

ブロック積傾斜防波堤の波高伝達率に関する実験的研究

三 浦 晃*・遠 藤 茂 勝**

1. ま え が き

透過性防波堤の波高伝達率に関する研究^{1)~5)}は数多く行われ、透過性構造物の水理特性すなわち、入射波と構造物に関連する消波効果および構造物前後における波の変形とエネルギー損失などについて、理論的実験的に研究されてきた。しかしながらブロック積の透過性防波堤に関する研究は比較的少なく、これまでの研究では、堤体形状、特にブロック積防波堤の堤体幅に対する波高伝達率の減少効果や、防波堤内部における波高伝達の伝達過程については、まだ十分把握されず、防波堤に波が入射したのちの防波堤内での波高伝達と、防波堤背後水域への伝達率の関連についてはあまり明らかにされていない。そこで、本研究では、ブロック積の防波堤に波が入射して伝達される過程の中でもとくに防波堤の安定性に関係すると考えられる防波堤内部の波高伝達率および堤体幅員による防波堤背後への波高伝達率の減少効果を調べる目的で実験を行った。

2. 実験装置と実験方法

実験は、長さ 27.6m、幅 0.7m、高さ 1.0m の両面ガラス張の鋼製二次元水槽を用いた。この水槽の一端にはピストン式造波装置を、また他端と造波板背後には、スリット型直立消波装置が設置されている。実験は、消波用異型ブロックの 1/25 モデルを用いた傾斜式防波堤でブロックの大きさ 8.4 cm、重量 328 g、体積 145.58 cm³ のものである。

入射波高、内部伝達波高および防波堤背後への伝達波高の測定は、容量式波高計によって検出し、デジタル水位記録装置に記録した。また造波周期は、ポテンシャルメーターによりモーター電流を調整し、造波板の往復運動から光電式デジタルカウンターによって測定した。本文で用いた入射波高 H_i は、堤体を設置する前に堤体設置地点であらかじめ測定した波高である。また堤体背後への伝達波高 H_t は、平均水面が、堤体を横切る

部分から後側に 1.0m 離れた地点で測定した値を用いたが H_i , H_t はそれぞれ防波堤前面および水槽末端で反射した波によって比較的短時間に重複状態となり、実験データのばらつきの原因となるのでそれらを考慮して次の方法で求めることとした。従来波高の計算に当っては、造波された波が安定してから後の 5 波程度の波をとってそれらの平均値で表わし、入射波の周期に関係なく一律の取り扱いをしてきたが、水槽の長さやモデルの設置地点によっては、周期の長い波では反射波の影響が入りやすく実験結果のばらつきとなって表われる。そこで本実験では、造波板で起こされた波が防波堤前面で反射して反射波が造波板にもどるまでの時間と、防波堤内を伝達し防波堤背後水域に伝達された波が、水槽の末端で反射して H_t の測定地点にもどるまでの時間を考慮し、その時間内で実験を行うものとした。そして H_t の計算は、造波された波が安定するまでの、それぞれの周期の波に対するオミット波数 N を求め $(N+1)$ 波目の波から基本波数として連続 6 波を選び、さらに 6 波中の max と min を省いた 4 波の平均値とした。

本実験の条件は、すべて越波状態が発生しない場合の実験で、水深 h を 20.0 cm、30.0 cm、40.0 cm の 3 種、防波堤のり勾配 α を 1:1.0、1:1.5 とし、平均水面で測った堤体幅員を 40.0、60.0、85.0、105.0、160.0 cm の 5 種とし、空隙率 60% とした。これらのうち水深 30.0 cm および 40.0 cm における条件を示したものが表—1 であるが、防波堤内部の波高伝達率に関する実

表—1 実験条件

Exp. No.	h (cm)	α	B(cm)	Void (%)	h(cm)	T (sec)	Hi/L
1	30.0	1:1.5	40.0	60.3	13.3	1.0	0.0081~0.0621
2			60.0	59.9	20.0	1.2	0.0081~0.0762
3			85.0	58.8	20.0	1.6	0.0081~0.0762
4			105.0	59.7	20.0	1.8	0.0081~0.0762
5			160.0	60.4	20.0	2.0	0.0096~0.0762
6	40.0	1:1.0	40.0	58.9	20.0	1.0	0.0080~0.0661
7			60.0	60.0	30.0	1.2	0.0080~0.0661
8			85.0	59.3	30.0	1.6	0.0080~0.0661
9			105.0	59.8	30.0	1.8	0.0081~0.0661
						2.0	
						2.2	

