

Funderingstechnieken

Uitvoeringsaspecten

A.F. van Tol
H.J. Everts

© VSSD 2006-2012

Uitgegeven door:

VSSD

Leegwaterstraat 42, 2628 CA Delft, The Netherlands

tel. +31 15 278 2124, telefax +31 15 278 7585, e-mail: hlf@vssd.nl

internet: <http://www.vssd.nl/hlf>

URL over dit boek: <http://www.vssd.nl/hlf/f013.htm>

Docenten die in cursusverband met deze publicatie werken kunnen bij de uitgever de verzameling illustraties en/of een elektronische versie van het boek aanvragen. Een verzoek, ondersteund met informatie over de betreffende cursus, kan men sturen naar e-mail hlf@vssd.nl

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

ISBN 978-90-71301-42-1

NUR 955

Keywords: funderingstechnieken

Inhoud

1	INLEIDING	1
1.1	Grond als ‘constructiemateriaal’	1
1.2	Enkele essentiële begrippen uit de grondmechanica	3
1.2.1	Spanningsverdeling	3
1.2.2	Spanningen en vervormingen	6
1.2.3	Schuifweerstand	9
1.3	Kwaliteit van het grondonderzoek	11
1.4	Interactie tussen de te funderen constructie en de ondergrond	13
1.5	Geotechnische normen	14
1.5.1	Aanpak volgens normen	14
1.5.2	Berekening paal draagkracht	17
1.6	Literatuur	18
2	DEEPWANDEN EN BOORPALEN	19
2.1	Inleiding	19
2.2	Uitvoering diepwanden en boorpalen	20
2.2.1	Geleidebalken	20
2.2.2	Bentonietsuspensie	22
2.2.3	Graven van elementen	26
2.2.4	Stabiliteit van de gatwand	31
2.2.5	Berekening stabiliteit van de gatwand	34
2.2.6	Invloed van een diepwandsleuf op de omgeving	43
2.2.7	Voegmallen	45
2.2.8	Wapening	46
2.2.9	Beton	48
2.2.10	Stortprocedure	51
2.2.11	Prefab boorpaal en prefab diepwand	53
2.3	Ontwerp en berekening	54
2.3.1	Verticale belasting	54
2.3.2	Constructieve aspecten	67
2.4	Kosten	68
2.5	Toekomst	70
2.6	Varianten	71
2.6.1	Afwijkende paneel vormen	71
2.7	Literatuur	72
3	DE GESCHROEFDE, IN DE GROND GEVORMDE PAAL	75
3.1	Inleiding	75
3.2	Grondverdringende, geschroefde palen; fundex- en tubex-palen	76
3.2.1	Werkwijze	76
3.2.2	Ontwerp	80
3.2.3	Betonkwaliteit	82
3.3	Niet-grondverdringende, geschroefde palen	83

3.3.1	Werkwijze	83
3.3.2	Opmerkingen met betrekking tot de werkwijze	84
3.3.3	Kwaliteitsaspecten	86
3.3.4	Varianten	88
3.3.5	Mortel- respectievelijk betonkwaliteit en gedrag	92
3.3.6	Ontwerp	97
3.3.7	Kostenaspecten	98
3.4	Marktaandeel en toekomst	99
3.5	Literatuur	100
4	GRONDWATERKERENDE SCHERMEN	101
4.1	Inleiding	101
4.2	Ontwikkelingen in verleden en heden	103
4.3	Cement-bentoniet schermen	106
4.4	Het ontwerpen van cement-bentoniet schermen	107
4.5	De eigenschappen van cement-bentoniet	108
4.6	Kosten	112
4.7	Kwaliteit	112
4.8	Toekomstverwachtingen	113
4.9	Literatuur	113
5	INJECTEREN VAN GROND	115
5.1	Inleiding	115
5.1.1	Permeation grouten	115
5.1.2	Jetgrouten en displacement of fracture grouten	116
5.2	Permeation grouten	117
5.2.1	Injectie vloeistoffen	117
5.2.2	Werkwijze en varianten	120
5.2.3	Toepassingsmogelijkheden	123
5.2.4	Ontwerp, berekening en veiligheid van injectiewerkzaamheden	125
5.2.5	Kosten	128
5.2.6	Verwachte ontwikkelingen	128
5.2.7	Kritische beoordeling en toepassingsgebied	129
5.2.8	Te bereiken sterkte en grondwaterafsluiting	130
5.2.9	Algemene overwegingen	131
5.2.10	Voorbeelden van uitgevoerde werken en ervaringen daarmee	131
5.3	Jetgrouten	134
5.3.1	Algemeen	134
5.3.2	Het jetgroutproces	135
5.3.3	Jetgrout systemen	136
5.3.4	Toepassingen	138
5.3.5	Ontwerpaspecten van jetgrouten	139
5.4	Fracture grouten	144
5.4.1	Algemeen	144
5.4.2	Compaction grouten	144
5.4.3	Compensation grouten	144
5.5	Literatuur	149

