

라디에이션 應力의 評價方法에 따른 平均水位變化 Variation of Wave Set-Up/Set-Down due to the Evaluation of Radiation Stress

金京鎬* · 車基旭** · 曹在熙* · 尹永鎬*

Kyong Ho Kim*, Ki Wook Cha**, Jae Hee Cho* and Young Ho Yun*

要 旨 : 一定 傾斜 海底面을 갖는 海岸에 入射한 波가 淺水變形을 거치고 碎破하는 과정에서 발생하는 라디에이션 應力 및 平均水位 變化를 다루었다. 일반적으로 線形波動 理論에 의해 산정된 라디에이션 應力은 碎破帶內 및 그 부근에서 과대 평가되는데, 이것이 平均水位 變動의 計算値와 實驗値와의 不一致의 原因이 된다. 본 연구에서는 Svendsen(1984)이 제안한 라디에이션 應力을 修正해서, 水深의 函數로 표시하고, 計算結果를 線形理論, 碎破의 成分波高 스펙트럼에 기초한 Sawaragi(1984) 방법 및 기왕의 실험데이터와 비교하였다. 修正된 Svendsen의 방법은 實驗値와 비교적 良好한 一致를 보여 주었다.

Abstract □ A study on the variation of radiation stress and mean water level is carried out for the shoaling and breaking waves on a plane beach. In general, the radiation stresses computed based on the linear wave theory are overestimated, which results in the discrepancy between the computed results and laboratory data of mean water level in the surf zone. In this paper, by modifying the Svendsen's approach (1984), radiation stress is expressed in terms of water depth. The computed results are compared with the results calculated by a linear wave theory and Sawaragi's approach (1984) based on the spectrum of breaking wave components, and published laboratory data. The computed results of the modified Svendsen's approach are favourably compared with the laboratory data.

1. 서 론

파가 천해변형 또는 쇄파하면, 평균 수위가 하강하거나 또는 상승하는 것이 Saville (1961)의 실험 결과에 의해서 알려졌다. 이와 같이 평균 수위 변화는 바람과 기압 변화에 의한 평균 해면의 변화와는 달리 파 그 자체가 변형함으로써 발생한다. 파가 쇄파대를 통하여 전파할 때 에너지와 운동량은 둘 다 쇄파로 인해 발생한 난류로 인해 감소한다.

이와 밀접한 관계를 갖는 2가지 특성을 다룬다. 즉 파가 존재함으로써 발생하는 라디에이션 응력(radiation stress) 또는 잉여 운동량 플럭스(excess momentum flux)의 경사변화와 그것에 기인한 평균수위변동이 그것이다.

일반적으로 쇄파대내의 파의 제원은 평균수위의 함수로 표현된다. 평균수위는 정수심과 수위변동량의 합으로 표시하는데, 수위변동량이 미지량이므로 결국 평균수위자체가 미지량이 된다. 따라서 쇄파대내의 수립자 유속, 파속 및 파장 등 파동장을 구명하는 데는 평균수위변동량의 결정이 우선되어야 한다. 이러한 평균수위변동은 결국 파고분포에 영향을 주므로 쇄파대내의 파의 변형과도 유기적인 관계를 갖게 된다. 이러한 관점에서 볼 때 평균수위변동에 대한 이해와 구명은 쇄파대내의 흐름기구의 설명이나, 월파량의 산정 및 해안 구조물의 안정 설계에 중요한 요소라 하겠다.

평균수위변동을 산정하는데 있어서는 라디에이션 응력이 파동에너지로 표현되기 때문에 파고의 분포를

*忠北大學校 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Chung-Buk National University, Cheongju, Korea)
**韓國 水資源公社 (Korea Water Resources Corporation, Taejon, Korea)

미리 알아야 한다. 종래 연구에 있어서는 쇄파대에서 파고-수심비가 일정하다고 가정하는 조건식을 도입함으로써 평균수위변화를 산정했다[Bowen 등(1968)]. 그러나, 정선 부근에서는 평균 수위 상승량이 거의 파고와 같은 order를 가지므로, 정선 근방에서는 상기한 가정은 무리한 것이 된다. Guza와 Thornton(1981), Dolata와 Rosenthal(1984) 등의 연구도 이러한 패턴에 속한다.

