

■ 津波避難ビル等の要件 及び、留意点について

- ・ 位置的要件について
- ・ 構造的要件について

■津波避難ビルへの構造的要求性能

1. 大地震に対して安全であること

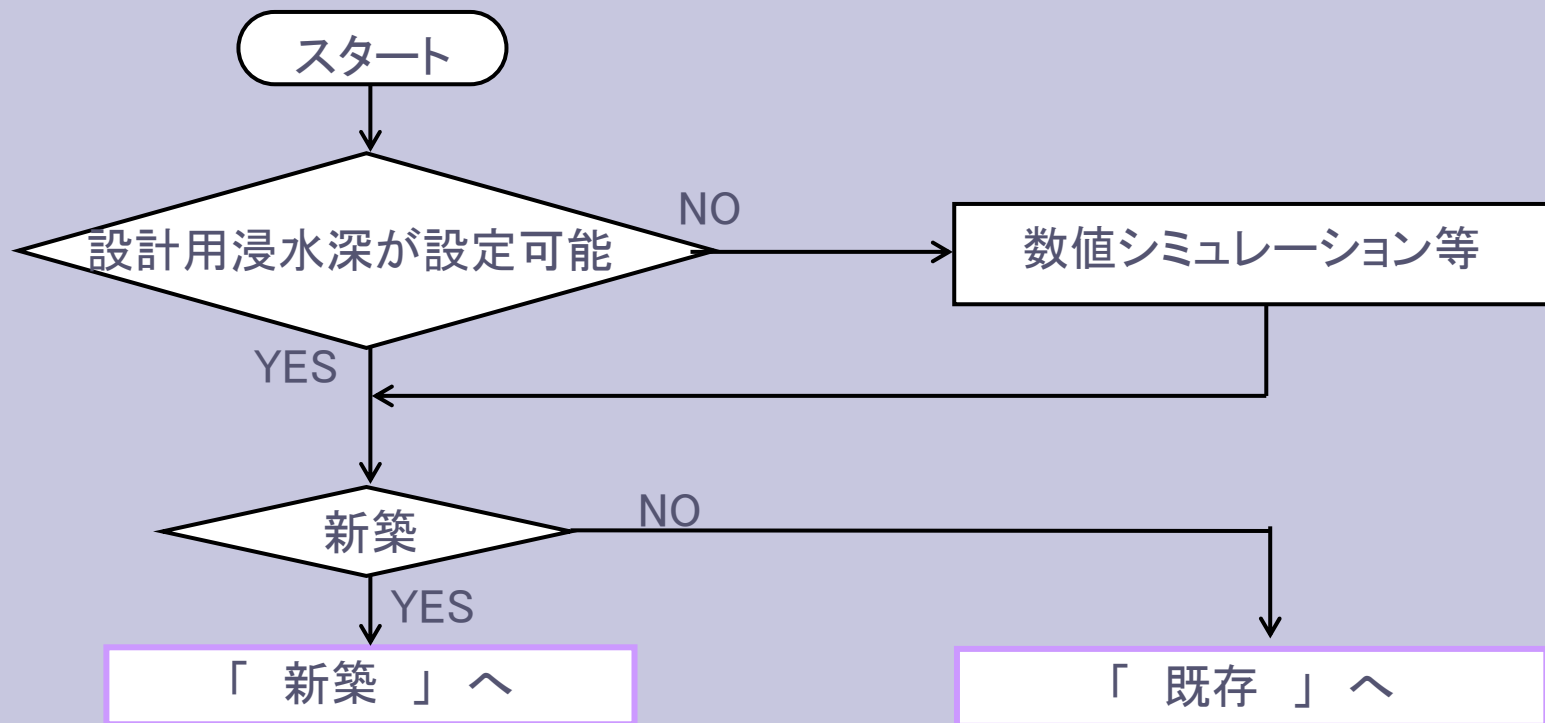
- ・新築：現行の建築基準法への適合
- ・既存：現行の建築基準法への適合
または、耐震診断法への適合

