



مرکز بررسی‌ها و مطالعات دریایی

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



محاسبه نیروهای حاصل از امواج دریا بر سازه‌های عمودی (شمع‌ها) با فواصل مختلف (Computation of wave forces on vertical unequal span structures)

توسط

محمدجواد خانجانی و غلامعباس بارانی و ابوالقاسم گرمسیری

اعضاء هیات علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی

کرمان صندوق پستی ۶۶۶-۷۶۱۳۵ اهواز - شهرک نفت - خیابان مرداد پلاک ۶۲۷

خلاصه

امروزه جهت بهره‌برداری از منابع دریایی سازه‌های مختلفی در دریا ساخته می‌شود که این سازه‌ها به صورت دینامیکی مواجه با نیروهای مختلف حاصل از امواج دریا می‌باشند که قطعاً لازم است تا در مقابل این نیروها مقاومت نمایند. سازه‌های دریایی با استفاده از شمع‌ها در سواحل دریا مستقر و مستحکم می‌گردند که امکان برخورد سه نوع موج به این شمع‌ها وجود دارد، امواج شامل موج شکسته (معمولی)، موج در حال شکست و موج شکسته می‌باشند. هر کدام از این امواج به سهم خود نیرویی بر بدنه شمع وارد می‌نمایند که توسط محققان مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند در بین این سه موج، موج در حال شکست بحرانی‌ترین و بیشترین نیرو را به بدنه این شمع‌ها وارد می‌نماید. در این مطالعه نیروهای حاصل از موج در حال شکست بر روی ردیفی از شمع‌ها با مقطع مربع و با فواصل مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نیروهای وارد بر هر شمع با توجه به فواصل بین شمع‌ها محاسبه و با نتایج حاصله از مطالعات دیگران مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

سازه‌های دریایی در معرض نیروهای یکنواخت و متغیر نسبت به زمان قرار دارند که ناشی از باد، جریانهای دریایی و امواج هستند. نیروی ایجاد شده از باد به روی سازه معمولاً یکنواخت است و تنها بروی قسمت بالای آب سکو وارد می‌شود. البته تاثیر اغتشاش حاصل از سازه بر جریان باد هم قابل ملاحظه است و نیروهای دینامیکی با فرکانس بالا بر المانهای مختلف سازه و نیروهای دینامیکی با فرکانس پایین بر کل سازه ایجاد می‌کند. جریانهای دریایی نیز به طور کلی نیروهای یکنواخت بر قسمتهای زیر آب سازه وارد می‌کنند. ولی نیروهای دینامیکی ناشی از به وجود آمدن اغتشاشات نیز وجود دارند.

بر خلاف دو نیروی قبل، امواج بزرگترین نیروی دینامیکی را ایجاد می‌کنند. اگر چه این نیرو در بررسیها ساده تناوبی و هارمونیک فرض می‌شود، اما با در نظر گرفتن خواص غیر خطی امواج نیروی فوق هارمونیک^(۱) نیز ایجاد خواهد شد که چنین نیروی می‌تواند بطور خیلی خطرناک باعث تحریک شمع‌ها گردد. برای طراحی سازه‌های ساحلی مانند شمع‌ها و پایه‌ها که در آب فرو می‌روند باید به طور دقیق نیروهای تولید شده بر اثر بادهای مختلف و جریانهای متفاوت در محاسبه مد نظر قرار گیرند. مطالعات و آزمایشات متعددی در این زمینه گزارش شده است. از جمله اسپرینگ^(۲) و مانک‌میر^(۳) (۱۹۷۵)؛ ماسل^(۴) (۱۹۷۶)؛ یوشیدا^(۵) و لیدا^(۶) (۱۹۸۶)؛ ناکامورا^(۷) (۱۹۹۰)؛ اخیراً کاکانیو^(۸) و لیو^(۹) (۱۹۹۳) بر اساس نظریه اغتشاشات معادلات نیروی موج بر روی شمع‌های عمودی را مورد بررسی قرار داده‌اند.

