



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية
قسم هندسة البناء والأنشاءات
فرع الهندسة الإنشائية

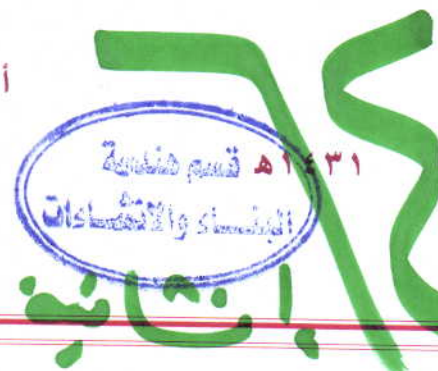
تحليل وتصميم قبعات الركائز

Analysis and Design of Pile Caps

مشروع بحث مقدم الى
الجامعة التكنولوجية قسم هندسة البناء والأنشاءات فرع الهندسة الإنشائية
كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم هندسة البناء والأنشاءات

من قبل
سيف سامي عبد
باشراف
أ. م. د. أياد كاظم صيهود

٢٠١٠م



جدول المحتويات

الصفحة	الموضوع	الفقرة
	الفصل الأول أنواع الركائز	
٢	المقدمة	١ - ١
٣	أنواع الركائز	٢ - ١
١٠	أنواع الركائز المستعملة في العراق	٣ - ١
	الفصل الثاني قبعات الركائز	
١٣	المقدمة	١ - ٢
١٥	توزيع أحمال الأعمدة على قبة الركائز	٢ - ٢
	الفصل الثالث طرق التحليل والتصميم	
٢٠	تصميم قبعات الركائز	١ - ٣
٢٢	التصميم بالمعايير الأمريكية	١-١-٣
٢٣	التصميم بطريقة التحزيم	٢-١-٣
٢٧	التصميم بطريقة العتبة الجاسئة	٣-١-٣
	الفصل الرابع أمثلة تصميمية	
٣٢	المثال الأول	
٣٧	المثال الثاني	
٤٤	المثال الثالث	
٤٧	المثال الرابع	
٥١	الجدول (١) الخاص بقيم (w)	
٥٢	المراجع	

جدول الأشكال

رقم الصفحة	الشكل
٤	الشكل (١ - ١) الطول الأكبر الدارج والحمل الأكبر المقرر لركائز مختلفة
٥	الشكل (١ - ٢) المقاطع العرضية و أشكال النهايات والقاعدة لركائز مختلفة
٨	الشكل (١ - ٣) ركائز خرسانية مسلحة
٩	الشكل (١ - ٤) بعض أنواع ركائز الصب الموقعي
١٤	الشكل (٢ - ١) الأبعاد الأساسية لقبعة الركائز
١٤	الشكل (٢ - ٢) قبعة ركيزة صلبة تسندها ١٥ ركيزة
١٦	الشكل (٢ - ٣) أ حمل رأسي منحرف عن مركز ثقل المجموعة
١٦	الشكل (٢ - ٣) ب ردود أفعال الركائز في قبعة معرضة لحمل منحرف عن المركز
١٧	الشكل (٢ - ٣) ج ردود أفعال الركائز في قبعة معرضة لحمل منحرف عن المركز
١٨	الشكل (٢ - ٤) ترتيب الركائز في مجاميع
٢٠	الشكل (٣ - ١) طريقة المقاييس الأمريكية لتصميم قبعة الركائز
٢١	الشكل (٣ - ٢) تحليل القبعة كعتبة عميقة
٢٢	الشكل (٣ - ٣) طريقة المقاييس الأمريكية
٢٣	الشكل (٣ - ٤) توزيع الركائز في القبعات بطريقة التحزيم
٢٤	الشكل (٣ - ٥) الجمالون المشكل داخل القبعة
٢٥	الشكل (٣ - ٦) التحليل بطريقة التحزيم
٢٧	الشكل (٣ - ٧) قوة شد التحزيم
٢٨	الشكل (٣ - ٨) التحليل بطريقة العتبة الجاسنة لأربع ركائز
٢٩	الشكل (٣ - ٩) التحليل بطريقة العتبة الجاسنة لست أو تسع ركائز
٣٠	الشكل (٣ - ١٠) تسليح القبعة بطريقة العتبة الجاسنة
٣٦	الشكل (٤ - ١) توزيع حديد التسليح للمثال الأول
٤٢	الشكل (٤ - ٢) القطاعات الحرجة للقص والعزوم للمثال الثاني
٤٣	الشكل (٤ - ٣) توزيع حديد التسليح للمثال الثاني
٤٦	الشكل (٤ - ٤) توزيع حديد التسليح للمثال الثالث
٤٨	الشكل (٤ - ٥) التحليل بطريقة العتبة الجاسنة للمثال الرابع
٥٠	الشكل (٤ - ٦) توزيع حديد التسليح للمثال الرابع

الرموز المستخدمة

A_s = مساحة حديد التسليح

a = عرض العمود

b = عرض القبة

b_o = محيط منطقة تنقيب العمود

d = العمق الفعال للقبة

F_c' = مقاومة الانضغاط للخرسانة (فحص الأسطوانة)

F_s = الأجهاد المسموح لحديد التسليح

F_y = إجهاد الخضوع لحديد التسليح

h = إرتفاع القبة

M_x = العزم الكلي حول المحور X

M_y = العزم الكلي حول المحور Y

P_u = الحمل الكلي العمودي على القبة

S = المسافة بين ركائز القبة

T = قوة الشد المتولدة داخل الجملونات

T_s = قوة الشد التي يحسب حديد التسليح

V_c = مقاومة القص للقبة

V_u = قوة القص المسلطة على القبة

α = الزاوية بين قوى الضغط وقوى الشد في الجملونات

β = الزاوية بين الخط المار بمراكز الركائز

Φ = معامل تخفيض المقاومة

ω = معامل يستخدم لاستخراج نسبة حديد التسليح للمقطع

ρ = نسبة حديد التسليح في المقطع

ρ_{min} = أقل نسبة مسموحة لحديد التسليح في المقطع

الفصل الأول

أنواع الركائز

PILES

الفصل الأول أنواع الركائز

١-١ المقدمة:-

تستعمل الركائز لنقل الحمل من المنشآت عبر طبقة إنضغاطية ضعيفة أو عبر الماء الى تربة قوية أو أقل إنضغاطاً أو الى الصخر. ويمكن أن تستعمل لحمل قوى الأبعاد (uplift forces) لأسناد المنشآت العالية المعرضة الى قوى إنقلاب من الرياح أو الأمواج. وتستعمل الركائز في المنشآت البحرية المعرضة للقوى الأفقية الناجمة عن صدمات السفن عند الأرساء ومن الأمواج وكذلك غالباً ما تكون الركائز معرضة الى أحمال شاقولية وأفقية كما هي الحال في الجدران الساندة ودعامات الجسور وغيرها .

إن أهم استعمالات الركائز في الأعمال الإنشائية هي للحالات التالية :-

- ١- عندما تكون التربة ضعيفة لا تقاوم الأحمال الموزعة عليها خلال أنواع الأسس الأخرى .
- ٢- عندما تكون التربة الطينية ذات خاصية الانكماش والانتفاخ الموسمي (seasonal shrinkage and swell) بسبب تغير نسبة رطوبة التربة وحركة المياه الجوفية في طبقاتها.
- ٣- عندما يكون المنشأ فوق سطح الماء كإرساء الموانئ وماخذ المياه مثلاً .
- ٤- عندما لا يمكن حفر الأسس من الأنواع الأخرى عميقاً لوجود أبنية مجاورة ذات أسس قريبة من سطح الأرض بحيث لو تم حفر الأساس الجديد لتعرض البناء المجاور الى التصدع والنزول أو الانهيار . في هذه الحالة تفضل أنواع الركائز ذات الاهتزاز القليل عند الإنشاء .
- ٥- في المناطق التي تكثر فيها الزلازل والهزات الأرضية حيث تكون الركائز أكثر مقاومة من غيرها وتوزع بمجموعات تتصل مع بعضها برباطات تقوية باتجاه واحد أو باتجاهين .
- ٦- عندما يكون مستوى الماء الجوفي مرتفعاً مما يصعب معه الحفر وتنفيذ الأعمال الإنشائية لأنواع الأسس الأخرى .

١-٢ أنواع الركائز:-

عند إنتقاء النوع الملائم من الركيزة على المهندس أن يحسب حساب الارض والحالات الأخرى للموقع الخاص والتكاليف النسبية للأنواع المختلفة من الركائز وطريقة إقامتها في الظروف الخاصة لذلك الموقع . وعند حساب قابلية التحمل لأسس الركائز يكون العامل المهم هو تأثير طريقة إقامة الركيزة على سلوكياتها .

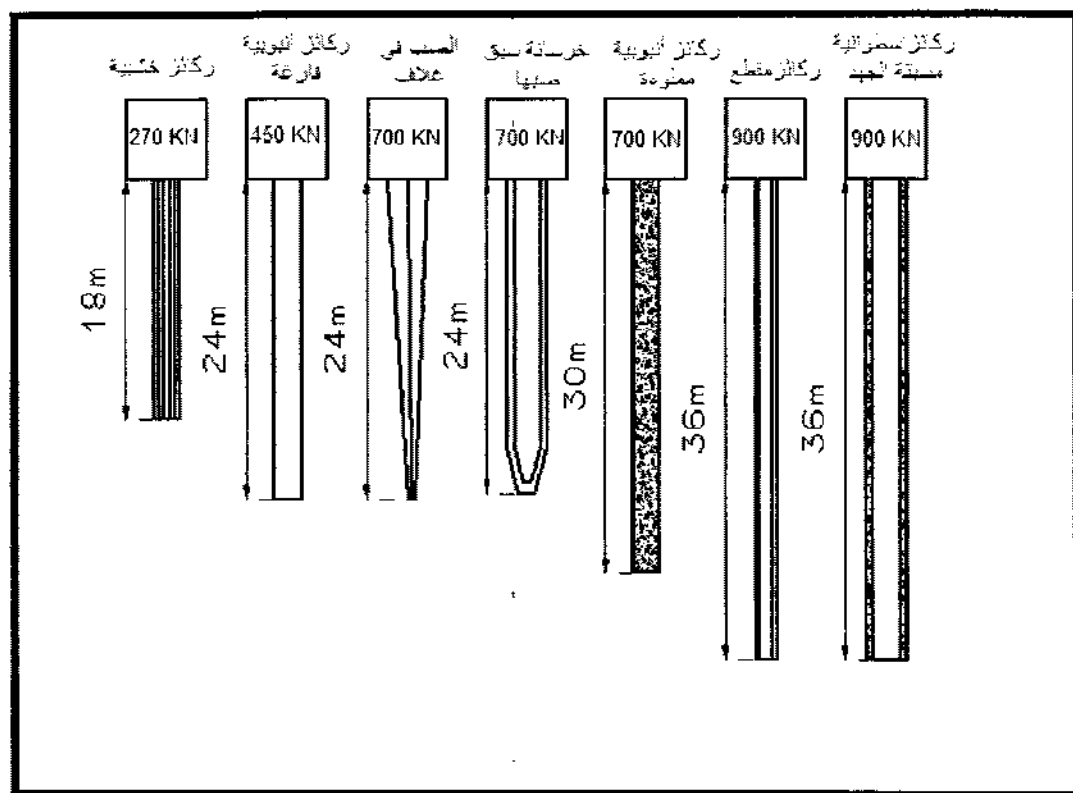
هذا وقد بين كارسن (Carson) 1965 الشكل (١ - ١) القيم لأكبر طول إعتيادي وأكبر حمل مقرر (maximum design load) لأنواع مختلفة من الركائز كما بين كيزدي (Kezdi) 1975 الشكل (١ - ٢) المقاطع العرضية المختلفة وأشكال النهايات والقاعدة .

اولاً- الركائز الخشبية :-

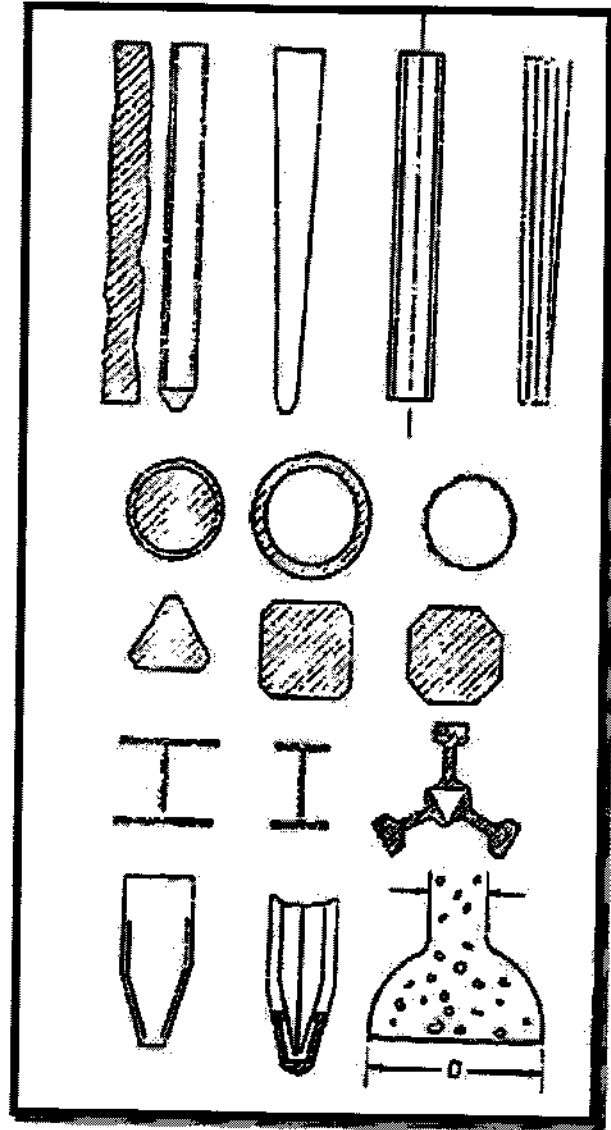
تستعمل الركائز الخشبية عادة في البلدان التي تكون فيها الأخشاب متوفرة و رخيصة .وهي سهلة القطع وسهلة الأطالة الى حد ما اذا تطلب الأمر والمعروف أن الأخشاب تمتلك مقاومة جيدة ضد التلف اذا كانت مغمورة بالماء دائماً . أما اذا كانت فوق منسوب المياه فيجب أن تحمي الركائز بمعالجة الخشب بالكريوزوت بعملية مماثلة اذا كان استعمالها للأعمال الدائمة . ولكن من الأفضل عادة وضعها تحت مستوى الماء أو قطعها واطالتها بالخرسانة .

ثانياً- الركائز الفولاذية :-

ان الركائز الفولاذية (steel piles) يمكن أن تكون من مقطع مبسط (rolled section) أو قطعة من ركيزة لوحية . هذا وأن مقطعين أو أكثر من الركائز اللوحية يمكن أن تربط معاً بشكل صندوقي وتساق كركيزة واحدة وتدعى ركيزة صندوق فولاذية (steel box pile) .



