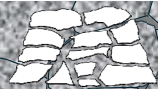


中国地方建設技術開発交流会

バットレス型補強アンカー工法



国土交通省 新技術情報システム	
新技術名称	バットレス型補強アンカー工法
NETIS 登録番号	CG-240016-A



文化財石垣・石積擁壁補強技術協会

1.背景

- 地殻変動の活発化周期により比較的大きな地震が発生。
- 地球温暖化による気候変動の影響によりゲリラ豪雨・長雨が多発。

古い石垣や空石積擁壁の被害が深刻化

伝統的技法を保全しつつ、現代技術を融合させて石垣や空石積擁壁の美観を損なうことなく、耐震性を向上させることが重要



空石積擁壁の崩壊被害
(2024年能登半島地震：新潟県糸魚川)



西洋式ブラフ擁壁崩壊
2023年川崎市宮前区ブラフ擁壁)

2.対策工

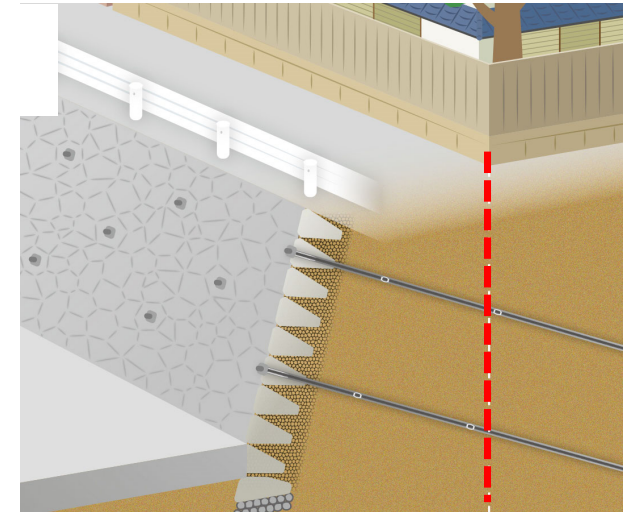
一般的に採用される鉄筋挿入工は、棒状補強材（3～5m程度）を打設，地山と補強材の相互作用によって斜面の安定性を高める。

しかしながら，

宅地地盤は盛土が多く，N値が低いため地山の摩擦抵抗値が小さい。

問題点

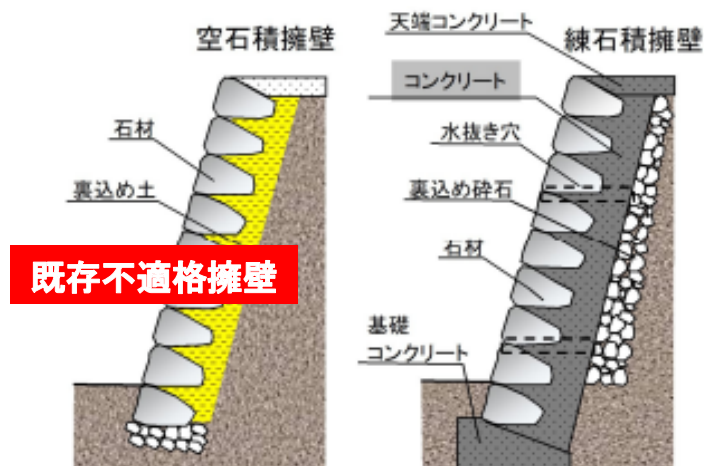
- ・ 敷地（民地等）境界線を越境
- ・ 建造物の基礎部への影響が懸念
- ・ 受圧構造体併用により，景観を阻害



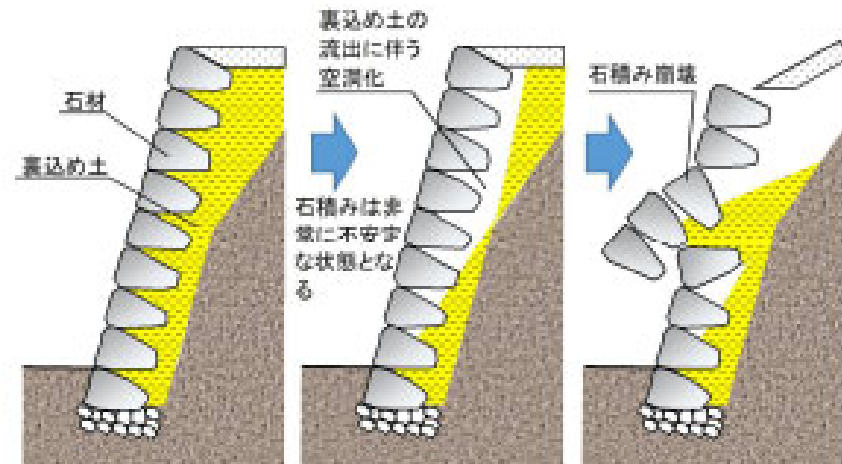
地山補強土工法
（鉄筋挿入工）



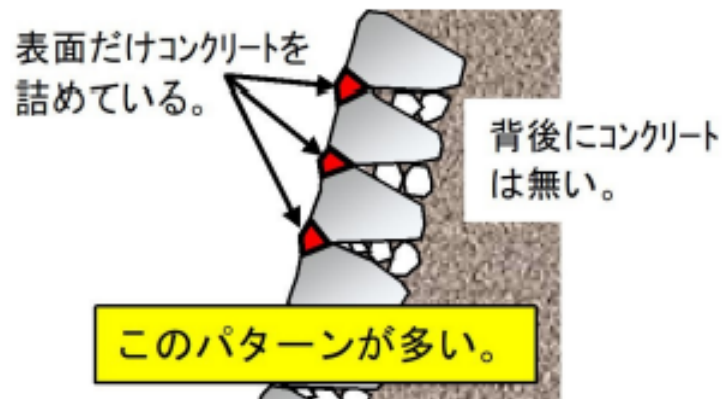
石積擁壁の補修事例



空石積擁壁と練石積擁壁



空石積擁壁崩壊のメカニズム



空石積擁壁の補修事例



補修した空石積擁壁の崩壊事例

3. バットレス型補強アンカー工法

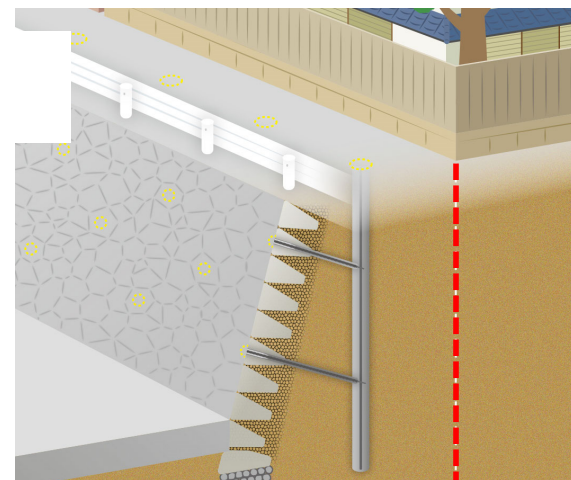
石積擁壁上部から直径 $\phi 100 \sim 200\text{mm}$ の柱状構造体を形成。

