Archive of SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

"بسمه تعالی"

Archive of SID

سازه های حفاظتی دریا ـ موج شکن ها

ناصر رئیس زاده

موجشکن ها سازه هایی هستندکه بنا دررا دربرابر اثرات ویران کنندهٔ امواج دریا ها حفاظت میکنند. تاریخ ساخت موجشکن ها به ۴۰۰۰ الی ۵۰۰۰ سال پیش میرسد. فینیقی‌ها اولین کسانی بودندکه اقدام به ساخت موجشکن‌های اولیه نمودند. درقرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم موجشکن‌های مشابهی ساخته شدکه براثرحوادث وخرابی‌های زیادی که به بارآوردندهمگی ازنظرمهندسی مردودشناخته شدند. دوموجشکن الجیرز (ALGIERS) و کاتانیا (CATANIA) ازاین نمونه اند. که هردوبه علت لغزیدن تخته سنگهایشان برروی یکدیگربکلی ویران گشتند. لذا برای مقابله با چنین خرابی‌ها لازم آمدتا مطالعاتی دراین زمینه انجام گیرد.

اساسا" موجشکن ها ازلحاظ ساخت وطراحی به‌دونوع تقسیم میشوند. نوع اول موجشکن‌های شیروانی دار یا خاکریز (RUBBLE MOUND BREAKWATERS) هستندکه قدیمی‌ترین نوع موجشکن می‌باشندونوع دوم موجشکن‌های دیواری یاقائم (VERTICAL WALL BREAKWATERS) هستندکه طراحی وساخت آنها مرهون پیشرفت علم وتکنولوژی مهندسی سازه درعصرحاضر است.

موجشکن‌های قائم

این نوع موجشکن‌ها ممکن است ازسنگ معدن، مصالح سنگی، چوب، ورقه‌های فولادی ویا بتن ساخته شوند. طراحی وساخت این نوع موجشکن‌ها طوریست که اکثرا" می‌توانند در مقابل عبورجریان آب نفوذناپذیرباشند. ازآنجاکه شرایط پی وزمین موجود، کاربرد موجشکن، اثرات امواج، دردسترس بودن مصالح وقیمت تمام شده موجشکن‌ها همگی ازجمله عوامل هستندکه درتحلیل نهایی انتخاب یک نوع موجشکن شرکت موثری دارندلذا قبل ازانتخاب نوع موجشکن باید عوامل مذکورموردبررسی وتحلیل نهایی قرارگیرندتا بتوان ازهرگونه خرابی وخساراتی که ممکن است سازه را تهدیدکندجلوگیری بعمل آورد. موجشکن‌های الجیرزوکاتانیاکه هردوازنوع موجشکن‌های قائم با مصالح سنگی بودند سرانجام بدست طبیعت فروریختندوخسارات زیادی را به بارآوردند. اگرچه طراحی این دوموجشکن یکی بودا ما ازآنجاکه اجرای ساخت آنها با هم تفاوت داشت علل خرابیشان

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

نیز متفاوت بود. درساخت آنها از تخته‌سنگهایی به‌وزن ۳۲۰ تا ۴۰۰ تن استفاده‌شده‌بود که‌درموج‌شکن کاتانیا این سنگها بصورت ساده‌وبدون هیچگونه‌گیرداری میان آنها روی هم‌چیده‌شده‌بوند اما درموج‌شکن الجیرزبه‌هنگام چیدن تخته‌سنگها برروی هم فضاهایی میان آنها ایجادکرده‌بودندکه‌با گذراندن بتن ومیله‌گرداز درون آنها موج‌شکن را بصورت یک سازه منطقی درآورده‌بودند لذا تحت چنین شرایطی موج‌شکن کاتانیا با لغزیدن تخته‌سنگهایش برروی یکدیگربکلی ویران شدوعلت خرابی موج‌شکن الجیرزهم‌ناشی ازشسته‌شدن پای پی موج‌شکن وخرابی ترانشه‌عمیقی بودکه‌محلش دربستر ماسه‌ای دریا بود. برای مقابله‌با چنین خرابی‌ها لازم است که‌نیروی عظیم ناشی ازخوردشدن امواج براحتی جذب موج‌شکن شود ویا بهترآنست که‌اصولا" ازایجادچنین نیرویی جلوگیری کرد. برای انجام این کار باید عملیات اجرای ضدشستن (SCOUR PROTECTION) درپای موج‌شکن انجام گیردکه‌این خودنیازبه‌طراحی دقیق سازه‌همراه‌با عملیات اجرایی هیدرولیکی وتجربه‌کافی دارد.