الشكل (١ - ١) الطول الأكبر الدارج والحمل الأكبر المقرر لركنات مختلفة



الشكل (٢ - ١) المقاطع العرضية وأشكال النهايات و القاعدة لركائز مختلفة

هذا وأن الأنواع الرئيسية الثلاثة للركائز الفولاذية المستعملة بإطراد هي :-

- i. الركائز ذات المقطع H .
- ii. الركائز الصندوقية .
- iii. الركائز الأنبوبية .

وللركائز الفولاذية المزايا الآتية :-

- أ- إذا سقيت الى طبقة صلبة فستكون لها قابلية تحمل عالية .
- ب- يمكنها أن تقاوم الدق الصعب من دون حماية . وإذا أعوج رأس الركيزة خلال الدق الصعب فيمكن قطع الجزء المعوج بسهولة والاستمرار بالدق .
- ت- يمكن دقها بازاحة قليلة من التربة اذا تطلب الأمر .
- ث- يمكن إبطالها بسهولة .
- ج- يمكن قطعها بسهولة اذا لم تسق الى العمق المنتقى .
- ح- يمكن نقلها بسهولة من دون تلف .
- خ- لها مقاومة عالية للقوى الجانبية .

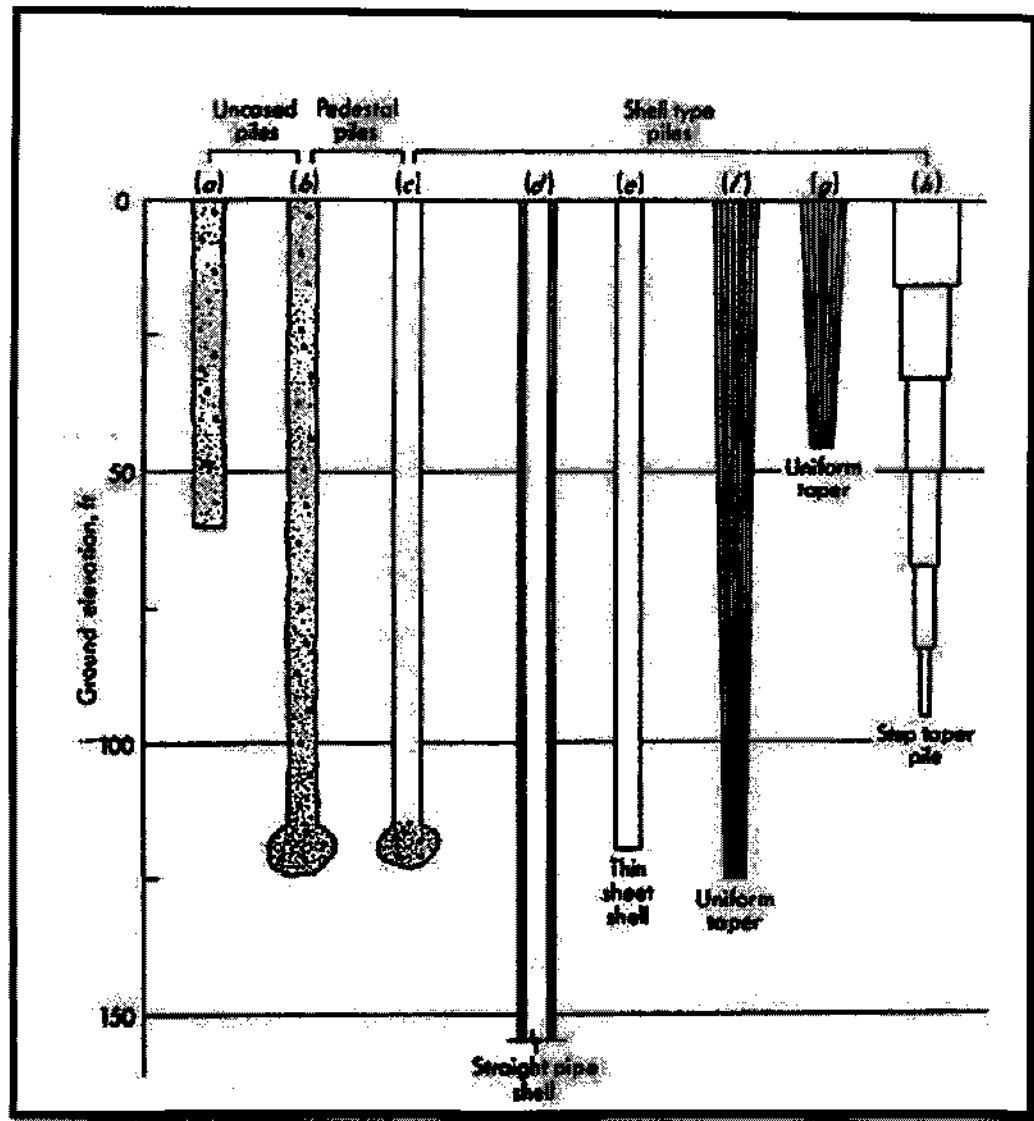
ثالثاً- الركائز الخرسانية :-

تقسم الركائز الخرسانية (concrete piles) الى صنفين أساسيين : الركائز المصبوبة في الموقع (cast in place) والركائز التي سبق صبها (precast piles) ويمكن تقسيم الركائز التي تصب في الموقع الى ركائز مغلقة (cased piles) وركائز غير مغلقة (uncased piles) . وتجدر الإشارة الى أن الركائز الخرسانية المسبقة الصب يمكن أن تسليح إعتيادياً أو يكون تسليحها مسبق الأجهاد . ويكون استعمالها اقتصادياً اذا تطلب المشروع عدداً كبيراً من الركائز ولكنها ليست سهلة القطع أو الأطالة ولأمتلاكها طبيعة مستقصفة (brittle) فانها تكون معرضة الى التلف لحد كبير خلال السوق الصعب وعلى الأخص اذا كان المقطع قد تشقق نتيجة عدم العناية في نقله . وتسليح الخرسانة بالفولاذ طولياً لاحظ الشكل (١ - ٣) لمقاومة إجهادات الانحناء خلال النقل والتشييد . و ان التسليح بالاتجاه العرضي مطلوب قرب الرأس والطرف لمقاومة إجهادات السوق .

أما ركانز الدق والصب في الموقع (driven cast in place piles) فهي تشيد أولاً بسوق غلاف فولاذي مجوف (casing) في الأرض وتملأ الحفرة المكونة على هذا النمط بعدئذ بالخرسانة وفي بعض الأحوال الخاصة يمكن ترك الغلاف في موضعه ليكون جزء من الركيزة النهائية وعادة يسحب الغلاف أثناء صب الخرسانة لإعادة استعماله . ويمكن أن تدك الخرسانة في الوقت الذي يسحب الغلاف فيه لضمان رص متين ضد التربة أو لتشكل قاعدة موسعة للركيزة التي تزيد قابلية التحمل كثيراً في التربة الملازمة لاحظ الشكل (١ - ٤) . ولهذه الركانز بعض الميزات على ركانز الدق وذلك لعدم وجود أخطار تلف الركيزة خلال الدق وعلى كل حال قد يسبب عدم العناية في التشييد تخريراً (necking) في الركيزة ناتجاً عن انتفاخ التربة إلى الداخل وهذا بدوره يزيح الخرسانة في جدار الركيزة أثناء سحب الغلاف فينتج عن ذلك تقليل المقطع العرضي المؤثر للركيزة وتقليل قابلية التحمل بدرجة كبيرة وليس الاستدلال على ذلك سهلاً وسبب التخصر هو أما الأفراط في دك الخرسانة وأما السحب السريع للغلاف .

رابعاً- ركانز الحفر:-

تشيد ركانز الحفر (bored piles) بتهيئة حفرة لجدار الركيزة أولاً بأية طريقة حفر ملائمة ويمكن أن تبطن الحفرة إذا كان من الضروري اسناد الجوانب ويمكن أن يوسع قعر الجدار في الطين القوي ليعطي زيادة كبيرة لقابلية التحمل الطرفي للركيزة . وتكون طريقة التشييد لهذا النوع من الركانز خالية من الاهتزاز وتسمح بمراقبة الحفرة قبل وضع الخرسانة . وعلى كل حال يمكن أن تفكك عملية الحفر التربة عند الجوانب وعند القاعدة . ويمكن للترب الطينية أن ترخي بامتصاصها الماء من الجو أو من المياه الجوفية إذا تركت الحفرة مفتوحة لفترة طويلة أو امتصاص الماء من الخرسانة الزائدة الرطوبة وهذا يؤدي إلى تقليل قابلية تحمل الركيزة . وتجدر الإشارة إلى أن التخصر يمكن أن يحدث أيضاً إذا سحب الغلاف بسرعة ، وفي معظم الأحيان لا تدعو الحاجة استعمال الغلاف وإنما تملأ الحفرة بالطين السائل (bentonite) لأسناد جوانبها وتصب الخرسانة بعد وضع التسليح بواسطة القادوسة ابتداءً من أسفل الحفرة .



الشكل (١ - ٤) بعض أنواع ركائز الصب الموقعي

٣-١ أنواع الركائز المستعملة في العراق :-

تستعمل الركائز الأتية في العراق :-

أ- الركائز المسبقة الصب (Precast Piles) :-

وهي ذات مقاطع مربعة أو دائرية وتستعمل عندما لا تكون طبقات التربة العليا قوية جداً ويعكسه تتعرض الركائز الى الدق الشديد الذي قد يؤدي الى تحطمها أو حدوث بعض الأضرار فيها كالتشققات أو الانكسار أو الأزاحة الجانبية عن الموقع المراد دقها فيه ومثل هذه الأضرار خطيرة جداً لعدم إمكان رؤيتها وصعوبة التأكد من سلامة الركيزة بعد دقها . وفي حالات الدق الشديد يمكن اللجوء الى طريقة الحفر الجزئي وذلك بعمل حفرة أقل من قطر الركيزة أو أبعادها الى عمق جزئي فقط وثم تساق الركيزة داخل هذه الحفرة الى العمق المطلوب . إن استعمال أسلوب الحفر الجزئي سيقفل من مخاطر الدق الشديد على الركيزة ولكن في نفس الوقت يقلل من قابلية تحمل الركيزة نتيجة تأثير الحفر على مقاومة الاحتكاك السطحي بين الركيزة والتربة .

ب- ركائز الدق والصب الموقعي (Driven and Cast in situ piles) :-

تسمى هذه الركائز تجارياً بركائز الفايبرو (Vibro Piles) وتنشأ هذه الركائز بسوق أنبوب خاص ذي جدران سميكة ونهاية مغلقة بصفيحة حديدية سميكة تسمى الحذاء وعند الوصول الى العمق المطلوب تفصل الصفيحة عن الأنبوب وتبقى في الأرض مكونة قاعدة الركيزة الخرسانية . ينزل حديد التسليح داخل الأنبوب ويبدأ بصب الخرسانة في الوقت الذي يسحب فيه الأنبوب ببطء الى الأعلى ثم ينزل قليلاً الى الأسفل وذلك لرص الخرسانة وجعلها تملأ الحفرة التي يخلفها الأنبوب أثناء سحبه الى الأعلى . إن عملية سحب الأنبوب الى الأعلى وانزالها قليلاً الى الأسفل بصورة متعاقبة تحتاج الى خبرة جيدة وإلا قد تكون الركيزة غير جيدة وتحتوي على فراغات أو تضيقات في قطر الركيزة . وتتراوح أقطار هذا النوع من الركائز بين 350 mm و 500 mm ويمكن دقها بأطوال تصل الى 22 m وباستعمال أجهزة دق خاصة يمكن دق الركائز بأطوال تصل الى 34 m .

ت- ركانز الحفر (Bored Piles) :-

لقد زاد استعمال هذا النوع من الركانز بشكل كبير حيث تستعمل لتحمل أثقال عالية في الأبنية والجسور أو عندما تكون في الموقع منشآت قريبة تتأثر بالدق وتتراوح أقطارها بين 500 mm و 2000 mm. فمثلاً في بناية دار الحرية قرب جسر الصرافية استعملت ركانز حفر بأقطار 700 mm الى 1200 mm وبأطوال تتراوح بين 26 m و 40 m وكان الحمل المسموح به لهذه الركانز يتراوح بين 1750 kN و 1500 kN و استعمل البنتونايت في هذا المشروع لأسناد جوانب الحفر . وفي مشروع إسكان أم العظام استعملت ركانز حفر بقطر 710 mm وبطول 19 m وذات قابلية تحمل مسموح بها مقدارها 1300 kN وقد نفذت ركانز الحفر هذه بأسلوب خاص كما يلي :

تم سوق أنبوب (casing) مفتوح النهاية بواسطة الاهتزاز (Vibration) الى العمق المطلوب ثم نظفت التربة داخل الأنبوب بواسطة الحفر والماء المضغوط ، وللتغلب على المياه الجوفية ذات الضغط العالي نسبياً تم وضع خبطة جافة من الخرسانة في قاعدة الركيزة ودقها جيداً لتعمل كمانع لتسرب المياه الجوفية داخل الأنبوب ثم وضع حديد التسليح وصبت الخرسانة ورفع الأنبوب تدريجياً وبصورة بطيئة أثناء صب الخرسانة . وفي كثير من الجسور الحديثة التي أنشئت في الأونة الأخيرة استعملت ركانز حفر بقطر 1500 mm أو 1800 mm .

الفصل الثاني

قبعات الركائز

PILE CAPS

الفصل الثاني قبعات الركائز

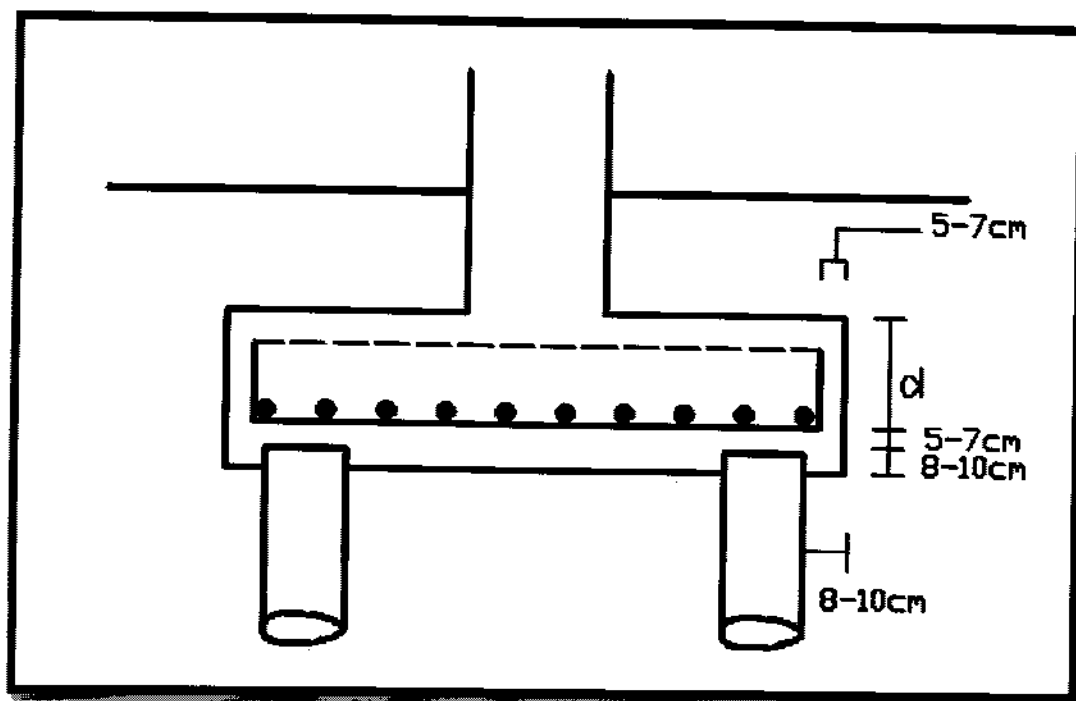
١-٢ المقدمة:-

تعتبر قبعات الركائز قاعدة لتوزيع حمل العمود الى كل ركائز المجموعة مع إهمال الحمل الذي قد ينتقل الى التربة أسفل القبة . وتنفذ قبعات الركائز من الخرسانة المسلحة وترتكز على التربة (إلا في حالة الترب القابلة للأنفخاخ) . ولضمان نقل الأحمال من العمود الى الركائز يجب أن يمتد تسليح الركائز داخل القبة لمسافة لا تقل عن ٦٠ سم لضمان نقل هذه الأحمال بالتماسك بين حديد التسليح والخرسانة . وتصمم القبعات الجاسنة (القوية Rigid) على اعتبار أن الركائز تحمل أحمالاً متساوية من حمل العمود المحوري ويجب إختيار عمق القبة مناسباً ليحقق ذلك .

