

Intern rapport nr. 1125

NVF STIPEND 1981

Armert jord

September 1983

Veglaboratoriet

Intern rapport

nr. 1125

Gruppe: C

NVF STIPEND 1981 - ARMERT JORD

Vegdirektoratet
Veglaboratoriet

Gaustadalleen 25, Postboks 6390 Etterstad, Oslo 6 Tlf. (02) 46 69 60



Veglaboratoriets Interne rapporter omfatter utredninger, forskningsresultater, studiebesøk, forslag til retningslinjer, foredrag og kurskompendier.

Rapportene er delt i to grupper:

- B: For bruk innen Statens Vegvesen
- C: For fri distribusjon

Innholdet eller deler av det må ikke publiseres videre uten tillatelse fra Veglaboratoriet.

prosjekt/oppdrag: Q 34 - Armert jord

seksjon: 47 - Geoteknisk

saksbehandler: Steinar Hermann

/ TBO

dato: September 1983



VEGLABORATORIET

rapportsammendrag

INTERN RAPP. NR./OPPDRAK.NR.

111	A	Rapportstatus*) N	Seksjon 47	Prosjekt O 34	Gruppe: C	1125
123	45	21	31	41	51	61

TITTEL	212	A	NVF stipend 1981 - Armert jord			
--------	-----	---	--------------------------------	--	--	--

SAKS-BEHANDLER	221	A	Navn Steinar Hermann	Institusjon Veglaboratoriet
		B		
		C		

RAPPORT DATA	421	A	Rapporttype**) FoU	Dato Sept. 1983	Erstatter Intern rapport nr.		
		B	Totalt sidetall 54	Språk Norsk			
		C	Antall fotos	Ant. figurer	Ant. tabeller	Ant. litt.henv. 21	
		D	Sammendrag i andre språk			UTM ref.	

SAMMENDRAG	511	A	<p>Armert jord er et sammensatt materiale av armering og jord. Tilsiktet armeringseffekt oppnås ved tilstrekkelig friksjon mellom armering og jord. Vanligvis benyttes friksjonsmasser med tilfredsstillende mekanisk styrke og kornsammensetning samt armering av metall eller plast med gode friksjonsegenskaper og strekkstyrke. Armeringen kan være strips, nett eller duker. Størst effekt oppnås ved å orientere armeringen i samme retning som minste hovedspenning.</p> <p><u>Vidalprinsippet</u>, oppfunnet og patentert av Henri Vidal, er det mest kjente jordarmeringssystemet. Det er tilpasset støttekonstruksjoner, og består av prefabrikerte frontpaneler i betong hvor det forankres armeringsstrips av galvanisert stål.</p> <p><u>Yorkmetoden</u>, ligner Vidalsprinsippet men armeringen gis her fri vertikal bevegelsesmulighet i feste med frontpanelene. Brukeren står fritt i valg av konstruksjonsmaterialer.</p> <p><u>Tensar Geogrid</u>, er et armeringsnett med kvadratiske evt. avlange ruter og gode styrkeegenskaper produsert av polyetylen med høy tetthet. Nettet kan anvendes ved armering av/under fyllinger bak støttemurer o.l.</p> <p><u>Websolsystemet</u> er også en støttekonstruksjon med prefabrikerte betongelementer og armering av Paraweb-strips, syntetiske fibre overtrukket med plast.</p> <p>Hittil er det bygd 5-6000 konstruksjoner av armert jord i utlandet, og det er oppnådd tekniske og økonomiske gunstige løsninger.</p>			
------------	-----	---	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--

FAG-OMR.	611	A	Stabilitet og setninger	IRRD kode 42.1
		B	Bæreevne og jordtrykk	42.2
		C		
NØKKEWORD	621	A	Armering	3471
		B	Jordart	4156
		C	Støttemur	3369
		D	Underbygning	2950
		E	Plast	7454
		F	Stål	3442
		G	Betong	4755
		H		

INNHOLDSFORTEGNELSE:

1. ARMERT JORD HAR LANGE TRADISJONER
2. ARMERT JORD - GRUNNPRINSIPPER
 - 2.1. Friksjon avgjørende for samvirke mellom armering og jord.
 - 2.2. Armeringen bør orienteres i minste hovedspennings retning.
 - 2.3. Praktisk tilpasning av armeringen.
 - 2.4. Materialer til konstruksjoner av armert jord.
 - 2.4.1. Armeringen.
 - 2.4.2. Jordarter.
 - 2.4.3. Friksjon mellom armering og jord.
 - 2.5. Dimensjoneringsmetoder.
3. STUDIEREISE TIL ENGLAND OG FRANKRIKE, 18. APRIL - 1. MAI 1982.
 - 3.1. Formål og opplegg.
 - 3.2. Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne, Berkshire.
 - 3.3. Netlon Limited, Blackburn
 - 3.4. Dr. C. Jones, Assistent Director, Structural Division, West Yorkshire Metropolitan Country Council.
 - 3.5. Reinforced Earth Company (REC), Telford.
 - 3.6. La Terre Armée, Paris.
 - 3.7. Websolsystemet.
 - 3.8. Armert jord i bruk i en rekke land.

forts.

INNHOLDSFORTEGNELSE (fortsatt):

4. ARMERT JORD KAN ANVENDES I EN REKKE SAMMEN-
HENDER
5. GIR ARMERT JORD GEVINSTER?
6. USIKKERHETER KNYTTET TIL ARMERT JORD
 - 6.1. Armeringens levetid
 - 6.2. Bruddforløp i konstruksjoner av armert jord.
 - 6.3. Armert jord i områder med frostproblemer.
7. ARMERT JORD UNDER NORSKE FORHOLD

1. ARMERT JORD HAR LANGE TRADISJONER

Armering av betong har blitt en formidabel suksess. På samme måte har det også vist seg mulig å utføre armering av jord. Babylonerne behersket denne teknikken for 5000-2500 år siden. De bygde sine religiøse tårn, ziggurats av soltørket leire armert med stråmatter. Det mest kjente tårnet idag står ved Agar Quf og har en høyde på ca. 57 m (1).

I sitt verk "Course of Elementary Fortification" (1922), omtaler C.W. Pasley modellforsøk med vertikale jordvegger armert med sekkestrie. I fullskalakonstruksjoner foreskrev han armering av rismatter ettersom sekkestrie var for kostbart. Det er interessant å merke seg at det ikke er satt krav til forankring mellom armeringen og kledningen av veggen.

Selv om begrepet armert jord var ukjent her i landet for 80 år siden, finnes det likevel konstruksjoner fra denne tiden som er bygd etter dette prinsippet. Ved Kværnbekken på Røros kan en idag se en vertikal plankevegg med høyde på bortimot 4 m. Ved jevne mellomrom er det laftet inn firkantboks normalt veggen og som ligger forankret i de bakenforliggende jordmassene. Denne armerte jordkonstruksjonen viser hvordan byggetradisjoner er utviklet med utgangspunkt i hvilke krav en hadde til en konstruksjon.

Den franske arkitekten og ingeniøren Henri Vidal innså alt i 1968 hvilke muligheter som lå i armering av jord. Hans oppdagelse om at det var mulig å bygge sandkjegler langt høyere og brattere med en horisontal armering av trepinner, fig. 1, ga startskuddet til utviklingen av armert jord slik vi kjenner metoden i dag.

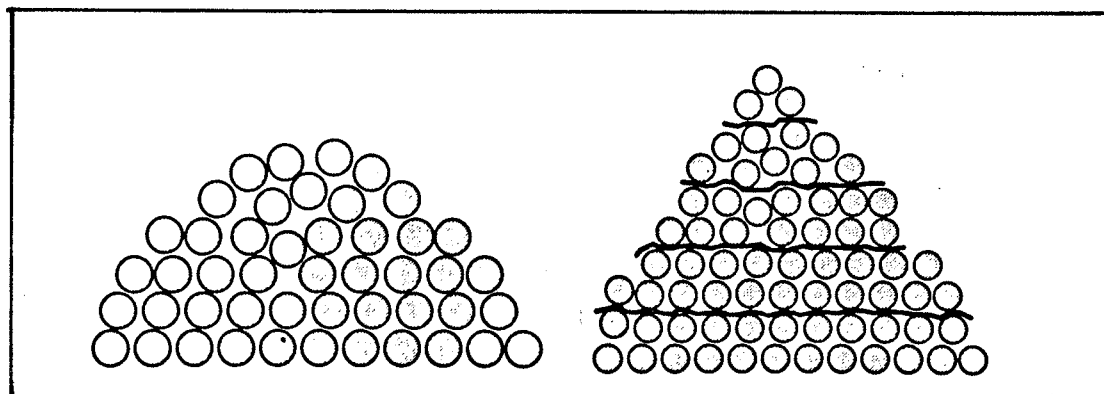


Fig. 1.1.: Vidals enkle modell-forsøk av armert jord.

I 1966 publiserte Vidal resultatene (2) av sine teoretiske og praktiske undersøkelser. Den første armerte jordkonstruksjon av denne typen ble bygd i 1968 i Pyreneene i Frankrike. Siden den tid er det utviklet flere jordarmeringssystemer, og til nå er det bygd et sted mellom 5500 og 6000 konstruksjoner.

2. ARMERT JORD - GRUNNPRINSIPPER

Skal innledningsvis forsøke å forklare mekanismen i armert jord. Fremstillingen er enkel og har derfor begrenset gyldighet. Vil videre gi noen råd om utførelse av jordarmering i praksis og kort hvilke analyse- og dimensjoneringsmetoder som finnes.

2.1. Friksjon avgjørende for samvirke mellom armering og jord

Friksjon mellom armering og jord er en grunnleggende faktor i hele mekanismen. Dette er forsøkt illustrert i fig. 2.1 hvor (a) viser en sylinderformet jordprøve utsatt for aksiell belastning. Prøvens laterale deformasjon vil pga. dilatasjon være noe større enn halvparten av den vertikale deformasjon.

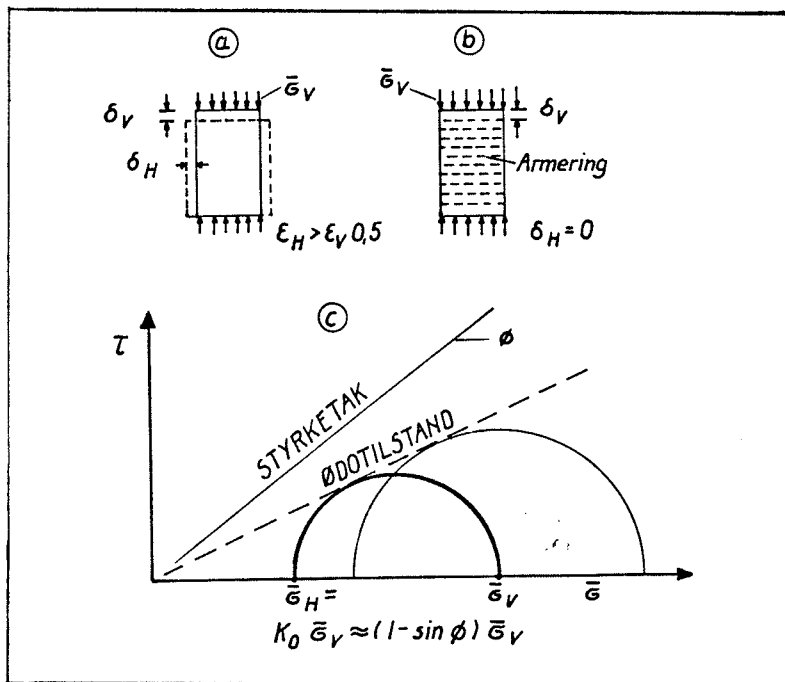


Fig. 2.1. Spenningstilstand i armert jord - forenklet framstilling. (14).

(b) viser samme prøve, men hvor det med jevne mellomrom er lagt inn horisontale lag med armering. Sammenlignet med jorda er denne utøyelig. Pga. friksjon mellom armeringen og jorda vil prøven heller ikke få laterale deformasjoner av betydning. Ved lave tøyingsnivåer i armeringen er dette analogt en ødotilstand hvor prøven påføres et sidetrykk fra armeringen likt hviletrykket.

I (c) er både (a) og (b) vist i et τ - σ -diagram. Skjærstyrken i jorda (styrketaket) er vist med en rett linje gjennom origo. Spenningstilstanden i jorda etter armering er illustrert med en Mohr-sirkel hvor σ_1 tilsvarer vertikaltrykket σ_v og σ_3 "tilsynelatende horisontaltrykk", σ_H antatt hviletrykk.

Sålenge tilgjengelig friksjon langs armeringen ikke overskrides, vil sirkelen aldri kunne nå styrketaket og gi brudd i jorda.

Mulige bruddformer er da:

- strekkbrudd i armeringen
- for liten friksjon mellom armering og jord

Begge bruddformer kan unngås enten ved å

- øke mengden/dimensjonen av armeringen
- velge armering med bedre friksjonsegenskaper
- anvende jord med bedre friksjonsegenskaper (kornform, gradering, etc.)

Framstillingen i fig. 2.1 har en rekke svakheter, men illustrerer armeringsmekanismen på en enkel måte, samtidig som den understreker betydningen av god friksjon mellom armering og jord.

Samme prinsipp kan overføres til fullskalakonstruksjoner men ødotilstanden har da noe begrenset gyldighet. Andre likevektstilstander kan derimot også framstilles som i fig. 2.1.

2.2. Armeringen bør orienteres i minste hovedspenningsretning

Analogt med betong kan jorda ikke oppta strekkspenninger av betydning og har egentlig begrenset anvendelse som bygningsmateriale. Tradisjonelle jordkonstruksjoner er oftest store, tunge og plasskrevende. De vanligste armeringsmaterialene har høy strekkstyrke. Effektiv

jordarmering betinger derfor et samvirke mellom armering og jord slik at summen av jordas "trykkapasitet" og armeringens "strekkapasitet" blir størst mulig. Friksjonens betydning er alt påpekt. Hvordan bør så armeringen orienteres for å oppnå et teknisk-økonomisk best resultat?

Basset og Last (16) har vist at det ofte er fordelaktig å betrakte tøyninger i tillegg til spenninger (krefter) i arbeidet med å orientere armeringen mest effektivt. Dette er noe uvant for geoteknikere som normalt arbeider med skjær- og trykkspenninger. Fig. 2.2. illustrerer dette for et antatt friksjonsjordmateriale.

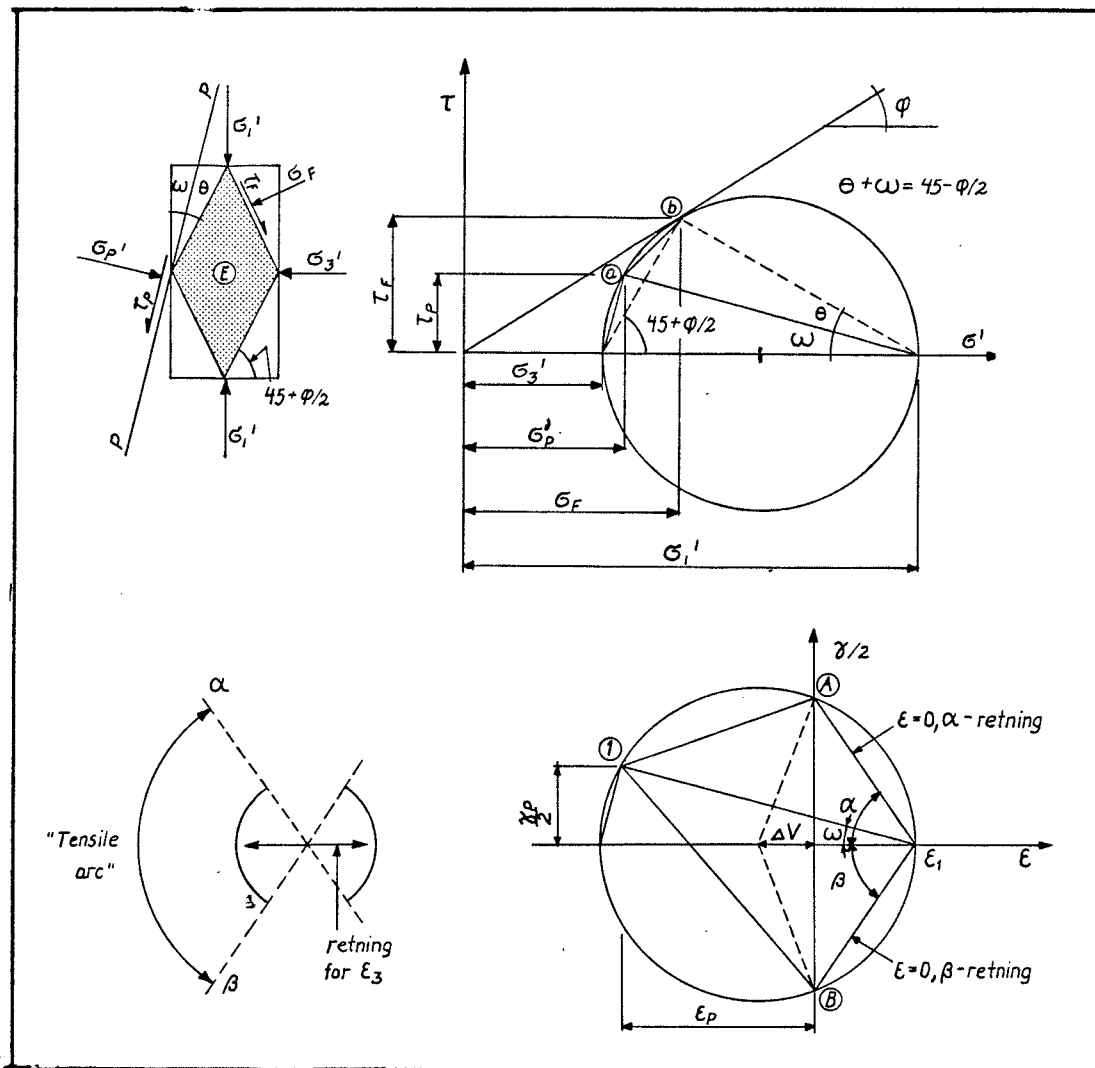


Fig. 2.2. Bruk av γ - ϵ -diagram ved jordarmering.

Spenningsstilstanden i jorda representert ved elementet (E) er fremstilt i Mohrsirkelen øverst i figuren. (a) angir spenningene (τ_p, σ'_p) på et plan p-p som danner vinkelen ω med minste hovedspenningsplan. θ angir vinkelen mellom planet p - p og planet for maksimum oblikvitet (b).

Tilsvarende kan tøyningstilstanden framstilles i et γ - ϵ -diagram som vist nederst i fig. 2.2. Antagelse om plan spenningstilstand og positiv dilatans, $\Delta V = l\epsilon_1 + \epsilon_3 l > 0$, forskyver tøyningssirkelens sentrum ΔV til venstre for origo. Tøyning ϵ_1 i største hovedspenning er trykk, mens tøyning ϵ_3 i minste hovedspenningsretning er strekktøyning i et trykkspenningsfelt.

