

荷重を断面で平均して得た値が真の剪断強度になる訳である。

この様な考え方は、東大中西不二夫教授の鉄材に関する破壊説の中の軟鋼の捩り破壊に関する考察を想起して興味ある問題である。同教授によれば軟鋼の丸棒を捩つた場合に横断面に於ける剪断応力は全断面一样に剪断強度に迄達すると云う。

本実験に於ける剪断応力も以上の様に考えれば剪断強度は平均値をとつてよい事になり、剪断強度を表わす直線が圧縮破壊の Mohr の円と交らない事の説明となるのである。

(ロ) コンクリートの剪断強度はその面に作用する直圧力と共に略々直線的に増大し、且つその増加の割合はコンクリートの種類に関せず略々一様である。

直圧力が本実験範囲、即ち 0 から圧縮強度の間に於ては、剪断強度は殆ど直線的に増大すると云つて差支えない。又これらの直線は材令及びセメント使用量を本実験の程度に変化させても、その勾配に変化を来さないものと云える。従つてこの程度のコンクリートに於ては(1)式に於ける τ_0 を求めさえすれば、 τ の値を知る事が出来る事になる。

この直線の勾配は(1)式の係数の示す様に $1.15 = \tan 49^\circ$ であつて、Coulomb の所謂内部摩擦角は 49° と云う事になる。この値から圧縮試験に於ける剪断面の鉛直となすべき角度は 20.5° と計算せられ、事実と略々一致するのは興味ある事である。

(ハ) 堤堤コンクリートの強度の規準は(1)式によつて定めらるべきである。

前文に於て詳述した様に、従来の堤堤コンクリートの強度の規準のとり方は、本実験で明らかになつた(1)式を破壊の包絡線として、その規準を考える方法に改めらるべきである。

附記 本実験の実施にあたつて、日本大学々生の鳥井、清水、守屋、実習生の伊崎、当研究所の若本の諸君が示された非常なる努力に対して厚く謝意を表するものである。

UDC 627.821.046:627.824.7

コンクリート・ダムの滑動安定度について

正員 工学博士 畑 野 正*

SLIDING SAFETY OF CONCRETE DAMS

Dr. Eng., Tadashi Hatano, C. E., Member

Synopsis Applying an axial compression of various magnitudes on a beam which is made of concrete and cube of rock which contact with each other, an experiment was made to shear off the beam along the contact planes.

As the result of this experiment, the following relation was found.

$$\tau = \tau_0 + n\sigma$$

τ : shearing strength σ : axial compression

So-called sliding factor is based on τ in the case of $\tau_0=0$, and Henny's shear friction safety factor is based on τ of rock or concrete.

The writer's opinion is that the sliding safety factor must be based on the shearing strength along the contact planes of concrete and rock, and calculated at every points of dam base separately.

要旨 コンクリート・ダムの滑動に対する安定度を、コンクリートと岩石との附着面に於ける断剪強度を実験的に求めることにより、合理的に決定する方法について論じたものである。

1. 緒 言

コンクリート・ダムの滑動の問題はダムの安定度を論ずる上に最も重要な事項の一つである。然るに今日迄のこの問題に関する研究を顧ると、実験的にも理論的にも難解な問題として、あまり手を触れていない状態である様に思われる。

* 東京電力株式会社

筆者は先に「堰堤コンクリートの強度規準並びに剪断強度について」¹⁾及び「(其の2)」²⁾「打ち継ぎコンクリートの剪断強度について」³⁾等の論文に於て剪断強度を実験する新しい方法を提唱し、その実験結果を報告して来たのであるが、筆者のこの方法によれば滑動安定の問題の実験的研究を容易になし得るのである。

以下従来のダムの滑動安定に関する取扱いを批判し、筆者の方法によつて実験した所を述べ、この結果を用いて滑動安定度を如何に考えるべきかを論じたいと思う。

2. 従来の取扱いに対する批判

(i) 我国に於ける取扱いに対する批判 我国に於ては周知の様に許容の滑動係数として 0.75~0.80 を採用している。即ち水平力を H 、垂直力を W とすれば、滑動係数 f は H/W で表わされ、この f の値を 0.75~0.80 の程度に抑えなければならないと云うのである。

