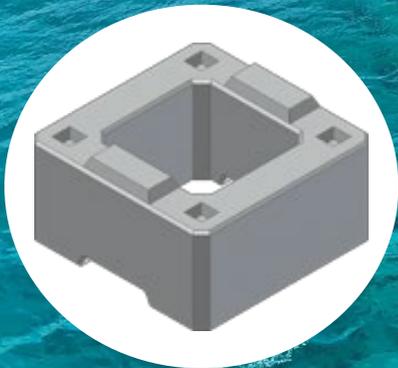
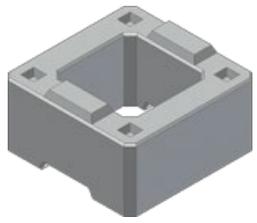


サブプレオフフレーム（SPF）を使用した 防波堤港内側補強工法



日建工学株式会社 技術部

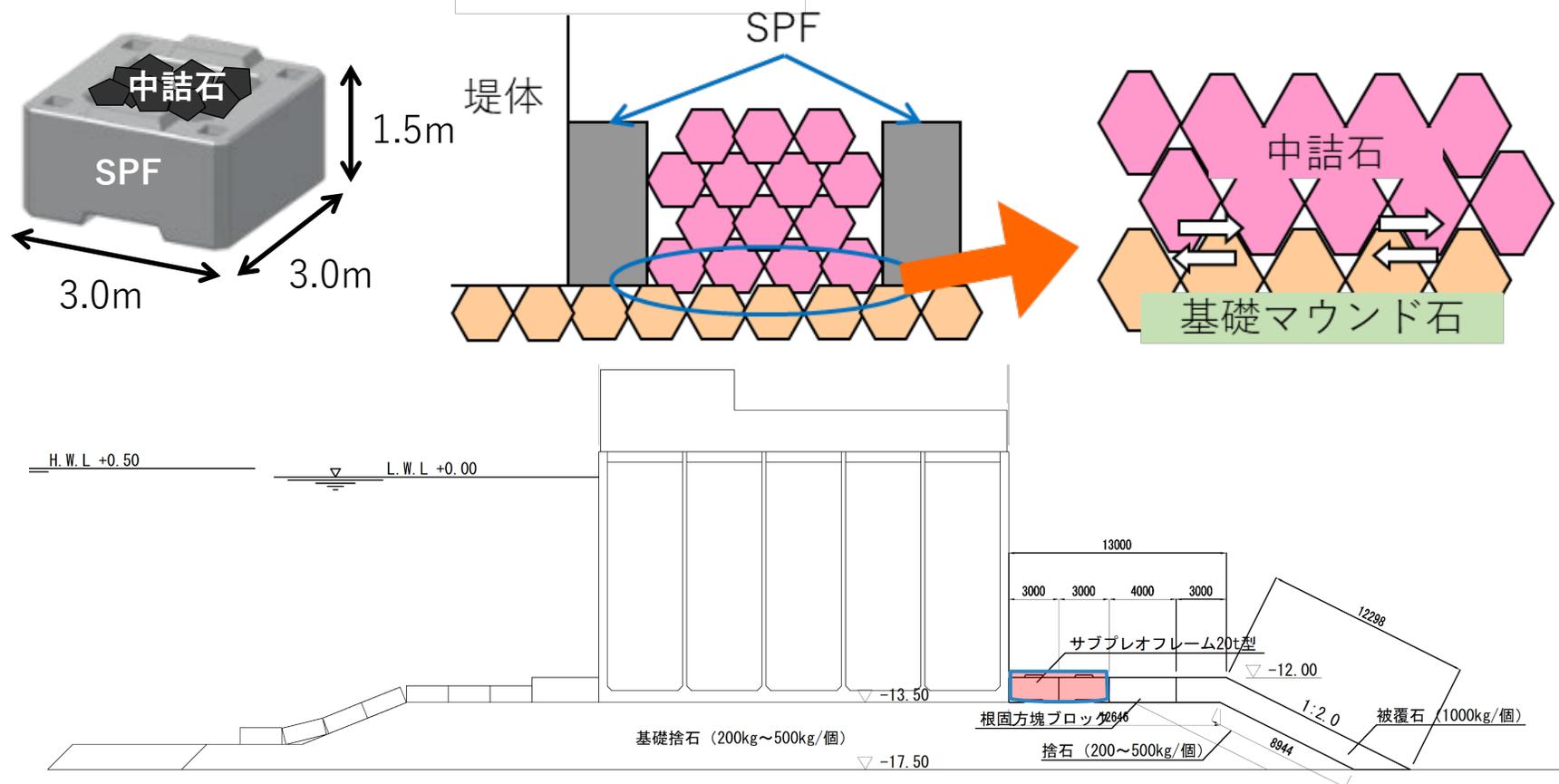
吉塚 尚純



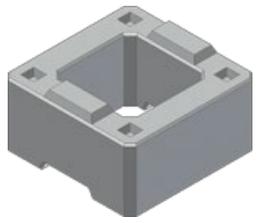
サブプレオフレーム (SPF) のメカニズム

SUBPLEO FRAME

フレーム形状のコンクリートブロックで、**フレーム内の拘束された中詰石と下層の石が強固にかみ合う**ことにより滑動抵抗力を発揮し、防波堤の耐波・耐津波安定性を向上させる工法。



サブプレオフレームのイメージ



摩擦抵抗力の設計値

□ 摩擦係数

陸上での引張試験により「 $\mu=0.75$ 」を算出 ※コンクリートと石 $\mu=0.6$



□ 滑動抵抗力

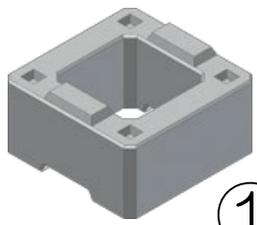
SPFの滑動抵抗力=(SPFの水中重量+中詰石の水中重量)×摩擦係数

→ SPF=19.48 t/個、中詰石=6.35 t/個

→ ブロック1個あたりの滑動抵抗力=107.5 kN/個

→ 延長1.0mあたりの滑動抵抗力=35.8 kN/m【設計値】

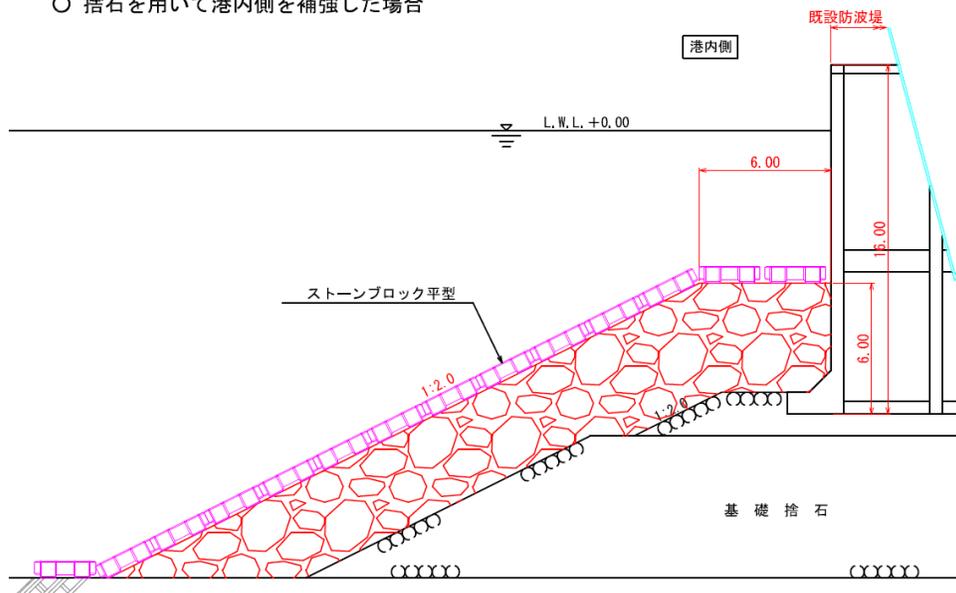
断面あたりの ブロック使用個数(N)	1個	2個	3個	4個	5個	6個
延長1mあたりの 滑動抵抗力(kN/m)	35.8	71.6	107.4	143.2	179.0	214.8



