



KUNGL. TEKNISKA HÖGSKOLAN
Royal Institute of Technology

2054
g

TRITA-IP FR 97-20
ISSN 1104-683X
ISRN KTH/IP/FR--97/20--SE

DEPARTMENT OF
INFRASTRUCTURE AND PLANNING

REPORT

PERMANENT DEFORMATION BEHAVIOUR
OF
UNBOUND GRANULAR MATERIALS

Licentiate Thesis

Fredrick Lekarp

Division of Highway Engineering

SAMMANFATTNING

Analytiska dimensioneringsmetoder för flexibla vägöverbyggnader är idag en av de mest diskuterade frågorna i vägbyggnadssammanhang. En grundläggande förutsättning för analytisk dimensionering är kännedom om ingående materials mekaniska egenskaper. Aktuell kunskap om beteendet hos obundna material, som utgör huvuddelen av en vägöverbyggnad, är begränsad. Syftet med studien, som presenteras i denna avhandling, är att öka kunskapen om plastiska deformationer i obundna granulära material genom litteraturstudier och laboratorieförsök.

Litteraturstudien visar att permanent deformation i granulära material påverkas av följande faktorer: spänningsnivå, huvudspänningsrotation, antal belastningscykler, fukthalt, spänningshistoria, densitet, kornstorleksfördelning och materialtyp. Modellering av plastisk deformation baseras normalt på ackumulering av permanent töjning med antal belastningscykler och effekten av spänning. Samtliga matematiska ekvationer beskrivna i litteraturen är framtagna genom regression och skall därför inte betraktas som analytiska ekvationer. Sedan ett par decennier har den s. k. "shakedown-teorin" och dess applicering vid analytisk modellering av vägöverbyggnader diskuterats.

Det experimentella arbetet omfattar en serie laboratorieundersökningar av plastisk deformation i fem olika obundna stenmaterial under dynamisk belastning. Triaxial- och hollowcylinderprovningar har genomförts med syftet att studera sambandet mellan permanent töjning och antal belastningscykler respektive spänning. Provningsresultaten har använts för att verifiera olika matematiska modeller, framför allt den s. k. Paute-modellen.

Inverkan av spänning betraktas i Paute-modellen med hänsyn tagen till materialets skjuvhållfasthet och dess statiska brottlinje. Detta visar sig vara ett tvivelaktigt förfarande, då det kan leda till felaktiga slutsatser om materialets beteende under dynamisk belastning. Paute-modellen kan dock användas för beskrivning av sambandet mellan permanent töjning och antal belastningscykler.

En ny matematisk modell presenteras för beräkning av permanent deformation i obundna granulära material. Ackumulerad plastisk töjning vid godtyckligt antal belastningscykler beskrivs i den nya modellen som en funktion av skjuvspänningskvot och spänningsvägens längd. Resultatet indikerar principiella likheter mellan modellen och shakedown-teorin. Vid låg skjuvspänningskvot dämpas ökningstakten i permanent töjning med antal belastningar, och ett elastiskt materialbeteende uppkommer. Om skjuvspänningskvoten är hög visar materialet stadigt ökande permanent töjning och gradvis kollaps. Denna viktiga ändring i materialets beteende antas ske vid en viss kritisk skjuvspänningskvot, som kan betraktas som materialets shakedown-gräns.

TABLE OF CONTENTS

1 INTRODUCTION	1
2 LITERATURE REVIEW	3
2.1 INTRODUCTION	3
2.2 GENERAL CHARACTERISTICS OF GRANULAR MATERIALS	3
2.2.1 <i>Structural Role of Granular Layers in a Road Pavement</i>	3
2.2.2 <i>Stresses in Unbound Granular Layers</i>	4
2.2.3 <i>General Deformation Characteristics of Unbound Granular Materials</i>	7
2.2.4 <i>Interaction Between Water and Granular Materials</i>	9
2.3 FACTORS AFFECTING PERMANENT DEFORMATION	12
2.3.1 <i>Introduction</i>	12
2.3.2 <i>Stress Level</i>	12
2.3.3 <i>Principal Stress Rotation</i>	15
2.3.4 <i>Number of Load Applications</i>	16
2.3.5 <i>Moisture Content</i>	18
2.3.6 <i>Stress History</i>	19
2.3.7 <i>Density</i>	21
2.3.8 <i>Grading and Aggregate Type</i>	22
2.4 MODELLING PERMANENT DEFORMATION BEHAVIOUR	24
2.4.1 <i>Introduction</i>	24
2.4.2 <i>Correlation Between Static and Dynamic Loading Tests</i>	24
2.4.3 <i>Correlation Between Resilient and Plastic Behaviour</i>	26
2.4.4 <i>Permanent Deformation Moduli</i>	26
2.4.5 <i>Permanent Strain and Number of Cycles</i>	27
2.4.6 <i>Permanent Strain and Stresses</i>	29
2.4.7 <i>Shakedown Theory</i>	33

3 EXPERIMENTAL	35
3.1 INTRODUCTION.....	35
3.2 TESTING EQUIPMENT	35
3.2.1 Introduction.....	35
3.2.2 Repeated Load Triaxial Apparatus	37
3.2.3 Hollow Cylinder Apparatus	41
3.3 THE MATERIAL	43
3.4 LABORATORY TESTS.....	45
3.4.1 Shear Strength Tests.....	45
3.4.2 Permanent Deformation Tests.....	47
4 RESULTS AND DISCUSSIONS	49
4.1 SHEAR STRENGTH TESTS	49
4.2 VERIFICATION OF THE PAUTE MODEL	50
4.2.1 Introduction.....	50
4.2.2 Influence of Number of Load Cycles on Permanent Deformation.....	50
4.2.3 Influence of Stress Level on Permanent Deformation.....	56
4.3 A NEW MODEL FOR PERMANENT DEFORMATION BEHAVIOUR.....	62
4.3.1 Introduction.....	62
4.3.2 Accumulation of Permanent Axial Strain with Number of Cycles	63
4.3.3 Effect of Stresses on Permanent Deformation Behaviour	65
5 CONCLUSIONS	70
5.1 LITERATURE REVIEW.....	70
5.2 LABORATORY EXPERIMENTS	71
6 ACKNOWLEDGEMENTS.....	73
7 REFERENCES.....	74
APPENDIX I DETAILS OF THE TEST PROGRAMME	79