

高波による護岸擁壁背後法面の 陥没型被災における法面内間隙水圧変動特性

Characteristics of Pore Water Pressure Fluctuation
in Sand Stratum on Sinking Type Disaster behind the Seawall by Storm Waves

函館工業高等専門学校 学生員 ○内糸直樹 (Naoki Uchiito)
 函館工業高等専門学校 正員 越智聖志 (Masashi Ochi)
 函館工業高等専門学校 正員 宮武誠 (Makoto Miyatake)
 函館工業高等専門学校 学生員 加藤佑典 (Yusuke Kato)

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う異常気象によって、強い勢力を保った低気圧が北海道に上陸する頻度は増加傾向にある。それに伴い、海岸道路に來襲する高波も増加しており、海岸道路の被災によって交通障害が発生した場合、周辺地域に大きな影響が及ぼされる。こうした背景から、松田ら¹⁾は、北海道南部に位置するT海岸で発生した越波を伴う高波による沿岸道路法面被災において、浸透流解析を実施し、越波を伴う高波によって、砂層内の飽和領域が拡大することで、擁壁背後法面が崩壊しやすくなることを示唆している。これに対し、辻廣ら²⁾は、移動床水理模型実験により、非越波条件下においても地下水による浸透流の影響を大きく受け、擁壁下部の砂層からの吸出しによって陥没型の被災形態が発生することを示している。また、加藤ら³⁾は、辻廣ら²⁾と同一の移動床水理模型実験を用い、浸透流により無波浪時に岸沖方向に維持された正の地下水位勾配が、波浪作用時に逆(負)勾配に転じたことが擁壁背後土砂の吸出しを助長することを指摘している。しかしながら、地下水位勾配が反転する理由に関しては推察に留まっており、擁壁背後法面砂層内の間隙水圧と地下水位の変動特性は未だ明らかとされていない。

本研究は、上述した各既往研究で対象としていたT海岸における被災をもとに、加藤ら³⁾と同一の移動床水理模型実験装置を用い、砂層内底部に間隙水圧計とマンメータを設置し、瞬間的な砂層内の間隙水圧変動と長期的な地下水位変動を計測することで、陥没型被災の発生する非越波条件時における法面砂層内地下水位勾配が岸沖方向に負の勾配となる理由を明らかにすることを目的とする。

2. 移動床水理模型実験

実験は、図-1に示す長さ13.5m、高さ0.9m、奥行き0.5mの2次元造波水路内において、現地底質の代表粒径および透水係数より、フルード相似律のもと実験縮尺1/50とした不規則波による移動床水理模型実験を実施した。表-1に波浪条件を示す。図-2に示す法面砂層内には、P1およびP2の位置に間隙水圧計、M1~M4の位置にマンメータへの接続孔を配置し、それぞれ間隙水圧および地下水位の計測を実施した(表-2)。なお、接続孔は砂流入防止のため、プランクtonネットを用いて被覆した。ここで、擁壁前面下部の固定床に原点O'を設定し、図中のx'軸を沖岸方向、z'軸を鉛直上向きに設定している。擁壁背後法面の作成に際しては、間隙水圧計を使用するため、水中落下により断面を作成し、その水中落下水位は現地量で $h_2=4.1\text{m}$ (静水面基準)とした。法面作成後は、予め実施した予備実験により明らかとした地下水位の定常状態をもとに、水中落下水位で24時間通水後に現地量で後浜地下水位 $h_1=5.0\text{m}$ (静水面基準)を与え、同時に前浜から48時間かけて静水面まで排水を実施した。

間隙水圧計で計測された間隙水圧変動は、時系列データのトレンドを区間2秒の移動平均により明らかにし、その移動平均からの変動上限値および下限値を算出した。マンメータの水位計測については、10分間隔の画像をデジタルビデオカメラにより撮影し、水位変動をデジタイザーを用いて解析した。

表-1 波浪条件(現地量)

後浜地下水位 $h(\text{m})$	有義波高 $H_{1/3}(\text{m})$	有義波周期 $T_{1/3}(\text{sec})$	波浪継続時間 $t(\text{hr})$
5.0	4.6	10.7	28