라디에이션 응력의 평가 방법 또한 평균수위 변동의 산정에 있어서 중요한 요소이다. 日野와 栢柳(1978), 磯部 등(1979)은 Dean의 흐름 함수 이론을 적용하여 라디에이션 응력을 표현하고, 이것을 이용하여 wave set-up을 구하고 있다. 이들 연구에 있어서는 실험치와 계산치가 비교적 좋은 일치를 보이지만 흐름함수를 사용할 경우에는 반드시 파형의 시간 및 공간적 분포가 주어져야 한다. 그러나 쇄파대내의 시공간적 파형을 충분한 정도로 추정할 수 있는 파동이론이 현재로서는 제안되어 있지 않으므로 조건이 바뀌면 매번 실험을 통해 파형을 구해 두어야 하는 문제점이 있다. 또 Stive와 Wind(1982)는 선형파 이론 및 비선형파 이론을 이용하여 라디에이션 응력을 평가하고 실험치와 계산치를 비교한 바 있다. 그 결과에 의하면 어느 파동이론을 적용해도 쇄파대내의 라디에이션 응력을 정확히 표현하기에는 어렵다. 특히 선형파 이론을 적용할 경우, 쇄파대내의 라디에이션 응력이 과대 평가되고 있다. 본 연구에서는 라디에이션 응력을 재 평가하고, 이를 이용하여 쇄파점 근방 및 쇄파대내에 있어서의 평균 수위 변화를 산정하고 이를 고찰한다.

2. 기본이론

2.1 쇄파이전의 파고 분포

쇄파이전의 파 변형의 취급은, 쇄파후에 파 변형의 취급에 비하면 비교적 용이하여, 이미 수많은 연구가 행해져 왔다. 그러나 이러한 연구들도 쇄파점 근방에서는 오차가 크게 나타나고 있다. 首藤(1974)는 Cnoid 파를 기본으로 하여, 상대 수심의 변화가 상대파고의 order 와 같다고 가정을 하여 천수변형식을 아래와 같이 유도하였다.

$$\begin{aligned} \text{미소진폭파이론} \quad & \frac{gHT^2}{h^2} \leq 30 \\ Hh^{2/7} = \text{const} \quad & 30 \leq \frac{gHT^2}{h^2} \leq 50 \quad (1) \\ Hh^{5/2} \left\{ \sqrt{\frac{gHT^2}{h^2}} - 2\sqrt{3} \right\} = \text{const} \quad & 50 \leq \frac{gHT^2}{h^2} \end{aligned}$$

여기서 h 는 수심, H 는 파고, T 는 주기이다.

쇄파 한계식에 대해서는 Weggel(1972)이 제안한 다음 식을 사용하였다.

$$\begin{aligned} \frac{H_b}{h} &= [1 + Ah/L_o]^{-1} \\ A &= 6.963[1 - \exp(-19m)]^{-1} \\ B &= 1.560[1 + \exp(-19.5)]^{-1} \quad (2) \end{aligned}$$

여기서 H_b 는 쇄파점의 파고, L_o 는 심해파 파장, m 은 해저경사를 나타낸다.

2.2 쇄파후의 파고 분포

쇄파후의 파고 분포의 합리적인 모델을 얻기위해 많은 이론적, 실험적 연구가 수행되어 왔다. 2차원 정상상태를 가정하면, 쇄파대내에서의 에너지 평형식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dEC_g}{dx} = -D \quad (3)$$

여기서 E 는 단위 면적당 파동 에너지이고, C_g 는 군속도, D 는 에너지 일산율이다. 상기식을 이용하여 파고 분포를 산정하는데 있어서 가장 큰 문제는 D 에 대한 합리적인 평가와 표현 방법이다. 에너지 일산률 D 에 대한 연구로는 Horikawa와 Kuo(1966), Battjes와 Janssen(1978), Izumiya와 Horikawa(1984) 및 Dally 등(1985)의 연구가 있다.

본 연구에서는 Dally 등(1985)의 연구결과를 적용하여 쇄파후 파고 분포를 산정하기로 한다. Dally 등(1985)은 Fig. 1과 같이 임의의 점까지 일정한 해저 경사를 갖다가 그 이후 일정한 수심부를 갖는 파동장을 상정하고, 쇄파에 의한 에너지 일산률을 평가하려고 시도하였다. 천해역에 입사한 파는 해저 경사가 변화하는 점에서 쇄파하고, 재생파가 형성될 때까지 쇄파가 지속된다. 에너지 일산률 D 가 국부적인

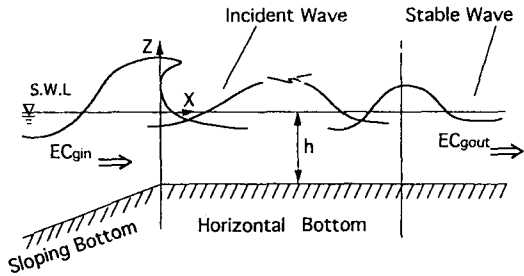


Fig. 1. Beach idealization of surf zone.

