

外洋性二枚貝の浮遊稚貝の着底率と波と流れによる着底稚貝の移動に関する研究

小野 正 順*・山 崎 剛 央**・出 口 一 郎***

1. はじめに

砂浜性二枚貝は、潜砂能力の優劣により外洋性二枚貝と内湾性二枚貝の2種類に分類される。地形変化が激しい高波浪が来襲する外洋性の砂浜では、潜砂速度の速い外洋性二枚貝が生活している。外洋性二枚貝のライフサイクルは、産卵→浮遊稚貝→着底稚貝→成貝の過程を経る。これらのライフサイクルの中で成貝の資源量は、母貝の個体数分布、浮遊幼生の介入量、浮遊稚貝の着底量、着底してから生残量の4つのどの過程で決定されるのかはわかっていない。しかしながら、ライフサイクルの中では、浮遊から着底にかけての過程で個体数の減少が最も多いことが知られている。チョウセンハマグリの生態や底質環境、海浜地形（バー・トラフ）とチョウセンハマグリの分布の関係などについては、安永ら（1985）、日向野ら（1988）や宇多（1994）によって報告されている。また、中村ら（1990）はチョウセンハマグリと同じ外洋性二枚貝のウバガイ稚貝を用いた2次元移動床実験結果から岸沖輸送に関するダイヤグラムを提案している。桑原ら（1994）はウバガイに対して運動方程式を用いた成貝の移動特性について報告している。しかしながら、減耗量の多い稚貝期における波浪環境の影響や平面的な検討は行われていない。

これらの観点より本研究では、愛知県水産試験場で昭和63年から平成元年に行われた遠州灘（赤羽根漁港沖）でのチョウセンハマグリの浮遊稚貝・着底稚貝の分布観測結果（1989）から浮遊稚貝の着底量に関する検討を行った。また、外洋性二枚貝は波浪条件の厳しい場所で生活するため、潜砂深度も潜砂速度も小さい着底初期稚貝は波や流れによる影響を大きく受けることが考えられる。従って、波と流れによる着底初期稚貝の移動について検討を行った。

2. チョウセンハマグリの生態

チョウセンハマグリの産卵期は7月-10月で8月に

ピークを示す。ふ化した幼生は10-15日の浮遊期間を経て殻長0.17-0.20 mmの大きさで着底する。着底後の成長速度は水温などに左右されるが1年で10-15 mm程度に成長する。

3. 観測の概要（1989）

調査対象地域は愛知県遠州灘の赤羽根漁港の西1.5 kmの海域で、図-1に示すように水深4 mの地点に、海岸侵食防止を目的とした堤長200 mと100 mの離岸堤が開口幅75 mで2基設置されている。観測点は、図中に示す沿岸・岸沖方向にそれぞれ50 m間隔で設置された35地点である。浮遊稚貝の採集は北原定量ネットで底上1 mより垂直曳きにより採集され、浅い測点では30 lの海水を採水しプランクトンネットで採集された。着底初期稚貝（殻長0.99 mm以下）の採集は、海底の極表面の25 cm×25 cmを採泥器で採泥した後、0.25 mmと0.5 mmの篩にかけて選別されている。浮遊稚貝と着底稚貝の採集は、平成元年5/25、6/30、8/8、8/21、9/18、10/11、10/24の7回行われている。なお、浮遊稚貝の採集は6/30を除いて全て退潮時に行われている。

4. 浮遊稚貝の着底率

4.1 浮遊稚貝の分布特性

水深方向に浮遊稚貝の濃度が一様と仮定して、 i 地点

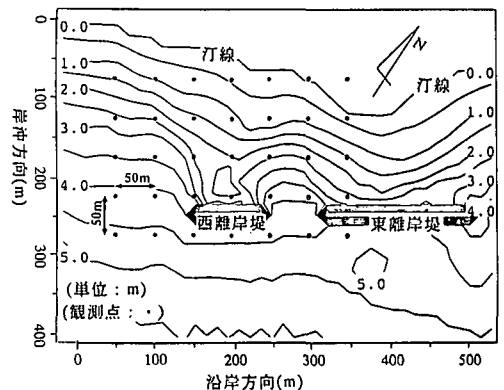


図-1 調査対象海域と観測点

* 正会員 工博 大阪大学講師 大学院工学研究科土木工学専攻
** 京都府
*** 正会員 工博 大阪大学助教授 大学院工学研究科土木工学専攻

で採取された浮遊稚貝の個体数を 1 m^3 当たりの個体数 c_i に換算し、次式に示す 1 観測地点 1 m^2 当たりの平均の浮遊稚貝個体数 D_s を計算する。

