生態系などの環境を考慮した アンカー式空積擁壁モデルの振動台実験

[1]橋本青空，[2]池本敏和，[2]村田　晶
[3]行本　哲，[3]佐々木尚，[3]張　升翼

[1]金沢大学　理工学域　地球社会基盤学類
[2]金沢大学
[3]環境工学株式会社　環境防災事業部

研究背景・目的

景観や環境に配慮したアンカー式工法の道路及び護岸での実績が増加 [1),2)]

⬇

耐震性能に対する工学的な知見が十分でない．

⬇

五分勾配のアンカー式空積擁壁モデルに対し，実験的な検証により性能を評価

ストッパーパネルを有する
アンカー式空積擁壁モデルによる振動台実験

- 実際の擁壁崩壊の再現
- 内部の圧力等の解明
- 耐震補強法を提案，効果を検証

写真：アンカー式空積擁壁 [3)]

1):国立研究開発法人　土木研究所　自然共生研究センター：水際を構成する「陸上部」と「水中部」の植物　https://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/research/m3_01_06.htm
2):国土交通省：多自然川づくりとは，https://www.mlit.go.jp/river/kankyo/main/kankyou/tashizen/02.html
3):アンカー式空石積「ラップストーン」　https://www.kankyo-kogaku.co.jp/lineup/lineup_LS.html#LS

生態系(Ecosystem)

擁壁周辺にみられる生態
- 水際部の生物空間
- 水際付近の自然
- 天端の植生

➡ 生物の生息空間の創出

写真：空積擁壁周辺の生態 [2)]

水際部の空隙

河川等の護岸が整備されることでこれらの関係が破壊

⬇

生物の生態が失われ，水生生物が減少

2):国土交通省：多自然川づくりとは，https://www.mlit.go.jp/river/kankyo/main/kankyou/tashizen/02.html

実験模型　アンカー式空積擁壁モデル

- 自然石を用いた積石を階段状に積み上げる．
- 法肩や水際の境界が目立たない．
- 生態系の創出に貢献

写真:アンカー式空積擁壁の施工事例 [3)]

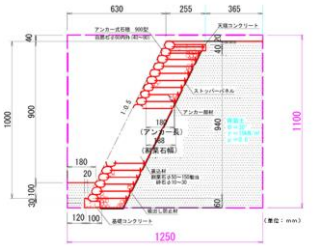


図:アンカー式空積擁壁の設計図

3):アンカー式空石積「ラップストーン」　https://www.kankyo-kogaku.co.jp/lineup/lineup_LS.html#LS

実験模型　実験モデル設計

- 模型スケール：1/5
- 総重量：147kN(土槽含む)
- 設置面積：0.8×1.25(m)
- 土槽規模：1.100×0.8×1.25(m)

写真:アンカー式空積擁壁モデル正面

写真:アンカー式空積擁壁モデル側面

実験模型　積石・裏栗石・背面土

- 積石
  重量：14kN
  使用個数：172個
- 裏栗石
  割栗石（φ10～30mm）
  重量：26kN　安息角：19.5°
  間隙比：0.50　間隙率：33.2%
- 背面土
  森本産　山土
  重量：79kN
  土粒子密度2.685g/cm³，含水比16.1%
  礫分0.1%，砂分54.4%，細粒分45.5%
  （細粒分質砂）
  粘着力　8.6kN/m²，内部摩擦角　15.7°

写真:実験モデル側面

実験模型　積石概要

- 積石
  - 自然石
  - アンカー材
    →線径2mm，長さ220mmの鉄線
  - ストッパーパネル
    →合成樹脂
    →厚さ1mm，1辺30mmの正方形