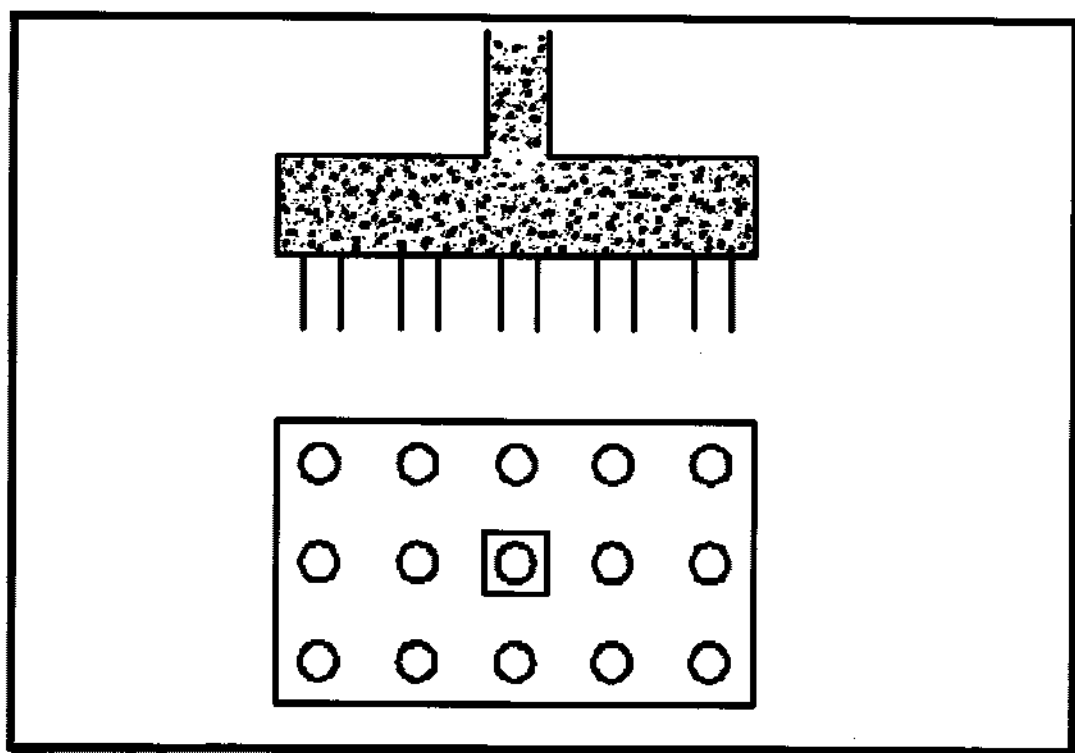
ويجب أن يخترق جسم الركيزة القبة بمسافة لا تقل عن ٨ - ١٠ سم ويعطى حديد تسليح القبة بمسافة لا تقل عن ٥ - ٧,٥ سم وألا تقل المسافة من جانب القبة وحافة الركيزة عن ١٠ سم كما يجب ألا يقل الغطاء الخرساني في أي جانب عن ٥ سم و يفضل ٧ سم لاحظ شكل (٢ - ١) .

والقبعات تعتبر نوعاً من القواعد حيث يؤثر عليها من الأعلى حمل العمود و تعطي الركائز رد فعل مركز في محورها عند نقطة إتصال الركائز بالقبة . ويهمل تأثير التربة بين الركائز على القبة حيث أن التربة تكون غير ملائمة تلامساً صلباً أو مرناً يسمح بتحمل أي جزء من حمل العمود بالإضافة الى صلابة الركائز بجوارها والتي تتحمل حمل العمود ، ونظراً لأن حمل العمود غالباً ما يكون أكبر من قدرة تحمل الركيزة الواحدة فإن العمود الواحد يحتاج لعدة ركائز أسفله مما يستلزم تنفيذ قبة تضم الركائز تحت العمود وتعمل على توزيع حمل العمود على الركائز ، ويجب عند تصميم القبة مراعاة أن تكون أحمال الركائز متساوية وذلك يتحقق بتطابق مركز ثقل الركائز مع محصلة الأحمال .

القبعات العميقة للركائز مرغوبة في تأمين الصلابة الضرورية لتوزيع الحمل الثقيل والمركز للعمود على جزء الركيزة وذلك يتطلب إنشاء عدد كبير من الركائز لكي يدعم الحمل الثقيل للعمود و تصمم القبة كلوح صلب لتتحمل الحمل المركز وكما موضح في شكل (٢ - ٢) .



الشكل (٢ - ١) الأبعاد الأساسية لقبة الركائز



الشكل (٢ - ٢) قبة ركيزة صلبة تسندها ١٥ ركيزة

٢-٢ توزيع أحمال الأعمدة على قبعة الركائز :-

القبعات هي العنصر الإنشائي الرابط بين الأعمدة والركائز وهي التي تقوم بنقل وتوزيع أحمال الأعمدة على الركائز في المجموعة ، وفي حالة تطابق محصلة القوى المنقولة من الأعمدة الى الركائز مع مركز ثقل مجموعة الركائز فإن الحمل ينقل بالتساوي الى الركائز وتكون قيمة هذا الحمل مساوية للمحصلة مقسومة على عدد الركائز في المجموعة . و إذا كان حمل العمود منحرفاً عن مركز ثقل مجموعة الركائز أو مصحوباً بعزم فإن الركائز سوف تشارك في مقاومة الأحمال بقيم غير متساوية تتناسب مع بعد الركيزة عن محصلة الأحمال . و حينما تكون مجموعة الركائز معرضة لحمل رأسي V منحرف عن مركز ثقل المجموعة شكل { ٢ - ٣ (أ - ب - ج) } فإن رد فعل الركيزة (الحمل الواصل اليه) R يحسب من :-

$$R = \frac{V}{n} \pm \frac{My.x}{\sum x^2} \pm \frac{Mx.y}{\sum y^2}$$

Where R = total reaction at the pile head .

V = total vertical load acting on the pile cap .

n = number of piles in the group .

Mx = total moment about x-axis = $V.e_y$.

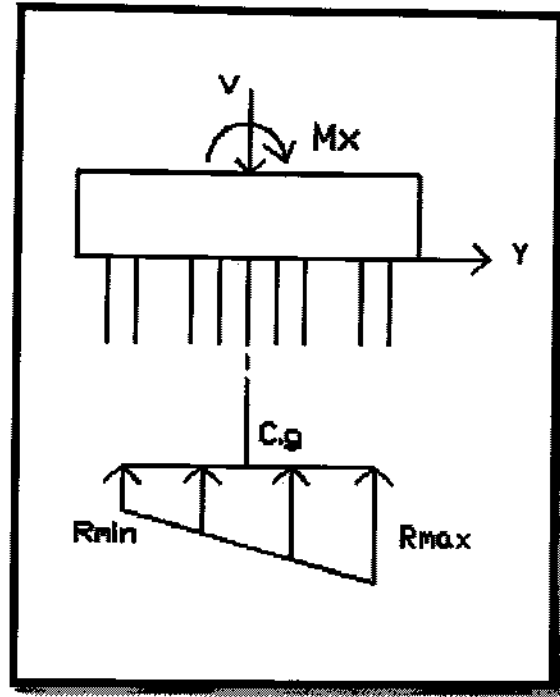
MY = total moment about y-axis = $V.e_x$.

x = distance of the pile from the y-axis .

y = distance of the pile from the x-axis .

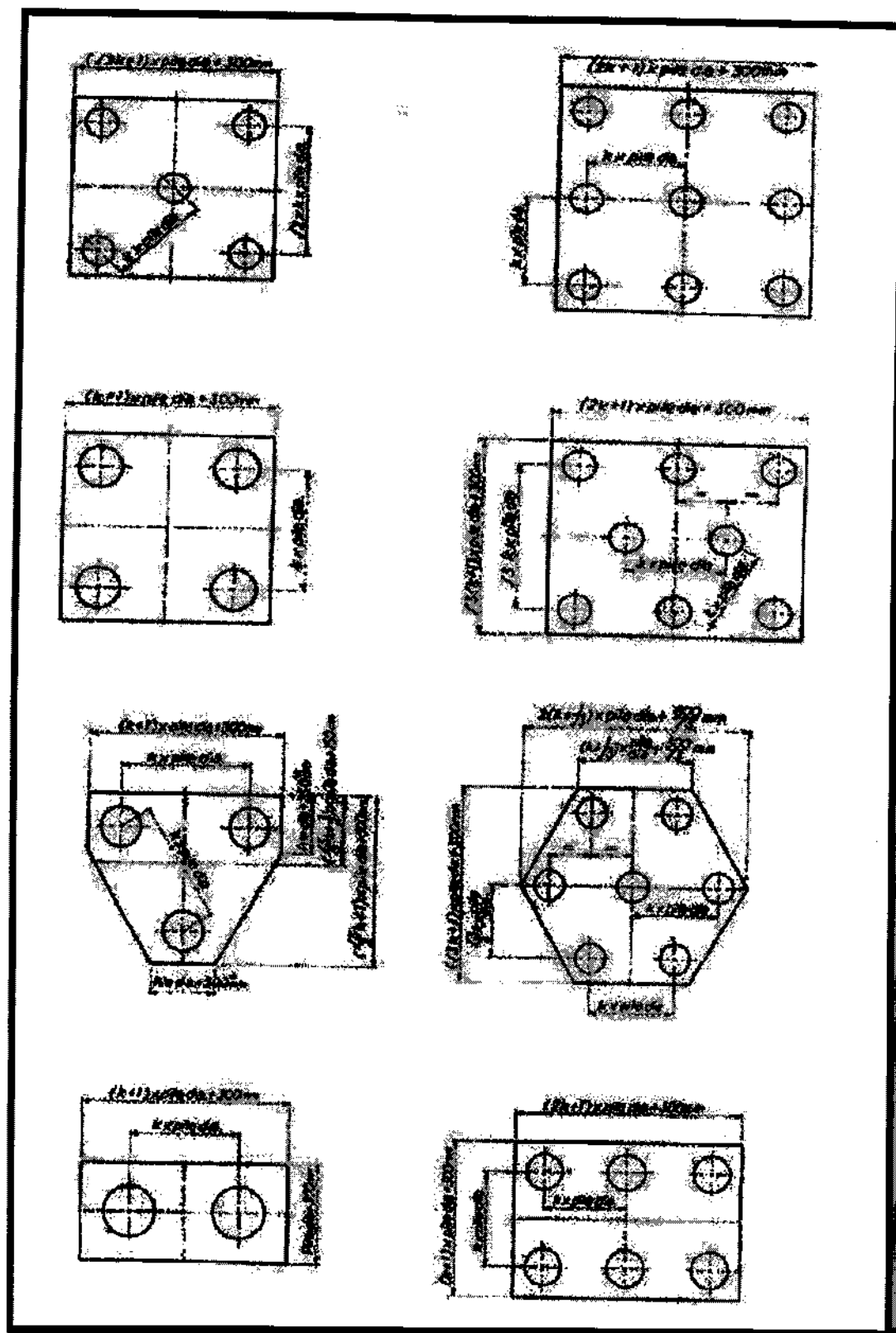
$\sum x^2$ = sum of the square distance of all piles from y-axis.

$\sum y^2$ = sum of the squar distance of all piles from x-axis.



الشكل (٢ - ٣) ج

و يجب إختيار المسافات البينية بين الركائز لتعطي أقل حجم ممكن تنفيذه عملياً للقبة وبحيث يسمح بتنفيذ الركائز ويقرب قدرة تحمل المجموعة من مجموع قدرة تحمل كل الركائز شكل (٢ - ٤) .



