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

منشآت حجرية

Lec.02

طرق رفع كفاءة الأبنية الحجرية

د.م. ريم الصحناوي

E-mail: reemsalman_seh@Hotmail.com

30 /3/2020

تصنيف الضرر في المنشآت الحجرية:

يتشكل الضرر على شكل تشققات بسبب وجود إجهادات شد كبيرة أو إجهادات ضغط كبيرة أو الانعطاف المصحوب مع تحنيب.

1- ضرر غير مباشر: ضرر في العناصر الثانوية من المنشأ مثل الجدران الداخلية والأدراج والتي لا تؤثر على السلامة الهيكلية للبناء.

2- ضرر مباشر: ضرر في العناصر الأساسية مثل الجدران المقاومة للحمولات والتي هي جزء من الجملة المقاومة للأحمال في المنشأة.

تصنيف الضرر في المنشآت الحجرية:

انفصال في طبقتي الجدار الحجري

تظهر انهيار محلي في الجزء العلوي من الجدار تشققات كبيرة منتشرة في منطقة توضع الجائز بسبب الاجهادات الكبيرة ناتجة عن الدفع من السقف.

انهيار في الجدران نتيجة وجود فتحات كبيرة

انهيار محلي أو كلي في الزوايا أو تشوهات كبيرة في الجدران

تشققات قطرية في الأعمدة والجدران على مختلف الطوابق

رفع كفاءة المنشآت الحجرية القائمة لمقاومة الزلازل:

- المنشآت الحجرية القائمة في المناطق الزلزالية عرضة لجملة من الأضرار الخطيرة إن لم تستوف متطلبات التصميم الزلزالي واشتراطات الكودات.

- للحد من الخطر الزلزالي نعمل على إعادة تأهيل المنشآت الحجرية القائمة، إذ تتم تقويتها وتدعيمها بهدف زيادة قدرة تحملها للأفعال الزلزالية.

- إن عملية تقويم المنشآت القائمة لمقاومة الزلازل من خلال تحديد مقاومتها الفعلية وبيان العيوب والنواقص أمر هام وضروري لتحديد أسلوب وتقنية إعادة التاهيل.

- يهدف تقويم وتأهيل المباني والمنشآت القائمة لمقاومة الأفعال الزلزالية إلى تجنب الانهيار الشامل أو الجزئي بما يحفظ السلامة ويخفف الأضرار في العناصر الانشائية وغير الانشائية أثناء وبعد الزلزال.

رفع كفاءة المنشآت الحجرية القائمة لمقاومة الزلازل:

الاصلاح أو الترميم يهتم بمنشآت متضررة، بينما لا يعني التدعيم بالضرورة بمسألة التضرر، والتدعيم الزلزالي هو إجراء يعمد إليه المهندس بهدف تقوية المنشآت القائمة لمقاومة الزلازل القادمة.

اختيار تقنية إصلاح أو تدعيم عناصر المنشأ قضية ضرورية لاستعادة المنشآت الحجرية للاستخدام.
من الضروري الحفاظ على هوية المنشأ وقيمته الانشائية والحصول على مستوى مقاومة مناسب لمقاومة الأحمال الديناميكية مثل الزلازل.

التحليل وإعادة التصميم:

دراسة واقع المنشأة الحجرية (تشخيص الضرر، تقييم أنواع التدخل المختلفة استنادا إلى معايير معينة. ومن ثم وضع معايير بدء العمل.

خطوات إعادة التصميم:

- تعريف الضرر بالموقع أو عن طريق عينات مخبرية.
- تعريف الخصائص الميكانيكية للمواد.
- تقييم نوع التدخل البديل، توصيف معايير وقرارات نوع ومستوى التدخل المنفذ.
- تحديد متطلبات ومواصفات الكود (أساسيات تصميم المنشآت، الأحمال المطبقة، تصميم المنشآت الحجرية، التصميم الجيوتكنيكي، التصميم الزلزالي للمنشآت).
- يعتمد التحليل للمنشأة على (الجملة المقاومة للحمولات، مستوى الضرر في نقاط مختلفة من المنشأة، الخصائص الميكانيكية للمواد).
- تحديد الأحمال التصميمية (الأحمال الزلزالية،...) وتراكيب الأحمال المناسبة.
- طريقة التحليل للمنشأ (ستاتيكي أو ديناميكي) لتحديد القوى الداخلية.
- تجهيز المخططات المعمارية والإنشائية مع التفصيلات للوصلات ومناطق تركز الاجهادات.

تقنيات رفع كفاءة المنشآت الحجرية:

يجب اعتبار العوامل التالية:

1- المستوى المطلوب للمقاومة الإنشائية للبناء.

