

DOLGU BARAJLAR

- II -

Yazan:
Prof. G. SCHNITZER
ETH, Zürich

Çeviren:
Mehmet YAVAŞ
Y. Müh.

FİLTRE (SÜZGEÇ)

Filtre (Şek. 4 ve 6) hakkında da bir iki söz söylemek lazımdır. Bunun vazifesi, devamlı olarak ince malzemenin sürüklenmemesi için sızan suyun zararsız bir şekilde gövde dışına akıtılmasını sağlamaktır. Filtrenin tane büyüklüğü, korunması istenen malzemeye nisbetle bu şartı yerine getirecek şekilde seçilmelidir. Bunun için muhtelif inşa tipleri inkışaf ettirilmiştir. **Kademeli filtre** aşağı yukarı aynı tane iriliğinde malzemenin müteşekkil ayrı tabakalardan yapılmıştır. (Şekil 6). **Karışık filtre** (Şekil 4) aynı gayeye uygun bir granülometri ile ulaşır; ancak bu takdirde her hal için terzaghi'nin şartı, yani

$$d_{F15} > 4 d_{K15} < 20 d_{K15}$$

$$d_{F15} \leq 4 - 5 d_{K85} \text{ (yıkama tehlikesine binaen);}$$

veya Büro of Reclamation'ın şartı

$$(d_{15} = 12/40 d_{K15}; d_{F50} = 12/58 d_{K50})$$

takip edilmek gerekir. (İndeksler: F = Filtre; K = Çekirdek)

Filtre çekirdeğin tarafında ve ekseriya aynı yükseklikte yığılıp sıkıştırılır.

TAŞIYICI DOLGU (ADİ DOLGU)

Gövdenin taşıyıcı kısmı kohezyonsuz malzeme ile doldurulur. Bu kısmın malzemesi organik unsurlardan

âri, mümkün mertebe geçirimli olmalıdır. Hiç olmazsa

$$K > 10^{-4} \text{ daha iyisi } K > 10^{-2} \text{ cm/sn olmalıdır.}$$

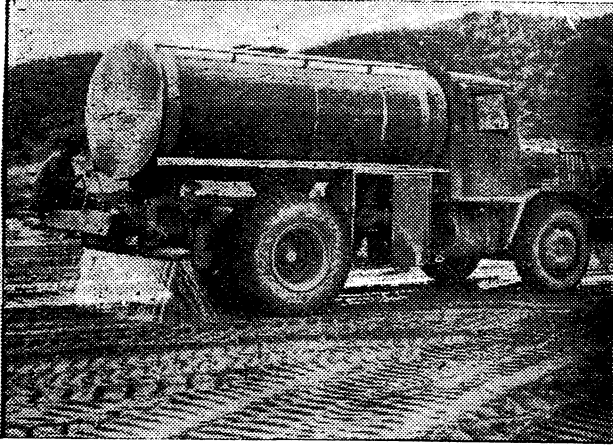
Çekirdekten itibaren dışarıya doğru geçirimliliği artmalıdır; sıkışma kabiliyeti az, makaslama mukavemeti yüksek olmalıdır. Bu kısmın yerleştirilmesi tamamen kullanılan malzemenin tabii vasıflarına ve yukarıda belirtilen şartları sağlayacak şekilde tâyin edilmelidir. Sızan tabakanın kalınlığı ve gerekiyorsa sıkıştırılması bu esaslara göre tesbit edilir. 1 m yığma yüksekliğinde kum - çakıldan müteşekkil malzeme lâstik tekerlekli vasıtaların normal seferleriyle kâfi derecede sıkıştırılabilir. Mümkün mertebe az ince kısımları ihtiva eden taşlı ve iri kaya parçalarından müteşekkil malzeme (kaya dolgu: rock - fill) daha kalın tabakalar halinde serilebilir ve yığılma esnasında şiddetli su hüzmelerine maruz bırakılarak nisbeten daha kolay sıkıştırılabilir. Beher metre küp malzeme için 4 metreküp kadar varabilen bol su ve 7 atüye kadar basınç icap edebilir (Şek. 9). Bu suretle asıl oturmalar daha yerleştirirken vuku bulacağından ileride ancak % 1-2 oturma beklenebilir. Keza burada da lâstik tekerlekli silindirler, 1-2 m tabaka kalınlığında, hava tokmakları veya hususi teçhizatla az veya daha çok sıkıştırmak mümkündür. Az sıkışmış istinat dolgusu hava yüzünde elbette daha yatık şevleri icap ettirir veya bunun aksi olur. Bu itibarla her münferit hal ve mevcut malzeme ocaklarına göre en iyi ve maksada en uygun çözümün hangisi olduğuna karar vermek iktisadi bir



