

# Ontwerp van Europese Norm prEN 1537 i.v.m. grondankers.

door ir. Jan Maertens, Raadgevend Ingenieur en Docent KU Leuven.

## 1. Inleiding.

Het is wellicht iedereen bekend dat er in het kader van de eenmaking van Europa gewerkt wordt aan het opstellen van Europese normen. Dit is ook het geval op het gebied van de grondmechanica en funderingstechniek. De eerste initiatieven op dat gebied werden reeds meer dan 10 jaar geleden genomen. Gedurende de eerste jaren werd maar een zeer trage vooruitgang geboekt. De laatste jaren schijnt het opstellen van deze normen nu toch in een stroomversnelling te zijn terechtgekomen.

In Januari '94 werd de ontwerpnorm "Eurocode 7 = ENV 1997 - 1 Geotechnical Design" goedgekeurd. Sinds juli '94 is deze norm officieel verkrijgbaar in het Engels. Om deze voornorm in de praktijk te kunnen aanwenden moet er nog nationale toepassingsdocumenten aan toegevoegd worden. Daarna kan deze voornorm gedurende 3 jaar vrijblijvend worden toegepast. Het zal daarbij vooral van belang zijn om de resultaten verkregen met de in de norm opgenomen ontwerpregels te vergelijken met deze verkregen met de tot dan toe gebruikelijke ontwerpregels.

Het is mij niet bekend hoe het opstellen van het Nationaal Toepassingsdocument in België zal worden aangepakt. Het feit dat België over geen enkele norm beschikt op het gebied van de grondmechanica en funderingstechniek, noch over algemene aanvaarde rekenregels, zal bij het opstellen van het toepassingsdocument zeker een zeer belangrijke handicap vormen.

De testfase voor de ENV 1997-1 duurt minstens 3 jaar. Wanneer er bij de aanwending van deze voornorm belangrijke problemen worden ondervonden kan de duur van de testperiode verlengd worden. De ENV 1997-1 kan dus eerst vanaf 1998 bindend worden. Voor Europese projecten kan evenwel reeds vroeger de toepassing van de reeds beschikbare Euronormen worden geëist.

## 2. Opstellen van Europese Uitvoeringsnormen voor de funderingstechniek.

Sinds februari '92 wordt er gewerkt aan het opstellen van Europese Uitvoeringsnormen voor de funderingstechniek. Daarvoor werd door de CEN het Technisch Comité TC 288 opgericht. Dit Technisch Comité heeft op zijn beurt een aantal werkgroepen opgericht. De Belgische vertegenwoordigers in dit TC en de verschillende werkgroepen worden aangesteld door het Belgisch Instituut voor Normalisatie op voorstel van de Belgische

Vereniging voor Grondmechanica. Deze vertegenwoordigers worden bijgestaan door een Leescomitee.

Momenteel zijn 7 werkgroepen actief:

- WG 1: Slibwanden
- WG 2: Grondankers
- WG 3: Boorpalen
- WG 4: Damplanken
- WG 5: Palen met volledige grondverdringing
- WG 6: Injekties
- WG 7: Jet grouting

Elke werkgroep wordt geanimeerd door een technical editor welke daarvoor een vergoeding ontvangt van de Europese Gemeenschap. De nationale vertegenwoordigers moeten zelf alle kosten dragen.

De teksten opgesteld door de 3 eerste werkgroepen werden in februari '94 goedgekeurd door TC 288 en ter discussie overgemaakt aan de Nationale Normalisatieinstituten. Deze discussiefase is nu lopende. In België zal de bevraging worden uitgevoerd door het WTCB.

### 3. Activiteiten van de WG 2: grondankers.

De WG 2 van TC 288 werd in februari '92 opgericht met als Technical Editor = Cesar Merrifield van de Universiteit van Manchester en als voorzitter = Tony Barley van Keller - Colcrete. De werkgroep heeft in de periode februari '92 - januari '94 een 10 tal maal vergaderd. De vergaderingen werden nagenoeg systematisch bijgewoond door de vertegenwoordigers van UK, Nederland, Oostenrijk, Zwitserland, Zweden, Spanje en Duitsland en minder systematisch door vertegenwoordigers van België, Frankrijk en Italië. De activiteiten van de werkgroep werden in een belangrijke mate bemoeilijkt door het feit dat de Voorzitter terzelfdertijd ook nationaal vertegenwoordiger was en als dusdanig actief deelnam aan de discussie. Als gevolg daarvan duurden sommige besprekingen erg lang en was het zeer moeilijk om tot compromissen te komen.

De door deze werkgroep opgestelde draft pr EN 1537 - versie juli 1994 is verkrijgbaar bij het WTCB.

Het opstellen van een voor iedereen aanvaardbare tekst was geen sinecure onder meer om de volgende redenen:

- voor de dimensionering van grondankers bestaan er geen algemeen aanvaarde methodes;
- de uitvoeringswijze van grondankers heeft een zeer belangrijke invloed op de karakteristieken ervan;
- de normaal gehanteerde veiligheids- en toegelaten spanningen zijn eng verbonden met de toegepaste controles en met de risico's in geval van bezwijken.

