الفصل الخامس

الأساسات السطحية

1-5 مقدمة Introduction

الأساسات هي حلقة الوصل بين المنشآت والقواعد الصخرية أو الترابية الواقعة أسفلها التي ترتكز عليها هذه المنشآت. والأساس الجيد ينقل أوزان المنشأ بطريقة آمنة إلى التربة دون حدوث أي تحرك ضار للتربة أسفل هذا الأساس أو حوله، والذي قد يتسبب في انهيار كلي أو جزئي للمنشأ، أو انضغاط للطبقات أسفل الأساس، الأمر الذي يؤدي إلى هبوط للمنشأ أو بعض أجزائه بقيم ضارة بالمنشأ أو استخدامه.

يُصمم ويُنفذ الأساس الجيد لمقاومة وزن المنشأ المعروف بالوزن الميت، بالإضافة إلى الأوزان الحية وأحمال الرياح والزلازل أو أية أحمال أخرى طبقاً لنوع واستخدام المنشأ. كذلك فأن الأساس الجيد يجب أن يُصمم وُينفذ لحماية المنشأ من تسرب المياه الجوفية داخل المنشأ أو أن تؤثر في استخداماته.

والأساس قد يكون سطحياً لنقل أحمال المنشأ إلى طبقة التأسيس أو يكون عميقاً داخل التربة لنقل أحمال المنشأ إلى طبقات التربة القوية العميقة أو الطبقات الصخرية أو توزيعها خلال طبقات التربة بطريقة تدريجية وغالباً ما يكون الأساس تحت سطح الأرض حيث يبدأ المنشأ.

وتتعرض الأساسات لمختلف أنواع الأحمال الرأسية مثل أحمال الضغط الناجمة عن أحمال الجاذبية المعروفة بالأوزان الحية المتمثلة في أوزان الأشخاص والأثاث والمعدات

وغيرها، كما يتعرض أيضاً لأحمال جانبية مثل أحمال الزلازل والهزات الأرضية وأحمال الرياح وضغط الأتربة والضغط الهيدروستاتيكي وأحمال صدم الأمواج والسفن والاهتزازات الناجمة عن معدات وآلات الورش والمصانع، كذلك فإن الأساسات في بعض المنشآت وتحت ظروف تشغيل خاصة تتعرض إلى قوى دفع إلى أعلى بفعل دفع الماء أو بسبب انتفاخ التربة.

2-5 اختيار الأساس السطحي Selection of Shallow Foundation

لتحديد نوع الأساسات فإنه عادةً ما يُنصح باستخدام الأساس السطحي لأنه الأكثر اقتصاداً والأسهل تنفيذاً من الأساس العميق، ولكن يلجأ المهندس إلى تنفيذ الأساس العميق اضطراراً، بسبب طبيعة التربة أو المنشأ أو كلاهما، واللذين قد يحولا من استخدام الأساس السطحي.

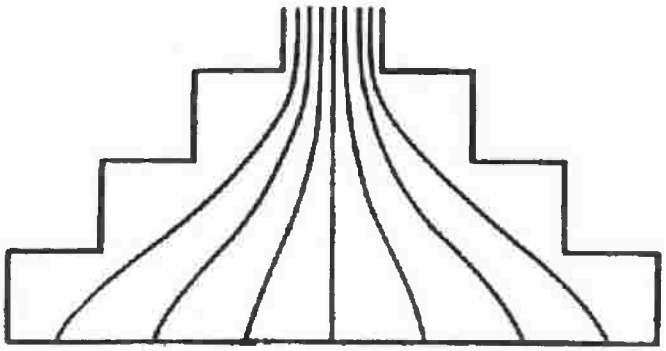
و الحالات التي تُجبرنا على تنفيذ الأساس العميق تكون كالتالي:

1- طبقات التربة العليا تكون ضعيفة مما يتسبب عن أحمال المنشأ انهيار قص في بعض تلك الطبقات أو تضاغط كبير لها، الأمر الذي يؤدي إلى تشوه استخدام المنشأ. أو تكون ظروف الموقع بالغة الصعوبة لإنشاء الأساسات السطحية كالإنشاء في قاع البحار والأنهار.

2- استخدام كامل مساحة المنشأ كأساس غير كافية لنقل الإجهادات إلى التربة، مما يتوجب علينا التأسيس على الطبقة الصخرية أو الكثيفة التحتية التي تكون مقاومتها أعلى.

3- عندما تكون الأحمال الجانبية كبيرة جداً، مما يتطلب عمل نظام إنشائي تحت الأرض لمقاومة القوى الأفقية المنقولة للأساس، حيث تستخدم الأوتاد المائلة لنقل حملها بالاحتكاك إلى التربة العميقة.

