

# 水工学オンライン連続講演会の 振り返りから思う 自分の研究の歩みと反省



オンライン講演会の趣旨  
最先端の研究の知見に加えて、  
研究全体の着想や動機，進め方等とし、  
多くの水工学及び関連分野の研究者への刺激と  
研究力向上のための知や姿勢を得る機会、  
また、新たな研究課題を見出す機会となることを期待。



土木学会水工学委員会（2019-2020）  
委員長 清水義彦（群馬大学）

# 水工学オンライン連続講演会

1. 「変化の激しい時代に向けて、水工学研究はどうあってほしいか  
福岡 捷二 先生（中央大学研究開発機構教授）

2. 「私擬治河議～ 一水理学研究者が考える激甚化する豪雨・洪水災害克服への道筋」  
辻本 哲郎 先生（名古屋大学名誉教授）

3. 「何故、気象学にもどっぷりつかってきたか」  
中北 英一 先生（京都大学防災研究所 教授）

4. 水工学論文賞・論文奨励賞受賞者  
論文賞 乾 隆帝（福岡工業大学）

環境 DNA を用いた佐波川および小瀬川におけるアマゴの分布状況の解明と河川水温変動に伴う分布域の変化予測

論文奨励賞 石川 新（京都大学）  
北海道胆振東部地震によって発生した泥流の流動特性

論文奨励賞 田中 智大（京都大学）  
d4PDF による全国一級水系河川流域の年最大流域平均雨量の再現性評価

論文奨励賞 田中 良明（東京大学）  
全球河川モデルに適用可能な物理的洪水防護パラメータの広域自動抽出

## 水工学オンライン連続講演会

5. 「災害多発時代を生きる-レジリエント社会構築に向けて」

今村 文彦 先生（東北大学災害科学国際研究所 所長・教授）

6. 「水理学・水文学の学理の進展と実装への橋渡し」

山田 正 先生（中央大学 教授）

7. 「水工学研究 -防災と環境の調和を目指して-」

小松 利光 先生（九州大学名誉教授）

8. 若手研究者からの講演

「地球規模の海洋プラスチック汚染における水工学研究」

片岡智哉（愛媛大学大学院理工学研究科 准教授）

「土砂・洪水複合災害の予測を目的にしたシミュレーションに関する研究」

山野井一輝（京都大学防災研究所 助教）

「可視光衛星を用いた未観測地域における流量推計とデータ同化」

石塚悠太（マサチューセッツ大学工学研究科 博士後期課程）

9. 「三段階論に基づく持続的な流域管理体系の提示と若い人への期待」

玉井 信行 先生（東京大学名誉教授）

ご講演頂きました先生方、ありがとうございました。

## 今回（10回）オンライン講演会の趣旨

オンライン講演会で、先生方が言いたかったことの一部を、自分なりに理解し勝手に解釈して、その中で共感したことを思いながら、これまでの自分の研究を振り返りたいと思います。

そして、今までの先生方の講演からは、みなさんが、研究者として、「そうでありたい」「そのようになりたい」という姿を頂きましたが（これがオンライン講演の趣旨）

そこで、このあたりで、「そんなじゃ、だめでしょう。」

とみなさんが思うこと、そして、自分自身がそう思うことから、自身の反省を述べたいと思います。

これが若い研究者みなさんのためになるかどうかは、甚だ疑問ですが。

水工学研究の今後のために –スパーシニアから若手，研究者，技術者への思いと期待–

■水工学研究の方向性も技術も内向きになり過ぎていないか？  
多くの研究者がやるからではなく，やらなければならない研究の動機を

■研究はもっと批判的で刺激的になってほしい。  
シニアがもっと見本を示す。きびしいながらも魅力を感じさせるシニアとして若い人をしっかり育ててほしい。

福岡先生より

■オンジョブトレーニングではない勉強の大切さ。  
様々な研究過程の中でトレーニングされたことがつながって  
現実の問題に答えを出す。

■みんながやっているからと言って同じ方向に向かないこと。  
論文は書くけれども，アイデアを議論する場が少ない。

辻本先生より

■かつては多くの先生方や研究仲間と研究について議論する場  
が日常的であった。

■最近の学会活動，研究会に活気や覇気を感じない。  
積極的な意見の主張，議論を行い，そこから発展で世界に挑む。

山田先生より

■ 基礎・応用・実用のバランス (T型 $\times$ 2= $\pi$ 型) をうまく取っていくこと。  
研究は常に「何のために？」と自分に問うこと。

小松先生より

■そして、広く総合的にモノを考えながらも、  
もの事の本質を見抜くことが大切。

■災害対応サイクルの中での災害科学-プロセスにおける事象を解明し、  
その教訓を一般化・統合化する。

今村先生より

■リサーチ・クエスチョンが大切。良い研究課題を  
を見つけるには、様々な専門家との議論で時間を  
かければかけるだけ良い研究が生まれる。

■若いときは、限界・分野境界など意識せずに挑戦したいことをやる。  
(大気科学基礎のバイブルをむさぼり読む。)

■40代になれば、もっともっと自由にやりたいことをやる。  
そして、先を見据えた学問への貢献を第一にする。

中北先生より

■「より本質的な段階へ近づくとは何か？」に目を向け、  
努力をしてほしい(現象論, 実体論, 本質論的の3段階論理体系)。

玉井先生より

■自分に関連した研究及び日本の文化と歴史に関して  
自分の言葉で語る - シニア研究者とも深いところまで話すことができる。

# 私の履歴・先生方との出会い

みんな、先生が付くので敬称略としました

## 群馬大・建設工学科（一期生）1979-1983

江崎一博（貯水池の堆砂予測，土木研究所・江崎の式）

小葉竹重機（タンクモデルの総合化，気象庁の土壌雨量指数，大雨・洪水警報の基準）

## 東工大（修士）1983-1985

福岡捷二（蛇行，交互砂州，河岸侵食，非平衡流砂のとき）  
「水流によるせん断応力分布と交互砂州の平衡波高に関する研究」（修論）

- ・湾曲水路での交互砂州の変形，水衝部発生
- ・砂州の非線形解析（山坂昌成-博士課程）

水理研究会-東工大で毎月開催

（吉川，林，日野，福岡，玉井，池田，澤本，山田，砂田，灘岡，石川，浅枝・・・）

## 流砂は水理の王道

（福岡先生は1985，土研・河川研究室長へ）

## 京大（助手，水理学研究室）1985-1989

中川博次，柁津家久（乱流），村上正吾（流砂）

辻本哲郎（金沢大，流砂から流れ，基礎研究とフィールド研究の興味）

北村忠紀（金沢大学生，京大，名古屋大助手）

1988, はじめてのひとり海外出張

(Wallingford, Karlsruhe, Stuttgart, Yatad など3週間以上の旅)

学位（京大，1992）：  
種々の河床粗度形態を有する  
開水路流れの構造に関する研究

## 愛媛大（助手）1989-1991

鈴木幸一（流砂，構造物周辺の水理）

## 群馬大（助手，助教授，教授）(1991-)

- ・粗度急変流，植生と浮遊砂濃度分布，
- ・植生帯を伴う開水路流（平面流の組織的規則性乱流構造），
- ・高水敷植生（3次元性），☆河原能久（当時東大）応力代数モデルの数値解析を伝授して頂いた。
- ☆Andreas Muller, スイス連邦工科大ETHZ（1994-1995, 学振派遣研究員），植生を伴う3次元開水路流れ，PTV
- ・交互砂州と植生，河床低下による低水路形成
- ・個別要素法による流砂（粒子間衝突と応力分布），流木群流動集積過程（長田健吾-博士課程，現・阿南高専）
- ・フィールド研究，河道内樹林化（洪水かく乱が生む植生化，動的樹林化），  
砂州掘削による樹林化対策，水衝部対策など（岩見収二-博士課程）
- ・大型水路実験，複列砂州の変形現象（加藤千恵-博士課程）

☆福岡捷二（河川流域技術研究会，水理研究会）

☆吉川秀夫，山本晃一（河川環境管理財団研究会），関東地整の行政技術者（利根川上流のリバカン）

☆宮村忠，水害・治水と水防の勉強（中条堤，カスリーン台風，利根川研修），川池健司（当時長崎大）中条堤の機能-非構造格子系氾濫解析の伝授

1992, 辻本先生と海外出張（約3週間の旅）EPFL, Karlsruhe(River sedimentation), TUM, ETHZ

種々の河床粗度形態を有する  
開水路流れの構造に関する研究

平成4年10月

1992 清水 義彦

## 学位論文の目次

- ・ 相対水深の小さな流れ（大きな粗度の流れ），  
粗面浸透層を伴う流れ場  
（大きなビー玉河床の水路）
- ・ 直立性植生層に覆われた路床上の流れ場  
（マッチ棒の行列に変えた）
- ・ 直立性植生層に覆われた路床上の流れ場  
の数値計算
- ・ 河床粗度形態の空間的变化に伴う  
流れ場の遷移過程

指導教員

中川博次先生・辻本哲郎先生

当時、滑面乱流（組織乱流として緻密な研究）に活気があって、粗面乱流には“むしろ慎重”な雰囲気？

辻本流・流砂研究は、村上正吾先生、後藤仁志先生（当時学生）が継承

京大着任当初、何か与えられると思ったら（待ちの状態），中川先生からは「何をやりたいか自分で考えなさい」。

流砂の研究（辻本先生），乱流の研究（柁津先生）？

“流砂につなげるためにも、粗面流れ構造の基礎研究を”したいと言いました。

“辻本先生のもとで“（流れの研究への志向、緩和距離の確保）

辻本先生曰く、“ふつうの研究者になってほしくない”と、くぎを刺された。

# 粗面浸透層を伴う流れ場の構造 (大きなビー玉河床の水路)

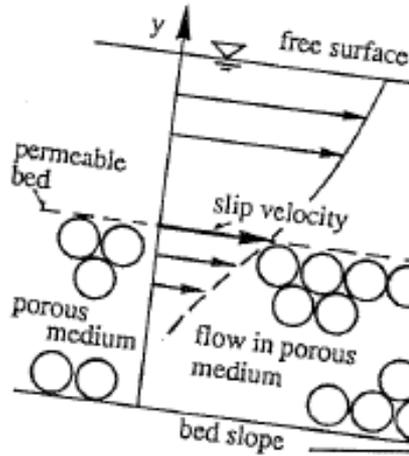


Fig.1 Definition sketch

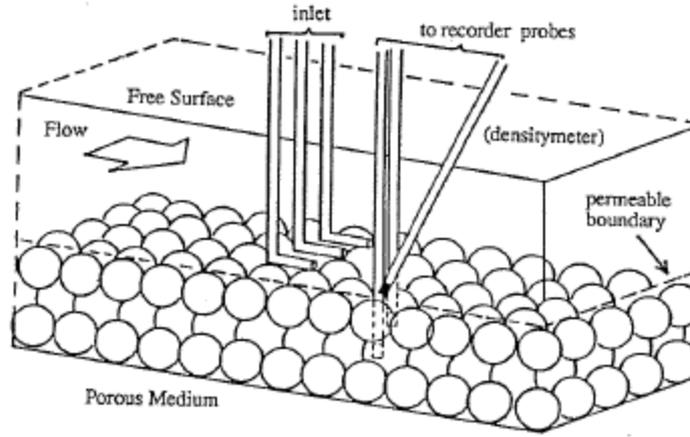


Fig.7 Setup of mass-dispersion test

掃流砂運動の場合である  
インターフェイス  
少なからず表層浸透層  
の影響を受ける  
であろう

平均流すら浸透層の中の計測は難しい

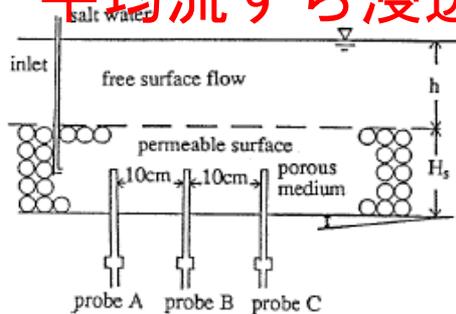


Fig.4 Measurement of seepage velocity

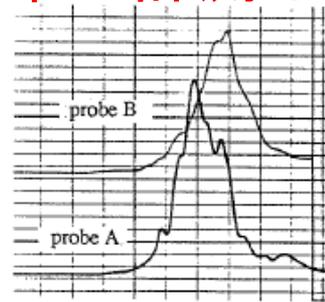


Fig.5 Example of recorded signal

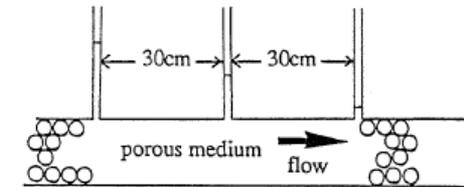


Fig.2 Setup of the permeability test

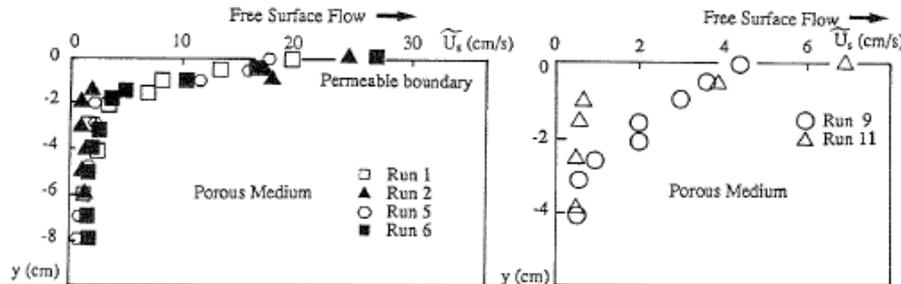


Fig.6 Velocity profile measured in porous medium

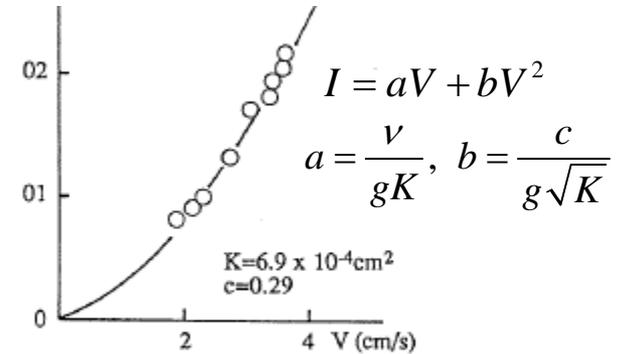
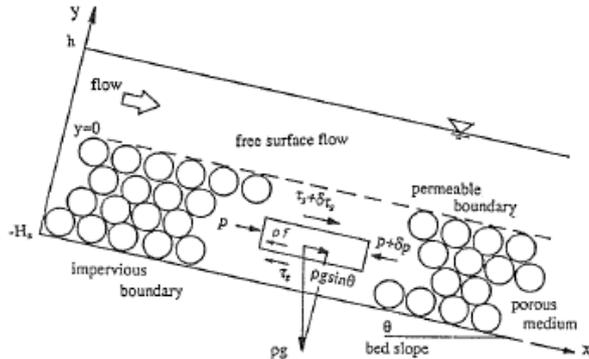


Fig.3 Relation between  $I_e$  and  $V$  obtained by permeability test

# Macroscopic modelling of flow in porous medium

理論ではレイノルズ応力も定式化できる

$$\left[ \left( \tau_s + \frac{d\tau_s}{dy} \delta y \right) - \tau_s \right] \delta x + (\rho g \sin \theta - f) \delta x \delta y = 0$$



浸透層内流速分布はなんとかOK

Fig.10 Force balance in porous medium

$$U_{s2} = (U_{slip} - U_{s1}) \cdot \exp(\beta y) , \quad \beta = \sqrt{\frac{c}{2\alpha_0 K}}$$

$$\tau_s(y) = \tau_0 \cdot \exp(2\beta y) , \quad \tau_0 = \sqrt{\frac{\alpha_0 c}{2}} \rho (U_{slip} - U_{s1})^2$$

レイノルズ応力も出てくるのに測れない！

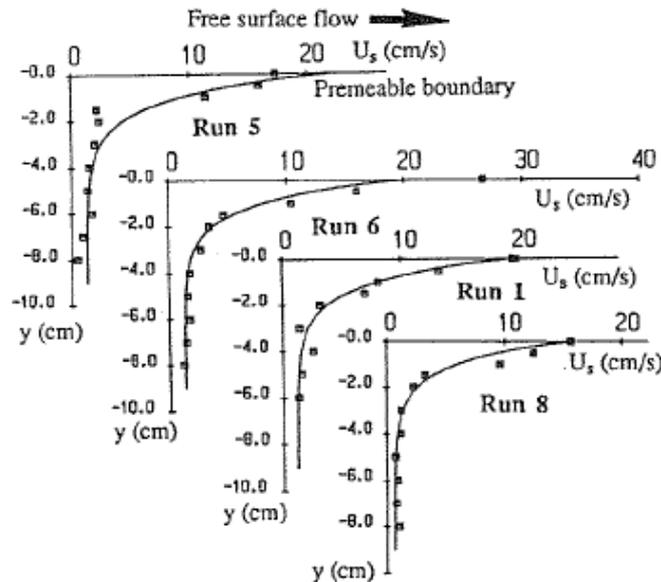


Fig.13 Comparison between measured and calculated velocity distribution in porous medium