Men heeft er de voorkeur aangegeven om een tekst op te stellen welke voor alle ankers toepasbaar is, ongeacht de aard van de grond en de risico's. Zo komt het dat de gestelde eisen even goed gelden voor ankers welke rotsblokken boven een autosnelweg vasthouden als voor ankers welke de damplanken van een klein kanaal zo goed mogelijk vertikaal moeten houden.

De opgestelde tekst is alleen van toepassing voor grondankers welke in de grond of rots worden vastgezet d.m.v. groutinjektie. Trekpalen schroefankers, nagels .... worden dus buiten beschouwing gelaten.

Het is duidelijk dat men in de toekomst voor een aantal eenvoudige toepassingen (bv. de verankering van damwanden langs kanalen...) eerder de voorkeur zal geven aan trekpalen, schroefankers ..., omdat deze verankeringssystemen niet onder het voorstel van norm vallen.

#### 4. Inhoud van prEN 1537 = Execution of special Geotechnical work - Ground anchors.

De tekst is onderverdeeld in volgende hoofdstukken:

1. Scope of the standard
2. Normative references
3. Definitions and symbols
4. Specific needs
5. Site investigation
6. Materials and products
7. Design considerations
8. Execution
9. Testing, supervision
10. Records
11. Special requirements.

De tekst is volledig onderverdeeld in paragrafen. Elk van deze paragrafen wordt voorafgegaan door een omschrijving:

- Requirement
- Recommendation
- Statement
- Permission
- Possibility.

##### 1. Scope of the standard.

Er wordt duidelijk gesteld dat de tekst alleen toepasbaar is voor grond- en rotsankers, waarbij de krachtsoverdracht naar de grond plaatsvindt via een trekelement dat door groutinjektie is vastgezet. D.w.z. trekpalen, schroefankers, nagels en passieve ankers worden niet behandeld.

Verder is er nog vermeld:

" 1.3. The installation phase likewise requires skilled and

" qualified labour and this Standard cannot replace the know-  
 " ledge of specialist personnel and the expertise of experien-  
 " ced contractors."  
 God weet wat daar mee kan bedoeld worden.

2. Normative references.

Dit hoofdstuk omvat een verwijzing naar alle andere Europese Normen en Voornormen welke van belang kunnen zijn.

3. Definities en symbolen.

Deze definities zullen in principe worden aangehouden voor alle Europese Normen.

4. Specific needs.

Dit hoofdstuk behandelt de verdeling van de activiteiten tussen ontwerp en uitvoering, cfr. Table 1.

Table 1 : Design and execution activities

DESIGN*		EXECUTION	
1.	Provision of site investigation data for construction of ground anchors	1.	Assessment of site investigation data with respect to design assumptions.
2.	Decision to use ground anchors, required trials and testing and provision of a specification	2.	Selection of ground anchor components and details.
3.	Acquisition of legal authorisation and entitlement to encroach on third party property	3.	Determination of fixed anchor dimensions.
4.	Overall design of anchored structure, calculations of anchor force required. Definition of safety factors to be employed.	4.	Detailing of the corrosion protection system for the ground anchor.
5.	Definition of ground anchor life (permanent/temporary) and requirement for corrosion protection.	5.	Supply and installation of the ground anchor system.
6.	Specification of anchor spacing and orientation, free anchor length and anchor load.	6.	Supply and installation of the ground anchor monitoring system.
7.	Specification of systems for monitoring ground anchor behaviour and for interpretation of results.	7.	Quality control of works.
8.	Supervision of the works	8.	Execution and assessment of anchor tests.
9.	Specification of maintenance for ground anchors.	9.	Evaluation of on-site anchor tests
10.	Instruction to all parties involved of key items in the design philosophy to which special attention should be directed.	10.	Maintenance of ground anchor as directed

Bij het opstellen van deze tabel heeft men vooral gesteund op de engelse praktijk waarbij de volledige detailstudie wordt uitgevoerd door de ontwerper. Zo wordt in punt 6 onder Design duidelijk vermeld: "Specification of anchor spacing and orientation, free anchor length and anchor load."

Pogingen om daar iets aan te veranderen hebben niets uitgehaald. Er werd wel gesteld dat er eventueel in het bestek kan worden voorzien om het detailontwerp over te dragen aan de uitvoerder.

#### 5. Site investigation.

De tekst betreffende het grondonderzoek bevat alleen maar algemene gegevens. Dit heeft vooral te maken met de sterk uiteenlopende grondgesteldheden welke in Europa worden aangetroffen en met de grote verscheidenheid in onderzoeksmethoden (sonderingen, boringen, pressiometerproeven ... ).

