

Memo

Aan [REDACTED]

Kopie aan

Van [REDACTED]

Datum 27-mei-2020

Documentnr. ASD-NOT-1499

Blad 1 van 4

Onderwerp Afleiding ontwerp golfhoogte H_{\max} voor ontwerp kunstwerken

Introductie

Voor de constructieve veiligheid dient de golfbelasting op kunstwerken met een frequentie van 1/10.000 per jaar te worden gebruikt. Voor 'zachte' constructies zoals dijken en dammen is het ontwerp gebaseerd op (spectrale) significante golfhoogte (H_{m0}). Voor 'harde' constructies zoals de betonnen en stalen kunstwerken dient de maximaal optredende golf (H_{\max}) gebruikt te worden.

Vanuit de klant zijn de hydraulische condities bindend voorgeschreven in Rapport Hydraulische Randvoorwaarden v7.0. De voorgeschreven condities bevatten echter alleen de spectrale golfhoogte (H_{m0}). Om tot een H_{\max} te komen wordt voor dit project verwezen naar de Leidraad kunstwerken. De Leidraad kunstwerken heeft een simpele formule om tot een veilige waarde van de ontwerpgolf H_{\max} te komen.

De eenvoudige formule in de Leidraad kunstwerken gaat uit van een Rayleigh-verdeling van golfhoogte. De Rayleigh-verdeling van golfhoogte is gebaseerd op lineaire golftheorie (diep water) en kent geen beperking in golfsteilheid of diepte beperking. Hierdoor kom de ratio tussen H_{\max}/H_s op basis van Rayleigh met een hele klein kans van voorkomen (ongeveer 0,01%) op een factor van 2,2. De factor 2,2 wordt in de Leidraad als veilige waarde afgegeven.

Level heeft besloten om voor de bepaling van de ontwerp golf voor kunstwerken een gedetailleerder analyse van de H_{\max} te maken omdat de Rayleigh-verdeling als onnodig conservatief wordt beschouwd. De belangrijkste reden daarvoor zijn:

- De hydraulische condities zoals afgegeven op de gedefinieerde uitvoerlocaties zoals beschreven in HR 7.0 zijn met spectraal golfmodel (SWAN) bepaald. In dit golfmodel wordt ook de golfhoogte voor beperkte waterdiepte gecorrigeerd (Battjes en Janssen 1978)
- Bij lagere waterstanden worden lagere spectrale golven afgegeven wat een sterke indicatie is dat de spectrale golfhoogte ook al door de waterdiepte wordt beperkt
- Afsluitdijk is gesitueerd in ondiep water met niet lineaire golven, een Rayleigh-verdeling is dus niet van toepassing en leidt tot overschatting van de ontwerpgolf omdat deze fysisch niet kan bestaan.

Battjes Groenendijk

Level is op zoek gegaan naar een beschrijving van de verdeling van golfhoogte in het spectrum die van toepassing is voor ondiep water zoals van toepassing bij de Afsluitdijk. In 2000 hebben Battjes & Groenendijk in de Coastal Engineering een paper over de verdeling van golfhoogtes op ondiepe vooroevers gepresenteerd 'Wave height distributions on shallow foreshores Battjes Groenendijk 2000' (B&G 2000).

De paper presenteert een empirische formule om de ratio H_{max}/H_{m0} te bepalen voor ondiep water condities. Deze formule is gebaseerd op uitgebreid modelonderzoek waar gekeken is naar de invloed van spectrale golfhoogte over waterdiepte en bodemhelling. Hierin zijn impliciet de niet lineaire effecten zoals golfsteilheid en golfbreken door diepte meegenomen. Voor diepwater condities laat B&G 2000 dezelfde verdeling zien als de Rayleigh-verdeling van golfhoogtes. Maar voor relatieve ondiepe locaties wordt de fractie van hoogste golven in hoogte gereduceerd, zie Figuur 1.

Door niet lineaire golfeffecten zit er een fysische bovengrens aan de H_{max} op ondiep water. Daarom laat B&G 2000 in tegenstelling tot Rayleigh een logaritmisches afvlakkende curve zien. De modelproeven waarop B&G is gebaseerd zijn met 1000 golven gedaan, waar in de staart van de verdeling nog maar marginale groei van de golfhoogte te zien is. Dit in tegenstelling tot een Rayleigh verdeling welke op logaritmische schaal doorgroeit.

