

【神戸の減災研究会-WG2研究テーマ】

斜面上転石の危険度評価方法に関する研究

災害対策セミナー
2017.1.23

1. 研究目的・方針

《研究方針・方針》

- 斜面に散在する不安定岩塊から発生する落石危険度の評価手法
- 既存様式で構成される採点法（技術者判断に委ねられる）
 - **定量的な指標**を基準とする評価手法の検討を行う

施設管理番号		部分記号		様式-7 安定度調査表(落石・崩壊)		点検者	
						所属機関	
[要因(A)]							
項目	要 因	のり面		自然斜面			
		評点区分	配点	評点	評点区分	配点	評点
地形	G1: 崖地形	G1に該当する	3		G2の内 崖地形該当	3	
	G2: 崩壊跡地	G1に該当せず	0		G2の内 1地形該当	2	
	G3: 谷地の頂部、脚部浸食、オーバーハング、垂水型斜面、土石溜跡地など	G2.G3の内 崖地形該当	3		G2の内 1地形該当	2	
	G4: 尾根先端など凸型斜面、オーバーハング	G4に該当する	0	(10)	G4の内 崖地形該当	3	
土質・地質	浸食に弱い土質	観音	8		観音	2	
	水を含むと強度低下しやすい土質	やや観音	4		やや観音	1	
	その他	該当せず	0	(8)	該当せず	0	(2)
	崩れ目や割罫の密度が高い	観音	12		観音	8	
崩壊	浸食に弱い軟岩	やや観音	6		やや観音	4	
	風化が速い岩質、その他	該当せず	0	(12)	該当せず	0	(8)
	崩れ目(層理面、割罫)	該当する	8		該当する	2	
	不透水性基盤上の土砂	観音	6		観音	4	
崩壊	上部が硬質・脚部が脆弱な岩	やや観音	4		やや観音	3	
	その他	該当せず	0	(14)	該当せず	0	(8)
	表土及び浮石・転石の状況	不安定	12		不安定	24	
	浮石・転石が不安定～やや不安定	やや不安定	6		やや不安定	12	
表土及び浮石・転石の状況	浮石・転石が不安定～やや不安定	不安定	0		不安定	0	
	湧水状況	該当する	0	(12)	該当する	0	(24)
	湧水あり	観音	8		湧水あり	4	
	湧水なし	該当せず	0	(8)	湧水なし	0	(4)
表面の保護状況	裸地～植生主体	観音	5		裸地～植生(草木)	16	
	複合(植生・構造物)	観音	3		複合(裸地・草木・木本)	10	
	裸地物主体	不安定	1	(5)	木本主体	6	(18)
	勾配(%)、高さ	H>30m	18		H≥50m	10	
勾配(%)、高さ	H30.1~>30m	15		30.1~H<50m	8		
	15~30m	10		15~H<30m	6		
	H<15m	5		H<15m	4	(10)	
	H<15m	18		H<15m	10		
当該のり面斜面の状況	観音該当・明瞭なものあり	12		観音該当・明瞭なものあり	10		
	あり・不明瞭なものあり	8		あり・不明瞭なものあり	5		
	なし	0	(12)	なし	0	(10)	
	隣接するのり面・斜面等の状況	観音該当・明瞭なものあり	5		観音該当・明瞭なものあり	4	
隣接するのり面・斜面等の状況	あり・不明瞭なものあり	5		あり・不明瞭なものあり	4		
	なし	0	(5)	なし	0	(4)	
	合計	のり面		自然斜面			
		点 (A1)		点 (A2)			

