

遊水部を有する消波工付護岸の越波に関する不規則波実験

間 辺 本 文*・ 山 本 正 昭**・ 中 山 哲 蔵***

1. 緒 言

著者らは、低天端護岸の一形式として、護岸の直立壁から少し離れた前面水域に異形ブロックによる消波工を併設した消波工付護岸（以下遊水部付護岸と称する）を考え、既に規則波を用い越波低減効果について調べ、碎波帯以浅における有用性を明らかにしている^{1),2)}。その結果、①総合的にみて、越波量の減少が最も期待できる遊水部（護岸と消波工間の水域）の水面長さ l' は、遊水部の水位上昇を考慮した遊水部中央水深における入射波の波長 L' の 0.1 倍であること、②規則波実験結果より推定した不規則波に対する越波量では、遊水部付護岸の越波量は異形ブロックを直立壁に接して積み重ねた従来型の消波工付護岸の越波量に比べ、 $i=1/10$ では 0.3~0.6 倍、 $i=1/20$ では 0.1~0.8 倍に減少すること、③局所洗掘は従来型の消波工付護岸と同程度であること等がわかった。さらに規則波実験を通して、越波量は波高のみならず、周期及び遊水部の平均水位に深く関連していることが見い出された。そこで、周期が変動し波群中に大きな波高の波が含まれる不規則波に対するこの構造の有効性が問題となる。

不規則波に対する遊水部付護岸の越波に関連する研究としては、合田、岸良³⁾、高山、永井、西田⁴⁾の透過性の離岸堤を前面に設置した護岸に関する実験的研究がある。合田らは、離岸堤を併設した護岸は、従来型の消波工付護岸に比べ越波低減に有効であるとしている。離岸堤の天端高は、論文中の図より護岸天端高の約 0.5 倍以上あれば有効であることがわかる。また、差異はわずかであるが越波量減少には離岸堤の離岸距離が平均水深に対する波長 L の 0.5~0.8 倍程度であると効果的ではないかとしている。高山らは、護岸設置水深 h/H_0 を 0.8、離岸堤天端高 h_r/H_0 を 0.4 とした場合に、離岸堤設置水深 h/H_0 は越波量にあまり大きい影響を与えないことを示した。このことは、言い換えれば l/L により越波量は大きく変わらないことを意味する。以上の 2 研究は

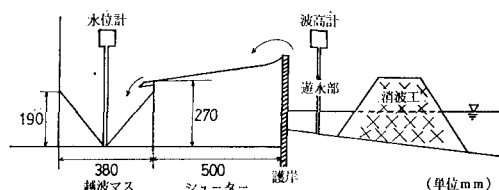
種々の低天端護岸の一形式として扱っているため、定性的な把握にとどまり、かつ消波工の設置位置が波長の 0.1 倍程度の近い場合については検討していない。そこで、本研究では規則波実験の結果をふまえ、 $l/L=0.1$ を中心として、遊水部付護岸の越波特性を不規則波を用い従来型の消波工付護岸との対比を通して検討した。

2. 実験方法

実験に用いた水路は、長さ 100 m、幅 1 m の不規則波造波水路である。模型は想定縮尺 1/30 で、図—1 に示すように護岸背後に越波量測定用のマス进行を設けている。

実験は遊水部の長さ l' を検討した補助実験 A、遊水部の長さを $0.1L'$ に固定し行った本実験、及び消波工の配置を検討した補助実験 B に分けられる。

実験条件を表—1 に示す。設置水深は碎波帯以浅に設置される場合を想定している。波高・周期は 1/3 最大波である。実験 B の消波工の平面配置形は図—2 の通りで、天端高はすべて同一である。Type 3, 4 では護岸に近い消波工までの l' を $0.1L'$ に設定している。遊水部の長さは設計波高 H_0 を 16.7 cm として計算し、海底勾配・周期ごとに変更した。波高により遊水部長さは、 $l/L'=0.1$ の場合で最大 2 cm 程度異なるが、差異が小さいため便宜上同一にした。また、 L' 算定時に必要な遊水部の平均水位上昇量は、規則波の場合と同様に遊水部付護岸がない場合の汀線での平均水位上昇量で代替した^{1),5)}。消波工には、実験波に応じて安定な 120 g、860 g、2000 g の異形コンクリートブロックを用いた。波高が大きい時に転倒が多かったため、重量は設計波高を 26.7 cm としハドソン公式より算定された値の約 2~5 倍とした。消波工天端幅はブロック 2 個並び、法勾配



