

II-82 粗面水路の波の乱流構造

東京工業大学 正員 日野 幹雄

農業土木試験所 正員 大西 亮一

I. 目的 : 乱流の構造は、等方性乱流・jetやwakeのような自由乱流・境界層流や管路流のような壁面乱流など、定常流については理論的にも実験的にも多くの研究が積み重ねられて来ており、十分とは言えないにしても可成の事実が解明されて来ている。しかし非定常流れ—その最も単純なものであり、人間生活にも関連の深い波浪のような周期運動流の乱れについては二三の例(堀川・渡辺(1970)、日野・大西(1970))以外はほとんど研究が行われていない。ここでは、非定常流れ特に周期運動をする流体における乱れの定義と計測と構造を明らかにするために、波の場合について実験を行った。

II. 乱れの定義 : 速度場を場所 x, y, z と時間(あるいは位相) t の関数として $u(x, y, z; t)$ と表わす。いま同一の実験を N 回行い、そのアンサンブル平均として 平均流速を場所と時間の関数として定義する。(kovasznay)

$$\bar{u}(x, y, z; t) = \langle u(x, y, z; t) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u_k(x, y, z; t) \quad (1)$$

波の場合には、実験を繰り返すかわりに、 N 波のアンサンブル平均を採れば良い。次に変動成分は、このアンサンブル平均と各瞬間値の差として

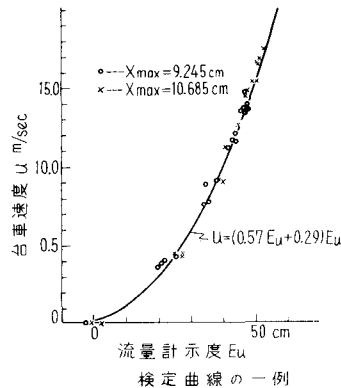
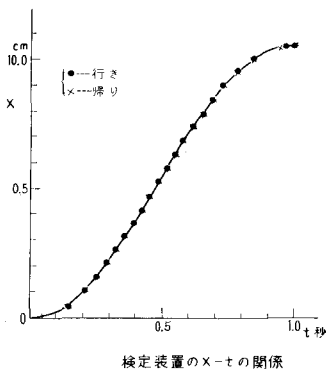
$$u'_k(x, y, z; t) = u_k(x, y, z; t) - \bar{u}(x, y, z; t) \quad (2)$$

$$\bar{u}'_k = \langle u'_k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (u'_k) = 0$$

と定義しうる。したがって、変動の大きさは式(3)のように場所の他に位相の関数でもある。

$$\overline{u'^2}(x, y, z; t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (u'_k)^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [u_k(x, y, z; t) - \bar{u}(x, y, z; t)]^2 \quad (3)$$

III. 実験方法 : 実験水路は長さ $1.8m$ 、幅 $40cm$ 、深さ $60cm$ のフラッター型造波機水槽である。粗度として、 $\phi 5.2mm$ のガラス棒を様粗度として $5cm$ の間隔に水路底の一部 $3m$ の区間に接着した。波高計は非干渉型抵抗線式のものを二本を用いた。流速計として風洞用に設計した熱線型風速計を用いた。



プローブは2~5μの白金コーティングしたタンダステン線に、さらに絶縁塗料を薄く塗るが、フロム・ムッキをしたものを使用した。熱線計は、水流の実験には不適であるというが、これまでの定説であったが、このように処理した熱線計は波の流速測定には十分安定であった。これは、波の軌道運動のため白金線はわりに激み臭が固定しないためと考えられる。

熱線計の検定は、造波機の造波板をはずし、代りに水路レール上のトラバース用台車をつけて、この往復運動を利用した。図-1に検定曲線を示す。

Ⅳ. 結果 : 図-2に式(1)によって定義されるアンサンブル平均流速 $\bar{u}(x, y, z; t)$ と式(3)による乱れの強さの測定結果の一例を示す。この場合、熱線計には方向性はないから、 $\bar{u}$ は流速の絶対値であり、 $\bar{u}$ は乱れのエネルギーとみなすべきである。図-2では、波による乱れは、減速の後半に発生しはじめ、加速時に発達し、やがて、減速の前半で消滅している。

