الفصل الأول:

الأوتاد في المنشآت البحرية:

أهمية الأوتاد في المنشآت البحرية

كما نعلم ,إن حركة نقل البضائع أو الركاب ,تبدأ باقتراب السفن من المرسى في الميناء.

وغالبا ما تكون هذه المراسي على شكل ألسنة ممتدة على جانبي رصيف يمتد إلى داخل البحر بمسافات قد تصل إلى عدة كيلومترات.

وهذا الرصيف مخدم بحيث تتنقل العربات والقاطرات عليه ,والتي تكون قد أخذت حمولة السفن عبر روافع خاصة مجهزة عند نهايات (أطراف الألسن).

الشكل(1) ويظهر الأطراف الممتدة للرصيف البحري الصناعي ,وهو مجهز بروافع.

ويجدر الإشارة إلى أن المراسي المخصصة من أجل المواد الخام أو البترول .تختلف بشكل كبير عن تركيب وبنية المرافئ التي تنقل البضائع العادية من حيث الأحمال وطريقة التصميم .والتي ترتبط بآلية التفريغ والتحميل (سيور ناقلة ,أنابيب .....) والتي تؤخذ بعين الاعتبار عند التصميم.

ففي حالة ناقلات النفط . حيث أن خزانات النفط تكون بحجوم كبيرة للغاية بحيث أن الاقتراب من المرفأ (مكان الرسو) قد يشكل خطرا عليها بسبب عمق جسم السفينة للأسفل.

وبالتالي فإن استخدام ما يعرف بالمنصات البحرية (dolphin, trestle) مجدي للغاية ,حيث تفرغ السفن أحمالها من البترول عبر أنابيب والتي بدورها تتابع (الأنابيب) نحو المرفأ حيث تكون مستندة على قاع البحر.

وبالطبع فإن مثل هذه المنصات لا يمكن تنفيذها بوساطة الرصف أومبدأ الحواجز المائية بسبب:

العمق الذي تكون عنده وبالتالي صعوبة الردم إلى تلك المستويات العميقة .

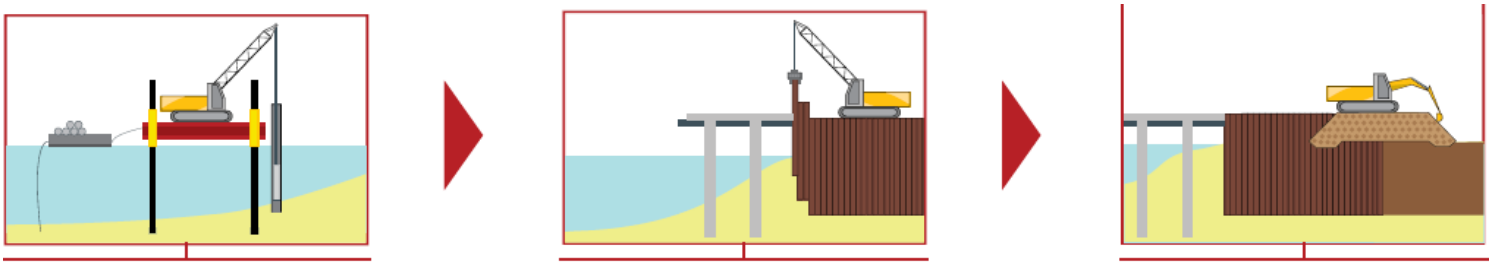
وكما أن أي تقنيات مشابهة سوف تكون باهظة الكلفة.

ومن هنا,فإن أهمية استخدام الأوتاد تبرز بشكل واضح حيث أنها:

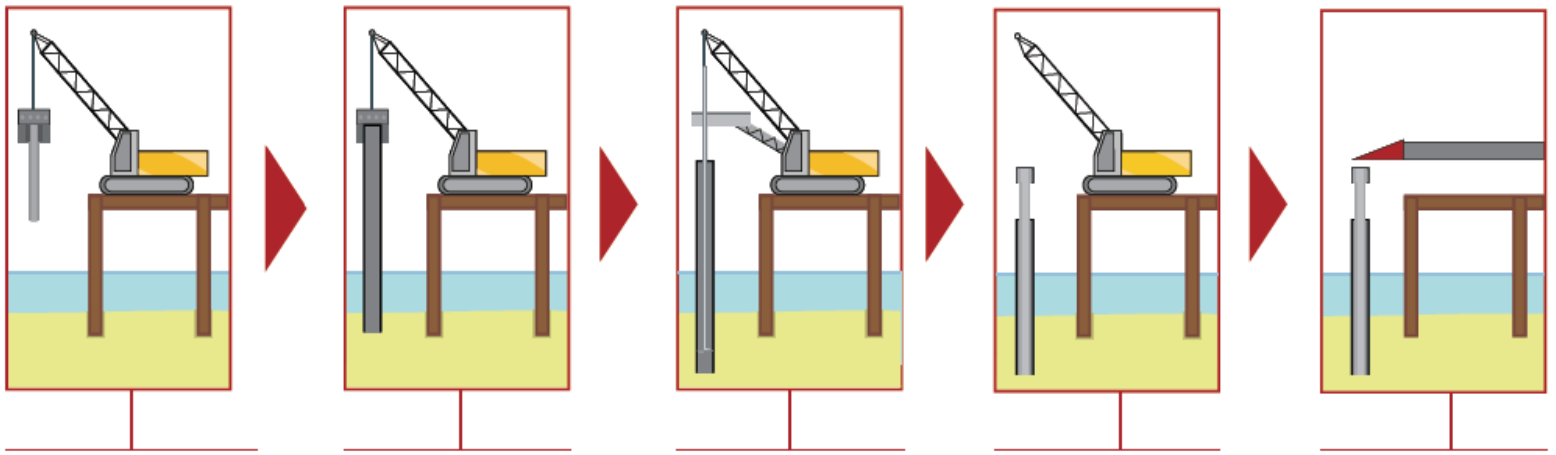
1- أمتن وأكثر مرونة في تحمل ضغوط المياه المتنوعة (أمواج – تيارات –أعاصير).
2- كما وأن التكلفة صغيرة بالمقارنة مع غيرها من الطرق.
3- علاوة على أنها أسهل في التنفيذ إذ يكفي وجود حفارة متنقلة (على جسم طافي) قادرة على تثبيت هذه الأوتاد بالعمق المطلوب.
4- كذلك فإن الأوتاد تمنحك القدرة على صياغة جمل إنشائية فعالة جدا (تقنية الأوتاد المائلة والشدادات) كمل سنرى لاحقا.
5- ولا ننسى الارتفاع الذي تمنحه الأوتاد فوق سطح البحر والذي قد يصل لعشرات الأمتار كما سنرى في الشكل (2).
6- حتى أن الأوتاد نفسها فعالة في إنشاء اللبنة الأساسية للرصف البحري المتقدم كما سنرى في الشكل (3).
7- وإذا تعدينا مجال المرافئ,فإن الأوتاد ومن دون جدل ,الحل الأساسي لركائز الجسور الكبيرة التي تصل مناطق اليابسة مع بعضها كما نرى في الشكل (4).
8- كذلك فإن بعض المنشآت الحساسة كالمطارات ,وخاصة في المناطق ذات الكثافة السكانية الكبيرة , فإن الحل المتمثل بإنشاء مطارات في البحر ,يعتمد بأساسه على تقنية الأوتاد ومن دون نقاش كما حدث في طوكيو .

وطبعا هنالك الكثير من الميادين التي لا يسعنا ذكرها بالإجمال.

الشكل رقم (2) الارتفاعات الكبيرة التي تمنحها الأوتاد.



الشكل رقم (3) مراحل مد رصيف بحري اعتمادا على الأوتاد.



نصب منصة مؤقتة باستخدام أوتاد معدنية أو بيتونية تمهيدا للعمل الأساسي	غرز القميص المعدني في قاع البحر ,باستخدام الرجاجات.	الحفر حتى العمق المطلوب وغالبا ما يتم بمساعدة سائل البينتونايت.	صب بيتون الأوتاد,ثم الأعمدة فوق سطح المياه ,وفي النهاية الركيزة.	إسناد الجسر فوق هذه الركيزة.

الشكل رقم (4) مراحل نصب الأوتاد كركائز للجسور وصورة لجسر منفذ بهذه التقنية في مطار Harbour.

الفصل الثاني :

تصميم الأوتاد في المنشآت البحرية:

2-1:الأحمال التي تتعرض لها (المنصات البحرية):

بشكل عام تتعرض المنصات البحرية إلى الأحمال التالية:

1- أحمال جانبية منقولة أثناء عملية التفريغ (صدم جسم السفينة للمنصة).

2- أحمال جانبية ناتجة عن سحب حبال المرساة.

3- أحمال جانبية بتأثير الأمواج على الأوتاد.

4- قوى ممانعة لحركة التيار المائي تنشئ على كل من الأوتاد والسفن الراسية(المد والجزر).

5- أحمال جانبية ناشئة عن الرياح التي تصدم المنصة والسفن وأي منشأ أخر مرتبط بها وبالتالي ينقل هذا الحمل أيضا للأوتاد.

6- أحمال ضاغطة (شاقولية) ناجمة عن وزن المنصة ووزن أي شيء أخر يستند عليها.

7- قوى ضغط وشد ناجمة عن لا مركزية الأحمال التالية: من(1) وحتى (5).

8- في بعض المناطق من العالم فإن الأوتاد يجب أن تتحمل قوى جانبية ناشئة عن الزلازل

9- وعن صدم الكتل الجليدية للأوتاد.