(l) representerer tøyningstilstanden $(\epsilon_p, \frac{\gamma_p}{2})$ på planet p-p. Tøyningssirkelens skjæring med γ -aksen, (A) og (B), definerer en ren skjærtøyningstilstand hvor $\epsilon = 0$. Det innebærer at plan som danner vinkelen $\alpha(\beta)$ med retningen for minste hovedspenning er rene skjærplan. Vinkelen mellom disse to planene betegnes "tensile arc" ("strekkvinkel") på engelsk. Plan som har normalen lokalisert innenfor "tensile arc", vil ha en tøyningstilstand hvor $\epsilon < 0$.

Shields (1953), Brandsby (1963), Lord (1969) og Milligan (1974) mener at rene skjærtøyningsplan kan være mulige bruddplan. I så fall vil materialets dilatasjonsegenskaper være helt avgjørende for bruddplanets beliggenhet. Teorien synes interessant, men en ønsker ikke å behandle den nærmere her, bare konstatere at den strider mot klassisk teori hvor brudd antas å inntreffe ved maksimum oblikvitet.

Orienteres armeringen langs rene skjærtøyningsplan, vil det ikke mobiliseres spenninger i armeringen. En kan sågar forverre stabiliteten ved at armeringen representerer et potensielt glideskikt. En orientering av armering opp mot retningen av $\epsilon_1 > 0$ vil gi trykkspenninger i armeringen og den ønskede armeringseffekten uteblir.

Faller derimot retningen for armeringen innenfor "tensile arc", se fig. 2.2., vil en derimot få modifiserte strekkspenninger i armeringen. Strekkspenningene blir størst når retningen for armeringen og ϵ_3 er sammenfallende. Normalspenningene på armeringen er da samtidig størst noe som øker friksjonen langs armeringen.

KONKLUSJON

I jordarmering bør armeringen i størst mulig grad orienteres i samme retning som minste hovedspenning.

2.3. Praktisk tilpasning av armeringen

Ofte må en ideell plassering av armeringen fravikes. I konstruksjoner hvor det ikke klart framgår hvordan armeringen bør ligge, må en vurdere tøyningstilstanden i jorda.

Bak støttevegger er det vanlig å legge armeringen horisontalt, se fig. 2.3. Antar en at største/minste hovedspenning er tilnærmet vertikalt/horisontalt, får armeringen samme retning som største strekk-tøyning, jfr. kap. 2.2. Horizontal armering muliggjør lagvis oppbygging og løsningen er derfor både bygge- og armeringsteknisk gunstig.

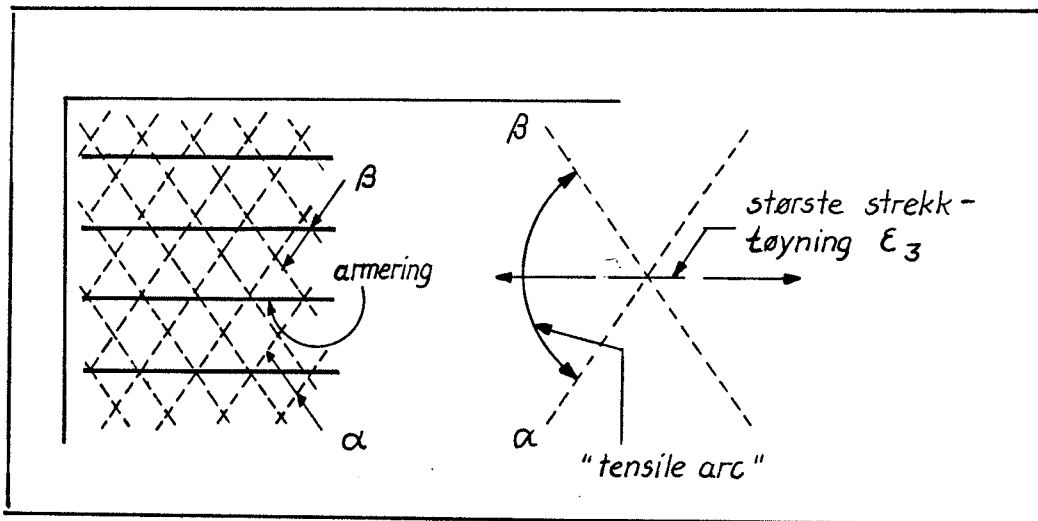


Fig. 2.3. Orientering av armering bak støttevegg.

Armering av fyllinger kan derimot utføres på ulike måter avhengig av problemets art. Egenstabilitet og bæreevne må betraktes forskjellig og konstruksjonens stivhet synes å ha betydning.

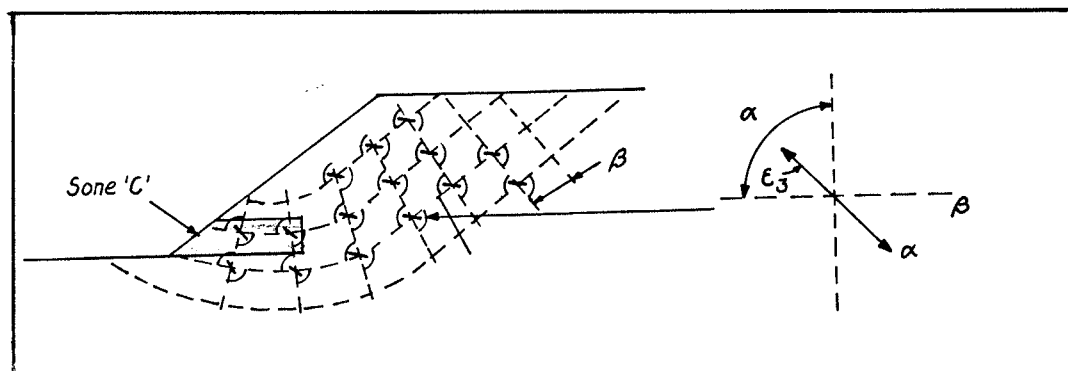


Fig. 2.4. Eksempel på tøyningstilstand (tensile arc) i fylling.

Fig. 2.4. viser tøyningstilstanden i en fylling med lav egenstabilitet hvor kritisk skjærflate antas å gå gjennom foten av fyllingen.

Horisontal armering i dette område, sone "c", vil falle sammen med retningen for rene skjærtøyningssplan. Armeringseffekten bortfaller og i verste fall kan det oppstå en forverret likevektstilstand. Lenger opp og bak i fyllingen vil derimot en horisontal armering ha positiv effekt.

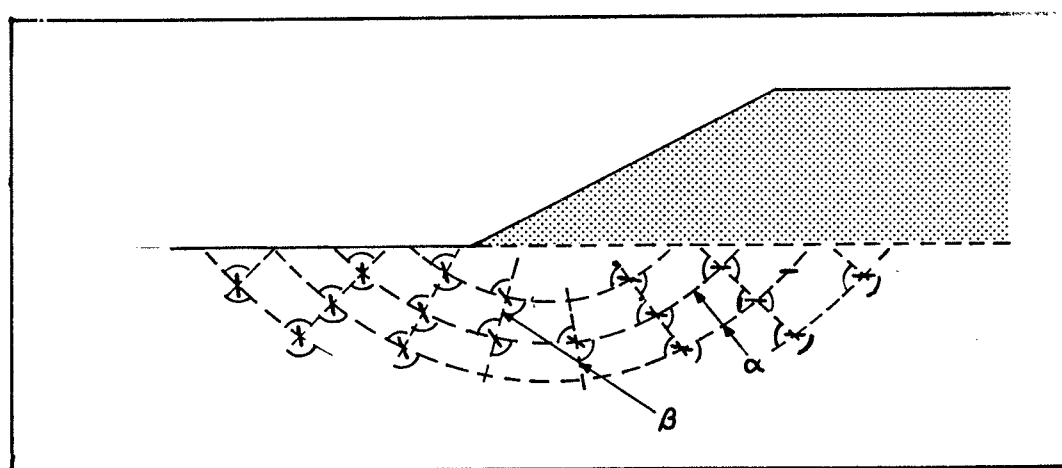


Fig. 2.5. Tøyningstilstand under fylling på svak grunn.

Under en fylling på svak grunn vil tøyningstilstanden bli omlag som vist i fig. 2.5. Under og et stykke utover mot foten av fyllingen bør armeringen legges horisontalt.

Tøyningfeltet roterer og en ender opp med en tilstand hvor armeringen bør orienteres nesten vertikalt for at den skal være effektiv. Dette er vanskelig å oppnå med vanlig armering.

Japanerne (17) har i flere år foretatt jordarmering ved høye jernbanefyllinger på dårlig grunn, fig. 2.6. Armeringen i fylling består av nett som legges ut horisontalt. Noen lag er gjennomgående mens andre bare har begrenset utstrekning. Den korteste armeringen skal bare tjene som kantforsterkning og gjøre det mulig å utføre tilfredsstillende komprimering med tungt utstyr ut mot skråningen. Armeringstettheten avtar innover i fyllingen, og en tvinger dermed kritisk skjærflate noe dypere og unngår problemet med at armeringen får samme retning som rene skjærtøyningssplan.

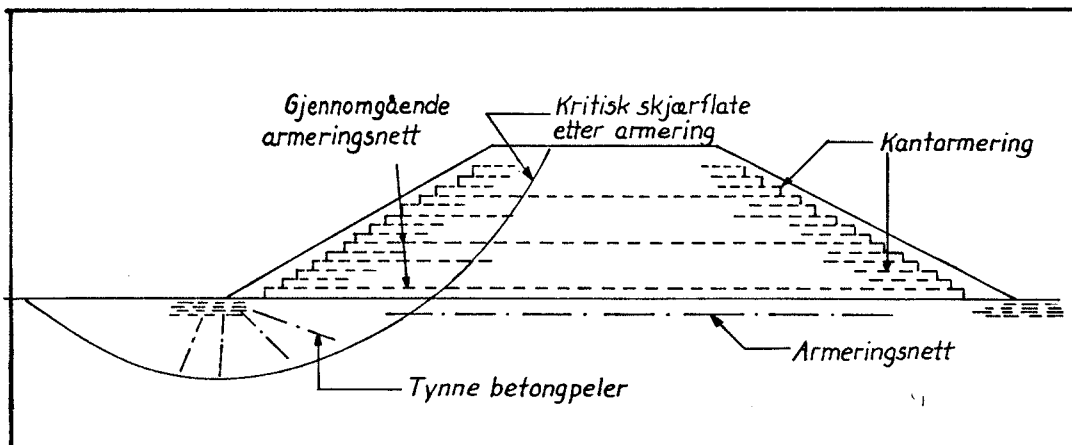


Fig. 2.6. Eksempel på hvordan japanerne armerer høye jernbanefyllinger.

Midt under fyllingen er det også lagt et nett for å øke bæreevnen i grunnen. Utenfor foten av fyllingen hvor tøyningfeltet er dreid, jfr. fig. 2.5., er det rammet tynne betongpeler for å oppnå ønsket armeringsretning. Fig. 2.6. viser hvordan det er mulig å oppnå et gunstig resultat ved å kombinere armering av fylling og undergrunn på riktig måte.

En ønsker ikke her å etablere en entydig resept på hvordan jordarmering skal utføres i praksis. I noen konstruksjoner er det åpenbart hvordan armeringen bør legges, mens det i andre konstruksjoner kreves en langt mere omfattende analyse av spennings- og tøyningstilstanden.

Kap. 2.2. gir retningslinjer for orientering av armeringen ut fra spennings-/tøyningssituasjonen i jorda før armeringen. Likevel kjenner en idag for lite til hvilke spenningsomlagringer som foregår etter at armeringen er lagt inn. Bedre avklaringer omkring dette kan kaste nytt lys over problematikken, evt. anerkjenne metoder og prinsipper som idag ansees som forkastelige.

2.4. Materialer til konstruksjoner av armert jord

Armering av leire med sekkestrie eller sivmatten og forankring av støttevegger av tre med firkantboks i grus/sand, dokumenterer at det i prinsippet ikke finnes begrensninger i hvilke materialer som kan brukes i konstruksjoner av armert jord. Derimot er det avgjørende for resultatet at det sikres tilstrekkelig heft mellom armering og jord.

Her refereres hovedsaklig til engelske (4) og franske (18) spesifikasjoner. De franske spesifikasjonene gjelder bare for konstruksjoner med armeringsstrips av galvanisert stål.

2.4.1. Armeringen

De vanligste armeringsmønstre som benyttes idag kan godt deles i tre grupper, fig. 2.7. Noe overlappinger og kombinasjoner forekommer.

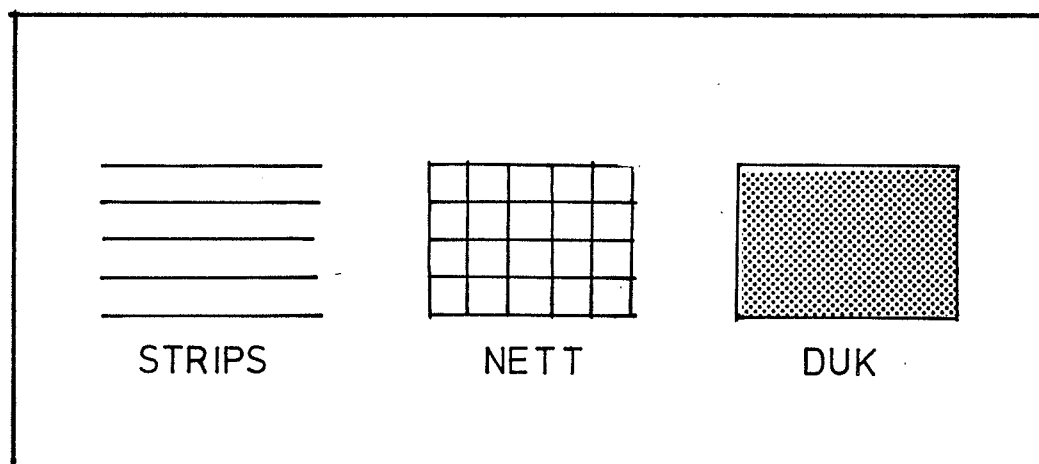


Fig. 2.7. Mest brukte armeringsmønstre (typer) i konstruksjoner av armert jord.

Det meste av stripsene lages av galvanisert stål. Forsøk med andre metaller, bl.a. aluminium, synes ikke å ha slått igjennom. Strips laget av plast, glassfiber eller syntetiske fibre med høy strekkstyrke, kan derimot bli en konkurrent til metallstripsene.

Blant nettene benyttes nesten utelukkende plastmaterialer til jordarmering. Armeringsnett av stål synes ikke å ha fått gjennomslag innen jordarmering.

Duker (fiberduk) lages bare i plastmaterialer. Utførte forsøk tyder på at vanlig handelsvare av fiberduk har for dårlige styrke-/deformasjonsegenskaper for bruk til jordarmering alene. Tunge vevde duker, spesiallaget til armeringsformål og med strekkstyrke ca. 120 kN/m^2 ved 20% deformasjon, benyttes enda i liten grad.

Forutsatt samme styrkeegenskaper, burde nettstrukturer rent intuitivt gi den beste armeringseffekten. Her kommer derimot en rekke teknisk-økonomiske tilleggsvurderinger inn i bildet. Materialene i de ulike armeringstypene er nært knyttet til hva som benyttes i de ulike systemene av armert jord.

Foruten tilfredsstillende styrke-/deformasjonsegenskaper på kort og lang sikt, må armeringen ha en viss motstand mot kjemisk og bakteriologisk nedbrytning, solstråling etc. En kommer tilbake til dette senere.

2.4.2. Jordarter

Jordarter til konstruksjoner av armert jord må tilfredsstillende både mekaniske, fysiske og kjemiske krav. Fig. 2.8. viser krav til korngradering i de engelske og franske retningslinjene. Til sammenligning er vist kravene i de norske telekriteriene.

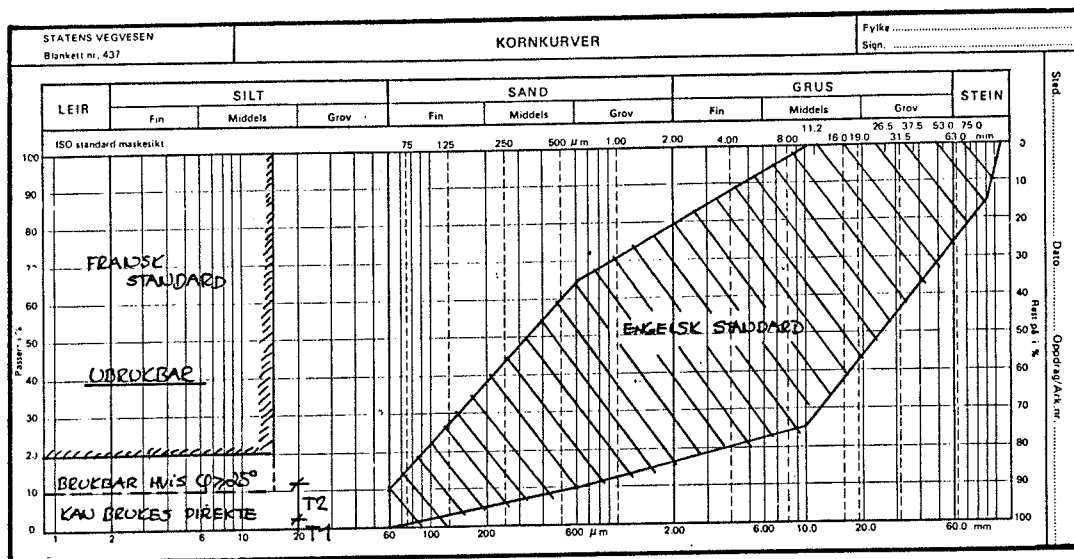


Fig. 2.8. Krav til korngradering for konstruksjoner av armert jord (4), (18).

Engelske retningslinjer fordrer friksjonsmasser med $C_u \geq 5$ (vanligvis) og med en kornsammensetning som faller innenfor det skraverte området i figuren. Største tillatte steinstørrelse er satt til 125 mm. Indre friksjonsvinkel ϕ skal være større eller lik 22° . Erfaringsmessig holder kravet til friksjonsvinkel hvis kornsammensetningen er innenfor de fastsatte grensene. I tvilstilfeller, spesielt ved ensgraderte materialer $C_u \leq 5$, må det utføres skjærboksforsøk på mettede prøver.

Franske forskriftet er ikke så strenge men differensierer noe mer. Korngraderingen er avgjørende, men det settes ikke spesielle krav til C_u . Denne inngår derimot i beregningene. For bruk i konstruksjoner av armert jord kreves at materialet har en indre friksjonsvinkel $\phi \geq 25^\circ$, framkommet ved skjærboksforsøk. Kornsammensetningen avgjør behovet for slike forsøk se fig. 2.8.

Materialer med mindre enn 15% $< 80 \mu\text{m}$ antas å ha tilstrekkelig mekanisk styrke ($\phi \geq 25^\circ$). Det samme gjelder materialer med mindre enn 10% $< 15 \mu\text{m}$. Disse kan benyttes direkte uten forutgående undersøkelser.