الشكل (٢ - ٤) ترتيب الركائز في المجاميع

الفصل الثالث

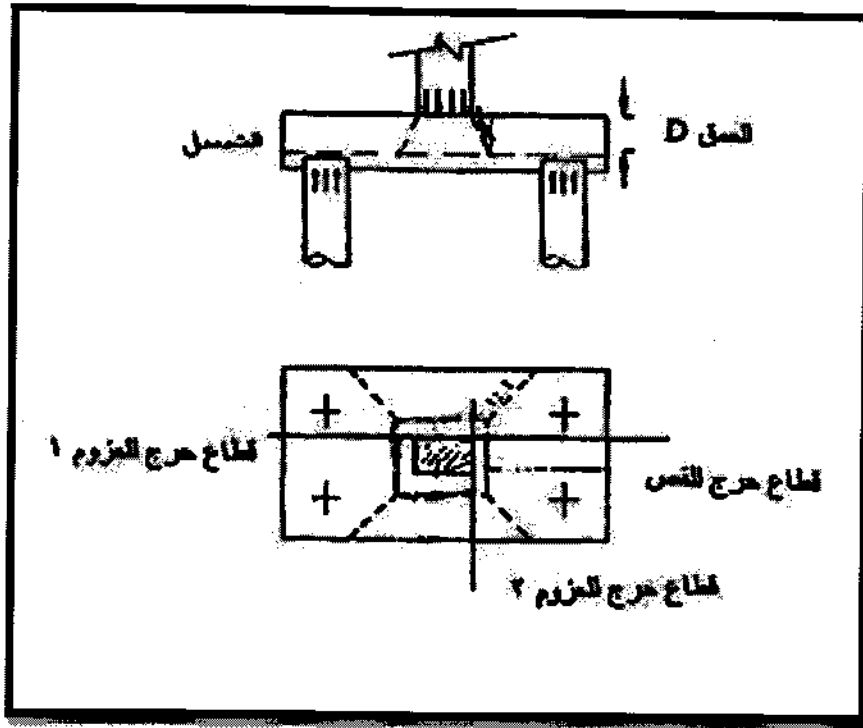
طرق التحليل والتصميم

**ANALYSIS
AND
DESIGN METHOD**

الفصل الثالث طرق التحليل والتصميم

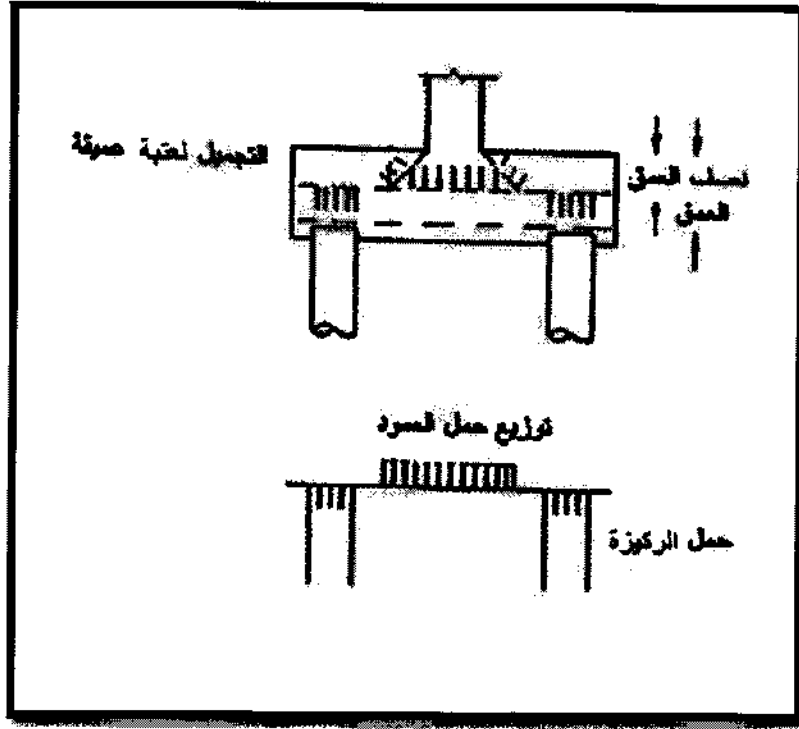
١-٣ تصميم قبعات الركائز:-

تصمم قبعات الركائز كقاعدة خرسانية بعدة طرق منها طريقة المقاييس الأمريكية و ذلك بدراسة عزم الانحناء على قطاعين مماسين لسطح العمود ودراسة الشد القطري على مستويات تبعد عن وجه العمود بمسافة تساوي نصف العمق الفعال للقبعة شكل (٣ - ١) ويجب التأكد من أن عمق القبعة يكفي لمقاومة إختراقها بالنتقيب سواء عند العمود أو الركائز الطرفية .



شكل (٣ - ١) طريقة المقاييس الأمريكية لتصميم قبعة الركائز

ويمكن تصميم القبعة كعتبة عميقة جاسئة تقاوم النتقيب Punching وتصمم لمقاومة أقصى عزوم و قوى قص وذلك بفرض أن حمل العمود يوزع بميل ١:١ حتى المستوى الأفقي عند منتصف العمق الفعال للقبعة شكل (٣ - ٢) .

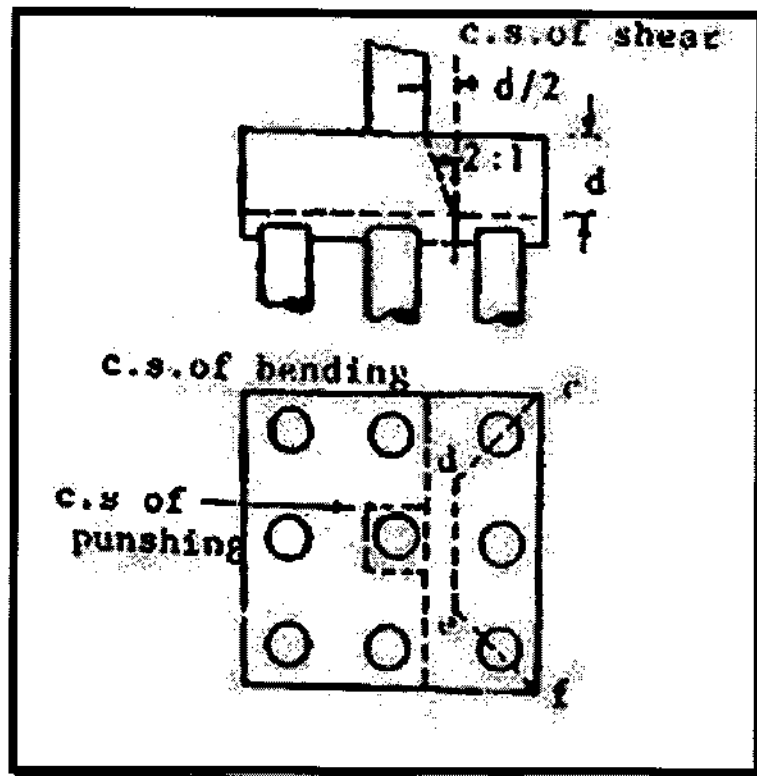


شكل (٣ - ٢) تحليل القبة كعتبة عميقة

و في الحالات التي يمكن فيها توزيع الركائز على محيط شكل منتظم حول العمود فإن القبة تصمم بإعتبار أن حمل العمود تقاومه مجموعة من الجمالونات التخيلية داخل القبة ويوضع حديد التسليح في أماكن قوى الشد وتستخدم هذه الطريقة لعدد من الركائز تحت القبة لا يزيد عن سبعة . وعادة ما يكون التسليح الرئيسي للقبة سفلياً إلا أنه في الأماكن الحارة والتي يخشى منها حدوث الانكماش الناتج عن تأثير الحرارة يمكن إستخدام شبكة علوية من الحديد تمثل 0.1% من مساحة مقطع القبة .

١-١-٣ التصميم بالمقاييس الأمريكية:- American Standard

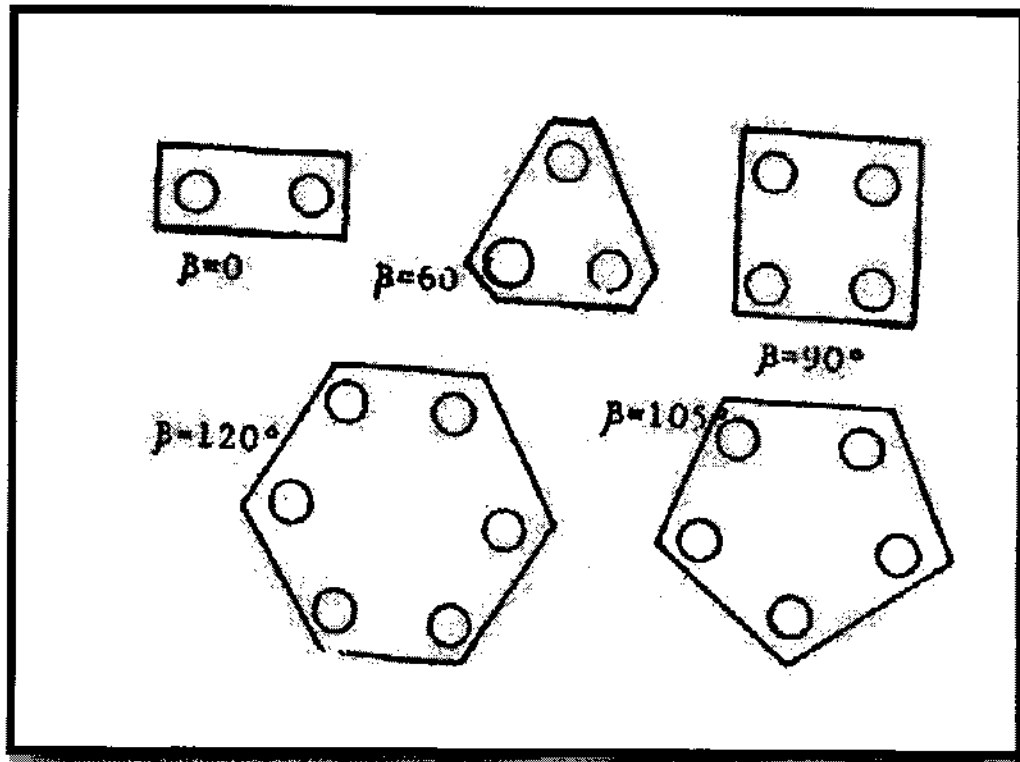
تصمم قبعة الركائز كقاعدة معرضة لرد فعل مركز من الركيزة بدلاً من جهد التربة المنتظم ويكون المقطع الحرج للعزم والتماسك على وجه العمود ، ويكون المقطع الحرج للشد القطري على مسافة نصف العمق الفعال للقبعة من وجه العمود وفي حساب قوى القص يؤخذ حمل الركيزة بالكامل إذا كان مركز الركيزة على بعد خارج القطاع الحرج لا يقل عن نصف قطر الركيزة ، ويهمل إذا كان مركز الركيزة على بعد لا يقل عن نصف قطر الركيزة داخل القطاع الحرج ، ويمكن أخذ نسبة من حمل الركيزة تعادل نسبة الجزء المتواجد منه خارج المقطع الحرج الى قطره . ويجب أيضاً التأكد من كفاية عمق القبعة لمقاومة إختراق العمود لها بالتثقيب شكل (٣ - ٣) وتتماثل خطوات تصميم القبعة مع خطوات تصميم القواعد المفردة .



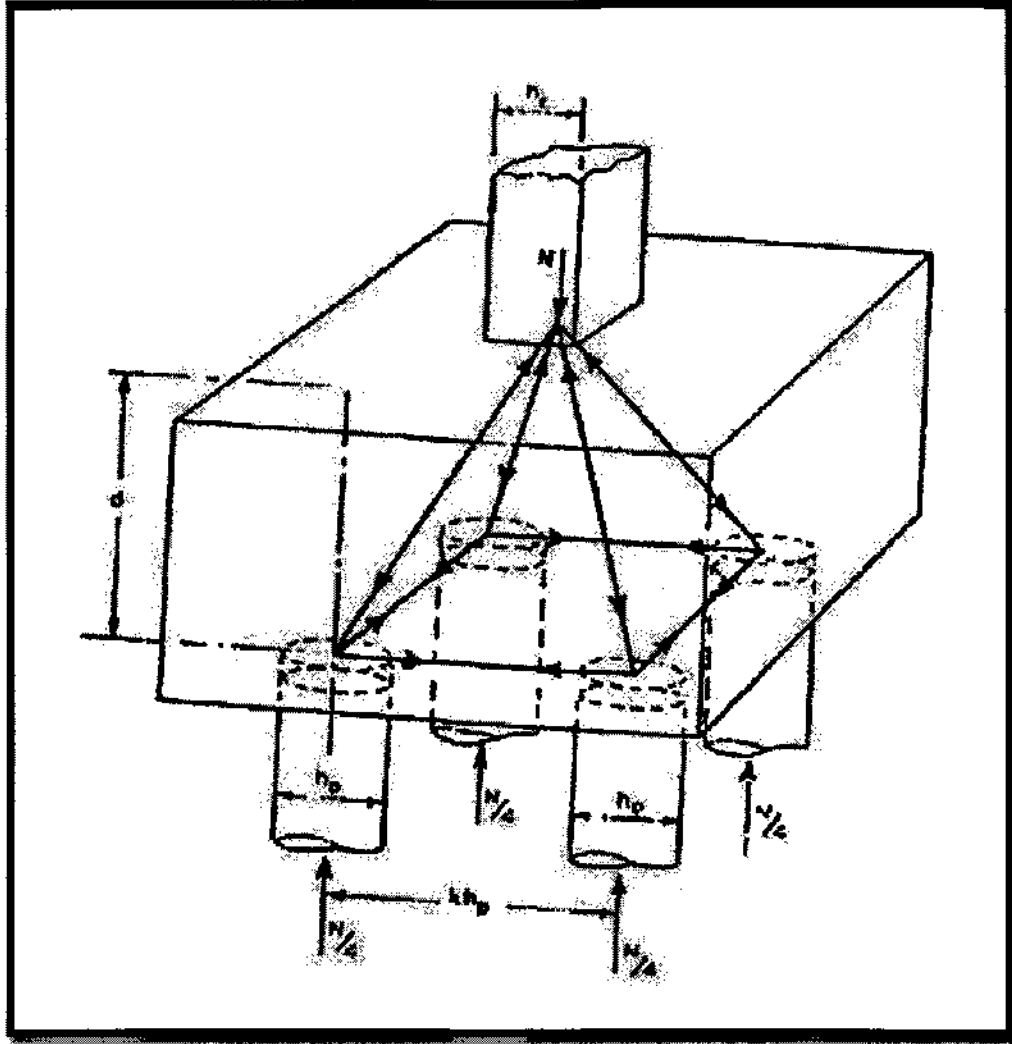
الشكل (٣ - ٣) طريقة المقاييس الأمريكية

٢-١-٣ التصميم بطريقة التحزيم:- Circulage Method

في هذه الطريقة يفترض أن حمل العمود داخل القبة يقاوم بجمالون (Truss) أو جمالونات تتشكل داخل القبة ، وقوى الضغط في هذه الجمالونات تقاوم بالخرسانة أما قوى الشد فيها فتقاوم بحديد التسليح . وتستخدم هذه الطريقة حينما توزع الركائز حول العمود شكل (٣ - ٤) ويعطي الشكل (٣ - ٥) الجمالونات المشكلة داخل القبة و منها يتوضح ضرورة تواجد حديد تسليح أفقي يقوم بتحزيم الركائز عند رؤوسها لمنع حركتها الأفقية الى خارج القبة ، وعادة ما يعين العمق الفعال للقبة من حساب العمق اللازم لمقاومة قص التقيب (Punching Shear) وكلما زاد العمق الفعال للقبة قلت قوى الشد .