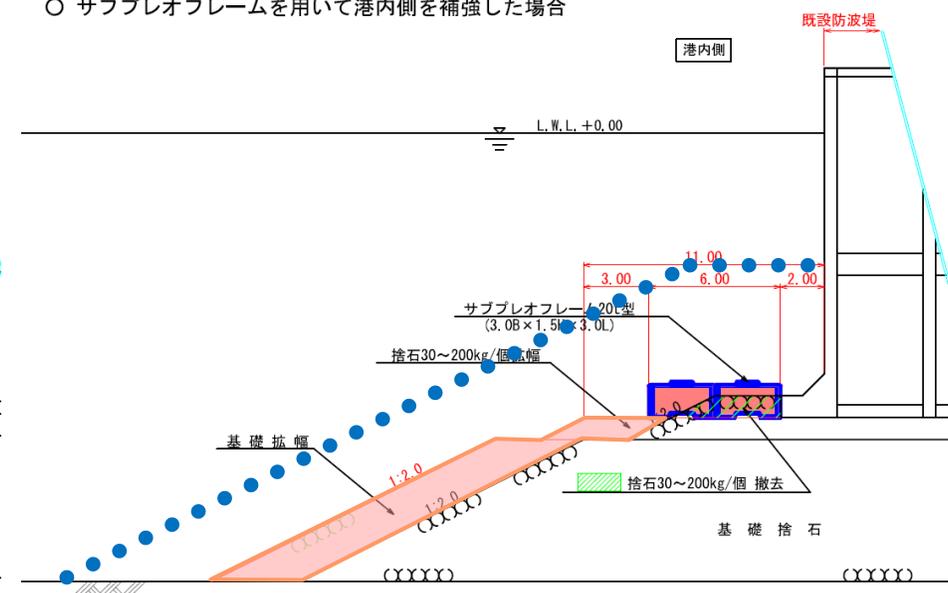
SPFの特長

①ブロック1個から抵抗力を発揮するため、**コンパクトな断面を構築**し、航路や泊地へ及ぼす影響が小さい

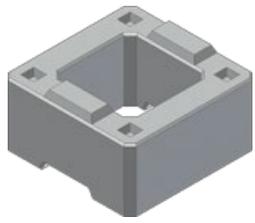
○ 捨石を用いて港内側を補強した場合



○ サブプレオフレームを用いて港内側を補強した場合



②工種が単純で、使用材料も少なく、波浪の影響を受けにくい防波堤基礎部（深部）での施工であるため、**潜水作業を伴う海上作業工程が短縮**できる



補強工法の比較例 (1)

対策前

既設堤体 (未対策)

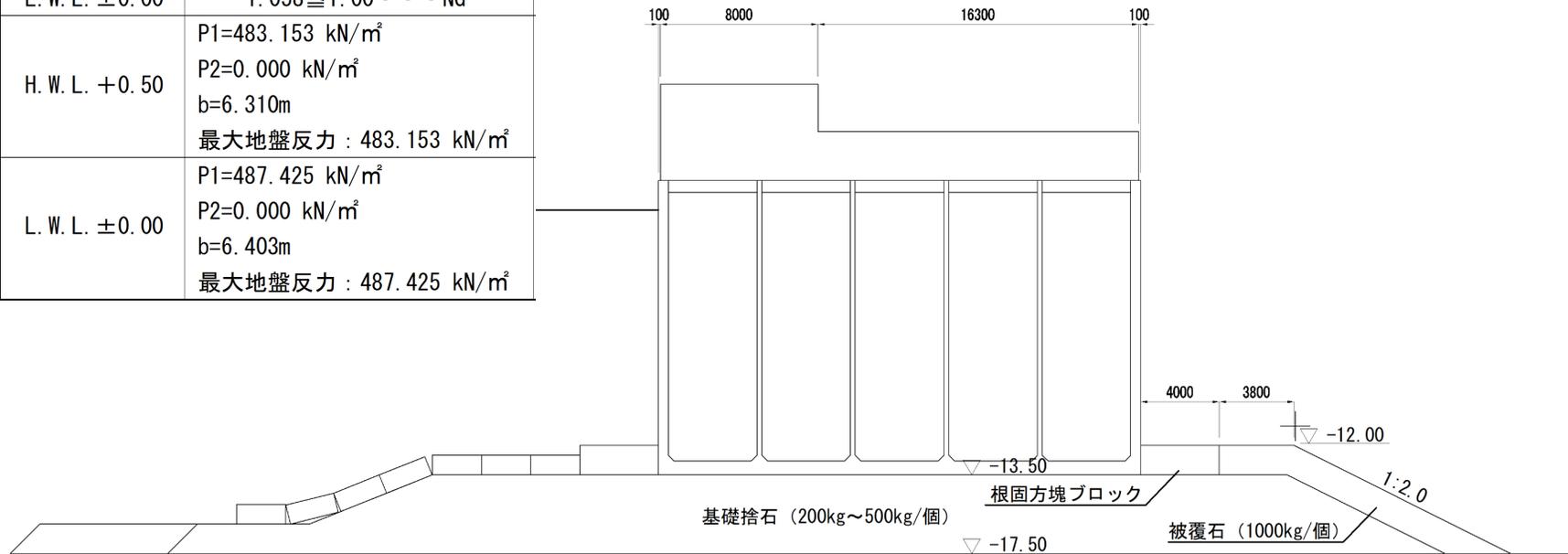
S=1/300, u:m

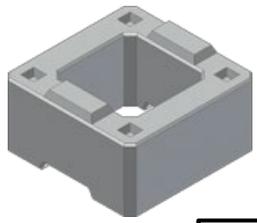
安定計算結果一覧

		作用耐力比
滑動	H. W. L. +0.50	1.040 > 1.00 . . . NG
	L. W. L. ±0.00	1.029 > 1.00 . . . NG
転倒	H. W. L. +0.50	0.560 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.551 ≤ 1.00 . . . ok
偏心傾斜	H. W. L. +0.50	1.064 > 1.00 . . . NG
	L. W. L. ±0.00	1.058 ≤ 1.00 . . . NG
支持力	H. W. L. +0.50	P1=483.153 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.310m 最大地盤反力 : 483.153 kN/m ²
	L. W. L. ±0.00	P1=487.425 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.403m 最大地盤反力 : 487.425 kN/m ²

滑動・偏心傾斜 : NG

港内側





補強工法の比較例（2）

捨石嵩上げの場合

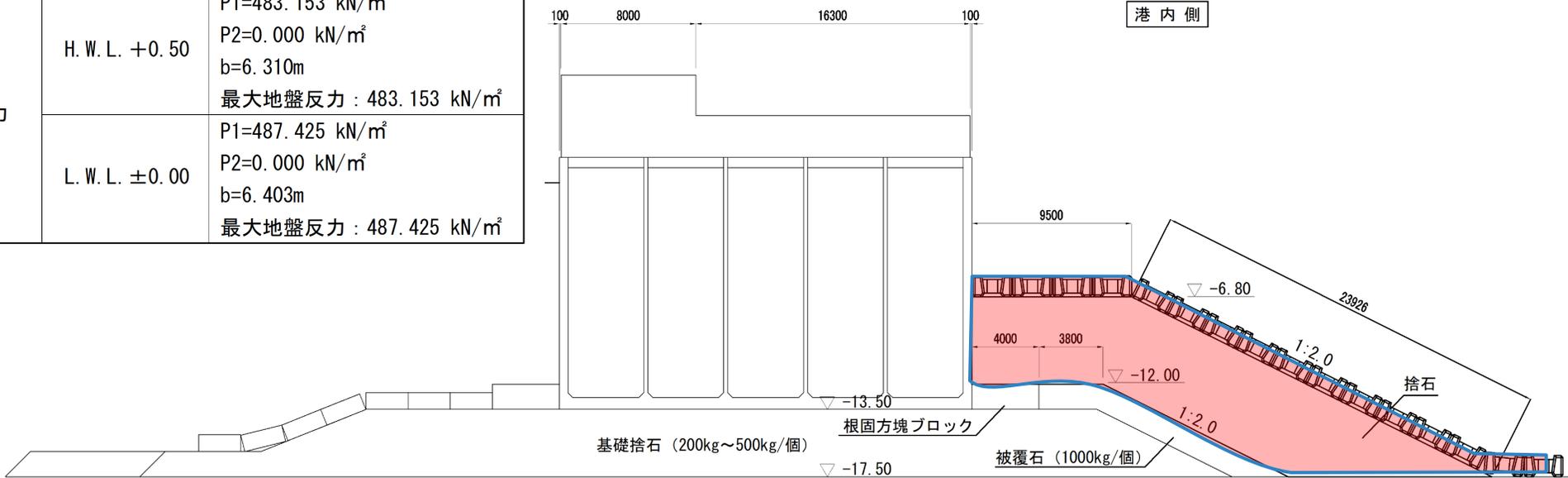
対策工案 捨石嵩上げ $S=1/300, u:m$

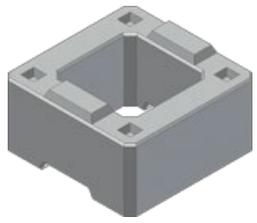
約2,741千円/m

※腹付工は一般的な堤体高1/3Hを想定、作用耐力比はかなり小さい。

安定計算結果一覧

		作用耐力比
滑動	H. W. L. +0.50	$0.777 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
	L. W. L. ± 0.00	$0.772 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
転倒	H. W. L. +0.50	$0.560 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
	L. W. L. ± 0.00	$0.551 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
偏心傾斜	H. W. L. +0.50	$0.759 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
	L. W. L. ± 0.00	$0.759 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
支持力	H. W. L. +0.50	$P1=483.153 \text{ kN/m}^2$ $P2=0.000 \text{ kN/m}^2$ $b=6.310\text{m}$ 最大地盤反力：483.153 kN/m ²
	L. W. L. ± 0.00	$P1=487.425 \text{ kN/m}^2$ $P2=0.000 \text{ kN/m}^2$ $b=6.403\text{m}$ 最大地盤反力：487.425 kN/m ²





