

## 前浜地下水位が汀線付近の侵食に及ぼす影響について

### Effect of Phreatic Surface Behaviour on Shoreline Erosion

室蘭工業大学大学院

室蘭工業大学

アルファ水工コンサルタンツ(株)

学生員 ○宮武 誠 (Makoto Miyatake)

フェロー 藤間 聡 (Satoshi Tohma)

正会員 川森 晃 (Akira Kawamori)

## 1. はじめに

近年、砂浜内の地下水位上昇と前浜侵食の関係に関する研究が活発に行われている。加藤ら<sup>1)</sup>は、現地観測からバーム侵食が長周期波による地下水位上昇によって発生することを指摘し、地下水位上昇を抑制する透水層工法は、前浜侵食を大幅に減少させることを報告している。また著者ら<sup>2)</sup>は、この地下水位上昇により発生する浸透流による前浜侵食機構を明らかにした。

しかし、前浜地下水位と斜面を遡上する波の異水域間の連続性や波 1 周期期間に生じる地下水位変動が及ぼす汀線付近の底質砂移動については未解明な点が多い。本研究では、その基本的知見を得るため、侵食型の砂浜海岸に関する模型実験を行い、入射波と地下水位変動の関係を解明する。更に前浜地下水位の変動及び上昇と汀線付近の侵食の関係について明らかにする。

## 2. 砂浜内の地下水位上昇と前浜侵食に関する実験

## 2. 1 実験装置及び方法

実験は、図-1に示すスネーク式ピストン造波機を有する長さ2000 cm、幅800 cm、高さ70 cmの3次元水槽により行う。この水槽内の両側壁と造波機の間には100 cmの空間があるため、両側壁から150 cm地点にそれぞれ不透過壁を岸沖方向に設置し、水槽幅を500 cmとして使用する。水槽右端側の水平床部には中央粒径0.1 mmの珪砂

を使用して、後浜天端 100 cm を有する長さ 700 cm、高さ 60 cm、海底勾配 1/10 の砂浜模型を作成し、沖側から規則波を入射させた時の砂浜斜面上の水位変動、遡上波先端位置、砂浜内地下水位の時系列及び地形断面変化の測定を行う。斜面上の水位変動は容量式波高計を使用して、岸沖方向距離 400 cm ～ 700 cm 区間に 60 cm 間隔で 6 本設置して測定する。沖波波高及び周期は造波盤下部にステップがあるため、造波盤から 250 cm 岸側に離れた一様水深部で得られた値とする。砂浜内の地下水位は直径 40 cm の塩化ビニール管を水平床部から 30 cm の高さに埋設し、その管内に形成される水面を容量式水位計により記録する。地下水位の測定位置は、遡上波先端付近、後浜法面部、後浜天端部(それぞれ岸沖方向距離で 220 cm、160 cm、100 cm 地点)の 3 地点に設定し、それぞれの塩ビ管は砂混入防止のため、フィルタ材で被覆する。遡上波先端位置は、静水時汀線の鉛直上方に設置したデジタルビデオカメラにより撮影し、1 cm 間隔の直交格子により読定する。各水位の測定サンプリング間隔は 0.2 秒とし、同期させて測定を行う。波作用時間は 60 分とし、造波停止後には砂面計を使用して岸沖方向・沿岸方向共に 20 cm 間隔で 5 測線について侵食深を測定する。沖側から入射させる規則波の波高及び周期は、表-1 のように設定し、規則波はすべてのケースにおいて直角入射とする。

