

Samenvatting

Sinds de orkaan Katrina in 2005 wordt in de Verenigde Staten veel energie gestoken in het versterken van dijken. Nederlandse bedrijven zijn bij een groot aantal Amerikaanse dijkprojecten betrokken, met name in de staten Californië en Louisiana. De Nederlandse dijkpraktijk komt daarbij in aanraking met de regels en gebruiken die voor Amerikaanse dijken gelden. Dit heeft geleid tot meer Nederlandse literatuurverwijzingen in Amerikaanse richtlijnen. Andersom kan men in Nederland leren van ervaringen van de Amerikaanse dijkbouwers. In dit artikel worden ontwerpmethodieken van dijken uit beide landen vergeleken en worden enkele geotechnische raakvlakken uitgelicht.

Het beste uit twee werelden

De Amerikaanse en Nederlandse dijkbouwpraktijk vergeleken

Figuur 1 Nederlandse dijk anno 2008: buitenwaartse versterking van de Markermeerdijk.
Bron: Fugro 2008.

Dijkbouw is van oudsher een ambachtelijk beroep en veel kennis is proefondervindelijk ontstaan door op kleine schaal te experimenteren. Zo zal men waarschijnlijk op meerdere plekken ter wereld onafhankelijk hebben uitgevonden dat een dijk het beste kan worden opgebouwd uit klei, omdat deze grondsoort water het beste tegenhoudt. Als geotechnische richtlijnen uit diverse landen met elkaar worden vergeleken dan valt op dat geavanceerde analyses van de dijkveiligheid overal plaatsvinden, maar totaal anders zijn onderbouwd. Zo wordt taludstabiliteit in Amerika bijvoorbeeld veelal beschouwd met de methode Spencer, met zowel circulaire als niet-circulaire glijvlakken, gebruik makend van softwarepakketten als UTEXAS4 en SLOPE/W. In Nederland wordt meestal de methode Bishop gebruikt met enkel cirkelvormige glijvlakken en het softwarepakket MStab. Het resultaat is ongeveer hetzelfde. Het wordt interessant als in een ander land voor een zelfde probleem een totaal andere oplossing is bedacht.

Het is lastig om een zuivere vergelijking te maken tussen de Amerikaanse en de Nederlandse dijkbouwpraktijk. Ten eerste is in geen van beide landen sprake van één dijkbouwpraktijk. Hoewel we in een klein land als Nederland veel dijkkennis en -regels hebben vastgelegd in richtlijnen en wetten, kunnen de zienswijzen van verschillende waterschappen en ingenieursbureaus verschillen. Ook zijn er regionale verschillen. Zuid-Hollandse veendijken vergen

bijvoorbeeld een hele andere ontwerpbenadering dan zeedijken in Zeeland of rivierdijken in Gelderland. Om dezelfde reden is het eenvoudig voor te stellen dat in de Verenigde Staten (232 keer zo groot als Nederland) ook geen eenduidige aanpak geldt en dat bijvoorbeeld de dijken in Californië anders worden gebouwd dan langs de Mississippi.

Een groot verschil tussen de Amerikaanse en Nederlandse ontwerpen is het gehanteerde veiligheidsniveau. Op basis van ervaringen met de watersnoodramp in 1953 zijn voor met name stedelijke gebieden (hoog economisch belang) de zeedijken ontworpen op een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar. In vergelijkbare stedelijke gebieden in de Verenigde Staten wordt echter een veel lagere overschrijdingskans gehanteerd, meestal 1/100 per jaar. Ook als we de interne verschillen per land uitvlakken, is een vergelijking tussen Amerikaanse en Nederlandse dijken moeilijk. Nederlandse dijken zouden bijvoorbeeld totaal ongeschikt zijn om zware aardbevingen en orkanen te doorstaan. Anderzijds is het maar de vraag of de bekleding van Amerikaanse dijken stand zou houden tijdens een zware Noordzeestorm. In beide landen zien dijken er verder anders uit, omdat de natuurlijk beschikbare bouwmaterialen per regio verschillen. Tenslotte is het Nederlandse dijkstelsel ouder en verder ontwikkeld. De Amerikaanse situatie kan plaatselijk worden vergeleken met het minder ontgonnen, moerassige Nederland

van een paar honderd jaar geleden.

Toch zijn er een paar opvallende geotechnische raakvlakken die in veel delta's een rol spelen, zoals de aanwezigheid van een alluviale slappe ondergrond en de daarmee samenhangende bodemdaling. Deze raakvlakken hebben geleid tot kennisuitwisseling.

