

浚渫粘土層の自重圧密におけるプラスチックボードドレーンの圧密促進効果

地盤工学分野 西田 貴博

1. 研究の目的

大量の浚渫粘土によって生じる埋立処分場の圧密促進のためにプラスチックボードドレーン(PBD)がよく用いられる。さらに、地下水水位低下工法や真空圧密工法を併用して、圧密促進させる新しい工法も提案されている。このような、自重未圧密地盤にPBDを打設した場合の圧密促進効果を調べた例は少ない。

そこで本研究では、まず浚渫粘土にPBDを模擬したドレーンを打設した場合(初期含水比、初期層厚、遠心加速度を変化)の自重圧密場の圧密促進効果を遠心模型実験によって調べた。同時に実験結果を説明し得る解析手法としてBarron解と合成解(Barron解と一次元自重圧密解(三笠解)を合成した解)の適用性を調べた。次に粘土層下面の水位低下を併用した場合の圧密促進効果を初期層厚で変えて調べた。以上から、浚渫粘土層の自重圧密におけるPBDの圧密促進のメカニズムを探ることが本研究の目的である。

2. 自重圧密におけるPBDの圧密促進効果

2.1 実験方法

試料は大阪粘土にカオリンを乾燥質量比4:1で混合した粘土($w_L=84\%$ 、 $w_p=30\%$ 、 $I_p=54$)(OK84と呼ぶ)を用いた。模型地盤容器は内径12cm、高さ30cmの亚克力円筒で、これを2個ずつ遠心装置アームの両端に設置し、同時に4ケースの実験を行った。

図-1にドレーンの設置方法を示した。ドレーンには少し厚手の不織布(100g/m³)を用いた。図-2にドレーンの配置を示した。全て正方形配置である。

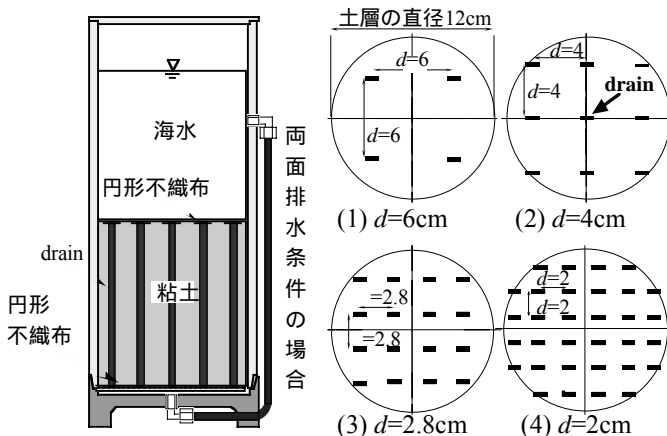


図-1 ドレーンの設置方法

図-2 ドレーンの配置

表-1に自重圧密場の実験条件をまとめた。なお、原型換算値は表-1の寸法に遠心加速度を乗じた値となる。なお、各地盤条件における無改良(ドレーンなし)条件も別途行っている。

表-1 自重圧密場の実験条件

実験 Case	遠心 加速度(g)	地盤条件		ドレーン条件			排水 条件
		初期含水比 w_0 (%)	初期層厚 H_0 (cm)	ピッチ d (cm)	本数 n (本)	幅 b (cm)	
Case1	100	120	12.6	6.0	4	0.5	片面
Case2				4.0	9		
Case3				2.8	16		
Case4				2.0	32		
Case5		180	17.4	6.0	4		
Case6				4.0	9		
Case7				2.8	16		
Case8				2.0	32		
Case9	100	150	10.0	4.0	9	0.2	両面
Case10				2.8	16		
Case11				2.0	32		
Case12			4.0	9			
Case13			2.8	16			
Case14			2.0	32			
Case15		20.0	15.0	4.0	9		
Case16				2.8	16		
Case17				2.0	32		
Case18				4.0	9		
Case19	50	150	10.0	2.8	16	0.2	両面
Case20				2.0	32		
Case21				4.0	9		
Case22			2.8	16			
Case23			2.0	32			
Case24			4.0	9			
Case25		20.0	15.0	2.8	16		
Case26				2.0	32		

2.2 圧密計算方法

パーチカルドレーンによる圧密過程は水平排水のみを対象とするのが一般的で、Barron解がよく用いられる。Barron解における水平方向の圧密係数 c_h は、超軟弱粘土であるため $c_h=c_v$ とした(c_v は無改良実験から求めた)。図-3にBarron解と実験値の比較の代表例を示した。Barron解はピッチ d が大きいほど圧密速度を過小評価し、かつ d の効果を過大評価しており、自重圧密場への適用性は低い。