2- الشكل الانشائي العام والتغيير المطلوب

3- مواد عناصر التقوية ودرجة اتصالها مع البناء القائم

4- حالة الأساسات وإمكانية الإشادة فوقها

5- أثر التقوية على مظهر البناء

6- التقوية المطلوبة للعناصر غير الإنشائية والتجهيزات والخدمات الأخرى

7- الفترة الزمنية لعدم استثمار البناء

8- كلفة التقوية

طرق رفع كفاءة المنشآت الحجرية القائمة:

تعتمد على نوع ومكان الضرر في المنشآت الحجرية

طرق محلية:

1- إصلاح وإعادة بناء الجدران الحجرية

في حال انهيار طبقة من طبقات الجدار (الجدران الخارجية)، يتم إعادة بناء الجزئ المنهار وتقوية الاتصال باستخدام حجارة ربط بين الطبقتين.

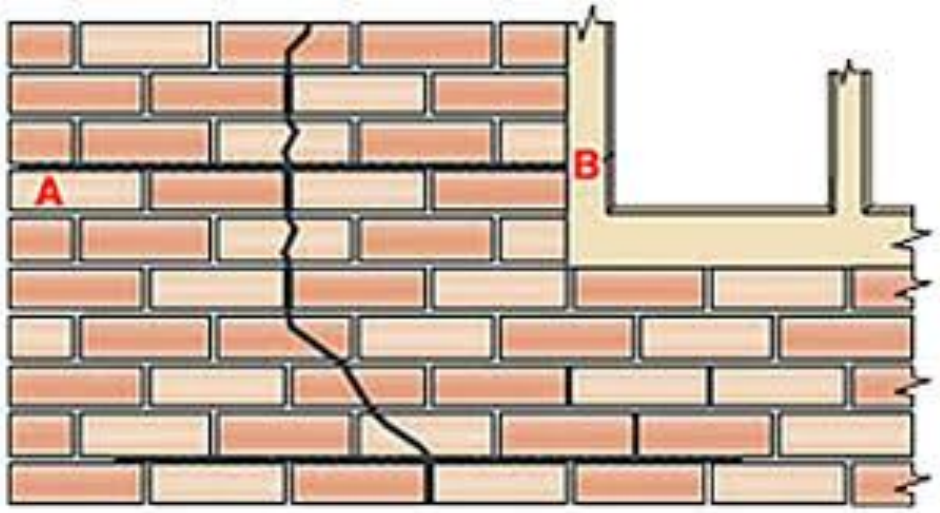
- استخدام حجارة جديدة مشابه لنوع وقياس ومواصفات الجدران القديمة للحصول على تجانس في البناء.
- التنظيف بحذر للحجارة باستخدام أدوات جلخ بسيطة (فرشاة و الورق الرملي) والماء لتفادي حدوث الضرر في الحجارة.
- صف الحجارة بشكل أفقي وتفادي الربط الشاقولي.
- حقن الفراغات والوصل بين الحجارة بالكلس.

2- ربط المداميك باستخدام حجارة ربط:

نتيجة وجود تشققات تسبب عدم ربط المداميك.

- تنظيف التشققات إزالة الحجارة على طول حافة التشقق واستبدالها بحجارة ربط.
- إزالة مونة الربط بين الحجارة على بعد نصف متر من كلا الاتجاهين من منطقة وجود الشق وإعادة حقن المونة باستخدام الكلس.

3- ربط المداميك باستخدام قضبان ربط معدنية



- يتم استخدامها في التشققات العريضة والعميقة في الحجر.
- توسيع التشققات على عمق 15 سم من كلا الاتجاهين للجدار وعلى شكل حرف V.
- إزالة المونة بين مداميك البلوك من كلا الاتجاهين للجدار وعلى مسافة 75 سم من كلا الاتجاهين من منطقة وجود الشق وعلى عمق 15 سم.
- تركيب قضيب الربط المعدني مقاوم للصدأعلى كلا الجانبين للجدار كل 100 سم من ارتفاع الجدار.
- يتم تثبيت نهاية الدبوس في سطح الحجر.
- إعادة ملئ التشققات بين الحجارة بالمونة الكلسية.

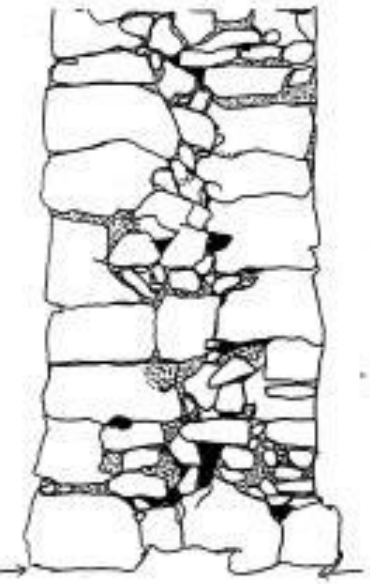
4- ترميم الزوايا بين الجدران

- سند السقف والأرضية
- إزالة الحجارة المتضررة.
- تقوية الزاوية بصفائح غير قابلة للصدأ بطول لا يقل عن 120 سم من كل اتجاه من تقاطع الجدارين وكل 100 سم من الارتفاع.
- يجب أن تكون الصفيحة متماسكة مع الجدار بطول تماسك لا يقل عن 60 سم في كل جدار.

