث أي تفاعل مشترك بينهما واعتبارها عناصر غير إنشائية فقط:
  - يعرضها لخطر الإنقلاب خارج مستويها، وبالتالي تعريض الحياة للخطر.
  - عدم الاستفادة نهائياً من مقاومة هذه الجدران في مقاومة الحمولات الجانبية.

جدران البلوك المسلحة Reinforced Masonry Shear Walls

الإطارات البيتونية المسلحة من أكثر الجمل الإنشائية استخداماً في المنشآت السكنية والعامة، وغالباً ما تكون مملوءة بجدران بلوك، لذلك من المهم دراسة سلوكها تحت تأثير الحمولات الجانبية.

لفولاذ التسليح أثر هام على سلوك جدران البلوك حيث:

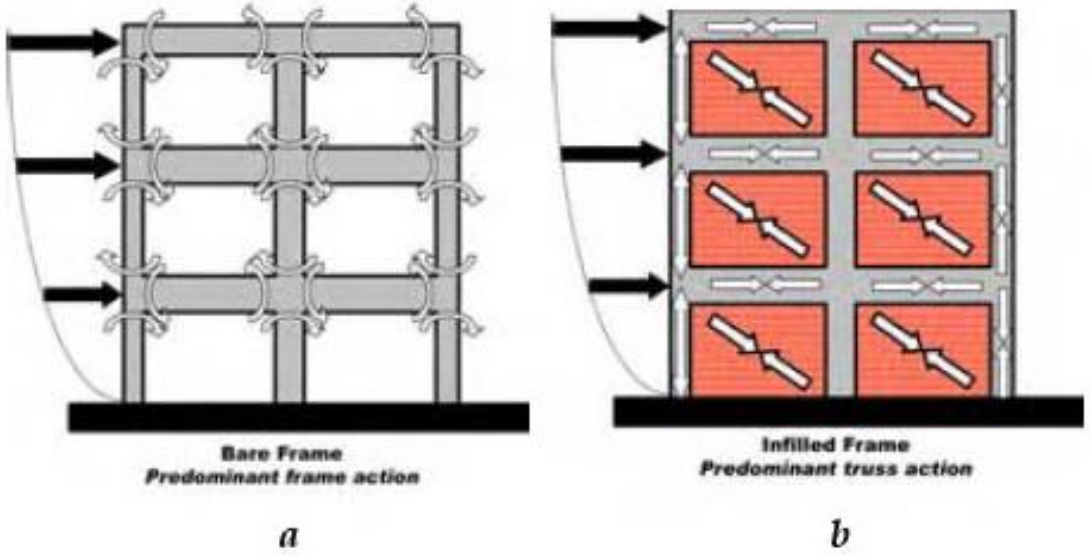
- يحول سلوكها من هش إلى مطاوع وبالتالي استفادة أكبر من قدرتها في تبديد الطاقة واستغلال أكثر لمادة هذه الجدران.
- زيادة مقاومة الجدران للإنقلاب خارج مستويها.

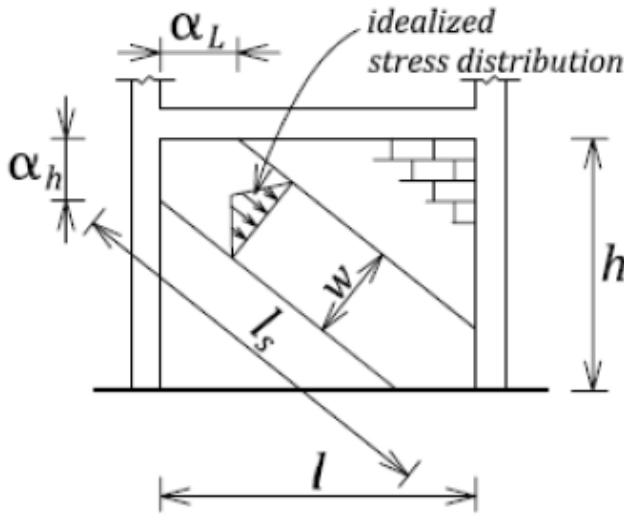
وبالتالي يمكن اعتمادها إلى جانب الأنظمة الإنشائية الأخرى لمقاومة الزلازل.