مهمترین برتری موج‌شکن‌های قائم آنست که‌به‌سنگ کمتری نسبت به‌موج‌شکن‌های شیروانی دارنیازدارندودیگرآنکه‌ساخت موج‌شکن‌های قائم امکان استفاده‌بیشتری ازمنطقه‌بندررا به‌ما می‌دهد. این نوع موج‌شکن‌ها را درزمینهای محکم یعنی زمین‌هایی که‌عملا" سنگی باشندمی‌توان ساخت زیرا درزمین‌های نسبتا " سست مقاومت خوبی ازخود نشان نمی‌دهند. مطالعاتی که‌انجام شده‌نشان می‌دهدکه‌ساخت موج‌شکن‌های قائم‌زمانی که‌تحت اثرنیروی عظیم امواج قرارمی‌گیرندمنطقی نیست زیرا صابت لبهٔ تیزبالایی امواج به‌دیوارقائم موج‌شکن‌ها منجربه‌ایجادضربات چکشی برآنها گشته‌وماهیت آنی ولحظه‌ای بودن این اثرات وعدم ارتباط آنها بازمان موجب ازبین رفت سریع موج - شکن‌ها میشود. اما درجایی که‌عمق آب‌کم وارتفاع امواج کوتاه‌است، جهت ساختن این نوع موج‌شکن‌ها می‌توان ازورقه‌های فولادی جهت تأمین مقاومت خمشی موج‌شکن استفاده کردزیرا این ورقها که‌درعمق مناسبی اززمین کوبیده‌میشوندمانندسدی عمل کرده‌که‌نه تنها ازورودآب به‌بندرجلوگیری می‌کنندبلکه‌وسایل وتأسیسات بندررا ضمن ساختمان سازی درمقابل حملات امواج حفاظت می‌کنند. نمونهٔ چنین موج‌شکنی را دربندرتاکونایت درسواحل شمالی دریاچه‌سوپریورمی‌توان دید.

آنچه‌درطراحی ومحاسبات این سازه‌ها مطرح است پایداری وتعادل کل سازه‌به

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

عنوان یک مجموعهٔ یکپارچه درمقابل اثرات استاتیکی ودینامیکی امواج است . بدین منظور سازه باید طوری طراحی ومحاسبه گردد که ، ۱ـ تنش واردبرپی سازه از تنش مجاز کوچکتر گردد . ۲ـ نشست پی سازه از نشست مجاز بیشتر نشود . ۳ـ سازه قادر به مقاومت درمقابل واژگونی باشد .

زمانی که دیوار قائم موجشکن تحت اثر امواج خوردنشده (امواج ناشکسته) قرار میگیرد از روش آقای ساین فلو (SAIN FLOU) میتوان اثر نیروی امواج بردیوار موج - شکن را بدست آورد . روش ساین فلو براین فرضیه استوار است که نیروی امواج ناشکسته اصولا" استاتیکی است .

یک موج ناشکسته بعد از برخورد به دیوار قائم موج شکن برگشت میکند چنانچه در مسیر برگشت با امواج مستقیم برخورد کند در مجاورت دیوار قائم موجشکن تلاطمی از موج ایجاد میشود که به آن موج متلاطم یا (CLAPOTIS WAVE) میگویند . مرکز این موج متلاطم دربالای تراز آب دریا به فاصله h_o از آن میباشد . برای بدست آوردن h_o (ارتفاع موج متلاطم) از فرمول زیر استفاده میشود .

$$h_o = \frac{\Pi H^2}{L} Coth\left(\frac{2\Pi d}{L}\right)$$

اثر امواج متلاطم بردیوار قائم موج شکن با تغییرات زمان نسبت مستقیم داشته و میتوان آنرا از رابطه زیر بدست آورد .

$$P_1 = \frac{WH}{Cosh\left(\frac{2\Pi d}{L}\right)}$$

در این رابطه P_1 فشار ناشی از موج متلاطم است . برای بدست آوردن فشار کل امواج بردیوار قائم موجشکن باید مقدار P_1 را با اثرات ناشی از آب آرام دریا ترکیب کرد . فرمول کلی برای بدست آوردن اثر این دوترکیب بصورت معادله زیر نوشته میشود .

$$P_2 = (wd + P_1)\left(\frac{H + h_o}{H + h_o + d}\right)$$

روش آقای ساین فلو برای دیوارهای عمودی وصیقلی درشرایطی که انعکاس امواج به نحو کاملی انجام میگیرد مناسبترین روش محاسبه نیروی امواج بردیوار موجشکنهای قائم است . چنانچه سطح دیوار قائم موجشکن به علت عدم صیقلی بودن باعث کندشدن

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

حرکت عمودی آب گردد مقدار P_1 را باید به میزان ۵ درصد کاهش داد.