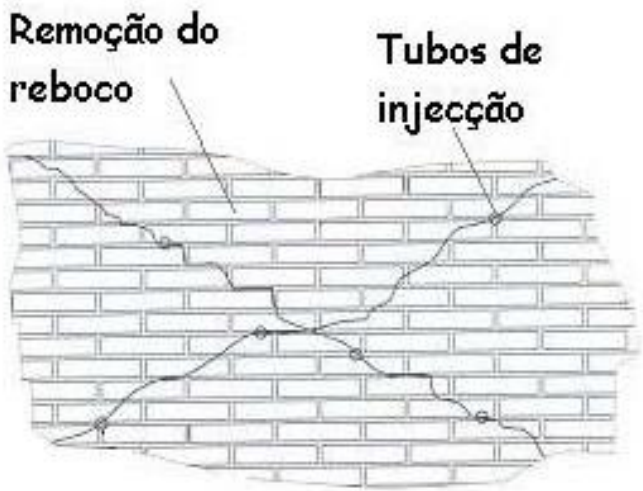
5- وصل الجدار بوصلة معدنية (قضيب ربط):

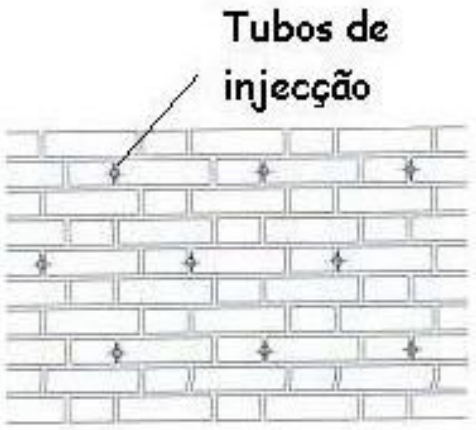
- يستخدم لتقوية البناء الحجري لمقاومة الانهيار الجزئي أو الكلي ولمنع عدم الاستقرار الجانبي للجدار الناتج عن العناصر الانشائية الأفقية.
- يتم استخدام الوصلات المعدنية في تقويم وترميم المنشآت الحجرية بعد حدوث الزلازل بوضعها تحت السقف مباشرة أو في أماكن التشقق في الزوايا.
- يمكن استخدام الأوتار العادية بتثبيت النهايات ببراغي في الجدار من خلال صفائح معدنية.
- على الرغم من فعالية تربيط الجدران الحجرية لتحسين السلوك الزلزالي للمنشآت الحجرية ولكن في العقود الأخيرة تم استخدام وبشكل واسع عملية فصل السقف عن الجدار.

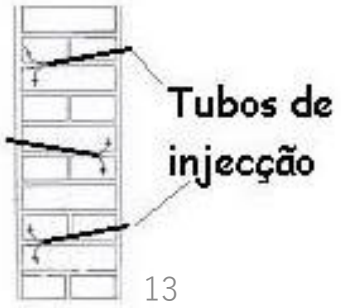
6- الحقن لاصلاح وتقوية الحجارة:



- لملئ الفراغات الكبيرة والصغيرة والتشققات لزيادة المقاومة للجدار الحجري.
- لملئ الفراغات بين طبقات الجدار عندما تكون موصولة بشكل سيء.
- يتم حقن الفراغات الموجودة في الجدار والتي لا تقل عن 1سم بخليط من الإسمنت والماء مع استخدام إضافات، وذلك بعد تنظيف هذه الفراغات بشكل جيد.
- يتم الحقن بواسطة ضغط عالي ليتمكن من ملئ الفراغات ولخروج الهواء من الحجارة.
- يتم الحقن بواسطة أنابيب مطاطية بقطر 3-6 سم.
- على الرغم من الاستخدام الواسع لهذه التقنية هذا القرن ولكن تعد غير عملية.