6	GROUTANKERS	151
6.1	Inleiding	151
6.2	Werkwijze	152
6.2.1	Algemeen	152
6.2.2	Het afspannen	153
6.2.3	Het voorspanstaal	156
6.2.4	De injectiemortel	157
6.2.5	Bescherming tegen corrosie	157
6.3	Het ontwerp	159
6.3.1	De plaatsing van de ankers	159
6.3.2	Het uitwendige evenwicht	160
6.3.3	Het inwendige evenwicht	162
6.3.4	Het evenwicht van de ankerrij	165
6.4	Rekenvoorbeeld	165
6.5	Verwijderen van de ankers	166
6.6	Kritische beoordeling	166
6.7	Tijdsafhankelijk gedrag van de verankering	169
6.8	Veiligheidsbeschouwing	170
6.9	Toekomst	171
6.10	Literatuur	172
7	KUNSTMATIGE BEVRIEZING VAN GROND	173
7.1	Inleiding	173
7.2	Uitvoeringswijze	174
7.3	Ontwerp	174
7.4	Kosten	177
7.5	Toepassingen	177
7.6	Literatuur	179
8	DIEPTEVERDICHTING	180
8.1	Inleiding	180
8.2	Het principe van verdichting	181
8.3	Werkwijzen	183
8.3.1	Verdichting door middel van trilnaalden	183
8.3.2	Compozer verdichting	185
8.3.3	Terraprobe-verdichting	187
8.3.4	Van Hattum en Blankevoort-methode	188
8.3.5	Dynamische verdichting (Methode Menard)	188
8.3.6	Verdichting door middel van explosies	192
8.4	Redenen tot verdichting van grond	192
8.5	Ontwerp en berekening	192
8.6	Kwaliteitscontrole	196
8.7	Kostenaspecten	199
8.8	Toekomst	200
8.9	Varianten	200
8.9.1	Verbeteren van samenhangende grond met behulp van grindkolommen	200
8.9.2	Verbeteren van samenhangende grond met behulp van kalkkolommen	201

8.9.3	Trekankerblokken	201
8.10	Literatuur	203
9	VERTICALE DRAINAGE	205
9.1	Inleiding	205
9.2	Werkwijze en varianten	207
9.3	Ontwerp	210
9.3.1	Algemeen	210
9.3.2	Drainafstand	211
9.3.3	Rekenvoorbeeld	213
9.4	Werking van een verticale drain	215
9.5	Kostenaspecten	217
9.6	Toekomst	218
9.7	Kritische beoordeling	219
9.7.1	Algemeen	219
9.7.2	Dichtslibben	220
9.7.3	Kwaliteitscontrole	221
9.7.4	Drainagelaag	223
9.7.5	Kunststofdrains	223
9.7.6	Controle-metingen op het werk	225
9.8	Literatuur	226
10	HEIEN EN TRILLEN	227
10.1	Inleiding	227
10.2	Het heien van palen	227
10.2.1	Het blok, de muts en de paal	227
10.3	De zakking van de paal	231
10.4	Resultaten van een meting van kracht en zakking van een paal	235
10.5	Het intrillen van damwanden	239
10.6	Hinder voor de omgeving	241
10.6.1	Heien	241
10.6.2	Trillen	245
10.7	Controlemetingen	245
10.8	Testen van de draagkracht	246
10.9	Literatuur	247
	FOTO'S	248
	INDEX	265