この 0.75~0.80 と云う数値は如何なる根拠から与えられたものであろうか。後に述べる筆者の実験にも明らかな様に全く附着していない平滑な固体面間の摩擦係数の値が略々この値に近い所から安全側の値としてこの数値を採用したのではないかと考えられる。

滑動係数の値が 0.75~0.80 であると考えられているに対し実際の設計上の滑動係数はこの値と略々同等となるのが通例である。時には滑動係数の不足から断面を増大しなければならない場合もある。従つて滑動に対する安全率はせいぜい 1 度であるのが一般である。コンクリートや岩盤の強度の安全率として 5~10 を採用しているに対し甚だ矛盾していると云わねばならない。

次に H 及び W は夫々ダム全体に作用する水平力及び垂直力を表わしている。即ち言い換えれば、ダム全体を一体として、全体の平均の滑動安定を論じていることになる。我々が巨大なダムの内部応力を計算し、局部毎の応力を調べるに比して矛盾した考え方であると云わねばならない。岩盤とコンクリートの広範囲な接触部に於て部分的に滑動の安全度が異なることは予想される所であつて、安全度小なる部分に対しては適切な処置によつてこれを高めるのでなければならない。

要するに我国に於ける従来の取扱いは、滑動係数の数値に於て実験的根拠が薄弱であり、又その取扱方法に於て充分な考慮が払われていないものであると云わねばならない。

(ii) アメリカに於ける取扱い(主として Henny 氏による)に対する批判 アメリカに於けるダムの滑動安定の問題の取扱い方は我国に於けるものと異なり、剪断強度の安全度の問題としている。即ち基礎岩盤とコンクリートの剪断強度の内何れか小なる方の値を用い、剪断摩擦安全係数(Shear friction safety factor)を求め、これが 5 以上になるのを自安としている様である。これを式で表わすと次の様になる。

$$Q = \frac{(W-U)f + lS}{H}$$

Q : 剪断摩擦安全係数 W : 重量 U : 揚圧力 f : 内部摩擦係数 = 0.65

S : コンクリート又は岩盤の内弱きものの剪断強度 l : 剪断幅 H : 水平力

この考え方は Henny 氏⁴⁾その他によつて提唱されアメリカ開発局の方針としても採用されている⁵⁾。Henny 氏によれば「底面に凹凸を附していない場合、継目に階段又は勾配の附してない場合、又基礎岩盤が水平又は水平に近い層をなして構成されている場合は現在迄は滑動係数として 0.75 に近い値を用いている。然るに底面に凹凸を附け接觸面は清浄に施工し、施工継目には階段か勾配をつけ最大剪断抵抗が働く様にした場合は滑動係数よりも剪断安全度を用いる方が正しい」と云う。

この剪断安全度を定める為に Henny 氏はコンクリートの円筒を圧縮破壊した時の滑り面の角度を調べ、剪断強度は次の如く表わされるものであると論じた。

$$S = S_1 + Kq$$

S : 剪断強度 q : 剪断面に作用する垂直力 S_1 : $q=0$ のときの剪断強度 K : 内部摩擦係数

アメリカ開発局その他で採用されている内部摩擦係数 0.65 はこの Henny 氏の実験を基礎とした値と思われる。

以上の如き取扱い方を考えると次の 3 点に尙考慮の余地があると思われる。即ち

(イ) 剪断強度としてコンクリート、岩盤の内小なる方を取る事は常に正しいとは限らない。

(ロ) 摩擦係数 0.65 と云う値は実験的に不確実である。

1) 土木学会論文集第 4 号 2) 土木学会論文集第 6 号 3) 土木学会第 5 回年次学術講演会発表
4) Transactions of A.S.C.E. 1934 5) Proceedings of A.S.C.E. 1940

