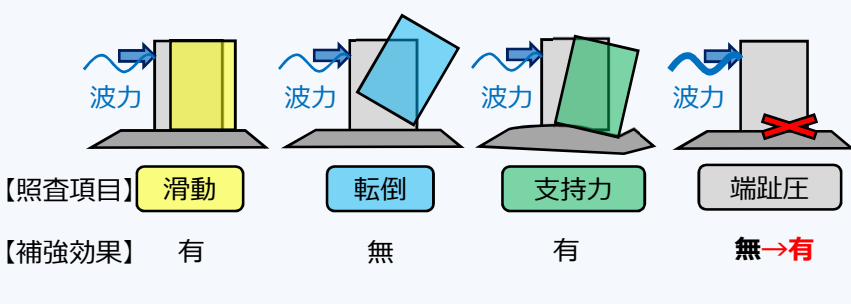


結論

腹付工による端趾圧対策が可能に

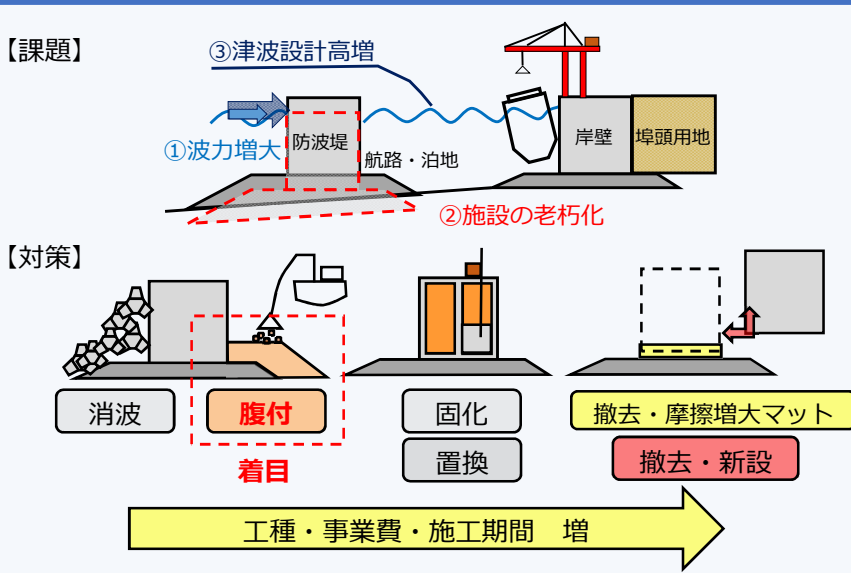
【構造物の耐波安定性】
重力式防波堤の波における性能照査は右図の4項目
全項目を満足すれば、波に対して安定する断面と判断可能
【本成果は港湾基準の補完】
現行、腹付工による補強効果は滑動と支持力の2項目のみ評価
今後、端趾圧対策としても評価可能



背景

改良設計を単純工種で済ませたい

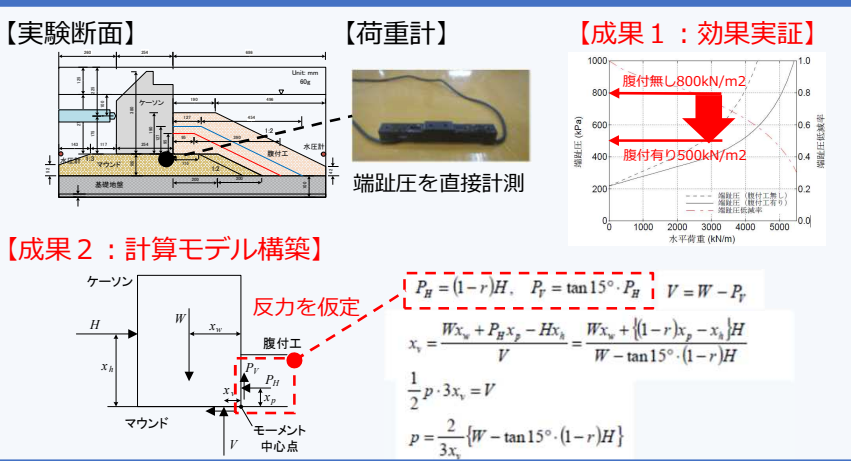
【近年の防波堤における主要課題】
・近年の猛烈な台風等による波力増大
・施設の老朽化
・津波防波堤の設計高見直し
どの課題も性能照査上、安定性が低下する要因
【課題に対する対策】
既設防波堤の補強として考えられる対策工は多数あるが、
事業者としては単純で経済的な設計断面を求める。
【技術開発の動機】
単純工種である腹付工に着目し、今まで評価しない端趾圧の
低減効果を実証出来れば、腹付工による改良設計での採用幅
を広げることが出来る考えた。