1 Inleiding

1.1 Grond als 'constructiemateriaal'

Het beoefenen van de funderingstechniek houdt in dat men in zekere zin construeert met het materiaal 'grond'. Grond is niet een eenduidig gedefinieerd materiaal met redelijk constante eigenschappen zoals staal, hout of beton, maar het vertoont een enorme variatie in verschijningsvormen en eigenschappen.

Rots is het ene uiterste, terwijl jonge veenafzettingen zoals die in West-Nederland voorkomen wellicht het andere uiterste vormen. Daar tussenin is alles mogelijk: zand, klei, leem of verweerde rots. Maar ook, meer in detail, instabiel zeer los gepakt fijn zand met een uniforme korrelgrootte of stabiel zeer dicht gepakt conglomeraat, een grondsoort waarin elke korrelgrootte van vele decimeters tot en met de fijnste kleifracie is vertegenwoordigd.

Onder ons land komt het Pleistocene zand als een dik pakket voor. Dit pakket lijkt meestal homogeen volgens de boorstaat, maar is dat geenszins. Zie daartoe Figuur 1.1.

Iedere onderzoeker is als kind opgegroeid in een bepaalde omgeving en heeft daar zijn eerste grondmechanische ervaring opgedaan met bergbeklimmen, slootje springen of in het zand spelen. Die ervaring is een lokale. Dat blijft ook gelden voor de werker die in zijn beroep de grondmechanica en funderingstechniek beoefent en zijn ervaring dagelijks vergroot in zijn geografisch operatieterrein. Hij vormt zich een steeds nauwkeuriger beeld van de grond in de verschijningsvormen binnen zijn werkgebied. Klei is voor hem de klei zoals hij die kent, maar dat is niet dezelfde klei als voor een collega die in een ander geografisch gebied werkt en een heel andere geologische voorgeschiedenis heeft.

Natuurlijk herkent u deze situatie en lijkt het u overbodig om daarmee een boek te beginnen. Dit aspect is echter toch meer omvattend dan u wellicht denkt. Enkele voorbeelden mogen dit illustreren:



Figuur 1.1 Loodrechte insteek in het Pleistocene zand. De zichtbaar geworden structuur laat de ontstaansgeschiedenis duidelijk uitkomen. De vlechtende structuur is kenmerkend voor de fluvio-glaciale afzettingen.

- het sonderen is voor Nederlanders vanzelfsprekend het beste systeem van terreinonderzoek. In sommige andere landen voelt men er echter weinig of niets voor. Niet omdat men het sonderen als methode afkeurt, maar omdat de grondslag vele obstakels bevat en er zich daarom veel minder toe leent. Maar in ons land is de ondergrond voor het sonderen ideaal te noemen.
- in Nederland heeft men als regel gunstige ervaringen met verticale drainage, terwijl er andere onderzoekers zijn die over hun ervaringen ontevreden zijn. De grotere horizontale dan verticale doorlatendheid van onze grond levert een belangrijke positieve bijdrage aan het effect. Niet in alle slappe samendrukbare gronden komt dat verschijnsel voor.
- in vele landen zijn stalen palen economisch zeer verantwoord, terwijl wij die ervaring niet delen. Het grote penetratievermogen in grond met veel obstakels en het bereiken van rotsgrond, zodat de sterkte van het staal volledig kan worden benut, zijn daaraan debet.

