

表一八 地域別包蔵水力と開発計画其の他との比較

項目	包蔵水力		既開発		未開発		未開発中	
	数	%	数	%	数	%	数	%
北海道	207	1.255	52	2.85	153	7.70	22	0.11
東北	770	5.638	228	1.52	542	4.118	305	1.70
関東	307	2.433	121	0.973	186	1.537	186	0.75
中部	576	4.771	203	1.705	373	3.266	274	0.75
北陸	181	1.829	71	0.725	110	9.30	110	0.35
関西	154	7.72	37	1.75	117	5.76	117	0.39
中国	270	1.076	54	0.212	216	76.3	15	0.115
四国	141	0.70	4	0.024	137	6.50	5	0.073
九州	295	1.176	50	0.166	245	6.42	152	0.213
全国	2771	20.040	1000	7.27	1771	13.474	1000	4.77

- 註：(1) 本表数字は 1950 年 3 月末現在である。
 (2) 地域は配電局供給地域別である。
 (3) 既開発自家用分については一工場又は一系統の出力 500 KW 未満は除いた。
 (4) 未開発地帯については計量最大出力 1000 KW 未満は除いた。
 (5) 5ヶ年計画は経済安定本部策定のもので最終出力を示す。
 (6) GHQ の認證とは電氣開発について連合軍總司令部が許可を與えたものである。
 (7) 「既開發中」欄の()内数字は當該地域内に於ける發電所出力中「貯水池を利用する發電所出力」を示し%欄の()内数字はその構成割合である。
 (8) 「貯水池を利用する發電所」とは貯水池式發電所及びその下流にあつて水筒式發電所でも貯水池の放流を利用するものをいう。
 (9) 「未開發中」欄の()内数字は地點數である。
 (10) 電力局作成資料による。

(昭. 25. 11. 15)

薄層流に関する研究(第3報)*

一 雨水波列について一

正員 工学博士 石原 藤次郎**
 准員 岩垣 雄一***
 准員 石原 安雄****

SYNOPSIS ON THE THIN SHEET FLOW (3rd. REPORT)

— ON THE RAIN WAVE-TRAINS —

(JSCE Jan. 1951)

Dr. Eng. Tojro Ishihara, C. E. Member, Yuichi Iwagaki, C. E. Assoc. Member
 and Yasuo Ishihara, C. E. Assoc. Member.

Synopsis When we observe carefully a thin sheet flow with suitable water depth on a slope or channel with slope more than about 2%, we can see small and continuous wave-trains moving to down-stream with uniform wave-length. For instance, we find them on a road surface with steep slope in a heavy rain often, and wave-trains in a thin sheet flow of rain-water are called "Rain wave-trains". These wave-trains are rollwaves with wave-height of several times the mean water depth and it is said that they relate with soil erosion closely, but the researches on such wave-trains are few and not sufficient.

In this paper the hydraulic properties of these wave-trains are studied theoretically and experimentally. At first, a criterion for instability of wave-trains is determined, and then various properties of wave-trains, i. e. period, wave-length and wave-velocity etc. are ascertained by using oscillograph and recording wave-profile. Therefore, a foothold necessary to study the relations between soil erosion and properties of wave-trains are obtained.

1. 概説

急な斜面や水路内を薄層をなして流れる水を注意深く観察すると、常に一様に流れるのではなく、2%以上の勾配と適当な水深をもつており、殆んど一様な波長で下流に向つて移動する小さい波の列が見られる。例えば強雨の際の地面流が相当の水深をもつて急斜面上を流れているとき、あるいは路面や甲板などを水を流して洗つているときなどに、屢々この現象が見られる。前者の場合のように降雨によつて生ずる波列はとくに雨水波列とよばれている。

いま波列を考えないで斜面上の流れを考えると、例えば如何に激しい雨が降つても地面流水の水深は一般に数 mm~数 cm 程度であるから、このような一様な流れの流速や浸蝕力などはそれ程大きいとは考えられない。然るに斜面では相当の土壌浸蝕が行われ、又洪水時には山腹から相当大きな石などが流水路に運ばれ