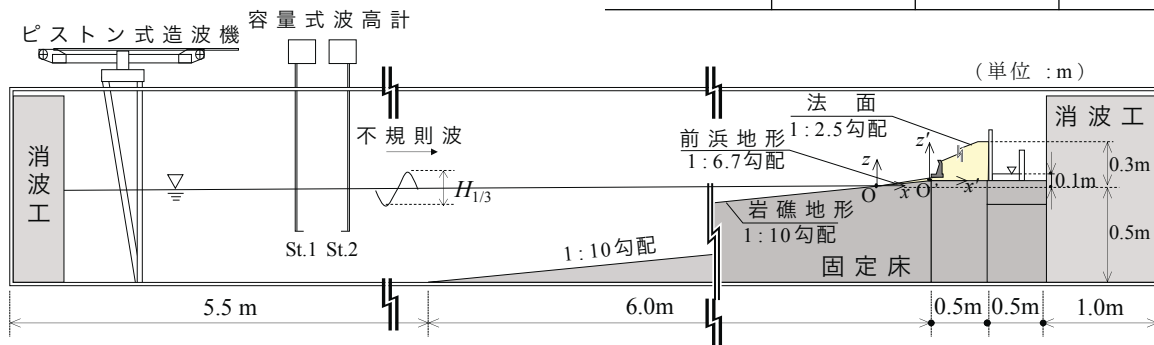


図-1 二次元造波水路概略(実験量)

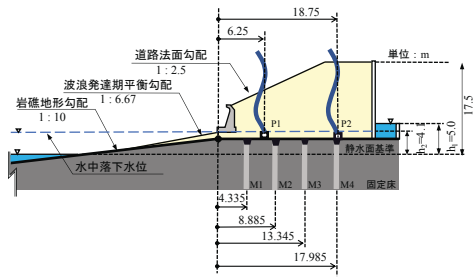


図-2 計測機器設置位置(現地量)

3. 実験結果

3.1 間隙水圧の変動特性

図-3に後浜地下水位($z=5.0\text{m}$)から固定床($z=2.5\text{m}$)間における1時間毎のマノメータによる地下水位勾配と間隙水圧計による間隙水圧の計測結果を示す。地下水位勾配は、図-3(a)の無波浪時では岸沖方向に1/38であり、波浪作用60分後の図-3(b)では、岸沖方向に1/3033へと緩勾配化している。この波浪作用60分後の擁壁背後法面の平面および側面の状態を写真-1(a)および(b)に示す。写真-1(a)に示す2つの赤枠部の側面側では小規模な陥没が発生している。この陥没は、既往研究で述べられていた通り、擁壁下部に発生した水色点線のクリアランスに遡上波が作用したことによって、擁壁背後法面砂層が流動化し、砂の吸出しが発生したことが要因と推察される(写真-1(b))。一方で、水路横断方向中央の擁壁背後法面では僅かな凹みが確認でき、その凹みの下部でも吸出しによる砂の流動が進行しているものと推察される。次に、図-3(c)に波浪作用120分後の地下水位勾配を示す。地下水位勾配は岸沖方向に-1/120へと転じており、これまでの正の勾配から負の勾配へと変化していることがわかる。この時の擁壁背後法面の平面および側面の状態を、写真-2(a)および(b)に示す。波浪作用後60分で陥没および凹みが確認された赤枠部において、その被災が進行していることがわかる(写真-2(b))。

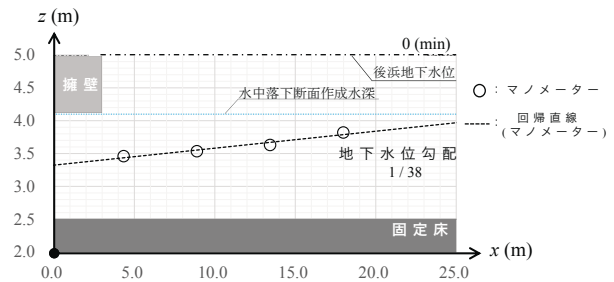
前述した同図-3(b), (c), (d)および(e)中に、P1およびP2における間隙水圧平均値からの上限値および下限値の変動範囲を示す。間隙水圧の上・下限の変動は、前浜域に波が遡上した際の浸透流によって間隙水圧が平均値より上方へ変動し、引き波時の滲出流によって平均値より下方への変動を示す。その変動幅は波の浸透・滲出流の影響によるため、波の作用を受けやすい擁壁背後のP1がP2に比して大きくなっていることがわかる。また、P1に着目すると、平均値より上方への変動幅(=上限値-平均値)が下方への変動幅(=平均値-下限値)と比較して大きくなっていることから、波の遡上による浸透流が擁壁直背後において法面砂層内(P1)に貯留され、地下水位上昇に寄与しているものと推察される。