1 - Superharmonic

2- Spring

3- Monkmeyer

4- Massel

5- Yoshida

6- Lida

7- Nakamura

8- Kakuno

9- Liu

تئوری امواج خطی :

مهمترین پیچیدگی در بررسی امواج دریا این است که یکی از مرزهای سیستم یعنی سطح آزاد دریا ثابت نبوده و وضعیت این مرز که بایستی بعنوان شرط مرزی در حل معادلات مربوطه اعمال گردد خود مجهول است. از نظر ریاضی، این مشکل ناشی از جمله غیر خطی موجود در معادلات ناویر استوکس است. در هر حال، به علت کوچک بودن این جمله در مقایسه با جملات دیگر موجود در معادله حرکت، با فرض کوچک بودن ارتفاع موج می توان از آن صرف نظر کرد.

برای توضیح تئوری خطی امواج تعریف چند پارامتر اولیه لازم است. اولین پارامتر عدد موج K ،^(۱)

است که عبارتست از:

$$K = \frac{2\pi}{L} \quad (1)$$

$$\frac{\omega}{K} = \frac{L}{T} = C \quad (2)$$

که در عبارات فوق L طول موج، T دامنه نوسان، ω سرعت زاویه ای^(۲) و C سرعت موج است.

تئوری خطی امواج، اولین بار توسط ایری (G. B. Airy) معرفی گردید که در تحلیل امواج دریا مورد

استفاده زیاد دارد. فرضیات اساسی این تئوری عبارتند از:

(۱) جرم حجمی آب یکنواخت و عمق آب ثابت است

(۲) از ویسکوزیته و کشش سطحی آب صرف نظر می شود

(۳) از توان دوم سرعت ذرات^(۳) صرف نظر شده، ولی تاثیر شتاب عمودی در نظر گرفته می شود. این

بدین معنی است که ارتفاع امواج کوچک است.

1- Wave Number

2- Angular Frequency

3- Particle Velocity

۴) جریان سیال غیر چرخشی فرض می شود (۱)

بنابراین تئوری امواج خطی زا می توان به شکل زیر خلاصه کرد:

معادله حاکم: معادله لاپلاس است:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (۳)$$

شرط مرزی در سطح آزاد ($Z = 0$) عبارتست از:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \quad (۴)$$

شرط مرزی در کف دریا ($Z = -h$) عبارتست از:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \quad (۵)$$

و نمایش ریاضی عدم وجود جریان به داخل جسم به صورت شرط زیر خواهد بود، که بایستی بر سطح جسم غوطه ورا اعمال گردد.

در این شرط، n بردار واحد عمود بر سطح جسم است.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \quad (۶)$$

روابط فوق بر اساس فرضیات: جریان غیر چرخشی، غیر ویسکوزیته و کوچک بودن ارتفاع امواج هستند.

حل معادله شماره (۳) را می توان به صورت مجموع پتانسیل امواج برخورد کننده φ_e و پتانسیل امواج

منتشر شده φ_s به دست آورد.

$$\varphi = \varphi_e + \varphi_s \quad (۷)$$

البته پتانسیل امواج منتشر شده (φ_s) بایستی بنحوی باشند که این امواج از جسم دور شوند و این مطلب

نیازمند آن است که پتانسیل فوق در معادله زیر صدق کند.

1- Irrotational

$$\frac{\partial \varphi_s}{\partial r} + \frac{1}{C} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0 \quad (8)$$

۲: فاصله شعاعی از نقطه مورد نظر بر سطح جسم و C سرعت امواج

نهایتاً حل معادله (۸) را به صورت زیر می توان نوشت:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} r^{1/2} \left[\frac{\partial \varphi_s}{\partial r} - ik\varphi_s \right] = 0 \quad (9)$$

$$r \rightarrow \infty$$

چون φ_s معلوم است، شرط مرزی در سطح جسم به صورت زیر تبدیل خواهد شد.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = - \frac{\partial \varphi_s}{\partial n} \quad (10)$$