* 昭 25. 5. 27, 土木学会第 6 回年次学術講演会にて講演
 ** 京都大学教授
 *** 同講師
 **** 同大学院特別研究生

泥流となつて河川を流下するのであつて、このような浸蝕、流送の現象を波列のない様な流れによつて説明することは困難である。従つて地面流がその流れの型に急激な変化を生じて波列乃至はそれに類似した型となることによつて、浸蝕、流送などが主として行われるものとするのが妥当なようである。

このような波列についての研究は未だ充分に行われていないようであり、これに関する報告も少ない。この研究は薄層流に関する研究の一部として、このような波列の水理学的性質を究明し、斜面及び路面などの安定の問題に応用して浸蝕防止に寄与しようとしたものである。

2. 波列の発生限界

波列がどのような条件のときに発生するかという問題は興味のあることで、浸蝕防止の問題からも重要なことがらである。

Harold Jeffreys¹⁾ は流水は完全に乱れており摩擦抵抗は平均流速の2乗に比例するものとし、波列の発生限界としてこの流れの自由表面に小攪乱を与え、その攪乱が消滅しないという条件から数学的に $u_{m0} \geq 2\sqrt{gh_m}$ を出している。こゝに u_{m0} は限界の平均流速、 h_m はそのときの水深である。摩擦抵抗が平均流速の2乗に比例するという仮定にもとづくこの理論は、波列が層流領域で発生するという我々の実験結果から考えれば、その仮定に不合理があることは明かである。又 R. E. Horton²⁾ は斜面に雨が降つた場合の分水界から波列発生点までの距離を計算して、H. Jeffreys の出した $u_{m0} = 2\sqrt{gh_m}$ の限界式を用いると大に過ぎ、高潮に対する Belanger の限界式 $u_{m0} = \sqrt{gh_m}$ の方が妥当のようだと言っている。更に G. H. Keulegan and G. W. Patterson³⁾ は Boussinesq の攪乱波の volume element の伝播速度に対する式と Manning の平均流速公式を用いて、 $u_{m0} = (3/2)\sqrt{gh_m}$ なる限界式を導いており、又 Manning 公式の代りに Chézy 公式を用いると H. Jeffreys の結果と一致すると述べている。この理論も実験事実と異つた仮定のもとに導かれたものであることは明かである。

このように波列の発生限界については未だ定説がないが、我々の実験結果から次のことが明かとなつた。(i) 波列は層流領域において既に充分発達しているので、Chézy 公式あるいは Manning 公式が明かに適用されない領域に発生限界がある。(ii) H. Jeffreys 及び Keulegan and Patterson の限界値以下において既に波列は発生している。(iii) R. E. Horton は 1~2% の緩い勾配のところでは波列が発生しているの

を見たといつているが、実験室内では 1/50 以下の緩い勾配では殆んど波列の発生は認められない。しかし 1/50 以下の緩い勾配でも平均流速が $\sqrt{gh_m}$ 附近のときは僅かな外的攪乱を与えれば容易に波列を発生させることが出来る。

このような実験事実にもとずき、波列の発生限界を理論的に次のようにして求めることが出来る。いま底面に沿い流れの方向に x 軸、それと直角上方に z 軸をとり、 t :時刻、 u :流速、 h :水深、 α :底面の傾斜角、 ρ :水の密度、 τ_0 :底面の摩擦応力、 g :重力加速度とすれば、運動量の法則より、

$$\int_0^h \rho \frac{\partial u}{\partial t} dz + \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h \rho u^2 dz = -\tau_0 + \rho gh \sin \alpha - \rho gh \cos \alpha \frac{\partial h}{\partial x} \dots \dots \dots (1)$$

平均流速を u_m とし、 $\sqrt{\tau_0/\rho} = u^*$ とおくと(1)式は

$$u^{*2} = gh \sin \alpha - gh \cos \alpha \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h u^2 dz - \frac{\partial}{\partial t} (u_m h) \dots \dots \dots (2)$$

となる。又連続の条件より

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (u_m h) = 0 \dots \dots \dots (3)$$

波列は層流領域において発生するから、流速分布として次式を適用する⁴⁾⁵⁾。

$$u/u^* = u^* z / \nu \{1 - (z/2h)\} \dots \dots \dots (4)$$

(2), (4) 式より

$$\frac{3\nu u_m}{h} = gh \sin \alpha - (gh \cos \alpha + \frac{6}{5} u_m^2) \frac{\partial h}{\partial x} - u_m \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{12}{5} u_m h \frac{\partial u_m}{\partial x} - h \frac{\partial u_m}{\partial t} \dots (5)$$