حيث أن التربة تتحمل ضغطاً أقل بكثير من مقاومة القطع الإنشائية سواء كانت خرسانية أم حديدية المستندة على الأساسات، لذلك تُصمم الأساسات على شكل يُمكنها من توزيع الأحمال المسلطة عليها على المساحة المطلوبة كما هو موضح بالشكل (18).



الشكل (18) الرسم التخطيطي لخطوط الضغط في كتلة الأساس

3-5 عمق التأسيس Foundation Depth

يُعتبر عُمق التأسيس من أهم القرارات الفنية التي يتوجب على المهندس الجيوتقني اتخاذها، بحيث لا يقل عن عرض الأساس في الأساسات السطحية كما بالشكل (19)، ويعتمد اختيار عمق التأسيس على الأتي:

أ- نوع التربة.

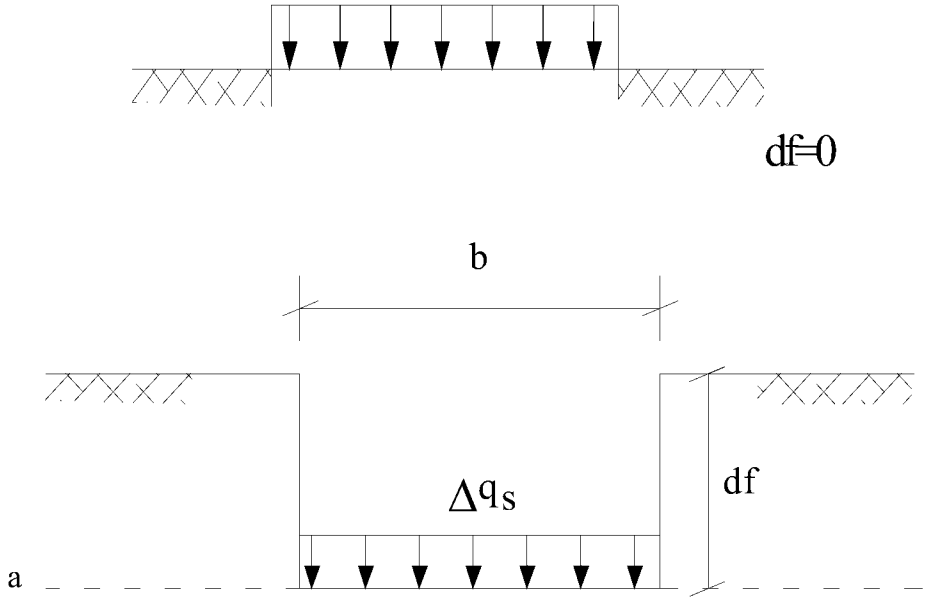
ب- منسوب المياه الجوفية.

ج- تأثير انتفاخ وتمدد التربة.

د- عمق خط التجمد بالمناطق الباردة.

هـ- الكهوف والفجوات في باطن التربة.

يتوجب على المهندسين عدم التأسيس على طبقات التربة الغير مكتملة الانـضغاط مثل الردم وطبقات التربة المحتوية على مخلفات نباتية، بسبب التغيرات الحجمية التي فد تحدث عند التأسيس عليها مع مرور الزمن، إضافة لضعفها وعدم ثباتها، ويكون هذا في الدرجة الأولى بالطين أو الطمي غير المنضغط أو بالكثبان والترسبات الرملية السائبة.



الشكل (19) عمق التأسيس

وبما أن المنطقة التي تتذبذب فيها المياه الجوفية تكون أقل الطبقات مقاومة وثباتاً، لذلك فإنه يُنصح بالتأسيس أسفل المنسوب الأدنى للتذبذب، أما بالمناطق الباردة فإن خط التجمد يجب أن يقع أعلى منسوب التأسيس للمنشآت، لتفادي التغيرات الحجمية

المصاحبة لتجمد المياه بالتربة، وخاصة للقواعد الخارجية للمبنى التي تكون أكثر تعرضاً للبرودة.

أما في حالة التربة القابلة للانتفاخ، فإنه يجب اختيار عمق كاف للتأسيس على طبقة بعيدة عن المناطق السطحية الجافة المعرضة للبلل، ففي حالة ما يكون التأسيس على طبقات طينية في مناطق جافة معرضة للبلل يكون عمق التأسيس أكثر من متر ونصف من سطح الأرض الطبيعية للقواعد الخارجية.

لتحديد عمق التأسيس للمنشأ، فإنه يتطلب دراسة وجود أية فراغات في باطن الأرض مثل خطوط المياه والصرف الصحي أو أنفاق المحاجر أو الفجوات والكهوف في الأحجار الجيرية أو الفراغات الناجمة عن سحب المياه من الآبار أو سحب النفط من آبار البترول، وفي هذه الحالات يمكن الوصول إلى أعماق كبيرة وذلك بتنفيذ الأساسات العميقة، وفي بعض الأحيان يتم إلغاء تنفيذ المشروع في هذا الموقع إذا كانت العيوب في باطن التربة جسيمة وينتج عن تلافيها تنفيذ أساسات غير اقتصادية.