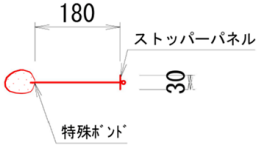


図:積石断面図

写真:積石全体

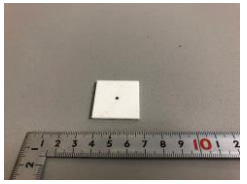


写真:ストッパーパネル

計測　計測項目・計測機器設置箇所

- 計測項目
  下から180, 420, 660, 900mmの位置

1. 壁体変位
   →レーザー変位計　5箇所
   （パナソニック）
2. 加速度
   →加速度計　5箇所
   （東京測器研究所）

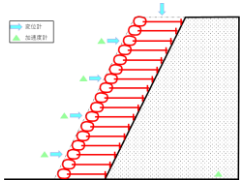


図:計測機器配置箇所

写真:レーザー変位計の取付

写真:加速度計の取付

実験　概要

入力地震波

- 正弦波(5Hz, 5s, 25波)
  100～700gal(100gal刻み)，750～900gal(50gal刻み)
  →入力加速度の増大により変化する崩壊挙動を再現

試験体

- Case_1, Case_2

表:入力地震動ケース対応表

番号	地震波	ストッパーパネル
Case_1	正弦波	無（パネル無）
Case_2		有（パネル有）

表:香川の相似則対応表 [4)]

項目	重力場（模型/実物）	模型（λ=5）
振動数	$\lambda^{3/4}$	3.3
加速度	1	1

・内陸部の地震動を参考にして
5Hz,5s,25波の正弦波を作成
・実地震動では1.5Hz,16.5sとなる.
・構成
テーパー(1s)+本震(3s)+テーパー(1s)

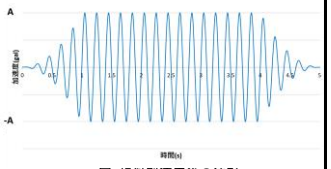


図:相似則適用後の波形

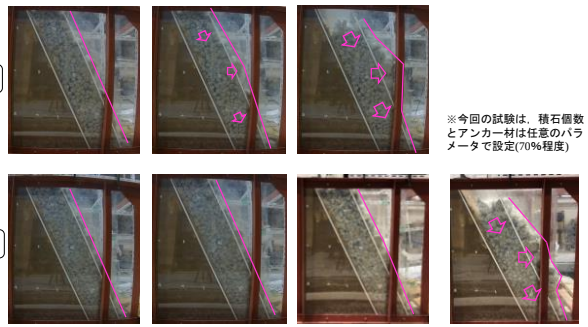
4):香川敬生：土構造物の模型振動実験における相似則，土木学会論文報告集，No. 275，pp.69-77，1978，https://doi.org/10.2208/jscej1969.1978.275_69.

実験　750gal加振映像

実験結果　正弦波：5Hz, 5s, 25波

パネル無

パネル有



※今回の試験は，積石個数とアンカー材は任意のパラメータで設定(70%程度)

加振前 ➡ 400gal加振後 ➡ 600gal加振後 ➡ 800gal加振後

写真:加振後の状況

実験結果　正弦波の応答加速度

- 最大加速度は目標加速度から1割程度大きい値を記録
- 900galでは1.3倍程度まで増加

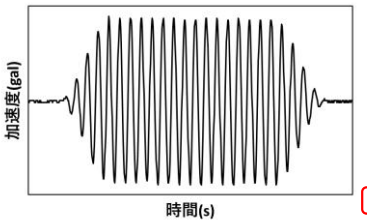


図:実験における加速度応答波形

表：振動台応答加速度（正弦波）

目標加速度 (gal)	最大加速度 (gal)
100	114
200	219
300	328
400	442
500	562
600	676
700	795
750	852
800	889
850	999
900	1160

