

化学繊維を用いたアマモ場の造成

伊 福 誠*・近 藤 英 樹**・林 秀 郎***

1. ま え が き

浅海域には、太陽光が届き得る深度の範囲にあるため、大型の海藻・草類が繁茂した藻場または海中林と呼ばれる植物群落が発達している。

藻場は、生物生産力の高い場所として知られているが、それは藻場構成植物によって作られた空間あるいは付着気質が小動物、付着生物にとって格好の生育場所となっており、また、これらを食餌する魚類が集まってくるからである。このことは、藻場は良い漁場であると同時に、水産資源を維持するうえで極めて貴重であることを意味している。さらに、藻場は、水質の浄化や底質の安定化など環境形成の面でも重要な役割を果たしている。

近年、瀬戸内海においてはアマモ場の荒廃が指摘されている(前川, 1961; 大島, 1972)。その原因として、海面の埋め立てあるいは養殖用の稚魚の捕獲のための底引き網の使用等が挙げられているが、確証はないのが実状である。なお、一部では回復しつつあるアマモ場もあることが報告されている(福田ら, 1977)。これらのアマモ場の変化の原因を究明し、アマモ場の回復・増大をはかる目的で様々な切り口を持った研究がなされてきた(寺脇・飯塚, 1985; 川崎ら, 1986; 川崎ら, 1990)。

海面の埋め立てや海岸構造物の築造が計画されている所でアマモ場の存在が確認されると、その保護のため移植が試みられている。しかしながら、移植後の状況を詳細に追跡調査した報告は、著者の知り得るところなく、アマモの移植法や増殖法については確立されていないのが現状である。

アマモは、海底の砂泥を生育の基礎とし、しかも草体内の空気により浮力を持っているため、海底から引き剥がされやすい(大野正夫編, 1996)。波・流れが比較的静穏な場所に天然のアマモが生育している事実は、砂の移動量が比較的少ないためであると考えられる。アマモの移植やアマモ場の造成には、海底に到達する光の量はいうまでもなく、底質の移動を如何に制御するかがその成否を

握る鍵である。

こうしたことから、網状構造を持つ化学繊維を用いて底質の移動を制御し、実生のアマモを生育させる場の造成を試みた。さらに、こうした化学繊維を敷設した場合の底面近傍の流れや漂砂に関する数値モデルを構築し、観測現場を想定した数値解析を行い、実用化に向けての基礎的資料を得ようとしたものである。

2. 現 地 観 測

2.1 観 測 海 域

観測対象とした海域は、図-1に示す徳島県鳴門市の榎木浜である。等深線は、汀線とほぼ平行である。なお、冬冬季節風による波浪の入射方向の遮蔽域にあたる榎木港の防波堤の南側には天然のアマモ場が存在する。

2.2 底 質

網状物体設置付近における底質の粒度組成を調べるためコーサンプラーを制作し、底質を採取した。底質は図-1中のA、BおよびC領域の近傍の4点(c-1~c-4)でコーサンプリングを行った。なお、採取日は1996年7月30日である。採取した底質は標準ふるい(4.75, 2.36, 2, 1.18, 0.60, 0.42, 0.25, 0.105および0.074 mm)を用いて粒度分析を行った。

c-1~c-4における底面から0.1 mまでの深さでの中央粒径は、0.18~0.20 mmでほぼ均一な粒径である。また、0.1 m以深における中央粒径は、0.22~0.27 mmで

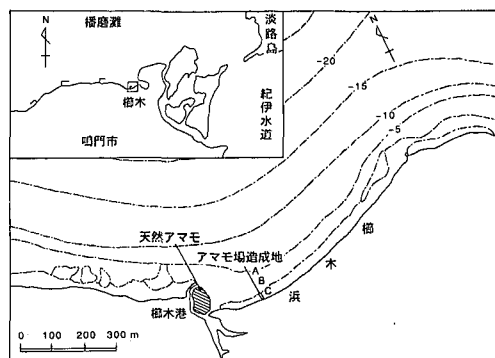


図-1 観測海岸(徳島県鳴門市榎木浜)