補強工法の比較例（3）

腹付けコンクリートの場合

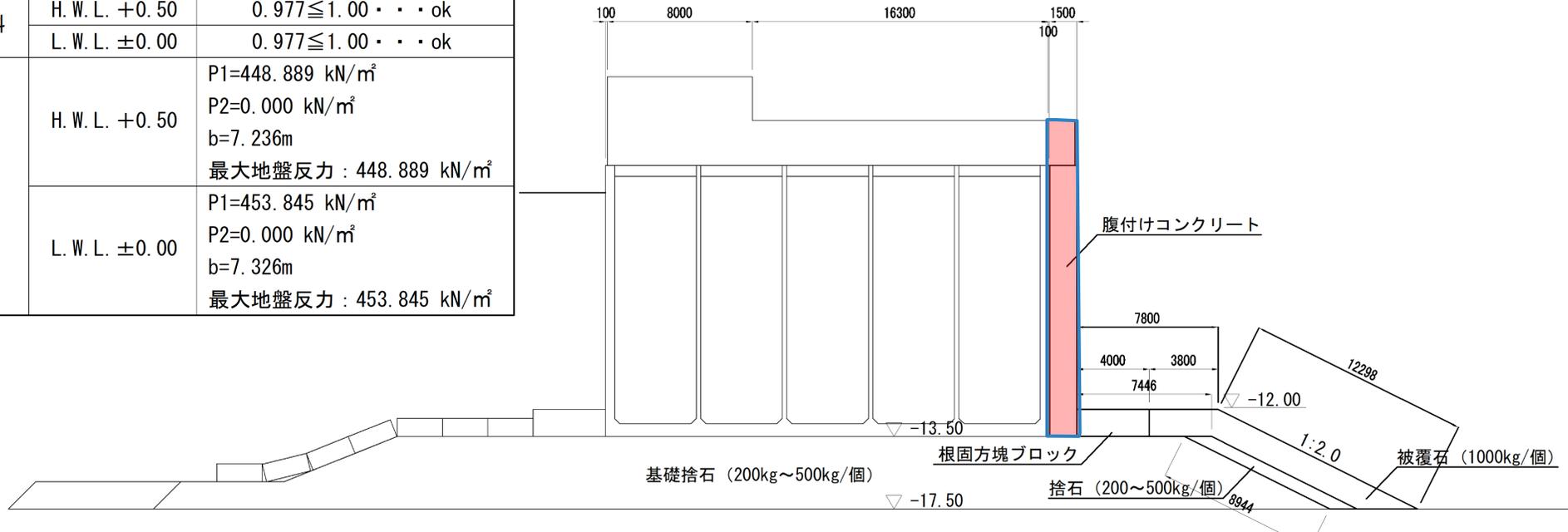
対策工案 腹付けコンクリート S=1/300, u; m

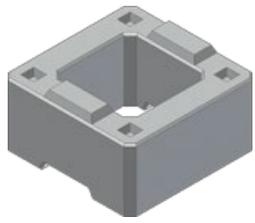
約2,047千円/m
捨石嵩上げ比：75%

安定計算結果一覧

		作用耐力比
滑動	H. W. L. +0.50	0.976 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.966 ≤ 1.00 . . . ok
転倒	H. W. L. +0.50	0.501 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.492 ≤ 1.00 . . . ok
偏心傾斜	H. W. L. +0.50	0.977 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.977 ≤ 1.00 . . . ok
支持力	H. W. L. +0.50	P1=448.889 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=7.236m 最大地盤反力：448.889 kN/m ²
	L. W. L. ±0.00	P1=453.845 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=7.326m 最大地盤反力：453.845 kN/m ²

港内側





補強工法の比較例（４）

SPF2個並びの場合

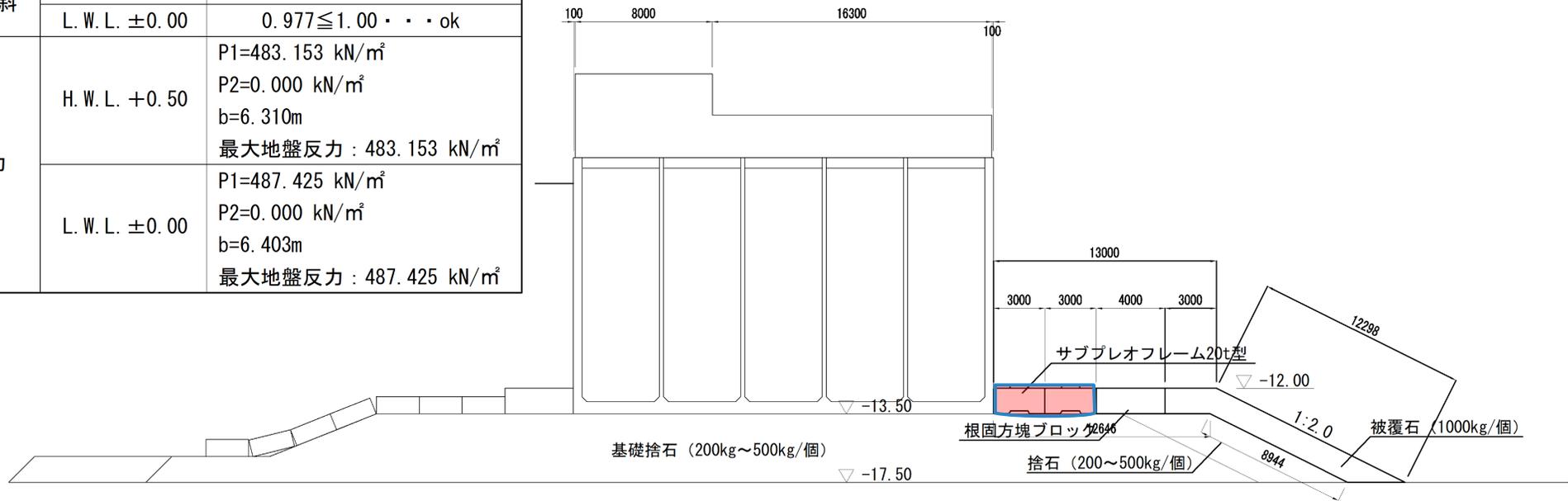
対策工案 SPF工法 S=1/300, u:m
(SPF2個並び)

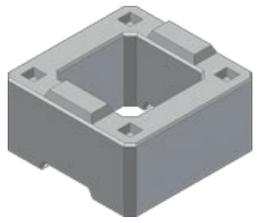
安定計算結果一覧

		作用耐力比
滑動	H. W. L. +0.50	0.938 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.928 ≤ 1.00 . . . ok
転倒	H. W. L. +0.50	0.560 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.551 ≤ 1.00 . . . ok
偏心傾斜	H. W. L. +0.50	0.981 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.977 ≤ 1.00 . . . ok
支持力	H. W. L. +0.50	P1=483.153 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.310m 最大地盤反力：483.153 kN/m ²
	L. W. L. ±0.00	P1=487.425 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.403m 最大地盤反力：487.425 kN/m ²

約779千円/m
捨石嵩上げ比：28%

港内側



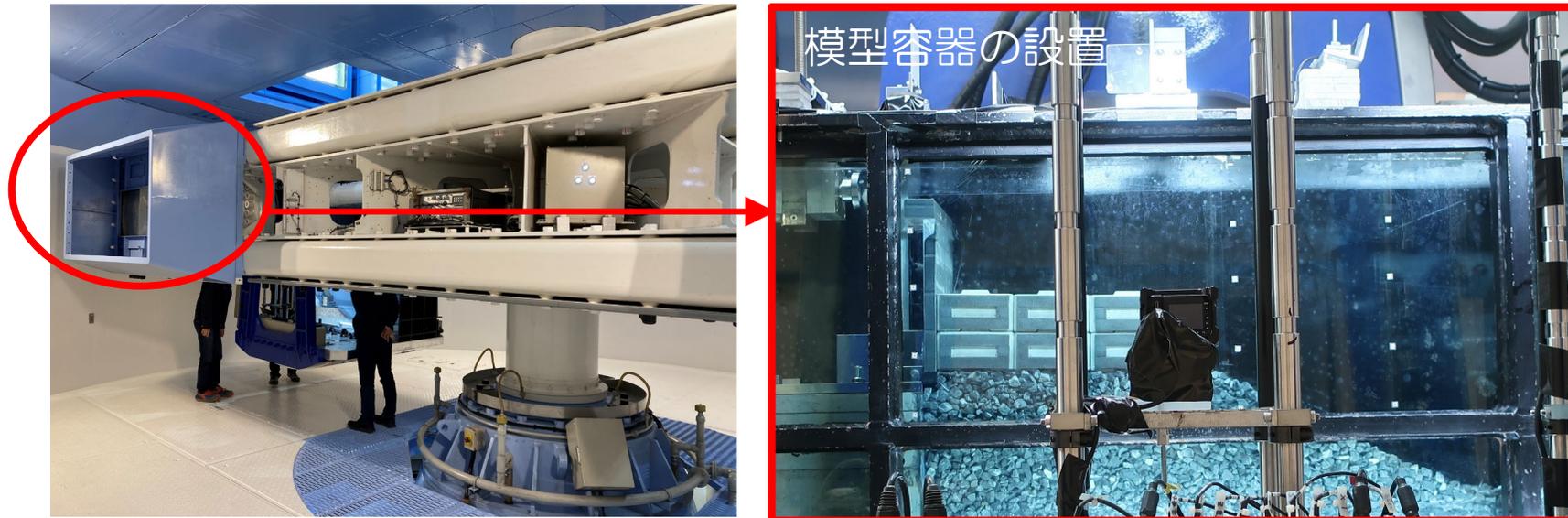


最新の研究（転倒に対する補強効果）

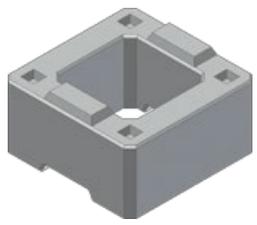
・現行の技術基準における【転倒】の照査については、「腹付工を無視して安定性照査を行うこと」が基本。SPFについても転倒に対する検討はこれまで実施されていなかった。

