

論初4. 水理学の40

波高の大きい波の變形に就て

正員 工學博士 本 間 仁*

About the Deformation of Waves with Large Hight

By Masashi Honma, Dr. Engr., Member.

要 旨 波高の大きい水波が水路の急な狭がり、又は屈曲の箇所を通過した時に、波が如何に變形するか、即ちどの部分で波が高く、どの部分で波が低いかを實驗的に調べたものである。その結果によれば波が碎けない程度の高さであれば、狭がりの場合には不連続の箇所から少し下つた箇所に孤立した山が見られ、屈曲の場合にもほど定つた位置に山及び谷が見られた。

1. 波高の大きい波

一般に波の理論では水面の波ならば波高が水深に比較して小さいと考へ、壓縮波ならば平均壓力からの壓力の變化が平均壓力に比較して小さいと假定してゐる。而し之等の波高又は振幅が小さいと言ふ假定が出来ない場合でも、一樣水路又は一樣管内を直線的に傳はる場合の波の變形は理論的に取扱はれてゐる。¹⁾²⁾ 即ちこの様な波では傳播と共に波の形が前後不對稱になつて行き、水面の波では波高が余り大きくなると前面から碎ける傾向を生ずる。

此處にその結果を示した實驗では波形の刻々の變化を測定したのではなくて、各場所毎の最高水位を記録したのであるから、波の碎ける場合には興味のある結果は得られてゐない。従つて此處には波が碎けなかつた場合のみの記録を掲げてゐるが、標壓の傳播等の様な壓縮波の場合にも類似の傾向を豫想する事が出来ると思ふ。

尙本實驗は日本學術振興會の援助によつて行つたものであり、その實施に當つては東京帝國大學助手北村友一、島田勝次兩氏を煩はした。

2. 波の狭がりの實驗

波高の大きい波が幅の小さい水路から急に幅の廣い水路に出た場合の波形の變化を見る爲に、幅 50 cm、長さ約 1 m の矩形断面水路に 圖-1 の様に幅 1.5 m、長さ約 4 m の水路を接續させ、50 cm の水路の上流端には水槽を接續させて、實驗を行ふ場合は水槽内の水面を水路内の水面よりも相當に高くして置き、境の扉を急激に引き揚げて水路に孤立波を送つた。水路底は水平であつて平時は靜水である。