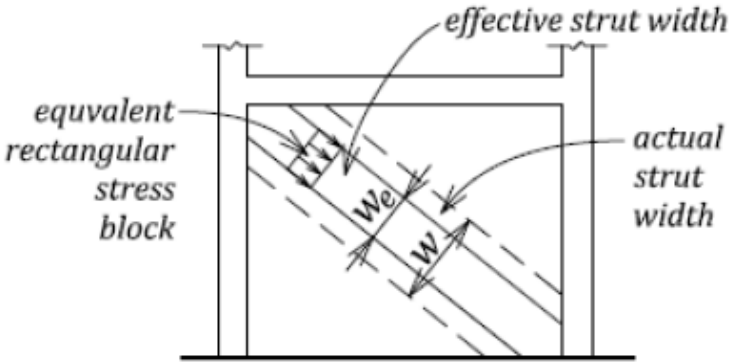
الجدران الحجرية المربطة Masonry Infill Walls

- تستخدم الجدران الحجرية المربطة في الأبنية المعدنية والبيتونية العالية والمتوسطة الارتفاع. حيث يتم اعتبار أن يتحمل الاطار الانشائي الأحمال الشاقولية والجانبية بينما يعتبر البلوك المالئ كعناصر غير انشائية لتغليف البناء وتقسيمه داخلياً.

- وجود الجدران المالئة يغير آلية نقل الأحمال الجانبية لإطارات البناء من عمل إطاري لعمل جائز شبكي، باعتبار أن الجدار المالئ عبارة عن عنصر تربيط يعمل على الضغط.







الجدران الحجرية المربطة Masonry Infill Walls

- يتم نمذجة الإطارات المملوءة في الأبنية كإطارات مربطة باتصال مفصلي لعناصر الضغط القطرية في منطقة اتصال الجائز بالعمود.
- الاستجابة الزلزالية للإطارات المملوءة معقدة.

✓ في حالة الحمولة الزلزالية الضعيفة:

- لا تحدث تشققات في الإطار المملوء وتزيد صلابة المنشأ كاملاً بشكل كبير، تصل في بعض الأحيان 20 مرة أكبر من صلابة الإطار غير المملوء.
- يتحمل الجدار المالئ معظم الحمولة الجانبية المطبقة.

✓ في حالة الحمولة القوية:

- تتشكل التشققات في الجدران المالئة مما يسبب تناقص في الصلابة.
- تتناقص صلابة الإطار المملوء بشكل متزايد.
- تنتقل معظم الحمولات للإطار.
- يجب أن يتمتع الإطار بمقاومة كافية لمنع حدوث الانهيار في المنشأة.

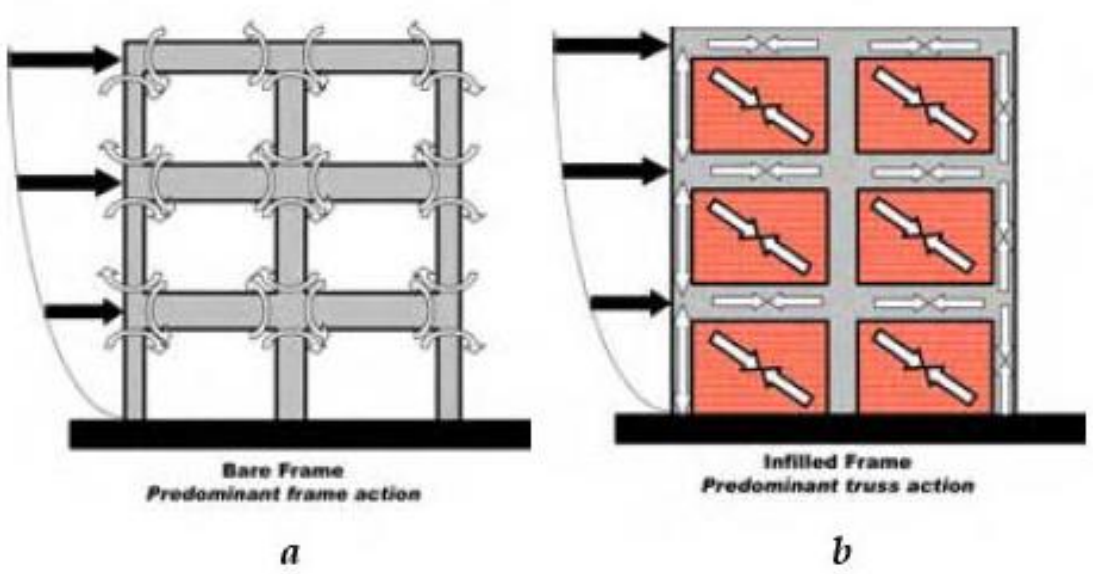
الجدران الحجرية المربطة Masonry Infill Walls

تمثل الأبنية الحجرية المربطة الخاضعة للهزات الأرضية بجائز شبكي شاقولي.

بعد تفكك الروابط بين الإطار البيتوني وجدار البلوك يسلك المنشأ (إطار بيتوني + جدار بلوك) سلوك الجائز الشبكي.

حيث يُمثل جدار البلوك بعنصرتربيط مضغوط (حيث يُهمل العنصر المشدود).

بينما تعمل العناصر البيتونية المسلحة على الشد والضغط (حسب اتجاه القوى الزلزالية الجانبية).