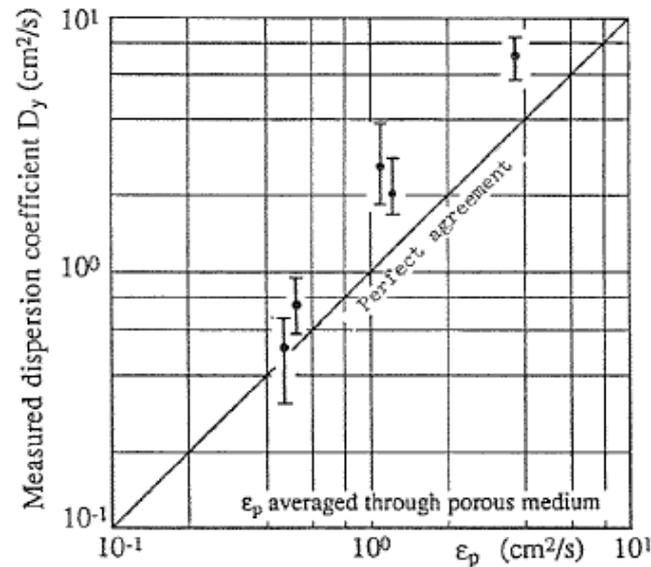
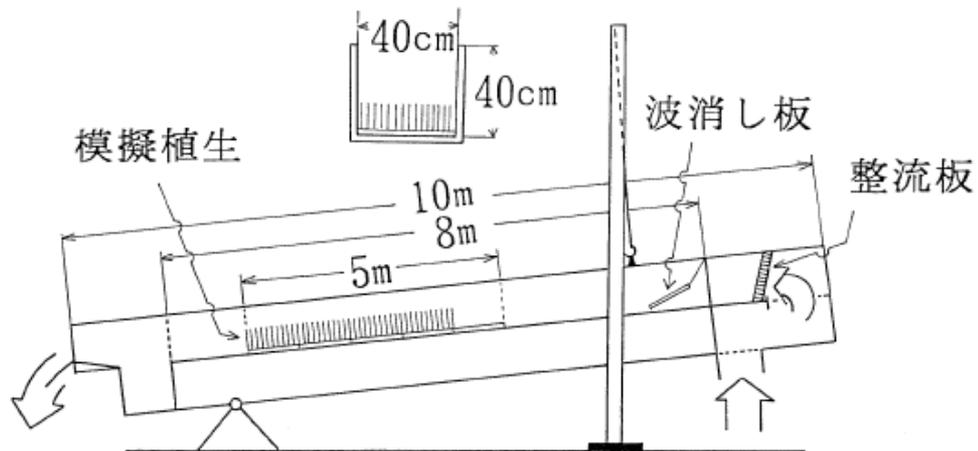


Fig.14 Comparison between measured dispersion coefficient and eddy kinematic viscosity

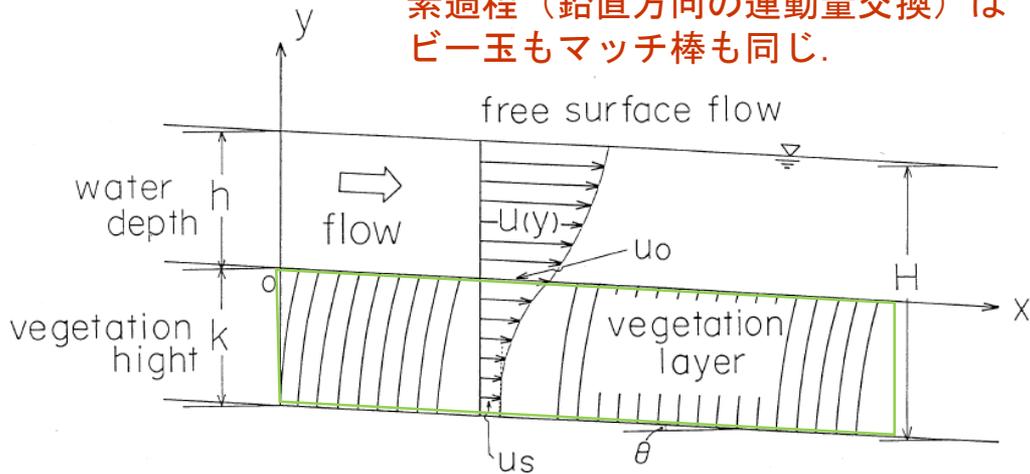
# 直立性植生層を伴う表面流の構造

水路断面



実験装置

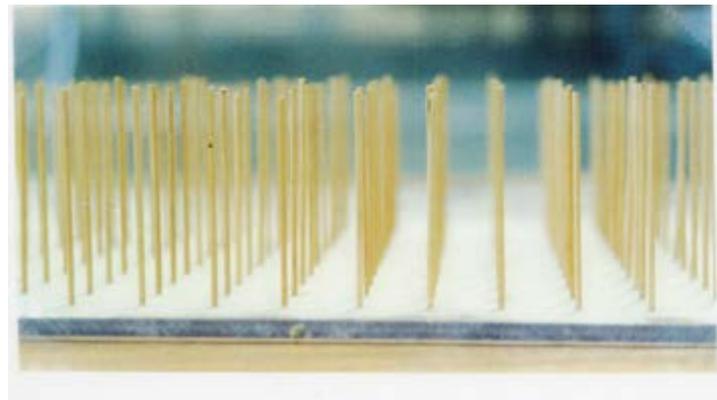
素過程（鉛直方向の運動量交換）は  
ビー玉もマッチ棒も同じ.



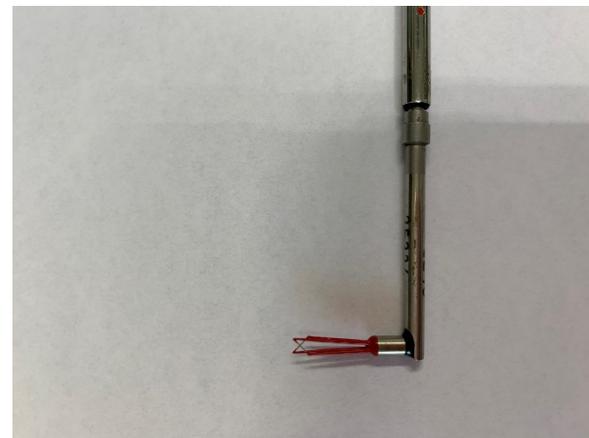
座標系（流れの概念図）の設定

## 研究の動機

「平均流の構造を知るためにも  
“乱れ”を測りたかった。」



植生層（マッチ棒の群）なら  
ホットフィルムが入る！



植生の配列は千鳥配列はだめ！！

測ることの楽しさと、これから現象を考える要素、素過程がどんどんでてくる

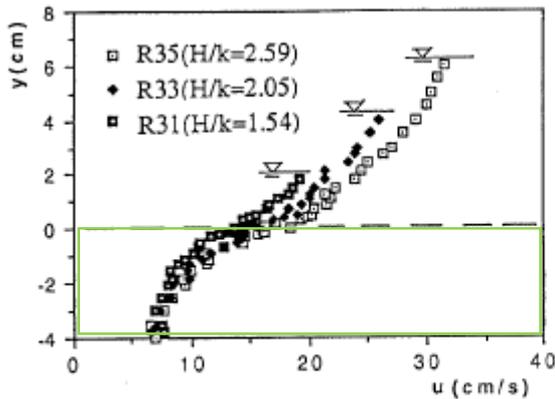


Fig.2(a) Velocity distribution ( $H > k$ ).

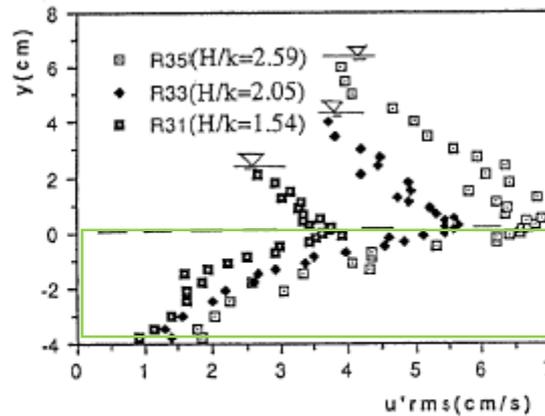


Fig. 2(b) Turbulence intensity ( $H > k$ ).

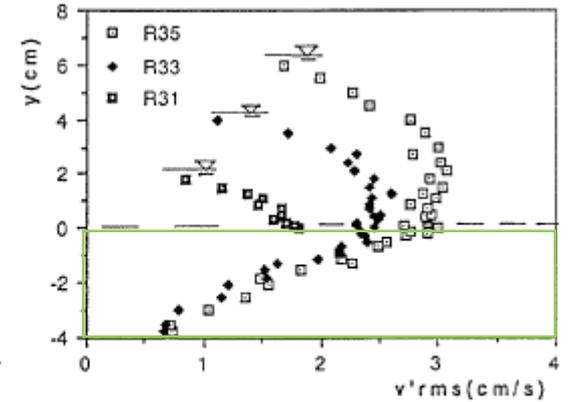


Fig. 2(c) Turbulence intensity ( $H > k$ ).

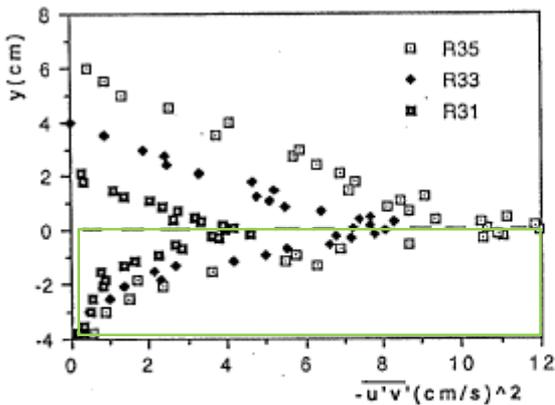


Fig.2(d) Reynolds stress distribution ( $H > k$ ).

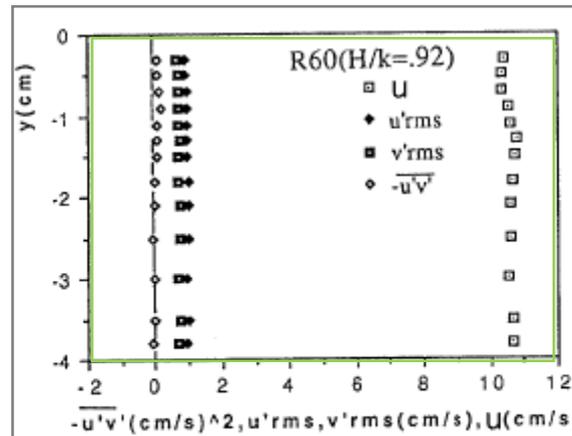


Fig.3 Distribution of characteristic quantities of turbulent flow ( $H < k$ ).

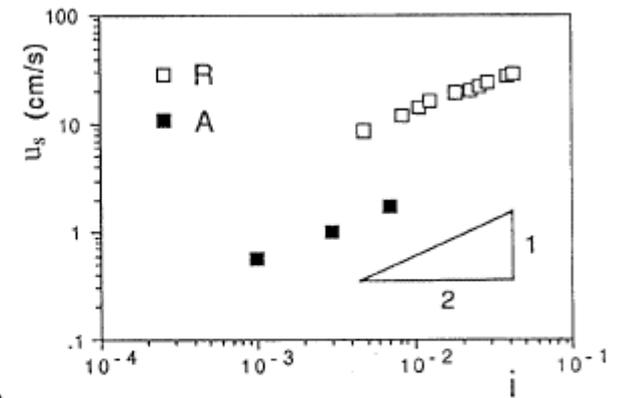


Fig.4 Relation between  $u_s$  and  $i$ .

清水・辻本・中川,  
土木学会論文集438, 1991.

表面流を伴わない場合は、乱れの相関構造のない浸透流になる！

# 平均流速もレイノルズ応力もきれいな指数関数で表現できる

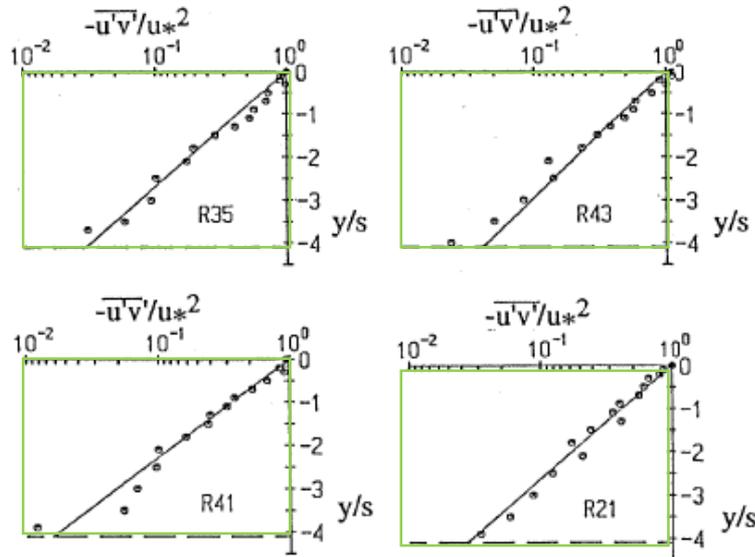


Fig.5 Reynolds-stress distribution in vegetated layer.

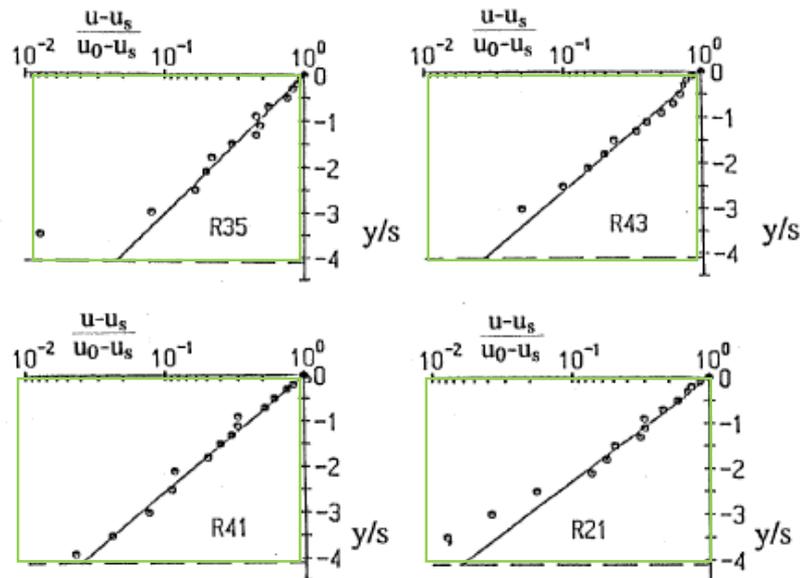
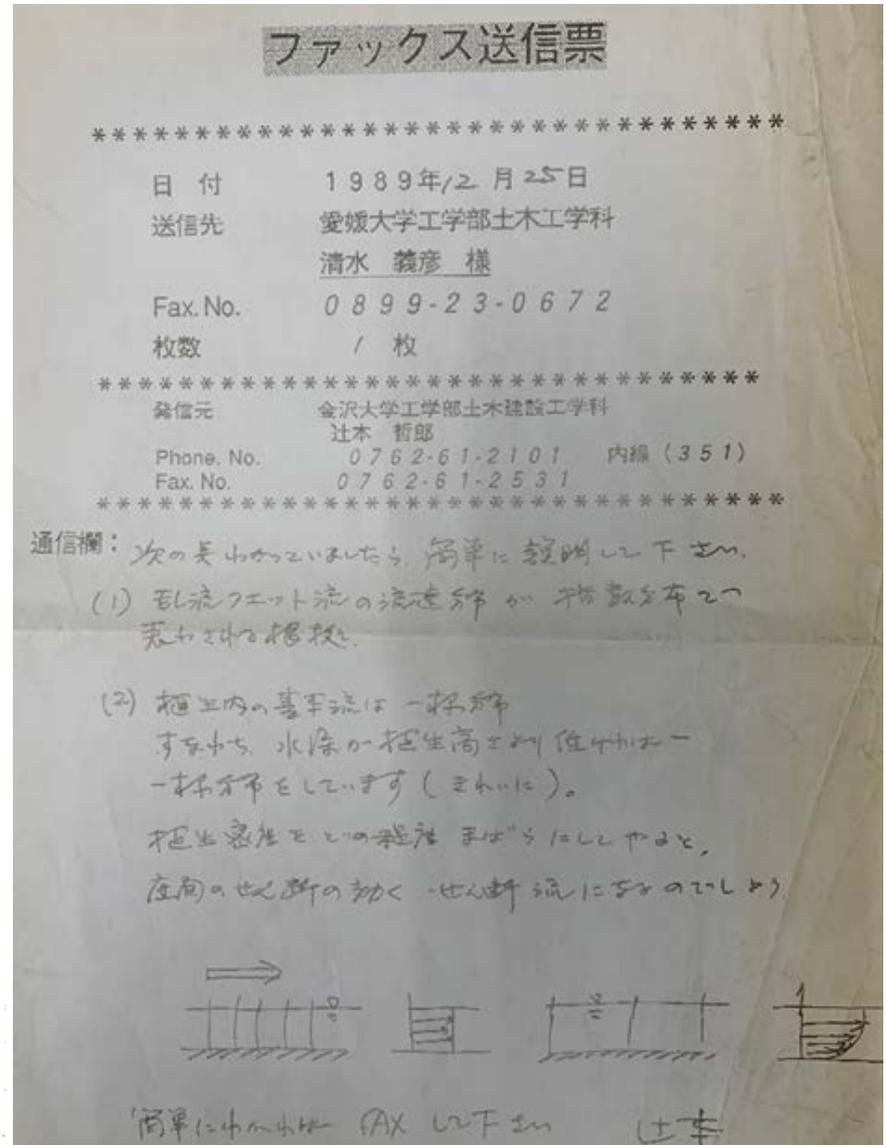


Fig.6(a) Velocity distribution in vegetated layer (R series).