تئوری شکست

هنگامی که ابعاد جسم بزرگ و قابل مقایسه با طول موج است، شکل موج پس از برخورد با آن کاملاً تغییر می کند در این حالات بایستی معادله لاپلاس را برای شرایطی که در مبحث امواج خطی گفته شد در نظر گرفت و شرط عدم وجود جریان به داخل جسم را نیز به آنها اضافه نمود. این شرط جدید باعث به وجود آمدن امواج (Diffracted Waves) می شود که مانند امواج اصلی به جسم نیروهایی وارد می کند بطوری که نیروی کل وارده بر جسم برآیند این نیروها و نیروهای حاصل از امواج اصلی خواهد بود. از طرف دیگر برخلاف آنچه برای اجسام کوچک دیدیم، نیروی فرود-کریلو را نمی توان به صورت $\rho V U$ در نظر گرفت چراکه تغییرات فشار در اطراف جسم دیگر ثابت نیست، همچنین شرایط استفاده از تئوری شکست ($\frac{D}{L} > 0.2$) بیان کننده این مطلب نیز هست که $\frac{H}{D}$ کوچکتر از ۱ خواهد بود چون $\frac{H}{L}$ بایستی کوچکتر از $\frac{1}{\sqrt{2}}$ باشد. بنابراین برای چنین حالاتی به خاطر کوچک بودن مسیر ذرات نسبت به ابعاد جسم، جدایی اتفاق نمی افتد و نیروی پسا^(۱) چندان مؤثر نخواهد بود. این مطلب بدین معنی است که فرض جریان پتانسیل و استفاده از تئوری شکست بر اساس معادله لاپلاس منجر به نتایج قابل قبولی برای اینگونه اجسام خواهد گردید.

1- Drag Force

تابع پتانسیل موج عبارتست از:

$$\Phi = \frac{gH}{2\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh(Kh)} \phi e^{-i\omega t} \quad (12)$$

که g شتاب ثقل h ارتفاع آب، ω فرکانس موج، K عدد موج و H ارتفاع موج می باشد

با فرض اینکه فاصله بین دو شمع (پایه) مجاور هم $2B$ و کوچکتر از طول موج بوده و هم چنین

$$0 < KB \ll 1$$

باشد بر اساس تئوری کاکانو⁽¹⁾ و لیو⁽²⁾ پتانسیل موج در جلو و پشت شمع های عمودی عبارتست از:

$$\phi_- = e^{ikx} + \left[\frac{dkc'}{dkc'-1} + kBM - (KB)^2 M^2 \right] e^{-ikx} \quad x < 0 \quad (13)$$

$$\phi_+ = \left[\frac{1}{1-kc'} \right] + kBM - (KB)^2 M^2 e^{ikx} \quad x > 0 \quad (14)$$

$$2M = \frac{-s}{2B} \quad (15)$$

که s = نصف سطح مقطع استوانه

c' = ضریب مختلط مسدود که شامل قسمت حقیقی و موهومی بوده و بصورت زیر می باشد

$$c' = c'_r + \varepsilon c'_i \quad (16)$$

بطوری که c'_i : قسمت موهومی بوده که بستگی به تئوری جدائی جریان دارد و بصورت زیر می باشد

$$\frac{c'_i}{B} = \frac{|T|(KH)}{(9\pi/4)(a/B)^2 KB} \frac{\sinh^2 kh + 3}{\sinh(2kh) + 2kh} f \quad (17)$$

بطوریکه a نصف پهنای مجرا، T ضریب انتقال

$$T = \frac{1}{1-\varepsilon c} + \varepsilon c M - \varepsilon^2 M^2 \quad (18)$$

و f ضریب تجربی می باشد

و $C'r$ قسمت حقیقی بوده و بستگی به هندسه شمع ها دارد و برای مقاطع دایره‌ای و مربعی بصورت زیر می‌باشد:

الف - مقطع دایره‌ای :

$$\frac{C'r}{B} = \frac{R}{2} \left(1 - \frac{a}{B}\right)^2 \quad (19)$$

ب - مقطع مربع :

$$\frac{C'r}{B} = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{B}\right) \left(\frac{B}{a} - 1\right) + \frac{2}{\pi} \left[1 - \log\left(\frac{4a}{B}\right) + \frac{1}{3} \left(\frac{a}{B}\right)^2 + \frac{281}{180} \left(\frac{a}{B}\right)^4\right] \quad (20)$$

در شرایطی که اتلاف انرژی وجود نداشته باشد (پراکندگی انرژی) $f=0$ بوده و معادله (۱۶) بصورت زیر

تبدیل می‌گردد:

$$C' = C'r \quad (21)$$

فشار دینامیکی :

اگر معادله کلی فشار دینامیکی بصورت زیر باشد

$$P = -\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\frac{\rho g H}{2} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh(kh)} \phi e^{-\omega t}$$

فشار در جلوی شمع عبارتست از

$$P_- = \frac{\rho g H}{2} \left[1 + \frac{kc'}{kc' - 1} + kBM - (KB)^2 M^2\right] \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh(kh)} e^{-\omega t} \quad x < 0 \quad (23)$$

فشار در پشت شمع :

$$P_+ = \frac{\rho g H}{2} \left[\frac{1}{1-kc'} + kBM - (KB)^2 M^2\right] \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh(kh)} e^{-\omega t} \quad x > 0 \quad (24)$$

خواهد بود و اختلاف فشار بصورت زیر می‌باشد:

$$\Delta P = (P_-) - (P_+)$$

یا با جایگزینی معادلات (۲۳) و (۲۴) رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$\Delta P = \rho g H \frac{kc'}{1-kc'} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh(kh)} e^{-\omega t} \quad (26)$$

هم چنین با توجه به اینکه نیروی افقی ناشی از امواج بر روی ستونهای عمودی با مقطع مربع بصورت

زیر می باشد:

$$F = 2B \int_{-h}^0 \Delta P dz \quad (27)$$

لذا با جایگزین معادله (۲۶) در معادله (۲۷) و انتگرال گیری، معادله نیروی حاصل از امواج بر روی

ستونهای عمودی بصورت زیر خواهد بود.