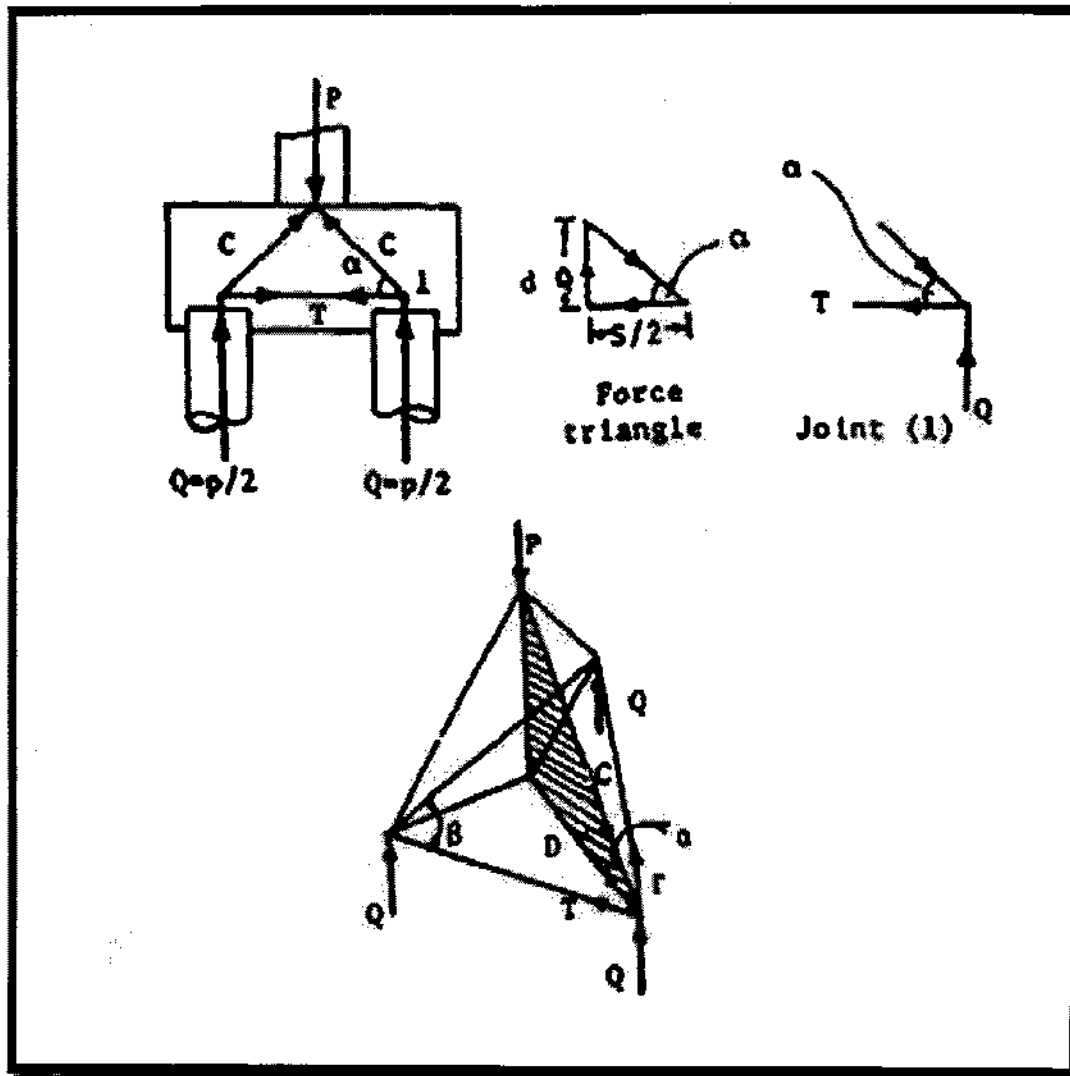


الشكل (٣ - ٤) توزيع الركائز في القبة بطريقة التحزيم



الشكل (٣ - ٥) الجمالون المشكل داخل القبة

إذا كانت قيمة α أقل من ٤٥ فإن حديد التسليح اللازم للتحزيم يكون كبيراً وإذا زادت α عن ٦٠ فإن القبة تصبح ضخمة ومكلفة ولذلك فإن القبعات المناسبة تكون قيمة α لها بين ٤٥ - ٦٠ . ومن الشكل (٣ - ٦) يتبين أنه نظراً لأن حديد التحزيم يتواجد حول الركائز فإن جزء من قوى الشد T هو الذي يحسب منه حديد تسليح التحزيم وهذا الجزء يرمز له بالرمز T_s وتتوقف قيمته على زاوية β وهي الزاوية بين الخط المار بمراكز الركائز والتي تحسب حسب عدد أضلاع القبة المتوقف على عدد الركائز وكالاتي :



الشكل (٣ - ٦) التحليل بطريقة التحزيم

Number of piles	2	3	4	5	6
Angle β	0	60	90	105	120

و تعطى قوى الشد اللازمة لحساب حديد التسليح (التحزيم) من :

$$T_s = \frac{T}{2 \cos \beta/2}$$

$$A_s = \frac{T_s}{F_s}$$

$$\text{Where } T = \frac{Q}{\tan \alpha}$$

$$T_s = \frac{Q}{2 \tan \alpha \cos \beta/2}$$

Q = Pile load

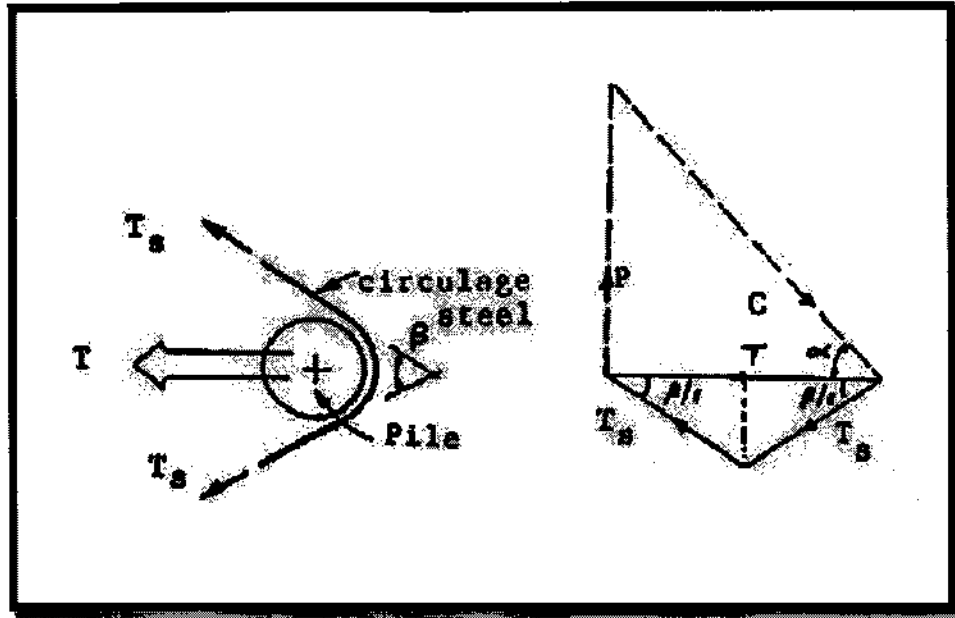
F_s = Allowable Stress of Steel Reinforcement

A_s = Circulage Steel

$$\tan \alpha = \frac{d}{s/2}$$

و يوضع حديد تسليح التحزيم في صف رأسي واحد أو صفيين بما لا يزيد عن أربعة قضبان في الصف الواحد ، و يوضع الحديد قرب رؤوس الركائز في أسفل الوسادة ويربط بأتاري Stirrup و يوضع حديد ثانوي شبكي في قاع القبة يقدر في الاتجاه الواحد بقيمة 0.15% من مساحة المقطع الخرساني للقبة ، و يوضع حديد أعلى صفوف حديد التحزيم وبقيمة من 20% - 30% من حديد التحزيم يوزع موازياً لحديد التحزيم على المحيط وذلك لمقاومة قوى الشد المتولدة من سريان الحمل من العمود للركائز . شكل (٣ - ٧) .

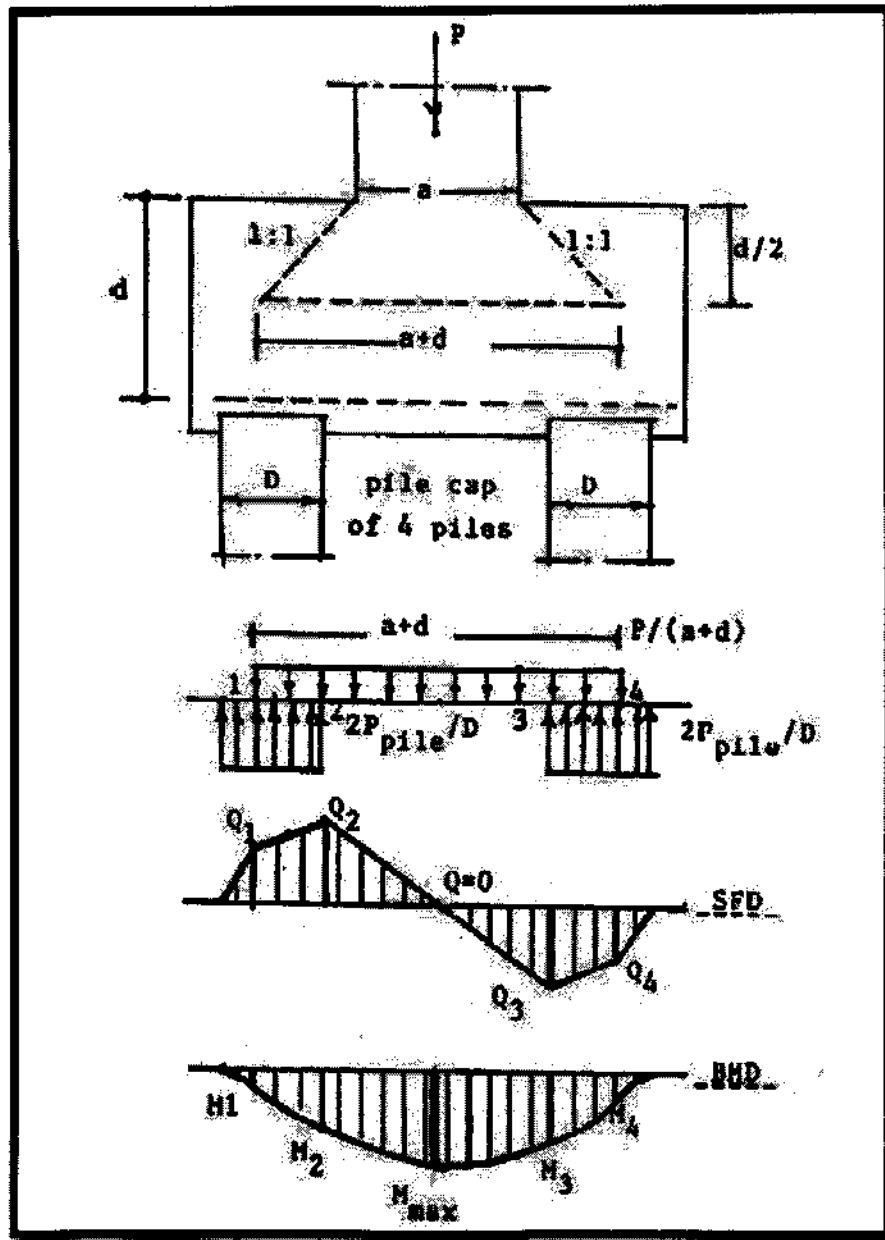
وأحياناً في المناطق الحارة يمكن وضع شبكة علوية من حديد التسليح أعلى القبة تمثل 0.001 من مساحة مقطع القبة وبما لا يقل عن 5 Φ 16 في المتر في الاتجاهين .



الشكل (٣ - ٧) قوة شد التحزيم

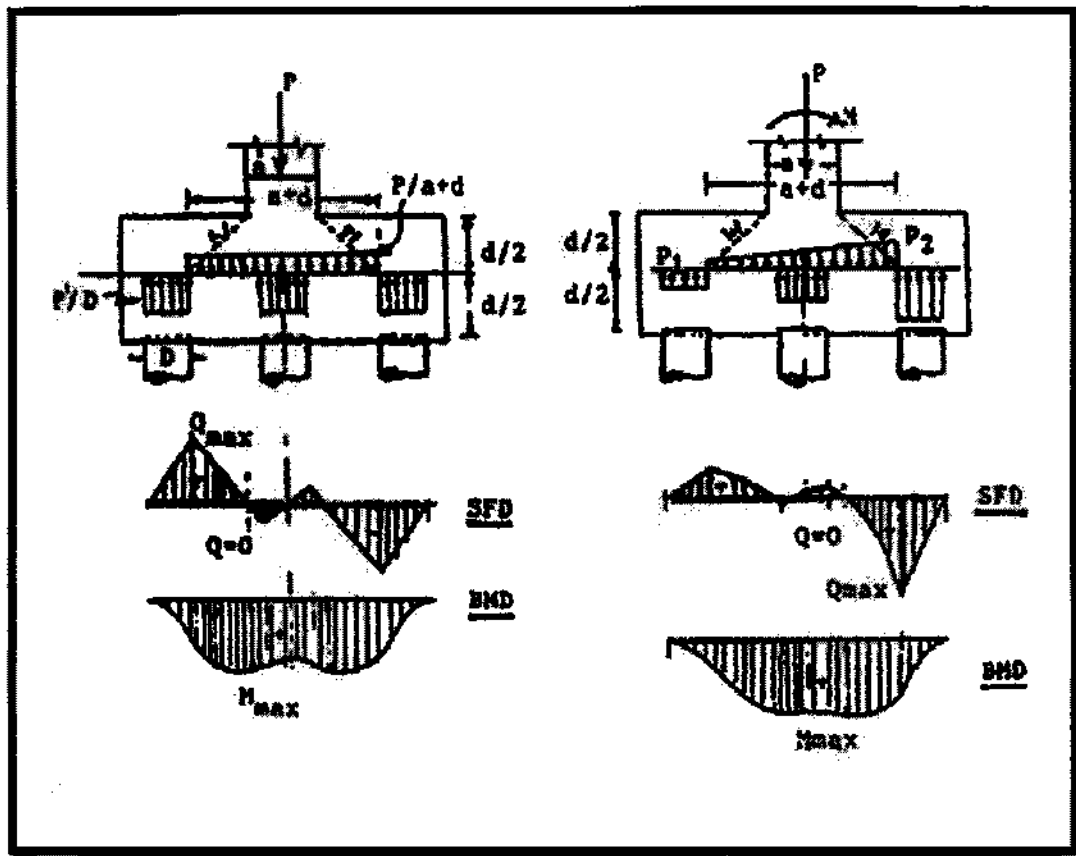
٣-١-٣ التصميم بطريقة العتبة الجاسئة:- Rigid Beam Method

يؤخذ العمق الفعال للعتبة عادة أكبر من خمس المسافة بين الركائز مما يؤهل القبة لأن تصمم كعتبة عالية الجساءة Rigid Beam ، وفي هذه الطريقة يوزع حمل العمود خلال القبة على طول يساوي عرض العمود مضافاً إليه سمك القبة (a+d) على عمق $d/2$ ، أي على خط توزيع يحدد من وجه العمود بميل 1 : 1 إلى منتصف القبة . والعمق الفعال هنا يحسب من العمق اللازم لمقاومة التثقيب Punching شكل (٣ - ٨) .