$$D_s = \sum_{i=1}^{35} c_i h_i / 35 \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 h_i は i 地点での水深を示す。1 観測地点当たりの浮遊稚貝個体数 D_s の季節変動は、5/25：0 個/ m^2 、6/30：195 個/ m^2 、8/8：177 個/ m^2 、8/21：176 個/ m^2 、9/18：21 個/ m^2 、10/24：110 個/ m^2 となっており、産卵が活発に行われる期間は 6 月下旬から 8 月下旬であることがわかる。なお、観測地点の平均水深が 2.3 m なのでこの時の浮遊稚貝の平均濃度は 90 個/ m^3 程度となる。アサリなどの内湾性二枚貝の浮遊稚貝の平均濃度が数千から数万個/ m^3 に達することを考えるとかなり少ない。これは、浮遊稚貝の外海域への流出、母貝の個体数が少ないことなどが原因と考えられる。図-2 は、8/8 に採集された浮遊稚貝数の平面分布を示している。図より、浮遊稚貝は多くの測点で採集されており、産卵期にはこの海域のほぼ全域に浮遊稚貝が存在することがわかる。

4.2 浮遊稚貝の着底率の算定

(a) 調査海域全体で収支を考える場合

浮遊稚貝数がほぼ定常となる 6/30、8/8、8/21 の観測結果を用いる。調査海域の浮遊稚貝数は、ふ化量+介入量（外海からの流入）、着底量、減耗量（外海への流出+死亡）の 3 つの量の収支で決定されると考える。ふ化量+介入量 I_f （個/ m^3/day ）と着底量+減耗量 O_d （個/ m^3/day ）はバランスしている。

$$I_f = O_d \dots\dots\dots (2)$$

6/30、8/8、8/21 に観測された浮遊稚貝の個体数 D_s は、浮遊期間を 15 日間と仮定して、観測 15 日前からのふ化量+介入量の合計に等しい。

$$15 \text{ 日} \times I_f \times \text{平均水深} = D_s \dots\dots\dots (3)$$

上式により $I_f = O_d$ の値を計算すると、6/30、8/8、8/21 に対応する計算値は、それぞれ 5.51、5.19、5.14 個/ m^3/day となる。また、殻長 0.99 mm 以下の着底稚貝は、成長速度より着底後 30 日以内の着底稚貝の合計と考える。着底率を q_L とすると着底稚貝数 D_b （個/ m^2/day ）との関

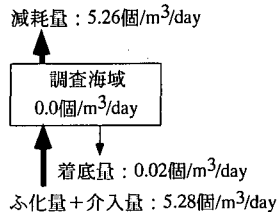


図-3 一日当たりの浮遊稚貝量の収支

係は次式で示される。

$$30 \text{ 日} \times O_d \times q_L \times \text{平均水深} = D_b \dots\dots\dots (4)$$

上式により q_L を計算すると、6/30、8/8、8/21 に対応する計算値は 0.001、0.004、0.003 となり、着底率は 1-4% 程度となる。3 回の観測結果を平均すると図-3 のような結果となる。計算結果から着底量は 0.02 個/ m^3/day 程度であることがわかる。ふ化量+介入量を 5.28 個/ m^3/day とすると着底率は 3% となり、ほとんどの浮遊稚貝は外海への流出や死亡により減耗することがわかる。一方、ふ化量あるいは介入量も含めた量を正確に予測するには、ふ化がはじまり浮遊稚貝数がほぼ定常なるまでの期間（5/25-6/30）の浮遊稚貝の時間変動がわかるような時間スケールで観測を行う必要がある。