4-5 قدرة تحمل التربة للأساسات السطحية

The bearing capacity of soil for shallow foundations

منذ بداية الاهتمام بعلم ميكانيكا التربة عن طريق العالم ترزاكي الذي وضع الأساس لهذا العلم، تم تحديد العديد من المعادلات الخاصة بحساب قدرة تحمل التربة للأساسات السطحية من قبل العديد من العلماء والباحثين، وتعطي قيم تقريبية لقدرة تحمل التربة في جداول خاصة لإعداد التصميم الابتدائي للقواعد ومن تم إعادة حساب قدرة تحمل التربة باستخدام أبعاد القاعدة، وفيما يلي معادلة لتحديد قدرة تحمل التربة:

$$Q_u = K_C \cdot N_C C \cdot C + K_D \cdot Nq \cdot \gamma_1 \cdot d_f + K_B \cdot N_\gamma \cdot \gamma_2 \cdot B/2$$

حيث أن:

Q_u = سعة تحمل الضغط القصوى على سطح طبقة التربة.

γ_1 = وحدة الوزن للتربة أعلى منسوب الأساس.

γ_2 = وحدة الوزن للتربة أسفل منسوب الأساس.

$B/2$ = نصف عرض القاعدة.

d_f = عمق التأسيس.

NC ، Nq ، Nγ : تمثل عوامل قدرة التحميل التي تعتمد فيمها على قيمة زاوية الاحتكاك (φ) كما بالجدول رقم (2).

KC ، KD ، KB : تمثل عوامل الشكل وتعتمد فيمها على شكل القاعدة كما بالجدول رقم (1).

جدول (1) معاملات شكل القاعدة

نوع القاعدة	KD ، KC	KB
شريطية	1.0	1.0
مستطيلة	1+0.3 B/L	1+0.4 B/L
مربعة أو دائرية	1.3	0.6

حيث، B = عرض القاعدة

L = طول القاعدة

جدول (2) معاملات قدرة تحمل التربة

45	40	35	32.5	30	27.5	25	20	15	10	5	0	φ
134	75.3	46.1	37	30.1	24.9	20.7	14.8	11	8.3	6.5	5.14	Nc
135	64.2	33.3	24.6	18.4	13.9	10.7	6.4	3.9	2.5	1.6	1	Nq
241	95.4	40.8	27.2	18	12.2	8.2	3.6	1.4	0.4	0.2	0	Nγ

5-5 السلوك العام للأساسات السطحية

General Behaviour of Shallow Foundations

عبارة الأساسات السطحية تشير إلى أن المنشآت يتم تدعيمها بالتربة الواقعة أسفلها مباشرة، أي أن أحمال هذه المنشآت يتم توزيعها على طبقات التربة السطحية من خلال الأساسات. عادةً ما تكون القواعد المنفصلة المستطيلة مألوفة والأكثر شيوعاً في حالة الأعمدة، بينما تستخدم القواعد الشريطية لتدعيم الحوائط، وكذلك تستخدم الأساسات الحصيرية أحياناً.

ويتوجب على المُصممين بأن لا يزيد مقدار الهبوط غير المنتظم للقاعدة عن القيم القصوى المسموح بها، كذلك يجب تأمين استقرار تربة القاعدة، وبالتالي فإن الهدف الرئيسي من تصميم الأساسات، هو اختيار نوعها وأبعادها الأساسية إلى جانب تحديد عمق التأسيس، وذلك لتأمين البناء المستديم الجيد للإنشاء مع ضرورة أن يكون التصميم اقتصادياً.

تصميم الأساسات عادةً ما يكون بطريقة المحاولة والخطاء، وبعد ما يتم اختيار نوع الأساس وأبعاده بالمحاولة، يتم بعدها مباشرة التحليل الحسابي للتحقق من كفاية

الأساس المقترح، فالأساس يمكن أن يكون كاف ومناسب، كذلك فإنه يتم التأكد ما إذا كان الأساس الأرخص مناسب وآمن، أما في حالة ما يكون الأساس المقترح غير مناسب أو غير كاف، فإنه يؤخذ بالأساس الأكبر.

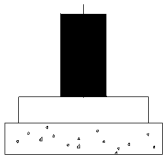
في بعض الحالات يمكن أن يكون من المستحيل تصميم أساس سطحي مناسب على التربة المعطاة، لذلك فأنه يتم اللجوء لتنفيذ الأساسات العميقة أو أجراء تحسين لتربة الموقع المخصص للبناء، إن اختيار الأساس وكذلك الأبعاد بالمحاولة غالباً ما يوجه بجداول الإجهادات المسموح بها.