에너지 플럭스와 재생파의 에너지 플럭스의 차에 비례한다고 가정하면 식 (3)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{dEC_g}{dx} = -\frac{K}{h} [EC_g - \{EC_g\}_s] \quad (4)$$

본래 h 는 정수심이나 본 연구에서는 평균수위 변동까지를 포함한 평균 수심으로 간주한다. 또 K 는 무차원 감쇠 상수이고, $\{EC_g\}_s$ 는 재생파의 에너지 플럭스를 나타낸다. 재생파의 파고와 평균 수심이 선형 비례 관계를 갖는다고 가정하면 상기식 (4)는 천해역에서 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\frac{d[H^2h^{1/2}]}{dx} = -\frac{K}{h} [H^2h^{1/2} - \Gamma h^{5/2}] \quad (5)$$

상기식에서 Γ 는 평균 수심 h 에 대한 재생파의 파고 (H_s)의 비를 나타낸다. Dally 등(1985)은 Horikawa와 Kuo(1966)의 실험 데이터를 적용하여, 일정 경사면에서의 K 및 Γ 값으로 각각 $K=0.17$ 및 $\Gamma=0.5$ 를 제안하고 있다.

2.3 평균수위 변화

경사해빈에 파가 입사하면, 라디에이션 應력의 경사변화에 수반해서 평균수위가 변화하게 된다. Fig. 2에 도시한 바와 같이 $x=x_0$ 와 $x=x_0+dx$ 로 둘러싸인 영역을 생각한다.

한편, 단면 I를 통하여 유입하는 운동량 플럭스를 F 라 하면 F 와 라디에이션 應력 S_{xx} 의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{xx} = F - \frac{1}{2} \rho g (h + \bar{\eta})^2 \quad (6)$$

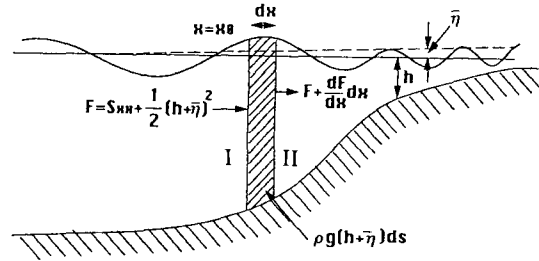


Fig. 2. Schematic diagram of momentum balance.

한편, 단면 II를 통해서 유출하는 운동량 플럭스는 $F + (dF/dx)dx$ 이므로, 미소거리 dx 사이에서의 운동량 플럭스의 증가분은 $(dF/dx)dx$ 이다. 또 저부가 수평이 아니므로 저부압력 p_b 에 의해서 수평방향 운동량의 부가 플럭스가 존재한다. 따라서 단면 I, II 사이에서의 운동량의 평형식은 다음과 같다.

$$\frac{dF}{dx} = \bar{p}_b \frac{dh}{dx} \quad (7)$$

여기서 \bar{p}_b 는 저부압력의 평균치로서, Longuet-Higgins와 Stewart(1962)는 완만한 해저경사에 대해 다음과 같이 표현하였다.

$$\bar{p}_b = \rho g (h + \bar{\eta}) \quad (8)$$

식 (6)과 (8)을 식 (7)에 대입하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{dS_{xx}}{dx} = -\rho g (h + \bar{\eta}) \frac{d\bar{\eta}}{dx} \quad (9)$$

상기식 (9)가 평균수위 변동량을 나타내는 기본식이 된다.

3. 라디에이션 應력

식 (5)와 (9)로부터 평균수위 변동량을 구하기 위해서는 라디에이션 應력을 산정할 필요가 있다. 2차 이상의 미소항을 무시하면 라디에이션 應력은 다음과 같이 표현된다.

$$S_{xx} = \int_{-d}^{\eta} (\rho u_w^2 + p) dz - \frac{1}{2} \rho g (h + \bar{\eta})^2 \quad (10)$$

여기서, u_w 는 x 방향 수립자 속도의 파동성분이다. 상

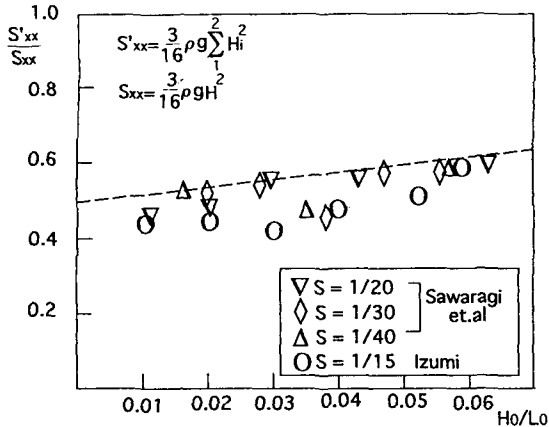


Fig. 3. Radiation stress obtained from harmonic components.