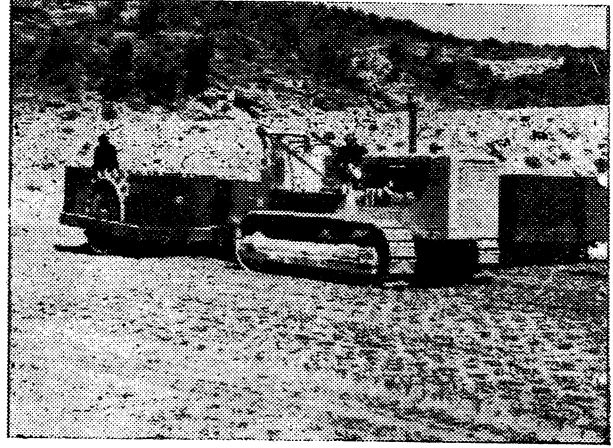
Şekil 9. — Temel hazırlanırken çamurlu kaya sathının basınçlı su - hava karışımı ile yıkanması. (Demirköprü)



Şekil 10. — Su tankeri ve silindirlerin yanaşmadığı yamaç diplerinin elle sulanması ve havayla çalışan el tokmaklarıyla sıkıştırılması. (Demirköprü)



Şekil 11. — Bend malzemesi serildikten sonra tabakaların sulanması, (Demirköprü)



Şekil 12. — Geçirimli dolgunun sivil keçi ayaklarıyla sıkıştırılması, (Demirköprü)

mesele olacaktır. Şayet uygun malzeme taşıma bakımından uygun yerde elde edilebiliyorsa kaya dolgu barajlar istifadeli bulunmakta olup tavsiyeye şayandır.