In de tekst is onder punt 5.7 opgenomen:

- " Requirement.
- " In addition to the lithology and structure of the ground in
- " accordance with ENV1997-1-1 Eurocode 7, Part 1, the following
- " shall also be known, where applicable:
- " for soils:
- " - classification (grading, moisture content, unit weight,
- " relative density, Atterberg limits);
- " - shear strenght and compressibility;
- " - permeability;
- " - ground water conditions;
- " - aggressivity of soil and ground water;
- " - existence of stray currents.

Dit is dus duidelijk veel meer dan hetgeen er tot nu toe bij ons gebruikelijk wordt medegedeeld.

#### 6. Materials and product.

Het hoofdstuk i.v.m. de te verwerken materialen omvat enkele opmerkelijke aspecten, o.a. i.v.m.;

##### - Trekelement (Tendon):

Zowel constuctiestaal, wapeningsstaal als voorspanstaal mogen worden aangewend.

Andere materialen (bv. kunststofstaven) mogen alleen worden aangewend nadat hun geschiktheid werd bewezen en mits het akkoord van de ontwerper.

##### - Groutmengsels:

Er zijn aanbevelingen opgenomen i.v.m. de aan te houden W/C faktor voor de groutspecies.

- Corrosiebescherming:

De opgenomen eisen i.v.m. de corrosiebescherming zijn verschillend voor tijdelijke grondankers (minder dan 2 jaar dienst) en voor permanente grondankers (langer dan 2 jaar in dienst). De gestelde eisen zijn samengevat in de tabel 2 voor tijdelijke grondankers en in de tabel 3 voor permanente grondankers (zie bijlage).

Opmerkelijk daarbij is dat er voor de permanente grondankers een dubbele continue omhulling wordt vereist. Een enkelvoudige plastic omhulling wordt alleen aanvaard indien:

- er kan worden aangetoond dat de scheurwijdte van het groutlichaam binnen de omhulling kleiner blijft dan 0,1mm. Deze eis is alleen haalbaar bij staaftankers, niet bij strengen;
- de integriteit van de omhulling wordt aangetoond door middel van metingen in situ. Dergelijke metingen worden nu reeds regelmatig uitgevoerd in Zwitserland.

**Table 2: Examples of corrosion protection systems for temporary anchors**

<p>1. <u>TENDON BOND LENGTH</u> All installed tendons shall be provided with a minimum 10mm cement grout cover to the borehole wall. Where aggressive ground conditions are known to exist, it may be appropriate to enhance the protection by the use of a single corrugated duct around the tendon(s).</p>
<p>2. <u>TENDON FREE LENGTH</u> The protection system shall allow free movement of the tendon within the borehole. This may be achieved by the provision of one of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) plastic sheath to each individual tendon end sealed against ingress of moisture</li><li>b) plastic sheath to each individual tendon completely filled with corrosion protection compound</li><li>c) plastic or steel sheath or duct common to tendons end sealed against ingress of moisture</li><li>d) plastic or steel sheath or duct common to all tendons completely filled with corrosion protection compound</li><li>e) b) and d) for extended temporary use or aggressive conditions.</li></ul>
<p>3. <u>TRANSITION BETWEEN ANCHOR HEAD AND FREE LENGTH (INNER ANCHOR HEAD)</u> The free length sheath or duct may be sealed to the bearing plate/anchor head, or a metal sleeve or plastic duct may be sealed or welded to the bearing plate. It shall overlap the free length sheath or duct and for extended temporary use be filled with corrosion protection compound, cement or resin which is contained at the lower end.</p>
<p>4. <u>ANCHOR HEAD</u> Where the anchor head is accessible for inspection and possible re-coating the following protection is acceptable:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) a coating of non-fluid corrosion protection compound, or</li><li>b) a combination of corrosion protection compound and tape which is impregnated with corrosion protection compound.</li></ul> <p>Where the anchor head is not accessible a metal or plastic cap shall be fitted and filled with corrosion protection compound for extended use.</p> <p>Where aggressive conditions are known to exist, a metal or plastic cap shall be fitted with corrosion protection compound.</p>