合成解 $U(t)$ はCalliroによる次式を用いてBarron解 $U_r(t)$ と一次元圧密解(三笠解) $U_z(t)$ を合成したものであり、以降はこの合成解と実験値を比較した。

$$\text{合成解: } U(t) = 1 - (1 - U_z(t))(1 - U_r(t))$$

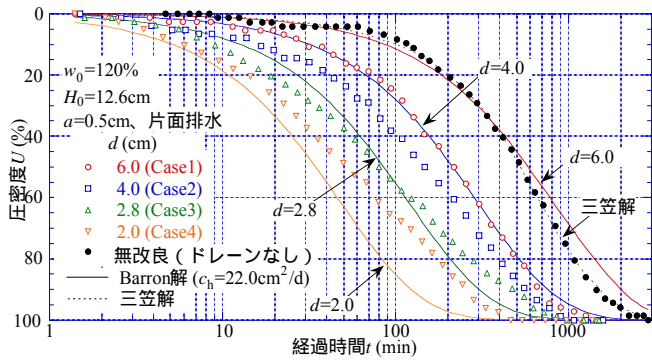


図-3 Barron 解と実験値の比較の代表例

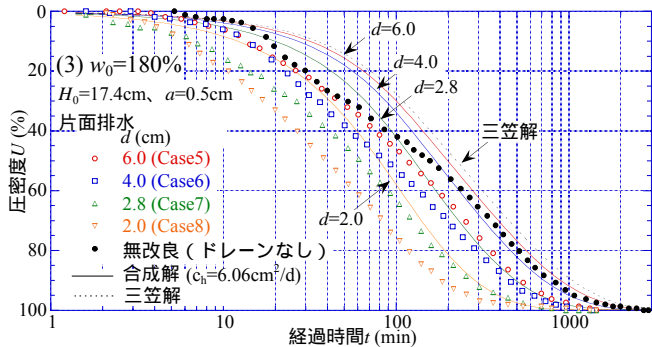
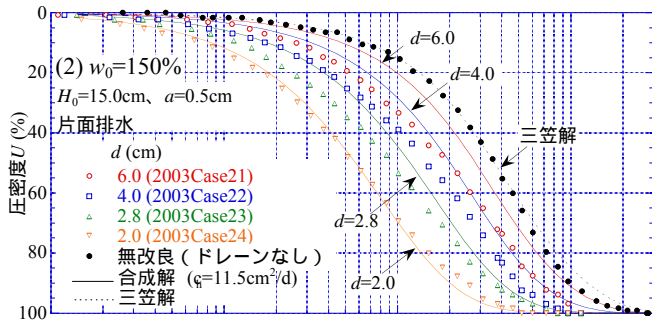
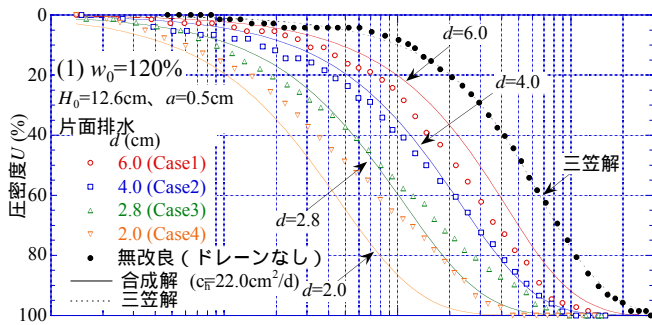


図-4 初期含水比による改良効果と合成解

2.3 粘土の初期含水比による改良効果

図-4(1)~(3)にそれぞれ初期含水比 $w_0=120, 150, 180\%$ 地盤でピッチ d を変えた場合の $U-\log t$ 関係 (U : 圧密度) と合成解を示した。図中には無改良 (ドレーンなし) 条件の実験値と三笠解を示したが、ほぼ一致している。ただし図(3)の $w_0=180\%$ 地盤では材料分離を起こしたために合っていない。図(1)、(2)の $w_0=120, 150\%$ 地盤では図-3 の Barron 解と比べると、合成解は実験値との整合性がよく、 d の効果をよく表している。ただし、図(3)の $w_0=180\%$ 地盤では圧密速度を過小評価して

