

MEMO

Aan : ██████████ Laboratorium voor Infra- en Geotechniek, Arnhem
Van : ██████████ - Principal Consultant Fugro Geoservices BV Leidschendam
Ref. : 1711-0026-000.M01
Datum : 19 oktober 2011
Betreft : **Laboratoriumonderzoek ATM zand**

Op verzoek het laboratorium is door ondergetekende een evaluatie gemaakt van het uitgevoerde laboratoriumonderzoek op ATM zand. ATM zand is door de aannemerscombinatie Combinatie De Hollandsche Waard - Overdiep toegepast als alternatief voor zand in ophoging volgens de RAW. Voor laatstgenoemde materiaal zijn eisen in de RAW aangegeven m.b.t. de samenstelling in korrelgroottes, waarbij het materiaal maximaal 50% materiaal < 63 μm en maximaal 8 % lutum (< 2 μm) mag bevatten. Volgens de huidige classificatie norm NEN 5104 "Classificatie van Onverharde Grondmonsters" valt de classificatie van grond met deze eigenschappen tussen: ZAND en ZAND uiterst siltig / ZAND Kleiig .

Op dit materiaal zijn naast Proctor proeven, triaxiaalproeven, korrelverdelingen en doorlatendheidsproeven uitgevoerd. In deze memo is een beschouwing gemaakt van de sterkte eigenschappen van het toegepaste materiaal. Voor zover ons bekend zijn hieraan in het bestek geen eisen gesteld, buiten het behalen van de vereiste verdichtingsgraad in-situ.

De triaxiaalproeven zijn derhalve zoveel mogelijk op de dichtheid uit de Proctorproeven geprepareerd om op deze wijze inzicht te krijgen in de te verwachten sterkte eigenschappen in-situ.

In totaal zijn hiertoe een 8-tal monsters beproefd door middel van isotroop geconsolideerde gedraineerde triaxiaalproeven. In deze proeven wordt bij 3 spanningsniveaus de schuifspanningeigenschappen bepaald, die volgens de standaard uitwerkingsmethode zijn uitgewerkt met een bepaling van de effectieve hoek van inwendige wrijving ϕ' en de effectieve cohesie c' als gemiddelde over de 3 deelresultaten / spanningsniveaus. Uit de proeven blijkt dat naast de afgeleide hoek van inwendige wrijving tevens een aanzienlijke effectieve cohesie intercept aanwezig te zijn, terwijl voor een cohesieloos verondersteld materiaal als zand een waarde van 0 wordt verwacht.

Dit effect wordt wel meer waargenomen door een 3-tal effecten:

- In het Mohr-Coulomb diagram wordt de raaklijn aan de effectieve spanningscirkels als een rechte lijn verondersteld, terwijl deze in werkelijkheid niet recht is en afbuigt naarmate het spanningsniveau hoger wordt. Dit effect is een bekend fenomeen uit de literatuur.

Ref. : 1711-0026-000.M01

19 oktober 2011

- Het materiaal is eveneens een variabele, aangezien naarmate het korrelmateriaal hoekiger van vorm is een haakweerstand aanwezig is die dit effect nog kan versterken.
- Het materiaal bevat gemiddeld rond de 20 % fijne fractie (< 63 μm).

Om in een stabiliteitsanalyse effectieve cohesie mee te nemen in de sterkte parameters is in onze optiek niet verstandig. Voor dit soort materialen stellen wij voor om de secant ϕ' waarden uit de triaxiaalproef te gebruiken, waarbij per belastingtrap de ϕ'_{sec} waarde is afgeleid uitgaande van een effectieve cohesie c' van 0 kPa. Op deze wijze wordt ook in het lage spanningsgebied beter rekening gehouden met de werkelijke sterkte.

Door ons is hiertoe een analyse uitgevoerd van de proefresultaten van de triaxiaalproeven, waarin op basis van de ϕ'_{sec} waarden een representatieve ϕ'_{sec} waarde te bepalen m.b.v. de in NEN 6740 gegeven statistische methode.

In de onderstaande tabel zijn naast de reeds gerapporteerde overzicht(en) de laatste proeven (ATM 23-09-2011) en de afgeleide secant ϕ'_{sec} waarden toegevoegd.

Tabel 1. Overzicht laboratoriumresultaten

Parameter	M6929	M6941	MM6929 - 6939	PK2	PK3	Terp3	Terp4	ATM 23-09-2011	eenheid
> 2 mm (grind)	24.8	8.8	16.3	28.6	24.2	29.5	25.6		% (m/m)
< 2mm > 63 μm (zand)	57.7	67.9	66	50.4	55.5	51.5	53.1		% (m/m)
< 63 - > 2 μm (silt)	17.5	23.3	17.7	16	17.2	13.7	18.2		% (m/m)
< 2 μm (lutum)	2.5	2.1	1.3	5.1	3.1	5.3	3.1		% (m/m)
M63 (zandmediaan)	196	229	269	204	179	212	184		μm
Cu zand	2.9	3.1	3.1	3.3	2.8	3.2	2.9		--
Cu totaal	13.2	7.1	11.2	45.2	14.5	39.6	16.4		--
gloeiverlies	3	2	2.2	-	-	-	-		% (m/m)
Max. droge proctor dichtheid	1729	1650	1692	1821	1862	1827	1817	1720	kg/m ³
Optimum watergehalte	13.1	16.3	14.2	13.3	11.8	11.9	11.9	15.9	% (m/m)
Triaxiaal inbouwdichtheid t.o.v. proctor dichtheid	102	102	102	91	95	91	90	95	%
Phi waarde (1)	34	34	38	35	36	36	35	31	°
Effectieve cohesie (1)	35	18	11	16	66	41	41	40	kPa
Secant phi trap 1	45	41	42	41	53	48	48	45	°
Secant phi trap 2	41	38	41	39	47	44	43	40	°
Secant phi trap 3	38	36	39	37	43	40	39	37	°
Secant phi gem	41.3	38.3	40.7	39.0	47.7	44.0	43.3	40.7	°
Volumegewicht nat (2)	20.8	20.4	20.7	20.4	20.5	20.2	20.1		kN/m ³
Volumegewicht droog (2)	17.4	16.8	17.2	16.4	17.3	16.4	16.1	16.0	kN/m ³
Watergehalte (2)	19.5	21	20.8	24.3	18.5	23.7	24.7	23.9	% (m/m)