石積擁壁側から打設する水平補強材と連結。

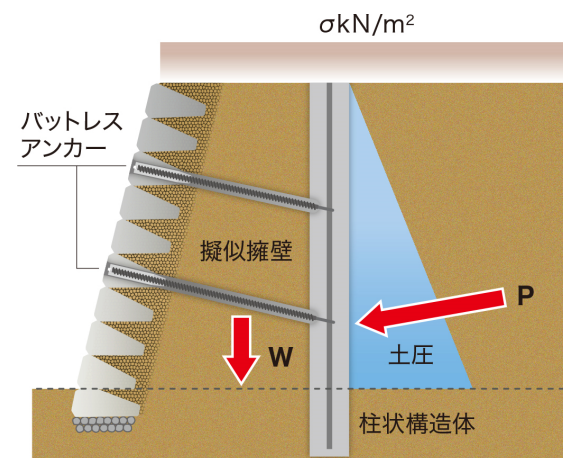
擬似的擁壁を構築し，抑止効果を高める。



棒状補強材の長さを短くした
石積擁壁の補強が可能。

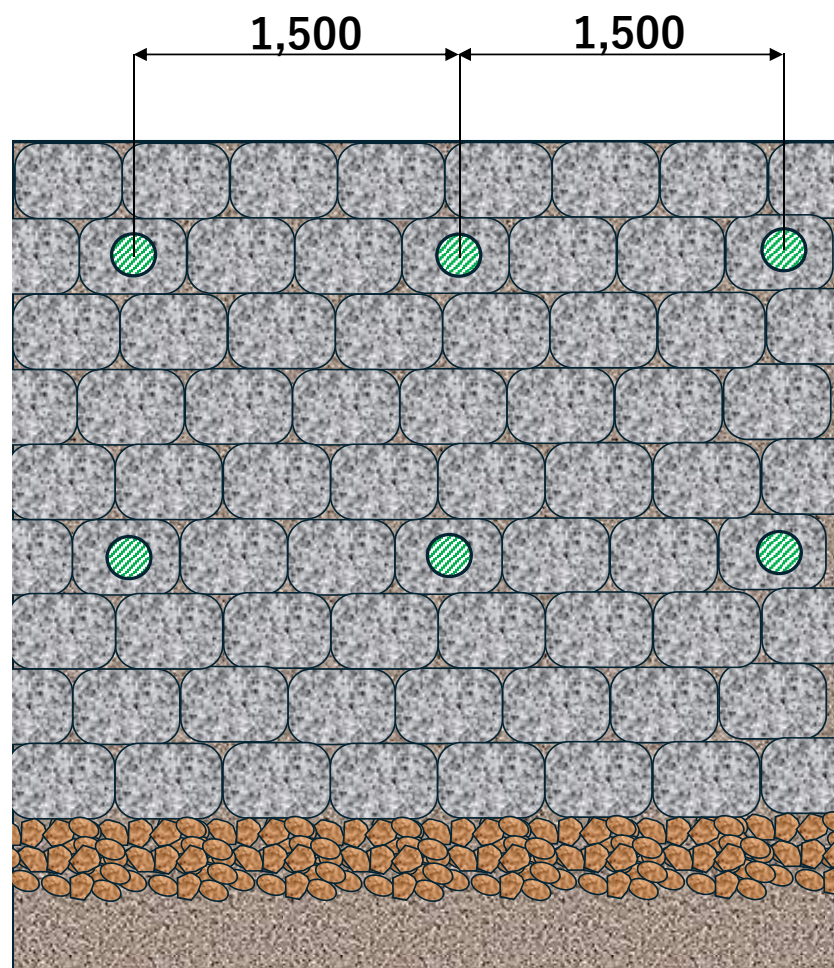


バットレス型補強
アンカー工法

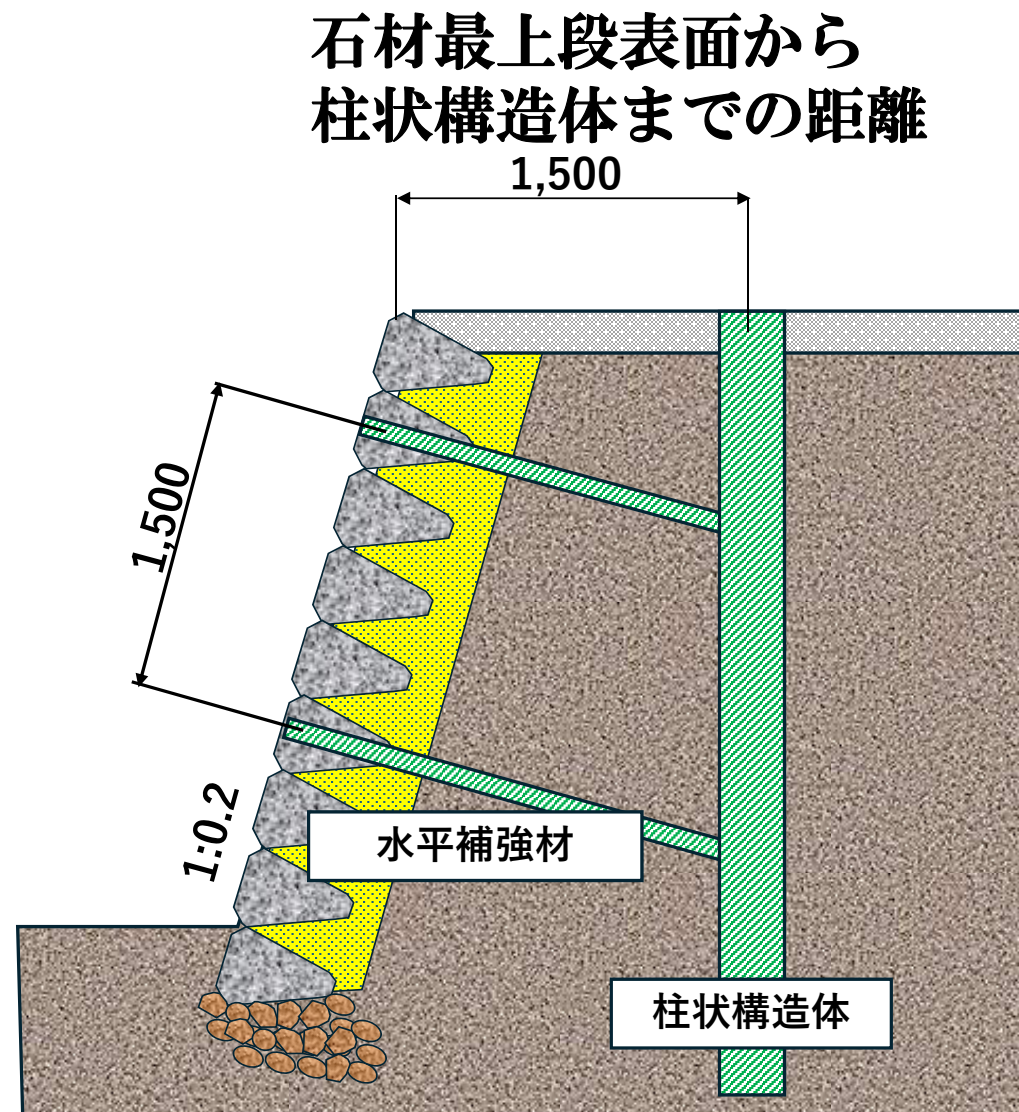


擬似擁壁

基本構造(標準配置)