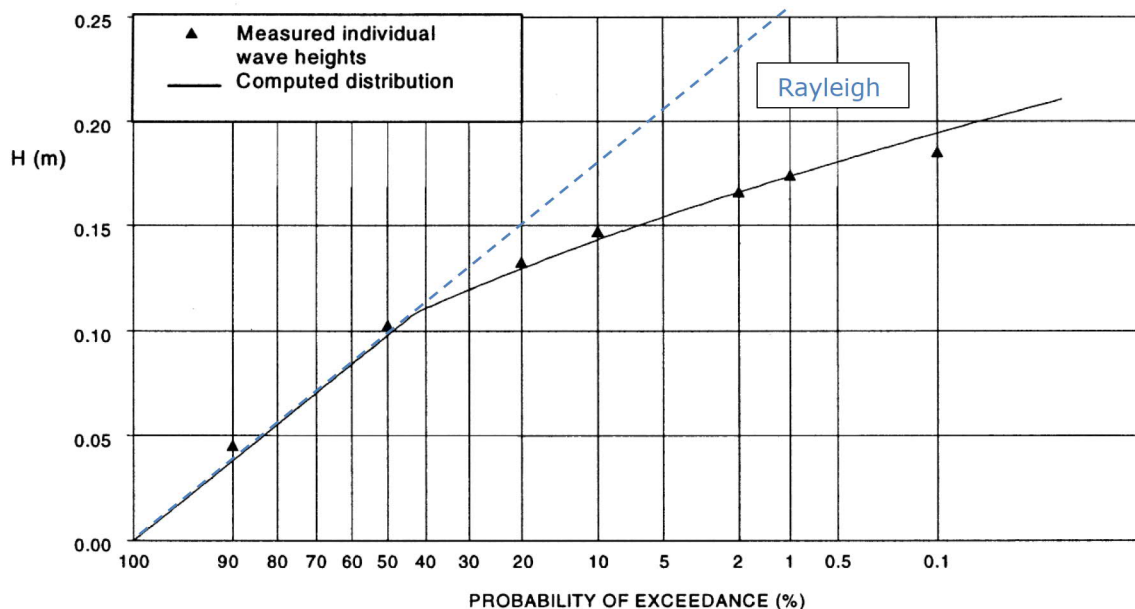


Fig. 10. Measured (solid triangles) and calculated (drawn line) wave height distribution on slope 1:100, $m_0 = 1.1E-3 \text{ m}^2$ and $d = 0.27 \text{ m}$.

Figuur 1: gemeten en berekende golfhoogte verdeling zoals weergegeven in de paper van B&G (Rayleigh verdeling zelf toegevoegd)

De gegeven B&G-formule laat bij een kleine kans van optreden zelfs nog een overschatting ten opzichte van de gemeten golfhoogte zien (de berekende lijn lijkt onvoldoende af te buigen). Als

bovengrens van de golfhoogte in een ondiep water golfveld wordt dan ook de 0,1% golfhoogte als maximale golf gezien.

Golfhoogte verdeling is gebaseerd op de generieke bodemligging van de Waddenzee. Als generieke bodem helling is een helling van 1:100 aangehouden. Verdieping ter plaatse van de kunstwerken zullen de golfhoogte in eerste termijn reduceren en vervolgens is de strijklengte tot aan het kunstwerk onvoldoende om de golf hoger te laten worden dan deze al was bij binnenkomst van het diepe deel.

De B&G 2000 methode is later overgenomen in de Rock Manual 2007. Waarmee B&G 2000 een wijd geaccepteerde en toegepaste verdeling van golfhoogtes in de natte waterbouw is.