Materialer med 10-20% $< 15 \mu\text{m}$ må undersøkes i skjærboks og godkjennes bare hvis $\phi \geq 25^\circ$. Hvor materialinnholdet $< 80 \mu\text{m}$ overstiger 20%, regnes materialet ubrukbart i konstruksjoner av armert jord.

Ut fra dette er det etablert en inndeling hvor en har:

- materialer som kan benyttes direkte ved armert jord,
- materialer som er ubrukbare i naturlig tilstand,
- materialer som er brukbare forutsatt at de har tilstrekkelig styrke.

Jorda må også tilfredsstille visse kjemiske og elektrokjemiske krav som bl.a. omfatter:

- pH,
- innhold av oppløselige salter,
- ikke organisk materiale,
- resistevitet,
- redox potensial.

Tallverdiene er gitt i (4) og (18) og avhenger noe av armerings- og konstruksjonstype.

2.4.3. Friksjon mellom armering og jord

Friksjonskoeffisienten avhenger først og fremst av kornenes sammensetning og form samt overflaten og struktur på armeringen. I laboratoriet bestemmes friksjonskoeffisienten i skjærboksforsøk, fig. 2.9.

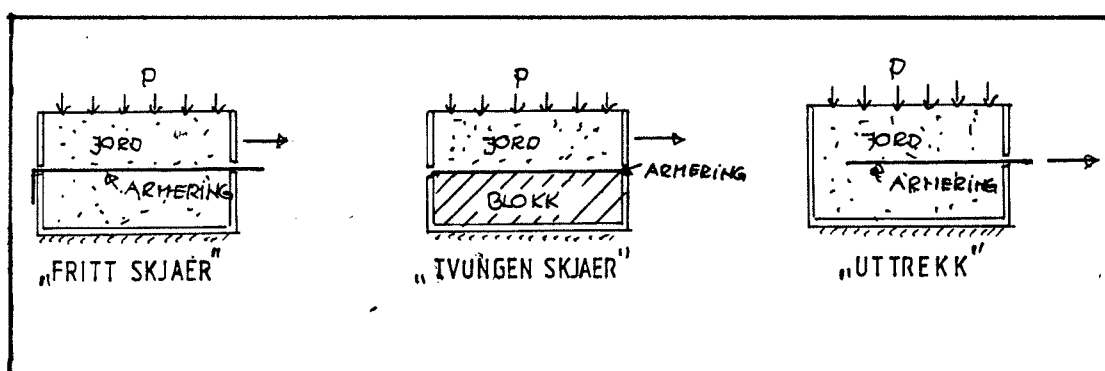


Fig. 2.9. Ulike typer skjærboksforsøk for bestemmelse av friksjonen mellom armering og jord.

Metodene gir noe forskjellig resultat, men metode (2) anvendes mest.

Målinger av størrelse og fordeling av kreftene i armeringen på modell- og/eller fullskalakonstruksjoner gir også grunnlag for estimering av friksjonen langs armeringen. Franske undersøkelser med armeringsstrips av galvanisert stål, indikerer at friksjonskoeffisienten avtar noe med økede overlagingstrykk. Dette har vært med å danne grunnlaget for de franske retningslinjene (18), fig. 2.10. Merk at C_u inngår i uttrykket.

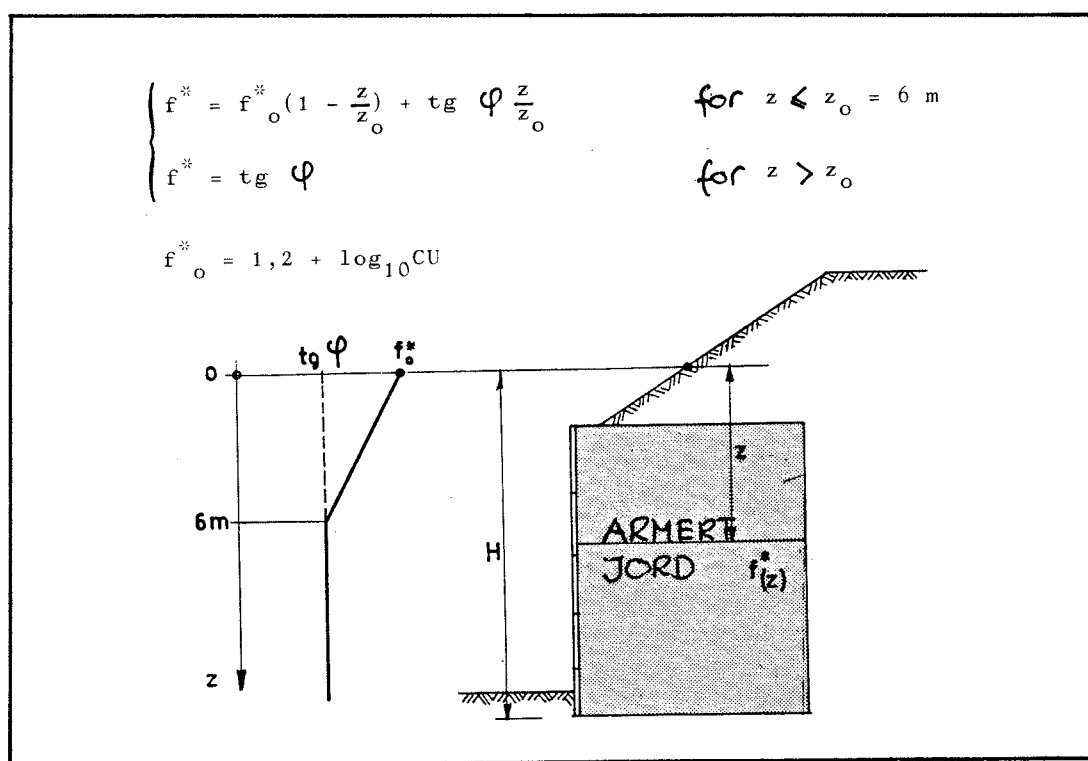


Fig. 2.10. Franske retningslinjer for friksjonskoeffisienten f^* mellom armering og jord.

De engelske forskriftene (4) omfatter alle typer armering som kommer til anvendelse. Friksjonskoeffisienten μ uttrykkes som:

$$\mu = \alpha \cdot \text{tg } \varnothing$$

hvor \varnothing angir indre friksjonsvinkel og α er en faktor som varierer i området 0.4 - 1.0, avhengig av armeringen. Vanligvis kreves skjærboksforsøk, men i noen tilfeller kan det benyttes erfaringsverdier for α .

2.5. Dimensjoneringsmetoder

To forhold må oppfylles ved dimensjonering av konstruksjoner av armert jord:

Intern stabilitet:

- tilstrekkelig heft mellom armering og jord,
- spenningen i armeringen lavere enn bruddspenning.

Ekstern stabilitet:

- bæreevne av konstruksjonen,
- totalstabiliteten av området,
- setninger.

Dimensjoneringsmetodene kan godt deles i tre grupper:

- halvempiriske metoder,
- klassiske " " ,
- rene teoretiske metoder.

Uten å gå i detalj er det riktig å knytte noen kommentarer til hver av metodene.

Med rent teoretiske metoder forstås hovedsaklig elementmetoder. Svakheterne hos disse metodene er problemene med å fremskaffe representative materialparametre og lage relevante jordmodeller. Greier en først dette, er metodene nyttige til studier av konstruksjonens oppførsel under ulike lastbetingelser, samt utføre parameterstudier. Metodene anvendes bare i helt spesielle tilfeller.

Forskjellen mellom klassiske og halvempiriske metoder, som forøvrig er representative for henholdsvis de engelske og franske spesifikasjonene, går på hvordan en beregningsmessig betrakter brudd i konstruksjonen. I de klassiske metodene anvendes tradisjonell spennings- og likevekts-teori. Halvempiriske modeller er derimot fremkommet ved at teoretiske beregningsmodeller er tilpasset resultater fra målinger i fullskala, modell- og laboratorieforsøk. Fig. 2.11. illustrerer forholdet for en støtteveggkonstruksjon.

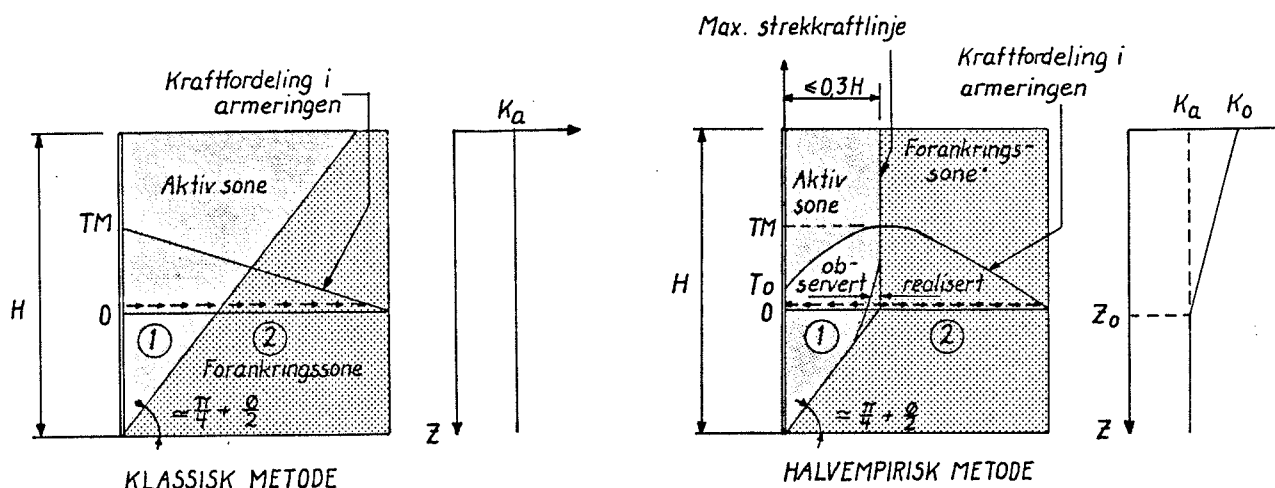


Fig. 2.11. Klassisk og halvempirisk antagelse om bruddforløpet bak støttevegg av armert jord.

I de klassiske metodene antas jorda å være i en aktiv tilstand ($K = K_a$), og det forutsettes at brudd i jorda inntreffer langs en linje som danner vinkelen $(45^\circ + \frac{\phi}{2})$ med horisontalen. Konstruksjonen blir delt i en aktiv sone (1), hvor jorda er i kritisk likevekt, og en forankringszone (2). Kraftfordelingen i armeringen forutsettes trekantfordelt med maksimalverdi, T_m , ved forkant av vegg, jfr. en "pull-out" situasjon. Friksjonen mellom armeringen og jorda regnes virksom kun i forankringssonen.

I de halvempiriske metodene antas jorda øverst å være i en hviletrykkstilstand som gradvis avtar til aktiv tilstand i dybde Z_0 . (Erfaringer tilsier at Z_0 vanligvis settes til 6 m). Armeringen er ofte lite påkjent i toppen og en får tilsvarende små deformasjoner. Nedover i konstruksjonen øker spenninger og deformasjoner i armeringen. Jorda påføres økt sidedeformasjon og en får en gradvis overgang til aktiv tilstand.

Kraftfordelingen i armeringen antas å ha en toppverdi, T_m , i avstand $0.3 H$ fra forkant vegg. Kraften T_0 i forankringspunktet viser seg å være i underkant av halvparten av maksimalverdien. En linje gjennom punkter med T_m deler konstruksjonen i en aktiv sone (1), hvor skjærspenningen langs armeringen har retning ut mot vegg, og en forankringszone (2) hvor skjærspenningene virker motsatt veg. Avhengig av belastningssituasjonen ved dimensjoneringen, idealiseres denne begrensningsslinjen til rette linjer, se fig. 2.11.

Under ellers like forhold gir halvempiriske metoder noe mere men kortere armering enn klassiske metoder som forøvrig betraktes for å være konservative. Forankringssonen i den halvempiriske metoden er større enn i den klassiske metoden som tilsvarende anvender noe lavere jordtrykkskoeffisient. Ellers er metodene relativt like i måten ytre belastninger overføres til konstruksjonen på.

Det er umulig å avgjøre hvilken av metodene som er mest realistisk, siden observasjoner på konstruksjoner, både i laboratoriet og in-situ avhenger noe av hvem som utfører undersøkelsene. Det ser ut til at representanter for hver av metodene har vanskelig for å bli enige. Inntil det foreligger nærmere avklaringer bør begge metodene kunne anvendes i og med at de dokumenterer sin berettigelse gjennom de konstruksjonene som allerede er bygd.

3. STUDIEREISE TIL ENGLAND OG FRANKRIKE, 18. APRIL - 1. MAI 1982.

3.1. Formål og opplegg

Selv om jordarmering er en relativt ny konstruksjonsteknikk er det i løpet av de siste 20 årene blitt skrevet flere hundre publikasjoner, bøker og artikler om emnet. En studiereise til England og Frankrike i tiden 18. april - 1. mai 1982, ble derfor en viktig del av studiet. Turen ga en rik anledning til å se metoden i bruk og møte en del av de personene som har vært med på, og som fremdeles står i spissen for utviklingen og anvendelsen av armert jord.

Intensjonene med studiet har vært å få en oversikt over ulike systemer av armert jord og hvordan de anvendes i ulike sammenhenger, spesielt med tanke på tilpassing til norske forhold. Rene forsknings- og universitetsmiljøer har jeg derfor bevisst unngått, dels for å begrense studiet noe, men også fordi resultatene fra disse er lett tilgjengelige i publikasjoner o.l.

Uten å gå i detalj, så vil det være riktig å gi en presentasjon av de firmaer og institusjoner jeg besøkte, spesielt mht. hva de representerer innen armert jord. Praktisk/økonomiske hensyn setter en begrensning for hva en kan oppnå, men turen har gitt et rimelig godt utgangspunkt for å vurdere metoden armert jord som konstruksjonsteknikk.

3.2. Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne, Berkshire.

I England ble den første armerte jordkonstruksjonen bygd i 1972 ved Granthor i nærheten av Edinburgh (3).

TRRL med Mr. R.T. Murray i spissen har siden fulgt opp utviklingen av metoden i England. Det oppsto tidlig et behov for offentlige retningslinjer for dimensjonering og utførelse av armerte jordkonstruksjoner. "Bridges Engineering Design Standards Division" har i samarbeid med TRRL utarbeidet midlertidige retningslinjer (4), "Reinforced Earth Retaining Walls and Bridge Abutments for Embankments", som skal gjelde ved alle konstruksjoner som bygges for det offentlige.

TRRL har utført en rekke målinger av spenninger, deformasjoner, setninger osv. på in-situ konstruksjoner. Det siste prosjektet av denne typen finner en ved Waltham Cross like utenfor London hvor en støttevegg av armert jord er instrumentert. Målinger av denne type gir muligheter til å verifisere hvorvidt eksisterende dimensjonerings- og analysemetoder holder i praksis.

Modell- og sentrifugeforsøk i laboratoriet er også anvendt for uttesting av ulike systemer av armert jord (5). Stedvis kan det være vanskelig og kostbart å skaffe til veie friksjonsmasser som oppfyller kravene til bakfyllmasser. TRRL gjennomførte derfor i 1976/77 et pilotforsøk i laboratoriet med en støttevegg hvor siltig leire ble armert med glassfiberforsterket plast (5).

I 1977 bygde TRRL en fullskala støtteveggkonstruksjon, fig. 3.1, hvor en rekke ulike typer armering og frontpaneler ble testet i tre ulike materialtyper (5). Forsøket er omfattende men det kan vel reises tvil hvorvidt det er mulig å trekke klare konklusjoner fra en såpass sammensatt konstruksjon. Fig. 3.2. viser eksempel på opplegg for instrumentering.

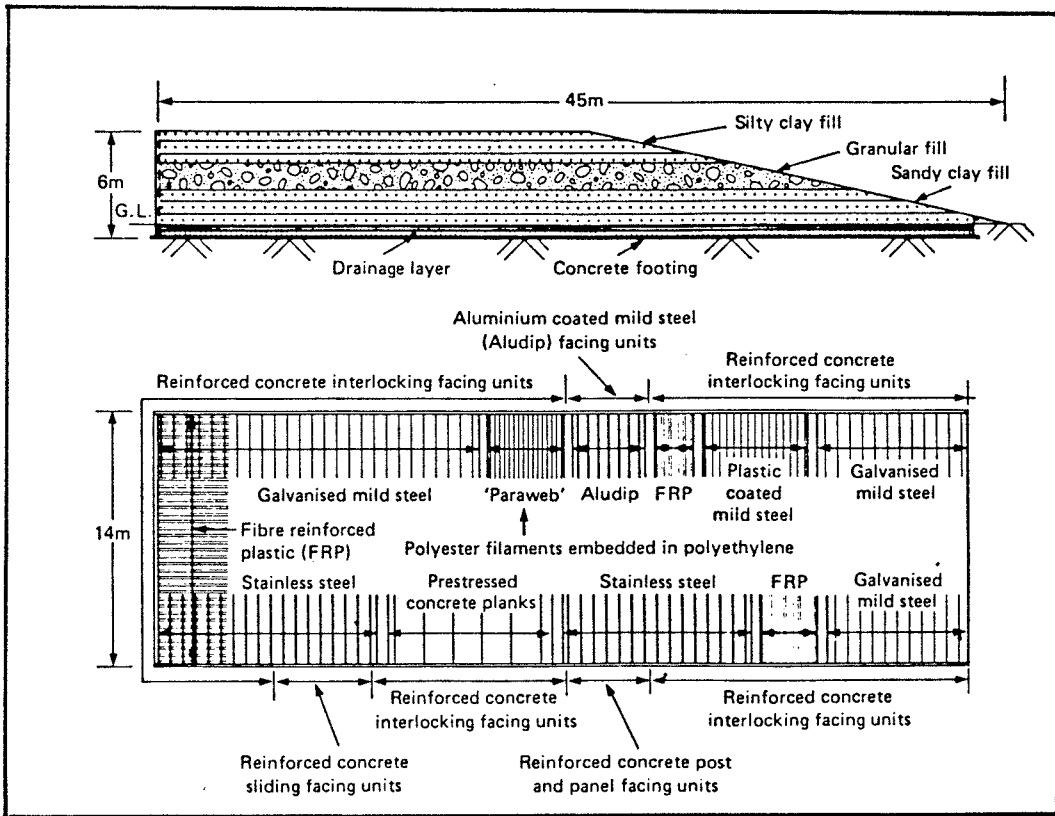


Fig. 3.1. Fullskala støtteveggkonstruksjon, armert jord, for testing av ulike typer armering og frontpaneler (5).