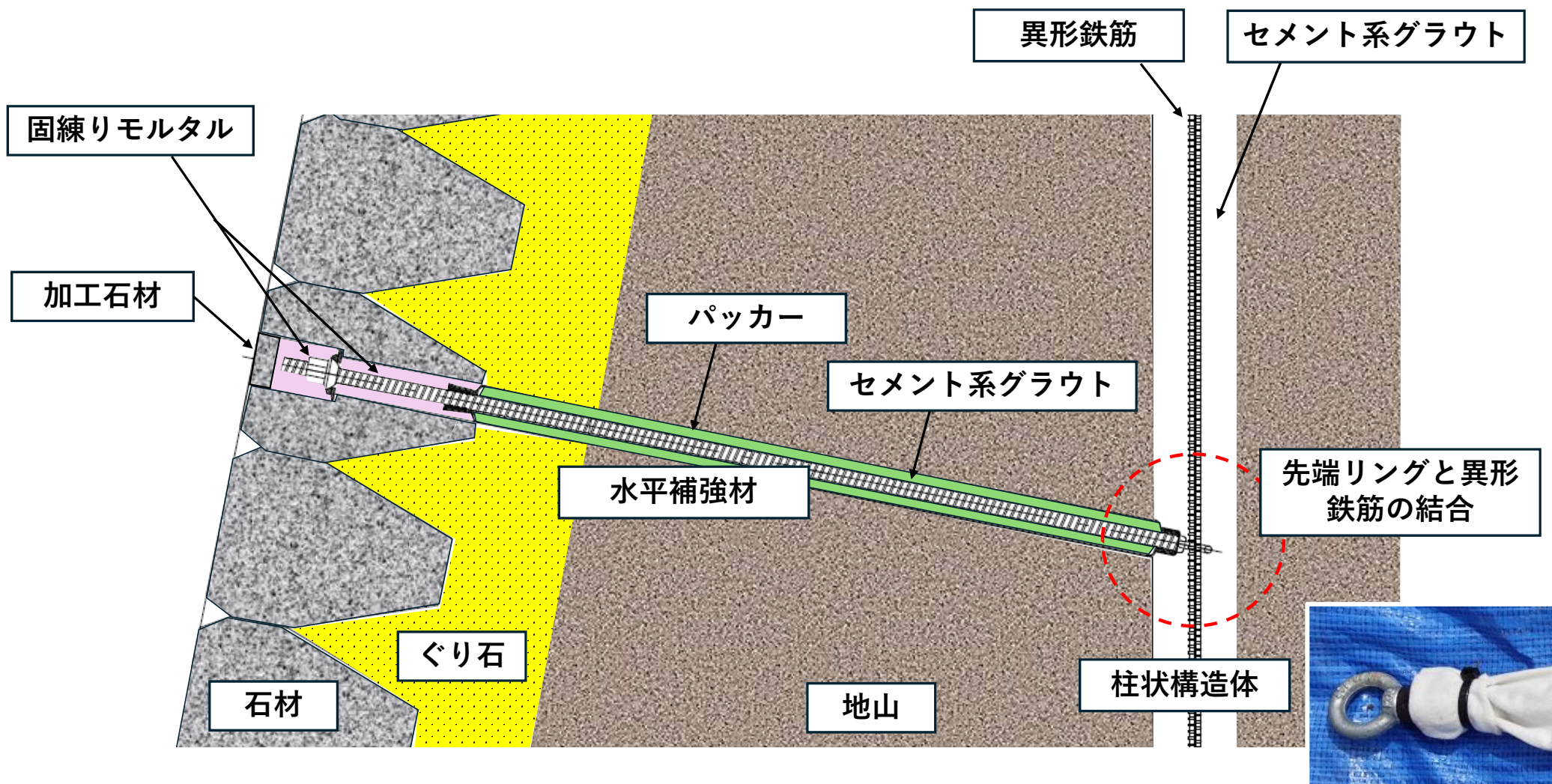


正面図



断面図

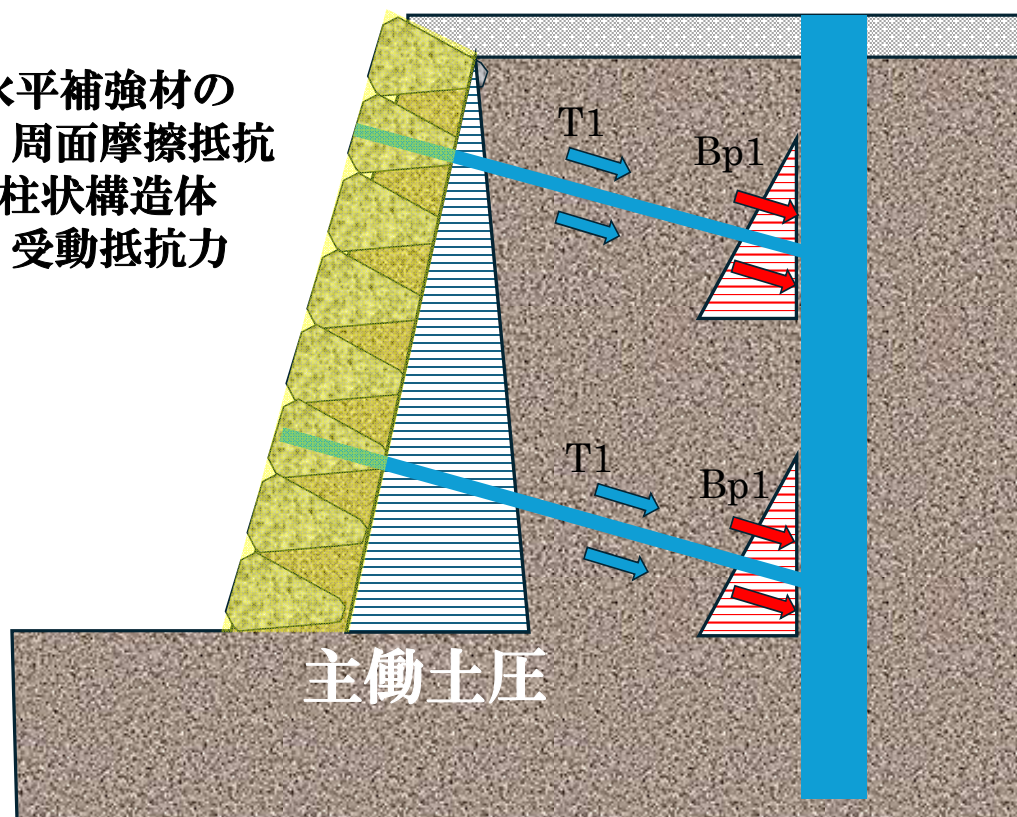
基本構造(接合部)