(ハ) ダム全体の平均の安定度を考えているがこれは合理的でない。

第一に(イ)について考えて見よう。コンクリートを岩盤に打ちついだ場合、その打ちつぎ面に於ける剪断強度はコンクリート又は岩盤自体の強度より常に大きいか又は等しいとは言い難い。呑むしろコンクリートと岩盤の打ちつぎ面の強度をコンクリート又は岩盤自体の強度迄上昇させることは殆ど困難と言わねばならない。凹凸を附してこの強度を増大すると云うのは打ちつぎ面の強度が弱いから剪断の危険の大きい面が打ちつぎ面にならないようにする事なのであって、打ちつぎ面自体の強度を増大することではない。そして打ちつぎ面に於ける強度が著しく小さければ、この面に於て最も危険であり得ることを考えなければならない。従つて剪断強度としてコンクリートと岩盤の両者の内小さい方を探つても更に強度の弱い打ちつぎ面についても安定度を検するのでなければ不充分なのである。コンクリート又は岩盤自体の安全率と打ちつぎ面の滑動安定度を比較して、その小なる方によつて安定度が検討されねばならないのである。唯漫然と岩盤に凹凸を附しただけではコンクリート又は岩盤自体の安全率より大なる滑動安定度を得られないことは後に述べる実例によつて明らかになるであろう。如何にすれば充分な滑動安定度を得るかということを知る為には、打ちつぎ面に於ける滑動安定度が先ず第一に明らかにされねばならないのである。

次に(ロ)については次の如く言い得るであろう。Henny 氏は圧縮破壊の滑り面の角度から摩擦係数を求めたのであるが、同氏の実験データにも見る如く、この観測値は非常に大幅に変化するものであり何れをとつてよいか殆ど判断がつかない。この角度を基礎として内部摩擦係数を定める事は無理な事と云わねばならない。又0.65と云う値は全く附着していない平滑な固体面相互間の摩擦係数より小なる値であつて、安全側に過ぎると思われる。

(ハ)については(イ)に於て既に述べた通りである。

以上要するにこの問題に関するアメリカに於ける取扱い方は、従来の我国に於けるものより進歩した方法ではあるけれども尚不備の点が少くないと云わねばならない。

3. 滑動安定度に関する実験

前節に述べた様に滑動の安定度を論ずるにはコンクリートと岩盤の打ちつぎ面の剪断強度を実験的に求めなければならない。この実験法としては筆者の前述の論文に於て詳細に述べたのであるが、ここに更に簡単に説明を加えることにする。その要領は図-1 の如くである。

1は10cm立方の石材ブロック、2はコンクリートで、全長を 60cm の梁に仕上げる。この両端に鋼板3をあて一方の端に圧力計4を附し、更にその外側に鋼板をあて、4本の鉄棒5と共に附属したナットによって供試体に軸圧力を加える。この大きさは圧力計4に現われる。この様にした供試体を水平におき、石材とコンクリートの接触面に沿つて 2cm 角 11cm 長の鋼製ブロック6を上下にあてる。左右の重量の均衡をとる為に7の如く支えるものとする。かくして軸圧力を種々に変化し6を通じて剪断荷重をかけるのである。

実験に用いた石材は石英閃緑岩の良質のもので、その強度は使用したコンクリートの強度に比し充分大きなものであった。この石は 10cm 立方で、相対する 2 面の 2 対は極く細粒の砂で研磨仕上げした完全に平滑な面であり、他の 1 対はのみにて粗に仕上げたもので、凹部と凸部との間の高さは最大 2mm 程度であった。

実験にはコンクリート2と石材1とが完全に別個であるものを接觸せしめた場合と、1の左右に生のコンクリートを打ちついで1本の梁に仕上げた場合について行つたのであるが、石材の接觸面は上述の滑、粗の両者の場合を別々に実験した。

コンクリートを打ちついで一体とした要領は次の様である。梁の型枠を水平に横たえてその中央に石材ブロック1を入れ打継面となる垂直面にこれから打たんとするコンクリートのモルタルの部分のみをこてで塗りつけ、次いでこの左右に生のコンクリートを打込んだものである。

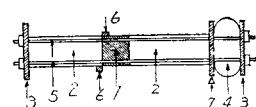
尚以上の実験と比較する為に石材ブロックを入れないコンクリートのみの梁の実験をも併せて行つた。これらの各種の実験の種類を表-1 の如く区分して表現するものとする。