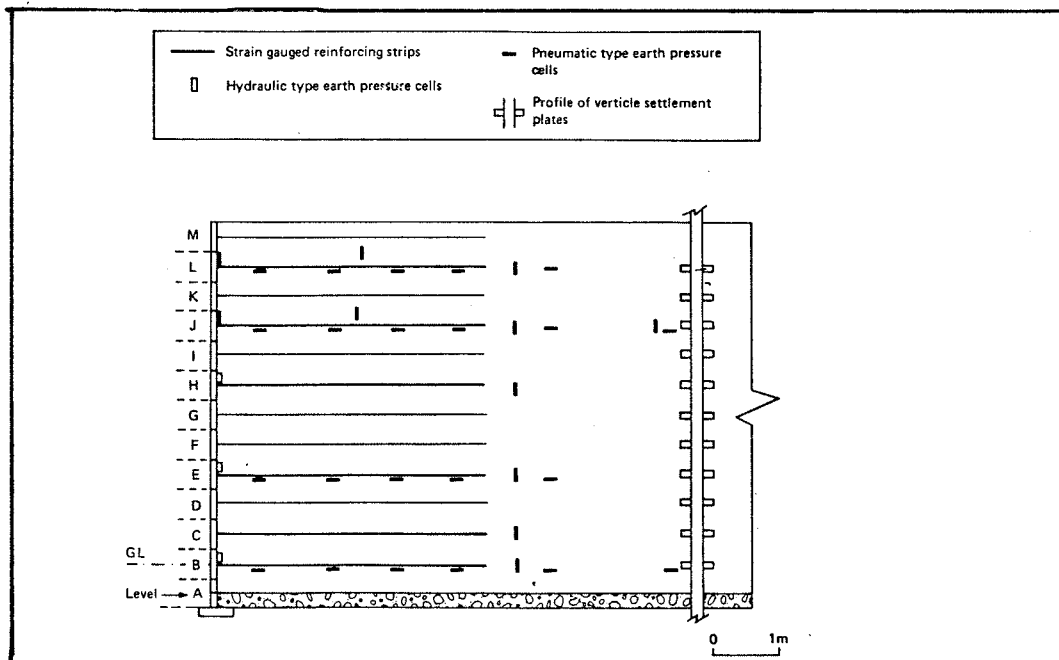


Fig. 3.2. Tverrsnittet viser eksempel på opplegg for instrumentering (5).

I 1981 lanserte Murray og Irwin (6) ved TRRL et nytt jordarmeringssystem som har fått betegnelsen "Anchored Earth", fig. 3.3. Anchored Earth (forankret jord) er brukt for å unngå konflikter vedrørende patentrettigheter på Reinforced Earth som innehas av H. Vidal. Dette er en støtteveggkonstruksjon med en frontkledning av prefabrikkert betongplank og horisontaltliggende armering av stålstenger (ϕ 20 mm). Den frie enden på armeringen er utformet som en Z, eventuelt triangel, for å oppnå forankring i bakfyllmassene. Metoden er enda ikke prøvd i fullskalaforsøk.

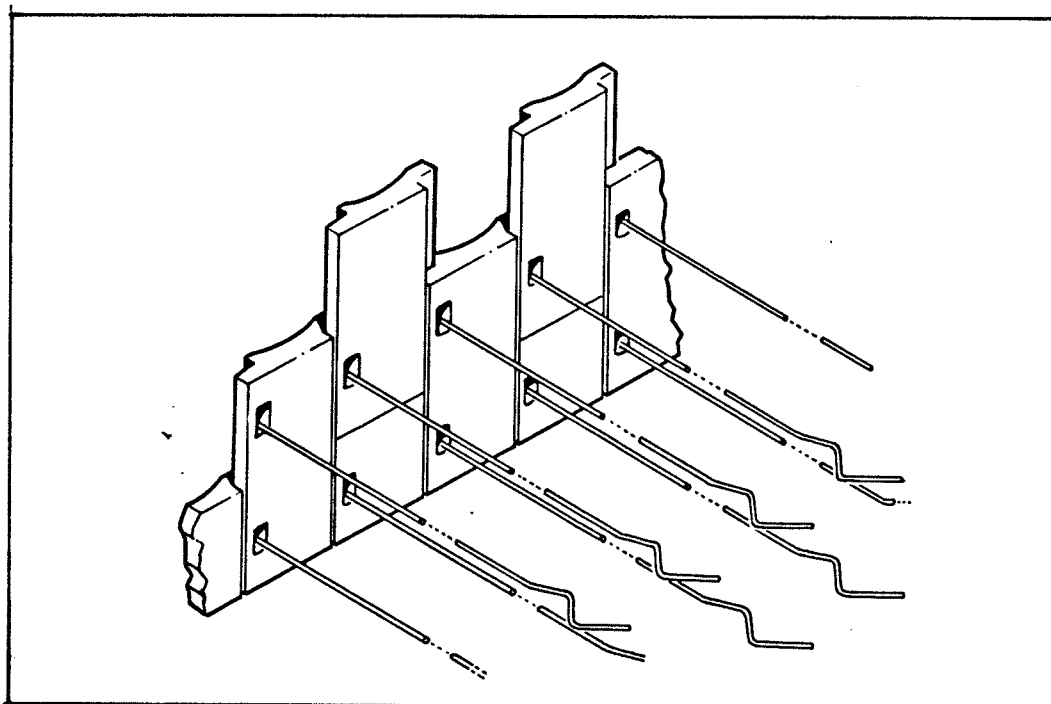


Fig. 3.3. Prinsippskisse av "forankret jord" utviklet ved TRRL (6).

3.3. Netlon Limited, Blackburn

Netlon Ltd. produserer og forhandler plastarmeringsnett under varemerket Netlon og Tensar Geogrid, fig. 3.4. Dette er høyverdige plastmaterialer framstilt av polyetylen med høy tetthet.

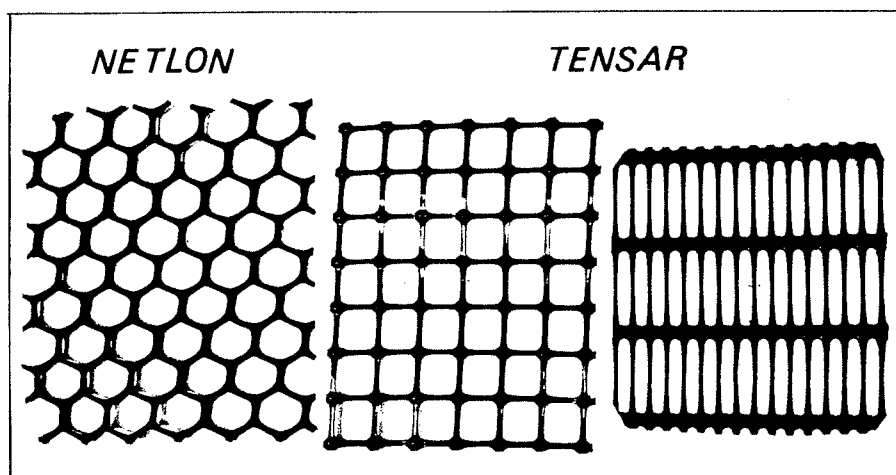


Fig. 3.4. Netlon/Tensar-nett til jordarmering.

Dr. F.B. Mercer, oppfinner av produktene og eier av firmaet, har sin bakgrunn fra tekstilindustrien. Han syntes tekstilindustrien var håpløs gammeldags. Som arvtager til en større fabrikk gjorde han derfor en del lønnsomme oppfinnelser.

Han utviklet bl.a. Netlon, et plast armeringsnett med hexagonalt mønster, fig. 3.4. Produktet ble forelagt ICI (Imperial Chemicals Industries) uten at de viste interesse. I forargelse startet han opp sin egen virksomhet. Netlonproduktene har en tilnærmet vevd struktur og leveres i flere maskestørrelser men er ikke spesielt deformasjonssterke.

Netlon Ltd. har senere utviklet Tensar Geogrid med styrke-deformasjonsegenskaper som langt overstiger Netlon. Tensarnettet framstilles ved trekking av en på forhånd perforert plate. Nettet har et kvadratisk eller langstrakt mønster, fig. 3.4, alt etter om en ønsker isotrope eller anisotrope styrkeegenskaper.

Forkiling av kornene (interlocking), forsøkt illustrert i fig. 3.5, er en av de største fordelene som blir påpekt mht. bruk av nettstrukturer i jordarmering.

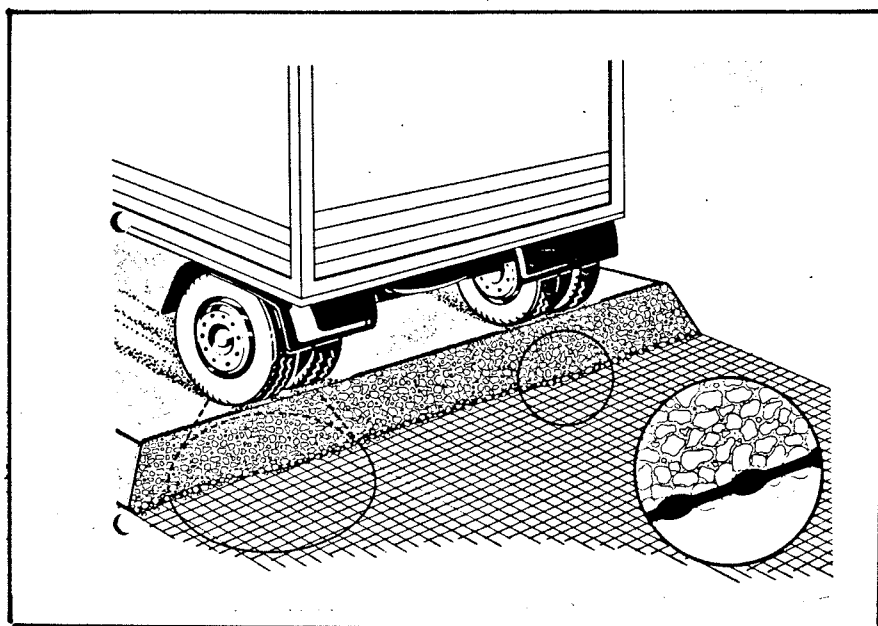


Fig. 3.5. Illustrasjon av forkilningseffekten (interlocking) mellom nett og armering (?).

Netlon/Tensar-nettene er rene armeringsprodukter. De er konstruksjonsuavhengig og kommer derfor til anvendelse i en lang rekke jordarmeringssammenhenger. Fig. 3.6. viser eksempel på armering av en fylling med Tensar Geogrid.

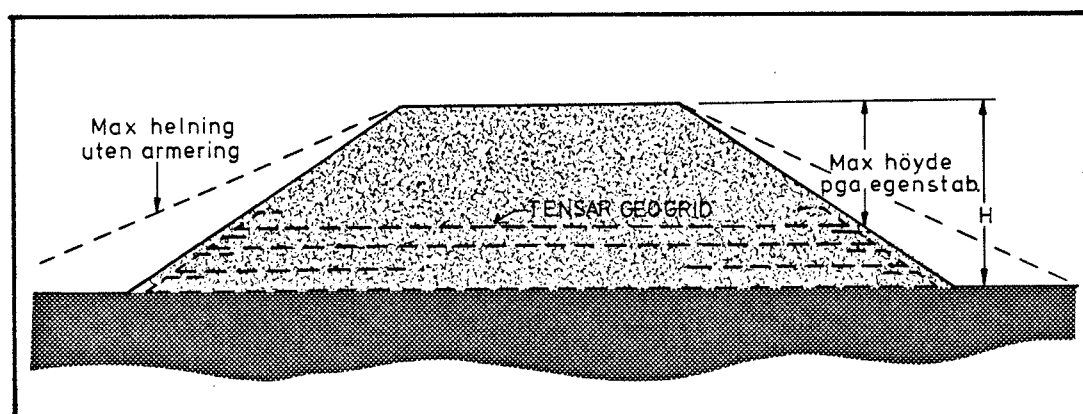


Fig. 3.6. Armering med Tensar Geogrid gir økt egenstabilitet og tillater høyere fylling.

Andre sammenhenger hvor Tensar/Netlon har vist seg fordelaktig er:

- armering bak og forankring av støttevegger,
- reparasjon og armering av rasgroper i skjæringer,
- forankring av gabioner (også som gabioner), fig. 3.7,
- strekkarmering under fyllinger på bløt grunn, evt. i kombinasjon med "fundamentmadrass".

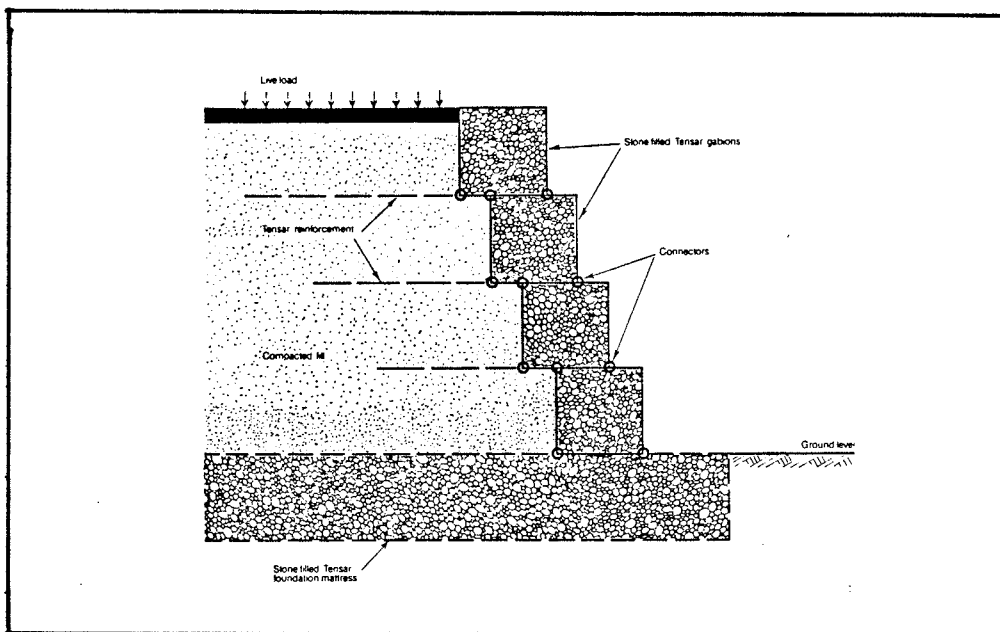


Fig. 3.7. Tensar Geogrid ved forankring av gabioner (her Tensar), her på en "fundamentmadrass" (8).

3.4. Dr. C. Jones, Assistent Director, Structural Division, West Yorkshire Metropolitan Country Council

Dr. C. Jones er idag en av Englands ledende eksperter innen armert jord. Hans erfaringer med metoden, bl.a. gjennom en doktoravhandling "Retaining Structures" (9), førte til at han i 1973 utviklet og patenterte et nytt prinsipp, Yorkmetoden (10), for bygging av vertikale støttekonstruksjoner av armert jord, fig. 3.8.

Metoden innebærer at egensetninger i bakfyllmassen tas opp i konstruksjonen via fri vertikal bevegelse i forbindelsen mellom armering og frontpaneler. Vanligvis skjer dette ved at armeringen får gli langs vertikale stålstenger kledd med PVC. Brukeren står helt fritt i valg av materialer til armering og frontpaneler og hvem som helst kan anvende metoden.

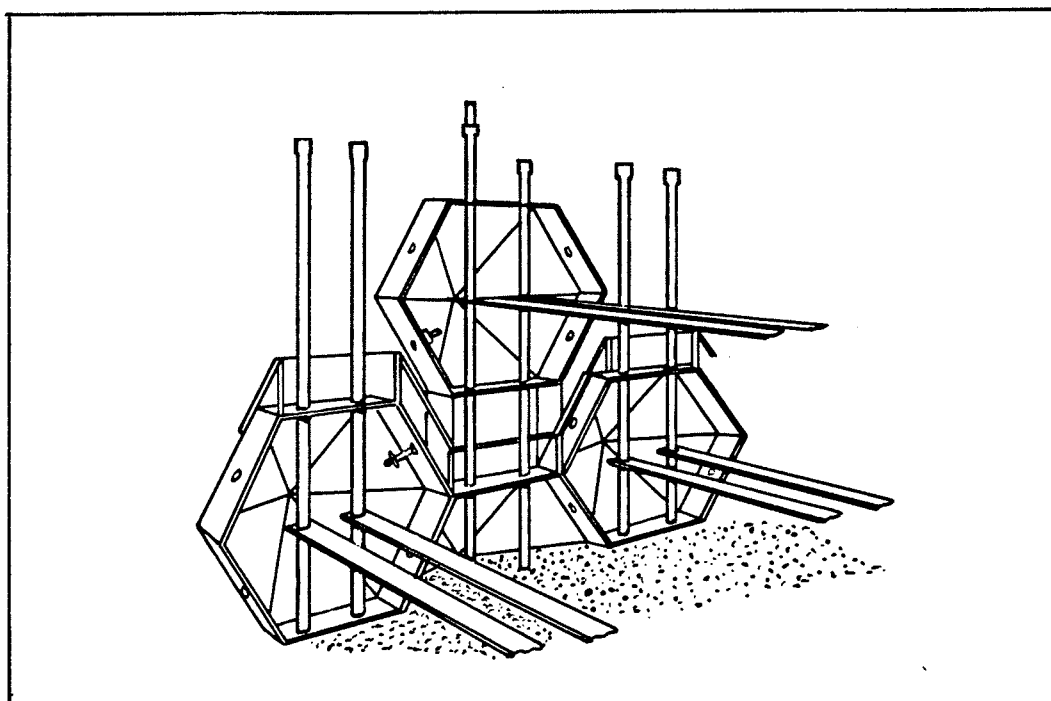


Fig. 3.8. Prinsippskisse av støttevegg, Yorkmetoden, her med hexagonale frontpaneler.

Fig. 3.9. viser støttevegg, Wakefield England, bygd etter Yorkmetoden med frontpaneler av glassfiberarmert betong og armeringsstrips av glassfiberforsterket plast. Yorkmetoden har vært nyttig i forsøksammenheng (5) etter som brukeren står fritt i valg av konstruksjonsmaterialer. Det er oppnådd gode resultater med flere typer frontpaneler og armering, bl.a. Tensar Geogrid (11).

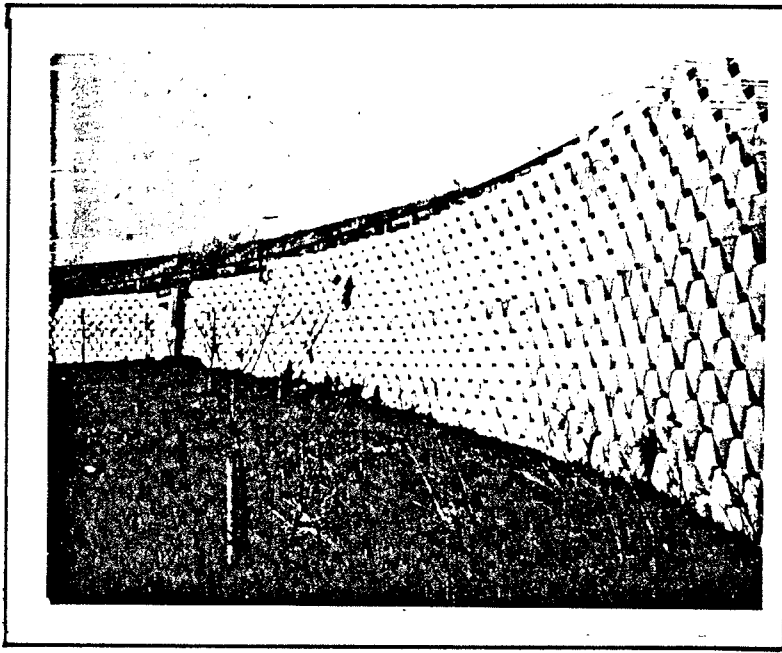


Fig. 3.9. Støttevegg, Yorkmetoden. Frontpanel av glass-fiberarmert betong og armeringsband av glass-fiberforsterket plast, Wakefield, England.