2. 津波に対して安全であること

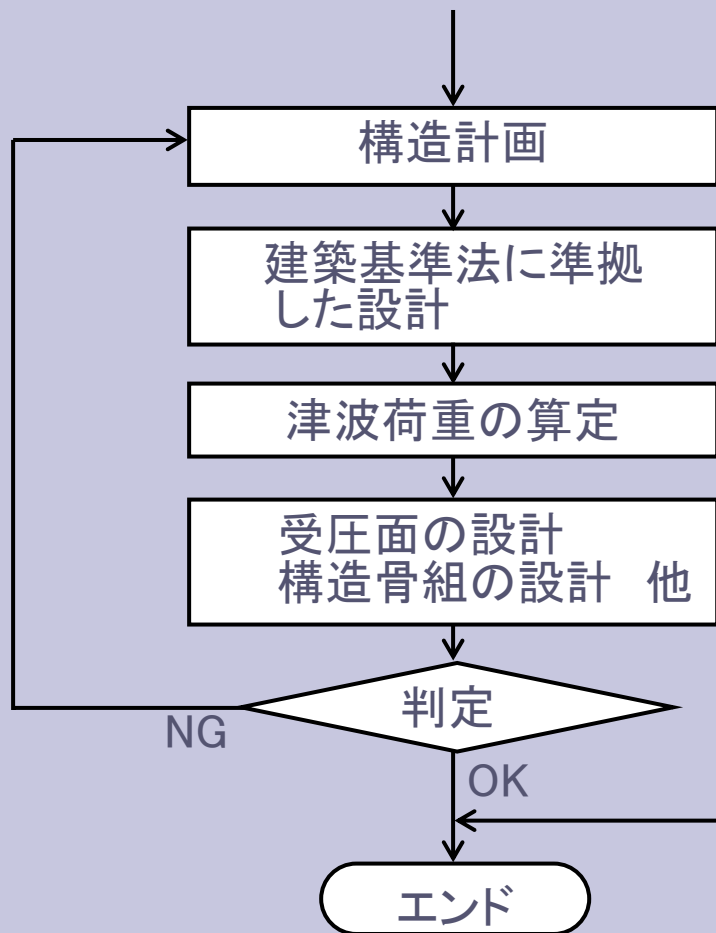
- ・津波を直接受ける面（受圧面）の安全性
- ・建物全体の安全性

1. 大地震に対して安全であること

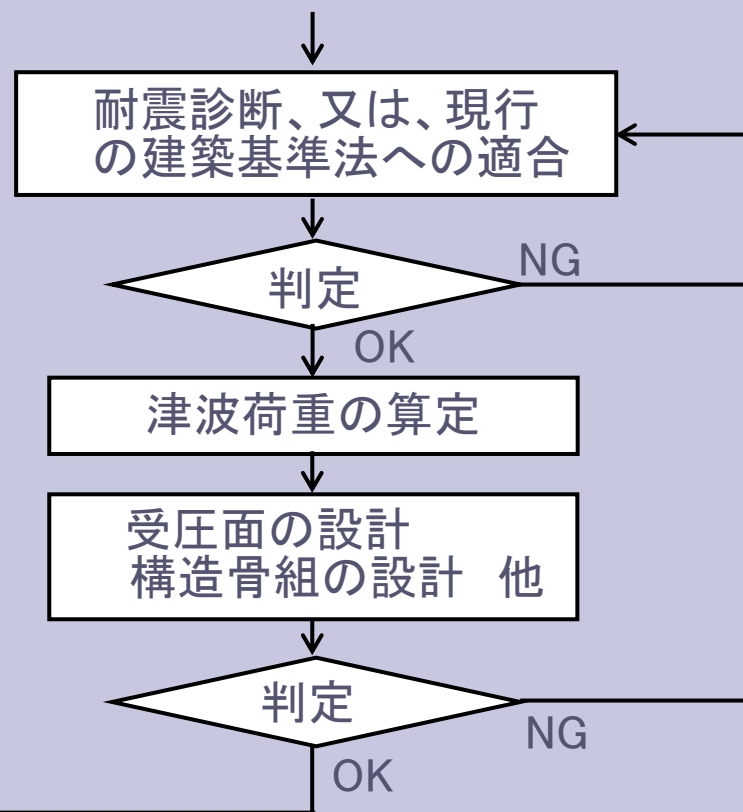
1.1 適用の確認



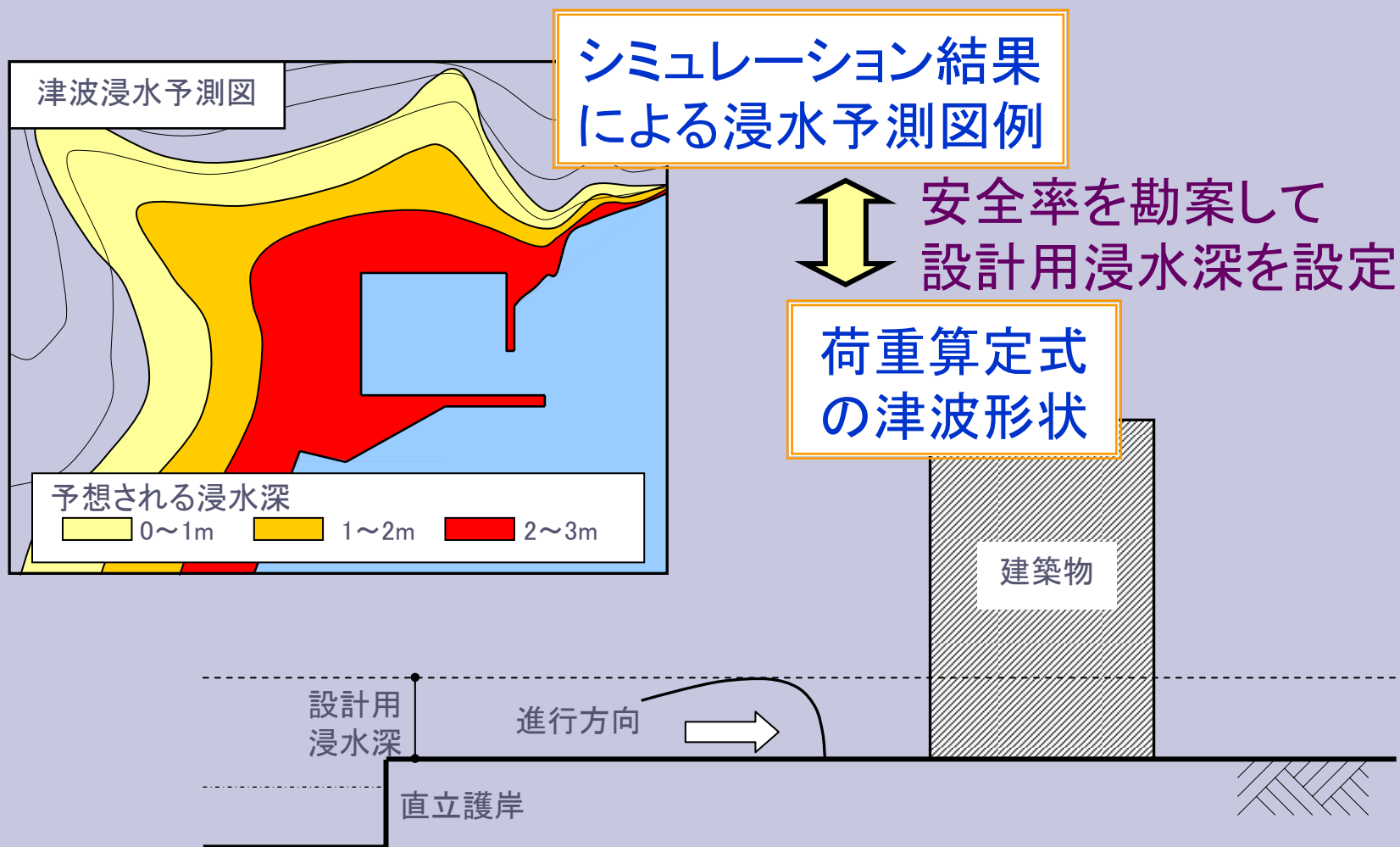
■新築



■既存



1.2 設計用浸水深の設定



1.3 津波荷重算定式

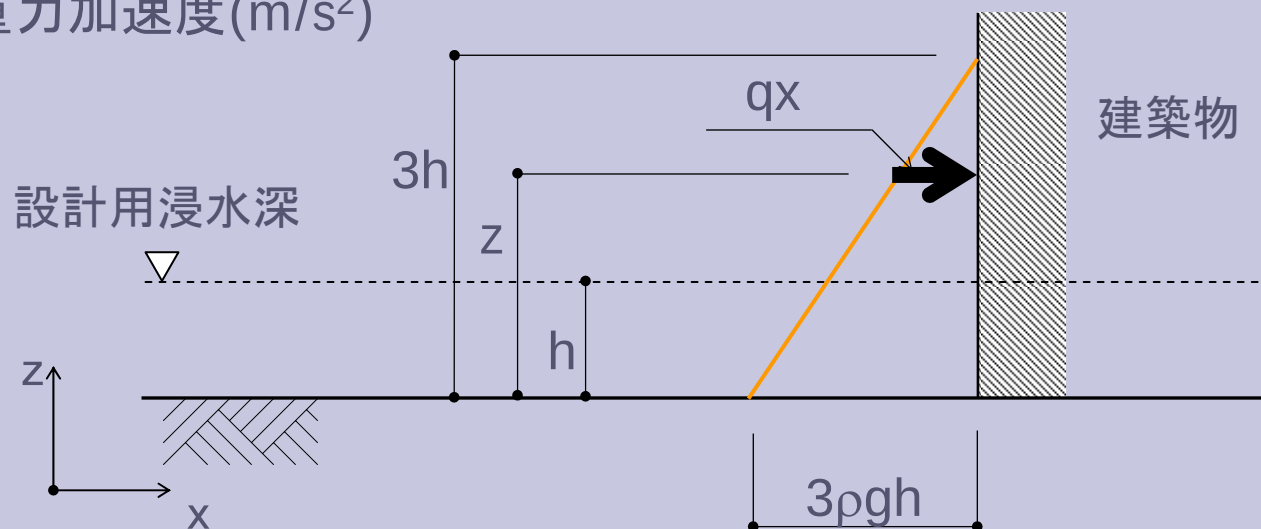
(1) 津波波圧算定式

$$q_x = \rho g(3h - z)$$

q_x : 構造設計用の進行方向の津波波圧(kN/m²)

ρ : 水の単位体積質量(t/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

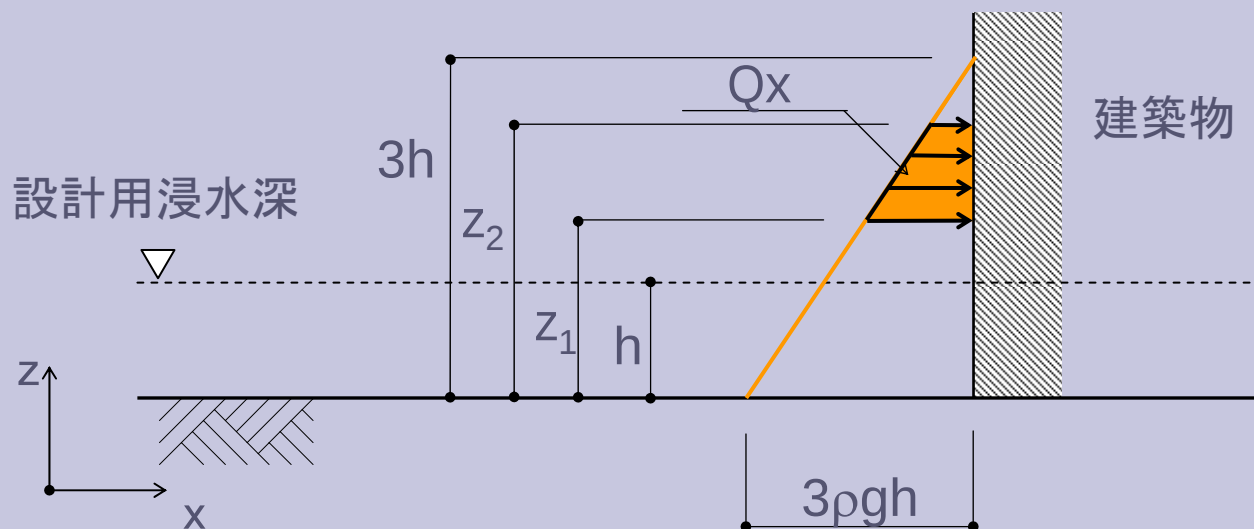


(2) 津波波力算定式

$$Q_x = \rho g B \int_{z_1}^{z_2} (3h - z) dz = \frac{1}{2} \rho g B \left\{ \left(6hz_2 - z_2^2 \right) - \left(6hz_1 - z_1^2 \right) \right\}$$

Q_x : 構造設計用の進行方向の津波波力(kN)

B : 当該部分の幅(m)



1.4 既往研究の整理

1	朝倉ら	$p(z) = (3\eta_{\max} - z)\rho g$
2	朝倉ら	$p(z) = \max(5.4\eta_{\max} - 4z, 3\eta_{\max} - z)\rho g$
3	池野ら	$p(z) = 2.2\left(a_H - \frac{z}{3}\right)\alpha\rho g$
4	大森ら	$P = \frac{1}{2}C_D\rho u u \eta + \rho C_M\dot{u}L\eta + \frac{1}{2}C_S(\theta)\rho u u \eta + \rho gL\eta\frac{d\eta}{dx}$
5	飯塚・松富	$P = \frac{1}{2}\rho C_D u^2 h_f B_h$

参考:「原子力発電所の津波評価技術」(土木学会)

1.4 既往研究の整理

1	朝倉ら	$p(z) = (3\eta_{\max} - z)\rho g$
波圧算定式		$p(z) = \max(5.4\eta_{\max} - 4z, 3\eta_{\max} - z)\rho g$
3	池野ら	$p(z) = 2.2\left(a_H - \frac{z}{3}\right)\alpha\rho g$
4	大森ら	$P = \frac{1}{2}C_D\rho u u \eta + \rho C_M\dot{u}L\eta + \frac{1}{2}C_S(\theta)\rho u u \eta + \rho gL\eta\frac{d\eta}{dx}$
5	坂塚・松田	$P = \frac{1}{2}\rho C_D u^2 h_f B_h$
波力算定式		

参考:「原子力発電所の津波評価技術」(土木学会)

1.4 既往研究の整理

1	朝倉ら	$p(z) =$	実験式 (後ほど)		
2	朝倉ら	$p(z) =$		$\frac{1}{2}(\eta_{\max} - z)\rho g$	
3	池野ら	$p(z) = 2.2\left(a_H - \frac{z}{3}\right)\alpha\rho g$			
4	大森ら	$P = \frac{1}{2}C_D\rho u u \eta + \rho C_M\dot{u}L\eta + \frac{1}{2}C_S(\theta)\rho u u \eta + \rho gL\eta\frac{d\eta}{dx}$			
5	飯塚・松富	$P = \frac{1}{2}\rho C_D u^2 h_f B_h$			

参考:「原子力発電所の津波評価技術」(土木学会)

1.4 既往研究の整理

1	朝倉ら	$p(z) = (3\eta_{\max} - z)\rho g$
2	朝倉ら	$p(z) = \max(5.4\eta_{\max} - 4z, 3\eta_{\max} - z)\rho g$
3	池野ら	$p(z) = 2.2\left(a_H - \frac{z}{3}\right)\alpha\rho g$
4	土本ら	$p(z) = \dots$

- ※ 水槽に水をはった状態での津波波圧計測
- ※ 静水面下の波圧分布も提案
- ※ 純粋な陸上ではない

参考:「原子力発電所の津波評価技術」(土木学会)

1.4 既往研究の整理

※ 1,2式を提案した実験結果と比較
※ 抗力、慣性力、衝撃力、動水勾配力の4項により提案された理論式

4 大森ら

$$P = \frac{1}{2} C_D \rho u |u| \eta + \rho C_M \dot{u} L \eta + \frac{1}{2} C_S(\theta) \rho u |u| \eta + \rho g L \eta \frac{d\eta}{dx}$$

抗力

慣性力

衝撃力

動水勾配力

参考:「原子力発電所の津波評価技術」(土木学会)

1.4 既往研究の整理

1	朝倉ら	$p(z) = (3\eta_{\max} - z)\rho g$
2	朝倉	※ 抗力に関する(定量的な流れ)式 ※ 流速を建物の津波痕跡から算出 ※ 抗力等からの被害想定が主旨
3	池野	
4	大森ら	
4	大森ら	$P = \frac{1}{2}C_D\rho u u \eta + \rho C_M u L \eta + \frac{1}{2}C_S(\theta)\rho u u \eta + \rho g L \eta \frac{d\eta}{dx}$
5	飯塚・松富	$P = \frac{1}{2}\rho C_D u^2 h_f B_h$

参考:「原子力発電所の津波評価技術」(土木学会)

(1) 朝倉らの式(波圧算定式)