図—1 遊水部付護岸模型と越波量測定部

* 正会員 工修 水産工学研究所 漁港水理研究室

** 正会員 農博 水産工学研究所 漁港水理研究室長

*** 正会員 工修 水産庁 漁港部計画課

表-1 実験条件

実験の分類		A	本実験			B
海底勾配 i		1/10	1/30			1/10
護岸	設置水深 d (cm)	0.0, -6.0	0.0	-6.7	-6.7	-6.0
	天端高 h_c (cm)	14.0	5.7, 7.0	7.8, 11.2	14.0, 15.2, 16.0	14.0
消波工	天端高 h_r (cm)	12.8	5.7	7.8	12.8	12.8
	遊水部の長さ l'/L'	0.06~0.23	0.1			0.13
	形式	遊水部付	遊水部付, 従来型			遊水部付
沖波	周期 T (s)		2.0, 2.5			2.0
	波高 H_0 (cm)		13.3, 16.7, 20.0, 23.3, 26.7 (目標値)			

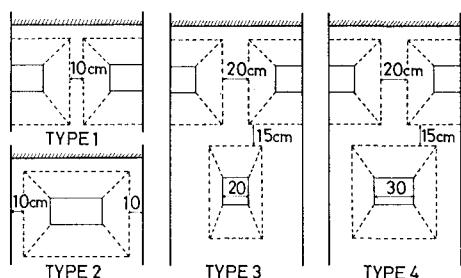


図-2 消波工の平面配置形(実験 B)

は 1:4/3 を目標とした。

実験に用いた入射波のスペクトルは、Bretschneider 型を目標とした。測定した項目は、越波量及び遊水部中央の水位変動等である。測定には容量式波高計を用いた。越波マス内には 2~3 本の水位計を設置し、あらかじめキャリブレーションを行っておく。測定時間は造波後 40 秒後から反射波の影響の出ない約 60 秒間とした。同一条件の実験は 2~4 回繰り返し平均した。

3. 実験結果及び考察

3.1 最適遊水部長さの検討(実験 A)

規則波実験では、 $l'/L'=0.1$ の時に越波量の減少が最も期待できるという結論が得られている。ところが、緒言で述べた離岸堤併設護岸に対する不規則波実験では、 $l/L=0.5\sim 0.8$ 付近が比較的良好であるというものの、その差異はあまり有意ではないようである。入射波が規則的であったり、消波工の反射率が大きい場合には、比較的明確な最適遊水部長さの存在が考えられるが、不規則波でしかも異形ブロックの消波工となると、最適遊水部長さの決定は難しいものと思われる。しかし遊水部の長さは実際に施工する場合、工費に密接に関係するため、不規則波においても検討する必要がある。

最適遊水部長さは規則波実験より得られた結論と著しく異なるとは考えられないため、 $l'/L'=0.06\sim 0.23$ の範囲で行った。図-3 によると、 $T=2.5$ s の場合にはか