**Table 3: Examples of corrosion protection systems  
for permanent anchors**

<p>1.     <u>TENDON BOND LENGTH</u></p> <p>The encapsulation may consist of one of the following:-</p> <p>    a) two concentric corrugated plastic ducts containing the tendon(s), fully pregrouted (with cement or resin) within the core and the annulus between the ducts prior to installation; minimum cover of 5mm shall be provided.</p> <p>    b) a single corrugated plastic duct containing a bar tendon or tendons and pregrouted with cement grout. A minimum cover of 5mm shall be provided between the duct and bar. The bar tendon(s) shall have a continuous ribbed outer surface. The crack width of the cement grout shall not exceed 0,1mm under working loads.</p> <p>    c) a single corrugated plastic duct containing the tendon(s) and cement grout. A minimum cover of 5mm shall be provided between the duct and the tendons(s). The integrity of the plastic duct shall be confirmed by an electrical resistivity test on each anchor once the anchor is fully installed in the borehole.</p>
<p>2.     <u>TENDON FREE LENGTH</u></p> <p>The protection system shall allow free movement of the tendon within the borehole. This may be achieved by one of the following:-</p> <p>    a) a plastic sheath to individual tendon(s) filled completely with flexible corrosion protection compound plus the inclusion of A, B or C below.</p> <p>    b) a plastic sheath to individual tendon(s) filled completely with cement grout plus A or B below.</p> <p>    c) A common plastic sheath for multiple tendon(s) filled completely with cement grout plus B.</p> <p>A) - common plastic sheath or duct filled with flexible corrosion protection compound.          B) - common plastic sheath or duct end sealed against ingress of moisture.          C) - common plastic sheath or duct filled with cement grout.</p> <p>A lubricant or bond free contact shall be present within either the individual sheaths or the common sheath to ensure free movement of the tendon(s) during stressing.</p>
<p>3.     <u>TRANSITION BETWEEN ANCHOR HEAD AND FREE LENGTH.</u></p> <p>A coated, grouted or cast-in metal sleeve or fixed plastic duct shall be sealed or welded to the anchor head. It shall be sealed to the free length sheath or duct and filled with corrosion protection compound, cement or resin.</p>
<p>4.     <u>ANCHOR HEAD</u></p> <p>A coated and/or galvanised metal cap with a minimum 3mm wall thickness or a rigid plastic cap with a minimum 5mm wall thickness shall be connected to the bearing plate and if removable it shall be filled with a flexible corrosion protection compound and sealed with a gasket. If non-removable it may be filled with cement or resin.</p>

7. Ontwerp.

Bij de dimensionering van de grondankers moet er worden gesteund op de regels opgenomen in de Eurocodes 1, 2 en 7, d.w.z. het principe der partiële veiligheidscoëfficiënten moet worden toegepast.

Voor het staal wordt er uitgegaan van de karakteristieke breuksterkte  $P_{tk}$ . De elasticiteitsgrens van het staal komt niet meer tussen bij de dimensionering. Dit blijkt ook het geval te zijn bij alle andere Eurocodes waarin de dimensionering van staal wordt behandeld.

Gesteld wordt dat de kracht in het trekelement nooit groter mag worden dan  $0,65 P_{tk}$ . De vastzetkracht van het anker moet kleiner zijn dan  $0,60 P_{tk}$ .

De karakteristieke sterkte van het anker  $R_k$  wordt verkregen als kleinste waarde van de interne sterkte  $R_{ik}$  (staal) en de uitwendige sterkte  $R_{ak}$  (verbinding met de grond). Voor de bepaling van  $R_{ak}$  (sterkte van de aanhechting ankerlichaam - grond) wordt er enkel gesteund op trekproeven welke worden uitgevoerd tot er een doorgaande verplaatsing van het ankerlichaam optreedt of tot een bepaalde kruip wordt vastgesteld. Theoretische benaderingen voor de bepaling van de uitwendige sterkte (cfr.TA 86) werden niet weerhouden.

Rekenwaarde van de sterkte:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_k}$$

met  $\gamma_k = 1,35$

Er moet dus gelden:

$$R_d \geq E_d$$

met  $E_d$  = de rekenwaarde van de belasting.

Er wordt dus alleen gewerkt met rekenwaarden. De zogenaamde dienstlast van het anker wordt niet bepaald, ook niet voor het begroten van de vastzetkracht.

### 8. Uitvoering.

Alle mogelijke uitvoeringswijzen van de grondankers worden toegelaten.

### 9. Proeven.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de volgende proeven:

- Investigation tests: dergelijke proeven moeten worden uitgevoerd wanneer grondankers worden aangewend in grondtypes waarvoor geen gegevens beschikbaar zijn of wanneer er gewerkt wordt met hogere belastingen dan gebruikelijk.
- Suitability tests: per projekt moeten er geschiktheidsproeven worden uitgevoerd op minstens 3 grondankers, welke worden uitgevoerd in identieke omstandigheden als de tot het werk behorende grondankers.
- Acceptance tests: worden uitgevoerd op alle grondankers.



Voor het uitvoeren van de investigation en suitability tests zijn er drie procedures weerhouden nl.:

- Test Method 1: cfr.fig.4 en Table 5. De belasting wordt in min. 6 stappen aangebracht. Elke belastingsstap wordt minimum 15 min. aangehouden (60 min. voor de laatste stap). Na iedere stap wordt een ontlastings- en herbelastingscyclus doorgevoerd. De bij de laatste belastingstrap opgemeten krimpsnelheid  $k_s$  is bepalend met  $k_s = \frac{s_2 - s_1}{\log(t_2/t_1)}$

en  $s_1, s_2$  = de verplaatsing op tijdstip  $t_1$ , resp.  $t_2$ .

- Test Method 2: cfr.fig.5 en Table 6. De belasting wordt in min. 6 stappen aangebracht. Bij elke belastingsstap wordt de vijzel (en dus ook de verplaatsing) geblokkeerd en wordt de afname van de kracht gedurende 15 min. (60 min. voor de laatste belastingstrap) opgemeten. Na iedere stap wordt er een ontlastings- en herbelastingscyclus doorgevoerd.