根拠

水理模型実験で効果を実証

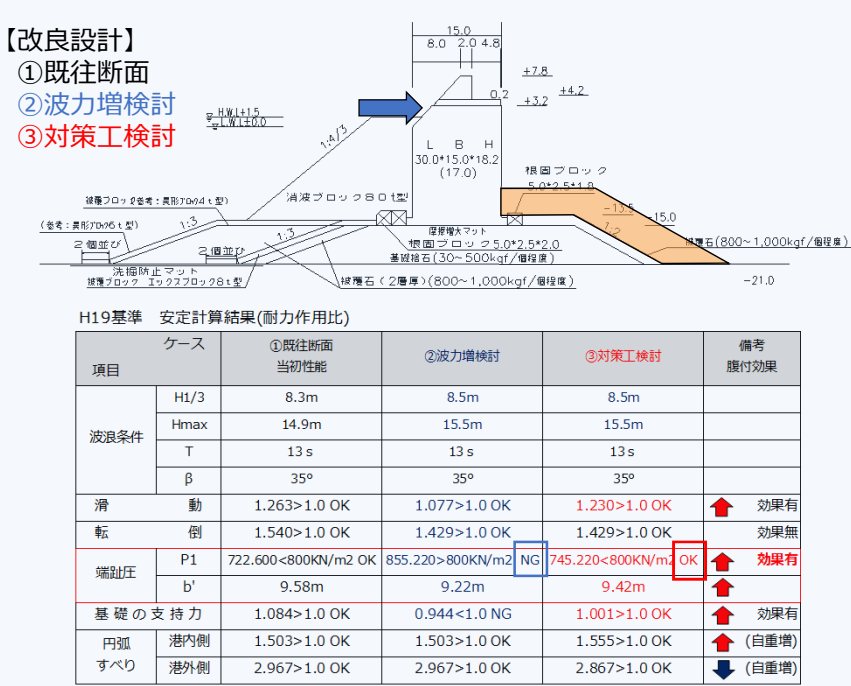
【実験概要】
遠心模型実験装置にて模型地盤でも現地地盤の剛性や強度を
再現しつつ、直接端趾圧を計測できるような荷重計を設置した。
検討ケースは、堤体幅の縦横比、腹付工の規模（高さ・形状）
荷重条件（一定or変動）を変えて各種実施した。
【実験成果】
成果1：腹付工による端趾圧低減効果を実証
成果2：計算モデルの構築（実験しなくても計算できる）
その他、定性的なまとめなど・・・etc.



具体例

改良設計での成果活用イメージ

【設計手順1 現況断面で再現計算】
右図及び表①列において既設防波堤の性能照査値を整理
既往断面で滑動・転倒に対しては余裕があるが、端趾圧の
照査値が既に許容値800KN/m2に近い。（支持力も同様）
【設計手順2 波力増大を検討】
波高増大時、各性能照査値は悪化
端趾圧・支持力の照査項目で構造上不安定のNG判定
【設計手順3 対策工として腹付工を検討】
現行の滑動・支持力に加え、端趾圧の補強効果も考慮
端趾圧・支持力の照査値の改善が得られ、再度OK判定
【補足】
端趾圧対策は堤体の撤去・新設など抜本的な改良を必要
としたが、上記のとおり腹付工だけで済めば、経済的な
改良断面の提案に繋がる。



防波堤の耐波安定性向上に関する研究

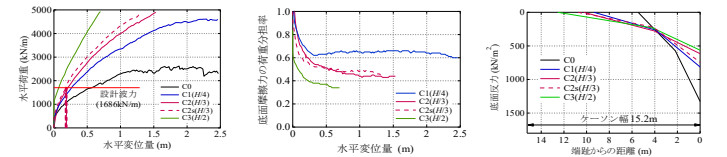
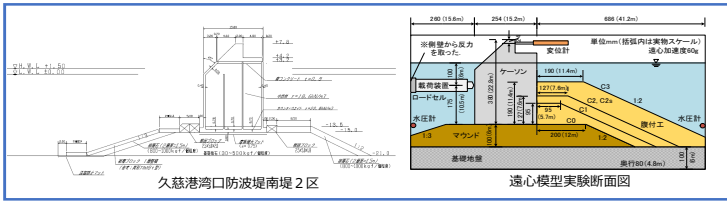
2020年3月