حداکثر فشار امواج متلاطم بر دیوار قائم موج شکن‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که حالت اثر کرد امواج بشکل تاج درآید. آقای ناگائی (NAGAIE) ضمن تائید روش محاسباتی سایین فلو، حداکثر فشار امواج متلاطم بر دیوار قائم موج‌شکن‌ها را برای سه ناحیه بشرح زیر توصیف کرد.

الف: ناحیهٔ امواج آبهای کم عمق $(0.135 < \frac{h}{L} < 0.35)$

در این ناحیه معادله توزیع حداکثر فشار امواج بر سطح دیوار قائم موج‌شکن‌ها از تراز S.W.L تا کف (به عمق Z در زیر S.W.L) به صورت زیر نوشته میشود.

$$\frac{P}{W_o} = -Z + 2a\frac{Coshm(h+Z)}{Coshmh}Cosnt, \quad m = \frac{2\pi}{L}$$

چنانچه حالت موج بشکل تاج درآید

$$2aCosnt = 2a = H$$

و فرمول بصورت زیر نوشته میشود

$$\frac{P_{MAX}}{W_o} = -Z + H\frac{Coshm(h+Z)}{Coshmh}$$

چنانچه توزیع فشار در بالای تراز S.W.L را بصورت مثلثی فرض کنیم خواهیم داشت:

$$(P=o \text{ At } Z=H \text{ And } P=W_oH \text{ At S.W.L}, Z=o)$$

در این حالت برآیند نیروهای موثر بر دیوار قائم موج شکن در فاصله Z زیر تراز S.W.L از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$P_A = \frac{1}{2}W_o(h^2+H^2) + W_o\frac{H}{m}tanhmh$$

ب: ناحیهٔ امواج آبهای خیلی کم عمق $(\frac{h}{L} < 0.135, \frac{H}{L} < 0.040)$

در این ناحیه معادله توزیع حداکثر فشار امواج بر سطح دیوار قائم موج شکن در بالای تراز S.W.L بصورت مثلثی میباشد که در آن

$$(P=o \text{ At } Z=1.30H \text{ And } P=1.30W_oH \text{ At } Z=o)$$

و معادله توزیع فشار امواج بر دیوار قائم موج شکن از تراز S.W.L تا کف (به عمق Z

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

درزیر S.W.L) بصورت زیرنوشته میشود .

$$\frac{P}{W_o} = -Z + \frac{H\,Cosh\,m(h+Z)}{Cosh\,mh} + \frac{0.30H(h+Z)}{h}$$

برآیندنیروهای موثر PA' درفاصله Z زیر S.W.L ازرابطه‌زیربدست می‌آید .

$$PA' = \frac{1}{2}W_o\left[h^2 + (1.30H)^2\right] + 0.15W_o Hh + W_o \frac{H}{m} tanh\,mh$$

پ : ناحیهٔ امواج آبهای عمیق $(\frac{h}{L} \geqslant 0.35)$

دراین ناحیه معادله‌توزیع حداکثرفشارامواج بردیوارقائم‌موج شکن ازتـــــراز S.W.L تاکف (به‌عمق Z درزیر S.W.L)بصورت زیرنوشته میشود .

$$\frac{P}{W} = -Z + H\frac{Cosh\,m(h+Z)}{Cosh\,m(h+H)}$$

که‌درآن $P = 0$ at $Z = H$, $Z = 0$

$$\frac{P}{W_o} = H\frac{Cosh\,mh}{Cosh\,m(h+H)}$$

برآیندنیروهای موثر P_B ازرابطه‌زیربدست می‌آید .