小攪乱によつて生ずる平均流速及び水面の微小変動を夫々 u_m' , h' とすれば、

$$\left. \begin{aligned} u_m &= u_{m0} + u_m', \quad h = h_m + h' \\ \frac{\partial u_m}{\partial x} &= \frac{\partial u_m'}{\partial x}, \quad \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial h'}{\partial x}, \\ \frac{\partial u_m}{\partial t} &= \frac{\partial u_m'}{\partial t}, \quad \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial h'}{\partial t} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

であるから、(6)の関係式を(3), (5)式に代入し、微小量を省略して更に u_m' を消去すれば、

$$\left(gh_m \cos \alpha - \frac{6}{5} u_{m0}^2 \right) \frac{\partial^2 h'}{\partial x^2} - \frac{12}{5} u_{m0} \frac{\partial^2 h'}{\partial x \partial t} - \frac{\partial^2 h'}{\partial t^2} - \left(\frac{6\nu u_{m0}}{h_m^2} + g \sin \alpha \right) \frac{\partial h'}{\partial x} - \frac{3\nu}{h_m^2} \frac{\partial h'}{\partial t} = 0 \dots \dots \dots (7)$$

いま与えられた微小攪乱を

$$h' = A \exp(\gamma t + i\beta x) \dots \dots \dots (8)$$

とし、(7)式に代入して γ について解くと、

$$\gamma = \frac{6}{5} u_{m0} i \beta + \frac{3\nu}{2h_m^2} \pm \left\{ -\beta^2 \left(gh_m \cos \alpha + \frac{6}{25} u_{m0}^2 \right) - i \beta \left(g \sin \alpha + \frac{12}{5} \frac{\nu u_{m0}}{h_m^2} \right) + \left(-\frac{3\nu}{2h_m^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

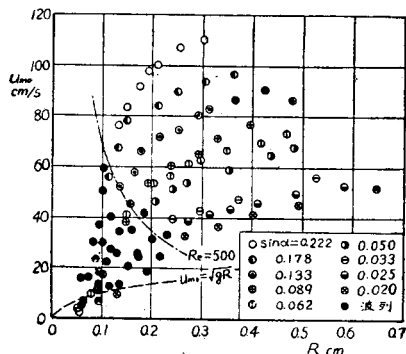
与えられた微小攪乱が消滅しない限界では、 γ の実数部が零でなければならないから、結局 $\cos \alpha = 1$ の場合は

$$u_{m0} \sqrt{gh_m \cos \alpha} / 3 = 0.577 \sqrt{gh_m} \dots\dots\dots(9)$$

即ち波列の発生限界は(9)式であらわされるが、これを我々が行った実験と比較検討してみよう。図-1は薄層流の実験における u_{m0} と径深 $R(=h_m)$ との関係点を描したものであるが、同図における黒円は波列が認められたものを示す(黒円は $\sin \alpha = 0.222 \sim 0.020$ を含む)。これよりわかるように波列の実験的な発生限界は $u_{m0} = \sqrt{gh_m}$ かあるいはそれより僅かに小さく、常流と射流の限界付近である。しかしこの付近の流れでは波列の発生は非常に不安定であつて(9)式の適合性を確かめることは出来なかつたが、(9)式によつて与えられる限界値は流水表面に与えられた攪乱によつて生ずる水面変化即ち攪乱波が安定に存在するための条件であるから、この付近では攪乱波の発生が遅く、従つ

図-1 平均流速と径深との関係及び波列の発生点(黒円で示す)

Fig. 1 Relation between mean velocity and hydraulic radius, and region where wave-trains appear (plotted by black round).