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

港湾空港技術研究所 地盤研究領域

地盤改良研究グループ

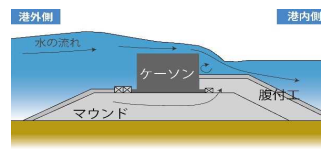
2017年度の成果



- 腹付工の規模を大きくするほど、耐力が増した。
- 規模の大きな腹付工ほど、腹付工が分担する水平荷重は大きくなっていった。
- 結果的に、腹付工の規模を大きくするほど端趾圧が低減した。

研究の目的

- ケーソン式混成防波堤において腹付けによる補強方法が利用されている。
 - 腹付工は滑动や支持力破壊に対する耐力を増やすことが分かっている。
 - 一方、端趾圧の低減効果については明らかとなっていない。
- ↓
- 腹付工が端趾圧を低減する効果について明らかにする。
 - 研究ツールとしては、遠心模型実験や簡易モデルによる計算を用いる。

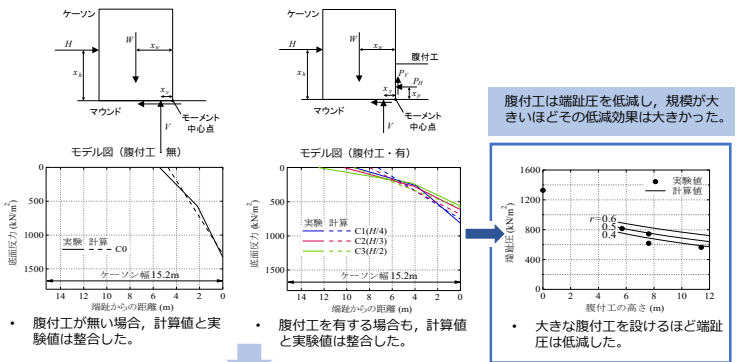


腹付工を施した混成防波堤



遠心模型実験装置

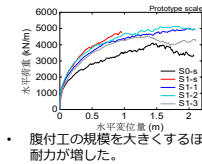
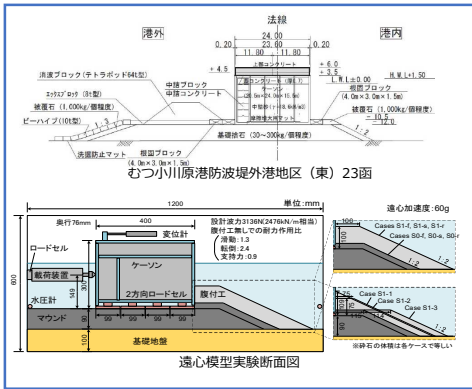
2017年度の成果



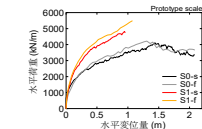
- 腹付工が無い場合、計算値と実験値は整合した。
- 腹付工を有する場合も、計算値と実験値は整合した。
- 大きな腹付工を設けるほど端趾圧は低減した。

簡易な計算モデルで端趾圧を推定できる可能性が高いことが分かった。

2018年度の成果

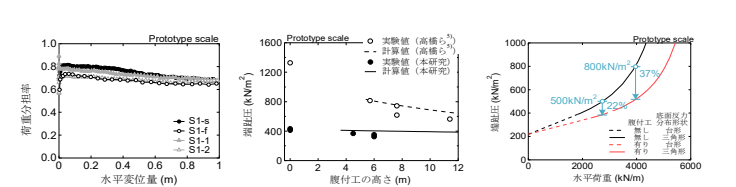


- 腹付工の規模を大きくするほど、耐力が増した。



- 載荷速度が大きいほど大きな耐力が発揮された。載荷速度を小さくしてあげれば、安全側の検討となることが分かった。

2018年度の成果



- 腹付工が分担する力は比較的小さかった。
- 2018年度の検討断面では、腹付工は端趾圧低減にあまり寄っていませんでした。
- 腹付工からの反力が小さいだけでなく、端趾圧の余裕度が高い防波堤であったため、腹付工による端趾圧低減効果が小さいことが分かった。