الجدران الحجرية المربطة Masonry Infill Walls

يتم تصميم الجدران الحجرية المربطة باعتبار نموذجين:

1- إطار مربط غير متشقق: (يعطي القوى التصميمية الأعظمية)

- صلابة عالية.
- دور قصير.
- انتقالات جانبية صغيرة.

2- إطار بدون جدار حجري بعناصر متشققة (خروج الجدار عن العمل): (يعطي انتقالات أعظمية).

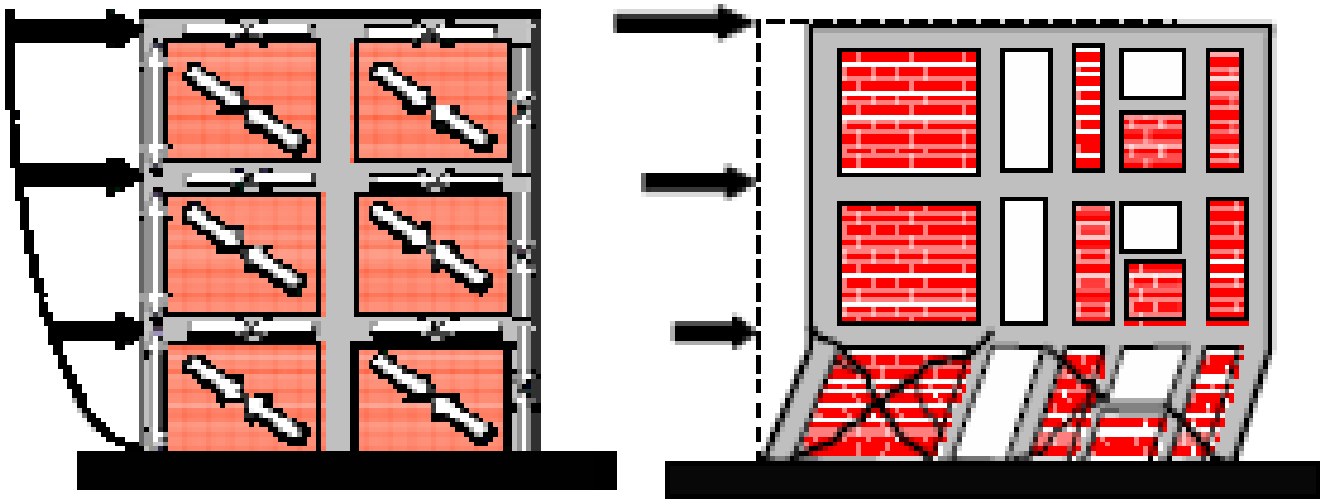
- صلابة منخفضة.
- دور طويل.
- انتقالات كبيرة.

يتم اعتبار النموذجين في التحليل واستخدام القيم الحدية للتصميم.

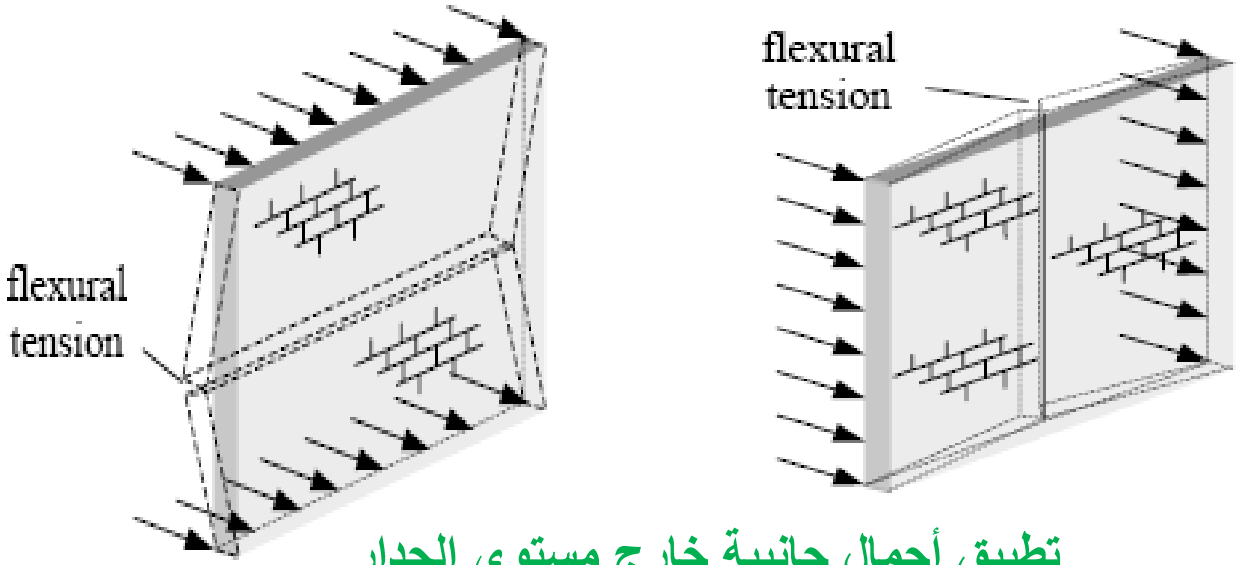
الجدران الحجرية المربطة Masonry Infill Walls

مشاكل السلوك الزلزالي للجدران المربطة في المنشآت الإطارية: هي عدم الاستمرارية في الجدران الحجرية على ارتفاع المبنى التي تسبب عدم استمرارية في القساوة الشاقولية للبناء.