6-5 أنـواع الأساسـات السطحـية Types of Shallow Foundations

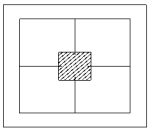
تشمل الأساسات السطحية أنواع متعددة، يتم تحديد نوعيتها المصممون للمنشأ، اعتماداً على نتائج دراسات التربة لموقع الإنشاء وكذلك أحمال المنشأ المُراد تشييده، وتضم الأساسات السطحية أنواع عديدة.

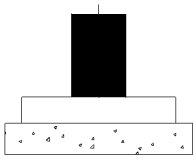
1-6-5 القواعد المنفصلة Isolated Footing

تُعتبر القاعدة المنفصلة تضخيم لقطاع العمود المرتكز عليها، لتناسب الإجهادات المنخفضة للتربة بالمقارنة بإجهاد مادة العمود سواء كان من الخرسانة أم من المعدن كما تم توضيحه بالشكل (18)، وقد تكون القواعد المنفصلة مربعة أو دائرية أو مستطيلة الشكل في المسقط الأفقي كما بالشكل (20)، وعادةً ما تكون القواعد المستطيلة الأكثر استخداماً.

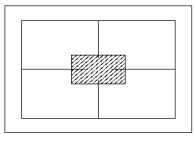


قاعدة مربعة





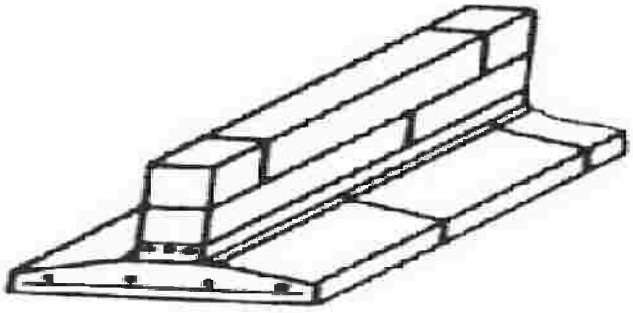
قاعدة مستطيلة



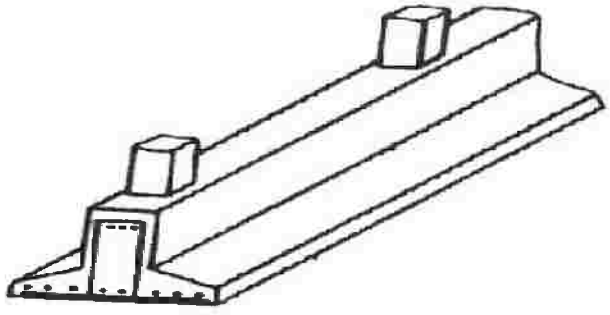
الشكل (20) الأساسات المنفصلة

5-6-2 الأساسات الشريطية Strip Foundations

تستخدم كأساس للحوائط بكافة أنواعها وللأعمدة الخرسانية والمعدنية المتقاربة الواقعة في صف واحد كما بالشكل (21).



أ – أساس شريطي تحت الحائط



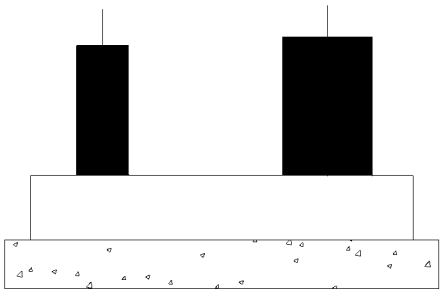
ب – أساس شريطي تحت الأعمدة

الشكل (21) الأساسات الشريطية

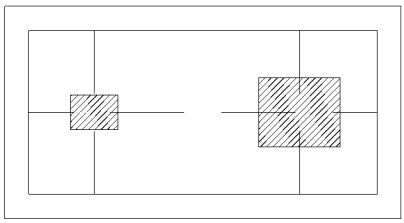
مهمة الأساسات الشريطية نقل وتوزيع حمل الحوائط أو الأعمدة إلى التربة بحيث لا تزيد الأحمال المنقولة إلى منسوب التأسيس على قدرة تحمل التربة المسموح بها عند هذا المنسوب.

3-6-5 القواعد المشتركة Combined Footing

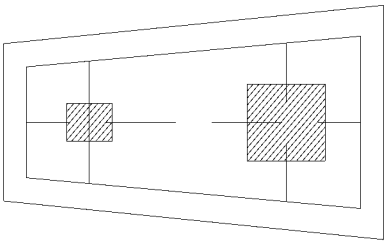
وهي القواعد التي تحمل عمودين أو أكثر في صف واحد، تنفذ لعدة أغراض، منها التغلب على اللامركزية الناجمة عن وجود أعمدة خارجية ملاصقة لخط الجار، وذلك باختيار أقرب الأعمدة الداخلية على خط واحد مع عمود الجار وعمل قاعدة مركبة للعمودين، وكذلك في حالة تداخل قواعد الأعمدة المتقاربة مع بعضها البعض، وتأخذ القواعد المشتركة أشكالاً عديدة والأكثر شيوعاً القواعد المستطيلة والشبه منحرفة كما بالشكل (22).