内心は自慢しながらも結果を見せるといつも課題や難題が返ってくる!

乱流モデルを取り込んだ数値計算の必要性（興味？）を感じ、勉強した3冊

Engineering Calculation Methods  
for Turbulent Flow

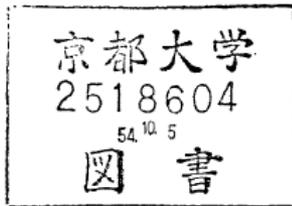
PETER BRADSHAW  
*Department of Aeronautics  
Imperial College of Science and Technology  
London*

TUNCER CEBECI  
*Mechanical Engineering Department  
California State University*

Lectures in

Mathematical Models  
of Turbulence

B. E. LAUNDER and D. B. SPALDING  
*Department of Mechanical Engineering,  
Imperial College of Science and Technology,  
London, England*



持出厳禁図書

No. 198/年月日

水理学研究室

1972



To Dr. Shimizu  
in gratitude for  
all his help during  
our visit in Kyoto  
Wolfgang Rodi

TURBULENCE MODELS AND THEIR APPLICATION IN HYDRAULICS -  
A STATE OF THE ART REVIEW

by

Wolfgang Rodi

Institut für Hydromechanik  
University of Karlsruhe  
Karlsruhe, Federal Republic of Germany

Second revised edition, February 1984

All rights reserved. No part of this publication may be reprinted, reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any information storage or retrieval system, without permission from the Publisher.



研究の追求性というよりは  
道具としての必要性

# 植生層を伴う路床上の2次元流れ場の数値計算

(レイノルズ応力まで知りたいのでk-εモデルにした)

## 粗度層の空間平均化による定式化

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = g \sin \theta - \frac{\partial (P)}{\partial x (\rho)} - F_x + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\Gamma \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right) \quad (7.1)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \cos \theta - \frac{\partial (P)}{\partial y (\rho)} - F_y + \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2\Gamma \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad (7.2)$$

$$U \frac{\partial k}{\partial x} + V \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \left( \frac{v_t}{\sigma_k} + v \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \left( \frac{v_t}{\sigma_k} + v \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right) + P_k - \epsilon + C_{fk} (F_x U + F_y V) \quad (7.3)$$

$$U \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \left( \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} + v \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \left( \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} + v \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right) + \frac{\epsilon}{k} [C_{1\epsilon} (P_k + C_{fk} (F_x U + F_y V))] - C_{2\epsilon} \quad (7.4)$$

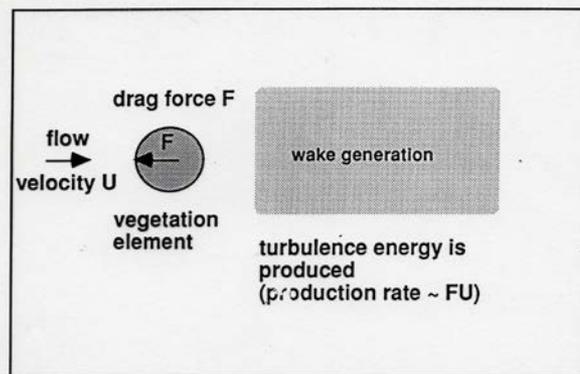
ここに、 $\nu$  : 動粘性係数,  $g$  : 重力加速度,  $\theta$  : 水路床勾配角,  $C_{fk}$ ,  $C_{f\epsilon}$  :  $k$ ,  $\epsilon$  の輸送式中の形状抵抗項にかかるモデル定数であり、また、

$$\Gamma \equiv v_t + \nu$$

$$P_k \equiv v_t \left[ 2 \left( \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right) + \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 \right]$$

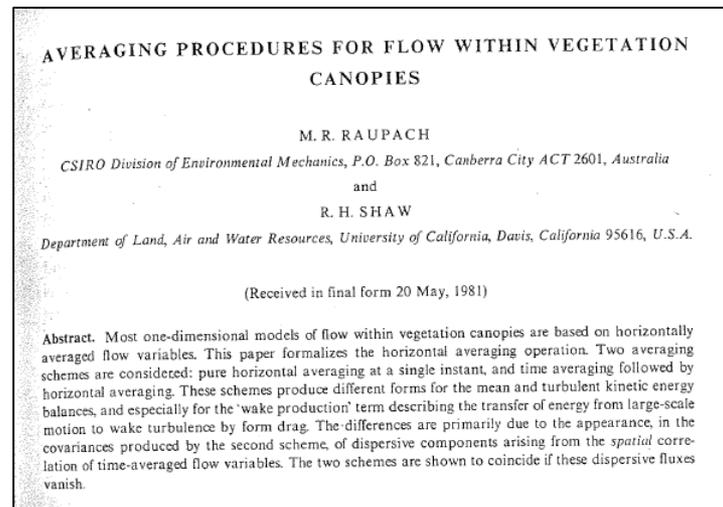
$$F_x \equiv \frac{1}{2} C_{Dx} \lambda U \sqrt{U^2 + V^2}$$

$$F_y \equiv \frac{1}{2} C_{Dy} \lambda V \sqrt{U^2 + V^2}$$

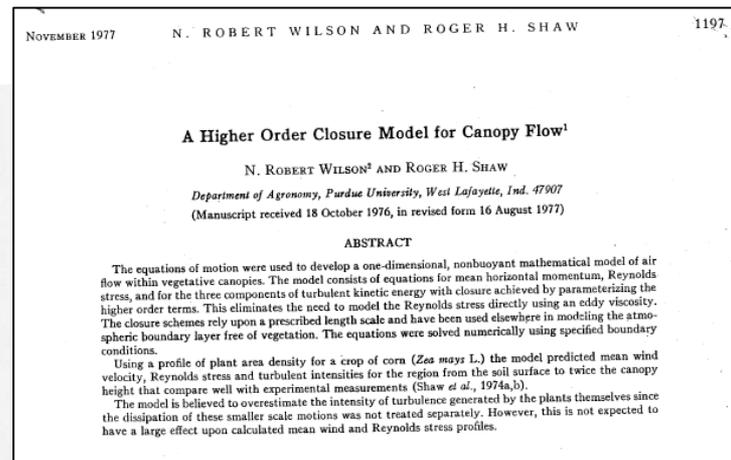


密生度 ( $\lambda$ ) の概念を入れたが空間的均一性の議論がいつも付きまとう。

(清水・辻本・中川, 土木学会論文集No. 447/II-19, 1992)



Boundary Layer Meteorology 22 (1982)



Jour. of Applied Meteorology 16 (1977)

# 計測値と数値計算の対応

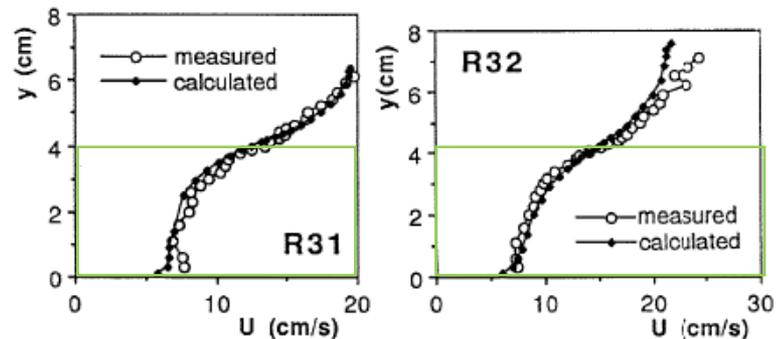


図 7-2 平均流速分布 (計算値と実測値の比較)

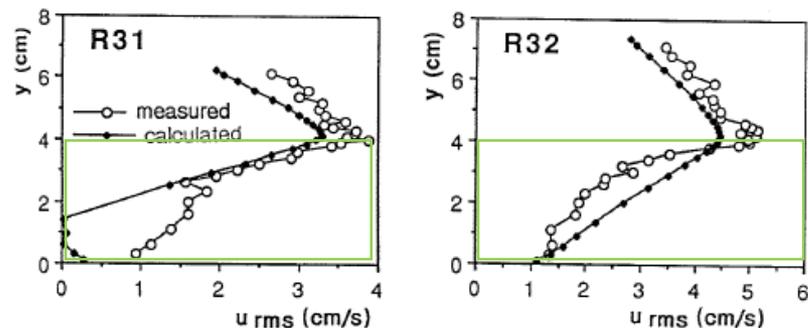
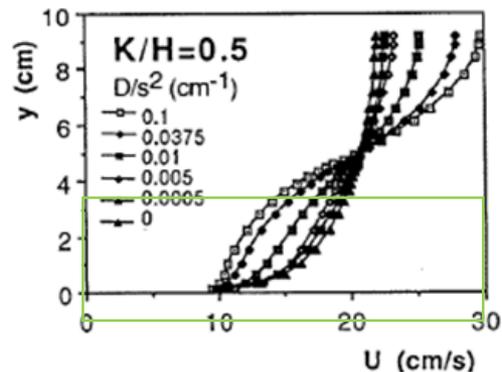
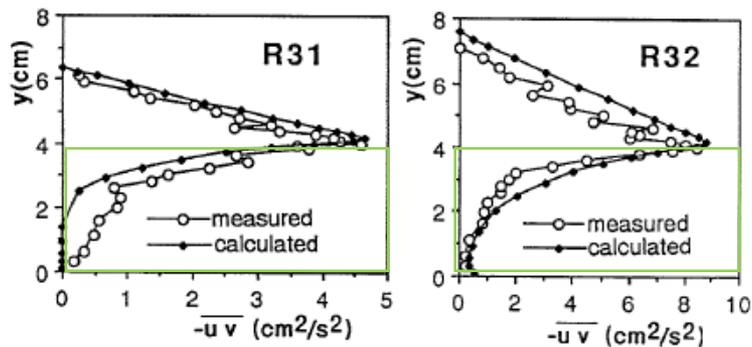
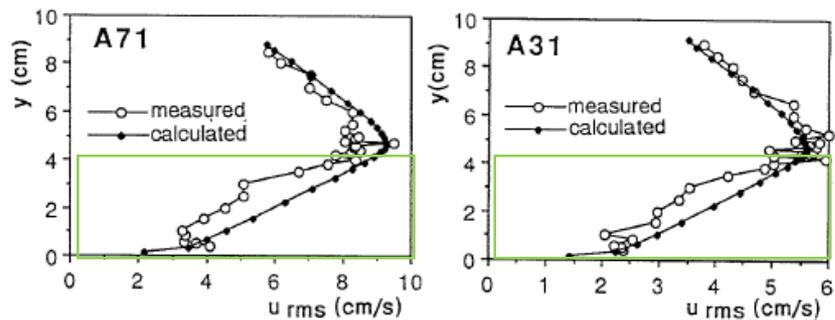
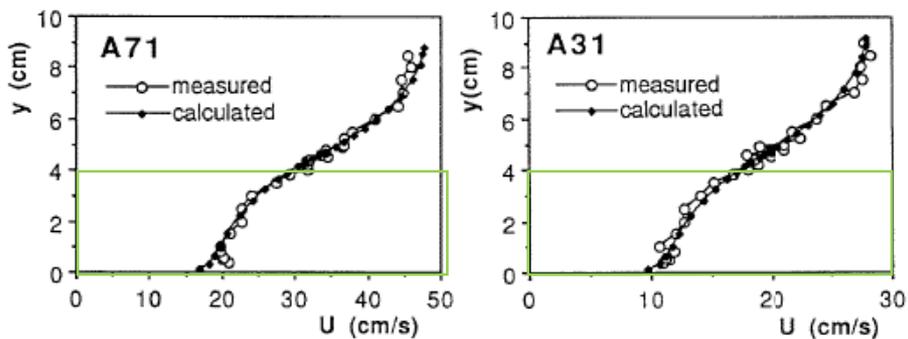


図 7-8 縦断方向の乱れ強度分布



密度を変化させた計算結果  
(数値実験の有効性を感じる)

# 植生区間に入る 遷移過程はどうか。 (実験と数値計算)

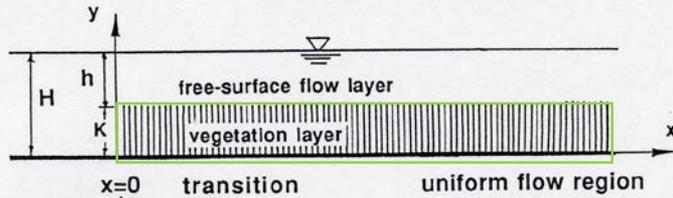


図 8-1 概念図

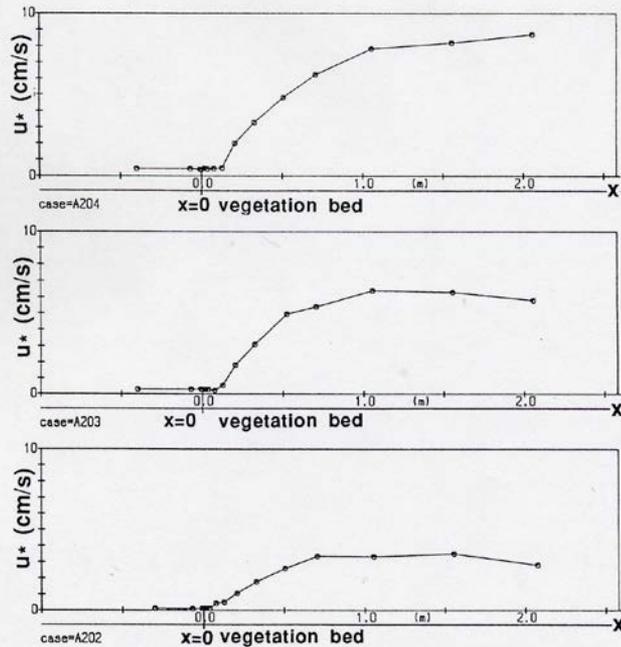


図 8-4 植生層上の摩擦速度の流下方向変化

## 内部境界層の発達過程

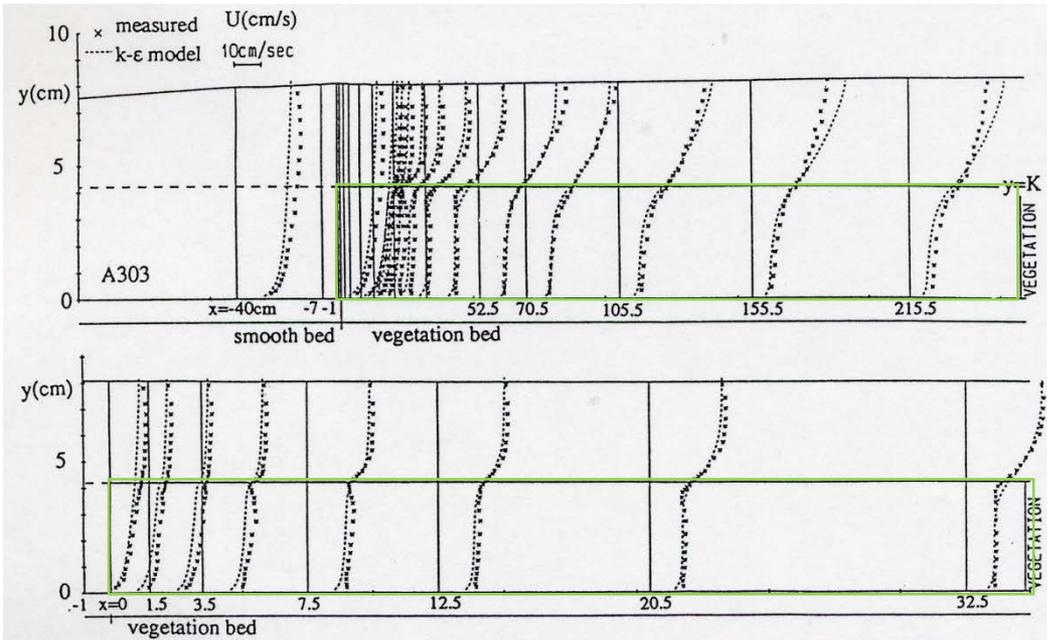


図 8-7 平均流速分布の遷移過程 (計算値と実測値の比較)