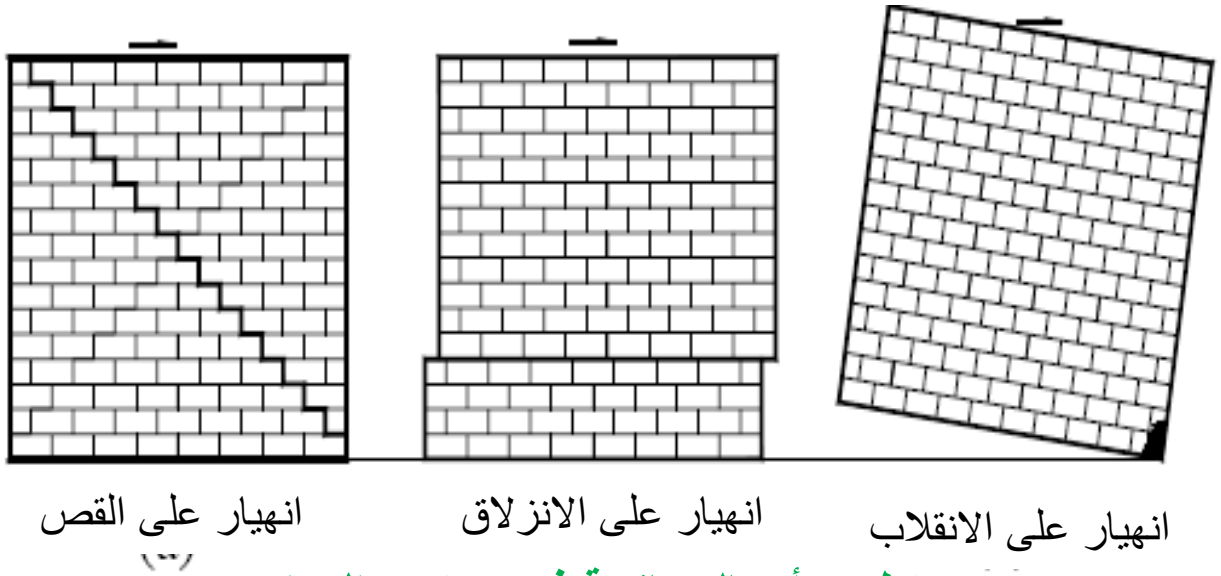
عدم الاستمرارية في الجدار المالئ في الطابق الأرضي، يخضع المنشأ لتشوهات جانبية كبيرة في مستوى الطابق الأرضي وتتشكل التشققات التي تؤدي لآلية انهيار بتشكل الطابق اللين.



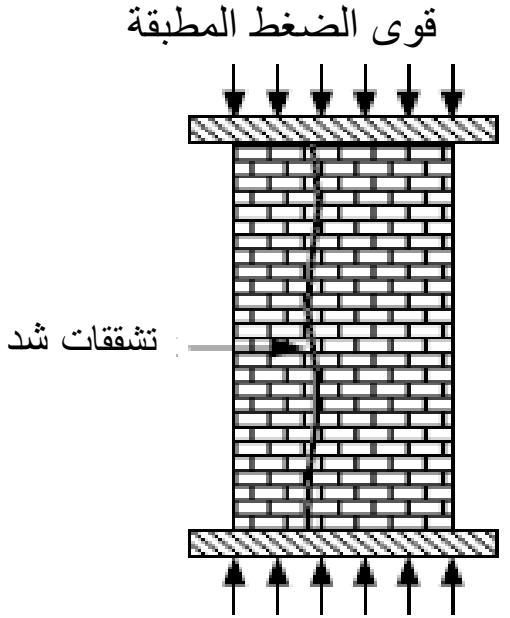
Failure Mechanisms of Unreinforced Masonry Walls: آليات انهيار الجدران الحجرية غير المسلحة



تطبيق أحمال جانبية خارج مستوي الجدار



تطبيق أحمال جانبية في مستوي الجدار



قوى الضغط المطبقة

انهيار جدار بلوك مقيد من الطرفين ومعرض لقوى شاقولية ضاغطة في مستويه

آليات انهيار الجدران الحجرية المسلحة: Failure Mechanisms of Reinforced Masonry Walls

باستثناء انهيار التماسك أو وصلات التراكب للتسليح، جدران البلوك الخاضعة لأحمال أفقية تنهار :

1. بالإنعطاف.
2. بالإنزلاق أفقياً.
3. القص القطري.