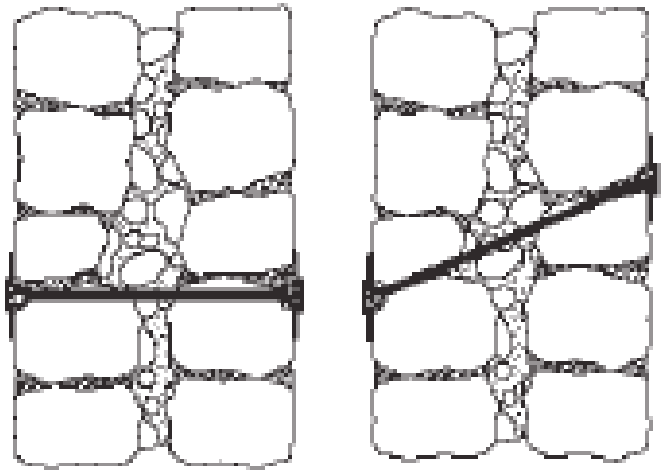




7- الترقيع:

يتم إصلاح المناطق المهدمة أو الحجارة المتضررة بمواد اسمنتية.

8- إضافة إرساء عرضي في الجدران:



لوصل طبقتي الجدار بشكل أفضل متجنبين إنفصالهم في منطقة النواة الداخلية.

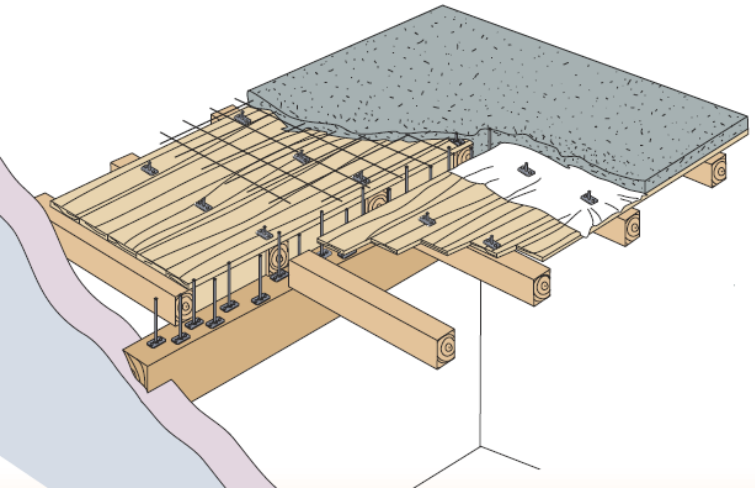
طرق رفع كفاءة المبنى بشكل عام:

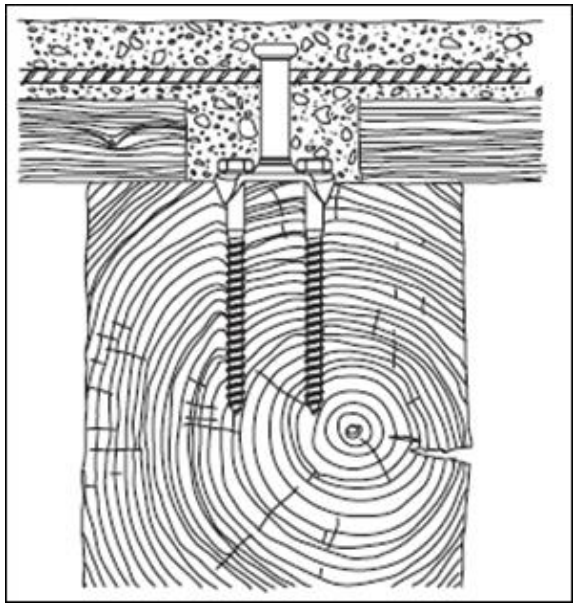
طرق رفع كفاءة للمبنى بشكل عام:

1- معطف من البيتون المسلح:

- يتم وضع شبكة تسليح بقطر 6-8 مم على وجهي الجدار، موصولة عن طريق تسليح تربيط عرضي.
- يجب إرساء قضبان التسليح في قاعدة العمود.
- تتراوح سماكة طبقة الأسمنت حوالي 10سم. تعمل على زيادة المقاومة والمطاوعة للجدار. يمكن تطبيقها على الوجه الخارجي للجدار أو الداخلي، يعتمد ذلك على إمكانية الوصول لوجه الجدار.
- يتم إضافة قضبان معدنية لوصل الجدار الحجري مع القميص الاسمنتي ليكونا جملة واحدة.
- الهدف هو زيادة المقاومة على القص والشد والمطاوعة.
- يمكن استخدام هذه التقنية أيضاً لوصل الجدران الحاملة مع جدران القص، وفي حال وجود تشققات كبيرة.