$$P_B = \frac{1}{2}W_o(h^2 - H^2) - W_o\frac{H}{m}tanh\,m(h+H)$$

باید توجه‌داشت که‌فرمول های ارائه‌شده‌تنها برای نواحی محدودشده‌خاصی که‌درزیرآمده انطباق کامل با مقادیربدست‌آمده‌ازطریق آزمایشات تجربی دارد .

$$0.135 < \frac{h}{L} < 0.20\,,\ H/L \leqslant 0.035$$

درنواحی که‌مقدار $\frac{h}{L}$ امواج آنها ازمقادیربالازیادترمی‌گرددبرآیندبدست‌آمده‌ازروش ساین فلوبطورقابل توجهی بامقادیربرآیندهای بدست‌آمده‌ازطریق آزمایشات تجربی تفاوت دارد . دراین حالت ها باید ازمعادلات آقای گرستنر (GERSTNER) جهت بدســـــت آوردن حداکثرفشارا استفاده‌کرد .

مثلا" مشاهده‌شده‌برآیندبدست‌آمده‌ازاثرامواج بردیوارهای قائم به‌روش‌ساین‌فلو

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

برای نواحی $\frac{h}{L}>0.35$ مقدارش ۲ تا ۳ برابر مقداریست که از طریق آزمایشات تجربی بدست آمده است . ضمنا " استفاده از روش آقای گرستنر نیز برای نواحی که $\frac{h}{L}$ امواج آنها کوچکتر از 0.50 است مناسب می‌باشد $(\frac{h}{L}\leqslant 0.50)$ وهمینطور زمانی که $\frac{H}{L}\leqslant 0.060$ است .

تحقیقات نشان می‌دهد که دیوارهای عمودی موجشکن‌های قائم اغلب مورد اصابت نیروی امواج خردشده قرار می‌گیرند باید بتوانند در مقابل اثر نیروهای مشترک هیدرواستاتیکی و دینامیکی امواج خردشده بخوبی مقاومت کنند .

برای محاسبه نیروی ناشی از اثر امواج شکسته بر این سازه‌ها از روش مینیکین (MINIKIN METHOD) استفاده میشود . این روش در اصل جهت تحلیل و آنالیز نیروی ناشی از امواج خردشده بر موجشکن‌های مرکب به ثبت رسید . در این روش فرض بر آنست که اثرات دینامیکی در تراز S.W.L مقدار شان حداکثر بوده به تدریج کاهش یافته و در فاصله نصف ارتفاع موج در بالا و پائین تراز S.W.L مقدار این فشار دینامیکی برابر با صفر میشود .

معادله حداکثر فشار دینامیکی در تراز S.W.L بصورت زیر نوشته میشود .

$$P_m = \Pi g w \left(\frac{H}{L}\right) \frac{d}{D}(D+d)$$

مقدار این اثر دینامیکی بر یک فوت سازه برابر میشود با

$$P_D = \frac{1}{3} P_m H$$

برای بدست آوردن اثرات نیروی استاتیکی امواج شکسته در تراز S.W.L از رابطه زیر استفاده میشود .

$$P_s = \frac{wH}{2}$$

در روش مینیکن فرض بر آنست که نیروی استاتیکی امواج شکسته در دو طرف دیوار قائم موجشکن بوجود خواهد آمد لذا نیروی استاتیکی امواج شکسته در تراز S.W.L به یک فوت سازه از رابطه زیر بدست می‌آید .

$$P_{S_{max}} = P_{sd} + \frac{P_s(H/2)}{2}$$

که نتیجتا " برآیند نیروهای استاتیکی و دینامیکی موثر بر یک فوت سازه از رابطه زیر بدست می‌آید .

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

$$R = \frac{P_m H}{3} + P_s d + \frac{P_s H}{4}$$

معادلاتی که برای محاسبه فشار دینامیکی امواج ارائه شده تنها برای دیوارهای قائم کاربرد دارند. البته ممکن است که برای دیوارهای قائم پلکانی هم جوابهای تقریبی بدهند که می‌توان آنرا پذیرفت.