أولا:

الأحمال الجانبية الناشئة عن صدم جسم السفينة للمنصة:

ويمكن أن يعبر عنها بالعلاقة الشهيرة (كطاقة):

$$\text{kinetic energy } E_k = \frac{m_s V^2}{2g}$$

حيث أن ms: كتلة السفينة مع الماء المزاح معها

V: سرعة الاقتراب m\sec

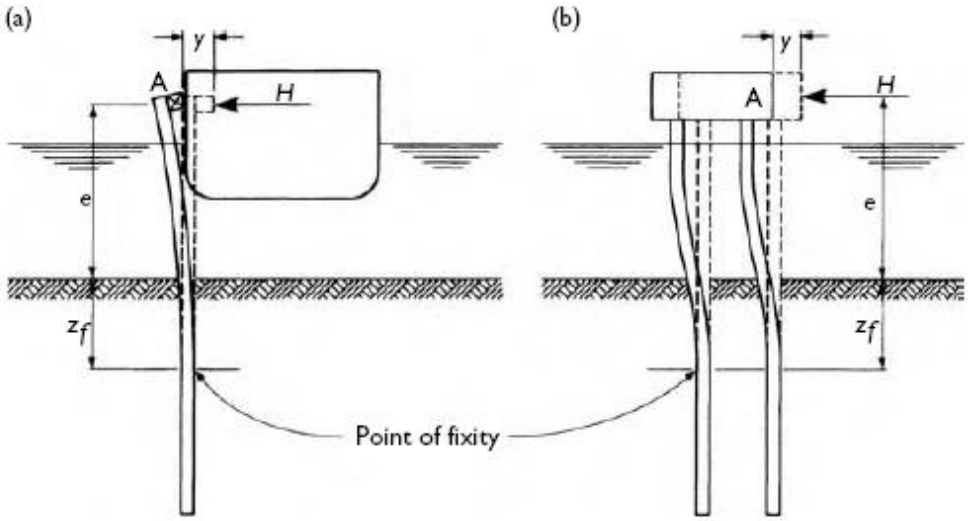
وبافتراض أن هذه القوة الجانبية تنتقل بشكل موازي لخط الرسو ,الأمر الذي يسهل مفهوم انتقال الطاقة من صدم السفن إلى المنصة ومن ثم إلى الأوتاد ,

وباعتبار حالة وتد شاقولي مثبت بوثاقة عند أسفل منسوب قاع البحر(بشكل اعتباري):

وعند تأثير قوة H عند النقطة A كما في الشكل التالي,.فإن الانتقال الحاصل لرؤوس الأوتاد بتأثيرها هو:

$$\text{distance moved } y = \frac{H(e + z_f)^3}{3EI}$$

حيث أن المصطلحات موضحة أدناه في الشكل :



الشكل(5): مقطع شاقولي في منصة يوضح نقطة الوثاقة.

حيث يوضح الشكل السابق انتقال وتد حر ,وانتقال مجموعة أوتاد.

نستطيع حساب العمل المنجز عما سبق كما يلي:

$$\text{work done} = \frac{1}{2} Hy = \frac{H^2(e + z_f)^3}{6EI}$$

حيث أن العزم المؤثر على الوتد : $H(e + z_f)$

وبالتالي يكتب العمل المنجز أو الطاقة المبذولة لأجل حدوث ذاك الانتقال:

$$\text{work done} = \frac{M^2(e + z_f)}{6EI}$$

حيث أن الانتقال الحاصل : $$\text{distance } y \text{ moved point A} = \frac{H(e + z_f)^3}{12EI}$$

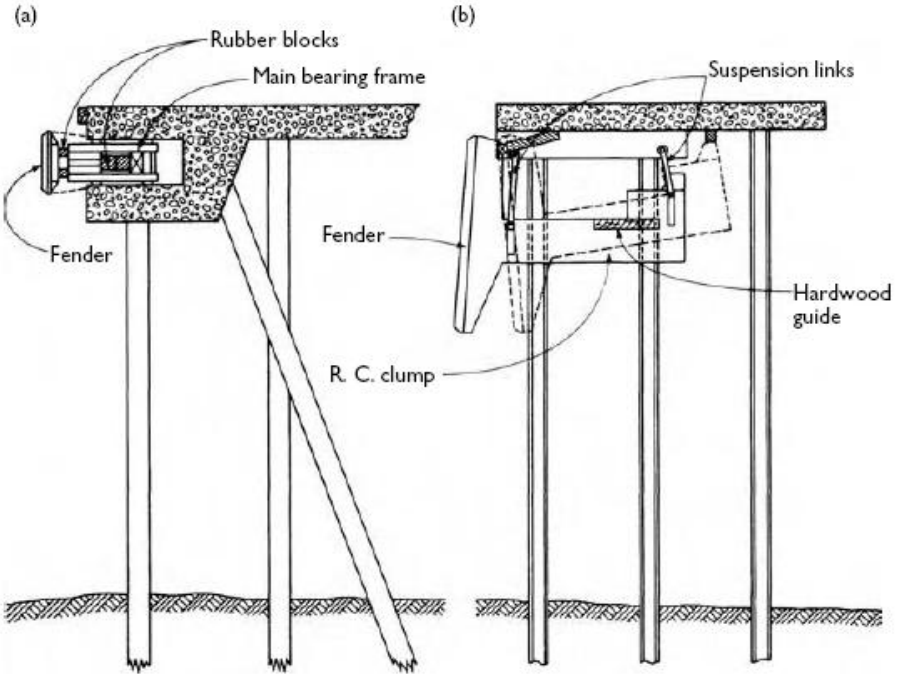
وطبعا يتم انتقال القوى الأفقية جراء صدم أسفل ومقدمة السفينة بالبنية الواقية وهي عبارة عن ماص صدمات سيتولى نقل الحمل الأفقي للمنصة ومنها للأوتاد.

ويظهر الشكل التالي بعض أهم أنواع هذه الماصات :

ونستطيع أن نميز ما يلي:

A: ماصات مزودة بدثائر مطاطية.

B: ماصات ذات كتلة مخمدة ومعلقة .



الشكل (6) يظهر أنواع ماصات الصدمات المرتبطة بالمنصات.

يجدر الملاحظة على أن نمط الأوتاد المقترح للمنصات المعروفة (Dolphin),يتعلق بنوع وشروط تربة الاستناد.

ففي حالة الصخر أو الغضار القاسي أو الترب الحبيبية والتي تعطي مقاومة جيدة للأحمال الجانبية, يمكن الحصول على نقطة الوثاقة المعتبرة عند أعماق قليلة عن قاع البحر.

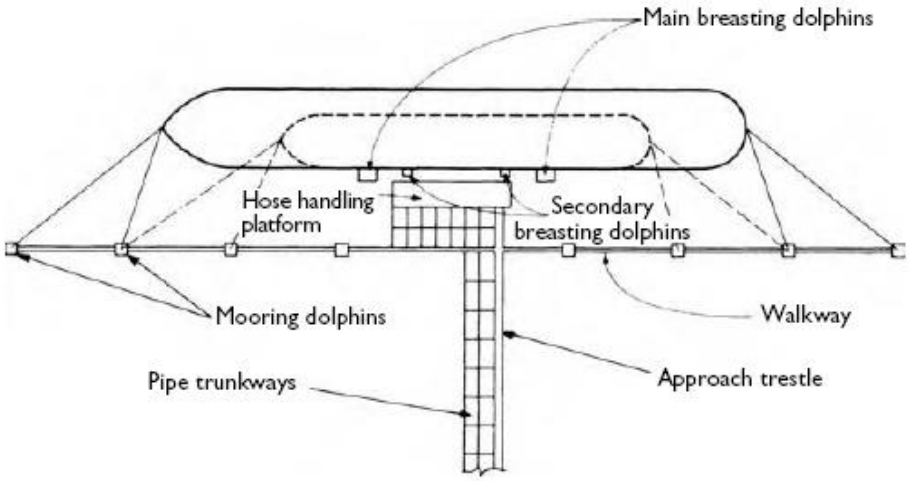
المنصات من نوع (Dolphin) :

غالبا ما تتألف من مجموعة من الأوتاد المعدنية ذات المقطع (الصندوقي أو الدائري) ذات القطر الكبير(1-2m) كما يظهر بالشكل (8) ,ويربط بينها ديافرام أفقي ,يحمل مصدم من الخشب عليه كتل مطاطية على الوجه الأمامي لمجموع الأوتاد.

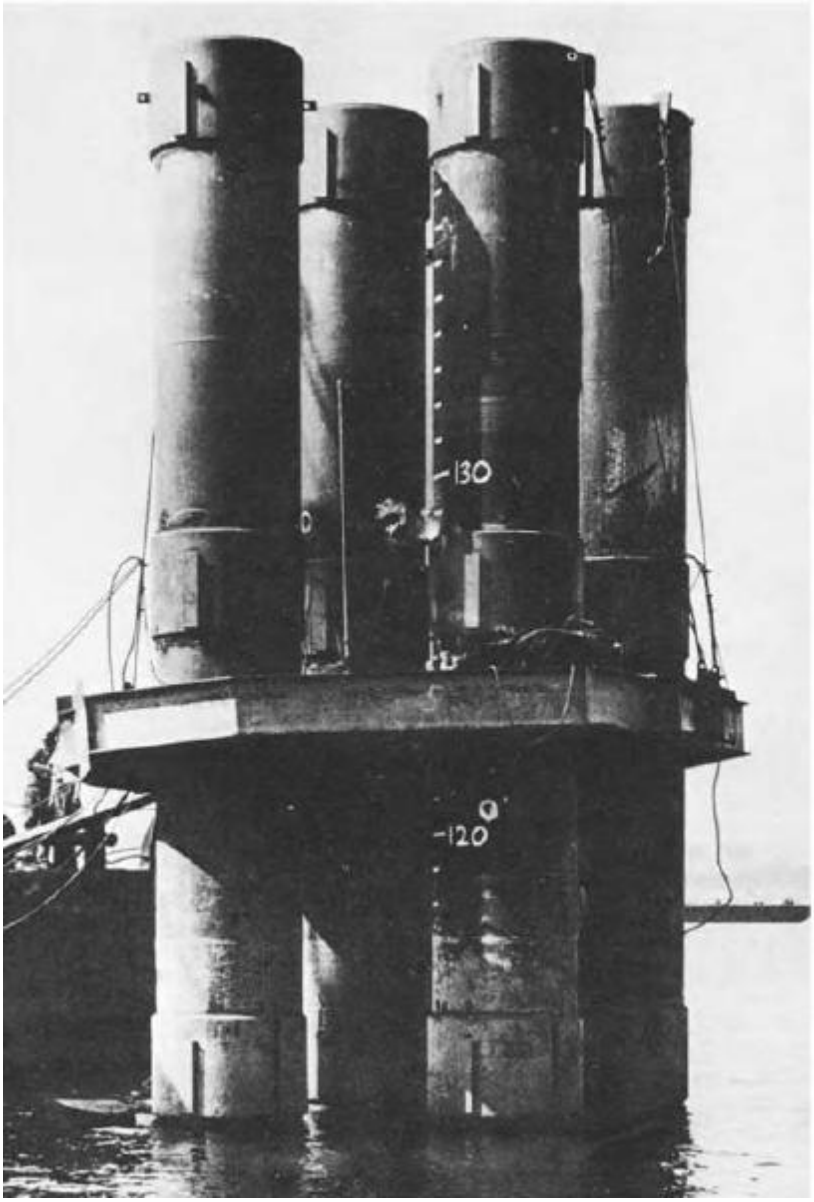
وهذه الكتل المطاطية بدورها ,يجب أن تكون كبيرة كفاية لضمان عدم تهشم الغلاف الخارجي للسفينة جراء هذا الاصطدام.