注) () は各項目の満点を示す。
該当する場合は点検欄に○印をつけると共に点数を記入する。
不明な場合は中間的な値を採用する。

【対策工(B)=(A1)+αまたは(A1)×0】

既設対策工の効果の程度

点検(α)	評点
×0点	のり面 観音
—20点	のり面 観音
—10点	のり面 観音
±0点	のり面 観音
合計	のり面 観音

【(D)=MAX(B,C)】

【(E)=MAX(B,D)】

【(F)=MAX(B,C,D)】

【(G)=MAX(B,C,D)】

【(H)=MAX(B,C,D)】

【(I)=MAX(B,C,D)】

【(J)=MAX(B,C,D)】

【(K)=MAX(B,C,D)】

【(L)=MAX(B,C,D)】

【(M)=MAX(B,C,D)】

【(N)=MAX(B,C,D)】

【(O)=MAX(B,C,D)】

【(P)=MAX(B,C,D)】

【(Q)=MAX(B,C,D)】

【(R)=MAX(B,C,D)】

【(S)=MAX(B,C,D)】

【(T)=MAX(B,C,D)】

【(U)=MAX(B,C,D)】

【(V)=MAX(B,C,D)】

【(W)=MAX(B,C,D)】

【(X)=MAX(B,C,D)】

【(Y)=MAX(B,C,D)】

【(Z)=MAX(B,C,D)】

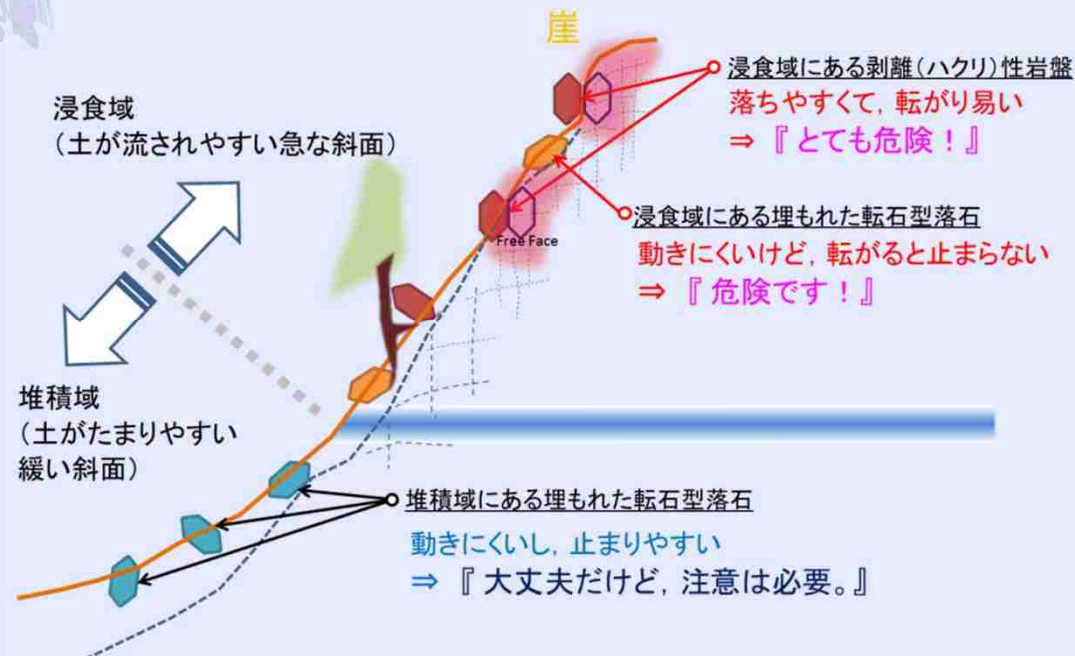
2.道路の落石被害事例、発生源



歩道の落石被害

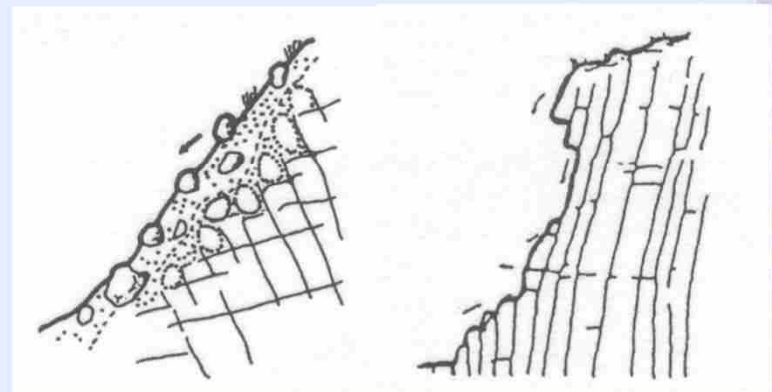


落石による全面通行止



《落石発生源》
「**転石型落石**」

「**剥離型落石**」

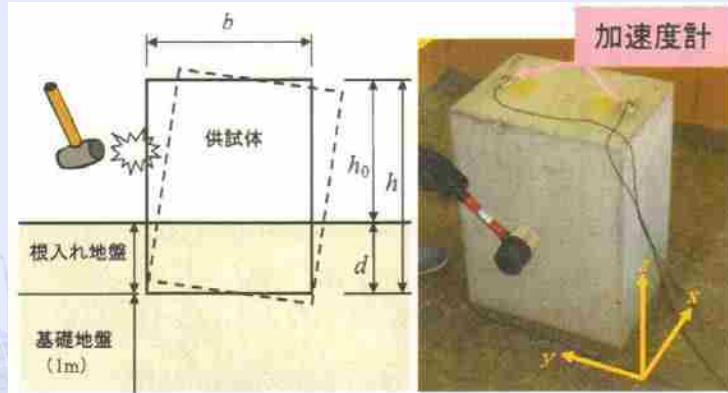


【88%】

【12%】

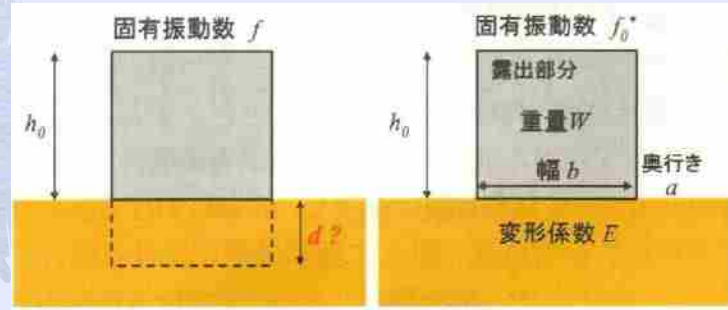
→ 圧倒的に**転石型落石**が多い

3.振動計測による危険度評価法



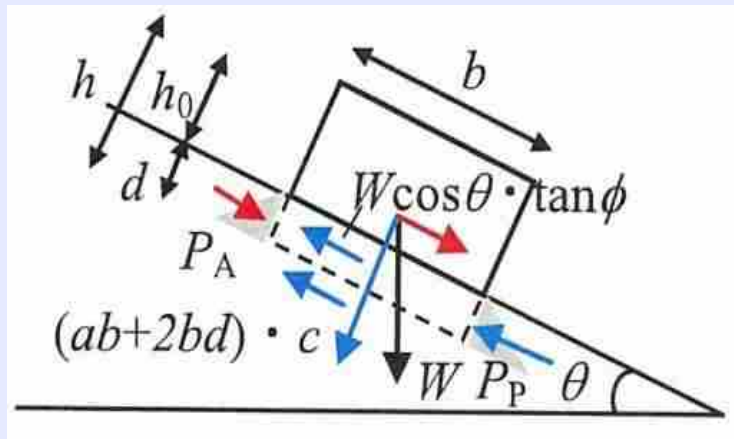
《振動計測による落石危険度評価方法（JR西日本-深田ら）》

- ① ゴムハンマーで対象落石を打撃
- ↓
- ② 取得できる加速度波形をフーリエ変換
- ↓
- ③ フーリエスペクトルが最大となる卓越振動数
→ その落石が持つ**固有振動数**
→ 落石の**根入れ深さの推定**
- ↓
- ④ 落石危険度の評価
→ 「**滑動**」及び「**転倒**」に対する安定計算

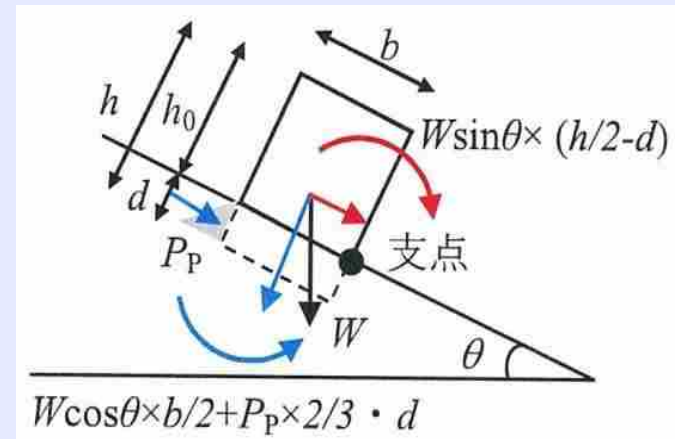


模擬落石の打撃評価

- **転石型落石**については、深田らが実証
→ **剥離型落石**でも使えないか？



滑動に対する安定性検討



転倒に対する安定性検討

4. 模擬剛体による検証

《模擬剛体の製作》

材料（石膏+水）

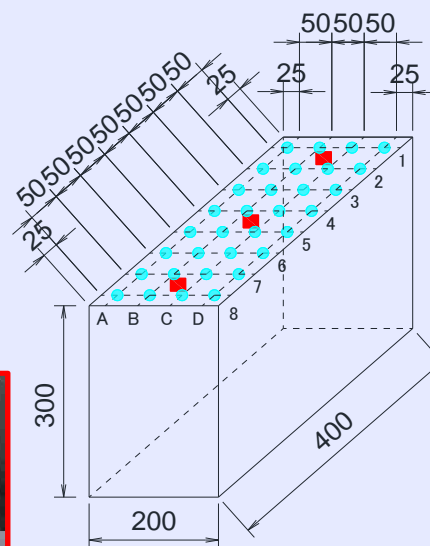


型枠作成
(20cm*30cm*40cm)

材料攪拌状況



模擬剛体製作完了



- 加速度計設置箇所(①～③: 計3箇所)
- 打撃箇所(A-1～D-8: 計32箇所)