* 正 会 員 工 博 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科

** 学生会員 愛媛大学大学院理工学研究科

*** 正 会 員 工 博 株式会社 大林組 技術研究所

あり、底面付近より僅かに大きくなる。なお、粒径が0.074 mm以下のシルトの含有率は0.3~1.0%であり岸側ほど少ない。

2.3 マットとマットの敷設法

図-1中のA~Cの領域に直径1 mmのポリプロピレン繊維を網状構造を有するように加工したマットを敷設した。マット1枚の面積は約1 m²である。

マットが波や流れによって移動するのを防ぐためカウンターウェイトとしてエキスパンドメタルを取り付けた。なお、エキスパンドメタルの質量は、1 m²当たり約20~30 kgである。一回目の敷設は、1995年11月であったが、冬期季節風による波浪によってC領域のうち岸側のマットが移動した。その対策として鉄パイプを用いてマットを海底に串刺しにした。二回目と三回目の敷設は、それぞれ1995年12月と1996年1月に行った。図-2にマットの配置を示す。また、マットの仕様はaタイプで総質量約23 kgであり、bタイプで総質量約31 kgである。

2.4 アマモの播種方法

腐葉土と川砂で作った播種土にアマモの種子を混ぜ合わせ、これらを一辺が約30 cmのガーゼ袋に入れてマットの下に敷き詰めた。なお、アマモの種子の播種密度は、約1,000粒/m²とした。

2.5 アマモの生育状況

(1) 発芽本数

図-3は、播種時期毎の地点別の平均発芽本数の経月

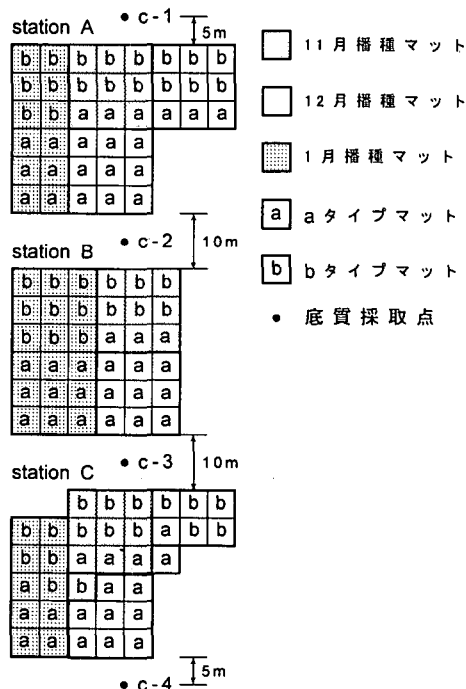
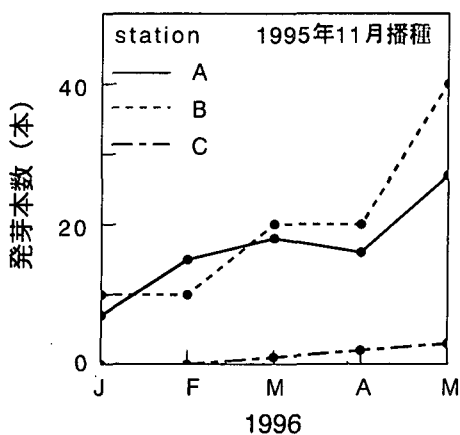