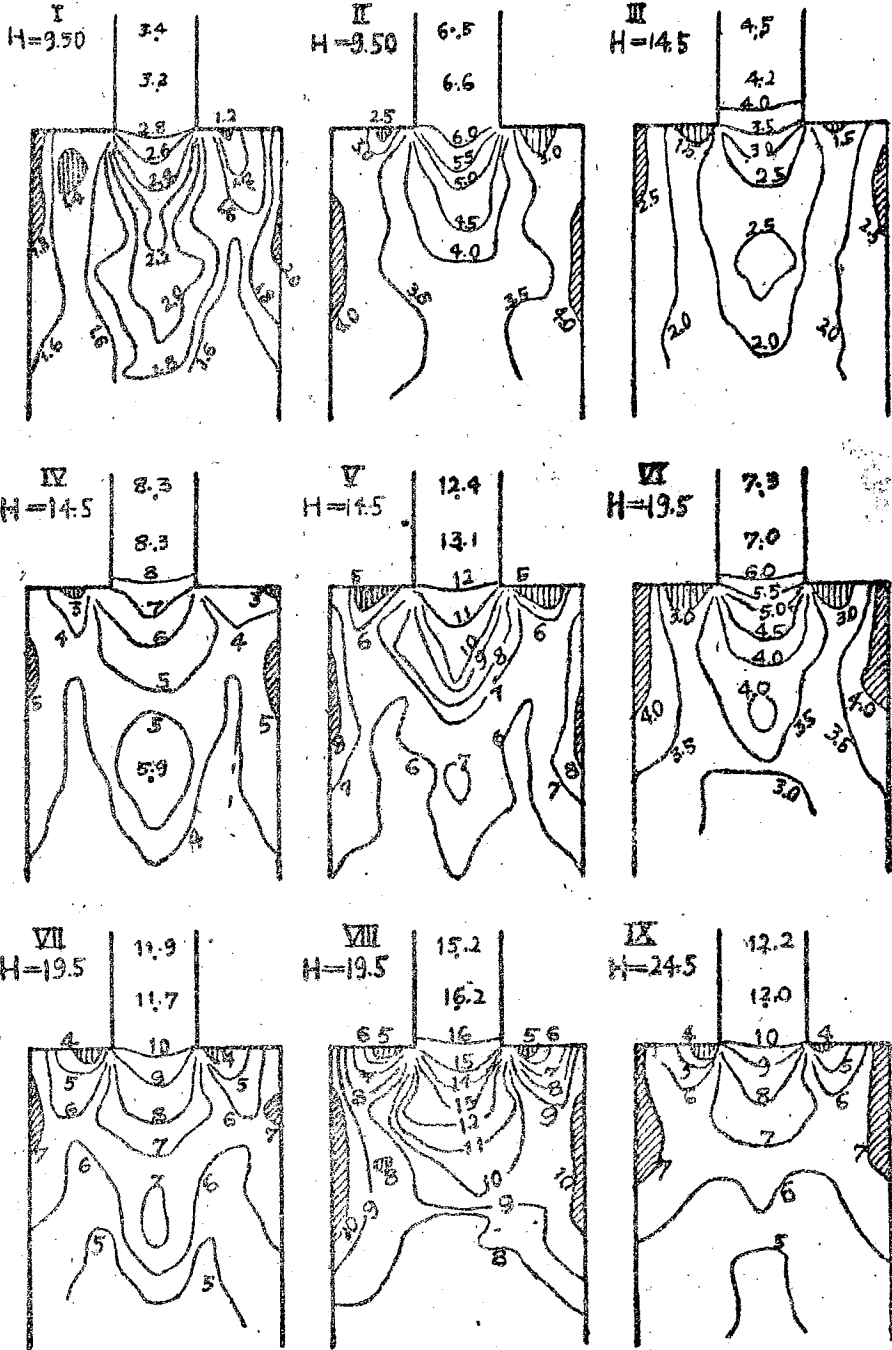
この波の通過による水路内各點の最高水位を記録する爲に、水路の上から底まで鉛直の糸を多數に張り(糸と糸の間隔は縦横共に 15 cm である)、水面には薄めアルミニウム粉末を浮べて置いて、波の通過後に糸に附着したアルミニウムから最高水位を調べるのである。波が狭がつて後に側壁に於ける反射波が大きい時は狭がりの影響を不明にして

* 東京帝國大學教授

1) H. Lamb ; Hydrodynamics (1932), p. 278, 418, 481.

2) W. Durand ; Aerodynamic Theory, vol. III, p. 213.

圖-1. 波高の大きい波の擴がり



しまふ惧れがあるから、幅の廣い部分では側壁に沿つて砂利で斜面を作り、波が反射しない様にした。

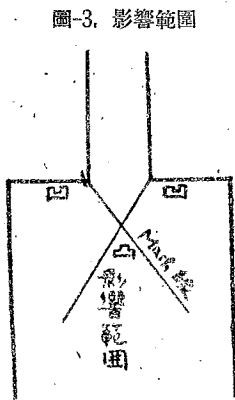
圖-1 はこの様にして得た記録の中の代表的なものであつて、 H は静水の時の水路内水深 (cm), 狭い水路内の數字及び等高線に記した數字は何れも最高水面の静水面からの高まり (cm) である。又斜線を施したのは水面の高まつた場所、縦線を施したのは水面の凹んだ場所を表はす。狭い水路内の數字から見る事が出来る様に、波高は静水時の水深に近いものまで作る事が出来たが、之以上となれば波の前面が碎ける様になつた。

波高の大きくない波が漲る時には、一般に知られてゐる様に 圖-2 の様な形で進み、等高線は圖の點線の様になる。然るに 圖-1 を見ると多くの場合に之とは著しく異つた特徴を持つてゐる事が認められる。即ち波高の大きい波は不連続の位置を過ぎて後、或る距離の處に水面の隆起を現す。この傾向は同様の水路に於ける射流の擴がりの場合³⁾に見られた傾向に似てゐる。又多くの實驗結果から見るとこの傾向は水深が大きくなると現れ難くなる。

上に述べた水面に山の現れる傾向のある事から見ると、水分子の運動は射流に近い事が想像される。即ち水分子の速度を v , 波高を h_0 とすれば Froude 數 F_r はほぼ