기식 (10)에 미소진폭과 이론을 적용하면 다음 식을 얻는다.

$$S_{xx} = E \left[\frac{1}{2} + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right] \quad (11)$$

또한, 장파근사를 도입하면 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$S_{xx} = \frac{3}{16} \rho g H^2 \quad (12)$$

Stive(1984)에 의하면 상기식 (11) 및 (12)를 이용하여 라디에이션 응력을 계산하였을 경우 실험치보다 쇄파대 전반에 걸쳐 계산치가 과대 평가되고 있음을 보였고, 또한 이것에 의한 평균수위변화도 쇄파점 부근과 정선근방에서 과대 평가되고 있음을 보였다. 또, Sawaragi 등(1984)도 성분파고 스펙트럼을 이용하여, 선형파 이론에 의한 라디에이션 응력의 산정이 과대 평가되고 있음을 보였다(Fig. 3).

Fig. 3에서 각 symbol들은 실험치를 나타내고 있으며, 점선은 3차 성분 파고 스펙트럼까지 취했을 때, 파형 경사에 대한 라디에이션 응력치를 보이고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 라디에이션 응력의 실험치는 파형 경사에 의해 약간의 변화는 보이기는 하지만, 선형 파동에 의한 계산치의 약 0.6배정도인 것으로 보인다.

Svendsen(1984)은 라디에이션 응력 S_{xx} 를 다음과 같이 정의하였다.

$$S_{xx} = F_m + F_p$$

$$F_m = \int_{-d}^{\eta} \rho u_w^2 dz$$

$$F_p = \int_{-d}^{\eta} p dz - \frac{1}{2} \rho g \bar{\eta}^2 \quad (13)$$

여기서, F_m 은 파동 성분 수렴자 속도에 의한 라디에이션 응력의 기여를 나타내는 것으로서, 표면와(surface roller)를 고려하면 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$F_m = \rho g H^2 \left(B_0 + \frac{A}{H^2} \frac{h}{L} \right) \quad (14)$$

여기서, L 은 파장을 나타내고 A 는 쇄파에서 표면와가 차지하는 단면적으로서 Duncan(1981)의 실험결과에 의하면 근사적으로 $0.9H^2$ 의 값을 갖는다. 또, B_0 는 파고에 대한 수면 변동의 자승값에 대한 주기 평균 값이다.

F_p 도 B_0 를 이용하면 다음과 같이 간단히 표현된다.

$$F_p = \frac{1}{2} \rho g H^2 B_0 \quad (15)$$

따라서, 식 (14)와 (15)를 결합하면, 라디에이션 응력 S_{xx} 는 다음과 같이 파장과 수심의 함수로 표현할 수 있다.

$$S_{xx} = \rho g H^2 \left(\frac{3}{2} B_0 + 0.9 \frac{h}{L} \right) \quad (16)$$

Fig. 4는 쇄파대내의 B_0 에 대한 실험결과를 도시한 것이다. Svendsen(1984)은 Fig. 4로부터 B_0 에 대해 0.07~0.08의 범위의 상수값을 취할 것을 제안하였다.

B_0 값이 상당히 흐트러져 있긴 하지만 쇄파점에서 정선으로 향할 수록 B_0 는 증가하고 있는 경향을 볼 수 있다. 본 연구에서는 B_0 를 수심의 함수로서 다음과 같이 근사하였다.

$$B_0 = -0.016 \left(\frac{h}{h_b} \right)^2 - 0.0084 \left(\frac{h}{h_b} \right) + 0.0795,$$

$$0 \leq h/h_b \leq 1 \quad (17)$$

Fig. 4에서 실선은 상기식 (17)을 나타낸 것이다. 식 (17)은 쇄파대내에서만 적용 가능한 식이다. Stive와 Wind(1982)에 의하면 선형 파동 이론에 의한 라디에이션 응력은 쇄파대 뿐만 아니라, 쇄파대 밖의 상

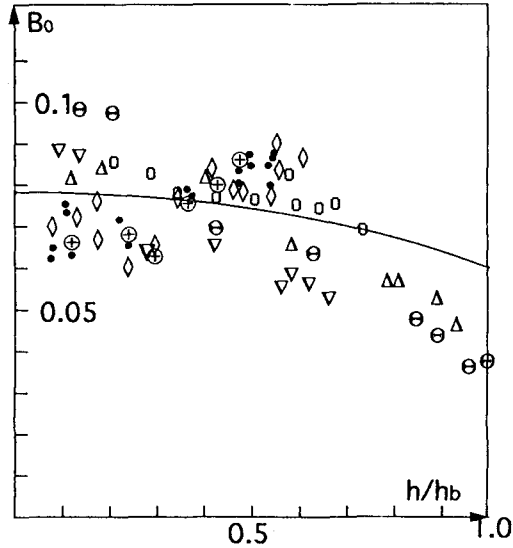


Fig. 4. Measured values of B_0 .