4. 設計の考え方

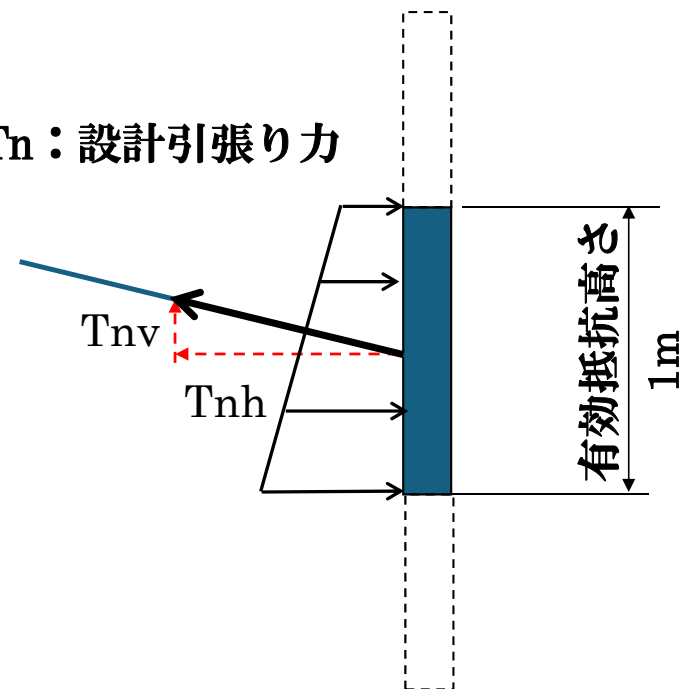
1) 擬似擁壁内部の安定計算

T1 : 水平補強材の
周面摩擦抵抗
Bp1 : 柱状構造体
受働抵抗力



石材背面内部の安定

Tn : 設計引張り力

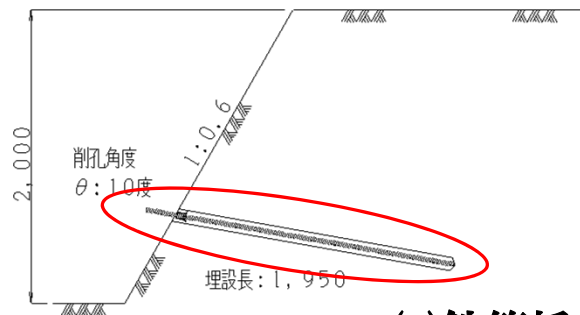


柱状構造体

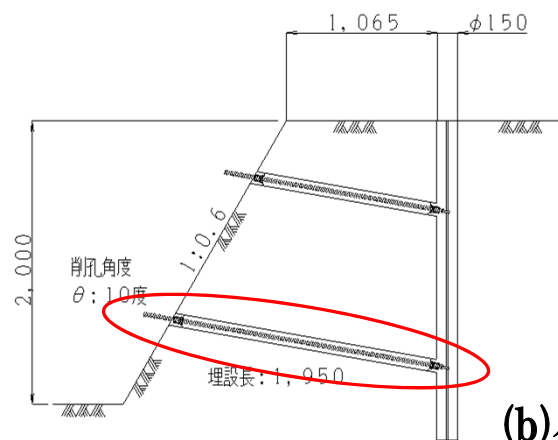
柱状構造体受働抵抗作用の概要

性能照査1:実大引抜試験

盛土を構築し，鉄筋挿入工と比較するため極限引抜実験を行った．反力体はH形鋼を使用して，地盤の引抜に対して影響のない範囲に設置し，荷重段階（5kN）ごとの変位を測定．