وطبعا فإن عناصر الربط الأفقي لجسم المنصة غير متصلة بوثاقة مع مجموعة الأوتاد,

الأمر الذي يمكنها (الأوتاد) من التشوه بحرية من الأعلى حتى تمام ضمان الرسو الجيد والصحيح للسفينة.



الشكل (7) يظهر مسقط لمكان تفريغ أحمال ناقلات النفط ,حيث يظهر الشكل نظام توزع المنصات وارتباطها مع بعضها ومع المنصة الأساسية (TRESTLE) وتخطيط أنابيب نقل البترول.

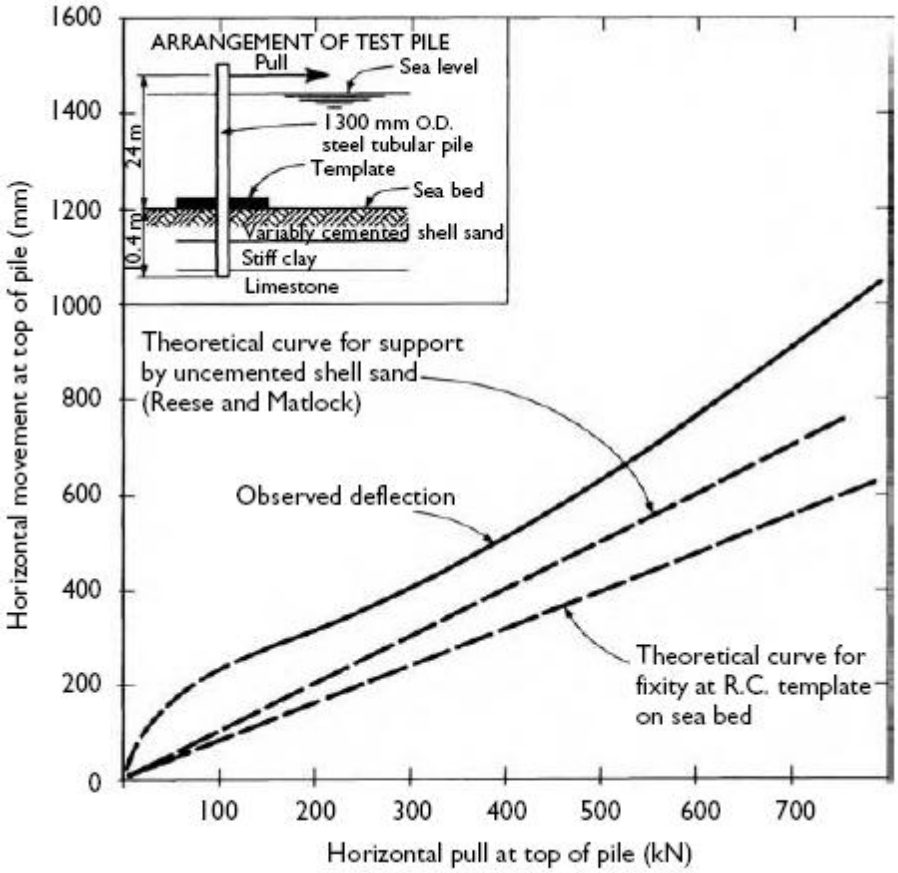


الشكل (8) منصة من نوع (dolphin), لاحظ أقطار الأوتاد الكبيرة.

أجرى العالم Broadhead تجربة دفع منصة بحمل أفقي متزايد ومراقبة التشوهات الحاصلة (تسجيل قيمها), كان الهدف منها إثبات أن مقاومة القوى الجانبية للصخور الضعيفة تحت قاع البحر لن يتخطاها تطبيق أحمال واقعية (ناشئة عن العمل).

تمت التجربة على وتد معدني مفرغ بقطر 1300 mmمن الأسفل ,نقطة تطبيق القوة على ارتفاع 24 متر من قاع البحر, حيث أن نقطة قياس التشوهات على بعد 22,4 متر من قاع البحر.

حيث يظهر المخطط التالي العلاقة بين التشوهات والقوى الجانبية , ومقارنة مع المنحني النظري (باعتبار وثاقة عند منسوب قاع البحر), ومنحني ناتج عن التحليل المرن لسلوك الوتد حسب Reese and Matlock[11]



الشكل (9) جدول يبين المنحنيات للعلاقة بين التشوه والقوة المطبقة أعلى الوتد .

ثانيا: الأحمال الجانبية الناشئة عن سحب حبل المرساة:

في الحقيقة لا يمكن بسهولة تحديد قيمة هذه القوة إذ, تتعلق بميل الزاوية وشدة الارتخاء لحبل المرساة, وبصورة رئيسية فإن المنصات المجهزة للرسو تكون مصممة بحيث تكون صلبة بقدر كافي لتجنب التشوه بأثر شد الحبال.

وعمليا فإن السفن نفسها تحوي مراسي لها تساعدها على التثبت أيضا.

ثالثا : الأحمال الجانبية الناشئة عن قوى الأمواج:

غالبا ما تصمم مراسي السفن في مناطق محمية من أضرار الأعاصير والأمواج.

وبالتالي فإن القوى الناجمة عن الأمواج أقل من تلك الناجمة عن صدم جسم السفينة,أو حتى قوى الشد الناجمة عن حبال الربط ,وغالبا ما تؤجل أعمال الرسو وتفريغ الأحمال عند ما يكون البحر هائجا.

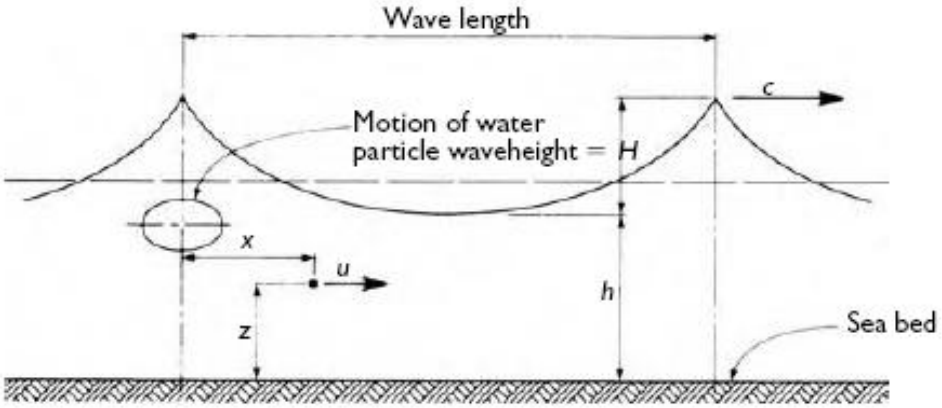
وبالتالي فإن تصميم الأوتاد المرتبطة بهذه المراسي أو حتى بالمنصات الملحقة بها والمقامة في أماكن محمية من أثر الأمواج, تهمل دراسة أثر الأمواج عليها.

أما في حالة المنصات الموجودة في أعماق كبيرة أو الموجودة في الجزر والغير محمية كما في كثير من الشواطئ,

فإن أثر الأمواج لا يمكن إهماله.

وفي محاولة لفهم أثر الأمواج وكيفية دراستها,فيمكن التعبير عن أعظم قوة تسببها الأمواج كقوة استاتيكية مكافئة ناجمة عن موجة واحدة .

ويظهر الشكل (10) هذا المفهوم.



الشكل (10) الأمواج المتكسرة(breaking wave) ,وأهم العوامل المعتمدة عند إيجاد قيمة القوة المكافئة.

غالبا ما تكون الأمواج لها شكل ذو طبيعة اهتزازية في الأغلب ,

وتظهر الجدول التالي (11), قيم العوامل المتعلقة بحساب القوة المكافئة للأمواج المتكسرة فقط كما يظهر بالشكل السابق.

ولابد من الإشارة إلى قوى ممانعة العطالة المطبقة على المنشأ والتي تبذل من قبل جزيئات الماء والتي تتحرك بشكل بيضاوي حسب العلماء:

Wiegel *et al.*[8.3], Reid and Bretschneider[8.4], Dailey and Stephen[8.5] and Bretschneider[8.6]

من الممكن حساب سرعة الأمواج (U) بسهولة.

بأخذ إحداثيات من قمة الموجة (بالنسبة للإحداثي x),ومن قاع البحر بالنسبة للإحداثي (y) .

إن سرعة جزيئات الماء يمكن أن تنسب لسرعة دفع ذروة الموجة أو ما يدعى ب (سرعة انسيابية الموجة) ورمزها C.

وغالبا ما يعبر عنها بالمتحولات التالية والتي تدخل في المعادلة الأساسية لحساب القوة المكافئة:

$(u/c)^2$ and $1/g \times du/dt$

والتي ترتبط مع النسب المختلفة ل Z , Y على H

حيث أن H:ارتفاع قعر الموجة (بطن الموجة) عن قاع البحر.

إن نظرية الموجة الواحدة محدودة التطبيق ,نظرا لارتباطها بمجال من الشروط محددة أوليا بالنسبة (دور الموجة / عمق الماء).

وبما أن النظرية صالحة للأمواج المتكسرة فقط ,فإننا نأخذ أكبر قيمة للقوة ممكن حدوثها.

وغالبا ما تكون الأمواج المتكسرة نادرة الحدوث في بعض الحالات كحالة الأعماق الكبيرة والخزانات الكبيرة أيضا.

وبالتالي يحبذ استخدامها في المياه قليلة العمق , وفي المراسي المعرضة للأمواج .

مثال على ذلك:

على طول خط منشأة الاقتراب لمرفأ عميق المياه.

إن قيم هذه القوة عند حالة المياه العميقة تتجاوز القيم المنطقية.

وعلى أية حال فإن المعادلتين التاليتين مع الجداول والمخططات المرافقة -والتي سنأتي على ذكرها لاحقا- كفيلة بحل جميع الحالات مع الانتباه إلى أن العزم الناشئ في الوتد بتأثير قوة الموجة وقوة الصدم الأفقي وقوى الرياح ,وما لم يتجاوز قيم زائدة عن المنطق ,فإن المعادلة عندها تحتاج فقط لقليل من التهذيب بالرغم من استخدامها لحالات مثل المياه العميقة كما أشرنا سابقا.