Er zijn veel tekenen van de infiltratie van Nederlandse dijkkennis in Amerikaanse ontwerpwerkwijze. In de vorig jaar verschenen 'Hurricane and Storm Damage Reduction System Guidelines' wordt door het US Army Corps of Engineers beschreven hoe een dijk moet worden ontworpen. Een aantal malen wordt hierbij verwezen naar Nederlandse bronnen. Het gaat daarbij om criteria voor golfoverslag, kwaliteitseisen voor grasmatten en eisen voor klei op dijken. Ook in andere artikelen en leidraden worden Nederlandse richtlijnen overgenomen. De in het Engels vertaalde, digitaal beschikbare, ENW-leidraden (Expertise Netwerk Waterkeren) zijn op veel Amerikaanse computers te vinden. Ook de Nederlandse overstromingsveiligheidsnormen zijn alom bekend. De 'Dutch test' (ofwel de sondering) wordt steeds vaker toegepast bij Amerikaans dijkonderzoek.

Andersom is en wordt in Amerika kennis ontwikkeld die in Nederland ook van pas kan komen. Hier volgen vijf voorbeelden: **1.** In het aardbevingsgevoelige Californië moet rekening worden gehouden met verweking van losgepakte zandlagen door trillingen in de grond. Als zandlagen onder een dijk verweken



Figuur 2 Amerikaanse dijk anno 2008: hoog water op de Mississippi.
Bron: Fugro 2008.

Figuur 3 Grafische weergave grondparameters voor dijk bij New Orleans.
Bron: Fugro 2008.

dan kan een dijk hierdoor bezwijken. In Nederland komen geen zware aardbevingen voor, maar kan wel lokaal verwekingsvloeiing van zandlagen voorkomen, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van steile onderwatertaluds achter de dijk en een plotselinge sterke toename van de water spanningen tijdens hoog water. Door rekenmodellen uit beide landen te combineren kan wellicht worden gekomen tot een optimalere oplossing.

2. In New Orleans en andere stedelijke gebieden worden uit ruimtegebrek veel constructieve oplossingen toegepast in de vorm van bijvoorbeeld een I-muur, een L-muur of een T-muur. Tijdens de orkaan Katrina zijn in New Orleans diverse van dit soort dijkmuren bezwaken. De ontwerpmethodiek is hierna echter verbeterd. In Nederland wordt zelden een geïsoleerde muur als waterkering gebruikt, mede omdat een dijklichaam met grond duurzamer wordt geacht. Bij ruimtegebrek worden echter wel damwanden in de dijk toegepast om de sterkte van de dijk te vergroten. Ook de ontwerpmethodiek van Nederlandse damwanden in waterkeringen is in de laatste jaren doorontwikkeld. Mogelijk kan combinatie van de Amerikaanse en Nederlandse inzichten bij harde constructies in dijken tot meerwaarde leiden.

3. In Amerika wordt op een andere manier tot een set grondparameters gekomen. De grondparameters voor stabiliteitsberekeningen worden met name afgeleid uit resultaten van monsters van boringen, waarbij in het laboratorium de ongedraineerde schuifsterkte alsmede het volumieke gewicht wordt bepaald. In *figuur 3* zijn deze waarden tegen de diepte afgezet, uitgaande van het midden van de dijk. Zo'n profiel wordt ook gemaakt voor de rivierzijde en de achterlandzijde. Tezamen worden deze als invoer voor de stabiliteitsanalyse gebruikt. Resultaten van sonderingen worden nauwelijks voor stabiliteitsanalyses gebruikt.