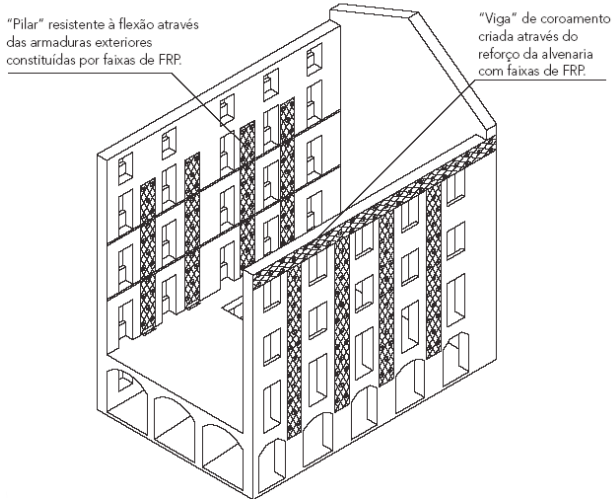
2- تقوية الأسقف وتحسين الوصل بين الجدران و السقف:

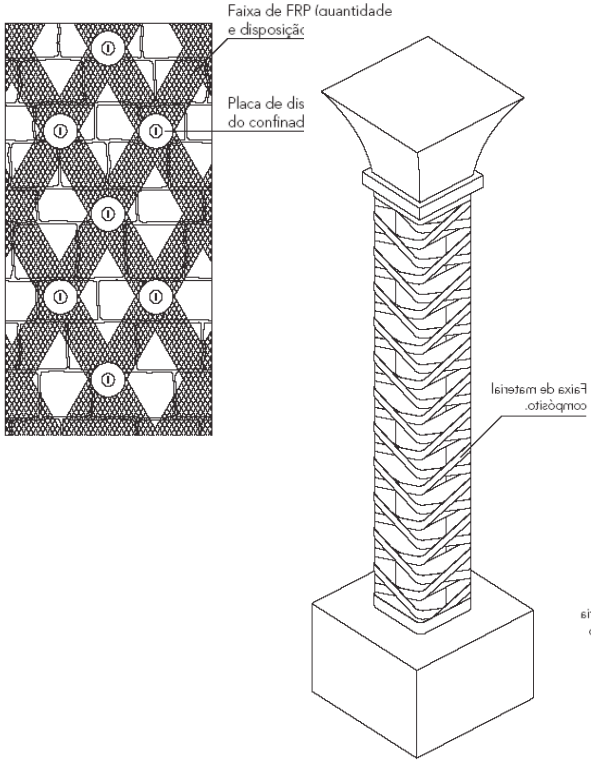




- زيادة القساوة في المستوي للأسقف الخشبية لتحسين السلوك الزلزالي للأبنية الحجرية القديمة.لأن ذلك يجعل البناء يتصرف كصندوق يعمل على إعادة توزيع القوى الجانبية بين مختلف العناصر الإنشائية الشاقولية، وبالتالي يتم ايضاً إعادة توزيع القوى الأفقية للجدران الخارجة عن العمل إلى الجدران المتبقية.
- تتم تقنية التقوية بإضافة بلاطة من البيتون المسلح فوق السقف الموجود، ويتم وصلها مع السقف الموجود بواسطة دبابيس أو وصلات موثوقة مع أعلى حافة الجائز.
- يتم نقل قوى القص بين الجائز والبلاطة بشكل موازي للمنشأة.
- سماكة البيتون لا تزيد عن 5-10 سم. لأن وضع السقف البيتوني يزيد من وزن السقف مما يسبب زيادة في الفعل الزلزالي.

3- المواد المختلطة مثل البوليمترات المدعمة بالألياف الكربونية والزجاجية:





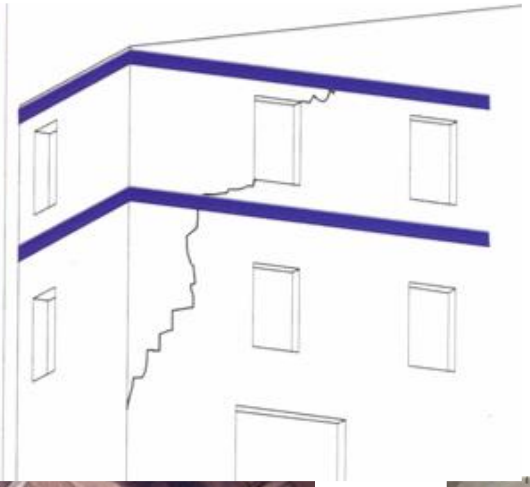
- تزيد الأداء الميكانيكي للمواد الضعيفة على المطاوعة ومقاومة الشد.
- يتم استخدام CFRP في المنشآت الحجرية كنظام تسليح خارجي ERP .
- يزيد التسليح الخارجي من قدرة الأبنية الحجرية على مقاومة الشد والضغط عن طريق زيادة التطويق، وبالتالي تغير من الانهيار الهش.
- يتم تحسين خواص المواد بدون إضافة كتلة كبيرة للمنشأ عن طريق استخدام مواد مقاومة للصدأ.
- سهلة وسريعة التطبيق و قادرة على الأداء بعد فترة قصيرة من تطبيقها.
- تمنع الألياف حدوث التشققات الكبيرة التي تسبب تسرب الماء وحدوث الصدأ في حديد التسليح.
- تم اهمال التأثير الغير مرغوب فيه لراتنجات الإيبوكسي.
- قياس الألياف يفضل استخدام الألياف من قياس مايكرو في المنشآت الحجرية.