腹付工の規模だけでなく、端趾圧の余裕度が、端趾圧の低減効果に影響を与えることが分かった。

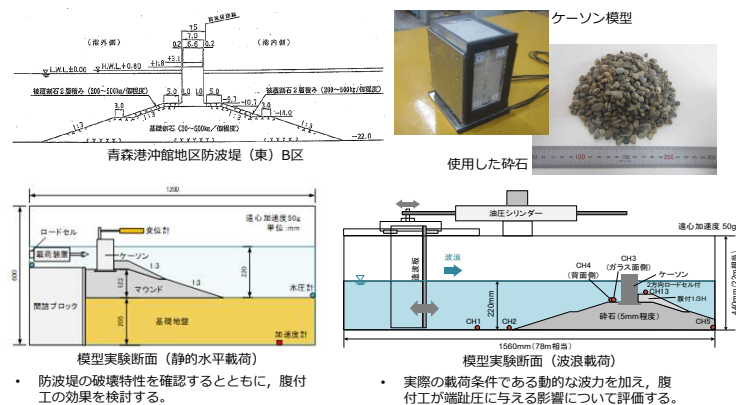
研究目的と内容 (2019年度)

- 2017年度と2018年度の検討から、腹付工は端趾圧を低減するが、その大きさは腹付工の規模や端趾圧の余裕度に影響を受けることが分かった。
- 変動する載荷重 (波浪載荷) に対する端趾圧の低減特性や、端趾圧の低減に影響を与える条件が十分には明らかになっておらず、これらを調べることを目的とした。

- 青森港沖館地区の防波堤を検討モデルとした。
- 防波堤の破壊モードや腹付工の効果を確認する静的な水平荷重を遠心力場で実施した。
- 変動する載荷重の影響を調べる波浪載荷実験を遠心力場で実施した。
- 遠心力場で実験を行うことで、実物スケールの挙動を再現することができる。