て波列の発生限界を実験的に確認することが困難であると考えられる。それ故波列として明確に確認されるには、理論的限界値より幾分大きい平均流速が必要であるから、実験的には $u_{m0} = \sqrt{gh_m}$ あるいはそれより僅かに小さく確認されたものと思われる。なおこのような波列は水深の比較的大きい場合には現われないと

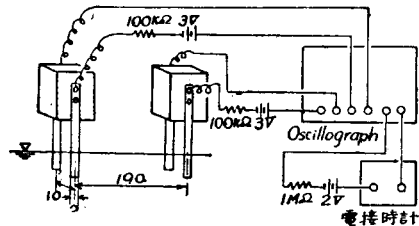
いうことが常識的にも考えられるし又実験的にも認められる。従つて波列の存在しうる上の限界があるものと考えられるが、その限界を求めるには非常に長い水路について波列が充分発達出来るようにして実験を行わねばならない。しかし図-1で大体推察されるように、 Re 数の函数であるように思われるが、理論的には未だ求められていない。これについて V. Cornish⁹⁾ は 4 inches 以上の一定の水深をもつ水流が自然的に一連の roll-wave となり、断続的な流れをなして流れているのを未だ見たことがないと述べている。

3. 波列の波としての性質

(A) 実験 波形、波速、週期及び波長などの波列の波としての性質を調べる目的で図-2に示すような装置で実験を行つた。実験水樋としては上流端を

図-2 波列測定装置

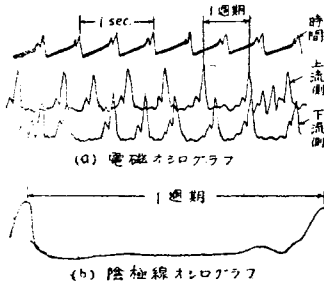
Fig. 2 The apparatus by which wave-trains were measured.



hinge とし、下流端にジャッキを取付けて勾配が $0 \sim 1/4$ まで変えうるような幅 20cm、深さ 10cm、長さ約 5m、有効長 3.8m の木製鉋削りのものを用いた。平均流速を求めるには水深及び流量を測定する必要があるが、水深の測定は波列が形成される場所では殆んど不可能であるため、上流側水路入口より下流 40cm の波列の余り発達していない所で、水路の中央及びその両側各々 3cm 間隔に 3ヶ所合計 7ヶ所にてポイントゲージを用いて測定し平均をとつた。流量の測定には水量が少ないので、最も確実で簡便な方法として測定箱を用いた。測定の方法は図-2に示すようなピックアップを用いて水位の変化を電流又は電圧の変化にかえ、電磁オシログラフ又は陰極線オシログラフによつて波列の波形を記録し、週期、波長及び波速などを算定するわけである。ピックアップは漣や back water の影響をなるべくさけるため、出来るだけ細く、うすくした安全カミソリの刃で作つた。図-3はこのようにして記録した波形の 1例であるが、同図でわかるように電磁オシログラフを用いると実際のものと同異つて凹凸の多いものが得られる。これは恐らくガルバーの鏡の慣性の影響ではないかと思われる。陰極線オシログラフを用いると、その影響はなく図のように滑らかな曲

図-3 電磁及び陰極線オシログラフで記録した波列の波形

Fig. 3 Wave profile of wave-trains recorded by electromagnetic and cathodera y oscillograph.



線が得られる。

(B) 波列の波形 実験室内では波列は数 mm~1mm 以下の非常に水深の小さい場合に発達するので、正確な波列の記録は困難であるが、陰極線オシログラフを用いて大体の形を知ることが出来る。図-3 に示すものはその 1 例であるが、これよりわかるように下流に向う波の前部の傾斜は非常に急で殆んど垂直に近く、その傾向は水深及び勾配が大きくなるほど著しい。波の後部は前部程著しくはないが、相当の傾斜で漸次水深が減少して行き、ついで扁平となり、次の波の前部で又水深が減少するようである。波高は水深の 2 倍以上あるいは数倍にも達するものと考えられる。これらのことからこのような波列は長波というより、孤立波の連続したものに似ていると考えられる。

(C) 波速 V. Cornish は波列の外観上は長波とは異なるが、もし見かけの波速が長波の波速に表面流速を加えたものであるならば興味あることだと考え、スイスの導水路で測定したが、上の関係が成立する場合と非常に異なる場合とがあると報告している。又 H. Jeffreys も同様な測定を行つたが、成功しなかつたようである。