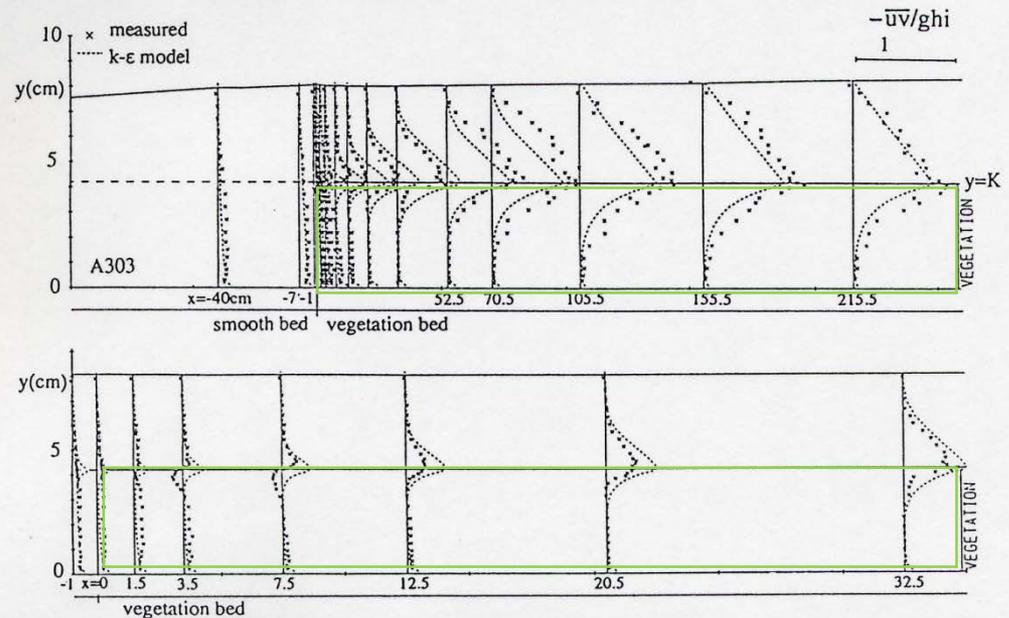


図 8-8 レイノルズ応力分布の遷移過程 (計算値と実測値の比較)

# 粗度急変流におけるレイノルズ応力の遷移過程

植生層を極端に小さくすれば  
通常の粗面流も扱える数値解析？

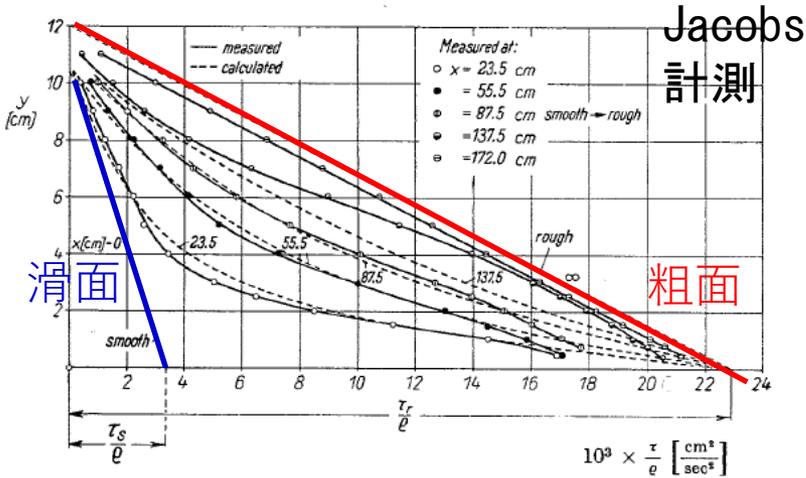


Fig. 21.14. Variation of shearing stress in the boundary layer on passing from a smooth to a rough portion of wall, as measured by W. Jacobs [27]

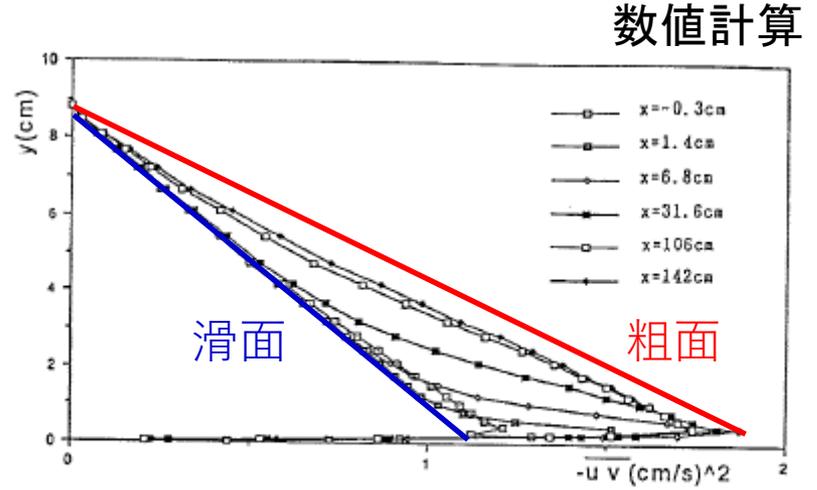


図 8-15 滑面から粗面へのレイノルズ応力の遷移過程 (数値計算)

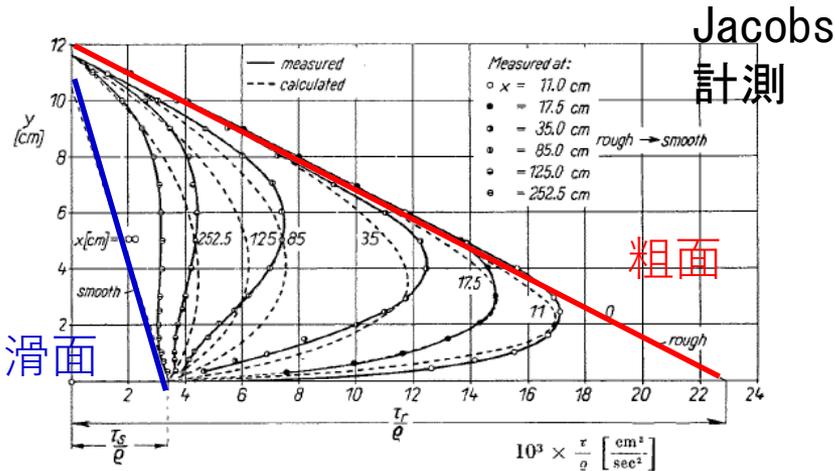


Fig. 21.15. Variation of shearing stress in the boundary layer on passing from a rough to a smooth portion of wall, as measured by W. Jacobs [27]

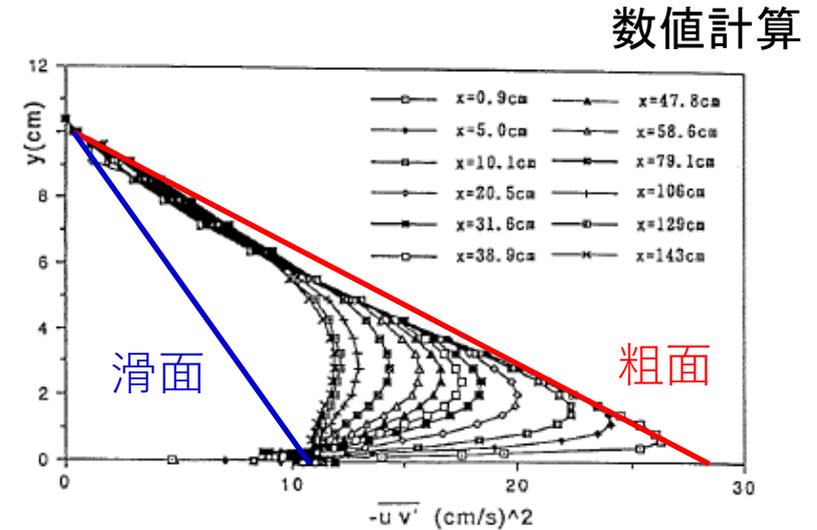


図 8-16 粗面から滑面へのレイノルズ応力の遷移過程 (数値計算)

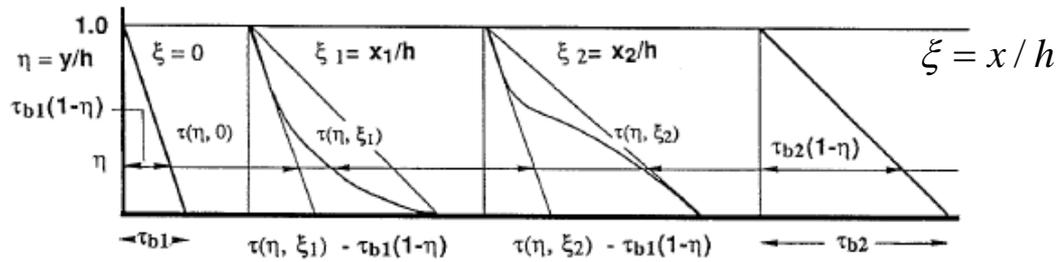


図 8-13 緩和モデルの考え方

底面せん断応力に対するレイノルズ応力分布の変化過程についてのインパルス応答は式(8.3b)となり、このときレイノルズ応力分布の変化過程は式(8.3a)の形で書ける。

$$\tau(\eta|\xi) = (1-\eta) \int_0^{\infty} \tau_b(\xi-\eta) \cdot g_R(\delta|\eta) d\delta \quad (8.3a)$$

$$g_R(\xi|\eta) = \frac{1}{\Lambda(\eta)} \exp\left[-\frac{\xi}{\Lambda(\eta)}\right] \quad (8.3b)$$

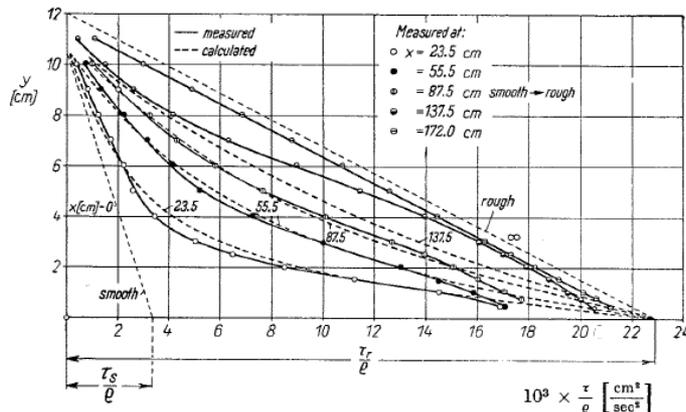
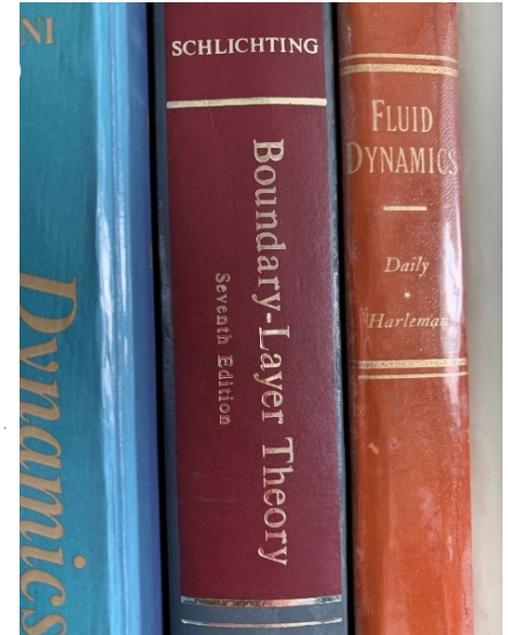


Fig. 21.14. Variation of shearing stress in the boundary layer on passing from a smooth to a rough portion of wall, as measured by W. Jacobs [27]

### Jacobsの実験

- 植生流れの数値計算を粗面流れに援用
  - 内部境界層の発達（遷移過程）は応答遅れ（緩和過程）。数理モデルで表現できる。
- 現象の理解が進み、  
 ラムダΛ（緩和距離）の特性を踏まえれば、  
 この枠組みで粗度急変流の遷移を議論できる。  
 （普遍化できる）

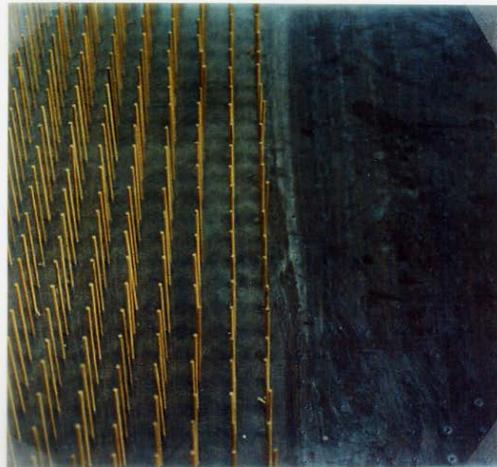
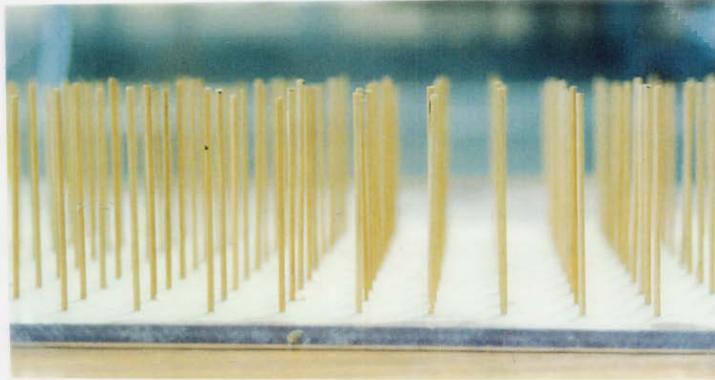
（Boundary-Layer Theory より転載）

（辻本・清水，土論497/II-28，1994）

# 横断植生モデルの水理実験

植生という実態（現象）よりも測りやすいことを優先

（一方で、浸透層が植生の水理的本質でもあること）



植生のモデルを  
スポンジや  
針金の束ではだめ  
竹ひごが一番

竹ひごを格子状に配列する

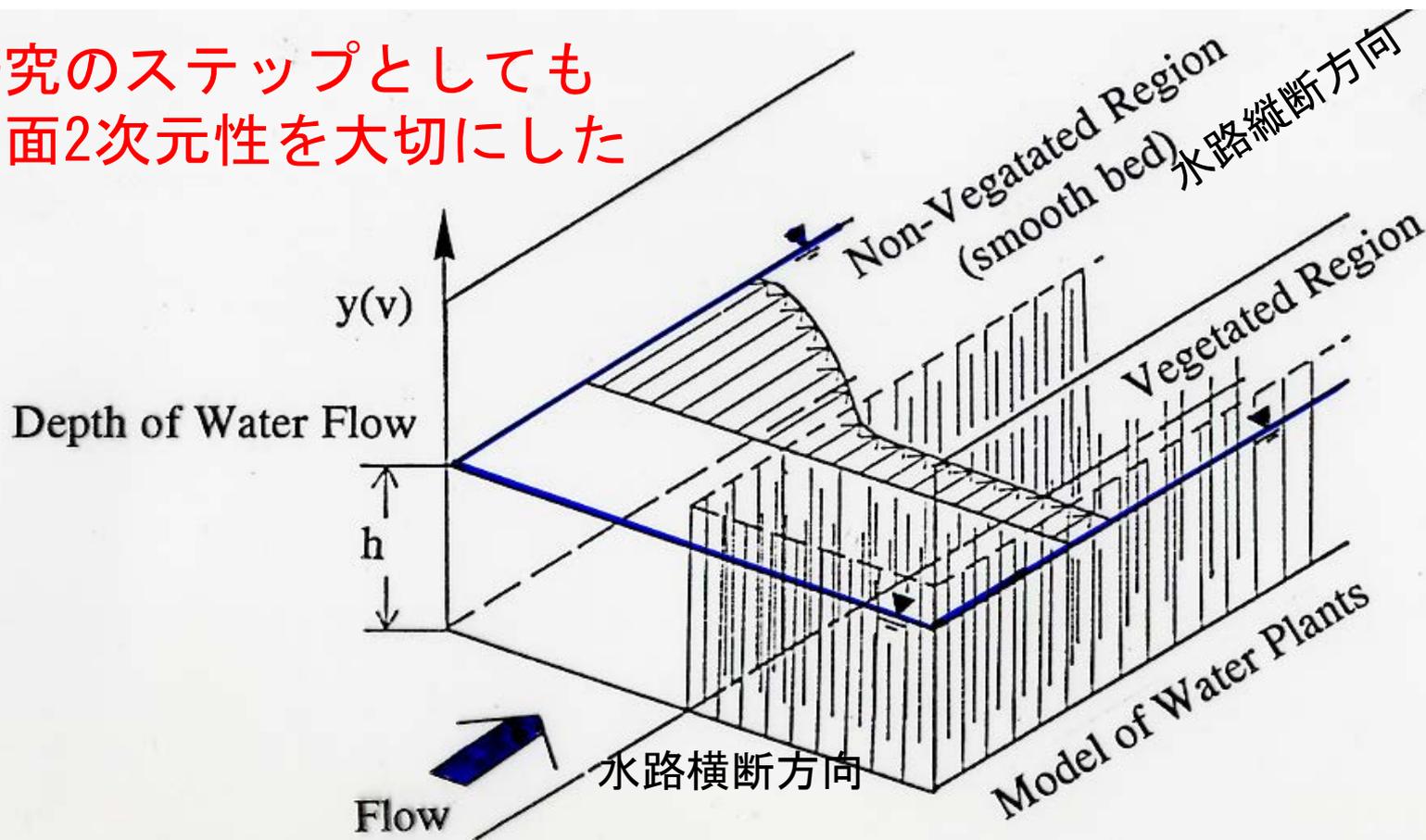


水路横断面内植生について、福岡先生、藤田光一先生の研究は抵抗評価に主眼をおいて先行、これを混合係数として取り込み、準2次元流解析とした標準化へ（土研・河川研究室）

# 水路半断面に植生帯を伴う流れの構造

水路の半分が植生域に覆われた流れを調べる  
(ただし、植生域は水没しない)