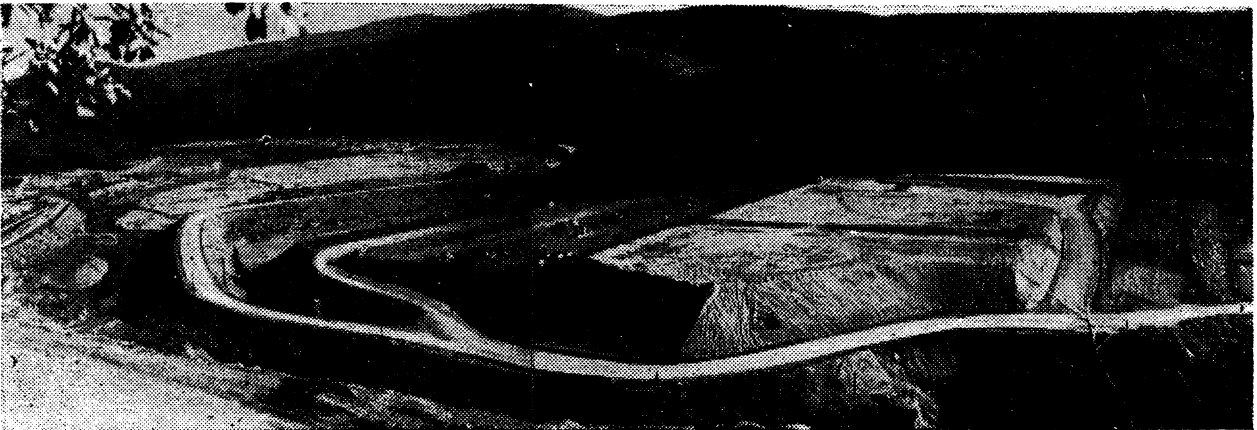
TEMEL

Pek kısa tutulan bu izahat içinde bir barajın bu mühim kısmına ancak az yer verilebilir. Her inşaat işinde olduğu gibi bir iddihar barajı da iyice etüd edilmiş, esash bir şekilde düşünülmüş ve temiz bir şekilde hazırlanmış bir temel ister. Kaya üzerine oturtmada mutad tedbirler alınır, bhusus kaya temel çatlaklık bakımından tetkik ve gerekli enjeksiyon tatbik edilmelidir. Bilhassa çekirdek itina ile kayaya bağlanarak evleviyetle bu intikal kısmında teşekkül edecek sızmalar önlenmelidir. (Kaya iyice temizlenmeli ve, icabında saf kil veya betonit ilâve edilmiş gayet geçirimsiz malzeme ile elle tokmaklanmalıdır) (Şekil 10).

Çok defa bir dolgu baraj çatlaklı ve gevşek kayaya üzerine inşa edilir; meselâ az veya çok ön yükü olan genç veya eski alluvial veya diluvial menşeli rüsubî zeminler üzerine inşa edilir. Bu gibi hallerde ba-

raj malzemesinde olduğu gibi temel malzemesinin fiziki ve teknik hususiyetleri tetkik edilmek icap eder. Her şeyden önce yine taşıma kabiliyeti ve geçirgenlik durumu tefrik edilmelidir. Makaslama mukavemeti az veya sıkışma kabiliyeti fazla olan malzeme gibi taşıma kabiliyeti kifayetsiz olan tabakalar (meselâ çamurlu kum) -iktisadi olduğu nisbette- uzaklaştırılmalıdır; aksi halde barajın şev meyilleri çürük kısımlara doğru yatırılmak suretiyle istinat sathı büyütülmelidir; muayyen kısımlar enjeksiyon veya diğer usullerle muamele edilerek zemin sıkıştırılabilir.

Kum ve çakıldan müteşekkil geçirgen veya yarı geçirgen malzemenin sebep olacağı sızıntı ve buna bağlı olarak temelin çökme tehlikesi muhtelif maddelerle önenebilir veya mütekabilen azaltılabilir. Şayet geçirgen tabaka çok kalın değilse en iyisi bir temel çukuru kazmak suretiyle çekirdeği geçirimsiz tabakaya kadar saplamaktır. Evvelce bunun yerine ekseriya bir çelik perde veya beton perde inşa edilirdi. Fakat bunların her ikisi de etraftaki temel ve dolgu malzemesinden ayrı (yabancı) malzemeler olup şekil değişiklikleri tamamen ayrıdır; eğer başka türlü mümkün



Şekil 13. — Demirköprü Barajı inşaatından bir görünüş.

ve iktisadi bakımdan emniyetliyse gövde içinde rijit perde duvarı bulundurmamalıdır. Geçirimsiz tabaka çok derinde bulunuyorsa çekirdekten itibaren membaa doğru çekirdek malzemesinden bir yaygı (impervious blanket) yapmak suretiyle sızma yolu uzatılabilir. Yaygının kalınlığı çekirdekte takriben 9,0 m, yukarı ucunda 1,0-2,0 m olmalıdır. Bu takdirde drenaj ve hava tarafındaki filtre ayağının tanzimi hususi bir ehemmiyet kesbeder. Fransadaki Serre - Ponçon barajında temele tongel enjekte etmek suretiyle geçirimsizlik sağlanmış olup hendeğin derinde bulunan kayaya kadar uzatılmasından sarfınazar edilmiştir. Yatay istikametteki geçirimsizlik dikine olandan daha büyük olacağından yatay bir yaygı hiç bir zaman şakuli geçirimsizlik perdesi kadar tesirli olamaz. Ayrıca yaygı kil ihtiva eden malzemeden müteşekkil olduğundan stabilite (makaslama mukavemetinin azlığı) bakımından zararlıdır; keza göl seviyesinin âni düşmesi sırasında, boşluk suyunun çabuk akmasını geciktireceğinden gayri müsaîit tesir icra eder.