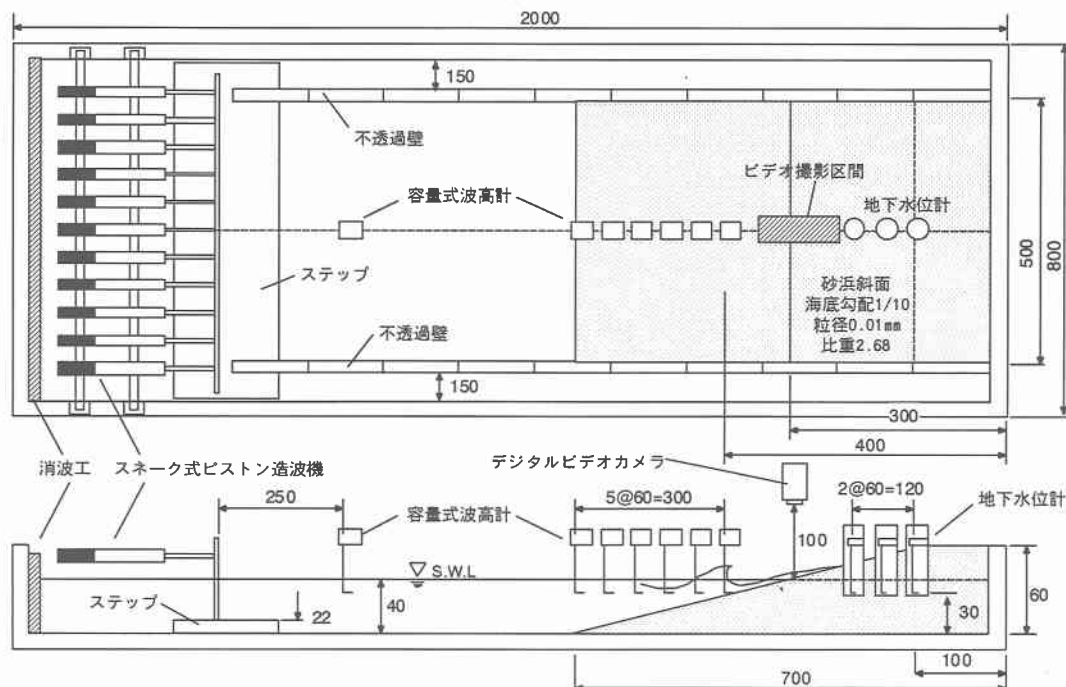


図-1 実験装置の概要 (単位: cm)

表-1 実験条件

| ケース    | 波高 $H_0$ (cm) | 周期 $T_0$ (sec) | 波形勾配 $H_0/L_0$ |
|--------|---------------|----------------|----------------|
| Case-1 | 9.31          | 1.66           | 0.022          |
| Case-2 | 8.85          | 1.21           | 0.039          |
| Case-3 | 6.51          | 1.18           | 0.030          |

## 2. 2 砂浜内地下水位の経時変化

図-2は、Case-1における地下水位の経時変化を示す。地下水位は静水時の水位を基準とした高さ $\xi$ で表示している。地下水位は各測定点で供に微小な変動を伴いながら上昇し、ある高さに達した時点で上昇を停止する。地下水位の微小変動は、上昇停止後も継続する。図-3は図-2において、地下水位の上昇時(図中の(a))及び上昇停止時(図中の(b))の地下水位時系列データから変動成分を1次差分近似により求めたものである。地下水位変動は $10^{-2}$ cmオーダーと微小であり、その振幅は上昇時よりも上昇停止時の方が大きい値となる。この地下水位変動によって、砂浜斜面上では水の浸透・浸出が発生する。地下水位上昇時の変動成分は(-)に振れる振幅より(+)に振れる振幅の方が大きく、発生頻度も多い。従って、地下水位の上昇は、砂浜内に浸透する量が砂層外に浸出する量に比べ大きいことに起因すると考えられる。また、上昇停止後も地下水位が変動するのは、地下水位上昇停止時において(-)振幅と(+)振幅が、ほぼ等しいことから砂浜斜面上の浸透量と浸出量が、平衡状態となっているためだと推定される。

## 2. 3 砂浜内の地下水位変動と沖波の関係

砂浜内の地下水位変動と入射波の関係を解明するため、沖波、遡上波、地下水位に関する時系列データをF.F.T解析により周波数成分のデータに変換する。遡上波は実験波の周期が短く、引き波途中で次の波が遡上するため、水位が静水位以下に下らない。従って、平均水位(Setupした水位)を基準とした実遡上波の値とする。地下水位は遡上波先端付近と後浜法面部の値を使用して、前節の2. 2で示した方法により変動成分を求める。

図-4は、Case-1における沖波、遡上波、地下水位に関するパワースペクトルと周波数の関係を示す。遡上波(図中の(b))は、沖波(図中の(a))と同一の周波数でスペクトルが卓越し、入射波の周期に一致する。沖波と遡上波の間で減衰したパワースペクトルは、砕波帯で逸散したエネルギーに相当するものと考えられる。一方、波先端付近の地下水位(図中の(c))では、沖波・遡上波とほぼ同一の周波数で明確なパワースペクトルのピークが認められる。これは沖側から伝播する波形が、砂層内に圧力として伝達されることを示している。しかし、更に後浜の法面部地下水位(図中の(d))において、入射波に相当する周波数のパワースペクトルのピークは認められない。従って、砂層内の地下水位変動は前浜から後浜に行くに従い減衰し、沖波から砂層内に伝達する圧力は後浜砂層内ではほぼ消散するものと考えられる。