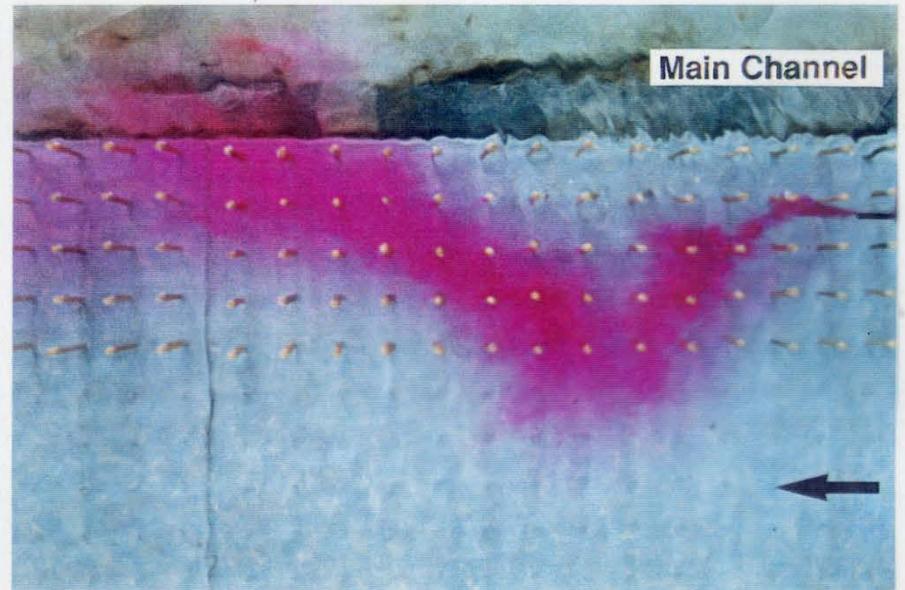
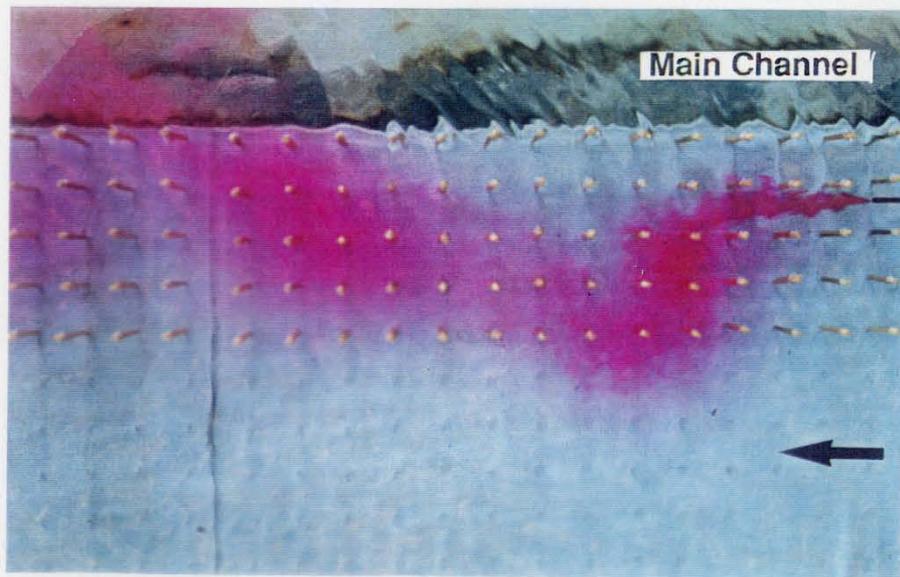
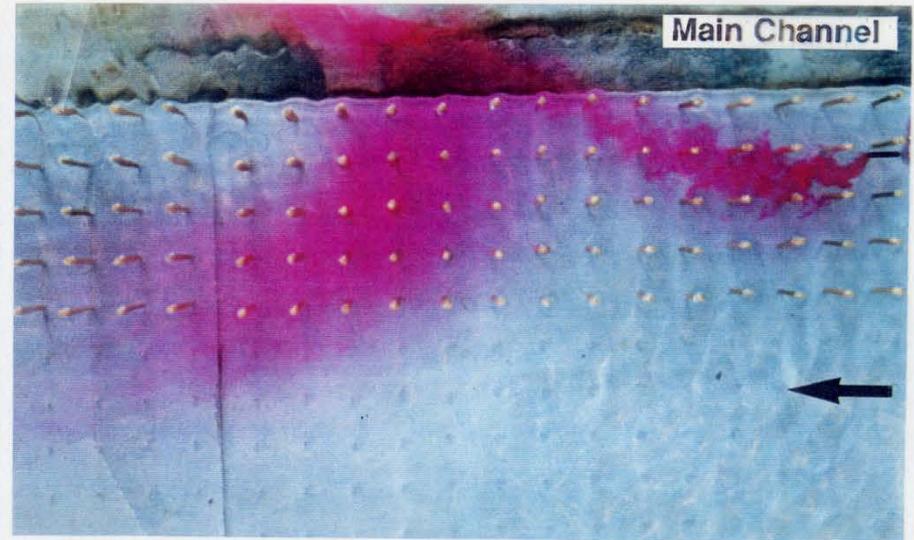
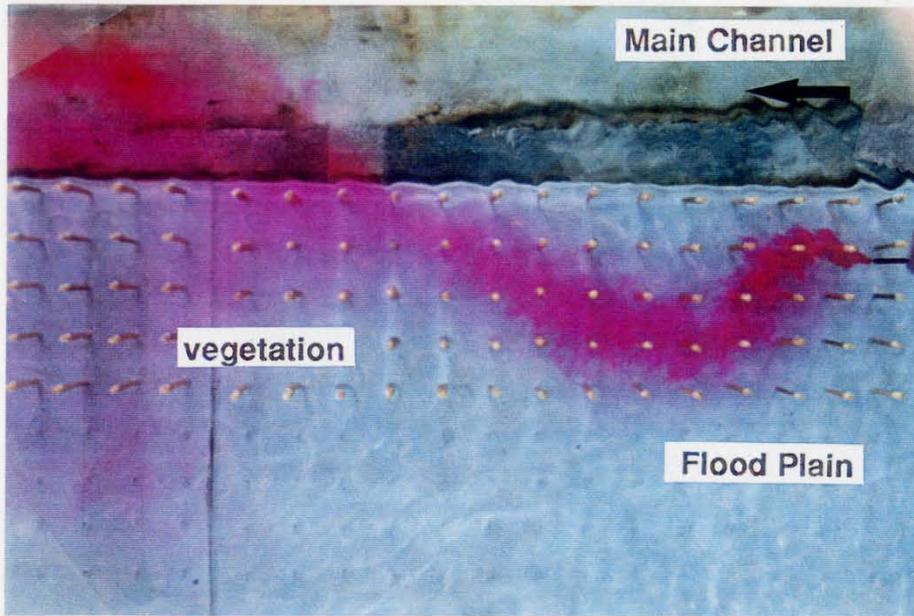
研究のステップとしても  
平面2次元性を大切にしたい



植生層が水没すると、流れ場の  
3次元性が出てくる (いきなりはやるのは面倒)

## 植生域と主流域（非植生域）の周期的横断混合

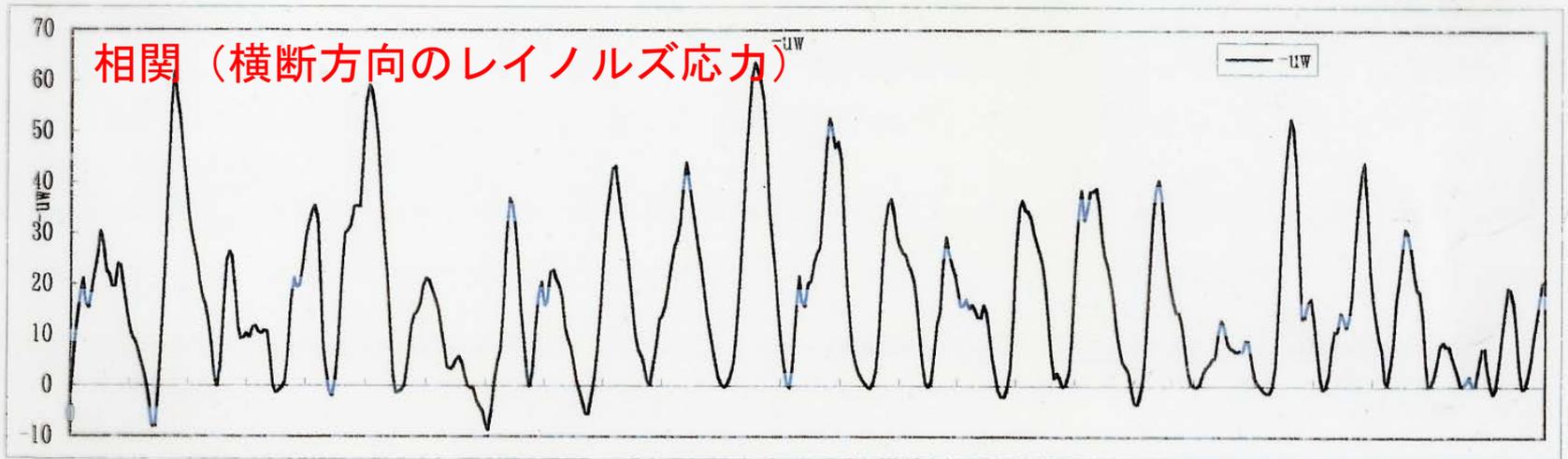
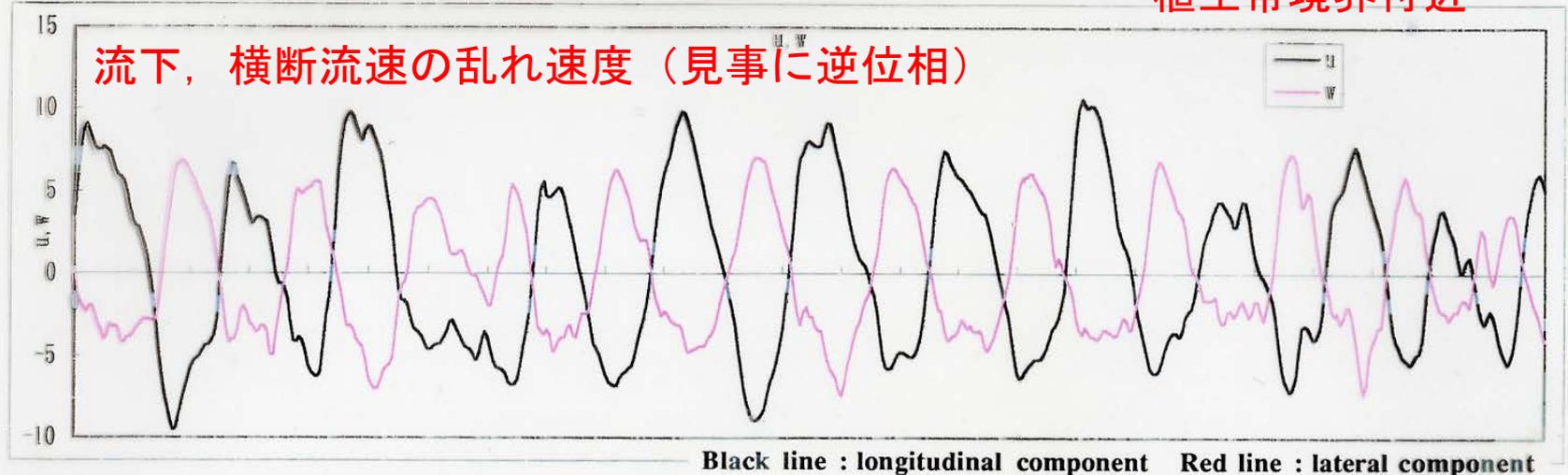
植生帯を伴う流れでは水平渦が形成される。  
その見事な規則性、周期性に研究者は飛びついた。



# ホットフィルムによる計測

Time-series of velocity fluctuations at the interface between vegetation zone and main channel, measured by hot-film

植生帯境界付近



横軸時間

周期的な水平渦の相関構造が効率的な「横断方向の運動量交換」を生む。

# 「LES水深平均モデル」による数値解析

植生粗度を伴う流路の流下(x)方向、流路横断(z)方向の運動量輸送に関する平面2次元流解析の基礎式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial wM}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (v_{sgs} \frac{\partial M}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_{sgs} \frac{\partial M}{\partial z}) + S_u \quad (11)$$

$$S_u \equiv \frac{\partial}{\partial x} (v_{sgs} \frac{\partial M}{\partial x} - \frac{3}{2} K_{sgs}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_{sgs} \frac{\partial N}{\partial x}) - gh(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_b}{\partial x}) - C_f \mu \sqrt{u^2 + w^2} - F_z \quad (12)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial wN}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (v_{sgs} \frac{\partial N}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_{sgs} \frac{\partial N}{\partial z}) + S_w \quad (13)$$

$$S_w \equiv \frac{\partial}{\partial x} (v_{sgs} \frac{\partial M}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_{sgs} \frac{\partial N}{\partial z} - \frac{2}{3} K_{sgs}) - gh(\frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\partial z_b}{\partial z}) - C_f \mu \sqrt{u^2 + w^2} - F_z \quad (14)$$

また、水柱のコントロールボリュームにおける流体の質量保存式は、

Smagorinsky modelの拡張であるYoshizawa & Horiuti[13]の一方程式モデルを援用すると、

$$v_{sgs} \equiv C_v \Delta K_{sgs}^{1/2}, \quad \epsilon \equiv C_\epsilon K_{sgs}^{3/2} / \Delta \quad (16)$$

となり、 $K_{sgs}$ は次式から与える。

$$\frac{\partial K_{sgs} h}{\partial t} + \frac{\partial u K_{sgs} h}{\partial x} + \frac{\partial w K_{sgs} h}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (v_{sgs} h \frac{\partial K_{sgs}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_{sgs} h \frac{\partial K_{sgs}}{\partial z}) + S_k \quad (17)$$

ここで、ソース項は、

$$S_k \equiv (P_k + P_{veg} + P_{kw} - \epsilon) h \quad (18)$$

であり、この中の $P_{veg}$ は植生の形状抵抗によって産まれるコントロールボリュームスケール内の乱れエネルギーの生成項で、

$$P_{veg} \equiv C_{fk} (F_z u + F_z w) \quad (19)$$

として与える。その他の項については、

$$P_k \equiv v_{sgs} [2(\frac{\partial u}{\partial x})^2 + 2(\frac{\partial w}{\partial z})^2 + (\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x})^2],$$

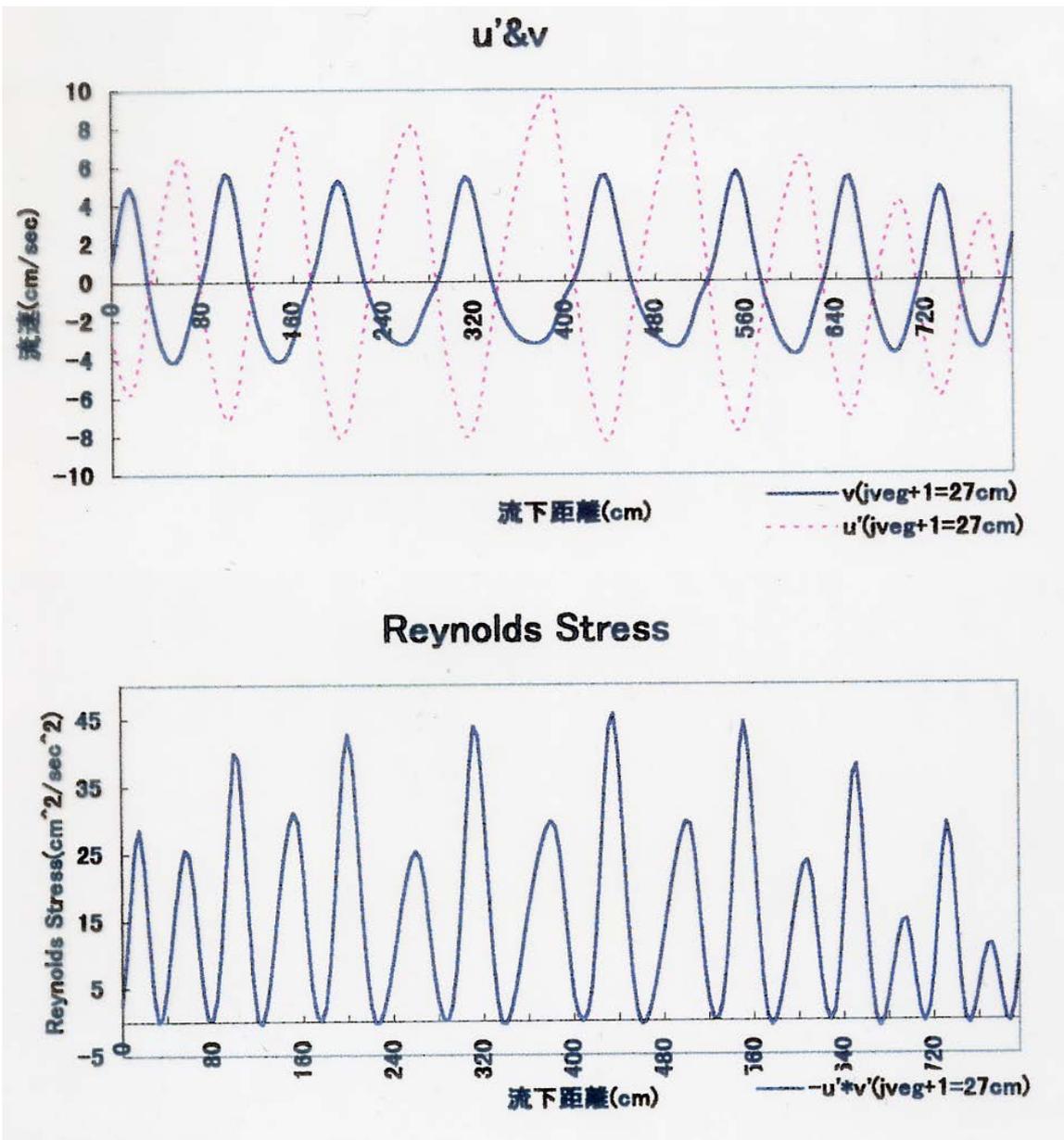
$$P_{kw} \equiv C_f (u^2 + w^2)^{3/2} \quad (20)$$