3- المواد المختلطة مثل البوليمترات المدعمة بالألياف الكربونية والزجاجية:

- في حال مقاومة القص للبناء غير كافية في اتجاه معين، من الممكن تقويته ب CFRP بإلصاقها على سطح العنصر المراد تقويته، بدلاً من إضافة عناصر إنشائية أخرى.
- تزيد المقاومة على الأحمال في مستوي الجدار وخارج مستوي الجدار (9 مرات تقريباً)، والمقاومة الجانبية بعامل (1.7-5.9). يزيد مقاومة القص بعامل (1.3-2.9).
- هذه الطريقة غير مناسبة للأبنية التاريخية للحفاظ على القيمة المعمارية للبناء.

4- قضبان التربيط الأفقية:

- يتم تطبيق قضبان التربيط الأفقية لربط الجدران في اتجاهين مختلفين مع بعضها في مستوي البلاطة.
- تستخدم في الأبنية القوسية لمنع الدفع الأفقي ومن الممكن استخدامها في الأسقف الخشبية أيضاً.
- تعمل على منع أو إنقاص إمكانية الإنهيار خارج المستوي وتحسين سلوك الجدار على ميكانيزم الانهيار في مستويه.
- تحسين سلوك الجدار الحاوي على فتحات في المستوي بتشكيل ميكانيزم الدعامة والتربيط في جوائز الربط تحت وفوق الفتحة



4- قضبان التربيط الأفقية:

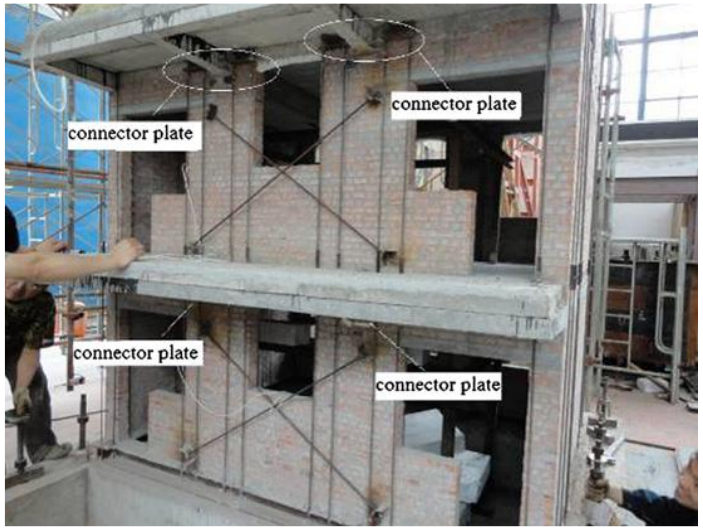
- يجب أن تكون قساوة قضيب الربط كافية ومناسبة (يفضل قطر كبير وطول محدود للقضيب).
- الطريقة فعالة في الأبنية ذات طول محدود للجدران ويتم تفادي هذه الطريقة في الأبنية ذات تركيز إجهادات الشد في الزوايا

5- تطبيق مسبق الإجهاد:

- يستخدم لزيادة المقاومة على الشد والانعطاف في الأبنية الحجرية.
- يطبق بحفر نواة في مركز الجدار من أعلى الجدار الحجري إلى الأساس ومن ثم يتم وضع وتر مسبق الشد في تجويف النواة.
- يمكن ملئ التجويف بالحقن أو تركه فارغ.
- أو يتم بوضع وتر مسبق الشد خارج الجدار بأماكن منفصلة.
- يمكن تطبيق شد مسبق شاقولي في الأعمدة أو أفقي في جوائز الربط.
- هذه الطريقة تقوم بتشكيل قوى ضغط في الجدار الحجري تواجه إجهادات الشد الناتجة من الأحمال الأفقية.
- تزيد هذه الطريقة المقاومة الجانبية للجدار بعامل قيمته 2. كما تعمل على زيادة المقاومة و القساوة للجدار.
- طريقة مكلفة.
- لا تشوه الناحية المعمارية للمنشأ(المنشآت التاريخية)