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g(H+h_0)}} \dots\dots\dots (1)$$

で表はされ、この場合には大體 $F_r > 1$ になつてゐるのではないかと想像される。然るにこの點に關しては後に或る一つの場合に水分子の運動を實測した結果を述べるが、それから見ると波が餘り變形しない間でも $F_r > 1$ の關係は保たれてゐない様である。



然しこの様に射流に似た傾向を持つと言ふ事から、波高の大きい波では定常的な射流に於ける Mach 波に似た線が考へられ、圖-3 の様にこの線で圍まれた範圍内で波の影響が強く現れるものと思はれる。尙この線の兩側には水面の凹所が認められてゐる。

3. 屈曲水路中の波の實驗

矩形断面の水路が直角の曲りを持つ場合にその中で波が如何に變形するかを見る爲に次の様な實驗を行つた。即ち 圖-4~7 に示した様な幅 50 cm で 2箇所に直角の曲りを持つた水路を作り、之に前と同様な方法で波高の大きい波を送り、屈曲部附近の最高水面の等高線を記録した。送られた波の高さは曲りに入る前の水面の高さからわかる。その結果は 圖-4~7 に示してゐる。

水路底はやはり水平であつて、静水時の水深は $H=9.5, 14.5, 19.5$ 及び 24.5 cm の 4 種である。圖中の數字は前と同じく静水面から最高水面までの高さを表はすもので單位は cm を用ひる。又斜線及び縦線を施した部分は夫々水面の凸形及び凹形を表はすものである。

曲りの箇所の陰になつた部分で水面が低いのは當然であるが、更に何れの場合にもこの二つの凹所を連ねる線上で

3) 土木學會誌, 第 28 卷, 第 8 號, 本間仁 “射流の擴散” 参照。

圖-2. 波高の大きくない波の擴がり方

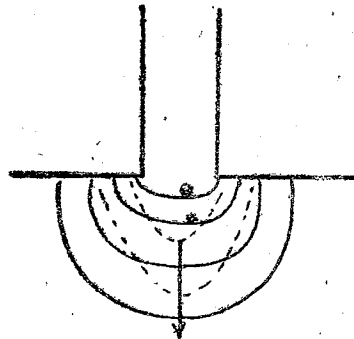


圖-5. 屈曲部での波の變形, 水深 14.5 cm.

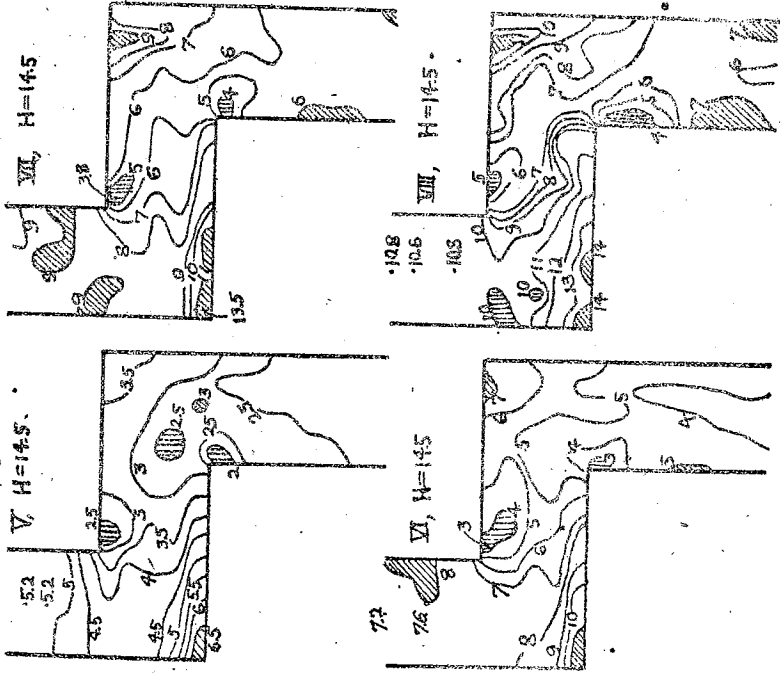


圖-4. 屈曲部での波の變形, 水深 9.5 cm.