(b) 浮遊稚貝の平面分布と日変化を考える場合

浮遊稚貝と着底稚貝の空間分布の関係を検討するため、浮遊稚貝に対して空間分布と時間変化を考慮した。浮遊期間は 15 日間とし、ふ化量すなわち浮遊稚貝数の日変化は各観測結果を線形補間して求めた。観測結果と計算結果の比較は、着底稚貝の分布が多く観測された 9/18、10/24 の結果で行った。図-4、5 はそれぞれ 9/18、10/24 に観測された殻長 0.25-0.99 mm の着底稚貝分布であり、図-6、7 はそれぞれの計算結果を示す。9/18 の結果を比較すると、計算結果では着底率 100% としているため観測地点全域に多くの浮遊稚貝が着底する事になるがその空間分布と着底稚貝の観測結果の空間分布に相関は見られない。10/24 の結果を比較すると西離岸堤沖側の着底稚貝分布に対応が認められるものの、計算結果に見られる岸近くの着底稚貝の分布は観測結果では認められない。この理由には、着底初期稚貝は潜砂位置が浅く、潜砂能力も劣るために、激しい波浪と流れに移流拡散された可能性が考えられる。従って、波と流れによる着底初期稚貝の移動について検討を行った。

5. 波と流れによる着底稚貝の移動特性

5.1 平面波浪場と流れ場の計算

平面波浪場の計算は、非定常緩勾配方程式に基づいて数値計算を行った。また、平面流れ場の計算は、連続の式と海浜流の基礎式を用いて行っている。

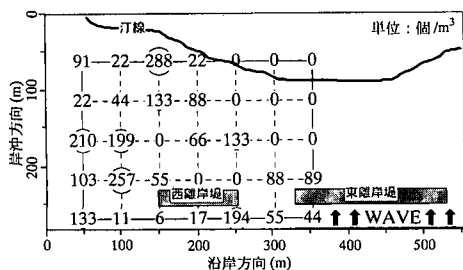


図-2 浮遊稚貝個体数の平面分布の観測結果 (8/8)

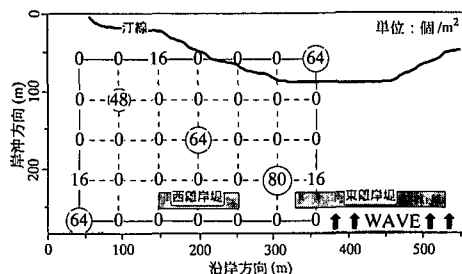


図-4 着底稚貝個体数の平面分布の観測結果 (9/18)

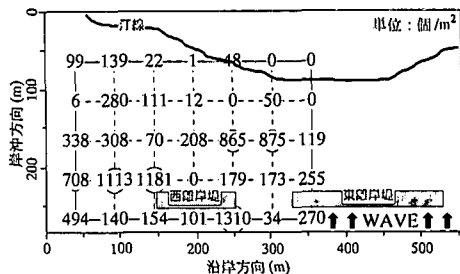


図-6 着底稚貝個体数の平面分布の計算結果 (9/18)

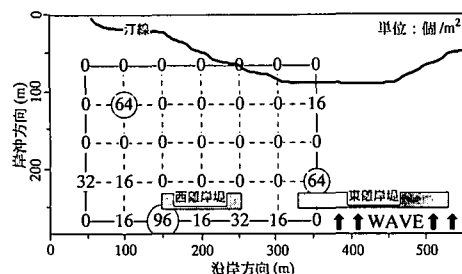


図-5 着底稚貝個体数の平面分布の観測結果 (10/24)

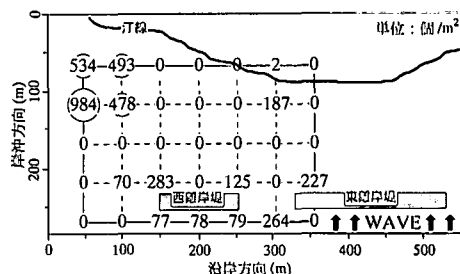


図-7 着底稚貝個体数の平面分布の計算結果 (10/24)

調査海域における来襲波浪は、ほとんど南南東からの波であり、周期は8s、波高は0.5、1.0、1.5mの波高を作用させた。過去十年程度の赤羽根漁港で行われた波浪観測結果によると、1年間で0.5、1.0、1.5mの波高の波はそれぞれ33.2、10.4、3.3%の頻度で来襲する。