De afname van de kracht opgemeten bij de laatste belastingstrap is bepalend en moet voldoen aan de criteria opgenomen in Tabel 6.

- Test Method 3: cfr.fig.6a en b, fig.7 en fig. 8. De belasting wordt aangebracht in min. 6 stappen. Elke stap wordt 30 à 60 min. aangehouden en de kruip wordt opgemeten. De toename van de kruip bij de verschillende belastingstrappen is bepalend.

- Maximum belasting:

\* Investigation test = 0,80  $P_{tk}$  of 0,95 .  $P_{to,1K}$

met  $P_{to,1K}$  = de karakteristieke trekkracht voor een permanente rek van 0,1%

\* Suitability test:

- test method 1 en 3

$P_p \geq 1,25 P_o$  en  $R_d$

$P_o$  = de vastzetkracht

- test method 2

$P_p \geq 1,50 P_o$  en  $R_d$

\* Acceptance test:

- Belastingsproef tot een kracht  
 $P_p \geq 1,25 P_o$  en  $R_d$  (test method 1 en 3)  
  
 $P_p \geq 1,50 P_o$  en  $R_d$  (test method 2)
- De verplaatsing wordt opgemeten (test method 1 en 3) of de vermindering van de kracht (test method 2).
- Controle van de vrije lengte door de uitvoering van een ontlasting- en herbelastingscyclus (cfr.fig.9).

Bemerkingen:

- Bij het vastleggen van de verschillende procedures en aanvaardingscriteria wordt er geen rekening gehouden met de aard van de grond, noch met het type grondanker (tijdelijk of permanent) (proefmethoden 1 en 2) of met de mogelijke risico's.
- Kruipproeven als dusdanig bv. over een periode van 24 uur of 72 uur worden niet meer afzonderlijk weerhouden. De kruip kan eventueel worden gecontroleerd door de afname van de vastzetkracht gedurende een bepaalde periode te meten.

10. Records.

In de tekst wordt zeer gedetailleerd aangegeven welke gegevens er allemaal moeten worden opgenomen in het verslag betreffende de uitvoering van de ankers en de erop uitgevoerde proeven.

11. Special requirements.

In dit hoofdstuk zijn een aantal speciale eisen opgenomen betreffende de veiligheid op de werf en de hinder voor de omgeving.

## 5. Besluit.

Het ontwerp van Europese Norm prEN 1537 i.v.m. grondankers dat thans ter discussie ligt is een zeer algemene tekst waarin vooral wordt gepoogd om de zeer uiteenlopende ervaringen, welke in verschillende Europese landen beschikbaar zijn, samen te brengen. Als gevolg daarvan zijn er een aantal leemtes ontstaan, o.a.:

- er wordt geen rekening gehouden met de aard van de ondergrond;
- de uit te voeren proeven zijn identiek voor tijdelijke en permanente grondankers, ongeacht de mogelijke risico's;
- er wordt nergens aangegeven hoe de vastzetkracht moet worden bepaald.

Voor het eigenlijke ontwerp van de grondankers wordt er verwezen naar Eurocode 7. Het is evenwel de vraag of er daarin ooit preciese gegevens zullen worden opgenomen i.v.m.

- de minimaal aan te houden tussenafstand tussen grondankers
- de maximale hellingshoek
- de invloed van dynamische belastingen
- de plaatverwerking van een rij relatief dicht bij elkaar geplaatste grondankers.

Het is niet denkbeeldig dat er voor konstrukties met een beperkt risico, na het in voege komen van deze norm, zal worden overgestapt op trekpalen of schroefankers.

Voor de controleproeven worden 3 verschillende methodes toegelaten. Het lijkt wenselijk dat er in ons land voor een paar typische grondsoorten zou worden nagegaan welke invloed de procedure van de proef heeft op de verkregen resultaten.

Bij het opstellen van deze tekst werd dankbaar gebruik gemaakt van een aantal opmerkingen van de heer ir. De Pooter van het Controlebureau Seco.