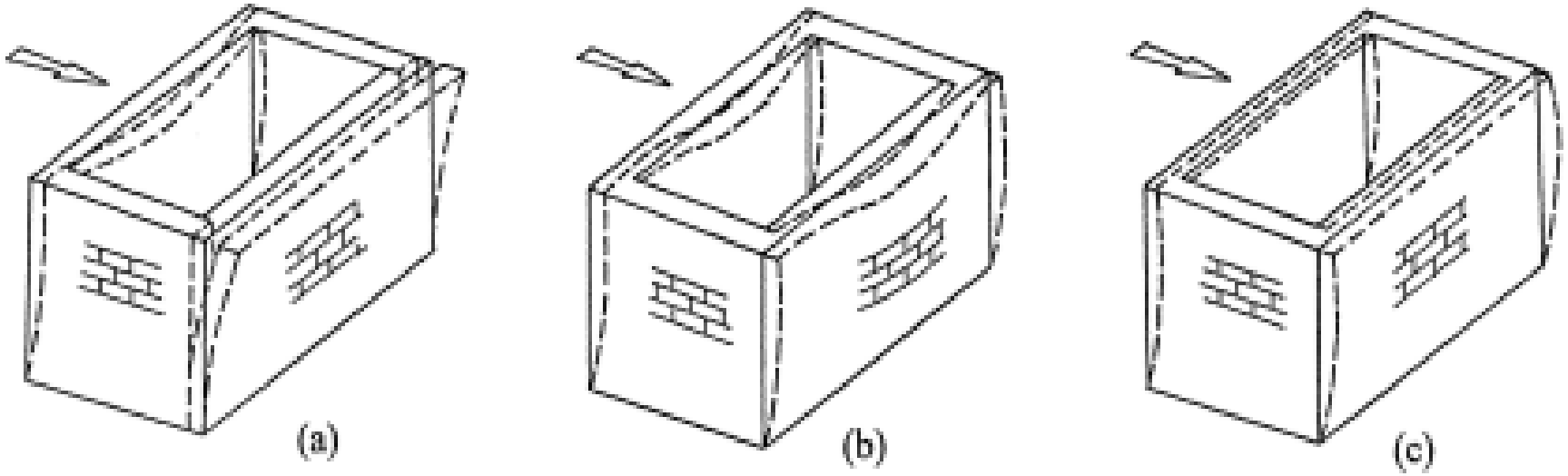
5- تطبيق مسبق الإجهاد:

- غير قابلة للتطبيق في الجدران المنهارة.
- تضعف نتيجة الزحف والتقلص في الجدران الحجرية.
- ليس من السهل توجيه الوتر.
- لمقاومة إجهادات القص في الجدار، من الممكن وضع أوتار مسبقة الشد خارجية بشكل قطري وشاقولي.



6- جائز حلقي:

- وضع جائز بيتوني حلقي في أعلى الجدار في الطابق الأخير من البناء إذا كان هنالك إمكانية لإزالة السقف مؤقتاً.
- حل فعال لتحسين وصل الجدران في أعلى البناء ولتحسين وصل الجدار مع السقف.
- يوضح الشكل تشوه المنشأ في حال كانت الجملة صلبة وفي حال كانت مرنة قابلة للتشوه (في حال وجود وعدم وجود الجائز الحلقي). يجب تجنب السلوك خارج المستوي للجدار والأداء الأفضل هو أن يكون السلوك في مستوي الجدار في الأبنية الحجرية. C هي الأفضل.



6- جائز حلقي:

- عدة تقنيات ومواد يمكن استخدامها، جوائز حلقية حجرية مسلحة أو من البيتون المسلح أو فولاذية.
- الجوائز الحلقية الحجرية المسلحة:
- تؤمن حفاظ وتوافق مع البناء الحجري الموجود. يجب استخدام نوعية جيدة من الحجر على كامل سماكة الجدار الحجري.
- يوجد حديد التسليح في الجائز الحلقي الحجري ويتم تثبيته في المونة الاسمنتية ولتأمين اتصال جيد مع الجدار الأساسي

- الجائز الحلقي من البيتون المسلح:
- يتم استخدامه فقط في حال الارتفاعات القليلة، لتفادي الزيادة في الوزن والقساوة والاجهادات المماسية بين الجائز الحلقي والجدار والمسببة لانزياح الجائز الحلقي والغاء الاتصال مع الجدار الحجري بسبب اختلاف الصلابة بين الحجر والبيتون المسلح.

- يمكن تحسين الاتصال بين الجائز الحلقي والجدار عن طريق زرع قضبان معدنية في الجدار .

6- جائز حلقي:

- الجائز الحلقي المعدني:
- خفيف الوزن، يسمح باتصال جيد مع العناصر الخشبية في السقف.
- يكون على شكل جائز شبكي متصل بشكل جيد مع الجدار الحجري.
- ممكن وضع الجائز الحلقي المعدني على جانبي أعلى الجدار وفي هذه الحالة لا نحتاج لإزالة السقف أو لتحطيم الجزء العلوي من الجدار، أو لزيادة منسوب السقف.
- الجدار الحجري أكثر استقرار للتوزيع الجيد للحمولات الشاقولية القادمة من السقف.
- يتم الوصل بين الجائز الشبكي الداخلي والخارجي بالحفر بالجدار ووضع قضبان وصل.