الشكل (٣ - ٨) التحليل بطريقة العتبة الجاسنة لأربع ركائز

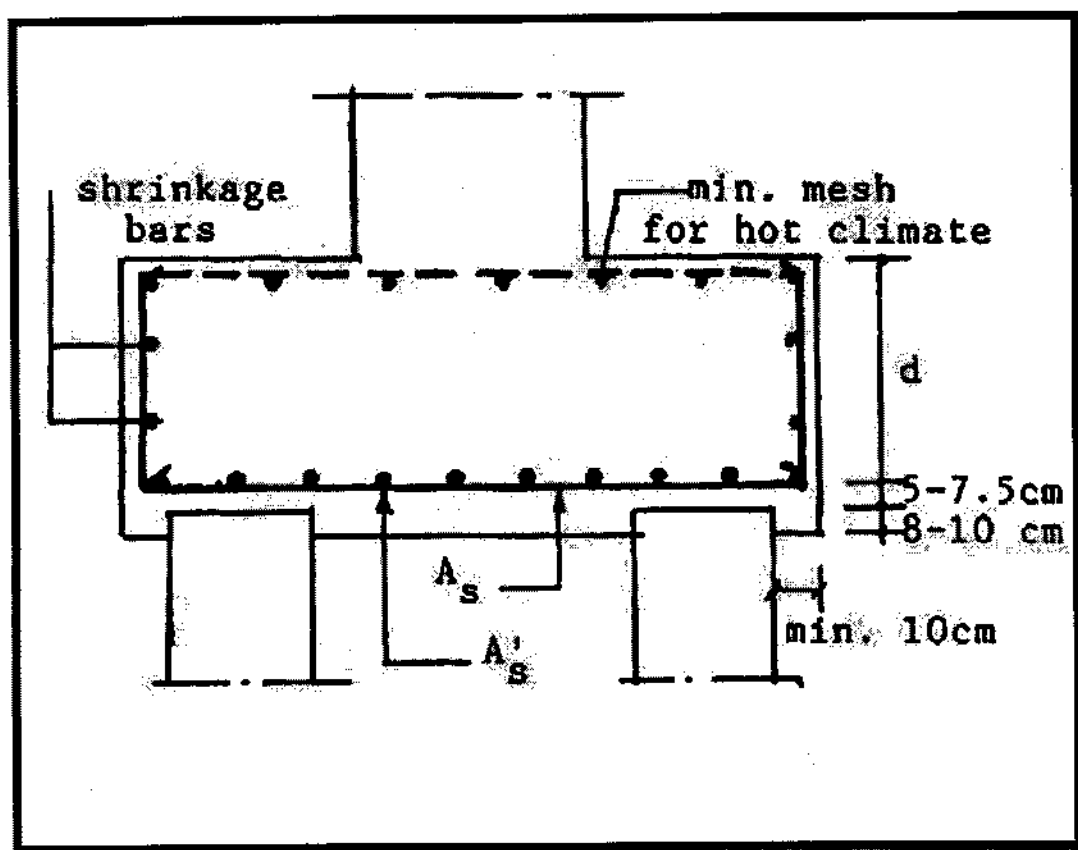
ويكون حمل العمود منتظماً في حالة عدم وجود إنحراف للحمل عن مركز القبة ، أو على صورة شبه منحرف في حالة وجود إنحراف للحمل عن مركز القبة . وتتكون عتبة عالية الجساءة حملها يكون حمل العمود الموزع و إرتكازها يكون على الركائز حيث توزع أحمال الركائز على أقطارها ، شكل (٣ - ٩) . ثم يعين لهذه العتبة العالية الجساءة عزوم الانحناء و قوى القص وتكرر نفس الخطوات بالنسبة للاتجاه الآخر من القبة إلا إذا كانت القبة مربعة فأن الخطوات تكون واحدة في الاتجاهين. والقبة ذات الركيزتين تصمم في إتجاه واحد. و حينما يكون خط توزيع الأحمال (Dispersion Line) أكبر من عرض القبة فإنه يؤخذ بطول عرضها و يتم إختيار العمق الفعال النهائي من الأعماق اللازمة لمقاومة التثقيب والعزم والقص.



شكل (٣ - ٩) التحليل بطريقة العتبة الجساءة لست أو تسع ركائز

ويتم وضع حديد التسليح بما يقاوم العزوم أي يوضع في أماكن تواجد عزوم الانحناء فقط إلا أن بعض المصممين يميل إلى تسليح القبة كعتبة تماماً فيها حديد شد سفلي وحديد ضغط علوي وحديد إنكماش جانبي ويميل البعض إلى الرأي الأول في الظروف الجوية العادية والظروف الملائمة المحيطة بالقبة ، أما خلاف ذلك فيمكن إتباع الرأي الثاني شكل (٣ - ١٠) . ويتم توزيع الحديد الرئيسي السفلي على مسافة تساوي عرض العمود وضعف العمق الفعال أو العرض الكلي للقبة أيهما أصغر .

وبمقارنة طريقة العتبة الجاسئة بطريقة التحزيم يتبين أن طريقة التحزيم تحتاج عمق كبير وبالتالي كميات أكبر من الخرسانة ، كما أنها تحتاج إلى كمية حديد تسليح تزيد عما هو مطلوب لطريقة العتبة الجاسئة بقيم تتراوح بين ٥ - ٢٠% وعلى ذلك فإن الكثير من المصممين يعتبر طريقة العتبة الجاسئة طريقة عامة ومثلى لتصميم القبعات.



شكل (٣ - ١٠) تسليح القبة بطريقة العتبة الجاسئة

الفصل الرابع

أمثلة تصميمية

DESIGN EXAMPLES

الفصل الرابع أمثلة تصميمية

Example 1:-

A reinforced concrete column is 50 * 100 cm . Design a pile cap for a group of six piles arranged as shown in Fig. (4 -1) and supporting a column load of 3000 kN. Use American Standards. Use piles of 600 kN capacity and 40 cm diameter. $F_c' = 25 \text{ N/mm}^2$. $F_y = 420 \text{ N/mm}^2$

SOLUTION:-

1) Check Punching Shear:-

$$\text{Let } P_u = \Phi V_c$$

$$P_u = 0.85(1/3) \sqrt{f_c'} b_o * d$$

$$b_o = (500 + 1000 + 2d) * 2 = 3000 + 4d$$

$$3000 * 10 = 0.85(1/3) \sqrt{25} (3000 + 4d) * d$$

$$2117647.059 = 4d^2 + 3000d$$

$$d^2 + 750d - 529411.76 = 0$$

$$d = \frac{-750 \pm \sqrt{750^2 + 4 * 529411.76}}{2}$$

$$d = +443.55 \text{ mm}$$

$$\text{use } d = 443.55 \text{ mm}$$

2) Check One Way Shear:-

a) Check Long Direction:-

$$V_u = \text{No. of piles} * 600$$

$$V_u = 2 * 600 = 1200 \text{ kN}$$

$$V_u = \Phi V_c$$

$$V_u = 0.85(1/6)\sqrt{f_c'} b * d$$

$$1200000 = 0.85(1/6)\sqrt{25} * 1700 * d$$

$$d = 996.539 \text{ mm}$$

$$\text{Use } d = 1000 \text{ mm} .$$

b) Check Short Direction:-

$$V_u = \text{No. of piles} * 600$$

$$V_u = 3 * 600 = 1800 \text{ KN}$$

$$\text{Let } V_u = \Phi V_c$$

$$V_u = 0.85(1/6)\sqrt{f_c'} b * d$$

$$1800000 = 0.85(1/6)\sqrt{25} * 2800 * d$$

$$d = 907.56 \text{ mm}$$

$$\text{Use } h = d + 200 = 1000 + 200 = 1200 \text{ mm}$$

3) Calculation of Moments:-

$$M = \underline{\text{no.of piles}} * \underline{\text{capacity of pile}} * \underline{\text{distance from face of column}}$$

$$M_y = 2 * 600 * 0.6 = 720 \text{ kN.m .}$$

$$M_x = 3 * 600 * 0.3 = 540 \text{ kN.m .}$$

4) Calculation The Area Of Reinforcement:-

$$\frac{M_u}{\Phi f_c' b d^2} = \frac{720 \times 10^6}{0.9 \times 25 \times 1700 \times (1000)^2} = 0.01882$$

From table (1) $\omega = 0.019$

$$\rho = \omega * \frac{f_c'}{F_y} = 0.019 * \frac{25}{420}$$

$$\rho = 0.00113$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4F_y} \geq \frac{1.4}{F_y} \quad , \quad 0.00297 < 0.00333$$

Use $\rho_{\min} = 0.0033$

$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$

$$A_s = \rho * b d = 0.0033 * 1000 * 1000$$

$$A_s = 3300 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Use $\Phi 25 @ 12.5 \text{ cm}$ in long and short direction

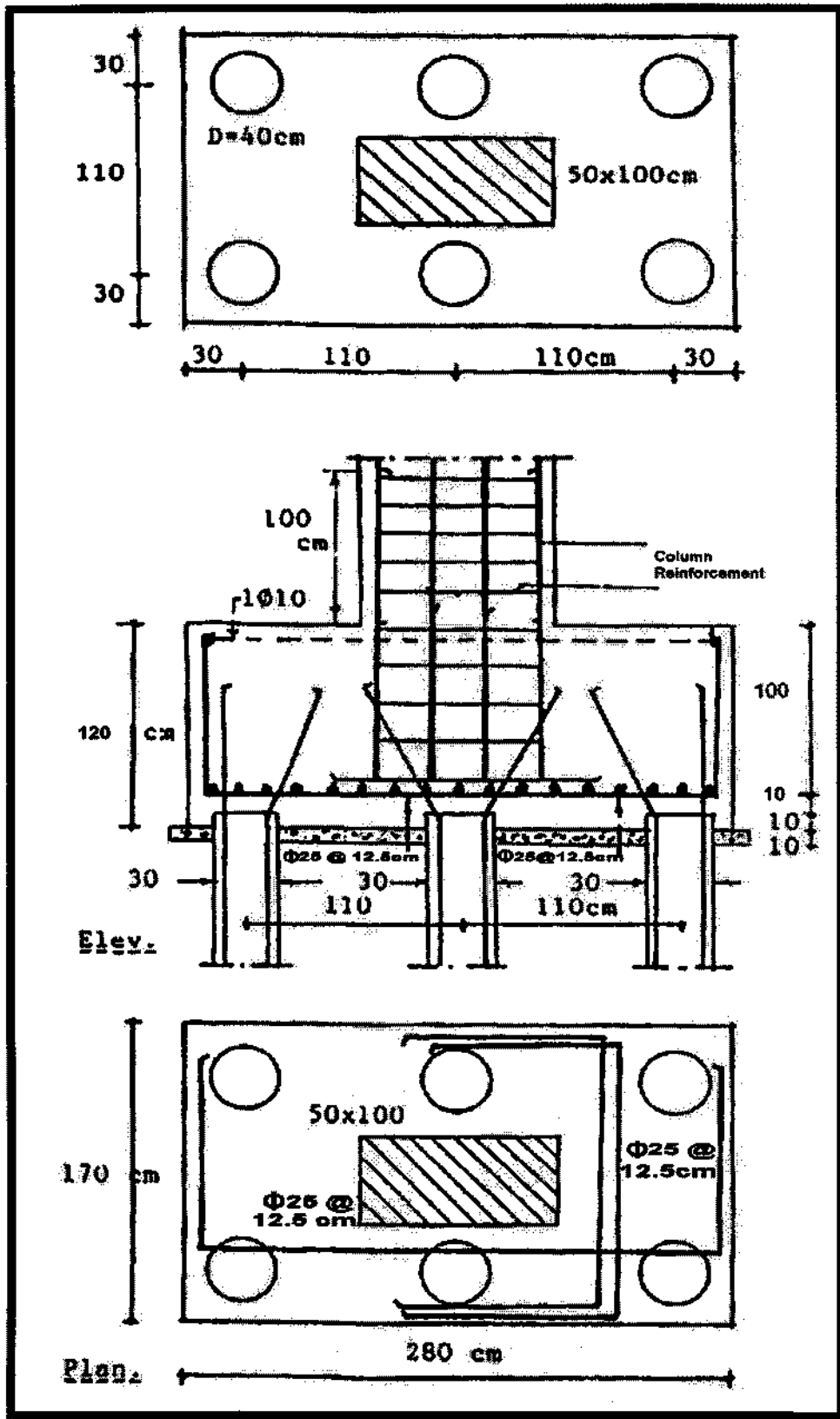


Fig (4 - 1)

Example 2 :-

A 0.7 square column carries the following loads:-
 $P_D = 2220 \text{ kN}$, $P_L = 3100 \text{ kN}$, $M_D = 270 \text{ kN.m}$ and $M_L = 405 \text{ kN.m}$,The column is to rest on a 1.2 m cap supported by piles having an allowable load capacity of 445 kN and a diameter of 0.3m. The cap is topped with 0.3 m of fill having a unit weight of 19.2 kN/m^3 and 0.15 concrete slab carrying surcharge load of 4.8 kN/m^2 . Design the pile cap using $F_c' = 27.6 \text{ N/mm}^2$ and $F_y = 420 \text{ N/mm}^2$. $\gamma_{\text{concrete}} = 25 \text{ kN/m}^3$. Fig. (4 – 2) a. Use Design according ultimate strength design.

Solution :-

The total vertical load is

$$P_{\text{total}} = 2220 + 3100 = 5320 \text{ kN}$$

$$M_{\text{total}} = 270 + 405 = 675 \text{ kN.m}$$

To account for the bending effects as well as the surcharge and cap weight , choose a total number of 15 piles spaced at 0.9 m on centers as shown in fig . (4 – 2) b .

The surcharge load per pile is :-

$$P_s / \text{pile} = (0.9^2) (0.15 * 25 + 4.8 + 0.3 * 19.2 + 1.2 * 25) = 36 \text{ kN} .$$

$$\sum X^2 = 3(0.9^2 + 1.8^2) + 3(0.9^2 + 1.8^2) = 24.3 \text{ m}^2$$

The net allowable capacity of a pile is :-

$$P_{\text{net}} = 445 - 36 = 409 \text{ kN}.$$

The maximum axial force of a pile is :-

$$\frac{5320}{15} + \frac{675 \cdot 1.8}{24.3} = 404.6 < 409 \text{ kN}.$$

The factored load on piles P_1 through P_5 (using ACI) is :-

$$R = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2}$$

$$P_1 = \frac{2220 \cdot 1.2 + 3100 \cdot 1.6}{15} + \frac{(270 \cdot 1.2 + 405 \cdot 1.6) \cdot 1.8}{24.3} = 580.27 \text{ kN}$$

$$P_2 = \frac{2220 \cdot 1.2 + 3100 \cdot 1.6}{15} + \frac{(270 \cdot 1.2 + 405 \cdot 1.6) \cdot 0.9}{24.3} = 544.27 \text{ kN}$$

$$P_3 = \frac{2220 \cdot 1.2 + 3100 \cdot 1.6}{15} = 508.27 \text{ kN}$$

$$P_4 = \frac{2220 \cdot 1.2 + 3100 \cdot 1.6}{15} - \frac{(270 \cdot 1.2 + 405 \cdot 1.6) \cdot 0.9}{24.3} = 472.27 \text{ kN}$$

$$P_5 = \frac{2220 \cdot 1.2 + 3100 \cdot 1.6}{15} - \frac{(270 \cdot 1.2 + 405 \cdot 1.6) \cdot 1.8}{24.3} = 436.27 \text{ kN}$$

Pile Punching Shear (critical section at d/2 pile):-

$$h = 1.2\text{m} = 1200 \text{ mm}$$

$$d = 1200 - 200 = 1000 \text{ mm}$$

$$V_u = 580.27 \text{ kN}$$

$$b_o = \pi (d_{\text{pile}} + d) = \pi (0.3 + 1) = 4.08 \text{ m}$$

$$V_c = 0.34\sqrt{f_c'} b_o d$$

$$V_c = 0.34\sqrt{27.6} * 4.08 * 1 * 10^3 = 7288 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{580.27}{0.85} = 682.67 \text{ kN} < 7288 \text{ kN}, \text{ ok}$$