يشمل هذا التهذيب ,مراعاة تأكل أقطار الأوتاد , والإجهادات المتبقية والناجمة عن عملية الغرز,

وعلاقة أبعاد الموجة مع المياه.

وبصورة أخرى تحتاج هذه المعادلات إلى أبحاث علمية داعمة ومؤكدة لها ,ولمزيد من المعلومات

{راجع مطبوعات الجيش الأمريكي للمنشآت البحرية والشاطئية}.

بصورة عامة وحسب معادلة Morison

فإن قوة تأثير الموجة تتألف من مجموع قوى العطالة والممانعة المبذولة من الموجة.

$$f = f_D + f_I = C_D \frac{wu^2}{2g} + C_M \frac{w\pi D}{g\ 4} \cdot \frac{du}{dt}$$

حيث أن :

FD: قوة الممانعة لدفع الموجة على واحدة السطوح DRAG .

FI: قوة العطالة على واحدة السطوح.

CD: معامل المقاومة لدفع الموجة.

W:كثافة الماء.

U: سرعة جزيئات الماء الأفقية.

CM: معامل قوة العطالة.

D: قطر الوتد الدائري.

du/dt : تسارع الحركة الأفقية لجزيئات الماء.

سهل العالم نيو مارك من المعادلة السابقة ,بحيث أعتبر أن الواحدات Lb-ft-sec,وأن الوزن الحجمي للماء: $64\ \text{lb/ft}^3$

وتسارع الجاذبية الأرضي: $32.2\ \text{ft/sec}$

$$f = f_D + f_I = \left[50 C_D h \left(\frac{u}{c} \right)^2 + 50 C_M D \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{du}{dt} \right] \text{lb/ft}^2$$

وفي الواحدات العالمية:

$$f = \left[7.8 C_D h \left(\frac{u}{c} \right)^2 + 8 C_M D \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{du}{dt} \right] \text{kN/m}^2$$

قيم هذه العوامل مع العمق(كنسبة) في الجدول التالي:

Table 8.1 Surface elevations, velocities, and accelerations for solitary breaking wave

Distance from crest x/h	Surface elevation z_s/h	Values of $(u/c)^2$					Values of $1/g \cdot (du/dt)$				
		At surface	At $z = h$	At bottom	Average value	Height to centroid	At surface	At $z = h$	At bottom	Average value	Height to centroid
0	1.78	1.000	0.176	0.109	0.226	1.19	0	0	0	0	
0.2	1.67	0.430	0.170	0.106	0.181	1.03	0.242	0.073	0.031	0.081	1.14
0.4	1.57	0.276	0.156	0.099	0.150	0.92	0.347	0.137	0.060	0.133	1.02
0.6	1.48	0.201	0.133	0.092	0.123	0.83	0.380	0.184	0.087	0.164	0.93
0.8	1.41	0.138	0.106	0.078	0.097	0.80	0.357	0.214	0.110	0.180	0.88
1.0	1.35	0.092	0.082	0.070	0.077	0.70	0.321	0.225	0.127	0.186	0.78
1.2	1.29	0.062	0.063	0.058	0.061	0.65	0.280	0.225	0.140	0.187	0.73
1.4	1.25	0.041	0.046	0.048	0.047	0.61	0.243	0.209	0.146	0.182	0.68
1.6	1.21	0.029	0.032	0.038	0.035	0.59	0.209	0.192	0.148	0.173	0.65
1.8	1.18	0.020	0.023	0.029	0.027	0.56	0.174	0.171	0.145	0.159	0.62
2.2	1.13	0.009	0.011	0.018	0.014	0.50	0.122	0.128	0.130	0.130	0.57
2.6	1.08	0.004	0.005	0.009	0.007	0.50	0.088	0.091	0.109	0.102	0.53
3.0	1.05	0.002	0.002	0.004	0.003	0.50	0.065	0.067	0.084	0.078	0.51
3.4	1.03	0.001	0.001	0.002	0.002	0.50	0.049	0.049	0.062	0.058	0.50
5.0	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.50	0.012	0.012	0.017	0.016	0.50

الشكل(11) جدول بقيم عوامل إيجاد قوة الأمواج.

رابعا: قوى ممانعة حركة التيار الدائمة :

والتي تنجم عن المد الجزر بصورة أساسية.

لابد من وجود منحني يوضح تغير السرع مع العمق ,حيث تحسب هذه القوة لكل جزء من الأوتاد .

وتعطى بالعلاقة:

$$F_D = 0.5 C_D \rho V^2 A_n$$

حيث أن An المساحة المتعرضة للتيار عند مجال سرعة محدد (مقسم مسبقا).

C_D: معامل قوة الجريان (لا بعدي –زمني) معامل نيو مارك

وغالبا ما تكون قيمة المعامل المذكور من 0.4_0.6 للسطوح الخشنة والمقاطع الإسطوانية وهذا ما يكافئ عدد رينولدز مابين:10^5 -10^6

حيث أن هذا العامل يتعلق بعدد رينولدز.

ولابد من الانتباه عند التصميم من حادثة الطنين إذ تعرف السرعة $V_{critical}$ بالعلاقة:

$$V_{crit} = Kf_N W_s$$

K:ثابت من المرجع P[412] ومن أجل استجابة عظمى لوضع مواجه لحركة التيار=5.5

WS: قطر الإسطوانة (الوتد) بالمتر.

f_N: التردد الطبيعي للوتد SEC

$$f_N = \frac{K'}{L^2}\sqrt{\frac{EI}{M}}$$

خامسا: قوى ناتجة عن أثر الرياح:

تعطى بالعلاقة:

$$F = 0.00256V^2C_DA$$

حيث F بالباوند.

V: سرعة الرياح M.P.H ميل بالساعة.

CD: معامل العطالة.

A: مساحة السطح المعترض. بالقدم المربع.

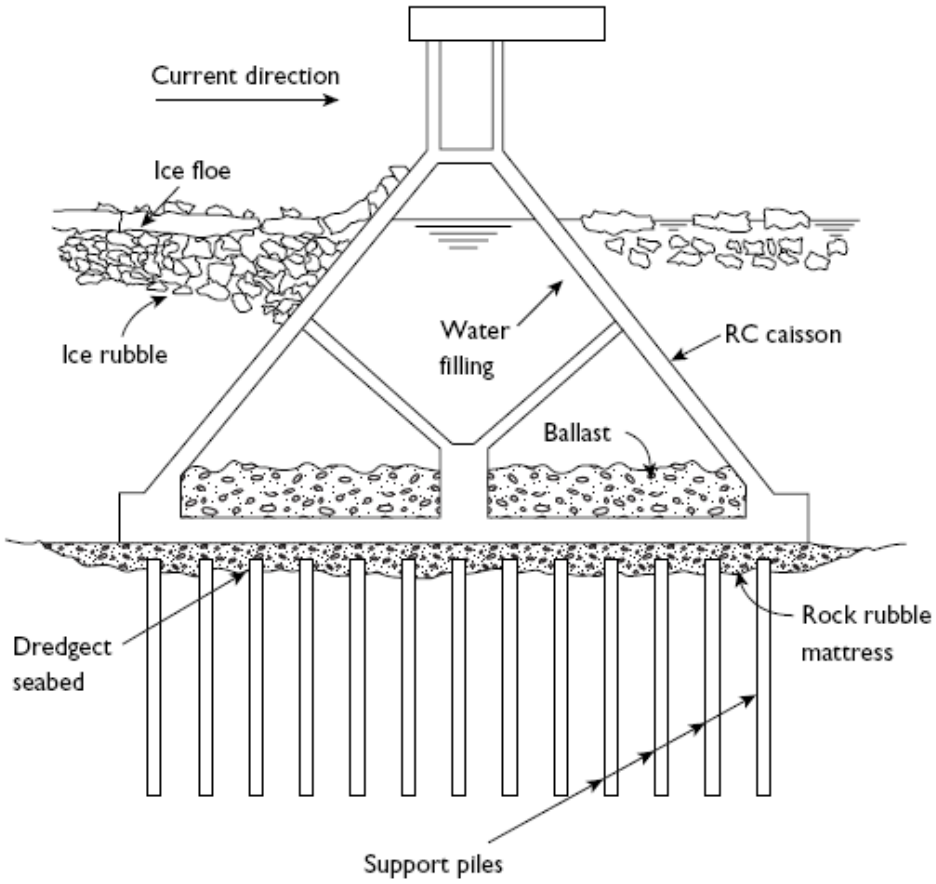
سادسا: القوى الناجمة عن صدم الكتل الجليدية:

تشابه إلى حد ما القوى الناجمة عن صدم جسم السفينة للمنصات.

وقد تصل سماكتها فوق الماء فقط إلى أكثر من 3 أمتار.

ويجب عدم الاستهانة بها نهائيا وخاصة في المناطق التي يحتمل وصول كتل جليدية قطبية إليها.

وغالبا ما تصمم منشآت خاصة لمثل هذه الحالات كما في الشكل التالي:



الشكل (12) منشأة مخروطية لمقاومة دفع الكتل الجليدية.

مسائل محلولة:

الأوتاد المستخدمة في المنشآت البحرية:

مثال(1):

منشأة بحرية (dolphin) مكونة من التقاء أربعة أوتاد بيتونية مسلحة mm350*350

والتي بدورها تخترق قاع البحر عبر طبقتين من الغضار:

الأولى: غضار ناعم بسماكة m 2.5

الثانية: غضار قاسي m 6.5

أوجد الطاقة الحركية التي تستطيع هذه الأوتاد امتصاصها ,وذلك على فرض أن ارتفاع نقطة الصدم (صدم جسم السفينة للمنشأ) ترتفع m 8عن قاع البحر,بحيث تصل الأوتاد إلى حد الخضوع .