これらに用いたコンクリートの性質はすべて表-2 の通りである。

表-1 の実験は供試体の製作及び破壊実験共に各区分毎に 1 日の間に行つたもので製作時日の差により 表-3 の如く強度に幾分の差を生じた。

圧縮強度は直径 15cm 高さ 30cm の円柱により引張強度は同型のものを赤沢式圧裂法によつて試験した。剪断強度 τ_0 は 10cm 角 60cm 又は 25cm 長の梁の中央断面に沿つて 2cm 角 11cm 長の鋼製ブロックをあて剪

図-1



断した。

表-1

実験の種類	
1	10cm 角 25cm 長のコンクリート梁2を予め作つておき、之を石材ブロック1の平滑な面で接する様にその両側におき軸圧力を加えて剪断した場合。コンクリート梁の石材に接する面は型枠から取外した儘の状態で何等手を加えない。
2	10cm 角 25cm 長のコンクリート梁2を予め作つておき、石材ブロック1の粗面で接する様にその両側におき、軸圧力を加えて剪断した場合。コンクリート梁の石材に接する面は型枠から取外した儘の状態である。
3	10cm 立方の石材ブロック1の平滑な面を打ちつぎ面としてその左右に生のコンクリートを打ちつぎ、60cm 長の梁にしあげた供試体に軸圧力を加えて剪断した場合。
4	10cm 立方の石材ブロック1の粗面を打ちつぎ面としてその左右に生のコンクリートを打ちつぎ、60cm 長の梁に仕上げた供試体に軸圧力を加えて剪断した場合。
5	10cm 角 60cm 長のコンクリートの梁に軸圧力を加えて剪断した場合。

表—2

セメント使用量	水 使用 量	粗細骨材重量比	粗骨 材 組 成	材 令
250 kg/m ³	170 l/m ³	2.5	25~15 mm 50% 15~10 mm 30% 10~ 5 mm 20%	28日

表—3

区分	圧縮強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²	軸圧力ないときの剪断強度 τ_0 kg/cm ²
1	270.7	24.7	—
2	"	"	—
3	265.4	29.0	53.3
4	275.4	28.1	48.0
5	310.7	32.0	52.3

実験の結果をまとめて見ると表-4の如くなる。ここに初期軸圧力とは予め供試体にナットを締めつけることによつて加えた軸圧力であり、終局軸圧力とは破壊の際に於ける軸圧力を圧力計によつて読みとつた値である。

3,4 の場合特に 3 の場合は破壊と同時に大きな音響を発した。破壊後ナットをゆるめて供試体を取り出し剪断面の状況を見ると、1 の場合はコンクリートの接触面に水分が幾分滲み出している様に見え、2 の場合はコンクリートの接触面のセメントが僅かにひっかかかれている様な状態を示した。又 3 の場合はコンクリート及び石の両方の接触面が極めて平滑に離れているのが見られ、4 の場合には石の凹部に入つたモルタルが破壊されること少く、コンクリートの接触面にその儘残つて石の凹凸と正反対の凹凸をなして滑つた状態を示した。5 の場合には弱い砂利が剪断面に沿うて 2 つに割れているのが見られた。