いるのは、先の材料分離の影響と、このケースでは特に Barron 解が圧密度をかなり過小に算定する影響と考えられる。

w_0 と改良効果を比較すると、無改良 (ドレーンなし) 条件に対してのドレーンの効果、ピッチの効果ともに w_0 が小さいほど大きいことから、 w_0 が低い地盤ほどドレーンによる圧密促進効果が大きいと言える。これは w_0 が高くなると一次元の自重圧密が主体 (層厚減少の効果が大きい) となり、ドレーンによる水平排水が効きにくくなるためと考えられる。

2.4 粘土の初期層厚による改良効果

図-5、6 にそれぞれ遠心加速度 $100g, 50g$ で、初期層厚 $H_0=10, 15, 20\text{cm}$ 地盤 ($w_0=150\%$) のピッチ d を変えた場合の $U-\log t$ 関係と合成解の比較を示した。図-5 には無改良 (ドレーンなし) 条件の実験値と三笠解も示したが、各条件とも実験値の方が三笠解より圧密速度が遅く、整合性が悪い。これは下面の排水性に不備があったためと考えられる。図-5 では合成解は d が小さいほど、 H_0 が大きいほど圧密速度を過大評価しているが、ピッチ d の効果はよく表している。図-6 では、比較的よく整合している。

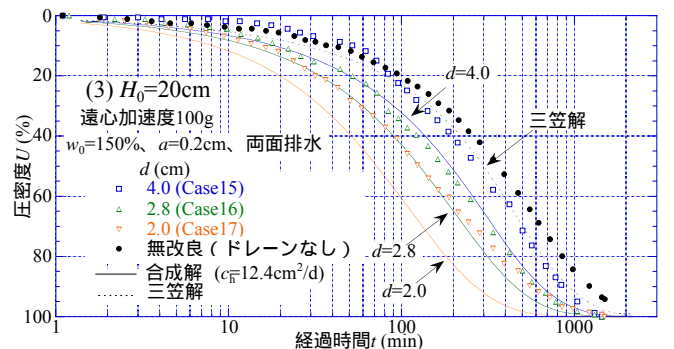
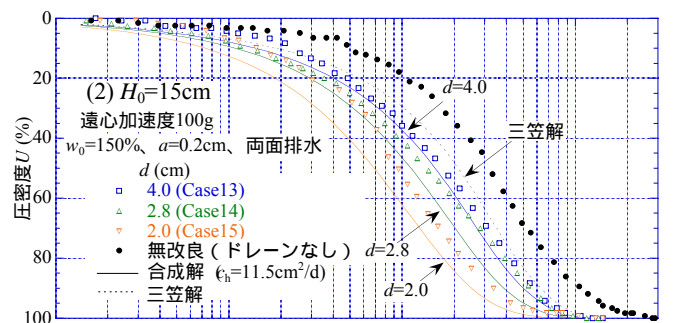
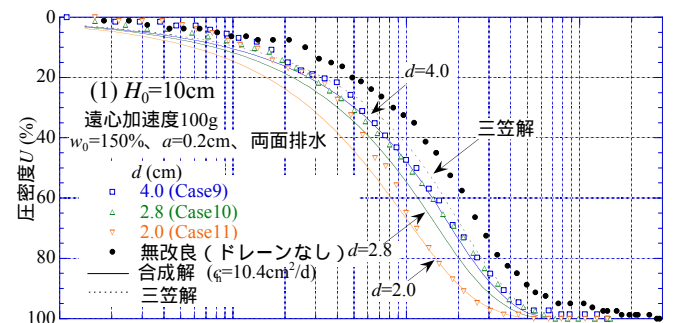