Deze opsomming kan uiteraard worden voortgezet, maar voor de vereiste begripsbepaling zijn deze voorbeelden voldoende.

De grote verscheidenheid waarin grond zich openbaart laat toe dat er grote verschillen in waardering van funderingsmethoden bestaan. Elke methode heeft zijn beperkingen en als de ontwerper die negeert bestaat de kans dat hij de voorpagina haalt. In een bepaalde grondslag komt een bepaalde methode als de meest ideale tevoorschijn, terwijl er ook grondgesteldheden zijn waar toepassing onverantwoord

is. Men moet voorzichtigheid betrachten en zich kritisch opstellen voordat succesvolle Nederlandse werkwijzen elders in de wereld worden toegepast en omgekeerd. Er is geen funderingsmethode die, ongeacht de grondgesteldheid, ideaal is. Het leren zien en het kennen van de beperkingen van een bepaalde funderingstechniek is van essentieel belang.

Daartoe is een goed begrip van wat grond kan zijn en hoe het zich mede onder invloed van zijn poriënwater zal gedragen, absoluut onmisbaar. Deze aspecten vallen onder het vakgebied van de grondmechanica, waarover vele en goede leerboeken beschikbaar zijn [zie onder andere literatuur 1.1, 1.2 en 1.4].

Aangezien kennis van grondmechanica absoluut onmisbaar is bij het beoefenen van funderingstechniek is dit hoofdstuk gewijd aan de belangrijkste onderdelen van dat vak. Iedere geïnteresseerde in funderingstechniek moet zich echter realiseren dat hij niet kan volstaan met dit hoofdstuk alleen. De volledige stof van een goed studieboek over grondmechanica, dient hij zich beslist eigen te maken. Die stof zal hem in staat kunnen stellen om onverwachte verschijnselen tijdens de uitvoering van een werk te verklaren en daar adequaat op te reageren.

1.2 Enkele essentiële begrippen uit de grondmechanica

1.2.1 Spanningsverdeling

Zoals hiervoor al werd opgemerkt is de geologische ontstaansgeschiedenis van elke grondslag van grote betekenis. Deze geschiedenis is mede bepalend voor de heersende spanningstoestand in het grondmassief. Laten we dit illustreren met een voorbeeld. Langs de zuidelijke Rijnsoever ten oosten van Nijmegen komt zand voor tot flinke diepte. Dat is ook het geval op veel plaatsen langs de Nederlandse kust. Hoewel beide zanden door een boormeester zouden kunnen worden omschreven als: ‘schoon, zeer fijn zand’, zijn er grote verschillen. Die verschillen zijn er, zelfs al zouden beide zanden dezelfde korrelverdeling en dezelfde dichtheid bezitten.

Bedoeld worden in dit verband de grote verschillen in spanningstoestand. Langs onze kust zijn de dieper gelegen zandformaties in bewegend water afgezet en de hoger gelegen lagen door de wind. In beide omstandigheden zullen de heersende horizontale korrelspanningen laag zijn in verhouding tot de verticale korrelspanning. Dat wil zeggen dat de heersende horizontale korrelspanning, die we de ‘neutrale’ korrelspanning noemen, niet zo ver van de actieve korrelspanning zullen zijn verwijderd.

Vaak wordt aangenomen dat de waarde van de neutrale korreldrukcoëfficiënt kan worden beschreven door:

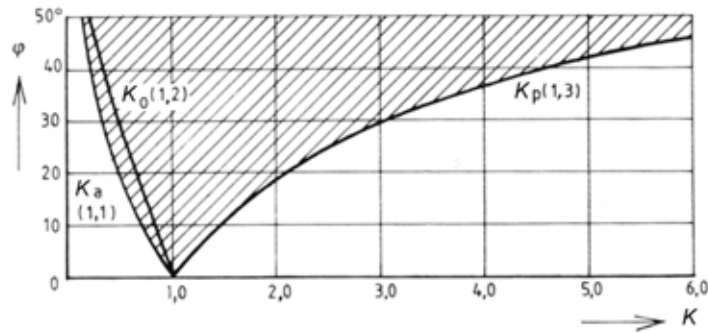
$$K_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} = 1 - \sin\phi \quad (1.1)$$