であり、後者はRastogi & Rodi[14]による底面シアーによる乱れエネルギーソース項である。sgsの長さスケール $\Delta$ については、平面2次元流解析の粗視化スケールと合わせて

$$\Delta = (h \Delta x \Delta z)^{1/3} \quad (21)$$

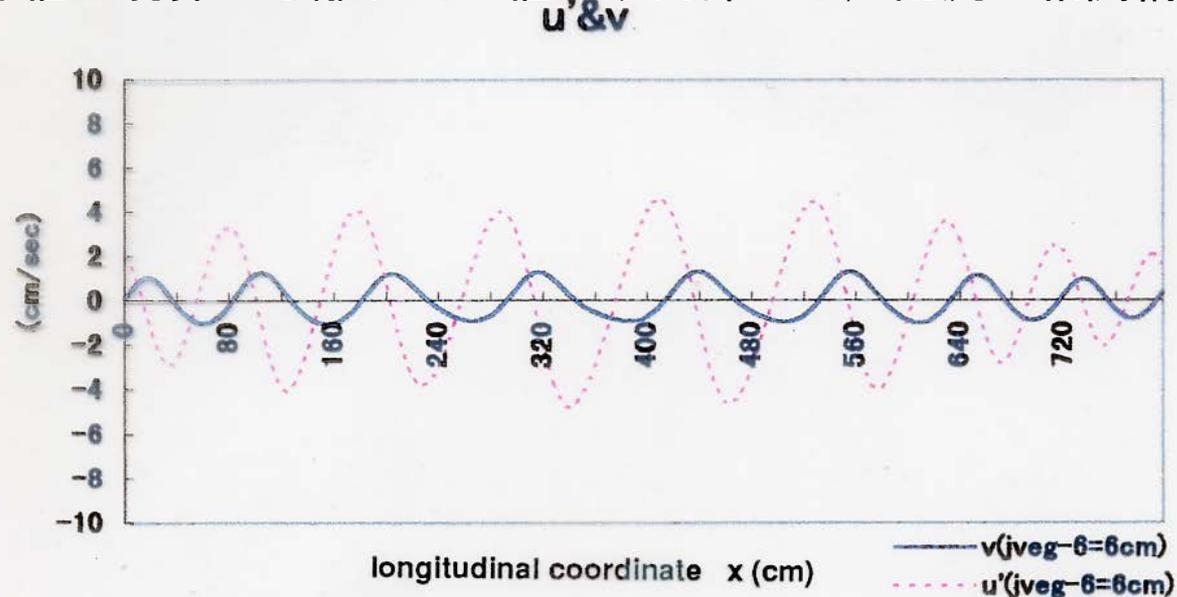
とすることが妥当である。ここに $\Delta x$ ,  $\Delta z$ はx,z方向の粗視化スケール(差分格子スケール)で、モデル定数は標準値にもとづき設定した( $C_v = 0.1$ ,

# 「LES水深平均モデル」による数値解析による結果

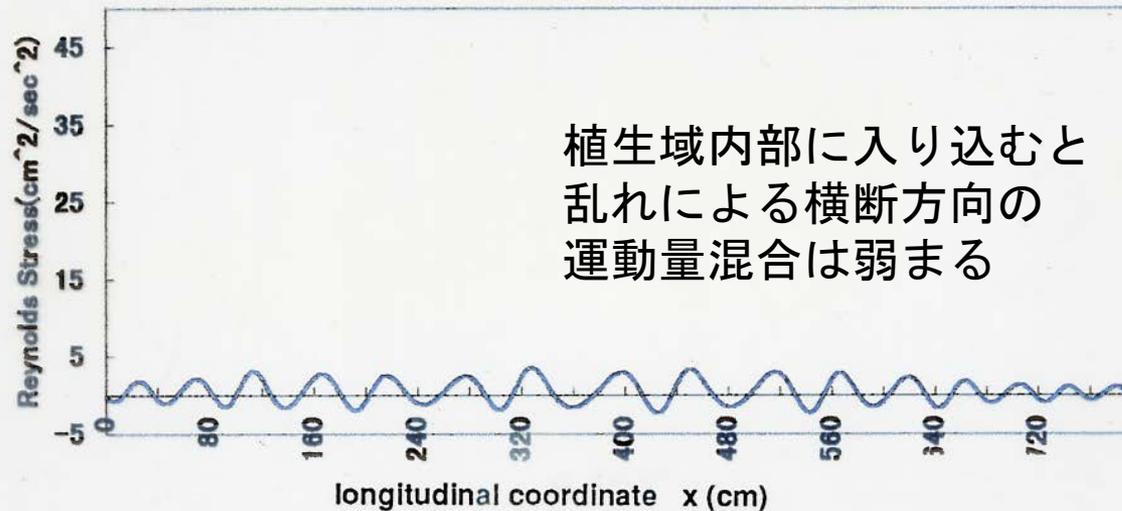


# 「LES水深平均モデル」による数値解析による結果

植生・非植生境界から離れた「植生域内部では、乱流の相関構造が鈍化する」

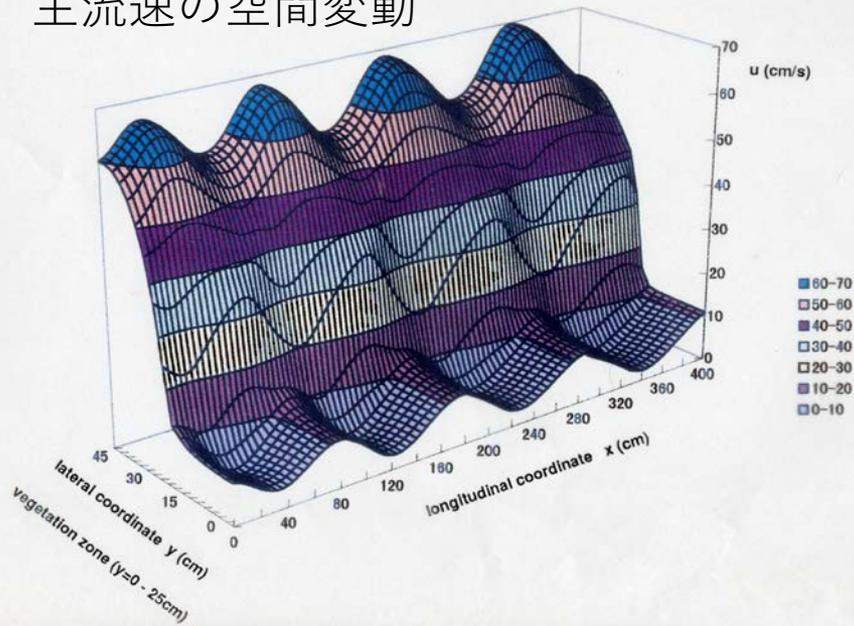


## Reynolds Stress



# 「LES水深平均モデル」による数値解析による結果

## 主流速の空間変動



## 水面変動

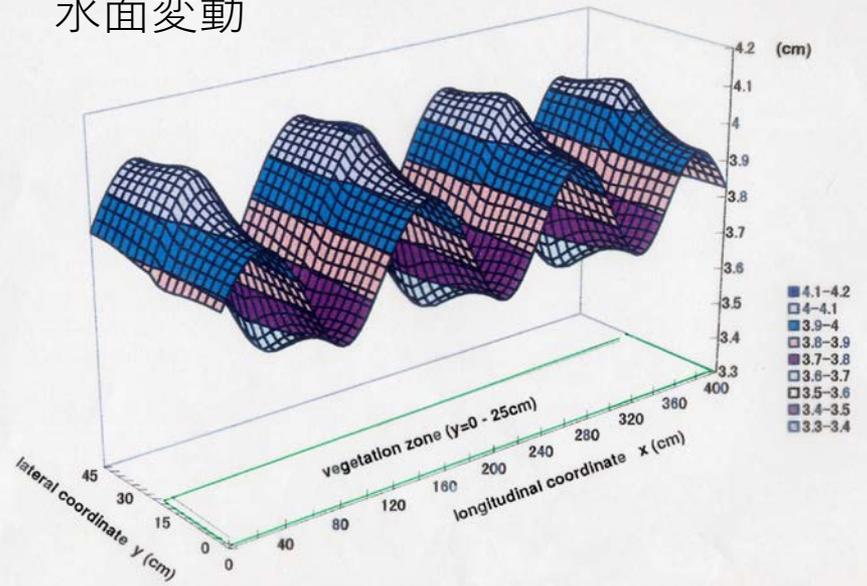


Fig.1 Spatial distribution of water surface elevation (instantaneous figure)

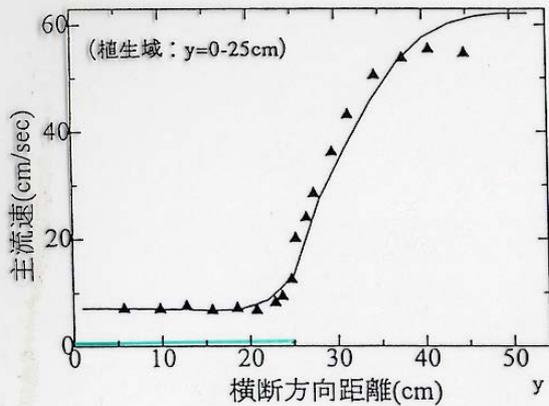


図5 主流速の平均分布 (計測値との比較)

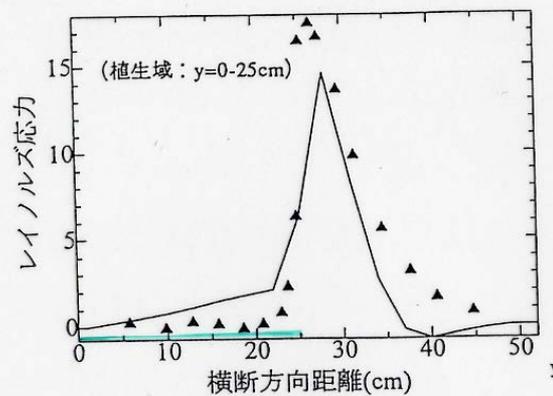


図6 横断方向レイノルズ応力分布 (計測値との比較)

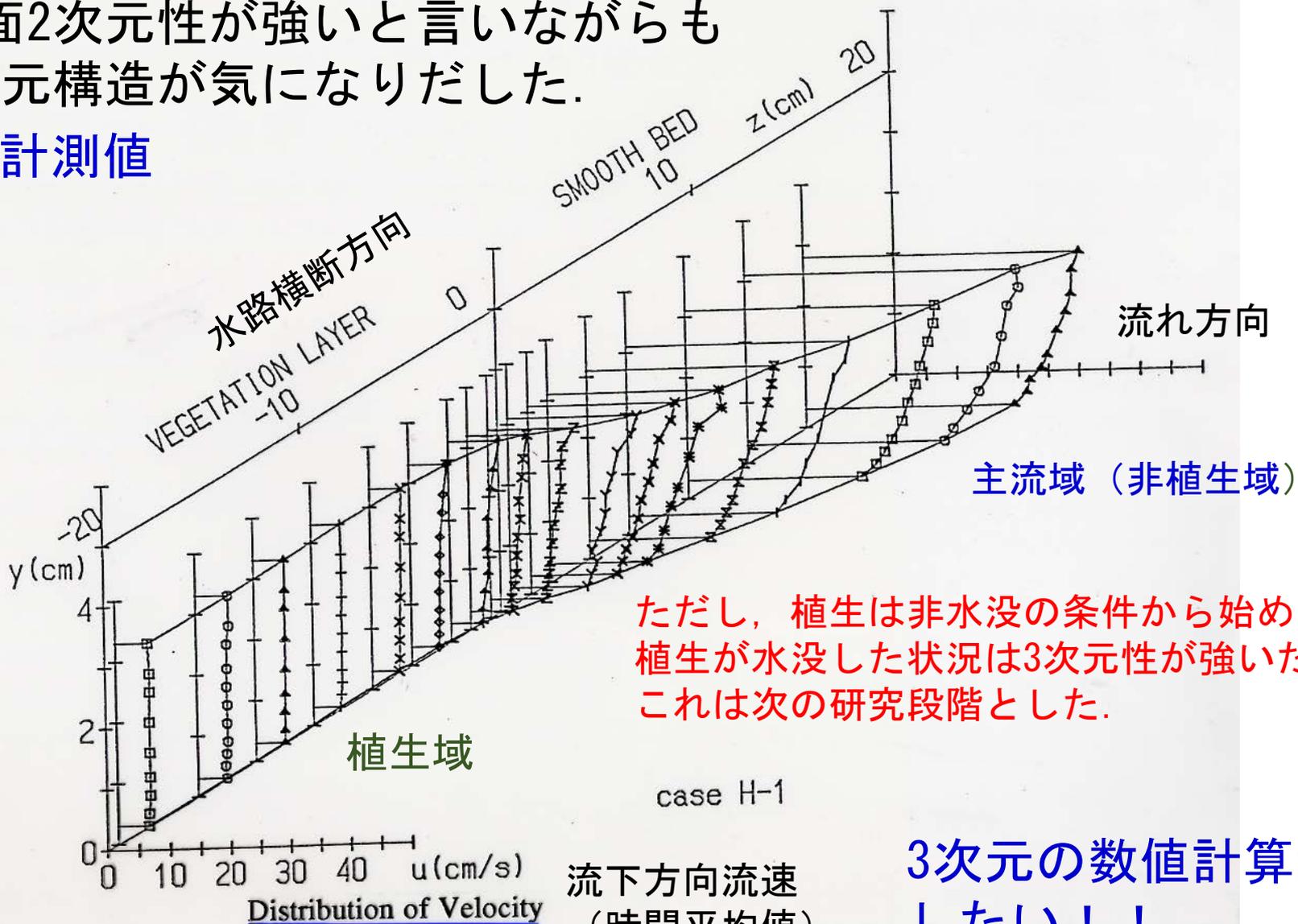
計算値と実験値の比較

空間平均された主流速分布と横断方向のレイノルズ応力  
(乱流構造は移流するので点計測の時間平均でも同じ)

# 水路半断面に植生帯を伴う流れの構造

平面2次元性が強いと言いながらも  
3次元構造が気になりだした。

計測値



ただし、植生は非水没の条件から始める。  
植生が水没した状況は3次元性が強い  
ためこれは次の研究段階とした。

3次元の数値計算が  
したい！！

Distribution of Velocity  
流下方向流速  
(時間平均値)

応力代数モデルに植生を組み込んで  
3次元性を捉えた。

$$\frac{\partial}{\partial x}(U^2) + \frac{\partial}{\partial y}(VU - \Gamma \frac{\partial U}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(WU - \Gamma \frac{\partial U}{\partial z}) = g \sin \theta - \frac{d}{dx} \left( \frac{P}{\rho} \right) - F_x \quad (7.29)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(UV) + \frac{\partial}{\partial y}(V^2 - v \frac{\partial V}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(WV - v \frac{\partial V}{\partial z}) = g \cos \theta - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{P'}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\tau_{xy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\tau_{yz}}{\rho} \right) \quad (7.30)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(UW) + \frac{\partial}{\partial y}(VW - v \frac{\partial W}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(W^2 - v \frac{\partial W}{\partial z}) = - \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{P'}{\rho} \right) - F_z + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\tau_{yz}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\tau_{zx}}{\rho} \right) \quad (7.31)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(Uk) + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ vk - \left( v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ wk - \left( v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right\} = P_k + C_{fk}(F_x U + F_z W) - \epsilon \quad (7.32)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x}(U\epsilon) + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ v\epsilon - \left( v + \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ w\epsilon - \left( v + \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right\} \\ = \frac{\epsilon}{k} [C_{\epsilon 1} \{P_k + C_{fk}(F_x U + F_z W)\} - C_{\epsilon 2} \epsilon] \end{aligned} \quad (7.33)$$

$$P_k = v_t \left\{ \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 \right\}, \quad v_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}, \quad \Gamma = v + v_t \quad (7.34)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (7.35)$$

$$F_x = \frac{1}{2} C_{Dx} \lambda U \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}, \quad F_z = \frac{1}{2} C_{Dz} \lambda W \sqrt{U^2 + V^2 + W^2} \quad (7.36)$$

このとき、  
河原能久先生（当時，東大）より、  
応力代数モデルを組み込んだ  
3次元流解析の数値計算について  
数値計算コードも頂きながら、  
懇切丁寧に  
ご教授頂きました。  
（平成3年10月4日）