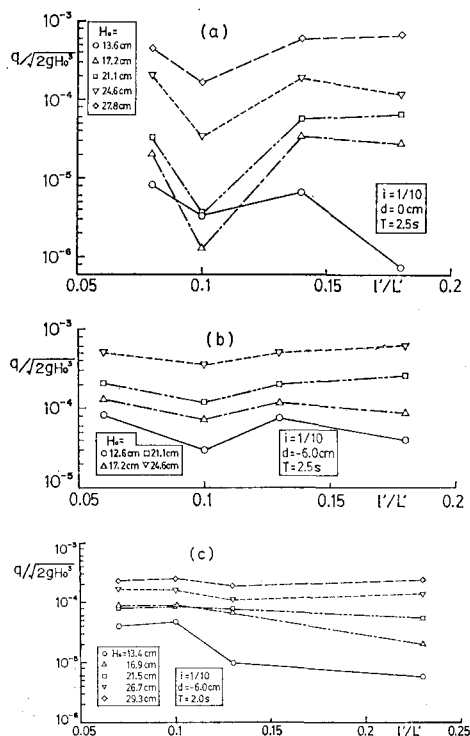


図-3 遊水部の長さによる越波量の変化

なり明確に $l'/L'=0.1$ で、無次元化された単位時間あたりの単位幅越波量が最小となっていることがわかる。しかし、 $T=2.0$ s の場合には、全般的に l'/L' による越波量の変化が少なくなり、0.1 よりむしろ遠い方が越波量は小さい。しかし、 l'/L' がこの範囲を越え大きくなると、波群中に碎波前の波が多くなり越波量は増すと考えられる。工費を念頭におけば、(c) に示した程度の差であれば規則波実験に準拠し、総合的には $l'/L'=0.1$ で適当であると判断できる。

3.2 越波量と遊水部の平均水位の上昇(本実験)

a) 越波量

$l'/L'=0.1$ として、越波量・遊水部の水位変動等を測

定し遊水部付護岸の開発をめざした。

ビデオにより観察したところ、 $i=1/10$ では、巻き波型碎波が卓越しており、それが消波工付近で生じ波高が消波工の天端を上まわっていると多量の越波が発生した。遊水部では相当量の飛沫が上がった。それに対し $i=1/30$ では、崩れ波型碎波が卓越し、やはり消波工天端高と同程度以上の高さで波が到達すると越波が多かった。この場合、流れが支配的で消波工を越流するようにして護岸にあたり越波した。

図-4 に、遊水部付護岸と従来型の消波工付護岸の越波量の比較を示す。いずれの勾配においても、遊水部付護岸の越波量は消波工付護岸の越波量を大きく下まわり、 $i=1/30$ では 0.1~0.5 倍、 $i=1/10$ では 0.07~0.4 倍となっている。 $i=1/10$ の場合には、周期の長い波 ($T=2.5$ s) に対して特に有効であった。つまり、遊水部付護岸は、碎波点付近に設置される場合、波形勾配の小さい波に対してより効果的であると思われる。

ところで、 $i=1/10$ の場合、規則波実験結果より求め

られた不規則波の越波量においては、遊水部付護岸の越波量は消波工付護岸の 0.3~0.6 倍であった¹⁾。今回の不規則波実験による結果の方が越波量の減少量が大きくなっているのは、後述するように遊水部の平均水位の上昇量が不規則波では規則波に比べて小さいことにある。

遊水部付護岸の越波量を左右する因子はいくつか考えられるが、特に沖波有義波高 H_0 、沖波波長 L_0 、海底勾配 i 、護岸設置水深 d 、護岸天端高 h_c 、消波工天端高 h_r 、遊水部の長さ l' 、消波工天端幅 B 、消波工法勾配 α が重要である。本研究では、漁港構造物設計の際の一般的な考え方に従い、 B は異形ブロック 2 個並びとし、 α は $3/4$ としている。また、 l' は $0.1L'$ とし、 h_r は各海底勾配・設置水深ごとに一定で、 $0.7h_c \sim 1.0h_c$ の範囲にあるが、越波低減に十分な天端高はあるものとみなし特に検討しなかった。よって、本研究では、 H_0 、 L_0 、 i 、 d 、 h_c を遊水部付護岸の越波量に密接にかかわるパラメータと考える。このとき、無次元越波量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ は、

$$\frac{q}{\sqrt{2gH_0^3}} = f\left(\frac{H_0}{L_0}, i, \frac{d}{H_0}, \frac{h_c}{H_0}\right) \quad \dots\dots(1)$$

で表わされる。ただし、設置水深 d については、漁港護岸が水深の浅い場所に建設されることを考慮して 2 種類の値で実験を行っているの、各々の水深に分けて考える。図-5 は、海底勾配・現地換算した設置水深ごとに、無次元護岸天端高と無次元越波量の関係を示している。ここで、周期も現地換算値である。図中の直線は、波形勾配 H_0/L_0 をパラメータとし実験データに基づいて引いたものである。実線は遊水部付護岸、点線は消波工付護岸を示している。これらの図と同様なものに消波工付護岸に関する合田らの図⁶⁾がある。図中に一点鎖線で合田らの図から得られた曲線を記入しているが、全般的に本実験値より小さくなっている。これには、合田らの図が主に非碎波領域の実験結果より求められていることと、消波工天端高が比較的高く護岸直立壁の頂部から $0.1H_0$ 程度低い高さであることが関係していると考えられる。図-5 を概観すると、 $i=1/30$ 、 $d=0$ cm の場合、天端高の変化に対する越波量の変化が他に比べ大きく、かつ波形勾配による差もやや小さい。従って、設計のときには護岸の天端高の決定に注意を要する。