- يتأثر نمط الإنهيار بالعديد من العوامل مثل:

1. نسبة الطول إلى عرض الجدار.
2. مستوى إجهادات الضغط المحورية.
3. نسبة وتوزع فولاذ التسليح.
4. خصائص المقاومة للمواد المستعملة في بناء الجدار.

العوامل المؤثرة على سلوك جدران البلوك المسلحة:

1- نسبة التسليح وتوضعه Reinforcement ratio and position :

- كمية التسليح الأفقي لا تؤثر على القساوة البدائية للجدار على الرغم من أن الجدران المسلحة تقاوم قوى أكبر من الجدران غير المسلحة.
- قدرة التحمل الجانبية للجدران المسلحة لا تزداد بشكل ملحوظ لكن المطاوعة تزداد بزيادة كمية التسليح.
- التشوهات المتصدعة بالاضافة إلى المقدرة النهائية للجدران المسلحة تزداد بزيادة نسبة التسليح الأفقي حتى نسبة 0.2%.
- التسليح الأفقي يزيد مقدرة القص لجدران القرميد حتى نسبة 30% بالمقارنة مع الجدران غير المسلحة.
- التوزيع الجيد للتسليح على طول الجدار يزود سيطرة أفضل على الشقوق ويحسن المقاومة القصية الوتدية عبر مستويات الانزلاق المحتملة.

العوامل المؤثرة على سلوك جدران البلوك المسلحة:

2- الضغط المحوريAxial compression :

- زيادة صغيرة في الحمل الشاقولي يزود الجدار بمقاومة و مطاوعة أكبر. يعود ذلك إلى تحسين آليات مقاومة التماسك بين المونة الاسمنتية ووحدات البلوك.
- أي زيادة كبيرة للإجهاد المحوري تغير نمط الانهيار للجدار من الانعطاف إلى القص ويخفض من المطاوعة المتاحة للمنشأ.
- لا يجب أن يزيد الاجهاد المحوري عن 5% من مقاومة الضغط لجدار البلوك وذلك لتفادي حدوث الانهيار الهش.

العوامل المؤثرة على سلوك جدران البلوك المسلحة:

3- نسبة الطول إلى العرض Length to width ratio :

- تلعب نسبة الطول إلى عرض الجدار دوراً هاماً في نمط الانهيار لذلك فإن تأثير هذه النسبة يجب أن يدمج في المعادلات التي تتوقع قدرة القص والتشوهات.
- من أجل الجدران النحيفة والقصيرة H/L=0.6 يصبح القص هو المسيطر على سلوك الانعطاف.

العوامل المؤثرة على سلوك جدران البلوك المسلحة:

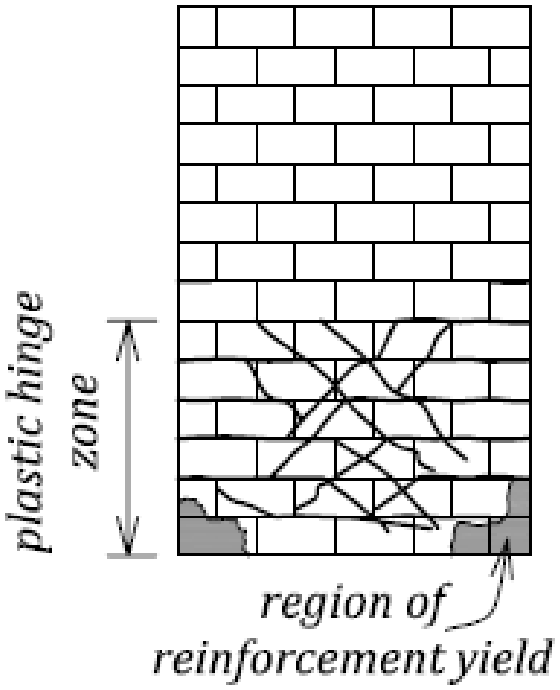
4- خواص المواد Material properties:

- مقاومة المونة الاسمنتية mortar وملاط الملأ grout لها تأثير محدود على مقاومة الجدار.
- زيادة مقاومة الشد للقرميد تؤدي إلى زيادة المقدرة النهائية للضغط للجدران.
- مقاومة جدار البلوك على الشد تأثير هام على التشقق وبالتالي على قدرة التحمل النهائية لجدران البلوك غير المسلحة وذلك فقط عندما يكون الحمل الشاقولي الضاغط منخفض نسبياً ويصبح هذا التأثير غير هام عندما تكون الاجهادات الشاقولية الضاغطة كبيرة.
- الزيادة في سماكة طبقة المونة تنقص مقاومة الضغط الحدية لجدار البلوك.