قطاع رأسي



قاعدة مستطيلة



قاعدة شبه منحرفة

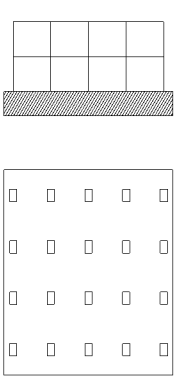
الشكل (22) الأساسات المركبة

4-6-5 الأساسات الحصيرية Raft Foundations

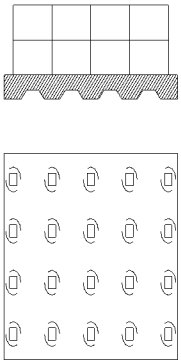
تُعتبر الأساسات الحصيرية أسقف خرسانية مقلوبة ترتكز عليها العديد من الأعمدة للمنشآت المنفذة عليها، ويرتكز الأساس الحصيرة على التربة أو على الصخر، وترتكز الحصيرة في بعض الأحيان على الأوتاد لنقل الأحمال المسلطة عليها بالاحتكاك خلال طبقات التربة.

يستخدم هذا النوع من الأساسات لأغراض عديدة بسبب قلة تحمل التربة في الموقع المُراد التأسيس عليه ولمساواة الهبوط الغير متساوي في حالة استخدام الأساسات السطحية الأخرى، وهو أساس مستمر لمساحة المنشأ بأكمله أو لجزء منه، حيث تنتقل إليه أحمال الأعمدة والحوائط لتوزيعها على التربة.

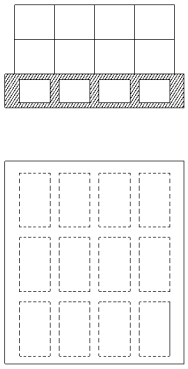
ويستخدم الأساس الحصيرة في حالة التربة المتباينة الخواص مثل احتوائها على جيوب لينة وأخرى صلبة أو في حالة احتواء موقع التأسيس على مناطق صخرية مفتتة وأخرى متماسكة صلبة، وكذلك تستخدم الأساسات الحصيرية في حالة وجود تكهفات وفجوات والمناطق شديدة الضعف، كما أنه يتوجب استخدامها لمنشآت ذات حساسية عالية للهبوط، في حين أن التكوين الهندسي لبعض المنشآت يحتاج لأساس الحصيرة مثل المداخن وصوامع الغلال والخزانات الأرضية والآلات الكبيرة وصوامع الأسمنت والمآذن وكذلك للمنشآت ذات البدرومات الواقعة أسفل منسوب المياه الجوفية لمنع تسرب المياه الجوفية إلى داخله، ويشتمل الأساس الحصيرة على أنواع عديدة كما بالشكل (23).



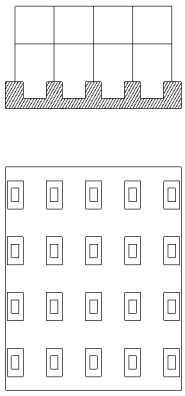
أ- حصيرة مسطحة



ب- حصيرة ذات ثخانة تحت الأعمدة



د- جدران سرداب كجزء من الحصيرة



ج- حصيرة مسطحة ذات كمرات

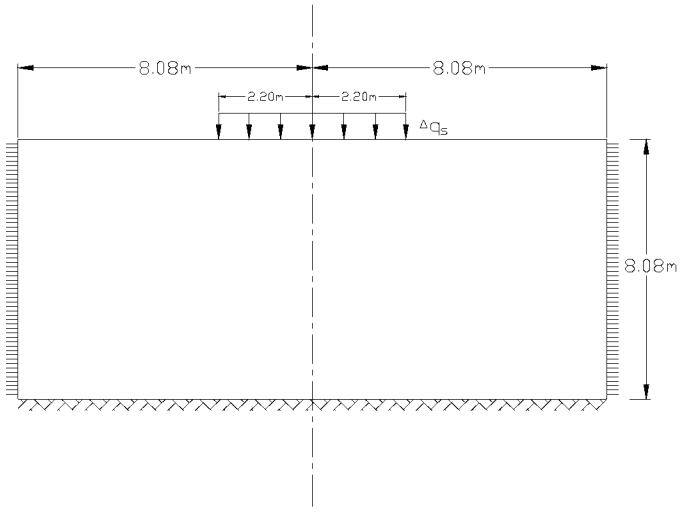
الشكل (23) أنواع الحصيرة

7-5 سلوك الأساس على المواد المرنة اللدنة

Behaviour of Foundation on Elastoplastic Material

للمساعدة في فهم السلوك العام للأساسات السطحية، نأخذ الحالة المبينة بالشكل (24) حيث أن زيادة الإجهاد Δqs تم تطبيقها على سطح مثالي وأنه تم افتراض أن هذه المادة مرنة حتى وصول الإجهاد الأقصى للقص للقيمة c، عند الوصول لهذه القيمة فإن التشوه يمكن أن يحدث عند إجهاد القص الثابت.