いま層流の場合に波高が水深に比して小さいとして波の伝播速度を求めてみる。(7) 式において終りの 2 項は他の項に比して小さいからこれを無視すると、

$$\left(gh_m \cos \alpha - \frac{6}{5}u_{m0}^2\right) \frac{\partial^2 h'}{\partial x^2} - \frac{12}{5}u_{m0} \frac{\partial^2 h'}{\partial x \partial t} - \frac{\partial^2 h'}{\partial t^2} = 0 \dots\dots\dots(10)$$

(10) 式一般解は

$$h' = F(mx - nt) \dots\dots\dots(11)$$

で与えられるから、これを(10)式に代入すると

$$m^2 \left\{ gh_m \cos \alpha - \left(\frac{6}{5}\right)u_{m0}^2 \right\} + \left(\frac{12}{5}\right)u_{m0}mn - n^2 = 0$$

図-4 波速

Fig. 4 Wave velocity

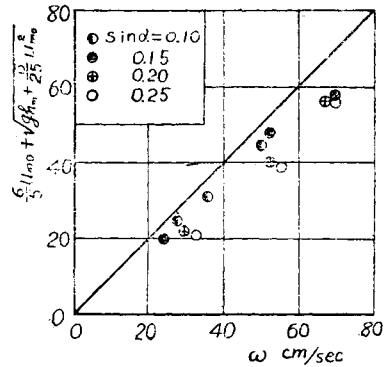
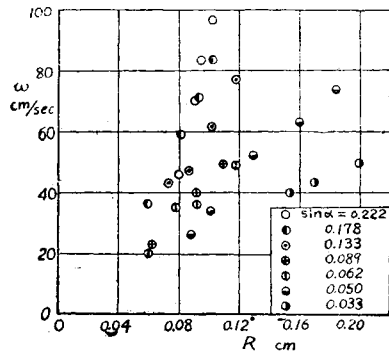


図-5 波速と径深との関係

Fig. 5 Relation between wave velocity and hydraulic radius.



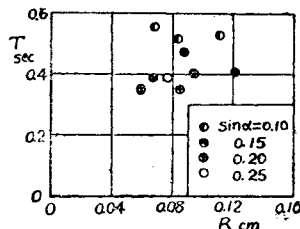
(11)式は $\omega = n/m$ の速度で移動する波をあらわすから $\cos \alpha = 1$ のとき、

$$\omega = n/m = (6/5)u_{m0} \pm \sqrt{gh_m + (6/25)u_{m0}^2} \dots\dots(12)$$

図-4 はこの関係を点描したものである。 ω が大きくなるほど(12)式の直線より離れてゆくのは当然であるが、 $\omega = u_{m0} + \sqrt{gh_m}$ の式よりはよく合ひ、この事実は仮定がより実際に近いことを示している。次に図-5 は ω と径深 R との関係を示したもので、大体直線的な関係にあるものと思われる。

(D) 週期及び波長 完全に発達した波列を観察し

図-6 週期と径深との関係 Fig. 6 Relation between period and hydraulic radius.

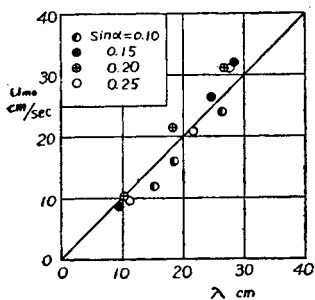


ていると、波速は各々の波について比較的差異が小さいが、波長及び週期は割合変動が大きい。V. Cornish も導水路で週期を測定しているが、その下流端出口で 1 sec から 10 sec

まであり、4 sec のものが最も多かつたと報告している。この週期の平均をとつてこれを T とすれば、 T, R 及び勾配との関係は図-6 に示される。明確な相関関係は見出されないが、大体の傾向として週期は同一勾配では R の増加とともに僅かに増加し、又同一径深では勾配の増加とともに減少する。なお実験範囲内で

図-7 波長と平均流速との関係

Fig. 7 Relation between wave length and mean velocity.