ところで、横断面内で植生帯・非植生帯と粗度が変化している場の流れを扱う場合には、乱流場が非均質な構造を有する可能性があることが推測され（中川ら<sup>7)</sup>）、縦渦などの大規模組織構造の出現する可能性もある。そこで、ここでは、乱流クロージャーモデルとしてk-ε-Aモデルを採用することにして、河原<sup>8)</sup>によって複断面開水路流れに適用され、その有用性が示されているLaunder-Yingモデル<sup>9)</sup>を用いる。このとき、レイノルズ応力の表現は以下ようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\tau_{xy}}{\rho} &= v_t \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right), \quad \frac{\tau_{xz}}{\rho} = v_t \left( \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right), \\ \frac{\tau_{yz}}{\rho} &= C'_{v_t} \frac{k}{\epsilon} \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right) \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right), \quad \frac{\tau_{xy}}{\rho} = C'_{v_t} \frac{k}{\epsilon} \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 - C'_k k \\ \frac{\tau_{zz}}{\rho} &= C'_{v_t} \frac{k}{\epsilon} \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 - C'_k k \end{aligned} \right\} \quad (7.37)$$

ここで、乱流モデルの定数はLaunder-Yingモデルによる標準値（ $C_\mu=0.09$ ,  $C'_k=0.522$ ,  $C_{\epsilon 1}=1.44$ ,  $C_{\epsilon 2}=1.92$ ,  $\sigma_k=0.9$ ,  $\sigma_\epsilon=1.3$ ）を用いるが、2次流強度を決めるパラメータ(C')の決め方については後述する。また、乱れエネルギーと逸散率の輸送式における形状抵抗項にかかる係数 $C_{fk}$ ,  $C_{f\epsilon}$ の値は、7.4節での鉛直2次元の植生層を伴う流れに対して同定された値（ $C_{fk}=0.07$ ,  $C_{f\epsilon}=0.16$ ）をそのまま用いることにする。

# 水路半分に植生帯を有する3次元等流場の数値計算（代数応力モデル+植生流れのモデル）

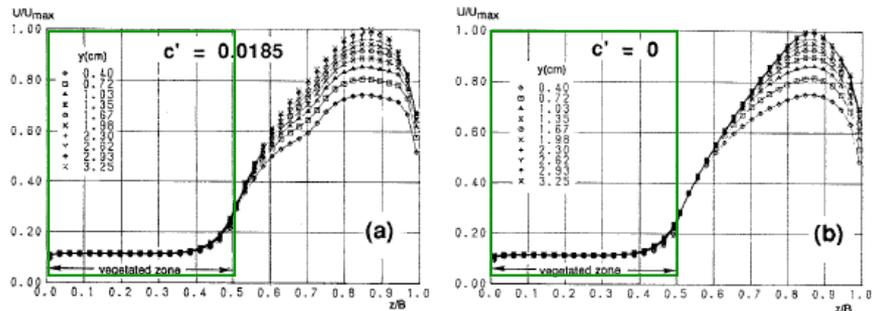


図7-19 計算された平均流速分布

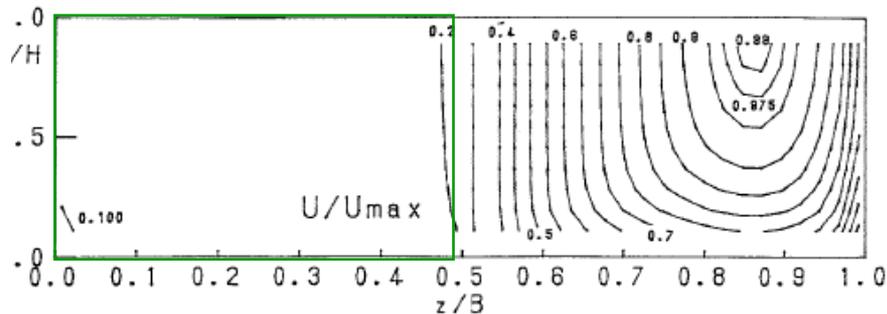


図7-26 主流速の等流速線図

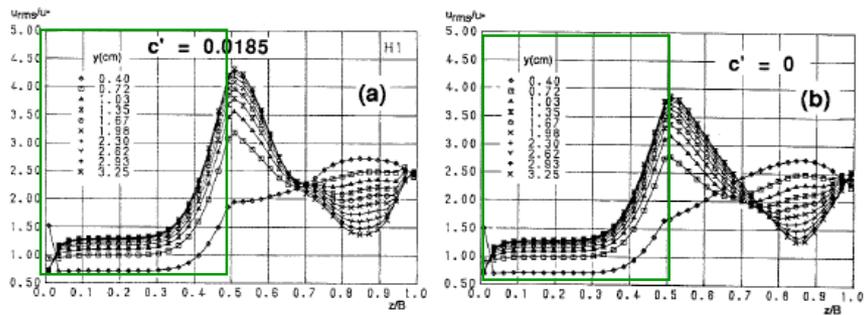


図7-20 計算された縦断方向乱れ強度分布

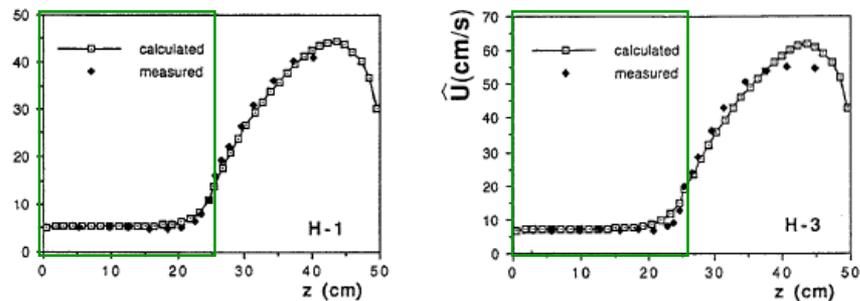


図7-27 水深平均された主流速の横断分布

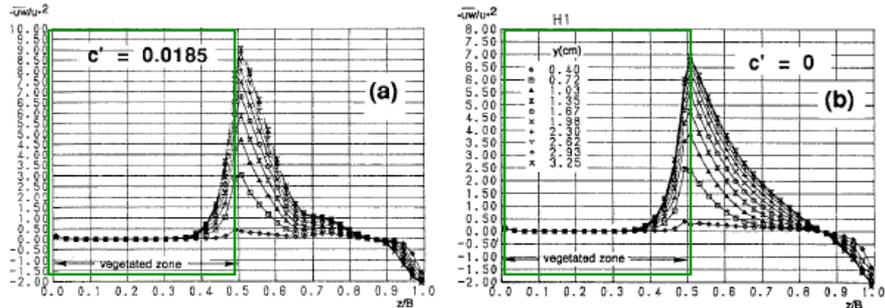


図7-21 計算されたレイノルズ応力 (-uw) 分布

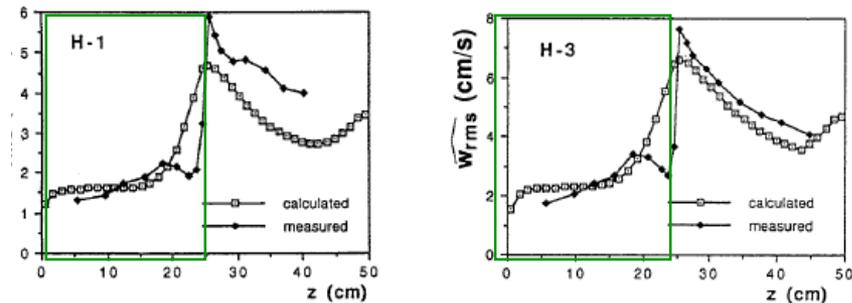
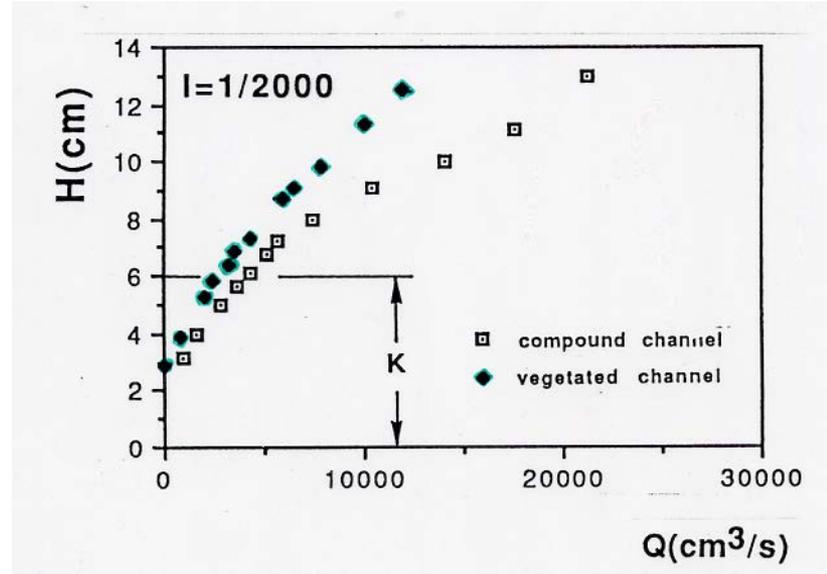
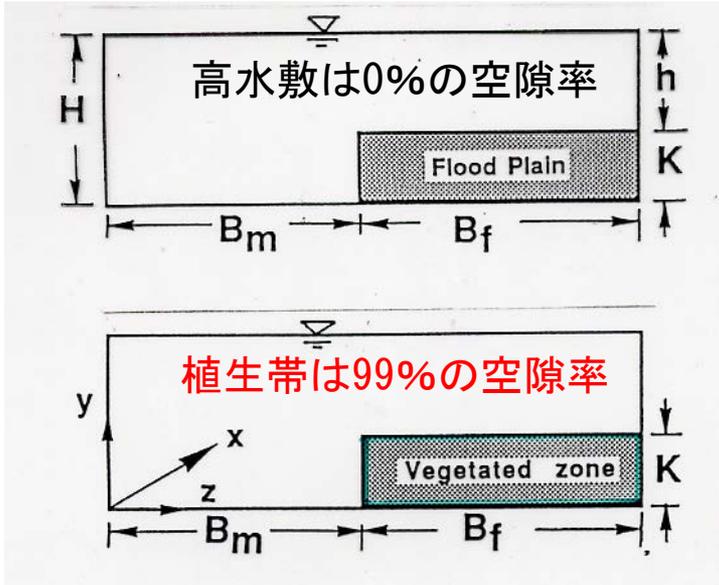


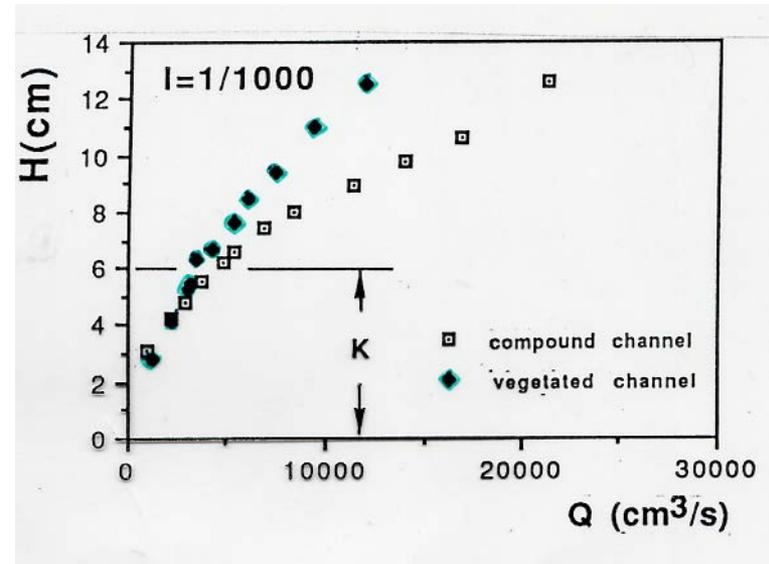
図7-28 水深平均された縦断方向乱れ強度の横断分布

# 水路半断面に植生帯を有する流れと複断面流れの比較

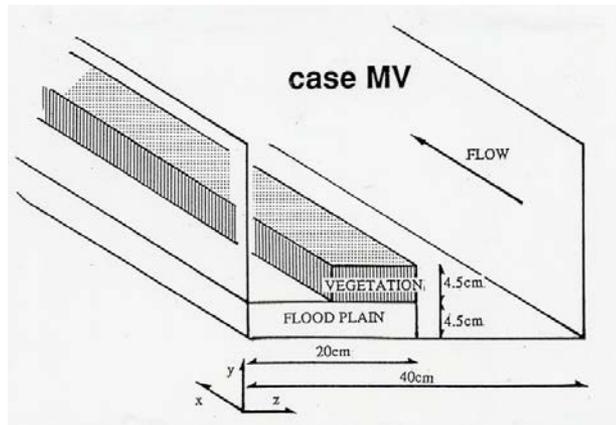
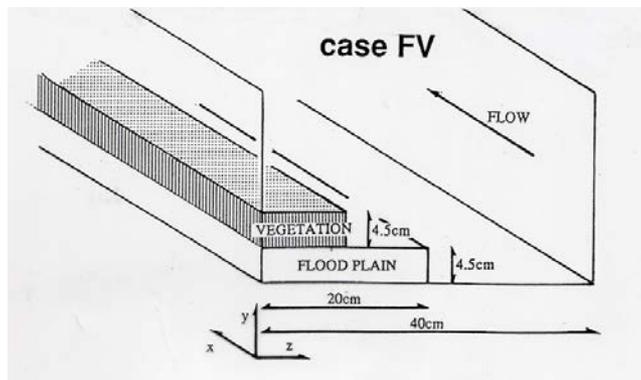
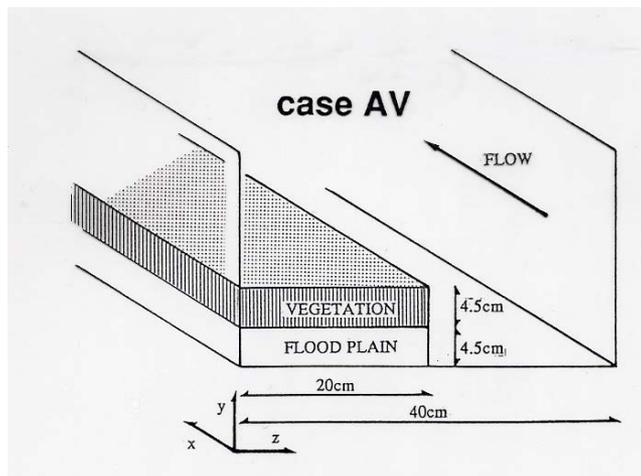


植生帯を有する場合は  
運動量交換によって抵抗大

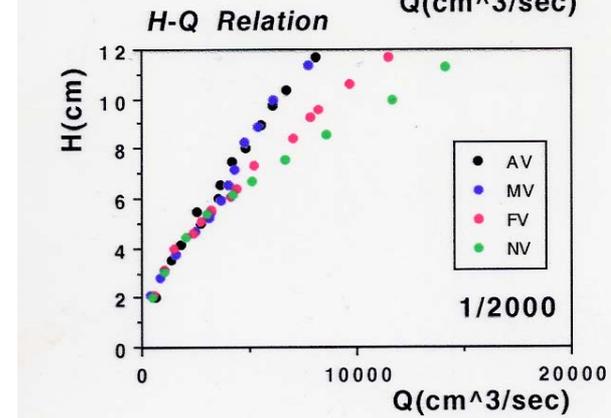
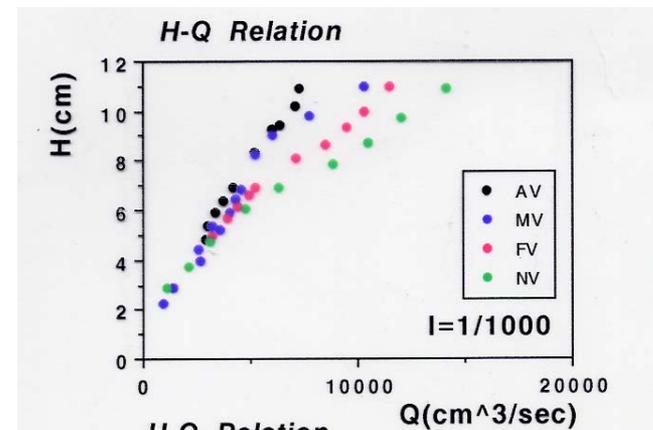
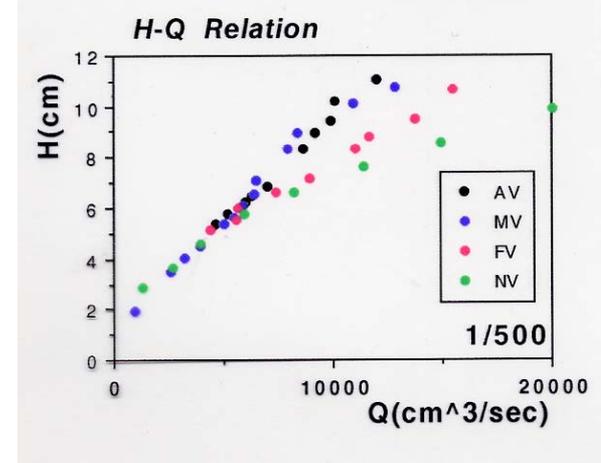
同一勾配, 同一流量に対し,  
植生を伴う場合は  
水深が大



