

CHALMERS

4077



Granulära stenmaterials mekaniska egenskaper

Mechanics of Granular Stone Materials

ANDERS BERG

Department of Geology
School of Civil Engineering
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sweden 1998

INNEHÅLL

ABSTRACT	i	
FÖRORD	ii	
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	iii	
SYMBOLER	vi	
SAMMANFATTNING	viii	
1	INLEDNING	1
	1.1 Bakgrund	1
	1.2 Problemställningar	2
	1.2.1 Spänningar	2
	1.2.2 Deformationer	4
	1.3 Syfte och omfattning	5
2	LITTERATURSTUDIE	6
	2.1 Spänningar	6
	2.1.1 Inledning	6
	2.1.2 Analytisk dimensionering av vägöverbyggnader	6
	2.1.3 Spänningskomponenter allmänt	7
	2.1.4 Spänningar i en överbyggnadskonstruktion	9
	2.1.5 Spänningar i granulära material	12
	2.1.5.1 Granulära materials sammansättning och funktion	12
	2.1.5.2 Interpartikulära kontakter i granulära material	15
	2.1.5.3 Teoretiska studier av spänningar i granulära material	20
	2.1.5.4 Experimentella studier av spänningar i granulära material	25
	2.2 Deformation	34
	2.2.1 Inledning	34
	2.2.2 Inverkande faktorer	35
	2.2.2.1 Antal belastningscykler	36
	2.2.2.2 Spänningsnivå	37
	2.2.2.3 Spänningshistoria	37
	2.2.2.4 Rotation av huvudspänningsriktningar	38
	2.2.2.5 Densitet	39
	2.2.2.6 Fukt	40
	2.2.2.7 Gradering	41
	2.2.2.8 Kornform	43
	2.2.2.9 Mineralogi	44
	2.2.2.10 Övrigt	44

3	HYPOTESER	46
	3.1 Konceptualisering	46
	3.1.1 Spänningar	46
	3.1.1.1 Variabilitet	46
	3.1.1.2 Vertikala och horisontella delkomponenters materialberoende	47
	3.1.2 Deformation	48
	3.1.2.1 Degradering	48
	3.1.2.2 Omlagring	50
	3.2 Probabilistisk teori för spänningars fördelning	52
	3.2.1 Bakgrund	52
	3.2.2 Variabilitet	54
	3.2.3 Modellering	55
4	GENOMFÖRDA FÖRSÖK	64
	4.1 Spänningsmätningar	64
	4.1.1 Metod och utrustning	64
	4.1.2 Material	71
	4.1.3 Genomförande	71
	4.2 Degradering	72
	4.2.1 Metod och utrustning	72
	4.2.2 Material	74
	4.2.3 Genomförande	74
	4.3 Omlagring	75
	4.3.1 Metod och utrustning	75
	4.3.2 Material	77
	4.3.3 Genomförande	77
5	RESULTAT	78
	5.1 Spänningar	78
	5.1.1 Spänningars variabilitet kontra partikelstorlek	79
	5.1.1.1 Försök med granulära material av stålsfärer	79
	5.1.1.2 Försök med bergkross av olika fraktion	79
	5.1.2 Partikelgeometrins inverkan	81
	5.2 Degradering	84
	5.3 Omlagring	86

6	SLUTSATSER OCH REKOMENDATIONER	88
6.1	Spänningar	88
6.2	Degradering	89
6.3	Omlagring	90
	REFERENSER	91
	BILAGOR	
1	Analys av mätfel	
2	Materialprover	
3	Spänningsmätningar	
4	Diskret element modellering	
5	Kontaktpunkters fördelning i bergkross	
6	Siktanalyser	
7	Fotografier	

SAMMANFATTNING

Genomförda studier syftar till att öka förståelsen för obundna stenmaterials mekaniska egenskaper. Förbättrad kunskap om materialens funktion som bärande element i vägöverbyggnader är önskvärt ur två principiellt olika avseenden:

- Formulerande av kvalitetskrav avseende de byggnadsmaterial som produceras för vägbyggnadsändamål grundas på kunskap om hur dessa material fungerar och vilka specifika materialkaraktistika som därmed är av vikt.
- Dimensionering och bärighetsanalys av överbyggnadskonstruktioner fordrar att ingående materials egenskaper kan beskrivas med relevanta modeller.

Mot bakgrund av för branschen aktuella frågeställningar kring materialens mekaniska egenskaper formulerades frågeställningar. Dessa avser i materialen uppträdande spänningar och processer bakom deformation av obundna materialskikt under upprepad belastning. Frågeställningarna specificeras i texten kapitel 1 och kan i korthet sammanfattas i tre punkter:

- Hur beror inre spänningar i materialen av karakteristika som kornform, ytråhet och fraktionens sammansättning?
- I vilken omfattning medverkar degradering av materialen till uppkommande deformationer under repetitiv belastning?
- Hur uppkommer omlagring i materialen under repetitiv belastning av intensitet som motsvarar trafikbelastning?