軸圧力は圧力計の示す読みから換算した値を断面積 100 cm^2 で割った値をとり、剪断強度は破壊荷重を剪断面積 100 cm^2 で割った値をとつた。

以上の結果から終局軸圧力と剪断強度を図に示すと図-2の如くなり、これを式で表わすと次の様になる。

表一

區 分	初期曲 率		終局曲 率		區 分	初期曲 率		終局曲 率	
	左 右 cm ²	左 右 cm ²	左 右 cm ²	左 右 cm ²		左 右 cm ²	左 右 cm ²	左 右 cm ²	左 右 cm ²
(1)	97.0 95.0 76.6 74.4 57.8 50.5 25.0 25.0	97.0 95.0 76.6 74.4 54.5 50.3 25.0 20.0	63.5 65.0 54.0 51.0 34.0 33.0 14.0 17.0	106.0 107.0 82.5 82.4 67.0 67.5 137 44.5	107.1 107.0 82.6 82.4 67.5 70.0 137 45.0	115.0 121.0 54.0 57.5 75.0 64.5 66.0 72.0			
(2)	97.0 95.0 74.0 72.6 51.0 45.0 25.0 25.0	97.0 95.0 74.5 72.5 49.0 43.0 25.0 25.0	80.0 86.0 53.0 51.0 35.5 37.5 18.0 16.0	22.5 0 0 0 0 0 0	22.5 0 0 0 0 0 0	46.0 23.0 23.0 23.0 36.0 20.0			
(3)	110.0 87.0 86.5 73.5 70.5 50.0 25.0 25.0	105.5 92.5 86.5 78.5 76.5 58.0 25.0 25.0	107.5 107.0 94.0 94.0 79.0 77.0 66.0 66.0	47.2 33.0 0 0 0 0	47.2 33.0 0 0 0 0	117.0 115.0 116.5 112.0 57.0 51.0			
(4)	50.0 47.0 110.0 110.0 6.0 0 25.0 25.0	50.0 47.0 110.0 110.0 6.0 0 25.0 25.0	66.0 52.0 107.0 107.0 22.0 22.0 66.0 66.0	37.0 0 0 0 0 0	37.0 0 0 0 0 0	116.5 121.0 112.0 112.0 57.0 51.0			

4. 実験結果の考察

以上の結果から明らかになつた点を要約してみよう。

(i) 従来滑動係数として用いられていた数値は全く切り離された固体面間の摩擦係数である。

(ii) 摩擦係数の値は 0.65 から 1.15 の間に変化する値であり、圧应力がないときの剪断強度は 0 から τ_0 の間に変化する値である。アメリカで採用されている係数 0.65 はコンクリート自体の内部摩擦係数としては勿論コンクリートと岩盤の打ちつぎ面に於ける摩擦係数としても小にすぎるものであると言える。

(iii) (1), (2) 式は図-2 に見る如く厳密には成立しない。即ち τ が 0 の点で σ がある圧力の値をもつていて、全く別個の 2 物体面間の摩擦力であるから σ が 0 のときは τ は 0 でなければならない。然るに上述の如くであるから σ がある値のときに示すべき真の τ の値より幾分小なる τ を与えていることになる。即ち筆者の実験法が安全側の結果を与えているものであることを示している。然し又一方 (1), (2) の示す直線が原点に充分近い点を通ることから、筆者の実験法が充分真に近い値を与えるものである事をも亦示すものであると云える。

(iv) (5)式は筆者が曩に発表した「壌堤コンクリートの強度規準並びに剪断強度について」(其の2)の実験式と一致している。前実験に於てはコンクリートの梁を2つの剪断面に沿うて剪断したのであるが、この方法によつても又1つの剪断面に沿うて剪断した場合でも全く同じ結果を与えた事になる。実験技術的には本文に於て述べた方法によるのが容易である。

尙筆者が Henny 氏の論文を調査したとき、この討議の中に Terzaghi 教授⁶⁾が筆者の実験法とやや異なる方法ではあるが同様の意図のもとになされた実験のあることを紹介しているのを知つた。原論文を読むことが出来ない為詳しい事は不明であるがその大要は次の様である。

即ちその1は Hertig 氏が 1:5 の成分で W/C が 0.57 の直径 11 in, 高さ 21 in のコンクリートの供試体を種々な軸圧力を加えながら振り試験した結果次式を得たと云うのである。 図一三

$$S = 430 + 1.13 q \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

S: 剪斷強度 lb/in^2 q: 軸壓力 lb/in^2

その2は Kelen 氏が図-3 の様な方法でコンクリートと石材の打ちつき面に於ける剪断強度の実験をして次式を得たと云うのである。

(6)式は筆者の求めた(5)式に相当するものであり、(7)式は(3)、(4)式に相当するものである。即ち摩擦係数に於ては非常によく一致した結果を与えたものと云える。

然し Hertig 氏の方法は η の小なる間は引張による破壊であつて、これから計算した値を剪断強度とすれば直接剪断した場合に比し非常に小さな剪断強度を与える欠点がある。