* 正会員 理博 日本大学教授 生産工学部土木工学科

** 正会員 工修 日本大学講師 生産工学部土木工学科

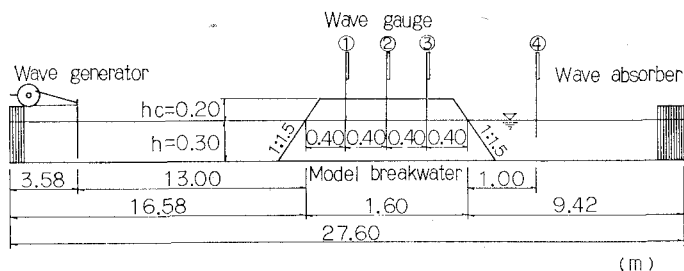


図-1 実験装置配置図

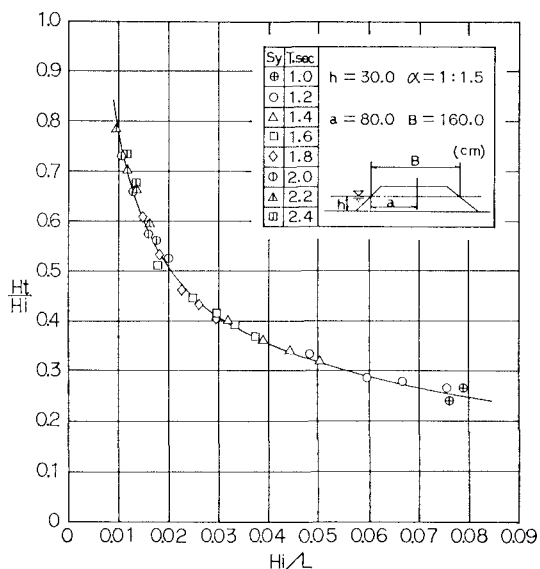
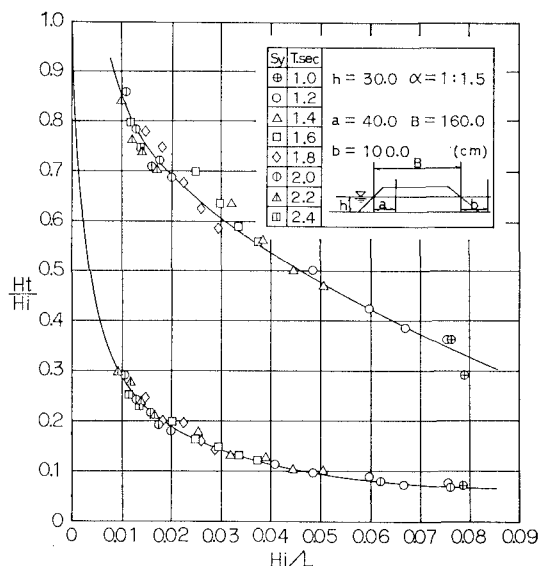
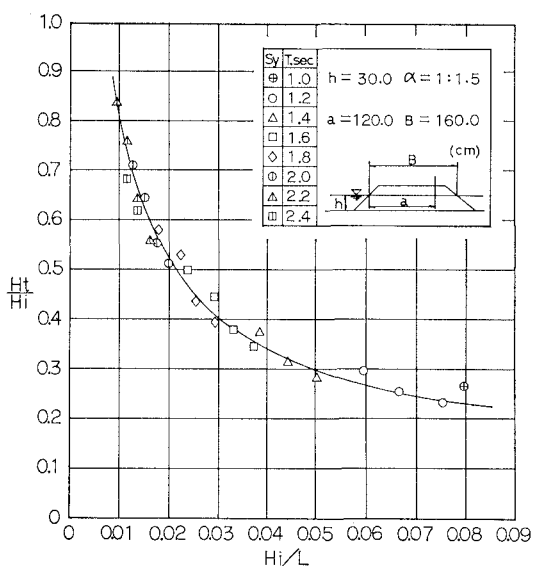
験は水深 30.0 cm, 堤体幅 160.0 cm のり勾配 1:1.5 のものについて行ったものである。