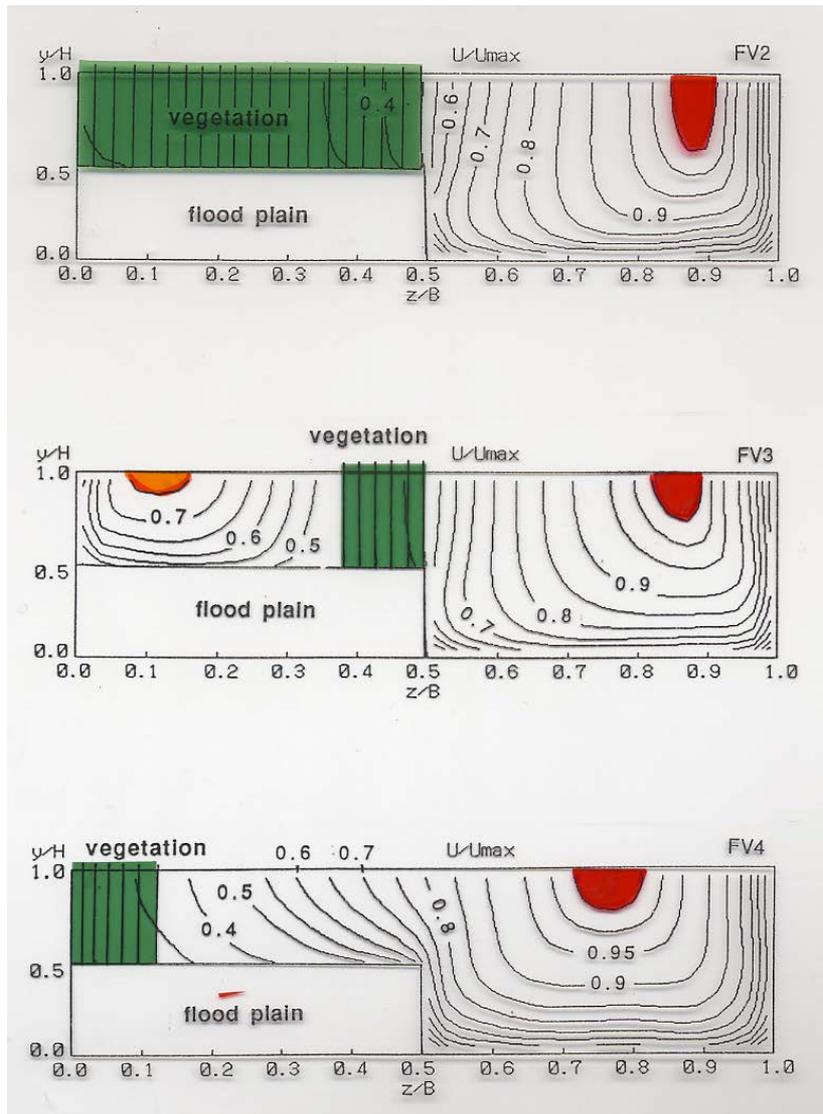
# 高水敷に植生帯を伴う流れ



# Case AV, MVは抵抗大は同程度



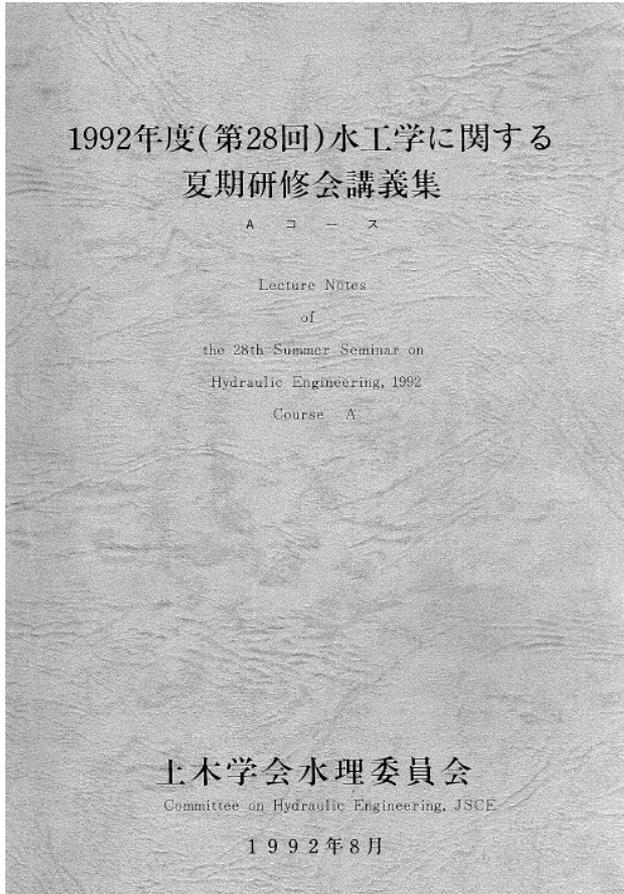
# 応力代数モデル+植生モデルでの計算結果



「樹木が繁茂すると，堤防に負荷がかかる」

「高水敷河岸の樹林帯は抵抗を大きくさせ，堤防に負荷をかける」

# 水理委員会活動を振り返って



## Aコース世話役 小葉竹重機（群馬大）

学位を取得した平成4年、  
水理モデリングと数値解析に  
いっそう必要性を感じた。

### A コ ー ス

- |     |  |                            |
|-----|--|----------------------------|
| A-1 | 代数応力モデルによる開水路乱流場の解析<br>Numerical Analysis of Turbulent Open Channel Flows<br>with Algebraic Stress Turbulence Models   | 河原能久<br>Yoshihisa KAWAHARA |
| A-2 | LESモデルによる乱流解析手法<br>Analytical Procedures of Turbulent Flow Using Eddy Simulation   | 森西洋平<br>Youhei MORINISHI   |
| A-3 | 河川構造物を有する河道内の流れと河床変動<br>-河道設計のための水理解析法-<br>Flow and Bed Topography in Rivers where Hydraulic Structures are Placed<br>- Hydraulic Analysis for River Course Design - | 福岡捷二<br>Shoji FUKUOKA      |
| A-4 | 河川における物質混合とその解析<br>Transverse and Longitudinal Mixing in Rivers  | 綾史郎<br>Shirou AYA          |
| A-5 | (特別講演) 湖沼の水理とその解析<br>Hydraulic in Lakes and Their Numerical Analysis   | 村本嘉雄<br>Yoshio MURAMOTO    |
| A-6 | 浸透・蒸発現象とその解析<br>Analysis of Rain-Infiltration and Evaporation<br>from Bare-Surface Soils   | 下島栄一<br>Eiichi SHIMOJIMA   |
| A-7 | 地下水流動とその解析<br>Groundwater Flow and Its Analysis  | 佐藤邦明<br>Kuniaki SATO       |
| A-8 | 地形性降雨とその解析<br>Numerical Analysis of Orographic rainfall  | 山田正<br>Tadashi YAMADA      |
| A-9 | 氾濫水・土石流の動態とその解析<br>Flow Behavior of Overland Flood Flow or<br>Debris Flow and Its Analysis   | 中川一<br>Hajime NAKAGAWA     |

開水路流れの数値解析方法	渡辺明英	1
各種水路における射流から常流へ遷移する流れの特性	安田陽一	7
洪水流と開水路流れの抵抗	富永晃宏	13
植生を伴う開水路流れの水理	清水義彦	23
湾曲・蛇行流れ	清水康行	29
現地計測の歩み—河川流計測を中心として	藤田一郎	33
水理実験観測における速度場の計測	石垣泰輔	39
水工学における乱流中の秩序構造に関する研究	佐賀孝徳	45
乱流の数値計算	細田 尚	51
掃流砂・浮遊砂に関する最近の研究をふりかえって	関根正人	55
掃流砂・浮遊砂のモデリングと『数値流砂力学』の展開	後藤仁志	61
混合砂の流送と分級—現象とモデル化	辻本哲郎	67
集合流動—土石流・泥流・掃流状集合流動—	橋本晴行	73
河岸浸食・河床形態・流路形態に関する研究の傾向	藤田裕一郎	79
水路形成と安定河道	泉 典洋	85
山地河川の研究	長谷川和義	91
都市河川の水理	渡辺政広	99
氾濫流	中川 一	105
都市河川の水理、水防対策	石野和男	111

## 水理講演会 10 年の歩みとこれからの 基礎水理学の展開—基礎水理部会

1999 年 3 月

土木学会水理委員会基礎水理部会

基礎水理部会長・山坂昌成

世話役 辻本哲郎

(編集委員：石野和男，泉典洋，  
辻本哲郎，清水義彦，渡邊明英)

1997 (H9) 河川法改正で、河川環境の整備・保全が内部目的化  
水工学分野の研究もよりフィールド志向に、河川技術志向に。  
だからこそ、この変わり目に、基礎水理をレビュー (辻本先生志向)

## 水工学における計算機利用の講習会

### 講義集

(今思うと、このタイトルは変?)

1999年8月3日  
京都大学キャンパス

土木学会水理委員会基礎水理部会

基礎水理部会長・山坂昌成  
(世話役, 山坂昌成, 清水義彦,  
細田尚)

「水工学における計算機利用の講習会」開催のお知らせ  
開催日：8月3日 [火]

土木学会水理委員会基礎水理部会では、水工学における計算機利用の講習会を開催し、基礎水理部門に関する会員の技術の向上をはかりたいと考えています。現在、計算機利用の手法はかなり進んできていますが、水工学の分野においては対象がさまざまで、直接利用できる汎用ソフトがほとんどないのが現状です。今回は、開水路固定床流れの数値解析法について、入門者向けから実用向けまでの内容でソースコードも公開して講習会を開きます。これから数値解析を始めようとする方から経験者まで、ふるってご参加ください。  
なお、プログラムには若干の変更があるかもしれませんが、変更点につきましては、当ホームページ (<http://kasen2.civil.tohoku.ac.jp/riverhydr.html>) にてご確認ください。

## ソースコード付き

1. 開催期日 ——— 8月3日 [火] 9:40~16:00
2. 場 所 ——— 京都大学工学部 (京都市左京区吉田本町)  
土木総合館2階 201号室 ———> 会場への案内はこちらをご覧ください
3. 受講料 ——— テキスト (FD付き) 代と併せて5,000円 (学生4,000円) 程度
4. 定 員 ——— 100名
5. プログラム ———  
9:40~11:50  
山坂昌成 (金沢工業大学工学部土木工学科 助教授)  
「渦度方程式を用いたワンド内流れの二次元解析」  
朝位孝二 (山口大学工学部社会建設工学科 講師)  
「移流方程式の数値解析」  
細田 尚 (京都大学工学研究科土木工学専攻 助教授)  
「ダム破壊流れの1次元解析」  
  
昼食  
13:00~14:20  
富永晃宏 (名古屋工業大学工学部社会開発工学科 教授)  
「SIMPLE法を用いた開水路断面急変流の解析」  
中川 一 (京都大学防災研究所 助教授)  
「氾濫流の解析」  
  
休憩  
14:40~16:00  
清水義彦 (群馬大学工学部建設工学科 助教授)  
「植生層を伴う流れの2次元流解析」  
長田信寿 (京都大学工学研究科土木工学専攻 助手)  
「一般座標系を用いた平面2次元非定常流れの数値解析」
6. 申込方法 ——— 受講希望の方はファックスまたは郵便にて所属、氏名、連絡先を以下にお送り下さい。  
群馬大学工学部建設工学科 清水義彦  
〒376-8515 桐生市天神町1-5-1  
Fax: 0277-30-1601 Tel: 0277-30-1642  
なお、受講料は当日徴収いたします。
7. 申込締切 ——— 平成11年7月20日 (ただし、定員になり次第締め切りとさせていただきます)
8. 問 合 先 ——— 金沢工業大学工学部土木工学科 山坂昌成  
〒921-8051 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1  
Tel: 076-294-6712 Fax: 076-294-6713  
Email: [yamasaka@neptune.kanazawa-it.ac.jp](mailto:yamasaka@neptune.kanazawa-it.ac.jp)

基礎水理でも、実験・数値計算・フィールドが三位一体の手法として  
ますます重要となる

2002年には、水理公式集例題プログラム集が発刊

# 研究者の自己点検シート

(氏名 )

	内容	○	△	×
1	研究が内向きではないか. 研究の方向性, やらなければならない研究をしっかりとやっているか			
2	きびしいながらも魅力を感じさせるシニアとして, 若手を育てているか			
3	研究がオンジョブトレーニングに走りすぎてはいないか			
4	論文は書くけれど, アイデアも議論する前向きな論文になっているか.			
5	多くの研究者と学会, 研究会そして研究者個人としても, しっかり議論しているか			
6	基礎・応用・実用のバランスを取りながら, 研究は「何のために」と常に自分に問うているか.			
7	常に, リサーチクエスチョンを大切に研究しているか			
8	自由に研究しながらも, 先を見据えた学問への貢献を考えているか			
9	「より本質的な段階へ近づく何か」を意識した研究になっているか.			

# 私の反省

学位論文研究（若い頃32歳までの研究）がその後の研究スタイルとして染み込んでいる。

探求心と言うよりは、むしろ、どうやって研究するか、どう研究をつなげるか、次にどんな論文ができそうか。に走っていた。

したがって研究の動機とか、方向性とか、あまり考えたことはない。より本質に近づくために、どれだけリサーチクエスチョンしたかという点、大いに疑問。

基礎研究の面白さは知ったが、40歳代からの実用性（河川の現場で役立つ）を志向した研究は、付け焼き刃的。オンジョブの傾向が大きい。

したがって、先を見据えた学問への貢献が大切と言われたときは、そうだよねと、つくづく思う。

最大の反省は、多くの先生方から受けた研究教育の恩恵を、次につないでいない。

# 研究者の自己点検シート

(氏名 清水義彦 )

	内容	○	△	×
1	研究が内向きではないか。研究の方向性，やらなければならない研究をしっかりとやっているか			✓
2	きびしいながらも魅力を感じさせるシニアとして，若手を育てているか			✓
3	研究がオンジョブトレーニングに走りすぎてはいないか		✓	
4	論文は書くけれど，アイデアも議論する前向きな論文になっているか。			✓
5	多くの研究者と学会，研究会そして研究者個人としても，しっかり議論しているか		✓	
6	基礎・応用・実用のバランスを取りながら，研究は「何のために」と常に自分に問うているか。			✓
7	常に，リサーチクエスチョンを大切に研究しているか			✓
8	自由に研究しながらも，先を見据えた学問への貢献を考えているか			✓
9	「より本質的な段階へ近づく何か」を意識した研究になっているか。			✓

# 研究者の自己点検シート

(氏名 清水義彦 )

	内容	○	△	×
1	研究が内向きではないか。研究の方向性、進め方によっては、ならない研究をしっかりとやっているか			✓
2	きびしいながらも魅力を感じ、研究を続けていて、手を育せているか			✓
3	研究がオンラインで進んでいるか		✓	
4	論文は、先生方から研究教育を受けながら、進んでいるか			✓
5	進んでいるとしても、これではだめでしょう。			✓
6	基礎・応用・応用研究は「何のために研究しているか。」			✓
7	常に、リサーチ・メソッドを大切に研究しているか			✓
8	自由に研究しながらも、先を見据えた学問への貢献を考えているか			✓
9	「より本質的な段階へ近づく何か」を意識した研究になっているか。			✓

これまで多くの素晴らしい先生方から研究教育を受けながら、これではだめでしょう。

# これからの水工学に思うこと

- ・ 個々の研究とともに、研究の方向性の議論の場も（レビューも大事、ただしそれだけではない）
- ・ 論文とくに水工学論文集はどうあるべきかの議論も。  
「論文としての整い」, 「可もなく不可もなく」, 「精緻さよりもアイデア」  
「研究者としての人柄が見える論文, 個性が表れている論文」???
- ・ 水工学講演会での論文発表・討議から、その後の研究者間での「つながる」ものへ
- ・ 40代から50代の中堅・シニア研究者は、きびしく若手を、きびしく自分を育てる
- ・ 60代では、やさしく接する。
- ・ そして、  
スパーシニアの先生方は、よりきびしく、ときに、よりやさしくお願いします。

# “自分の歩みを振り返って”

(曲がりなりにも研究者を続けられたこと)

- ・ 怒られたこと，うまく行かなかったことは数えきれない。
- ・ ほめられたこと，うまく行ったことはとても少ない。
- ・ 「ほめられたこと，うまく行ったこと」をときに思い出し，  
そのときの自分を振り返ると，案外，上手に行く。
- ・ こうした経験ができるのは，「こわい先生，怒ってくれる先生」が周囲にいたからこそである。
- ・ もちろん，「やさしい先生」も必要で，そのバランスの良さが学会の良さではないだろうか。
- ・ 水工学には，「きびしくも暖かい人のつながり」が伝統として続いてきた。
- ・ それが世代をつなげ，水工学を発展させてきた。その伝統をこれからも大切にしたい。

# ご清聴ありがとうございました.

## 水工学委員会 オンラインWGメンバー

	氏名	所属
リーダー・委員	溝口 敦子	名城大学・東北大学災害科学国際研究所
委員	入江 政安	大阪大学
委員	内田 龍彦	広島大学
委員	佐山 敬洋	京都大学防災研究所
	蔵島 伶	東京工業大学
	岩崎 理樹	北海道大学
	大槻 順朗	山梨大学
	岡田 輝久	電力中央研究所
	片岡 智哉	愛媛大学
	後藤 岳久	中央大学
	竹村 吉晴	中央大学
	峠 嘉哉	東北大学
	橋本 雅和	東北大学災害科学国際研究所
	丸谷 靖幸	九州大学
	山田 真史	京都大学防災研究所
	小野村 史穂	東京理科大学
委員長	清水 義彦	群馬大学
幹事長	二瓶 泰雄	東京理科大学

そして、オンラインWGのみなさまに深く感謝します.