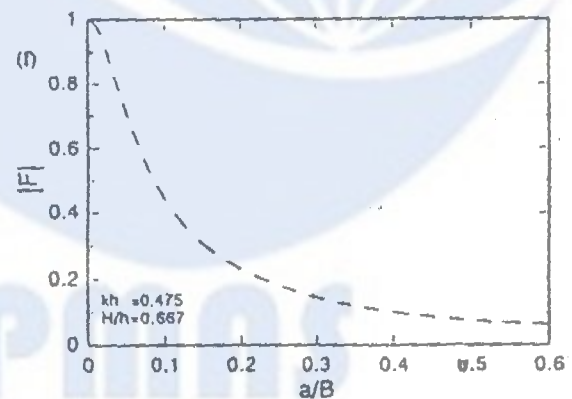
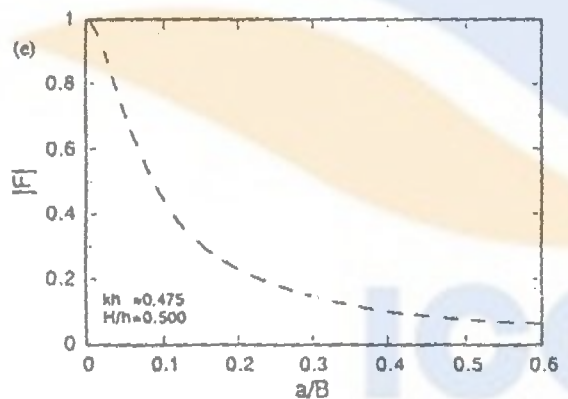
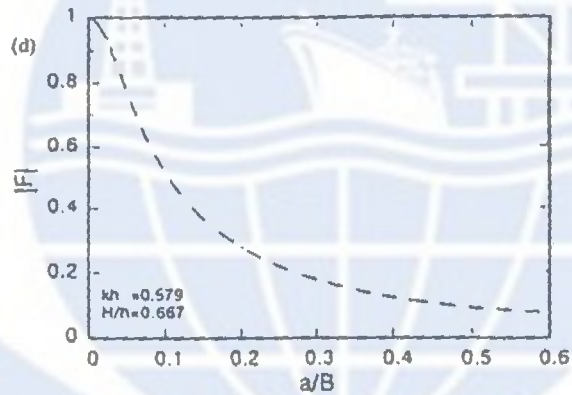
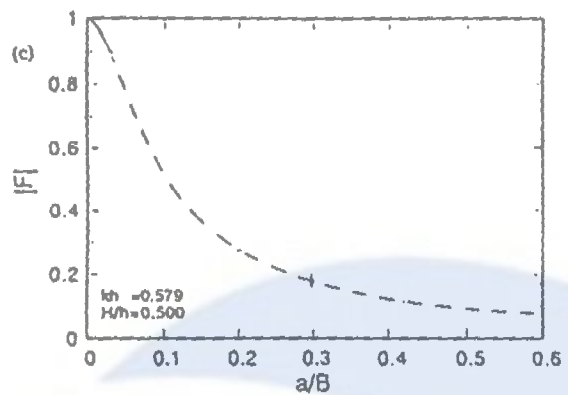
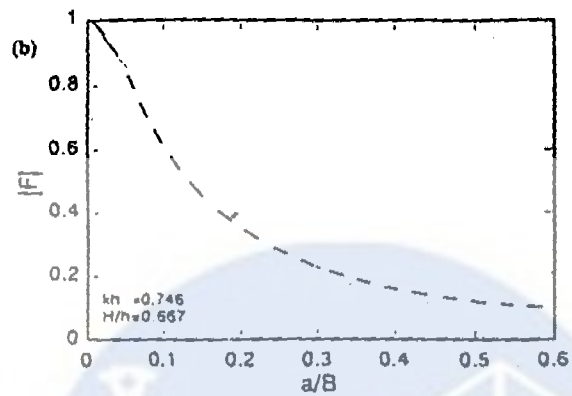
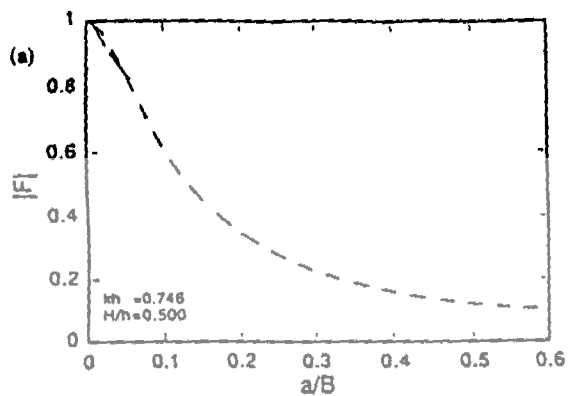
$$F = 2B \rho g H \frac{kc'}{1-dkc'} \tan(kh) e^{-\omega t} \quad (28)$$

* * *



ICOPMAS

نمودارها:



رابطه بین نیرو و پارامترهای موج و فواصل شمعها

نتیجه گیری:

یکی از نیروهای عمده وارد بر سازه دریایی، نیروی امواج می باشد که ممکن است همزمان از یک یا چند جهت بر سازه وارد شود، شکل و ارتفاع و طول این امواج نامنظم می باشند. با توجه به روابط و نمودارها در این مقاله نتایج زیر حاصل گردید.

-۱

- با فرض T (پریود موج) که ثابت است برای نمودار a, b :

- با افزایش ارتفاع موج (H) مقدار نیرو زیاد می شود.