3.5. Reinforced Earth Company (REC), Telford, England

Reinforced Earth Company (REC) i Telford representerer den engelske delen av La Terre Armée som ble grunnlagt av Henri Vidal. Firmaet opererer idag innen de britiske øyer og deler av Skandinavia (Norge, Sverige). REC har stått for byggingen av ca. 30 konstruksjoner i England mens ca. 15 er under prosjektering/bygging.

3.6. La Terre Armée, Paris, Frankrike

Vidal sine oppfinnelser vakte stor interesse og førte til grunnleggelsen av firmaet La Terre Armée. Med ca. 100 større og mindre avdelingskontorer omkring i verden kan firmaet oppvise en voldsom ekspansjon.

Vidal innså snart hvilke muligheter som lå i metoden og han tok patent i de fleste landene hvor metoden ble introdusert. Konsernet fikk på denne måten kontroll om såvel utvikling, prosjektering og bygging av slike konstruksjoner, noe som forklarer den store markedsandelen idag.

Vidalprinsippet er primært utviklet med tanke på vertikale støttekonstruksjoner, dvs. støttevegger, brufundamenter, forbygninger osv. Hovedelementene i konstruksjonen, fig. 3.10, består av prefabrikerte betongelementer, 1,5 x 1,5 m store, armering av 5 mm tykke og 40/60 mm brede galvaniserte stålband samt bakfyllmasse av grus.

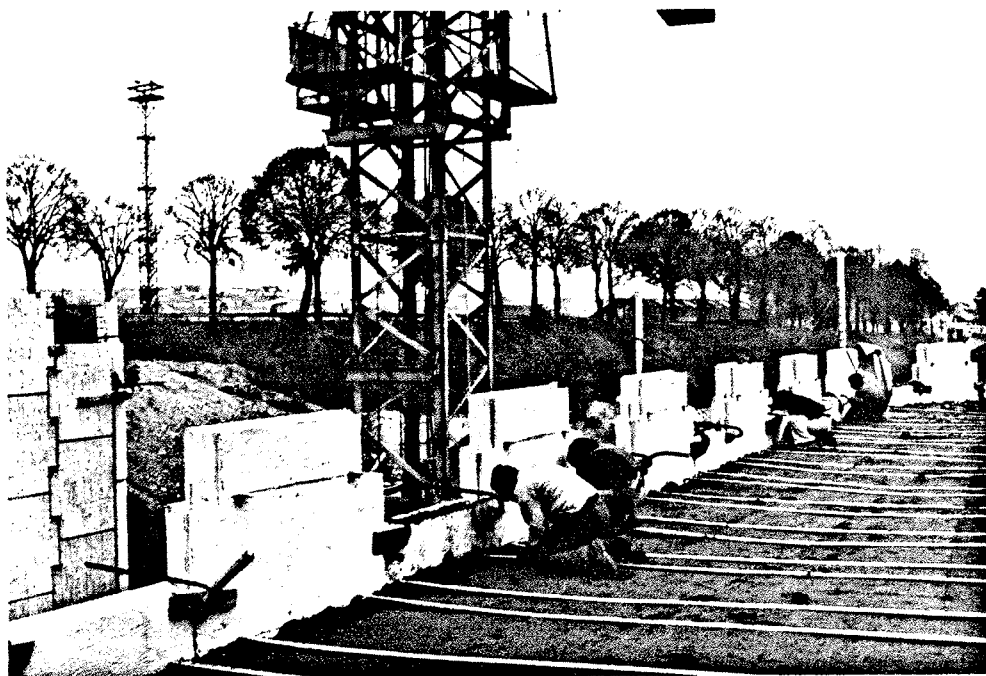


Fig. 10. Bygging av støttemur, Vidalprinsippet, hvor hovedelementene er betongpaneler, armeringsbånd og bakfyllmasse av grus.

Den første tiden ble det brukt armering med glatt overflate. Etter hvert har en forsynt stripsene med tverrribber, fig. 3.11, som gir øket heft mellom armering og jord.

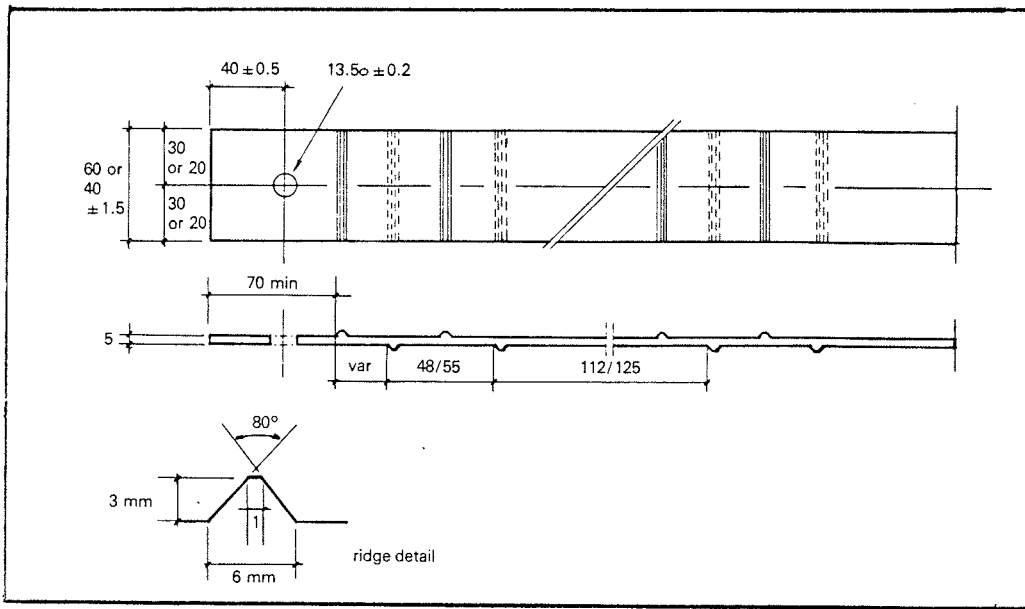


Fig. 3.11. Detalj av armeringsbånd med tverribber (High Adherence Strips) (12).

Frontpanelene leveres i flere overflatestrukturer noe som har gjort metoden meget attraktiv i bymessige strøk.

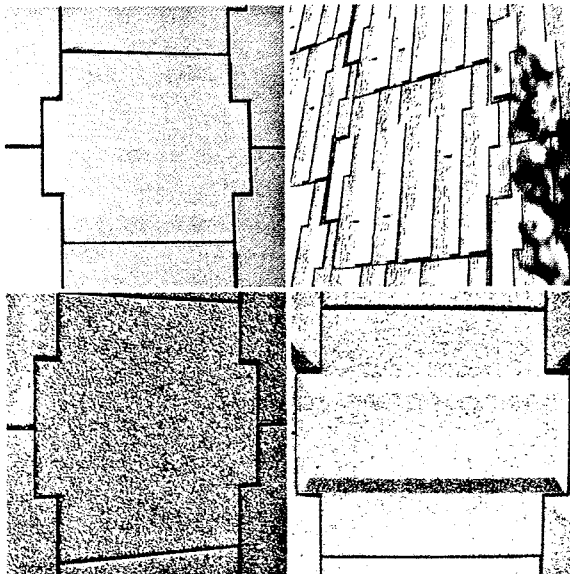


Fig. 3.12. Frontpanelene leveres i ulike overflatestrukturer.

Byggeprosessen følger et fastlagt system, fig. 3.13. Først anlegges en uarmert betongsåle, 25 x 40 cm som avretting for panelene. Nederste panelrad monteres og det fylles opp med grus (komprimering) til første nivå med armering som boltes til festene i frontpanelene. Nye paneler monteres fulgt av oppfylling, komprimering, osv. Fugene mellom panelene er forsynt med 2,5 cm tykke korklister for å ivareta noe deformasjoner i bakfyllmassene.

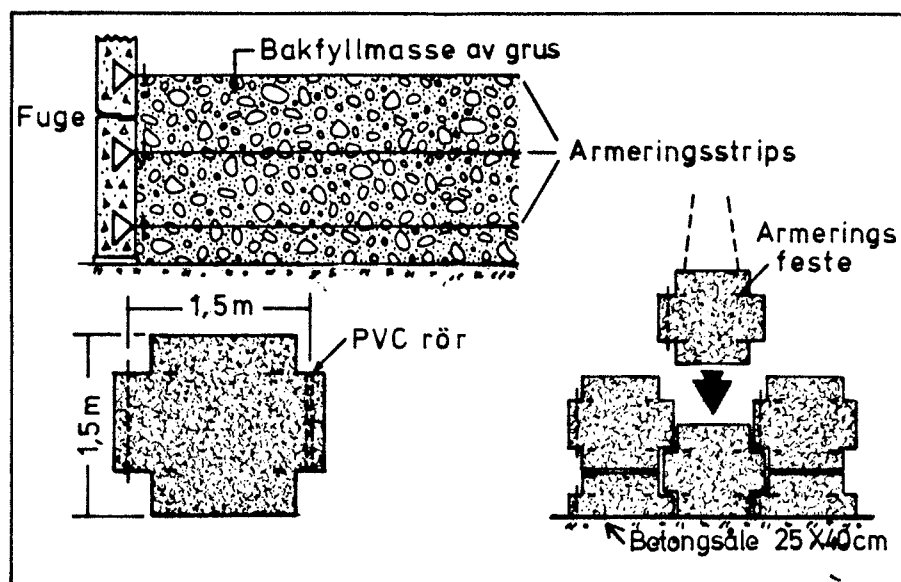


Fig. 3.13. Montering av støttemur, Vidalprinsippet (13).

Avhengig av konstruksjonstype og adkomstmuligheter viser erfaringer kapasiteter i området 30-100 m² vegg pr. dag. Montering kan skje nesten uberørt av omgivelsene i og med at anleggsvirksomheten bare begrenses til konstruksjonens område, fig. 3.14.

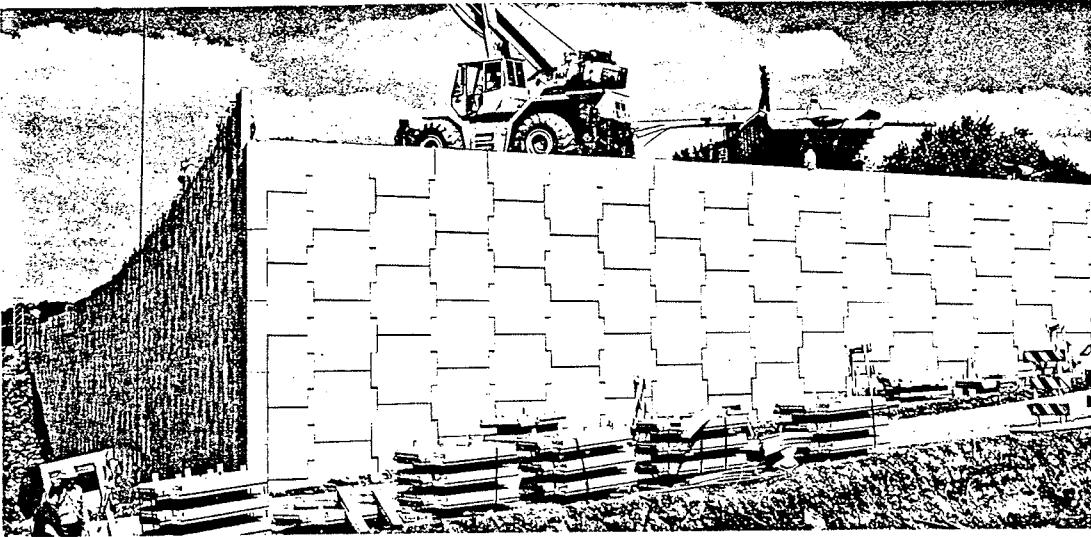


Fig. 3.14. Bygging av landkar/støttemur, Vidalprinsippet.

3.7. Websolsystemet

Websolsystemet ble introdusert av D.I. Price og markedsføres idag av Soil Structures Ltd. Betragtninger omkring metoden bygger på skriftlig informasjonsmateriale og generell omtale i litteraturen. Metoden har flere felles trekk med Vidalprinsippet og er tilpasset vertikale støt-tekonstruksjoner. Fig. 3.15 og 3.16 viser hovedelementene i Websolsystemet.

Frontpanelene består av 1.6 x 2 m store T-formede betong-elementer. I de horisontale og vertikale fugene legges henholdsvis kork- og polystyren-pakninger for å kunne ivareta noe deformasjoner. I konstruksjonen skal det brukes friksjonsmasser med egenskaper lik de for andre jordarmeringsmetoder.

Armeringssystemet er noe spesielt og består av en kombinasjon av strips, duk og en forankringsstang, fig. 3.16. Stripsene, som produseres under varemerket Paraweb, består av syntetiske fibre og er omsluttet av et beskyttelseslag med svart polyetylenplast. De legges horisontalt i bakfyllmassen i en kontinuerlig loop og i et zikk-zakk-mønster. De festes til frontpanelene via en liggende bolt, mens de i bakkant omslutter en kontinuerlig forankringsstang på tvers av konstruksjonen.

Over armeringsstripsene legges fiberduk, Terram 1000, i en bredde av 4.5 m ut fra veggen. Alle metallgjenstander er dekket med plast for å redusere korrosjonsfaren.

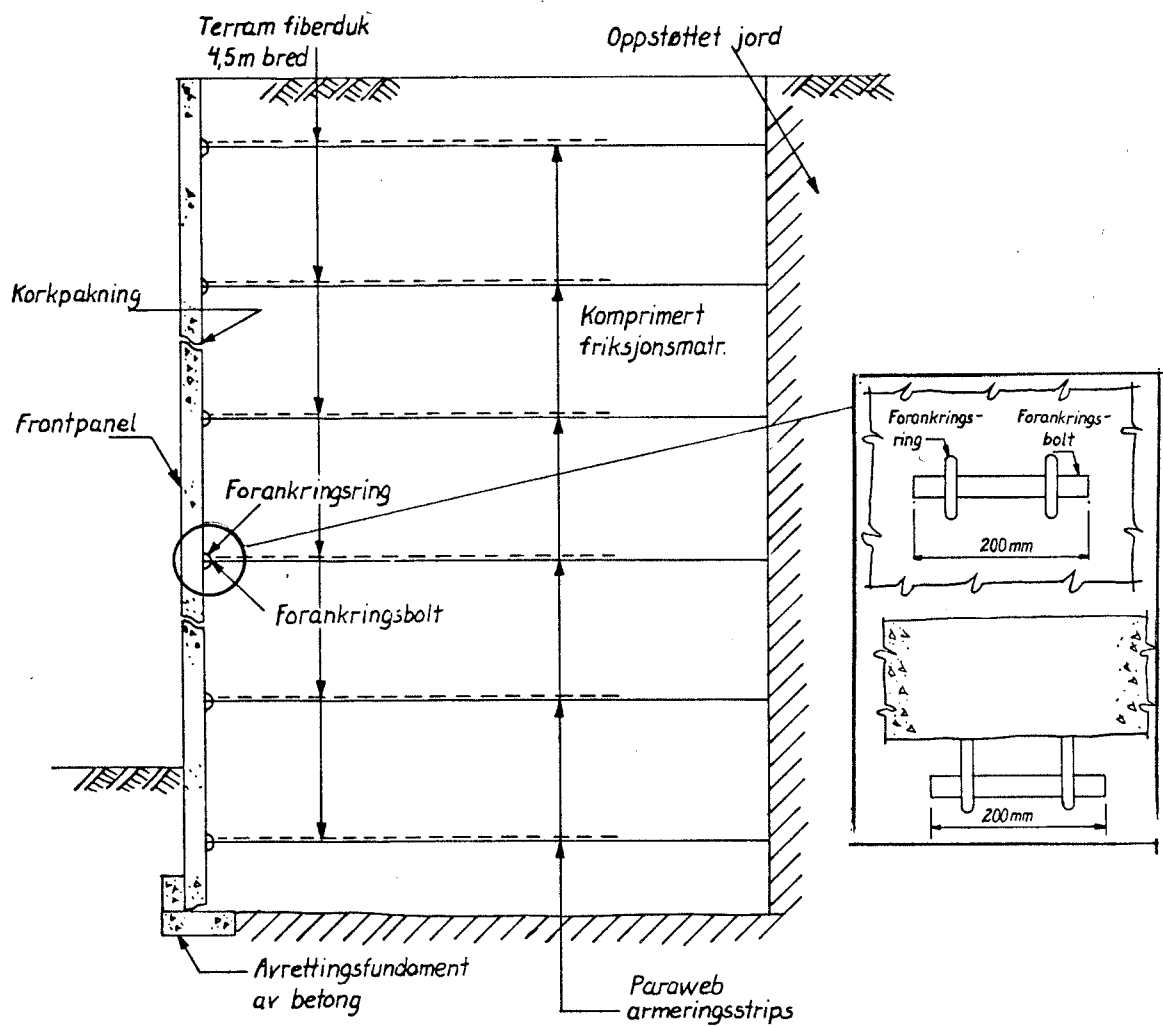


Fig. 3.15. Støttevegg av armert jord, Websolsystemet.

Armeringseffekten oppnås som en kombinasjon av heft mellom stripsene og bakfyllmassene og forankring via forankringsstangen i bakkant. Fiberduken vil også ha noe stabiliserende effekt.

Oppbygging av konstruksjonen skjer etappevis ved at det først etableres et avrettingsfundament av betong. Deretter monteres paneler etterfulgt av tilbakefylling med friksjonsmaterialer, komprimering, legging av armering osv. Metoden er anvendt med godt resultat bl.a. på en støttevegg ved Belper og i en molokonstruksjon ved Jersey, begge steder i England.