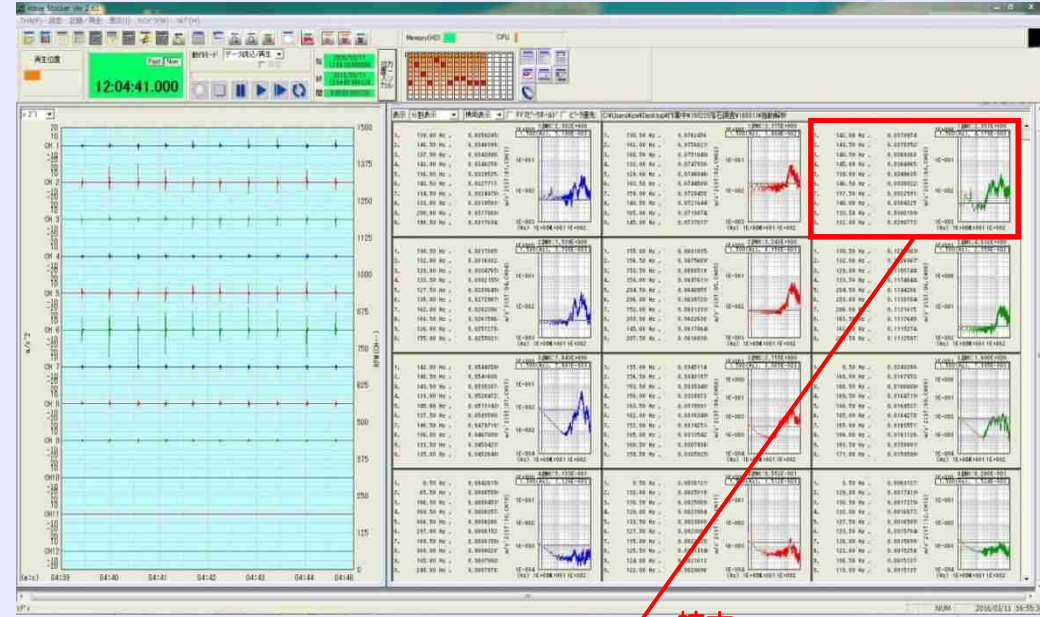
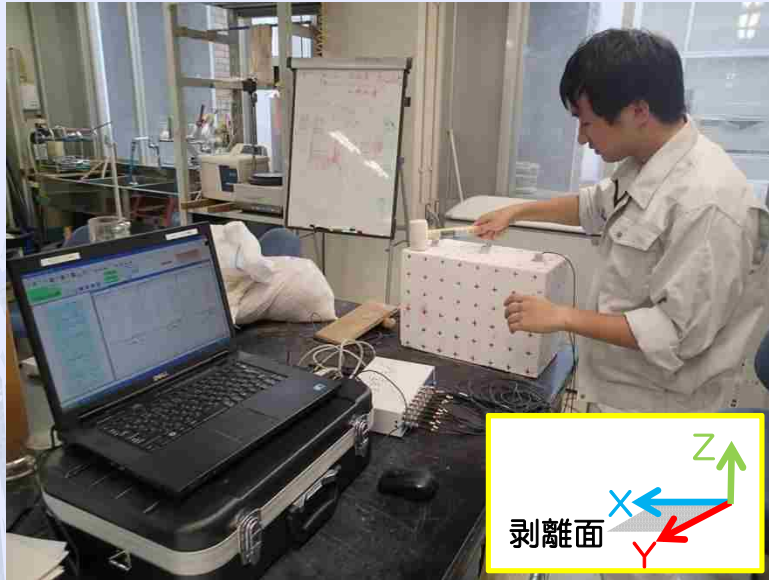
【配合比】
石膏：水=1：1
(約18kgづつ)
※模擬剛体では『風化岩盤』を想定し、石膏で製作。

【密度】
0.65t/m³程度

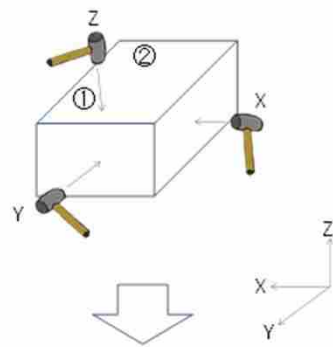
【加速度計】
3軸方向計測可能

4. 模擬剛体による検証

《打撃試験状況》

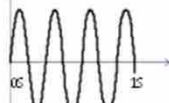


《得られる固有振動数、加速度》



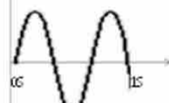
加速度:大
(打撃箇所から近い)

固有振動数:大
(動きにくい:Z方向)



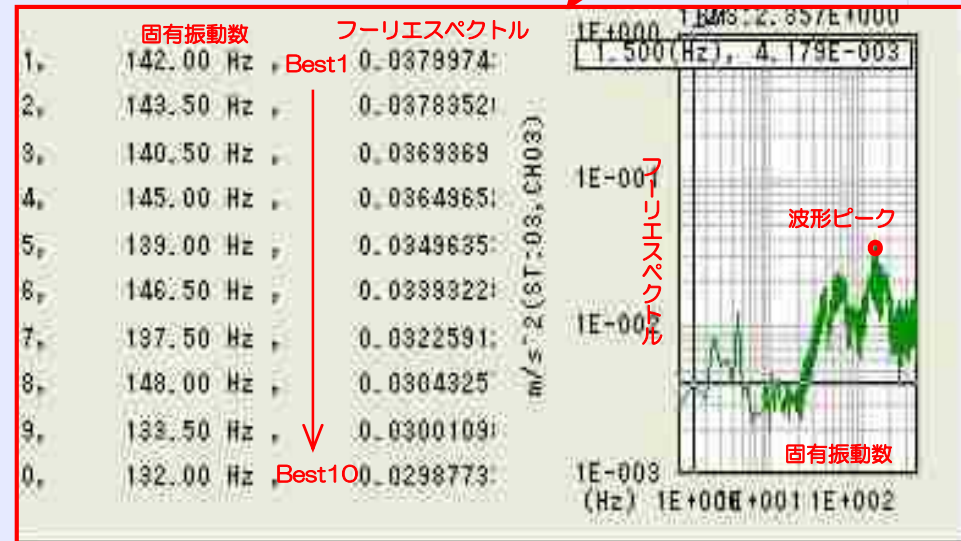
加速度:小
(打撃箇所から遠い)

固有振動数:小
(動きやすい:X・Y方向)



打撃落石に亀裂が生じると...

亀裂の進行状況開口度に応じて
固有振動数と加速度に影響を及ぼす

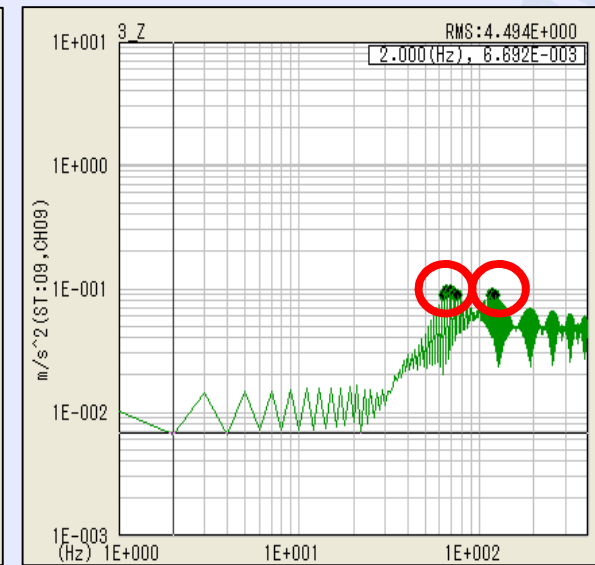
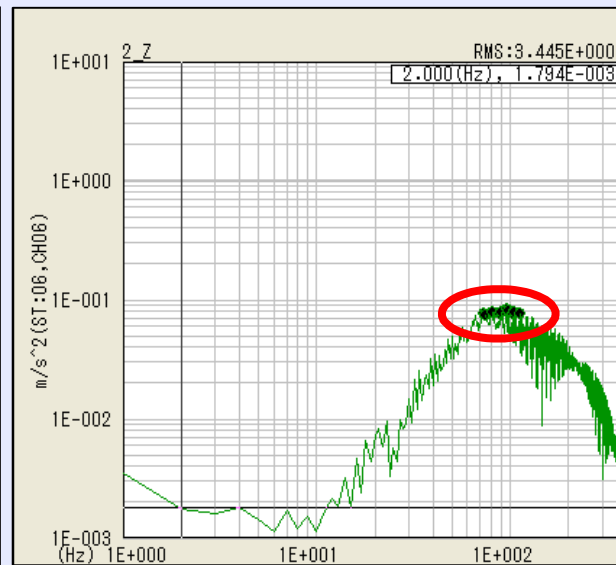
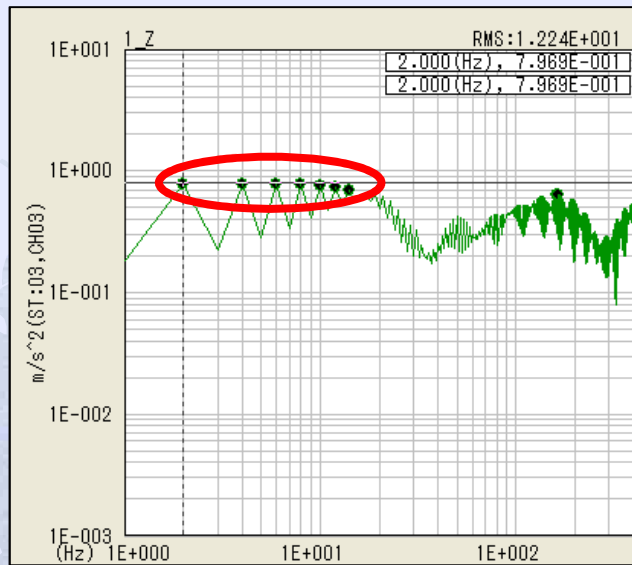