ملاحظة:

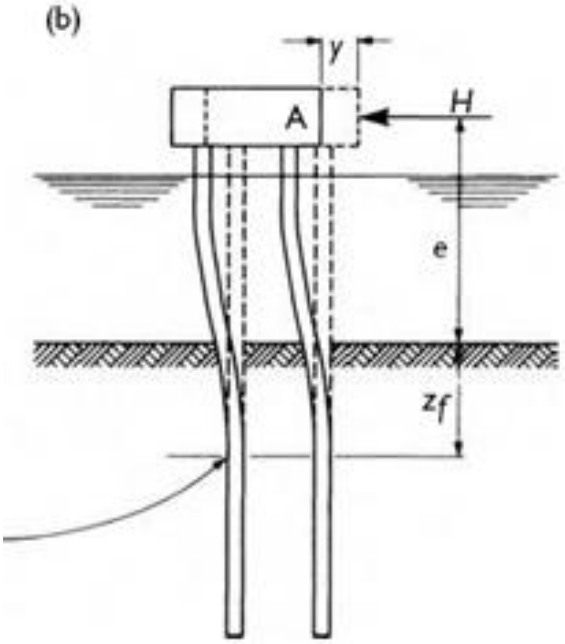
يمكن اعتبار الأوتاد موثوقة عند سطح طبقة الغضار القاسي ,علما أن عزم المقاومة الحدي لكل وتد kn.m 125

الحل:

لابد من البداية بالتعريف بما يلي:

في حالة اعتبار الأوتاد موثوقة عند سطح الطبقة القاسية فيكون الانتقال الحاصل في المنشأ

وكما في علاقات ميكانيك الإنشاءات



حيث:

$$\text{distance moved } y = \frac{H(e + z_f)^3}{3EI}$$

وبالتالي فإن العمل المنجز هو:

$$\text{work done} = \frac{1}{2}Hy = \frac{H^2(e+z_f)^3}{6EI}$$

$$\text{work done} = \frac{M^2(e+z_f)}{6EI}$$

الأن نعوض في المعادلة الأخيرة حيث أن كل وتد سوف يصل للحالة الحدية كما رأينا:

$$\boxed{\text{W}} = \frac{4 \times 125^2(8+2.5)}{6 \times 26 \times 10^6 \times 0.0833 \times 0.35^4} = 3.37 \text{ kJ}$$

مثال(2):

يظهر الشكل التالي منصة اقتراب للسفن .

وهذه المنصة تقع على يمين تأثير الرياح والأمواج المتلاطمة (أي تأتيها من اليسار إلى اليمين)

يظهر في الشكل المجاور مخطط توزع سرع التيار المائي مع العمق.

وحيث أن المنصة بالمجمل تقاوم ضغطا للرياح يعادل kn25 على منسوب 8.5 متر كمحصلة للضغوط على السطح المستعرض لها.

الارتفاع الأعظمي للموجة (قمّتها) m 3.0

أوجد توزع القوى مع العمق والناجم عن كل من التيار المائي وأثر الأمواج.

واحسب العزوم المتولدة عن هذه القوى

(كل المناسيب مرتبطة بالمحور 0.00)

باقي المعطيات من الشكل المرافق

الحل:

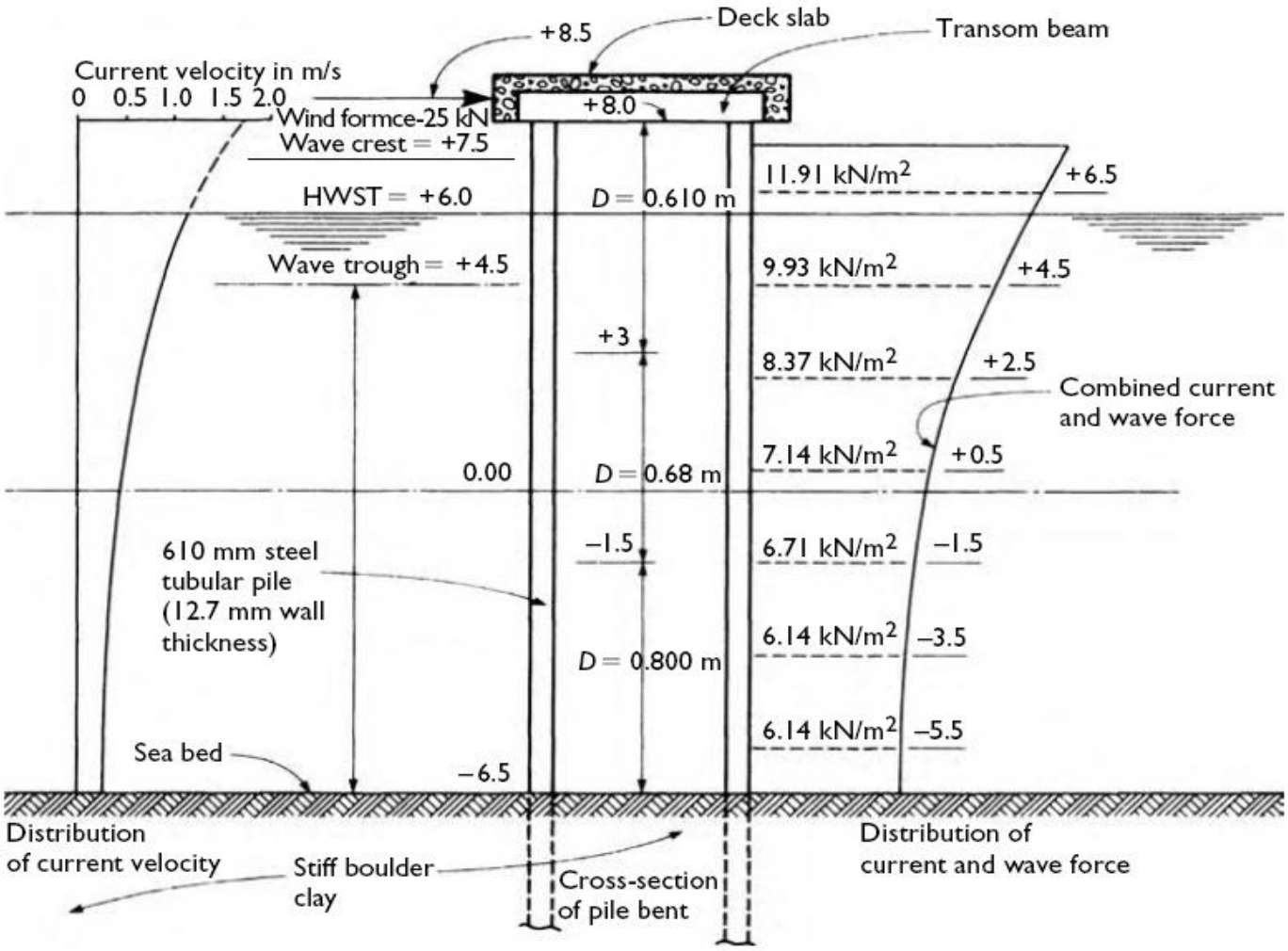
إن القوى الأفقية الأعظمية التي ستؤثر على الأوتاد والناتجة عن تراكب أثر الأمواج والتيار وفق منسوب m6.0

وفي هذه المرحلة من المد ستؤثر العاصفة بموجة ذات قمة تصل إلى m7.5

وكما نرى فإن منسوب أسفل الجائز الرابط بين الأوتاد (في المقطع العرضي) هو m8.0

أي أن أثر قوة الرياح من المنسوب 8.0 وحتى m 7.5 سوف يهمل لصغره أمام أثر الأمواج والتيار.

نقسم طول الوتد إلى جزأين كما رأينا.


Current velocity in m/s
0 0.5 1.0 1.5 2.0
+8.5
Deck slab
Transom beam
+8.0
Wind formce-25 kN
Wave crest = +7.5
HWST = +6.0
D = 0.610 m
11.91 kN/m2
+6.5
Wave trough = +4.5
9.93 kN/m2
+4.5
+3
8.37 kN/m2
+2.5
Combined current
and wave force
7.14 kN/m2
+0.5
0.00
D = 0.68 m
610 mm steel
tubular pile
(12.7 mm wall
thickness)
−1.5
6.71 kN/m2
−1.5
6.14 kN/m2
−3.5
D = 0.800 m
6.14 kN/m2
−5.5
Sea bed
−6.5
Distribution
of current velocity
Stiff boulder
clay
Cross-section
of pile bent
Distribution of
current and wave force

إن قطر الوتد المعدني يتغير مع العمق :

From +7.5 to +3.0 m: no increase of diameter (i.e. $D = 0.61$ m)
From +3.0 to −1.5 m: increase of 70 mm ($D = 0.68$ m)
From −1.5 m to sea bed: increase of 190 mm ($D = 0.80$ m)

لابد في البداية بالتعريف بالقوى التي تؤثر على المنشات البحرية والمتمثلة ب:

1-قوى ناجمة عن التيار المائي:

وتعطى بالعلاقة:

$$F_D = 0.5 C_D \rho V^2 A_n$$

حيث أن:

C_D: معامل قوة الجريان (لا بعدي –زمني) معامل نيو مارك

ρ :كثافة الماء (tonne/m^3)

V : سرعة التيار المائي (m/sec)

A_n :المساحة المواجهة للتدفق (طول جزء الوتد *قطره)

$$F_D = 0.5 \times 0.5 \times \rho \times V^2 \times A_n = 0.25 V^2 A_n \,\text{kN} \quad (\text{for } \rho = 1\ \text{mg/m}^3)$$

2-قوة ناجمة عن الأمواج:

تعطى بالعلاقة:

$$f = \left[7.8 C_D h \left(\frac{u}{c} \right)^2 + 8 C_M D \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{du}{dt} \right] \text{kN/m}^2$$

حيث أن:

H: ارتفاع بطن الموجة عن قاع البحر M وفي حالتنا M 11 من الشكل.

D:قطر الوتد

C_M:معامل قوى العطالة يؤخذ من الجدول (8-2) ويتعلق باتجاه الجريان وشكل المقطع.

(u/c) : عامل يتعلق بسرعة جريان الماء مقسومة على سرعة الموجة ويؤخذ من الجدول(8-1)

$\frac{1}{g}\cdot\frac{du}{dt}$: عامل يمثل التسارع النسبي لحركة المياه

بالتعويض:

وباعتماد: $C_{D=}$ 0.5 , $C_{M=}$ 2

$$f = 7.8 \times 0.5 \times 11(u/c)^2 + 8 \times 2 \times D\left(\frac{1}{g}\cdot\frac{du}{dt}\right) = 42.9(u/c)^2 + 16D\left(\frac{1}{g}\cdot\frac{du}{dt}\right)$$

هذه القيمة f تتغير بتغير القطر والعمق والسرعة (ضغط المياه)

ويوضح الجدول اللاحق(8-4) القيم المحسوبة لقوى التيار والأمواج .