は $T=0.3\sim 0.6$ sec で $0.4\sim 0.5$ sec 附近が最も多い。このことは V. Cornish の導水路入口附近の測定結果と大体一致している。次に波長を λ としてこの平均週期と波速 ω との積をとれば、図-7 に示すように勾配に関係なく平均流速に比例して増加し、比例常数は c.g.s. 単位で 1 である。

4. 波列の流れに及ぼす効果と浸蝕力

水深の小さい場合には波長の短い波高の低い波がゆつくりと流下して行くが、水深が大きくなると波長の長い波高の高く尖鋭な波が海岸に押寄せせる砕波のように進行する。V. Cornish がスイスの導水路でうつした波列の写真では波頂が砕けて白泡を生じているのが見られる。次にこのような波列を伴う流れで水粒子はどのような運動をしているかについて述べよう。波列は水樋の入口よりある距離行つたところから顕著に発生し始めるが、その部分の状態を見るために上流入口附近から注射針を通じ色素を底面に沿つて流して見ると、表面に不規則な小さい波が出来るまでは糸をひくように色素の帯が出来るが、小さい波が出来始める附近に来ると急に色素の帯が拡がり、丁度乱流のような観を呈する。これは恐らく自然的な攪乱によるものと思われる。これより下流のよく発達した波列においては水は波頂附近に集中する。この波の流体表面の運動状態を調べるために波頂間にアルミニウムの粉末を落すと、粉末は大部分加速度的に下流の波頂の方へ移動し、波頂附近に集つた粉末は巻込まれるような運動をする。即ち底面に平行で流れに直角な軸をもつた渦が波頂部分にあるように思われるので、波頂は roll しながら流下して行くように見える。実際に戸外で泥流中の波列をよく観察すると、泥砂は殆んど波頂部分

に含まれている。水深は時刻 t と流下距離 x との週期函数であるから、連続の式より流量も亦 t と x の週期函数となる。即ちある断面を通る水の流量は波列の週期と同じ週期で変動するはずであるが、このことは水路の出口ではつきりと知ることが出来る。

次に波列の浸蝕力については、R. E. Horton²⁾ は du Boys の考えに従つて水深の増加による掃流力の増加から波列のない場合の 5 倍にもなるといつている。このように掃流力が増加するが、更に上述の運動状態から波頂部分に存在する乱れた渦による拡散、あるいは揚力が考えられるので、波列が土壌浸蝕に重要な影響をもっていることは当然である。これらの定量的な把握は今後に残れた問題である。

5. 降雨時における斜面上の波列発生点までの距離

降雨時に斜面上において分水界からどの位の距離のところより雨水波列が発生し始めるかという問題は、浸蝕防止の上から興味あることである。

分水界に原点をおき、2. と同じく斜面上に沿つて下流方向に x 軸、それに直角上方に z 軸をとり、雨量を q_1 、滲透能を q_2 とし $q = (q_1 - q_2) \cos \alpha = \text{const.}$ とすれば、運動量方程式、連続式及び(4)式の層流の流速分布式より⁵⁾、

$$\frac{dh_m}{dx} = F_1(h_m, x) / F_2(h_m, x) \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{ここに } F_1(h_m, x) = \left(\frac{h_m \sqrt{gh_m \sin \alpha}}{\nu} \right)^2$$

$$- \frac{12}{5} \frac{q^2 h_m x}{\nu^2} - \frac{3qx}{\nu}$$

$$F_2(h_m, x) = \left(\frac{h_m \sqrt{gh_m}}{\nu} \right)^2 \cos \alpha - \frac{6}{5} \frac{q^2 x^2}{\nu^2}$$

これは直接積分出来ないが、実際に数値積分を行つてみると、水面形は x の小さいところを除けば約 4% の誤差で

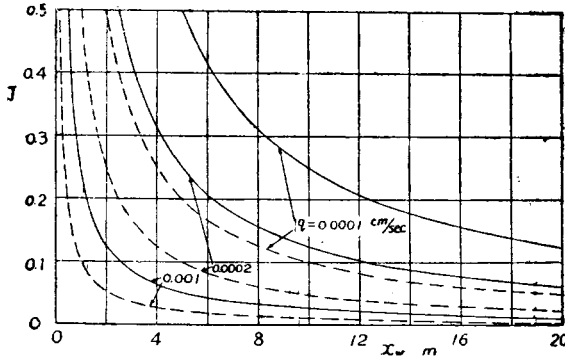
$$h_m = \sqrt[3]{3q\nu x / g \sin \alpha} \dots \dots \dots (14)$$