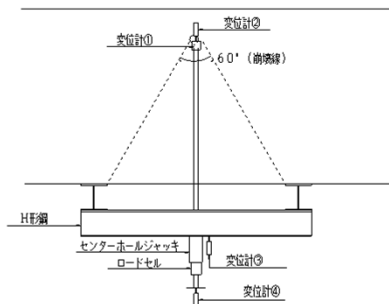


(a)鉄筋挿入工



(b)バットレス

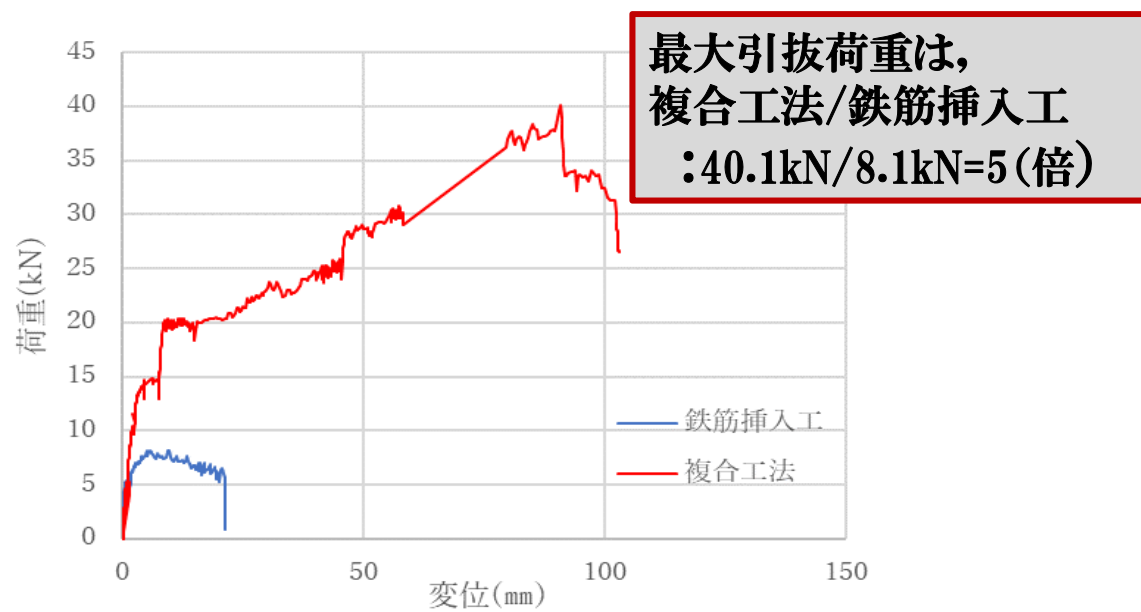
根入長: 250



反力体設置



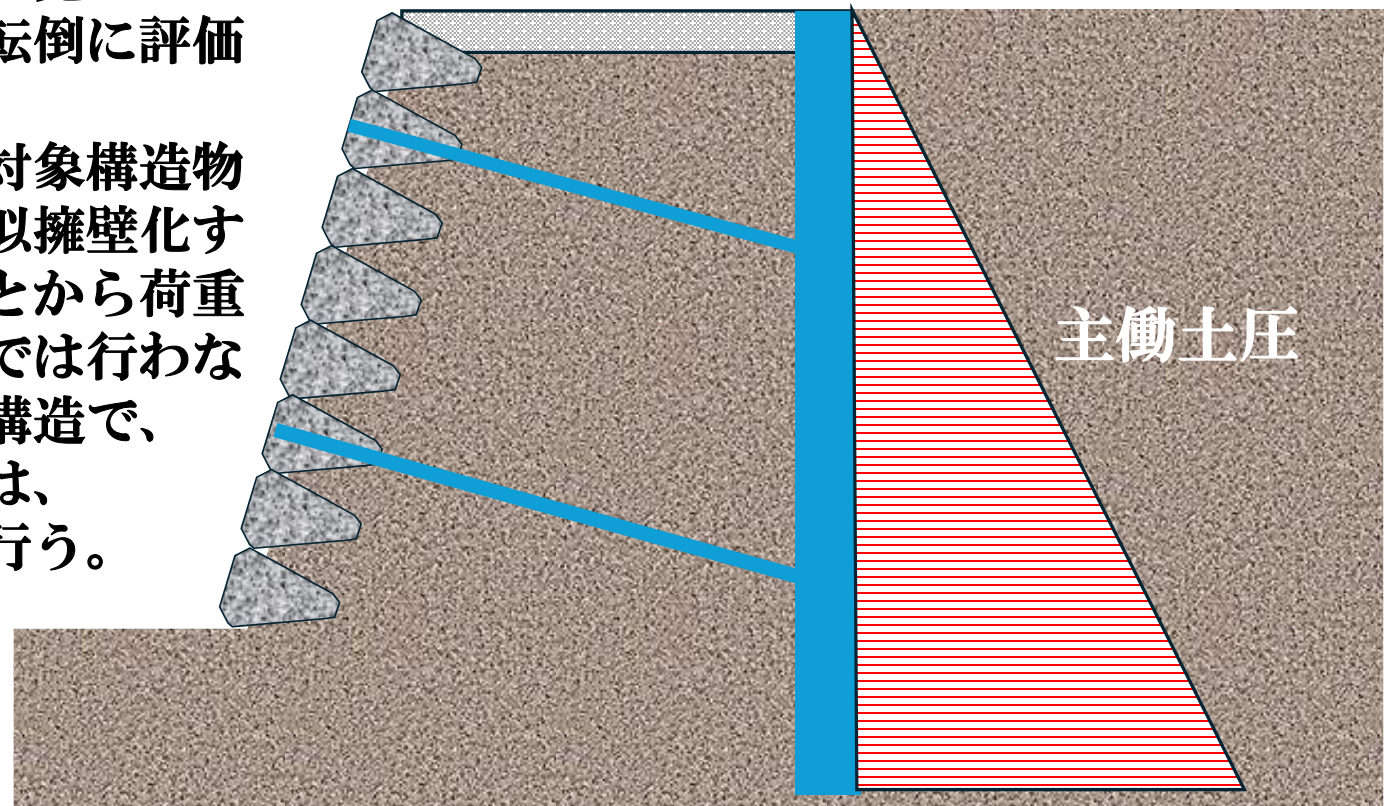
引抜実験状況



2) 擬似擁壁の外的安定性評価

築石と柱状構造体で挟まれた水平補強材挿入範囲を擬似的擁壁と見立てて、重力式構造体とし、滑動・転倒に評価する。

支持力については、補強対象構造物の重量変化がないこと、擬似擁壁化することで幅が大きくなることから荷重が分散されるため、本検討では行わない。ただし、補強する前の構造で、沈下が発生している場合には、あらかじめ沈下防止対策を行う。



外的安定性評価

1. 設計条件

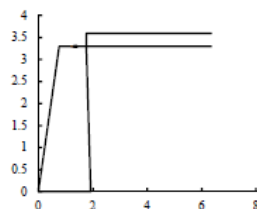
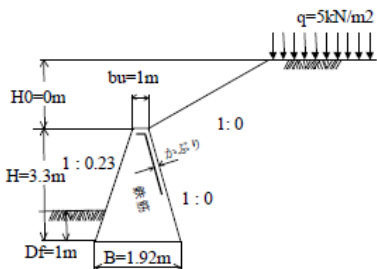
(1) 荷重条件 地震時

(2) 擁壁形状

擁壁高さ	$H=$	3.30	m
天端幅	$b_u=$	1.00	m
底面幅	$B=$	1.92	m
前面勾配	$1:n=$	1:0.23	
背面勾配	$1:n_b=$	1:0	
フック長	$L_w=$	10.00	m

(3) 盛土

嵩上げ高	$H_0=$	0.00	m
盛土傾斜角	$\beta=$	0.00	度
単位重量	$\gamma=$	17.00	kN/m ³
内部摩擦角	$\phi=$	30.00	度
粘着力	$c=$	0.00	kN/m ²



(4) 荷重

載荷重	$q=$	5.00	kN/m ²
水平震度	$k_H=$	0.20	

(5) ガードレール

種別	なし	
衝突荷重	$P=$	0.00 kN
作用高	$h_p=$	0.00 m (路面からの高さ)



3. 安定計算

(1) 転倒に対する照査

底版幅 $B=$ 1.92 m 偏心量 $e=$ 0.547 m

安定率 $F_t = \frac{B}{2e} =$ 1.76 > 1.00 SAFE

(2) 滑動に対する照査

鉛直力 $\Sigma V=$ 97.73 kN/m

水平力 $\Sigma H=$ 65.72 kN/m

摩擦係数 $\mu=$ 0.6

受動土圧

$D_f=$ 1.00 m $\gamma_1=$ 17.00 kN/m³

$\phi_1=$ 30.00 度 $c_1=$ 0.00 kN/m²

$$K_p = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2}\right) = 3.00$$

$$F_p = \frac{1}{2} \gamma_1 D_f^2 K_p + 2c_1 D_f \sqrt{K_p} = 25.50 \text{ kN/m}$$