図-5 遠心加速度 $100g$ での初期層厚による改良効果と合成解

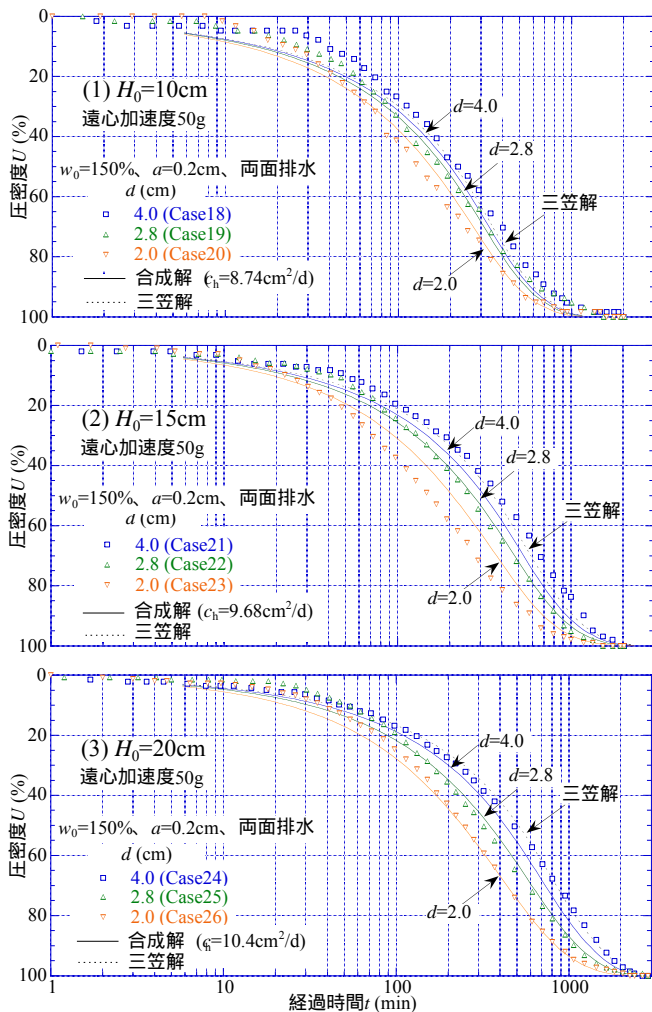


図-6 遠心加速度 50g での初期層厚による改良効果と合成解

粘土層厚 H_0 と改良効果を比較すると、 H_0 が大きいほどピッチの効果が大きいと言える。これは、 H_0 が大きくなると一次元圧密の進行が遅くなるため、ドレーンによる水平排水効果が相対的に大きく得られるためと考えられる。これは遠心加速度 100g、50g の両方で確認できた。

3. 水位低下を併用した場合の圧密促進効果

3.1 実験方法

表-3 に水位低下を併用した場合の実験条件を示す。昨年度まで剥離、陥没を生じていたので、今年度は実験に用いる粘土や間隙海水を脱気することにした。

表-3 水位低下を併用した場合の実験条件

実験 Case	地盤条件			ドレーン条件			間隙水圧測定の有無	
	含水比 w_0 (%)	初期層厚 (覆土厚 H_0 (ΔL))	水位低下量 ΔWL (cm)	ピッチ d (cm)	本数 n (本)	幅 a (cm)		
Case27	150	10 (4)	10	2	32	0.5	有	
Case28			20				有	
Case29			10				有	
Case30		15 (4)	15				有	
Case31			20				無	
Case32			10				10	無
Case33							20	有

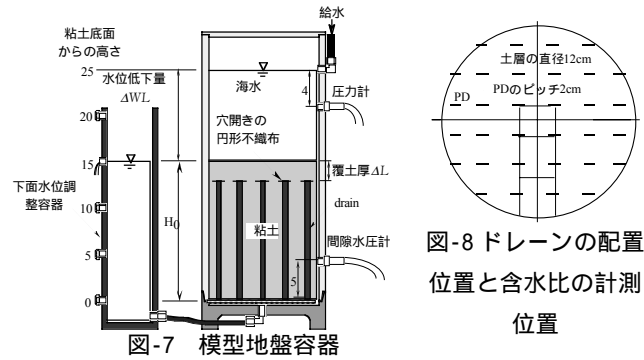


図-7 模型地盤容器

図-8 ドレーンの配置位置と含水比の計測位置

図-7 に模型地盤容器を示す。ドレーン設置の改良層厚の上に不透水層を覆土厚 ΔL を設置し、合わせて初期層厚 H_0 とした。また、図-8 にドレーンの配置位置と含水比の計測位置を示した。含水比の計測位置は後に示す図-9~11 で用いる。以下では原形換算値で示す。

3.2 初期層厚による改良効果

図-9~11 に、それぞれ初期層厚 $H_0=10, 15, 20$ m で、水位低下量 ΔWL を変えた場合の (1) S - $\log t$ 曲線、(2) 含水比 w 、(3) 有効応力 p の深度分布を示した。図(3) p は図(2) w 値から圧縮曲線 ($f=3.13-0.70 \log p$) を用いて逆算した。各 H_0 とも ΔWL が大きい方が、沈下量が大きく、含水比が低く、有効応力増加が大きいことから、 ΔWL の効果が現れている。しかし、どの実験条件でも水位低下量分の有効応力増加が完全には現れておらず、相対的には H_0 が小さい方が ΔWL に対する有効応力の増加割合は大きい。これは H_0 が小さいほど沈下量が小さく、剥離や陥没が生じにくいと考えられる。