Deze aanname leidt tot waarden van de korreldrukcoëfficiënt K_0 als aangegeven in Figuur 1.2. In deze figuur zijn tevens de waarden voor de actieve en passieve

korreldrukcoëfficiënten K_a en K_p weergegeven, conform (1.2) en (1.3).

$$K_a = \frac{\sigma'_{ha}}{\sigma'_v} = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (1.2)$$

$$K_p = \frac{\sigma'_{hp}}{\sigma'_v} = \operatorname{tg}^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (1.3)$$



Figuur 1.2 De horizontale korreldrukcoëfficiënt kan tussen zeer ruime grenzen variëren (het gearceerde gebied).

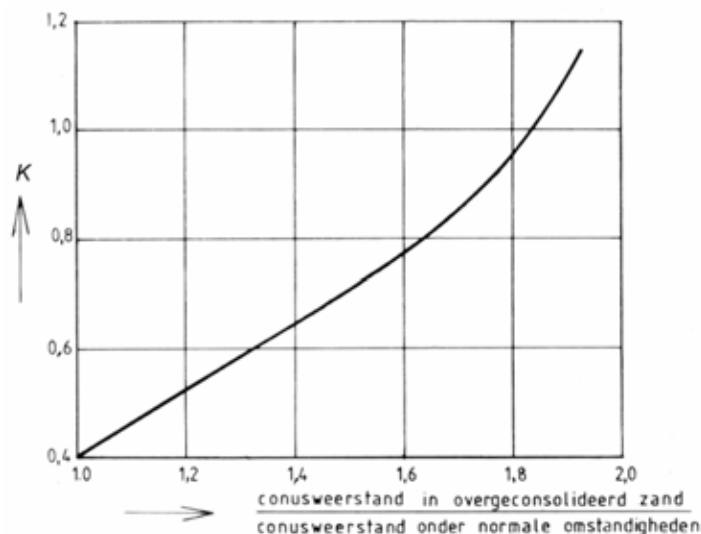
In de ijstijd heeft de ijskap die de noordelijke helft van ons land bedekte als een bulldozer het zand voor zich uit geschoven en zo een stuwwal gevormd. Hoewel dit zo'n 200.000 jaar geleden plaatsvond en de verticale korrelspanning inmiddels weer laag is, is het zeker dat ook nu nog de horizontale korrelspanning een hoge waarde heeft op plaatsen, waar vroeger de ijskap heeft gelegen. Hoe hoog is moeilijk exact te zeggen, maar in zulke gevallen zal de horizontale korrelspanning zeker hoger zijn dan de waarde $(1 - \sin \phi)\sigma'_v$. Vooral in de bovenlagen van het terrein zal deze een waarde kunnen bereiken, die dicht bij de passieve is gelegen. In de literatuur wordt voor de neutrale korreldrukcoëfficiënt, na ontlasten, wel de onderstaande betrekking gegeven.

$$K_{0;untl} = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} = (1 - \sin \phi) \text{OCR}^{\sin \phi} \quad (1.4)$$

Hierin is OCR de *overconsolidatiegraad*, gedefinieerd als de hoogste verticale korrelspanning, waaraan de grond ooit is blootgesteld, gedeeld door de actuele verticale korrelspanning. Deze waarde is niet exact te bepalen maar kan bij benadering worden geschat met behulp van geologische gegevens, zoals de dikte van de ijskap of met behulp van gidslagen, kleilagen waarvoor de ongedraineerde schuifsterkte een maat is voor de maximale spanning die ooit aanwezig is geweest [zie literatuur 1.5]. De toestand waarin de grond bij Nijmegen verkeert, wordt dus 'overgeconsolideerd' genoemd. In beide gevallen zal hetzelfde zand met eenzelfde korrelstructuur en korrelstapeling zich verschillend gedragen. Zouden we bijvoorbeeld palen heien, dan zal dit in overgeconsolideerd zand moeilijker gaan dan in normaal geconsolideerd zand. De conusweerstand en vooral de plaatselijke kleef zullen ook verschillend zijn. Hieruit blijkt dat de conusweerstand en de plaatselijke kleef niet alleen variëren