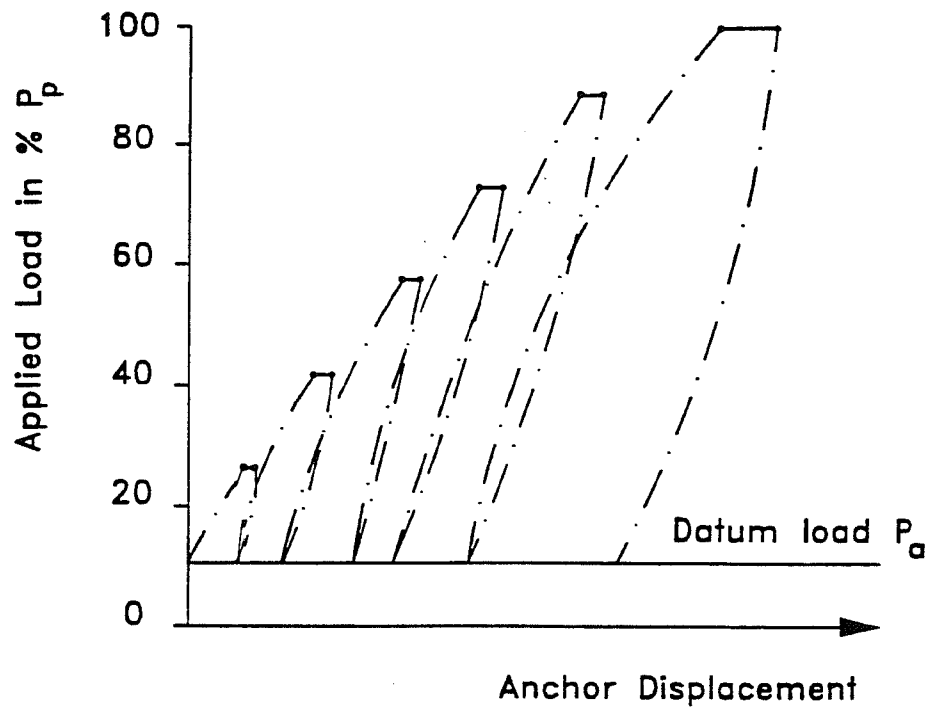


Figure 4: Loading procedure for Test Method 1

Table 5: Load cycles and minimum periods of observation for Investigation and Suitability tests on anchors, Test Methods 1 and 2.

Load increments %P <sub>p</sub>						Minimum period of observation in minutes
cycle 1	cycle 2	cycle 3	cycle 4	cycle 5	cycle 6	
10	10	10	10	10	10	1
	25	40	55	70	85	1
25	40	55	70	85	100*	15 (60*)
	25	40	55	70	85	1
10	10	10	10	10	10	1

Note: In Test Method 2, where the peak load is the serviceability load P<sub>0</sub>, the period of observation is extended - see Table 6.

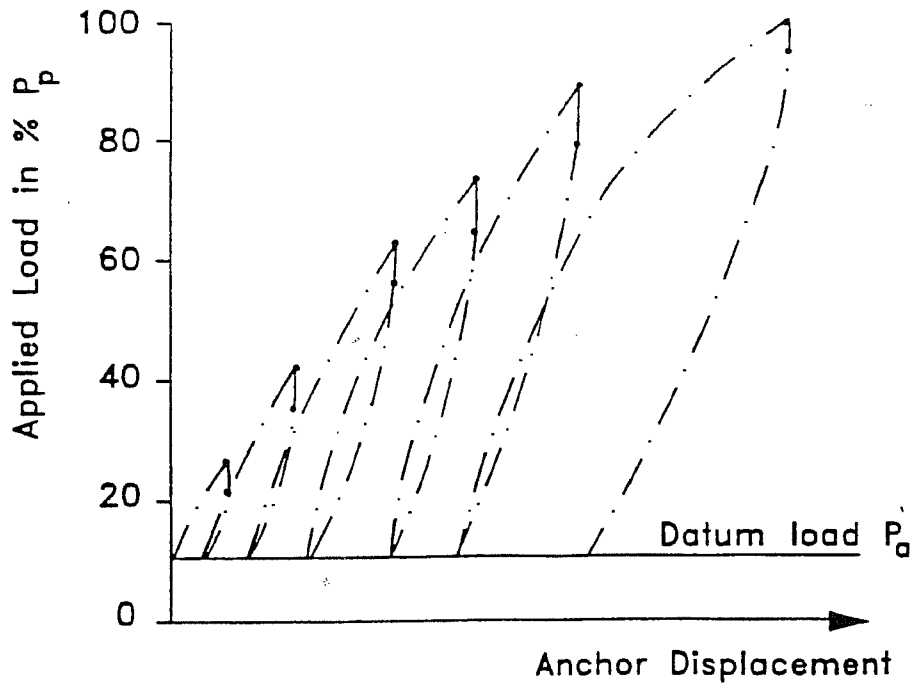
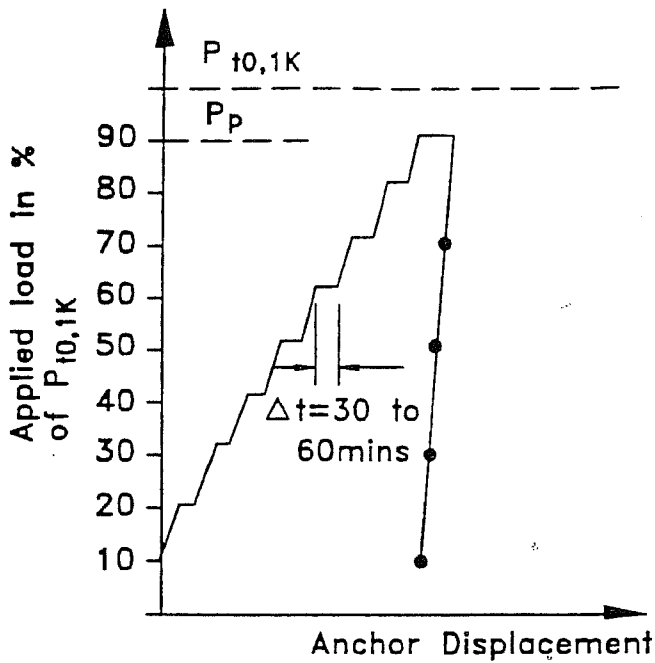