次にCase-2について、同様な解析を行った結果を図-5に示す。遡上波はCase-1と同様に入射波と同一周波数

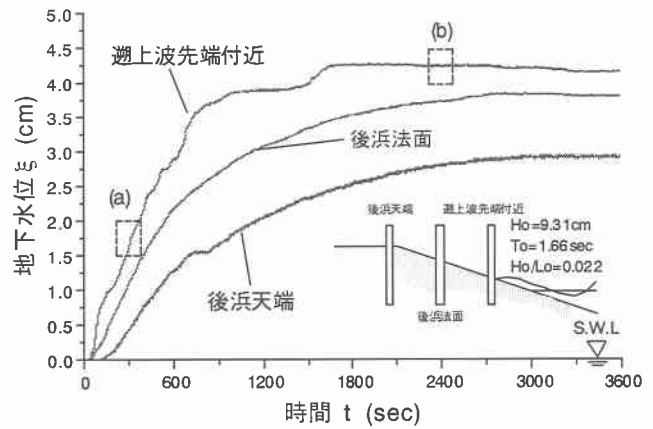


図-2 Case-1における各測点の地下水位経時変化

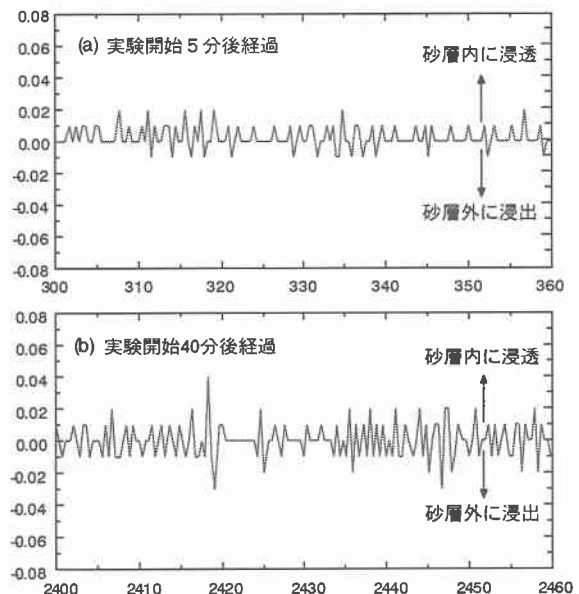
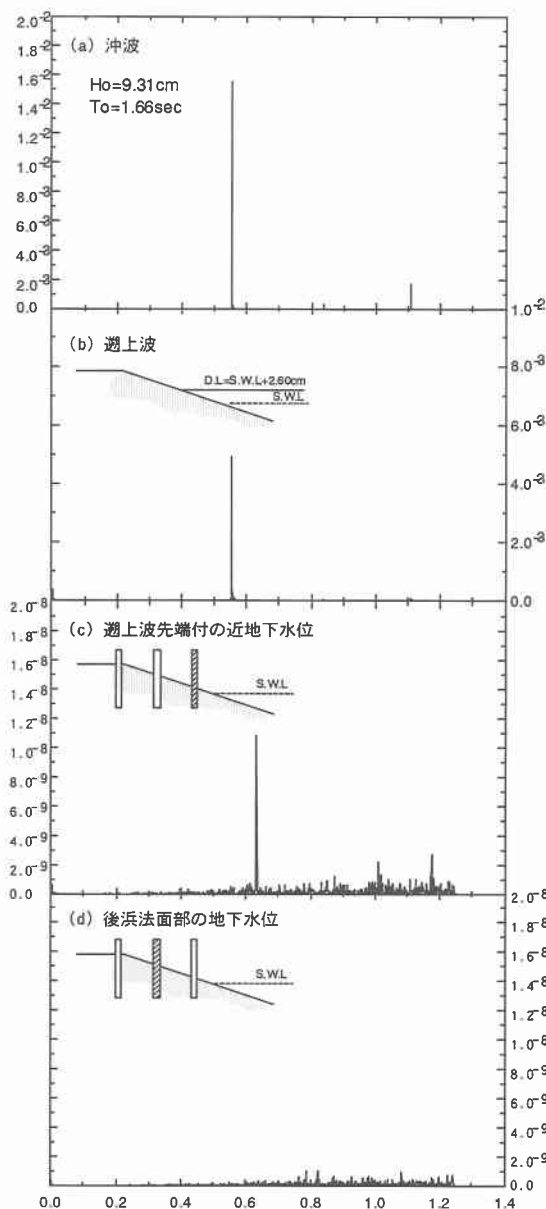
(縦軸: 地下水位変動量  $\Delta \xi$  (cm) 横軸: 時間  $t$  (sec))