تجربه نشان داده دیوارهای قائمی که در پشتشان خاکریز دارند تحت اثر نیروی دینامیکی کمتری قرار می‌گیرند بدین منظور آقای مینیکن پیشنهاد میکند که در این حالت برای محاسبه نیروهای دینامیکی امواج بر دیوارهای قائم از رابطه زیر استفاده شود.

$$P'_m = P_m \sin^2 \theta$$

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

موج شکنهای شیروانی دار

موجشکنهای شیروانی دارسازه‌هائی هستندکه‌ازتوده‌عظیمی‌ارسنگهای بزرگ ، متوسط وریزکه‌به‌موازات‌خط ساحلی روی هم‌انباشته‌شده‌اندوبطرف امواج دارای شیب مناسبی میباشندبوجودآمده‌اند. هدف ازساختن این موج شکنها کاهش انرژی سینیتیک امواج است‌که‌این عمل بوسیله‌سطح‌مورب موجشکن که‌به‌آن شیروانی میگویندانجام‌میگیرد ، زیرا موج‌موقعی که‌به‌موج شکن میرسددرروی شیروانی‌بالارفته‌به‌تدریج انرژی خودراازدست میدهد. این موج شکن ها رادرهمه‌نوع زمین ها ودریاهای با امواج شدیدمیتوان ساخت. تنها موردی که‌نمیتوان آنها راساخت موردی است‌که‌کف‌دریا ازلجن تشکیل شده‌باشد زیرا قطعات‌سنگ درداخل لجن فرومیروند.

درساخت‌موج شکنهای شیروانی دارازسنگهای طبیعی یا بلوکهای مصنوعی استفاده میشود. زاویه شیب‌موج شکنهای شیروانی داردرمقابله‌باعوامل تخریب‌کننده اثر مطلوبی داردچنانچه‌درساخت‌آنها ازقطعه‌سنگهای بزرگتراستفاده‌گردد ، موج شکن‌رامیتوان با شیب تندتری ساخت‌که‌نتیجه آن ۱ـ جلوگیری ازخالی شدن پای سازه ۲ـ کاهش‌حجم موج شکن ۳ـ استفاده‌بیشتراز‌منطقه‌بندر ۴ـ ایستائی‌بیشتر ۵ـ کاهش‌هزینه ساخت موج شکن خواهدبود.

چنانچه‌موجشکن دردریا ودورازساحل ساخته شوداحتیاج به‌هیچ‌نوع‌روسازی ندارد ولی اگربه‌ساحل مربوط بوده‌وبخواهندازآن برای تفریح ومنظورهای دیگری استفاده‌کنند آنرا با سنگ یا بتن روسازی میکنندودیواره‌این روسازی رابطرف دریا میسازندتا امواجی که‌دربرخوردبا موجشکن پرتاب میشوندبرروی موجشکن بطرف داخل نریزند.

ساختمان موج شکنهای شیروانی داریا با پیشروی ازطرف‌ساحل به‌دریا ویا با سنگریزی ازدریا بطرف ساحل انجام‌میشود. درپیشروی ازساحل وسائط نقلیه‌که سنگها راحمل میکنندبجلوآمده‌سنگها راتخلیه‌کرده‌بتدریج دردریا پیش میروند. درساختمان ازطرف دریا سنگها رادرروی قایقهای بزرگ قرارمیدهنداین قایقها درزیردارای دریچه میباشند موقعی که‌قایق رابه‌محل کارآوردنددریچه‌رابازکرده‌وسنگها دردریا تخلیه میشودوهمین عمل راادامه‌میدهندتا سطح‌موج شکن ازآب بالابیاید. موقعی که‌قشرهای مختلف سنگ را میریزند ، تنظیم قشرها بوسیله‌غواصان صورت میگیردکه‌درزیرآب نیمرخ سنگریزی را کنترل کرده‌ودستوراتی برای ریختن سنگهای بعدی میدهند.

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

برخوردا مواج عظیم به موج‌شکن های شیروانی دارموجب اثراتی برزمین زیرپی‌وسازه پی‌آنها میشودوپی‌ها اگرچه دراعماق زمین هم‌فرورفته باشندبازتحت تاثیرنیروی برخوردا مواج به موج‌شکن قرارخواهندگرفت بنابراین جهت حفظ فونداسیون موج شکن های شیروانی داردر مقابل خطرات نشست بستردریا وعبورلوله‌ها اززیرپی‌ها بایددرزیرپی‌ها لایه‌ای حفاظتی از مصالح ریخته‌شود. ضخامت این لایه بستگی به‌ارتفاع آبی داردکه مصالح‌سازه درآن قرار میگیردوهمینطوربستگی به‌ابعادسنگهای سازنده‌اش داردولی بهرحال برای یکنواخت کردن نامنظمی های بستردریا ضخامت این لایه نبایدکمترازیک فوت انتخاب شود.