1式: $p(z) = (3\eta_{\max} - z)\rho g$

2式: $p(z) = \max(5.4\eta_{\max} - 4z, 3\eta_{\max} - z)\rho g$

p : 最大津波波圧

z : 陸上地面を基準とした上向き正の座標

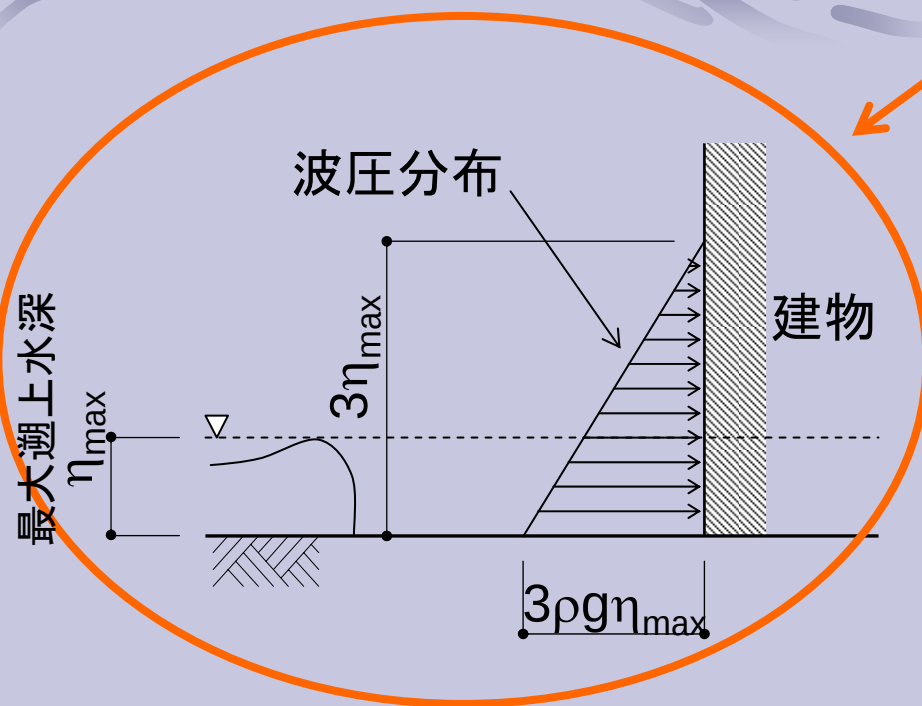
g : 重力加速度 ρ : 流体の密度

$\eta_{\max}$: 最大遡上水深

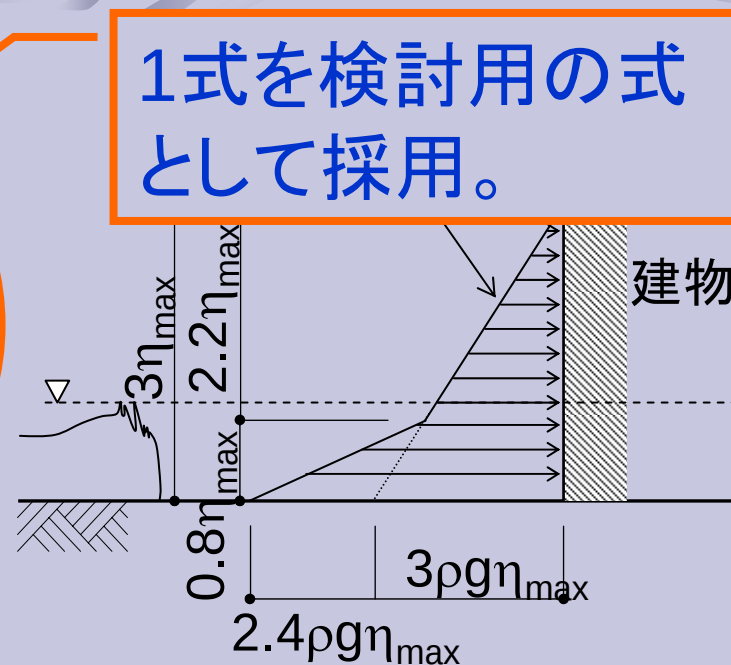
※ 1,2式とも、同様の実験から提案

※ 1式は非分裂、2式はソリトン分裂の提案式

(2) 朝倉らの式(波圧分布)



非分裂時(1式)

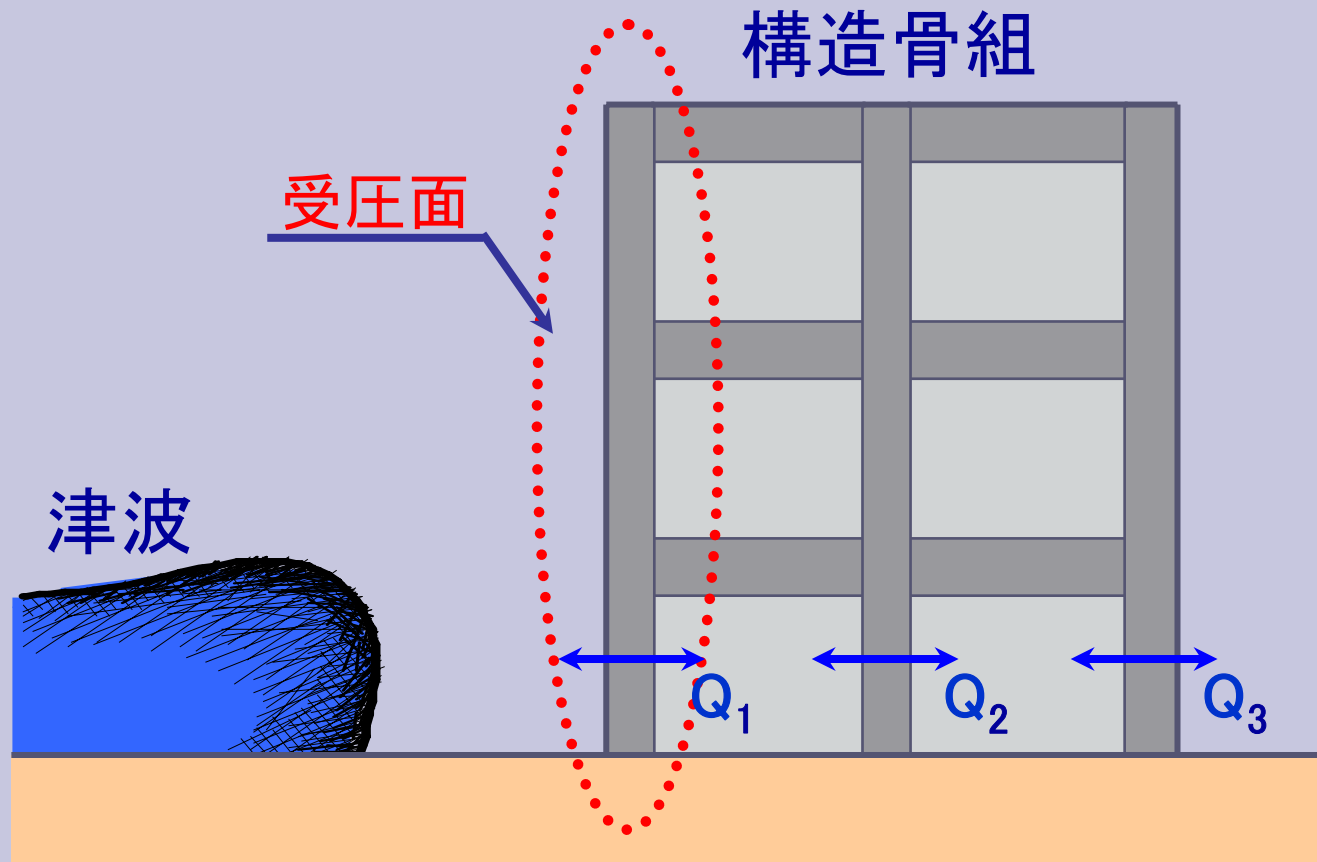


ソリトン分裂時(2式)

1式を検討用の式として採用。

※ 波圧計の計測結果による最大波圧分布から提案

(3) 受圧面と構造骨組

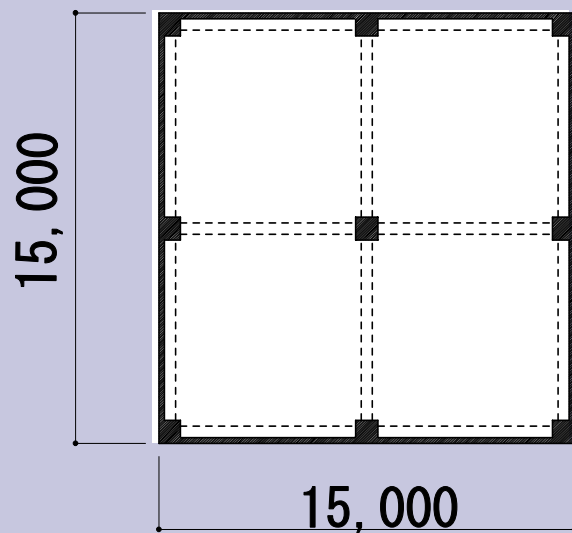


2. 津波に対して安全であること

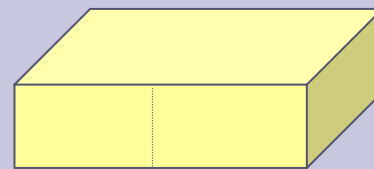
2.1 想定建物による地震力と津波波力の関係

(1) 建物モデル

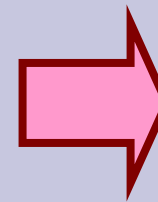
- ・ 階高：全階 $h=3.0\text{m}$
- ・ 建物重量： 13 kN/m^2



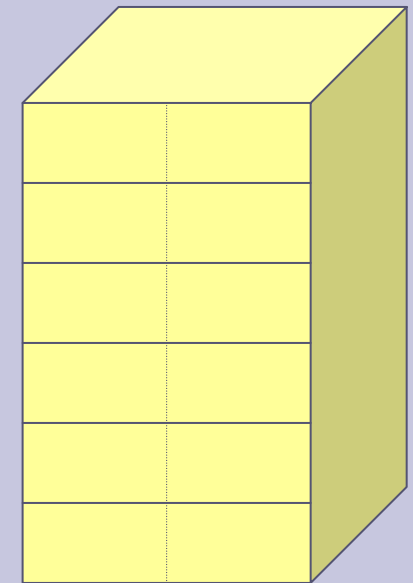
伏 図



1 階建て
($H= 3.0\text{m}$)



～

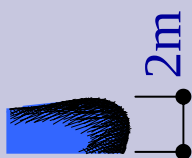


6 階建て
($H= 18.0\text{m}$)

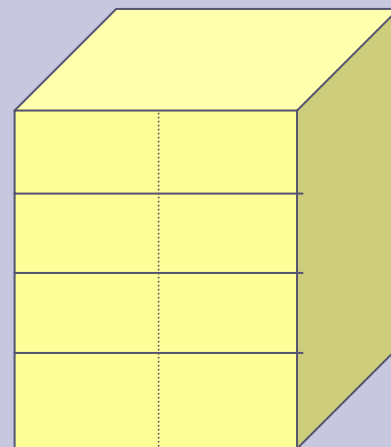
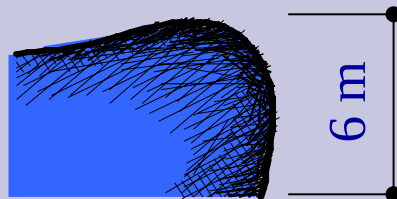
(2) 津波モデル