당거리 까지 과대 평가되고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 쇄파대 밖에서는 라디에이션 應력에 대해 다음식을 사용하였다.

$$S_{rx} = \rho g H^2 \left(\frac{3}{2} B_0 + 0.9 \frac{h_b}{L_b} \right) \quad (18)$$

여기서 h_b 및 L_b 는 각각 쇄파점에서의 수심 및 파장이고, B_0 는 상수로서 0.0551의 값을 갖는다.

4. 계산결과 및 고찰

4.1 라디에이션 應력

Svendsen(1984)의 라디에이션 應력의 표현식을 수정하여, B_0 에 대해서도 수심의 함수로 표시하고 얻은 결과를 쇄파의 성분파고 스펙트럼을 이용하는 Sawaragi 등(1984)의 결과와 선형파 이론에 의한 결과 및 실험치와 비교하기 위하여 라디에이션 應력의 분포를 도시한 그림이 Fig. 5와 6이다. 그림에서 종축은 $\rho g H^2$ 으로서 정규화된 라디에이션 應력이고 횡축은 쇄파수심으로 정규화된 수심을 나타낸다.

Fig. 5는 해저경사 $S=1/20$ 로 비교적 급한 경우로서 (a), (b)는 각각 파형경사가 $H_0/L_0=0.010$ 및 $H_0/L_0=0.032$ 의 경우, 라디에이션 應력의 계산치를 보이고 있다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이, 쇄파점에서의 값을 기준으로 할때, 선형이론에 의한 결과는 Sawa-

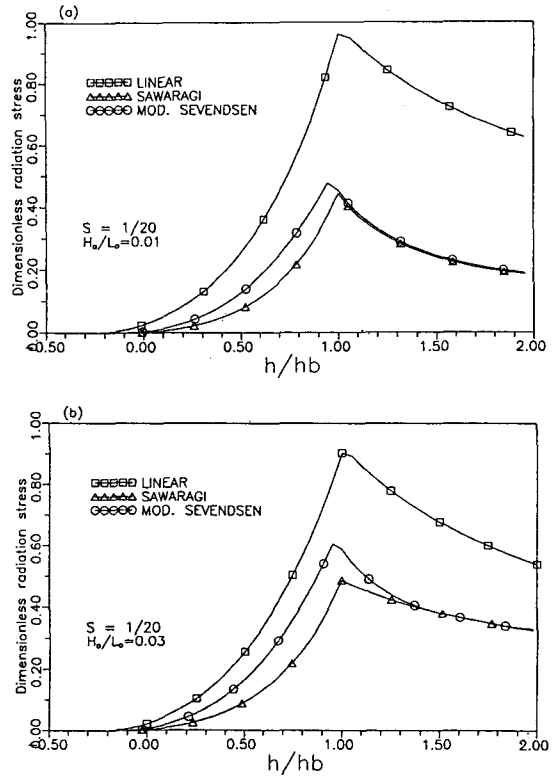


Fig. 5. Variation of radiation stress for $S=1/20$.

ragi 등의 방법과 수정된 Svendsen의 방법에 의한 결과보다 $H_0/L_0=0.01$ 에서는 약 50%, $H_0/L_0=0.032$ 에서는 30~40% 정도 과대 평가되고, 이러한 경향은 파형경사가 작을수록 더욱 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 해저경사가 $S=1/40$ 로서 비교적 완만한 경우이다. (a), (b)는 파형경사가 각각 $H_0/L_0=0.010$ 및 $H_0/L_0=0.032$ 의 경우에 대해서 위에 언급한 계산 결과와 Stive에 의한 실험치를 비교하고 있다. 그림중 검은 원으로 표시된 것이 실험치를 나타낸다. 쇄파점 근방을 제외하고는 $H_0/L_0=0.010$ 에서는 Svendsen의 결과와, $H_0/L_0=0.032$ 에서는 수정된 Svendsen 방법 및 Sawaragi 등에 의한 결과치와 비교적 양호한 일치치를 보여 주고 있다. 앞서 $S=1/20$ 의 경우에서 언급한 바와 같이 선형이론에 의한 결과치가 파형경사가 작을수록 과대 평가되는 정도가 큰 것을 분명히 하기 위해 그림(c)에 $H_0/L_0=0.050$ 인 경우에 대해서도 라디에이션 應력의 계산치를 도시하였다. 이 경우에는 선형이론이 Svendsen의 방법 보다는 약 15%, Sawa-