Resultaten modeltesten bij Deltares

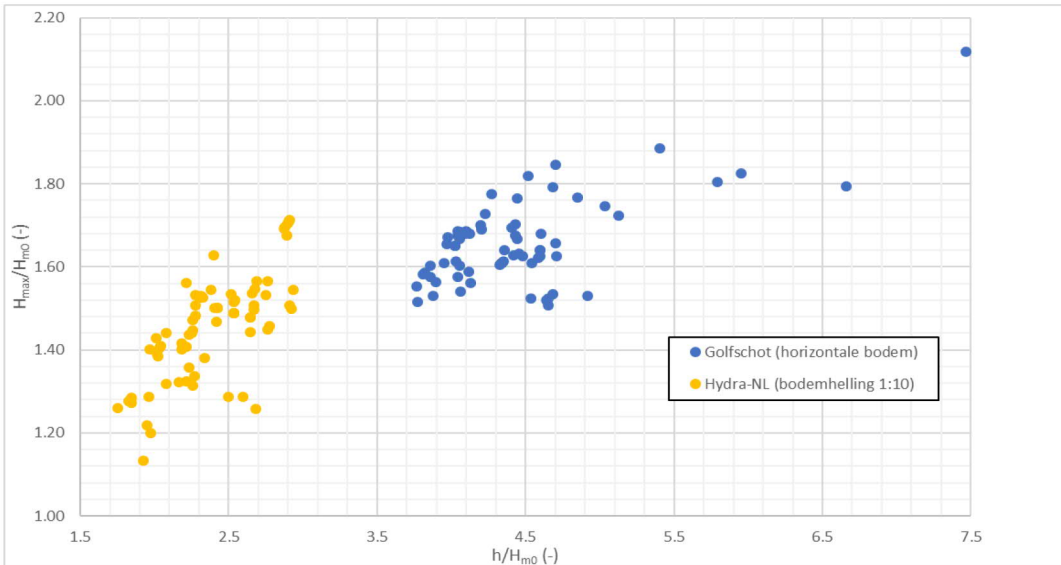
Voor het dijkontwerp zijn veel schaalmodeltesten uitgevoerd bij Deltares. De testen zijn allemaal uitgevoerd met ontwerp golfcondities (1/10.000 per jaar) bij zowel lage als hoge waterstand. Daarbij zijn golfmetingen uitgevoerd op zowel 'diep' water (voor het golfschot) als op het Hydra-NL uitvoerpunt. Er zijn veel verschillende model proeven uitgevoerd met verschillende tijdsduren, variërend van 6 uur tot meer de 24 uur prototypetijd.

De vooroever die gebruikt is om van diep water naar het niveau van het Hydra-NL uitvoerpunt te komen was een kunstmatige en conservatieve helling van 1:10 (een steile vooroever zou volgens B&G tot hogere maximale golven moeten leiden dan een flauwe helling zoals in de Waddenzee aanwezig).

Figuur 2 laat alle gemeten golfcondities zien voor Dijkvak 6b, 8a en 8b. Op de horizontale as staat de relatieve waterdiepte (ratio waterdiepte h en significante golfhoogte H_{m0}). De verticale as laat de ratio zien tussen H_{max} en H_{m0} .

Op basis van deze metingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- De maximaal gevonden ratio H_{max}/H_{m0} op diep water is 2,12, deze test resulteerde in een ratio van 1,6 bij het Hydra-NL punt.
- De maximaal gevonden ratio H_{max}/H_{m0} op de Hydra-NL uitvoerpunten is 1,71.
- Ondanks het grote aantal gemodelleerde golven in de modelproeven is de berekende 0,1% B&G golf hoogte ratio niet overschreden. Voor de testen met een kleine h/H_{m0} -ratios is er bij het golfschot al een reductie van de maximale golfhoogte (B&G voorspelt ook een reductie bij h/H_{m0} -ratios kleiner dan 4,5).



Figuur 2 Golfmetingen in de Scheldegoot van Deltares op diep water ('golfshot'), weergegeven in blauwe puntjes en het golfuitvoerpunt ('Hydra-NL') weergegeven als oranje puntjes voor Dijkvak 6, 8a en 8b

Conclusie

De veilige ontwerp golf afgegeven in de Leidraad ($2,2 * H_{m0}$) heeft een kans van optreden van 0,01% (dit wordt beschouwd als de golf met een kans van optreden van 10% tijdens de ontwerp storm). De lokale condities voor dit project bevinden zich niet op diep water waardoor de beschreven ratio in de Leidraad op basis van een Rayleigh verdeling onnodig conservatief is.

De Battjes en Groenendijk (2000) methode voor het bepalen van de verdeling van golfhoogtes op ondiep water past goed op de situatie voor de Afsluitdijk. Met de B&G is de maximaal optredende golf vastgesteld met 0,1% (dit wordt beschouwd als de golf met een kans van optreden van 10% tijdens de ontwerp storm op ondiep water). De B&G methode is ook opgenomen in de Rock Manual 2007. Waarmee B&G een wijd geaccepteerde en toegepaste verdeling van golfhoogtes in de natte waterbouw is. De schaalmodel testen uitgevoerd voor dit project bevestigen de reductie van de maximale golfhoogte zoals door B&G is voorspeld.

Level rekent daarom met een meer realistische ontwerp golf op basis van een B&G-verdeling van golfhoogte. De vooroverhelling is constant gehouden op 1:100 en de gekozen ontwerp golf is de $H_{0,1\%}$ als representatieve waarde voor H_{max} . Om de ontwerp golf H_{max} bij de verschillende kunstwerken te bepalen wordt ratio H_{max}/H_{m0} gebaseerd op de lokale condities (spectrale golfhoogte en waterdiepte).