- ・ 最大遡上水深

$$\eta_{\max} = 2.0\text{m} \sim 6.0\text{m}$$



~

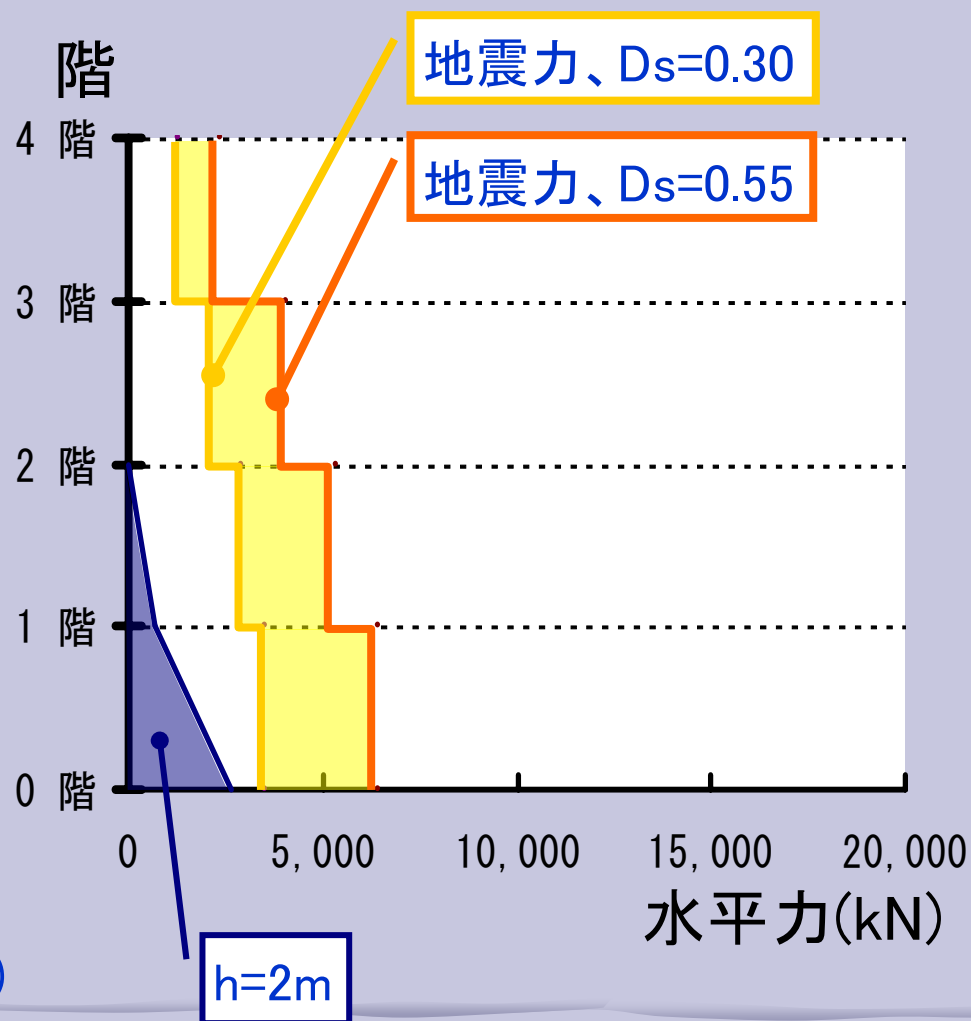
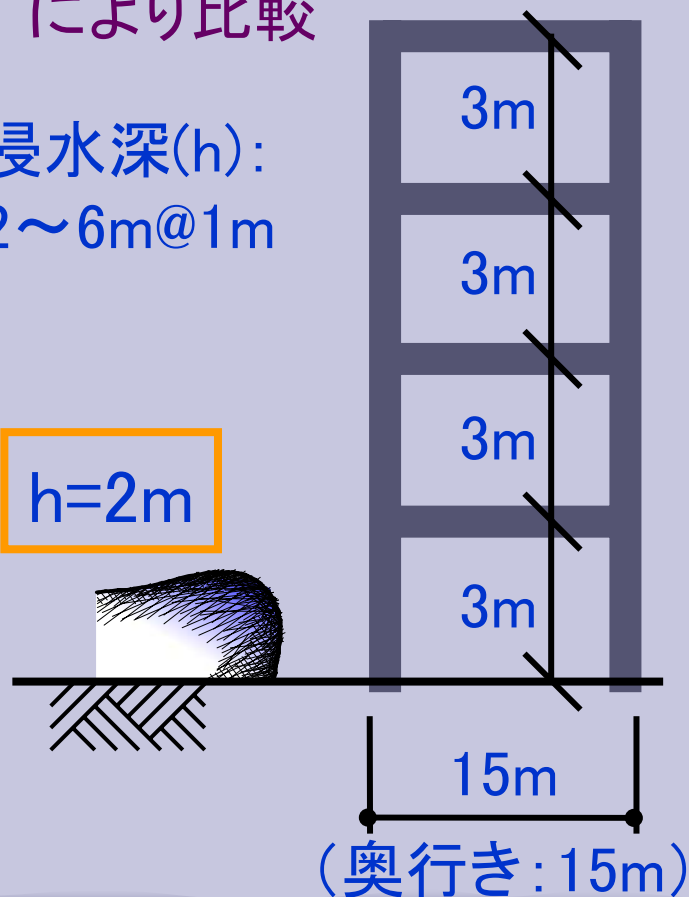


(3) 検討結果-1

■ 同一建物を浸水深
により比較

浸水深(h):
2~6m@1m

$h=2\text{m}$

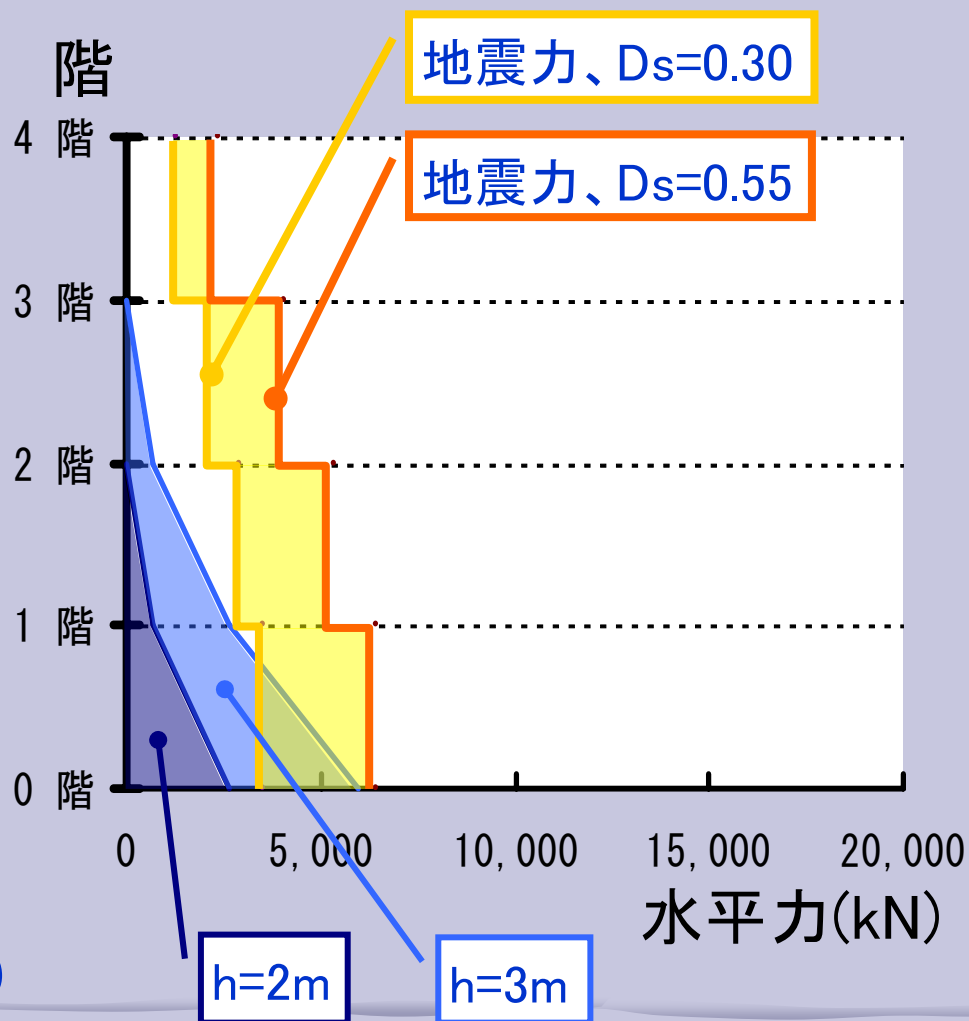
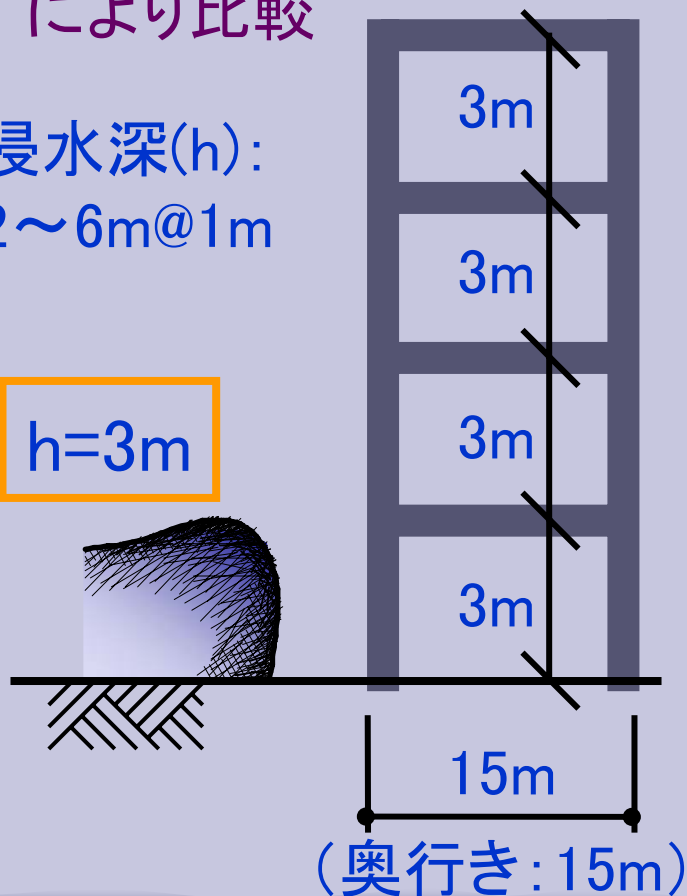