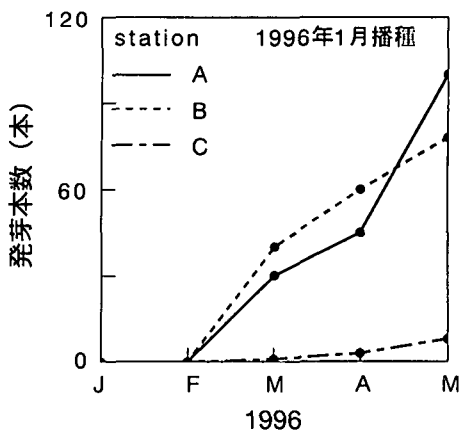
図-2 マットの配置

変化を示す。(a) および (b) は、それぞれ1995年11月および1996年1月の播種の結果である。

播種時期が1995年11月の(a)をみると、A地点では播種後約2ヶ月目には10本程度の発芽がみられる。その後、徐々に発芽し、4月から5月にかけては急増する。また、B地点での発芽本数は、A地点と似た傾向を示すもののその数は10本程度多い。なお、C地点は、5月に5本程度の発芽が確認される程度であり、他の2地点と比較するとかなり少ない。播種時期が1996年1月の(b)をみると、播種後約2ヶ月目には、A地点およびB地点とも約30~40本の発芽が確認され、その後は1995年11月播種のものと同様徐々に発芽本数は増え、4月から5月にかけては急増する。また、C地点では5月に10本程度の発芽が確認される程度であり、1995年11月播種のものと同様、他の2地点と比較するとかなり少ない。図(1996)によれば、1995年10月から1996年4月にかけての観測海域における水温は2月に最低となり、その後



(a) 1995年11月播種



(b) 1996年1月播種

図-3 発芽本数の経月変化

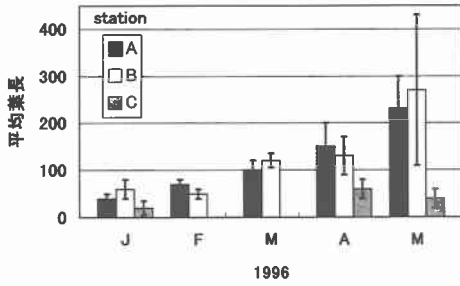


図-4 平均葉長の経月変化 (1995 年 11 月播種)

徐々に上昇している。1995 年 11 月および 1996 年 1 月播種のものとも、4 月から 5 月にかけての発芽本数の増大はこうした水温の上昇や日照量の増大に起因するのではないかと考える。また、C 地点の発芽本数が少ないのは比較的水深が浅く波や流れの影響が他の 2 地点より強いためではないかと思われる。

(2) 平均葉長

図-4 は、地点別の平均葉長変動を示す。A 地点では、1 月～5 月の葉長は、それぞれ 40, 70, 100, 150 および 230 mm であり順調に伸びている。また、B 地点における 1 月～5 月の葉長は、それぞれ 60, 50, 120, 130 および 270 mm であり、1 月～2 月にかけて 10 mm 程度短くなり、3 月～4 月にかけての伸びは 10 mm 程度である。A 地点と比較すると生育の速度は遅い。なお、C 地点では、2 月～3 月においては発芽は確認されず、4 月～5 月にかけても葉長は短くなっている。C 地点における葉長の伸びが他の 2 地点におけるものと異なるのは、マット上の砂の堆積量に違いがあるのか底質に含まれる栄養分に局所的な違いがあるのか等が考えられるが、何が主たる要因なのかは現在のところ明らかでない。

(3) 生育密度

図-5 は、1996 年 5 月 15 日現在の地点別のアマモの単位面積当りの生育密度を示す。A 地点および B 地点では、1996 年 1 月播種の領域で生育密度が比較的高い。とくに、A 地点の榑木港側では 100 本以上の領域が存在する。また、1995 年 11 月および 1995 年 12 月播種のは最大生育本数が 61～80 本であり、1996 年 1 月播種のものと比較すると生育密度は低い。C 地点においては、生育密度が 21～40 本の領域が 1 m² 存在するだけであり、A 地点および B 地点と比較するとかなり生育密度は低い。

徳島県鳴門市付近の天然アマモの生育密度は 25 本/m² 程度である (園; 私見) とのことなので、A 地点および B 地点における生育密度はかなり高く、この播種方法はアマモ場造成にとって有効な手段の一つではないかと考える。