3.3 間隙水圧の消散

図-12(1)~(3)にそれぞれ初期層厚 $H_0=10, 15, 20$ m での、粘土底面から 5m 位置 (図-7 参照) の間隙水圧の経時変化を示す (初期部分は遠心加速段階)。全体に先の沈下曲線に比べ、間隙水圧の消散は遅い。図(1)の $H_0=10$ m では改良部の層厚が小さいために、圧密中に間隙水圧計測位置は覆土厚の中に入るので、消散量は小さくなったと考えられる。図(2)の $H_0=15$ m ではほぼ水位低下量 ΔWL 分 (自重応力を含む) に相当する消散量を得ている。図(3)の $H_0=15$ m では終盤に振動し、消散量は水位低下量 ΔWL 相当分より小さい。これは非常に大きな有効応力増加のために、粘土が大きく陥没し、間隙水圧計位置が覆土厚内に入ったためと考えられる。

3.4 まとめ

粘土や間隙海水を脱気することで、剥離、陥没の影響を小さくすることができた。間隙水圧の消散量は水位低下量に近い値で確認されたが、含水比から求めた有効応力増加は小さい。これは有効応力の換算式は一次元鉛直応力に対する圧縮曲線を用いているのに対し、この場合の間隙水圧の消散は等方応力であるため過小になるのではないかと考えられる。

4. 結論

浚渫粘土層の自重圧密におけるプラスチックボードドレーンの圧密促進効果を調べ、以下の結論を得た。

- 1) 粘土の初期含水比が低い方が、水平排水効果が大きく、ドレーンによる圧密促進効果が大きい。
- 2) 粘土の層厚が大きい方が、水平排水効果が大きく、ドレーンによる圧密促進効果が大きい。これは遠心加速度 100g、50g の両方で確認できた。
- 3) 浚渫粘土との自重圧密過程には、Barron 解は合わずドレーンピッチの効果を過大評価し、ピッチが大きいほど圧密速度を過小評価する。
- 4) Barron 解と一次元自重圧密解を合成する解は、実

験値に比較的良好に合い、実用的な解である。

さらに、水位低下併用実験からは以下の結論を得た。

- 5) 脱気した海水、粘土を用いることで、水位低下による浸透圧密時の剥離、陥没が低減できた。
- 6) 粘土中の間隙水圧の消散から、水位低下による改良効果を確認することができた。
- 7) 含水比から換算した有効応力増加は、間隙水圧の消散量と整合しなかったが、これは一次元応力と等方応力の差からくるものと考えられ、換算方法は今後の課題とした。