Toprak gövde içersine bir tahliye sistemi (dipten boşaltma, kavramalar) koymak icap edebilir. Bu takdirde şu hususlara dikkat etmek lazımdır.

- 1 — Nâkil iyice kaideye (temele) oturmuş olmalıdır;
- 2 — Nâkilin cidarları dolgunun sıkışma ve oturmasına dayanacak kadar sağlam olmalıdır;
- 3 — Nâkil içersindeki darbeler kusursuz bir sızdırmazlığı temin etmelidir;
- 4 — Nâkilin dış duvarları imtidadınca sızmalar parafuy veya sızıntı mahmuzları tertibi suretiyle güçleştirilmelidir.

HESAP

Bir yığma barajın hesabı hem sızma ve hem de stabiliteyi içine alır; öyle ki her defasında hem baraj gövdesine ve hem de -eğer kaya değilse- temele şâmilidir.

Sızmanın Tetkiki, gövde ve temelde akımı laminar olarak kabul eder ki bunun için

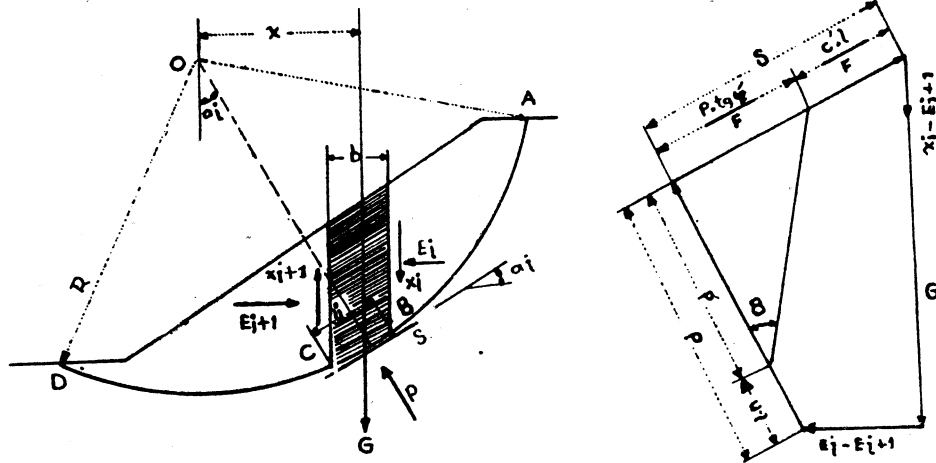
$$V = k \cdot j$$

Darcy kanunu muteber kabul olunur. Bundan bir potansiyel akım elde edilir ki en basit olarak bir akım diyagramı (akım ağı) ile gösterilir (akım ve espotansiyel çizgilerinden müteşekkil ortogonal eğriler sürülür). Bilinen bu husus üzerinde daha ileri gitmeğe lüzum görülmemiştir. Son yıllar zarfında, muhtelif kabuller için pek çok akım diagramları çizilmiş ve yayınlanmış olup proje mühendisine gerekli mehaz ve esaslar hazır durumdadır; aksi halde prasil'in tersimi metodu gayeye çabuk olarak getirir. Mamafih bu, sızma eğrisinin malûm olduğunu (Casagrande'ye göre büyük bir takribiyetle elde edilmelidir) farzeder; yani hidrostatik basıncı sıfır olan noktaların bulunduğu eğridir (piyezometre müşahade boruları yüzlerinin birleştiği eğri) ki ekseriya yanlış olarak doyma eğrisi ile karıştırılır; bu eğri kapilariteden dolayı sızma eğrisine nazaran daha yüksekte bulunur. Akım ağı belli olduktan sonra, geçirgenlik emsali k belli olduğuna göre sızma miktarı hesaplanabilir. Bundan başka her noktada akım istikameti ve akım basıncı bellidir.