打撃振動の解析画面

※ 解釈を簡易にするため、Z軸方向のみ検討 6/16

4. 模擬剛体による検証

※ 供試体（剥離部）の据置状態と振動数について



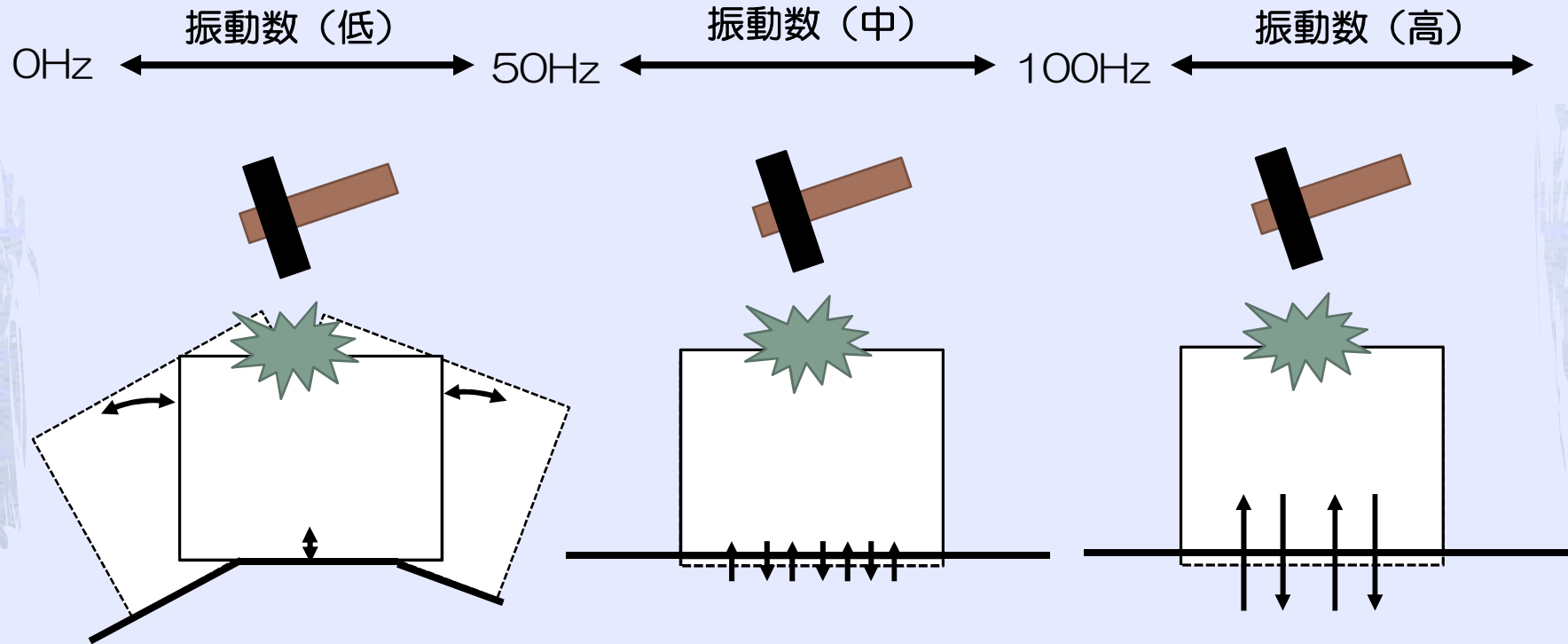
ピーク点が低周波数帯で計測
打撃対象が動くのを捉える。
→不安定

ピーク点が1点
打撃対象の振動形態が一定。
供試体と周辺地盤が一体化
（固着度が高い）していると
考えられる。
→安定

ピーク点が複数
打撃対象の振動形態が
複数生じるパターン。
供試体と周辺地盤の振動数
をそれぞれ表現している。
→
（一見不安定に見えても）
安定

4. 模擬剛体による検証

※ 供試体（剥離部）の据置状態と振動数について



自由状態

供試体が不安定のため、打撃エネルギーが供試体の移動に使われる。

→ 供試体自身の振動は極端に減衰された小さい振動数が計測される。

安定状態（低反発）

打撃エネルギーは、供試体下位の地盤境界で反発するものの、地盤が軟質だと振動数は減衰される。

→ 供試体と地盤が一体化した振動数が計測される。

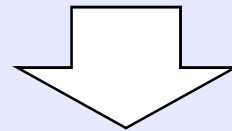
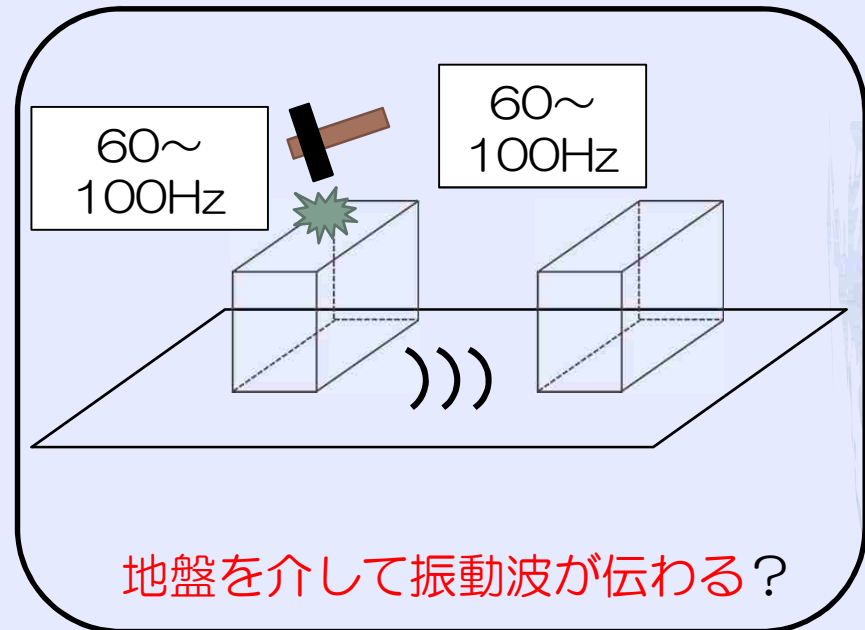
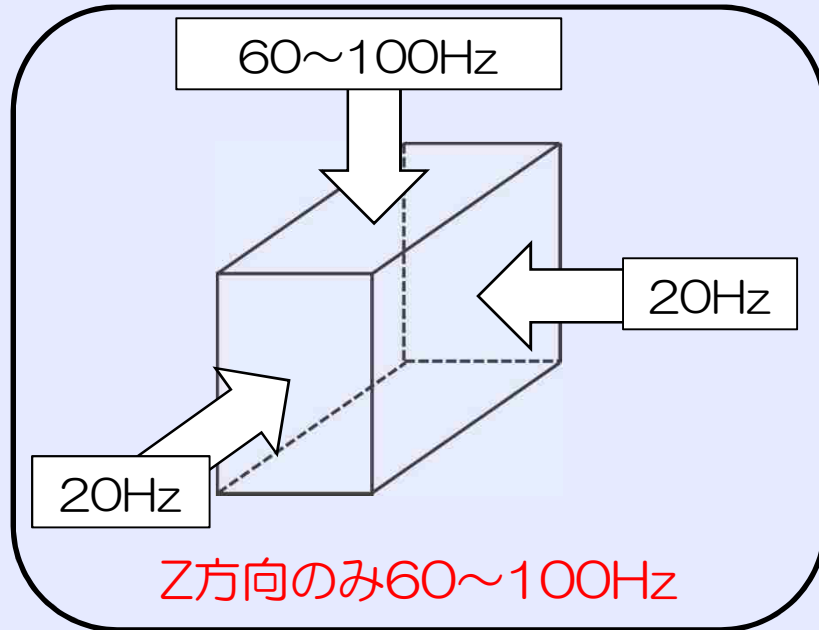
安定状態（高反発）