次に、遊水部付護岸の消波工付護岸に対する天端高低減係数 β を図-5 の各々について求める。 β はある H_0/L_0 のもとに遊水部付護岸の h_c/H_0 に対する越波量を求め、その越波量となる消波工付護岸の h_c/H_0 を読み両者の比により定義した。 $H_0/L_0=0.02$ 、 0.03 について、遊水部付護岸の h_c/H_0 に対する β を算出したものが図-6 である。 β は h_c/H_0 が小さくなる程小さくなっているが、これは図-5 で実験データを直線近似した結果にすぎない。図中に示した範囲は、海岸構造物築造基

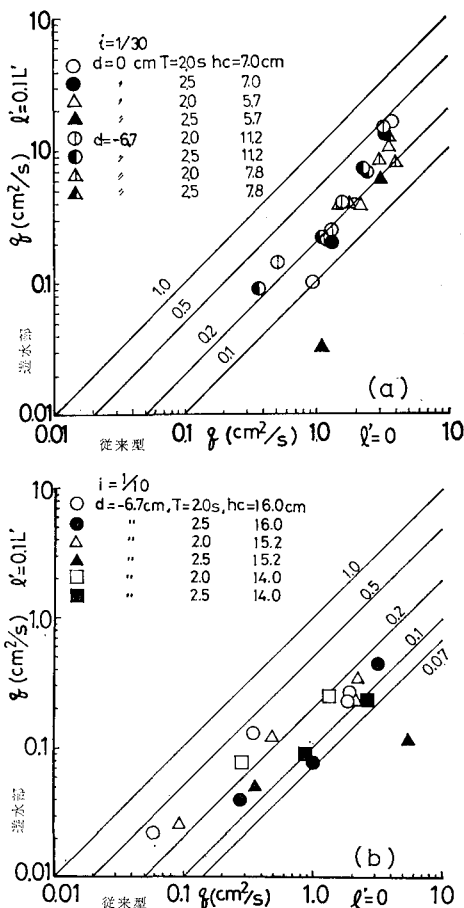


図-4 遊水部付護岸と消波工付護岸の越波量の比較

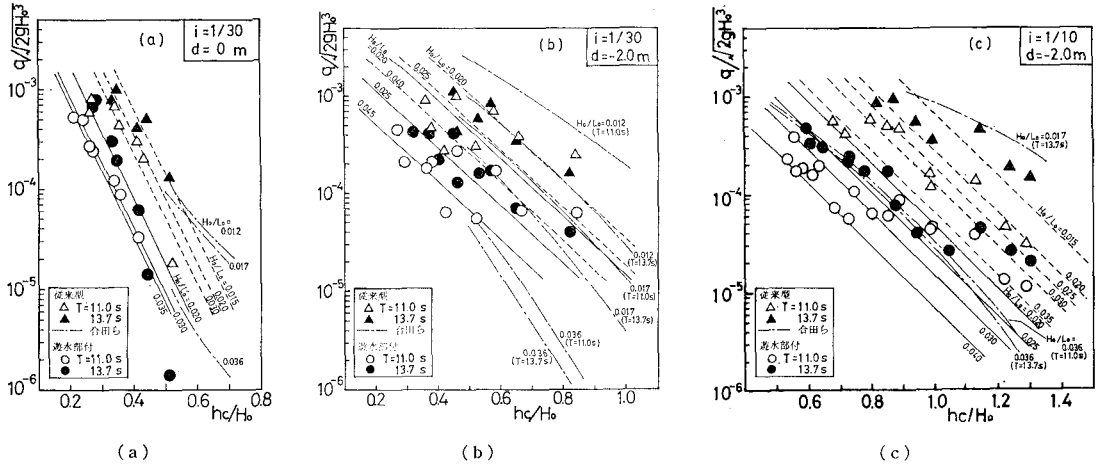


図-5 無次元護岸天端高に対する無次元越波量

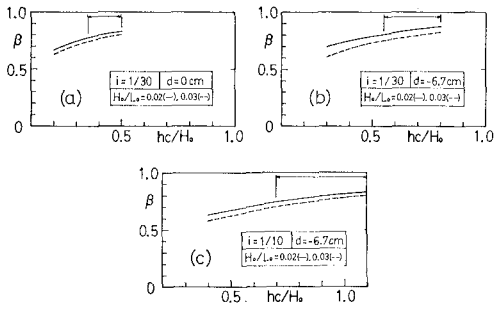


図-6 天端高低減係数

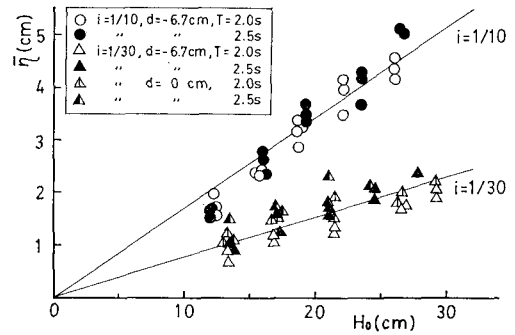


図-7 沖波有義波高に対する遊水部の平均水位上昇量

準解説による消波工付護岸の標準的な天端高とその 0.7 倍の間を示している。 $i=1/30 \sim 1/10$, $d=0 \sim -6.7$ cm の条件のもとで、かつこの天端高の範囲内では、天端高低減係数の護岸の設置水深による違いは小さく、 $i=1/30$ で $0.75 \sim 0.85$, $i=1/10$ で $0.7 \sim 0.8$ 程度となる。