STABİLİTE HESABI

Çelik ve beton gibi bilinen bir malzemeden meydana gelen bir yapının hesabında -tesir eden harici kuvvetlerden hareket ederek- cismin içindeki bir noktada gerilmenin ne durumda olduğunu yapı statığı ve mukavemet ilmi bize öğretir. Biz bu gerilimi ve: mevzubahis yapı malzemesinin kopma geriliminin hesap edilen müessir gerilime nisbetini bulmağa ahşmışızdır ve hesap edilen bu değer, emniyet kat sayısı dediğimiz tesbit edilmiş muayyen bir değer altına düşmedikçe yapıyı doğru olarak ebatlandırılmış nazarıyla bakarız.

Gerilimlerin tâyininde gerilim ile deformasyon arasındaki nisbet için Hook Kanununun muteber olduğu kabul edilir. Buna benzer bir şekilde gevşek kaya üzerine oturan bir toprak baraj maktındaki gerilimleri hesaplamak istenebilirdi. Mamafih bu arzuya başlıca iki ayrı zorluk mukabil bulunmaktadır. Bir kere



Şekil 14. — Daire şeklinde kıvrılmış kayma yüzeylerinin stabilitesinin hesabı.

trapez makta olduğu ve kuvvetler su basıncı ve kendi ağırlığı olduğu için mesele teorik olarak güçtür; her şeyden önce kısımlar halinde yerleştirilmiş dolgu da Hook Kanununun geçerliği şüphelidir. Bu bakımdan halihazır inkişaf muvacehesinde hesap, yapılmış barajlarda seçilen şev meyillerinden elde edilen tecrübelerle dayanarak stabilitenin tetkikine inhisar edecektir. Bunu yaparken kopma durumundan hareket edilir; **Kayma yüzeyi** tabir edilen kopma yüzeyleri düz veya kıvrık herhangi şekilde olabilir. Filhakika muhtemel bir kayma yüzeyinin bütün noktalarında aynı zamanda kopma vukubulmaz, bilakis kopma önce lokalize bir halde tezahür eder ve sonra yayılır. (Progressif kopma).

Hesabın basitleştirilmesi maksadıyla ekseriya daire şeklinde kıvrılmış kayma yüzeyleri kabul edilir; hususi hallerde logaritmik spirale ve münferit hallerde (taban kopmasında) düzlem kayma yüzü kabul edilir. Buna ilâveten barajın sonsuz uzun olduğu farzedilerek hakikatte üç boyutlu olan problem düzlem olarak kabul edilir. Hakikatte hacımsal bir tesir ortaya çıkacak ve bu, bilhassa kama şeklindeki mürtesemde müsait bir tesir icra edecektir.

Kıvrık, hususiyle dairevi kıvrılmış kayma yüzeyleri İsveçli Fellenius tarafından tetkik ve teferruatı tasvir edilmiş olduğundan malûm farzedilmiştir. Yeni yeni "İsveç metodu" diye tanınan bu usule ilâveler yapıldığını da ilgisi dolayısıyla işaret edelim. Bishop'un (Géotechnique, yıl 1955, cüz III) bu hesap tarzı aşağıya alınmıştır.

$$\lg \theta = \frac{1}{F} \lg \varphi'$$

$$F = \frac{R \sum s_i \cdot \ell_i}{\sum G_i \cdot x_i} ; B_i = \frac{u_i}{x_i \cdot h_i}$$

$$(I) F = \frac{1}{\sum G_i \cdot \sin \alpha_i} \sum \left\{ c_i \ell_i + \lg \varphi'_i (G_i \cos \alpha_i - u_i \ell_i) + \lg \varphi'_i [(x_i - x_{i+1}) \cos \alpha_i - (E_i - E_{i+1}) \sin \alpha_i] \right\}$$

$$(I') F = \frac{1}{\sum G_i \sin \alpha_i} \sum \left\{ c_i \ell + \lg \varphi'_i G_i (1 - B_i) + (x_i - x_{i+1}) \right\} \frac{\frac{1}{\cos \alpha_i}}{1 + \frac{1}{F} \lg \varphi'_i \lg \alpha_i}$$

Basit olarak $\sum (x_i - x_{i+1})$ ve.