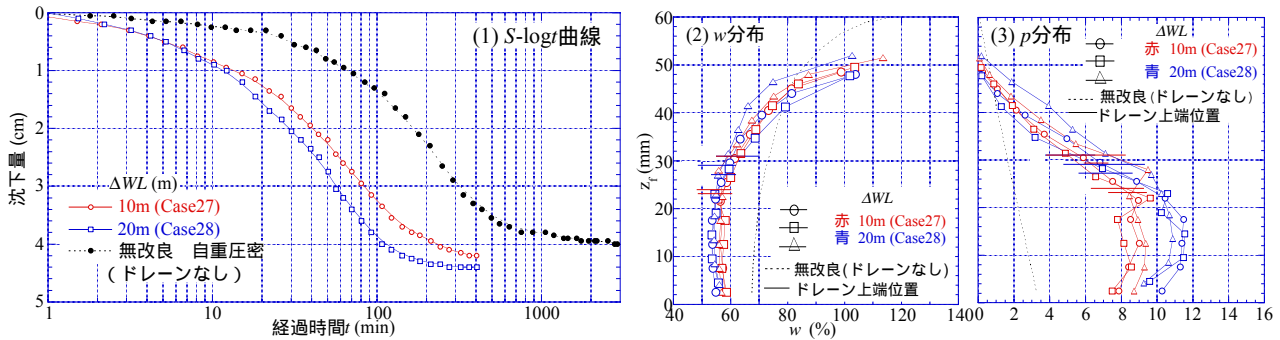


図-9 水位低下を併用した場合の $H_0=10\text{cm}$ における改良効果

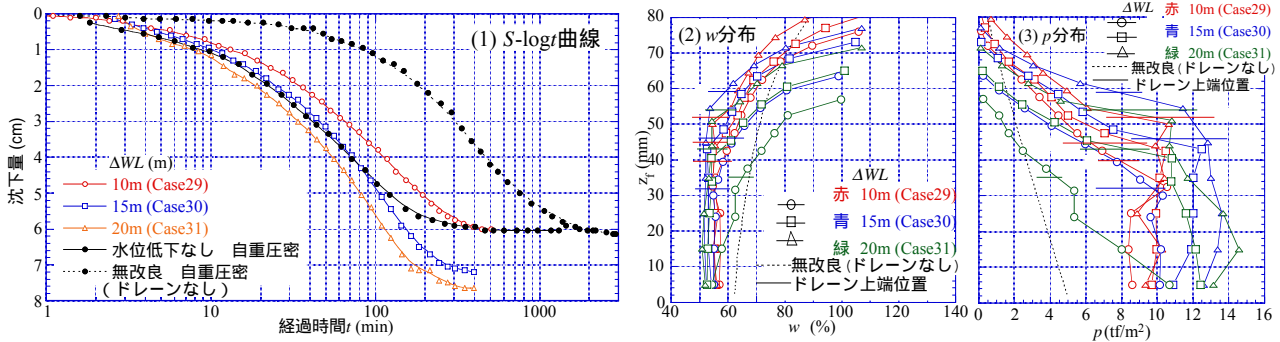


図-10 水位低下を併用した場合の $H_0=15\text{cm}$ における改良効果

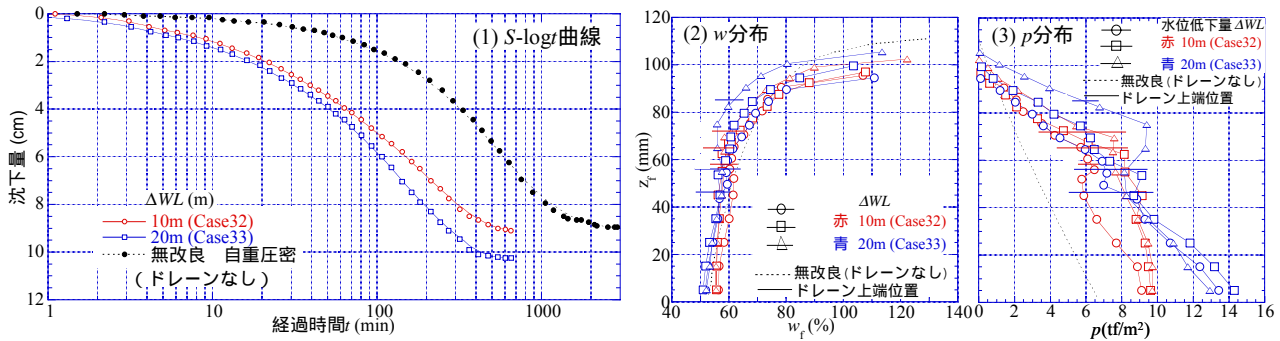


図-11 水位低下を併用した場合の $H_0=20\text{cm}$ における改良効果

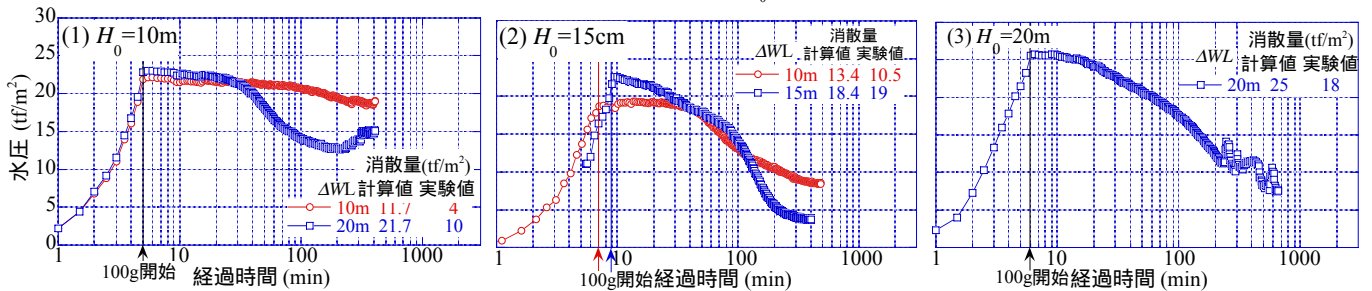


図-12 初期層厚の違いによる間隙水圧の経時変化