آليات انهيار الجدران الحجرية المسلحة: Failure Mechanisms of Reinforced Masonry Walls

1- الانهيار على الإنعطاف:

- حدوث السيلان لفولاذ التسليح الشاقولي بكعب الجدار.
- تحطم البلوك عند قدم الجدار الذي يترافق في بعض الحالات بتحنيب التسليح المضغوط وذلك عندما يتصرف الجدار كظفر شاقولي.

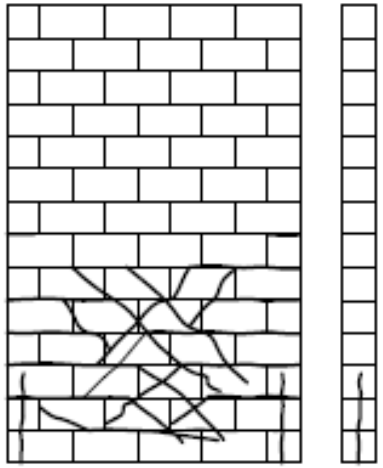


إنهيار على الإنعطاف

- يترافق بتشكل تشققات انعطاف أفقية وتشققات قص قطرية تتركز في منطقة المفصل اللدن
- هذا النمط هو المفضل كانهيار مطاوع ومبدد للطاقة بشكل فعال بسبب سيلان الفولاذ الشاقولي المثبت بالقاعدة.

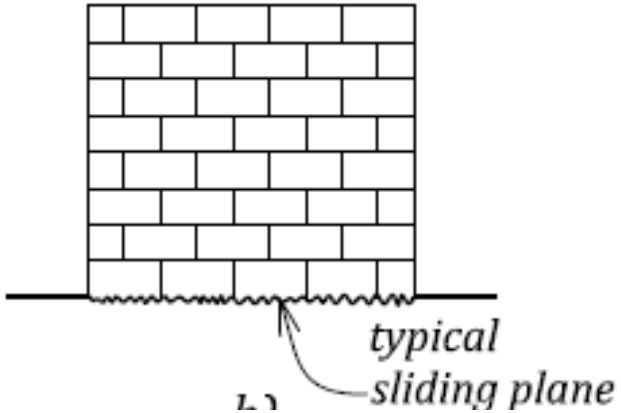
آليات انهيار الجدران الحجرية المسلحة: Failure Mechanisms of Reinforced Masonry Walls

2- الانهيار على الانزلاق أفقياً:



إنهيار على الانزلاق

- القص المنزلق هو حركة كامل أجزاء الجدار على طبقة ملاط القاعدة أو أي طبقة ملاط أخرى حيث تقاوم هذه الحركة بالفعل الوتدي لقضبان التسليح الشافولية المثبتة بالقاعدة وبالاحتكاك الناتج عن طبقة الملاط.
- هذا النوع من الانهيار قد يصبح هاماً في أية حالة يكون فيها معامل الإحتكاك منخفض مثلاً عند استخدام فاصل احتكاك أو غشاء كتيم للماء أو عندما يتوضع الجدار على بلاطة منفذة مصقولة وناعمة. وقد يخلق مشكلة خصوصاً في جدران البلوك غير المسلحة.



إنهيار على الانزلاق الناتج عن القص

- يحدث الإنهيار على الإنزلاق في منطقة التماسك عندما:

✓ طول تماسك حديد التسليح بين الجدار والأساس غير كاف.
✓ قطر حديد التسليح كبير نسبياً مقارنة مع سماكة الجدار.
✓ تشققات شاقولية في منطقة التماسك مصحوبة بتشققات وانزلاق في أسفل الجد

آليات انهيار الجدران الحجرية المسلحة: Failure Mechanisms of Reinforced Masonry Walls

3- الانهيار على القص القطري:

- يميز هذا النوع من الانهيار بابتداء الشقوق القطرية المرئية على طول جدار القص وذلك عندما تتجاوز الاجهادات الشادة الرئيسية مقاومة الشد لجدار البلوك تحت الانزياحات الجانبية المتزايدة.
- اعتماداً على كمية وإرساء فولاذ التسليح الأفقي هناك احتمال لنوعان من انهيار القص:

1- انهيار قص مطاوع.

2- انهيار قص هش.

آليات انهيار الجدران الحجرية المسلحة: Failure Mechanisms of Reinforced Masonry Walls

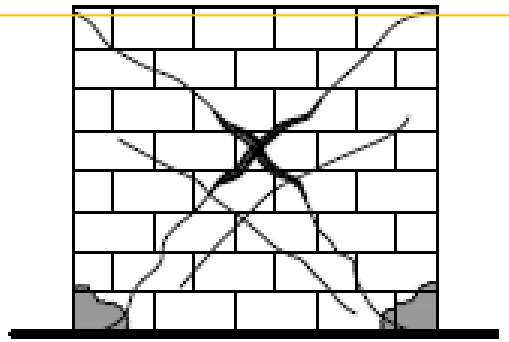
3- الانهيار على القص القطري:

1. انهيار القص المطاوع:

- التسليح الأفقي كافي والإرساء صحيح، سيتم إعادة توزيع الاجهادات عبر جدار القص بعد ابتداء حدوث الشقوق القطرية.
- الشقوق القطرية الأولية لا تتوسع تحت الأحمال الأفقية المتزايدة. ولكن بدلاً من ذلك تتشكل مجموعات جديدة من الشقوق القطرية وتنتشر بشكل تدريجي في كافة أنحاء جدار البلوك مما يؤدي إلى سلوك مطاوع للجدار.
- يحدث الانهيار بشكل تدريجي في هذه الحالة كتدهور لمقاومة جدار البلوك تحت التحميل الجانبي الدوري.
- يؤدي السحق المحلي الجزئي في الأجزاء المتصدعة جداً لأقطار الجدار بالنهاية إلى الخسارة الكاملة للمقاومة.

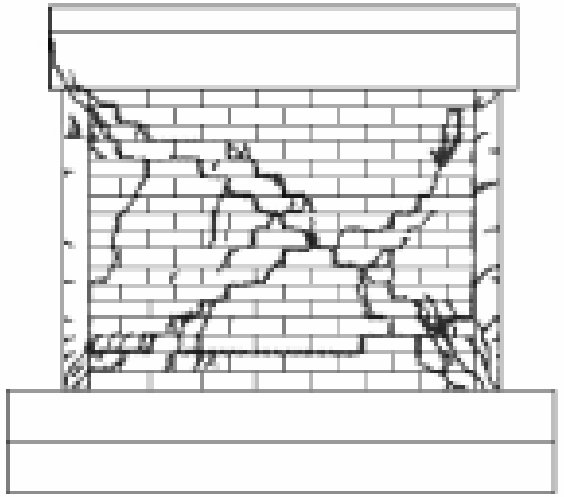
2. انهيار القص الهش:

- الكمية أو إرساء التسليح الأفقي ليسا كافيين لنقل الإجهادات الشادة عبر المجموعة الأولى من الشقوق القطرية.
- تواصل الشقوق التوسع على نطاق واسع على شكل حرف X مؤدية إلى انهيار مفاجئ وتدميري نسبياً.
- ممكن أن تنتشر هذه الشقوق القطرية من خلال وحدات البلوك أو على طول طبقات الملاط.



آليات انهيار الجدران الحجرية المربطة: Failure Mechanisms of Infill Masonry Walls

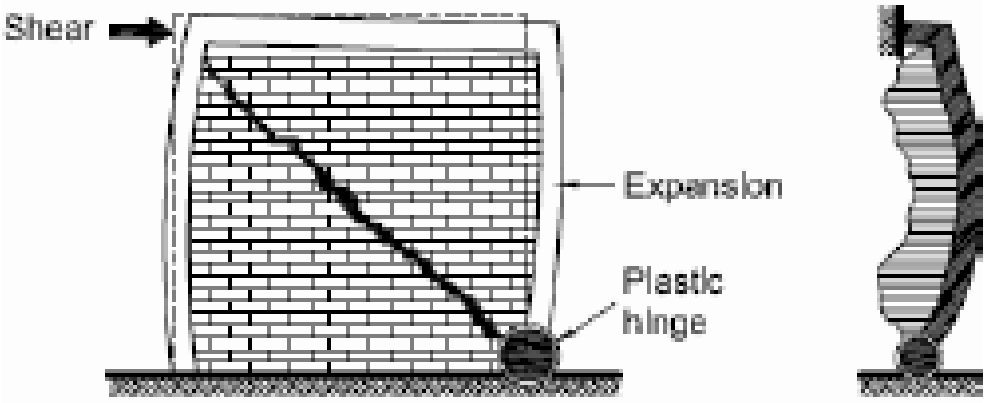
1. الانهيار على القص:



الانهيار على القص

- تتشكل تشققات قطرية في الجدار، تنتشر هذه التشققات في أعمدة التربيط أيضاً في حالة الحمولات الكبيرة.

- عند تشكل التشققات في الجدار الحجري، يقوم الجدار الحجري بدفع عمود التربيط وبذلك يبدأ العمود بمقاومة إجهادات الضغط والشد عن طريق حديد التسليح.