برای جلوگیری ازشیب شیروانی ازقطعات پوششی بنام آرمورا ستفاده میشود. وزن و ابعادقطعات آرمورها، شیب شیروانی ها، دانسیته مصالح آرمورها وقفل وبندساختن قطعات بایکدیگرمتضمن اصول طراحی این نوع موج شکن ها میباشد.

تجربه نشان داده‌که خرابی موج‌شکن های شیروانی دارازقسمت راسشان بیشتراز بدنه‌شان است زیرا قسمتی ازراس آنها معمولا" با امواج برخوردمستقیم دارند. بنابراین ازنظرعملی لازم است که وزن قطعات آرمورهای پوششی رأس موج شکن های شیروانی دار را تاحدامکان افزایش داد.

براساس نتایجی که بدست آمده برای ساخت موج شکن های شیروانی داربهتراست که آنها رابه سه ناحیه تقسیم کردوهرقسمت رابابلوکهای مخصوص به‌خودساخت. ارتفاع هر قسمت بستگی به‌اثرمشترک امواج وجذرومددارد.

ازقدیم‌الایام ثابت شده‌که سازه‌های ساخته‌شده ازمصالح سنگی به‌هنگام خراب شدن شکل S بخودمیگیرند، به‌همین جهت موج شکن جدیدواقع درمانگالورهندوستان بشکل S ساخته‌شدتابارفتارخاک هماهنگی پیداکند. البته امکان نداردکه بایک روش تحلیلی دقیق بتوان نیروئی راکه باعث جابجائی سنگهای آرمورمیشودحساب کرد، همینطور پیش بینی اینکه تحت چه‌شرایط بحرانی سطح وسیعی ازسنگهای آرموربه‌پائین شیروانی ریزش خواهندکردویا اینکه بطرف بالا بلندخواهندشدامکان نداردچراکه شرایط ایستایی سازه واستحکام همه بلوکها ازنظرکارگذاری ضمن اجرای عملیات ساختمانی سازه به یک اندازه نخواهدبودازاین گذشته فرمولهای موجود همکه برای طراحی این سازه‌ها بکار میروندبه‌جهت آنکه پریودامواج رادرمحاسبات ملحوظ نداشته وازخواص هیدرودینامیکی ماده‌کمتراستفاده میشودبرای طرح یک سازه کاملا" مناسب ومطمئن نیستند. مساله مهم آنست که بایدبین قطعات آرمورها ولایه‌های زیرین آنها اصطکاک مناسبی ایجادکنیم تا

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

مانع ازلغزش آن لایه‌ها شده وازپرتاب قطعات آرمورها ازداخل خاکریزبه‌بیرون جلوگیری شود. برای اینکار بایدآرمورهای لایه‌های زیرین را بزرگ وزبرانتخاب کردتا نیروی اصطکاک بین آنها وآرمورهای پوششی خارجی افزایش یابد.

ضمن بهره‌برداری ازموج شکن های شیروانی دار، آبی که‌پای سازه‌را پرمیکند به قطعات آرمورها نیروهای هیدرواستاتیکی واردمیکند. به‌این ترتیب آنالیزچنین مسایلی درحالت سه‌بعدی بسیارمشکل وپیچیده‌خواهدبود. زمانی که‌نیروی امواج عمودبرسطح سازه اثرمیکنند، نیروهای هیدرودینامیکی‌اساسا "دوبعدی هستنددرحالیکه‌نیروی موثر برقطعات آرمورها هنوزدرحالت سه‌بعدی هستند.

فرمولهائی که‌ابتدائا" جهت‌طرح‌ومحاسبه ایستائی ابعادسنگهای آرمورهای‌مقابله کننده‌با اثرامواج ارائه‌شدمربوطبه‌آقای ایری باران (IRIBARREN) ازکشور اسپانیادرسال ۱۹۳۸ بود. سپس‌آقای هادسون (HUDSON) به مدت‌بیش‌از ۱۰ سال کاربرروی مدل های آزمایشی درایستگاه‌عملیاتی راههای آبی امریکاتوانست‌آنها را توسعه‌داده‌ومعادله‌زیررا جهت‌تعیین وزن قطعات آرمورها درموج شکن های شیروانی‌دار با مصالح سنگی به‌ثبت برساند.

$$Wr=(\gamma_r H^3)/[K_\Delta (Sr-1)^3 \cot\alpha]$$

دراین معادله‌اثربرخوردامواج بادی درحالت‌عادی نادیده‌گرفته‌شده‌وتنها زمانی با اهمیت‌شناخته‌شده که‌امواج دربرخوردشان باسازه زاویه‌ای کمترازº45 بسازند .ازآنجا که‌شکل امواج به هنگام‌خوردشدن درروی شیروانی ها اثرات‌زیادی برروی ایستائی سازه‌ها دارد، لذاپیشنهادشده‌که‌استخراج مقدار K_Δ ازجداول با احتیاط کامل انجام گیرد.