وعزم الانحناء ظاهر في نفس الجدول ويبلغ أعظم قيمة له عند نقطة الوثاقة

وقد افترضت أسفل قاع البحر ب 1.5 m.ضمن الغضار القاسي,

العزم الناشئ عن قوى الرياح:

$$\mathbf{M} \quad = \tfrac{1}{2} \times 25 \times (15.0 + 1.5) = 206.25 \text{ kN m}$$

فيكون العزم الكلي عند نقطة الوثاقة المعتبرة على كل وتد:

$$\text{Total bending moment} = 896.82 \text{ kNm/pile.}$$

$$\pi(0.6100^4 - 0.5846^4)/64 = 1.063 \times 10^{-3}\text{m}^4.$$

عزم عطالة مقطع الوتد:

ومنه نحسب الإجهادات الفعلية عند أخطر مقطع:

$$\sigma = \frac{896.82 \times 0.305}{1.063 \times 10^{-3} \times 10^{3}} = 257 \text{ MN/m}^2.$$

ولا ننسى إضافة الإجهادات الناشئة عن وزن المنصة مع الوزن الذاتي للوتد ,وهذا يفيد في تحديد مطواعية الوتد لتحمل الأحمال ذات الطبيعة الديناميكية الدورية (الأمواج).

وبما أن الوتد يحوي مياه داخله يصبح الوزن الموزع لكل متر له:

$$M = 187 + (2 \times \tfrac{1}{4}\pi \times 0.61^2 \times 1\,000) = 771.5 \text{ kg/m}$$

وبما أن الوتد غير مدعم وهو فقط يستند على قاع البحر ومن المعادلة (13-8)

التي تعطي التردد الطبيعي :

$$f_N = \frac{K'}{L^2}\sqrt{\frac{EI}{M}}$$

حيث أن:

K: ثابت يتعلق بشروط الاستناد

L: طول الوتد.

M: كتلة الوتد لكل 1 متر.

$$f_N = \frac{0.56}{14^2}\sqrt{\frac{200 \times 10^9 \times 1.063 \times 10^{-3}}{771.5}} = 1.50 \text{ Hz}$$

ومن المعادلة (8-12) تحدد السرعة الحرجة للأمواج والتي ينبغي ألا تصل إليها الأمواج حتى لا تتسبب بحدوث الطنين:

$$V_{\text{crit}} = Kf_{\text{N}} W_{\text{s}}$$

K:ثابت من المرجع P[412]

WS: قطر الاسطوانة (الوتد) بالمتر.

V_{crit} M/sec 5= 0.61*1.5*5.5=

Table 8.1 Surface elevations, velocities, and accelerations for solitary breaking wave

Distance from crest x/h	*Surface elevation z_s/h*	*Values of $(u/c)^2$*					*Values of $1/g \cdot (du/dt)$*				
		At surface	*At $z = h$*	*At bottom*	*Average value*	*Height to centroid*	*At surface*	*At $z = h$*	*At bottom*	*Average value*	*Height to centroid*
0	1.78	1.000	0.176	0.109	0.226	1.19	0	0	0	0	
0.2	1.67	0.430	0.170	0.106	0.181	1.03	0.242	0.073	0.031	0.081	1.14
0.4	1.57	0.276	0.156	0.099	0.150	0.92	0.347	0.137	0.060	0.133	1.02
0.6	1.48	0.201	0.133	0.092	0.123	0.83	0.380	0.184	0.087	0.164	0.93
0.8	1.41	0.138	0.106	0.078	0.097	0.80	0.357	0.214	0.110	0.180	0.88
1.0	1.35	0.092	0.082	0.070	0.077	0.70	0.321	0.225	0.127	0.186	0.78
1.2	1.29	0.062	0.063	0.058	0.061	0.65	0.280	0.225	0.140	0.187	0.73
1.4	1.25	0.041	0.046	0.048	0.047	0.61	0.243	0.209	0.146	0.182	0.68
1.6	1.21	0.029	0.032	0.038	0.035	0.59	0.209	0.192	0.148	0.173	0.65
1.8	1.18	0.020	0.023	0.029	0.027	0.56	0.174	0.171	0.145	0.159	0.62
2.2	1.13	0.009	0.011	0.018	0.014	0.50	0.122	0.128	0.130	0.130	0.57
2.6	1.08	0.004	0.005	0.009	0.007	0.50	0.088	0.091	0.109	0.102	0.53
3.0	1.05	0.002	0.002	0.004	0.003	0.50	0.065	0.067	0.084	0.078	0.51
3.4	1.03	0.001	0.001	0.002	0.002	0.50	0.049	0.049	0.062	0.058	0.50
5.0	1.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.50	0.012	0.012	0.017	0.016	0.50

Table 8.2 Drag force and inertia coefficients for square section piles

Flow direction	*Figure no.*	C_D	C_L
Perpendicular to face	8.13a	2.0	2.5
Against corner, in direction of diagonal	8.13b	1.6	2.2
Perpendicular to face, rounded corner, $r/y_s = 0.17$	8.13c	0.6	2.5
Perpendicular to face, rounded corner, $r/y_s = 0.33$	8.13c	0.5	2.5

Table 8.4 Calculations for current and wave forces in Example 8.3

Elevation (m) (CD)	Average height above sea bed (m)	Pile diameter (m)	Current		$\frac{z}{h}$	Wave drag		Wave inertia		Total force (kN/m^2)	Horizontal load on element (kN)	Bending moment (kNm)
			Velocity (m/s)	Force (kN/m^2)		$(u/C)^2$	Force (kN/m^2)	$\frac{1}{g}\cdot\frac{du}{dt}$	Force (kN/m^2)			
+7.5 – +5.5	13	0.610	1.2	0.36	1.18	0.21	9.01	0.26	2.54	11.91	14.53	×14.5 = 210.69
+5.5 – +3.5	11	0.610	0.8	0.16	1.00	0.18	7.72	0.21	2.05	9.93	12.15	×12.5 = 151.87
+3.5 – +1.5	9	0.680	0.6	0.09	0.82	0.15	6.43	0.17	1.85	8.37	11.38	×10.5 = 119.49
+1.5 – −0.5	7	0.680	0.4	0.04	0.64	0.13	5.58	0.14	1.52	7.14	9.71	×8.5 = 82.53
−0.5 – −2.5	5	0.680	0.3	0.02	0.45	0.12	5.15	0.12	1.31	6.48	8.81	×6.5 = 57.25
−2.5 – −4.5	3	0.800	0.25	0.01	0.27	0.11	4.72	0.11	1.41	6.14	9.82	×4.5 = 44.19
−4.5 – −6.5	1	0.800	0.25	0.01	0.09	0.11	4.72	0.11	1.41	6.14	9.82	×2.5 = 24.55

Maximum bending moment (at −6.5 m) in kN m = 690.57

الأوتاد في المنشآت البحرية

الجدول(8-4):

الفصل الثالث:

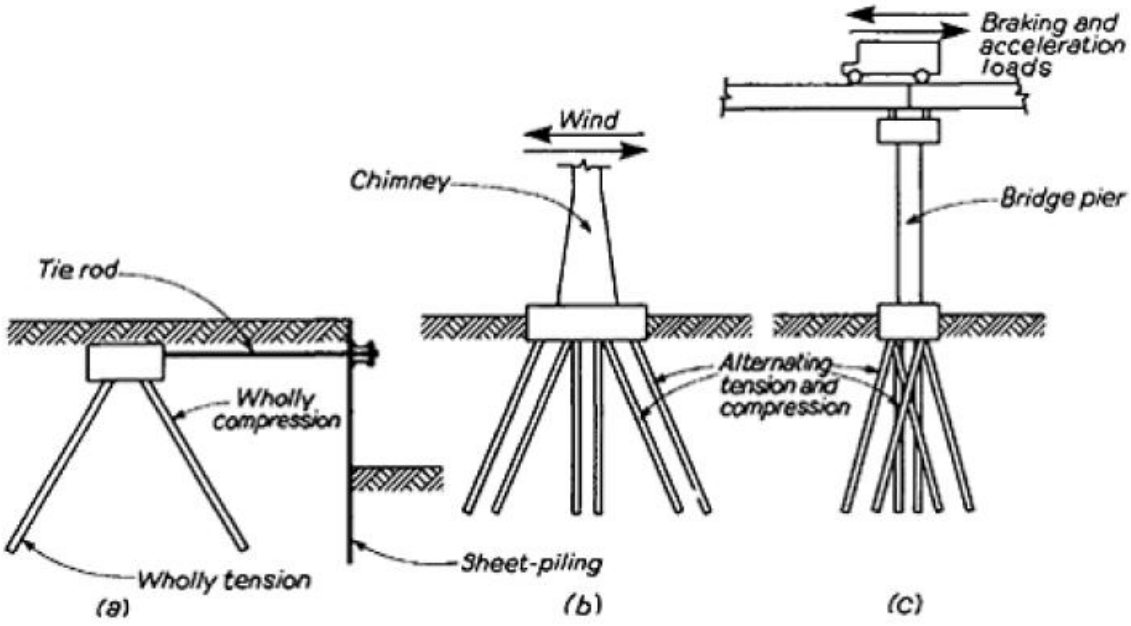
الأوتاد المائلة واستخداماتها في المنشآت البحرية

تعتبر الأوتاد المائلة من أهم التقنيات الحديثة في علم الأوتاد .

إذ إن محصلة القوى الأفقية والشاقولية تكافئ بحمل مائل كما في كثير من المنشآت :

1- أوتاد لمقاومة أحمال الرياح (مدخنة). الحالة(b)
2- أوتاد لمقاومة قوى الصدم الأفقي كما في حالة الجسور.(c)
3- أوتاد لتدعيم عمل الصفائح الوتدية أو الجدران الإستنادية (a)
4- الأوتاد المائلة المستخدمة في مقاومة قوى الرفع في بعض المنشآت البحرية (dolphin)

كما توضح الأشكال التالية:



الشكل (13) الأوتاد المائلة ومجال استخدامها.