打撃エネルギーは、供試体下位の地盤が硬質だと、振動数は減衰しにくい。

→ 大きい振動数と供試体の振動数が計測される。

4. 模擬剛体による検証

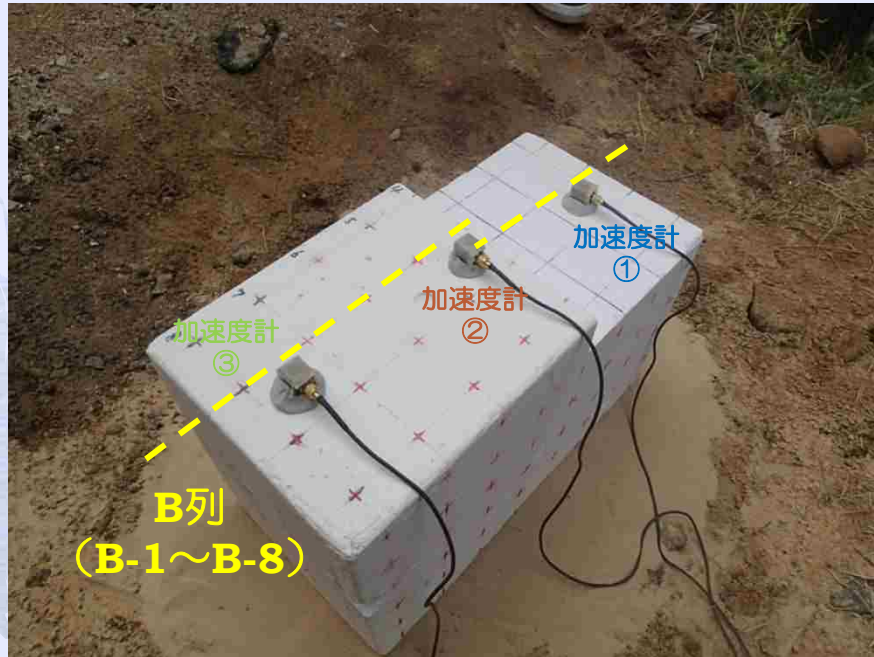
※ 落石打撃で取得できる最大固有振動数について



- Z方向の打撃で取得した60~100Hzは、供試体+地盤の振動数を受信したもの
→ 供試体そのものの固有振動数は20Hz程度？
- 打撃力に強弱をつけた場合
 加速度スペクトル：強く打撃すれば大きく、弱い打撃では小さくなる。
 最大固有振動数：打撃の強弱に影響を受けない。
 → 最大固有振動数は誰が行っても同様の評価が可能！

4. 模擬剛体による検証

《①未加工剛体の打撃結果》



打撃により「固有振動数」と「加速度スペクトル」が取得できる。

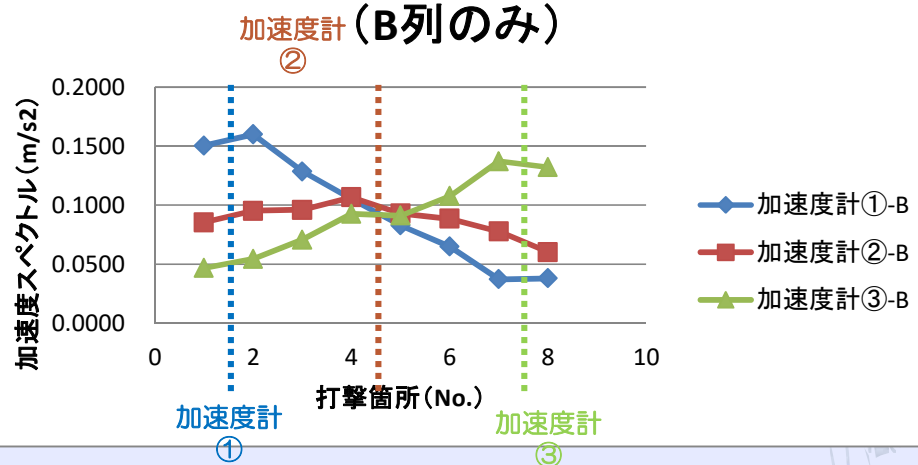
加速度スペクトル：

- 加速度計に近い打撃箇所ほど大きい値。

最大固有振動数：

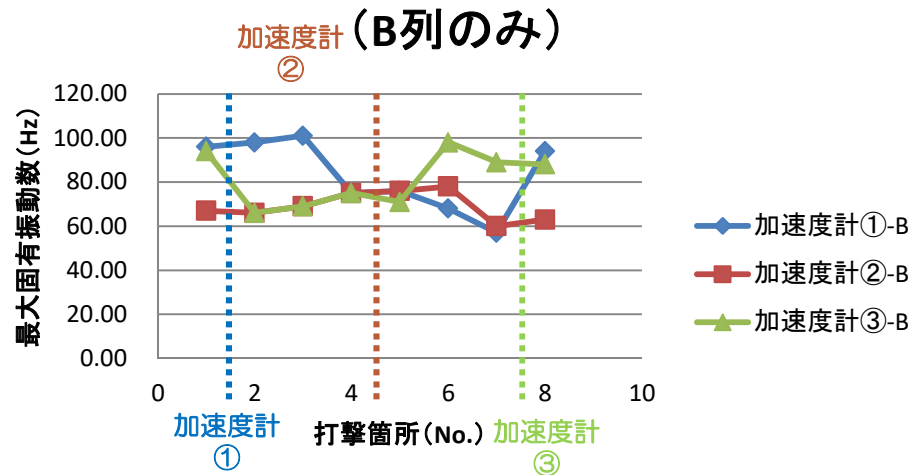
- 概ね60～100Hzの間に収まる。
- 加速度①と③では、剛体両端面で若干大きくなる傾向。