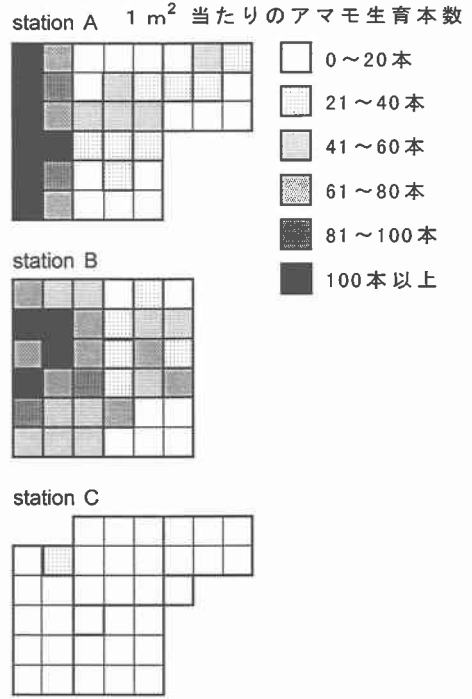


図-5 生育密度

3. 数値解析

3.1 流れ場

流れ場は、porous body model を用いて解析する。porous body model については Sha ら (1978) や 榑山・鹿島 (1994) に詳しいのでここでは省略する。なお、運動量方程式中のレイノルズ応力 τ_{xx} , τ_{xy} , τ_{xz} および τ_{zz} は、次式で与える。

$$\left. \begin{aligned} \tau_{ij} &= (\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \\ \nu_t &= (C_s \Delta)^2 \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ν は動粘性係数、 ν_t は渦動粘性係数、 C_s はモデル定数、 $\Delta = (\Delta x \Delta z)^{1/2}$ 、 Δx および Δz は、それぞれ水平および鉛直方向の格子間隔である。

3.2 浮遊砂濃度

空隙率 γ_v を有するマットを敷設した場合の乱流拡散方程式は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \gamma_v \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma_v K_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\gamma_v K_{zz} \frac{\partial C}{\partial z} \right) + w_b \frac{\partial C}{\partial z} \end{aligned} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 w_b は底質の沈降速度、 K_{xx} , K_{zz} は乱流拡散係数

であり、水平および鉛直方向の速度成分に依存すると仮定すると次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} K_{xx} &= a(a_L u^2 + a_T w^2)/q \\ K_{zz} &= a(a_T u^2 + a_L w^2)/q \\ q &= (u^2 + w^2)^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 a は正の係数、 a_T, a_L は拡散係数に寄与する特性長であり、 $a_L = c_1 a_T$ (c_1 : 正の係数) である。

3.3 初期条件および境界条件

(1) 流れ場

porous body model による解析において初期条件は、波がない場合とする。一方、境界条件は以下のように設定する。

$$\left. \begin{aligned} u(x, 0, t) &= 0, w(x, 0, t) = 0 \\ u(x, z_b, t) &= u_b(t), w(x, z_b, t) = w_b(t), \\ p(x, z_b, t) &= p_b(t) \\ \partial p / \partial z &= 0; z = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 z_b は上方境界の高さ、 u_b および w_b は、それぞれ上方境界での x および z 方向の流速成分、 p_b は上方境界での圧力である。また、 u_b, w_b および p_b は微小振幅波理論より算出する。なお、沖側境界では微小振幅波理論によって算出した流速および圧力を与える。岸側境界は透過境界とし Sommerfeld の放射条件を境界条件として課した。

(2) 濃度

基準点濃度は、計算して得た流速からスプライン補間法を用いて砂粒子頂部の流速を求め、伊福 (1986) の方法を用いて算出した。なお、岸側および沖側境界と上方境界における境界条件は以下のように設定する。

$$\left. \begin{aligned} \partial^2 C / \partial x^2 &= 0; \text{岸側および沖側} \\ \partial^2 C / \partial z^2 &= 0; \text{上方境界} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

3.4 解析方法

x 方向の流速成分および濃度は時間微分を前進差分として近似する。porous body model の解析において、抗力係数および仮想質量係数は 1.0 とし、抗力を評価する際の水平・鉛直方向の代表長は、水平および鉛直方向の格子間隔とするとした轡山・鹿島 (1994) の解析法を採用する。また、地形変化の計算において、岸沖漂砂量は任意の時刻の濃度と x 方向の速度成分の積を底面から上方境界まで積分して算出する。砂の粒径は 0.2 mm、マットの空隙率は 0.5 とする。また、水平方向の格子間隔は 5 cm、上方境界は底面より 0.2 m の高さに取り、これを 40 等分する。なお、解析領域は 6 m とし、中央に長さ 4 m のマット敷設帯を設ける。マットの厚さは 4 cm および 8 cm の 2 通りとする。