b) 遊水部の平均水位の上昇

規則波実験においては、連続して遊水部に打ち込んでくる波のために遊水部の水位は低下する時間が与えられず、大きな水位上昇が発生し、それが越波量の増加に結びついた。また、不規則波を用いた実験 A における l'/L' に対する平均水位の上昇量は、ほぼ図-3 の越波量と同傾向を示しており、遊水部の平均水位と越波量に関連深いことを物語っている。従って、さらに不規則波に対する遊水部の水位上昇を把握することが重要となる。

図-7 は、沖波有義波高 H_0 に対する遊水部の平均水位の上昇量をプロットしたものである。平均水位の上昇量は海底勾配ごとに H_0 に対しほぼ直線的に増加している。 $i=1/10$ の場合の $\bar{\eta}$ は、 $i=1/30$ の場合の $\bar{\eta}$ の概略 2.3 倍である。 $i=1/30$ では、長い周期 ($T=2.5$ s) 及び浅い水深 ($d=0$ cm) の $\bar{\eta}$ の方が大きくなっている。

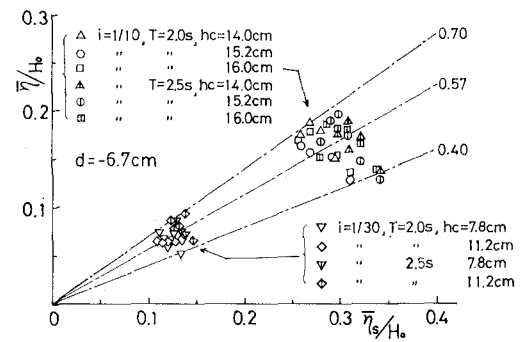


図-8 規則波及び不規則波に対する遊水部の平均水位上昇量

る。一方、 $i=1/10$ では周期による差はほとんどない。

図-8 は、 $i=1/10$, $1/30$, $d=-6.7$ cm の場合の規則波及び不規則波に対する遊水部の平均水位の上昇量を比較したものである。ただし、実験条件が対応しないため、規則波に対する水位上昇は、規則波に対する汀線の水位上昇 $\bar{\eta}_s$ で代替している⁷⁾。 $\bar{\eta}_s$ は次に示す佐々木ら