⇒実物スケールの地盤の応力を再現できる遠心模型実験によって、ケーソンの転倒に対するSPFの抵抗メカニズムや補強効果について検討。

※港空研・不動テトラ・日建工学・日本港湾コンサルタントによる共同研究「ケーソンの転倒防止のための防波堤補強工法に関する共同研究」における成果の一部である。

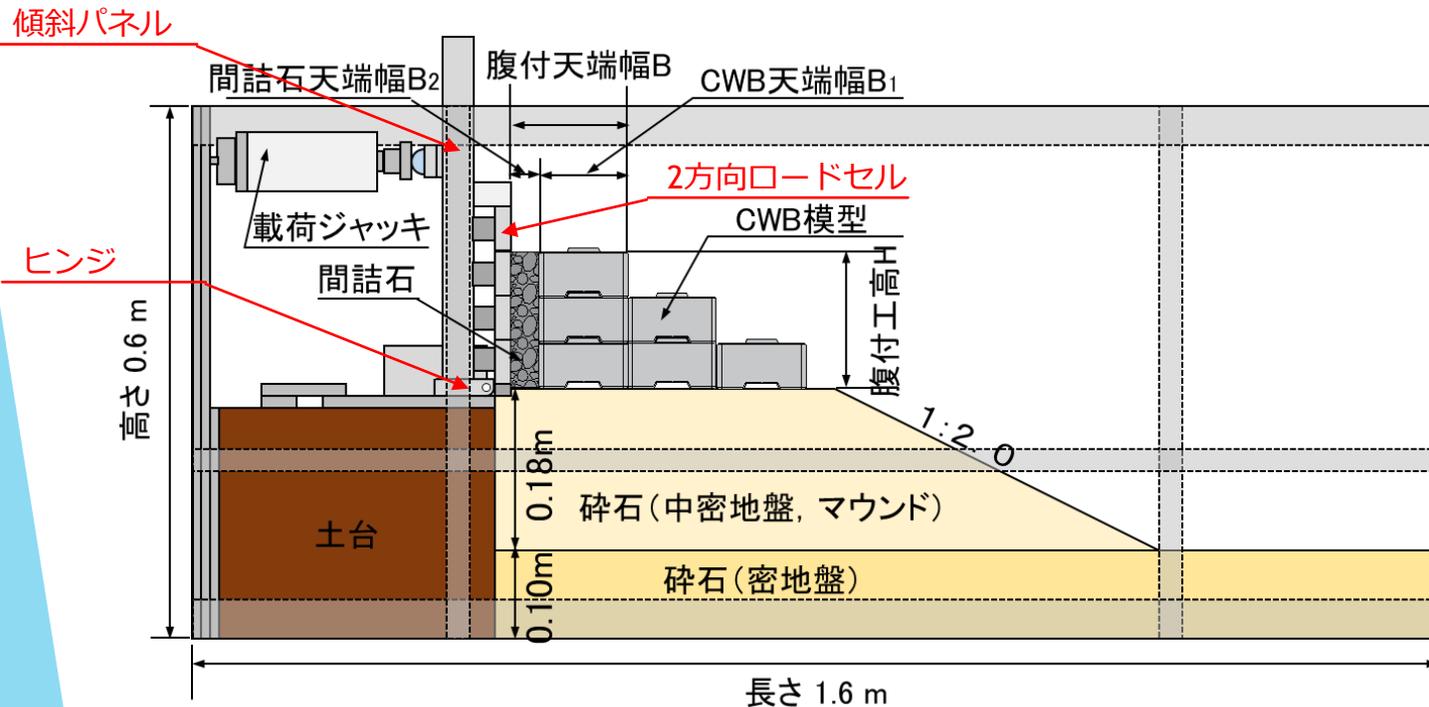


遠心実験装置（港湾空港技術研究所）

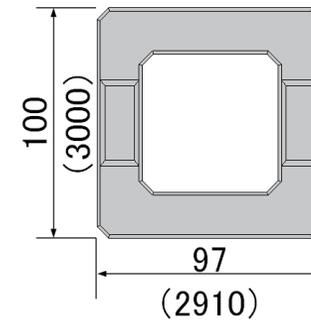


実験装置

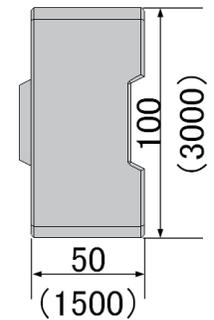
- 遠心装置に内寸幅0.2 m×長さ1.4 m×高さ0.6 mの模型容器を設置。
- 模型スケールは1/30、遠心加速度は30G。
- SPFの前面に下端部をヒンジ構造として腹付工側へ傾斜可能な傾斜パネルを設置。パネルには2方向ロードセルを4枚取り付け、パネルに作用する応力を計測、抵抗モーメントを算出。



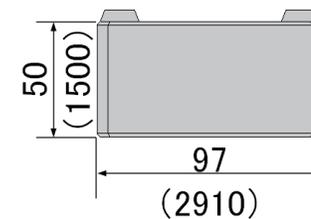
<平面図>



<側面図>

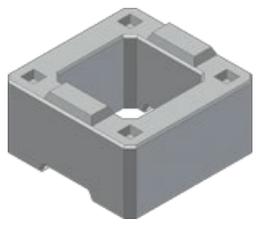


<正面図>



圧縮強度：21N/mm²程度
模型重量：690.7g

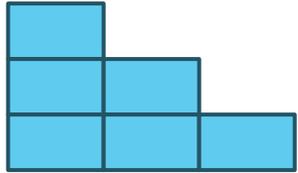
※単位はmm
※括弧内は実物大寸法



SPFの段組み

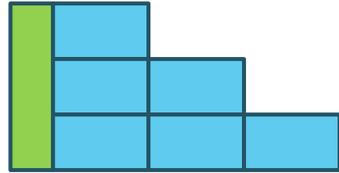
【Case1-1~1-4】 階段状3-2-1段をベースとしたシリーズ

傾斜パネルを0度から15度程度まで腹付工側へ傾斜させる、計3回の繰り返し载荷を実施。



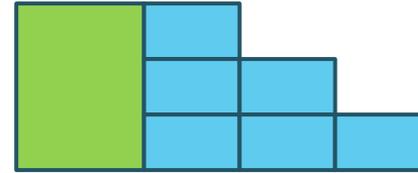
【Case1-1】

3-2-1段



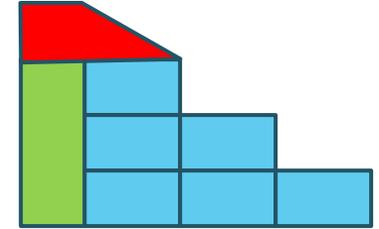
【Case1-2】

間詰石（幅1m）
+3-2-1段



【Case1-3】

間詰石（幅3m）
+3-2-1段

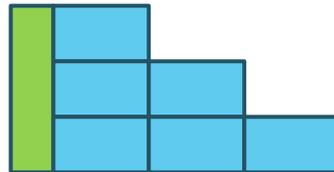


【Case1-4】

間詰石（1m）
+3-2-1段
+余盛石

【Case1-5】 階段状3-2-1段をベースとしたシリーズ※繰り返し小規模载荷

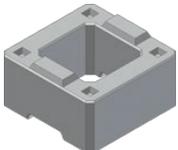
傾斜パネルを0.5度を繰り返し10回ずつ载荷、以降1度、2度、4度とそれぞれ繰り返し10回ずつ载荷を実施。