安全率 $F_s = \frac{\Sigma V \mu + 0.5 F_p}{\Sigma H} =$ 1.09 > 1.00 SAFE

(3) 支持力に対する照査

極限支持力度 $q_d=$ 300.0 kN/m²

最大地盤反力度 $q_{max}=$ 158 kN/m²

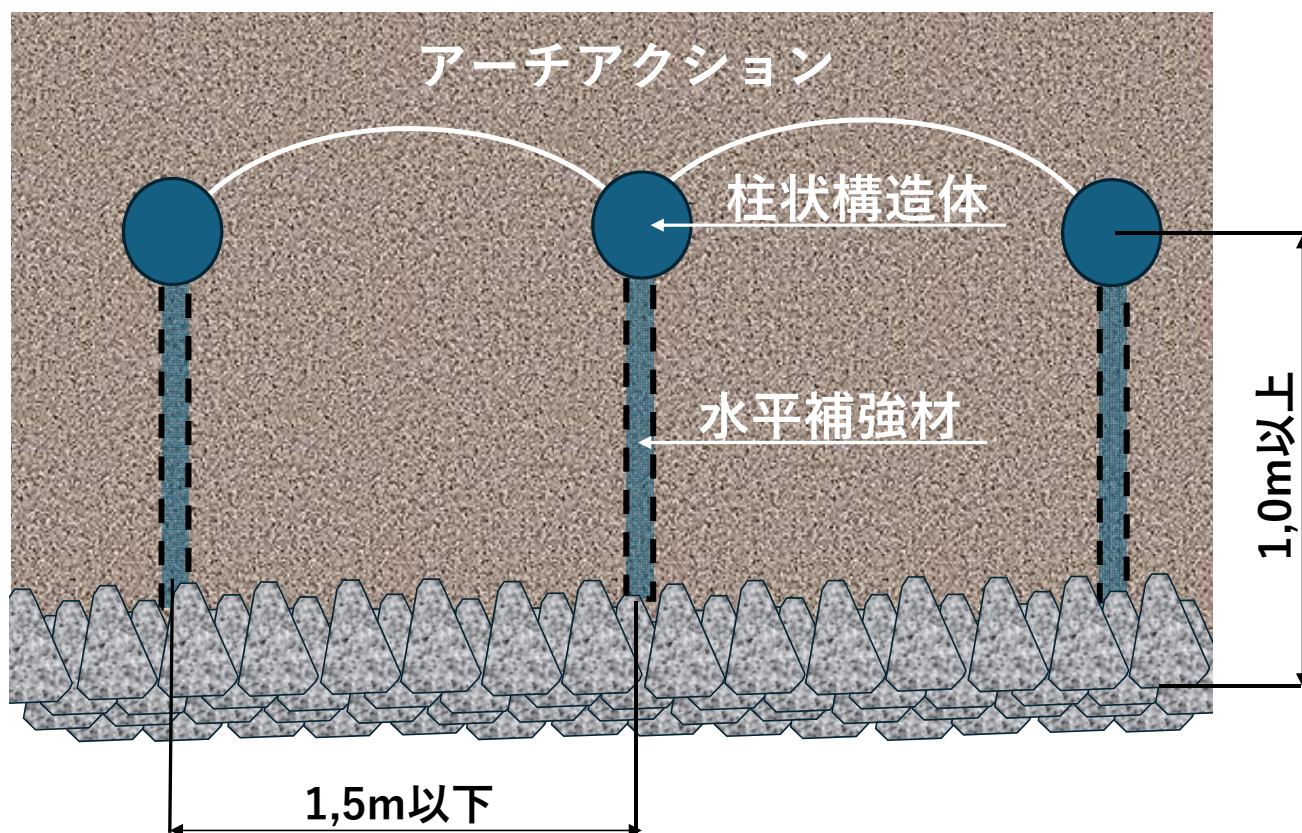
安全率 $F_s = \frac{q_d}{q_{max}} =$ 1.9 > 1.00 SAFE

(4) 安定計算結果

評価項目	評価項目	計算値	大小関係	判定値	評価
転倒	偏心量	0.55	<	0.64	SAFE
	安定数	1.76	>	1.00	SAFE
滑動	安全率	1.09	>	1.00	SAFE
支持	安全率	1.90	>	1.00	SAFE

3) 水平補強材の配置

これまでの模型実験より、柱状構造体の水平間隔はアーチアクションを考慮して1.5m、水平補強材の鉛直間隔は1.5mを超えない範囲で設定することが望ましい。



水平補強材の長さは擬似擁壁体として、安定性を確保するために、石材表面から柱状構造体までの間隔は1m以上確保する。

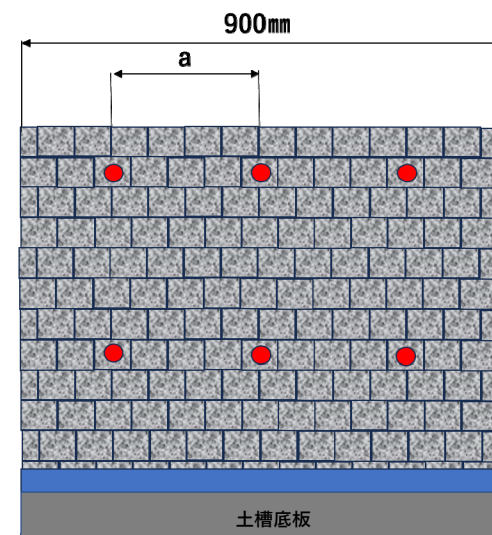
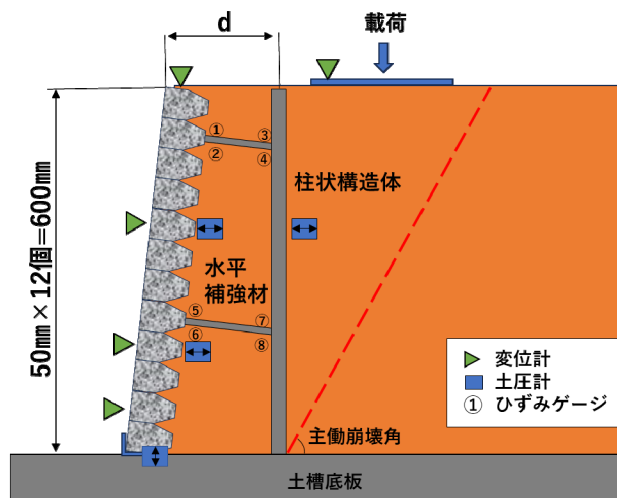
性能照査2: 静的載荷実験

石積擁壁は実大高さ3.6mを想定して、
1/6サイズの模型で行った。

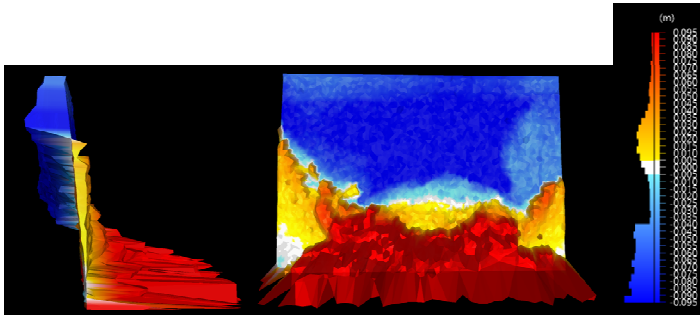


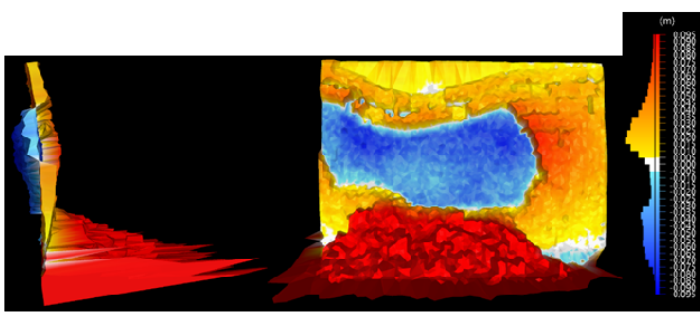
実験土層と石積

		水平補強材間隔 a(mm)	柱状構造体までの 距離 d(mm)	補強材の長さ × 列 L(mm)
無補強		—	—	—
鉄筋挿入工		250(1,500)	—	500(3,000) × 3列
バットレス型補強 アンカー工法	Case1	167(1,000)	250(1,500)	250(1,500) × 5列
	Case2	250(1,500)	167(1,000)	167(1,000) × 3列
	Case3	250(1,500)	250(1,500)	250(1,500) × 3列
	Case4	250(1,500)	333(2,000)	333(2,000) × 3列
	Case5	333(2,000)	250(1,500)	250(1,500) × 3列