4. Piping is zowel bij Amerikaanse als Nederlandse dijken een probleem. In Nederland wordt

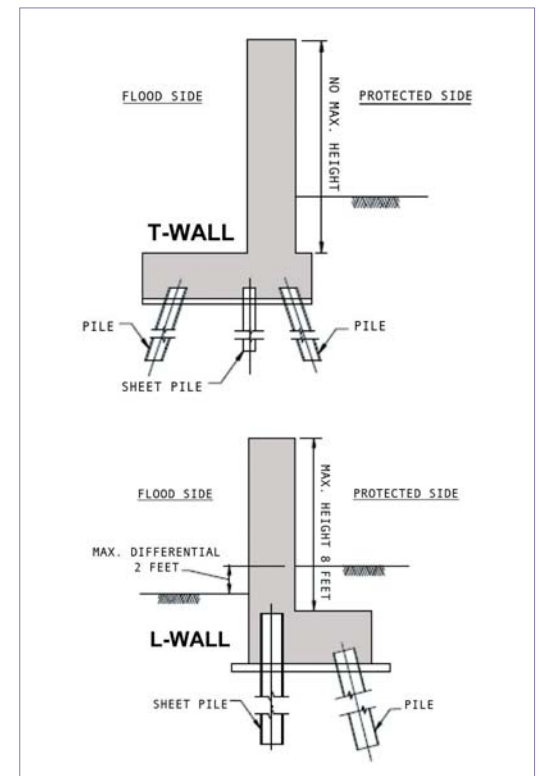
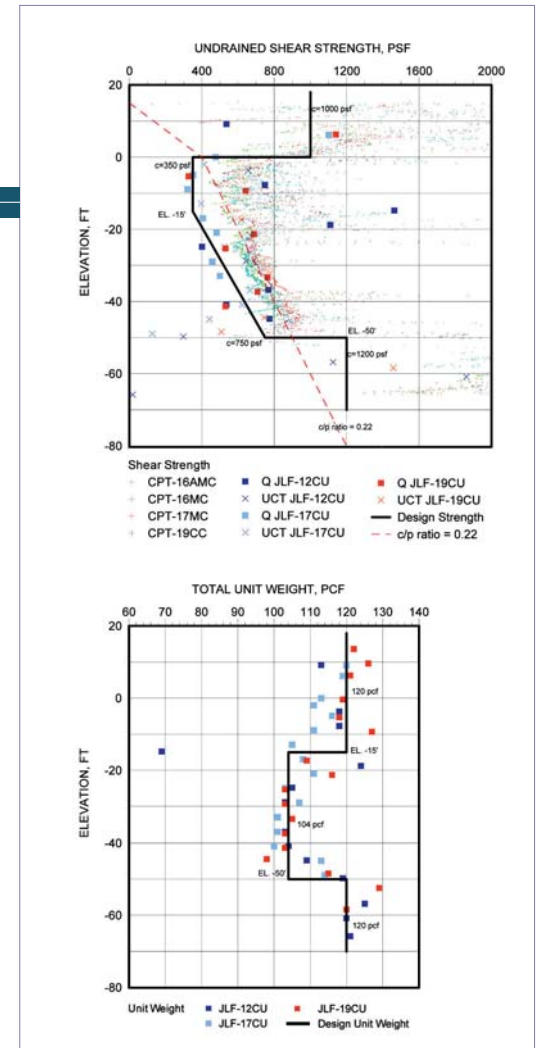
dit faalmechanisme vooral benaderd met kwelwengteanalyses gebaseerd op modelonderzoek. In de Verenigde Staten maakt men echter gebruik van grondwaterstromingsberekeningen die zijn gefit aan praktijkgevallen van piping bij Mississippi dijken. Uit indicatieve berekeningen volgt dat beide methodes andere uitkomsten kunnen geven. Er zijn voorbeelden van Amerikaanse dijken, die in Amerika als pipinggevoelig worden beschouwd, maar die volgens de Nederlandse beoordelingsmethodiek zouden worden goedgekeurd.

5. Naar aanleiding van erosieschade door overslaand water tijdens Katrina is op de Universiteit van Texas door J.-L. Briaud een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de erosiebestendigheid van de grond die als bekleding op de dijken bij New Orleans is toegepast. Op basis van erosieproeven zijn erosiekaarten ontwikkeld (en gevalideerd) waarbij een relatie is gelegd tussen de erosiegraad/-snelheid, de watersnelheid over de dijk en de door het water op het grensvlak van de dijk ontwikkelde schuifspanning. De resultaten van dit onderzoek kunnen worden vergeleken met de Nederlandse eisen voor klei op dijken.

De oudst bekende Nederlandse dijk dateert van 2000 jaar geleden. Mede door deze lange staat van dienst wordt de Nederlandse waterbouwkennis wereldwijd gerespecteerd. Een land is echter nooit te oud om te leren. In de Verenigde Staten (en andere landen) staat de kennisontwikkeling op het gebied van waterkeringen niet stil. Hier kan nuttig gebruik van worden gemaakt. ■

Referenties

- Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Special issue: Performance of geo-systems during hurricane Katrina, Vol. 134, Nr. 5, mei 2008.
- Hurricane and Storm Damage Reduction System Guidelines, USACE, oktober 2007.
- Levees en levee evaluation, the Dutch and US practice compared, MSc. thesis, P.R.M. Ammerlaan, augustus 2007.



Figuur 4 Typische vormgeving van een T-muur en een L-muur. Bron: USACE 2007.