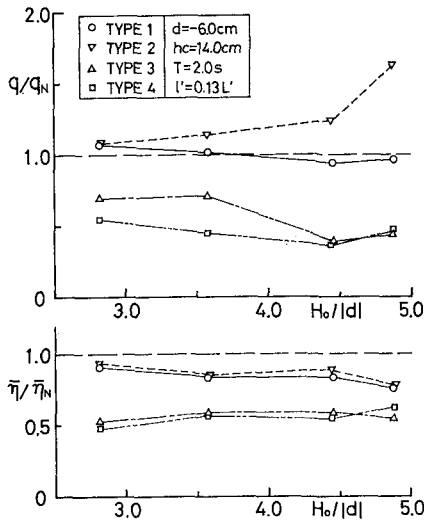


図-9 消波工の配置の違いによる越波量と遊水部の平均水位上昇量

の実験式により算定している⁸⁾。

$$\bar{\eta}_s/H_B = 1.63i + 0.048 \quad \dots\dots\dots(2)$$

図より、 $\bar{\eta}/H_0$ は $\bar{\eta}_s/H_0$ の 0.4~0.7 倍、平均で 0.57 倍となっていることがわかる。規則波実験結果より推定した不規則波の越波量が小さかったのは、この水位上昇の違いによると考えられる。

3.3 消波工の配置の検討(実験B)

目視観察によれば、不規則波に対する遊水部付護岸からの越波は、波高の大きな波あるいは遊水部の水位が上昇した際に来襲する波により断続的に起こる。遊水部の水位上昇は規則波に比べ小さいことがわかったが、 $i=1/10$ のような急勾配斜面上では、不規則波でも水位上昇量は大きい。その水位を低下させることができれば、一層の越波量の減少が期待できる。

今回は、幅 1m の水路で、先に示した 4 タイプについて越波量と水位上昇を調べた。その結果を図-9 に示す。ここで、添字 N は前節まで述べてきた、全幅に消波工を設置したときの値である。また、 $\bar{\eta}$ は護岸前面水位の平均で、波が直接あたる部分と消波工の陰の部分の水位の平均である。

Type 1 では、 $\bar{\eta}$ がやや小さくなったため、単位幅越

波量は間をあけない場合とほぼ同程度となった。Type 2 では、計 20 cm あけたにもかかわらず、 $\bar{\eta}$ は Type 1 とほぼ同じで、越波量は多くなった。これらのタイプは、消波工を設置しない部分で局所的に越波が激しくなることが問題である。Type 3, 4 では、 $\bar{\eta}$ は 5 割強、 q は 5 割内外に減少している。この例では、遊水部の平均水位の上昇を抑制することにより、越波量が著しく減少することがわかった。しかし、一方、経済面で考えると不利な平面配置形である。

4. 結 言

本研究により、不規則波に対する、砕波帯以浅に設置された遊水部付護岸の越波特性が明らかになり、従来型の消波工付護岸に比べ、護岸天端高が低減できることがわかった。

遊水部では、海底勾配が急な場合は特に、波のうちこみにより鉛直方向に相当量の飛沫が散乱するため、岸向きに暴風が吹いている激浪時には、越波量が増加すると考えられる。従って、風による影響も含め、現地データによる検証が必要であろう。

なお、本研究は海岸事業調査費により行った。

参 考 文 献

- 1) 山本正昭・西 裕司: 越波の少ない低天端堤の開発, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 537~541, 1984.
- 2) 山本正昭・西 裕司・中山哲殿: 遊水部を有する消波工付護岸の洗掘防止について, 水産工学研究所技報, 水産土木第 4 号, pp. 89~100, 1983.
- 3) 合田良実・岸良安治: 不規則波による低端護岸の越波特性実験, 港湾技術研究所資料, No. 242, 1976.
- 4) 高山知司・永井紀彦・西田一彦: 各種消波工による越波流量の減少効果, 港湾技術研究所報告, 第 21 巻, 第 2 号, pp. 151~205, 1982.
- 5) 中山哲殿・山本正昭・間辺本文: 遊水部を有する消波工付護岸の越波に関する研究(不規則波実験), 水産工学研究所技報, 水産土木第 7 号, pp. 217~229, 1986.
- 6) 合田良実・岸良安治・神山 豊: 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第 14 巻, 第 4 号, pp. 3~44, 1975.
- 7) 西 裕司・山本正昭: 遊水部を有する消波工付護岸の越波に関する研究, 水産工学研究所報告, 第 3 号, pp. 127~142, 1982.
- 8) 佐々木幹夫・佐伯 浩: 砕波後の波の変形に関する実験的研究(2), 第 21 回海岸工学講演会論文集, pp. 39~44, 1974.