آلية تشكل المفصل اللدن

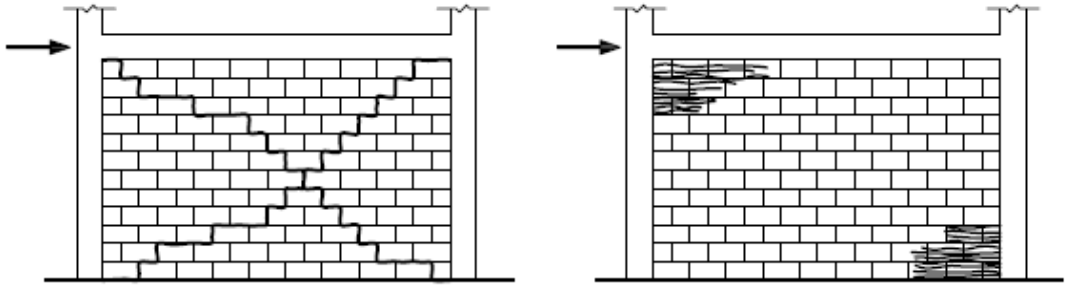
- يتشكل الضرر في أعمدة التربيط في أعلى وأسفل الجدار. في هذه المناطق يتهشم البيتون ويتلدن حديد التسليح وتدعى المفصل اللدن.

آليات انهيار الجدران الحجرية المربطة: Failure Mechanisms of Infill Masonry Walls

الإنزلاق في مناطق الوصل بين صفوف الحجارة

2. انهيار على الانزلاق:

- حدوث تشوهات العمود الحر والذي يسبب تشكل مفصل لدن في أسفل العمود.
- لا تتشكل تشققات القطرية في الجدار.



إنهيار الزوايا على الضغط الشد القطري

3. انهيار على الشد القطري:

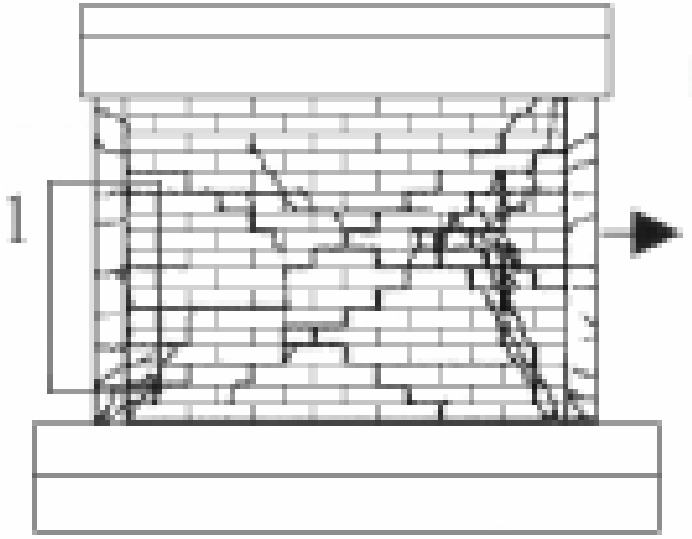
- تشكل دعامة قطرية نتيجة تشققات الشد القطرية.

4. انهيار الزوايا على الضغط

- تتشكل تشققات في منتصف الجدار نتيجة اجهادات الضغط في الدعامة القطرية لتصل إلى الزوايا وتسبب تحطمها.

آليات انهيار الجدران الحجرية المربطة: Failure Mechanisms of Infill Masonry Walls

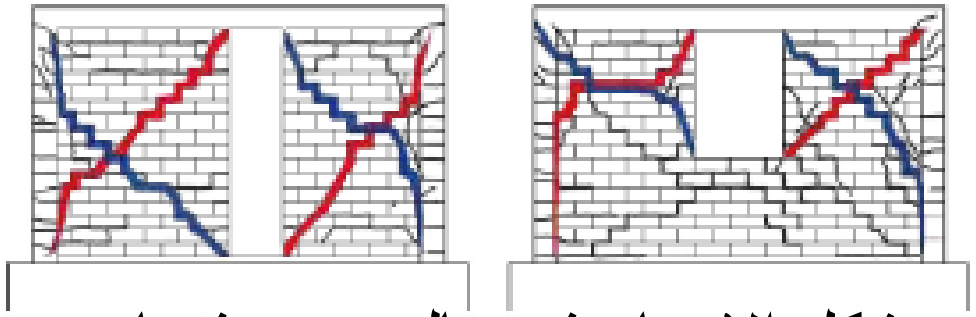
5. الانهيار على الانعطاف:



الانهيار على الانعطاف

- تتشكل تشققات أفقية في مونة الربط في جهة الشد من الجدار حيث تصل التشققات الافقية إلى أعمدة التربيط.
- من الممكن ملاحظة تشققات القص أيضاً.
- يحدث الانهيار في عمود التربيط عند انتشار التشققات الحاصلة في الجدار الحجري حتى عمود التربيط مما تسبب قطعه أو قصه.

الفتحات



شكل الانهيار في حال وجود فتحات

- لا تختلف مقاومة الجدار للأحمال الجانبية في حال وجود فتحات أقل من 10% من مساحة الجدار ككل.
- الجدران مع فتحات كبيرة، تتشكل تشققات قطرية (كما في الجدران بدون فتحات) ولكن تنتهي التشققات في نهايات الفتحات وبالتالي يتشكل الدعامات القطرية في أجزاء الجدار.