Baserat på genomförda litteraturstudier har ett antal hypoteser formulerats avseende angivna frågeställningar. Inre spänningar till följd av påförd belastning modellerades enligt probabilistisk teori för partikulära material (Harr 1977). För modellering valdes ett artificiellt partikelmateriale i form av sfäriska partiklar av enhetlig diameter och en sammansatt bergkrossfraktion. Beräkningarna baseras på experimentell karaktärisering av materialets egenskaper. Resultaten bedöms vara intressanta, bland annat genom att modellen möjliggör beräkning av spänningars variabilitet. Vidare utveckling av modellen föreslås ske genom karaktärisering av material avseende interpartikulära kontaktpunkters fördelning.

En omfattande försöksserie genomfördes avseende laborativa spänningsmätningar i granulära material av olika karaktär. I studien ingår artificiella granulära material av stålsfärer samt granulära stenmaterial av varierande fraktion och karaktär. Försöken omfattar krossade och okrossade bergartsmaterial av olika mineralogisk sammansättning och kornform.

Resultaten kan sammanfattas enligt följande:

- Vertikala normalspänningar fördelas oberoende av kornform och ytråhet uttryckt som flisighetstal och krossytegrad. Nämnade materialkaraktistika påverkar inte heller uppkommande radiella spänningar i sådan omfattning att det kunnat säkerställas.
- Spänningarnas variabilitet ökar som funktion av kornstorleken.

- Sammansatta fraktioner uppvisar stor variabilitet avseende uppträdande spänningars storlek, trots god kompaktering.
- Av de i försökserien ingående fraktionerna uppvisade sammansatta fraktioner med bred gradering mindre tvärkontraktion än ensgraderade fraktioner.

Degradering och omlagring studerades i separata försök. Materialprov belastades enaxligt över cirkulär yta, med cykliska belastningar av frekvensen 2 Hz. Belastningsintensiteten varierade enligt en sinusfunktion över tiden. Maximal belastningsintensitet har skiftat mellan olika försök. Material av olika mineralogisk sammansättning och fraktion studerades under försök med olika belastningsintensitet, antal lastcykler och fukthalt. Resultatet är entydigt.

- Inte för något försök kan degradering påvisas till följd av påförda belastningar.
- Uppträdande interpartikulära kontaktkrafter är för studerade material och belastningar inte så stora att de resulterar i dragbrott hos enskilda partiklar.

Trots att resultaten visar överensstämmelse med andra i litteraturen rapporterade laborieförsök bör det poängteras, att degradering av obundna stenmaterial inte kan uteslutas under realistiska omständigheter. Trafiklast ger upphov till andra påkänningar än de som påförs laborativt, samtidigt som en flexibel terrassyta medför större elastiska deformationer än försöksutrustningen. Det är därmed möjligt att finfraktioner genereras till följd av nötning av interpartikulära kontaktytor. Vidare påverkar klimatologiska omständigheter bergmaterialets beständighet. I detta sammanhang bör poängteras att obundna överbyggnadsmaterial utsätts för stora påkänningar till följd av trafikbelastning under byggtiden. Tunga fordon som trafikerar dessa materialskikt orsakar högre spänningar än vad som kan förväntas uppkomma under vägens livslängd.

Resultaten av de försök som avser omlagring är behäftade med ett antal begränsningar, se texten 4.3.3 och 5.3, varför inga långtgående slutsatser medges. Utvärderingen antyder dock, att omlagring förekommer med stor spridning inom materialvolymen. Relativ förskjutning uppkommer i interpartikulära kontaktytor i det granulära materialet. Väl definierade zoner inom vilka detta fenomen koncentrerats och därmed orsakat vertikal sättning av den belastade överytan kan inte iaktas. Uppmätt deformation förefaller istället utgöra den ackumulerade effekten av lokala deformationsfenomen med stor spridning inom den studerade materialvolymen.

Mot bakgrund av de frågeställningar som studerats utkristalliseras ett antal områden vilka bör belysas genom fortsatta undersökningar.

- Modellering av uppträdande spänningar i granulära material till följd av påförd yttre belastning. Kvantitativ information om uppträdande spänningars variabilitet i de studerade materialen skulle tillföra värdefull kunskap för analys av överbyggnads-konstruktioner.
- Bergarters utmattningsegenskaper. Det kan inte uteslutas att spänningsnivåerna i interpartikulära kontaktytor, hos obundna stenmaterial under trafikbelastning, är av sådan omfattning att lokala utmattningsbrott uppkommer efter ett stort antal belastningscykler.

- Fältförsök avseende omlagring och degradering under realistiska förhållanden. Belastning i form av tung fordonstrafik under rådande klimatologiska omständigheter.