3. 内部伝達波の実験結果

(1) 入射波波形勾配と内部波高伝達率

透過性防波堤が砕石や人工ブロックなどで構成される場合防波堤内部の波高分布は防波堤の安定性を検討するうえで重要である。そこで本実験では防波堤内部の波高伝達特性を調べることにし、防波堤の相対堤体幅 B/L が 0.4~1.0 程度の長大幅をもつブロック積防波堤について行った。内部伝達波高の測定には容量式波高計を防波堤内部に挿入して測定したが、その測定位置および実験装置の一般配置図を示したものが図-1である。

図-2~4は B が 160.0 cm のときの入射波波形勾配と内部波高伝達率の関係を入射波周期をパラメーターとして示した結果である。図-2 は防波堤の入射面からの距離 a が 40.0 cm の位置における内部伝達波高と入射波高との比を縦軸にとって示した結果で、内部波高伝達率は、図の下側に示した堤体より 1.0m 背後の波高伝達率

図-3 入射波波形勾配と内部波高伝達率 ($a/B=0.50$)図-2 入射波波形勾配と内部波高伝達率 ($a/B=0.25$)図-4 入射波波形勾配と内部波高伝達率 ($a/B=0.75$)

の結果と同様に、防波堤の形状特性が一定の場合は入射波周期に関係なく、入射波の波形勾配によって定まることがわかる。この傾向は 図-3 および 図-4 にもみられ、防波堤内部の他の測点でも同様な結果がえられた。これら3地点の内部波高伝達率の結果によれば、入射側に一番近い、 a が 40.0 cm ($a/B=0.25$) の測点における内部波高伝達率が最も大きく防波堤内を波が伝達するにつれて伝達率は減少することがわかる。しかし、 a が 80.0 cm ($a/B=0.50$) における結果と a が 120.0 cm ($a/B=0.75$) における結果を比較してみると、波高伝達率は、すべての入射波波形勾配に対してきわめて近似した値を示し、入射面からの距離が異なるにもかかわらず、波高伝達率は若干の差が認められる程度ではほぼ同程度の伝達率を示している。これは防波堤の堤体幅が十分広いため、ある程度まで減衰した後は、空隙などに支配され、波が制約された状態で伝達するものと考えられる。

(2) a/B と内部波高伝達率

防波堤内を伝達する波高は、防波堤前面に入射する入射波高や堤体幅と入射波の波長との比 B/L などによって変化することは本実験結果でも認められるが、防波堤前面からの距離と堤体幅の比 a/B と内部波高伝達率 H_t/H_i の結果を示したものが 図-5 である。この結果は 図-2~4 を入射波の波形勾配をパラメータとしてプロットしたもので、内部波高伝達率は、堤体のほぼ中間地点まではかなり急激に減衰しているが、それ以後は減衰の割合がきわめてゆるやかで、堤体の中央部から後側の過程では大きな変化は認められない。

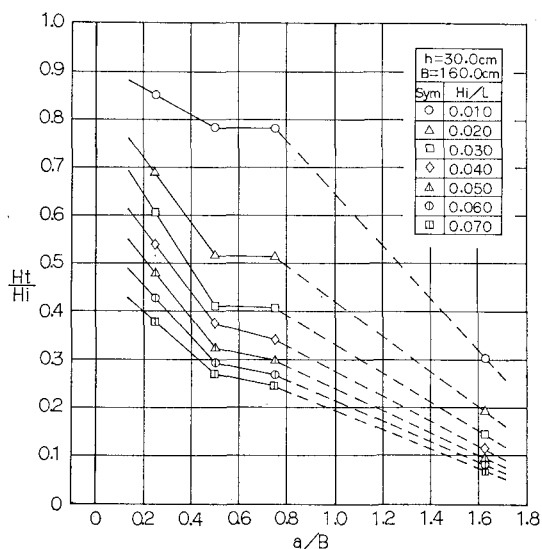


図-5 a/B と内部波高伝達率
($\alpha=1:1.5$)