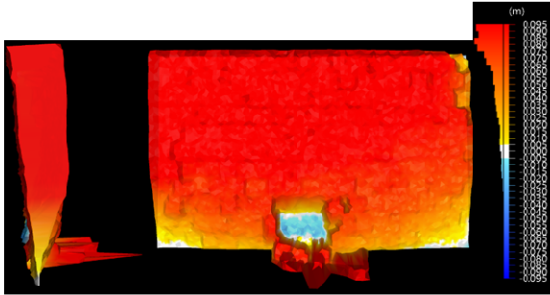
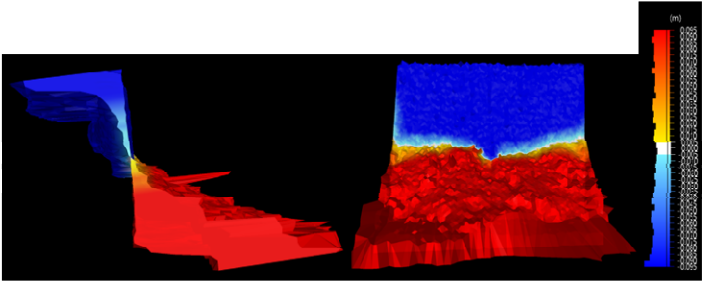
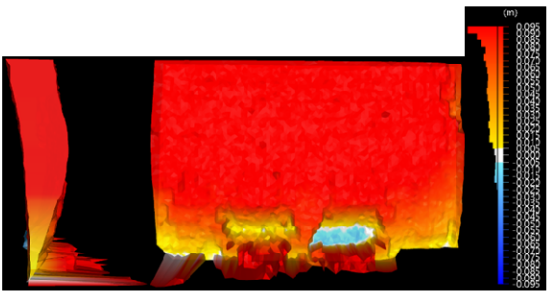


実験概要

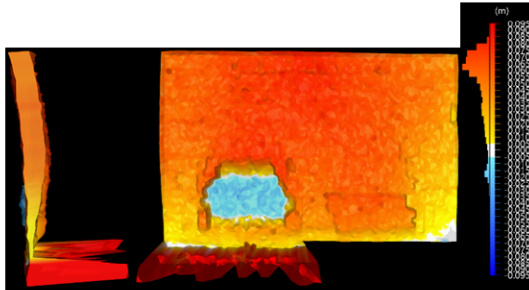
試験体	写真（崩壊時）	段彩図（崩壊時）
無補強 $P_{\max}=6.9\text{kN}$		

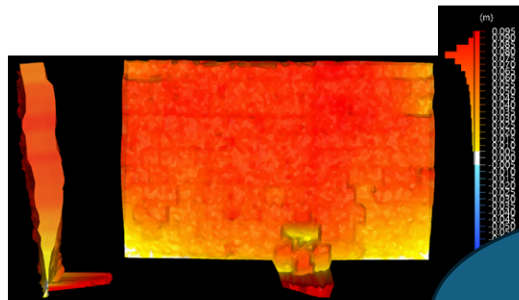
試験体	写真（崩壊時）	段彩図（崩壊時）
鉄筋挿入工 $P_{\max}=20.6\text{kN}$		

崩壊時の状況と最大荷重

試験体	写真（崩壊時）	段彩図（崩壊時）
バットレス Case1 a167- d 250 $P_{max}=34.7kN$		
バットレス Case2 a250- d 167 $P_{max}=13.9kN$		
バットレス Case3 a250- d 250 $P_{max}=30.0kN$		

崩壊時の状況と最大荷重

試験体	写真（崩壊時）	段彩図（崩壊時）
バットレス Case4 a250-d 333 $P_{max}=44.9\text{kN}$		

試験体	写真（崩壊時）	段彩図（崩壊時）
バットレス Case5 a333-d 250 $P_{max}=23.3\text{kN}$		

崩壊時の状況と最大荷重

CASE3と比較
して23%ダウン

4)石材の一体化

水平補強材挿入位置を中心に、半径35cm範囲の石材同士を充填材で一体化。これは過去の研究¹⁾によっても提唱されている。

本模型実験でも石材同士を固定させることによる耐荷性能の向上は確認。

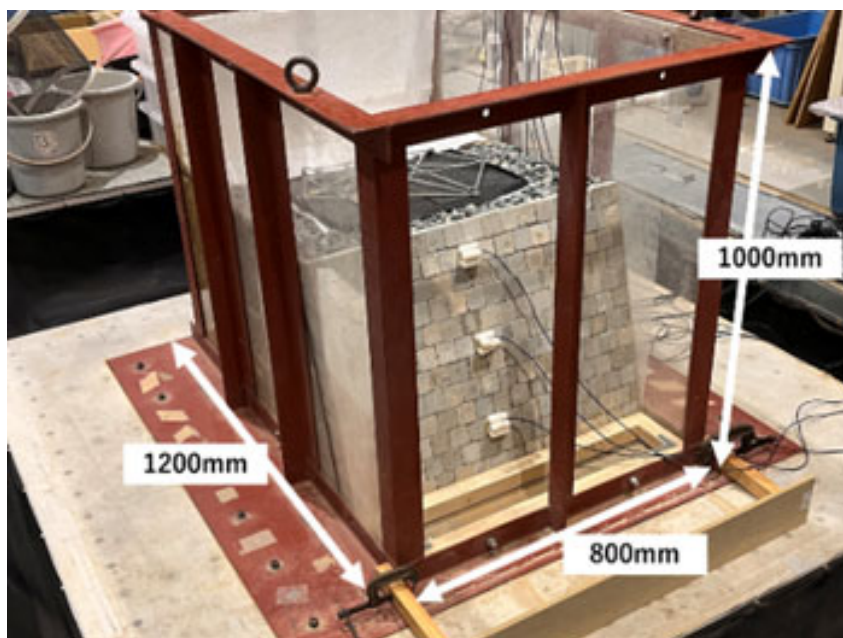
1)西村和夫、山本稔：比較的短いロックボルトを用いた切り取り斜面の安定について、土木学会論文集第388号、PP. 271-226、1987



性能照査3: 振動実験

石積擁壁は実大高さ3.6mを想定して、
1/6サイズの模型で行った。

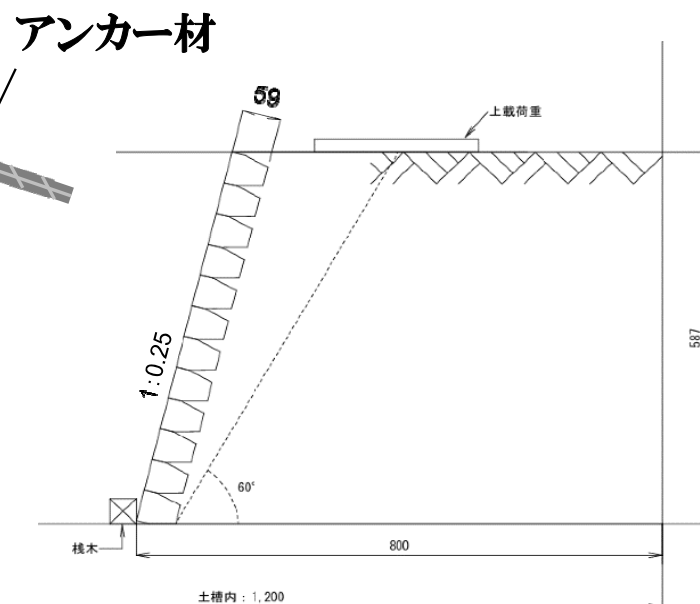
試験体	種別
Case1	無対策
Case2	鉄筋挿入工
Case3	バットレス
Case4	バットレス（ウレタン充填）