又 Kelen 氏の方法は図に見る如く剪断面に於けるモーメントを 0 にする為や、複雑な形式となつてゐる。これは梁の剪断試験はモーメントの影響の為に真の強度よりも非常に小さい強度を与えるものであると云う考えにもとづいたものと思われる。Henny 氏もこの為内部摩擦係数を求めるのに圧縮破壊の滑り面の角度を測定するのがよいと云つており、その他一般的にこの事が信じられている様に思われる。剪断荷重を加えると初め荷重がある幅をもつて分布し、剪断面にモーメントを生じて梁の端部は上昇又は下降する。この為剪断荷重は点荷重に近くなつてモーメントは充分小さい値に止る。然もこのモーメントによつては軸圧力の為に引張応力を生じない。又軸圧力のない場合はモーメントによる引張破壊が起り得ると考えねばならぬとしても、剪断面に於ける剪断応力を剪断強度と考えることによつて安全側の結果を得、然も安全側と考えられたこの剪断強度が破壊の

—2

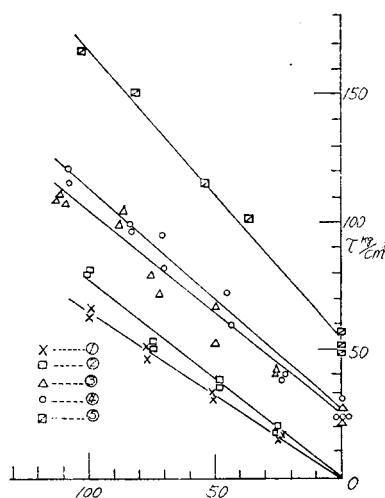
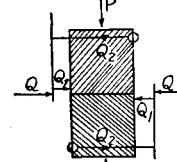


图-3



6) Transactions of A.S.C.E. 1934 p.1103

Mohr の円と比較することによって充分真に近い値を示すものであることは筆者の前述の論文に詳しく論じた所である。

又本項(cii)に述べた所からもこの事が証明されたと云える。以上の意味から筆者の実験法が最も簡単で充分に近い値を得られる方法であると云えるのである。

5. コンクリート・ダムの滑動安定度

前節迄に述べた所から筆者はコンクリート・ダムの滑動が安定の問題を次の如く取扱うべきものであると考える。

- (i) コンクリート・ダムの応力から基礎岩盤との接触面に作用する直圧応力 σ 及び剪断応力 τ' を求める。

(ii) 使用するコンクリートと岩盤につき (3) 又は (4) 式に相当するものを求める。コンクリート及び岩盤自体の強度を示す (5) 式に相当するものを求める。

(iii) 求めた (3) 又は (4) 式に相当するものにして (i) の σ の値を代入して τ' を求め、次式の如く n をおいてこれを滑動安定度とする。

(この場合 n の値は従来云われている安定率とはその絶対値に於て差違のあることに注意せねばならぬ。筆者の前記論文参照)

- (iv) n の値が所期の値より小さい部分については、以下述べる考えに従つて岩盤を掘さくしこれを増大するものとする。

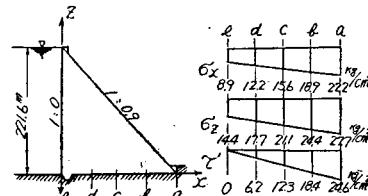
以上の手続によつて打継面の滑動の安全度が定まるのであるが、コンクリート又は岩盤自体の剪断強度即ち(5)式に相当するものから、堤底に於けるコンクリート又は岩盤自体の強度の安全率を求め（筆者の前記論文参照）この両者を比較することによつて、所謂滑動とコンクリート又は岩盤の破壊に対する安全度の何れが低いかを比較することが出来るのである。

又 n の値を増大するには次の様にすればよい。水平な岩盤に作用する力が σ, τ' である場合これを掘さくによつて鉛直と θ をなす面にしあげ、この面に於ける応力を σ_0, τ_0' とする。 σ_0 が増加し τ_0' が減少すれば滑動の安定度は増大する訳であつて主応力の方向と直角な面を作れば安定度は無限に大となる。

以上の考え方を実例によつて説明して見よう。

今高さ 221.6 m 底幅 198.1 m の重力ダムを考え、(Friedrich Tölke, Talperren—Standämme und Staumauern p 375) 壁体単位容積重量 $2.4t/m^3$, 揚圧力係数 0.5 とし自重及び満水圧による堤底の応力を求めると図-4 の如くなる。底幅の 4 等分点を $a \sim e$ としてこの各点につき求めるものとする。尚こゝには基礎岩盤変形の影響については省略して考えるものとする。