-۲

T نسبت به حالت الف تغییر یافته (افزایش) و برای نمودار d و c ثابت فرض شده است، در نتیجه: با افزایش ارتفاع موج (H) مقدار نیرو زیاد می شود.

-۳

T (پریود موج) نسبت به حالت ب تغییر می یابد (افزایش) و برای نمودار e, f ثابت است در نتیجه: با افزایش ارتفاع (H) مقدار نیرو زیادی می شود.

۴- با مقایسه نمودارهای a, c, e با کاهش kh و با نسبت ثابت $\frac{H}{h}$ مقدار نیرو کاهش می یابد (با افزایش موج ناشی از موج بر سازه کم می شود).

۵- با در نظر گرفتن نمودارها که با افزایش نسبت $\frac{a}{B}$ نیرو ناشی از موج بر سازه کم می شود و با کم شدن آن، نیروی ناشی از موج زیاد می شود

ضمناً روش مورد مطالعه در مقایسه با روشهای دیگر مانند روش Saniflou , Molitor تطابق مناسبی نشان می دهد نمودارهای بدست آمده بر اساس حل روابط تئوری مندرج در این مقاله ترسیم شده است.

پیشنهاد برای ادامه کار:

با عنایت به شرایط نامناسب خاک و محدودیت عملیات اکتشافی، شناخت خواص مکانیکی خاک با دقت مناسب از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. مهمترین خواصی که در تعیین طرح ایمن و در عین حال اقتصادی سازه های دریایی مؤثر می باشد خصوصیات تغییر شکل پذیری و مقاومت برشی خاک می باشد. برای ادامه کار توصیه می شود مسئله اندرکنش سازه و سیال و خاک پی سازه های دریایی مورد توجه قرار گیرد.

منابع:

1. Shohachi Kakuno, Yoshihiro Nakata, and philip L.F. "wave forces on an array of vertical cylinders" J. wtrwy., port, coastal., and ocean. L., vol. 122, No.3, may/June, 1996. CASCE,
2. Kakuno, s., and liu, P.L.-F. (1993). "Scattering of water waves by vertical cylinders" J.Wtrwy., Port, coast., and oc. Engrg., ASCI 119(3), 302-322
3. M. Rahman and I.C. Chakravarty, "design method for predicting wave forces on rectangular caissons" J. wtrwy., port, coast., and oc. engrg., vol. 112, No.6, November. 1986. CAS CE,
4. Aysen Ergin and Saleh Abdalla, "Comparative study on beaking wave forces on vertical walls" Journal of water way, port, coastal, and ocean Engineering, vol. 119.No.5. September/october, 1993. CASCE,
- 5- John Antonopoulos, "simplified Methods to calculate wave loadings on vertical wall Breakwater" journal of waterway, port, Coastal, and ocean Engineering, vol.113, No.6. November, 1987.CASCE

دکتر محمد سیف، "سازه‌های دریائی" عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۶

ICOPMAS

Calculating Wave Forces on Structures with Vertical Unequal Span

M. J. Khanjani.

Gh. A. Barani.

A. Garmsiri.

Shahid Bahonar University of Kerman

Abstract

Today, various structures are built in the water in order to exploit maritime resources. These structures are dynamically faced with different forces coming from the sea waves, against which they must resist and remain stable. The maritime structures that use spans are well-found at the coasts. There are three different waves which can hit these spans: the unbroken (ordinary) waves, the breaking and the broken waves. Each of these waves exerts a certain amount of force to the body of the spans. This has been investigated by many researchers so far. Among the three wave kinds mentioned above, the breaking wave exerts the highest and the most critical force to the body of the spans. In this study, the different forces that compound into the breaking waves are analyzed on a row of spans with a quadrangular basis and different distances separating them, and finally in terms of the distance between the spans, the forces that are imposed on each span were calculated and were brought into comparison to the results of other similar studies that have been conducted in this field.

Keywords: breaking waves; maritime structures; spans