وتعتبر حالة المنصة البحرية أحد أهم الأمثلة على استخدام الأوتاد من ناحيتين:

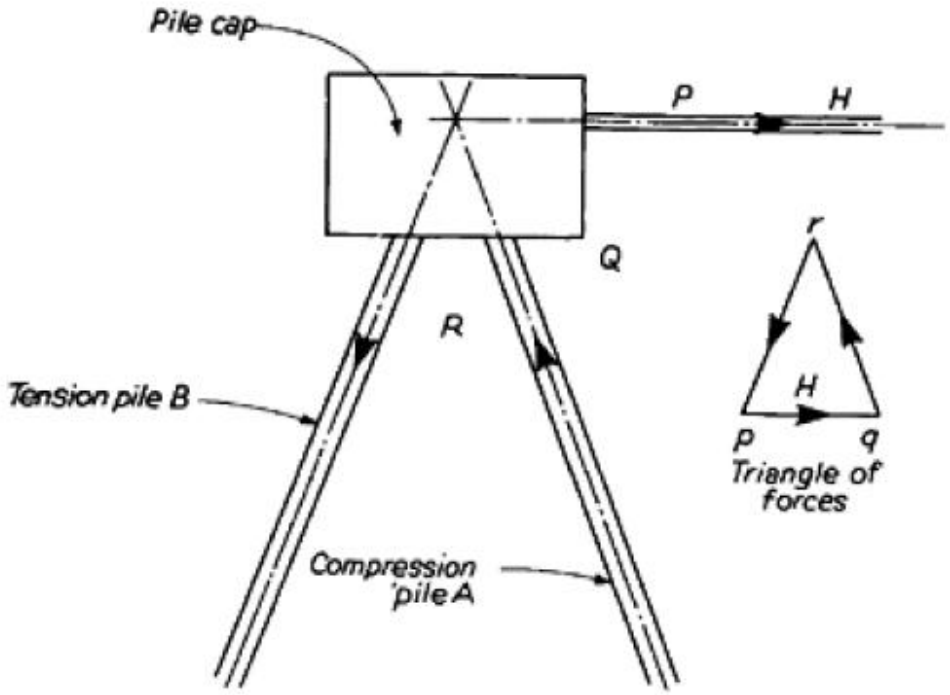
في استخدامها على الضغط , وعلى الشد أيضا.

حيث كان يعتقد في بداية الأمر أن زيادة الأحمال الشاقولية (القوى الضاغطة)تسبب في زيادة استقرار مثل هذه المنشآت التي تتعرض لأحمال أفقية كبيرة.

ولكن من الناحية الاقتصادية لم يكن هذا مجديا.

وجد العلماء أن استخدام الأوتاد المائلة التي ترسى إلى عمق كافي كما في الشكل أعلاه تكسب المقاومة المطلوبة بغض النظر عن تغير اتجاه الحمل الأفقي,وبكلفة أقل مما سبق.

وسوف يظهر المثال التالي آلية حساب وتصميم وتد مائل في منشأة بحرية .



الشكل (14) مبدأ مثلث القوى في تحليل وإيجاد قيم القوى المائلة (شد- ضغط)

مثال عن طريقة حساب الأوتاد المائلة :

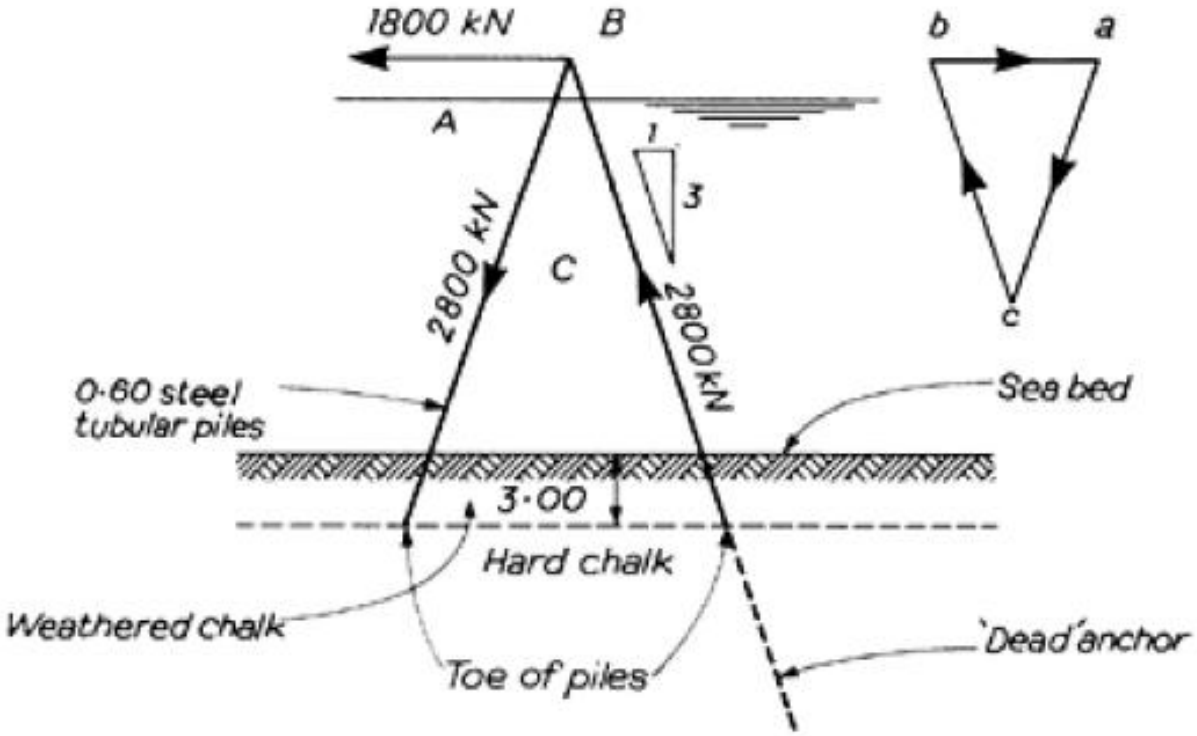
مسألة(1):

منشأة بحرية طافية (تستخدم لرسو السفن بقربها)(dolphin).

تتعرض لحمل سحب أفقي H=1800 KN,تتألف من زوج من أوتاد الضغط مع زوج من أوتاد الشد. بزاوية ميل 1:3 (1متر أفقي لكل 3أمتار شاقولي)

صمم أوتاد الشد فقط و المرساة في 3أمتار من الحجر الكلسي الضعيف المعرض لعوامل التجوية وصولا لطبقة قوية منه ذات كثافة تصل إلى(500) KG/M^3

الحل:



من مثلث القوى تكون القوى الشادة تساوي الضاغطة منها =KN 2800

وبالتالي فإن الحمولة الشادة لوتد واحد:

$$0.5 * 2800 = 1400KN$$

من الجدول (6-1) والذي يوضح قيمة الإجهادات المحيطية عند حد الانهيار بين سائل الحقن البيتوني ومادة الصخر بحسب نوعه:

Table 6.1

Type of rock	Bond stress between grout and rock at failure N/mm^2	Reference
Chalk (Grade I)	0.21	Littlejohn[6.9]
Chalk (Grade III)	0.80	Littlejohn[6.9]
Keuper Marl (Zones I and II)	0.17–0.25	Littlejohn[6.9]
Chalk	1.0	Hutchinson[6.10]
Weathered shaley slate	0.27	Unpublished[6.11]
Hard shaley slate	1.0–1.7	Unpublished[6.11]
Billings shale (Ottawa)	3.0	Freeman *et al.*[6.12]
Sandstone	>0.6	Unpublished[6.11]

كما في حالتنا: 0.2 N/mm^2

وباستخدام مقطع أنبوبي بقطر 600 mm

مع عامل أمان للرفع 2.5

تكون الحمولة المسموحة على الشد لوتد واحد (احتكاك فقط) مع الطبقة الضعيفة:

$$Q\ all = \frac{\pi \times 0.6 \times \sqrt{(3^2 + 1^2)} \times 0.2 \times 1000}{2.5} = 480kN.$$

وبالتالي نحتاج إلى مقطع فولاذي يتحمل قوة الشد الإضافية:

N= 1400-480= 920 KN

باختيار مقطع معدني أنبوبي بقطر خارجي 168.3 MM وسماكة :MM16

بمقطع عرضي 7600 MM^2 وبإجهاد خضوع $347N/mm^2$:

نحسب الإجهاد الفعلي:

$$\text{working tensile stress in anchor} = \frac{920 \times 1000}{7600} = 120N/mm^2.$$

وبحساب عامل الأمان:

$$\text{factor of safety at yield} = \frac{347}{120} = 2.9 \text{ (which is satisfactory).}$$

ولحساب طول الإرساء اللازم للشداد داخل الصخر القوي :

علما أن حفرة الشداد سوف تكون بقطر 215 MM (حسب نوع الحفارة)

$0.8N/mm^2$

وبالتالي وبحسب الجدول السابق يكون الإجهاد الموافق لحالة صخر قوي هو:

وبالتالي الإجهاد المسموح:

$0.8/2.5 = 0.3MN/m^2.$ =0.3 MPA

وبالتالي طول الإرساء المطلوب:

$$\text{required bond length} = \frac{920 \times 1000}{\pi \times 215 \times 0.3 \times 1000} = 4.5m.$$

وبالتالي نحفر بطول 5 أمتار ونحقن حول الشداد

الإجهادات الفعلية المطبقة (المحيطية)بين الحديد والسائل البيتوني المحقون:

$$\sigma = \frac{920 \times 1000}{\pi \times 168.3 \times 5 \times 1000} = 0.35N/mm^2$$ OK

الفصل الرابع:

بعض الحالات الخاصة في تصميم الأوتاد

يعتبر هذا المجال من البحث عريضا جدا , لما يحتويه من حالات تصميمية خاصة للأوتاد ونذكر منها:

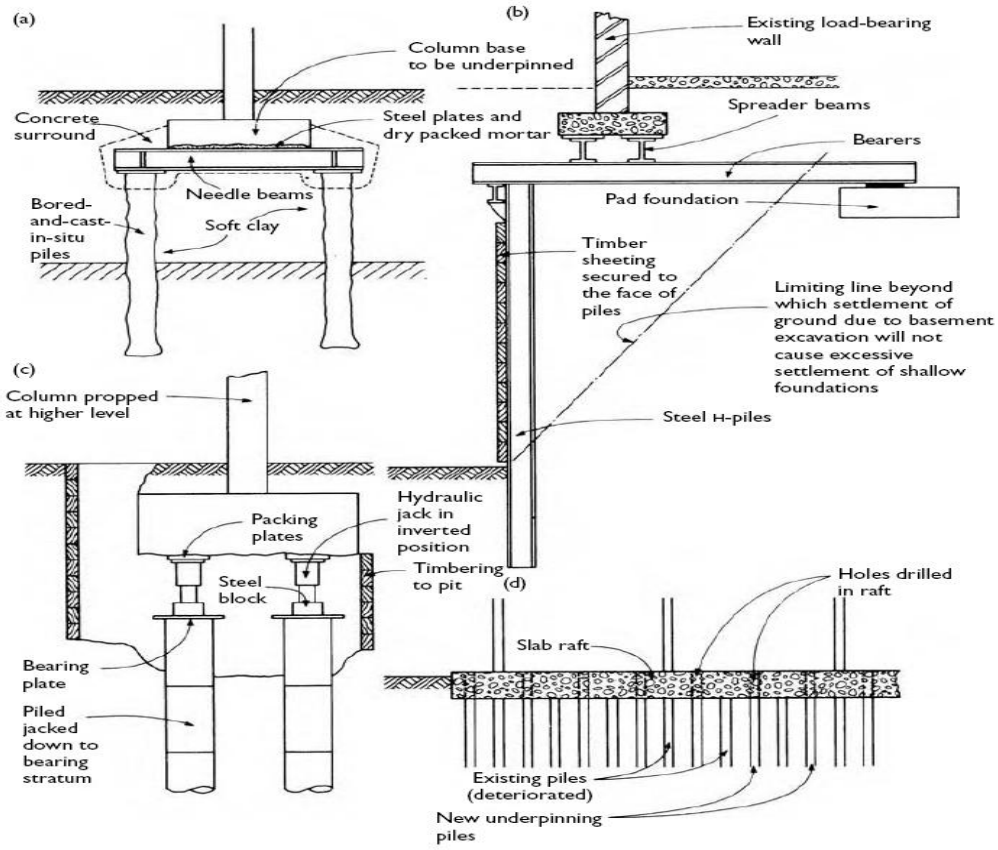
1- **أساسات وتدية للآلات:**

والتي يصمم منها كحمل استاتيكي مكافئ للديناميكي إن أمكن.