图—4



$$\tau = 20 \pm 0.80 \text{ s} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

この σ の値に図-4 の σ_z の値を代入し、これから得られた τ と図-4 の τ' との比を求めて、堤底が水平なときの滑動安定度が求められる。これを図に表わすと図-5 の如くなる。次に基盤岩盤を図-6 の如く凹凸を附して掘さくするものとする。この面の鉛直となす角を 110° 及び 60° の2種類とする。これらの面に作用する力を図-4 の値を用いて次式によつて計算する。

$$\sigma_\theta = \sigma_x \cos^2 \theta + 2\tau' \sin \theta \cos \theta + \sigma_z \sin^2 \theta$$

これから前と同様に岩盤に凹凸を附した場合の滑動安定度が得られる。次に図-7 の如く一つの曲面をなして岩盤を掘さくする場合を考える。岩盤の鉛直線となす角を4等分点に於いて夫々 $110^\circ, 100^\circ, 90^\circ, 80^\circ, 70^\circ$ になるように掘さくしたものとこの面に作用する力を前述同様に計算して滑動安定度を計算すると図-7 に示したようになる。

最後に底面に於けるコンクリート自体の強度の安全率を計算して以上と比較してみよう。今、前述同様堤底コンクリートの性質を簡単の為に一様のものとおき、その強度を次の如くとする。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= 50 + 1.15 \sigma \\ \text{压缩强度 } \sigma_c &= 250 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

図-4 の応力の値から堤底に於ける応力を示す Mohr の円を描くと図-8 の円 $a \sim e$ の如くなる。又(10)式を図に記入しこの τ に平行な直線をひいて各 Mohr の円に切せしめる。この切点を通る垂直線と τ 直線との交点を求め、この τ の値と各切点の示す τ' の値との比を求めればコンクリートの安全率を示すことになる。この値を図-6 に記入しておいた。

以上の安定度の数値は表-5 の如くである。

表-5

種類 点	堤底が水平なるとき の滑動安定度 (図-5)	堤底に凹凸を附した ときの滑動安定度 (図-6)	堤底を曲面に仕上げ た時の滑動安定度 (図-7)	堤底に於けるコンク リートの安全率 (図-8)
a	1.7	3.2	3.2	3.6
b	2.2	2.2 3.9	2.7	4.9
c	3.0	3.2 5.6	3.0	7.5
d	5.5	5.3 5.5	4.8	13.6
e	∞	∞	17.6	85.0

図-5

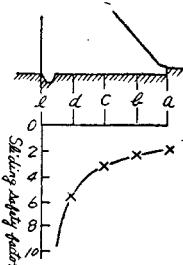


図-6

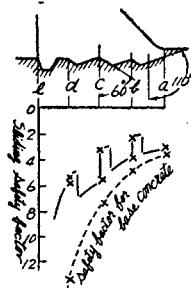


図-7

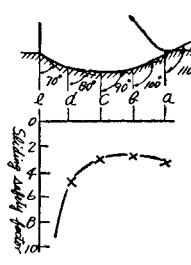
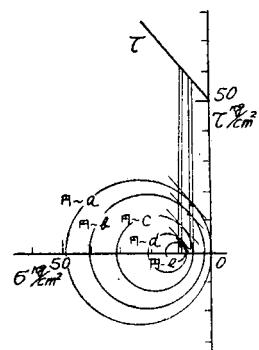


図-8



これらの安定度は前述の論文に於ても述べた様に従来の取扱いとやゝ異なるものであることに注意しなければならない。図-8 の円-a の示す様に最大圧応力は 50 kg/cm^2 であり(10)式のコンクリートを用いた訳であるから従来の安全率の考え方からすれば最小5の安全率をもつことになる。然るに表-5 の a 点に於ける堤底コンクリートの安全率は3.6であるから、従来の方法に換算するにはこれらの安全率の値を $5/3.6=1.4$ 倍すればよい事になるのである。