図-3 Case-1における地下水位変動

でパワースペクトルが卓越する。遡上波のパワースペクトル減少により、沖波とのパワースペクトルの差はCase-1に比べ大きくなっている。これはCase-1より周期を短くした結果、急となった波形勾配が砕波帯での逸散エネルギーを増大させたためだと推定される。遡上波のエネルギー減少に伴い、遡上波先端付近の地下水位では、沖波と同一周波数のパワースペクトルは小さなピークとなる(図中(c)の↓)。このパワースペクトルのピーク値はCase-1に比べ小さく、沖波から砂層内に伝達される圧力が減少したことを示している。この小さなピークは、更に後浜法面部の地下水位においても、同様に見られ、ピーク値は小さくなっている(図中(d)の↓)。従って、沖側から砂層内に伝達される圧力は、Case-1に比べ更に後浜まで及んだものと考えられる。以上の結果、周期が長く波形勾配が小さな波では、沖波から伝達される圧力が前浜に集中し、前浜付近の地下水位変動量は大きくなると考えられる。

## 2. 4 前浜付近の地下水位上昇量と沖波の関係

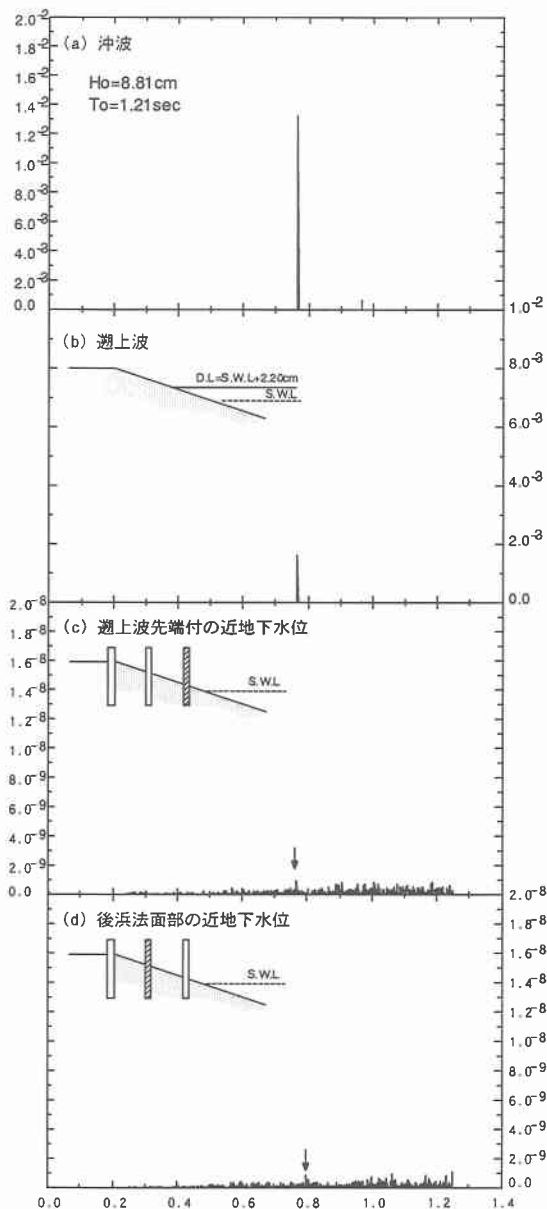
図-6は、各ケースにおける遡上波先端付近の地下水位経時変化を示す。図の縦軸と横軸はそれぞれ地下水位



(横軸：周波数(Hz) 縦軸：パワースペクトル( $\text{cm}^2\text{sec}$ ))  
図-4 各水位のパワースペクトルと周波数の関係  
(Case-1)