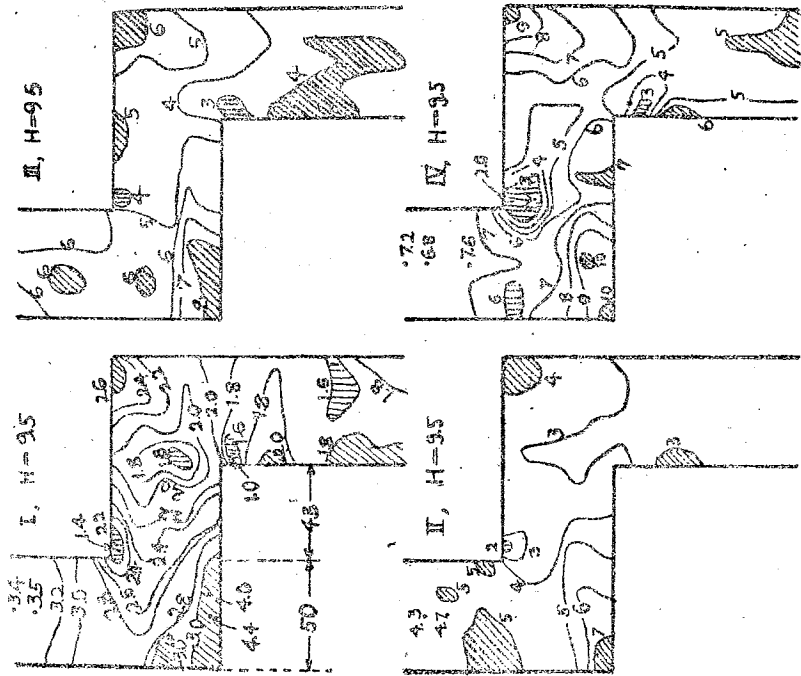


圖-6. 屈曲部での波の變形, 水深 19.5 cm.

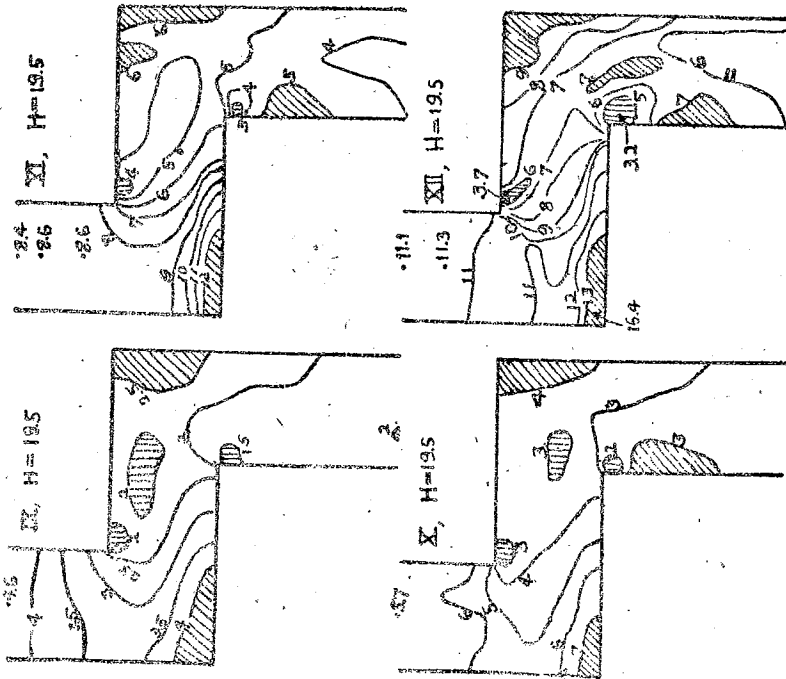


圖-7. 屈曲部での波の變形, 水深 24.5 cm.