هذه المادة أُعتبرت على أنها مرنة بشكل مثالي بالنظر للتغير في الحجم، وبما أنه تم زيادة قيمة Δqs فإن كل الجسم يسلك أولاً السلوك المرن، وكذلك فإن الإجهاد والهبوط يمكن توقعهما باستخدام نظرية المرونة.

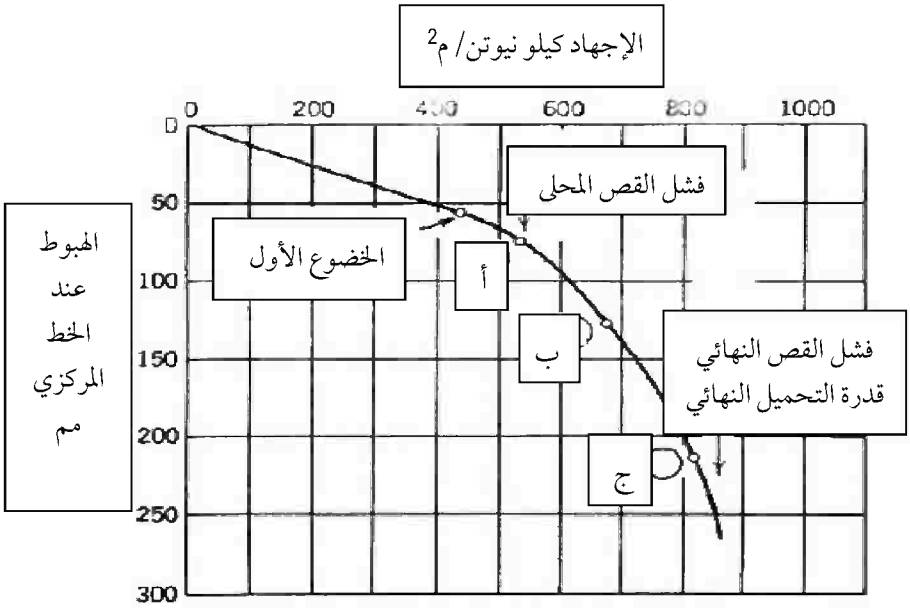


الشكل (24) حمل شريطي متعادل على مادة افتراضية مرنة لدنة

وكلما كانت قيم $c > \tau \max$ عند كل النقاط، فإن الهبوط يتناسب مع Δqs، لأي قيمة من Δqs فإن أكبر قيمة من $\tau \max$ تحدث على طول المحور المركزي للقاعدة عند عمق تقريباً يساوي واحد ونصف عرض المسافة المسلط عليها الحمل، وعندما تُصبح قيمة $\Delta qs = 432.8$ كيلو نيوتن/ م2، تكون $c = \tau \max$ وهي ما يُعرف بالنقطة الحرجة.

لذلك فإنه لا شيء يحدث عند هذه المرحلة لأن هذه النقطة وهي نقطة الخضوع محاطة بالكامل بمادة يمكن أن تنقل إجهاد أضافي، أي زيادة في قيمة Δqs، بعد ذلك تسبب التدفق اللدن لنقطة الخضوع والتشوه اللدن الإضافي للنقاط المحيطة، وبالتالي فإن النقاط المجاورةً تخضع تدريجياً، بينما تنمو المنطقة اللدنة.

الشكل (25) يوضح منحنى الوزن مع الهبوط ونمو المنطقة اللدنة بعد نقطة الخضوع بقليل، حيث يبدأ المنحنى مباشرة في الانحدار (النقطة A) وتُعرف هذه الحالة بانهيار القص المحلي (local shear failure) ويزداد انحدار المنحنى تدريجياً بانتشار المنطقة اللدنة ما بعد المنطقة المُحملة (النقطة **C**)، عندما يحدث هذا، فإن الهبوط يزداد بسرعة حتى تصل في النهاية إلى النقطة التي من غير الممكن زيادة قيمة Δqs بدون زيادة كبيرة في الهبوط، وهذا يحدث عندما تكون قيمة $\Delta qs = 862$ كيلو نيوتن/ م2، وعند هذه المرحلة تسمى الحالة بانهيار القص العام (general shear failure) حيث أن قيمة Δqs في هذه الحالة تسمى بقدرة التحميل النهائي.