【Case1-5】

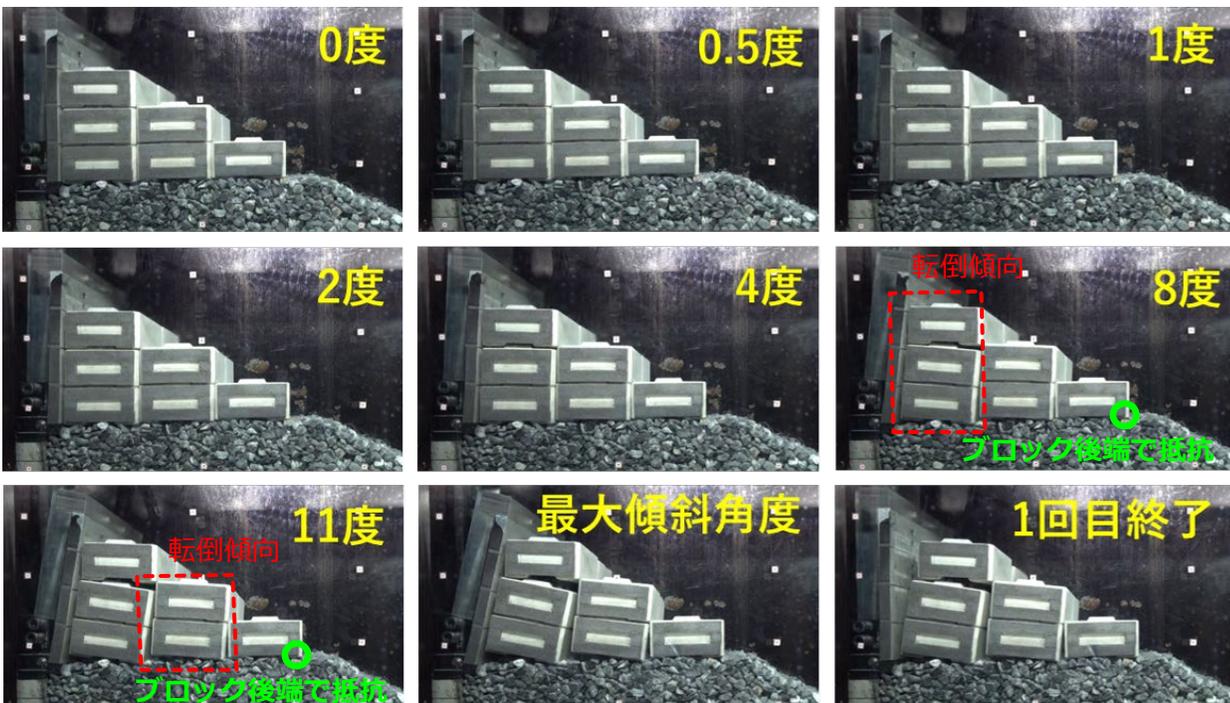
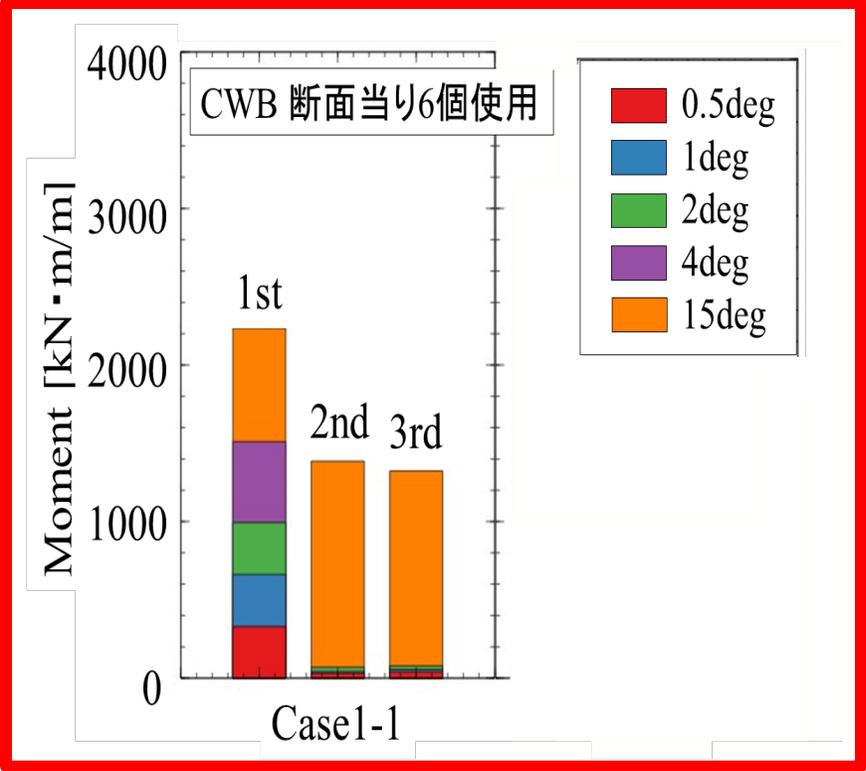
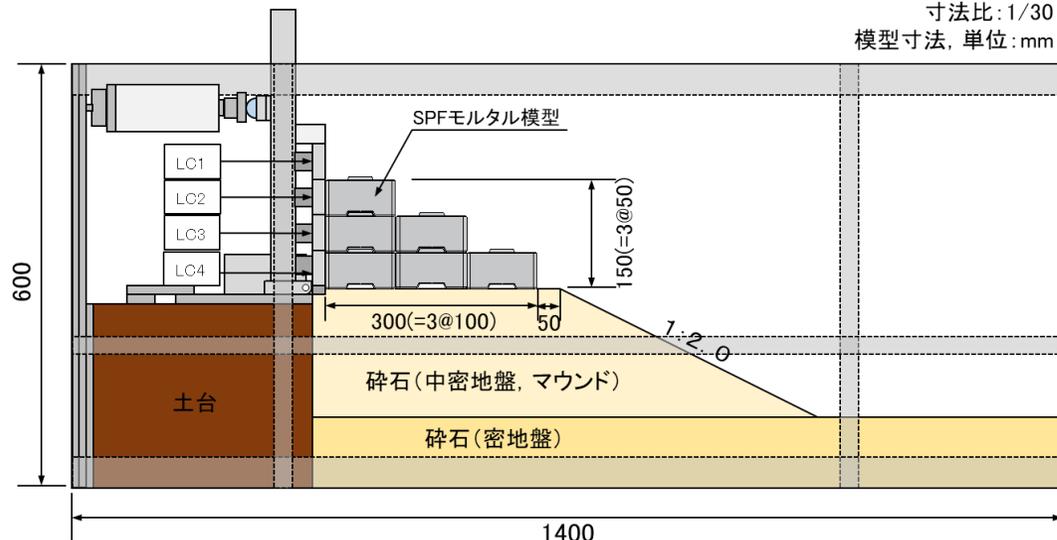
間詰石（幅1m）
+3-2-1段

※繰り返し小規模载荷



Case 1-1 (3-2-1段)

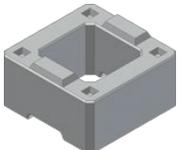
遠心加速度: 30g
寸法比: 1/30
模型寸法, 単位: mm



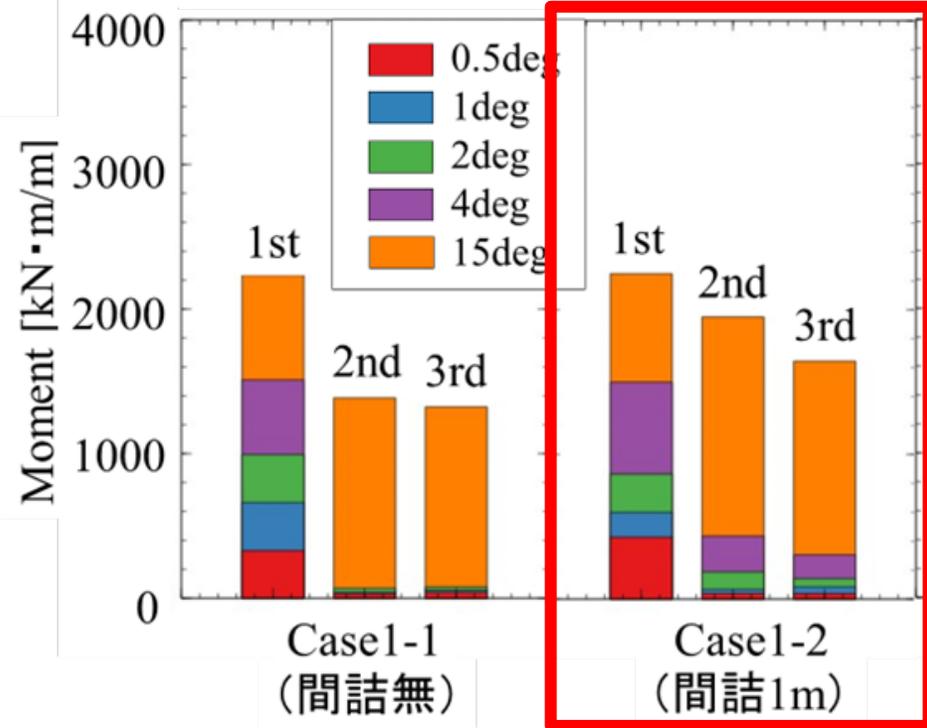
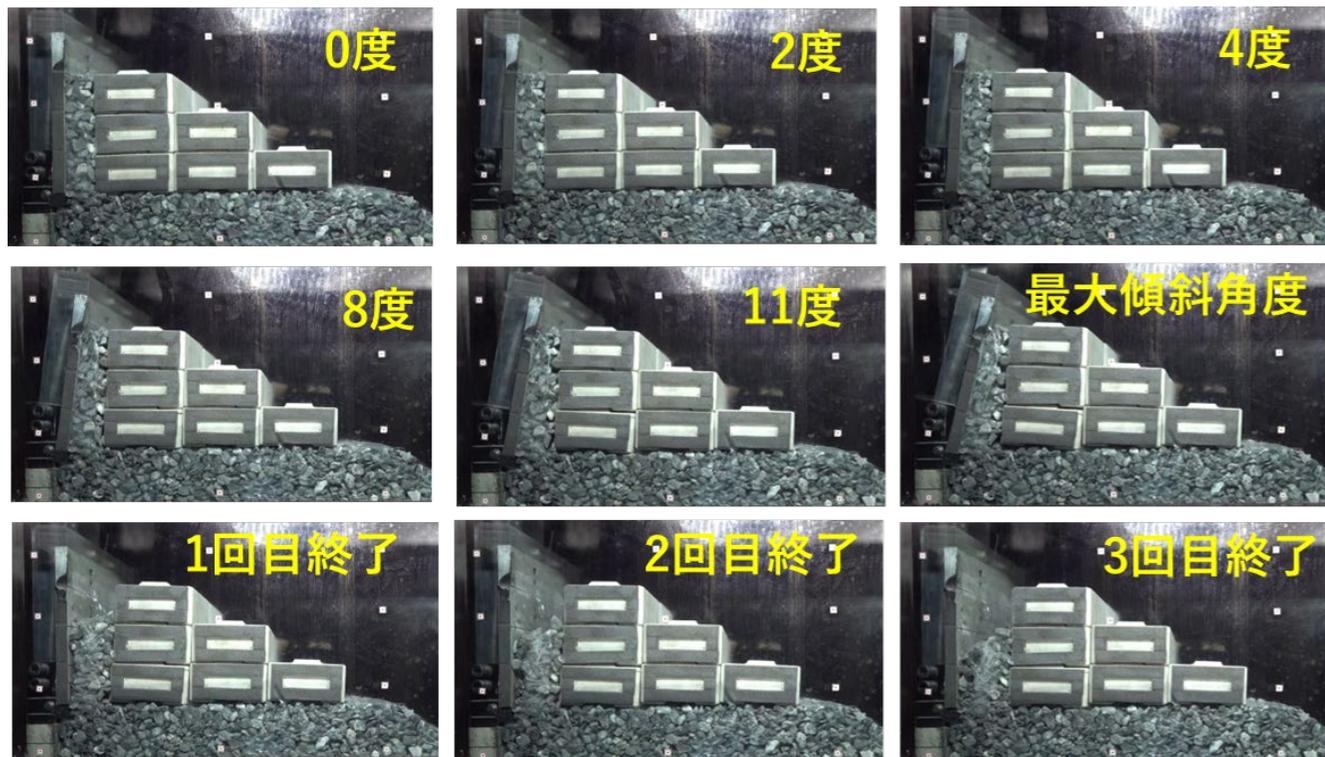
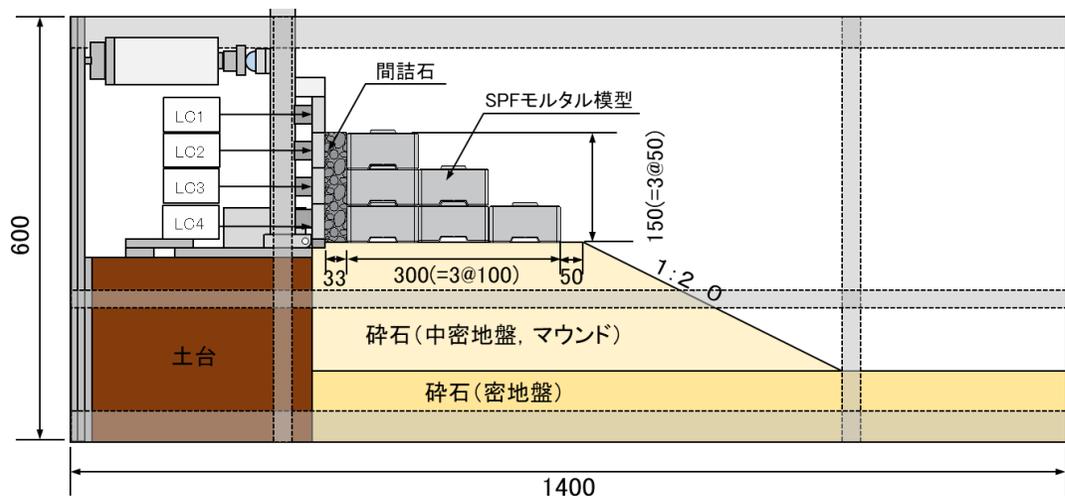
・ 1回目载荷で、回転角8度にて3段部が転倒傾向、11度で2段部も転倒傾向。いずれも背後の1段部ブロック後端が支点となり抵抗。