Column Punching Shear Fig (4 – 2) c :-

$$V_u = 1.2 * P_D + 1.6 * P_L$$

$$V_u = 1.2 * 2220 + 1.6 * 3100 = 7624 \text{ kN.}$$

$$b_o = (0.7 + 0.7 + 2 * 1) * 2 = 6.8 \text{ m.}$$

$$V_c = 0.34\sqrt{f_c'} b_o d = 0.34\sqrt{27.6} * 6.8 * 1 * 10^3 = 12146.25 \text{ kN.}$$

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{7624}{0.85} = 8969 \text{ kN} < 12146.25 \text{ kN.}$$

One way shear Fig. (4 -2) c :-

$$V_u = 3 * 580.27 = 1740.81 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.17 \sqrt{f_c'} bd$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \sqrt{27.6} * 2.7 * 1 * 10^3 \\ &= 2411.38 \text{ kN} > 1740.81 \text{ OK} \end{aligned}$$

Calculation of Moment Fig. (4- 2) b :-

$$M_y = (580.27 * 3 * 1.45 + 544.27 * 3 * 0.55) = 3422 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} M_x &= (580.27 + 544.27 + 508.27 + 472.27 + 436.27) * 0.55 \\ &= 1398 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Calculation The Area Of Reinforcement:-

$$\frac{M_u}{\Phi f_c' b d^2} = \frac{3422 \times 10^6}{0.9 \times 27.6 \times 2700 \times 1000^2} = 0.051$$

From table (1) $\omega = 0.053$

$$\rho = \omega * \frac{F_c'}{F_y} = 0.053 * \frac{27.6}{420} = 0.00348$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{F_c'}}{4F_y} \geq \frac{1.4}{F_y} = \quad , \quad 0.00312 < 0.00333 ,$$

use $\rho = 0.00348$

Check Φ :-

$$\begin{aligned} \Phi &= \left[\frac{7}{30} + \frac{0.2125 \beta_1 F_c'}{\rho F_y} \right] \leq 0.9 \\ &= \left[\frac{7}{30} + \frac{0.2125 \times 0.85 \times 27.6}{0.00348 \times 420} \right] = 3.644 , \text{ use } \Phi = 0.9 \text{ o.k} \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$

$$A_s = \rho * b d = 0.00348 * 1000 * 1000 = 3480 \text{ mm}^2/\text{m}$$

use $\Phi 28 @ 17 \text{ cm}$ in long and short direction Fig. (4 – 3)

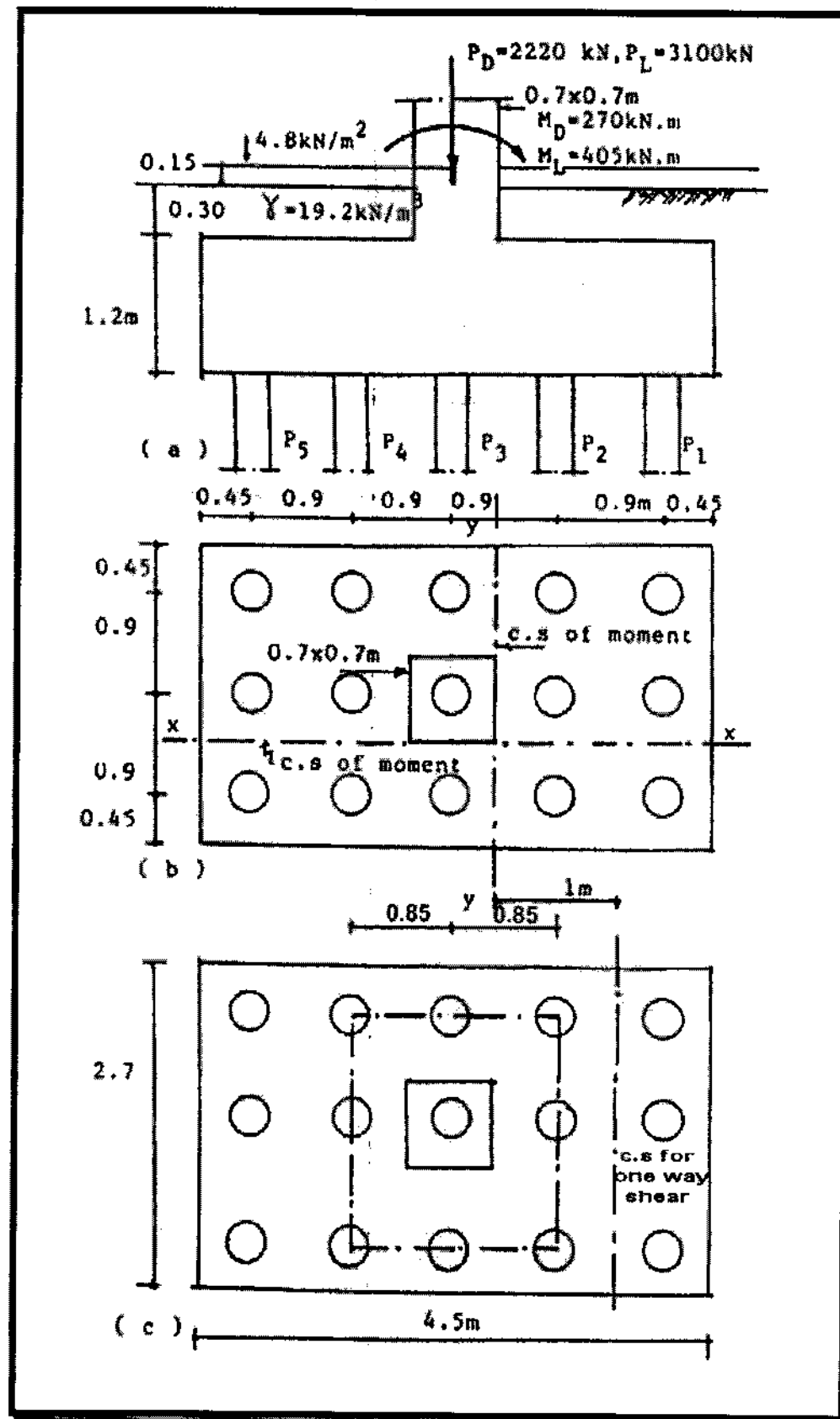


Fig. (4-2)

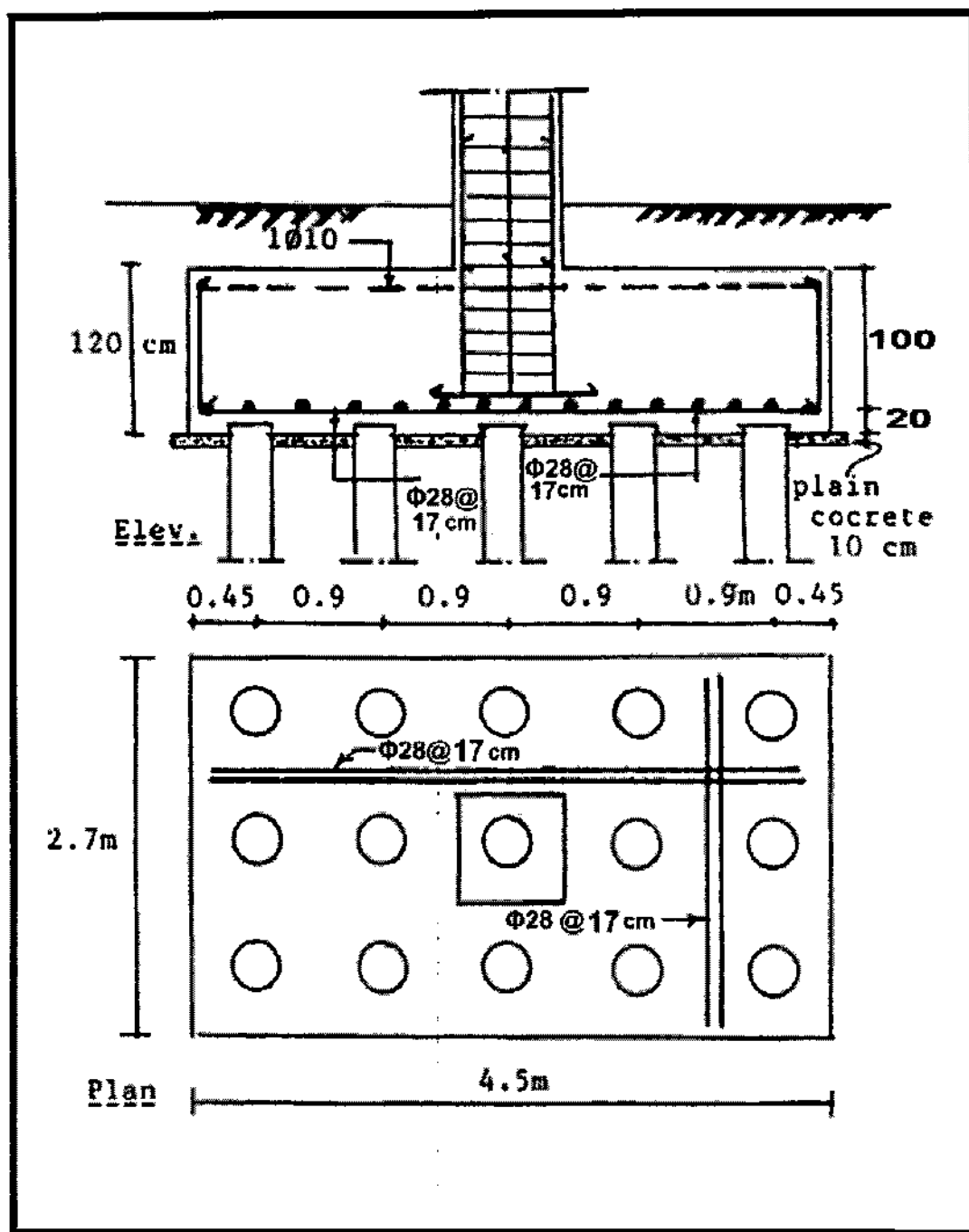


Fig. (4-3)

Example 3 :-

Design a pile cap for 2 piles supporting a column load of 3200 kN . The column is 40 * 40 cm and The pile diameter is 40 cm and the spacing between the pile is 110 cm and $F_y = 420 \text{ N/mm}^2$, $F_s = 170 \text{ N/mm}^2$ Use circulage method , Fig. (4 – 4) . $F_c' = 25 \text{ N/mm}^2$.

Solution :-

Check Punching Shear:-

Let $P_u = \Phi V_c$

$$P_u = 0.85(1/3) \sqrt{f_c'} b_o * d$$

$$3200 * 10^3 = \frac{0.85}{3} \sqrt{25} * (400 + 400 + 2d) * 2d$$

$$d^2 + 400d - 564705.8824 = 0$$

$$d = \frac{-400 \pm \sqrt{400^2 + 4 * 1 * 564705.8824}}{2 * 1}$$

$$d = 577.62 \text{ mm} , \text{ use } d = 600 \text{ mm}$$

Calculation The Area Of Reinforcement:-

$$\tan \alpha = \frac{d}{s/2}$$

$$\tan \alpha = \frac{600}{\left(\frac{1100}{2}\right)} = 1.09, \alpha = 47.5, \beta = 0$$

$$T_s = \frac{Q}{2 \tan \alpha \cos \beta/2} = \frac{3200/2}{2 * 1.09 * 1} = 733.94 \text{ kN}$$

$$\text{USE } T_s = 734 \text{ KN}$$

$$T_s = A_s * F_s, \quad A_s = \frac{T_s}{F_s}$$

$$A_s = \frac{734 * 1000}{170} = 4317.64 \text{ mm}^2$$

$$\text{USE } 4 \Phi 38$$

$$A_s = \text{side reinforcement} = 0.23 * 4317.64 = 993.05 \text{ mm}^2$$

$$\text{USE } 4 \Phi 18$$

$$A_{s \text{ bottom fiber}} = 0.0015bh = 0.0015 * 1700 * 700 = 1785 \text{ mm}^2$$

$$\text{USE } 5 \Phi 22, \text{ in long and short direction}$$

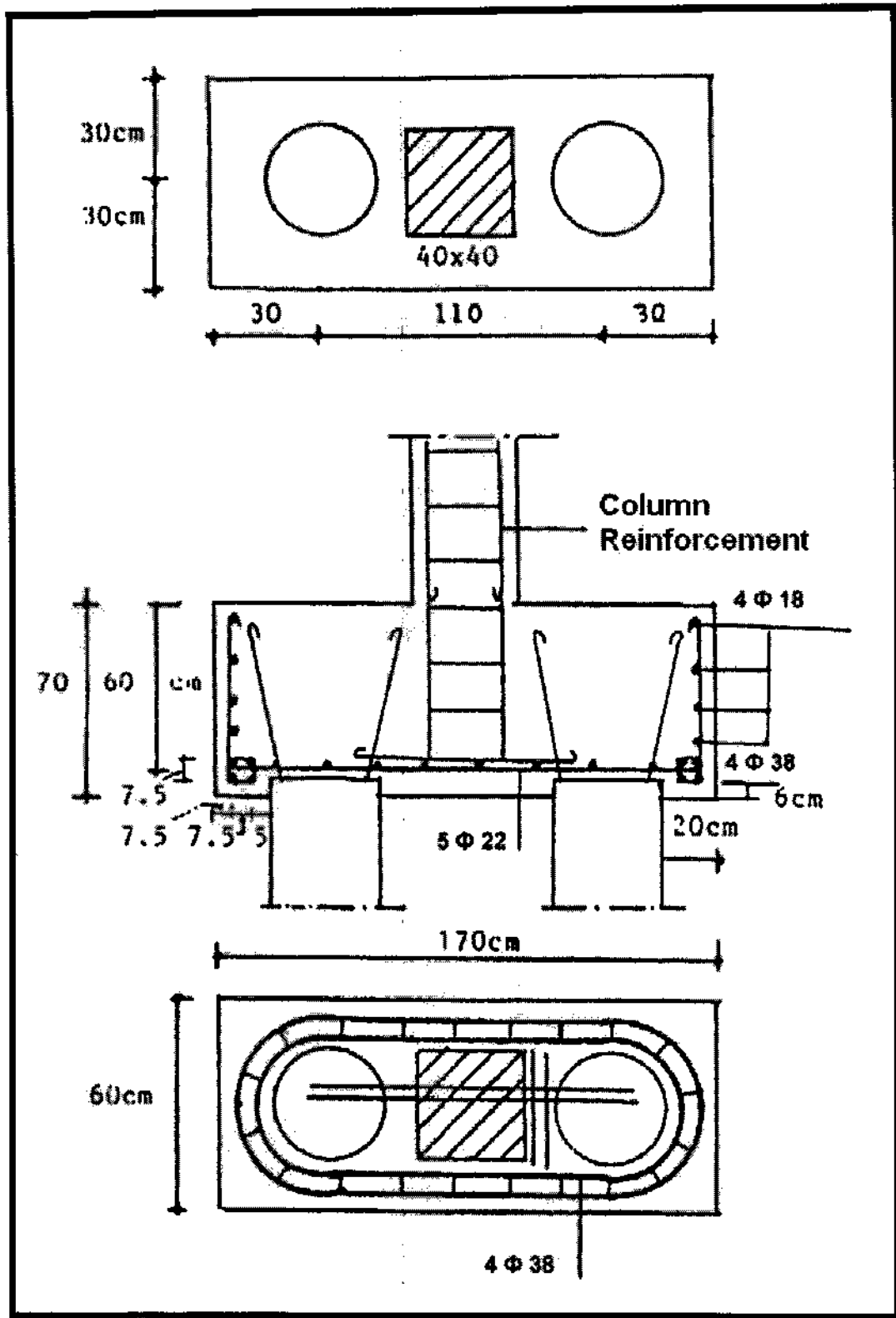


Fig. (4 - 4)