5.2 波と流れによる着底稚貝の移動モデル

(a) 移動床実験結果に基づく方法

渡辺 (1982) は、ホルマリンで固定したウバガイ稚貝を用い、着底稚貝の岸沖方向移動に関する2次元移動床実験を行っている。この実験結果を基に中村ら (1990) は、岸沖漂砂の移動方向を規定する2つのパラメータであるアーセル数 U_r とハーレマイヤーの ϕ を用いて、着底稚貝の岸沖方向移動に関するダイヤグラムを提案している。この方法は、砂漣の非対称性により稚貝の移動方向が net onshore と net offshore に規定される。

(b) 運動方程式に基づく方法 (1994)

本研究では、稚貝を球と仮定し式 (5) に示す慣性力及び抗力を考慮した運動方程式を4次のRunge-Kutta法を用いて計算することで移動量を解析する。

$$\begin{aligned}
 (\rho_s - \rho_f) V \frac{du_s(t)}{dt} = & C_M \rho_f V \frac{d(u_f(x, y, t) - u_s(t))}{dt} \\
 & + \frac{1}{2} C_D A \rho_f |u_f(x, y, z) - u_s(t)| (u_f(x, y, t) - u_s(t)) \\
 & - (\rho_s - \rho_f) V g \sin \beta - \mu_f g (\rho_s - \rho_f) V \cos \beta \frac{u_s(t)}{|u_s(t)|}
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 ρ_s, ρ_f : 貝及び流体の密度、 u_s, u_f : 貝の移動速度と流速、 V, A : 貝の体積及び射影面積、 β : 海底勾配、 μ_f : 貝と海底面との摩擦係数、 $C_M (=0.5)$: 付加質量係数、 g : 重力加速度、 C_D : 抗力係数であり次式で定義される。

$$C_D = \frac{24}{Re} (1 + 0.152 \sqrt{Re} + 0.0151 Re) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$Re = |u_s(t) - u_f(x, y, t)| d / \nu \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 Re : レイノルズ数、 d : 貝の殻長、 ν : 動粘性係数である。式 (6) は Molerus & Werther (1968) により提案されており、 $Re=10^4$ 程度まで精度が確かめられている。

5.3 着底稚貝の分布特性

図-8, 9 は殻長が0.25-0.99 mmの着底稚貝分布の8/8, 8/21の観測結果を示す。9/18, 10/24の観測結果は、前述した図-4, 5に示されている。それぞれの結果に連続性が見られないのは、観測間隔が2-4週間ということで、成長速度 (1 cm/year) を考えるとそれぞれ観測されている稚貝は新たに着底した稚貝であるためと考えられる。これらの観測結果より、汀線から3測線以浅の浅い領域では観測領域の西及び東の端で着底稚貝の分布が認められ、西離岸堤の背後 (以浅) では着底稚貝の分布がほとんど見られないことがわかる。また、離岸堤周辺 (水深4m付近) では比較的着底稚貝の分布が多いことがわかる。

5.4 波と流れによる着底稚貝の移動

図-10, 11 は入射波高が 0.5, 1.0 m の場合の方法 (a) の計算結果を示す。入射波高が 1.5 m の場合は 1.0 m の場合とほぼ同様の結果のため割愛した。なお、計算した稚貝の殻長は 0.5 mm で、図中に示すベクトルは沿岸流の計算結果を示している。net onshore と net offshore の

領域はほぼ波高分布に対応しており、その境界は水深が 0.7-0.8 m の位置に対応する。この領域は着底稚貝分布の観測結果の分布が少ない領域であり、この領域を境に浅い領域では net onshore へ、深い領域では net offshore へ移動させられるためと考えられる。沿岸流の平面分布に着目すると、net onshore と net offshore の領域の境で沿岸流の流速が大きく、着底稚貝が沿岸流により西方向に移流されることが考えられる。また、着底稚貝の分布が確認された調査領域の東端では、沿岸流速が小さいことがわかる。なお、沿岸流速の大きい調査領域西側の浅い領域で着底稚貝が観測されていることや、沿岸流速が小さく net offshore の領域にもかかわらず着底稚貝が確認されていないなどの観測結果は説明できない。

図-12, 13, 14 は入射波高が 0.5, 1.0, 1.5 m の場合の方法 (b) の計算結果を示し、1 周期後の着底稚貝の移動ベクトルを示す。計算した稚貝の殻長は、方法 (a) と