→最大傾斜角度に達するまで抵抗モーメントは増加傾向。

・ 载荷2回目以降については、ブロックがパネルと腹付工の間に隙間が生じるため、傾斜角度が小さい状況では抵抗モーメントがほとんど発現しない。



Case1-2 間詰石 (1m) + 3-2-1段

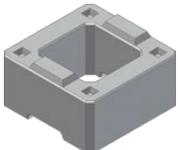


・腹付工へは間詰石を介して比較的一様な力が作用するため、転倒の挙動ではなく、**滑動の挙動**。

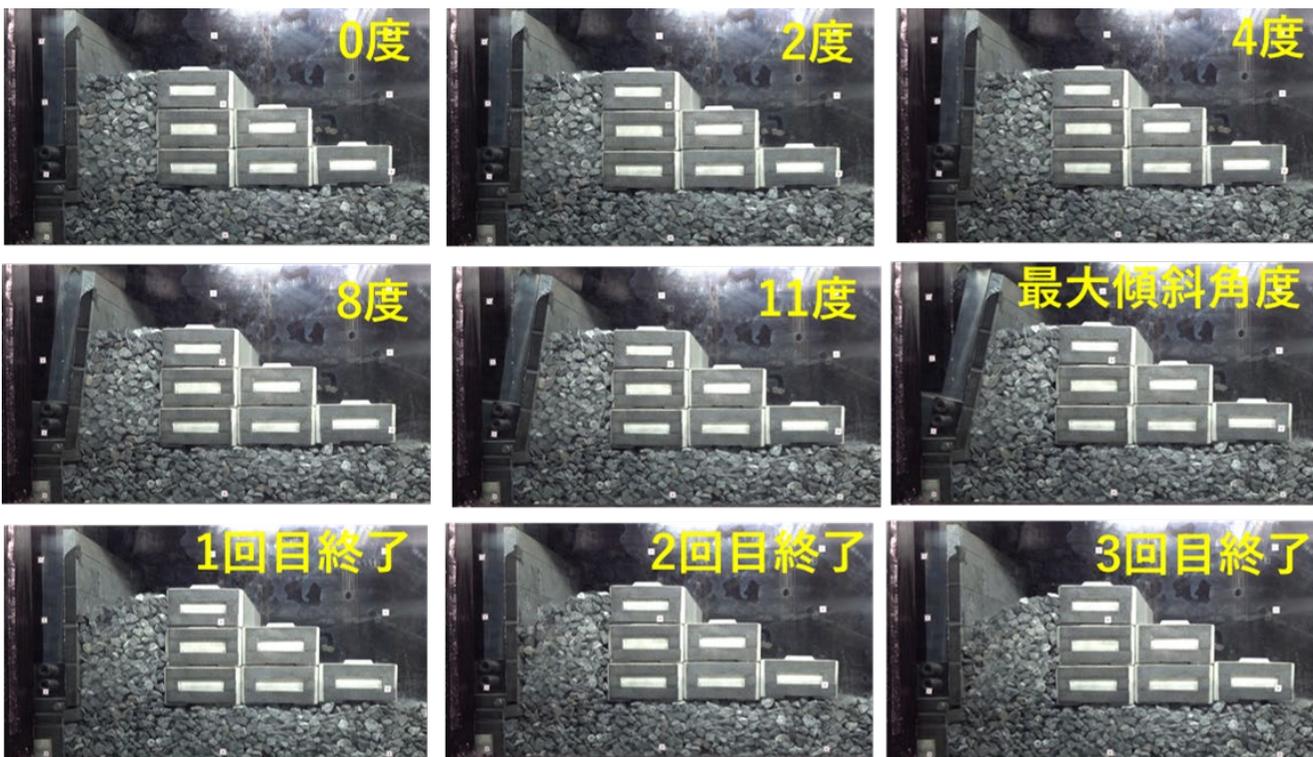
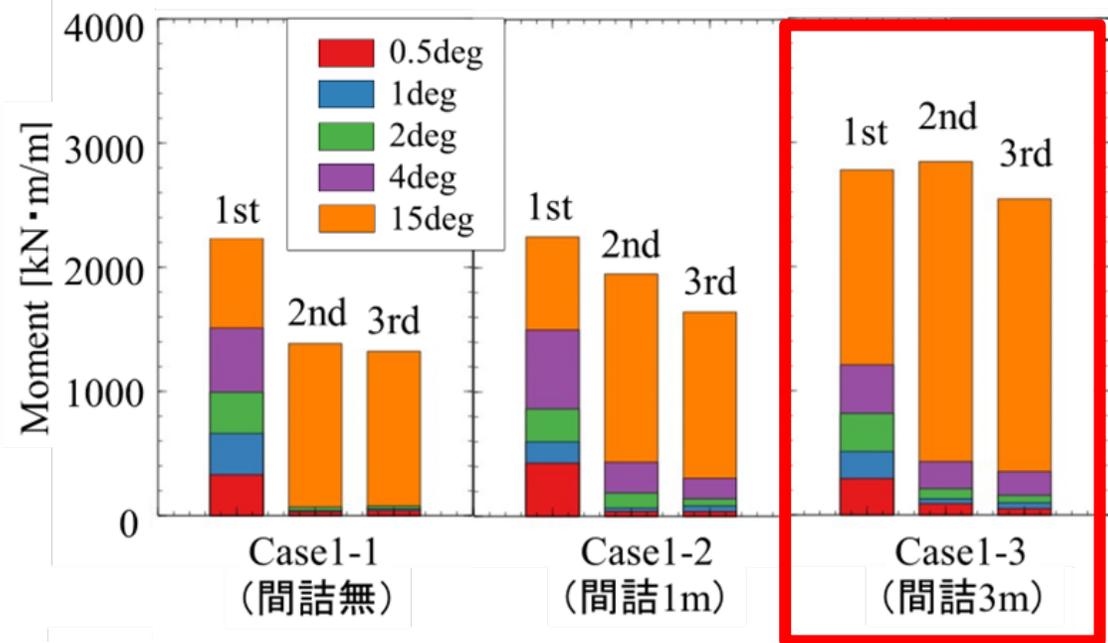
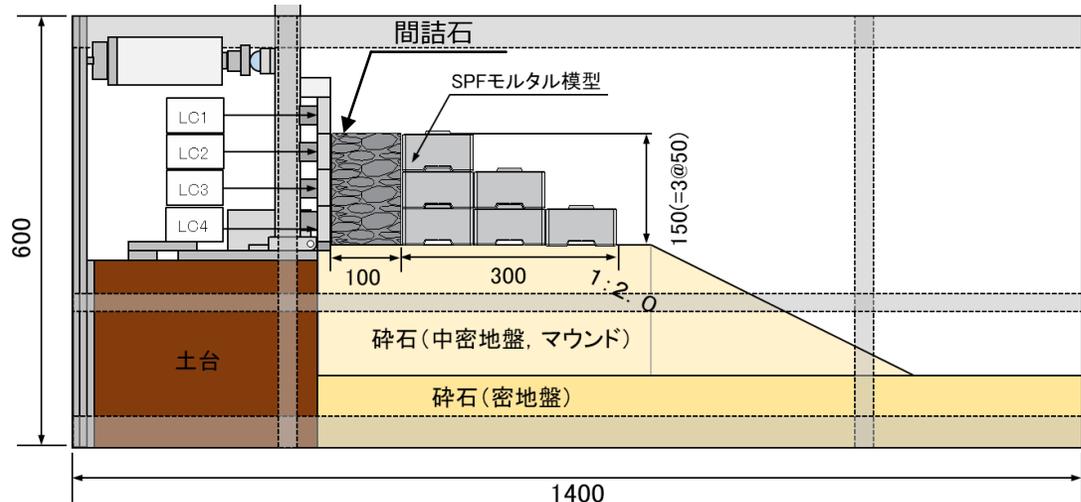
→2回目以降の傾斜に対しても、角度の小さい段階から抵抗モーメントを発揮。