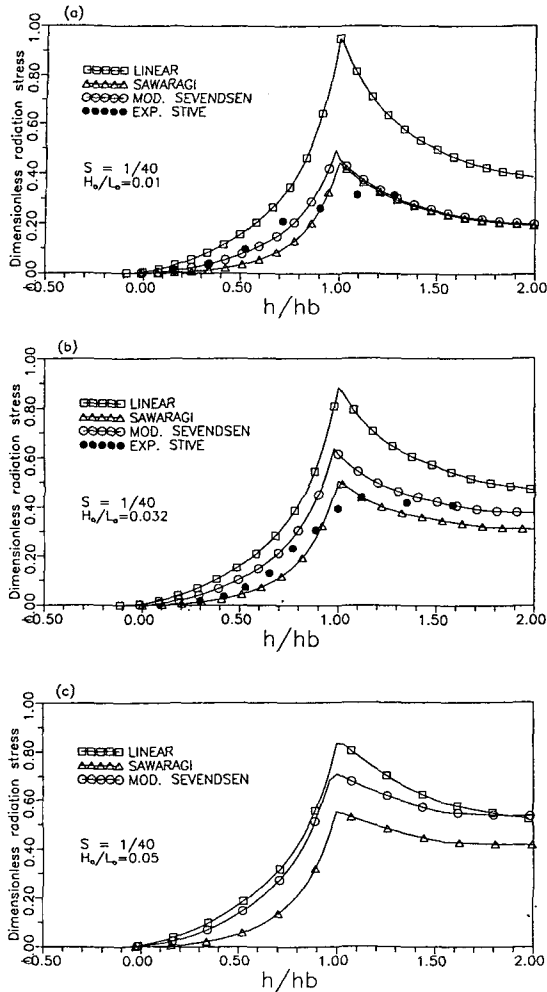


Fig. 6. Variation of radiation stress for $S=1/40$.

radi 등 의 방 법 보 다 는 약 35% 정 도 과 대 평 가 되 어, 파 형 경 사 가 0.010 및 0.032의 경 우 보 다 과 대 평 가 되 는 정 도 가 크 게 감 소 하 고 있 다.

4.2 평균수위의 변화

앞 절 에서 구 한 라 디 에 이 션 응 력 을 이 용 하 여 얻 은 평 균 수 위 변 화 의 계 산 결 과 와 실험 치 를 비 교 한 것 이 Fig. 7~9 이 다. 그 림 중 종 축 은 쇠 파 파 고 (H_b) 로 무 차 원 화 한 평 균 수 위 의 변 동 량 을 나 타 내 고, 횡 축 은 쇠 파 수 심 (h_b) 으 로 정 규 화 한 국 부 수 심 이 다.

Fig. 7 은 해 저 경 사 가 $S=1/12$ 로 서 아 주 급 한 경 우 이 고, Fig. 8 및 Fig. 9 는 각 각 $S=1/20$ 및 $S=1/40$ 로 서 해 저 경 사 가 비 교 적 급 한 경 우 와 완 만 한 경 우 에 대 해

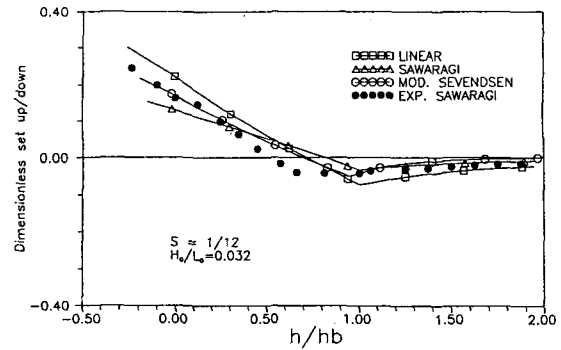


Fig. 7. Variation of mean water level for $S=1/12$.