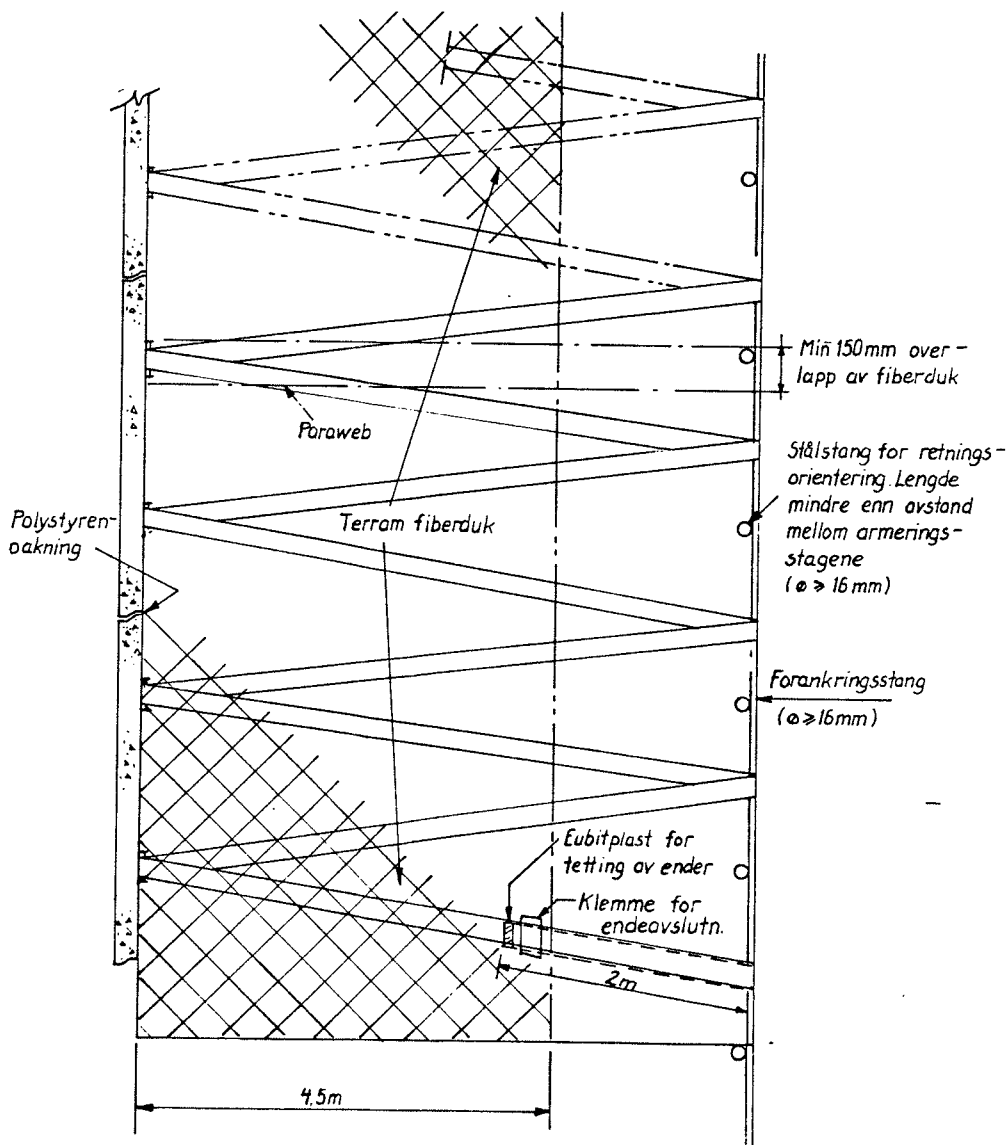


Fig. 3.16. Armeringsutførelse i Websolsystemet.

3.8. Armert jord i bruk i en rekke land

Metoden armert jord er forsøkt i ca. 40 land, og det er bygd mellom 5000-6000 konstruksjoner, vesentlig støttekonstruksjoner. I Europa bygges det flest konstruksjoner i Frankrike og Spania, mens USA, Canada og Japan anvender metoden mest utenfor Europa.

Vidalprinsippet er helt dominerende, ikke bare i Frankrike hvor dette utelukkende benyttes, men over hele verden. I England anvendes idag 4 systemer. Omlag 30 konstruksjoner er bygd etter Vidalprinsippet, mens ca. 15 er under prosjektering. Netlon/Tensar-produksjonen er anvendt i ca. 15-20 prosjekter, mens i underkant av 10 konstruksjoner tilsammen er bygd etter Yorkmetoden og Websolsystemet.

Utviklingen av armert jord har vært preget av konflikter og rettssaker helt siden starten. Opphavsrettighetene har stått i fokus. Dette har medført at utviklingen er blitt konsentrert til spesielle systemer, metoder og konstruksjonsdetaljer. Dette har hindret en fri utvikling og forbedring av den generelle jordarmeringsteknikken.

Konfliktene har vært konsentrert til England. Det hele startet i 1972 hvor Department of Transport (DTp) bygde en støttemur av armert jord på motorveg M62 Whitely, hvor Vidal mente det ble anvendt en byggeteknikk som var omfattet av hans patent. Det hele endte med en rettssak som strakk seg fra høsten 1974 til våren 1980. Resultatet ble at DTp måtte betale en engangserstatning til Vidal for å anvende jordarmering ved konstruksjoner i offentlig regi.

Det er nettopp avsagt en høyesterettsdom i en rettssak mellom Vidal og Soil Structures Ltd. Vidal mener Websolsystemet slik det markedsføres som støttekonstruksjon med kledning av betongpaneler, er en etterligning av hans oppfinnelse, selv om armeringen er forskjellig. Vidal fikk medhold av høyesterett. Utfallet ble at Websolsystemet bare kan anvendes ved konstruksjoner i offentlig regi inntil Vidal's patent i England utløper i 1984. Websolsystemet er også inntil videre begrenset for anvendelse i spesielle land.

4. ARMERT JORD ANVENDES I EN REKKE SAMMENHENGER

Flere av de løsningene som presenteres er omtalt i forrige kapittel. Velger likevel å ta dem med for helhetens skyld.

Vidal utviklet primært sine armerte jordkonstruksjoner som et alternativ til tradisjonelle plasstøpte støttekonstruksjoner slik som fig. 4.1 viser. Systemet har slått godt an, og de fleste forbinder derfor armert jord med støttevegger.

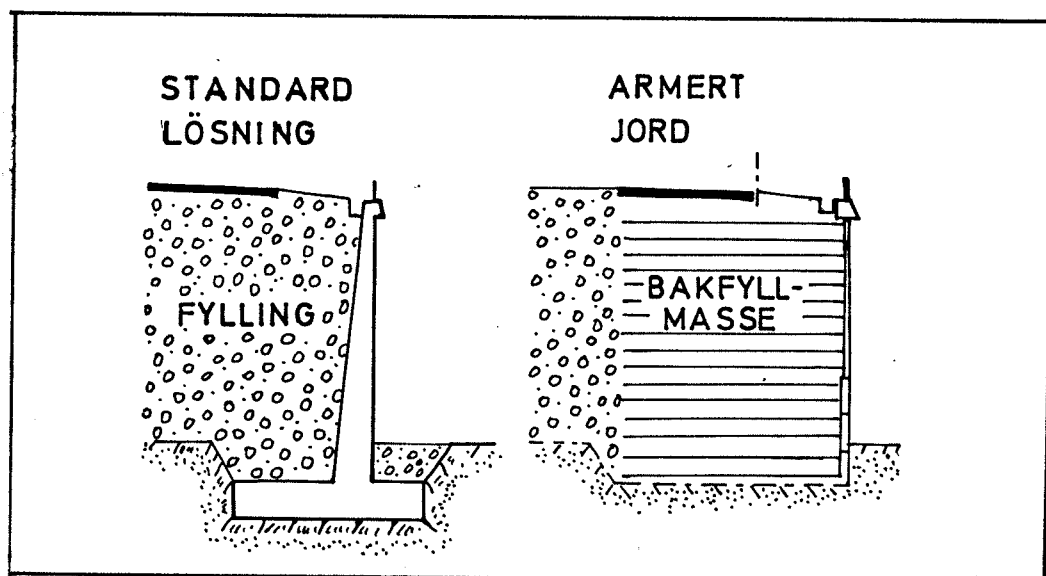
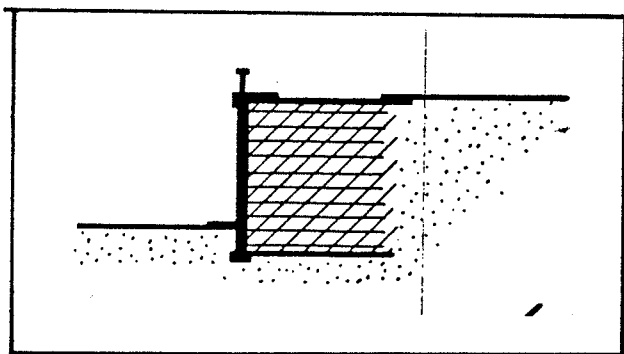


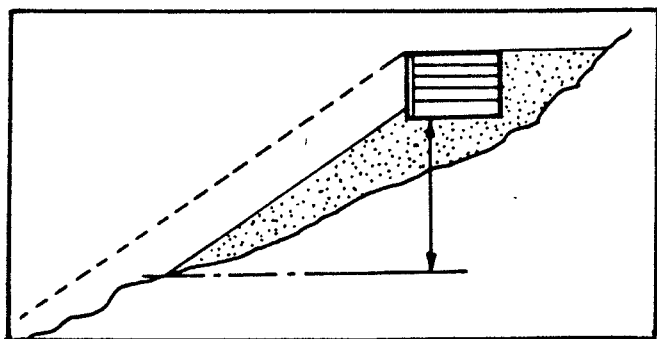
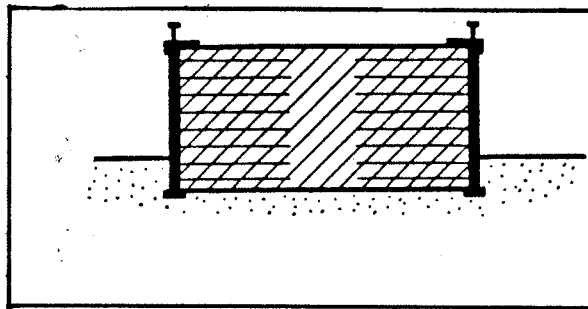
Fig. 4.1. Tradisjonelt forbindes armert jord med støttevegger.

Selv om støttevegger er en begrenset del av jordarmeringsteknikken, kan de anvendes med godt resultat i en rekke sammenhenger. Fig. 4.2. viser prinsippskisser av dette som gjelder for hvilket som helst system hvor armeringen festes til en eller annen type frontkledning.



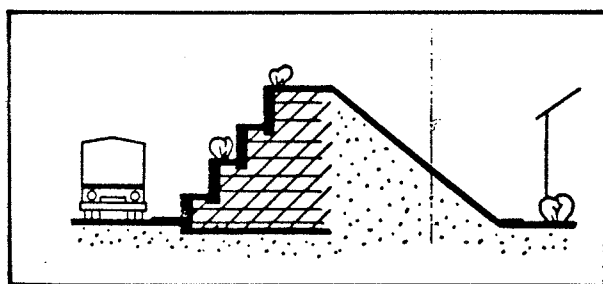
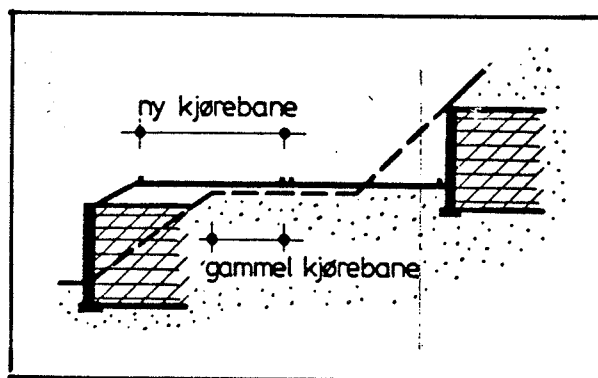
a) Støttevegger for veier o.l. i områder med dårlig plass.

b) Ramper for veier, kryss og bruer etc. som i a).



c) Unngå store fyllingsutslag ved vegbygging i bratt terreng.

d) Utvidelse av veier/gater i tettbygd strøk.



e) Smalere og bedre estetisk utforming av støyvoller.

Fig. 4.2. Støttevegger av armert jord er anvendelige i en rekke sammenhenger.

Brufundamenter av armert jord anvendes mye i utlandet, fig. 4.3. Løsningen er spesielt interessant i bystrøk hvor det er trangt om plass og en ønsker å unngå sidefyllinger inn mot landkaret. Med ramper av armert jord som ender opp med et landkar kan en løse dette samtidig som brua også kan gjøres noe kortere.

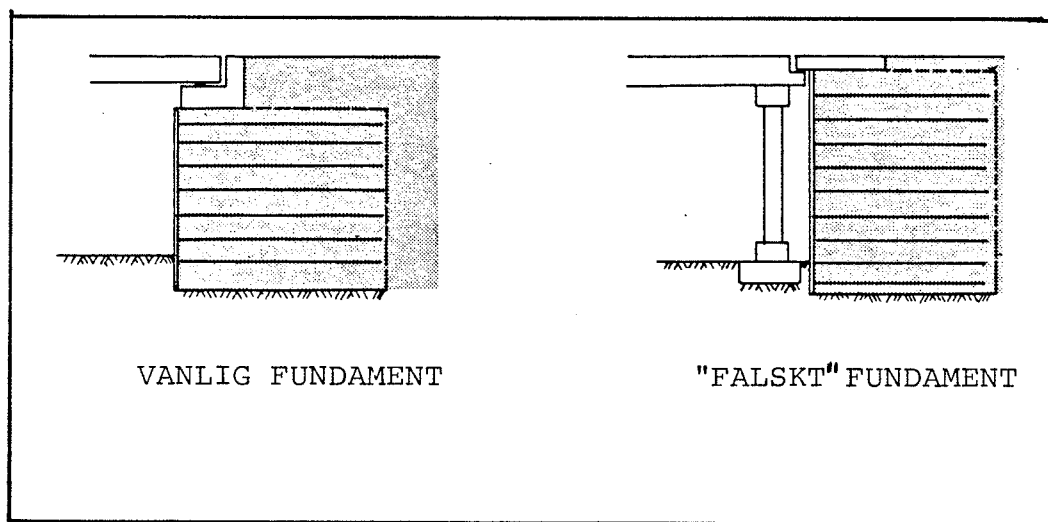


Fig. 4.3. Landkar av armert jord.

Fig. 4.3. viser to alternative landkarutforminger. Ved et "falsk" landkar er bare tilløpsfyllingen bygd av armert jord mens bærekonstruksjonen er utformet på vanlig måte. Dette betinger noe bedre bæreevne i grunnen enn for et landkar hvor hele konstruksjonen er bygd opp av armert jord.

Et annet forhold som gjør armert jord til en attraktiv byggeteknikk i tettbygde strøk er at all virksomhet kan begrenses til innenfor konstruksjonens område. På denne måten unngås vanskelige og ofte konfliktskapende trafikk-avviklingsproblemer.

Hittil er det presentert tradisjonelle og vel gjennomprøvd konstruksjoner av armert jord. Jordarmeringsteknikken kan også anvendes i andre konstruksjonstyper. Spesielt har Tensar Geogrid som er et rent armeringsprodukt åpnet mulighetene for en langt mere generell anvendelse av armert jord.

Stabilitet og bæreevne av fyllinger er et dagligdags problem, fig. 4.4. Ved en gunstig tilpasning av armeringen kan en oppnå økt egenstabilitet og tillate høyere fyllinger med steilere skråningshelning.

Den gjennomgående armeringen skal ivareta intern stabilitet av fyllingen mens kantarmeringen sikrer lokal overflatestabilitet og muligheten for bedre komprimering ut mot kanten. De største gevinstene oppnås i skrått terreng hvor fyllingsutslagene kan bli store, f.eks. vegfyllinger, snøskredvoller etc.

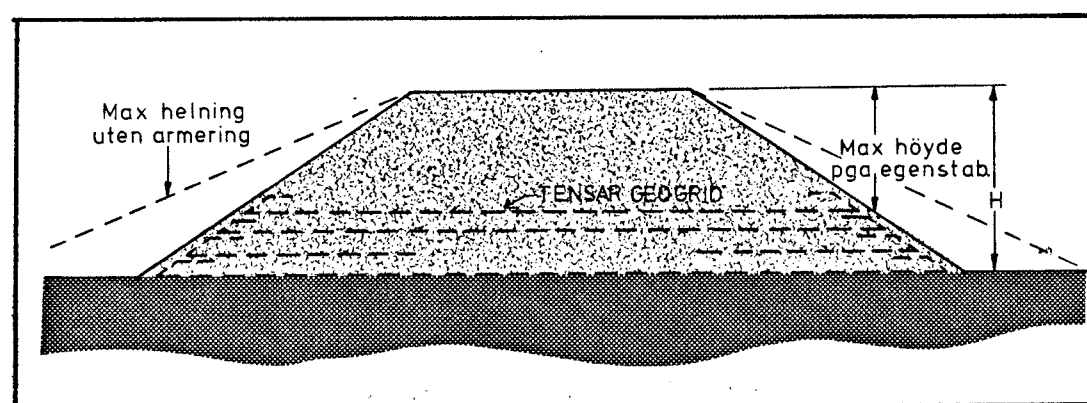


Fig. 4.4. Med jordarmering er det mulig å oppnå høyere fyllinger med steilere skråninger.

Selv om armeringen i fig. 4.4. hindrer strekktøyninger i underkant av fyllinger og således gir økt bæreevne, vil det på områder med svært lav bæreevne kunne være gunstigere med en løsning som vist i fig. 4.5.

Den armerte delen vil ha en motfyllingseffekt som tvinger skjærflatene dypere. Men siden denne delen er armert vil den også fungere som et "stivt" fundament slik at belastningen fra fyllinger blir fordelt over en større flate.

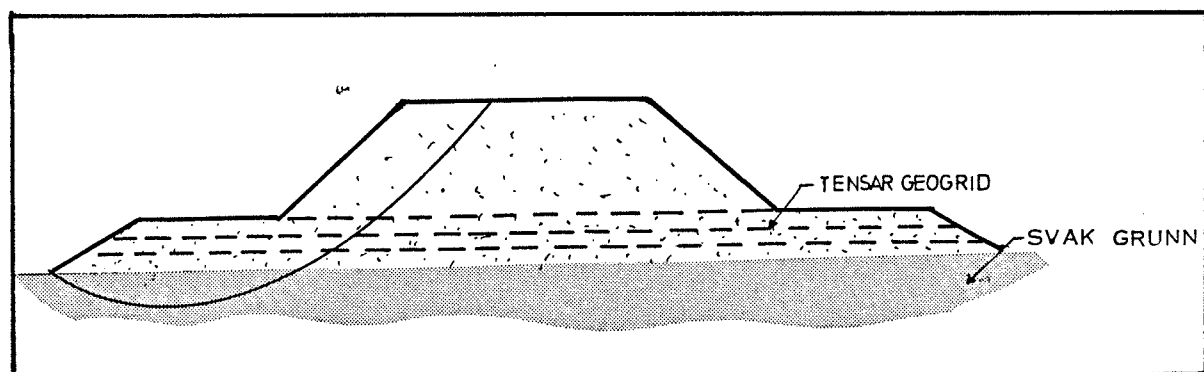


Fig. 4.5. På områder med dårlig bæreevne kan "motfylling" kombineres med jordarmering.

Armering av et avrettingslag av grus, pukk etc. under skumplastfyllinger er en annen variant, fig. 4.6. På denne måten oppnås et stabilt og stivere fundament, hindrer strekktøyninger og letter adkomsten og transporten i anleggsperioden.