・間詰石天端高は、1回目载荷後に1/3程度低下、2~3回目の载荷後は初期天端高から1/2以上低下。

→比較的大きな転倒の繰り返し作用に対しては、間詰石天端高の低下が課題。



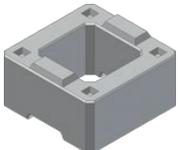
Case1-3 間詰石 (3m) +3-2-1段



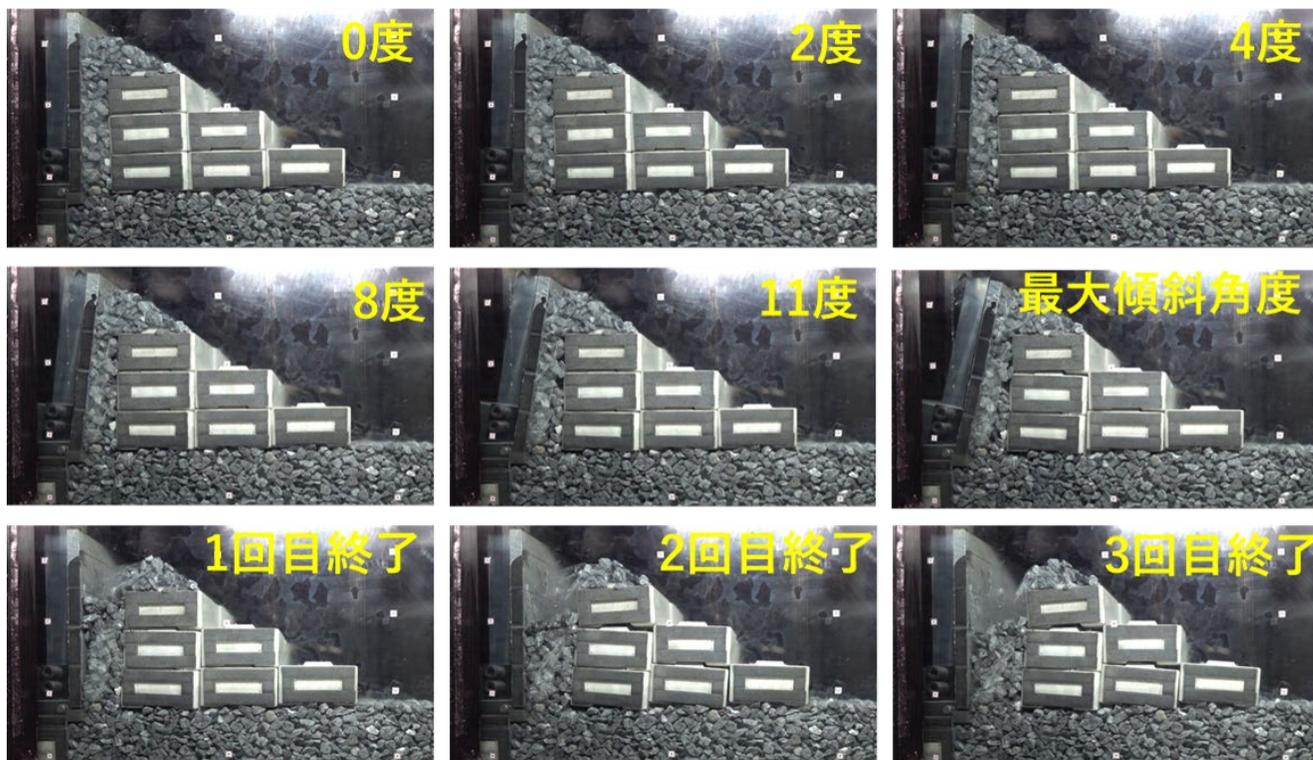
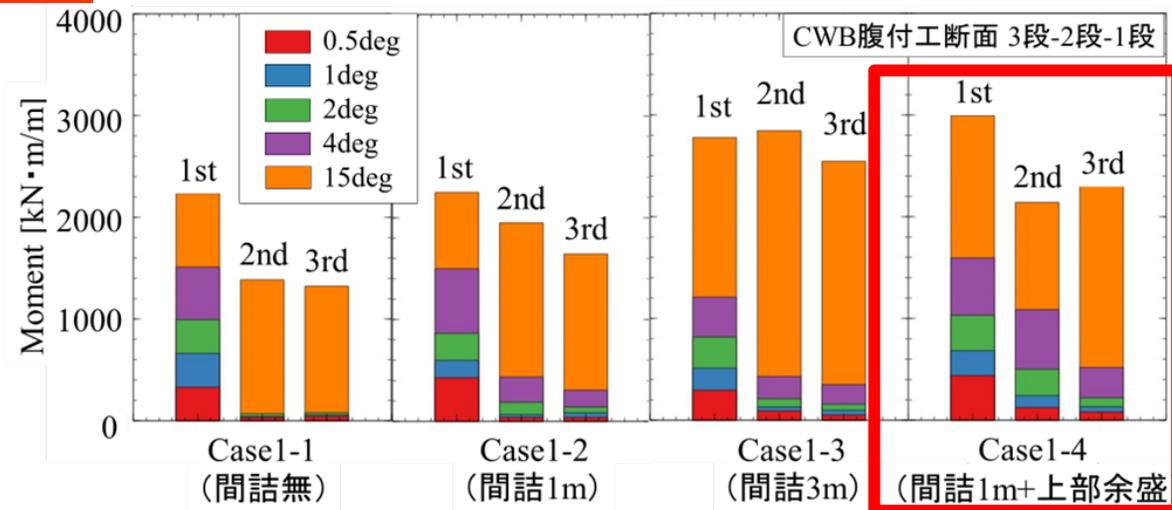
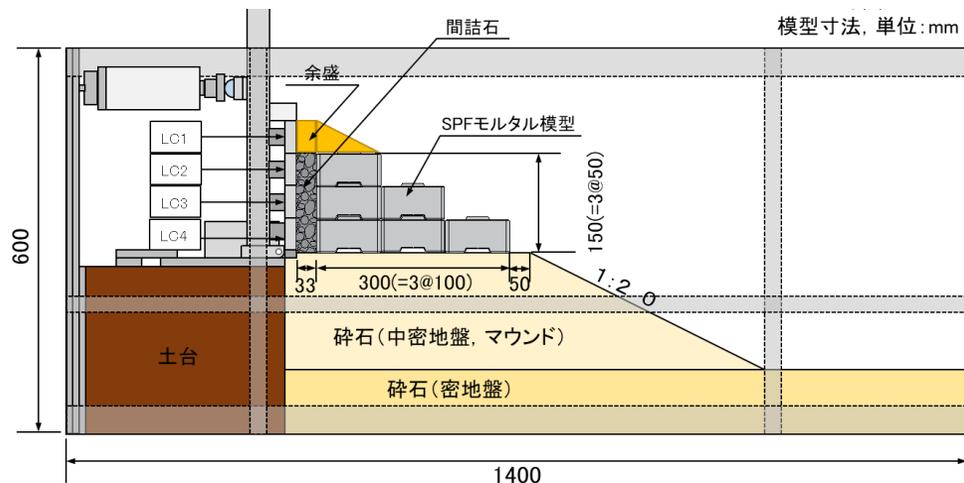
・間詰石および腹付工の挙動はCase1-2と同様の**滑動の挙動**。