4. 波高伝達率の実験結果

ブロックをもちいた透過性防波堤では、実用的には、堤体幅が波長の1割程度から長い場合でも2割程度と考えられるが、堤体幅による波高伝達率の減衰に着目し堤体幅が約1波長程度の長大幅をもつ防波堤の波高伝達率について調べた。ここに示した 図-6 は水深 30.0 cm の実験結果をまとめたもので、防波堤の堤体幅 B を変化させた場合である。また 図-7 は水深 40.0 cm の結果を示したものである。

(1) 水深およびのり勾配と波高伝達率

本実験では水深、堤体幅および堤体のり勾配などを変えて行ったので、ブロック積防波堤の波高伝達率に関するそれらの効果について検討することができる。

いま、堤体のり勾配が 1:1.5 の場合で、堤体幅が 40.0 cm における水深 30.0 cm と 40.0 cm の結果を比較してみると、入射波の波形勾配が大きいところで約 3.0% 程度の差が認められる程度で、 B が 105.0 cm の場合でも水深の違いによる波高伝達率の差はほとんど認められず水深 40.0 cm の結果も 図-6 に示した結果とほぼ一致した。

また水深を一定として堤体のり勾配を変えた結果では、堤体幅が小さい時にはほぼ一致し、堤体幅が大きい場合でも 2.0~3.0% の差が認められる程度でのり勾配の影響もきわめて少なく明確な差は認められなかった。

(2) 堤体幅員と波高伝達率

堤体幅に対する波高伝達率の違いは 図-6, 7 に示し

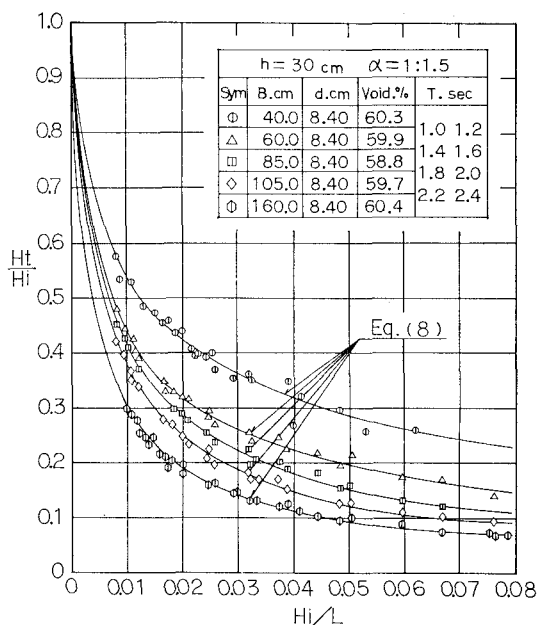


図-6 入射波波形勾配と波高伝達率
(Exp. No. 1~5)

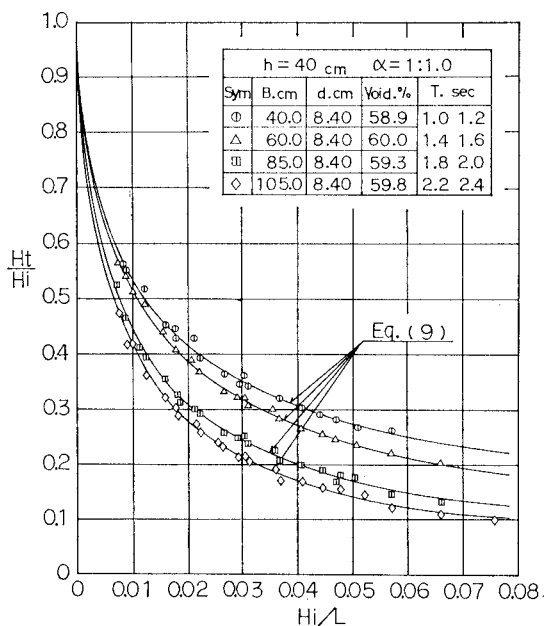


図-7 入射波波形勾配と波高伝達率
(Exp. No. 6~9)

たとおりであるが、いま、堤体を構成するブロックの大きさ d と堤体幅員 B の比 B/d と、波高伝達率について調べると、水深 30.0 cm, のり勾配 1:1.5 の結果では、入射波波形勾配が 0.02 より大きい範囲では B/d が 4.76, すなわちブロックの大きさに対して約 5 倍の幅をもつ堤体と、約 7.0 倍の幅をもつ堤体とでは後者が約 10.0% 低いのにに対して、堤体幅が d の約 10 倍になっても 15.0% 程度減少する程度で防波堤の堤体幅の増大と波高伝達率減少の割合は指数関数的な変化を示し堤体幅が増大する割合に比して波高伝達率の減少は少ない。しかし、この傾向は、入射波波形勾配によって若干傾向を異にするので、波高伝達率と B/d の関係にまとめたものが図-8である。