を沖波波高 $H_0$ 、時間を周期 $T_0$ で無次元化した値で表示している。Case-2とほぼ同一の波高にし、周期を長くしたCase-1の場合、地下水位の上昇速度及び沖波波高に対する上昇量の割合は、ともにCase-2に比べ大きな差異が認められる。一方、Case-2とほぼ同一の周期を有し、波高を減少させたCase-3の場合、沖波波高に対する上昇量の割合はCase-2とほぼ同程度の値となる。この結果、沖波波高に対する地下水位上昇量の割合は地下水位変動と同様に、入射波の周期に支配的であり、波形勾配が緩やかなほど大きな値になると推定される。

最大遡上高 $R_m$ 、平均水位上昇量 $\bar{\eta}$ 及び前浜地下水位上昇量 $\bar{\zeta}$ を沖波波形勾配 $H_0/L_0$ で整理した結果を図-7に示す。最大遡上高及び平均水位上昇量は、断面変化の微小な実験開始20分経過後までに得られたデータを使用し、平均水位上昇量は遡上波先端位置の時系列を平均して求め



(横軸：周波数(Hz) 縦軸：パワースペクトル( $\text{cm}^2\text{sec}$ ))  
図-5 各水位のパワースペクトルと周波数の関係  
(Case-2)

る。また、図中の実線は遡上高 $R$ と沖波波形勾配 $H_0/L_0$ の関係を示すHunt<sup>3)</sup>の式において、

$$R/H_0 = \tan \theta / \sqrt{H_0/L_0} \quad (1)$$

海底勾配が1/10の計算値である。ここに $H_0$ 、 $L_0$ はそれぞれ沖波波高及び波長であり、 $\tan \theta$ は海底勾配を示す。実験で得られた遡上高は、ほぼHuntの式に一致し、沖波波形勾配の増大に伴い減少する。一方、前浜地下水位の上昇量は波形勾配の増加に伴い減少し、その減少率は遡上高の減少率にほぼ等しい。前浜の地下水位上昇量は、各ケースともに最大遡上高の20～30%程度に相当し、平均水位の上昇量にほぼ一致する。この前浜地下水位の上昇が平均水位の上昇高で停止するため、遡上域の砂層内に飽和領域が形成され、浮力により底質砂の自重を減少させる。この結果、引き波時の掃流力を相対的に増大させていると考えられる。

## 2. 5 地下水位上昇高と汀線付近の侵食の関係

図-8は、Case-2の前浜地形断面変化と実験開始20～60分経過に伴う地下水位の空間分布を示す。図中の斜線と点で囲んだ領域はそれぞれ侵食、堆積を示し、黒塗三角(▲)は、断面変化が微小な実験開始20分経過後までに得られた最大遡上高及び引き波高、平均水位の上昇高を示す。砂浜斜面は、最大遡上高+5.2 cmの地点で小さなバームが形成され、その地点より沖側に向かって侵食深が増大している。侵食が後浜に及ぶ限界高さは静水位から+2.9 cmの地点となる(図中の↓)。この侵食限界高は、最大遡上高には一致せず、前浜の地下水位上昇高の+2.8 cmにほぼ一致している。従って、汀線付近の侵食は、この前浜地下水位が上昇した高さから発生していると推定される。

図-9は、各ケースにおける侵食限界高と地下水位上昇高の関係を示したものである。他の2ケースにおいても、侵食限界高と地下水位上昇高の一致はほぼ認められる。この侵食限界高は地下水位上昇高と同様に、沖波波形勾配の減少に伴い大きくなる傾向があると考えられる。この汀線付近の侵食が前浜地下水位の上昇した高さで発生するのは、以下の2つの事項によるものと考えられる。  
(1)前浜の地下水位上昇によって飽和領域が拡大し、浮力による底質砂自重の減少  
(2)前浜の地下水位上昇停止後も継続する変動成分により、砂浜斜面上で生じる浸透・浸出速度  
これらが、引き波時の掃流による侵食にどの程度関与しているのか、現在検討中である。

## 4. 結 論

本研究で得られた結論を要約すると以下のようである。  
(1)砂浜内地下水位の上昇は、沖波から砂層内に伝達される圧力により生じる地下水位の変動に起因する。  
(2)前浜地下水位の上昇量は遡上高と同様に、沖波波形勾配によって決まり、平均水位上昇量にほぼ一致する。  
(3)侵食が後浜に及ぶ限界高は、前浜地下水位の上昇高にほぼ一致する。  
現在、以上の事項を詳細に検討するための数値ミュレーションを開発中である。