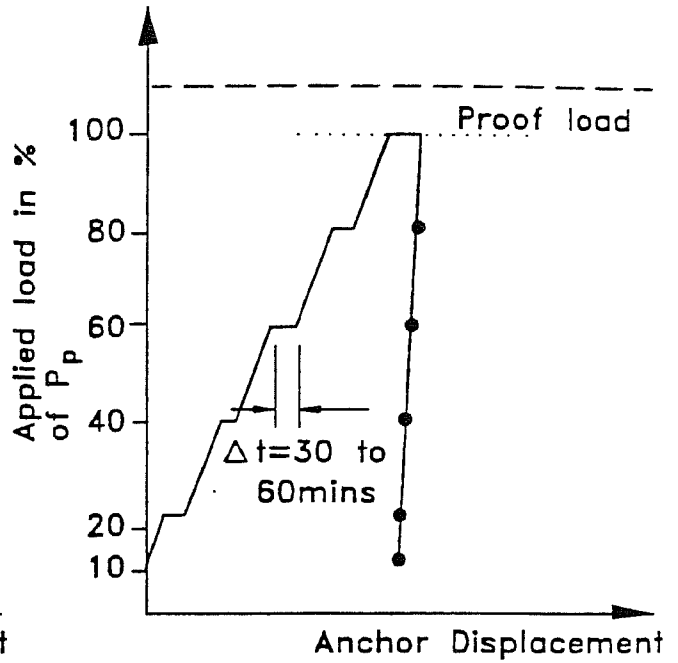
Figure 5: Loading procedure for Test Method 2

Table 6: Times and periods of observation and acceptance criteria for load loss, Test Method 2.

Time of Observation in minutes	Time period number	Permissible cumulative loss of load $k_i$ (% Applied Load)
5	1	1
15	2	2
50	3	3
150	4	4
500	5	5
1 500 (approx 1 day)	6	6
5 000 (approx 3 days)	7	7
15 000 (approx 10 days)	8	8