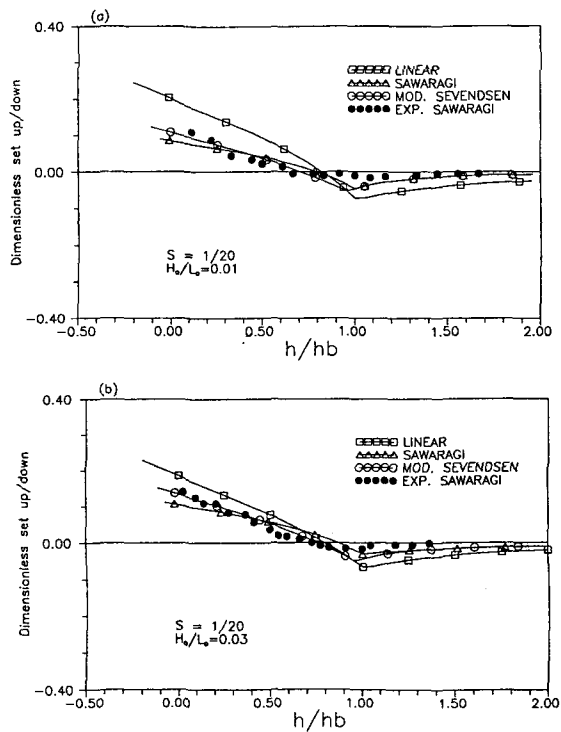


Fig. 8. Variation of mean water level for $S=1/20$.

도시 한 것 이 다. 각 경 우 에 대 한 계 산 결 과 와 의 비 교 를 위 해 서 $S=1/12$ 에 대 해 서 는 Bowen 등 (1968) 의 실험 데 이 타, $S=1/20$ 에 대 해 서 는 Sawaragi 등 의 실험 데 이 타, 그 리 고 $S=1/40$ 에 대 해 서 는 Stive 의 실험 데 이 타 를 각 각 이 용 하 였 다.

그 림 으 로 부 터 알 수 있 는 바 와 같 이 선 형 이 론 에 의 한 계 산 결 과 는 해 저 경 사 에 관 계 없 이 실험 치 보 다 상 당 히 과 대 평 가 되 고 있 음 을 알 수 있 는 데, 이 는 라 디 에 이 션 응 력 이 과 대 평 가 되 는 것 에 기 인 한 다. 해 저

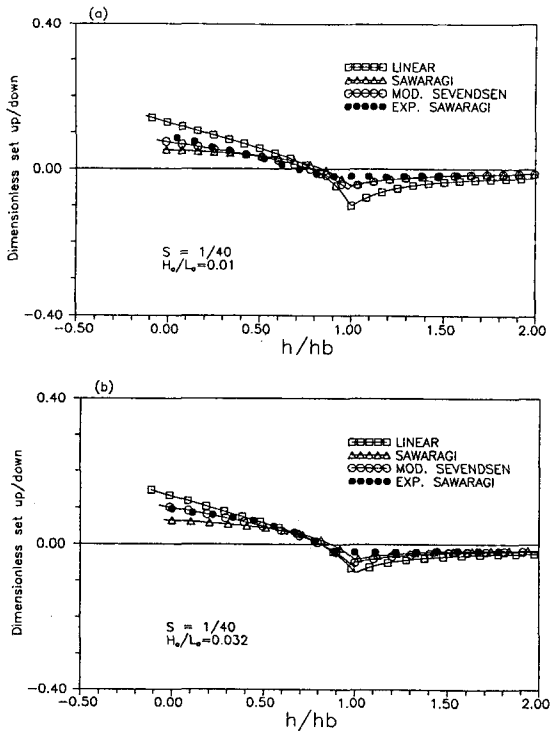


Fig. 9. Variation of mean water level for S=1/40.

경사가 아주 급한 경우 평균수위 상승량은 거의 선형분포를 하고 있으나, 해저경사가 완만해질수록 평균수위 변화의 경사는 정선을 향하여 감소하고 있다.

S=1/12인 경우의 쇄파직후를 제외하면 대부분의 경우 본 연구에서의 수정된 Svendsen의 방법은 실험데이터와 좋은 일치를 보이고 있다. Sawaragi 등의 성분파고 스펙트럼에 의한 평가방법도 좋은 일치를 보이고는 있으나, 정선부근에서는 모든 경우 과소 평가되고 있다. 이것은 Sawaragi 등의 방법은 라디에이션 應력을 계산하는데 있어서 수심의 효과를 고려하지 않은데 기인한다고 생각된다. 평균수위변동의 선형이론에 의한 계산치가 실험치에 비해 과대 평가되는 정도는 해저경사가 급할수록, 파형경사가 작을수록 크게 나타난다.