## 謝 辞

本研究には、平成12年度文部省研究費補助金基礎研究(A)(1)(代表者田中仁東北大学教授)の補助を受けた。また、室蘭工業大学建設システム工学科木村克俊助教授には終始有益なご助言を頂いた。ここに記して、謝意を表します。

## 参考文献

- 1)加藤一正：漂砂の基礎から現地適用へ、第32回水工学に関する夏期研修会講義集、1996、96-B-7。
- 2)宮武誠・藤間聡・近藤俊郎・川森晃：透水層埋設による海岸保全工法の水理特性、土木学会北海道支部論文報告集、第55巻(B)、2000、pp194～199。
- 3)本間仁：海岸環境工学、東京大学出版会、1995、p582。

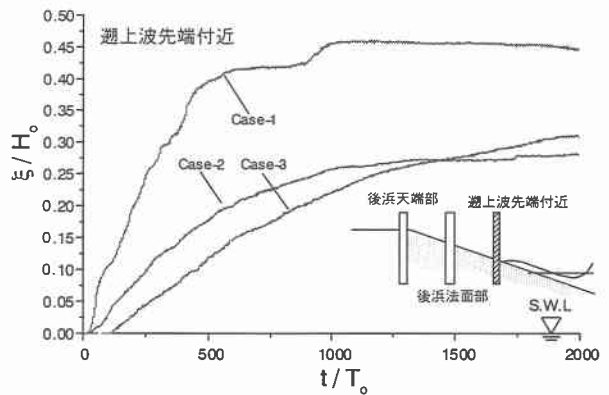


図-6 各ケースにおける地下水位経時変化の比較

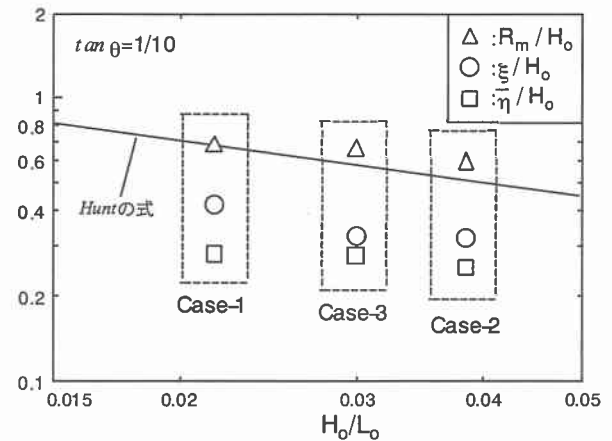


図-7 各水位上昇量と沖波波形勾配の関係

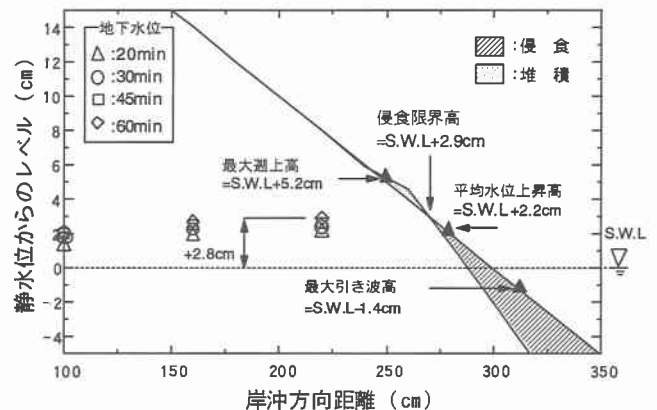


図-8 前浜地形断面変化(Case-2)

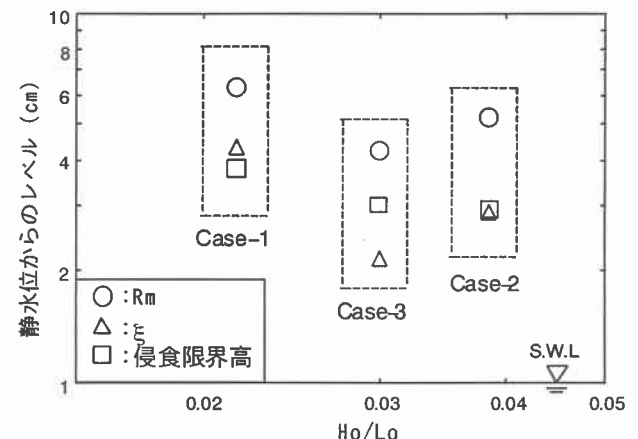


図-9 侵食限界高と地下水位上昇高の関係