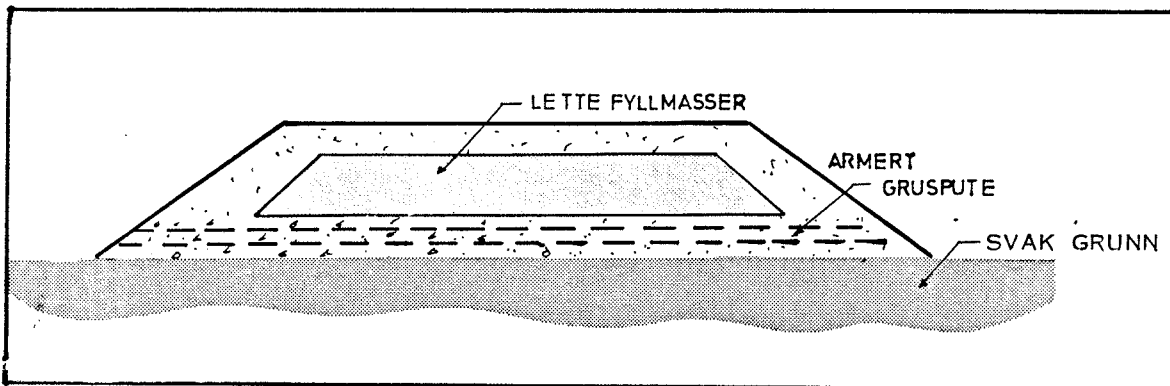


Fig. 4.6. Armering av avrettingslag under skumplastfyllinger gir stabilt fundament.

Støyvoller med større arealinngrep i allerede etablerte områder skaper ofte konflikter. Som alternativ til kostbare, prefabrikerte betongvegger kan en tenke seg en løsning med jordarmering hvor skråningen strammes opp, fig. 4.7, men ikke mere enn at vegetasjon kan etableres.

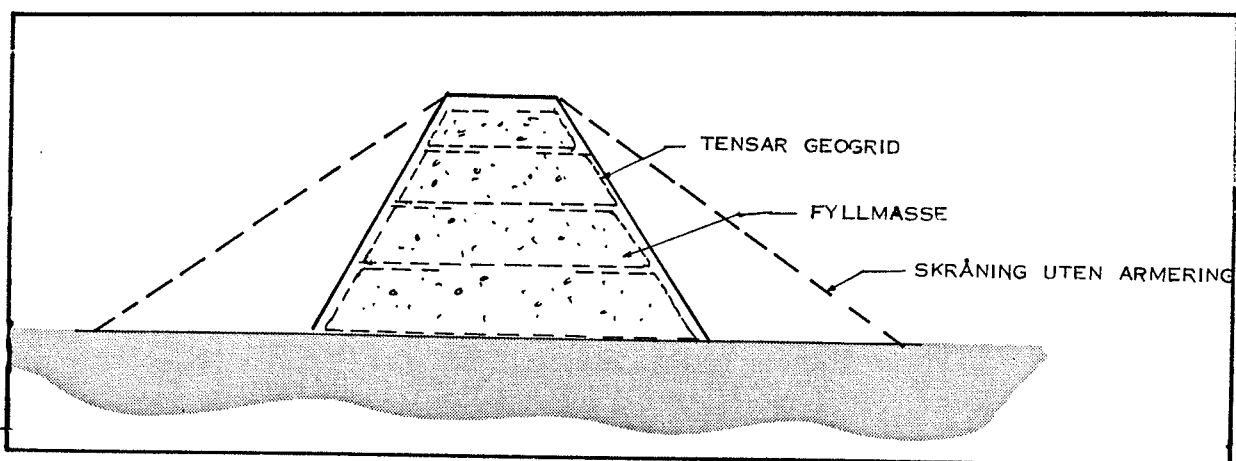


Fig. 4.7. Jordarmerte støyvoller er mindre plasskrevende.

Stabiliteten av tørrmurer (trønderblokk etc.) begrenser ofte idag byggehøyden til 4-5 m. Oppnås en stabil byggegrop, er det mulig å armere i massene bak muren, fig. 4.8. En øker således gravitasjonsmurens volum til å omfatte tørrmur og armert volum. Dette er prøvd et par steder i Oppland med godt resultat.

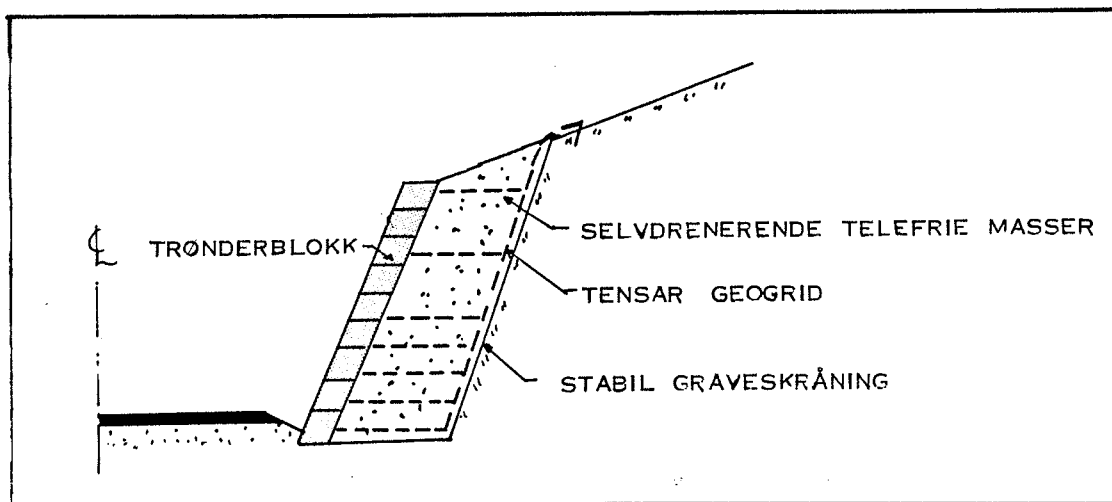


Fig. 4.8. Armering bak trønderblokkmur for å oppnå større gravitasjonsvolum.

Lokale utglidninger i store jordskjæringer forekommer av og til. På motorveg M4 nær Yatterdon i England ble et slikt ras reparert med Tensar Geogrid, fig. 4.9. Det ble gravd ut og tilbakefylt med opprinnelige leirmasser som ble armert med Tensar Geogrid. I tre nivåer ble det lagt inn horisontale drenslag av grus.

I forhold til tradisjonell løsning med tilbakefylling av grus eller steinmasser ble det oppnådd en besparelse på ca. £ 70.000, tilsvarende kr. 850.000,-.

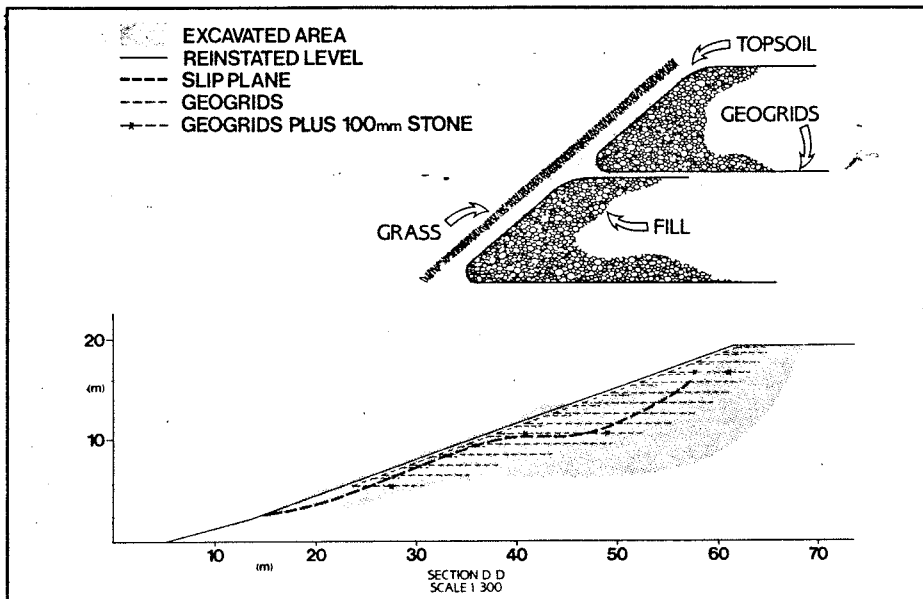


Fig. 4.8. Reparasjon av rasgrop med Tensar Geogrid, M4 Yatterdon, England (19).

Uten at det foreligger erfaringer her til lands bør det være mulig å redusere tykkelsene på bære-/forsterkningslag i veger, idrettsbaner etc. ved å legge inn armering. Eventuelle besparelser vil måtte avhenge sterkt av tilgangen på grusmaterialer.

Det er vanskelig å beregne effekten av en slik armering, og den beste måten er å legge ut forsøksfelter hvor en tester ulike konstruksjonstyper. Til det er å bemerke at dagens bæreevneregistreringer nok ikke er det riktige utgangspunkt for å bedømme effekten av armeringen.

I dette kapitlet er det forsøkt belyst noen av de områdene hvor jordarmering kan komme til anvendelse. Utgangspunktet for valg av armert jord i forhold til tradisjonelle løsninger bør alltid være at en oppnår et teknisk/økonomisk bedre resultat.

5. GIR ARMERT JORD GEVINSTER?

Lavere anleggskostnader i forhold til tradisjonelle løsninger er et argument en stedvis møter i utlandet for valg av armert jord. Fremtidige vedlikeholdskostnader samt konstruksjonens tekniske og sikkerhetsmessige kvalitet er forhold som også bør telle med i vurderingene av metoden.

Siden det enda ikke foreligger kostnadstall for norske forhold, får en holde seg til utenlandske erfaringer. I England har Colin Jones foretatt en kostnadsanalyse av støttevegger. Sammenligningen gjelder armert jord og en tradisjonell vinkelmur i armert betong, fig. 5.1.

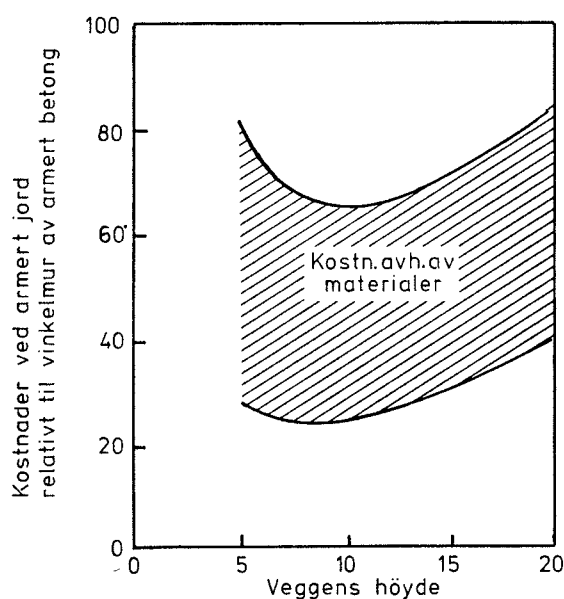


Fig. 5.1. Kostnadsanalyse av støttevegger - armert jord og vinkelmur av armert betong.

Denne undersøkelsen viser at det er mulig å oppnå besparelser i størrelsesorden 20-60% avhengig av veggens høyde og materialkostnadene. Erfaringer indikerer at armert jord ikke er konkurransedyktig for støttevegger lavere enn 3-4 m.

En oppdeling viser at arbeids- og materialkostnadene utgjør henholdsvis 17% og 67% mens de resterende 16% er maskinkostnader. Forklaringen på dette ligger i kort byggetid, men understreker samtidig betydningen av å utvikle rimeligere materialer, spesielt armering og frontkledning.

Svakheten i undersøkelsen er at kostnadene til bakfyllmasser er utelatt idet en antar samme medgatte kvantum for begge alternativene. Her hjemme fordres derimot Tl-masser i hele armert jord konstruksjonen, men bare i frostsonen bak vanlige støttevegger. Behovet for Tl-masser er således større ved støttevegger av armert jord enn vanlige vegger.

Kostnadstallene for landkar regnes å være omlag de samme som for støttemurer. Løsninger med ramper og landkar av armert jord har vist seg spesielt fordelaktig i bymessige strøk med knappe arealer. Hvor det samtidig er oppnådd innkorting av brua, er det vist til besparelser helt opp til 60%.

Her ligger også mye av forklaringen i en relativt kort byggetid, og at anleggsområdet kan begrenses til innenfor konstruksjonens område. En unngår langvarige spenninger og trafikken kan gå forbi uten vesentlig hindring, se fig. 3.14. Omgjort til penger kan dette utgjøre betydelige beløp.

Armerte jordkonstruksjoners fleksibilitet, dvs. evnen til å oppta og fordele setninger og konsentrerte belastninger understrekes ofte. Under spesielle forhold kan dette favorisere metoden i forhold til stive og setningsømfintlige plasstøpte konstruksjoner. Totalsetningene vil likevel være de samme. Det er også viktig å være oppmerksom på at armert jord ikke løser eventuelle stabilitetsproblemer. Disse må undersøkes i hvert tilfelle på linje med vanlige konstruksjoner.

Ikke uventet er de fleste kostnadsanalysene foretatt for tradisjonelle støttekonstruksjoner siden sammenligningsgrunnlaget og erfaringene her er størst. For andre typer konstruksjoner, omtalt i siste del av kap. 4, er kostnadsgrunnlaget noe spinklere. Forklaringen ligger trolig i at armeringsproduktene som inngår er relativt nye og omfanget av slike løsninger er enda langt mindre.

Utviklingen de siste årene, bl.a. etter lanseringen av Tensar Geogrid, er at konstruktøren nå står langt friere i utnyttelsen av jordarmeringsteknikken på områder som tidligere var ukjent. For noen prosjekter kan det være lett å dokumentere eventuell økonomisk gevinst ved valg av armert jord. I andre tilfeller kan det dukke opp forhold som gjør armert jord uaktuelt. Det er m.a.o. de totale omstendighetene omkring prosjektet som avgjør endelig valg av planløsning og konstruksjonstype. Prisutviklingen på armeringsproduktene, tilgang og pris på fyllmaterialer samt lønnskostnadene vil nok bli avgjørende faktorer.

6. USIKKERHETER KNYTTET TIL ARMERT JORD

Det finnes alltid usikkerhetsmomenter i tilknytning til nye produkter og metoder. For armert jords vedkommende har oppmerksomheten blitt konsentrert til holdbarhet av armeringen, bruddutvikling i konstruksjonen samt frostproblematikken på steder hvor dette er aktuelt.

6.1. Armeringens levetid

Korrosjon i stålarmering er et tema som er blitt viet stor oppmerksomhet. Det største arbeidet en kjenner om korrosjon av stål nedgravd i jord, er publisert av M. Romanoff (1957). I perioden 1920 til 1955 foretok han ved National Bureau of Standards (NBS) i USA observasjoner av korrosjon på spunt, stålrør og kulverter i ulike fysiske og kjemiske miljø.

Undersøkelsen viste at korrosjonstakten var størst de første årene og avtok etter hvert. Romanoff foreslo en formel for beregning av gjennomsnittlig tap i tykkelse X , fig. 6.1.,

$$x = k \cdot t^n \quad \text{hvor}$$

t : tiden i år

k : miljøbettinget stedskonstant

n : avhenger også av stedet, men alltid mindre enn 1.

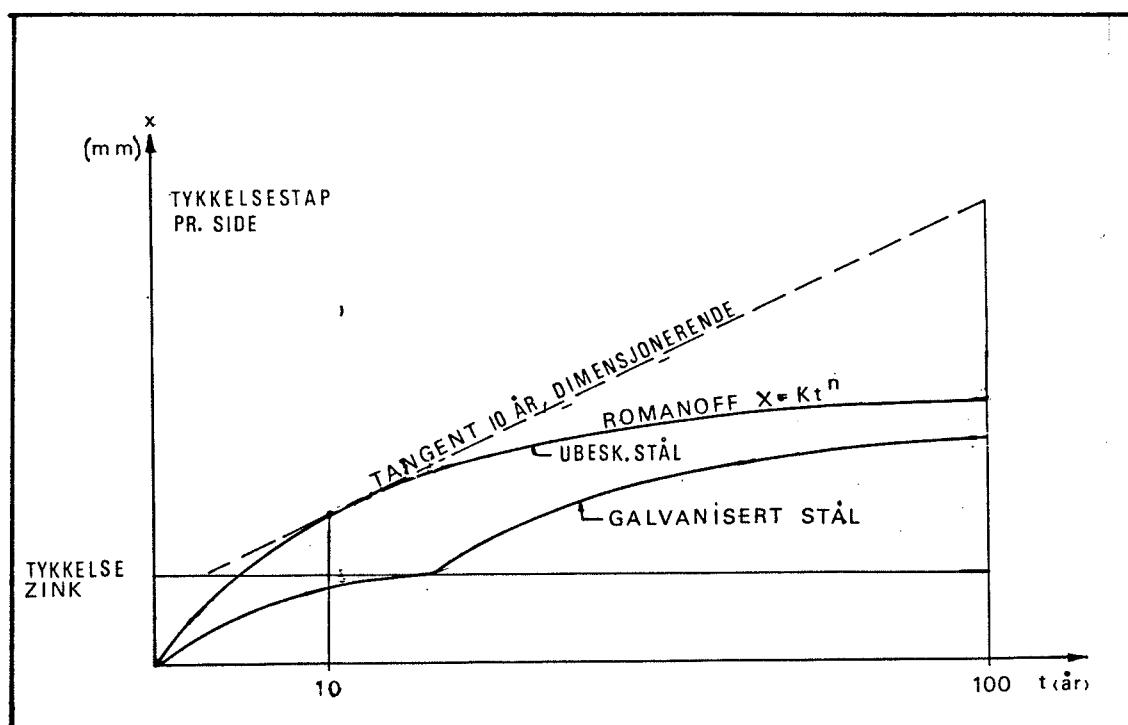


Fig. 6.1. Romanoffs fremstilling av korrosjon av stål i jord (20).

Stål benyttet til jordarmering er vanligvis galvanisert. Undersøkelser viser at så lenge sinkbelegget er intakt, så korroderer ikke stålet. Korrosjonstakten i sinken er relativt konstant etter at overflata er blitt oksydert. Når galvaniseringen er forsvunnet vil stålet korrodere på vanlig måte. Galvaniseringen har m.a.o. forlenget armeringens levetid. I armert jord sammenhengen har en derimot valgt å se bort fra denne effekten.

I løpet av de siste 20 årene er det utviklet flere elektrokjemiske metoder for måling av korrosjonshastigheten av metaller i ulike aggressive miljø. I Frankrike anvendes bl.a. en korrosjonscelle vist i fig. 6.2.