met de pakkingsdichtheid, maar ook met de mate van overconsolidatie van de grond. Een hoge conusweerstand kan daarom betekenen:

1. een normaal geconsolideerde grond met een goede pakkingsdichtheid òf
2. een sterk overgeconsolideerde grond met een beperkte pakkingsdichtheid. Zie Figuur 1.3.



Figuur 1.3 Verband tussen de conusweerstand in zand en de mate waarin dit zand overgeconsolideerd is, volgens gegevens van Prof. J.H. Schmertmann.

In beide gevallen zal de grond zich verschillend gedragen, waaruit weer volgt dat er geen constante relatie in absolute zin zal zijn tussen de sondeerresultaten en het gedrag van de grond. Wel zal er een redelijk constante relatie bestaan als we ons beperken tot een vergelijking van gevallen binnen hetzelfde geologische gebied.

Met dit voorbeeld is toegelicht dat we de spanningstoestand zoals die in de ondergrond heerst meestal niet goed kennen. Dat maakt het beoordelen van het al of niet toelaatbaar zijn van extra belastingen op of in zo'n ondergrond ondoorzichtig en moeilijk. Elke zuiver theoretische benadering kan daardoor nooit tot een exact antwoord leiden. De ervaring opgedaan in het verleden moet de ontbrekende kennis dan ook aanvullen.

Tot slot van deze opmerkingen over de heersende spanningstoestand moet er nog op gewezen worden dat grond meestal een opeenstapeling van losse korrels is, waarvan wordt aangenomen dat de spanningstoestand overal homogeen is. Ook dat is in de praktijk anders. Er vormen zich in het korrelskelet spanningstrajecten waarlangs de spanningen zich concentreren en waartussen gebieden zijn die niet of nauwelijks meedoen aan het doorgeven van de spanningen.

Hoe grover het korrelmateriaal hoe groter ook de zones kunnen zijn waartussen verschillen optreden. In driedimensionale zin kunnen zich gewelven vormen die grote spanningsconcentraties vertonen bij hun opleggingen en gebieden afschermen voor de bovenbelasting. In gesteenten zijn deze verschijnselen ook zichtbaar b.v. karstverschijnselen, grotvorming, maar ook in grofkorrelig materiaal komt hetzelfde verschijnsel voor. Dit wordt dan vaak aangeduid met de term 'gewelfwerking'.

1.2.2 Spanningen en vervormingen

De werkelijke spanningstoestand hangt onder meer samen met de vervormingen, waaraan de grond is blootgesteld geweest. Deze vervorming kan een natuurlijke zijn, bijvoorbeeld de opstuwing door een gletsjer, maar kan uiteraard ook kunstmatig zijn. Omdat we de uitgangssituatie niet kennen, is het onmogelijk te voorspellen tot welke spanningstoestand een verschuiving van bijvoorbeeld 1 millimeter zal leiden. Wat we wel weten zijn de uiterste grenzen van de spanningstoestand. In een vlakke (2-dimensionale) spanningstoestand noemen we die grenzen de actieve en de passieve waarden. In een 3-dimensionale toestand, bijvoorbeeld rondom een 'rond' boorgat of een 'vierkante' paal, kennen we die uiterste grenzen niet exact. Wel weten we dat ze aanzienlijk verder uit elkaar zijn gelegen dan in het 2-dimensionale geval.