打撃箇所毎の加速度スペクトル



落石打撃で取得できる加速度スペクトル

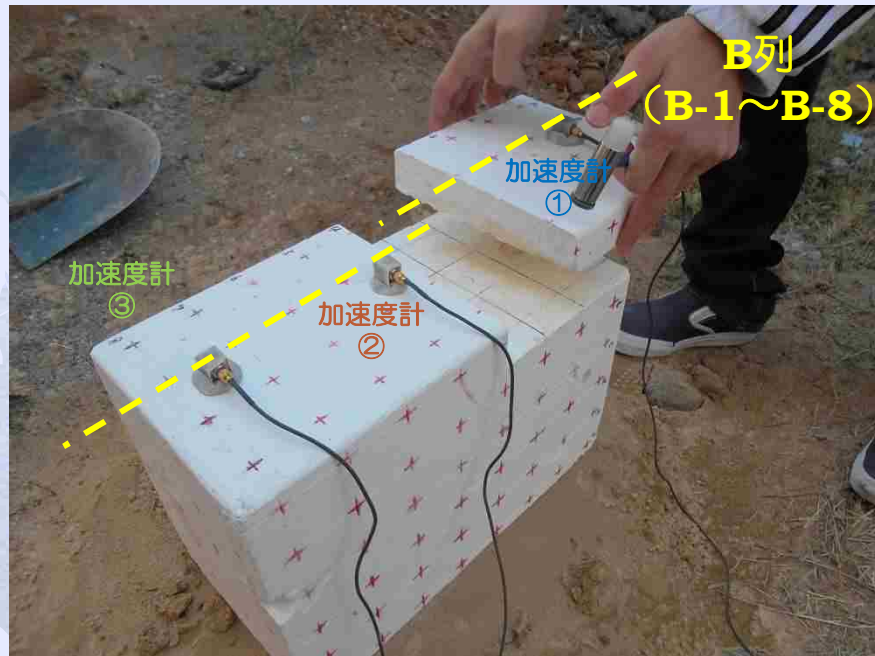
打撃箇所毎の最大固有振動数



落石打撃で取得できる最大固有振動数 10/16

4. 模擬剛体による検証

《②加工剛体+剥離部の打撃結果》



打撃により「固有振動数」と「加速度スペクトル」が取得できる。

加速度スペクトル：

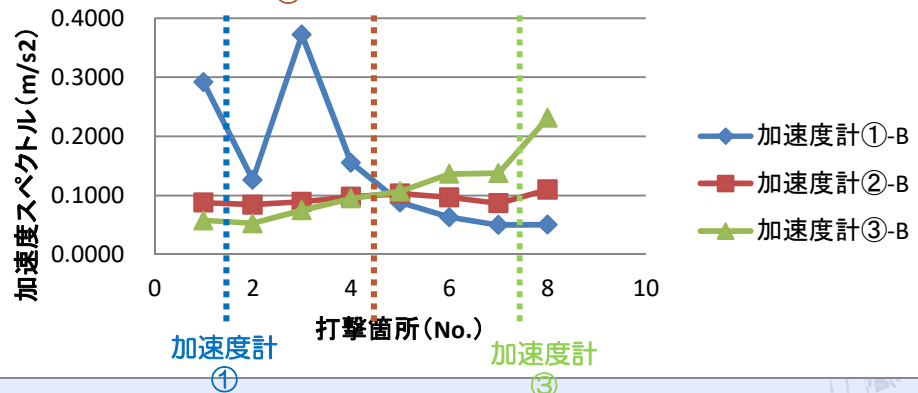
- 剥離部を叩くと、剥離部に設置した加速度計①で大きい値。
- 他は未加工剛体と同じ挙動。

最大固有振動数：

- 剥離部を叩くと、剥離部に設置した加速度計①で大きい値。
- 他は未加工剛体と同じで概ね60～100Hzを示す。

打撃箇所毎の加速度スペクトル

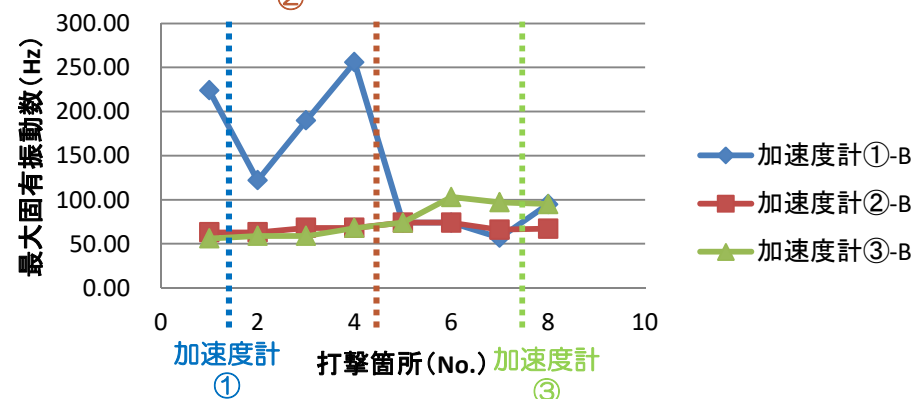
加速度計 (B列のみ)



落石打撃で取得できる加速度スペクトル

打撃箇所毎の最大固有振動数

加速度計 (B列のみ)