図-5, 6, 7 から明らかな様に重力ダムの滑動安定度は下流側から上流値に向うにつれて著しく大きくなる。又岩盤に凹凸をつけることによつて滑動安定度を増大することが出来るが、凹凸の傾斜の方向によつて著しく異つた結果を生ずることも本例の示す通りである。又本例は単に凹凸を附しただけでは、コンクリート自体の安全率以上に滑動の安定度を高めることにはならないと云う事をも示している。アメリカに於ける取扱い方の不合理である事がこの例で明らかである。

6. 結論

以上の如き考察から、従来の如き漠然たる取扱いとは異つて、滑動安定の問題を略々具体的に明らかにすることが出来た。これを要約すれば次の如く云えるであろう。

(i) 滑動の安定度を論ずるには、打ちつぎ面に於ける剪断強度を実験的に求めなければならない。これを基礎として各方面の打ちつぎ面を考え、それらの安定度とコンクリート又は岩盤自体の安全率とを比較しなければならない。

(ii) 基礎底面に於ける滑動の安定度は局部的に著しい差がある。全底面に一様の安定度を得る様、コンクリートの性質又は岩盤掘さくを考慮することが望ましい。

さて以上の考察には、基礎岩盤自体の性質には触れていない。従つて岩盤の強度がコンクリートより充分大きいことを基礎にしている。基礎岩盤が如何程の強さをもつかを如何にして定めるべきか、又コンクリートより弱い

強度の場合は如何にすべきか、と云う如き重大な且つ困難な問題が残っている。従来はこれらは単に視察並びに小試験片により評価された程度であつて、工学的な尺度によつて適確に判断される為には岩盤に対する力学的研究並びに現地に於ける測定の技術が大いに進歩しなければならない。これ等の問題が解決される様になつて始めてダムの滑動の問題が全般的に解き得られる様になるのである。

附記 本文に述べた実験の実施にあたつて非常な労苦を惜しまれなかつた早稲田大学々生堀川、遠山の両君及び当研究所の若木君に対し厚く謝意を表するものである。

UDC 624.075.4

多径間連続板の挫屈荷重の計算法

正員 工学博士 倉 田 宗 章*

A METHOD OF DETERMINATION OF THE CRITICAL LOADS OF THE CONTINUOUS RECTANGULAR PLATES WITH MULTIPLE SPANS

Dr. Eng., Muneaki Kurata, C.E., Member

Synopsis The problems of elastic stability of the continuous columns with multiple equal spans have been conveniently solved by means of "Differenzengleichung".

In this paper, the author shows that the buckling problems of the continuous rectangular plates simply supported along the two opposite sides parallel to the direction of the multiple spans are solved in the same manner, moreover he derives the calculation formulae in the cases of various end conditions and illustrates those with numerical examples.

Finally, some considerations are delivered for practical applications.

要旨 等間隔多径間連続長柱の軸圧力に依る挫屈の問題は Differenzengleichung に依り簡易に解決されている。同様な方法が径間方向の相対 2 辺が単純に支承された連続板に対しても適用される事を示し、種々の端辺条件に対する計算公式並びにそれが数値計算例を挙げ併せて実際の応用に対する二、三の所見を述べたものである。

目 次

卷二

1. 基礎階差方程式 2. 端辺条件式 3. 挫屈条件式 4. 計算例

序 言

等間隔多径間連続柱の挫屈荷重は Fr.Bleich に依つて所謂 3 連モーメントの公式を用いて Differenzen-gleichung として解く事に依り簡易に求められた。著者は上記連続柱を径間方向の相対 2 辺が単純支承された連続板とした場合に対しても同様な取扱の可能なる事を示そうと思う。尙本文中、随所に省略せる演算は著者の旧著(建設工学、第 2 号、p.27)を参照する事により容易に判明し得る部分である。

1. 基礎階差方程式

所題の連続板並びに座標系は図-1の如くであるとする。第 r 番目の径間部分につき中立面内の周辺直圧力を受ける板の微分方程式は w_r を撓度とすれば

但し $A = -\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$: Laplace のオペレーター, $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$: 板の曲げ剛度

E : young 率, h : 板厚, ν : poisson 比

* 北海道大学教授、工学部土木工学科教室