وبعضها يصمم تصميما ديناميكيا مع الأخذ بعين الاعتبار جميع شروط الحركة الاهتزازية وتوابعها.

2- **الأوتاد في مجال التدعيم:**

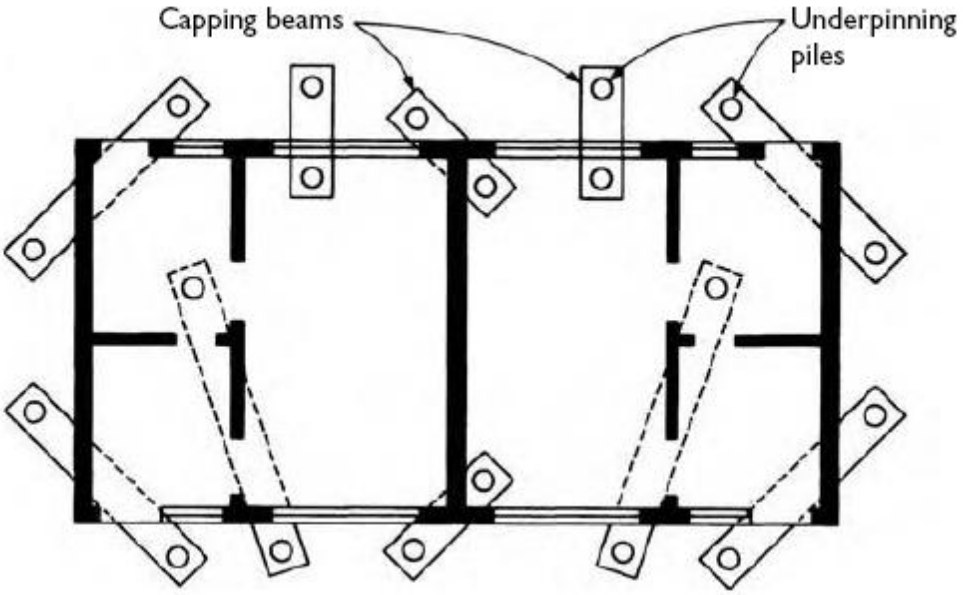
وذلك لمختلف المنشآت وتظهر الأشكال التالية بعض حالات التدعيم:



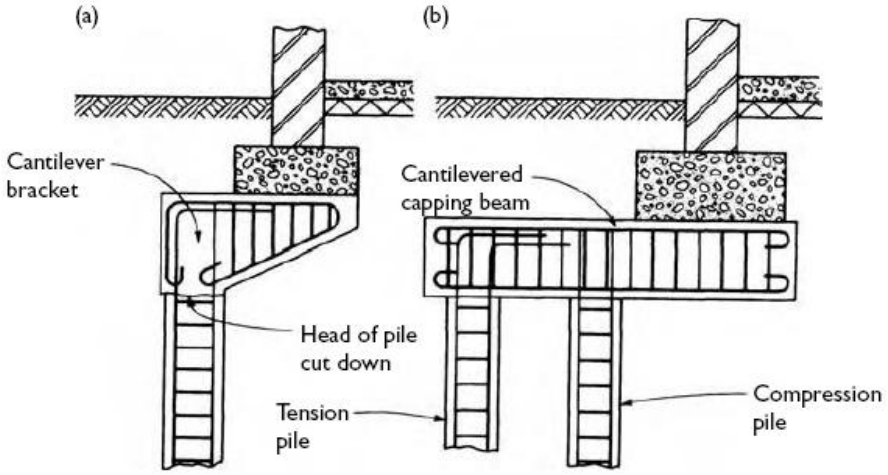
الشكل(15) بعض الحالات التدعيمية

حيث تظهر الحالات كالتالي:

A- تدعيم أساس عمود منفرد.
B- إجراء وقائي تدعيمي لأساس مجاور لحفرية.
C- غرز أوتاد لإيقاف هبوط وتدعيم الأساس .
D- أبار اسكندرانية لتدعيم التربة تحت الحصيرة.



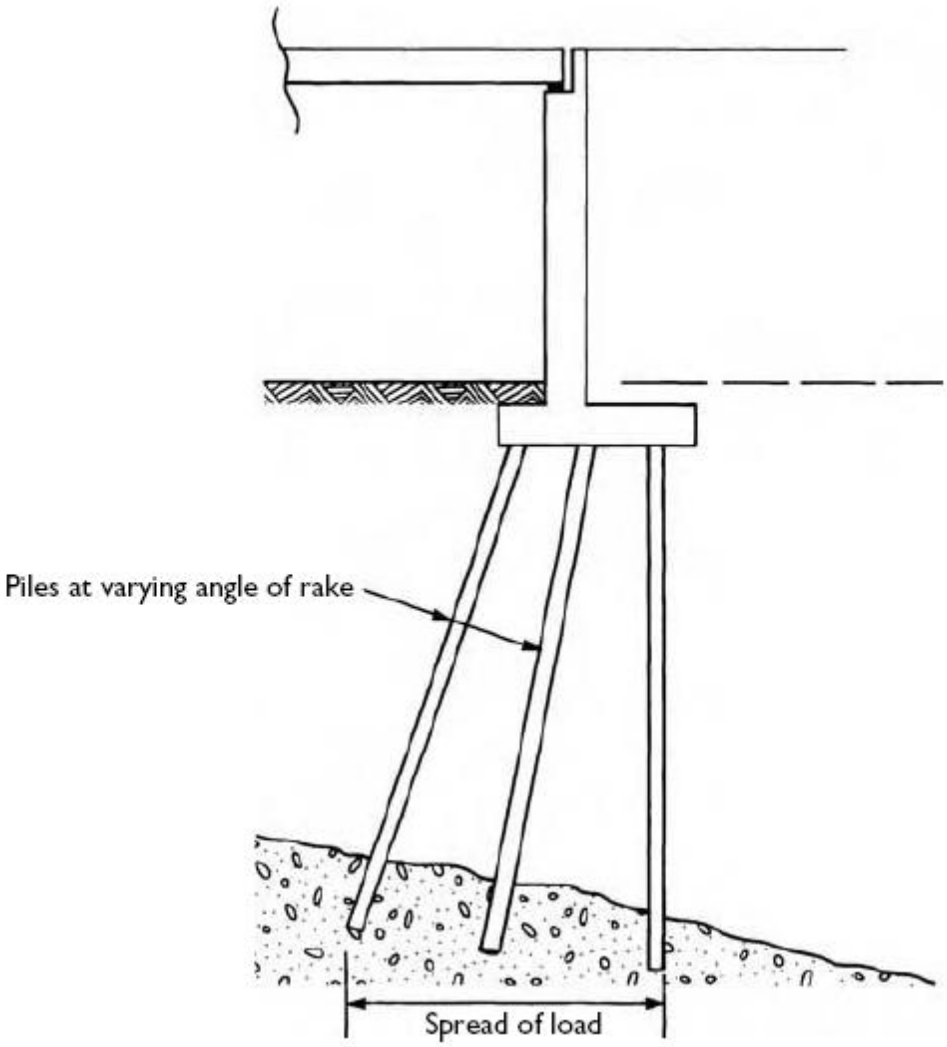
الشكل (16) مسقط توضيحي لتوزع أوتاد التدعيم.



الشكل(17) استخدام الأكتاف المدعمة من أجل المنشأت الخفيفة.

3-التوتيد في المناطق القابلة للانهيار (المناجم)

4-أوتاد الجسور.



الشكل (18) أوتاد تحت دعامات الجسور.

مسائل:

مثال (1):

ردمية ترابية بارتفاع 9 أمتار مشكلة من ردم بكثافة 2.1 ton/m3

بحيث أن قدم الردمية على مسافة 1.5 متر من صف أفقي من الأوتاد الداعمة لركيزة جسر.

والأوتاد بدورها مزروعة بعمق 8 mكما في الشكل.

أوجد الدفع الجانبي المطبق من قبل طبقة الغضار الناعم على الأوتاد الجانبية والتي تعطى باراماتراتها في الشروط المصرفة:

C=0 ,Φ=28 °

الحل:

باعتماد المعادلة التالية والتي تعطي ارتفاعا مكافئا للأحمال الإضافية المؤثرة على الأوتاد بحمل جانبي:

$$H_f = H\frac{\gamma}{1.8}$$

$$H_f = 9 \times 2.1/1.8 = 10.5 \text{ m.}$$

ومن الشكل : α= 23.3 وبالتعويض بالمعادلة التالية لحساب معامل التخفيض:

$$f = \frac{\alpha - 0.5\phi'}{90° - 0.5\phi'}$$

وبالتعويض:

$$f = \frac{23.3° - (28° \times 0.5)}{90° - (28° \times 0.5)} = 0.12$$

الحمل الإضافي الناتج عن الردمية:

$$p = 2.1 \times 9 \times 9.81 = 185 \text{ kN/m}^2$$

فيكون الضغط الجانبي المؤثر على الأوتاد :

$$= 0.12 \times 185 = 22 \text{ kN/m}^2$$