これらの結果によれば、入射波の波形勾配が大きくなると波高伝達率に関する B/d の効果はいくらか少なくなるが、 B/d と Ht/Hi の関係は次式で表わされる。

$H_i/L=0.01$ のとき

$$\frac{H_t}{H_i} = -0.416 \log \frac{B}{d} + 0.816 \quad \text{ただし} \quad \frac{B}{d} < 18 \quad (1)$$

$H_i/L=0.03$ のとき

$$\frac{H_t}{H_i} = -0.400 \log \frac{B}{d} + 0.621 \quad \frac{B}{d} < 17 \quad (2)$$

$H_i/L=0.05$ のとき

$$\frac{H_t}{H_i} = -0.388 \log \frac{B}{d} + 0.545 \quad \frac{B}{d} < 16 \quad (3)$$

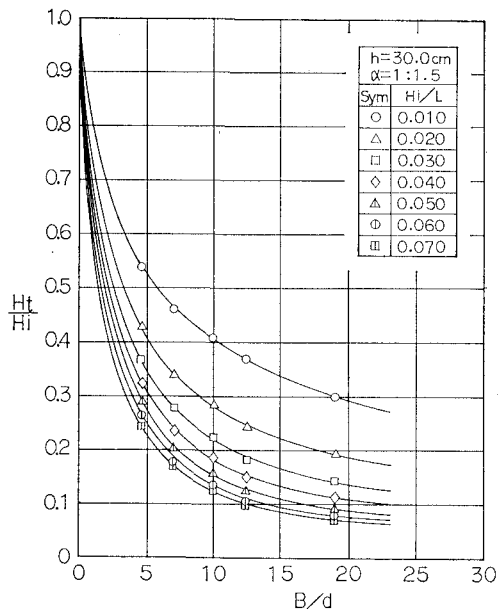


図-8 B/d と波高伝達率

$H_i/L=0.07$ のとき

$$\frac{H_t}{H_i} = -0.382 \log \frac{B}{d} + 0.502 \quad \frac{B}{d} < 15 \quad (4)$$

(3) 波高伝達率の推定式

透過性防波堤の波高伝達率の推算式については、種々検討されているが、岩崎・沼田^{6),7)}らは合田の提案した金網型ウェーブフィルターを対称とした波高伝達率の理論式

$$\frac{H_t}{H_i} = 1 / \left\{ 1 + \alpha m \frac{D}{S} \left(\frac{H_i}{L} \right)^\beta \right\}^{1/\beta} \quad (5)$$

が、異型ブロックによる透過性防波堤にも適用できるものとして式(5)中の β を 0.5, $\alpha m D/S = K$ として実験結果から K を逆算し K を定量化した実験式

$$\frac{H_t}{H_i} = 1 / \left\{ 1 + K \left(\frac{H_i}{L} \right)^{0.5} \right\}^2 \quad (6)$$

$$K = 1.26 (B/d)^{0.67}$$

を示している。しかし、著者らの実験では β および K の値は水深、堤体幅およびのり面勾配などによって変化し、特に β は、入射波波形勾配に対する波高伝達率曲線の形状に関係する値で、堤体幅が小さく入射波波形勾配に対する波高伝達率曲線が著しく変化する場合に、 β は小さな値となり、堤体幅が大きく波高伝達率曲線がゆるやかに変化するときは大きな値となる。また K は防波堤の形状特性に関連する値と考えられ、 β の値に比して変化が大きく β と K は関連して変化することがわかった。そして β および K について検討した結果、 K は

式 (5), (6) から推定されるように, 堤体を構成するブロックなどの特性が一定の場合, その特性によって定まる値と考えられるので, 本実験の防波堤にも式 (5) が適用できるものと仮定し式 (5) を

$$\frac{H_t}{H_i} = 1 / \left\{ 1 + K_B \left(\frac{H_i}{L} \right)^\beta \right\}^{1/\beta} \dots\dots\dots (7)$$