・間詰石の天端高は、2回目、3回目と繰り返し作用した場合でも、初期状態から平均して1/3程度の低下。

・間詰石がある程度の高さを維持したまま存在するため、**抵抗モーメントの最大値はCase1-2より大きい**。



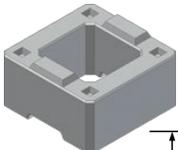
Case1-4 間詰石 (1m) +3-2-1段+余盛り石



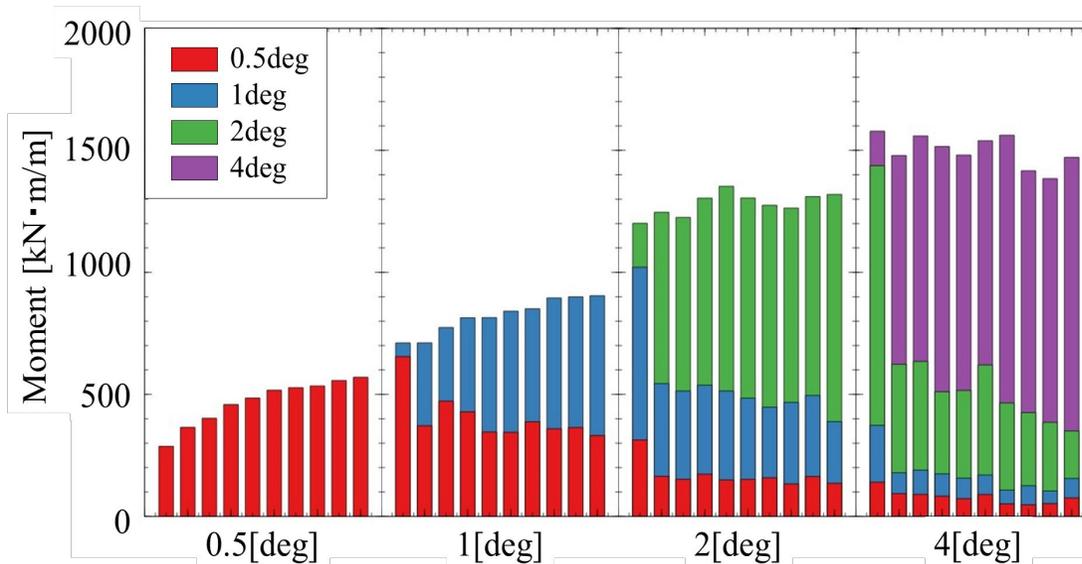
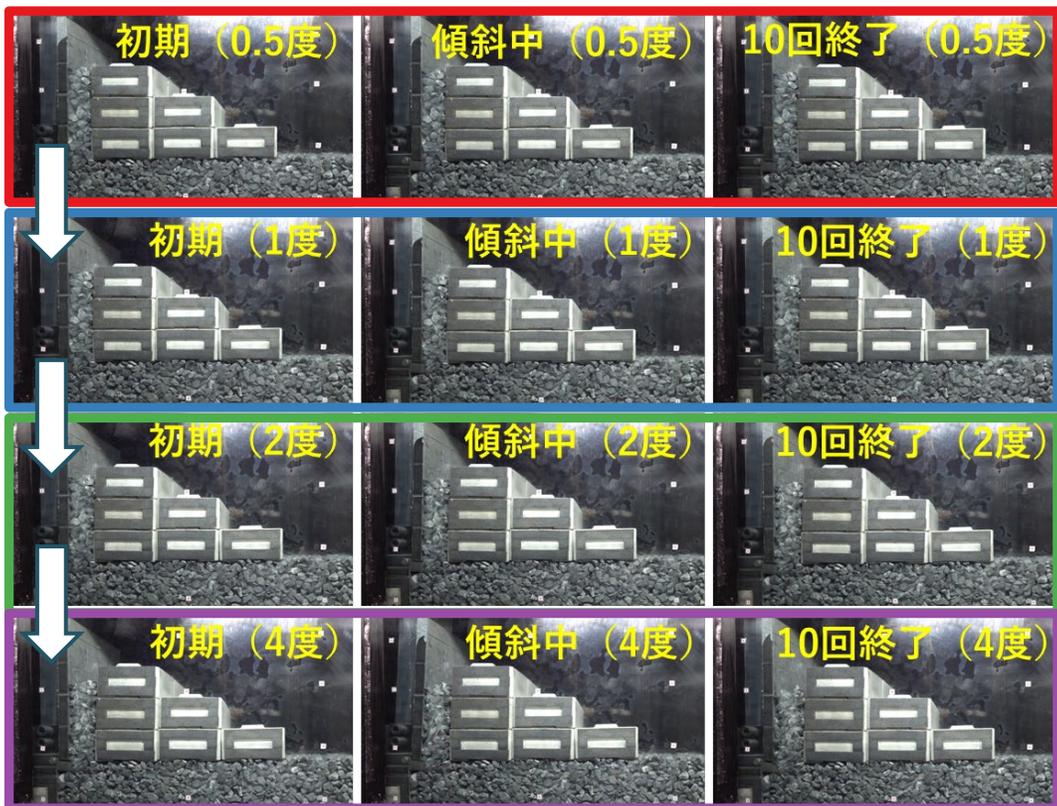
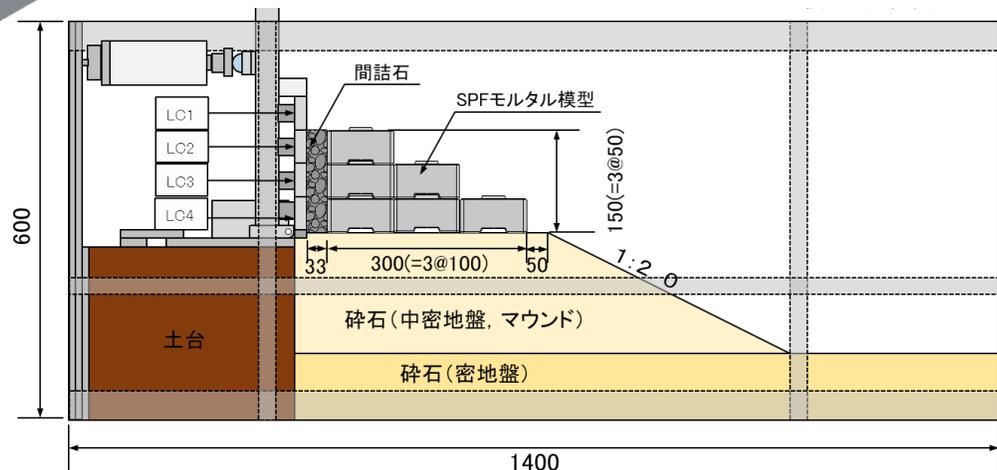
・1回目載荷終了時の間詰石天端高は3段部天端と同程度の高さを維持。一方で、2回目以降の繰り返し載荷時には、最前列ブロックの上部に余盛り石が残り、間詰石箇所補充されず。

→小規模に防波堤の転倒が繰り返し作用する場合には、余盛り石による間詰石天端の低下対策は効果が期待できる。

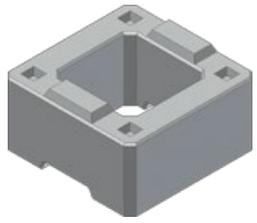
・Case.1-2よりも間詰石天端高の低下は少ないため、より大きな抵抗モーメントが得られた。



Case1-5 間詰石 (1m) +3-2-1段 (繰り返し小規模载荷)



- ・ 傾斜角度0.5度の場合、载荷回数が増えるに従い抵抗モーメントは大きくなる傾向。
- ・ 傾斜角度1度の繰り返しの場合、傾斜角度が最大に達する途中の傾斜角度0.5度において、1回目载荷時が最も大きい。 **2回目以降の抵抗モーメントは1回目の半分程度。**
- ・ 傾斜角度2度、4度の場合には、繰り返しの作用に対して腹付工が岸側へ若干移動し、間詰石の天端高が徐々に低下していく傾向。
→反力の作用位置が下がることが影響し、 **抵抗モーメントは回数を重ねても同程度もしくは減少する傾向。**



転倒に対する補強効果に関する 考察および今後の課題

- (1) 間詰石+SPF3-2-1段とすることで、転倒の拳動ではなく滑動に近い拳動を示した。また、間詰石によって繰り返しの転倒に対する補強効果が改善された。間詰石幅が広いほど抵抗モーメントは大きくなる傾向。
※3-2-1段においてブロックの破損も見られず。
- (2) SPF腹付工+間詰石の場合、繰り返し転倒が作用すると間詰石天端は徐々に低下し、転倒に対する補強効果も小さくなる。
⇒**ケーソンが大規模な転倒を受けた後等は間詰石の状況を確認し、天端が低下した際には間詰石を投入して補修するなどの対策が必要。**
- (3) 傾斜角度15度は、比較的大規模に防波堤の転倒が繰り返し作用した状態に近いケース。今後の実設計に向けては転倒時の設計回転角の設定が必要。

【発表技術問い合わせ先】

- ①発表技術名：サブプレオフレーム（SPF）を使用した防波堤港内側補強工法
- ②会社名：日建工学株式会社
- ③担当者名：技術部 吉塚 尚純
- ④連絡先メールアドレス：yoshizuka@nikken-kogaku.co.jp
- ⑤電話番号：03-3344-6811