مقادیرارائه‌شده‌درجداول مذکورهمگی‌ازطریق تجربیات آزمایشگاهی برروی امواج یکنواخت‌وخوردنشده بدست‌آمده‌اند. یک‌آزمایش ایستائی که‌برروی قطعات آرمورهای موج‌شکنهای شیروانی داردرشهر، یورپورت‌هلندانجام گرفت‌نشان دادکه‌برای یک ارتفاع ثابت ومشخص، قدرت‌تخریب اثرات امواج‌نامنظم به‌مراتب بیشترازقدرت‌تخریب امواج منظم‌است.

ازنظرعملی تحقیقات مشابهی که‌درکشورنروژ برروی این نوع موج شکنها انجام‌شد

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

نشان داد بنظر نمیآید که رابطه مجزایی برای امواج با طیف های مختلف که بتواند اثرات امواج منظم و غیر منظم را توصیف کند وجود داشته باشد. بنابراین جانشین ساختن امواج منظم به جای امواج غیر منظم همیشه در جهت اطمینان و منطقی نخواهد بود. زیرا رابطه بین ایستایی و ازجاکندگی یک موجشکن پیچیده تر از آنست که بتوان موج را منشاء آن دانست بنابراین جهت رسیدن به موج طراحی به یک سری اطلاعات آماری از قبیل فرکانس امواج در ارتفاع خاص و پریود امواج نیازمندیم. پیچیدگی مساله تعیین ارتفاع موج طراحی برای امواج خوردشده بیشتر میشود. به نظر آقای گالوین (GALVIN) روش خاصی بمنظور رسیدن به ارتفاع موج طراحی آنهم برای امواج خوردشده وجود ندارد. در محاسبات مهندسی اغلب فرض میشود که ارتفاع d در پای سازه که از روی هایدروگرافی و مقدار جزر و مد بدست میآید کنترل کننده ارتفاع طراحی (H) امواج خوردشده در برخورد با سازه میباشد که معادله آن با استفاده از تئوری امواج منفرد به صورت زیر نوشته میشود.

$$B_b = d_b / H_b = 1.28$$

عدد 1.28 را مقدار مک کوونس (MCCOWAN'S VALUE) یا حداکثر ارتفاع امواج منفرد مینامند که در تمرینات مهندسی آنرا به 1.30 رند میکنند. اما مطالعات اخیر نشان داده که بهتر است آنرا 1.20 انتخاب کرد.

همانطور که قبلا" اشاره شد، فرمولهای موجودی که برای طراحی این نوع سازه ها بکار میروند به جهت آنکه پریود امواج و اثرات هیدرودینامیکی آنها را در رابطه با ایستایی سازه درنظر نمیگیرند طبیعتا "معادلات مطمئنی جهت طراحی موجشکن های شیروانی دارا به حساب نمیآیند.

پارامتر بتجی (BATTJE'S PARAMETER) اثرات بالاروندگی و پائین روندگی امواج خردشده بر روی سطوح صیقلی موج شکنهای شیروانی دارا با مصالح سنگی را بیان میکند. این رابطه به لحاظ اینکه اثرات مشترک پریود امواج، ارتفاع امواج و زاویه شیب موجشکنها را در رابطه با ایستائی سازه تشریح میکند، معیار خوبی برای طراحی این نوع سازه ها بشمار میرود.

$$\xi \sim \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H/L_0}} \sim \frac{\tan\alpha T}{\sqrt{H}}$$

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

آزمایشات انجام شده مؤید آنست که حداقل پائین روندگی وحداکثر بالاروندگی امواج زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار ξ بین دو مقدار $2<\xi<3$ ویا $\xi=2.5$ باشد. حداکثر نیروی دینامیکی ناشی از بالاروندگی وپائین روندگی امواج همیشه به ازای یک مقدار ثابت ξ اتفاق میافتد. از اطلاعات بدست آمده از آزمایشات ایستایی وآنالیز آنها با فاکتور ξ چنین نتیجه شده که ایستائی سازه‌ها در شرایطی که هیچگونه خرابی بوجود نیاید، برای امواج خرد شده با مشخصات زیر حتمی است.