4. 解析結果

4.1 水平方向流速の鉛直分布

図-6 は、岸沖方向の流速成分の鉛直分布を示したものであり、マット敷設領域中央位置 ($x_c = 0$ m) を波の峯が通過するときの位相を 0 とする。なお、水深は 4 m、波高は 1 m、周期は 4 s とした。(a) および (b) は、それぞれマット敷設領域中央位置とそれより岸側 2 m の位置におけるものである。(a) をみるとマット内での流速の位相変化は、マットのない場合と比較すると、 $\pi/2$ や $3\pi/2$ の流れの向きが逆転する位相では流速振幅は大きくなるものの、波の峯や谷の位相では流速振幅は激減する。とくに、底面近傍においては波の峯の位相における流速振幅は流れの向きが逆転する位相のそれより小さい。一方、波の谷の位相では、マット上縁部の上方で流速振幅が増大する。(b) をみると、マット内での流速の位相変化は、マットのない場合と比較すると、(a) と同じく $\pi/2$ や $3\pi/2$ の流れの向きが逆転する位相では流速振幅は大きくなる。また、(a) と比較すると、 $\pi/2$ および $3\pi/2$ の位相において、流速振幅が最大となる位置は高くなる。とくに、 $3\pi/2$ の位相においては、マット上縁部より僅かに上方境界に近い高さが最大となる。さらに、波の峯の位相における流速振幅は激減するのに対して、波の谷の位相における流速振幅は増大する。この波の谷の位相における流速振幅の増大は、マット端部の局所洗掘の要因ともなり得る。なお、マットの厚さが 8 cm の場合もほぼ似た傾向を示す。

4.2 時間平均浮遊砂濃度の鉛直分布

図-7 はマット敷設の有無による時間平均浮遊砂濃度

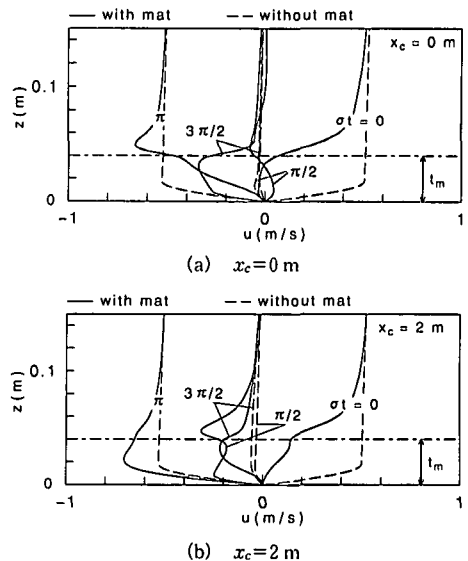


図-6 水平方向流速の鉛直分布

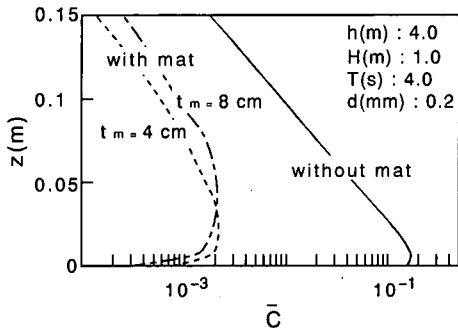


図-7 時間平均浮遊砂濃度の鉛直分布

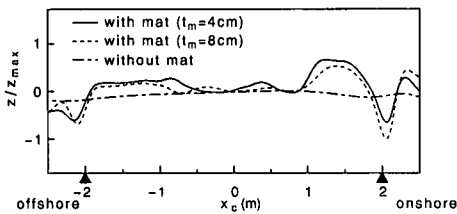


図-8 地形変化

の鉛直分布を示したものである。位置はマット敷設領域の中央である。なお、計算に用いた波の諸元は図-6と同一である。図-6にみられるように、マットの敷設によって底面付近の流速がかなり小さくなることから、海底からの底質の pick-up 量が減少するため浮遊砂濃度はかなり低くなる。マットの厚さが 4 cm および 8 cm の場合、マット上縁部付近の浮遊砂濃度は、それぞれマットを敷設しない場合の浮遊砂濃度の 1/30 および 1/10 程度になる。こうした流速の減少に起因する底質の pick-up 量の減少は、アマモの生育にとって好条件がもたらされたことになる。