De triaxiaalproeven zijn uitgevoerd over een range van dichtheden variërend tussen 90 en 102 %. In de praktijk komen de lagere dichtheden niet voor – de resultaten van de verdichtingsproeven, die dagelijks op het werk worden uitgevoerd geven een verdichtingsgraad tussen 98 en 102 %. Vergelijking van de behaalde dichtheid blijkt dat gemiddeld over de proeven het materiaal op 96% van de maximale Proctor dichtheid is beproefd. Verwacht wordt dat een iets hogere dichtheid geen significant ander resultaat zal opleveren.

De resultaten uit tabel 1 zijn statistisch verwerkt om de gemiddelde van de verschillende proeven te bepalen en de variatie op basis van de standaard deviatie en de gemiddelde waarde. Vervolgens zijn met de in de norm NEN 6740 geven waarden voor $R_{n,v}$ de representatieve waarde berekend.

Dit is uitgevoerd voor:

- Voor de gemiddelde waarde van ϕ' en c'
- Voor de gemiddelde waarde van ϕ'_{sec} over belastingtrap 1
- Voor de gemiddelde waarde van ϕ'_{sec} over belastingtrap 2
- Voor de gemiddelde waarde van ϕ'_{sec} over belastingtrap 3
- Voor de gemiddelde waarde van ϕ'_{sec} per triaxiaalproef

De resultaten hiervan staan in de onderstaande tabel. Tevens zijn de afgeleide representatieve waarden, waarbij de variatiecoëfficiënt v is gecontroleerd met de waarde uit tabel 1 van NEN 6740. De waarde voor ϕ' waarde voldeed ruimschoots (maximaal 0,1) echter voor de cohesie was deze te hoog is en is de maximale waarde van 0,2 uit tabel 1 NEN 6740 aangehouden.

Tabel 2. Representatieve waarden afgeleid van NEN 6740

	Gemiddelde waarde	Stand dev		variatie coëff v	$R_{n,v}$	gem repr waarde
Phi waarde (1)	34.9	2.0	°	0.06	0.92	32.1
Effectieve cohesie (1)	33.5	18.0	kPa	0.54	0.85	28.5
Secant phi trap 1	45.4	4.2	°	0.09	0.92	41.7
Secant phi trap 2	41.6	2.9	°	0.07	0.92	38.3
Secant phi trap 3	38.6	2.2	°	0.06	0.92	35.5
Secant phi gem	42.0	3.0	°	0.07	0.92	38.7

Op basis van deze analyse kan voor de sterkte van het ATM zand een representatieve ϕ' waarde van $38,7^{\circ}$ worden aangehouden. Voor hoge spanningsniveaus zou een iets lagere waarde kunnen worden aanbevolen.

Ref. : 1711-0026-000.M01

19 oktober 2011

- Gezien de zeer grote spreiding in eisen voor “zand in aanvulling” is het niet direct mogelijk om de afgeleide parameters van het ATM zand met “zand in aanvulling” te vergelijken. De eigenschappen van zand voor ophoging en aanvulling zullen sterk afhankelijk zijn het gehalte < 63 μm . Naarmate het gehalte hoger is zullen de wrijvingseigenschappen ook lager zijn. Bij percentage van 50% < 63 μm zou het materiaal niet meer als zand kunnen worden geclassificeerd volgens de NEN 5104 en eerder in de buurt van Leem sterk zandig (Lz3). Voor dit materiaal wordt in tabel 1 in NEN 6740 de volgende waarden gegeven bij een nat volumiek gewicht 19 kN/m³:
- Effectieve hoek van inwendige wrijving ϕ' van 27,5⁰
- Effectieve cohesie van 0 kPa

Bij een nat volumiek gewicht 20 kN/m³ bedragen deze waarden:

- Effectieve hoek van inwendige wrijving ϕ' van 35⁰
- Effectieve cohesie van 2 kPa

Concluderend kan worden gesteld dat het ATM zand met betrekking tot de geotechnische eigenschappen ruimschoots voldoet en meer dan vergelijkbaar is met de verwachte eigenschappen van “zand in aanvulling”. De doorlatendheidsproeven laten een lage doorlatendheid zien in vergelijking met zand met weinig materiaal < 63 μm , hetgeen gezien het gehalte aan gehalte < 63 μm te verwachten is. De doorlatendheid van het ATM zand zal zich niet veel anders ontwikkelen dan “zand in aanvulling” met een waarde die op basis van een korrelverdeling zou worden verwacht. Derhalve mag ook worden verwacht dat het ATM zand zich qua doorlatendheid niet anders zal gedragen dan “zand in aanvulling” met dezelfde korrelverdeling.