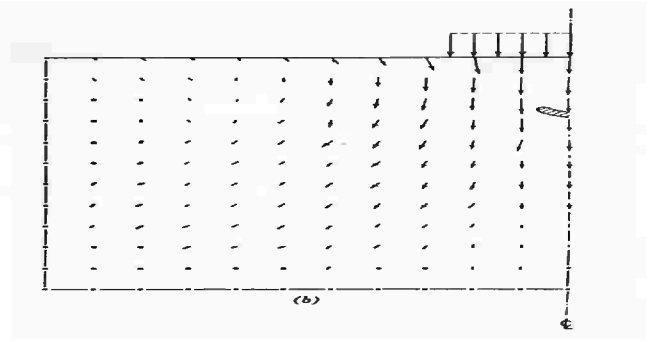


الشكل (25) منحنى الوزن مع الهبوط

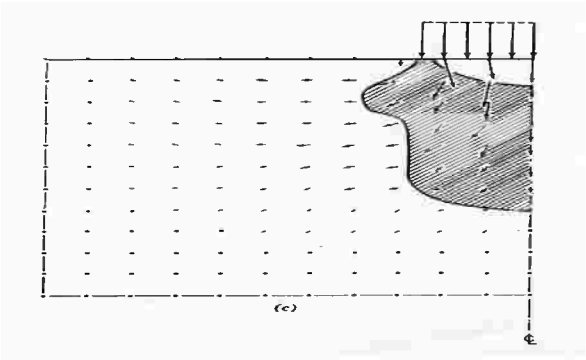
في الشكل (26) نلاحظ الأسهم التي تبين الاتجاه والمقدار النسبي لحركة حبيبات التربة المختلفة أثناء زيادة بسيطة للحمل، وعند تحميل الجزء المرن فإن حبيبات التربة على السطح خارج المنطقة المُحملة تتحرك إلى الأسفل ونحو الحمل.

على أية حال عندما يحدث الخضوع فإن هذه الحبيبات تبدأ في التحرك إلى الأعلى وإلى الخارج، وشكل الحمل النهائي يوضح سريان حبيبات التربة من أسفل الحمل إلى الجوانب وإلى الأعلى، وكما هو متوقع فإن هذه الحركة تكون الأكبر قي المنطقة التي تم خضوعها.

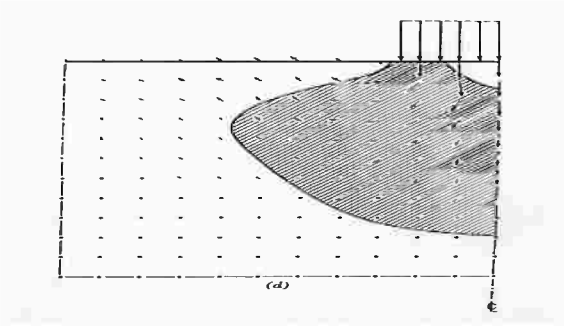
الشكل (26 – ج) يوضح نمط حركة حبيبات التربة وكيف أن التربة تم دفعها وأزاحتها من تحت القاعدة إلى الخارج مما يؤدي إلى ارتفاع سطح التربة المحيطة بالقاعدة.



أ- الإزاحة ونقطة الخضوع الأولى عند الحمل 432.8 كيلو نيوتن/ م2



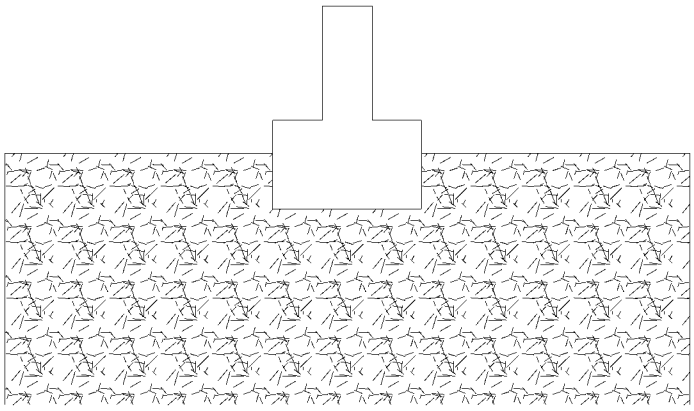
ب- مدى منطقة الخضوع وحقل الحركة عند الحمل 670.3 كيلو نيوتن/ م2