4.3 地形変化

図-8は、マット敷設付近における地形変化を示したものであり、 z 軸は地形の変化量を $x_c = 2$ m 付近の最大洗掘量で無次元化している。マットを敷設しない場合、底面は僅かではあるが侵食されている。一方、厚さ 4 cm および 8 cm のマットを敷設した場合、敷設領域内においては砂が堆積し、その量は岸側ほど多いようである。しかしながら、マット敷設領域の沖側および岸側の端付近では局所洗掘が生じ、マットの厚さが大きいほど洗掘量も大きい。

5. おわりに

本研究で得た結果を要約すると以下の通りである。

(1) 現地海岸では、C 地点は比較的水深が浅く、波や流れの作用を受けるため発芽・生育とも悪いが、A 地点

および B 地点においては、天然アマモと比較して生育密度はかなり高いことから、ここで用いた播種方法はアマモ場造成において有効な手段の一つになると考える。

(2) porous body model を用いて解析したマット周辺の流速は、流速振幅が比較的大きい位相においてはマット内の流速は減少している。また、マット内では鉛直流の発生に伴って循環流が存在する。

(3) 流体中の浮遊砂濃度は、マットの敷設に伴う底面からの砂の pick-up 量の減少によって 1/10~1/30 程度にまで低くなる。

ここで用いたマットの敷設により底面付近の流速および漂砂の制御が可能となることから、アマモの発芽・生育に対して良い環境条件が整えられることが明らかになった。今後は、現地観測を継続すると同時にマットの敷設方法や播種方法の改良に努めて行くつもりである。

謝辞：資料の多くは、徳島県水産試験場鳴門分場園昭紀氏から提供して頂いたものである。貴重な資料を快く公表して頂いたことに謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 伊福 誠 (1986): 砕波帯における浮遊砂の濃度分布、ながれ、Vol. 5, pp. 326-339.
- 大島泰雄 (1972): 瀬戸内海における藻場の消滅あるいは衰退の現状について、さいばい、No. 4, pp. 4-7.
- 大野正夫編 (1996): 21 世紀の海藻資源—生態機構と利用の可能性—、緑書房、p. 19.
- 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・下茂 繁 (1986): アマモへの温度の影響・発芽と発芽体の生長、電力中央研究所報告 486019, 18 p.
- 川崎保夫・石川雄介・丸山康樹 (1990): アマモ場造成の適地選定法、沿岸海洋研究ノート、第 27 巻、第 2 号、pp. 136-145.
- 嶺山 勉・鹿島遼一 (1994): 透過性防波堤周辺の波動場解析へのポラスボディモデルの適用、電力中央研究所報告、研究報告：U 93052, pp. 1-45.
- 寺脇利信・飯塚貞二 (1985): 電源立地点の藻場造成技術の開発第 2 報 アマモの生育に及ぼす移植条件の影響 I、電力中央研究所報告 485013, 28 p.
- 園 昭紀 (1996): 藻場造成マットを使ったアマモ場の造成試験、平成 8 年度 南西海区ブロック藻類研究会誌、第 16 号、pp. 31-36.
- 福田富男・松村真作・安家重材・篠原基之・寺島 朴 (1977): 保護水面内に設置した網魚礁および投石等の効果-III (1976)、昭和 51 年度岡山県水産試験場事業報告書、pp. 74-88.
- 前川兼佑 (1961): 瀬戸内海、とくに山口県沿岸における漁業の調整管理と資源培養に関する研究、山口県内海水産試験場調査研究業績、第 11 巻、第 1 号、483 p.
- Sha, W. T., H. M. Domanus, R. C. Schmitt, J. J. Oras and E. I. H. Lin (1978): COMMIX-1: A three dimensional transient single-phase component computer program for thermal-hydraulic analysis, Argonne National Laboratory, NUREG/CR-0785, ANL-77-96.