実験結果　裏栗石の沈下量

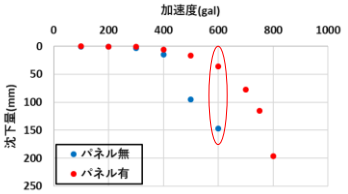


図:裏栗石の沈下量

600gal加振後における沈下率

※沈下率 $= \frac{\text{沈下量}}{\text{擁壁高さ}}$

- パネル無　$\frac{150}{1030} = 0.15$
- パネル有　$\frac{30}{1030} = 0.03$

$\frac{\text{パネル無の沈下率}}{\text{パネル有の沈下率}} = \frac{0.15}{0.03} = 5$

➡ パネル有はパネル無に比べ，5倍程度裏栗石の沈下を抑制する効果がある

実験結果　積石の水平変位量

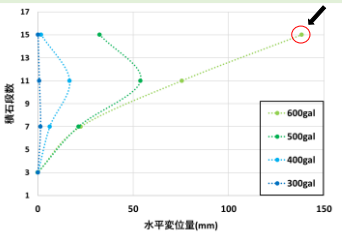


図:パネル無のおける水平変位量

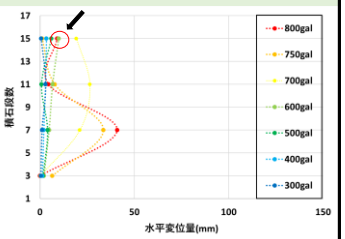


図:パネル有における水平変位量

600gal加振後における最大水平変位量(15段目)

- パネル無　135mm
- パネル有　10mm

$\frac{\text{パネル有の最大水平変位量}}{\text{パネル無の最大水平変位量}} \times 100 = \frac{10}{135} \times 100 = 7\,(\%)$

➡ パネル有はパネル無に比べ，7%程度に積石の孕み出し方向への水平変位を抑制する効果がある

実験結果　加速度応答倍率

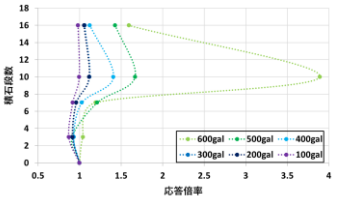


図:パネル無の加速度による応答倍率

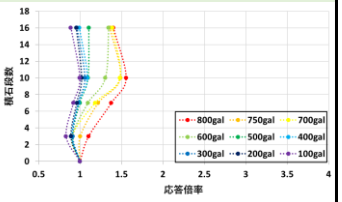


図:パネル有の加速度による応答倍率

$$\text{加速度応答倍率} = \frac{\text{各測定位置における積石表面上の加速度値}}{\text{振動台下端上の加速度値}}$$

- 100～300gal：0.1倍程度の差
- 400～600gal：0.4倍程度の差，10段目が顕著

⬇

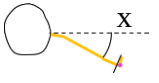
積石が孕み出し，加振によって滑り出したことにより，上段ほど応答倍率が高くなるが，パネル有では応答倍率が抑制される．

今後の課題　アンカー及びパネルの損傷

- 積石下部に損傷箇所が集中

⬇

- 沈下した裏栗石にアンカー材が巻き込まれ，アンカー材の変形が生じた．
- 裏栗石が下部ほど密になり，ストッパーパネルを圧壊させた可能性あり



※重度：アンカー材がX=30°以上変形
※軽度：アンカー材が僅かに変形
※外れた：アンカー材が積石から外れた

写真:加振後のアンカー状況

まとめ

- 裏栗石が中部に沈下し，中部から下部にかけて孕み出しが発生．これらの現象が繰り返されることにより，崩壊に至る．
- ストッパーパネルには崩壊に抵抗する効果がある．
- ストッパーパネルには，裏栗石沈下抑制効果，積石の孕み出し抑制効果がある．

謝辞：本研究はJSPS科研費18KK0129，21H01595の助成を受けたものです．

参考文献

1. 国立研究開発法人　土木研究所　自然共生研究センター：水際を構成する「陸上部」と「水中部」の植物　https://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/research/m3_01_06.htm，2021/9/14閲覧
2. 国土交通省：多自然川づくりとは，https://www.mlit.go.jp/river/kankyo/main/kankyou/tashizen/02.html，2021/9/21閲覧
3. アンカー式空石積「ラップストーン」　https://www.kankyo-kogaku.co.jp/lineup/lineup_LS.html#LS，2021/05/11閲覧
4. 香川崇章：土構造物の模型振動実験における相似則，土木学会論文報告集，No.275，pp.69–77，1978，https://doi.org/10.2208/jscej1969.1978.275_69，2021/06/15閲覧

ご清聴ありがとうございました