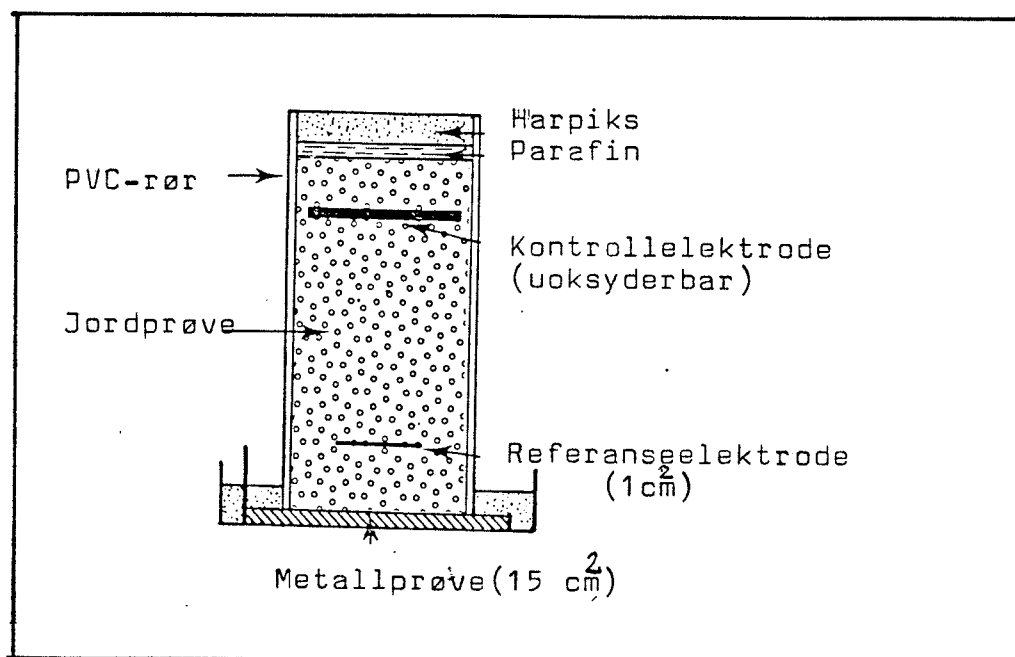


Fig. 6.2. Korrosjonscelle.

Større forsøksserier med over 200 celler er gjennomført hvor korrosjonshastigheten av prøven i cella ble sammenlignet med tilsvarende armering i konstruksjoner i marka. Observasjoner over en treårsperiode har gitt bra overensstemmelse. Selv om det likevel er uvisst hvorvidt resultatene fra forsøk i korrosjonsceller kan overføres direkte til forholdene i marka, er de nyttige i studiet av korrosjon i ulike fysiske og kjemiske miljø.

Det beste erfaringsgrunnlaget oppnås likevel ved observasjoner av korrosjon over tid på in-situ konstruksjoner. Det er foretatt oppgraving av armering i konstruksjoner som har stått bortimot 15 år. I tillegg er det også utviklet et spesielt armeringselement "dummy", fig. 6.3. Under byggingen monteres flere slike i konstruksjonen og som lett kan tas ut til forskjellig tid for registrering av korrosjon.

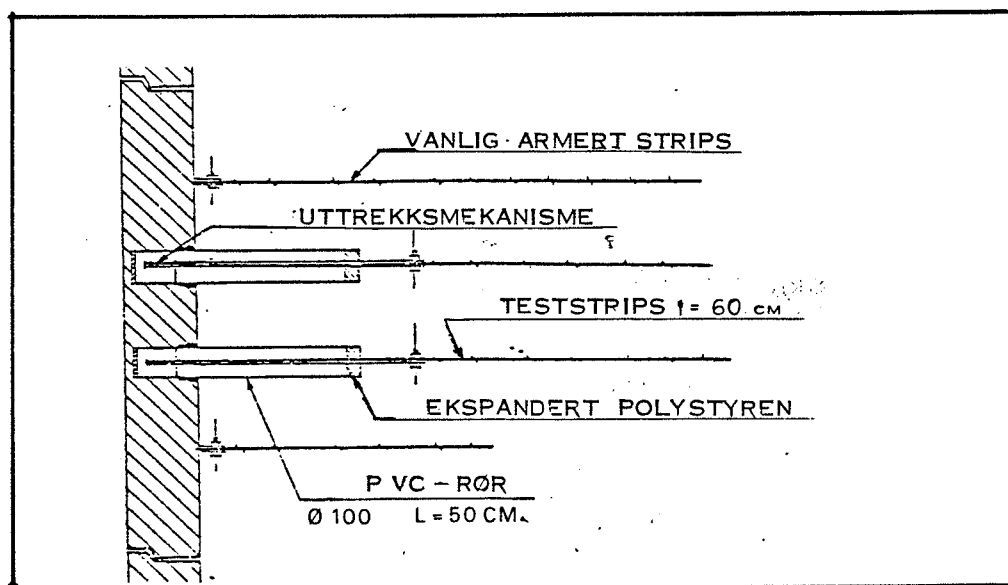


Fig. 6.3. Kort armeringselement, "dummy", som lett kan tas ut for registrering av korrosjon (18).

Fig. 6.4. viser observasjonsresultater av korrosjon både i felt og i korrosjonsceller. Til sammenligning er Romanoff's kurver for to n - og k -verdier vist. Observasjonsgrunnlaget er for tynt til å trekke klare konklusjoner men det synes som om feltobservasjonene ligger på den trygge side. Undersøkelser av denne typen bør fortsette, og det bør installeres to "dummyer" i så mange konstruksjoner som mulig.

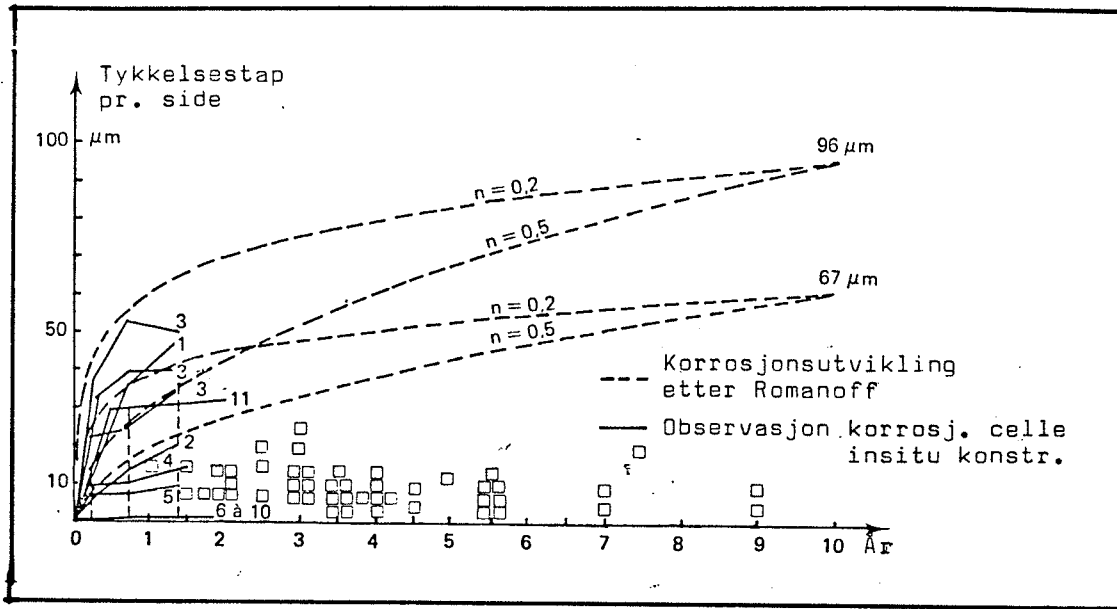


Fig. 6.4. Observasjonsresultater av korrosjon på in-situ konstruksjoner (20).

I dimensjoneringen av konstruksjoner reduseres vanligvis det opprinnelige tverrsnittet av armeringen med 1,5 mm for å ivareta korrosjon. Romanoff's kurve legges til grunn og tangenten til denne etter 10 år regnes som dimensjonerende korrosjonshastighet, se fig. 7.1.

Konstruksjonene dimensjoneres med en servicetid på ca. 100 år, og det utgjør vanligvis ca. 1,5 mm korrosjon. Årsaken til at korrosjonshastigheten etter 10 år legges til grunn, er at en har observasjoner som dekker denne perioden, og at en ikke ønsker å ta hensyn til den reduserende effekten over tid som Romanoff observerte.

Med de erfaringene og observasjonene en har til nå samt de reduserte tverrsnitt som vanlig benyttes i dimensjoneringen, mener en vel idag å ha oversikt og kontroll over korrosjonen under normale forhold. Korrosjonsproblemet må derimot vies full oppmerksomhet og fravikes spesifikasjonene til materialsammensetning, surhetsgrad, resistivitet, armeringskvalitet o.l., fordres spesielle analyser.

Langtidseffekter for plastarmeringsprodukter er av en noe annen karakter enn for stål. Usikkerhetsmomentene er hovedsaklig knyttet til UV-bestandighet, krepdeforrasjoner og temperaturavhengighet. Produktene er relativt nye og det foreligger lite erfaringsmateriale om langtidseffekter fra feltforsøk.

I databladene for bl.a. Tensar Geogrid opplyses det at materialet er UV-bestandig. En er likevel noe betenkt med å la et plastmateriale ligge eksponert mot sollys. Selv om det er UV-bestandig er en redd at effekten av de totale klimatiske påkjenningene fra sollys, temperatur, vind og nedbør skal forandre materialets egenskaper. Tensar Geogrid som ligger åpent på steder hvor folk ferdes kan også lett utsettes for hærverk.

Krypdeformasjoner under langvarig spenningspåkjenninger er et problem en har ved plastprodukter. Det foregår kontinuerlig forsøk hvor en undersøker dette fenomenet, men observasjonsperioden er for kort til at en kan si noe om hvorvidt dette har konsekvenser for bruk i armert jord. Det er spesielt i høye setnings- og deformasjonsømfintlige konstruksjoner at kryp kan skape problemer.

En har såvidt vært innom temperaturvariasjoners betydning for nedbrytning av plastprodukter. En annen nærliggende problemstilling er hvordan endringer i temperaturen påvirker styrken i materialet. Tensar Geogrid opplyses å være termisk stabilt mellom -50°C og $+50^{\circ}\text{C}$. Dette synes vel optimistisk, men under de temperaturvariasjonene en normalt har i bakken burde ikke dette gi merkbare endringer i styrken.

6.2. Bruddforløp i konstruksjoner av armert jord

Et spørsmål som ofte reises er hvordan bruddforløpet fortoner seg i konstruksjoner av armert jord. Hvis armeringen ryker eller tilgjengelig friksjon overskrides, får en da et plutselig kollaps eller et langsomt brudd med forvarsel via deformasjoner?

La Terre Armée gjennomførte et aksellerert fullskalafor- søk hvor de fremkalte brudd i en støttevegg ved å la svovelsyre strømme gjennom bakfyllmassene slik at armeringen korroderte raskt. Erfaringene fra dette for- søket var at det oppsto et lokalt brudd i konstruksjonen hvor en fikk tydelige deformasjoner før konstruksjonen brøt sammen. De samme erfaringene har en også fra ut- førte modell- og sentrifugalforsøk.

Noe av forklaringen til dette ligger vel i at en del armeringsnivåer er overdimensjonert i forhold til andre. Bruddet inntreffer i det dimensjoneringsmessig svakeste laget. Samtidig har en noe reserver å gå på i noen av de andre lagene. Spenningsomlagringer og belastnings- økninger kommer gradvis og armeringen flyter før brudd. Det er derfor grunn til å tro at bruddforløpet i kon- struksjonen er svært betinget av armeringens flyteegen- skaper.

Det har ikke latt seg gjøre å finne fram til uhell med konstruksjoner av armert jord hvor årsaken kan tilbakeføres til brudd i konstruksjonen. Dårlig områdestabilitet og bæreevne hevdes å ha vært årsaken. Det er heller ingen grunn til å tro at noen ønsker å skjule eventuelle årsaksforhold noe som en vil tape på over tid.

6.3. Armert jord i områder med frostproblemer

De aller fleste konstruksjoner av armert jord er bygd i områder uten frostproblemer. Spørsmålet er hvorvidt det er mulig å bygge slike konstruksjoner under norske klimatiske forhold. En vil ta utgangspunkt i erfaringer fra Canada (21) hvor armert jord er anvendt under tildels ekstreme klimatiske forhold siden 1971.

Det viktigste er å unngå oppbygging av teletrykk i støttekonstruksjoner. Andre typer konstruksjoner er mindre følsomme for frostproblemer. Gode dreneringsforhold og ikke telefarlige materialer i frostsonen understrekes sterkest i de canadiske erfaringene.

Ikke telefarlige materialer etter de canadiske retningslinjene fordrer høyst 3% evt. 10% materiale mindre enn 74 μm avhengig av om det er velgradert eller ensgradert. Norske telekriterier tillater høyst 3% materiale mindre enn 20 μm for at det skal klassifiseres som ikke telefarlig (T1-materiale).

For støttekonstruksjoner av armert jord her hjemme vil en kreve T1-masser innenfor hele det armerte volum. Alternative løsninger med isolasjon kan komme på tale etter nøye vurderinger. Med telefarlige materialer i undergrunnen, må en dessuten enten fundamentere frostfritt eller isolere for å unngå skadelig telehiving.

Det fordres også et frostfritt dreneringsystem som avskjærer vanntilstrømning til og samtidig ivaretar drenering av konstruksjonen. Dette er en billig investering mot å unngå oppbygging av poretrykk og vanntransport til en eventuell telefront.

Det er ikke påvist økt korrosjon i konstruksjoner bygd under slike forhold. Dette er ikke uventet etter som korrosjonen vanligvis øker med stigende temperatur.

Erfaringene fra Canada indikerer at såfremt en tar nødvendige forholdsregler mht. telefrie materialer og god drenering, så er det fullt mulig å bygge konstruksjoner av armert jord i områder med frost.

7. ARMERT JORD UNDER NORSKE FORHOLD

Armert jord ble forsøkt lansert i Norge først i 1978 uten at prosjekter kom til utførelse. Betenkelighetene ved å bygge steile konstruksjoner under våre klimatiske forhold ble knyttet til usikkerheter ved armeringens levetid, kjemisk og bakteriologisk nedbrytning, og bruddforløp, plutselig kollaps eller langsom bruddutvikling med forvarsel.

I de bortimot fem årene som siden er gått, viser erfaringer fra bl.a. Canada, Sveits og Alaska, alle typiske vinterland, at frostproblemer kan unngås ved bruk av telefrie bakfyllmasser og god drenering. Oppgraving av gammel armering samt akselererte fullskala- og laboratorieforsøk indikerer også at korrosjonstakten ikke er høyere enn forutsatt. For plastproduktene vil UV-bestråling trolig være største problemet, men observasjonsperioden er enda noe kort. Generelt bør problemer vedrørende armeringens levetid vies stor oppmerksomhet og vurderes spesielt i hvert tilfelle.

Rundreisen i England og Frankrike etterlater det inntrykk at det meste av grunnforskningen omkring armert jord er utført. Arbeidet blir nå konsentrert om metodeforbedringer, utvikling av alternative materialer, korrosjonsspørsmål osv.

Siden hovedmålsettingen i norsk vegbygging er mere veg pr. krone, bør tiden være inne for at armert jord blir utprøvd her hjemme. Aktuelle anvendelser kan være:

- støttevegger
- brufundamenter og ramper i tettbygde strøk
- armering av snøskredvoller, støyvoller etc.
- armering av fyllinger
- armering under fyllinger, evt. i kombinasjon med lette fyllmasser, på dårlig grunn
- armering bak tørrmurer
- armering av bære-/forsterkningslag i veger, idrettsbaner etc.

Det synes naturlig å ta utgangspunkt i erfaringer og retningslinjer fra land med noenlunde samme klima og geologi som hos oss. Utprøvingen må ikke skje raskere enn at det er mulig å foreta nødvendige tilpasninger til norske forhold samtidig som våre krav til sikkerhet opprettholdes.

Det er dessuten viktig at erfaringene med metoden blir samlet slik at de kan danne grunnlaget for hvorvidt armert jord er en byggeteknikk for norske forhold.

LITTERATURLISTE:

- (1) Nigel, W.M. John, "Fabric Reinforced Retaining Structures", University of Warwick, Department of Engineering.
- (2) Vidal, H., "La Terre Armée". Anns. Inst. Tech. Bâtim., 1966.
- (3) Finlay, T.W., "Performance of a Reinforced Earth Structure of Granton", Ground Engineering, vol. 11, No. 7, 1978.
- (4) Department of Transport, "Reinforced Earth Retaining Walls and Bridge Abutments for Embankments", Technical Memorandum (Bridges) BD 3/78, 1978, London.
- (5) Boden, J.N., Irwin, M.J, Pocock, R.G, "Construction of Experimental Reinforced Earth Walls at the TRRL". Ground Engineering, Vol. 11, No. 7, 1978.
- (6) Murray, R.T., Irwin, M.J., "A Preliminary Study of TRRL Anchored Eath", TRRL Supplementary Report 674, 1981.
- (7) Netlon Ltd., "Tensar Geogrid for Soil Stabilisation.
- (8) Netlon Ltd., " Designing with Tensar", Techniques and Design Philosophy for Utilising Tensar Geogrid in the Reinforcing of Soil Structures, Februar 1981.
- (9) Jones, C.J.F.P., "Earth Retaining Structures", 1973, Ph.D. Thesis, University of Leeds.
- (10) Jones, C.J.F.P., "Reinforced Earth", Patent Application No. 5691 3/73.
- (11) Netlon Ltd., "The Construction of a Reinforced Soil Retaining Wall at the NCB's Newmarket Silkstone Colliery Nr. Wakefield, England, Feb. 1980.

- (12) Roads and Bridges Certificate No. 81/19, High Adherence Strip and Anchorage Lug for Earth Reinforcement.
- (13) Terre Armée, "Informative Notice No. 1." Paris, Frankrike.
- (14) McKittrick, D., "Reinforced Earth: Application of Theory and Research to Practice, Ground Engineering, Vol. 12, No. 1, January 1979.
- (15) McKittrick, D., Darbis, M. "World-Wide Development and Use of Reinforced Earth Structures", Ground Engineering, Mars 1979.
- (16) Basset, R.H., Last, N.C., "Reinforced Earth Below Footing and Embankments", Paper ved Symposium on Earth Reinforcement, Pittsburg, Pennsylvania, April 1978.
- (17) Iwasaki, K., Waranebe, S., "Reinforcement of Railway Embankments in Japan". Paper ved Symposium on Earth Reinforcement, Pittsburg, Pennsylvania, April 1978.
- (18) Ministere Des Transports, Les Ourages en Terre armée. Recommandations et Règles des l'art. LCPC, Paris, Sept. 1979.
- (19) Dixon, John, Langley, Peter, "Geogrids for slope stabilization", Civil Engineering, July 1982.
- (20) Darbin, Maurice, Jaillox, Jean-Marc, Monuelle, Jean, "Performance and research on the durability of reinforced earth reinforcing strips", Paper ved Symposium on Earth Reinforcement, Pittsburg, Pennsylvania, April 1978.
- (21) Robinsky, E.I, Mora, P.H, "Reinforced earth in a freezing environment", Paper ved Symposium on Earth Reinforcement, Paris, 1979.