$\sum (E_i - E_{i+1})$ ihmal edilerek:

$$(II) - F = \frac{1}{\sum G_i \sin \alpha_i} \sum \left\{ c_i \ell_i + \lg \varphi'_i (G_i \cos \alpha_i - u_i \ell_i) \right\}$$

$$(II') - F = \frac{1}{\sum \frac{G_i \sin \alpha_i}{\ell}} \sum \left\{ c'_i + \frac{G_i}{\ell} (\cos^2 \alpha - B) \lg \varphi'_i \right\} \frac{1}{\cos \alpha_i}$$

Tetkik edilecek şeyden kıvrık bir kayma yüzeyi geçirilir. Yarı çap ve inhina merkezi o suretle seçilir ki bunlar gerçekten muhtemel kayma yüzeylerine takabül etsin. Bu şekilde meydana gelen dilim (segment) şakuli kesimlerle genişliği b ve derinliği 1 olan n adet lamele bölünür. Bu segmentte kendisinin G ağırlığı ve, kayma yüzeyinde S_i makaslama kuvveti ile P_i reaksiyonu tesir eder. Şevin stabil olabilmesi için kaymaya sebep olan kuvvetlerin bunlara karşı koyan (Makaslama direnci) kuvvetlerden daha küçük olması lazımdır. Emniyet faktörü olarak giren makaslama kuvvetlerinin daire merkezine göre momentinin itici harici kuvvetlere nisbeti tarif edilir.

$$F = \frac{R \sum s_i \ell_i}{\sum G_i x_i} =$$

$$\frac{R}{\sum G_i x_i} \sum [c_i \ell_i + (p_i - u_i \ell_i) \lg \varphi'_i]$$

Coulomb'a göre burada

$$s = c' + (\sigma_n - u) \lg \varphi'$$

$$\sigma_n = \text{Toplam normal gerilim ve } G_n \ell = P$$

u = Boşluk suyu basıncı

Aynı zamanda lamel dilim yüzeylerine tesir eden

x_i ve x_{i+1} kuvvetleriyle keza E_i ve E_{i+1}

kuvvetlerinin harici kuvvetler ve P reaksiyonu ile diğer iki denge şartı tahakkuk etmiş olmalıdır.

Bu suretle I. formül elde edilir. Yakın zamanda



Şekil 15. — Dolgu tipi piyezometre ucunun yerleştirilmeden önce basınçlı hava ile kontrolü. (Demirköprü)

kadar âdet olduğu üzere X ve E kuvvetleri ihmal edilerek yalnız moment şartı sağlanırsa II. formül meydana çıkar.

Şekli münasebetler bakımından çoktan beri bilinen (Fellenius 1927) bu formülde çok mühim yeni bir görüşe işaret etmek lazımdır ki bu boşluk suyu basıncı ile ifadesini bulmakta olup bunun ehemmiyeti zemin mekaniği vasıtasıyla kavrandı. Şekil -14- ten anlaşılacağı üzere birkaç değişiklik yaparak elde edilen I ve II ifadeleri cetvel halinde hesaplamalar için müsaittir.

Bir çok hallerde I' formülünde $x_i - x_{i+1} = 0$

konabileceğini mukayeseli hesaplar göstermiştir. Bu suretle, malûm olan II' formülüne nazaran % 10 - 15 daha yüksek F - değerleri elde edilir. II veya II' formüllerine göre eski metod ile yapılan hesap daha emniyetli demektir. Bu itibarla daha sıhhatli olan I veya I' metodunun tatbik edilebilmesi için birim hacim ağırlığı, kohezyon c, makaslama açısı gibi zemin karakteristiklerinin sahih olarak tâyin edilmiş olması ve muhtemelen zuhur edecek boşluk suyu basınçları hakkında yeteri kadar emniyet temin edilmiş olmalıdır. Ayrıca en gayri müsait yani en küçük F emsali olanı bulmak için muhtelif kayma yüzeyleri tetkik edilmelidir.

Nihai olarak hesap muhtelif **yükleme durumları** için icra edilmelidir. Bu arada bilhassa aşağıdaki haller tetkik edilmelidir.