7- جدار قص:

- اذا كانت صلابة البلاطة كافية، يمكن زيادة المقاومة الجانبية للبناء بإضافة جدران قص من البيتون المسلح.
- يتم حساب عدد جدران القص وطول كل جدار وتوزيع قضبان التسليح بعد حساب قوة القص القاعدي.
- تهمل مقاومة البناء الحجري في حساب جدران القص.

8- إطار من البيتون المسلح أو الفولاذ:

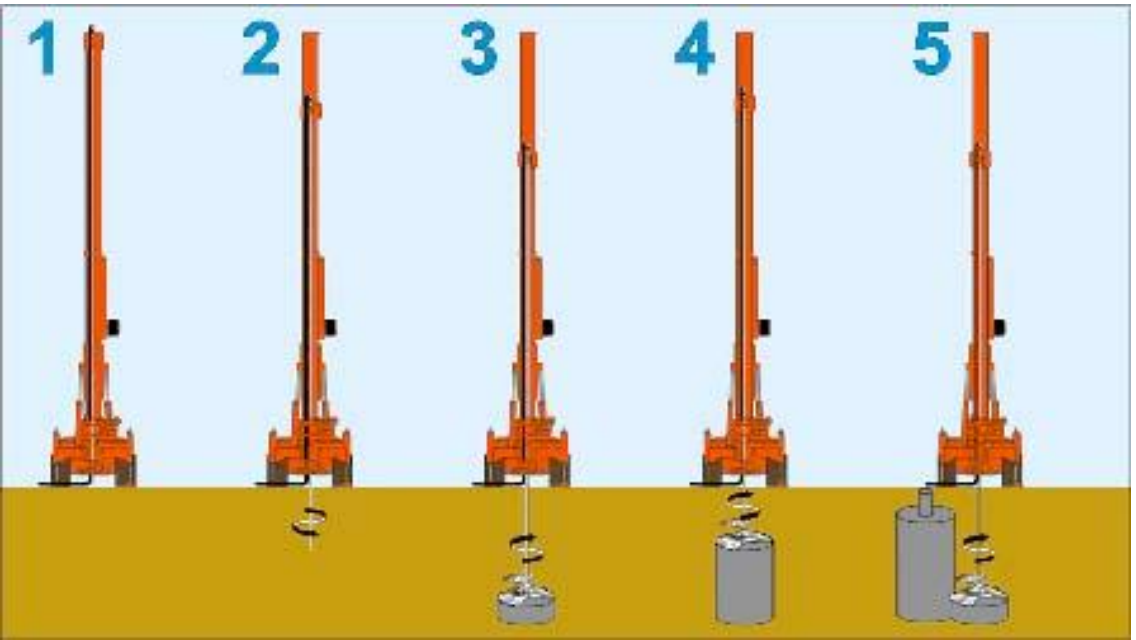
- يزيد الإطار المقاوم للعزوم من المقاومة الجانبية.
- توافق القساوة مع المنشأة القائمة.
- الفولاذ مادة مطاوعة ولكن الجدار الحجري غير المسلح غير مطاوع، وهذا يعني أنه تحت تأثير الأحمال الزلزالية لا يعمل الإطار المعدني حتى حدوث تشققات كبيرة في الجدار الحجري.
- يتم وصل الإطار مع الجدار الحجري بواسطة براغي.

9- النواة المركزية:

- يمكن استخدامها بدون الحاجة لإخلاء البناء.
- يتم إنشاء ثقوب شاقولية من أعلى الجدار حتى الوصول للأساس ومن ثم يتم قضبان تسليح فولاذية في الثقوب والحقن بالأسمنت.
- تعمل على زيادة المقاومة للجدار في مستوي متعامد وموازي للجدار.

10- ترميم الأساسات:

- تحسين التربة الرملية بالحقن.
- من الممكن استخدامها في كل أنواع الترب تتكون من مواد ناعمة تمنع التسرب، ويمكن تطبيقها في المناطق المغلقة والصعبة.
- لا يسبب تطبيقها أي نوع من الاهتزازات على المنشأ.



10- ترميم الأساسات:

- تحسين سلوك الأساسات بتكبيرها أو دمجها.
- يمكن تكبير الأساس باستخدام البيتون باستخدام قضبان وصل للتشريك بين الحجر والبيتون.
- يمكن تحسين عمل الأساس بملئ الفراغات بين الحجارة بمونة اسمنتية. يتم الحقن باستخدام أنابيب لحقن الشقوق الداخلية ثم يتم إغلاق الشقوق السطحية.