a) Investigation Test



b) Suitability Test

Figure 6: Loading procedures for Test Method 3

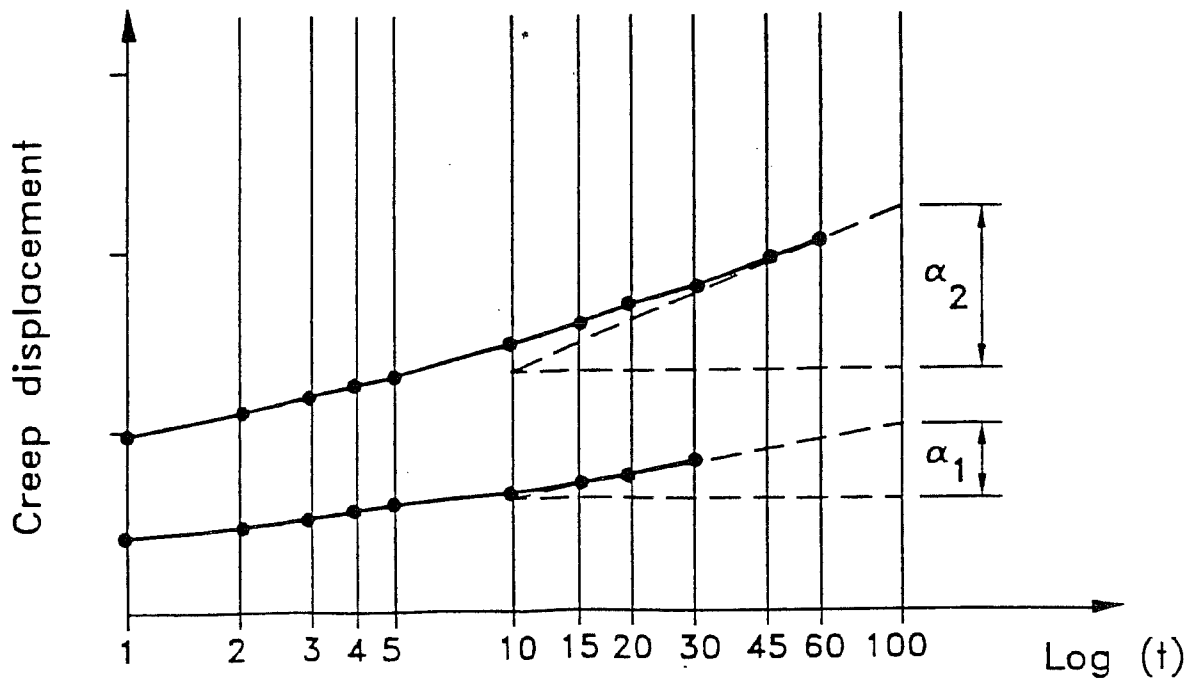


Figure 7: Creep displacement vs log time and slope  $\alpha_n$

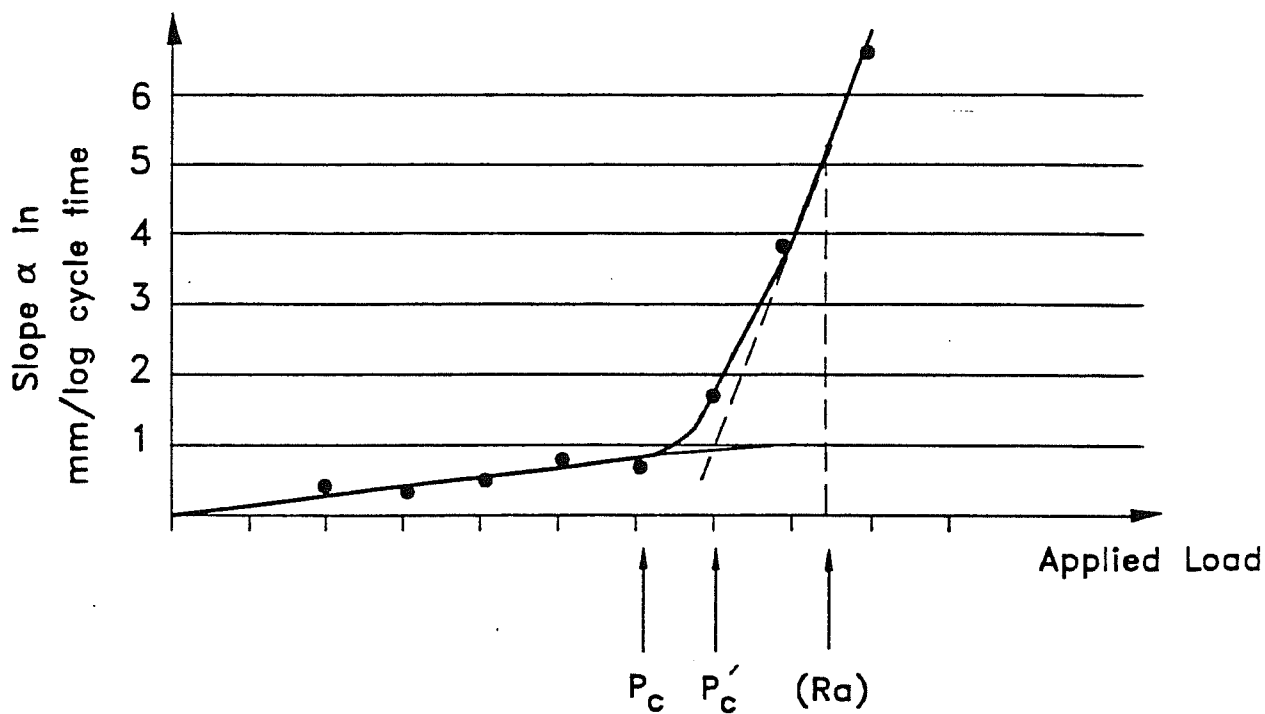


Figure 8: Creep slope vs applied load

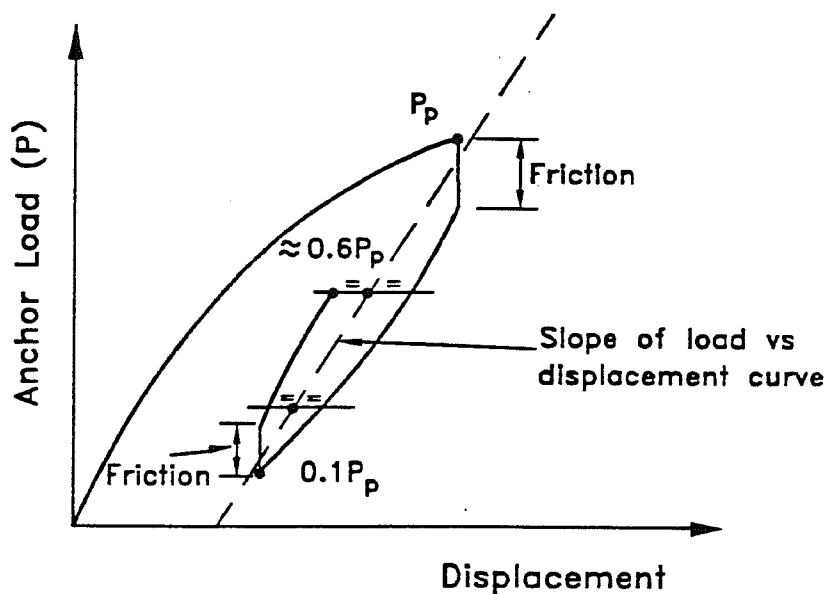


Figure 9: Estimate of elastic stiffness where there is significant friction