İnşa durumu:

Söylenenden anlaşılacağı gibi inşaat sırasında boşluk suyu basınçları âzami olur; inşaatın hızla ilerlemesi yüzünden çekirdekte mevcut su savuşmaya vakit bulamaz. Bu sebepten baraj kretine varıldığı ve fakat iddihara başlanmadan önce hava ve su yüzleğinde durum tetkik edilmek icap edecektir. Konsolidasyon dolayısıyla boşluk suyu basıncı âzami değerine ulaşır.

Baraj yaşı ilerledikçe boşluk suyu basınçları yavaş yavaş sönerek stabilite artar.

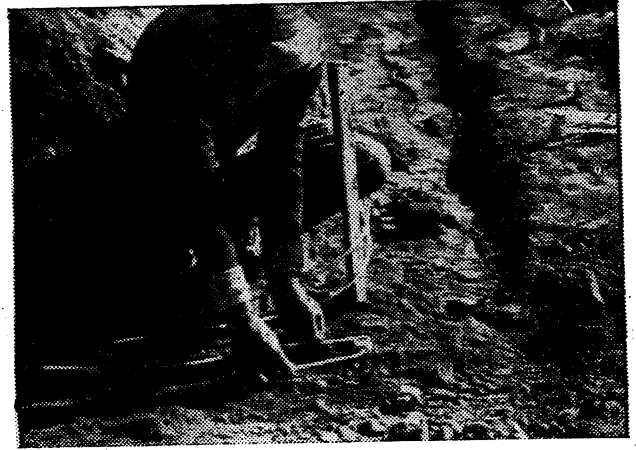
Tam iddihar:

Hava yüzü sevi için tam iddihar durumu inşaat durumuna nazaran daha gayri müsait olabilir. Akım çizgileri ağı çizilmek suretiyle icap ederse akım basıncı ölçülür. Toprağın birim hacim ağırlıklarının tesbitinde sızma eğrisinin altında kalan (δ_e') ile üstünde

kalan (δ_e'') birbirinden ayırt edilmelidir. Münferit

hallerde, bilhassa narin sızdırmazlık çekirdeği mevzu bahis olduğunda istinat gövdesi üzerindeki su basıncı göz önünde bulundurulmalı ve destek gövdenin kayması bir bütün olarak mütalâa edilmelidir.

Zelzelenin tesiri, beton barajların hesabında âdet olduğu gibi nazarı itibare alınabilir. Baraj ağırlığının 0,05 - 0,10 misli büyüklüğünde bir yatay kuvvet ithal edilir.



Şekil 16. — Dolgu tipi piyezometre ucunun yerleştirilmesi. (Demirköprü)

Âni olarak göl seviyesinin düşmesi:

Bir iddihar gölünün seviyesi tabii olarak kuvvetli değişimlere tâbi olup su yüzündeki baraj malzemesi boşluklarında bulunan su bu değişimleri yeteri kadar çabuk takip edemez yani, biraz gecikir. Böylece itici kuvvetler hâlâ nerdeyse tam doymuş fakat artık kaldırıcı kuvvete mâruz bulunmayan toprak malzemesinin ağırlığı ve akım basıncı artar. Su yüzü sevi için bu yükleme durumu çok mühimdir. Baraj içersindeki cüzi akım hızı muvacehesinde göl seviyesinin düşmesi âni bir durum olarak kabul edilebilir; ancak şu noktaya işaret etmek lazımdır ki en alçak işletme seviyesine değil daha az bir düşüş en küçük emniyet derecesini verir.

Akım diyagramından hareket ederek boşluk suyu basınçları hesaplanabilir; bunu yaparken basitleştirilmiş olarak ekseriya şu faraziye kabul edilir: tam iddihardaki akım diyagramı henüz değişmemiştir; sızma eğrisi ve espotansiyel çizgileri henüz aynidir. Bittabi bu faraziye seviyenin yavaş yavaş düşmesi halinde muteber olmaz. (Sonu 14. sayfada)



Şekil 17. — Plâstik piyezometre borularının kanal içine yerleştirilmesi. (Demirköprü)