3.2 地下水位勾配の変動特性

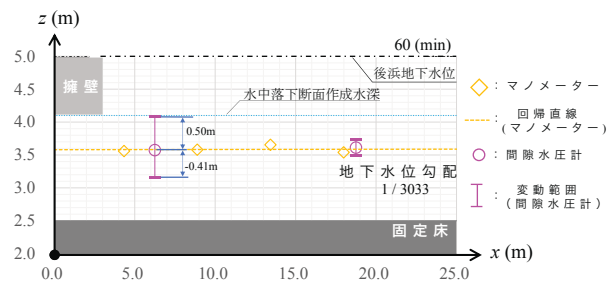
図-4にマノメータによる擁壁背後法面砂層内における10分毎の地下水位勾配時系列を示す。無波浪時(0min)に岸沖方向に大きな正の勾配を有していた地下水位勾配は、波浪作用による前浜域への浸透流の作用によって緩勾配化しており、擁壁背後法面の陥没の進行が顕著な波浪作用120分後まで負および正の勾配が交替的に生じ

表-2 計測機器および計測項目

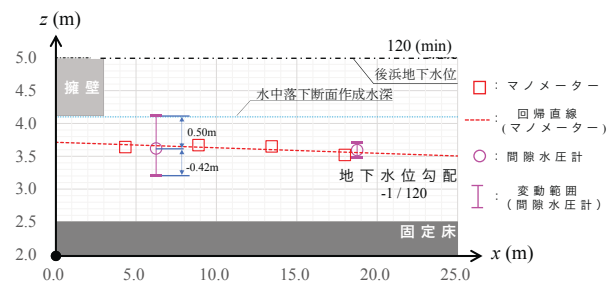
設置位置(現地量)	マノメータ					
	P1	P2	M1	M2	M3	M4
計測時間間隔	23msec		1min			
計測項目	間隙水圧変動			地下水位変動		



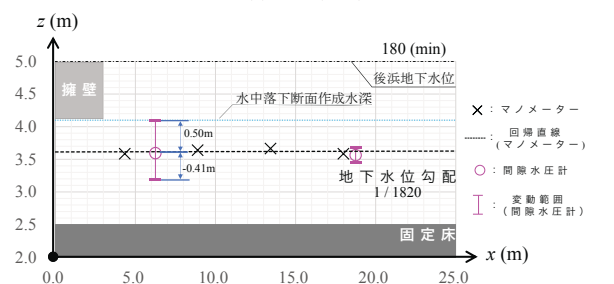
(a) 0(min)



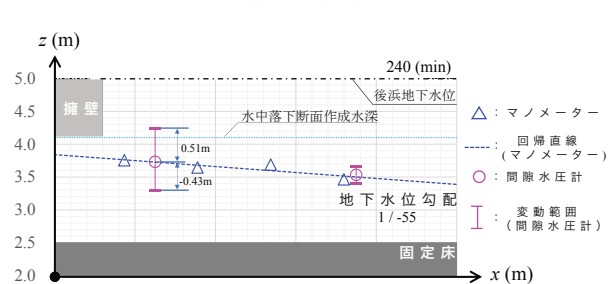
(b) 60(min)



(c) 120(min)

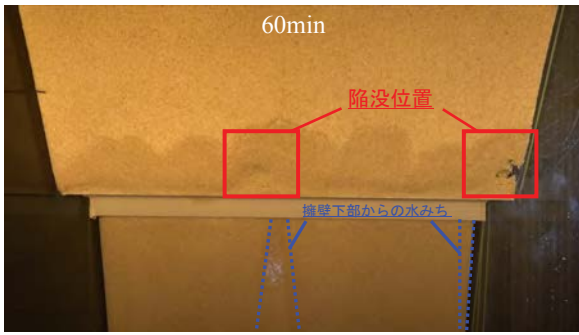


(d) 180(min)

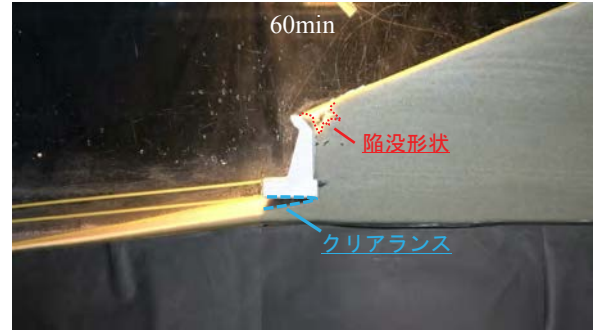


(e) 240(min)

図-3 間隙水圧変動結果(現地量)