Example 4 :-

Design a pile cap by rigid beam method for a group of 4 piles spaced at 110 cm center and supporting a column 50 * 50 cm carrying a load of 1600 kN . The pile is 40 * 40 cm . $F_c' = 25 \text{ N/mm}^2$, $F_y = 420 \text{ N/mm}^2$

Solution :-

Check Punching Shear:-

$$Q_{\text{PILE}} = \frac{1600}{4} = 400 \text{ kN}$$

$$\text{Let } P_u = \Phi V_c$$

$$P_u = 0.85(1/3) \sqrt{f_c'} b_o * d$$

$$1600 * 10^3 = \frac{0.85}{3} * \sqrt{25} * (500 + 500 + 2d) * 2d$$

$$d^2 + 500d - 282352.94 = 0$$

$$d = \frac{-500 \pm \sqrt{500^2 + 4 * 1 * 282352.94}}{2 * 1} = 337.24 \text{ mm}$$

$$\text{use } d = 35 \text{ cm , } h = 35 + 10 + 7.5 = 52.5 , \text{ use } h = 53 \text{ cm}$$

$$a + d = 50 + 35 = 85 \text{ cm , Fig. (4 - 5)}$$

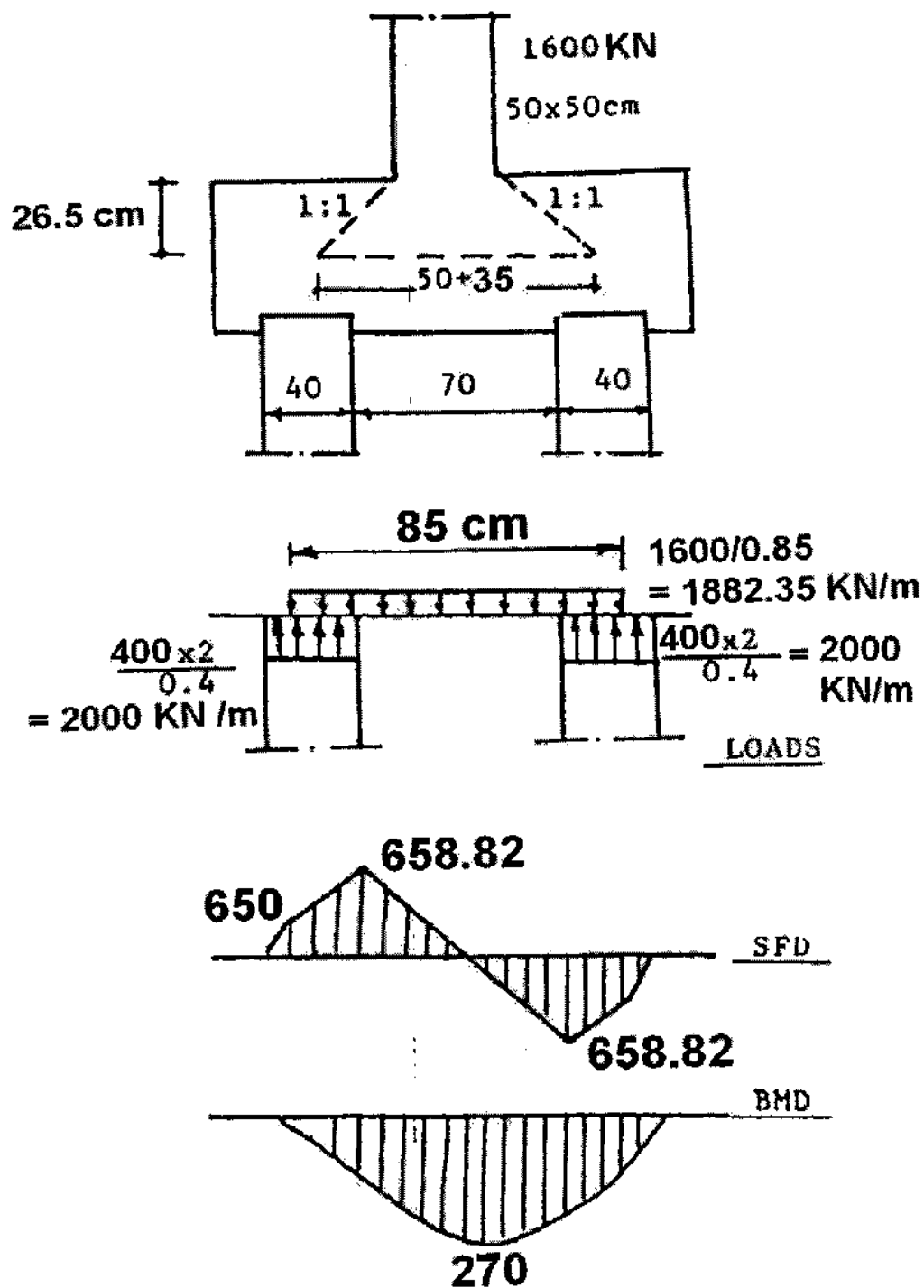


Fig. (4-5)

Calculation The Area Of Reinforcement:-

$$\frac{M_u}{\Phi f_c' b d^2} = \frac{270 \times 10^6}{0.9 \times 25 \times 1900 \times 350^2} = 0.0515$$

From table (1) , $\omega = 0.054$

$$\rho = \omega * \frac{f_c'}{F_y} = 0.054 * \frac{25}{420} = 0.00321$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4F_y} \geq \frac{1.4}{F_y} \quad , \quad 0.00297 < 0.00333$$

Use $\rho_{\min} = 0.0033$

$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$

$$A_s = \rho * b d = 0.0033 * 1000 * 1000$$

$$A_s = 3300 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Use $\Phi 25 @ 12.5 \text{ cm}$ in long and short direction Fig (4 – 6)

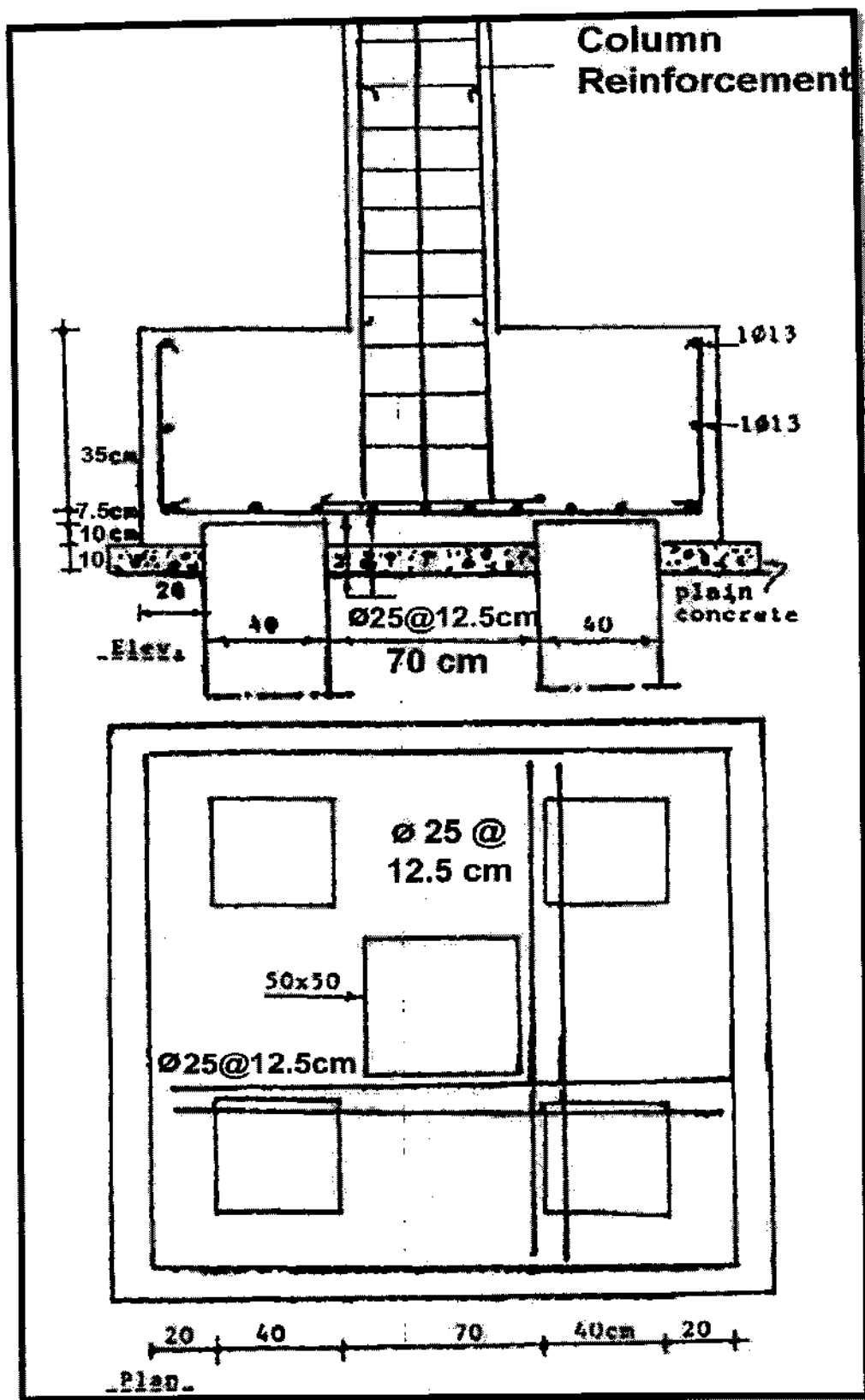


Fig. (4 - 6)

**MOMENT STRENGTH ($M_u / \phi f_c' b d^2$) OF RECT-
ANGULAR SECTION WITH TENSION RE-
INFORCEMENT ONLY**

ω	.000	.001	.002	.003	.004	.005	.006	.007	.008	.009
.00	0	.0010	.0020	.0030	.0040	.0050	.0060	.0070	.0080	.0090
.01	.0099	.0109	.0119	.0129	.0139	.0149	.0159	.0168	.0178	.0188
.02	.0197	.0207	.0217	.0226	.0236	.0246	.0256	.0266	.0275	.0285
.03	.0295	.0304	.0314	.0324	.0333	.0343	.0352	.0362	.0372	.0381
.04	.0391	.0400	.0410	.0420	.0429	.0438	.0448	.0457	.0467	.0476
.05	.0485	.0495	.0504	.0513	.0523	.0532	.0541	.0551	.0560	.0569
.06	.0579	.0588	.0597	.0607	.0616	.0625	.0634	.0643	.0653	.0662
.07	.0671	.0680	.0689	.0699	.0708	.0717	.0726	.0735	.0744	.0753
.08	.0762	.0771	.0780	.0789	.0798	.0807	.0816	.0825	.0834	.0843
.09	.0852	.0861	.0870	.0879	.0888	.0897	.0906	.0915	.0923	.0932
.10	.0941	.0950	.0959	.0967	.0976	.0985	.0994	.1002	.1011	.1020
.11	.1029	.1037	.1046	.1055	.1063	.1072	.1081	.1089	.1098	.1106
.12	.1115	.1124	.1133	.1141	.1149	.1158	.1166	.1175	.1183	.1192
.13	.1200	.1209	.1217	.1226	.1234	.1243	.1251	.1259	.1268	.1276
.14	.1284	.1293	.1301	.1309	.1318	.1326	.1334	.1342	.1351	.1357
.15	.1367	.1375	.1384	.1392	.1400	.1408	.1416	.1425	.1433	.1441
.16	.1449	.1457	.1465	.1473	.1481	.1489	.1497	.1506	.1514	.1522
.17	.1529	.1537	.1545	.1553	.1561	.1569	.1577	.1585	.1593	.1601
.18	.1609	.1617	.1624	.1632	.1640	.1648	.1656	.1664	.1671	.1679
.19	.1687	.1695	.1703	.1710	.1718	.1726	.1733	.1741	.1749	.1756
.20	.1764	.1772	.1779	.1787	.1794	.1802	.1810	.1817	.1825	.1832
.21	.1840	.1847	.1855	.1862	.1870	.1877	.1885	.1892	.1900	.1907
.22	.1914	.1922	.1929	.1937	.1944	.1951	.1959	.1966	.1973	.1981
.23	.1988	.1995	.2002	.2010	.2017	.2024	.2031	.2039	.2046	.2053
.24	.2060	.2067	.2075	.2082	.2089	.2096	.2103	.2110	.2117	.2124
.25	.2131	.2138	.2145	.2152	.2159	.2166	.2173	.2180	.2187	.2194
.26	.2201	.2208	.2215	.2222	.2229	.2236	.2243	.2249	.2256	.2263
.27	.2270	.2277	.2284	.2290	.2297	.2304	.2311	.2317	.2324	.2331
.28	.2337	.2344	.2351	.2357	.2364	.2371	.2377	.2384	.2391	.2397
.29	.2404	.2410	.2417	.2423	.2430	.2437	.2443	.2450	.2456	.2463
.30	.2469	.2475	.2482	.2488	.2495	.2501	.2508	.2514	.2520	.2527
.31	.2533	.2539	.2546	.2552	.2558	.2565	.2571	.2577	.2583	.2590
.32	.2596	.2602	.2608	.2614	.2621	.2627	.2633	.2639	.2645	.2651
.33	.2657	.2664	.2670	.2676	.2682	.2688	.2694	.2700	.2706	.2712
.34	.2718	.2724	.2730	.2736	.2742	.2748	.2754	.2760	.2766	.2771
.35	.2777	.2783	.2789	.2795	.2801	.2807	.2812	.2818	.2824	.2830
.36	.2835	.2841	.2847	.2853	.2858	.2864	.2870	.2875	.2881	.2887
.37	.2892	.2898	.2904	.2909	.2915	.2920	.2926	.2931	.2937	.2943
.38	.2948	.2954	.2959	.2965	.2970	.2975	.2981	.2986	.2992	.2997
.39	.3003	.3008	.3013	.3019	.3024	.3029	.3035	.3040	.3045	.3051

الجدول (١)

المراجع

المراجع العربية:-

- ١ . هندسة الأساسات تصميم وتنفيذ الأساسات العميقة للأستاذ الدكتور عبد الفتاح القصبي.
- ٢ . هندسة الأسس للأستاذ الدكتور يوسف الشكري.
- ٣ . إنشاء المباني للأستاذ المساعد زهير ساكو والمدرس ارتين ليفون.

المراجع الأجنبية:-

- 1. Building code requirements for structural and commentary (ACI 318 M – 2005).**
- 2. Design of concrete structure by Arthur.H.Nilson,David Darwin and Charles.W.Dolan.**
- 3. Foundation analysis and design by Joseph.E.Bowles.**