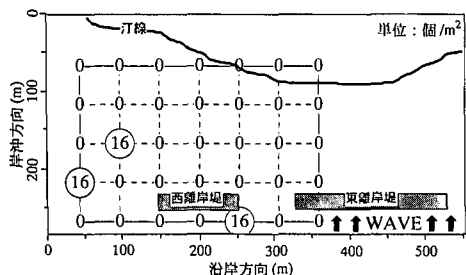


図-8 着底稚貝個体数の平面分布の観測結果 (8/8)

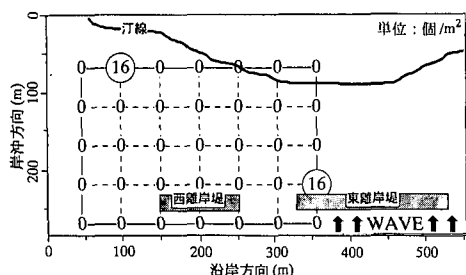
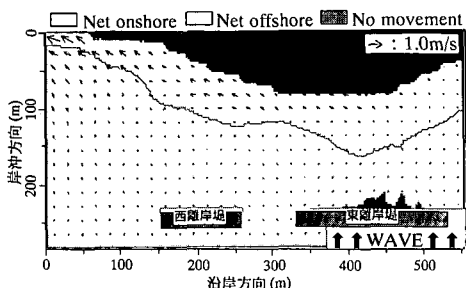
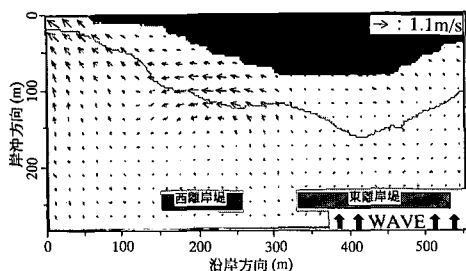
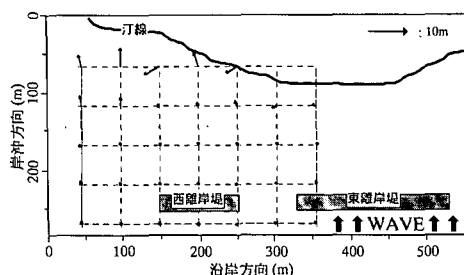
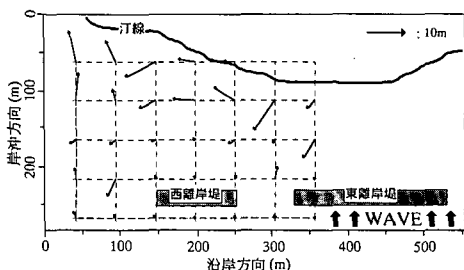
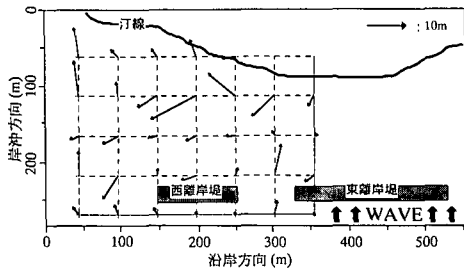


図-9 着底稚貝個体数の平面分布の観測結果 (8/21)

図-10 着底稚貝の岸沖移動方向 ($T=8$ s, $H=0.5$ m)図-11 着底稚貝の岸沖移動方向 ($T=8$ s, $H=1.0$ m)図-12 着底稚貝の一周期後の移動量 ($T=8$ s, $H=0.5$ m)図-13 着底稚貝の一周期後の移動量 ($T=8$ s, $H=1.0$ m)図-14 着底稚貝の一周期後の移動量 ($T=8$ s, $H=1.5$ m)