ج- مدى منطقة الخضوع وحقل الحركة عند الحمل 814.0 كيلو نيوتن/ م2

الشكل (26) مناطق الخضوع عند الحمل

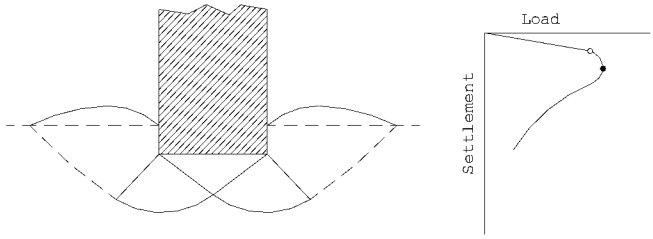
الشكل (27) يبين نمط الحركة عند الانهيار خلال كومة قضبان صلبة حملت بواسطة الصدمة، الصورة الموضحة بالشكل تزودنا بقاعدة لفهم تطور الهبوط بالتربة الحبيبية، لاحظ كيفية اندفاع حبيبات التربة إلى الخارج من أسفل القواعد لتتسبب في ارتفاع التربة المجاورة للقاعدة، نمط الحركة هنا مشابه تماماً لما تم حسابه للمادة الافتراضية كما بالشكل (26 - ج).



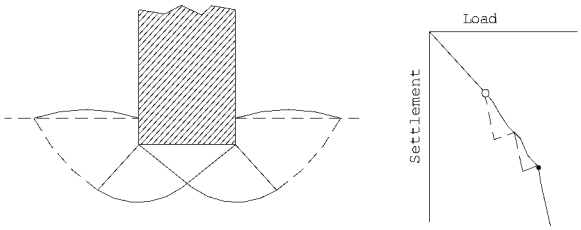
الشكل (27) مناطق الانهيار تحت القاعدة

الشكل (28) يبين منحنيات الوزن مع الهبوط الناجمة عن اختبارات التحميل للصحن الدائري الذي يتراوح قطره ما بين (50 – 200) مم الموضوع على تربة رملية جافة.

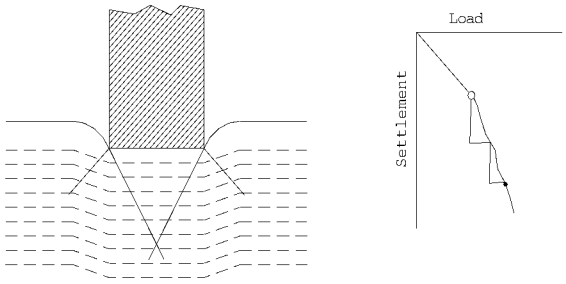
الشكل (28- ب) يمثل المنحنى للتربة الرملية متوسطة الكثافة وهو مشابه جداً لما هو موضح بالشكل (26)، ونلاحظ بهذا المنحنى أنه هناك نقطة انكسار مُعرفة جيداً مطابقة لانهيار القص المحلي (local shear failure)، وبعد هذه النقطة فإن المنحنى يُصبح أكثر انحداراً إلى حين حدوث انهيار القص العام (general shear failure)، ومنحنى الوزن مع الهبوط الفعلي يبين زيادة تدريجية في المقاومة حتى بعد انهيار القص العام.



أ- تربة رملية كثيفة



ب- تربة رملية متوسطة الكثافة



ج- تربة رملية مخلخلة جداً

الشكل (28) منحنيات الوزن مع الهبوط ومناطق القص

أثناء اختبار نموذجي على التربة رملية

كما نلاحظ أنه كلما يزداد اختراق القاعدة فإن التربة فوق قاعدة الأساس تؤثر كقوة إضافية مضادة لحركة حبيبات التربة المتجهة للأعلى، وبالتالي فإنها تعمل على زيادة مقاومة القص للتربة.

بالنسبة للتربة الرملية المخلخلة جداً أو ضعيفة الكثافة كما بالشكل (28- ج) فإن مناطق القص بجوانب القاعدة غير مُعرفة إطلاقا، وحتى في حالة ما إذا حدث أي ارتفاع لسطح التربة فإنه يكون قليل جداً، وهذا السلوك يسمى بانهيار التخريم (punching failure).

كما بالشكل (28- أ) فإن السلوك يكون مختلفاً عندما يرتكز الأساس على التربة الرملية الكثيفة جداً، فالحمل بتسبب في انهيار قص عام، وهو أكبر بطفيف من الحمل المسبب لانهيار الفص المحلي، وفي هذه الحالة فإن أسطح الانهيار المُعرفة تتطور بحدة عالية.

بانهيار القص العام فإن المقاومة تقل بسبب فقدان مقاومة الترابط للرمل الكثيف عند أعلى نقطة لمنحنى الإجهاد مع الانفعال.

وبالرغم أنه لم يتم توضيحه فإن المقاومة ستزداد في النهاية مرة أخرى بسبب تأثير القوة الإضافية بجوانب الأساس، حيث يحدث هذا التطور عند اختراق الأساس إلى عمق كبير.