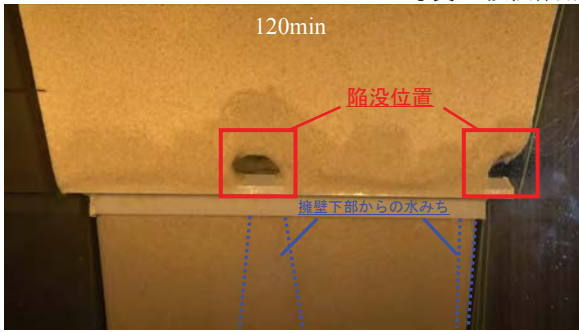


(a) 平面

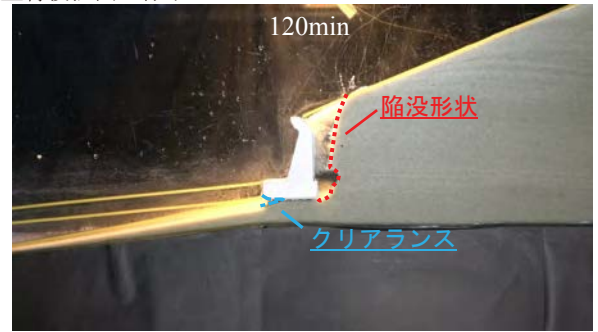


(b) 側面

写真-1 波浪作用60分後の擁壁背後法面の様子



(a) 平面



(b) 側面

写真-2 波浪作用120分後の擁壁背後法面の様子

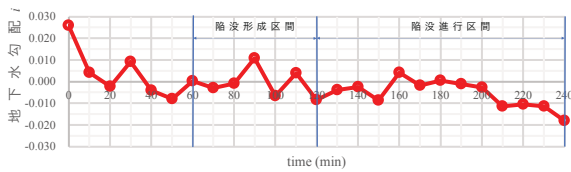


図-4 地下水位時配時系列

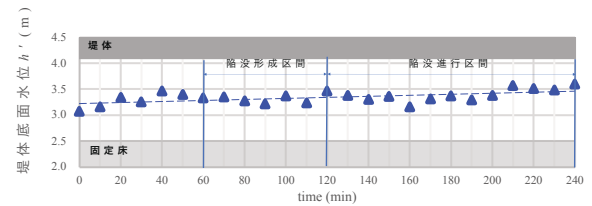


図-5 擁壁前面下部の地下水位変動

ている。これは本研究で作用させている波浪が不規則波であり、地下水位勾配の変動に大きく寄与している擁壁底部に生じるクリアランスへの遡上波が不規則に作用しているためである。一方で、波浪作用120分後以降は前述の間隙水圧変動特性で明らかとなった浸透・滲出の余剰分により貯留された地下水によって、概ね負の勾配を示している。

図-5にマンメータの計測値から得た擁壁底部砂層内水位 h' の回帰直線の擁壁前面下部砂層内($x'=0.0\text{m}$)における地下水位変動時系列を示す。 h' は上述した図-4に示す傾向と同様に、浸透流の余剰分の影響を受けて、時間の経過とともに緩やかな増加傾向を示していることがわかる。

以上より、間隙水圧変動特性による地下水位の上昇機構がマンメータによる地下水位変動特性からも確認でき、擁壁背後法面砂層の崩壊メカニズムが明らかとなった。

4. 結論

本研究で得られた結論を以下にまとめる。

- (1) 擁壁背後法面砂層内の間隙水圧は、波浪作用によって変動し、その変動幅は浸透が滲出に比して大きく、擁壁背後法面砂層内において、地下水位が上昇することに寄与していると考えられる。

- (2) 擁壁底部に生じるクリアランスに不規則波が作用することで、地下水位勾配は負および正の勾配を交番的に生じ、浸透・滲出の余剰分により擁壁直背後における法面砂層内の地下水位が上昇していると推察される。
- (3) 擁壁前面底部における地下水位が上昇していることで地下水位勾配が負の勾配に転じ、擁壁背後法面に顕著な陥没が確認された。

参考文献

- 1) 松田達也, 内藤直人, 伊藤志龍, 坪川良太, 佐々真志, 宮武誠, 越智聖志, 牛渡裕二, 飯田泰成: 海浜堆砂厚および後浜地下水位の影響を考慮した高波による護岸背後土砂の流出現象に関する解析的検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.77, No.2, pp.787-792, 2021.
- 2) 辻廣咲希, 越智聖志, 宮武誠, 佐々真志, 松田達也, 坪川良太, 牛渡裕二, 飯田泰成: 高波による護岸擁壁背後法面における被災形態の特徴化, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.77, No.2, pp.547-552, 2021.
- 3) 加藤佑典, 越智聖志, 宮武誠, 佐々真志, 坪川良太, 牛渡裕二, 飯田康成, 阿部翔太: 高波による護岸擁壁背後の陥没型被災に及ぼす浸透流動特性, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.78, No.2, pp.439-444, 2022.