とおき, 実験データからブロック積防波堤の β および K_B を求めた結果, K_B は相対水深 h/L が 0.20~0.25 より小さな値をとるときには, K_B は一定値となり, また, 1 堤体に関する入射波波形勾配と波高伝達率に対して K_B が一定になるような β が存在することが認められた。そして $\beta, K_B, B/d$ の関係について調べた結果 β および K_B は B/d の関数で表わされ, 本実験のブロック積防波堤の波高伝達率は次式で表わされる。

堤体のり勾配 1:1.5 のとき

$$\frac{H_t}{H_i} = 1 / \left\{ 1 + e^{(0.198(B/d) + 1.011)} \times \left(\frac{H_i}{L} \right)^{(0.020(B/d) + 0.485)} \right\}^{1/(0.020(B/d) + 0.485)} \dots\dots\dots (8)$$

堤体のり勾配 1:1.0 のとき

$$\frac{H_t}{H_i} = 1 / \left\{ 1 + e^{(0.254(B/d) + 0.438)} \times \left(\frac{H_i}{L} \right)^{(0.029(B/d) + 0.411)} \right\}^{1/(0.029(B/d) + 0.411)} \dots\dots\dots (9)$$

ただし $h_c/H_i > 1.0$ $h/L < 0.25$

式 (8) および式 (9) によって計算される波高伝達率は, 図-6 および 図-7 に示した曲線でいずれも実験結果とよく一致している。

5. 結 論

本研究で認められた事柄をまとめるとおよそ次のようである。

(1) 内部波高伝達率は, 入射波による越波状態が発生しない場合には, 防波堤背後水域への波高伝達率と同様に相対水深には関係なく入射波波形勾配によって定まる。

(2) 防波堤背後水域への波高伝達率は, 堤体の設置水深やのり勾配によって若干の差は認められるが, 防波堤の堤体幅が大きくなると, それらの影響は減少する傾向となり, 波高伝達率は堤体幅に支配されて減少するが,

B/d が 20.0 程度ではほぼ一定となることが認められる。

(3) 防波堤の堤体幅を変化させた場合の波高伝達率は, 図-8 で示され, H_t/H_i と B/d の関係は式 (1), (2), (3), (4) で表わされる。

(4) ブロック積傾斜防波堤の波高伝達率に関する結果は合田の提案した金網型ウエーブフィルターを対称として求めた波高伝達率の理論式によく一致し, β および K_B は式 (8), (9) に示される。

本実験は, ブロック積傾斜防波堤の内部波高伝達率と防波堤背後水域への波高伝達率について調べたものであるが, 内部波高伝達率については測点が少なかったので防波堤内部の波高伝達過程を十分把握するにいたらなかった。また防波堤背後水域への波高伝達率については, 水深 20.0 cm の場合が他の水深の結果と若干異なった結果がえられた。その理由としては, 水深や, 水の粘性が影響するものと考えられるが, 波高伝達率は式 (8), (9) をもちいても, 入射波波形勾配が小さいところで約 5.0% の差がみられる程度で, 十分適用できるものと考えられる。

今後越波状態が発生する場合の実験とあわせて検討したい。

最後に本研究に際し, 終始御指導頂いた本学理工学部久宝雅史教授, 竹沢三雄助教授に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 合田良実・竹田英章: 越波による防波堤背後への波高伝達率, 第13回海岸工学講演会講演集, pp. 87~92, 1966.
- 2) 富永正昭・坂本忠彦: 透過性構造物による波の変形に関する研究(1), 第16回海岸工学講演会講演集, pp. 309~319, 1969.
- 3) 岩崎敏夫・沼田 淳: 透過性防波堤の波高伝達率に関する実験的研究, 第16回海岸工学講演会講演集, pp. 329~334, 1969.
- 4) 近藤俊郎・藤間 聡: 透過性構造物の水理特性, 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 155~162, 1970.
- 5) 服部昌太郎・堺 和彦: ブロック積防波堤の波高伝達率に関する実験的研究, 第20回海岸工学講演会論文集, pp. 55~61, 1973.
- 6) 文献 3) に同じ
- 7) 沼田 淳: ブロック堤の消波効果に関する実験的研究, 第22回海岸工学講演会論文集, pp. 501~505, 1975.