(3) 検討結果-1

■ 同一建物を浸水深
により比較

浸水深(h):
2~6m@1m

h=3m

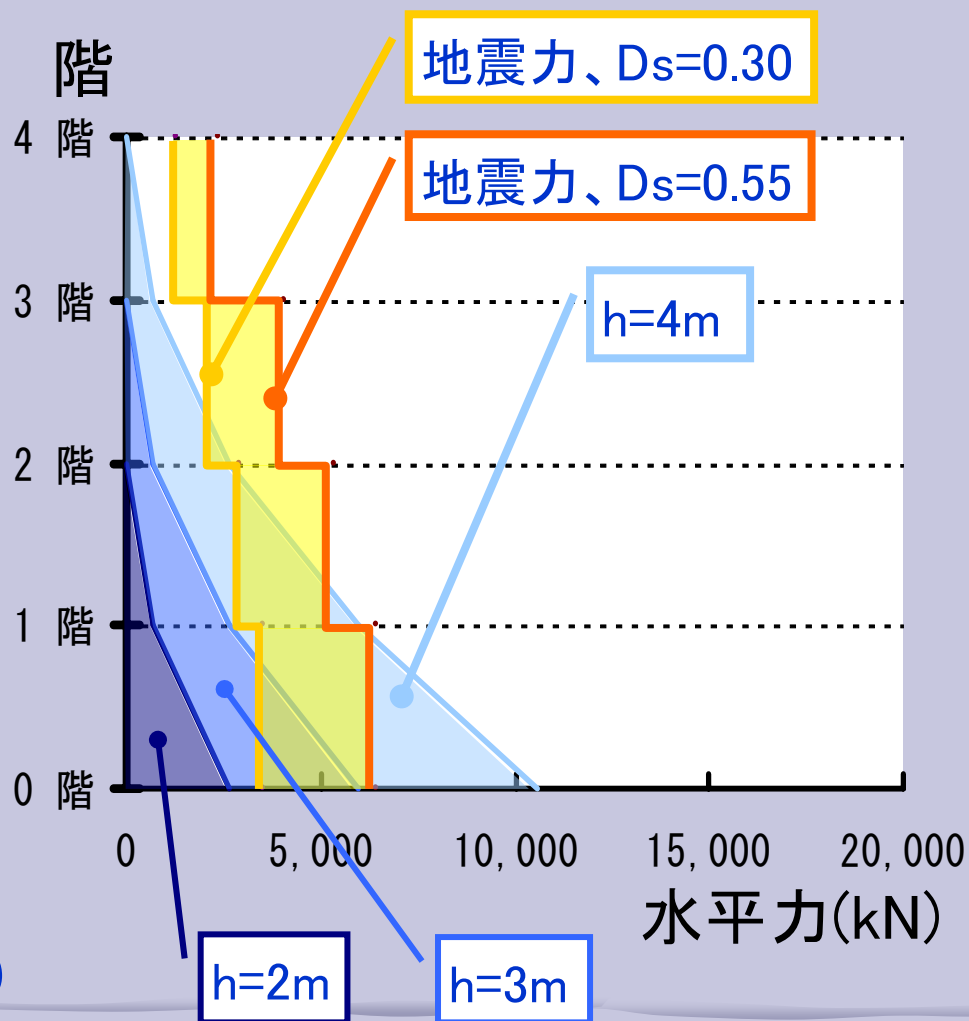
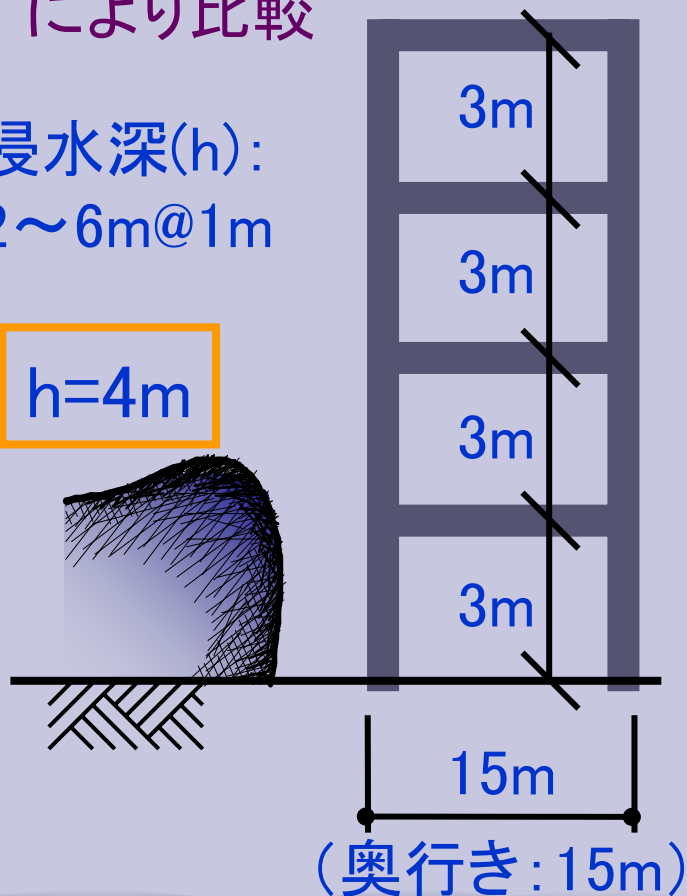


(3) 検討結果-1

■ 同一建物を浸水深
により比較

浸水深(h):
2~6m@1m

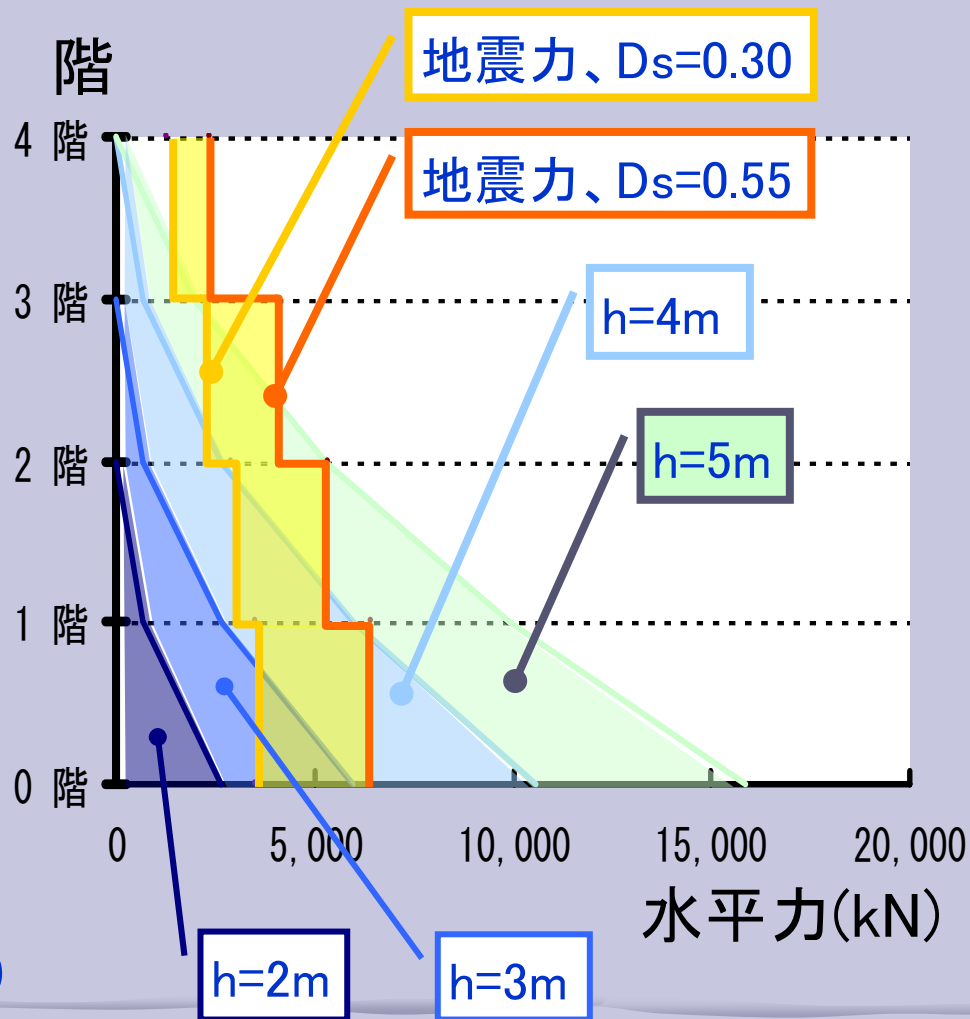
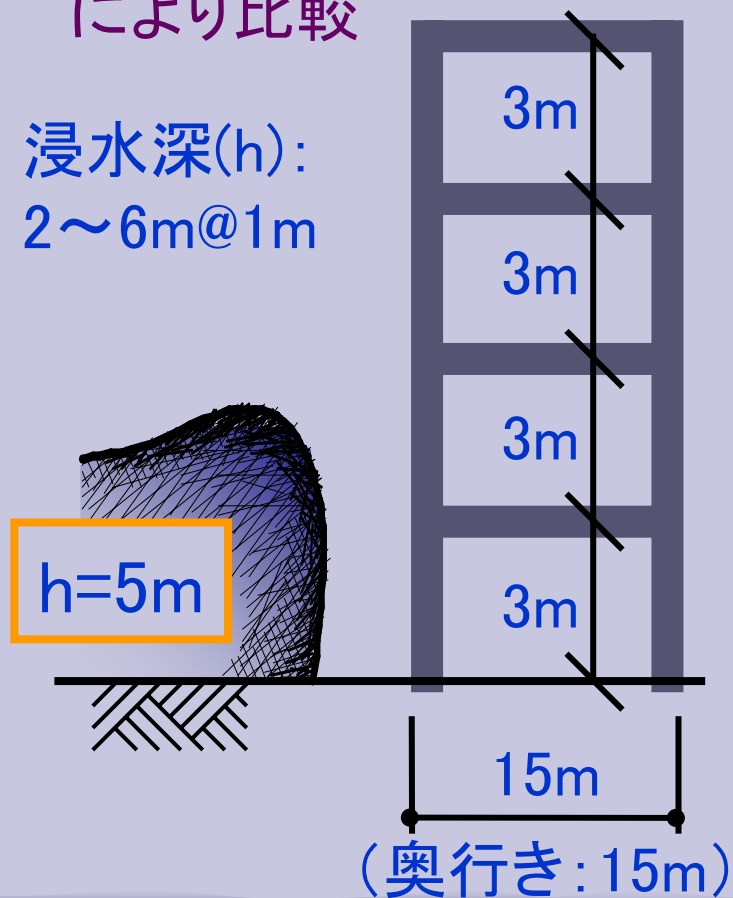
h=4m



(3) 検討結果-1

■ 同一建物を浸水深
により比較

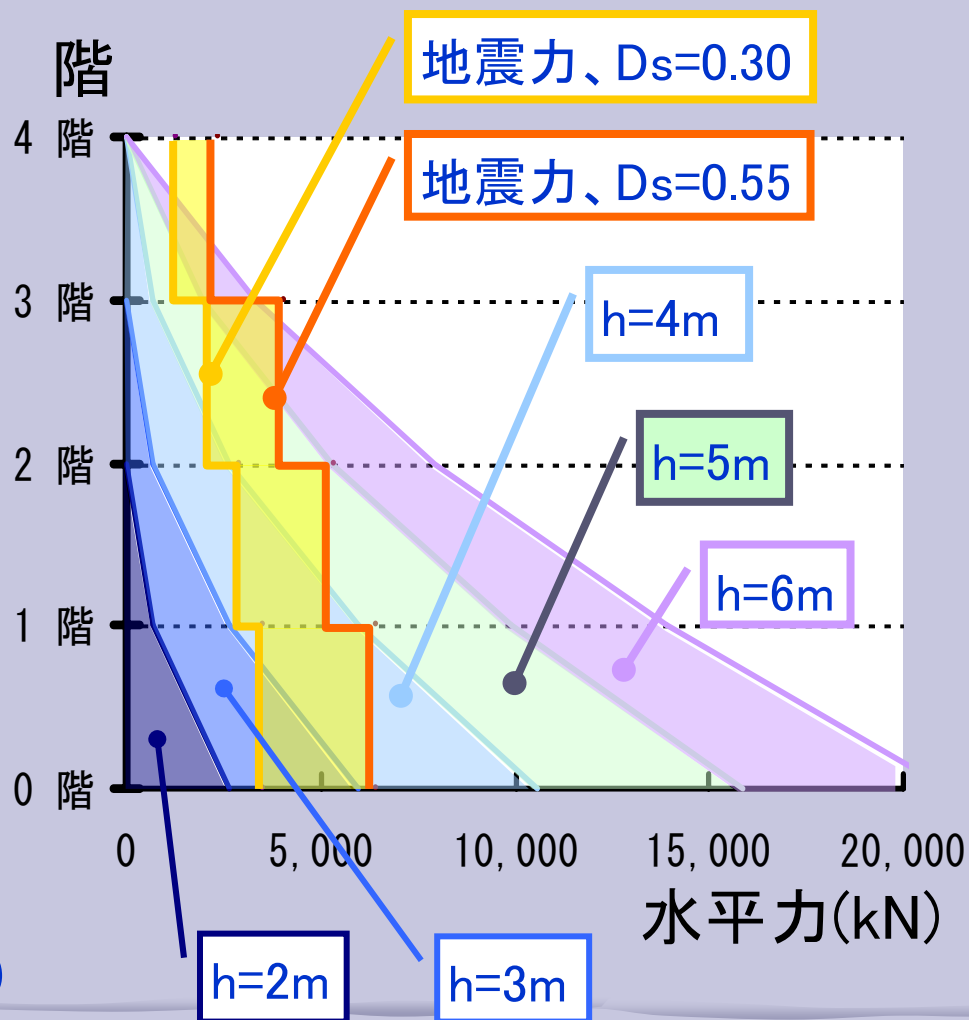
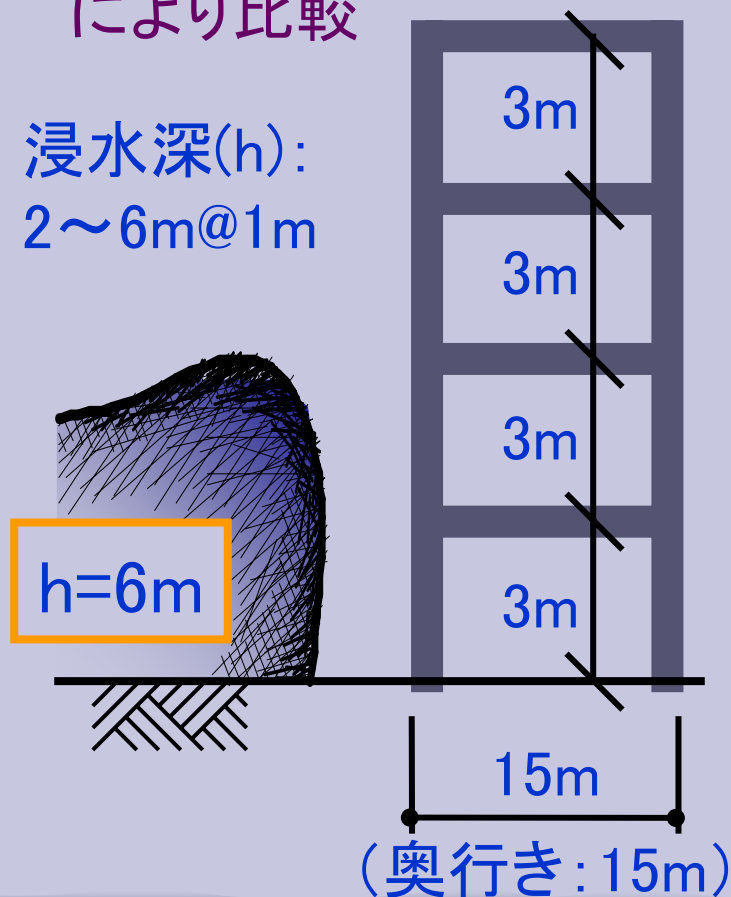
浸水深(h):
2~6m@1m