De spanningen kunnen zich dan ook tussen wijde grenzen herdistribueren, zodat in 3-dimensionaal verband de korrelspanningen erg gevoelig zullen kunnen reageren op kleine vormveranderingen. Omgekeerd leiden spanningsveranderingen in het korrelskelet ook noodzakelijkerwijs tot vervormingen. Spanningsverhoging leidt tot samendrukking, zowel in horizontale als in verticale zin en spanningsverlaging leidt tot zwellings, ook in beide hoofdrichtingen. De samendrukkingssnelheid wordt afgeremd door het poriënwater, waardoor consolidatie als functie van de tijd optreedt. Samendrukking bestaat daarom uit elastische vervorming van het korrelskelet en plastische vervorming door herschikking van de korrelstapeling (inclusief breuk van korrels op plaatsen waar de spanningstrajecten tot grote spanningsconcentraties leiden). Zwellings kan alleen een gevolg zijn van elastische terugvering, die klein zal zijn ten opzichte van de plastische samendrukking. In verzadigde grond wordt de snelheid waarmee zwellings optreedt afgeremd door het poriënwater.

Het boven omschreven gedrag is van grote betekenis. Wordt bijvoorbeeld een boorgat gemaakt onder gebruikmaking van een bentonietsuspensie, dan zal de radiale horizontale korrelspanning in het vlak van de gatwand een grootte aannemen, die gelijk is aan de druk van de suspensie, verminderd met de grondwaterdruk. Zie Figuur 1.4. Uit het feit dat dit soort boorgaten in de praktijk stabiel blijven blijkt dat de, uit de steundruk resulterende horizontale korrelspanning een verrassend kleine waarde kan aannemen. Dit is in het bijzonder het geval wanneer de stijghoogte van het poriënwater op korte afstand onder het maaiveld is gelegen en indien schone, dus lichte bentonietsuspensie met een volumegewicht van bijvoorbeeld $10,5 \text{ kN/m}^3$, in het gat staat.



Figuur 1.4 Verloop met de diepte van de korrel- en waterspanningen ter weerszijden van een gegraven gat, gevuld met een steunvloeistof.

In zandgrond zal die kleine waarde onmiddellijk worden bereikt en zal het korrelskelet daardoor zijdelings iets uitzetten naar het boorgat toe. De korrels onderling hebben dan ook kleine onderlinge schuifweerstand, waardoor de stabiliteit van de gatwand nogal labiel zal zijn. De uit de steundruk resulterende horizontale korrelspanning op een diepte h beneden de steunvloeistofspiegel is gelijk aan het verschil tussen steundruk en poriënwaterdruk:

$$\sigma'_h = 10,5h - (h - a)10 = 0,5h + 10a \text{ kN/m}^2 \quad (1.5)$$

met a = afstand van maaiveld tot aan de grondwaterspiegel.

In Nederland ligt de grondwaterstand vaak op korte afstand onder maaiveld, zodat $a = 1,00$ m. In dat geval gaat formule (1.5) over in:

$$\sigma'_h = 0,5h + 10 \text{ kN/m}^2 \quad (1.6)$$

De normaal in de grond aanwezige horizontale korrelspanning is gelijk aan de neutrale korrelspanning. In zandgrond met een volume gewicht gelijk aan 17 kN/m^3 boven de grondwater en 20 kN/m^3 onder de grondwaterstand wordt dit:

$$\sigma'_{h,0} = K_0 \sigma'_v = (1 - \sin \phi)(17a + (h - a)10) \quad (1.7)$$

(deze uitdrukking (net als 1.5 overigens) geldt alleen als h begint op het maaiveld; dat is in Figuur 1.4 niet helemaal het geval).

Voor $\phi = 30^\circ$ en $a = 1,00$ m wordt gevonden:

$$\sigma'_{h,0} = 5h + 3,5 \text{ kN/m}^2 \quad (1.8)$$

Vergelijking van de formules (1.6) en (1.8) laat duidelijk zien dat het graven van een gat in de grond een verlaging van de horizontale korrelspanningen met zich mee-