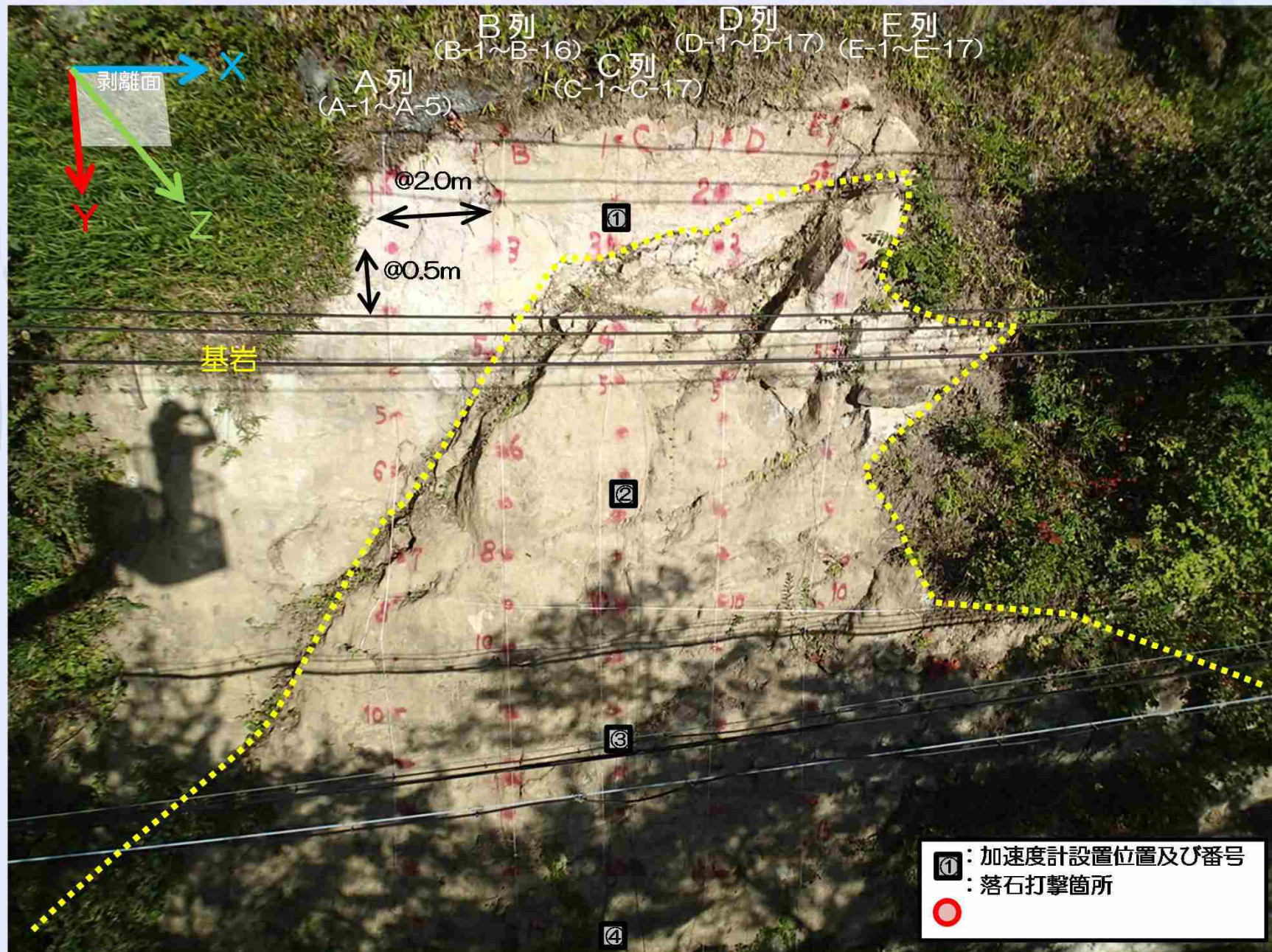
落石打撃で取得できる最大固有振動数 11/16

4. 模擬剛体による検証

《模擬剛体を用いた打撃実験のまとめ》

- ① 模擬剛体を強弱をつけて打撃した際に取得できる振動特性は以下のとおり。
 - ・ 最大固有振動数は打撃の強弱に影響せず、剛体の構成物質によって決まる。
 - ・ 加速度スペクトルは打撃の強弱に影響を受け、強く打撃するほど大きい値をとる。→ 誰が打撃試験を行っても同様な評価が可能なのは、『最大固有振動数』である。
- ② 模擬剛体を地盤に据え置いて打撃した場合、取得できる最大固有振動数は模擬剛体の打撃方向によって値が変わる。
 - ・ 据え置き面の法線方向（Z方向）：模擬剛体+設置地盤を合わせた固有振動数
 - ・ 据え置き面の水平方向（X・Y方向）：模擬剛体自身の固有振動数
- ③ 模擬剛体を据え置き面に対してZ方向に打撃した場合、
 - ・ 亀裂が生じていない一様な剛体
最大固有振動数：剛体のマテリアルに依存
加速度スペクトル：打撃箇所と加速度計設置箇所との距離に依存
 - ・ 亀裂が生じ、分離している剛体
分離部を打撃すると上記から逸脱した値を計測する。
ただし、分離部の勘合状況によって値の逸脱さは変化する。

5. 実現場での検証 (岐阜県-瑞浪市民公園斜面)



5.実現場での検証 (岐阜県-瑞浪市民公園斜面)

《斜面南側落石の打撃結果》

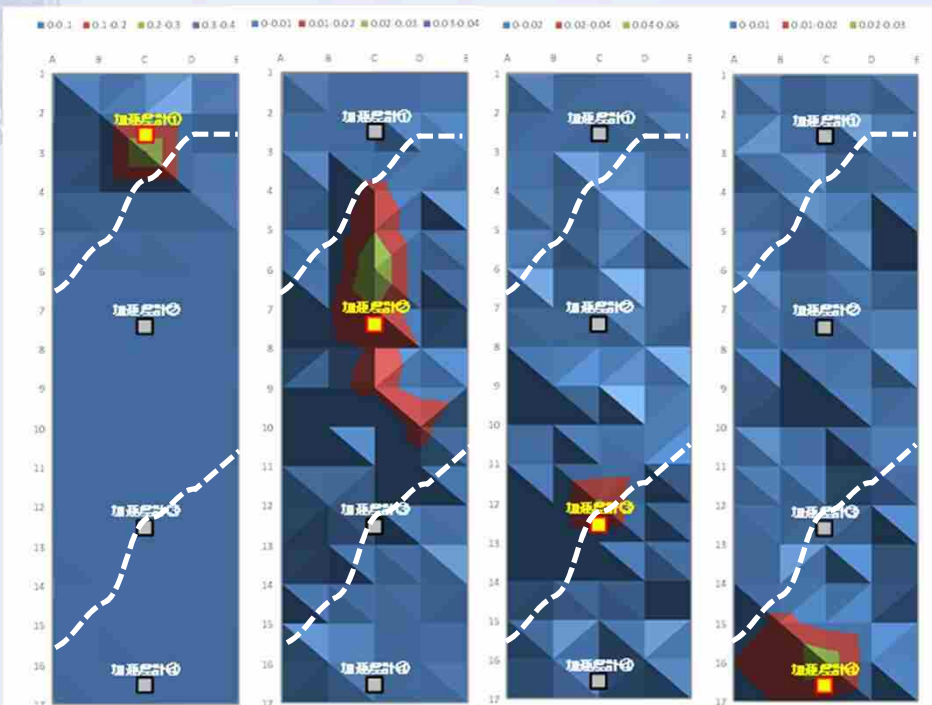


加速度スペクトル：

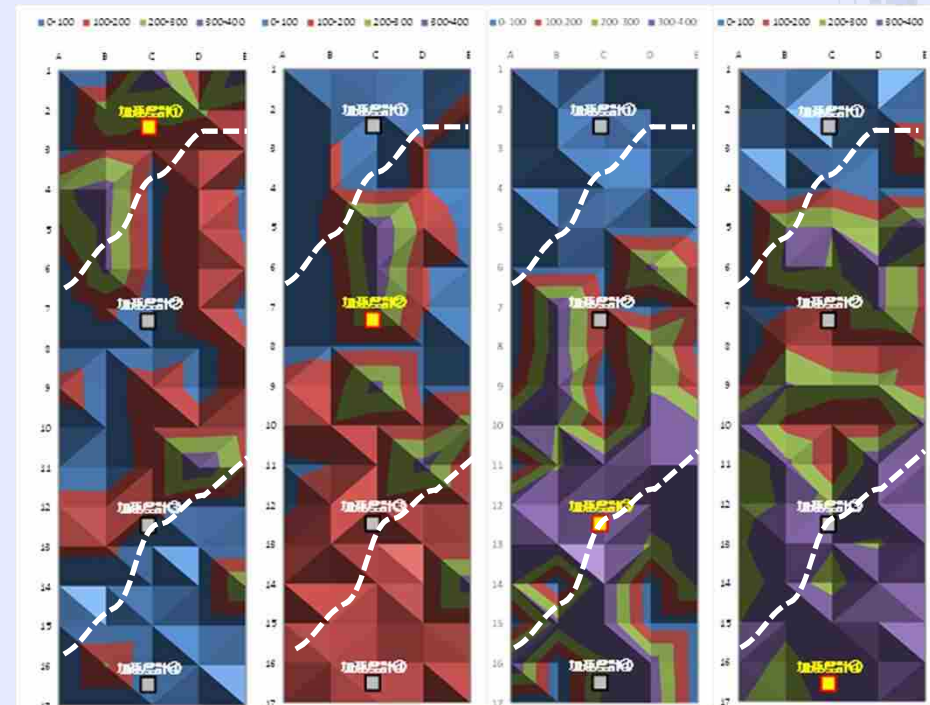
- 加速度計付近の打撃箇所が大きい値を示す。

最大固有振動数：

- 亀裂がない、あるいは亀裂が生じていても固着度・嵌合度が高いと想定される箇所は100Hz以上の値を示す。
- 亀裂が生じ、固着度が低い箇所を打撃すると、100Hz以下の小さな値を示す。