(3) 検討結果-1

■ 同一建物を浸水深
により比較

浸水深(h):
2~6m@1m



(4) 検討結果-2

■ 同一浸水深で建物階数
により比較

建物階数:
1～6階@1階

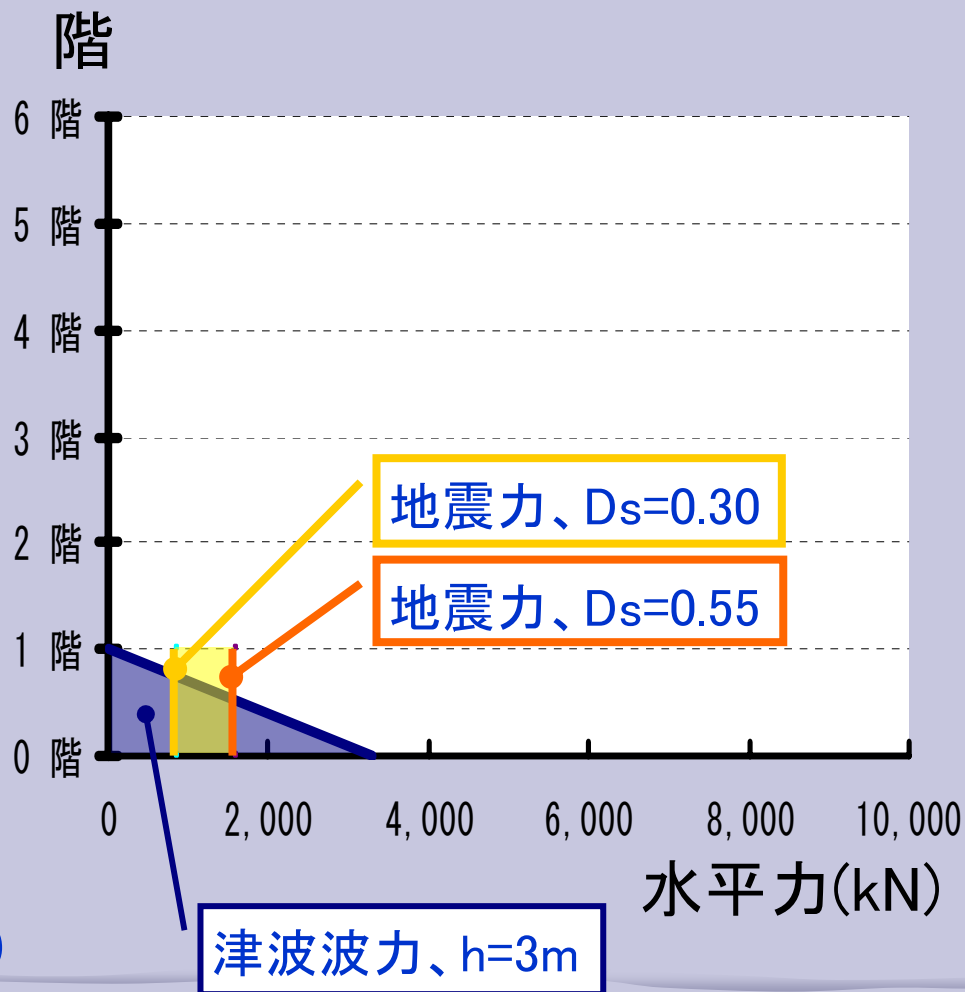
浸水深
 $h=3\text{m}$

1階建て

3m

15m

(奥行き: 15m)



(4) 検討結果-2

■ 同一浸水深で建物階数
により比較

建物階数:
1～6階@1階

浸水深
 $h=3\text{m}$

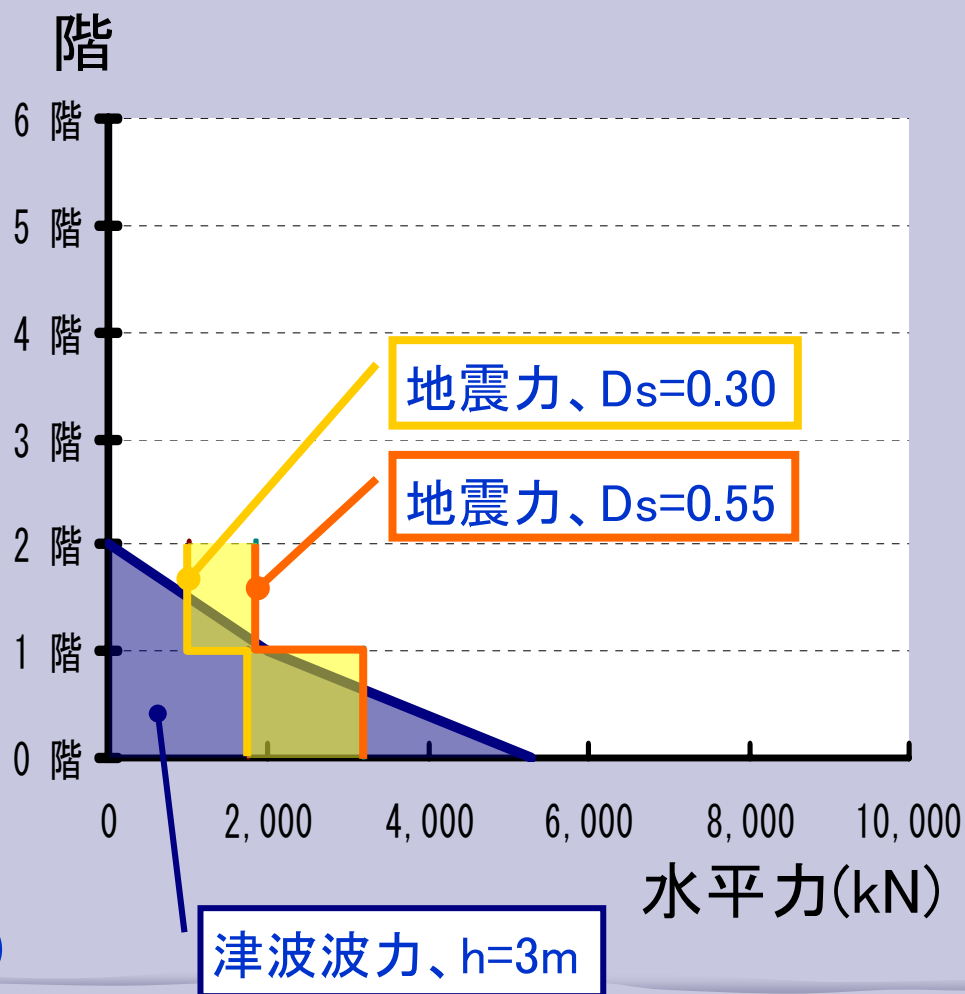
2階建て

3m

3m

15m

(奥行き: 15m)