振動台土層



ウレタン充填



石積擁壁形状

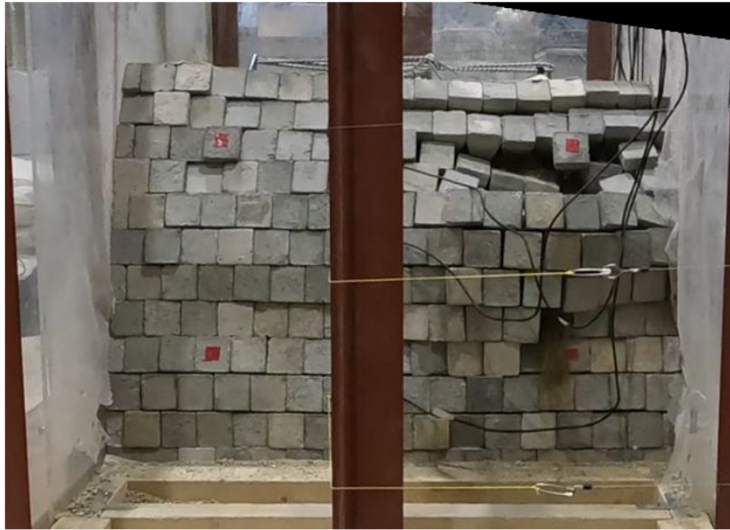


無補強

鉄筋挿入工

実験結果

モデル	崩壊加速度(gal)		崩壊の様子
	目標加速度	入力加速度	
無対策	350	330	上部のブロックが後ろへ倒れるように落下
鉄筋挿入工	500	532	対策していない列のブロックが孕んで落下



バットレス



バットレス(ウレタン充填)

実験結果

モデル	崩壊加速度(gal)		崩壊の様子
	目標加速度	入力加速度	
バットレスエ	650	672	アンカー周辺のブロックが孕み出し落下
バットレス (ウレタン充填)エ	700	747	中段から孕み出し崩壊

- 柱状構造体の孔上部から鉄筋 (SD345-D19) を挿入する。
- 補強材下段は先端のリングが見えにくいため、ボアホールカメラやLEDテープライト等を使用する。



鉄筋挿入



ボアホールカメラ
(モニター)



テープライト



連結状況

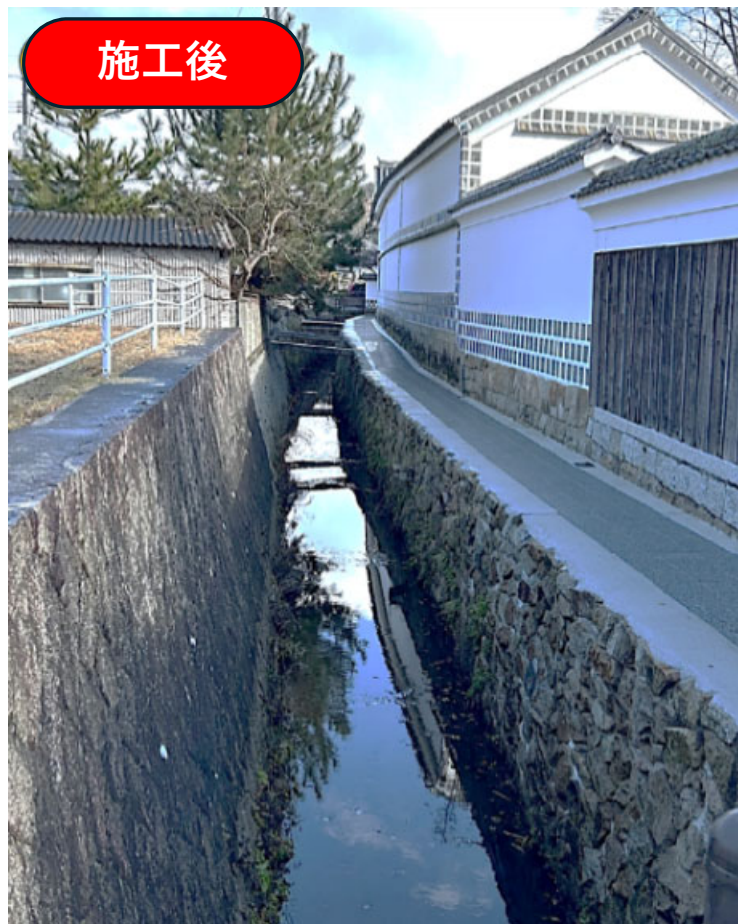
5. 施工事例

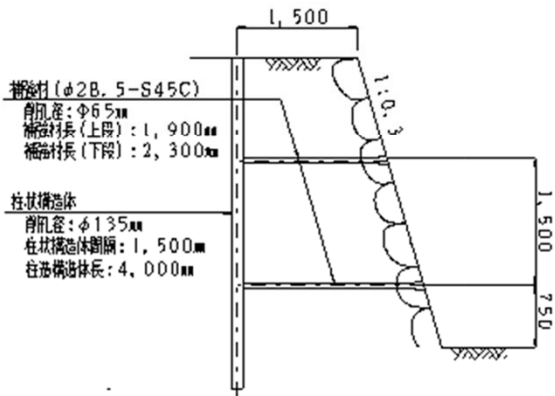
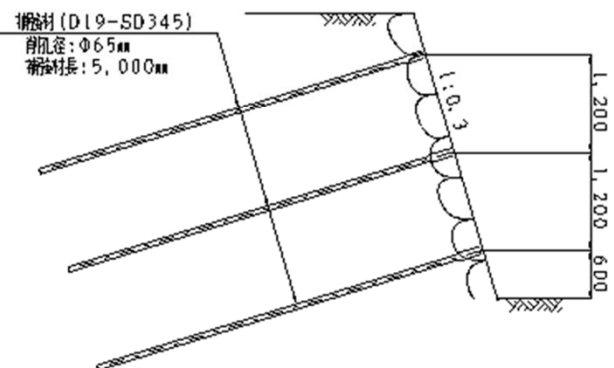
景観を保全した補強

施工前

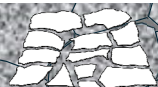


施工後



		施工面積：42m ²
工法	バットレス型補強アンカー工法	鉄筋挿入工
経済性 (m ² 単価)	78,150円 (25%向上)	104,200円
施工期間	施工期間が減少 (15%以上)	施工期間が長い
概要図	 補強材 (φ2B.5-S45C) 径: φ65mm 補強材長 (上段): 1,900mm 補強材長 (下段): 2,300mm 柱状構造体 径: φ135mm 柱状構造体間隔: 1,500mm 柱状構造体長: 4,000mm	 補強材 (D19-SD345) 径: φ65mm 補強材長: 5,000mm
耐震補強	設計水平震度Kh=0.25	設計水平震度Kh=0.25
地盤の種類	砂質土：N値10	同右
擁壁高さ	3.5m	同右
延長	12m	同右
勾配	1:0.3	同右
ピッチ	水平打設ピッチ：1.5m	水平打設ピッチ：1.2m
施工数量	柱状構造体：8箇所	鉄筋挿入工：30箇所
照査方法	転倒・滑動・支持力 ≥ 1.0 (大地震時)	引抜 (転倒・滑動)

ご清聴ありがとうございました。



文化財石垣・石積擁壁補強技術協会