遠心模型実験条件

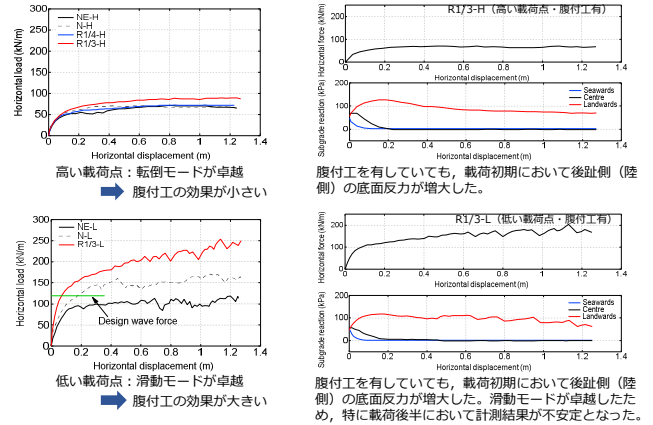


- 防波堤の破壊特性を確認するとともに、腹付工の効果を検討する。
- 実際の載荷条件である動的な力を加え、腹付工が端趾圧に与える影響について評価する。

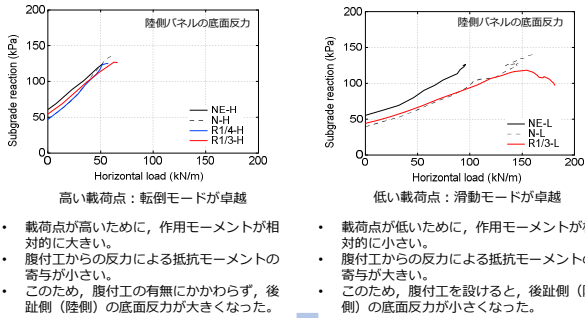
防波堤の破壊モード



荷重～変位関係／底面反力特性

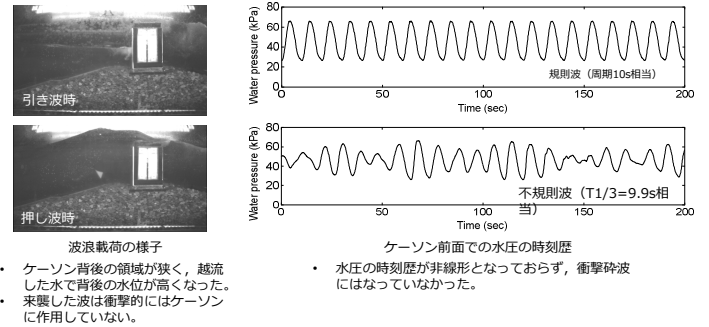


端趾圧の低減

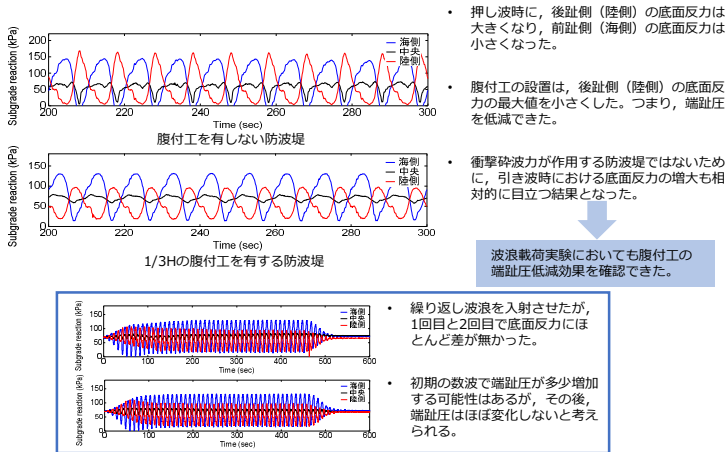


破壊モードの違いで、腹付工が端趾圧の低減に与える影響は異なっていた。

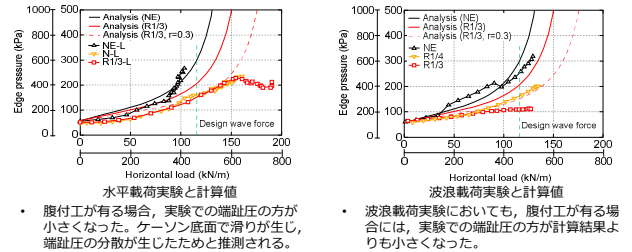
入射した波浪の条件



底面反力特性



実験と計算の結果



端趾圧低減の影響因子

1. 腹付工の規模：規模が大きいほど低減効果は大きい。
2. 端趾圧の余裕度：余裕度が無いほど低減効果は大きい。
3. 破壊モード：転倒モードでは低減効果が見られない。

端趾圧低減効果の大きさ

端趾圧低減効果の大きさと実施した実験の種類のまとめ

破壊モード	腹付工の分担率	無対策時の端趾圧	効果①	効果②	端趾圧低減効果	備考
滑動	高い (腹付工・大)	限界値に近い	○	○	◎	R1d実験②
	低い (腹付工・小)	余裕がある	○	×	○	
転倒	高い (腹付工・大)	限界値に近い	×	×	×	R1d実験①
	低い (腹付工・小)	余裕がある	×	×	×	H30d実験
支持力	高い (腹付工・大)	限界値に近い	○	○	◎	H29d実験②
	低い (腹付工・小)	余裕がある	○	×	○	
支持力	高い (腹付工・大)	限界値に近い	×	×	×	H29d実験①
	低い (腹付工・小)	余裕がある	×	×	×	

- ・ H29d実験①は腹付工1/4高さ、H29d実験②は腹付工1/3、1/2高さの実験
- ・ R1d実験①は載荷点が高い、R1d実験②は載荷点が高い実験
- ・ 効果①は腹付工からの反力がケーソンのモーメントを低減することによる端趾圧低減効果
- ・ 効果②は波力と端趾圧の関係は非線形であり、腹付工対策前の端趾圧が限界値に近いほど、端趾圧が低減する効果

まとめ

- ・ 実施してきた水平載荷実験と波浪載荷実験の結果に基づくと、防波堤の破壊モードや、腹付工の規模、端趾圧の余裕度などによって端趾圧の低減率は大きく異なることが明らかとなった。
- ・ 滑動や支持力破壊モードが卓越して、端趾圧が限界値に近い防波堤において腹付工は端趾圧の低減において有効であった。また、効果を発揮するためには、ある程度の大きな規模の腹付工が必要であり、1/3程度の高さの腹付工を設けることが望ましいと言えた。
- ・ ケーソンでのモーメントのつり合い式による簡易な計算モデルによっても、端趾圧を推定することが可能であった。ただし、比較的大きな腹付工を有する防波堤で滑動が生じると端趾圧が分散され、実際の端趾圧は計算値よりもさらに小さくなる可能性があった。