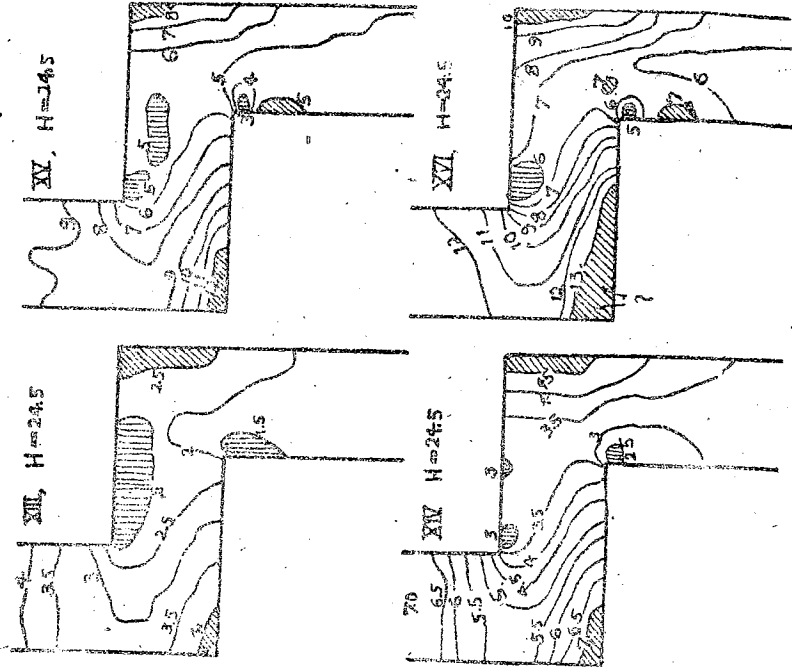
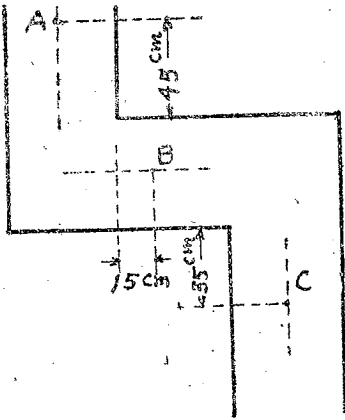


圖-8. 浮子の位置



水面が比較的低くなつてゐる。この性質は二つの屈曲部の間隔が非常に大きくなれば必ずしも豫期出来ない。Mach 波に類似の線の形が等高線の中に認められるのは主として第一の曲りに於てであつて、第二の曲りに於ては認められない事が多い。

水面の高い位置に就ては普通の性質が認められ、特に曲りの陰になる凹所に引き續いて餘り高くない隆起部が認められるが、之は恐らく反対側の壁面からの波の反射によるものであらう。

前にも述べた様に水分子の運動速度は部分的には射流状態に近い事が等高線の形から推察される。そこで圖-7の場合に水面での水分子の速度を波頂が通過する瞬間に於て實測した。その爲には圖-8のA, B 又はCの位置に浮子を浮べ、波が夫々の位置を通過する時に一定時間の露出で寫眞撮影を行ひ、その移動距離から水分子の速度を測定した。露出時間は豫

め検定を行つてゐる。この測定の結果は次の様になつた。

	A 附近の波の高さ cm	B 又は C 附近の波の高さ cm	移動距離 cm	露出時間 sec	水分子速度 cm/sec
A.....	9.6	—	12.2	0.21	61.4
B.....	9.5	6.1 (B)	7.7	0.21	36.7
C.....	9.3	4.7 (C)	4.08	0.21	19.4

尚 B に於ける移動経路は上方に凹な曲線であつた。この結果から夫々の位置での Froude 数を (1) 式から概算すれば、A に於て 0.33, B に於て 0.21, C に於て 0.11 となつて、何れも 1 より遙かに小さい。

然しこの様な問題では (1) の様な形の Froude 数はあまり意味を持たないのであつて、之に代るべきものとしては波の正面に傳はる速度と側方に進む速度との比が考へらるべきものと思ふ。この比が 1 よりも相當に大きくなれば Mach 波に似た性質の等高線が現れる事も考へられる。従つて波高の大きい波ではこの兩傳播速度の比が大きいから、上に述べた様な傾向を持つのであると説明してよい様に思はれる。

4. 結 語

圖-1 及び圖-4~7 は水路の不連続箇所にて波高の大きい波の現す變形の特長を示してゐる。即ち波が高くなる場所及び低くなる場所には必ず一定してゐるが、然し低い波の場合とは多少異つてゐる。擴がりの場合には不連続の位置から少し下つた處に波の高い處があり、屈曲の場合には曲り角の陰が低くて、それに引き續いて多少水面の高い所がある。この傾向に就て著者は波高の大きい波には射流現象に似た性質がある事を認めて、その性質を生じた理由に就ては前節の最後に述べた様にして一應説明したのである。(昭 19. 10. 25. 受付)