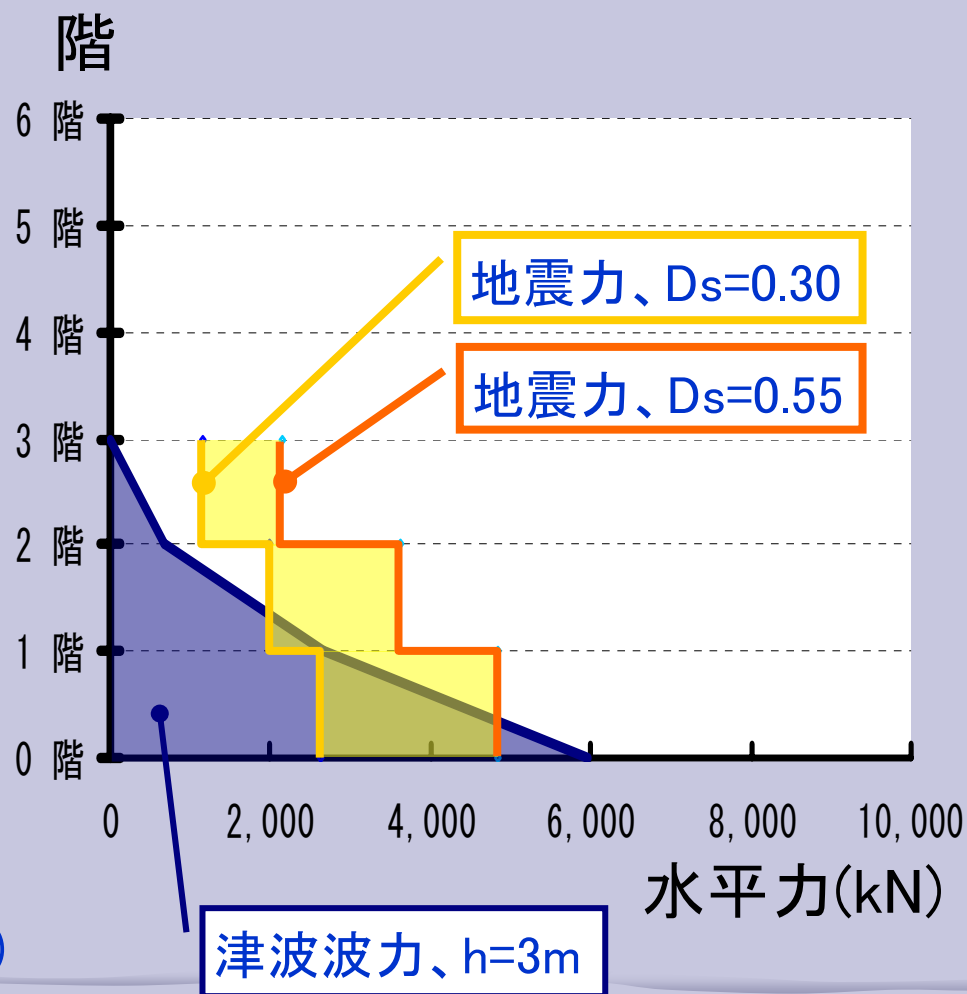
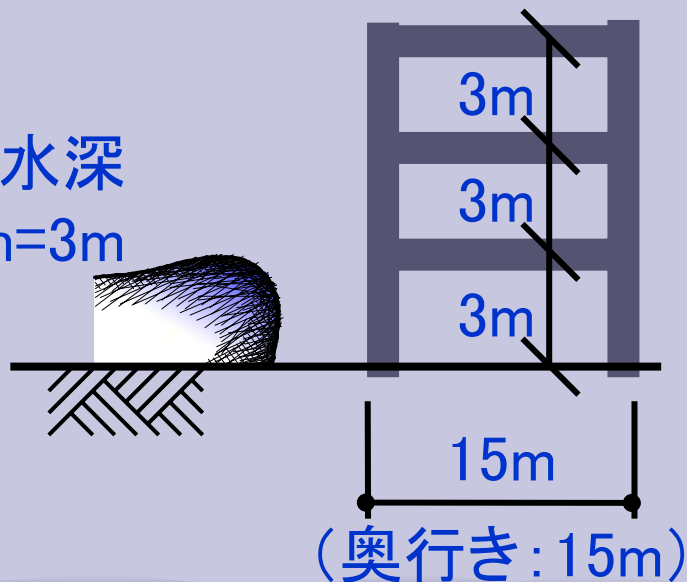
(4) 検討結果-2

■ 同一浸水深で建物階数により比較

建物階数:
1～6階@1階

3階建て

浸水深
 $h=3\text{m}$



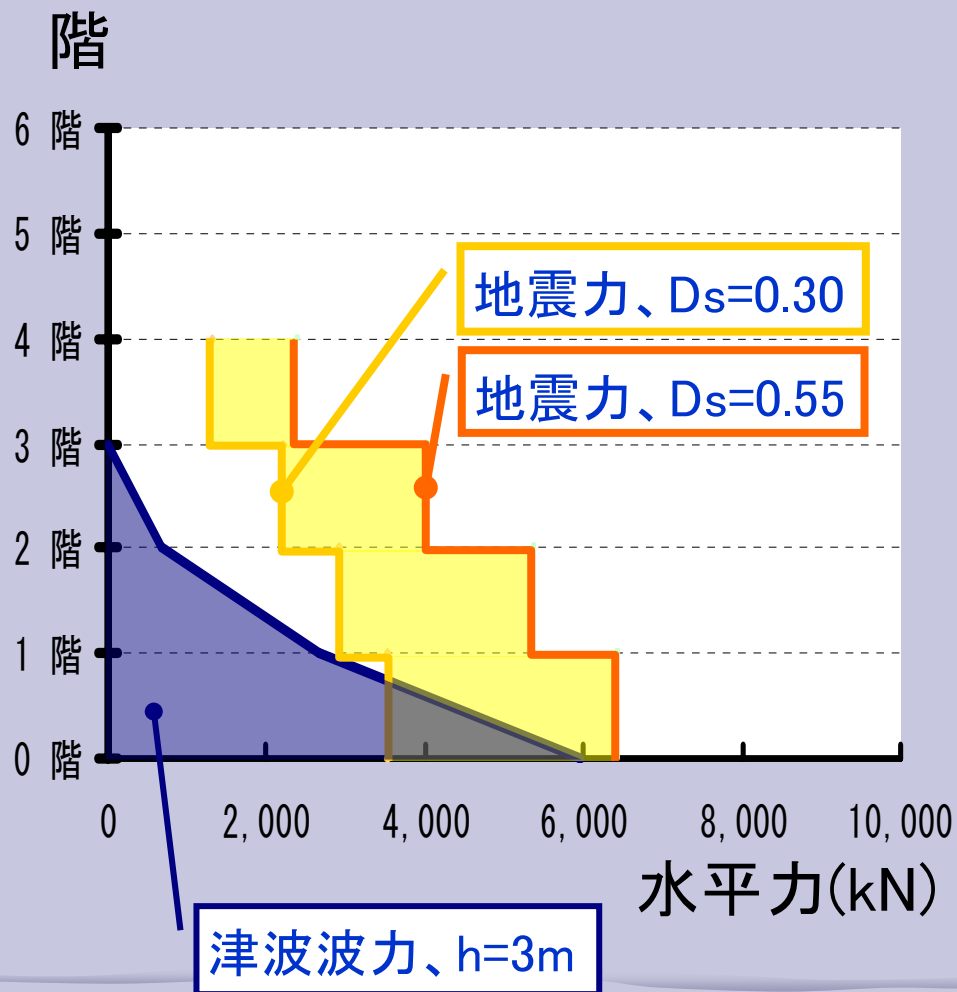
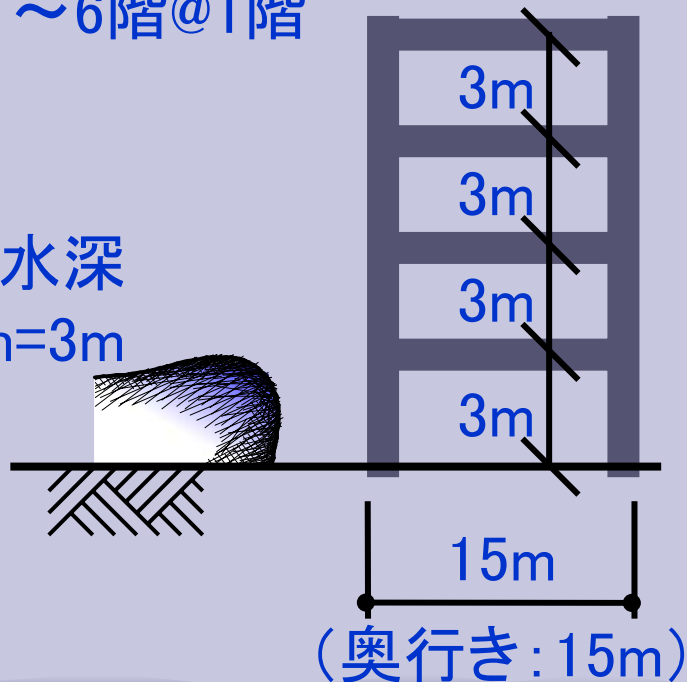
(4) 検討結果-2

■ 同一浸水深で建物階数により比較

建物階数:
1～6階@1階

4階建て

浸水深
 $h=3\text{m}$



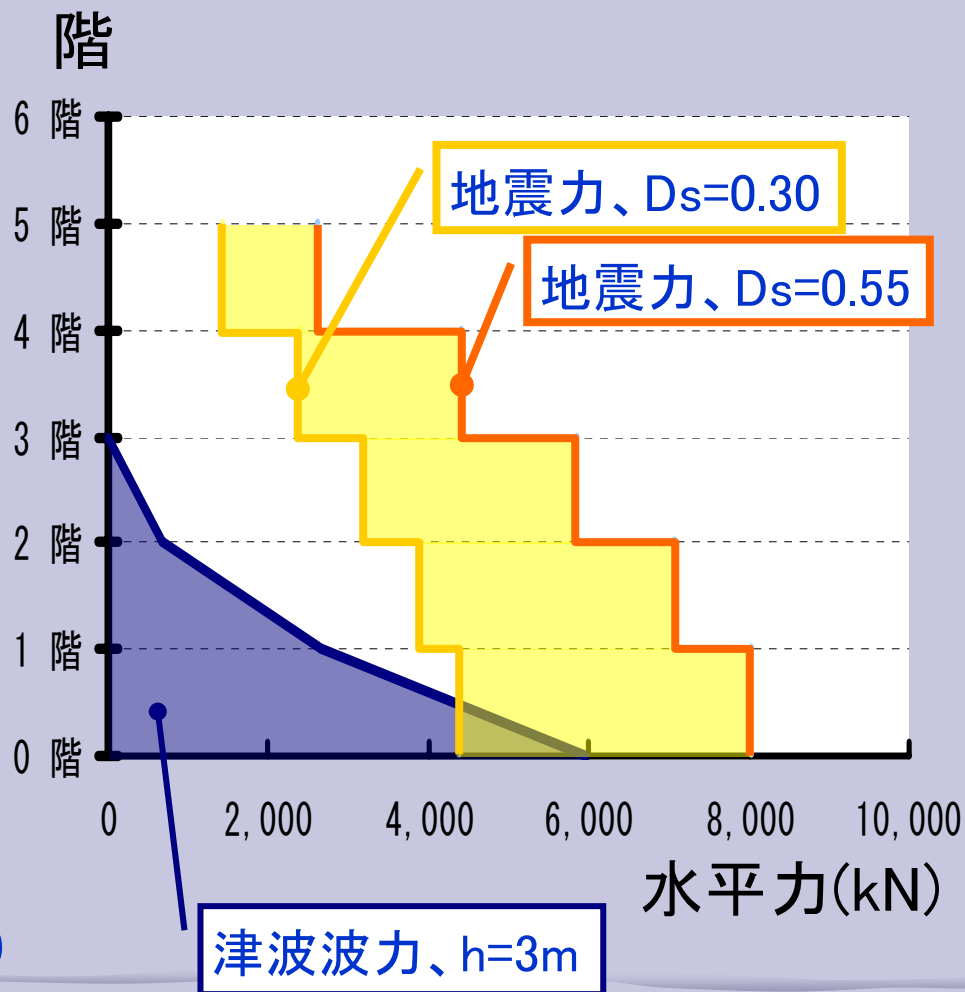
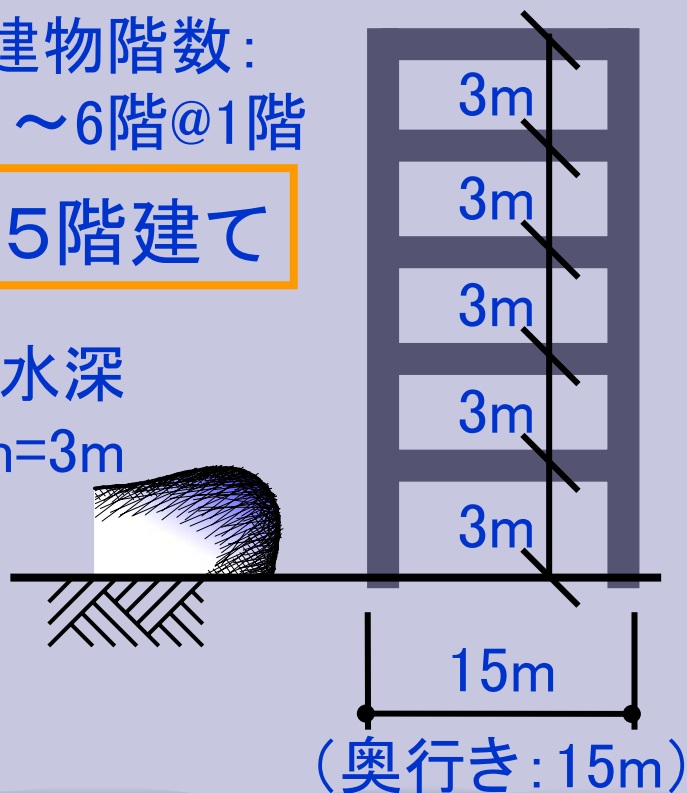
(4) 検討結果-2