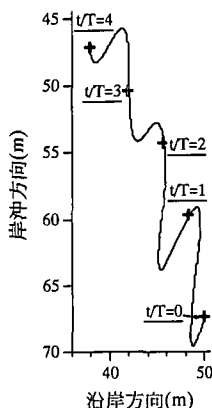


図-15 着底稚貝の移動経路の一例

同様 0.5 mm である。これらの図より、水深の深い領域では波による移動が卓越するため岸沖方向の移動が大きいが、水深の浅い領域では沿岸流による移動が卓越しており汀線に沿った移動が卓越している。本計算結果でも、方法 (a) の計算結果と同様に水深の浅い領域では net onshore, 深い領域では net offshore の傾向が見られる。しかし、高波浪時における西離岸堤沖側や離岸堤開口部での net onshore の移動など局所的には方法 (a) とは結果が異なる。また、高波浪時に西側離岸堤の西側で岸からと沖からの集積が見られ、着底稚貝の観測結果からも分布が確認できる。図-15, 16 は、一例として西の端の最も浅い観測点に置いた着底稚貝の 4 周期間の移動の軌跡と稚貝に作用する流速の時系列を示す。 u_f は岸沖方向、 v_f は沿岸方向の流速を示す。着底稚貝の net の移動が定常的に作用する沿岸流と稚貝の移動に伴って受ける波の流速振幅の変化により生じていることがわかる。

6. 結 論

(1) 外洋性二枚貝の浮遊稚貝量は濃淡の空間分布を持つが、産卵が活発に行われる 7-8 月はほぼ全域に分布しており、浮遊稚貝はほぼ全域に着底していると考えられる。

(2) 外洋性二枚貝の稚貝のほとんどは、浮遊から着底への過程で減耗（外洋へ流出するか、岸へ打ち上げられるか、海底に埋もれる）する。そして対象海域全体での着底率は数%であり、着底稚貝の空間分布は浮遊稚貝の空間分布とほとんど関係がみられない。

(3) 運動方程式に基づき解析された着底稚貝の移動は、定常的に作用する沿岸流と稚貝の移動に伴って受け

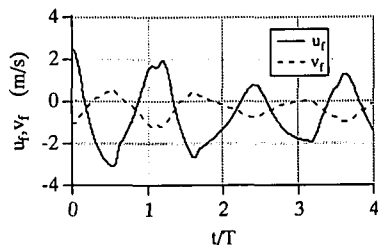


図-16 着底稚貝に作用する流速の時系列

る波の流速振幅の変化によりネットの移動が生じる。

(4) 2 次元移動床実験に基づく着底稚貝の岸沖移動方向のダイアグラムを用いた計算結果と沿岸流速分布の計算結果により、沿岸流速が大きい場所あるいは net onshore と offshore 領域の境界では着底稚貝の分布が見られないことなどの着底稚貝分布の観測結果がほぼ説明できる。

(5) 運動方程式に基づく着底稚貝の移動量の計算結果も全体的には上記計算方法と同様の結果を示す。さらに、局所的に見ても着底稚貝の観測結果に対応する結果が得られており、平面的な着底稚貝の移動を詳細に考えるには運動方程式に基づき解析する必要があることがわかった。

参 考 文 献

- 青木良介・波多野秀之・三井誠一 (1989): 遠州灘漁場開発調査, 愛知県水産試験場年報, pp. 175-177.
- 宇多高明・斉藤光司・横田喜一郎・大原 茂・川中島洋二・内田恵三 (1994): 漂砂移動とチョウセンハマグリ の生息域の関係, 海洋開発論文集, Vol. 10, pp. 123-128.
- 桑原久実・日向野純也・中村義治・三村信男 (1994): 波浪による二枚貝の移動予測モデルの妥当性と移動機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 376-380.
- 中村義治・三村信男・秋元義正 (1990): 波による二枚貝の輸送モデルと漁場形成機構, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 818-822.
- 日向野純也・安永義暢 (1988): 開放性砂浜域における海底地形変化と二枚貝の分布性状について, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 767-771.
- 安永義暢・日向野純也 (1985): 砂泥性着底基質の解明—チョウセンハマグリ稚貝の底質適性に関する一考察—, 水工研技報, No. 6, pp. 15-29.
- 渡辺栄一 (1982): 波浪によるホッキガイの減耗に関する実験的研究, 土木試験所月報, No. 351, pp. 3-15.
- Molerus, O. and J. Werther (1968): Berechnung der Sinkbewegung kugelförmiger Teilchen in einem vertikal pulsierenden Stromungsfeld, Chemie-Ingenieur-Technik, Vol. 40, pp. 522-524.