このような測定を x, y, z の多数の位置で行い、乱れの強さの分布と位相による変化の関係を求めた。その一二の例を図-3, 4に示す。図-3は水底より高さ $z=0.7\text{cm}$ での水平面内の乱れの構造断面図であり; 図-4は $x=-0.5\text{cm}$ での鉛直面内の乱れの構造図である。

これらの図から、乱れが粗度要素からの渦として発生・発達し、移動し、そして拡散・消滅して行く過程が明らかである。この測定では、乱れは一度消滅しているように見える。しかし、これは分子粘性による熱への移行のみではなく、遂に長波長の乱れ(流れ)のエネルギー移行分が可成り大きいと考えなければならぬ。

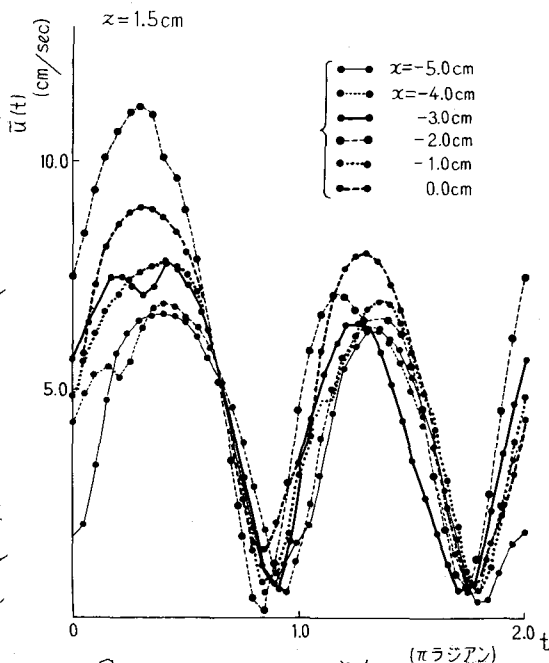


図-26 アンサンブル平均流速

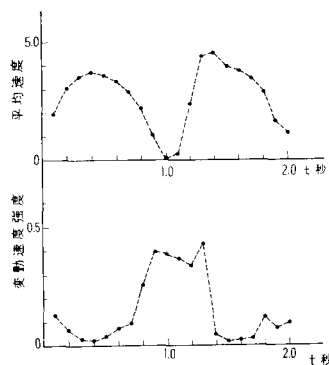


図-2a) 平均速度と変動速度強度

の時間変化($x=1.0\text{cm}, z=0.7\text{m}$)

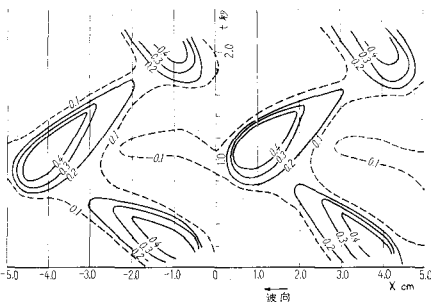


図3 変動速度の等強度分布図 $z=0.7\text{cm}$ 実

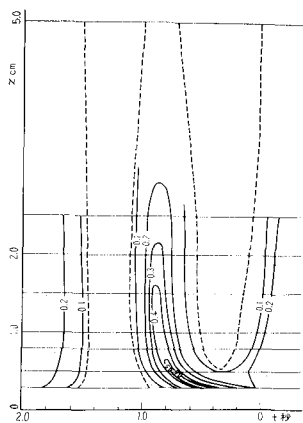


図-4 変動速度等強度分布図 $x=0.5\text{cm}$