5. 결 론

선형파 이론으로 라디에이션 應력을 산정하는 경우, 과대평가되는 것을 보완하기 위하여 Svendsen(1984)이 제안한 경험식을 수정하여, 라디에이션 應력 및

평균수위 변화를 고찰하였다. Svendsen(1984)은 파고에 대한 수면변동의 자승값을 평균한 값에 해당하는 Bo에 대해 상수값을 제안하고 있으나, 본 연구에서는 Bo를 수심의 함수로 표현하여 라디에이션 應력 및 평균수위 변동에 대해서 계산하고, 선형파 이론 및 Sawaragi(1984) 등의 방법과 비교하고, 또한 기왕의 실험치와도 비교하였다. 라디에이션 應력은 일반적으로 파형경사가 작을수록 그 과대 평가되는 정도가 크게 나타났고, 실험치는 쇄파점 근방을 제외하고는 수정된 Svendsen 방법과 Sawaragi 등의 방법에 의한 결과와 비교적 일치하였다. 평균수위 변화의 경우 선형이론에 의한 계산치가 실험치에 비해 과대 평가되는 정도는 해저경사가 급할수록, 또, 파형경사가 작을수록 크게 나타난다. 평균수위 변동은 해저경사가 급한 경우 거의 선형분포를 하고 있으나, 해저경사가 완만해질수록 평균수위 변화의 경사는 점차 감소함을 알 수 있었다. 평균수위의 실험치와 계산치와의 비교에 있어서 Sawaragi 등의 성분파고 스펙트럼에 의한 평가 방법도 실험치와 비교적 좋은 일치를 보이고는 있으나, 정선부근에서는 모든 경우 실험치보다 과소 평가되고 있다. 이것은 라디에이션 應력을 평가하는데 있어서 수심의 효과를 고려하지 않은 데서 기인한다고 생각된다. Svendsen의 평가식을 수정해서 얻은 평균수위 변화의 계산결과는 대부분의 경우 실험치와 양호한 일치를 보여주고 있다.

謝 辭

本 研究는 1992年度 教育部 學術財團의 自由公募 課題 學術研究 造成費에 의해서 연구된 것으로 同 財團에 감사 드립니다.

참고문헌

日野 幹雄, 柏柳 正之, 1978. Wave set-down, set-up および水粒子軌道 速度の推定におけるDeanの流關數法の適用性, 第25回海岸工學講演會論文集; 18-22.
磯部 雅彦, 福田 直利, 堀川 清司, 1979. 碎波帯における流速場に関する 二次元實驗, 第26回 海岸工學講演會論文集; 41-45.
首藤 伸夫, 1974. 非線形長波の變形, 第21回海岸工學講演會論文集; 57-63g
Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M., 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proc. of 16th Conf. on Coastal Eng., 1: 569-587.

- Bowen, A.J., Inman, D.L. and Simmons, V.P., 1968. Wave set-down and set-up, *J. Geophys. Res.*, **73**(8): 2569-2577.
- Dally, W.R., Dean, R.G. and Dalrymple, R.A., 1985. Wave height variation across beaches of arbitrary profile, *J. Geophys. Res.*, **90**(C6): 11917-11927.
- Dolata, L.F. and Rosenthal, W., 1984. Wave set-up and wave induced currents in coastal zones, *J. Geophys. Res.*, **89**(C2): 1973-1982.
- Duncan, J.H., 1981. An experimental investigation of breaking waves produced by a towed hydrofoil, *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, **377**: 331-348.
- Guza, R.T. and Thornton, E.B., 1981. Wave set-up on a natural beach, *J. Geophys. Res.*, **86**(C5): 4133-4137.
- Horikawa, K. and Kuo, C.T., 1966. A study on wave transformation inside the surf zone, *Proc. of 10th Conf. on Coastal Eng.*, 217-233.
- Izumiya, T. and Horikawa, K., 1984. Wave energy equation applicable in and outside the surf zone, *Coastal Eng. in Japan*, **27**: 119-137.
- Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W., 1962. Radiation stress and mass transport in gravity waves, *J. Fluid Mech.*, **13**: 481-504.
- Saville, T., 1961. Experimental determination of wave set-up, *Proc. 2nd Tech. Conf. Hurricanes*; 242-252.
- Sawaragi, T., Deguchi, I. and Kim, K.H., 1984. Energy loss and wave set-up due to breaking waves, Tech. Report of Osaka Univ., **34**(1779): 329-328.
- Stive, M.J.F. and Wind, H.G., 1982. A study of radiation stress and set-up in the nearshore region, *Coastal Eng.*, **6**: 1-25.
- Stive, M.J.F., 1984. Energy dissipation in waves breaking on gentle slopes, *Coastal Eng.* **8**(2): 99-127.
- Svendsen, I.A., 1984. Wave heights and set-up in a surf zone, *Coastal Eng.* **8**: 303-329.
- Weggel, I.R., 1972. Maximum breaker height, *J. Waterways, Harbors Coastal Eng. Div.*, **86**(WW1): 529-548.