■ 同一浸水深で建物階数
により比較

建物階数:
1~6階@1階

5階建て

浸水深
 $h=3\text{m}$



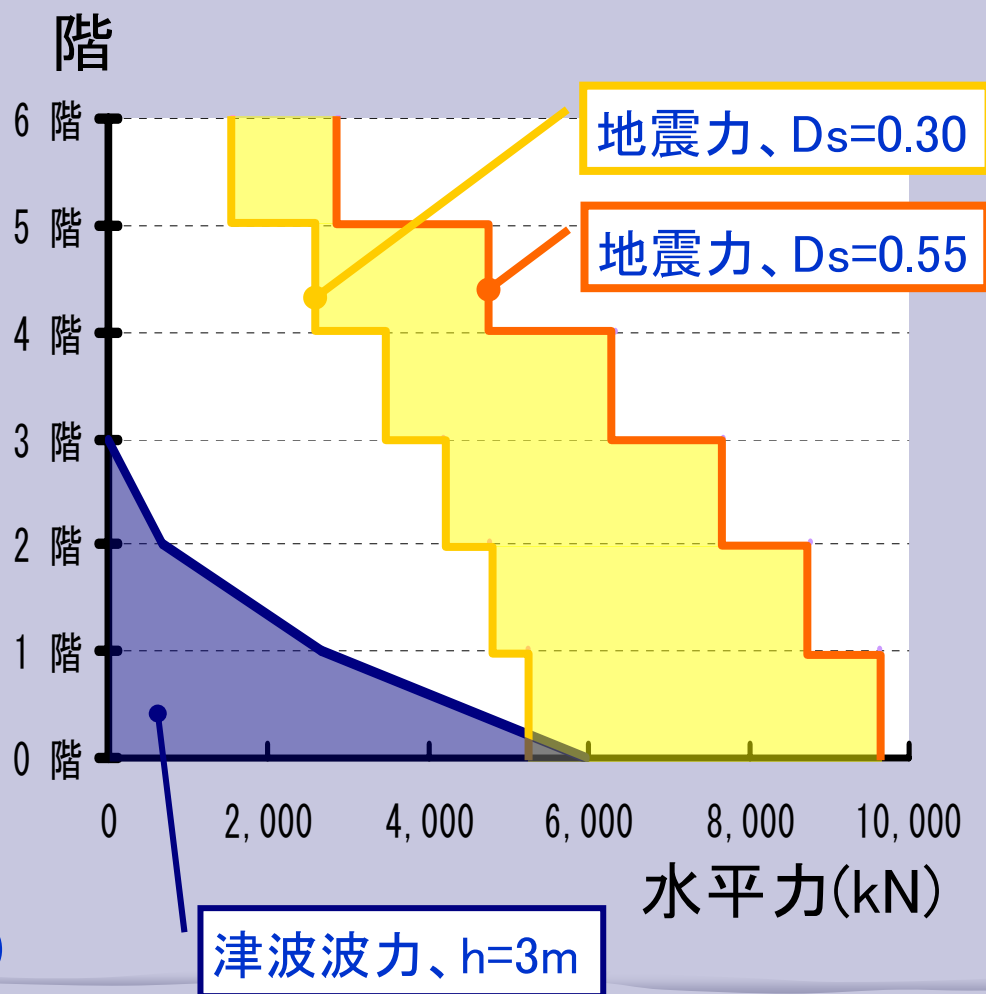
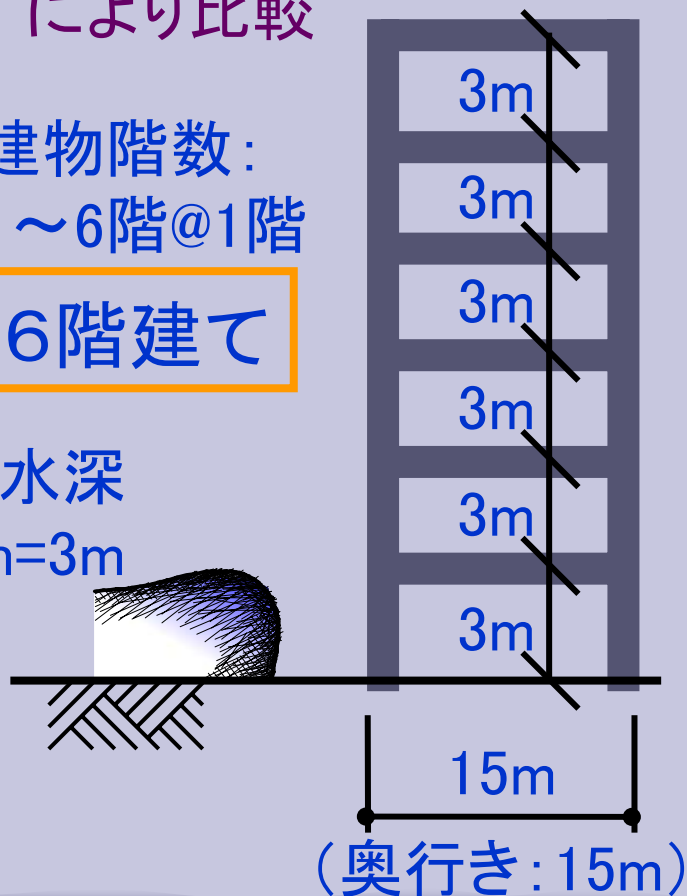
(4) 検討結果-2

■ 同一浸水深で建物階数
により比較

建物階数:
1~6階@1階

6階建て

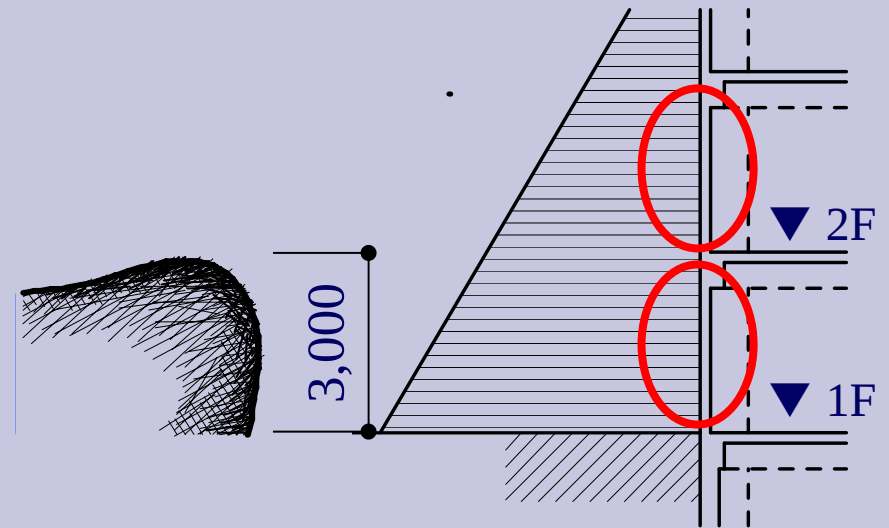
浸水深
 $h=3\text{m}$



2.2 津波荷重を受ける壁面の検討

(1) 検討条件

- ・最大遡上水深 $\eta_{\max} = 3.0 \text{ m}$



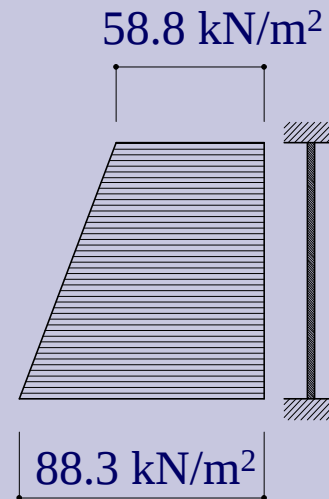
2.2 津波荷重を受ける壁面の検討

(1) 検討条件

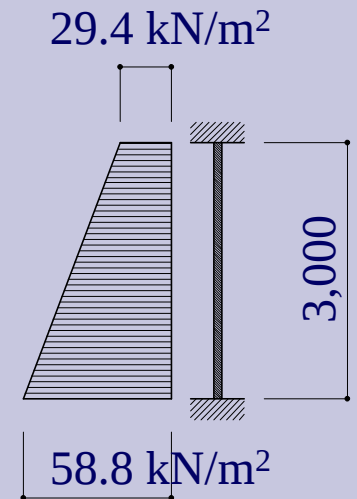
- ・最大遡上水深 $\eta_{\max}=3.0 \text{ m}$
- ・壁はRC造とし、上下方向の一方向版とする
- ・壁の終局耐力は下式にて算出する

$$Mu=0.9 a_t \sigma_y d$$

a_t : 鉄筋の断面積
 σ_y : 鉄筋の降伏応力度
(1.1ft)
 f_t : 短期許容応力度
 d : 壁の有効成



1 階壁



2 階壁

(2) 必要鉄筋量の算定結果

($\eta_{\max} = 3.0\text{m}$)

	Mun (kNm)	t=150 (シングル配筋) 引張鉄筋 (SD295A)		t=180 (ダブル配筋) 引張鉄筋 (SD295A)	
		a _{un}		a _{un}	
2 階	35.3	15.1	D13 @81	9.29	D13 @132
1 階	57.4	24.6	D13 @50	15.1	D13 @81

※ 配筋は応力が最大となる壁脚部で算定した。

2.3 津波による被害事例

■ 海岸に建つ公衆便所（RC造）

ー 北海道南西沖地震（奥尻



規模の小さいRC造建物



津波荷重に対する耐力不足



3. まとめ (1)

■ 奥行きが15m程度のRC造建物に津波が作用した場合

- (1) 4階建てRC造では、最大遡上水深 (h) が3m程度で1階に作用する水平力は大地震時と同程度になる。

$h < 3\text{m}$: 地震力が大

$h = 3\text{m}$: 津波力 $\doteq$ 地震力

$h > 3\text{m}$: 津波力が大

- (2) 最大遡上水深 $h=3\text{m}$ の場合

1 ～ 3 階建て : 津波力が大

4 階建て : 津波力 $\doteq$ 地震力

5 階建て以上 : 地震力が大

- (3) 奥行き15mとして試算したが、津波力は奥行きに無関係に決まり、地震力は奥行きにほぼ比例するので、奥行きの小さい建物は上記の結論よりも津波力が相対的に大きくなるので注意が必要である。

3. まとめ (2)

- 最大遡上水深が3mの場合、受圧面に働く波圧は1階で風圧力の20倍以上となりコンクリート壁でも面外方向に津波用の補強が必要である。
- 津波の波力・波圧の大きさから推定すると木造家屋は $h=1\text{m}$ 程度で半壊、 2m 以上で全壊となる首藤教授(1990)の被害報告と整合する。