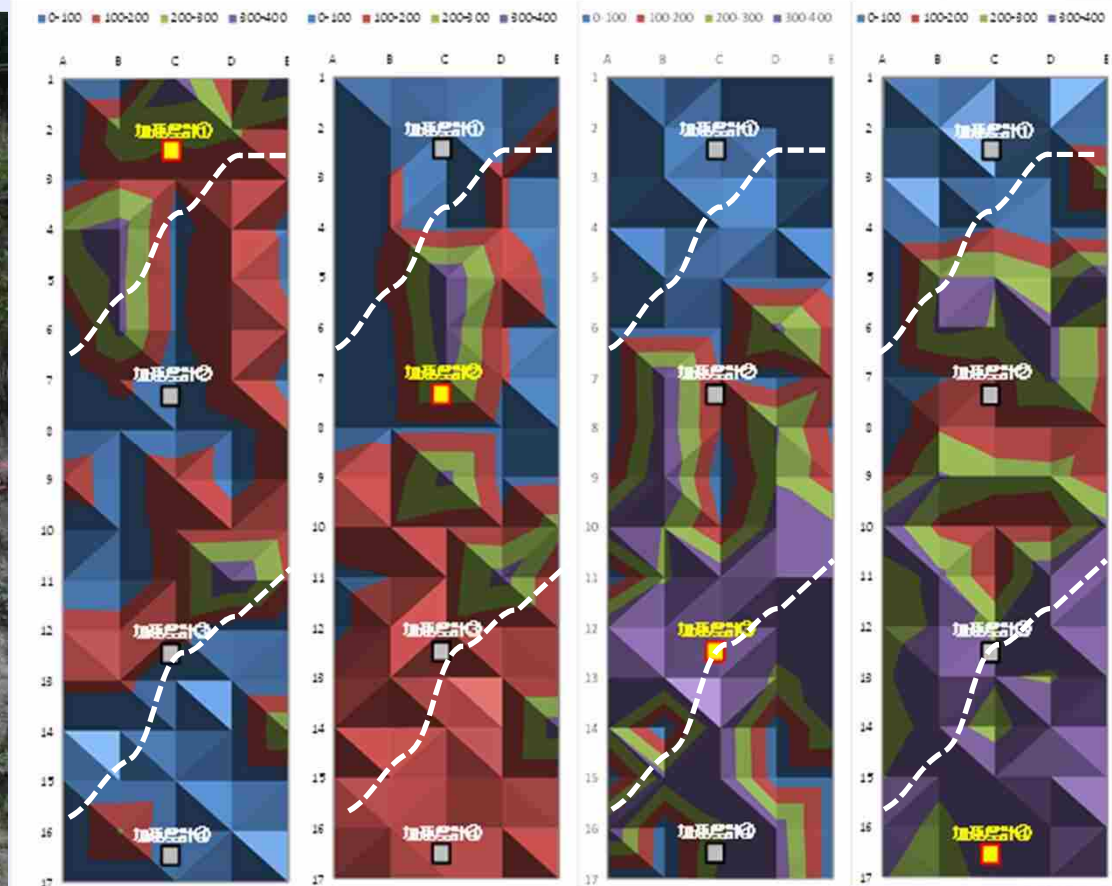
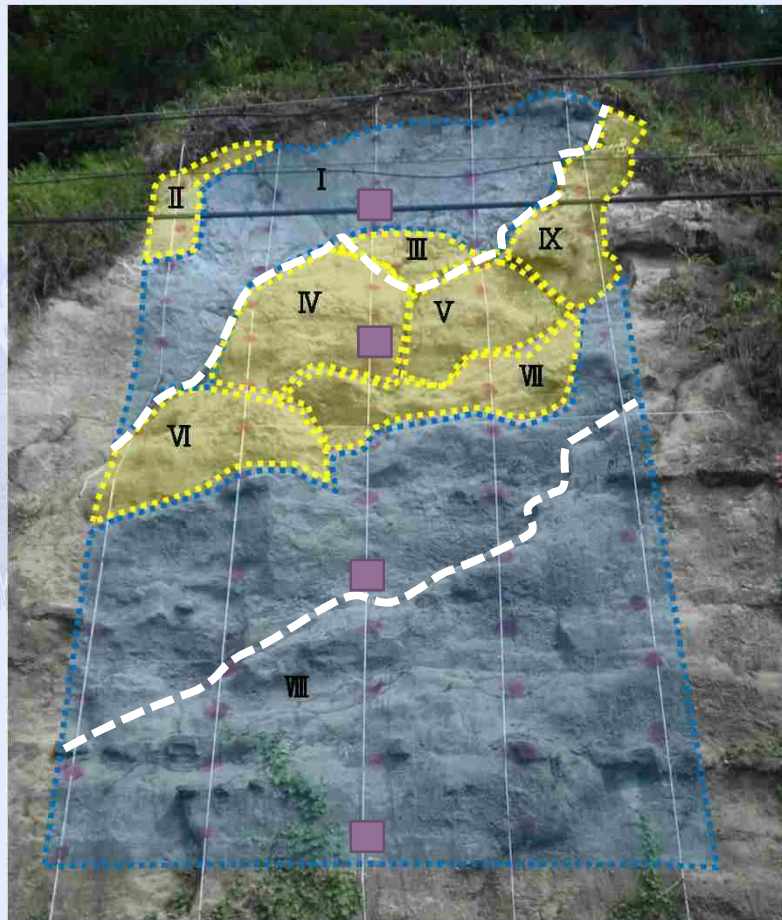
落石打撃で取得できる加速度スペクトル



落石打撃で取得できる最大固有振動数

5. 実現場での検証 (岐阜県-瑞浪市民公園斜面)

《斜面南側落石の打撃結果》



最大固有振動数分布図

最大固有振動数と加速度計の位置から、対象斜面の危険度マップを作成できる可能性を示唆。

- ・ 赤：周辺岩盤との嵌合のみで平衡を保っている範囲。
- ・ 黄：亀裂は生じているものの固着度の高い剥離岩盤。
- ・ 青：亀裂が生じていても、基岩との固着度が高い範囲。

6.これまでの成果及び今後の取り組み

《今年度の成果》

模擬剛体及び検証サイト（瑞浪市民公園斜面）にて落石打撃調査を行い、以下の知見を得た。

- ① 打撃より得られる「**加速度スペクトル**」については、**加速度計設置位置と打撃箇所の距離**において**相関**が見られる。
加速度計の位置が近づくにつれて、取得できる加速度スペクトルの値は大きくなり、遠ざかると小さくなる挙動を示す。
- ② 打撃より得られる「**最大固有振動数**」については、取得値に多少幅があるものの、亀裂が発生していない場合は**打撃する岩盤の材料によって決まる**。
亀裂が卓越して剥離部が基岩から分離している場合、**最大固有振動数は異常値**を示す。
- ③ 打撃より得られる「**最大固有振動数**」と設置した加速度計の位置から、調査斜面の**落石危険度マップ**を作成できる可能性を示唆できた。
これは斜面維持管理の観点から、**対策工の優先順位の決定に大きく寄与する**。

《今年度の課題をうけて、今後の方針》

- ① 模擬剛体に入れる**亀裂のパターンを増やし**、今回の成果と比較を行う。
- ② 石膏だけでなく**セメントの模擬剛体を製作し**、取得できる**最大固有振動数との関係を把握**する。
- ③ **実現場での落石打撃データを蓄積し**、危険度マップに対する妥当性の検証を行う。