と近似出来る。更に $u_{m0} = qx / h_m$ であり、波列の発生限界を $u_{m0} = \beta \sqrt{gh_m \cos \alpha}$ とすれば、これらの関係式から波列発生点までの距離 x_w は、

$$x_w = 3\nu\beta^2 / gJ, J = \tan \alpha \dots \dots \dots (15)$$

となる。波列の発生限界は前述の如く理論的には $u_{m0} = \sqrt{gh_m \sec \alpha / 3}$ であり、実験で実際に波列がみとめられ始めるのは大体射流と常流の限界附近であるから、 β として夫々 $\sqrt{1/3}$ 及び $\sqrt{5/6}$ をとり、 $\nu = 0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$ とし g をパラメーターとして (15) 式をあらわしたものが図-8 である。この図より雨量、滲透能及び勾配が与えられると雨水波列が分水界から大体いくらの

図-8 分水界から波列発生点までの距離
Fig. 8 Distance from watershed to place where wave-trains appear.



距離のところから発生するのを知ることが出来る。例えば $(q_1 - q_2) \cos \alpha = 0.0002 \text{ cm/s}$ で $J = \tan \alpha = 0.1$ ($\sin \alpha = 0.1$) の場合には、波列は分水界から理論的(破線で示す)には 5m, 目に認められる程度(実線で示す)には 12.5m の距離のところから発生し始めることになる。

6. 結語

以上の理論及び実験は底面が滑面の場合に対するも

のであつて、粗面の場合にも適用出来るかどうかは疑問であるが、現在粗面に対する薄層流の実験を実施中であるから改めて検討出来るものと思ふ。更に可動底質の場合の実験を行い、土壤浸蝕との関係を定量的に究明したいと考えている。

文献

- (1) Harold Jeffreys: "The flow of water in an inclined channel of rectangular section", Phil. Mag., ser. 6, vol. 49, 1925.
- (2) Robert E. Horton: "Rain wave-trains", Trans. Amer. Geophys. Union, 1938.
- (3) G. H. Keulegan and G. W. Patterson: "A criterion for instability of flow in steep channels", Trans. Amer. Geophys. Union, 1940.
- (4) 石原藤次郎, 岩垣雄一, 合田健: "薄層流に関する研究(第1報)", 土木学会論文集第6号掲載予定.
- (5) 岩垣雄一: "薄層流に関する研究(第2報), 路面流水の理論" 土木学会誌 35巻 12号.
- (6) Vaughan Cornish: "Waves of the sea and other water-waves", 1910.

(昭. 25. 6. 28)

等剛比ラーメンの水平荷重による応力計算公式

正員 工学博士 酒井 忠 明*

CALCULATION FORMULAE OF STRESS DUE TO HORIZONTAL LOAD FOR HIGH STORIED BENTS WITH CONSTANT RATIO OF STIFFNESS.

(JSCE Jan. 1951)

Dr. Eng. Tadaaki Sakai, C.E. Member

Synopsis The calculation formulae proposed in this paper give quickly and directly bending moments at any joint for a tall building frame with constant ratio of stiffness subjected to horizontal joint loads such as wind pressure or earthquake force. Frames are arbitrary for number of stories and bays.

要旨 本文は任意の張間数及び層数を有する等剛比ラーメンの風力又は地震力のような水平荷重によつて生ずる任意点における材端曲げモーメントを直接かつ即座に計算のできる公式を階差方程式の解法理論を適用して導き提案したものである。

1. 緒言

こゝに取扱つたラーメンはその中心線に対して対称で等剛比を有し各階すべて等高の柱からなり、荷重は風力又は地震力のような水平荷重でラーメンの左側節

点にかゝりその方向は右向きとする。この節点水平荷重はすべて W とし最上端のみは $\frac{W}{2}$ の場合と W の場合の2つにわけて考えた。

こゝに提案した計算公式は1張間より5張間のラーメンに対しては別々に、6張間以上のものには張間数を任意数として含む一括した式として表わした。

前者に関する式は精解値を与えるが、後者のものは近似解を与える。しかしその計算結果は大体4桁迄採用できるので工学上の目的には充分である。

4,5層の位層ラーメンに対しても非常に高い精度の

* 北海道大学教授