(T) فرکانس موج باید بین 2.8 تا 11.3 ثانیه باشد.

(α) زاویه شیب شیروانی بین $\frac{1}{1.5}$ تا $\frac{1}{5}$ باشد.

(H) ارتفاع طراحی موج بین 2 تا 4 فوت باشد.

بنابراین جهت طراحی دقیق این سازه‌ها میتوان به روش زیر عمل کرد.

۱ـ انتخاب طرح براساس ارزیابی های فنی واقتصادی که ابعاد وهزینهٔ حمل ونقل مصالح در آن درنظرگرفته شده است.

۲ـ انجام آزمایشات لازم برای مقداری از طیف امواج محل پروژه وتحلیل آنها. در این میان باید به امواجی که دارای پریود تقریبا "منظمی هستند توجه کافی داشت. آزمایشات بهتر است که روی امواج نامنظم واثرات مشترک امواج واقعی وپریودهای موجود در طیف های امواج خطرناک انجام گیرند زیرا خطرناک ترین امواج آنهائی هستند که پریودشان بین ۹ تا ۱۲ ثانیه باشد.

۳ـ مطالعه وبررسی دقیق برروی اثرات بالاروندگی وپائین روندگی امواج، پارامترهای تعیین کننده پریود امواج، ارتفاع موج درجلوی سازه، شیب سازه وبالاخره مطالعه بر روی اجزاء تشکیل دهنده موجود در فاکتور ξ.

۴ـ تعیین طرح مقدماتی ابعاد بلوکها با استفاده از یکی از فرمولهای موجود طراحی و همینطور تعیین ابعاد آنها با استفاده از معادله زیر.

$$W=\left(\frac{H}{N}\right)^3\frac{\gamma_r}{(S_r-1)^3}$$

۵ـ با تعیین نسبت $\frac{H}{N}$ میتوان تصمیم به نوع ووزن آرمورها گرفت.

۶ـ بالاروندگی موج را میتوان از فرمول آقای هانت (HUNT) بدست آورد.

$$Ru=(\xi)(H)$$

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

کمیته بین المللی کنگره کشتیرانی (NAVIGATION) دربولتن شماره ۲۵ خوددر ماه مه سال ۱۹۷۷ استفاده ازروش فاکتور ζ راجهت طراحی خاکریزهای سنگی اعلام کرد. این کمیته استفاده ازفرمولهای دیگررا تنها جهت ارزیابی ومطالعات مقدماتی ابعاد سنگهای آرمورها پیشنهادکرد. قبول فاکتور ζ به‌عنوان معیار اصلی طراحی جهت مطالعه امواج هنوزدرجریان است.

اکثرتحقیقات انجام شده مربوط به‌آبهای کم‌عمق (که ارتفاع آب حدود 20MT است) میباشد. بهرحال یک نیازفوری جهت بررسی علمی ازامواج درمقابل سازه‌ها برای آبهای نواحی عمیق احتیاج است.

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

Marine Protective Structures - Breakwaters

N. Raiszade.

Abstract

Breakwaters are structures which protect the berths against the destructive effects of sea waves. The origin of breakwater structures goes back to 4,000 to 5,000 years ago, and Phoenicians were the first to build the initial breakwaters. In the 19th century and in early 20th century, similar breakwaters were constructed, which were not satisfactory because of the damage and the incidents they caused. Two breakwaters of Algiers and Catania are from this category, and both were utterly destroyed because of the sliding of their rocks on each other. As a result and in order to prevent such damages, it seemed necessary to perform investigations in this field. Generally speaking, breakwaters are divided into two groups in terms of construction and design. The first category is the Rubble Mound Breakwaters, which are the oldest breakwaters and the second category is the Vertical Wall Breakwaters, whose construction and design is indebted to the advances of structure engineering science and technology in the current era. This paper serves to review the different characteristics of the two types, and delves into the mathematical details regarding their design and construction.

Keywords: breakwaters; rubble mound breakwaters; vertical wall breakwaters

www.SID.ir

www.SID.ir